การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

นางสาวอริสา วิลัยกรวด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2560

ANALYSIS OF THE MOST INFLUENTIAL FACTOR ON QUALITY OF EXPERIENCE IN MOBILE NETWORK

Arisa Vilaikruad

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Telecommunication and Computer Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2017

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)
ประธานกรรมการ

(รศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ชาญไชย ไทยเจียม)
กรรมการ

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อริสา วิลัยกรวด : การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ANALYSIS OF THE MOST INFLUENTIAL FACTOR ON QUALITY OF EXPERIENCE IN MOBILE NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 135 หน้า.

เป็นที่รู้กันดีว่าการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคปัจจุบันมีความสำคัญเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวันเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ให้บริการมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอตามการใช้งาน ดังนั้นผู้ให้บริการจึงมีการสำรวจคุณภาพของสัญญาณเพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงและพัฒนาเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้บริการพึงพอใจและมีคุณภาพของการให้บริการที่ดี แต่ที่ผ่านมาการปรับปรุงเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพของผู้ให้บริการนั้นจะมุ่งเน้นไปที่การปรับค่าพารามิเตอร์ที่แสดงคุณภาพของเครือข่ายให้อยู่ในมาตรฐานที่ผู้ให้บริการกำหนดเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอย่างแท้จริงว่ามีการใช้งานได้จริงหรือไม่ หรือเกิดความขัดข้องระหว่างการใช้งาน จนก่อให้เกิดความไม่พึงพอใจของผู้ใช้งานหรือไม่

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญระหว่างคุณภาพของให้บริการ (QoS) เครือข่ายและคุณภาพของประสบการณ์ (QoE) ของผู้ใช้บริการ โดยคุณภาพของประสบการณ์มีเกณฑ์ในการแบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับตามมาตรฐาน ITU-T และได้หาความสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-forward Back propagation Neural Network) จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเครือข่ายและคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการควบคู่กันไปในเวลาที่มีการใช้งานที่แตกต่างกันแต่สถานที่เดียวกันบนแอพพลิเคชันที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก 3 บริการหลักคือการรับชมวิดีโอจากบริการ YouTube การเข้าชมข่าวสารจากหน้าเว็บบราวเซอร์และการส่งข้อมูลผ่านทางบริการ Line เพื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างกันของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้งานมากที่สุดด้วยวิธีการคำนวณค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ระหว่างแบบจำลองที่เก็บข้อมูลได้ในแต่ละวัน เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ให้บริการในการจัดการกับพารามิเตอร์ที่จะส่งผลให้ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่ดีตามที่ผู้ให้บริการต้องการ

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ลายมือชื่อนักศึกษา อริสา วิลัยกรวด

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ARISA VILAIKRUAD : ANALYSIS OF THE MOST INFLUENTIAL FACTOR ON QUALITY OF EXPERIENCE IN MOBILE NETWORK. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PEERAPONG UTHANSAKUL, Ph.D., 135 PP.

QoS/QoE/ANN/MAD/MAPE

It is well known that communication on the mobile network is very important because there are many subscribers. Consequently, the performance of the network is always changed according to the usage behavior. As a result, the service providers have to improve the quality of signal on the mobile network to satisfy customers. Therefore, the service providers focused on adjusting parameters of network quality but they did not consider the real satisfaction of the customer.

In this work, researcher has recognized the importance of quality of service (QoS) of network and quality of experience (QoE) of customers, which is based on the ITU-T standard. The study has investigated the relationship between two factors (QoS and QoE) with feed-forward backpropagation neural network. The data of two factors are collected from QoS parameters and opinion score of users in different situations, In term of data collection, researcher utilizes 3 main applications. It includes the video viewing on YouTube application, news awareness from web browser application and data sending via Line application. The relationships of QoS parameters that affect the differentiation of QoE models based Neural Network are presented and then the calculation of the difference between QoE models using the Mean Absolute Deviation (MAD) method and the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) is illustrated. The outcome of this research is the analysis method to find the most influential factor on

QoE of mobile network. The benefit of this research is that the service provider can utilize the analysis to manage the QoS parameters to effectively meet the customer's satisfaction.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature ธิวิสา วิฉัยการ

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความเมตตาและอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในการให้คำปรึกษา แนวคิด แนะนำข้อสังเกตอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงกราบขอบพระคุณอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่สละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องและเสนอแนะแผนการเรียน ตรวจสอบความถูกต้องทางด้านภาษา และพิจารณาถึงเนื้อหาและการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ และอาจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ในด้านวิชาการและคำแนะนำที่ทรงคุณค่า และเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณมนฑกานติ์ อาขุบุตร คุณนารี เที่ยงธรรม อาภัสรพรหม คุณนลินรัตน์ เกียรตินำโชค ดร.ธีรศักดิ์ อนันตกุล ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง รวมถึงความอนุเคราะห์การใช้งาน Azenqos สำหรับเก็บข้อมูลในงานวิจัย

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในการสนับสนุนทุนการศึกษาและเป็นสถานที่ในการศึกษาค้นคว้าและดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับการช่วยเหลือและกำลังใจจากบิดามารดา ญาติพี่น้องของผู้วิจัย ตลอดจนพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย และขอบคุณ คุณวีรินภ์ อาจหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและจัดการด้านเอกสาร ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัยจึงกราบขอบพระคุณอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

อริสา วิลัยกรวด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น 5
1.5 ขอบเขตการวิจัย 5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 6
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน 6
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย 6
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย 7
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 7
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 7
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 8
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์ 8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2 ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 11
2.1 คุณภาพของบริการ (Quality of Service : QoS) 11
2.2 คุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE) 17
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANNs) 20
2.3.1 ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม 20
2.3.2 องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม 22
2.3.3 คุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียม 24
2.3.4 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม 24
2.3.5 สถาปัตยกรรมพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม 27
2.3.6 รูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม 29
2.3.7 ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม 31
2.4 ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 40
2.5 สรุปท้ายบท 43
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 45
3.1 กล่าวนำ 45
3.2 การกำหนดปัญหาของงานวิจัย 47
3.3 การออกแบบวิธีการวิจัย 48
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 49
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 53
3.5.1 คะแนนความคิดเห็นจากประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (Opinion Score) 54
3.5.2 พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ (QoS parameters) 55
3.6 การจัดเตรียมข้อมูล 59
3.6.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis) 59
3.6.2 การแปลงข้อมูล (Data Normalization) 64
3.7 การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ 65
3.7.1 กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม 65

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7.2 กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม 66
3.7.3 กระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม 75
3.8 สรุปท้ายบท 81
4 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ 83
4.1 กล่าวนำ 83
4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ 84
4.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 85
4.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line 89
4.2.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 90
4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ 93
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 95
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line 96
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 97
4.4 สรุปท้ายบท 100
5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 101
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์ 101
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 104
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต 104
รายการอ้างอิง 106

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. เอกสาร Standard Normal t-table 108

ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 111

ประวัติผู้เขียน 135

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ชนิดของฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function) 33

3.1 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน YouTube 57

3.2 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน Line 58

3.3 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน web browser 58

3.4 เกณฑ์การแบ่งระดับความสัมพันธ์ของตัวแปร 60

3.5 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้งานแอพพลิเคชัน YouTube 61

3.6 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้งานแอพพลิเคชัน Line 62

3.7 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้งานแอพพลิเคชัน web browser 62

3.8 ผลลัพธ์สุดท้ายของข้อมูลในชั้นส่งออกของแต่ละโหนด 66

3.9 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์แสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าอัตราการเรียนรู้ 70

3.10 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเป็นค่าวิสัยสามารถกับคะแนนความคิดเห็นที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 77

4.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 95

4.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้จากการให้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line 97
4.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 98
4.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้จากการให้บริการแอพพลิเคชัน web browser 99

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แนวคิดเกี่ยวกับประสิทธิภาพคุณภาพของบริการ 13
2.2 มุมมองของผู้บริโภคและผู้ให้บริการต่อคุณภาพของบริการ 15
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของประสบการณ์ 18
2.4 ส่วนประกอบพื้นฐานและหน้าที่ของเซลล์ประสาทสมองมนุษย์ 21
2.5 องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม 23
2.6 โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network) 25
2.7 โครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi-Layer Neural Network) 26
2.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward network) 27
2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (feedback network) 28
2.10 โครงข่ายประสาททวนซ้ำแบบอย่างง่าย 29
2.11 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) 30
2.12 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) 31
2.13 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (reinforcement learning) 31
2.14 ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม 32
2.15 กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ 34
2.16 การปรับค่าน้ำหนักเพื่อให้พื้นผิวความผิดพลาด (error surface) เข้าสู่จุดต่ำสุด 35
2.17 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นส่งออกไปยังชั้นแอบแฝง 36
2.18 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นซ่อนไปยังอินพุต 38
3.1 สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอพพลิเคชัน Azenqos 51
3.2 รูปแบบการประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้ใช้บริการ 52
3.3 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้งโปรแกรม Azenqos 53
3.4 สถานที่ในการทดสอบสัญญาณ 54
3.5 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลของแอพพลิเคชัน Azenqos 56
3.6 กำหนดรูปแบบชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม 67
3.7 การอนุพันธ์ฟังก์ชันซิกมอยด์ 69

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.8 การเปรียบเทียบจำนวนรอบในการฝึกสอนจากค่าอัตราการเรียนรู้ 69

3.9 ฟังก์ชันรวม (summary function) และฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) 70

3.10 รูปแบบและเงื่อนไขของฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) 72

3.11 กระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม 74

3.12 ผลลัพธ์ของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งจากกระบวนการเรียนรู้ 75

3.13 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ จากแบบจำลองที่ 1 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 78

3.14 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ จาก แบบจำลองที่ 2 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 79

3.15 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ จากแบบจำลองที่ 3 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 79

3.16 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ จากแบบจำลองที่ 4 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 80

3.17 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ จากแบบจำลองที่ 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 80

3.18 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 81

4.1 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 85

4.2 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาก่อนการเริ่มเล่นวิดีโอ จากแบบจำลองที่ 1 -5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 86

4.3 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาใน การหยุดเล่นชั่วขณะ จากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 86

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.4 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และกำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ จากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 87

4.5 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ จากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 88

4.6 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าชี้วัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube 88

4.7 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาในการส่งจากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line 89

4.8 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาในการโหลด จากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 90

4.9 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และและค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 91

4.10 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และกำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับจากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 92

4.11 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ จากแบบจำลองที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser 92

4.12 การวิเคราะห์ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation) 94

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

α	=	Alpha
∂	=	Differential
e	=	Error
δ	=	Gradient
ρ	=	Rho
θ	=	Threshold
ANNs	=	Artificial Neural Networks
BLER	=	Block Error Ratio
CQI	=	Channel Quality Indicator
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU	=	International Telecommunication Union
LTE	=	Long Term Evolution
MAD	=	Mean Absolute Deviation
MAPE	=	Mean Absolute Percentage Error
MCS	=	Modulation and Coding Scheme
MOS	=	Mean Opinion Score
QoE	=	Quality of Experience
QoS	=	Quality of Service
OS	=	Opinion Score
PUCCH	=	physical uplink control channel
PUSCH	=	Physical Uplink Shared Channel
PDSCH	=	Physical Downlink Shared Channel
RSSI	=	Received Signal Strength Indicator
RSRQ	=	Reference Signal Received Quality
RSRP	=	Reference Signal Received Power

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

RSRP	=	Reference Signal Received Power
Rx	=	Receive
SSE	=	Sum of Square Error
SINR	=	Signal to Interference plus Noise Ratio
Tx	=	Transmit
4G	=	Fourth Generation

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและเหตุจูงใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นหลัก ซึ่งเนื้อหาของบทนำประกอบไปด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานวิจัยและส่วนประกอบทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่รู้กันดีว่าการติดต่อสื่อสารผ่านระบบการสื่อสารไร้สายในปัจจุบันนั้น มีอิทธิพลและกลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของประชากรเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการสื่อสารด้วยเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Network) ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากมีการพัฒนาเครือข่ายและเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านของความเร็วและความแม่นยำในการรับส่งข้อมูล ความครอบคลุมของพื้นที่ในการให้บริการเครือข่าย และยังมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้น นอกจากนี้เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังมีรูปแบบการให้บริการที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บริการที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นในด้านการสื่อสารที่สะดวกมากขึ้น สามารถสื่อสารแบบเห็นหน้ากันและตอบโต้ได้ทันทีทันใดหรือการประชุมสัมมนาทางสื่อออนไลน์ (Video conference) และยังสามารถส่งข้อความในแบบของรูปภาพหรือวิดีโอ ในด้านการรับรู้ข่าวสารหรือการรับชมความบันเทิง ซึ่งการใช้งานที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือการเข้าชมเว็บไซต์ในการช่วยค้นหาข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ (Browsing) และการรับชมสื่อวีดีโอ (Streaming) ในด้านการตลาดบนสังคมออนไลน์ รูปแบบการใช้งานที่เป็นที่นิยมในขณะนี้คือธุรกิจการซื้อขายออนไลน์ ธุรกิจการขนส่งสินค้า ธุรกิจทางการเงินและการธนาคาร และธุรกิจสื่อโฆษณา เป็นต้น

เนื่องจากการให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการและอำนวยความสะดวกสบายให้แก่ผู้ใช้บริการได้เป็นอย่างดี จึงมีผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดประโยชน์และผลกำไรแก่ผู้ประกอบการทางด้านการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอย่างมาก จึงเป็นแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ประกอบการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการรักษาผลประโยชน์ของตน รักษาฐานผู้ใช้-

บริการรายเก่าและเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่ให้มากยิ่งขึ้น ด้วยกลยุทธ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นในด้านการให้ความสะดวกสบายต่อการใช้บริการ การให้บริการเทคโนโลยีและแอพพลิเคชันที่มีความทันสมัยและแปลกใหม่ ความครอบคลุมในการใช้งานในทุกพื้นที่ ราคาค่าบริการที่ตรงตามความเหมาะสมต่อการใช้งานและตรงตามความต้องการของผู้ใช้บริการ และที่สำคัญคือการรักษาระดับคุณภาพของบริการ (Quality of Service : QoS) เครือข่ายที่ดี มีค่าชี้วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งมาตรฐานคุณภาพของการให้บริการยังเป็นหนึ่งในเงื่อนไขของสิทธิการคุ้มครองผู้บริโภคอีกด้วย เนื่องจากคุณภาพของการให้บริการเป็นตัวบ่งชี้ถึงการได้รับบริการที่มีความเป็นธรรมจากผู้ประกอบการ เพราะฉะนั้นผู้ประกอบจึงให้ความสำคัญต่อการตรวจสอบและรักษาคุณภาพของการให้บริการเป็นอย่างมาก

จากการสำรวจวิธีการตรวจสอบคุณภาพของบริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน ผู้ประกอบการเครือข่ายจะมุ่งเน้นไปที่การควบคุมการให้บริการในเชิงปริมาณ หรือก็คือการเฝ้าระวังค่าพารามิเตอร์ (Monitor Parameters) ที่สามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายให้ตรงตามมาตรฐาน ซึ่งค่าพารามิเตอร์เป็นค่าที่วัดได้จากการทดสอบสัญญาณ ณ สถานที่ที่มีการให้บริการเครือข่าย และมุ่งเน้นไปที่การให้บริการในเชิงคุณภาพ เช่นการสอบถามความคิดเห็นหรือการวัดระดับความพึงพอใจจากมุมมองของผู้ใช้บริการจากประสบการณ์ที่เคยใช้บริการ เพื่อให้ผู้ใช้บริการเกิดความพึงพอใจและได้รับประสบการณ์ที่ดีในการใช้บริการจริงในสถานการณ์ต่าง ๆ แต่การจะเข้าถึงความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้บริการในรูปแบบรายบุคคลนั้นเป็นไปได้ยาก ผู้ประกอบการจึงมีการริเริ่มที่จะนำอัลกอริทึมของการเรียนรู้ (Machine Learning) มาใช้ในการช่วยวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการมากยิ่งขึ้น ด้วยการเชื่อมโยงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยหลักที่สามารถส่งกระทบต่อความพึงพอใจในประสบการณ์ของการใช้บริการเครือข่ายได้ หรือเรียกว่าเป็นการสำรวจคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE) จากการใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

จากการศึกษาปริทัศวรรณกรรมพบว่า ผู้วิจัยนิยมนำอัลกอริทึมของการเรียนรู้มาประยุกต์ใช้เพื่อที่จะเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจในประสบการณ์ของผู้ใช้บริการกับคุณภาพของบริการ เช่น การใช้ค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการมาเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการด้วยการสร้างแบบจำลองในการทำนายคุณภาพของประสบการณ์ด้วยอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-forward Back propagation Neural Network) (Anchuen, 2016) และ (Kang, 2013) การสร้างโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการคำนวณคะแนนความคิดเห็นโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพของบริการในการรับชมวิดีโอ ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพเนื้อหาของวิดีโอ การโหลดวิดีโอเพื่อเข้าชมและการกระตุกของวิดีโอเป็นปัจจัยหลักบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G (Abdellah, 2017) และอีกหนึ่งงานวิจัยที่มีความ

คล้ายคลึงกันที่มีปัจจัยด้านคุณภาพของบริการคือ ค่าการหน่วงเวลา เพิ่มเข้ามาเป็นหนึ่งในปัจจัยหลัก (Tran, 2016) การตรวจสอบ การประเมินและการคาดการณ์ คุณภาพของประสบการณ์ด้วยเครื่องมือการเรียนรู้ (Machine Learning) ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยอาศัยอุปกรณ์วัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลด้านคุณภาพของบริการของผู้ใช้ปลายทาง (Casas, 2017) และ (Meng, 2016) ซึ่งในแต่ละงานวิจัยจะมีความแตกต่างกันในด้านของการนำค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่สนใจมาใช้ในการวิเคราะห์ตามความเหมาะสมของรูปแบบการใช้งาน เพื่อใช้ในการพยากรณ์คุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

จากที่กล่าวมาข้างต้น เราจึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ใดเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาตัดสินและชี้วัดว่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการตัวใดส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในประสบการณ์ของผู้ใช้บริการได้อย่างแท้จริง เนื่องจากในความเป็นจริงแล้ว การให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงในด้านของคุณภาพของบริการหรือคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้บริการ มีการเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

1) การเปลี่ยนแปลงทางด้านของคุณภาพของประสบการณ์ของผู้ใช้บริการ เนื่องจากประสบการณ์ในการใช้บริการของแต่ละบุคคลนั้น ย่อมมีความแตกต่างกันทางด้านพฤติกรรมทางการใช้บริการ ซึ่งอาจจะดำเนินไปตามวัยวุฒิ ความรู้ ความเข้าใจ ค่านิยม ยุคสมัย ความสนใจในด้านต่าง ๆ ทัศนคติ อาชีพของแต่ละบุคคล ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี รวมไปถึงสภาพแวดล้อมรอบตัว ที่จะส่งผลให้ความคิดเห็น ความประทับใจหรือความพึงพอใจที่มีต่อการใช้บริการในขณะนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดเวลา

2) การเปลี่ยนแปลงทางด้านของคุณภาพของบริการจากผู้ให้บริการ เป็นที่รู้กันโดยทั่วไปว่าทราฟฟิคของเครือข่ายนั้นมีการเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์จากผู้ให้บริการ จำนวนของผู้ใช้บริการเครือข่ายอยู่ในขณะนั้น บริเวณสถานที่ที่ใช้บริการ หรือแม้แต่ตัวอุปกรณ์ปลายทางที่ผู้ใช้บริการใช้งานอยู่ ก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเช่นเดียวกัน

เพราะฉะนั้นการรวบรวมข้อมูลในแต่ละครั้งเพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์และชี้วัดถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจต่อการใช้บริการก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายในขณะที่ใช้งานจากสถานการณ์จริง ซึ่งมีสภาพแวดล้อมการนเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและวัดค่าพารามิเตอร์จากแอพพลิเคชัน Azenqos ที่จะส่งผลกระทบต่อคะแนความพึงพอใจ (Opinion Score) ในการใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G โดยประเมินความพึงพอใจจากการใช้บริการแอพพลิเคชันยอดนิยม คือ YouTube, Line และ web browser เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์ว่าค่าพารามิเตอร์ตัวใดจะเป็นผล

นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการถึงแม้ว่าสถานการณ์หรือสภาพแวดล้อมขณะที่ใช้งานจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา และนำวิธีการวิเคราะห์ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงเครือข่ายด้วยวิธีการเฝ้าระวังค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่จะส่งผลให้ความพึงพอใจในประสบการณ์ของผู้ใช้บริการลดลงไป โดยค่าชี้วัดที่จะนำมาซึ่งผลสรุปพารามิเตอร์ด้านปัจจัยคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error : MAPE) นอกจากนี้ยังเป็นการลดขั้นตอนในการค้นหาปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่จะส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์และเปรียบเทียบปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้บริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพการบริการให้อยู่ในระดับความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งานตามแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างจากโครงข่ายประสาทเทียม

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานเพื่อเป็นแนวทางในการหาข้อสรุปของปัญหา ดังต่อไปนี้

1.3.1 พารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณภาพในการให้บริการเครือข่ายจากการทดสอบสัญญาณด้วยแอพพลิเคชัน Azenqos เป็นปัจจัยหลักทางด้านคุณภาพของบริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.3.2 ปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในประสบการณ์การใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และส่งผลต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วย

1.3.3 ปัจจัยหลักทางด้านคุณภาพของบริการสามารถวิเคราะห์ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างโดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ใช้พารามิเตอร์คุณภาพของบริการจากการทดสอบสัญญาณ ณ สถานที่ที่มีการใช้บริการเครือข่ายจริงในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และวิเคราะห์ถึงความเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ฝ

1.4.2 การทดสอบสัญญาณเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการจากพื้นที่ให้บริการจริงในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งผู้วิจัยเป็นบุคคลประเมินผลการใช้บริการเครือข่าย เพื่อความเที่ยงธรรมในการประเมินคุณภาพของการใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.4.3 ใช้อุปกรณ์สมาร์ทโฟนติดตั้งแอพพลิเคชัน Azenqos ในการทดสอบสัญญาณเพื่อวัดพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ จากการใช้บริการแอพพลิเคชันที่กำหนด

1.4.4 ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลติดตั้งโปรแกรม Azenqos ในการเก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากการเชื่อมต่อแอพพลิเคชัน Azenqos

1.4.5 ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลติดตั้งโปรแกรม MATLAB ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมและวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมเกิดความแตกต่างกัน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตงานวิจัย ดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.2 นำข้อมูลคุณภาพของบริการจากการทดสอบสัญญาณจากสถานที่จริงและผลการประเมินผลการความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่ใช้บริการบนเครือข่ายเพื่อสร้างแบบจำลองของคุณภาพของประสบการณ์

1.5.3 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์เชิงสถิติว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองของ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสบการณ์ก็คือพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์มากที่สุด

1.5.4 วิทยานิพนธ์นี้เก็บรวบรวมข้อมูลข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G และมีสถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ณ จังหวัดนครราชสีมา

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายประสาทเทียม ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

3) เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณทั้งพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและคะแนนความพึงพอใจจากประสบการณ์ของผู้ใช้งานเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

4) สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจากแต่ละพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ

5) ศึกษาวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error : MAPE) เพื่อใช้วิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์

6) แสดงผลพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์มากที่สุด

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1) ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ศึกษาวิธีการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ และวิธีการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลพารามิเตอร์มากที่สุด

3) ออกแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณและวิธีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

4) เก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณจากการใช้บริการ YouTube, Line, web browser และสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

5) วิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

6) สรุปพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์มากที่สุด

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

1) พื้นที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการประเมินคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งานในจังหวัดนครราชสีมา ณ ห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา 1242/2 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

2) ห้องวิจัยและปฏิบัติการการสื่อสารไร้สาย อาคารสิรินธรวิศวพัฒน์ F11 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) สมาร์ทโฟน (Smartphone)

2) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

3) โปรแกรม Azenqos

4) โปรแกรม MATLAB

5) โปรแกรม SPSS

6) โปรแกรม Microsoft Office

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ เกิดจากการเก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูล ดังต่อไปนี้

1) ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ ด้านการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์

2) ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการจากการใช้บริการแอพพลิเคชันที่กำหนดไว้ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจะกล่าวถึงกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลในบทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) ข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ในขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ผลการทดลองคือการนำข้อมูลคุณภาพของบริการจากการทดสอบสัญญาณจากสถานที่จริงและความพึงพอใจในการประเมินผลการใช้งานเครือข่ายเพื่อสร้างแบบจำลองของคุณภาพของประสบการณ์โดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

2) ในขั้นตอนที่สองคือนำค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กัน (Correlation Coefficient) จากการทำนายแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ของแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบด้วยกราฟเส้นเพื่อหาความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง

3) ในขั้นตอนสุดท้ายคือการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์เชิงสถิติว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด และปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองของประสบการณ์ก็คือพารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์มากที่สุด และนำวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเครือข่ายไปใช้ต่อไป

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการให้อยู่ในความพึงพอใจของผู้ใช้บริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้จากการเฝ้าระวังพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ส่งผลให้ความพึงพอใจของผู้ใช้งานลดลงมากที่สุด

1.7.2 ลดขั้นตอนหรือกระบวนการในการหาความผิดพลาดที่ส่งผลให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพของการให้บริการลดลงจากการนำพารามิเตอร์คุณภาพของบริการไปปรับปรุงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีส่วนประกอบด้วยกันทั้งหมด 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่เป็นเหตุให้เกิดการจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้เกิดขึ้น วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้นของงานวิจัย ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานวิจัย และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นทฤษฎีและปริทัศวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย กล่าวถึงทฤษฎีของคุณภาพของบริการ คุณภาพของประสบการณ์ และโครงข่ายประสาทเทียม โดยในทฤษฎีของคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ ประกอบไปด้วย คำจำกัดความของคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ รวมถึงองค์ประกอบที่มีผลต่อคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ และทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วย ความหมายของโครงข่ายประสาทเทียม สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม ลักษณะของการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียม และหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมและการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

บทที่ 3 เป็นวิธีการดำเนินงานวิจัย ซึ่งจะกล่าวถึงที่มาของแบบจำลองคุณภาพของบริการ การกำหนดปัญหาของงานวิจัย การออกแบบวิธีการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย การเลือกปัจจัยเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง การเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยในเชิงปริมาณจะเป็นการเก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ และในเชิงคุณภาพจะเป็นการเก็บรวบรวมคะแนนความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายจากผู้ใช้บริการ โดยในการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้นจะเกิดขึ้นในสถานที่ที่มีการใช้บริการจริง การจัดเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพ และสุดท้ายจะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วยการกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม กระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม และผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมหรือก็คือการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการคุณภาพของประสบการณ์

บทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ โดยเนื้อหาจะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะแบ่งออกตามการใช้บริการทั้ง 3 แอพพลิเคชัน ในรูปแบบของกราฟชิงเส้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์อย่างชัดเจน การเปรียบเทียบแบบจำลองที่สร้างจากโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percent Error : MAPE) เพื่อสรุปพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์มากที่สุด โดยปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการมากที่สุดคือ ความ

แตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในแต่ละแอพพลิเคชันที่มากที่สุด ซึ่งเปรียบเทียบได้จากค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสัมบูรณ์และค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนที่มีค่ามากที่สุด

บทที่ 5 เป็นการสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงการสรุปเนื้อหาของงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยการสรุปปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการซึ่งก็คือคุณภาพของประสบการณ์จากมุมมองของผู้ใช้บริการ ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย และสุดท้ายจะกล่าวถึงข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2

ทฤษฎีและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงแนวความคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าจาก วารสารและสิ่งพิมพ์ทางวิชาการทั้งที่ใช้ระบบเอกสารและระบบออนไลน์ต่าง ๆ เช่น ฐานข้อมูลจาก The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) และมาตรฐานทางการสื่อสารจาก International Telecommunication Union (ITU) นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาค้นคว้าวิจัยจากแหล่งต่าง ๆ เช่น จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัย มีส่วนประกอบของเนื้อหาในบทนี้ทั้งหมด 3 ส่วนหลักคือ คุณภาพของบริการ (Quality of Service: QoS) อธิบายถึงคำจำกัดความและภาพรวมของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีส่วนร่วมต่อคุณภาพของบริการโดยรวม คุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience: QoE) อธิบายถึงคำจำกัดความและวิธีการประเมินผลคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้บริการ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANNs) อธิบายถึงความหมาย หลักการ องค์ประกอบ คุณสมบัติลักษณะ สถาปัตยกรรมพื้นฐานและการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

2.1 คุณภาพของบริการ (Quality of Service : QoS)

คำจำกัดความของ คุณภาพของบริการ แท้ที่จริงแล้วมีความหมายที่หลากหลาย แต่คำจำกัดความที่นิยมใช้กันเป็นการแพร่หลายในระบบการสื่อสารโทรคมนาคม มีการอ้างอิงมาจากสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) ซึ่งหมายถึง “ผลกระทบโดยรวมของสมรรถนะของการให้บริการ ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ” (ITU-T E.800) หรือกล่าวได้ว่าคุณภาพของบริการสามารถพิจารณาในแง่มุมของผู้ใช้บริการจากประสบการณ์ของผู้ใช้บริการโดยตรง

โดยคุณภาพของบริการในการสื่อสารโทรคมนาคมนั้น มีตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของเครือข่าย (Network Performance) โทรคมนาคมเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ประสิทธิภาพของเครือข่ายสามารถบ่งบอกได้เพียงในแง่ของการวัด การปรับปรุงปัญหาและประสิทธิภาพในการทำงานของเครือข่ายเฉพาะของผลการดำเนินงานทางเทคนิค เช่น การหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไปยังปลายทาง การสูญเสียข้อมูลในระหว่างที่มีการรับส่งข้อมูล ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้รับ หรือระยะเวลาในการเชื่อมต่อบริการ เป็นต้น แต่คุณภาพของ

บริการสามารถแสดงออกถึงมุมมองของผู้ใช้บริการด้วย ดังนั้น คุณภาพของบริการจึงไม่ใช่เพียงหมายความว่าเป็นมาตรฐานของผลการดำเนินงานทางเทคนิคเท่านั้น แต่ยังหมายความรวมไปถึงการบริการนั้นจะบ่งบอกถึงคุณภาพจากผู้ให้บริการไปสู่ผู้ใช้บริการด้วย ซึ่งในภาพรวมของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีส่วนร่วมต่อคุณภาพของบริการโดยรวมตามที่ผู้ใช้บริการการสื่อสารโทรคมนาคมสามารถรับรู้ได้ แสดงในรูปที่ 2.1 โดยแผนภาพนี้สามารถใช้เป็นแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพให้เครือข่ายและเป็นแนวทางการพิจารณาความสำเร็จของระดับคุณภาพของบริการที่เกิดขึ้นจริงในทางปฏิบัติ นอกจากนั้นยังแสดงถึงเป้าหมายของคุณภาพของบริการนั้น ๆ ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงรูปแบบของการให้บริการเครือข่ายที่แท้จริง

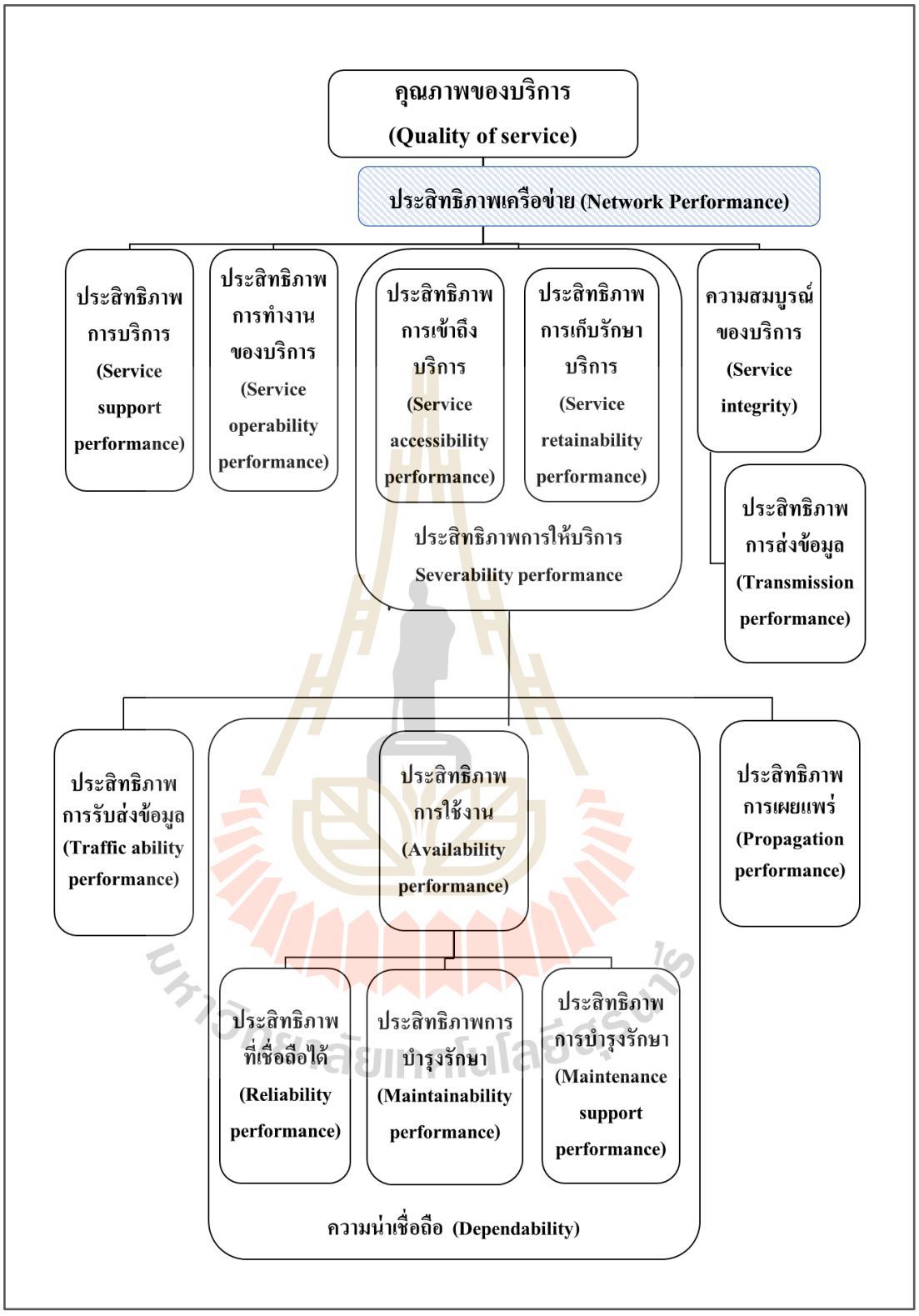
จากมุมมองของผู้ให้บริการ ประสิทธิภาพเครือข่าย (network performance) เป็นแนวคิดที่ดีสำหรับการรักษาคุณภาพของบริการและสามารถกำหนดลักษณะเครือข่ายได้ (network characteristics) เนื่องจากสามารถวัดและควบคุมประสิทธิภาพของเครือข่ายทางเทคนิคเพื่อให้คุณภาพของบริการอยู่ในระดับที่น่าพอใจได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วการรักษาคุณภาพของบริการให้อยู่ในระดับที่น่าพอใจขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพจากการสนับสนุนการบริการ (service support performance) ในความเป็นจริง ความสนใจและมุมมองของผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการมักแตกต่างกันเสมอ และความต้องการการประนีประนอมระหว่างคุณภาพและธุรกิจมักจะสอดคล้องกันด้วย กล่าวคือความสามารถขององค์กรหรือผู้ให้บริการต่อการบริการที่มีคุณภาพ การช่วยเหลือและความเอาใจใส่ต่อผู้ใช้บริการ จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการให้บริการและสร้างความประทับใจต่อผู้ใช้บริการด้วย

2) ประสิทธิภาพการทำงานของการบริการ (service operability performance) ที่แสดงถึงประสิทธิภาพที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงการใช้บริการได้ เช่น ความง่ายในการเข้าถึงการใช้บริการหรือความสะดวกและความรวมเร็วในการใช้บริการ รวมถึงลักษณะของอุปกรณ์ปลายทางที่มีความเข้าใจง่ายและสามารถเข้าถึงได้ง่ายต่อการใช้งานด้วย เป็นต้น

3) ความสมบูรณ์ของบริการ (service integrity) คือระดับการให้บริการที่ปราศจากข้อบกพร่องที่มากจนเกินไป โดยกำหนดให้ความสมบูรณ์ของบริการจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการส่งสัญญาณ (transmission performance) ไปยังอุปกรณ์ปลายทางอย่างไม่มีข้อผิดพลาดหรือมีความผิดพลาดที่อยู่ในระดับสามารถยอมรับได้ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการทางเทคนิคการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในการส่งสัญญาณจากผู้ให้บริการ

4) ประสิทธิภาพการให้บริการ (serveability performance) ความสามารถในการให้บริการที่จะได้รับภายใต้เงื่อนไขทางเทคนิคที่กำหนดโดยผู้ให้บริการ ที่จะอธิบายถึงการตอบสนองของเครือข่ายในระหว่างการสร้างการเชื่อมต่อบริการ (service connection) ซึ่งประสิทธิภาพการให้บริการ ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการเข้าถึงบริการ (service accessibility performance)



รูปที่ 2.1 แนวคิดเกี่ยวกับประสิทธิภาพคุณภาพของบริการ (ITU-T E.800, 2007)

ประสิทธิภาพการรักษาความสามารถในการให้บริการ (service retainability performance) ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล (trafficability performance) ความน่าเชื่อถือ (dependability) และประสิทธิภาพการแพร่กระจาย (propagation performance)

- ประสิทธิภาพการเข้าถึงบริการ (service accessibility performance) ซึ่งตรวจสอบได้จากการเข้าถึงเครือข่าย (network accessibility) เป็นความสามารถของผู้ใช้ที่จะได้รับการเข้าถึงเครือข่ายสำหรับการขอรับบริการ ภายในเวลาที่กำหนด และการเข้าถึงการเชื่อมต่อ (connection accessibility) เป็นศักยภาพของเครือข่ายเพื่อที่จะทำให้ผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจในการเชื่อมต่อกับปลายทางที่ต้องการ

- ประสิทธิภาพการรักษาความสามารถในการให้บริการ (service retainability performance) เป็นความสามารถของบริการที่ได้รับขณะใช้บริการ กล่าวคือประสิทธิภาพการรักษาความสามารถในการให้บริการครอบคลุมถึงการเชื่อมต่อและการยกเลิกการเชื่อมต่อ

นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการให้บริการในแง่ของการควบคุมโดยฝ่ายเทคนิคทางด้านการปรับปรุงคุณภาพของเครือข่าย ยังแบ่งออกเป็นประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล,ความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพการแพร่กระจาย ดังต่อไปนี้

- ประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูล (trafficability performance) ได้อธิบายไว้ในข้อตกลงด้านวิศวกรรมสื่อสาร (traffic engineering) รายละเอียดและมาตรการถูกกล่าวถึงใน ITU-T E.600 โดยจะแสดงในแง่ของการสูญเสียและเวลาล่าช้าเป็นหลัก ซึ่งวิศวกรรมสื่อสารจะทำการการวัด พยากรณ์ วางแผนและตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่าย โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างความเชื่อมั่นด้านประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลของเครือข่ายสำหรับบริการด้านโทรคมนาคม

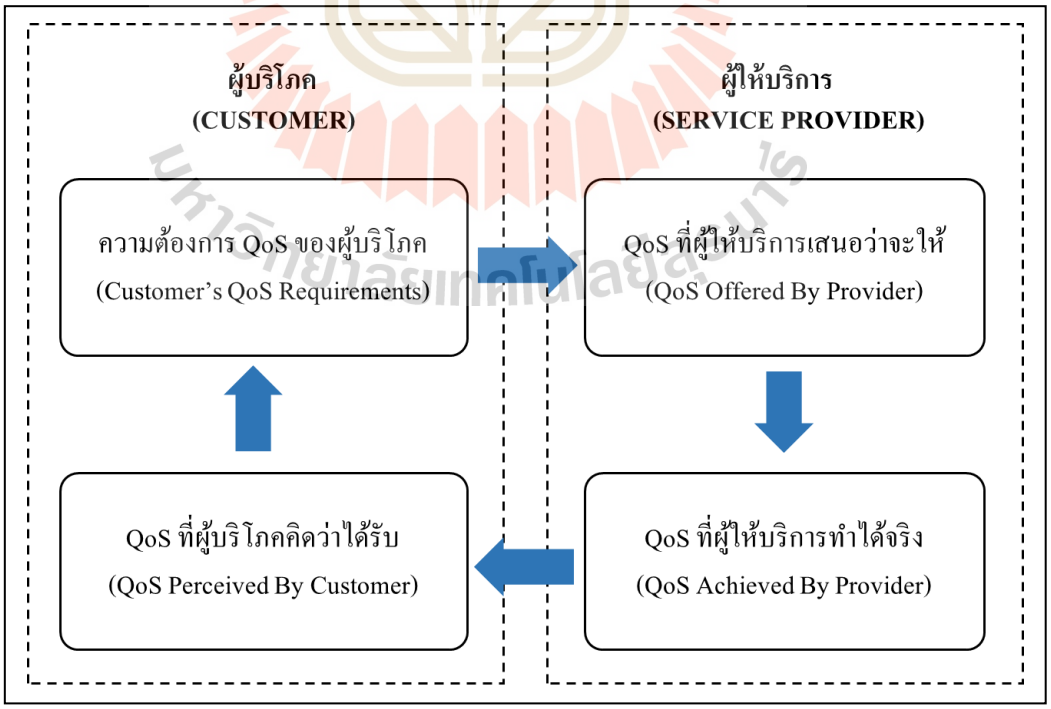
- ความน่าเชื่อถือ (dependability) แสดงแง่มุมของความพร้อมในการให้บริการที่มีความน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน รวมไปถึงความสามารถของอุปกรณ์ในการให้บริการที่อยู่ในสภาพที่ต้องปฏิบัติหน้าที่ตามที่กำหนด เช่น การได้รับข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วน ภายในระยะเวลาที่ควรได้รับ

- ประสิทธิภาพการแพร่กระจาย (propagation performance) หมายถึงความสามารถของสื่อส่งสัญญาณ โดยส่งสัญญาณให้อยู่ภายในความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้ และมีการส่งสัญญาณในพื้นที่ที่ครอบคลุมต่อการขอใช้บริการจากผู้ใช้บริการด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่าย (network performance) และความสนับสนุนการให้บริการจากผู้ให้บริการนั้น เป็นส่วนนึ่งที่สามารถส่งผลต่อคุณภาพของบริการได้ และนอกจากนี้คุณภาพของบริการที่ดีสามารถบ่งบอกได้จากประสบการณ์ในการใช้บริการหรือผลกระทบโดยตรงจากมุมมองของผู้ใช้บริการด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นมุมมองของผู้บริโภคและผู้ให้บริการต่อคุณภาพของบริการ (ITU-T G.1000)

รูปที่ 2.2 แสดงถึงมุมมองของผู้บริโภคและผู้ให้บริการต่อคุณภาพของบริการ ซึ่งในมุมมองของผู้บริโภคประกอบด้วย ความต้องการทางคุณภาพของบริการจากผู้บริโภค (customer's QoS requirements) และคุณภาพของบริการที่ผู้บริโภคคิดว่าได้รับ (QoS perceived by customer) และในมุมมองของผู้ให้บริการประกอบด้วย คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการเสนอว่าจะให้แก่ผู้บริโภค (QoS offered by provider) และคุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการทำได้จริง (QoS achieved by provider) ดังต่อไปนี้

1) ความต้องการทางคุณภาพของบริการของผู้บริโภค (customer's QoS requirements) เป็นระดับของคุณภาพที่ผู้บริโภคต้องการที่จะได้รับจากบริการโดยเฉพาะ ซึ่งอาจแสดงในภาษาที่ไม่ใช่ทางเทคนิค เนื่องจากผู้บริโภคไม่ได้เกี่ยวข้องกับวิธีการบริการทางเทคนิคหรือการออกแบบภายในของเครือข่ายใด ๆ แต่จะสนใจในความมีคุณภาพในการให้บริการแบบ end-to-end หรือกล่าวคือเป็นการเน้นคุณภาพที่ผู้บริโภคได้รับเท่านั้น โดยผู้บริโภคไม่ได้คำนึงว่าระหว่างการรับส่งข้อมูลจะเกิดความผิดพลาดขึ้น แต่ผู้บริโภคจะสนใจเพียงการได้รับข้อมูลที่ต้องการมีความถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ และทันเวลา ซึ่งแต่ละบุคคลจะมีความต้องการเหล่านี้ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่การบริการหรือแอพพลิเคชันที่ใช้บริการด้วย โดยจากมุมมองของผู้บริโภคนั้น คุณภาพของบริการจะแสดงโดยพารามิเตอร์ต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 มุมมองของผู้บริโภคและผู้ให้บริการต่อคุณภาพของบริการ (ITU-T G.1000, 2001)

- ผู้ให้บริการควรมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบที่เกิดกับการรับรู้ของผู้ใช้บริการหรือคำนึงถึงทุกด้านของบริการจากมุมมองของลูกค้ามากกว่าสาเหตุหรือข้อสมมติฐานเกี่ยวกับการออกแบบภายในทางเทคนิคของเครือข่าย

- ผู้ให้บริการควรอธิบายข้อกำหนดที่เกี่ยวกับเครือข่ายและสร้างความเข้าใจด้วยภาษาที่เข้าใจได้ง่าย ไม่ใช่เพียงภาษาทางด้านของเทคนิคในการรักษาประสิทธิภาพของเครือข่าย รวมไปถึงการสร้างความมั่นใจแก่ผู้บริโภคถึงข้อตกลงตามสัญญาที่ทำการตกลงกันไว้

2) คุณภาพของบริการที่ผู้บริโภคคิดว่าได้รับ (QoS perceived by customer) เป็นคุณภาพของบริการผู้บริโภครับรู้หรือก็คือสิ่งที่แสดงถึงคุณภาพของประสบการณ์ของผู้บริโภค โดยปกติการรับรู้คุณภาพของบริการจะแสดงในแง่ของระดับความพึงพอใจและไม่ใช่ทางเทคนิค ซึ่งจะได้รับการประเมินจากการสำรวจความคิดเห็นของผู้บริโภคเกี่ยวกับระดับการให้บริการ คุณภาพของบริการที่รับรู้ได้สามารถช่วยให้ผู้ให้บริการสามารถตรวจสอบความพึงพอใจของลูกค้าเกี่ยวกับคุณภาพการบริการของตนได้ ตัวอย่างเช่นผู้บริโภคอาจระบุจำนวนครั้งที่มีปัญหาในการติดต่อผ่านเครือข่ายเพื่อโทรออก หรืออาจให้ในรูปแบบของคะแนน เพื่อแสดงให้เห็นถึงบริการที่ยอดเยี่ยมหรือแย่ พารามิเตอร์สำคัญที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค (ITU-T Rec. G.1010, 2001) ได้แก่

- การหน่วงเวลา (delay) มีผลโดยตรงต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการได้ สามารถแสดงออกได้หลายทาง เช่น ความล่าช้าของเวลาที่ใช้ในการสร้างบริการโดยเฉพาะจากคำขอของผู้ใช้ครั้งแรกและเวลาที่จะได้รับข้อมูลเฉพาะเมื่อมีการให้บริการแล้ว ซึ่งความล่าช้าอาจขึ้นอยู่กับแอพพลิเคชันที่ใช้งาน อุปกรณ์เครือข่ายและเซิร์ฟเวอร์ใด โปรดทราบว่าจากมุมมองของผู้ใช้การหน่วงเวลายังคำนึงถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เครือข่ายอื่น ๆ ด้วย เช่น ค่าวิสัยสามารถ (throughput)

- การสูญเสียข้อมูล (information loss) มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของข้อมูลที่นำเสนอต่อผู้ใช้บริการไม่ว่าจะเป็นภาพ เสียง วิดีโอหรือข้อมูลก็ตาม การสูญเสียข้อมูลไม่ได้จำกัดเฉพาะผลกระทบจากข้อผิดพลาดบิตหรือการสูญเสียแพ็กเกจในระหว่างการส่ง แต่ยังรวมถึงผลกระทบของการสูญเสียที่เกิดจากการเข้ารหัสสื่อ (media coding) สำหรับการส่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3) คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการเสนอว่าจะให้ (QoS offered by provider) คือการแสดงถึงระดับคุณภาพที่คาดว่าที่จะเสนอขายให้กับผู้บริโภคโดยผู้ให้บริการ โดยระดับคุณภาพของบริการจะแสดงด้วยค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการกำหนด ซึ่งเป็นการแสดงออกถึงการวางแผนและข้อตกลงระดับการให้บริการที่ผู้ให้บริการสามารถทำได้ นอกจากผู้ให้บริการควรเสนอข้อกำหนดคุณภาพของบริการที่ไม่ใช่แค่เพียงด้านเทคนิคเพื่อประโยชน์ต่อผู้บริโภคและยังควรเสนอข้อกำหนดด้านเทคนิคสำหรับการใช้งานภายในธุรกิจ โดยในแต่ละบริการจะมีชุดพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเฉพาะของบริการนั้น ๆ (ITU-T G.1010, 2001) ได้แก่

- การท่องเว็บ (web-browsing) ในหมวดหมู่การท่องเว็บนี้จะอ้างถึงการเรียกดูและดูส่วนประกอบ html ของเว็บไซต์ส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ภาพ เสียงหรือคลิปวิดีโอ จากมุมมองของผู้ใช้ปัจจัยประสิทธิภาพหลักคือความเร็วที่หน้าเว็บปรากฏหลังจากได้รับคำขอแล้ว ความล่าช้าที่ยอมรับได้ไม่ควรเกิน 10 วินาที เป็นต้น

- ข้อมูล (data) จากมุมมองของผู้ใช้ข้อกำหนดที่สำคัญสำหรับแอพพลิเคชันการถ่ายโอนข้อมูล คือการรับประกันว่าข้อมูลที่จะสูญหายไปเป็นศูนย์ ซึ่งในแต่ละแอพพลิเคชันจะถูกจำกัดความแม่นยำความถูกต้องของข้อมูลที่แตกต่างกัน

4) คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการทำได้จริง (QoS achieved by provider) เป็นสิ่งที่ระบุถึงระดับคุณภาพที่ได้รับจริงและส่งมอบให้กับผู้บริโภค ซึ่งแสดงออกโดยค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการจากการใช้บริการจริงตรงกับที่ผู้ให้บริการเสนอไว้ เพื่อเปรียบเทียบและพิจารณาถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงอยู่ในระดับประสิทธิภาพที่สามารถยอมได้รับ และตัวเลขที่แสดงออกถึงประสิทธิภาพเหล่านี้ควรจะสำเร็จในช่วงเวลาที่ระบุไว้ด้วย

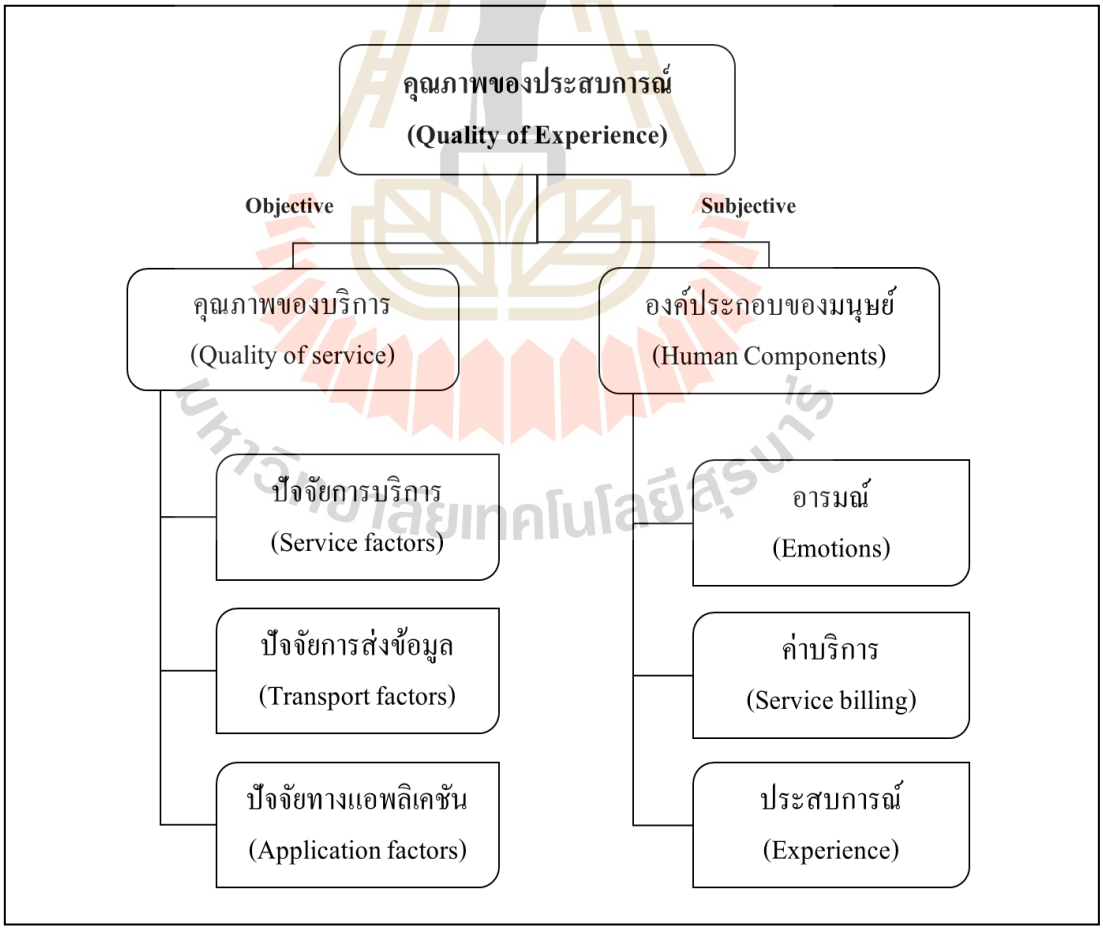
จะเห็นว่า การจะปรับปรุงหรือยกระดับคุณภาพของบริการสามารถแสดงออกได้จากความพึงพอใจของผู้ให้บริการ ซึ่งแนวทางมีหลากหลายรูปแบบแต่ที่นิยมใช้ในการให้ได้มาซึ่งข้อมูลความคิดเห็นหรือความพึงพอใจจากผู้ใช้บริการ ด้วยการสำรวจและการประเมินความต้องการหรือความพึงพอใจจากผู้ให้บริการหรือโดยองค์กรกำกับดูแลหรือหน่วยงานอื่นที่เป็นกลางจากประสบการณ์ของผู้ใช้บริการ (users' experience) ที่มีต่อเครือข่ายโดยตรง

2.2 คุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE)

คุณภาพของประสบการณ์เป็นแนวทางการจัดการคุณภาพการให้บริการของผู้ให้บริการรูปแบบหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานแบบปลายทางถึงปลายทาง (end-to-end) เช่น ผู้ใช้บริการ อุปกรณ์ปลายทาง เครือข่าย โครงสร้างพื้นฐานด้านบริการ ฯลฯ ที่ระดับการให้บริการโดยรวมของระบบจากมุมมองของผู้ใช้ สามารถชี้วัดได้ว่าระบบของเครือข่ายนั้น ๆ ตรงกับความต้องการและความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้ได้หรือไม่ โดยไม่สนใจว่าคุณภาพของบริการจะเป็นอย่างไร (ITU-T G.1080, 2008) ซึ่งค่าของคุณภาพของประสบการณ์นั้นสามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสำเร็จในการให้บริการ และสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแข่งขันทางธุรกิจของผู้ประกอบการด้วย (ITU-T P.10/Amd.1, 2006)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของประสบการณ์ (QoE influencing factors) ประกอบด้วยประเภทและลักษณะของแอพพลิเคชันหรือบริการ บริบทของการใช้งาน ความคาดหวังของผู้ใช้เกี่ยวกับแอพพลิเคชันหรือบริการและการบรรลุเป้าหมายที่ต้องการ ภูมิหลังทางวัฒนธรรมของผู้ใช้

ประเด็นทางสังคมและเศรษฐกิจ ภาวะทางจิตวิทยา สถานะทางอารมณ์ของผู้ใช้ ประสบการณ์ในการใช้งานทั้งในอดีตตลอดจนถึงปัจจุบัน รวมถึงค่าบริการและปัจจัยอื่น ๆ ที่มีแนวโน้มเพิ่มเติมจากงานวิจัย (ITU-T P.10/G.100, 2017) เป็นต้น หรือเรียกทั้งหมดว่าเป็นองค์ประกอบของบุคคลหรือองค์ประกอบของมนุษย์ (human components) ที่มีความคิดเห็นต่อการใช้บริการที่แตกต่างกันออกไป และนอกจากนี้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของประสบการณ์ยังเกิดจากคุณภาพของบริการ (Quality of Service) ด้วย เช่น ปัจจัยทางการบริการที่ผู้ให้บริการมีต่อผู้บริโภค ปัจจัยทางด้านการขนส่งข้อมูลไปยังปลายทางหรือผู้ใช้บริการ ซึ่งเป็นปัจจัยทางด้านเทคนิคในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยผู้ประกอบการ และปัจจัยทางแอพพลิเคชันที่ให้บริการมอบให้แก่ผู้บริโภค ทั้งในรูปแบบที่ทันสมัย สะดวกและง่ายแก่การใช้บริการ ซึ่งปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการนี้ขึ้นอยู่กับผู้ประกอบการเป็นหลัก ที่จะสามารถเข้าถึงความต้องการของผู้ใช้บริการได้มากน้อยเพียงใด จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของประสบการณ์ของผู้ใช้บริการ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของประสบการณ์ (ITU-T G.1080, 2008)

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์กับการวัดประสิทธิภาพคุณภาพของบริการในมาตรฐาน (ITU-T G.1080, 2008) ได้ระบุถึงการคาดการณ์ความสัมพันธ์ไว้ 2 วิธี คือ การวัดค่าคุณภาพของบริการ เพื่อคาดการณ์คุณภาพของประสบการณ์สำหรับผู้ใช้โดยมีสมมติฐานที่เหมาะสม และการตั้งเป้าหมายคุณภาพของประสบการณ์ไว้ เพื่ออนุมานได้ว่าต้องการประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายเป็นไปในทิศทางใดโดยมีสมมติฐานที่เหมาะสม

กระบวนการวัดหรือการประเมินคุณภาพของประสบการณ์สำหรับผู้ใช้แอพพลิเคชันหรือบริการแบ่งออกเป็น 2 วิธีการประเมิน คือการประเมินเชิงอัตนัยหรือการประเมินเชิงอัตวิสัย (subjective assessment) และการประเมินเชิงปรนัยหรือการประเมินเชิงวัตถุวิสัย (objective assessment) ทั้งสองวิธีการมีความแตกต่างกันในด้านการประเมินผล (ITU-T P.800, 1996) ดังต่อไปนี้

1) การประเมินเชิงอัตนัยหรือการประเมินเชิงอัตวิสัย (subjective assessment) เป็นการประเมินเชิงคุณภาพภายในตัวของบุคคลหรือวัตถุโดยการตัดสินใจ (judgment) หรือการให้ลำดับคะแนน (rating) หรือภายใต้เงื่อนไขการทดสอบจากตัวแทนที่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในสภาพการใช้งานจริงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ เนื่องจากการประเมินเชิงอัตวิสัยเป็นการประเมินจากความรู้สึกและความคาดหวังของแต่ละบุคคล ในบางครั้งอาจมีความอคติต่อการประเมินผลเกิดขึ้นได้และแต่ละแนวคิดของความพึงพอใจอาจแตกต่างกันสำหรับกลุ่มผู้ใช้งาน เช่น อาชีพ เชื้อชาติและสถานที่ในการใช้บริการ จึงอาจไม่สะท้อนผลลัพธ์หรือความพึงพอใจได้อย่างแท้จริงในภาพรวม นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการประเมินผลนานและต้นทุนสูง แต่วิธีการนี้เป็นเพียงวิธีการเดียวที่สามารถทำให้ผู้ให้บริการสามารถเข้าถึงความต้องการหรือความพึงพอใจในการใช้บริการของผู้ใช้บริการได้อย่างแท้จริง

ในระบบการสื่อสารทางโทรคมนาคม มีตัวชี้วัดในการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ ที่เรียกว่า คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (Mean Opinion Score: MOS) ซึ่งถูกนิยามไว้ใน (ITU-T P.800, 2016) ว่าเป็น ค่าระดับที่กำหนดไว้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบโทรศัพท์จากความความคิดเห็นของผู้ใช้งาน ถูกแบ่งออกเป็น 5 ระดับคะแนน คือ 5 คะแนน บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายอยู่ในเกณฑ์ดีมาก 4 คะแนน บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายอยู่ในเกณฑ์ดี 3 คะแนน บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายอยู่ในเกณฑ์พอใช้ 2 คะแนน บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายอยู่ในเกณฑ์แย่ และ 1 คะแนน บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่ายอยู่ในเกณฑ์แย่มาก

2) การประเมินเชิงปรนัยหรือการประเมินเชิงวัตถุวิสัย (objective assessment) เป็นการประเมินเชิงปริมาณหรือคุณภาพทางกายภาพของบุคคลหรือวัตถุโดยใช้เครื่องมือเฉพาะ อย่างตรงไปตรงมาโดยไม่เอาความรู้สึกหรืออารมณ์ (sentiment) เข้าไปเกี่ยวข้อง อาจจะประเมินได้จาก

การสังเกตการณ์หรือจากข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมจากความเป็นจริง โดยทั่วไปการประเมินจะออกมาในรูปแบบของเป็นตัวเลขจากกระบวนการทางคณิตศาสตร์หรือทางสถิติ ซึ่งมีข้อดีคือมีความแม่นยำในการประเมินผลมากกว่าการประเมินเชิงอัตวิสัยและสามารถเก็บข้อมูลจากการประเมินผลได้อย่างถาวร ซึ่งการประเมินเชิงวัตถุวิสัยในคุณภาพของประสบการณ์จะเกิดจากการค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANNs)

ทฤษฎีของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยหัวข้อเพิ่มเติม ในส่วนแรกคือความหมายและหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีการอธิบายถึงลักษณะการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะคล้ายการทำงานของระบบประสาทของมนุษย์และการประยุกต์ใช้งานของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่สองเป็นการอธิบายถึงองค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่สามลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่ ส่วนที่สี่เป็นรูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่ห้าคือสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม และในส่วนสุดท้ายเป็นการอธิบายถึงการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

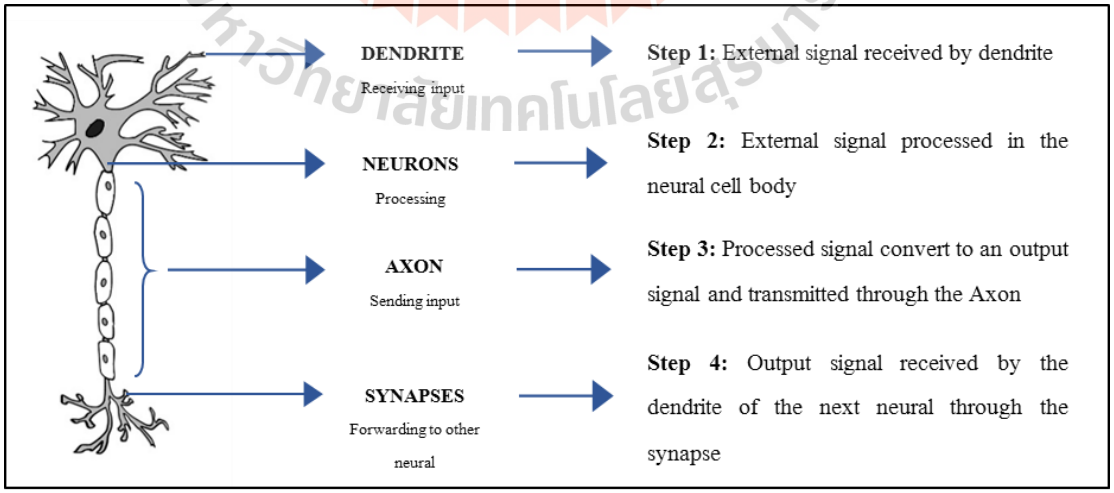
2.3.1 ความหมายและหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า โครงข่ายประสาท (Neural Networks หรือ Neural Net) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์หรือจำลองกลไกที่เกี่ยวข้องกับความคิดมนุษย์ เช่น การตัดสินใจ การแก้ปัญหา การเรียนรู้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้และสั่งการให้คอมพิวเตอร์รู้จักกระบวนการคิดวิเคราะห์แบบมนุษย์ ตลอดจนสามารถเข้าใจภาษาของมนุษย์ได้ หรือเรียกว่า สมองกล โดยสมองมนุษย์นั้นมีหน่วยประมวลผลมากมายเชื่อมโยงกัน จึงช่วยให้สามารถเรียนรู้ คิด วิเคราะห์ประมวลผลต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว แต่ก่อนที่จะทำการประมวลผลเพื่อวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลนั้น สมองจะต้องมีการจดจำรูปแบบของข้อมูลก่อน เพื่อที่จะสามารถแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลได้ ยิ่งเรียนรู้มากก็จะยิ่งสามารถวิเคราะห์และแยกแยะข้อมูลได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากที่การจดจำข้อมูลซ้ำ ๆ จนเกิดความเคยชินและความเข้าใจในข้อมูลหรือรายละเอียดของข้อมูล จึงนำแนวความคิดนี้ไปประยุกต์ใช้กับโครงข่ายประสาทเทียม

ซึ่งสมองมนุษย์มีส่วนประกอบเซลล์ประสาทพื้นฐานที่โครงข่ายประสาทเทียมนำมาจำลองหลักการทำงาน คือ เดนไดรท์ (dendrite) เป็นใยประสาทนำเข้า มีลักษณะบาง ๆ ยื่นออกมาจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่นำกระแสประสาทเข้าสู่เซลล์ประสาท เปรียบเสมือนนำเข้า (input) ของเซลล์ นิวรอน (neurons) เป็นเซลล์ประสาทที่มีจำนวนมหาศาลภายในสมอง ทำหน้าที่ในการ

ประมวลผลต่าง ๆ ไซแนป (synapses) เป็นจุดประสานประสาท ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อโครงข่ายประสาทเข้าด้วยกันด้วยการส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาท แอคซอน (axon) เป็นแกนประสาทซึ่งในสมองจะมีแอคซอนยื่นออกมาจากตัวเซลล์แค่อันเดียว ทำหน้าที่เป็นตัวส่งกระแสประสาทไปจากตัวเซลล์ เปรียบเสมือนส่งออก (output) ของเซลล์ ภาพรวมของการทำงานของระบบประสาทนั้น กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียส ถ้าสัญญาณมีความแรงเกินค่าขีดแบ่ง (threshold) นิวเคลียสก็จะส่งสัญญาณไปยังเซลล์ประสาทอื่นต่อไปผ่านทางแอคซอนและไซแนป ซึ่งส่วนประกอบพื้นฐานและหน้าที่ของเซลล์ประสาทสมองมนุษย์ แสดงในรูปที่ 2.4

หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณในเซลล์ประสาทของสมองมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรวบรวมข้อมูล (knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (learning process) และความรู้เหล่านี้จะถูกจัดเก็บในโครงข่ายประสาทเทียมในรูปของค่าน้ำหนัก (weight) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อมีการเรียนรู้ใหม่ ๆ เกิดขึ้น ค่าน้ำหนักเปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้ใช้ในการแก้ปัญหาของมนุษย์ ในด้านการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม จะเกิดขึ้นที่หน่วยประมวลผลย่อย ซึ่งเรียกว่า โหนด (node) ซึ่งโหนดนั้นเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากการส่งสัญญาณระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน จำลองการเชื่อมต่อกันระหว่างเดรนไดรท์และแอกซอนในระบบประสาทของมนุษย์ ภายในแต่ละโหนดจะมีฟังก์ชันสำหรับกำหนดลักษณะสัญญาณส่งออกที่เรียกว่าฟังก์ชันการกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำหน้าที่เสมือนการทำงานภายในเซลล์ และการสร้างการเชื่อมต่อให้กับโหนดเหล่านั้นให้เป็นโครงข่าย (network) แต่ละโครงข่ายประกอบไปด้วยโหนดที่ถูกจัดแบ่งเป็นชั้น ๆ เรียกว่า ชั้น (layer) ซึ่งแต่ละชั้นจะมีหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบพื้นฐานและหน้าที่ของเซลล์ประสาทสมองมนุษย์

นอกจากนี้ โครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถประยุกต์ใช้ได้กับข้อมูลที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้กับงานหลากหลายแขนง เช่น งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ งานด้านการกลั่นกรองข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลที่ป้อนเข้ามายังโครงข่ายมีความละเอียดมากยิ่งขึ้น งานด้านการเชื่องโยงข้อมูลบนพื้นฐานของข้อมูลที่ป้อนเข้ามายังโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งจากข้อมูลที่มีให้ดูตัวอย่างหรือข้อมูลที่ไม่มีตัวอย่าง งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ งานด้านการสกัดองค์ความรู้ใหม่จากข้อมูลขนาดใหญ่ งานทำนาย เช่นพยากรณ์อากาศหรือสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ พยากรณ์หุ้น งานการจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ตัวอักษร รูปหน้าหรือลักษณะของสิ่งของต่าง ๆ และกระบวนการสร้างความคิดในการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมควบคุมกระบวนการทางเคมีหรือสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ โดยวิธีพยากรณ์แบบจำลอง เป็นต้น

2.3.2 องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม

ส่วนประกอบสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการประมวลผล ดังแสดงในรูปที่ 2.5 มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วนประกอบด้วยกัน รายละเอียดเพิ่มเติมที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระบบเซลล์ประสาทหนึ่งหน่วยของมนุษย์ ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลนำเข้า (input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลขที่จะถูกป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม หากเป็นข้อมูลในเชิงคุณภาพ ต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงปริมาณที่เหมาะสมและโครงข่ายประสาทเทียมยอมรับได้ ถ้าในระบบประสาทของมนุษย์ ข้อมูลนำเข้าเป็นค่าที่ส่งเข้ามาที่นิวรอน โดยจะมีทางที่เข้ามาได้หลายทางขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะสร้างโครงข่าย โดยข้อมูลนำเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมแทนด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ X(n)

2) ค่าน้ำหนัก (weight) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้หาน้ำหนักของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า ว่าข้อมูลนำเข้าใดมีความสัมพันธ์กับข้อมูลนำเข้าอื่นในระดับใด ซึ่งจะทำให้สามารถเชื่อมโยงไปหาข้อสรุปได้ ด้วยการลองผิดลองถูกในความสัมพันธ์แต่ละแบบ และเก็บไว้เป็นแบบแผนหรือรูปแบบ (pattern) ของประสบการณ์เพื่อการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือที่เรียกว่า ค่าความรู้ (knowledge) ซึ่งค่านี้จะถูกใช้ในการจดจำข้อมูลอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน โดยค่าน้ำหนักในโครงข่ายประสาทเทียมแทนด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์คือ W(n)

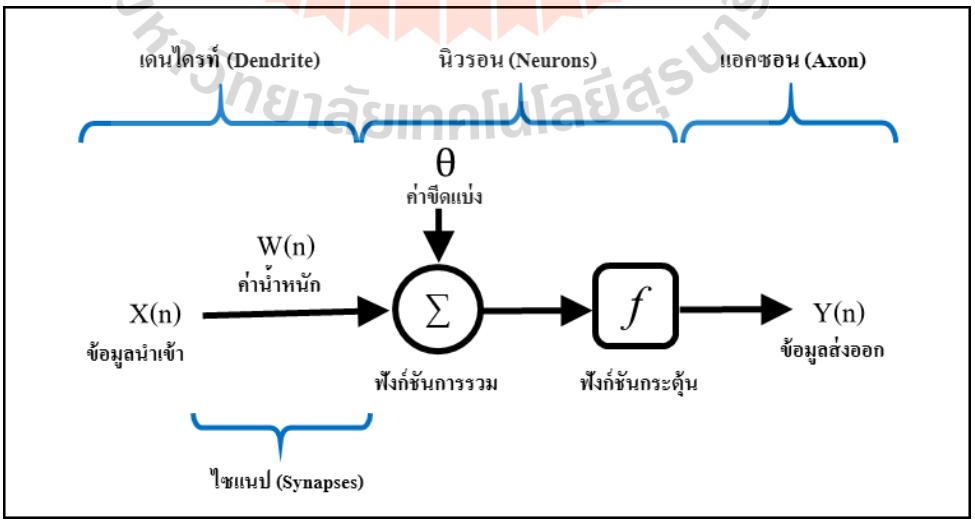
3) ข้อมูลส่งออก (output) เป็นผลลัพธ์ที่เกิดจากขึ้นจากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม จะหมายถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้สัญลักษณ์แทนคำตอบทั้งหมดผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายหนึ่ง แต่สัญลักษณ์จะอยู่ในรูปแบบของตัวเลข ข้อมูล

ส่งออกสามารถเป็นข้อมูลนำเข้า (input) ของอีกโครงข่ายหนึ่งได้ ทั้งนี้ เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าของการตัดสินใจแก้ไขปัญหาอื่น ข้อมูลส่งออก แทนด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ Y(n)

4) ฟังก์ชันการรวม (summation function) เป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่ในการรวมข้อมูลขาเข้ากับค่าน้ำหนักที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละโหนด เพื่อสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า รอการแปลงเป็นสารสนเทศที่มีความหมายต่อไป ซึ่งทำการรวมผลเพื่อเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง (θ) ที่กำหนดขึ้น ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งแล้วจะถูกนำไปคำนวณค่าเพื่อส่งข้อมูลส่งออกไปยังอินพุตของนิวรอนอื่น ๆ ที่เชื่อมกันในโครงข่าย ถ้าค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งก็จะไม่เกิดค่าข้อมูลส่งออก

5) ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) เป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่ในการประสาน (integrate) สารสนเทศที่ผ่านการประมวลผลจากโครงข่ายในชั้นต่าง ๆ แล้วทำการแปลง (transform) ให้กลายเป็นสารสนเทศที่สื่อความหมาย และเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ได้เพื่อส่งออกไปเป็นข้อมูลส่งออก (output) ฟังก์ชันการกระตุ้นมีหลากหลายรูปแบบ เพราะฉะนั้นการเลือกใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นก็ควรเลือกใช้ที่เหมาะสมกับรูปแบบของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออกที่ต้องการ ซึ่งในการเลือกนี้จะส่งผลต่อกระบวนการเรียนรู้และผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมด้วย

ตัวอย่างฟังก์ชันการกระตุ้น เช่น ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) ฟังก์ชันเชิงเส้น (linear function) ฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์ (hyperbolic tangent function) รายละเอียดและประเภทของฟังก์ชันการกระตุ้นต่าง ๆ อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 2.5 องค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม

2.3.3 คุณสมบัติของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นหนึ่งในวิธีการเรียนรู้ในเครื่องการเรียนรู้ (Machine Learning) ที่เป็นที่นิยมในการนำไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายประเภท เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นให้แก่ระบบ เนื่องจากมีคุณสมบัติและความสามารถที่เป็นประโยชน์ ดังต่อไปนี้

1) มีความยืดหยุ่นสูงในการค้นหาผลลัพธ์ จนสามารถจำลองกระบวนการของปัญหาและแก้ปัญหานั้นได้ ไม่ว่าข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมจะอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นหรือรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น รวมไปถึงความแปรปรวนหรือความผันผวนของข้อมูลที่คงที่หรือไม่คงที่ก็ตาม

2) มีความสามารถในการหาความสัมพันธ์หรือประมาณค่าฟังก์ชันระหว่างข้อมูลนำเข้ากับข้อมูลส่งออก ถึงแม้ว่ารูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลจะมีความซับซ้อนหรือเป็นข้อมูลที่ไม่เคยพบเห็นรูปแบบความสัมพันธ์มาก่อน

3) มีความสามารถในการจำลองชุดของคู่ชุดข้อมูลนำเข้ากับข้อมูลส่งออก ที่มีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถจำลองแบบในเชิงความน่าจะเป็นได้ และยังสามารถนำข้อมูลทางสถิติเดิมที่มีอยู่ในระบบมาใช้คาดการณ์หรือพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้

4) มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมหรืองานวิจัย ถึงแม้ว่าตัวอย่างข้อมูลจะมีความผิดพลาดปะปนอยู่ หรือเรียกได้ว่าทนทานต่อค่าความผิดพลาดได้สูง แต่อาจใช้เวลานานในขั้นตอนของการเรียนรู้ ดังนั้นเมื่อมีข้อมูลที่เกิดจากเหตุการณ์ใหม่ๆ เข้าสู่ระบบก็สามารถปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงองค์ความรู้ให้ทันสมัยตามเหตุการณ์ใหม่

5) ค่าความรู้ (ค่าน้ำหนัก) จะกระจายตัวอยู่ทั่วทั้งโครงข่ายประสาทเทียม สามารถทำให้ดำเนินการกับสารสนเทศเชิงอรรถาธิบาย (contextual information) ได้อย่างเป็นธรรมชาติ และการปรับปรุงค่าน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม ยังสามารถช่วยให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับผลที่คาดหวังมากที่สุดด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

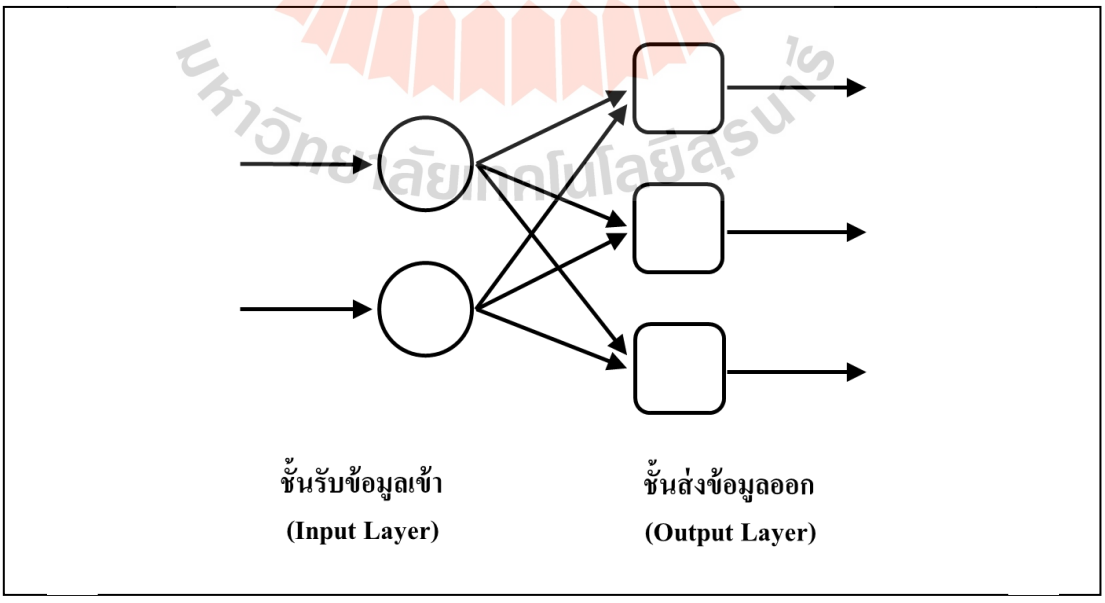
2.3.4 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียมหรือโหนดจำนวนมากเชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เรียกว่า ชั้น (layer) โดยในชั้นแรก เป็นชั้นนำข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม เรียกว่า ชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า (input layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่าชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) เป็นชั้นที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออก เรียกว่า ชั้นแอบแฝง (hidden layer) การทำงานของชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าไม่มีการประมวลผลทำหน้าที่รับสัญญาณเข้าแล้วกระจายออกไปยังแต่ละโหนดในชั้นถัดไปเท่านั้น ในส่วนของชั้นแอบแฝง และชั้นส่งข้อมูลออกนั้นจะมีการ

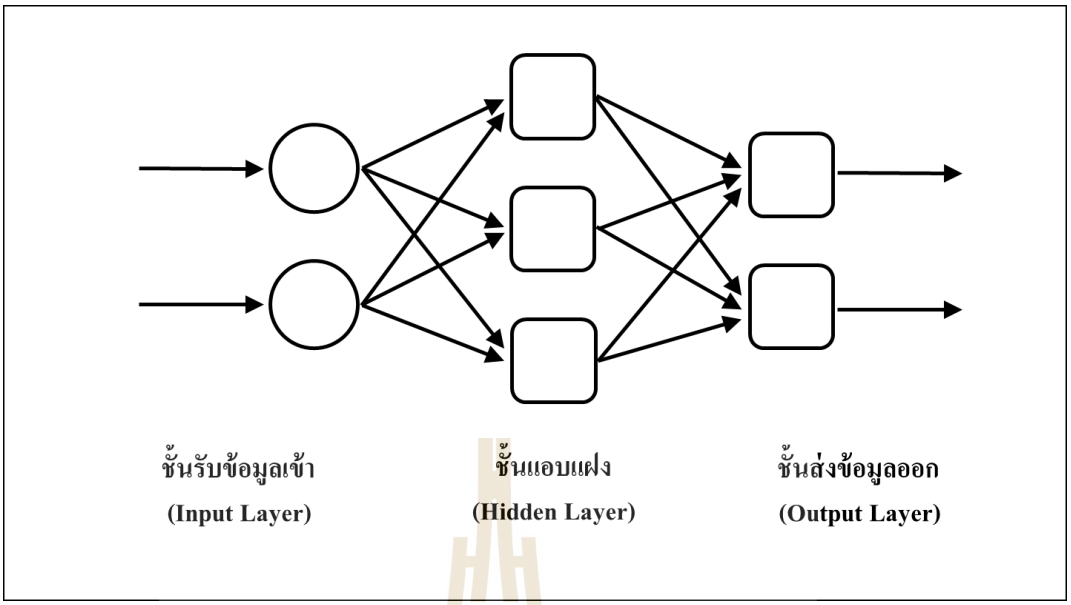
ประมวลผลก่อนกระจายออกไปยังโหนดของชั้นถัดไป ซึ่งโดยทั่วไปชั้นแอบแฝงอาจมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ ได้แก่ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (single layer neural network) และโครงข่ายแบบหลายชั้น (multi-layer neural network) ดังต่อไปนี้

1) โครงข่ายแบบชั้นเดียว (single layer neural network) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่ายที่สุดและเป็นพื้นฐานของการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมแบบอื่น ๆ ประกอบด้วยชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โหนดในชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าทำหน้าที่รับข้อมูลเข้า (input value) แล้วส่งข้อมูลผ่านเส้นเชื่อมโยงต่าง ๆ ไปให้โหนดในชั้นส่งข้อมูลออก ความเข้มของสัญญาณ หรือปริมาณข้อมูลที่นำเข้าสู่โหนดในชั้นส่งข้อมูลออกจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่อยู่บนเส้นเชื่อมโยง หากผลรวมระหว่างข้อมูลนำเข้ากับค่าน้ำหนักของแต่ละโหนด คำนวณได้มากกว่าค่าขีดแบ่ง (threshold) ค่าที่ได้จะเรียกว่า แอกติเวท (activate) มีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าคำนวณได้น้อยกว่า จะเรียกว่า ดีแอกติเวท (deactivate) มีค่าเท่ากับ -1

โหนดในชั้นส่งข้อมูลออกจะนำข้อมูลที่ได้รับมาคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ เรียกว่า ฟังก์ชันการกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ที่เหมาะสมกับปัญหาและรูปแบบของข้อมูลที่ต้องการป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม แล้วส่งผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อมูลส่งออก ตัวอย่างของโครงข่ายแบบชั้นเดียว เช่น โครงข่ายแบบชั้นเดียวแบบเพอเซบตรอนอย่างง่าย (simple perceptron)



รูปที่ 2.6 โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network) (H. Jack, 1991)



รูปที่ 2.7 โครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi Layer Neural Network) (H. Jack, 1991)

2) โครงข่ายแบบหลายชั้น (Multi-Layer Neural Network) โครงข่ายแบบหลายชั้น เป็นโครงข่ายที่มีชั้นนำข้อมูลเข้าและชั้นส่งออกด้วยกันอย่างละ 1 ชั้น และมีชั้นแอบแฝงตั้งแต่ 1 ชั้นขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยโครงข่ายแบบหลายชั้นจะใช้ในกรณีที่ปัญหามีความซับซ้อน ซึ่งโครงข่ายแบบชั้นเดียวไม่สามารถแก้ปัญหาได้ จึงเพิ่มจำนวนโหนดที่มีการคำนวณ หรือชั้นแอบแฝงให้กับโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น ตัวอย่างของโครงข่ายแบบหลายชั้น เช่น เคาน์เตอร์พรอพพาเกชัน (counter propagation) และการแพร่ย้อนกลับ (back propagation)

โครงข่ายแบบหลายชั้นนำมาใช้ในเทคนิคการเรียนรู้หลายแบบ แบบที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมากคือการแพร่ย้อนกลับ (back propagation) ซึ่งค่าของข้อมูลส่งออกจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าของข้อมูลส่งออกที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อกำหนดฟังก์ชันของค่าคาดเคลื่อน เทคนิคการหาค่าคลาดเคลื่อนมีหลากหลายวิธี เช่น การคำนวณค่าวนกลับ ซึ่งจะใช้ค่าคาดเคลื่อน มาปรับค่าน้ำหนักในแต่ละโหนดการเชื่อมโยง เพื่อลดค่าคาดเคลื่อนให้น้อยที่สุด และจะคำนวณซ้ำ ๆ หลายครั้งจนกว่าจะหยุดการเรียนรู้ การหยุดการเรียนรู้จากกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมาเรียกว่าการเรียนรู้ (learned)

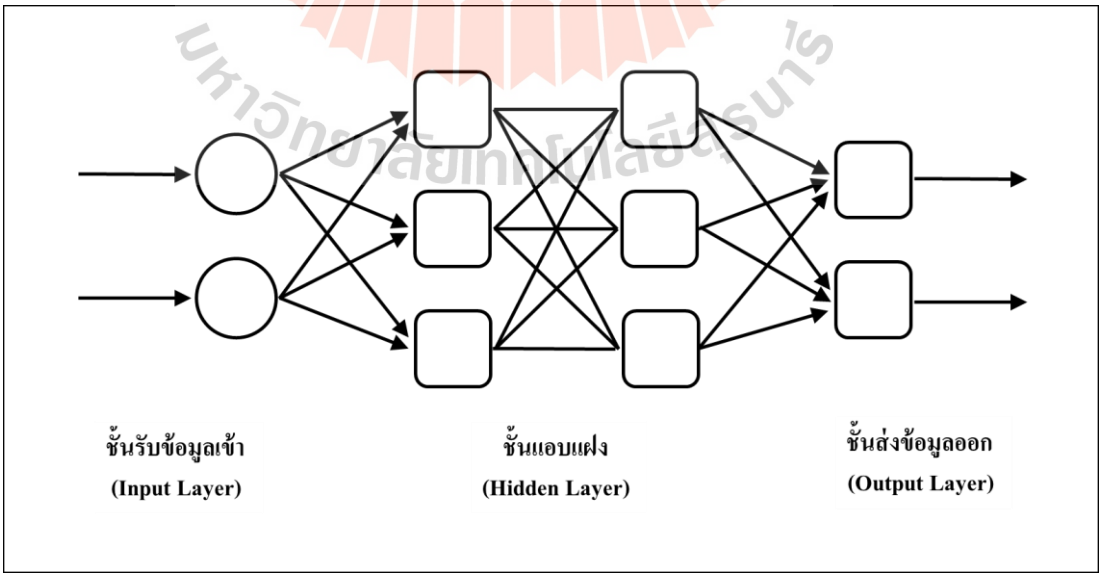
ปัญหาของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลตัวอย่าง โครงข่ายประสาทเทียมจะฉลาดมากขึ้นหากตัวอย่างที่นำมาใช้ในการเรียนรู้มีจำนวนมากขึ้น เพราะการเรียนรู้มากก็จะยิ่งมีประสบการณ์ในการเรียนรู้มากขึ้น ถ้าตัวอย่างมีเพียงเล็กน้อยก็อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาดได้ ซึ่งวิทยาการศึกษาสำนึก เรียกว่าการหยุดก่อนกำหนด (early stopping) ดังนั้น

หากจะให้การเรียนรู้สามารถใช้งานได้ผลดีจะต้องทดสอบกับข้อมูลจริง ๆ และจะต้องเรียนรู้ในเวลาที่เหมาะสมที่จะให้ค่าคาดเคลื่อนต่ำที่สุด ปัจจุบันการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (back propagation) สามารถคำนวณโดยมีหลายชั้นได้ ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่คำนวณออกมาจากโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าที่ถูกต้องมากกว่า

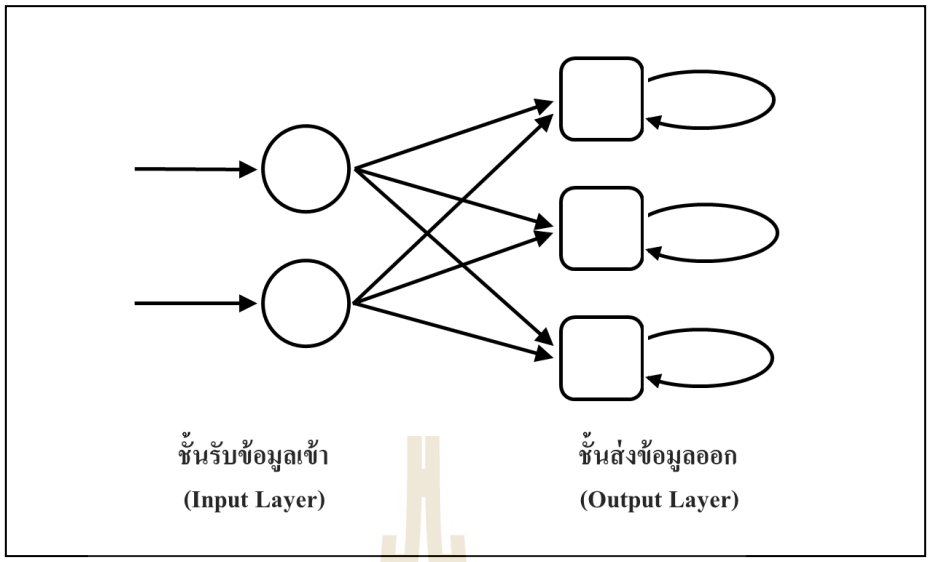
2.3.5 สถาปัตยกรรมพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

สถาปัตยกรรมพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีลักษณะเป็นการประกอบกันของลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม ดังต่อไปนี้

1) แบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward network) ข้อมูลที่ประมวลผลในโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจากชั้นนำเข้าส่งต่อมาเรื่อย ๆ จนถึงชั้นส่งออก โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่โหนด (node) ในชั้นเดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบย่อย คือ แบบมีชั้นของเซลล์ประสาทชั้นเดียว (single layer neural network) และแบบมีชั้นของเซลล์ประสาทหลายชั้น (multi-layer neural network) ซึ่งอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม จำนวนชั้นแอบแฝงจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา แม้ว่าชั้นแอบแฝงจะไม่โต้ตอบโดยตรงกับสภาพแวดล้อมภายนอก แต่ก็มีอิทธิพลอย่างมากต่อผลลัพธ์สุดท้าย จำนวนชั้นแอบแฝงจึงควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยปกติแล้วการเชื่อมโยงจะถูกกำหนดขึ้นระหว่างชั้นที่ติดกัน



รูปที่ 2.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward Network)



รูปที่ 2.9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (feedback network)

2) แบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (feedback network) เป็นการคำนวณโครงข่ายประสาทเทียมชั้นสูง ซึ่งมีวิธีการคิดที่ยุ่งยากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า ข้อมูลที่ประมวลผลในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการเชื่อมโยงที่ถูกกำหนดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาทเทียมในชั้นหนึ่ง ๆ ย้อนกลับไปยังชั้นอื่น ๆ ก่อนหน้านั้น หรือแม้แต่ภายในชั้นเดียวกันเอง จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังโครงข่ายประสาทเทียมหลาย ๆ ครั้งจนกระทั่งได้คำตอบออกมาบางทีเรียกว่า recurrent network การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ สามารถแก้ปัญหาที่ต้องการรูปแบบ โดยการป้อนรูปแบบเข้าไป โครงข่ายประสาทเทียมจะให้รูปแบบผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกัน (Dayhoff, 1990) ดังแสดงในรูปที่ 2.9

การเรียนรู้แบบป้อนไปเวียนกลับเป็นวิธีการหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียมที่ง่ายต่อการเข้าใจ เนื่องจากกระบวนการเรียนรู้ และปรับปรุงแก้ไขนั้นเป็นไปด้วยตนเองถ้าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ผิดพลาดไปจากค่าที่ระบบต้องการ ค่าน้ำหนักจะถูกปรับจนกว่าค่าความผิดพลาดจะน้อยลง หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ระบบสามารถยอมรับได้ นั่นคือ ค่าที่ได้ในครั้งถัดไปจะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนไปเวียนกลับ

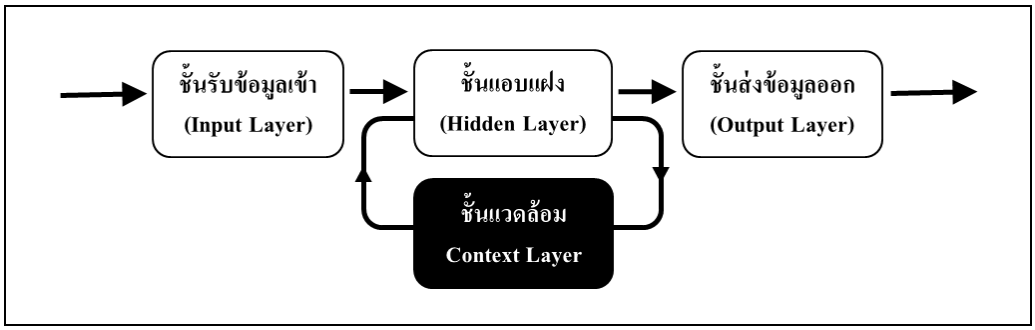
ตัวอย่างสถาปัตยกรรมแบบมีการป้อนไปเวียนกลับ เช่น โครงข่ายประสาททวนซ้ำแบบอย่างง่าย (Simple Recurrent Network : SRN) มีหลายแบบแตกต่างกัน บางครั้งเรียกว่าโครงข่ายเอลแมน (Elman network) ซึ่งจะเป็นโครงข่ายที่มีสามขั้นและจะมีชั้นของหน่วยแวดล้อม (context layer) เพิ่มขึ้นมาชั้นหนึ่ง แต่ละรอบของการคำนวณ ค่าของข้อมูลนำเข้าใหม่จะถูกส่งไปคำนวณที่โครงข่ายประสาททวนซ้ำ ซึ่งค่าที่อยู่ภายในชั้นซ่อนทุกหน่วยจะถูกส่งไปยังชั้นของหน่วย

แวดล้อม และจะถูกส่งกลับมายังชั้นซ่อนในการคำนวณครั้งต่อไป เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในการจำแนกประเภทของข้อมูล (classification) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

2.3.6 รูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เป็นกระบวนการจัดการกับข้อมูลที่ได้รับรู้หรือถูกป้อนเข้ามาอย่างต่อเนื่องยังระบบประสาท เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามความเข้าใจ แต่ถ้าไม่รู้จักข้อมูลที่ได้รับเข้ามา ก็จะทำการปรับความเข้าใจเพื่อที่จะสามารถจัดการกับข้อมูลในรูปแบบใหม่ที่เข้ามาได้ โดยข้อมูลที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้จะถูกนำไปทดสอบความถูกต้องเป็นลำดับต่อไป ซึ่งรูปแบบของการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนและการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Hagan Demuth and Beale, 1996) ซึ่งในแต่ละรูปแบบการเรียนรู้มีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

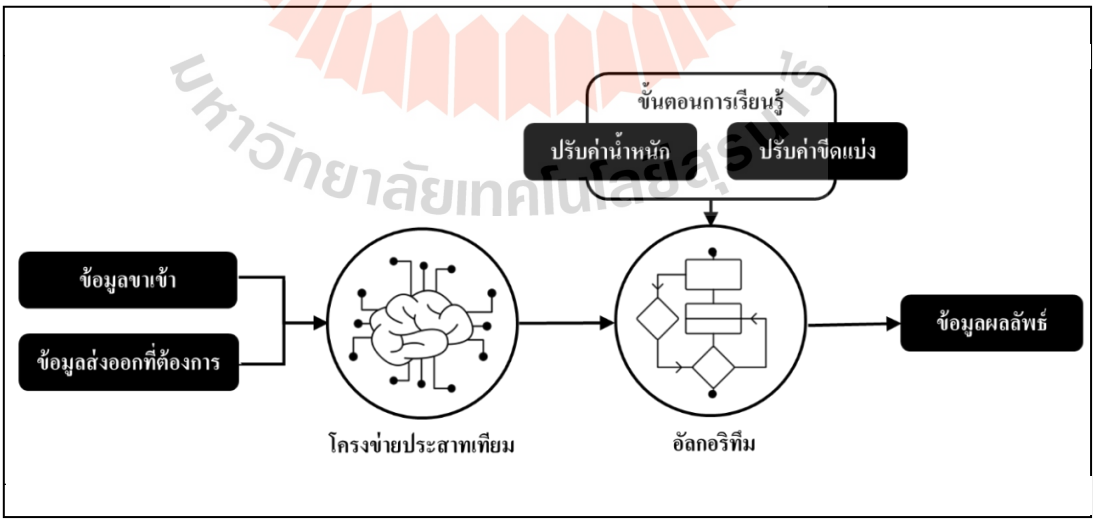
1) การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) เป็นการเรียนรู้ในรูปแบบที่โครงข่ายประสาทเทียมที่มีวิธีสร้างฟังก์ชันเพื่อเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลนำเข้ากับผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยจะได้รับการฝึกฝนและเรียนรู้จากตัวอย่างชุดข้อมูล ทั้งข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งออกที่ต้องการด้วยการป้อนข้อมูลนำเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้มีการประมวลผลออกมาเป็นข้อมูลส่งออกที่ตรงกับตัวอย่างชุดข้อมูล จากนั้นจะนำข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเรียกว่า ผลลัพธ์เป้าหมาย (target response) มาเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดตัวอย่างหรือเรียกว่าเป็นการตรวจคำตอบ ถ้ามีผลลัพธ์ความแตกต่างกันหรือเรียกว่ามีความคลาดเคลื่อน (error) เกิดขึ้น โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการเรียนรู้ใหม่เพื่อให้ผลลัพธ์ทั้งสองมีค่าตรงกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ด้วยการคำนวณและปรับปรุงค่าน้ำหนักในโครงข่ายประสาทเทียมซ้ำ ๆ (recurrent) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนลงให้เหลือน้อยที่สุดหรือให้ความคลาดเคลื่อนนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ โดยรูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอนแสดงในรูปที่ 2.11



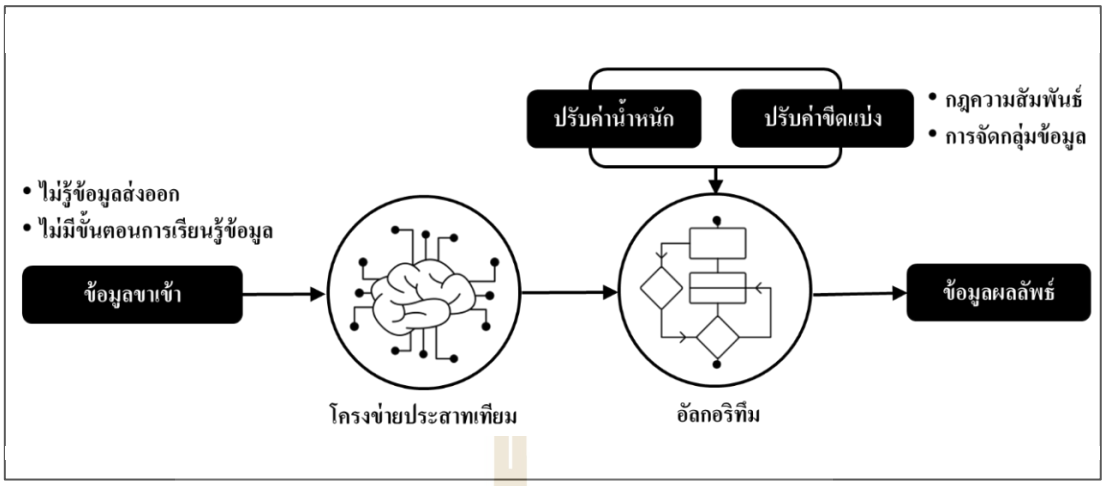
รูปที่ 2.10 โครงข่ายประสาททวนซ้ำแบบอย่างง่าย (Simple Recurrent Network : SRN)

2) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) เป็นการเรียนรู้ในรูปแบบที่แตกต่างจากการเรียนรู้แบบมีผู้สอน คือจะไม่มีการระบุตัวอย่างข้อมูลส่งออกที่ต้องการ เพราะฉะนั้นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนจะพิจารณาเพียงข้อมูลนำเข้าที่ป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม แล้วประมวลผลด้วยการแยกแยะความหนาแน่นของข้อมูลด้วยเทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์ (association rule) และการจัดกลุ่มรูปแบบต่าง ๆ (clustering) โดยการระบุกลุ่มของข้อมูลนำเข้าที่ป้อนเข้าไปบนพื้นฐานของความเหมือนและความแตกต่าง จะอ้างอิงกับวิธีการจัดกลุ่มซึ่งได้เรียนรู้จากข้อมูลที่โครงข่ายเคยเรียนรู้มา การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนแสดงในรูปที่ 2.12

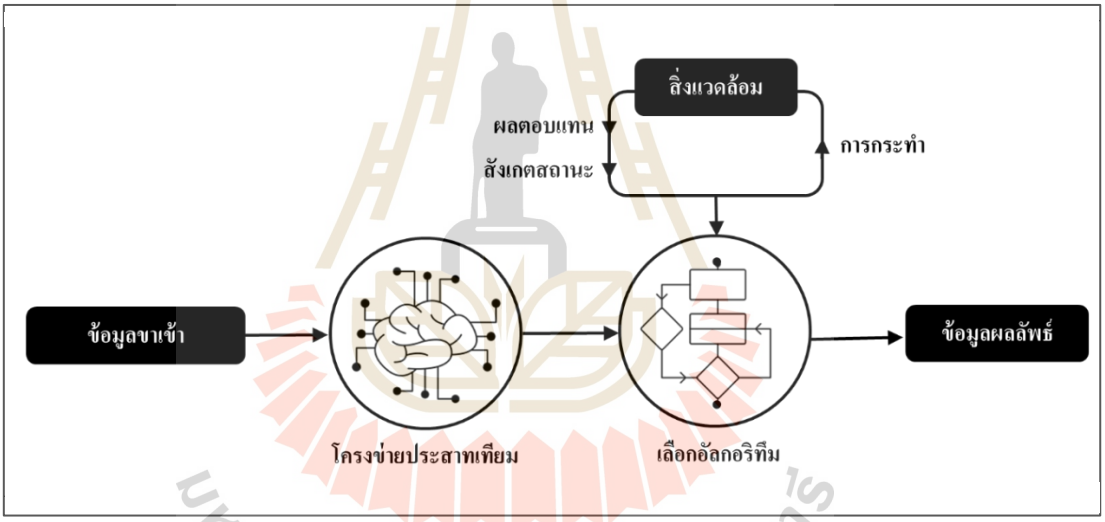
3) การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (reinforcement learning) เป็นการเรียนรู้ที่มีลักษณะคล้ายกับการเรียนรู้แบบมีผู้สอน แต่มีความแตกต่างกันคือในด้านของการเรียนรู้แบบเสริมกำลังจะเรียนรู้จากข้อมูลนำเข้าที่ถูกป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียมและจากสิ่งแวดล้อมรอบตัวตามที่ที่สังเกตได้ แต่ผลลัพธ์ขาออกจะถูกแบ่งออกตามคะแนน (score) หรือระดับ (grade) ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของการแบ่งหมวดหมู่แต่การเรียนรู้แบบมีผู้สอนจะเป็นที่นิยมใช้มากกว่าการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง เนื่องจากมีวิธีการเรียนรู้ที่ซับซ้อนน้อยกว่า จึงทำให้ใช้เวลาในการเรียนรู้น้อยกว่าด้วย โดยการเรียนรู้แบบการเรียนรู้แบบเสริมกำลังจะเหมาะสมที่จะใช้งานกับระบบขนาดใหญ่ ซึ่งอาจจะประกอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมจำนวนมากทำงานร่วมกัน ตัวอย่างวิธีการเรียนรู้แบบเสริมกำลังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11 การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning)



รูปที่ 2.12 การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning)



รูปที่ 2.13 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (reinforcement learning)

2.3.7 ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมจะมีขั้นตอนของการเรียนรู้ เพื่อที่จะสรุปข้อมูลส่งออก โดยมีวิธีการคำนวณหลากหลายกระบวนการ เช่น การเลือกใช้งานฟังก์ชันการถ่ายโอน การเลือกรูปแบบของการเรียนรู้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเรียนรู้และการหยุดเรียนรู้ ทุกขั้นตอนต่างมีความสำคัญต่อระบบโครงข่าย และมีผลต่อข้อมูลส่งออก รวมไปถึงประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการเรียนรู้ของสถาปัตยกรรมโครงข่ายแบบแบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward network)

1) ฟังก์ชันการรวม (summation function) เป็นการนำข้อมูลชั้นนำเข้าเข้าสู่โครงข่ายคูณกับค่าน้ำหนัก (weight) และรวมผลเพื่อเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่ง (threshold) ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งแล้วจะถูกนำไปคำนวณค่าฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อส่งเอาต์พุตออกไปยังชั้นถัดไป ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$x_j(p) = \sum_{i=1}^{p} x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \qquad (2.1)$$

$$x_k(p) = \sum_{j=1}^{p} x_j(p) \times w_{jk}(p) - \theta_k \qquad (2.2)$$

เมื่อ x_j คือ ผลรวมที่ได้จากการประมวลผลชั้นแอบแฝง

x_k คือ ผลรวมที่ได้จากการประมวลผลชั้นส่งออก

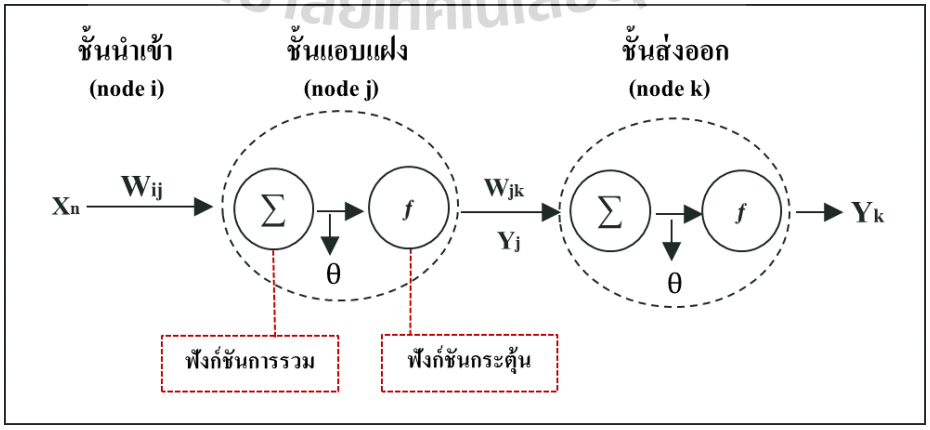
x_i คือ อินพุตตัวที่ i

w คือ ค่าถ่วงน้ำหนักตัว

θ คือ ค่าขีดแบ่ง

p คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2) ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) ในรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป การทำงานของฟังก์ชันการกระตุ้นจะอยู่ที่ชั้นแอบ-แฝง ในการกำหนดฟังก์ชันเพื่อประมวลผลจะขึ้นอยู่กับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการว่าอยู่ในรูปแบบใด ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ฟังก์ชันการถ่ายโอนเชิงเส้น (linear transfer function) และฟังก์ชันการถ่ายโอนไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear transfer function)

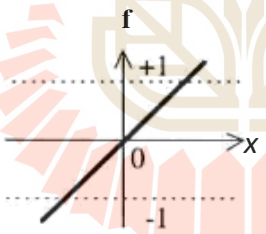
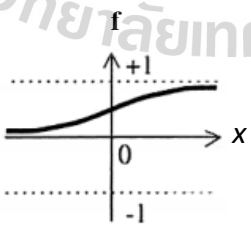
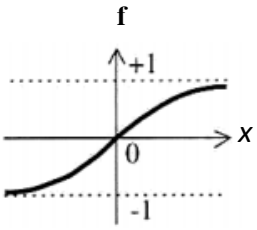


รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

(1) ฟังก์ชันการถ่ายโอนเชิงเส้น (linear transfer function) มีการเรียนรู้เพียงความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นระหว่างข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าและข้อมูลส่งออก เพราะฉะนั้นในบางกรณีที่ข้อมูลที่ได้รับมาไม่อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเส้นจึงไม่สามารถประมวลผลเพื่อหาคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียมได้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนเชิงเส้นสามารถเขียนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

(2) ฟังก์ชันการถ่ายโอนไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear transfer function) ประกอบด้วยฟังก์ชัน 2 ชนิดคือ ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) และฟังก์ชันไฮเปอร์โบลิกแทนเจนต์ (hyperbolic tangent function) เป็นฟังก์ชันที่ไม่จำกัดข้อมูลนำเข้าแต่จะจำกัดข้อมูลส่งออกให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชันซิกมอยด์ แต่ต่างกันตรงที่จำกัดข้อมูลส่งออกให้อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ทั้งสองสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เป็นตารางแสดงชนิดของฟังก์ชันกระตุ้น

ตารางที่ 2.1 ชนิดของฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)

ฟังก์ชัน	**ลักษณะของฟังก์ชัน**	**สมการของฟังก์ชัน**	**ขอบเขตของฟังก์ชัน**
Linear Function		$f(x) = x$	$[-\infty,\infty]$
Sigmoid Function		$f(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})}$	[0,1]
Hyperbolic Tangent Function		$f(x) = \frac{1 - e^{-x}}{1 + e^{-x}}$	[-1,1]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) การหาค่าความผิดพลาดและปรับค่าถ่วงน้ำหนัก ทำได้โดยการนำค่าข้อมูลส่งออกจากชั้นเอาต์พุตมาเทียบกับข้อมูลผลลัพธ์ที่กำหนดไว้ (รูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอน) ซึ่งถ้าค่าผิดพลาดน้อยกว่าค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ จะถูกนำเข้ากระบวนการปรับถ่วงน้ำหนักซ้ำ ๆ จนกว่าค่าความผิดพลาดจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่ถ้าค่าความผิดพลาดมีค่าเกินค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ค่าข้อมูลส่งออกจะถูกแสดงออกที่ผลลัพธ์สุดท้ายหรือที่ชั้นส่งออก ค่าความผิดพลาดของข้อมูลแสดงในสมการที่ (2.3)

$$e_k(p) = t_k(p) - y_k(p) \tag{2.3}$$

เมื่อ y_k คือ ค่าผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออก

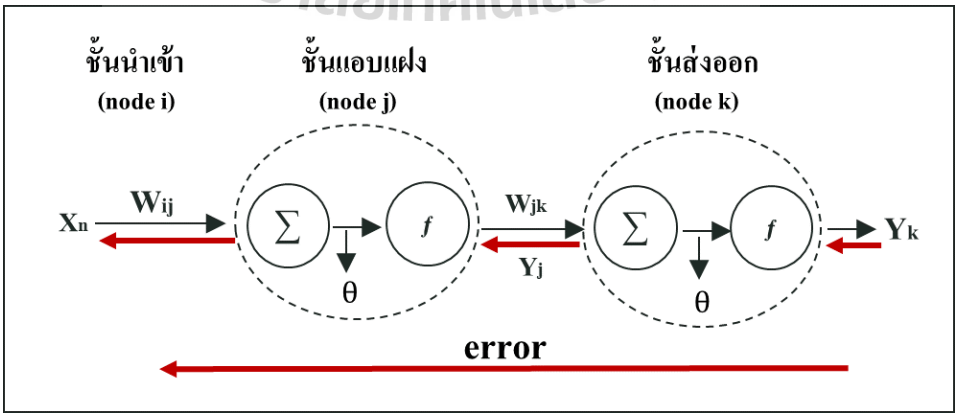
t_k คือ ค่าผลลัพธ์เป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้

e_k คือ ค่าความผิดพลาด

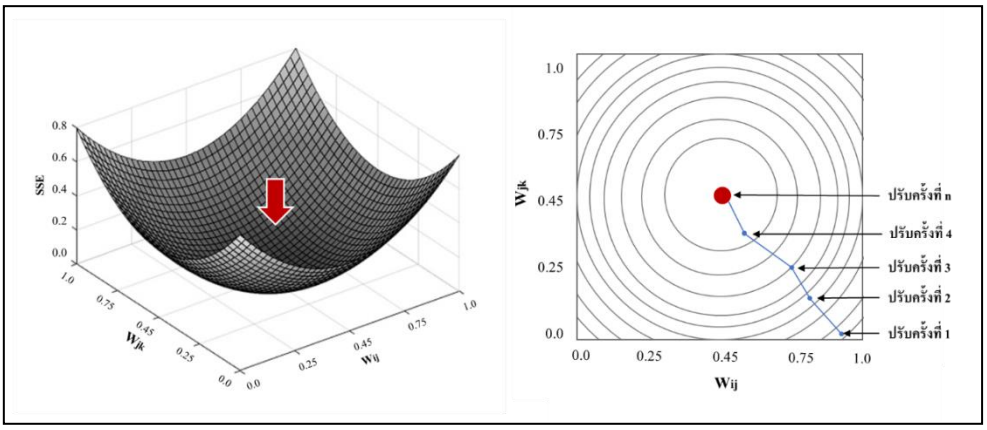
ถ้าค่าผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกแตกต่างจากค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้มีความแตกต่างกันจะถูกนำเข้าสู่ “กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (back propagation) ” เพื่อแก้ไขความผิดพลาดที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างค่าผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกและค่าเป้าหมายให้ได้มากที่สุด โดยการปรับค่าน้ำหนักย้อนกลับจากชั้นส่งออกมายังชั้นแอบแฝงและชั้นนำเข้าตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 เพื่อให้พื้นผิวความผิดพลาด (error surface) เข้าสู่จุดต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.16

(1) คำนวณการปรับค่าน้ำหนักในชั้นส่งออกสู่ชั้นแอบแฝง

$$\Delta w_{jk}(p) = \alpha \times y_j(p) \times \delta_k(p) \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.15 กระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Rumelhart And Mcclelland, 1986)



รูปที่ 2.16 การปรับค่าน้ำหนักเพื่อให้พื้นผิวความผิดพลาด (error surface) เข้าสู่จุดต่ำสุด

คำนวณค่าอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (error gradient) ของชั้นส่งออกที่โหนด k

$$\delta_k(p) = y_k(p)\times[1-y_k(p)]\times e_k(p) \tag{2.5}$$

คำนวณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสะสม

$$w_{jk}(p+1)=w_{jk}(p)+\Delta w_{jk}(p) \tag{2.6}$$

(2) คำนวณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในชั้นแอบแฝง

$$\Delta w_{ij}(p)=\alpha\times x_i(p)\times\delta_j(p) \tag{2.7}$$

คำนวณค่าความผิดพลาด (error gradient) ของชั้นแอบแฝงที่โหนด j

$$\delta_j(p)=y_j(p)\times\left[1-y_j(p)\right]\times\sum_{k=1}^{l}\delta_k(p)w_{jk}(p) \tag{2.8}$$

คำนวณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสะสม

$$w_{ij}(p+1)=w_{ij}(p)+\Delta w_{ij}(p) \tag{2.9}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ความสัมพันธ์ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก w_{ij} และ w_{jk} จากสมการที่ (2.4) – (2.9) เพื่อลดข้อผิดพลาดโดยรวมของโครงข่ายประสาทเทียมจากวิธีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) คือ การเคลื่อนลงตามความชัน (gradient descent) การเปลี่ยนแปลงของค่าถ่วงน้ำหนักแปรผันตรงกับอนุพันธ์ของค่าผิดพลาดเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนัก ดังสมการที่ (2.10)

$$\Delta W \alpha - \frac{\partial E}{\partial W}$$

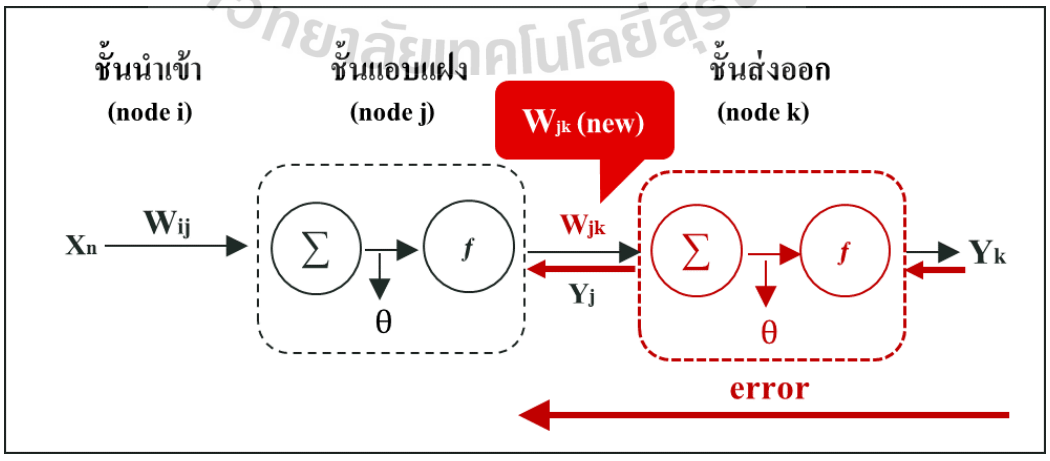
$$\Delta W = - \varepsilon \frac{\partial E}{\partial W} \qquad (2.10)$$

ที่มาของกระบวนการเรียนรู้ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight learning) ในการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายชั้นส่งออกกับชั้นแอบแฝง w_{jk} แสดงในรูปที่ 2.17 ดังนี้

$$\Delta w_{jk} \alpha - \frac{\partial E}{\partial w_{jk}}$$

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากกฎลูกโซ่ (chain rule) ดังสมการ (2.11)

$$\Delta w_{jk} = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial y_k} \frac{\partial y_k}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial w_{jk}} \qquad (2.11)$$



รูปที่ 2.17 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นส่งออกไปยังชั้นแอบแฝง

โดยการอนุพันธ์ค่าความผิดพลาดการสอน ($E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}(t_k - y_k)^2$) เทียบกับค่าส่งออก $\frac{\partial E}{\partial y_k}$ จะได้

$$\frac{\partial E}{\partial y_k} = \frac{\partial(\frac{1}{2}(t_k - y_k)^2)}{\partial y_k} = -(t_k - y_k) = -e_k \qquad (2.12)$$

ซึ่งการอนุพันธ์ฟังก์ชันกระตุ้นเทียบกับผลรวมที่ชั้นส่งออก $\frac{\partial y_k}{\partial net_k}$ จะได้

$$\frac{\partial y_k}{\partial net_k} = \frac{\partial(1+e^{-net_k})^{-1}}{\partial net_k} = \frac{e^{-net_k}}{(1+e^{-net_k})^2} \qquad (2.13)$$

เมื่อ $y_k = \frac{1}{(1+e^{-net_k})}$ มาจากฟังก์ชันซิกมอยด์ ที่ใช้ในการตัดสินใจจะได้ว่า

$$\frac{\partial y_k}{\partial net_k} = y_k(1-y_k) \qquad (2.14)$$

การอนุพันธ์ผลรวมชั้นส่งออกเทียบกับค่าถ่วงน้ำหนักที่ชั้นส่งออกสู่ชั้นแอบแฝง $\frac{\partial net_k}{\partial w_{jk}}$ จะได้

$$\frac{\partial net_k}{\partial w_{jk}} = \frac{\partial(y_j w_{jk} - \theta_k)}{\partial w_{jk}} = y_j \qquad (2.15)$$

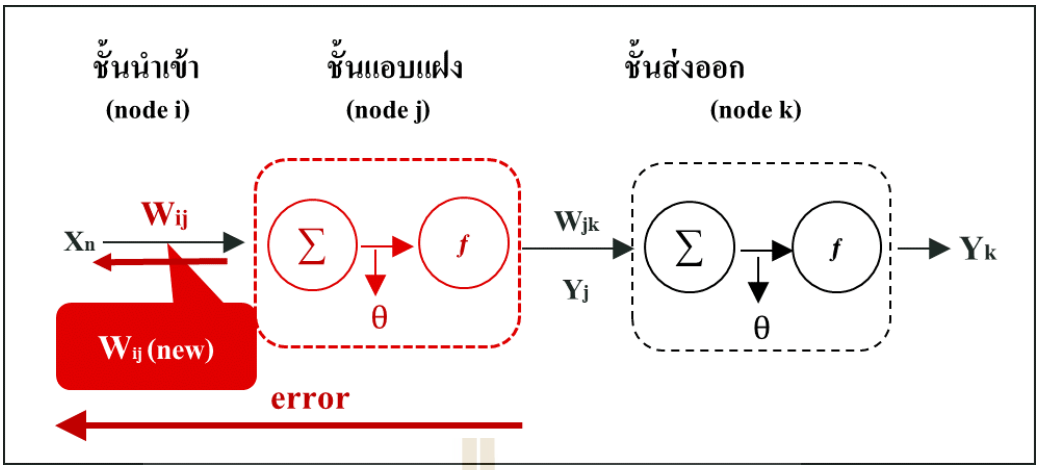
เพราะฉะนั้น ค่าควบคุมปริมาณการปรับน้ำหนักสะสมระหว่างชั้นส่งออกและชั้นแอบแฝง จะได้ว่า

$$\Delta w_{jk} = -\varepsilon[-e_k][y_k(1-y_k)][y_j] = \varepsilon \overbrace{e_k y_k(1-y_k)}^{\delta_k} y_j \qquad (2.16)$$

โดยสมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นส่งออกที่เชื่อมต่อกับชั้นแอบแฝงจะได้ว่า

$$\Delta w_{jk} = \varepsilon \delta_k y_j \qquad (2.17)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.18 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นแอบแฝงไปยังชั้นนำเข้า

ซึ่งค่าน้ำหนักใหม่ที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นส่งออกกับชั้นแอบแฝงจะได้ว่า

$$w_{jk}(p+1)=w_{jk}(p)+\Delta w_{jk}(p) \tag{2.18}$$

ที่มาของกระบวนการเรียนรู้ค่าถ่วงน้ำหนัก ในการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่าง โครงข่ายชั้นส่งออกกับชั้นแอบแฝง w_{ij} ดังแสดงในรูปที่ 2.18

$$\Delta w_{ij}\alpha-\left[\sum_{k}\frac{\partial E}{\partial y_k}\frac{\partial y_k}{\partial net_k}\frac{\partial net_k}{\partial y_j}\right]\frac{\partial y_j}{\partial net_j}\frac{\partial net_j}{\partial w_{ij}} \tag{2.19}$$

เพราะฉะนั้น ค่าควบคุมปริมาณการปรับน้ำหนักสะสมระหว่างชั้นแอบแฝงสู่ชั้นนำเข้า จะเท่ากับ

$$\Delta w_{ij}=\varepsilon\left[\sum_{k}\overbrace{e_k y_k(1-y_k)}^{\delta_k} w_{jk}\right] y_j(1-y_j)x_i \tag{2.20}$$

$$\Delta w_{ij}=\varepsilon\overbrace{\left[\sum_{k}\delta_k w_{jk}\right]}^{\delta_j} y_j(1-y_j)x_i \tag{2.21}$$

โดยสมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นแอบแฝงที่เชื่อมต่อกับชั้นนำเข้า จะได้ว่า

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon \delta_j x_i \tag{2.22}$$

ซึ่งค่าน้ำหนักใหม่ที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นแอบแฝงกับชั้นนำเข้า จะได้ว่า

$$w_{ij}(p+1) = w_{ij}(p) + \triangle w_{ij}(p) \tag{2.23}$$

เมื่อ $w_{jk}(p+1)$ คือ ค่าน้ำหนักของชั้นส่งออกที่ปรับปรุงใหม่

$w_{ij}(p+1)$ คือ ค่าน้ำหนักของชั้นแอบแฝงที่ปรับปรุงใหม่

$\Delta w_{jk}(p)$ คือ ค่าควบคุมปริมาณการปรับน้ำหนักสะสม (weight correction) ระหว่างชั้นส่งออกและชั้นแอบแฝง

$\Delta w_{ij}(p)$ คือ ค่าควบคุมปริมาณการปรับน้ำหนักสะสม (weight correction)ระหว่างชั้นแอบแฝงและชั้นนำเข้า

$w_{jk}(p)$ คือ ค่าน้ำหนักเดิมระหว่างชั้นส่งออกและชั้นแอบแฝง

$w_{ij}(p)$ คือ ค่าน้ำหนักเดิมระหว่างชั้นแอบแฝงและชั้นนำเข้า

$\delta_k(p)$ คือ ค่าความผิดพลาดของชั้นส่งออก ที่โหนด k (error gradient)

$\delta_j(p)$ คือ ค่าความผิดพลาดของชั้นแอบแฝง ที่โหนด j (error gradient)

$e_k(p)$ คือ ค่าความผิดพลาดระหว่างผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกกับเป้าหมาย

α คือ อัตราการเรียนรู้

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย จะทำซ้ำจนกว่า จะไม่เกิดการผิดพลาดเลย หรือผลรวมความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Sum of Square Error : SSE) ยิ่ง SSE มีค่าน้อยเท่าไรก็หมายความว่าความผิดพลาดในการหาคำตอบของผลลัพธ์สุดท้ายก็ยิ่งน้อยตามไปด้วย ซึ่งแต่ละรอบของการปรับค่าลงลดจนกว่าจะยอมรับได้ จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำซ้ำ (recurrent)

$$SSE = \sum_{p=1}^{P} \sum_{k=1}^{5} (e_k(p))^2 \tag{2.24}$$

ข้อดีของการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (back propagation) คือ ในขณะที่เรียนรู้นั้น จะสามารถจดจำรูปแบบและความสัมพันธ์ของรูปแบบได้มาก เนื่องจากมีการเรียนรู้จากตัวอย่างหรือผลลัพธ์เป้าหมาย นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นในการออกแบบโครงข่าย เช่น การออกแบบจำนวนโหนด การออกแบบจำนวนชั้น ด้วยการยืดหยุ่นนี้จึงทำให้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับสามารถแก้ปัญหางานได้ตรงจุดและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ได้อีกมากมาย ส่วนข้อเสียของการเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ คือใช้เวลาในการเรียนรู้โครงข่ายที่ค่อนข้างนาน (Dayhoff, 1990)

2.4 ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า การสร้างความเชื่อมั่นในการใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แก่ผู้ใช้บริการให้สอดคล้องกับการรักษาประสิทธิภาพที่ดีของเครือข่ายนั้น สามารถทำได้ด้วยวิธีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการเครือข่ายและประสบการณ์ที่ดีจากผู้ใช้บริการ เพื่อนำความสัมพันธ์นี้ไปปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างแท้จริง ส่วนมากในงานวิจัยทางด้านคุณภาพของเครือข่ายจึงมักนิยมนำอัลกอริทึมของการเรียนรู้หรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่อที่จะเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจในประสบการณ์ของผู้ใช้บริการกับคุณภาพของบริการ ดังตัวอย่างเช่น

การศึกษาคุณภาพของบริการบนพื้นฐานของวิธีการการประเมินคุณภาพของประสบการณ์โดยใช้สมการถดถอยในการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและการประเมินผลคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการวิดีโอที่มีเนื้อหาวิดีโอที่แตกต่างกันคือวิดีโอกีฬาและข่าวสาร พารามิเตอร์คุณภาพของบริการประกอบด้วย ค่าการหน่วงเวลา (delay) ความแปรปรวนของค่าการหน่วงเวลา (jitter) และ อัตราการลดลง (drop rate) ของแพ็กเกจ ซึ่งถ้าเทียบกับงานวิจัยอื่นจะเห็นว่างานวิจัยนี้มีพารามิเตอร์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่อาจจะไม่ครอบคลุมในการใช้งานจริง และวิธีการหาความสัมพันธ์โดยใช้สมการการถดถอยนั้น มีความแม่นยำของผลลัพธ์น้อยกว่าเมื่อเทียบการวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียบมีการปรับค่าน้ำหนักที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ดีกว่า (Zhaolong Ning, 2017)

การใช้ค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการมาเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการด้วยการสร้างแบบจำลองในการทำนายคุณภาพของประสบการณ์ด้วยอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (feed-forward back propagation neural network) ศึกษาการประเมินความพึงพอใจในการรับชมวิดีโอบนเครือข่ายสื่อสารจำลอง โดยเครื่องมือโครงข่าย

ประสาทเทียมสำเร็จรูปในโปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) เพื่อสร้างแบบจำลอง พารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้ประกอบด้วย ค่าการหน่วงเวลา (delay) ความแปรปรวนของค่าการหน่วงเวลา (jitter) การสูญเสีย (loss) ความกว้างของแถบคลื่นความถี่ (bandwidth) และระยะเวลาของความแออัด (congestion period) แต่ในงานวิจัยนั้นไม่ได้อธิบายถึงการตั้งค่าโครงข่ายประสาทเทียมจากโปรแกรมอย่างละเอียด (Du, 2009)

การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยการวัดคุณภาพของบริการโดยใช้วิธีเครือข่ายโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (feed-forward back propagation neural network) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัย (Du, 2009) คือการอธิบายถึงกลไกและสมการทางด้วยโครงข่ายประสาทเทียม รวมถึงการปรับค่าน้ำหนักเพื่อปรับปรุงให้ผลลัพธ์ที่ออกมาจากโครงข่ายประสาทเทียมเสมือนผลลัพธ์ที่ต้องการ (Anchuen, 2016)

การสร้างโปรแกรมที่ใช้ช่วยในการคำนวณคะแนนความคิดเห็นโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ด้านคุณภาพของบริการในการรับชมวิดีโอ ซึ่งประกอบด้วย คุณภาพเนื้อหาของวิดีโอ การโหลดวิดีโอเพื่อเข้าชมและการกระตุกของวิดีโอเป็นปัจจัยหลักบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G (Abdellah, 2017) และอีกหนึ่งงานวิจัยที่มีความคล้ายคลึงกันที่มีปัจจัยด้านคุณภาพของบริการคือ ค่าการหน่วงเวลา เพิ่มเข้ามาเป็นหนึ่งในปัจจัยหลัก (Tran, 2016)

การตรวจสอบ การประเมินและการคาดการณ์ คุณภาพของประสบการณ์ด้วยเครื่องมือการเรียนรู้ (machine learning)ในเครือข่ายมือถือโดยอาศัยอุปกรณ์วัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลด้านคุณภาพของบริการของผู้ใช้ปลายทาง (Casas, 2017) และ (Meng, 2016) ซึ่งในแต่ละงานวิจัยจะมีความแตกต่างกันในด้านของการนำค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่สนใจมาใช้ในการวิเคราะห์ตามความเหมาะสมของรูปแบบการใช้งาน เพื่อใช้ในการพยากรณ์คุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

จากปริทัศวรรณกรรมที่ศึกษาในทุกงานวิจัยมีความตระหนักถึงการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ โดยเชื่อว่าคุณภาพของบริการนั้นมีพื้นฐานหลักมาจากคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้งาน ซึ่งคุณภาพของบริการในแต่ละงานวิจัยจะมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับบริการที่ใช้งาน เช่นการสตรีมมิ่งหรือการรับชมวิดีโอ ในงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่ค่าความล่าช้าขณะที่รับชมวิดีโอหรือแม้กระทั่งคุณภาพของวิดีโอก็ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในการใช้บริการด้วยเช่นกัน ซึ่งในหลากหลายงานวิจัยได้ศึกษาวิธีการต่าง ๆ มากมาย เพื่อนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและระดับความพึงพอใจในการใช้บริการจากผู้ใช้เพื่อสรุปหาปัจจัยที่ส่งผลให้ความพึงพอใจของผู้ใช้งานเปลี่ยนไป แต่ไม่มีงานวิจัยใดที่คำนึงว่าในการใช้บริการเครือข่ายที่แท้จริงนั้น เครือข่ายที่ใช้บริการมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพราะฉะนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยส่วนใหญ่

เพื่อนำมาสรุปปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จึงไม่สามารถรับประกันได้ว่าปัจจัยนั้นถูกต้องและเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ที่สามารถเข้าถึงการเปลี่ยนของเครือข่ายได้ด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์ที่ผู้ใช้งานได้รับจากบริการและพารามิเตอร์คุณภาพของประสบการณ์ เนื่องจากพารามิเตอร์คุณภาพของบริการนั้นเป็นหนึ่งในเหตุผลที่สามารถนำไปประยุกต์ในการปรับปรุงเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้นบนพื้นฐานความต้องการของผู้ใช้บริการได้ ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ผู้ให้บริการในการเฝ้าระวังพารามิเตอร์เหล่านี้ให้อยู่เกณฑ์ที่ดี ที่นอกจากตรงตามมาตรฐานการสื่อสารแล้วยังตรงตามความต้องการของผู้ใช้บริการด้วย แต่ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมไม่ได้เกิดจากการรวบรวมข้อมูลเพียงครั้งเดียวให้ได้มากที่สุด แต่เป็นการกระจายการเก็บรวบรวมข้อมูลไปเรื่อย ๆ เพื่อดูความแตกต่างในการใช้บริการ ซึ่งในความเป็นจริงในการใช้บริการนั้นทั้งสภาพแวดล้อม ทั้งสถานที่ในการใช้บริการ ทั้งแอพพลิเคชันหรือการใช้บริการ แม้กระทั่งพฤติกรรมและสภาวะทางอารมณ์ในขณะใช้งานของผู้ใช้บริการ ก็สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดเวลาเช่นเดียวกัน จากเหตุนี้จึงทำให้ในแต่ละครั้งที่ใช้บริการย่อมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางความพึงพอใจในการใช้บริการและทางด้านคุณภาพการให้บริการเครือข่ายก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะฉะนั้นพารามิเตอร์คุณภาพของบริการก็ย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยจึงมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยหลักทางด้านคุณภาพของบริการในสถานการณ์และเวลาที่แตกต่างกันออกไป

โดยวิธีการในการนำมาหาความสัมพันธ์นั้น ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการที่ถูกพัฒนามาแล้วอย่างต่อเนื่องคือวิธีการทางโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลโดยการปรับปรุงค่าน้ำหนักจากการเรียนรู้ที่เรียกว่ากระบวนการแพร่ย้อนกลับ (back propagation) ซึ่งมีรูปแบบในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบการป้อนไปข้างหน้า (feed-forward neural network) เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมนั้น **เกิดความทนทานต่อความผิดพลาด (fault tolerance)** ซึ่งหมายความว่า หากระบบโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยโครงข่ายที่ใช้ในการประมวลผลในการตรวจคำตอบจากข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อให้โครงข่ายมีการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่ายเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับผลที่คาดหวังมากที่สุด **มีความสามารถในการหาเหตุผล (generalization)** กล่าวคือ เมื่อระบบโครงข่ายประสาทเทียมได้รับข้อมูลนำเข้าที่ไม่ครบถ้วนหรือไม่เพียงพอต่อการหาข้อสรุป ระบบจะสามารถลำดับการเชื่อมโยงข้อเท็จจริงจนสามารถให้ข้อสรุปและเหตุผลได้ เรียกได้ว่ามีความยืดหยุ่นสูงต่อการปรับตัวในแบบจำลอง มี **ความสามารถในการปรับเปลี่ยน (adaptability)** โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีเหตุการณ์ใหม่ ๆ เข้าสู่ระบบก็จะสามารถปรับเปลี่ยนหรือ

ปรับปรุงองค์ความรู้ให้ทันสมัยตามเหตุการณ์ใหม่นั้น และมี**ความสามารถในการพยากรณ์ (forecasting capability)** โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำข้อมูลทางสถิติเดิมที่มีอยู่ในระบบมาใช้คาดการณ์หรือพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้

เมื่อได้ความสัมพันธ์จากการสร้างแบบจำลองที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลดังอธิบายไปข้อต้นแล้ว ในงานวิจัยจะสรุปปัจจัยหลักด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลให้ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ด้วยการใช้ค่าดัชนีที่บ่งบอกถึงความแตกต่างของแบบจำลองเป็นตัวชีวัด ซึ่งค่าดัชนีของความแตกต่างนั้นคำนวณได้จาก ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAPE) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างของแบบจำลองในรูปแบบของร้อยละ ซึ่งถ้าความคลาดเคลื่อนน้อย นั่นหมายความว่าแบบจำลองมีความแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งนั่นหมายความว่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริกหารนั้นไม่ได้ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการมากที่สุดนั่นเอง

2.5 สรุปท้ายบท

ในเนื้อหาทั้งหมดของบทที่สองได้กล่าวถึงคุณภาพของบริการ**ในส่วนแรก** ซึ่งจะอธิบายถึงคำจำกัดความและองค์ประกอบที่แสดงถึงแนวคิดและความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครือข่ายและคุณภาพของบริการเป็นหลัก และองค์ประกอบที่แสดงถึงมุมมองของผู้บริโภคและผู้ให้บริการต่อคุณภาพของบริการ **ในส่วนที่สอง**กล่าวถึงคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งเนื้อหาประกอบไปด้วยความหมายและวิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์สำหรับผู้ใช้แอพพลิเคชันหรือบริการแบ่งออกเป็น 2 วิธีการประเมิน คือการประเมินเชิงอัตนัยหรือการประเมินเชิงอัตวิสัย (subjective assessment) และการประเมินเชิงปรนัยหรือการประเมินเชิงวัตถุวิสัย (objective assessment) **ในส่วนที่สาม**กล่าวถึงโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะอธิบายถึงความหมายและหลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะคล้ายการทำงานของระบบประสาทของมนุษย์ 5 ส่วนประกอบสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการประมวลผล คือข้อมูลนำเข้า ค่าน้ำหนัก ข้อมูลส่งออก ฟังก์ชันการรวม และฟังก์ชันกระตุ้น คุณสมบัติที่ดีของโครงข่ายประสาทเทียม ไม่ว่าจะเป็นในด้านของความยืดหยุ่นสูงในการค้นหาผลลัพธ์ ความสามารถในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความซับซ้อน ความสามารถในการจำลองชุดของคู่ชุดข้อมูลนำเข้ากับข้อมูลส่งออก ความสามารถในการปรับตัวเพื่อให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมและการเรียนรู้ค่าน้ำหนักที่ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ ได้แก่ โครงข่ายแบบชั้นเดียว

(single layer neural network) และโครงข่ายแบบหลายชั้น (multi-layer neural network) ทั้งสองมีความแตกต่างกันในรูปแบบของระดับชั้น โดยในโครงข่ายแบบหลายชั้นจะประกอบด้วยชั้นนำข้อมูลเข้า ชั้นแอบแฝงที่อาจมีมากกว่า 1 ชั้นและชั้นส่งข้อมูลออก แต่ในโครงข่ายแบบชั้นเดียว จะปราศจากชั้นแอบแฝงเป็นส่วนประกอบ สถาปัตยกรรมพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 2 ลักษณะ คือสถาปัตยกรรมแบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward network) และสถาปัตยกรรมแบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (feedback network) ซึ่งในงานวิจัยจะเน้นสถาปัตยกรรมแบบป้อนไปข้างหน้าเป็นหลัก เนื่องจากมีความเหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมและจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นขั้นตอนในการจัดการกับข้อมูลที่ได้รับรู้หรือถูกป้อนเข้ามาอย่างต่อเนื่องยังระบบประสาทและจะทำการปรับความเข้าใจเพื่อที่จะสามารถจัดการกับข้อมูลในรูปแบบใหม่ที่เข้ามา แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนและการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง และสุดท้ายเป็นขั้นตอนในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมในเชิงของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการหลักคือ การเลือกใช้งานฟังก์ชันการถ่ายโอน การเลือกรูปแบบของการเรียนรู้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเรียนรู้และการหยุดเรียนรู้ เป็นต้น **ในส่วนที่สี่** เป็นการกล่าวถึงการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้นำเสนอ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบของการพยากรณ์คุณภาพของประสบการณ์ของผู้ใช้บริการจากพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเครือข่ายไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของวิธีการดำเนินงานวิจัยเรื่องการศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ การจัดลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ มีขั้นตอนดังนี้ คือการกำหนดปัญหาของงานวิจัย การออกแบบวิธีการวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้บริการ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่เก็บรวบรวมทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ การเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลด้านคุณภาพของบริการและข้อมูลด้านคุณภาพของประสบการณ์ การจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้เข้าสู่วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านคุณภาพของบริการและข้อมูลด้านคุณภาพของประสบการณ์ และการแปลงข้อมูล และการสร้างแบบจำลอง

โดยแบบจำลองที่นำมาใช้ในงานวิจัย สร้างขึ้นจากการประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากคุณภาพของบริการด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Anchuen, 2017) ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ประกอบด้วย 2 วิธีการ คือ การประเมินเชิงอัตวิสัย (subjective assessment) ซึ่งเป็นการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งาน ด้วยคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง หรือที่เรียกกว่า (Mean Opinion Score : MOS) เพื่อวัดระดับคุณภาพของประสบการณ์ของเครือข่าย ซึ่งมีข้อดีคือสามารถสะท้อนถึงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการได้อย่างแม่นยำไม่ซับซ้อนแต่ใช้เวลานานและค่าใช้จ่ายสูง และอีกหนึ่งวิธีคือ การประเมินเชิงวัตถุวิสัย (objective assessment) ซึ่งเป็นวิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS parameters) ที่ได้จากโปรแกรม Azenqos มาเป็นภาพสะท้อนให้เห็นถึงระดับความพึงพอใจในแง่ของคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score) มีข้อดีคือสามารถช่วยลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายเพื่อให้เข้าถึงความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน แต่มีความซับซ้อนของการสร้างแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งจำเป็นต้องใช้วิธีการประเมินเชิงอัตวิสัยควบคู่ไปกับการเก็บรวบรวมค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS parameters) เพื่อนำข้อมูลไปใช้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Anchuen, 2017) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรก คือรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ช่วงอายุ 18 – 25 ปี กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประเมินความพึงพอใจในบริเวณพื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS parameters) ที่เก็บรวบรวมในขณะที่ใช้บริการเครือข่ายประกอบไปด้วย end parameters, radio parameters และ data parameters

ในส่วนที่สอง คือรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเก็บข้อมูลในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร นครราชสีมาและในบริเวณพื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยเหล่านี้ จะใช้กลุ่มตัวอย่างเดียวกันในการประเมินการใช้บริการเครือข่ายที่มีพื้นที่แตกต่างกัน เพื่อหาข้อสรุปถึงผลที่เกิดจากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่มีความแตกต่างกันในด้านของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ

ในส่วนที่สาม คือรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวแทนของบุคคลวัยทำงาน เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ใช้งานในกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กับกลุ่มตัวแทนของบุคคลวัยทำงาน เพื่อหาข้อสรุปถึงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS parameters) ที่แตกต่างกัน โดยที่กลุ่มตัวแทนของบุคคลวัยทำงานจะเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เช่นเดียวกันกลุ่มตัวแทนของนักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรุปคือ ส่วนแรกจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างและพัฒนาแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ในส่วนที่สองจะทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS parameters) จากกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน แต่สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างกัน และในส่วนสุดท้ายจะทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน แต่สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเดียวกัน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่มีความแตกต่างกันในด้านปัจจัยต่าง ๆ ตามที่กำหนด ในการออกแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลจะใช้บริการ call, YouTube, Facebook, Line และ web browser บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) ซึ่งวิธีการสร้างแบบจำลองจะถูกกล่าวถึงในขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียม เป็นลำดับต่อไป

3.2 การกำหนดปัญหาของงานวิจัย

การติดต่อสื่อสารบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันมีความรวดเร็วและสะดวกสบายในการใช้บริการในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารแบบการโทร การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตเพื่อรับข้อมูลข่าวสารหรือรับชมความบันเทิงและการใช้งานมัลติมีเดียต่าง ๆ จึงทำให้มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ซึ่งในแง่ธุรกิจผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ประสบความสำเร็จและมีอัตราการเติบโตขึ้นอย่างมหาศาล จึงทำผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนเกิดแรงผลักดันในการรักษามาตรฐานและคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการและเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการให้มากยิ่งขึ้น ด้วยการตรวจสอบคุณภาพของเครือข่ายจากพารามิเตอร์ให้อยู่ในมาตรฐานที่ทางผู้ให้บริการกำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา แต่พบว่ารักษามาตรฐานและคุณภาพการให้บริการนี้ยังไม่สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการของการให้บริการเพราะไม่สามารถรับรู้ได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับค่าให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนดไว้แล้วนั้นจะส่งผลอย่างไรต่อผู้ใช้งานจริง แต่การมอบคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE) ที่ดีจะส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงประสิทธิภาพของการใช้บริการได้อย่างแท้จริง เพราะคุณภาพของประสบการณ์นั้นเป็นคุณภาพของการให้บริการที่มาจากมุมมองของผู้ใช้งานหรือคำนึงถึงความต้องการของผู้ใช้งานเป็นหลัก ซึ่งจะทราบความพึง-พอใจของการใช้บริการจากการสำรวจจากผู้ใช้บริการจริง ดังนั้นการรักษาคุณภาพการให้บริการควบคู่ไปกับคุณภาพของประสบการณ์จึงเป็นวิธีการเพิ่มคุณภาพของเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ทำให้มีนักวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการให้บริการกับคุณภาพของประสบการณ์เพื่อสามารถใช้งานควบคู่กันไปได้ ซึ่งผู้วิจัยได้นำวิธีการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (feed-forward back propagation neural network) เนื่องจากระบบโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองการทำงานจากสมองมนุษย์ ซึ่งมีการตรวจคำตอบจากข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อให้โครงข่ายมีการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่ายเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับผลที่คาดหวังมากที่สุดโดยการคำนวณหาค่าผิดพลาด เรียกได้ว่ามีความยืดหยุ่นสูงต่อการปรับตัวในแบบจำลอง ถึงแม้ข้อมูลจะมีความซับซ้อนมากแต่ก็มีการปรับตัวได้เสมอ โดยการสร้างแบบจำลองนั้น จะนำข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเครือข่ายทั้งหมดป้อนเข้าไปในแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นความพึงพอใจของผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งระดับคะแนนความพึงพอใจจะแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามมาตรฐาน ITU-T P.800

แต่เนื่องจากการใช้งานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางปัจจัยคุณภาพของบริการอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็นสภาพแวดล้อมหรือจำนวนผู้ใช้งาน

ในขณะนั้น ส่งผลให้ผู้ให้บริการต้องมีการตรวจสอบสัญญาณอยู่ตลอดเพื่อนำค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพของประสบการณ์ไปปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้ตอบสนองต่อการใช้งานของผู้บริโภค เพราะฉะนั้นการหาเพียงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งานกับคุณภาพของบริการเครือข่ายจึงไม่เพียงพอที่จะบอกได้ว่าเครือข่ายที่ให้บริการอยู่ในขณะนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้บริการพึงพอใจแล้ว เพราะสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด ซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งานเปลี่ยนไปด้วย

ผู้วิจัยจึงได้มีทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงไปของคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งาน โดยการเปรียบเทียบข้อมูลจากแต่ละแบบจำลองการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์กับคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกัน จากการรวบรวมข้อมูลจากการทดสอบสัญญาณในวันเวลาที่แตกต่างกันแต่อยู่ในสถานที่เดียวกัน จะทำให้ทราบว่าที่แบบจำลองแตกต่างกันไปนั้นเกิดจากพารามิเตอร์ของคุณภาพของบริการตัวใดเป็นหลัก และประโยชน์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของแต่ละแบบจำลองนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงคุณภาพของเครือข่ายด้วยการปรับและควบคุมค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ของเครือข่ายมากที่สุด เพื่อให้สอดคล้องกับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

3.3 การออกแบบวิธีการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และวิธีการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดปัญหาและปัจจัยทั้งหมดที่สามารถส่งผลต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากนั้นออกแบบขั้นตอนการทดสอบสัญญาณด้วยการประเมินการใช้งานจาก 3 แอพพลิเคชันซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานบนโทรศัพท์

3.3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมคือพารามิเตอร์ของคุณภาพการให้บริการ (QoS - parameters) เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และคะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการ (opinion score) ซึ่งเป็นการประเมินผลเชิงอัตนัยตามหลักการประเมินของคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งาน

3.3.4 สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีที่ได้จากการศึกษาวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม จากการรวบรวมข้อมูลระหว่างพารามิเตอร์ของคุณภาพการให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และคะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการเพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

3.3.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อหาปัจจัย (พารามิเตอร์ของคุณภาพการให้บริการ) ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากการหาดัชนีของความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

3.3.6 การวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งานและสรุปปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มากที่สุดของแต่ละบริการที่ทำการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้บริการทั้ง 3 แอพ-พลิเคชันและนำเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ แล้วนำไปวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเป็นลำดับต่อไป ดังนี้

3.4.1 แบบประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้ใช้บริการ (evaluation form for user) ซึ่งแบ่งรูปแบบการประเมินผลในงานวิจัยจะแบ่งออกตามแอพพลิเคชันที่ใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยทั้งหมด 3 แอพพลิเคชันที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก คือ YouTube, Line และ web browser โดยระดับคะแนนความพึงพอใจที่ใช้ในการประเมินผลขณะใช้บริการแอพพลิเคชันแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตามมาตรฐาน ITU-T P.800 เรียกว่า คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (Mean Opinion Score : MOS) มีเกณฑ์ในการประเมินผลคือ 5 คะแนน มีคุณภาพการให้บริการที่ดีมาก 4 คะแนน มีคุณภาพการให้บริการที่ดี 3 คะแนน มีคุณภาพการให้บริการพอใช้ 2 คะแนน มีคุณภาพการให้บริการที่แย่ และ 1 คะแนน มีคุณภาพการให้บริการที่แย่มาก โดยมีรายละเอียดและรูปแบบของการประเมินความพึงพอใจ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.4.2 สมาร์ทโฟนซัมซุงและแอพพลิเคชัน Azenqos (Samsung smartphone and Azenqos application) ที่ติดตั้งบนสมาร์ทโฟน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบสัญญาณ โดยจะประเมินการใช้บริการจากทั้ง 3 แอพพลิเคชันยอดนิยมและจะถูกประยุกต์ใช้งานร่วมกับแอพ

พลิเคชัน Azenqos เพื่อในขณะที่ใช้บริการแอพพลิเคชันยอดนิยม ในส่วนของแอพพลิเคชัน Azenqos ก็จะทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการของแต่ละบริการควบคู่กันไปด้วย ทั้ง 3 แอพพลิเคชันประกอบไปด้วย แอพพลิเคชัน YouTube, Line และ web browse ที่ใช้งานเฉพาะบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G แต่แตกต่างกันที่ค่ายของผู้ให้บริการ ซึ่งประกอบด้วย AIS, TRUE และ DTAC ในการทดสอบสัญญาณ ผู้วิจัยจะทำการจดบันทึกค่าคะแนนความพึงพอใจขณะประเมินผลไว้ที่แบบประเมินความพึงพอใจ ส่วนค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการจะถูกบันทึกไว้ที่แอพพลิเคชัน Azenqos และจะรวบรวมเพื่อนำมาใช้งานโดยโปรแกรม Azenqos ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็นลำดับต่อไป โดยแต่ละแอพพลิเคชันมีรายละเอียดการใช้งานดังนี้

1) YouTube เป็นแอพพลิเคชันที่เปรียบเสมือนสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบของวิดีโอที่ให้ทั้งความรู้และความบันเทิง สามารถทำได้ทั้งรับชมและอัพโหลดวิดีโอ นอกจากนี้ยังสามารถสนทนาระหว่างผู้อัพโหลดวิดีโอและผู้รับชมวิดีโอได้อีกด้วย ในปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมด 1,500 ล้านคนโดยประมาณ โดยคุณภาพของวิดีโอที่ทำการรับชมคือ 1080P และระยะเวลาของเนื้อหาวิดีโอ 1 นาทีโดยประมาน โดยในแต่ละครั้งที่ทำการประเมินความพึงพอใจขณะรับชมวิดีโอเนื้อหาและคุณภาพของวิดีโอจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง มีเกณฑ์ในการประเมิน คือในขณะที่รับชมวิดีโอ หากวิดีโอระยะเวลาในการดาวน์โหลดก่อนเริ่มเล่นวิดีโอไม่นาน และระหว่างที่ทำการรับชมวิดีโอไม่มีการหยุดเล่นหรือไม่มีการกระตุกของวิดีโอเกิดขึ้น การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 5 คะแนน แต่ถ้าในขณะที่รับชมวิดีโอหากวิดีโอระยะเวลาในการดาวน์โหลดก่อนเริ่มเล่นวิดีโอที่นานมากขึ้น แต่ระหว่างที่ทำการรับชมวิดีโอไม่มีการหยุดเล่นหรือหากวิดีโอระยะเวลาในการดาวน์โหลดก่อนเริ่มเล่นวิดีโอไม่นาน แต่ระหว่างที่ทำการรับชมวิดีโอมีการหยุดเล่นวิดีโอนานขึ้น การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 4 คะแนน แต่ถ้าระหว่างที่ทำการรับชมวิดีโอมีการหยุดเล่นและระยะเวลาในการดาวน์โหลดก่อนเริ่มเล่นวิดีโอเริ่มนานมากขึ้น การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 3 - 1 คะแนน ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการดาวน์โหลดก่อนเริ่มเล่นวิดีโอและวิดีโอมีการหยุดเล่นนานมากเพียงใด ตามลำดับ

2) Line เป็นแอพพลิเคชันที่ให้บริการทางด้านการติดต่อสื่อสารที่หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบของข้อความ รูปภาพหรือวิดีโอ รวมถึงการสนทนาด้วยเสียงและวิดีโอระหว่างบุคคลหรือระหว่างกลุ่มบุคคล ทั้งในและต่างประเทศ ในปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้งานทั้งหมด 203 ล้านคนโดยประมาณ ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line จากการส่งรูปภาพไปยังเครื่องปลายทาง โดยมีเกณฑ์ในการประเมินตามระยะเวลาในการส่งรูปตลอดจนปลายทางได้รับรูปภาพสำเร็จ ซึ่งหากระยะเวลาในการส่งรูปภาพไม่เกิน 5 วินาที การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 5 คะแนน แต่ถ้าหากระยะเวลาในการส่งรูปภาพเกิน 5 วินาที การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 4 - 2 คะแนน

ตามระยะเวลาในการส่งที่มากขึ้นตามลำดับ แต่ถ้าเกิดความล้มเหลวในการส่งรูปภาพไปยังอุปกรณ์ปลายทาง คะแนนความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 1 คะแนน

3) web browser เป็นแอพพลิเคชันที่เป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ผ่านทางเว็บไซต์ ไม่ว่าจะเป็นเพื่อการศึกษา การให้บริการสาธารณะประโยชน์หรือความบันเทิง ซึ่งในงานวิจัยจะทำการเข้าถึงเว็บไซต์ เพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน โดยถ้าระยะเวลาในการดาวน์โหลดหน้าเว็บไซต์สำเร็จในระยะเวลาไม่เกิน 3 วินาที การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 5 คะแนน แต่ถ้าหากการดาวน์โหลดหน้าเว็บไซต์สำเร็จในระยะเวลาเกิน 3 วินาที การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 4 – 2 คะแนน ตามระยะเวลาในตามระยะเวลาในการส่งที่มากขึ้นตามลำดับ แต่ถ้าเกิดความล้มเหลวในการดาวน์โหลดหน้าเว็บไซต์ การประเมินความพึงพอใจจะอยู่ในระดับ 1 คะแนน

3.4.3 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้งโปรแกรม Azenqos (personal computer and Azenqos program) โปรแกรม Azenqos เป็นโปรแกรมที่มีหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพของบริการทั้งหมดจากการใช้งานแอพพลิเคชัน Azenqos บนสมาร์ทโฟน ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการรวบรวมพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการนิยมใช้ในการปรับปรุงเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G จากเซิร์ฟเวอร์ (server) โดยในการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์คุณภาพบริการ 1 ชุด จะเกิดจากการที่ผู้วิจัยทำการทดสอบสัญญาณและโดยการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน 1 ครั้งต่อ 1 แอพพลิเคชัน ซึ่งในแต่ละแอพพลิเคชันประกอบด้วยพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ได้แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตัวอย่างของการเก็บรวบรวมข้อมูลในหัวข้อถัดไป

รูปที่ 3.1 สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอพพลิเคชัน Azenqos

แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ YouTube

วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เวลา	เครือข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่	คะแนนความพึงพอใจ (Opinion Score)					หมายเหตุ (สถานที่)
		5	4	3	2	1	

แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ Line

วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เวลา	เครือข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่	คะแนนความพึงพอใจ (Opinion Score)					หมายเหตุ (สถานที่)
		5	4	3	2	1	

แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ Web browse

วัน.....ที่.....เดือน.....พ.ศ.....

เวลา	เครือข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่	คะแนนความพึงพอใจ (Opinion Score)					หมายเหตุ (สถานที่)
		5	4	3	2	1	

หมายเหตุ ระดับคะแนน 5 หมายถึง คุณภาพในการใช้บริการดีเยี่ยม

ระดับคะแนน 4 หมายถึง คุณภาพในการใช้บริการดี

ระดับคะแนน 3 หมายถึง คุณภาพในการใช้บริการพอใช้

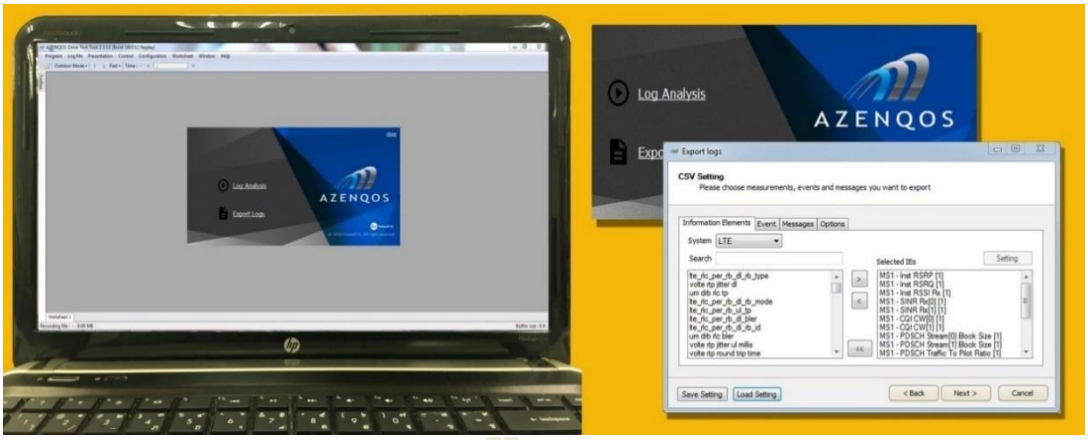
ระดับคะแนน 2 หมายถึง คุณภาพในการใช้บริการแย่

ระดับคะแนน 1 หมายถึง คุณภาพในการใช้บริการแย่มาก

(การแบ่งระดับคะแนนจากมาตรฐาน ITU-T recommendation P.800 เรียก MOS : Mean Opinion Score)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.2 รูปแบบการประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้ใช้บริการ



รูปที่ 3.3 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้งโปรแกรม Azenqos

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ สามารถรวบรวมข้อมูลได้จากการทดสอบสัญญาณหรือการตรวจสอบสัญญาณ การทดสอบสัญญาณเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพเครือข่ายวิธีหนึ่ง เพื่อนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการปรับปรุงเครือข่ายให้ตรงตามมาตรฐานการสื่อสาร ซึ่งการทดสอบสัญญาณของการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการทดสอบสัญญาณด้วยยานพาหนะ (drive test) เป็นการใช้รถยนต์หรือยานพาหนะในขณะที่ทำการทดสอบสัญญาณด้วยอุปกรณ์ทางเทคนิค เหมาะสำหรับการทดสอบคุณภาพสัญญาณของเครือข่ายในพื้นที่ที่มีบริเวณกว้างหรือภายนอกอาคารสถานที่ เพื่อก่อให้เกิดความครอบคลุมในการเก็บผล และอีกประเภทหนึ่งของการทดสอบสัญญาณคือการทดสอบสัญญาณด้วยการเดิน (walk test) เป็นการเดินเพื่อทดสอบสัญญาณ เหมาะสำหรับทดสอบคุณภาพของเครือข่ายในบริเวณที่แคบ ภายในอาคารหรือบริเวณตำแหน่งที่ยานพาหนะไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยในงานวิจัยจะทำการทดสอบสัญญาณด้วยการเดิน เนื่องจากทำการทดสอบสัญญาณบริเวณภายในอาคารห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา ดังแสดงในรูปที่ 3.4

การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้ระยะเวลาในการทดสอบสัญญาณเป็นเวลา 15 วัน โดยแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็นแอพพลิเคชันละ 5 วัน เพื่อนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมในแต่ละวันมาสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง ซึ่งช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลใน 1 วันคือ 09.00 – 16.00 น. และการเลือกวันในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือจะแบ่งออกตามจำนวนผู้ใช้บริการ ซึ่งจากการสำรวจในวันที่จำนวนผู้ใช้บริการมากจะตรงกับวันหยุดราชการ (วันเสาร์และวันอาทิตย์) จึงแบ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็น 2 วันสำหรับทดสอบสัญญาณในวันที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมาก และ 3 วันสำหรับวันที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อย (สุ่มเลือกวันจันทร์ถึงวันศุกร์)

รูปที่ 3.4 สถานที่ในการทดสอบสัญญาณ

ข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวมเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ประกอบด้วยพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและคะแนนความคิดเห็นจากประสบการณ์ของผู้ใช้งานที่ทำหน้าที่ในการประเมิน ซึ่งในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้ประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการแอพพลิเคชันจะไม่มีการรับรู้ค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ เพื่อไม่เกิดความเอนเอียงหรือความไม่ยุติธรรมในการประเมินความพึงพอใจ โดยมีวิธีการเก็บรวบรวมพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและคะแนนความคิดเห็นจากประสบการณ์ของผู้ใช้งาน ดังนี้

3.5.1 คะแนนความคิดเห็นจากประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (Opinion Score)

กลุ่มตัวอย่างของผู้ใช้งานที่จะทำการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็น เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์คือผู้วิจัย เนื่องจากในการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้บริการแอพพลิเคชันต่าง ๆ ต้องการความมั่นคงโดยปราศจากอคติในการประเมินความคิดเห็น ประหยัดเวลาในการประเมินผลจากผู้ใช้งานจำนวนมาก โดยหลักเกณฑ์ในการประเมินความคิดเห็นจะใช้ตามมาตรฐานการสื่อสารของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU-T P.800 และ ITU-T P.1500 ซึ่งวิธีการประเมินความพึงพอใจในการรับชมวีดีโอและแอพพลิเคชั่นอื่น ๆ นอกเหนือจากวิดีโอ ที่มีระดับความพึงพอใจในการใช้บริการต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับตั้งแต่ 1 - 5 คะแนน เช่น การประเมินความพึงพอใจจากการรับชมวิดีโอในระดับ 5 คะแนน จะบ่งบอกถึงความพึงพอใจในการใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ไม่เกิดการการกระตุก การหยุดเล่น คุณภาพวิดีโออยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้พึงพอใจหรือมีระยะเวลาในการดาวน์โหลดวิดีโอที่ยาวนาน ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความรำคาญใจขณะรับชมวิดีโอเกิดขึ้น และระดับ 1 คะแนน จะบ่งบอกถึง

ความพึงพอใจในการใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ที่แย่มาก ซึ่งอาจเกิดจากในขณะที่รับชม วิดีโออาจมีความล่าช้าที่เกิดจากการกระตุกหรือหยุดเล่นชั่วขณะ จนส่งผลให้ผู้ใช้บริการเกิดความรำคาญใจ

3.5.2 พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ (QoS parameters)

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการให้บริการเครือข่ายการสื่อสารซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการตอบสนองของแอพพลิเคชั่นต่าง ๆ ที่ใช้งาน หรือเรียกว่าเป็นตัวรับประกันการส่งข้อมูลในเครือข่ายว่าการส่งข้อมูลจะเป็นไปตามคุณภาพหรือเงื่อนไขที่กำหนด ถึงแม้ว่าจะใช้งานในขณะที่มีการเคลื่อนไหวหรือสิ่งแวดล้อมจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการในงานวิจัย แบ่งออกตามการรับรู้ของผู้ใช้บริการได้เป็น 2 ประเภท คือพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้และพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถรับรู้ได้

1) พารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ด้วยตนเองขณะที่ใช้งานแอพพลิเคชันต่าง ๆ อยู่บนอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งจะมีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละแอพพลิเคชันที่ใช้งาน ดังต่อไปนี้

ในการใช้งานแอพพลิเคชัน YouTube ประกอบด้วย

- YouTube Play Duration (s.)
- YouTube Duration to First Play (s.)
- YouTube Buffering Count (time)
- YouTube Buffering Duration (s.)
- Download Throughput (kbps)

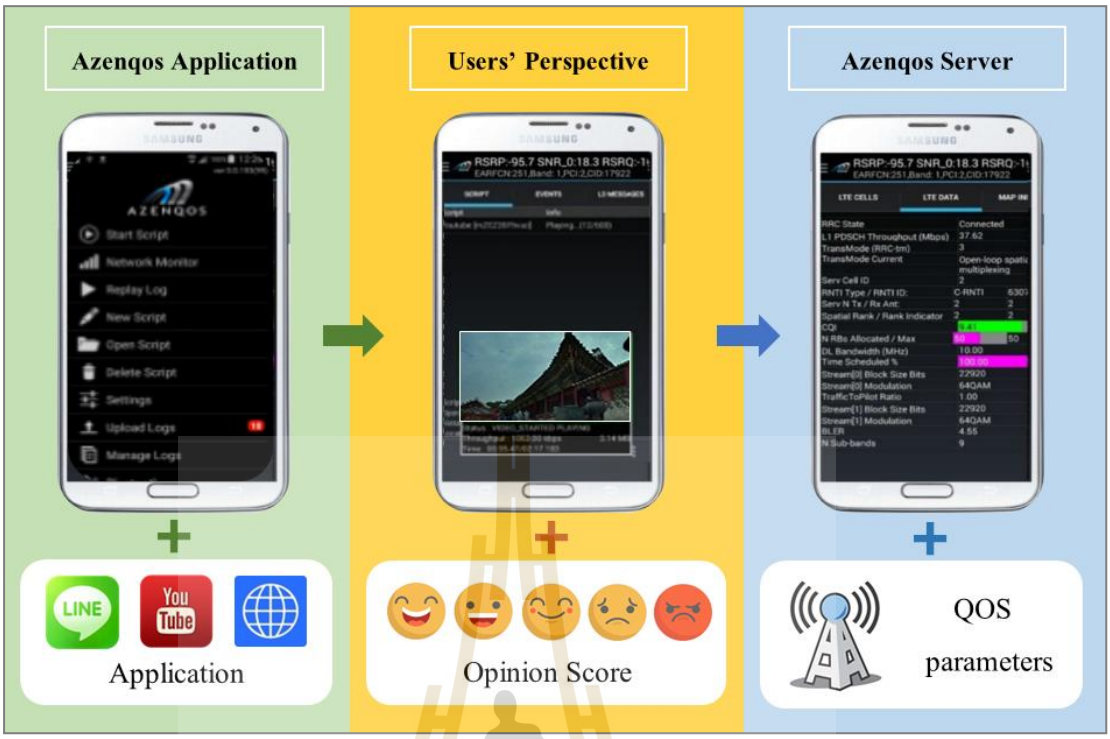
ในการใช้งานแอพพลิเคชัน Line ประกอบด้วย

- LINE Send Time (ms)
- LINE Load Photo Result Time (ms.)

ในการใช้งานแอพพลิเคชัน web browser ประกอบด้วย

- Duration Time (ms.)
- Download Throughput (kbps)

2) พารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการไม่สามารถรับรู้ แต่ผู้ให้บริการและวิศวกรเครือข่ายสามารถรับรู้ได้ (radio parameters) เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ในด้านของการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สื่อสารต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่ง



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลของแอพพลิเคชัน Azenqos

จะทำการวัดค่าพารามิเตอร์ได้ที่อุปกรณ์ปลายทางที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้น ซึ่งก็คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการแอพพลิเคชัน พารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G ในงานวิจัย ประกอบไปด้วย

- RSRP
- RSRQ
- RSSI
- SINR Rx
- CQI
- LTE BLER
- LTE Tx power
- LTE MCS index
- LTE PUCCH Tx Pow
- PDSCH Stream Block Size
- PDSCH traffic to pilot ratio
- LTE l1 PDSCH Throughput all carriers mbps

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อทำการทดสอบสัญญาณและประเมินการใช้บริการเครือข่ายแล้ว ข้อมูลที่ได้จากแอพ-พลิเคชัน Azenqos จะถูกนำมารวมกันไว้กับคะแนนความคิดเห็น เพื่อนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองคุณภาพประสบการณ์ต่อไป ซึ่งการแบ่งชุดข้อมูลนั้น จะแบ่งออกตามวันที่ในการทดสอบสัญญาณ ในวันเดียวกันจะเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ในชุดข้อมูลเดียวกัน แต่ในการทดสอบสัญญาณในวันถัดไปจะถูกเก็บรวบรวมไว้คนละชุดข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างคะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการและพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน YouTube ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างคะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการและพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน Line และดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งประกอบไปด้วย ตัวอย่างคะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการและพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน web browser ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน YouTube

คะแนนความคิดเห็น (MOS)	พารามิเตอร์แสดงคุณภาพของบริการ (QoS parameters)									
	พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ (end parameter)				พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้ไม่สามารถรับรู้ (radio parameter)					
	download throughput (kbps)	YouTube Duration First Play(s)	YouTube Buffering Duration(s)	…	RSRP	RSRQ	RSSI	SINR	CQI	…
5	2122.12	1.069	0	…	-82.34	-5.55	-66.43	10.90	10.88	…
5	1909.13	1.66	0	…	-80.39	-6.17	-59.84	22.41	13.64	…
5	1997.45	1.03	0	…	-81.01	-6.94	-57.12	23.18	12.64	…
4	2070.33	3.58	3.52	…	-85.15	-4.82	-62.12	24.37	14.98	…
4	1842.64	3.07	2.19	…	-90.00	-7.72	-68.10	13.56	9.57	…
3	1801.51	8.07	5.71	…	-98.59	-4.38	-78.21	15.55	12.07	…
3	1724.45	7.23	9.55	…	-95.46	-6.65	-68.51	21.31	11.50	…
2	936.80	7.19	11.06	…	-98.19	-5.65	-78.32	19.24	12.07	…
2	1441.84	4.17	17.59	…	-106.20	-7.64	-78.50	12.24	9.14	…
1	733.47	11.30	24.34	…	-121.43	-12.87	-89.89	1.56	6.15	…
1	439.11	7.31	5.61	…	-116.27	-9.35	-86.97	7.15	6.88	…
1	557.21	14.54	7.48	…	-117.79	-10.11	-98.63	6.44	7.94	…

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน Line

คะแนนความคิดเห็น (MOS)	พารามิเตอร์แสดงคุณภาพของบริการ (QoS parameters)								
	พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ (end parameter)			พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้ไม่สามารถรับรู้ (radio parameter)					
	LINE Send Time (ms)	LINE Load Photo Result Time (ms.)	…	RSRP	RSRQ	RSSI	SINR	CQI	…
5	137	116	…	-77.12	-5.97	-52.06	27.51	14.83	…
5	104	312	…	-89.31	-7.11	-62.21	11.55	10.27	…
4	683	458	…	-91.29	-6.46	-64.37	15.98	12.74	…
4	539	377	…	-78.56	-6.84	-68.44	9.34	11.34	…
3	750	969	…	-75.31	-6.97	-49.21	20.52	20.18	…
3	873	641	…	-91.72	-7.14	-65.50	19.14	17.67	…
2	984	707	…	-103.40	-8.27	-81.06	4.39	8.56	…
2	922	607	…	-110.49	-8.14	-87.28	9.90	8.46	…
1	972	787	…	-106.34	-9.41	-81.98	5.56	8.29	…
1	995	942	…	-108.53	-9.88	-78.35	6.20	8.29	…

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการเก็บรวบรวมคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการบนการใช้งานแอพพลิเคชัน web browser

คะแนนความคิดเห็น (MOS)	พารามิเตอร์แสดงคุณภาพของบริการ (QoS parameters)								
	พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ (end parameter)			พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้ไม่สามารถรับรู้ (radio parameter)					
	duration (ms.)	download throughput (kbps)	…	RSRP	RSRQ	RSSI	SINR	CQI	…
5	3.04	2227.05	…	-77.12	-5.97	-52.06	27.51	14.83	…
5	3.05	2328.47	…	-74.03	-6.99	-48.03	25.05	14.65	…
4	5.61	2109.51	…	-83.16	-3.42	-60.89	23.38	15.00	…
4	6.06	1637.56	…	-119.81	-10.70	-94.91	4.65	7.32	…
3	7.14	1383.99	…	-102.10	-9.75	-78.06	11.59	9.41	…
3	6.15	1869.79	…	-115.29	-9.98	-85.25	3.80	6.30	…

คะแนนความคิดเห็น (MOS)	พารามิเตอร์แสดงคุณภาพของบริการ (QoS parameters) (ต่อ)								
	พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ (end parameter)			พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้ไม่สามารถรับรู้ (radio parameter)					
	duration (ms.)	download throughput (kbps)	…	RSRP	RSRQ	RSSI	SINR	CQI	…
2	7.29	1305.85	…	-114.19	-13.86	-84.58	-2.07	5.73	…
2	9.04	1637.55	…	-99.81	-7.99	-77.65	14.47	9.78	…
1	15.11	701.21	…	-103.28	-12.48	-76.67	2.34	6.71	…
1	9.19	1470.14	…	-111.63	-7.99	-84.88	12.62	11.13	…

3.6 การจัดเตรียมข้อมูล

ในขั้นตอนของการจะเตรียมข้อมูลประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือการหาความความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ โดยจะเลือกเพียงข้อมูลที่มีความสัมพันธ์สูงไปสร้างแบบจำลองต่อไป และขั้นตอนต่อไปคือการแปลงข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงให้เหมาะสมกับรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมที่กำหนดขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (correlation analysis)

ในงานวิจัย มีการเก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่หลากหลายจากการใช้งานแต่ละแอพพลิเคชัน ซึ่งบางพารามิเตอร์อาจไม่ได้มีความสัมพันธ์ต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการมากเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการก่อนแล้วนำเพียงค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่มีความสัมพันธ์กับคะแนนความคิดเห็นไปใช้ในการสร้างแบบจำลองต่อไป เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการสร้างแบบจำลองมากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์นั้น จะเป็นการบ่งบอกเพียงทิศทางความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร ว่ามีความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ซึ่งจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation efficient : r) เป็นตัวชี้วัดถึงระดับความสัมพันธ์ ความสอดคล้อง ความแปรร่วมหรือแปรผกผันระหว่างตัวแปรในเชิงปริมาณ แต่ไม่ได้บ่งบอกว่าตัวแปรนั้นเป็นปัจจัยหรือเป็นเหตุเป็นผลของกันและกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าบอกระดับของความสัมพันธ์ที่มีค่าตั้งแต่ 0 ไปจนถึง 1 มีเกณฑ์การแบ่งระดับดังในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์การแบ่งระดับความสัมพันธ์ของตัวแปร (Hinkle D. E. 1998, p.118)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 – 1.00	มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับสูงมาก
0.70 – 0.90	มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับสูง
0.50 – 0.70	มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับปานกลาง
0.30 – 0.50	มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับต่ำ
0.00 – 0.30	มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับต่ำมาก

ในส่วนของความหมายของเครื่องหมาย + และ – ที่วางอยู่หน้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีความหมายแตกต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

1) เครื่องหมาย + มีความหมายว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในทิศทางเดียวกันหรือแปรผันตรงกันในเชิงเส้นตรง (ถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้น อีกตัวแปรหนึ่งจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย หรือถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าลดน้อยลง อีกหนึ่งตัวแปรก็จะลดน้อยลงตามกันไปด้วยในทิศทางเดียวกัน) ซึ่งค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มากที่สุดในทิศทางเดียวกันคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น +1

2) เครื่องหมาย - มีความหมายว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในทิศทางตรงกันข้ามกันหรือแปรผกผันกันในเชิงเส้นตรง (ถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้น อีกตัวแปรหนึ่งจะลดลงหรือในทิศทางตรงกันข้ามกันกัน หรือถ้าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าลดลง อีกตัวแปรหนึ่งจะมีค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น) ซึ่งค่าที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มากที่สุดในทิศทางตรงกันข้ามคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น -1

แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0 จะหมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์ใดต่อกันเลยระหว่างตัวแปรก็อาจจะไม่ถูกต้อง เพราะเนื่องจากการหาความสัมพันธ์นี้จะบ่งบอกได้ถึงการมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง แต่ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0 ก็อาจจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่อยู่ในรูปแบบอื่นได้ ซึ่งมีข้อตกลงเบื้องต้นคือค่าของตัวแปรทั้งหมดต้องเป็นค่าที่ต่อเนื่องกัน ตัวแปรทั้งหมดต้องมีการแจกแจงที่เป็นการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลของแต่ละตัวแปรต้องเป็นอิสระจากกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$r_i = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \qquad (3.1)$$

เมื่อ r_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

x คือ ข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปร (MOS)

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1

y คือ ข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปร (QoS parameters)

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2

i คือ อันดับของตัวแปร (พารามิเตอร์)

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของตัวแปร

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้งานแอพพลิเคชัน YouTube

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ	**ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ**
Throughput DL Application (kbps)	0.803
YouTube Play Duration (s.)	-0.434
YouTube Duration to First Play (s.)	-0.778
YouTube Buffering Count (time)	-0.395
YouTube Buffering Duration (s.)	-0.797
RSRP	0.242
RSRQ	0.210
RSSI	0.263
SINR Rx	0.093
CQI	0.095
LTE BLER	-0.134
LTE SINR	0.092
LTE Tx power	-0.226
LTE MCS index	0.035
PDSCH Stream Block Size	0.146
PDSCH Traffic to Pilot Ratio	0.0013
LTE PDSCH throughput all carriers mbps	0.298
LTE PUCCH Tx Power	-0.255

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้งานแอพพลิเคชัน Line

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ	**ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ**
LINE Send Time (ms)	-0.297
LINE Load Photo Result Time (ms.)	-0.094
RSRP	0.0095
RSRQ	0.0081
RSSI	0.0078
SINR Rx	0.0007
CQI	0.0050
LTE BLER	-0.0013
LTE SINR	0.0092
LTE Tx power	-0.0022
LTE MCS index	0.0035
PDSCH Stream Block Size	-0.0014
PDSCH Traffic to Pilot Ratio	-0.0013
LTE PDSCH throughput all carriers mbps	0.0012
LTE PUCCH Tx Power	-0.00205

ตารางที่ 3.7 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ใช้งานแอพพลิเคชัน web browser

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ	**ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ**
Duration Time (ms.)	0.688
Download Throughput (kbps)	0.247
RSRP	0.497
RSRQ	0.375
RSSI	0.013
SINR Rx	0.022

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ (ต่อ)	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ
LTE BLER	-0.139
LTE SINR	0.047
LTE Tx power	-0.244
LTE MCS index	0.059
PDSCH Stream Block Size	-0.137
PDSCH Traffic to Pilot Ratio	-0.129
LTE PDSCH throughput all carriers	0.118
LTE PUCCH Tx Power	-0.005

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) แล้ว จะยังไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์นั้นได้เลย ผู้วิจัยต้องทราบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ จึงจะสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันจริง ด้วย **"การทดสอบนัยสำคัญ (test of significance)"**

ในการทดสอบนัยสำคัญนั้นเป็นการทดสอบว่าตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เป็นการทดสอบว่าตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งเราจะใช้ตัวอักษรภาษากรีก คือ ρ (rho) แทน r ซึ่งเขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติ (Welkowitz, 1971) ได้ดังนี้

$H_0: \rho = 0$ (ตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน)

$H_1: \rho \neq 0$ (ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กัน)

เมื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากสมการ (3.1) แล้วต้องการทราบค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ สามารถทำได้ 2 วิธี คือใช้ตารางสำเร็จที่มีชื่อว่าค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์แบบ Pearson และคำนวณค่าสถิตการทดสอบที (T-Test) จากสมการที่ (3.2)

$$t_i = \frac{|r_i|\sqrt{N-1}}{\sqrt{1-r_i^2}} \qquad (3.2)$$

เมื่อ t_i คือ ค่าทดสอบ

N คือ จำนวนชุดข้อมูล

r_i คือ ค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์

คำนวณค่าสถิตการทดสอบที (T-Test) จากสมการ (3.2) แล้ว จะทำการเปรียบเทียบค่า t ที่คำนวณได้กับค่า t ที่เปิดจากตารางค่าวิกฤตของสหสัมพันธ์ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 เนื่องจากการวิจัยภาคสนามหรือเชิงสำรวจ (field studies and surveys) นิยมใช้เป็น 0.05 (Kohout, 1974) ซึ่งมีเงื่อนไขว่า

ถ้า t ที่คำนวณ > t ในตาราง แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือความหมายได้ว่าตัวแปรคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ยอมรับ H_0 ไม่ยอมรับ H_1)

ถ้า t ที่คำนวณ < t ในตาราง แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือความหมายได้ว่าคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ไม่ยอมรับ H_0 ยอมรับ H_1)

3.6.2 การแปลงข้อมูล (data normalization)

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นและค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเพื่อคัดเลือกเพียงพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่มีความสัมพันธ์สูงกับคะแนนความคิดเห็นไปใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งถ้าข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการเรียนรู้มีการกระจายตัวหรือความแปรปรวนภายในขอบเขตเดียวกัน จะส่งผลดีต่อการหาผลลัพธ์หรือคำตอบที่ต้องการด้วย ก่อนที่จะนำข้อมูลเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ผู้วิจัยจะทำการลดความซับซ้อนของข้อมูลหรือจัดระเบียบข้อมูลให้อยู่ในบรรทัดฐานเดียว (normal form) กันเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานและเกิดความรวดเร็วในขั้นการเรียนรู้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมนั้นมีค่าที่แตกต่างกันออกไปเป็นจำนวนมาก โดยมีวิธีการนอร์มอลไลเซชั่น (normalization method) ดังสมการที่ (3.3)

$$c_i = \frac{\left|\sum_{i=1}^{n} y_i x_i\right|}{\sum_{i=1}^{n} x_i^{\,2}} \qquad (3.3)$$

เมื่อ c คือ ค่าที่ได้จากการแปลงค่า

x คือ ข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (MOS)

y คือ ข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (QoS parameters)

i คือ อันดับของตัวแปร (พารามิเตอร์)

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดของตัวแปร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

การสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการ (พารามิเตอร์คุณภาพของบริการเครือข่าย) และคุณภาพของประสบการณ์ (คะแนนความคิดเห็นที่บ่งบอกถึงระดับความพึงพอใจจากประสบการณ์ของผู้ใช้บริการ) เพื่อพยากรณ์ความสัมพันธ์ให้ออกมาในรูปแบบของกราฟเชิงเส้น และนำมาวิเคราะห์ถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยจะเรียกแบบจำลองนี้ว่า “แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์” ในงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการทางโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (feed-forward neural networks) และใช้เทคนิคการเรียนรู้ในการปรับปรุงค่าน้ำหนัก (weight) เพื่อให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุด ด้วยการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.7.1 กำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

การกำหนดโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้และความผิดพลาดในการพยากรณ์ทางด้านความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) กำหนดสถาปัตยกรรมพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยคือแบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward neural network) การเชื่อมโยงเซลล์ประสาทเทียมจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันในทิศทางเดียวคือการเชื่อมโยงแบบไปข้างหน้า โดยข้อมูลที่เข้ามาจะไหลไปในทิศทางเดียว การเชื่อมโยงโหนดจะถูกกำหนดขึ้นระหว่างชั้นที่อยู่ติดกัน และจะมีการเชื่อมโยงโหนดเกิดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาทเทียมทุกตัว จากชั้นหนึ่งๆ ไปยังเซลล์ประสาทเทียมทุกตัวในชั้นถัดไป

2) กำหนดลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัย คือ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multi-layer neural network : ml) ประกอบด้วยชั้นนำเข้า (input layer) 1 ชั้น ชั้นส่งออก (output layer) 1 ชั้น และชั้นแอบแฝง (hidden layer) 1 ชั้น ซึ่งจำนวนชั้นซ่อนแต่ละชั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป ถ้ามากกว่าเกินไปจะเกิดปัญหา overfitting แต่ถ้าน้อยเกินไปจะเกิด underfitting ซึ่งทั้ง 2 เป็นปัญหาทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมลดลงจากการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่างผลเอาต์พุตที่ได้จากขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมและค่าเป้าหมายที่ต้องการ

3) กำหนดจำนวนโหนดในชั้นนำเข้า (input layer) 1 โหนด จำนวนโหนดชั้นส่งออก (output layer) 5 โหนด ดังกำหนดในตารางที่ 3.8 และจำนวนโหนดชั้นแอบแฝง (hidden layer) 4 โหนด ตามทฤษฎีของ Thumb (Saurabh, 2012) ซึ่งมีกฎในการเลือกใช้จำนวนโหนดชั้น

แอบแฝง คือจำนวนโหนดชั้นแอบแฝงควรมีค่าอยู่ระหว่างจำนวนโหนดของชั้นนำเข้าและชั้นส่งออก จำนวนโหนดชั้นแอบแฝงควรเป็น 2/3 เท่าของจำนวนโหนดชั้นนำเข้ารวมกับชั้นส่งออก หรือจำนวนโหนดชั้นแอบแฝงควรมีค่าน้อยกว่าสองเท่าของจำนวนโหนดชั้นนำเข้า

4) กำหนดข้อมูลป้อนเข้าและผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยข้อมูลที่จะป้อนเข้าชั้นนำเข้าคือค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ (QoS parameters) ที่มีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ในระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95 และผ่านกระบวนการนอร์มอล-ไลเซชันแล้ว ส่วนข้อมูลในชั้นส่งออกคือค่าคะแนนความคิดเห็น (Mean Opinion Score : MOS) โดยแต่ละโหนดของชั้นส่งออกทั้ง 5 โหนดจะถูกกำหนด ดังตารางที่ 3.8 เพื่อให้สอดคล้องกับฟังก์ชันกระตุ้นหรือฟังก์ชันในการประมวลผลลัพธ์ คือฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) โดยเงื่อนไขของฟังก์ชันคือผลลัพธ์มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ตารางที่ 3.8 ผลลัพธ์สุดท้ายของข้อมูลในชั้นส่งออกของแต่ละโหนด

ความพึงพอใจ	คะแนน	ผลลัพธ์สุดท้ายของข้อมูลในชั้นส่งออก				
		โหนดที่ 5	โหนดที่ 4	โหนดที่ 3	โหนดที่ 2	โหนดที่ 1
ดีมาก	5	1	0	0	0	0
ดี	4	0	1	0	0	0
พอใช้	3	0	0	1	0	0
น้อย	2	0	0	0	1	0
น้อยมาก	1	0	0	0	0	1

3.7.2 กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

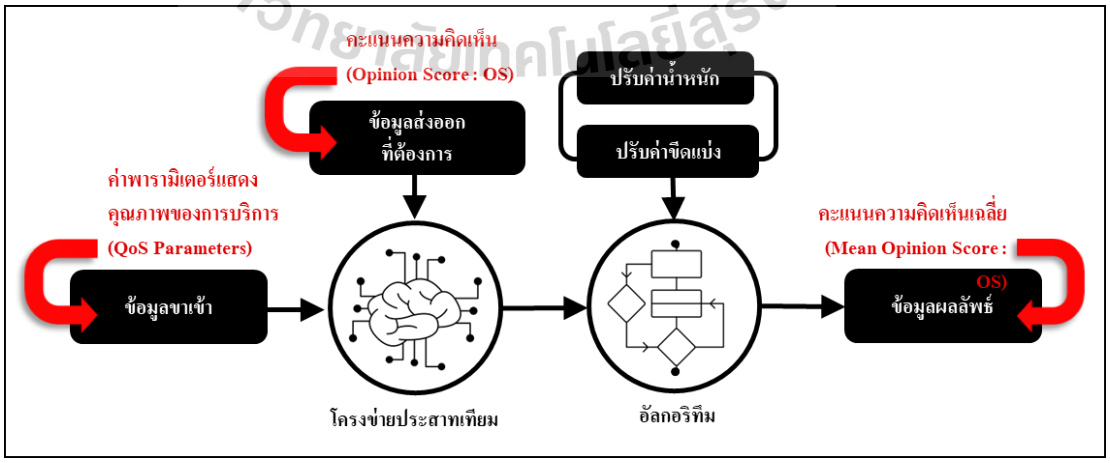
ในกระบวนการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้ด้วยการปรับค่าน้ำหนักของโครงข่ายและค่าขีดแบ่ง จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ เพื่อลดความผิดพลาดในการหาผลลัพธ์ที่ต้องการให้น้อยลงจนอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมคือกำหนดรูปแบบการเรียนรู้ (learning design) ฟังก์ชันรวม (summary function) ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) การเรียนรู้ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight learning) และการทำซ้ำขั้นตอน (recurrent) มีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

1) กำหนดรูปแบบการเรียนรู้ (learning design) ในงานวิจัยใช้การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (supervised learning) เป็นรูปแบบในการเรียนรู้ ซึ่งเป็นการเรียนรู้แบบมีชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจสอบค่าผลลัพธ์ที่ได้ให้มีความใกล้เคียงกับชุดข้อมูลตัวอย่าง โดยมีหน้าที่หลักในการคำนวณและปรับปรุงค่าน้ำหนักเพื่อทำให้ค่าส่งออกจากโครงข่ายตรงตามค่าผลลัพธ์เป้าหมาย

ซึ่งมีข้อมูลขาเข้าเป็น**ค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ**ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนในการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและแปลงข้อมูลแล้ว ข้อมูลผลลัพธ์เอาต์พุตที่ได้จากการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมคือคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย และมีข้อมูลผลลัพธ์เป้าหมายที่จะนำมาเป็นตัวอย่างในการเรียนรู้คือ**คะแนนความคิดที่ได้จากการประเมินการใช้บริการเครือข่ายจริง** ทั้งหมดจะถูกเรียกว่าเป็นข้อมูลชุดการฝึกฝน (training set) ซึ่งจะถูกใช้ทั้งในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมและในขั้นตอนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เมื่อกำหนดรูปแบบการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ ดังต่อไปนี้

- ค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ (error threshold) ซึ่งในงานวิจัยจะกำหนดค่าผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (Sum of Square Error : SSE) ให้เป็น ค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ โดยถ้า SSE มีค่ามาก นั่นหมายความว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลมากหรือก็คือข้อมีความแตกต่างกันมากและถ้า SSE มีค่าต่ำ แสดงว่าข้อมูลนั้นมีการเกาะกลุ่มกันหรือหมายความว่าข้อมูลมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันหรือเหมือนกันมาก ในงานวิจัยได้กำหนดค่าความผิดพลาดขึ้นเพื่อใช้ในการหยุดกระบวนการการเรียนรู้เมื่อได้ค่า SSE = 0.001 ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่เหมาะสมต่อการประเมินผลภายใต้สภาวะความคิดเห็นของมนุษย์และส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองที่บ่งบอกประสิทธิภาพของแบบจำลองในกระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ในระดับสูง (Jenkins, 2006)

- จำนวนรอบการฝึกสอน (epoch) เป็นจำนวนที่ใช้เพื่อสั่งการให้โครงข่ายประสาทเทียมหยุดการเรียนรู้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการฝึกสอนมีค่าที่มากเกินไปจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้เป็นไปได้ช้า แต่ถ้าจำนวนรอบการฝึกสอนมีค่าน้อยจนเกินไป ถึงแม้เวลาในการเรียนรู้จะเร็วขึ้นแต่



รูปที่ 3.6 กำหนดรูปแบบชุดข้อมูลในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

ถ้าหามีค่าน้อยจนเกินไป ถึงแม้เวลาในการเรียนรู้จะเร็วขึ้นแต่อาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ลดลงด้วยเช่นกัน และจำนวนรอบการฝึกสอนอาจไม่ใช่เพียงค่าเดียวที่ทำให้การเรียนรู้จบลง นอกจากนี้การเรียนรู้อาจจะหยุดลงเนื่องจาก ค่าความผิดพลาดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ ถ้าหากมีการตั้งค่าจำนวนรอบการฝึกสอนต่ำเกินไปอาจทำให้โครงข่ายหยุดการเรียนรู้ก่อนที่จะได้ค่าผลลัพธ์เป้าหมาย ซึ่งยังจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยกำหนดจำนวนรอบการฝึกสอนสูงสุดเป็น 30,000 รอบ เนื่องจากในขั้นตอนการเรียนรู้ได้มีการกำหนดให้ค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้เป็น 0.001 และจากการสำรวจการเรียนรู้เมื่อค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้เป็น 0.001 นั้น จำนวนรอบในการเรียนรู้จะไม่เกิน 30,000 รอบ

- ค่าอัตราการเรียนรู้ (learning rate) มีสัญลักษณ์คือ α (alpha) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความรวมเร็วในการเรียนรู้ข้อมูลของโครงข่ายประสาทเทียมขณะที่มีการปรับค่าน้ำหนัก ถ้ากำหนดให้ช้าจนเกินไป คำตอบที่ได้จากโครงข่ายก็จะช้าตามไปด้วยและอาจจะต้องการข้อมูลในการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้นจึงจะได้คำตอบที่เหมาะสม แต่ข้อดีของอัตราการเรียนรู้ที่ช้าในโครงข่ายจะไม่สนใจข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งมากจนเกินไป แต่จะกระจายการเรียนรู้ไปอย่างทั่วถึงในข้อมูลทุก ๆ ชุดข้อมูล กล่าวคือจะไม่เชื่อมั่นเพียงข้อมูลใหม่ที่ป้อนเข้าไป แต่จะคำนึงข้อมูลเก่าที่เรียนรู้ไปแล้วด้วย ซึ่งถ้าค่าอัตราการเรียนรู้มากเกินไปจะทำให้การเรียนรู้เพื่อให้ได้คำตอบเร็วกว่า แต่โครงข่ายจะเจาะจงการเรียนรู้ไปที่ข้อมูลตัวล่าสุดมากกว่าชุดข้อมูลการเรียนรู้ที่ผ่านมา เพราะฉะนั้นค่าอัตราการเรียนรู้จึงเปรียบเสมือนเป็นค่าความชันระหว่างความสัมพันธ์ของข้อมูล

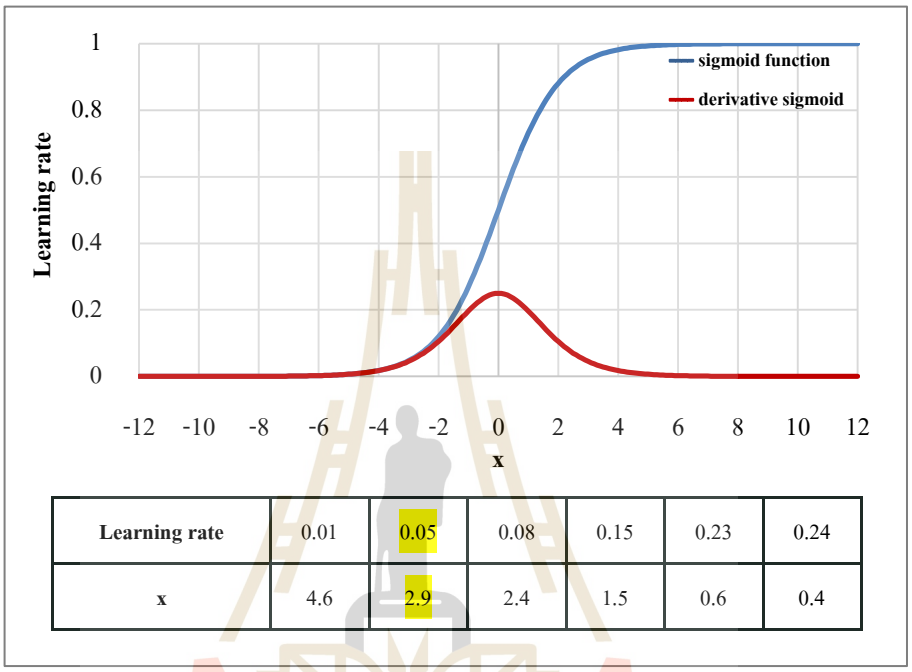
การกำหนดค่าอัตราการเรียนรู้จะกำหนดควบคู่ไปกับค่าถ่วงน้ำหนัก โดยมีเกณฑ์ในการเลือกจากการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ (SSE) ค่าจำนวนรอบในการเรียนรู้ (Epoch) และค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองและคำนวณได้จากสมการที่ (3.17) ดังนี้

1) การวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ ในงานวิจัยกำหนดค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้เท่ากับ 0.001 ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

2) การวิเคราะห์ค่าจำนวนรอบในการเรียนรู้และค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองนั้น มีหลักการคือหากค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองมีค่ามากย่อมแสดงถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดี และหากค่าจำนวนรอบในการเรียนรู้มีค่าน้อย แสดงว่าระยะเวลาที่จะใช้ในการเรียนรู้และสร้างแบบจำลองจากโครงข่ายประสาทเทียมก็จะน้อยตามไปด้วย ถึงแม้ว่าจะใช้ระยะเวลาในการเรียนรู้ที่น้อยแต่ก็ยังยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพการเรียนรู้ที่ดี

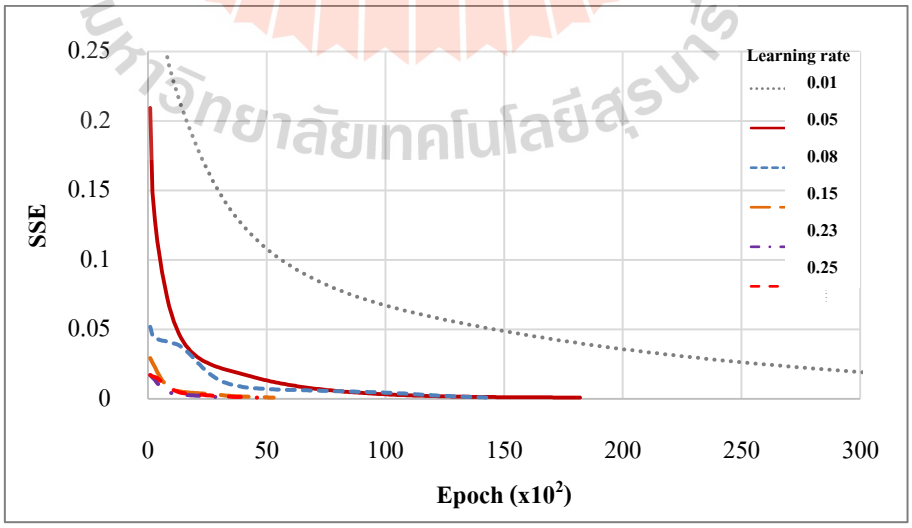
ค่าอัตราการเรียนรู้นั้นจะมีหลากหลายค่าที่แตกต่างกันออกไป และค่าอัตราการเรียนรู้จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันกระตุ้นที่ใช้ในการเรียนรู้ด้วย โดยในงานวิจัยใช้อัตราการกระตุ้นเป็นฟังก์ชันซิกมอยด์ (ซึ่งจะถูกกล่าวถึงในขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นลำดับ

ต่อไป) จึงมีค่าอัตราการเรียนรู้อยู่ระหว่าง 0 - 0.25 ซึ่งค่าที่ได้เกิดการหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันซิกมอยด์หรือเปรียบเสมือนเป็นค่าความชันระหว่างความสัมพันธ์ของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการเรียนรู้และค่าถ่วงน้ำหนักที่เกิดจากการอนุพันธ์ฟังก์ชันซิกมอยด์ และมีการกำหนดค่าเพื่อใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้ดังในตารางในรูป



Learning rate	0.01	0.05	0.08	0.15	0.23	0.24
x	4.6	2.9	2.4	1.5	0.6	0.4

รูปที่ 3.7 การอนุพันธ์ฟังก์ชันซิกมอยด์

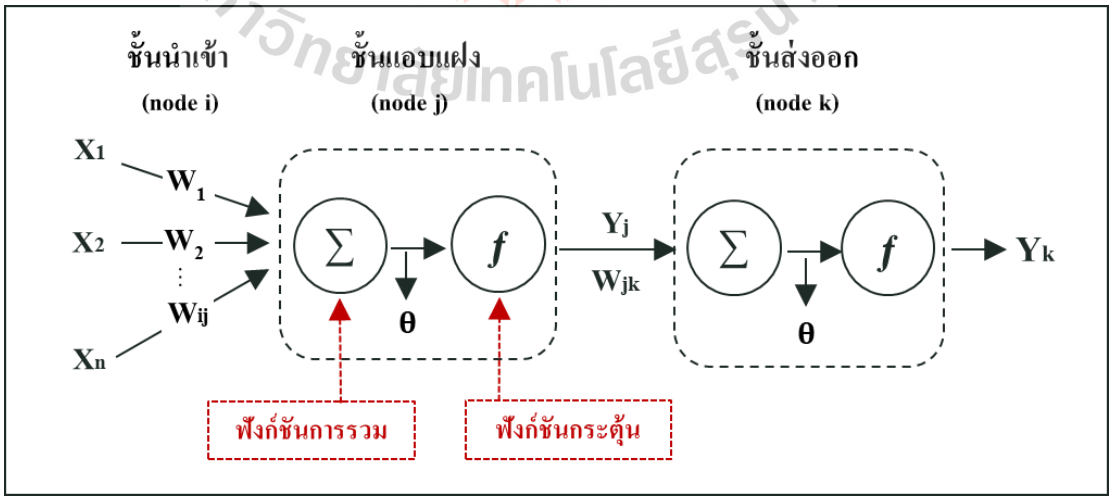


รูปที่ 3.8 การเปรียบเทียบจำนวนรอบในการฝึกสอนจากค่าอัตราการเรียนรู้

ในรูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบในการฝึกสอนจากค่าอัตราการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่แสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบด้วยค่าอัตราการเรียนรู้ 0.01, 0.05, 0.08, 0.15, 0.23 และ 0.24 โดยมีหลักในการสังเกตค่าอัตราการเรียนรู้ที่ดี คือจะต้องมีค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้เป็น 0.001 ตามที่กำหนดไว้และมีจำนวนรอบในการเรียนรู้ที่น้อยหรือไม่เกิน 30,000 รอบ ตามที่กำหนด และนอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีด้วย โดยค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของแบบจำลอง จะถูกแสดงออกในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ของแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.9 ซึ่งพบว่าที่ค่าอัตราการเรียนรู้ 0.05 มีค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่าอัตราการเรียนรู้อื่น และจำนวนรอบในการเรียนรู้ไม่เกิน 30,000 รอบ ซึ่งหากเทียบกับค่าอัตราการเรียนรู้ค่าอื่นที่แม้จะมีจำนวนรอบหรือระยะเวลาในการเรียนรู้ที่น้อยกว่า แต่ประสิทธิภาพของแบบจำลองก็น้อยกว่าด้วย ในงานวิจัยจึงเลือกค่าอัตราการเรียนที่ 0.05

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์แสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองจากค่าอัตราการเรียนรู้

Learning rate	SSE	epoch	Correlation model
0.01	0.001	30000	0.8372
0.05	0.001	18246	0.8769
0.08	0.001	14510	0.8381
0.15	0.001	5391	0.8291
0.23	0.001	3598	0.8061
0.25	0.001	3248	0.8236



รูปที่ 3.9 ฟังก์ชันรวม (summary function) และฟังก์ชันกระตุ้น (activation function)

- ค่าน้ำหนัก (weight) และค่าขีดแบ่ง (threshold)ในการกำหนดค่าน้ำหนักและค่าขีดแบ่งนั้น สามารถทำได้โดยวิธีการสุ่มค่า ในงานวิจัยกำหนดให้การสุ่มค่าน้ำหนักและค่าขีดแบ่งให้อยู่ในช่วง ($\frac{-2.9}{m}, \frac{2.9}{m}$) ซึ่ง m คือจำนวนข้อมูลที่ป้อนเข้าชั้นนำเข้า โดยค่าสุ่มน้ำหนักนั้นได้จากการคำนวณค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันกระตุ้นที่เลือกใช้กับโครงข่ายประสาทเทียมคือฟังก์ชันซิกมอยด์กับค่าอัตราการเรียนรู้ งานวิจัยกำหนดอัตราการเรียนรู้เป็น 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยค่าที่จะทำให้ค่าอนุพันธ์ฟังก์ชันซิกมอยด์มีอัตราการเรียนรู้เป็น 0.05 คือ 2.9

2) ฟังก์ชันรวม (summary function) เป็นขั้นตอนในการคำนวณค่าข้อมูลนำเข้าจากชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอน ด้วยการรวมค่านำหนักเข้าข้อมูลนำเข้า ดังสมการที่ (3.4)

a. คำนวณผลรวมของสัญญาณนำเข้าเพื่อส่งออกไปยังโหนด j ในชั้นแอบแฝง

$$x_j(p) = \sum_{i=1}^{n} x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \qquad (3.4)$$

b. คำนวณผลรวมของสัญญาณนำเข้าเพื่อส่งออกไปยังโหนด k ชั้นส่งออก

$$x_k(p) = \sum_{j=1}^{n} x_j(p) \times w_{jk}(p) - \theta_k \qquad (3.5)$$

เมื่อ x_i คือ ข้อมูลนำเข้ามายังชั้นนำเข้า ที่โหนด i

x_j คือ ข้อมูลนำเข้ามายังชั้นแอบแฝง ที่โหนด j

x_j คือ ข้อมูลนำเข้ามายังชั้นส่งออก ที่โหนด k

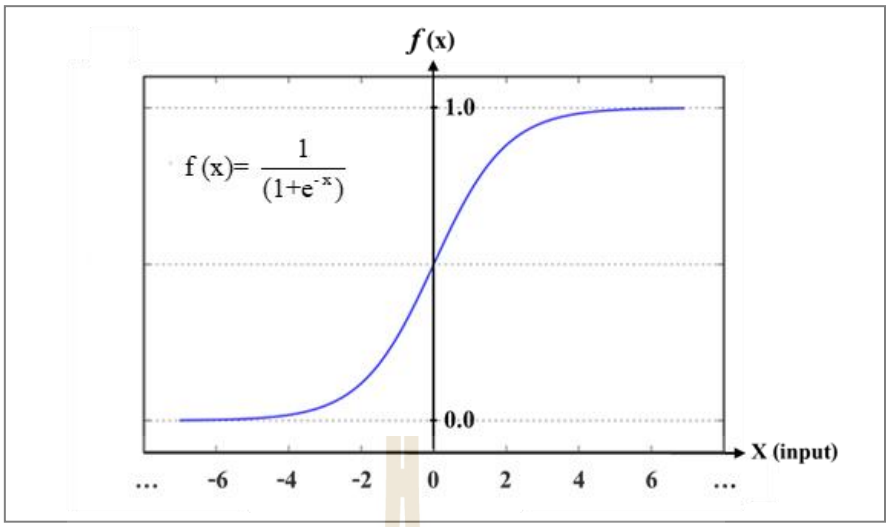
w_{ij} คือ ค่าน้ำหนักจากชั้นนำเข้าสู่ชั้นแอบแฝง

w_{jk} คือ ค่าน้ำหนักจากชั้นแอบแฝงสู่ชั้นส่งออก

θ_j คือ ค่าขีดแบ่งชั้นแอบแฝง ที่โหนด j

θ_k คือ ค่าขีดแบ่งชั้นส่งออก ที่โหนด k

3) ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) ในงานวิจัยจะเลือกใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการคำนวณค่าผลลัพธ์สุดท้ายที่ออกมาจากชั้นแอบแฝงและชั้นส่งออก โดยมีเงื่อนไขคือข้อมูลป้อนเข้าสามารถรับค่าได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ลบอนันต์ (- infinity) ถึงบวกอนันต์ (+ infinity) และมีค่าลู่เข้าใกล้ศูนย์ ณ จุดศูนย์กลาง ตำแหน่งที่ x มีค่ามาก ความชันจะมีค่าน้อย แต่พอใกล้ ๆ จุดศูนย์กลางจะมีค่าความชันสูงมาก นอกจากนี้ยังสามารถเรียนรู้ข้อมูลที่มีการกระจัดกระจายมากในระยะเริ่มต้นจนสามารถเรียนรู้ได้อย่างครอบคลุมชุดตัวอย่างทั้งหมด แล้วจะค่อย ๆ ลู่เข้าตามลักษณะของกราฟ



รูปที่ 3.10 รูปแบบและเงื่อนไขของฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function)

ฟังก์ชันซิกมอยด์ จนได้องค์ความรู้ใหม่ที่มี ค่าผิดพลาดต่ำ ดังในรูปที่ 3.10 และขอบเขตของฟังก์ชันซิกมอยด์คือค่าตั้งแต่ 0 – 1 ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดผลลัพธ์สุดท้ายที่โหนดที่ส่งออก โดยรูปแบบและเงื่อนไขของฟังก์ชันซิกมอยด์แสดงดังในรูปที่ 3.10

a. การคำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นแอบแฝง ด้วยฟังก์ชันซิกมอยด์

$$y_j(p) = \text{sigmoid}(x_j) \tag{3.6}$$

b. คำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากชั้นส่งออก ด้วยฟังก์ชันซิกมอยด์

$$y_k(p) = \text{sigmoid}(x_k) \tag{3.7}$$

เมื่อ y_j คือ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ที่ชั้นแอบแฝง ที่โหนด j

y_k คือ ผลลัพธ์ที่คำนวณได้ที่ชั้นส่งออก ที่โหนด k

4) การทำซ้ำขั้นตอน (recurrent) เป็นการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกที่คำนวณได้กับเป้าหมาย สามารถคำนวณจากสมการที่ (3.8)

$$e_k(p) = t_k(p) - y_k(p) \tag{3.8}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อ e_k คือ ค่าความผิดพลาด

y_k คือ ค่าผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออก

t_k คือ ค่าผลลัพธ์เป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้

ถ้าผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกแตกต่างจากค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ จะเข้าสู่วิธีการลองผิดลองถูก (trial and error) เพื่อเรียนรู้ในการปรับค่าน้ำหนักและค่าขีดแบ่งเพื่อให้ผลลัพธ์จากชั้นส่งออกมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งกระบวนการเรียนรู้เพื่อปรับปรุงค่าน้ำหนักในงานวิจัยนี้คือ **“กระบวนการแพร่ย้อนกลับ (back propagation)”** หรือชื่อเต็มคือ error back-propagation เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตและค่าเป้าหมายให้ได้น้อยที่สุดหรือเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ตามที่กำหนดไว้แล้วข้างต้น

a. คำนวณการปรับค่าน้ำหนักระหว่างโหนดในชั้นส่งออกและชั้นแอบแฝง

$$\Delta w_{jk}(p) = \alpha \times y_j(p) \times \delta_k(p) \tag{3.9}$$

b. คำนวณค่าอนุพันธ์ความผิดพลาด (error gradient) ของชั้นส่งออกโหนด k

$$\delta_k(p) = y_k(p) \times \left[1 - y_k(p)\right] \times e_k(p) \tag{3.10}$$

c. คำนวณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสะสม

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \tag{3.11}$$

d. คำนวณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างโหนดในชั้นแอบแฝงและชั้นนำเข้า

$$\Delta w_{ij}(p) = \alpha \times x_i(p) \times \delta_j(p) \tag{3.12}$$

e. คำนวณค่าอนุพันธ์ความผิดพลาด (error gradient) ของชั้นแอบแฝงที่โหนด j

$$\delta_j(p) = y_j(p) \times \left[1 - y_j(p)\right] \times \sum_{k=1}^{l} \delta_k(p) w_{jk}(p) \tag{3.13}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

f. คำนวณการปรับค่าถ่วงน้ำหนักสะสม

$$w_{ij}(p+1)=w_{ij}(p)+\Delta w_{ij}(p) \quad (3.14)$$

เมื่อ $w_{jk}(p+1)$ คือ ค่าน้ำหนักของชั้นส่งออกที่ปรับปรุงใหม่

$w_{ij}(p+1)$ คือ ค่าน้ำหนักของชั้นแอบแฝงที่ปรับปรุงใหม่

$\Delta w_{jk}(p)$ คือ ค่าควบคุมปริมาณการปรับน้ำหนักสะสม (weight correction) ระหว่างชั้นส่งออกและชั้นแอบแฝง

$\Delta w_{ij}(p)$ คือ ค่าควบคุมปริมาณการปรับน้ำหนักสะสม (weight correction)ระหว่างชั้นแอบแฝงและชั้นนำเข้า

$w_{jk}(p)$ คือ ค่าน้ำหนักเดิมระหว่างชั้นส่งออกและชั้นแอบแฝง

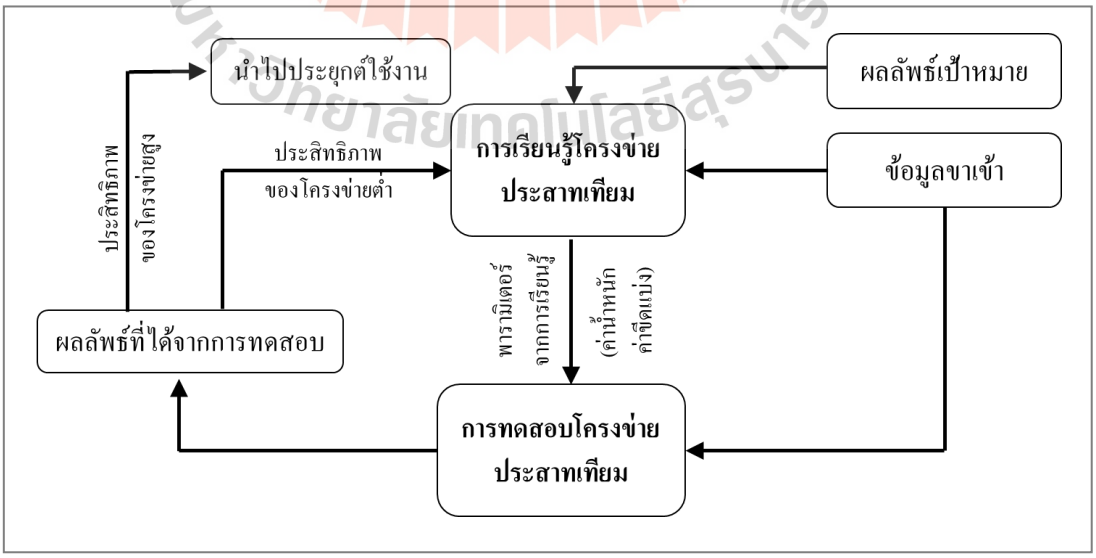
$w_{ij}(p)$ คือ ค่าน้ำหนักเดิมระหว่างชั้นแอบแฝงและชั้นนำเข้า

$\delta_k(p)$ คือ ค่าความผิดพลาดของชั้นส่งออก ที่โหนด k (error gradient)

$\delta_j(p)$ คือ ค่าความผิดพลาดของชั้นแอบแฝง ที่โหนด j (error gradient)

$e_k(p)$ คือ ค่าความผิดพลาดระหว่างผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกกับเป้าหมาย

α คือ อัตราการเรียนรู้



รูปที่ 3.11 กระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายจะทำซ้ำจนกว่าจะไม่เกิดการผิดพลาดเลย หรือผลรวมความผิดพลาดกำลังสอง (Sum of Square Error: SSE) เป็นที่ยอมรับได้ หากผิดพลาดเป็นที่ยอมรับได้กระบวนการเรียนรู้จะจบลง แต่หากความผิดพลาดยังมากกว่าที่ยอมรับได้ จะต้องตรวจสอบจำนวนรอบในการเรียนรู้ว่าครบตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าครบแล้วกระบวนการเรียนรู้จะจบลง แต่ถ้ายังไม่ครบจะเริ่มต้นการเรียนรู้ใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 เป็นต้นไป จึงเรียกขั้นตอนนี้ว่าการทำซ้ำ (Recurrent) ผลรวมความผิดพลาดคำนวณได้จากสมการที่ (3.15)

$$SSE = \sum_{p=1}^{n} \sum_{k=1}^{5} (e_k(p))^2 \tag{3.15}$$

3.7.3 กระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมผ่านกระบวนการเรียนรู้แล้ว จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการทดสอบ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายภายหลังการเรียนรู้ โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการเรียนรู้ ซึ่งประกอบด้วย ค่าน้ำหนักและค่าขีดแบ่ง และชุดข้อมูลนำเข้า ทดสอบป้อนเข้าสู่กระบวนการทดสอบ ในกระบวนการมีค่าชี้วัดถึงประสิทธิภาพด้วยค่าสหสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลเป้าหมายที่ต้องการกับค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งถ้าค่าที่ได้เป็นค่าที่ยอมรับได้แสดงว่าโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้ที่ดี แต่ถ้าค่าชี้วัดไม่เป็นที่ยอมรับได้ จะทำการเรียนรู้ใหม่เกิดขึ้นอีกครั้ง และต้องการเพิ่มข้อมูลนำเข้าเพื่อช่วยเพิ่มให้การเรียนรู้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น แสดงดังในรูปที่ 3.11 ผลลัพธ์ของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งจากกระบวนการเรียนรู้แสดงดังในรูปที่ 3.12

จากนั้นนำข้อมูลนำเข้าจากชุดข้อมูล ค่าน้ำหนักและค่าขีดแบ่งจากกระบวนการเรียนรู้ คำนวณในสมการที่ (3.4) และ (3.5) เพื่อได้ผลลัพธ์ที่ชั้นส่งออกทั้ง 5 โหนด โดยทุกโหนดจะ

ข้อมูลจากนำเข้าและชั้นแอบแฝง	ข้อมูลจากแอบแฝงและชั้นส่งออก
$w_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & .. & w_{1j} \\ w_{21} & w_{22} & .. & w_{2j} \\ .. & .. & .. & .. \\ w_{i1} & w_{i2} & .. & w_{ij} \end{bmatrix}$ $\theta_j = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ .. \\ \theta_j \end{bmatrix}$,	$w_{jk} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & .. & w_{1k} \\ w_{21} & w_{22} & .. & w_{2k} \\ .. & .. & .. & .. \\ w_{j1} & w_{j2} & .. & w_{jk} \end{bmatrix}$ $\theta_k = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ .. \\ \theta_k \end{bmatrix}$

รูปที่ 3.12 ผลลัพธ์ของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งจากกระบวนการเรียนรู้

ออกมาอยู่ในขอบเขตของฟังก์ชันซิกมอยด์ คืออยู่ระหว่าง 0 - 1 แต่เพื่อให้ได้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งานตรงตามมาตรฐาน ITU-T ที่กำหนดข้างต้นคือมีคะแนนตั้งแต่ 1 - 5 คะแนน ด้วยการถ่วงน้ำหนักโหนดที่ชั้นส่งออกทั้ง 5 โหนด ดังสมการที่ (3.16)

$$QoE = \frac{\sum_{k=1}^{5} ky_k}{\sum_{k=1}^{5} y_k} \tag{3.16}$$

เมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายจากโครงข่ายประสาทเทียมจากชั้นส่งออกแล้ว จะมีการทดสองประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์จากชั้นส่งออกกับผลลัพธ์เป้าหมายที่ต้องการดังสมการที่ (3.17)

$$CorrelationModel = \frac{\sum_{p=1}^{P}(OS_p - \overline{OS})(QoE_p - \overline{QoE})}{\sqrt{\sum_{p=1}^{P}(OS_p - \overline{OS})^2}\sqrt{\sum_{p=1}^{P}(QoE_p - \overline{QoE})^2}} \tag{3.17}$$

เมื่อ QOE คือ คะแนนความพึงพอใจที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

OS คือ คะแนนความพึงพอใจจากขั้นตอนการเรียนรู้

QOE คือ ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

OS คือ ค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจจากขั้นตอนการเรียนรู้

โดยค่าความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์จากชั้นส่งออกกับผลลัพธ์เป้าหมายที่ต้องการ (correlation coefficient of model) นี้ สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของโครงข่ายประสาทเทียมว่าตรงผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างจากผลลัพธ์ที่ต้องการมากน้อยเพียงใด ซึ่งในงานวิจัยค่าของความสัมพันธ์นี้จะมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับสูง คือค่าตั้งแต่ 0.8 –1.0 ตามมาตรฐานของ Hinkle D. E. (Hinkle D. E. 1998, p.118) เมื่อประสิทธิภาพผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้แล้ว ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะถูกนำมารวบรวมไว้ดังในตารางที่ 3.10 เป็นตัวอย่างค่าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเป็นค่าวิสัยสามารถ (download throughput) กับคะแนนความคิดเห็นที่ประเมินจากการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

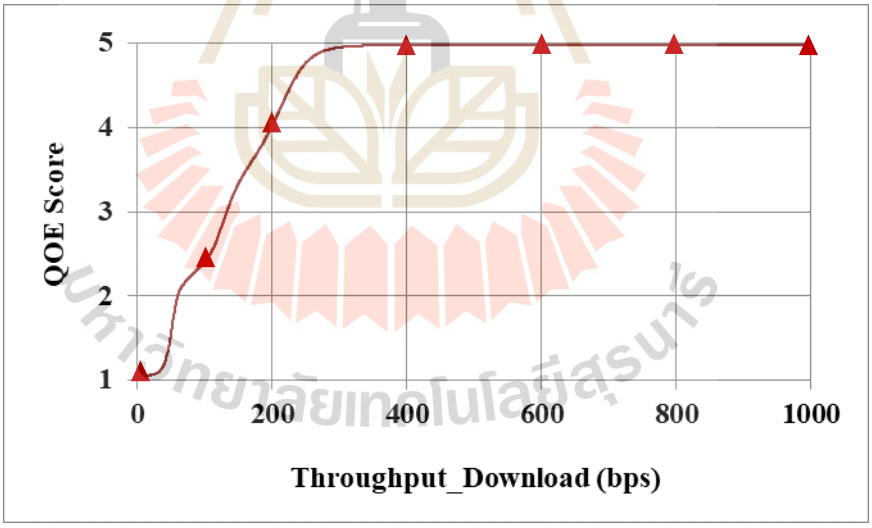
ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเป็นค่าวิสัยสามารถ (throughput download application) กับคะแนนความคิดเห็นที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ (QoS parameters)	**คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (MOS of QoE model)**				
download throughput (kbps)	**QoE Score 1**	**QoE Score 2**	**QoE Score 3**	**QoE Score 4**	**QoE Score 5**
0	1.0	1.8	1.0	1.5	1.3
1	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
2	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
3	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
4	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
5	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
6	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
7	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
8	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
9	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
10	1.1	1.8	1.3	1.8	1.3
20	1.1	1.9	1.3	1.6	1.3
30	1.1	2.0	2.0	1.8	1.4
40	1.2	2.0	2.1	2.2	1.7
50	1.5	2.1	2.1	2.7	2.1
60	2.0	2.2	2.1	3	2.6
70	2.2	2.3	2.1	3.2	2.8
80	2.2	2.4	2.2	3.3	3.0
90	2.3	2.6	2.3	3.3	3.1
100	2.4	2.7	2.4	3.4	3.2
200	4.0	4.8	3.8	3.6	4.6
…	…	…	…	…	…

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

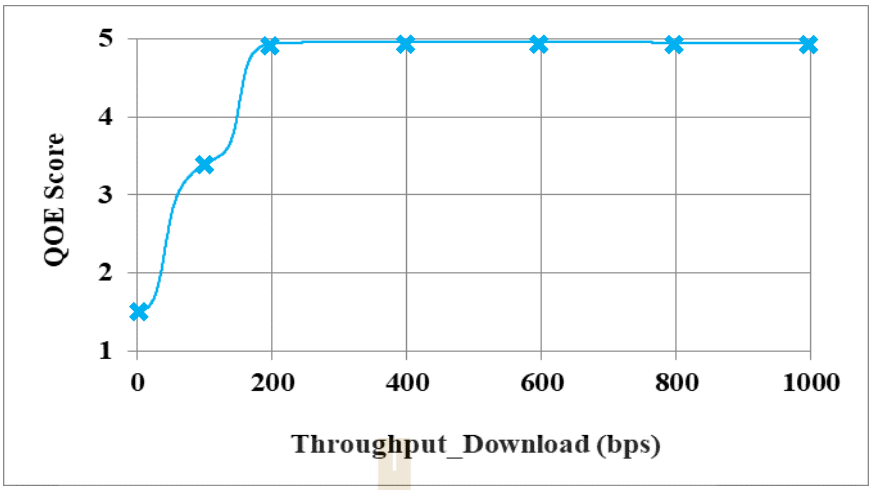
โดยในการทดสอบสัญญาณนั้นจะแบ่งการใช้บริการแอพพลิเคชันออกเป็นแอพพลิเคชันละ 5 วัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณมีความแตกต่างกันในด้านของสภาพแวดล้อมและสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งทำให้การสร้างแบบจำลองในแต่ละพารามิเตอร์คุณภาพของบริการกับคุณภาพของประสบการณ์เกิดขึ้น 5 ครั้งด้วยเช่นกัน โดยกำหนดให้ค่าที่ได้จากการสร้างแบบจำลองในแต่ละพารามิเตอร์คุณภาพของบริการกับคุณภาพของประสบการณ์จากการทดสอบสัญญาณในวันที่ 1 เป็น QoE Score 1 จากการทดสอบสัญญาณในวันที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็น QoE Score 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ดังในตารางที่ 3.10

เพื่อให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาแสดงออกในรูปแบบของกราฟเชิงเส้น โดยในตัวอย่างรูปที่ 3.13 จะแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟเชิงเส้นระหว่างระกับคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ (download throughput) ซึ่งเป็นหนึ่งในค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการในการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser จากแบบจำลองที่ 1-5 ตามลำดับ

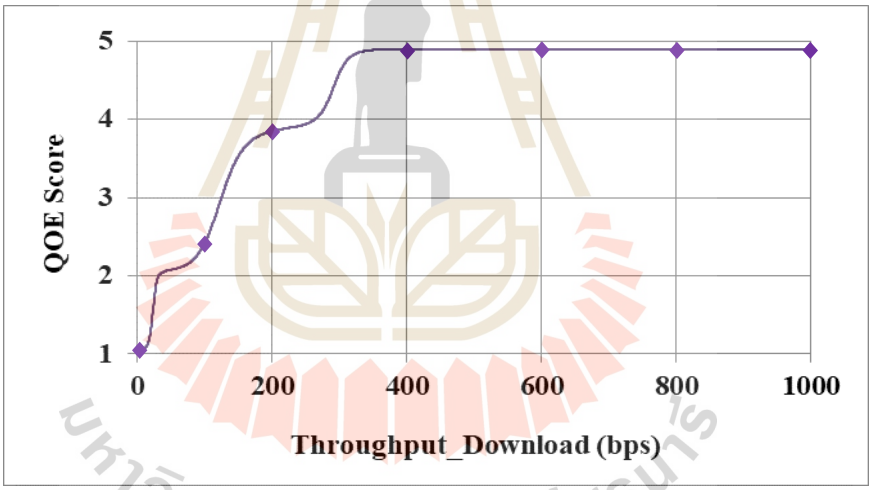


รูปที่ 3.13 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 1 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

จากรูปที่ 3.13 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ ที่ค่าวิสัยสามารถอยู่ในช่วง 0 – 400 kbps คะแนนความพึงพอใจจะเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปจนถึง 4 คะแนน ค่าวิสัยสามารถ 400 kbps ขึ้นไป คะแนนความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

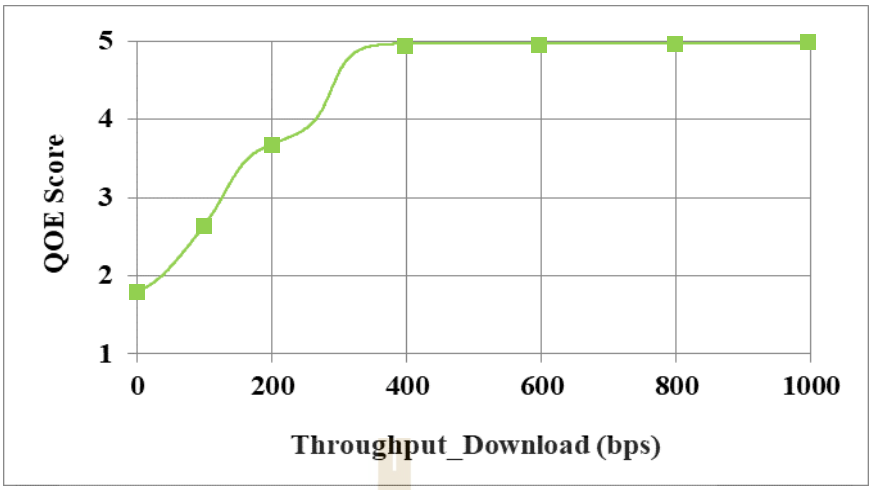


รูปที่ 3.14 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 2 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

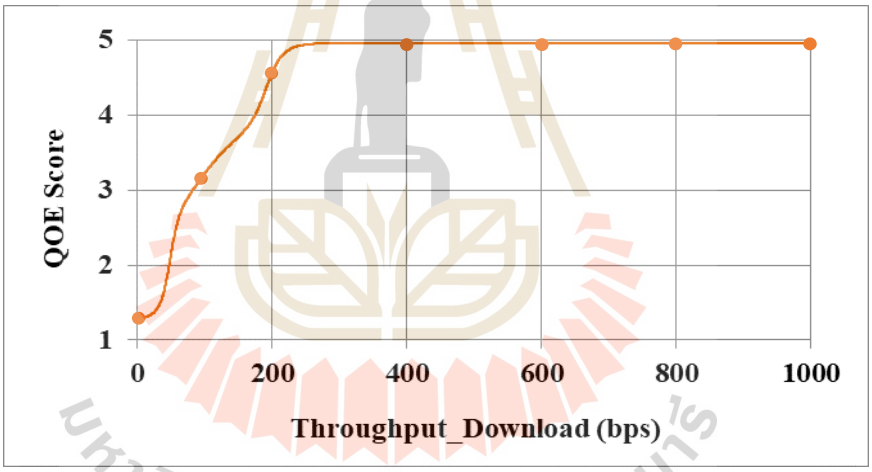


รูปที่ 3.15 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 3 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

จากรูปที่ 3.14 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ ที่ค่าวิสัยสามารถอยู่ในช่วง 0 – 200 kbps คะแนนความพึงพอใจจะเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปจนถึง 4 คะแนน ค่าวิสัยสามารถ 200 kbps ขึ้นไป คะแนนความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และจากรูปที่ 3.15 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ ที่ค่าวิสัยสามารถอยู่ในช่วง 0 – 400 kbps คะแนนความพึงพอใจจะเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปจนถึง 4 คะแนน ค่าวิสัยสามารถ 400 kbps ขึ้นไป คะแนนความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

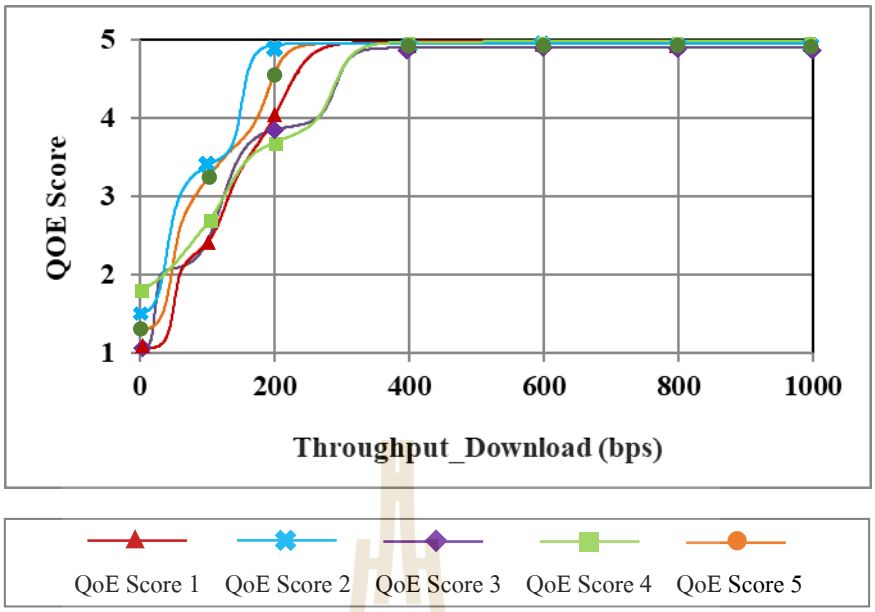


รูปที่ 3.16 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 4 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser



รูปที่ 3.17 ค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

จากรูปที่ 3.16 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ ที่ค่าวิสัยสามารถอยู่ในช่วง 0 – 400 kbps คะแนนความพึงพอใจจะเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปจนถึง 4 คะแนน ค่าวิสัยสามารถ 400 kbps ขึ้นไป คะแนนความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และจากรูปที่ 3.17 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถ ที่ค่าวิสัยสามารถอยู่ในช่วง 0 – 200 kbps คะแนนความพึงพอใจจะเพิ่มขึ้นจาก 1 ไปจนถึง 4 คะแนน ค่าวิสัยสามารถ 200 kbps ขึ้นไป คะแนนความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ดีมาก



รูปที่ 3.18 ภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณความพึงพอใจจากคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

จากรูปที่ 3.18 แสดงถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์ค่าวิสัยสามารถ จึงแสดงให้เห็นว่าค่าวิสัยสามารถเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สามารถส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการบนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

3.8 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ ได้นำเสนอปัญหาของงานวิจัย เพื่อนำไปสู่การวิจัยในปัญหาที่เกิดขึ้น โดยในงานวิจัยมีการออกแบบวิธีการวิจัยคือการศึกษาและรวบรวมข้อมูลทางทฤษฎี หลักการ และปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการทดสอบสัญญาณและการประเมินผลในการใช้บริการเครือข่าย ซึ่งในการทดสอบสัญญาณนั้นจะทำเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและในการประเมินผลในการใช้บริการเพื่อเก็บรวบรวมระดับคะแนนความคิดเห็นหรือระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อการใช้บริการแอพพลิเคชันยอดนิยมที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ซึ่งประกอบด้วย แอพพลิเคชัน YouTube, Line และ web browser จากนั้นจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณและการประเมินคุณภาพการใช้บริการเครือข่ายในสถานการณ์และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการสร้างแบบจำลองต่อไป โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองนั้น เรียกว่า พารามิเตอร์คุณภาพของบริการ (QoS parameters) เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และ

คะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการ (Opinion Score) ซึ่งเป็นการประเมินผลเชิงอัตนัยตามหลักการประเมินของคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งาน แต่มีการคัดกรองเพียงพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันเท่านั้นที่นำไปสร้างแบบจำลองได้ เนื่องจากเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

ในขั้นตอนของการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์นั้นจะมีการอธิบายถึงวิธีการเลือกใช้โครงสร้างและรูปแบบต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีความเหมาะสมต่องานวิจัย โดยในงานวิจัยใช้ วิธีการทางโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (feed-forward neural networks) และใช้เทคนิคการเรียนรู้ในการปรับปรุงค่าน้ำหนักที่เรียกว่า การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้และวิธีการที่มีสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียมคือกระบวนการเรียนรู้และกระบวนการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อได้ข้อมูลจากแบบจำลองแล้วนั้นข้อมูลจะถูกนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อหาปัจจัย (พารามิเตอร์ของคุณภาพการให้บริการ) ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากการหาดัชนีของความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองนั้น จะถูกแสดงในบทที่ 4 เป็นลำดับต่อไป ในรูปแบบความสัมพันธ์ของกราฟเชิงเส้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4

การวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ

4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้บริการในแต่ละแอพพลิเคชันบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อหาปัจจัย (พารามิเตอร์ของคุณภาพการให้บริการ) ที่จะส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G จากการคำนวณค่าดัชนีของความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ซึ่งค่าดัชนีความแตกต่างนี้จะบ่งบอกถึงปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการที่ควรเฝ้าระวังเนื่องจากพารามิเตอร์นั้นจะส่งผลให้ความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้ยังป้องกันไม่ให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายแย่ลง เนื่องจากวิธีการหาค่าดัชนีความแตกต่างนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพการบริการให้อยู่ในระดับความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งานตามแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างจากโครงข่ายประสาทเทียม ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

จากในบทที่สามได้แสดงเนื้อหาถึงการออกแบบการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และการเก็บรวมรวมข้อมูลที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลองรวมไปถึงวิธีการคัดเลือกเพียงพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันเข้าสู่กระบวนการทางโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งในขั้นตอนการเก็บรวมข้อมูลนั้น ข้อมูลที่ได้มามีสองรูปแบบ คือข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและข้อมูลที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการแอพพลิเคชัน ซึ่งประกอบด้วยแอพพลิเคชัน YouTube, Line และ web browser ในบทนี้จึงจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบและการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมในบทที่สาม โดยแบ่งผลลัพธ์ออกตามการใช้บริการแอพพลิเคชันทั้งสาม และวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้บริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังต่อไปนี้

4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์นั้น กำหนดให้ข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมเป็นค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ได้และพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดสอบสัญญาณเป็นจำนวน 15 วันเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลป้อนเข้าโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งออกตามการทดสอบสัญญาณบนแอพพลิเคชันละ 5 วัน เพื่อตรวจวัดสัญญาณในสถานการณ์ที่แตกต่างกันไป เช่น ความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้บริการรายอื่นในขณะที่ทำการทดสอบสัญญาณ ความแตกต่างของสภาพแวดล้อมรวมไปถึงสถานที่ในขณะใช้บริการเครือข่าย เนื่องจากในการทดสอบสัญญาณมีการสุ่มสถานที่เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป แต่อยู่ภายในบริเวณห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งานนั้นมีเพียงผู้วิจัยเท่านั้นที่เป็นผู้ประเมิน เนื่องจากในงานวิจัยต้องการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายของผู้ใช้บริการเปลี่ยนไปในสภาพการณ์การใช้งานจริงของผู้ใช้บริการที่ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา พารามิเตอร์คุณภาพของบริการก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ภายใต้สภาวะที่ทุกอย่างภายรอบตัวเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องการความเที่ยงธรรมในการประเมินความพึงพอใจซึ่งหมายความว่าต้องการให้มาตรฐานการประเมินผลอยู่ในระดับเดียวกัน จึงเลือกให้ผู้ประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการมีเพียงคนเดียว

การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์นั้น กำหนดให้ผลลัพธ์สุดท้ายของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย ซึ่งในงานวิจัยจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณบนการใช้บริการแอพพลิเคชันละ 5 วัน เพื่อแสดงออกให้เห็นว่าผลลัพธ์จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในแต่ละวัน ที่ค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเท่ากัน มีคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากคุณภาพของประสบการณ์การใช้บริการเป็นอย่างไร ซึ่งถ้าคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากคุณภาพของประสบการณ์มีความแตกต่างกัน ซึ่งหมายความว่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการนั้น เป็นหนึ่งในเหตุผลที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการตามขอบเขตของงานวิจัยได้ระบุไว้ เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงจะแสดงผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมของทั้งการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้ง 5 วัน เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากคุณภาพของประสบการณ์

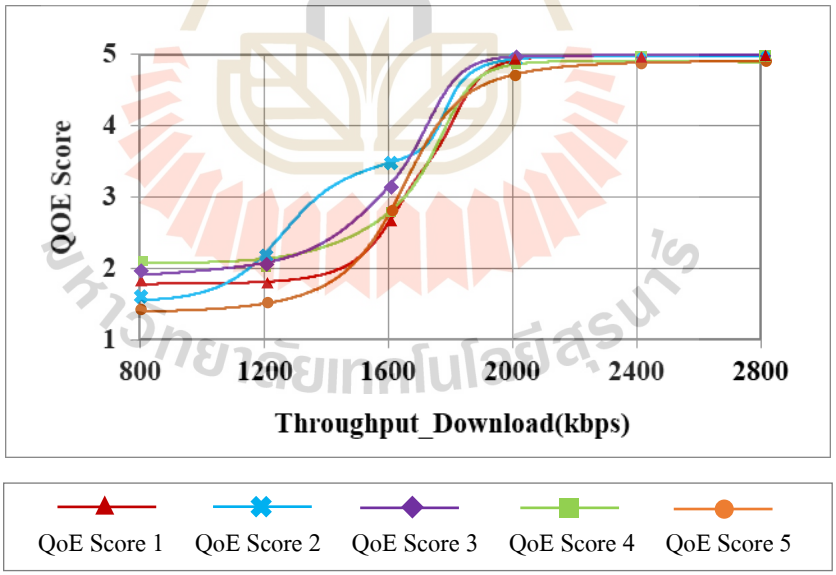
ซึ่งในผลลัพธ์ที่จะแสดงต่อไปนี้ QoE Score 1 แทนค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ได้จากการทดสอบสัญญาณและการประเมินความพึงพอใจในวันที่ 1 และ QoE Score 2, 3, 4 และ 5 แทนค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ได้จากการทดสอบสัญญาณและการประเมินความพึงพอใจในวันที่ 2, 3, 4 และ 5

ตามลำดับ ซึ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูลในระยะเวลา 5 วันนี้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองโดยจะแสดงออกในรูปแบบของกราฟเชิงเส้น

4.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

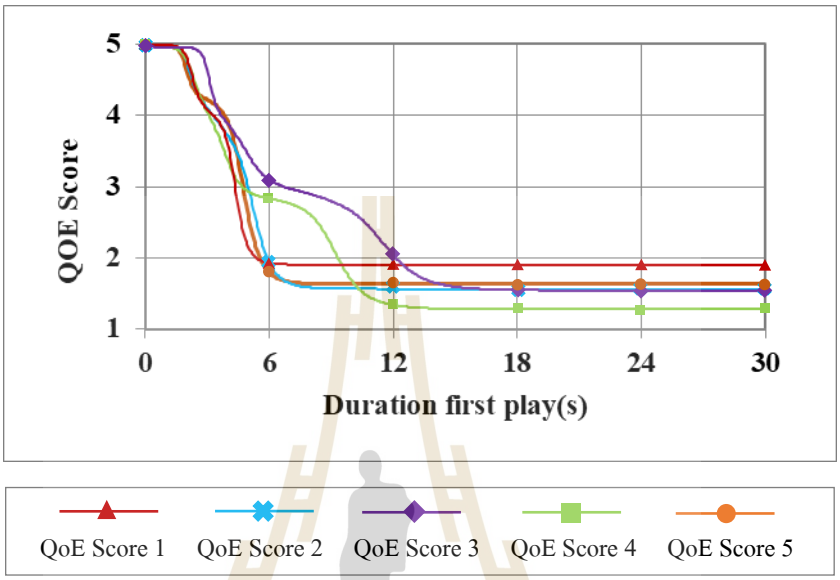
จะแสดงเพียงคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากคุณภาพของประสบการณ์ของผู้ใช้งานที่มีค่าสหสัมพันธ์หรือมีความสัมพันธ์กันกับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการเท่านั้น ในรูปแบบความสัมพันธ์ของกราฟเชิงเส้น ซึ่งพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่มีความสัมพันธ์มีดังนี้

1) พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ได้แก่ ค่าวิสัยสามารถของการดาวน์โหลดวิดีโอ (Download Throughput) ระยะเวลาก่อนการเริ่มเล่นวิดีโอ (Duration first play) ซึ่งหมายถึงระยะเวลาในการดาวน์โหลดวิดีโอก่อนการรับชม และระยะเวลาในการหยุดเล่น (Buffering Duration) หรือหมายถึงระยะเวลาทั้งหมดที่วิดีโอมีการกระตุกหรือหยุดเล่นชั่วขณะ ซึ่งภาพรวมของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์กับแต่ละพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ในขณะที่ใช้บริการแอพพลิเคชัน ดังรูปที่ 4.1 - 4.3

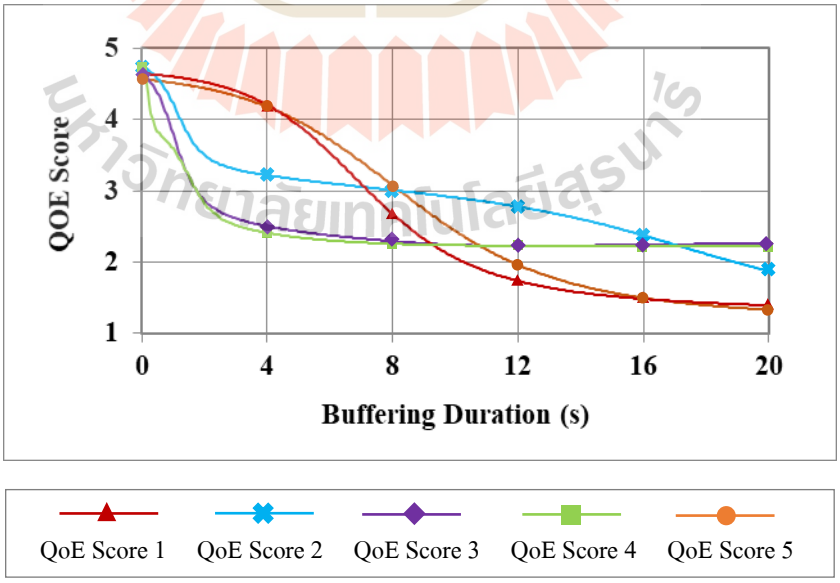


รูปที่ 4.1 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าวิสัย-สามารถ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

จากรูปที่ 4.1 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ค่าวิสัยสามารถที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1-5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube มีค่าตั้งแต่ 1,750 kbps ขึ้นไป



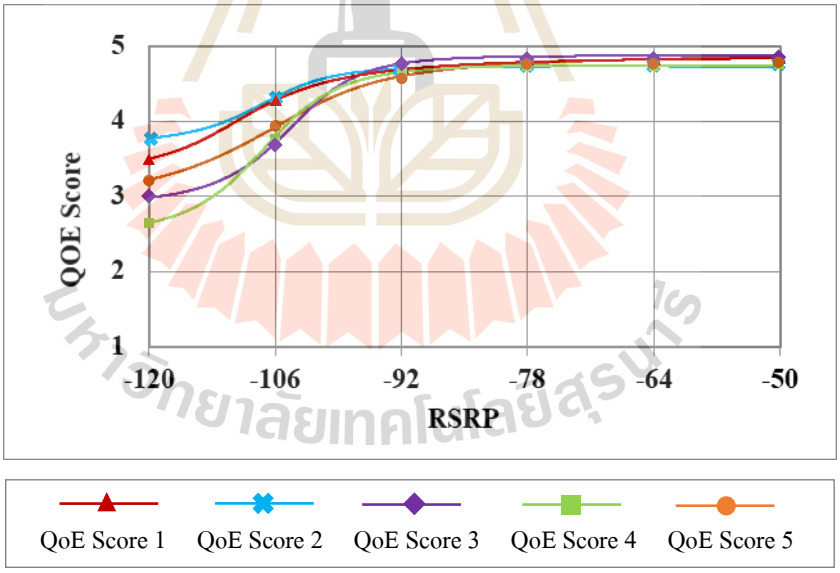
รูปที่ 4.2 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาก่อนการเริ่มเล่นวิดีโอ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube



รูปที่ 4.3 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาในการหยุดเล่นชั่วขณะ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

จากรูปที่ 4.2 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ระยะเวลาก่อนการเริ่มเล่นวิดีโอที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube มีค่ามากที่สุดไม่เกิน 3.9 วินาที และจากรูปที่ 4.3 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ระยะเวลาใน การหยุดเล่นชั่วขณะที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube มีค่ามากที่สุดไม่เกิน 4 วินาที

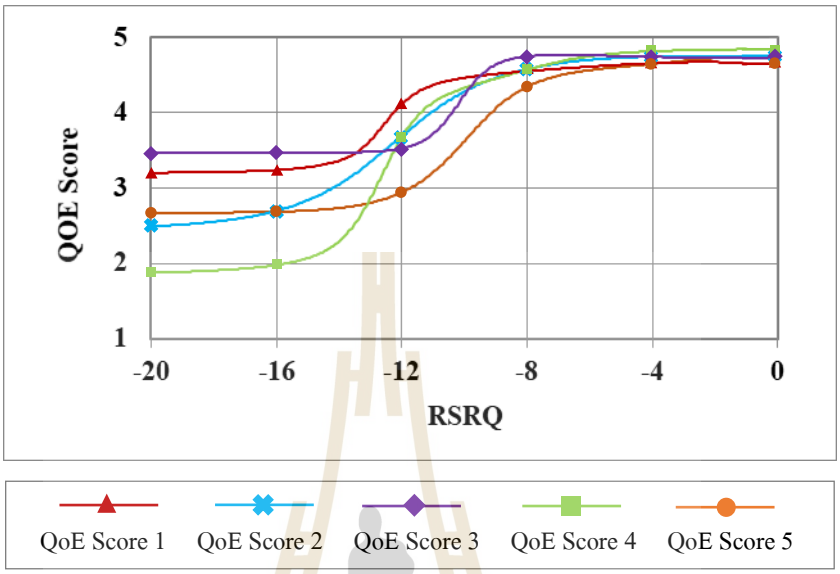
2) พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ (radio parameters) ที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยและพารามิเตอร์คุณภาพของบริการได้แก่ กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) คุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) และค่าชี้วัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (RSSI) ซึ่งภาพรวมของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์กับแต่ละพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ แสดงดังในรูปที่ 4.4 - 4.6



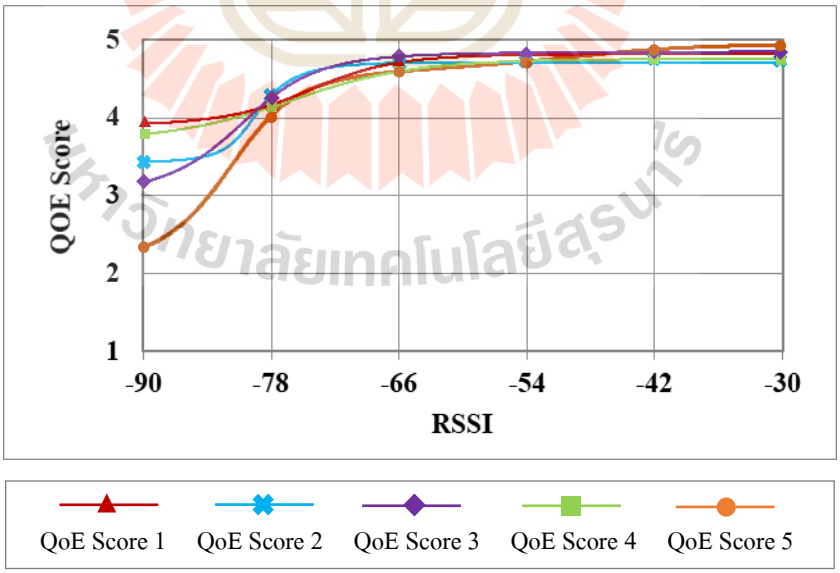
รูปที่ 4.4 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และกำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

จากรูปที่ 4.4 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) ที่ได้จาก

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube มีค่าตั้งแต่ -106 dBm ขึ้นไป



รูปที่ 4.5 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับจากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube



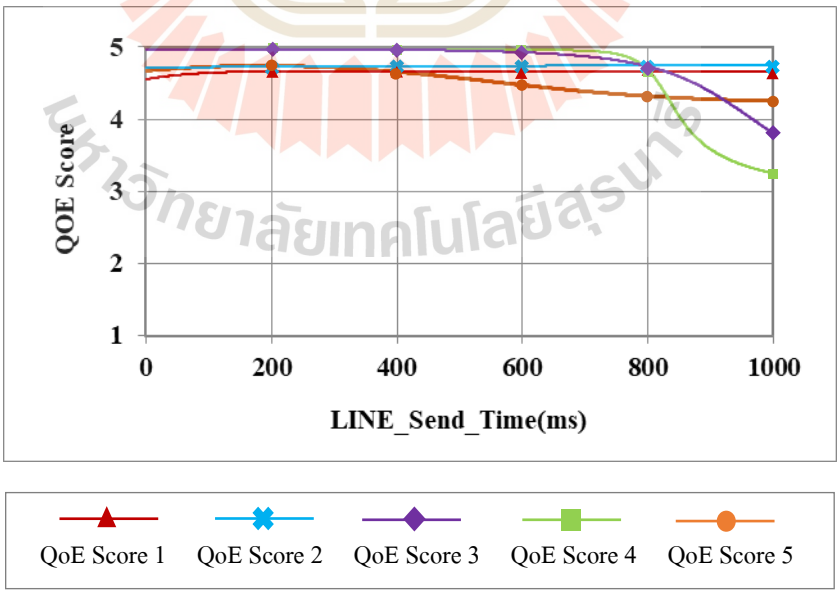
รูปที่ 4.6 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และค่าชี้วัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

จากรูปที่ 4.5 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ค่าคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube มีค่าตั้งแต่ -12.2 dBm ขึ้นไปและจากรูปที่ 4.6 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ค่าชี้วัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube มีค่าตั้งแต่ -80.85 dBm ขึ้นไป

4.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line

ในการใช้บริการนี้ พารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยมีเพียงพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้

1) พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ได้แก่ ระยะเวลาในการส่ง (Line Sent Time) ซึ่งเป็นระยะเวลาในการอัพโหลดรูปภาพและส่งออกรูปภาพไปยังปลายทาง ภาพรวมของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์กับแต่ละพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ในขณะที่ใช้บริการแอพพลิเคชัน ดังในรูปที่ 4.7



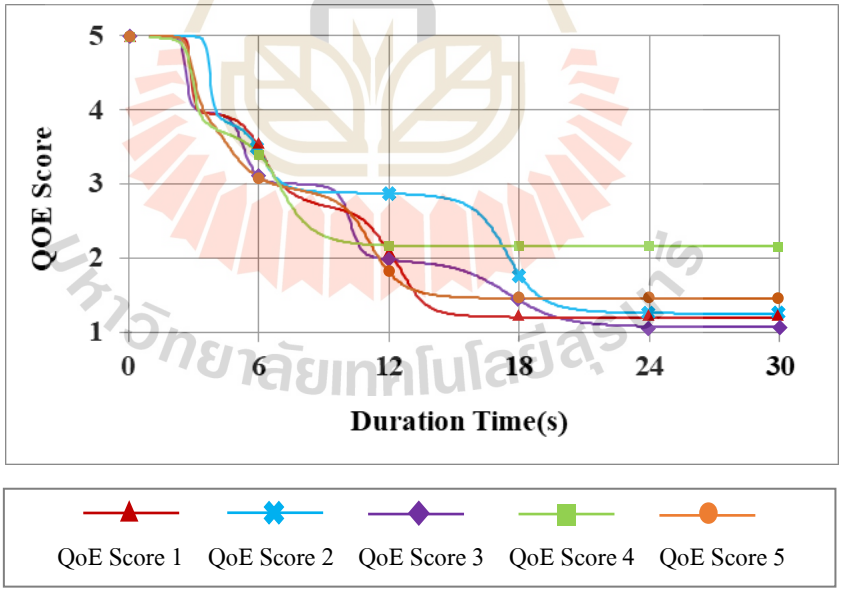
รูปที่ 4.7 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาในการส่ง จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line

จากรูปที่ 4.7 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ระยะเวลาในการอัพโหลดรวมทั้งส่งรูปภาพสำเร็จที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line มีค่าไม่เกิน 1 วินาที

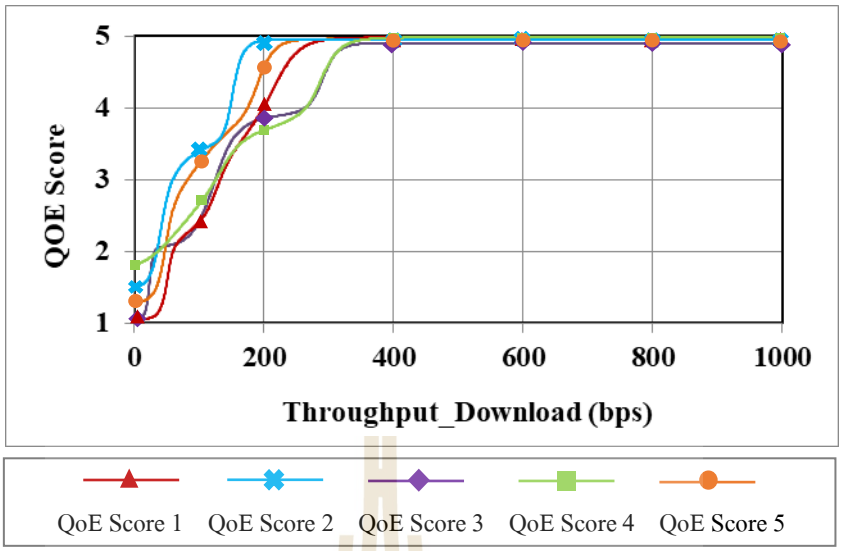
4.2.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้และที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ มีดังต่อไปนี้

1) พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ได้แก่ ระยะเวลาในการโหลด (Duration Time) หน้าเว็บไซต์สำเร็จและค่าวิสัยสามารถ (Download Throughput) ในการดาวน์โหลด ภาพรวมของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์กับแต่ละพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ในขณะที่ใช้บริการแอพพลิเคชันแสดงดังในรูปที่ 4.8 - 4.9



รูปที่ 4.8 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และระยะเวลาในการโหลด จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

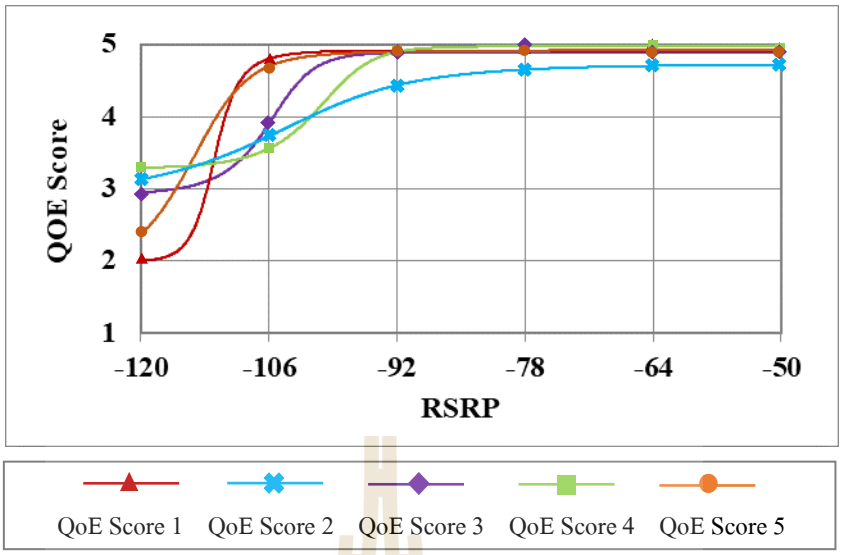


รูปที่ 4.9 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และและค่าวิสัยสามารถจากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

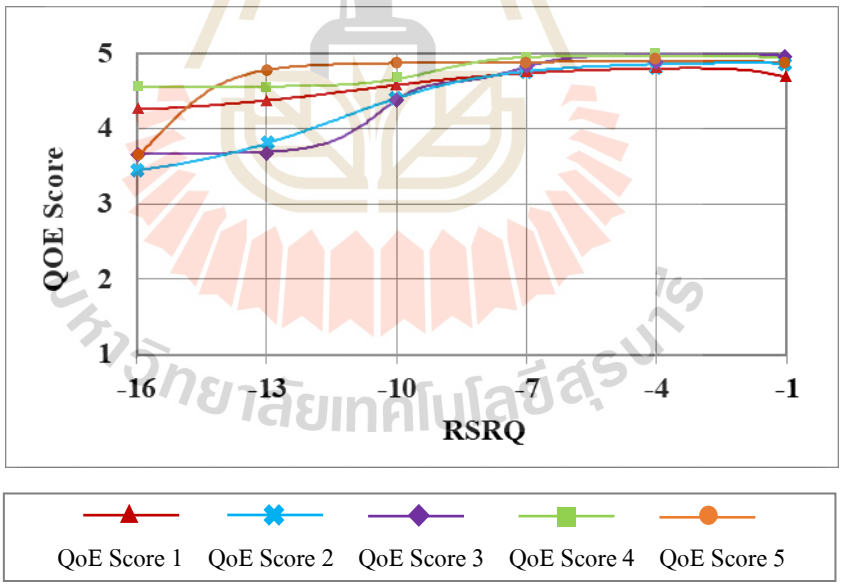
จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ระยะเวลาในการโหลดหน้าเว็บไซต์สำเร็จที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser มีค่าไม่เกิน 3.8 วินาที

จากรูปที่ 4.9 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ค่าวิสัยสามารถที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser มีค่าตั้งแต่ 148.5 kbps ขึ้นไป

2) พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ (radio parameters) ได้แก่ กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) ภาพรวมของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์กับแต่ละพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ในขณะที่ใช้บริการแอพพลิเคชัน แสดงดังในรูปที่ 4.10 – 4.11



รูปที่ 4.10 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และกำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับจากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser



รูปที่ 4.11 ภาพรวมค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ จากแบบจำลองที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browse

จากรูปที่ 4.10 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมากมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser มีค่าตั้งแต่ -111.75 dBm ขึ้นไป และจากรูปที่ 4.11 พบว่าที่ช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการอยู่ในเกณฑ์ดีถึงดีมาก (ระดับคะแนน 4 - 5 คะแนน) ค่าคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 - 5 ของ มีค่าตั้งแต่ -15.35 dBm ขึ้นไป

ซึ่งจากการสรุประดับค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการตามช่วงระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการในเกณฑ์ที่ดีถึงดีมากในแต่ละแอพพลิเคชันนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการปรับค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพการบริการให้อยู่ในระดับความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งานตามแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างจากโครงข่ายประสาทเทียม แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยว่าพารามิเตอร์นั้น ๆ จะส่งผลต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์หรือไม่ จึงจะสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ในการปรับปรุงเครือข่ายได้

4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ

จากรูปที่ 4.1 - 4.11 เป็นผลลัพธ์จากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งสามารถมองเห็นถึงความแตกต่างของพารามิเตอร์คุณภาพของบริการกับคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากประสบการณ์ผู้ใช้งานที่เกิดขึ้นในแต่ละแบบจำลอง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการใดที่ส่งผลให้แบบจำลองมีความแตกต่างมากที่สุด ในหัวข้อการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการนี้ จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดที่ จากการชี้วัดด้วยค่าดัชนีความแตกต่างที่คำนวณได้จากค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) เพื่อนำค่าดัชนีความแตกต่างบ่งชี้ถึงปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการใดที่ส่งผลให้แบบจำลองเกิดความแตกต่างกันมากที่สุดตลอดจนส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการมากที่สุดด้วยเช่นกัน

1) ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) เป็นเทคนิคในการวัดความแม่นยำหรือความแตกต่างว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยการพิจารณาความแตกต่างที่ไม่คำนึงถึงเครื่องหมายของข้อมูล ซึ่งถ้าค่าที่ได้มากหมายถึงมีความแตกต่างกันมากตามไปด้วย โดยการวิเคราะห์ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์แสดงในรูปที่ 4.12

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|QoE_{Ai} - QoE_{Bi}\right| \qquad (4.1)$$

2) ค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) เป็นวิธีการวัดความแม่นยำโดยการคำนวณร้อยละของความแตกต่างระหว่างข้อมูล โดยไม่คำนึงถึงเครื่องมาย ถ้าค่าที่ได้มากหมายถึงข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกันมีความแตกต่างกันมาก

ซึ่งปัจจัยหลักด้านคุณภาพของบริการที่มีค่าดัชนีความแตกต่างมากย่อมหมายถึงว่าปัจจัยนั้นส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากผู้ใช้บริการมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีความแตกต่างกันที่มากตามไปด้วย จะทำให้สรุปได้ว่าพารามิเตอร์นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความผันผวนของแบบจำลองมากที่สุด

$$MAPE = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{QoE_{Ai} - QoE_{Bi}}{QoE_{Ai}}\right| \qquad (4.2)$$

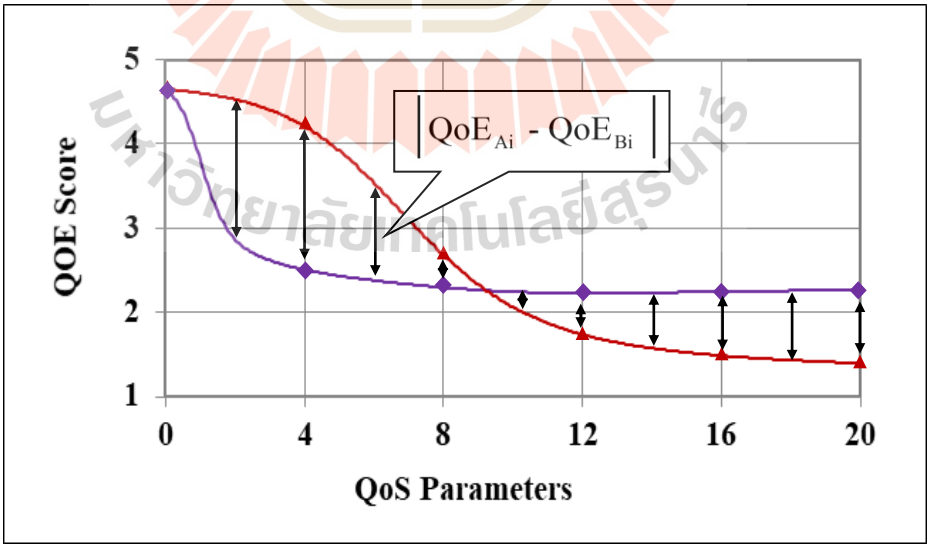
เมื่อ QoE_{Ai} คือ คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากแบบจำลองที่ถูกสร้างก่อน

QoE_{Bi} คือ คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยจากแบบจำลองที่ถูกสร้างถัดไป

n คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

MAD คือ ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

MAPE คือ ค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์



รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์ค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD)

การวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์มีความผันผวนในงานวิจัย จะนำค่าที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากโครงข่ายประสาทเทียมมาหาความแตกต่างกันด้วยตัวชี้วัดดัชนีความแตกต่าง โดยจะมีการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งหมด ดังต่อไปนี้คือ

1) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 และ 2

2) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 2 และ 3

3) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 3 และ 4

4) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 4 และ 5 ดังนี้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

1) พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ได้แก่ ค่าวิสัยสามารถของการดาวน์โหลดวิดีโอ (Download Throughput) ระยะเวลาก่อนการเริ่มเล่นวิดีโอ (Duration first play) ซึ่งหมายถึงระยะเวลาในการดาวน์โหลดวิดีโอก่อนการรับชม และระยะเวลาในการหยุดเล่น (Buffering Duration) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

QoE Model	QoS parameters					
	Download Throughput		Duration To First Play		Buffering Duration	
	MAD	MAPE	MAD	MAPE	MAD	MAPE
QoE Score 1&2	0.34	16.82 %	0.08	4.02 %	0.67	31.08 %
QoE Score 2&3	0.27	9.69 %	0.32	19.41 %	0.53	37.68 %
QoE Score 3&4	0.16	6.25 %	0.53	35.84 %	0.86	35.54 %
QoE Score 4&5	0.40	19.86 %	0.46	22.64 %	0.82	34.16 %

จากตารางที่ 4.1 จากการเปรียบเทียบทั้ง 5 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube พบว่าพารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนีความแตกต่างที่มากที่สุดคือ **ระยะเวลาในการหยุดเล่น (Buffering Duration)** จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาในการหยุดเล่น

(Buffering Duration) เป็นปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการ (พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้) ที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดบนการใช้บริการแอพพลิเค-ชัน YouTube

2) พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ (radio parameters) ได้แก่ กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) คุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) และค่าชี้วัดความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (RSSI) ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้จากการให้บริการแอพ-พลิเคชัน YouTube

QoE Model	QoS parameters					
	RSRP		RSRQ		RSSI	
	MAD	MAPE	MAD	MAPE	MAD	MAPE
QoE Score 1&2	0.19	0.05 %	0.26	7.92 %	0.22	6.30 %
QoE Score 2&3	0.23	5.66 %	0.30	10.33 %	0.11	2.79 %
QoE Score 3&4	0.23	6.75 %	0.57	25.24 %	0.08	1.72 %
QoE Score 4&5	0.20	4.83 %	0.21	5.46 %	0.12	2.75 %

จากตารางที่ 4.2 จากการเปรียบเทียบทั้ง 5 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube พบว่าพารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนีความแตกต่างที่มากที่สุดคือ **คุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ)** จึงสามารถสรุปได้ว่า คุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) เป็นปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการ (พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้) ที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดบนการใช้บริการแอพพลิเคชัน YouTube

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line

สืบเนื่องมาจากผลที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์นั้น ไม่มีแบบจำลองที่สร้างจากพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ เนื่องจากพารามิเตอร์คุณภาพของบริการและคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้นั้นไม่มี

ความสัมพันธ์กันเพราะฉะนั้นในการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการต่อความเปลี่ยนแปลงระหว่างแบบจำลอง จึงไม่มีผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ด้วยเช่นกัน

1) พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ได้แก่ ระยะเวลาในการส่ง (Line Sent Time) ซึ่งเป็นระยะเวลาในการอัพโหลดรูปภาพตลอดจนส่งออกรูปภาพไปยังผู้รับปลายทางได้สำเร็จด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line

QoE Model	**QoS parameters**	
	LINE_Send_Time	
	MAD	**MAPE**
QoE Score 1&2	0.41	**9.10 %**
QoE Score 2&3	0.44	**10.36 %**
QoE Score 3&4	0.14	**2.46 %**
QoE Score 4&5	0.29	**6.28 %**

จากตารางที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 5 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line พบว่าพารามิเตอร์เดียวที่มีค่าดัชนีความแตกต่างคือ **ระยะเวลาในการส่ง (Line Sent Time)** จึงสามารถสรุปได้ระยะเวลาในการส่ง (Line Sent Time) เป็นปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการ (พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้) ที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เกิดเปลี่ยนแปลงมากที่สุดบนการใช้บริการแอพพลิเคชัน Line

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

ในการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการบนแอพพลิเคชัน web browser นั้นมีทั้งพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้และพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้

1) พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้ (end parameters) ได้แก่ ระยะเวลาในการโหลด (Duration Time) หน้าเว็บไซต์สำเร็จและค่าวิสัยสามารถ (Download Throughput) ในการดาวน์โหลดหน้าเว็บไซต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการแอพ-พลิเคชัน web browser

QoE Model	QoS parameters			
	Duration_Time		Download Throughput_	
	MAD	MAPE	MAD	MAPE
QoE Score 1&2	0.51	31.87 %	0.14	6.23 %
QoE Score 2&3	0.60	26.64 %	0.26	7.96 %
QoE Score 3&4	0.38	15.25 %	0.09	2.61 %
QoE Score 4&5	0.40	13.02 %	0.22	5.87

จากตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 5 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser พบว่าพารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนีความแตกต่างที่มากที่สุดคือ **ระยะเวลาในการโหลดหน้าเว็บไซต์สำเร็จ (Duration Time)** จึงสามารถสรุปได้ระยะเวลาในการโหลดหน้าเว็บไซต์สำเร็จ เป็นปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการ (พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้) ที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดบนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser

2) พารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ (radio parameters) ได้แก่ กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) ในการดาวน์โหลดหน้าเว็บไซต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง 5 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser พบว่าในการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 1 และ 2 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 3 และ 4 พารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนีความแตกต่างที่มากที่สุดคือ**กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP)** และในการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 2 และ 3 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ 4 และ 5 พารามิเตอร์ที่มีค่าดัชนีความแตกต่างที่มากที่สุดคือ**คุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ)** จึง

สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหลักทางด้านคุณภาพของบริการ (พารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้) ที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดบนการใช้บริการแอพพลิเคชัน web browser ประกอบไปด้วยกำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ)

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์กับพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้จากการให้บริการแอพ-พลิเคชัน web browser

QoE Model	QoS parameters			
	RSRP		RSRQ	
	MAD	MAPE	MAD	MAPE
QoE Score 1&2	0.42	9.31 %	0.37	7.91 %
QoE Score 2&3	0.26	6.99 %	0.38	9.69 %
QoE Score 3&4	0.35	9.51 %	0.18	3.79 %
QoE Score 4&5	0.22	6.81 %	0.32	7.22 %

ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์พบว่าแบบจำลองที่มีความแตกต่างกันมากที่สุด เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความคิดเห็นจากผู้ใช้บริการกับค่าพารามิเตอร์คุณภาพของประสบการณ์ที่มีความผันผวนมาก กล่าวคือที่พารามิเตอร์คุณภาพของบริการค่าต่างๆ จะส่งผลให้ระดับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการเปลี่ยนไปอยู่ตลอดทั้ง 1 – 5 คะแนน ไม่ใช่เพียงอยู่ในระดับใดเป็นหลัก จึงเหมาะสมที่นำมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินและปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว ให้อยู่ในระดับความพึงพอใจที่ดีต่อผู้ใช้บริการ

และจากปริทัศวรรณกรรมส่วนใหญ่ที่มุ่งเน้นไปที่การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจของผู้ใช้บริการและพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ โดยจะนำค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่มีความสัมพันธ์กันทั้งหมด ไปสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายคะแนนความพึงพอใจที่ดีและนำค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นไปปรับปรุงค่าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้ใช้บริการพึงพอใจ แต่เป็นไปได้ยากที่จะสามารถรู้ได้ว่าควรปรับค่าพารามิเตอร์ตัวใดจึงจะสามารถเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้บริการให้อยู่ในเกณฑ์ที่ดีได้อย่างแท้จริง จึงต้องมีการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่จะส่งผลกระทบต่อ

แบบจำลองมากที่สุดก่อน แล้วจึงมุ่งเม้นไปที่การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์นั้น เนื่องจากส่งผลกกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการโดยตรง

4.4 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้เป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งมีวิธีการต่อเนื่องมาจากบทที่ 3 การออกแบบงานวิจัยและโครงข่ายประสาทเทียม โดยแสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ของกราฟเชิงเส้นระหว่างคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยและพารามิเตอร์คุณภาพของบริการ ทั้งพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้และพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้ โดยจัดหมวดหมู่แสดงผลออกตามการใช้บริการแอพพลิเคชันบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

และในบทนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งในขอบเขตของการวิจัย ได้จำกัดให้พารามิเตอร์คุณภาพของบริการเป็นปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้บริการ ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพของบริการนั้น จะใช้ค่าดัชนีความแตกต่างเป็นตัวบ่งชี้ถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง ซึ่งคำนวณได้จากค่ากลางของค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE)

ซึ่งจากงานวิจัย ได้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อพิสูจน์สมมติฐานในงานวิจัยที่ว่าด้วยปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในประสบการณ์การใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่และส่งผลต่อแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ แค่เพียงพารามิเตอร์บางตัวเท่านั้นที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจในประสบการณ์การใช้บริการ ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล และอีกหนึ่งสมมติฐานคือสามารถวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลให้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างโดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ได้ด้วยการวิเคราะห์ค่าดัชนีความแตกต่าง พบว่าผลการวิเคราะห์พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้จากการใช้บริการในแต่ละแอพพลิเคชันส่งผลให้แบบจำลองมีความแตกต่างกันที่มากกว่าค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมจากการใช้บริการจากสถานีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 4G

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

จากที่มาและความสำคัญของงานวิจัย ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารผ่านระบบการสื่อสารไร้สาย มีอิทธิพลและกลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของประชากรเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการสื่อสารด้วยเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile network) ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากมีการพัฒนาเครือข่ายและเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านของความเร็วและความแม่นยำในการรับส่งข้อมูล ความครอบคลุมของพื้นที่ในการให้บริการเครือข่ายและยังมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้น นอกจากนี้เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังมีรูปแบบการให้บริการที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้บริการที่หลากหลาย เนื่องจากการให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นสามารถตอบสนองและอำนวยความสะดวกสบายต่อความความต้องการของผู้ใช้บริการได้เป็นอย่างดี จึงมีผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดประโยชน์และผลกำไรแก่ผู้ประกอบการทางด้านการสื่อสารผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอย่างมาก จึงเป็นแรงจูงใจให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ประกอบการเครือข่ายที่ในการรักษาผลประโยชน์ของตน รักษาฐานผู้ใช้บริการรายเก่าและเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการรายใหม่ให้มากยิ่งขึ้น ด้วยกลยุทธ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นในด้านการให้ความสะดวกสบายต่อการใช้บริการ การให้บริการเทคโนโลยีและแอพพลิเคชันที่มีความทันสมัยและแปลกใหม่ ความครอบคลุมในการใช้งานในทุกพื้นที่ และที่สำคัญคือการรักษาระดับคุณภาพของบริการ (Quality of Service : QoS) เครือข่ายที่ดี มีค่าชี้วัดเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด และมาตรฐานคุณภาพของการให้บริการยังเป็นหนึ่งในเงื่อนไขของสิทธิการคุ้มครองผู้บริโภคอีกด้วย เพราะฉะนั้นผู้ประกอบจึงให้ความสำคัญต่อการตรวจสอบและรักษาคุณภาพของการให้บริการเป็นอย่างมาก

จากการสำรวจวิธีการตรวจสอบคุณภาพของบริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบัน ผู้ประกอบการเครือข่ายจะมุ่งเน้นไปที่การควบคุมการให้บริการในเชิงปริมาณ หรือก็คือการเฝ้าระวังค่าพารามิเตอร์ (monitor parameters) ที่สามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายให้ตรงตามมาตรฐาน ซึ่งค่าพารามิเตอร์เป็นค่าที่วัดได้จากการทดสอบสัญญาณ ณ สถานที่ที่มีการให้บริการเครือข่าย และมุ่งเน้นไปที่การให้บริการในเชิงคุณภาพ เช่น การสอบถามเกี่ยวกับความคิด-

เห็นหรือการวัดระดับความพึงพอใจจากมุมมองของผู้ใช้บริการจากประสบการณ์ที่เคยใช้บริการ เพื่อให้ผู้ใช้บริการเกิดความพึงพอใจและประสบการณ์ที่ดีในการใช้บริการจริงในสถานการณ์ต่าง ๆ แต่การจะเข้าถึงความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้บริการในรูปแบบรายบุคคลนั้นเป็นไปได้ยาก ผู้ประกอบการจึงมีการริเริ่มที่จะนำอัลกอริทึมของการเรียนรู้ (machine learning) มาใช้ในการช่วยวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการมากยิ่งขึ้น ด้วยการเชื่อมโยงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยหลักที่สามารถส่งกระทบต่อความพึงพอใจในประสบการณ์ของการใช้บริการเครือข่ายได้ หรือเรียกว่าเป็นการสำรวจคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE) จากการใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่สามารถส่งกระทบต่อความพึงพอใจในประสบการณ์ของการใช้บริการเครือข่าย ด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการหาดัชนีของความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยค่ากลางของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation : MAD) และค่ากลางของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ซึ่งค่าดัชนีความแตกต่างนี้จะบ่งบอกถึงปัจจัยทางด้านคุณภาพของบริการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากพารามิเตอร์นั้นจะส่งผลให้ความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายเปลี่ยนไปด้วย นอกจากนี้ยังป้องกันไม่ให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายแย่ลงเนื่องจากวิธีการหาค่าดัชนีความแตกต่างนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับค่าพารามิเตอร์ของคุณภาพการบริการให้อยู่ในระดับความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งานอีกด้วย ในส่วนของการสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของบริการและคุณภาพของประสบการณ์ เพื่อพยากรณ์ความสัมพันธ์ให้ออกมาในรูปแบบของกราฟเชิงเส้น และนำมาวิเคราะห์ถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยจะเรียกแบบจำลองนี้ว่า “แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์” ในงานวิจัยนี้จะสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการทางโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Feed-Forward Neural Networks) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้ข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมเป็นค่าพารามิเตอร์คุณภาพของบริการซึ่งประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ได้และพารามิเตอร์ที่ผู้ให้บริการที่สามารถรับรู้ที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ

ซึ่งในการเก็บรวมข้อมูลเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองนั้น ข้อมูลที่ได้มีสองรูปแบบคือข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณและข้อมูลที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการแอพพลิเคชัน ซึ่งประกอบด้วยแอพพลิเคชัน YouTube, Line และ web browser ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บรวมข้อมูลจากการใช้บริการแอพพลิเคชันละ 5 วัน เพื่อตรวจวัดสัญญาณในสถานการณ์ที่แตกต่างกันไป เช่น ความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้บริการรายอื่นในขณะที่ทำการทดสอบสัญญาณ ความแตกต่าง

ของสภาพแวดล้อมรวมไปถึงสถานที่ในขณะใช้บริการเครือข่าย เนื่องจากในการทดสอบสัญญาณมีการสุ่มเลือกสถานที่เพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันออกไป แต่อยู่ภายในบริเวณห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ผู้ใช้งานนั้นมีเพียงผู้วิจัยเท่านั้นที่เป็นผู้ประเมิน เนื่องจากในงานวิจัยต้องการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลให้ระดับความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายของผู้ใช้บริการเปลี่ยนไปในสภาพการณ์การใช้งานจริงของผู้ใช้บริการที่ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา พารามิเตอร์คุณภาพของบริการก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ภายใต้สภาวะที่ทุกอย่างภายรอบตัวเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องการให้มาตรฐานการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการอยู่ในระดับเดียวกัน

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการให้อยู่ในความพึงพอใจของผู้ใช้บริการบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้จากการเฝ้าระวังพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ส่งผลให้ความพึงพอใจของผู้ใช้งานลดลงมากที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ แอพพลิเคชัน YouTube มีพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้คือ ระยะเวลาในการหยุดเล่นวิดีโอ (buffering duration) และพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้คือ คุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างแต่ละแบบจำลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยได้ 34.61 % และ 12.23 % ตามลำดับ ในแอพพลิเคชัน Line มีพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้สามารถรับรู้ได้คือ ระยะเวลาในการส่งข้อมูล (Line Sent Time) เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ มีความแตกต่างระหว่างแต่ละแบบจำลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยได้ 7.05 % และแอพพลิเคชัน web browser มีพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ใช้บริการสามารถรับรู้ได้คือ ระยะเวลาในการโหลดหน้าเว็บไซต์สำเร็จ (Duration Time) และมีพารามิเตอร์คุณภาพของบริการที่ผู้ให้บริการสามารถรับรู้ได้คือ กำลังสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRP) และคุณภาพสัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ (RSRQ) เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างแต่ละแบบจำลองคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยได้ 21.69% , 8.15 % และ 7.15 % ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำวิธีการวิเคราะห์นี้ไปใช้ในการลดขั้นตอนหรือกระบวนการในการหาความผิดพลาดที่ส่งผลให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพของการให้บริการลดลง ด้วยการนำพารามิเตอร์คุณภาพของบริการไปปรับปรุงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตามที่ประโยชน์ของงานวิจัยได้ระบุไว้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นขณะที่ดำเนินงานวิจัยคือ ในระหว่างการทดสอบสัญญาณเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์นั้น จะต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการแอพพลิเคชันบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณพื้นที่ที่กำหนดไว้ โดยระดับคะแนนความพึงพอใจที่กำหนดขึ้นประกอบไปด้วย 5 ระดับคะแนน แต่ข้อมูลที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจในสถานที่จริงนั้นพบว่ามีคะแนนความพึงพอใจไม่ครบทั้ง 5 ระดับ ซึ่งถ้านำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ จะส่งผลให้แบบจำลองไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองจะไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างได้ เนื่องจากระดับคะแนนจะอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน จึงมีแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้คือเก็บรวบรวมข้อมูลคะแนนความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่ายเพิ่มเติมให้ครบทุกระดับคะแนน จากบริเวณอื่นที่แตกต่างกันออกไปในสถานที่ที่กำหนด ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยคือ ก่อนที่จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการเครือข่าย ควรศึกษาสถานที่ในการทดสอบสัญญาณก่อนว่าจะสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลระดับคะแนนความพึงพอใจได้ครบทั้ง 5 ระดับหรือไม่ เช่น สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีจุดอับสัญญาณหรือมีบริเวณที่อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการให้บริการเครือข่าย

อีกหนึ่งปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินงานวิจัย คือปัญหาทางด้านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณ มีแบตเตอรี่ที่ไม่ทนทานต่อการใช้งาน ในบางครั้งจึงทำให้เก็บรวบรวมข้อมูลได้ไม่ครบตามที่กำหนด เช่น รวบรวมข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจไม่ครบทั้ง 5 ระดับหรือข้อมูลไม่เพียงพอที่จะนำมาสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ จึงมีแนวทางในการแก้ปัญหาคือใช้แบตเตอรี่สำรองในขณะที่ทำการประเมินความพึงพอใจไปด้วย และมีข้อเสนอแนะคือในระหว่างทำการทดสอบสัญญาณควรมีแบตเตอรี่โทรศัพท์เพิ่มเติม เนื่องจากการใช้แบตเตอรี่สำรองในระหว่างการทดสอบสัญญาณจะส่งผลให้อุณหภูมิเครื่องสมาร์ทโฟนสูงและอุปกรณ์สมาร์ทโฟนมีการรีสตาร์ทอัตโนมัติขณะใช้งาน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการรบกวนขณะที่ทำการทดสอบสัญญาณ

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

งานวิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทางด้านคุณภาพของบริการจากอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอพพลิเคชัน Azenqos เท่านั้น โดยแอพพลิเคชัน Azenqos สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลบนการใช้งานผ่านแอพพลิเคชันอื่นได้น้อยเมื่อเทียบกับการใช้บริการมัลติมีเดียในปัจจุบัน เช่น ในปัจจุบัน

แอพพลิเคชันที่นิยมใช้งานมากยิ่งขึ้นคือการติดต่อสื่อสารแบบวิดีโอคอนเฟอเรนท์ ที่แอพพลิเคชัน Azenqos ยังไม่สามารถทำการวัดสัญญาณได้ ซึ่งในอนาคตถ้ามีการวัดสัญญาณที่ครอบคลุมการใช้บริการแอพพลิเคชันที่มากขึ้นได้ ก็จะทำให้สามารถเข้าถึงความต้องการและความพึงพอใจทางด้านการใช้บริการเครือข่ายผ่านแอพพลิเคชันได้มากขึ้นอีก

ในด้านการวิเคราะห์สามารถทำให้สรุปภาพรวมของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้อยู่ในระดับที่ผู้ใช้งานพึงพอใจเพียงใด แต่ยังไม่สามารถพยากรณ์ได้ว่าในอนาคตค่าพารามิเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์สถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตได้ ต้องอาศัยการวัดสัญญาณเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ให้ค่าพารามิเตอร์อยู่ในระดับที่ผู้ใช้บริการพึงพอใจอยู่เป็นประจำ จึงควรมีวิธีการที่นำมาซึ่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายและได้รับข้อมูลที่เป็นความจริง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

พีระพงษ์ อุฑารสกุล. 2556. "**ระบบสื่อสารเคลื่อนที่.**" สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประหยัด สุพะกำ. [ออนไลน์]. 2559. "**Artificial Neural Network.**" แหล่งที่มา : http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf

ศศลักษณ์ ทองขาว. [ออนไลน์]. 2550. "**ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence).**" แหล่งที่มา : http://oservice.skru.ac.th/ebookft/290/chapter8.pdf

ปธิกร อันชื่น. แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากคุณภาพของบริการโดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559

Ning, Zhaolong, et al. 2017. A Novel QoS-Based QoE Evaluation Method for Streaming Video Service**. Internet of Things iThings and IEEE Green Computing and Communications GreenCom and IEEE Cyber, Physical and Social Computing CPSCom and IEEE Smart Data SmartData,** 2017 IEEE International Conference on. IEEE, 2017. Exeter, UK

Anchuen, P., Uthansakul, P., & Uthansakul, M. 2016. QOE model in cellular networks based on QoS measurements using neural network approach. **In Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology ECTI-CON, 2016 13th International Conference on IEEE.** 1: 1 – 5

Abdellah, S., Sara, M., El-Houda, M. N., & Samir, T. 2017, July. QoS and QoE for mobile video service over 4G LTE network. **In Computing Conference, IEEE** pp. 1263-1269.

Du, H., Guo, C., Liu, Y., & Liu, Y. 2009, November. Research on relationship between QoE and QoS based on BP Neural Network. In Network Infrastructure and Digital Content, 2009. IC-NIDC 2009. **IEEE International Conference on pp. 312-315.**

Tran, Huyen TT, et al. 2016. A Multi-Factor QoE Model for Adaptive Streaming over Mobile Networks. **Globecom Workshops GC Wkshps, IEEE.**

Casas, Pedro, et al. 2017. Predicting QoE in cellular networks using machine learning and in-smartphone measurements. **2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience QoMEX.** 1: 1 – 6

Jenkins, W. M. "Neural network weight training by mutation." **Computers & structures** 84.31-32 (2006): 2107-2112.

Meng, Hao, et al. 2016 QoE prediction model for IPTV based on machine learning. **Wireless Communications & Signal Processing WCSP, 2016 8th International Conference on. IEEE**

Kang, Y., Chen, H., & Xie, L. 2013, August. An artificial-neural-network-based QoE estimation model for video streaming over wireless networks. In Communications in China ICCC, 2013 IEEE/CIC International Conference on pp. 264-269.

Garson and G. David. "**Neural networks: An introductory guide for social scientists.**" Sage, 1998.

Saurabh Karsoliya, "**Approximating Number of Hidden layer neurons in Multiple Hidden Layer BPNN Architecture**," International Journal of Engineering Trends and Technology, Volume 3, Issue 6, 2012.

McCulloch WS and Pitts WH. "**A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity.**" Bull Math Biophys, Volume 5, pp.115–133, 1943.

Jack, H. [Online]. 1991. "**Evaluations of Neural Networks for Robot Inverse Kinematics.**" Canadian Society of Mechanical Engineers, 1991.

ITU-T Rec. G.1010, **End-user multimedia QoS categories**, 2001.

ITU-T P.10/Amd.1, **Vocabulary for performance and quality of service,** 2006.

ITU-T G.1080, **Quality of experience requirements for IPTV services,** 2008.

ITU-T P.10/G.100, **Vocabulary for performance and quality of service,** 2017.

ITU-T P.800, **Methods for subjective determination of transmission quality,** 1996.

ภาคผนวก ก

เอกสาร Standard Normal t-table

รายชื่อเอกสารที่ใช้สำหรับอ้างอิง

http://www.sjsu.edu/faculty/gerstman/StatPrimer/t-table.pdf

t Table

cum. prob	$t_{.50}$	$t_{.75}$	$t_{.80}$	$t_{.85}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$	$t_{.999}$	$t_{.9995}$
one-tail	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
two-tails	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
df											
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
z	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%
					Confidence Level						

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

t-table.xls 7/14/2007

ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Arisa Vilaikruad, Peerapong Uthansakul, Monthippa Uthansakul and Settawit Poochaya. "The Impact of Throughput Fluctuation on Quality of Experience for YouTube Service." 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) p. 827-831.

Arisa Vilaikruad, Patikorn Anchuen, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul. "Effect of quality of service parameters on quality of experience for YouTube service in mobile networks." In: Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2017 14th International Conference on. IEEE, 2017. p. 568-571.

Arisa Vilaikruad, Patikorn Anchuen, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul. "Analysis of The Most Influential Factor on Quality Of Experience In Mobile Network." Suranaree Journal of Science and Technology (SJST). p. 151-164.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

The Impact of Throughput Fluctuation on Quality of Experience for YouTube Service

Arisa Vilaikruad [1], Monthippa Uthansakul [1], Peerapong Uthansakul [1 +] and Settawit Poochaya [1]

School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand 30000

Abstract. With the massive demand of YouTube service in 4G mobile network, it is the urgent and important issue for service providers to maintain the satisfaction of all users. Although the throughput in 4G network is typically high but the user cannot avoid experiencing the fluctuation of data downloading. In general, this fluctuation cannot be predicted due to real-time user environments. For video streaming service like YouTube, it is expected to have the least fluctuation. Hence, it is interesting to see the impact of the throughput fluctuation on the satisfaction of users in order to improve the network quality. This paper presents the novel conclusion on the relationship between throughput fluctuation and the quality of experience in term of user satisfaction for YouTube service.

Keywords: QoE, QOS, MOS, Throughput Fluctuations.

1. Introduction

Currently, the increasing demand for mobile phones has been exponentially growing since people trend to reply on multimedia videos nowadays. The report by Cisco [1] estimated that the global mobile video traffic will increase 13-fold from 2014 to 2019 accounted for 72% of data traffic on mobile devices. As a result, network providers lately focus on improving network quality in order to provide a higher quality video to fulfil the satisfaction of customers. So far, most of network providers traditionally focus on only Quality of Service (QoS) and signal strength to improve the network efficiency. However, some mobile users cannot access the service. This is because a number of users need to access the service at the same time. For this case, the network providers cannot meet the user satisfaction. Alternatively, Quality of Experience (QoE) is an interesting parameter to indicate the real user satisfaction. As long as the network providers know the QoE from users, they will be able to provide the services according to the user demand.

Therefore, this paper proposes a focus on understanding the relationship between user satisfactions on YouTube service with the video quality. In this paper, the quality indicator is a Mean Opinion Score (MOS) which reflects many parameters indicating the service quality such as packet Loss, delay, Jitter, bandwidth, latency and network throughput [2-3]. Please note that a downlink throughput is chosen for this study as it is widely used and well recognized for the network efficiency monitoring. From literatures, some researchers have focused on Key Performance Indicator (KPI) to create the downlink throughput fluctuation model from bandwidth fluctuations to analyse the QoE on the traffic issue of mobile network [4-5]. However, all of them have been demonstrated only in laboratory. Therefore, this paper further investigates the fluctuation effect on the real users in real circumstances of 4G mobile network.

The remainder of the paper is as follows. In Section 2, the background overviews of research related to the system quality indicators such as QoS and QoE is presented. Section 3 discusses on the details of

+ Corresponding author. Tel.: +66850865588; fax: +6644224603.
E-mail address: uthansakul@sut.ac.th

experiments to achieve QoE in real circumstances. Then, the experimental results and discussions will be presented in Section 4. Finally, Section 5 concludes the paper.

2. Background Overviews

The definition of QoS has been addressed by ITU in 1988 as the effect of service performance which determines the level of user satisfaction for mobile networks [6] in order to allocate the available resources for the most efficient networks. The definition of QoE has been addressed by ITU-T in 2008 as the acceptance of the applications or services which is perceived subjectively by the end-user [7]. The brief details of these 2 parameters are as follows.

2.1. QoE Evaluations

The evaluation of QoE is divided into 2 methods. The first one is called as a subject evaluation method which is the quality of the opinion referring to a feeling or satisfaction of users. The second method is an objective evaluation method. It is a relationship of mathematical equations that have been proposed by ITU-T P.862 [8]. Please note that this paper focuses on the subject evaluation method because the mobile networks have the specific environments beyond the formula of ITU-T P.862.

2.2. QoS Parameters

The downlink throughput is an important factor to determine the user satisfaction when users are watching the video on YouTube service. This is because throughput or data transmission speed creates a buffer which directly delays the video downloading. The users can directly experience the effect of delaying while watching YouTube video.

Fig. 1 shows the downlink throughput when watching YouTube videos during 1 minute. This data was originally recorded using the application named Azenqos on mobile phones. As we can see in the figure, the downlink throughput changes every second. This change is called as throughput fluctuations. In this example, the average throughput is 2.28 Mbps while the throughput in each second is varied from 0 – 16 Mbps.

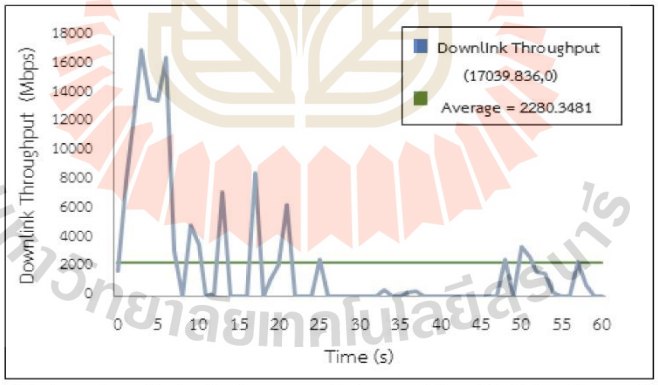


Fig. 1: Downlink throughput fluctuation is measured when watching YouTube videos within 1 minute.

In order to measure the degree of fluctuations, the Standard Deviation (SD) of downlink throughput can be the representative of fluctuation variation. The measured throughputs are collected from Azenqos application which is a popular tool for 4G mobile networks. Then the correlation analysis using SD of throughputs forms the relationship between Mean Opinion Score (MOS) and SD. Fig. 2 shows the diagram of subjective evaluation method to find the relationship between fluctuations and QOE on 4G mobile networks.

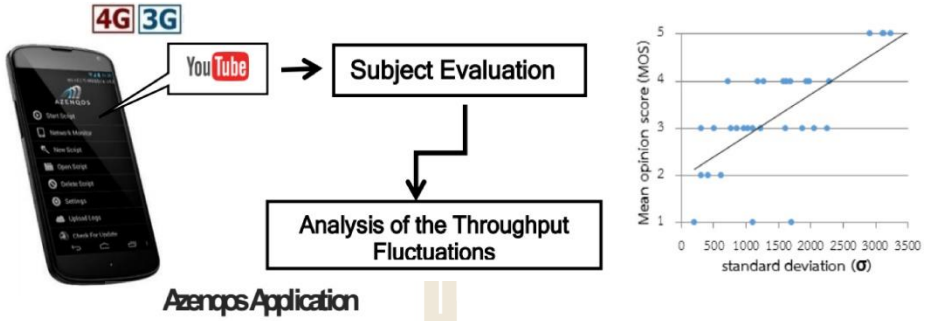


Fig. 2: Subjective evaluation method to find the relationship between fluctuations and QoE.

3. Experimental Results and Discussions

3.1. Subject Evaluation Method

The subject evaluation method aims to measure the quality of video [9] based on the viewpoint of users through their questionnaires. This work surveyed 90 participants who watch YouTube video for 1 minute. The 40 participants were female and the others were male, whose ages were ranged from 21 to 24 years old. All participants watched the same YouTube video on the mobile phone at 1080 p quality. After watching video, users commented on the video whether they were satisfied with the quality of video or not. They can mark a measure of satisfaction with the quality of video over five levels from 1 to 5, also known as the Mean Opinion Score (MOS) [10]. Table 1 shows the meaning of MOS levels and their quality.

Table1: MOS versus video quality.

MOS	QUALITY	IMPAIRMENT
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

3.2. Throughput Fluctuations

The measured locations are randomly spread throughout the area of Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima, Thailand. Fig. 3 shows the map of evaluation area which has an approximate population of 17,000 people (exploration data Friday, August 19, 2016 at 3:47 pm.).

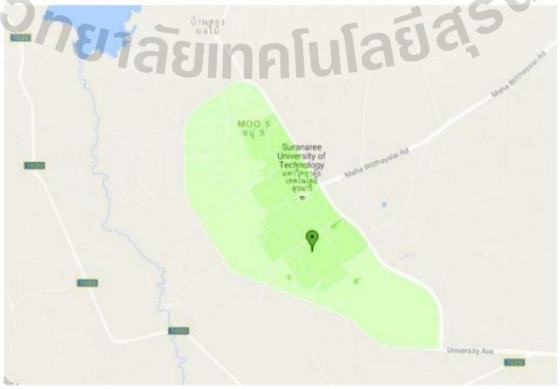


Fig. 3: the map of measured are.

Fig. 4 shows the relationship between MOS and standard deviation(σ) by subjective evaluation method for YouTube service with video quality of 1080p, when the average throughput is (a) 2100-2500 kbps (b) 1900-2100 kbps (c) 1200-1400 kbps (d) 900-1200 kbps and (e) 500-900 kbps. In Fig. 4(a), it is clearly seen that all users are very satisfied with the YouTube service no matter what the standard deviation is high or low. This is because the downlink throughput is too large to be impaired by fluctuation. Also the YouTube service has some buffers that are tolerance to this fluctuation. This buffer can be worked only when the download speed is fast enough. Otherwise, the buffers cannot help to ignore the fluctuation as seen in Fig. 4 (b) to (e).

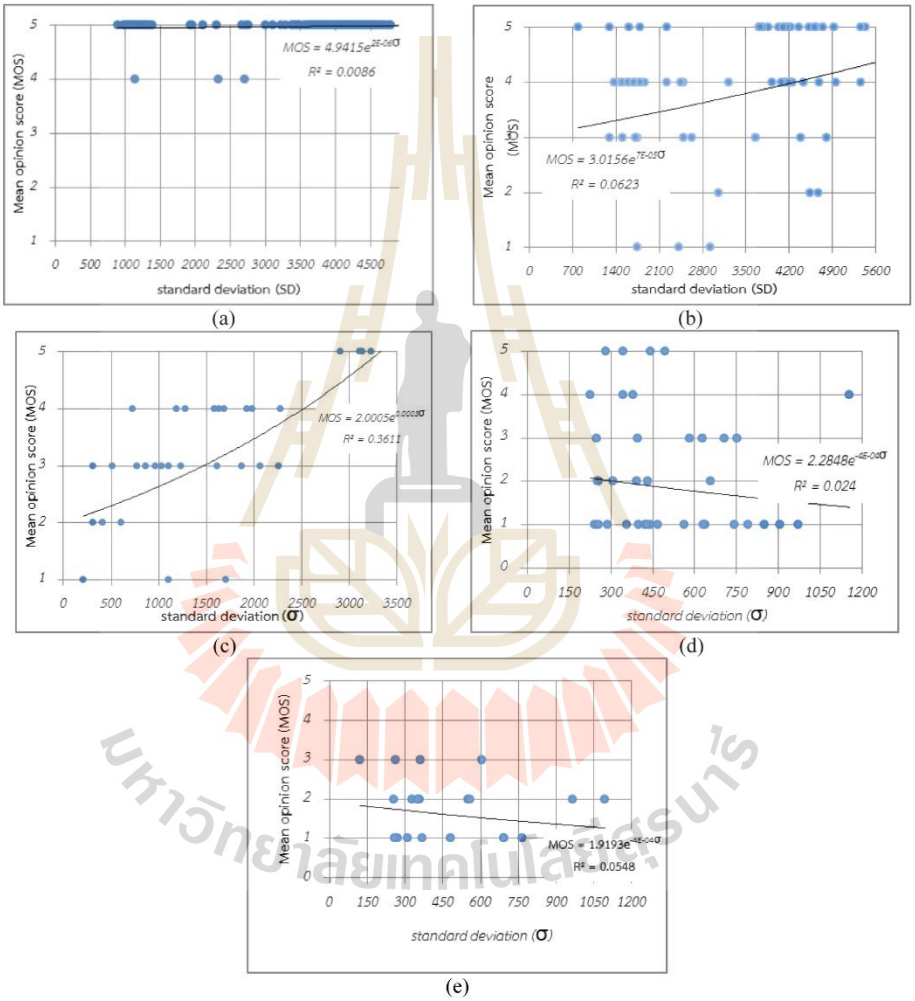


Fig. 4: the relationship between MOS and standard deviation (σ) by subjective evaluation method for YouTube service with video quality of 1080p, when the average throughput is a) 2100-2500 kbps b) 1900-2100 kbps c) 1200-1400 kbps d) 900-1200 kbps and e) 500-900 kbps.

For the results in Fig. 4 (b) and (c), the more standard deviation is the more MOS is achieved. The results in his are because the throughput is still high enough to play main role on the effect of fluctuation. In turn, the result in Fig. 4 (d) and (e) show that the more fluctuation is the less MOS is achieved. It is obvious that the buffer cannot help and also the average throughput is too low to notice all fluctuation effects.

4. Conclusion

This paper provides the new insight on the impact of fluctuation on the user satisfaction. This work analyses QoE based on subjective evaluation method for YouTube service in 4G mobile networks. The measured results show that the fluctuation will play a main role on the user satisfaction only when the average throughput is low enough. The throughput fluctuation could not affect the satisfaction of users when the average throughput is too high. This conclusion is very helpful for service providers to neglect the unavoidable fluctuation by keeping their average throughput higher than 2100 kbps.

5. References

[1] "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecase Update 2014-2019", Cisco Inc, Feb. 2015, [online] Available: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html.

[2] Yan Chen, Toni Farley and Nong Ye, "QoS Requirements of Network Applications on the Internet," IOS Press and the authors, pp. 55-76, 2004.

[3] Xu, Lina, and Yantao Qiao. "Negotiator based Quality of Experience framework for video." 2016 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC). IEEE, 2016.

[4] P. Casas, A. Sackl et al., "On the Quest for New KPIs in Mobile Networks: The Impact of Throughput Fluctuations on QoE", IEEE ICC 2015

[5] A. Sackl et al., "The Influence of Network Quality Fluctuations on Web QoE", in QoMEX, 2014.

[6] International Telecommunication Union – Telecommunication standardization Sector: Quality of Service and Dependability Vocabulary, ITU-T Rec. E. 800, November, 1988.

[7] Rec I. P. 10: Vocabulary for performance and quality of service, Amendment 2: New definitions for inclusion in Recommendation ITU-T P. 10/G. 100[J]. Int. Telecomm. Union, Geneva, 2008.

[8] ITU-T P.862, "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)," Feb 2001. [10] ITU-T G.107, "The E-model, a computational model for use in transmission planning," Mar 2005

[9] P. Casas, A. Sackl et al., "Negotiator based Quality of Experience Framework for Video", IEEE CCNC 2016 13th

[10] International Telecommunication Union – Telecommunication "Mean Opinion Score(MOS) terminology," ITU-T Rec. P. 800, July 2.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

Effect of Quality of Service Parameters on Quality of Experience for YouTube Service in Mobile Networks

Arisa Vilaikruad, Patikorn Anchuen
School of Telecommunication Engineering
Suranaree University of Technology
Muang, NakhonRatchasima, Thailand 30000
m5940271@g.sut.ac.th, patikorn_9ho@hotmail.com

Peerapong Uthansakul, Monthippa Uthansakul
School of Telecommunication Engineering
Suranaree University of Technology
Muang, NakhonRatchasima, Thailand 30000
uthansakul@sut.ac.th, mtp@sut.ac.th

***Abstract*—Recently, the YouTube service has been one of the most popular channels to upload and download many video clips. Even in the mobile networks, the user satisfaction on YouTube service becomes the key performance index to benchmark the system quality among various service providers. However, there are many parameters indicating Quality of Service (QoS) of YouTube service. This causes a lot of efforts on both money and time to improve all parameters. It is the fact that users do not concern any QoS parameters as long as they are satisfied with the services. The indicator of user satisfaction is defined as Quality of Experience (QoE). Hence, it would be better if we can know which QoS parameter has the most correlation with QoE. Then, the service providers can spend less money and time to focus on some but important parameters. This paper originally presents the effect of QoS parameters on QoE in order to find the most influencing parameters by surveying the user satisfaction of YouTube services in 3G and 4G networks. The results indicate that the download throughput and the duration to first play provide the strong relationship with user satisfaction while the buffering duration does not play any influences on user satisfaction.**

Keywords-MOS (Mean Opinion Score); Subjective Evaluation method; Duration To First Play; Buffering Duration; Throughput

I. INTRODUCTION

At present, the YouTube service has over a billion users which are almost one in a third of all people on the Internet. Every day people watched hundreds of millions of hours on YouTube channel which can generate billions of views [1]. Moreover, more than a half of YouTube views come from mobile devices and accounted for over 25% of all videos viewed on YouTube channel. It can be predicted that these users are going to increase more and more in the near future. Therefore, to maintain the Quality of Service (QoS) to satisfy users is very important for service providers.

In the past, service providers assess the network performance by monitoring only QoS parameters. These parameters can be directly measured at the devices as well as the base stations. However, these parameters cannot actually reveal the satisfaction of users. For example, the user devices indicate the strong received power but it does not mean that the YouTube service will be smoothly downloaded. This is because it depends on the number of users to access network at the same time. As a result, the best QoS parameters cannot guarantee that users will be satisfied.

In terms of user satisfaction, it has been defined as the Quality of Experience (QoE). This is a guideline parameter to directly inform the network providers to realize the real feeling of users. The method to realize this satisfaction of users is called as subjective evaluation method. It is a subjective approach to divide the satisfaction level of users into five levels known as Mean Opinion Score (MOS). This value is based on the standard of ITU-T P.800 [2].

From literature survey, there are many factors to provide influence on the user satisfaction of YouTube services. The classical and adaptive video streaming are discussed in [3]. The bitrate information of encrypted video streaming is also investigated in [4]. In [5], the authors showed that content delivery networks improve QoE of YouTube. In addition, the network flow parameters and the ratio between video bitrate have a correlation with the user satisfaction [6-7]. However, all above literatures have not yet been studied in mobile networks.

This paper initially presents the effect of QoS parameters on QoE in order to find the most influencing parameters by surveying the user satisfaction of YouTube services in 3G and 4G networks. The benefit from this paper is to allow service providers to monitor and control just only the most influencing parameters. Hence, it can save a lot of time and money to improve the network quality. In practice, the QoS parameters are used to indicate the quality of YouTube services are download throughput, duration to first play and buffering duration. These three parameters has been accepted and well-known used extensively for the QoS engineer [8]. In practice, the user satisfaction assessment on the quality of YouTube videos employ the indicators by subjective assessment method for enabling service providers to be confident in the quality of service. The undergraduate students in the age range 20-23 years old are volunteer to collect the QoS parameters while watching YouTube video at the quality of 1080p.

978-1-5386-0449-6/17/$31.00 ©2017

2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

The remainder of the paper is organized as follows. In the second part, the background overview is presented by giving the conceptual information of QoS and QoE. The third section will present the experiments which is consisted of the experimental design and data collection. After that, the analysis of measured results are discussed in the fourth section. Finally, the summary of this research is presented in the fifth section.

II. Background Overviews

A. QoE (Quality of Experience)

QoE is defined in ITU-T Rec. G. 1080 [9] as the overall acceptability of application or service, for example perceived subjectively by the end-user. In general, it includes the complete end-to-end system effects (client, terminal, network, services infrastructure, etc). QoE is a measure of the performance from the perspective of the user and can be indicators that the system meets the requirements of the user. The value of QoE can be an indicator of the success of the service and can be used as a tool to compete with other providers. QoE assessment can be separated into two methods [10].

- Subjective assessment method [11] is indicative the quality of human perception. QoE for video is often measured via subjective assessment method. Video quality is determined by the MOS (Mean Opinion Score). MOS is the result of the satisfaction of users with the quality which is divided into five levels as shown in Table 1 OS and video quality.
- Objective assessment method is a measure of quality by mathematical equations or using instruments to measure quality such as PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) [12].

TABLE I. MOS and Video Quality

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

B. QoS (Quality of Service)

QoS (Quality of Service) is the cumulative effect of service performance and totality of characteristics of a telecommunications service that bear on its ability to satisfy stated and implied needs of the user of the service [13]. Typically, there will be multiple service level performance metrics that impact overall QoE. However, QOS parameters reflect only the network performances which do not directly indicate the satisfaction of users. Therefore, both QoS and QoE are important to improve network performance [14]. This paper focuses on the QoS parameters that are related to YouTube service only as shown in the followings.

- YouTube duration to first play: it is a duration time to wait before watching videos or viewing videos. It also means the time to begin downloading the video or to start playing the video which is measured in seconds. Figure 1 shows the screen of YouTube service when it firstly starts the program. At this moment, there are the white dots circulating at the center of screen.
- YouTube buffering duration: it is impressions works along with the processing of applications or watching continuously and without stop playing video which is measured in seconds. Users can get to know duration of the interruption when viewing a video.
- Download throughput: it is the success of receiving information from one point to another in a given time period or average received rate often defined unit in bps.

III. Experiments

A. Experimental Design

In this paper, the experiments are designed to determine a sample group or target group for assessing the quality of YouTube videos on 3G and 4G mobile networks. As shown in Figure 2, the collected data to evaluate the satisfaction with YouTube services and QOS parameters are measured by using the Azenqos application. After downloading the log files from Azenqos server, the analysis of the satisfaction of users and all QOS parameters can be done offline in computer.

B. Data Collection

The authors collected data for analyzing the results from two sources. The first source is the data from assessment of user satisfaction. This can be done by asking the users to give MOS level after watching YouTube videos. In that time of asking users, all QoS parameters are measured and sent to the server. Data from the satisfaction assessment come in the level of assessment based on the principle of MOS. The users are 90 undergraduate students aged 21-23 years old. They watch the video six times per location. The number of samples in the assessment of MOS is 1,080. Video length is approximately two minutes. The quality of video is 1080p. The place of experimental study is spread throughout the area of Suranaree University of Technology which is shown in Figure 3.

The second source come from the server of Azenqos. Actually, more QoS parameters come in the log file but this paper focuses on only data parameters relating to YouTube service including with YouTube duration to first play, YouTube buffering duration, and download throughput. The example of collected data is shown in Table II. The authors accumulates the position (Latitude, longitude) to indicate where the assessment of MOS is undertaken.

2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

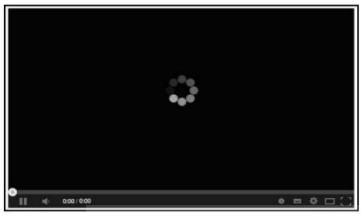


Figure 1. the screen display during duration to first play

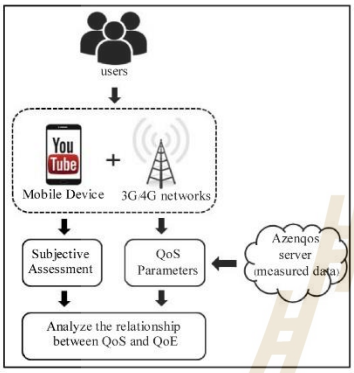


Figure 2. Experimental Design

Figure 3. The experimental area for MOS assessment

IV. Experimental Results And Discussions

After collecting the data assessment of user satisfaction of YouTube services by subjective assessment method, the offline analysis is performed by MATLAB programming. The analysis is separated into two parts. The first one focus on the relationship between QoS parameters. This investigation provides more insight on the basic understanding of YouTube service. The second part focus on the effect of each QoS parameter on QoE in terms of MOS. This study will let us know the most influencing QoS parameters.

For the first part, the authors show the relationship between download throughput and duration to first play as seen in Figure 4. The results reveal that both parameters have a direct relationship to each other. The more download throughput is the less duration to first play is. This is not surprised because the more download throughputs provide more potential to stream more data which cause less duration to wait at the first play. Figure 5 shows the relationship between download throughputs and buffering duration. The outcome is just like the previous result. The more download throughput is, the less buffering duration is. This can be explained with the same reason as duration to first play.

TABLE II. Example Of Collected Data

Position		MOS	QOS Parameter		
latitude	*longitude*		*Download Throughput (kbps)*	*YouTube Duration To First Play (S)*	*YouTube Buffering Duration (S)*
14.8678	102.0160	3	1690.4704	6.239	1
14.8639	102.0346	4	1861.5074	2.718	0
14.8641	102.0345	5	1837.9906	2.759	0
14.8641	102.0350	2	1283.1645	2.926	0
14.8643	102.0339	5	1861.4420	1.612	0
14.8644	102.0357	3	1068.9347	5.523	26
14.8644	102.0358	5	1849.2841	2.801	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

For the second part, the investigation into the effect of each QoS parameters on QoE has been addressed. Figure 6 presents the plot between MOS and duration to first play. This results surprise the authors because no direct relation between duration to first play and user satisfaction. It means that the duration to first play cannot affect any user satisfaction. This investigation is interesting because users might not pay attention on how long they have to wait for starting the video. Instead, they expect to see video as smoothly as possible.

Figure 7 presents the plot between MOS and buffering duration. The results show that the more buffering duration convince the users to have less satisfaction. This effect can explain the feeling of users based on the buffering duration. If buffering duration is too long, then it seems to be interrupted during video streaming.

Figure 8 presents the plot between MOS and download throughput. The direct relationship of MOS and download throughput is obviously found. The more download throughput makes more satisfaction on users when watching YouTube service. Among three QoS parameters, it can be concluded that the download throughput and the duration to first play provide the strong relationship with user satisfaction while the buffering duration does not play any influence on user satisfaction.

V. Conclusion

This paper has presented the effect of QOS parameters on the user satisfaction of YouTube videos on 3G and 4G mobile networks. The first part of results shows that all three parameters have a strong relationship to each other. In turn, the second part indicate that the most influencing parameters are download throughputs and buffering duration. The duration to the first play does not play any roles on the user feeling. This study can help the service providers to concern on only two parameters for improving the network quality.

2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

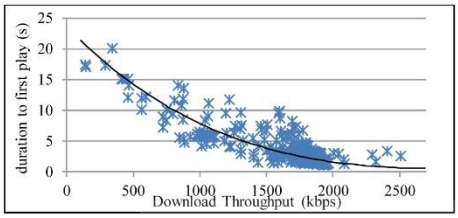


Figure 4. The relationship between download throughput (kbps) and duration to first play (s).

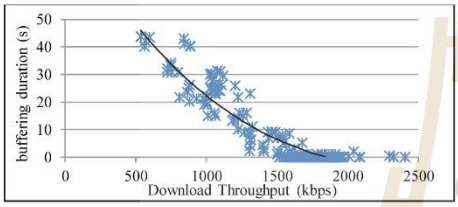


Figure 5. The relationship between download throughput (kbps) and buffering duration (s).

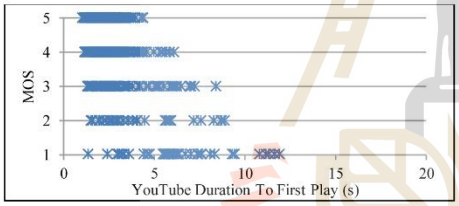


Figure 6. MOS vs. duration to first play

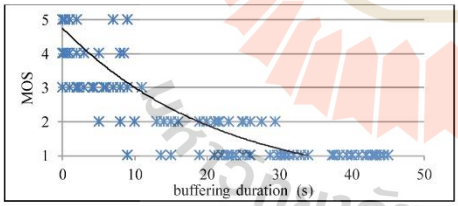


Figure 7. MOS vs. buffering duration

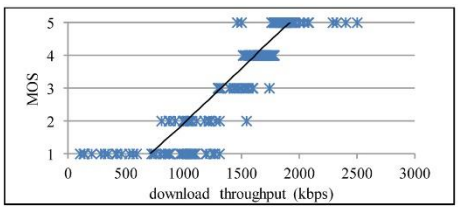


Figure 8. MOS vs. download throughput

ACKNOWLEDGMENT

The authors feel thankful to Dr Dheerasak Anuntakul, Nalinrat Kiatnamchok, Naree thiengtum Apatsaraphrom and Montakarn Ahkuputra who accommodate the equipment for experiments. In addition, they provided an excellent insight and expertise that greatly assisted the research.

REFERENCES

[1] YouTube Press Room – Statistics (Online) , January 2016, https://www.youtube.com/yt/press/statistics.html

[2] ITU-T P.800 – "Methods for subjective determination of transmission quality" July 2006.

[3] M. Seufert, F. Wamser, P. Casas, R. Irmer, P. Tran-Gia and R. Schatz, "YouTube QoE on mobile devices: Subjective analysis of classical vs. adaptive video streaming," 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Dubrovnik, pp. 43-48 , August 2015.

[4] Wubin Pan, Gaung Cheng, Hua Wu and Yongning Tang, "Towards QoE assessment of encrypted YouTube adaptive video streaming in mobile networks," 2016 IEEE/ACM 24th International Symposium on Quality of Service (IWQoS), Beijing, pp. 1-6 , June 2016.

[5] P. Casas, A. D'Alconzo, P. Fiadino, A. Bär and A. Finamore, "On the analysis of qoe-based performance degradation in youtube traffic," 10th International Conference on Network and Service Management (CNSM) and Workshop, Rio de Janeiro, p. 1-9, November 2014.

[6] M. Seufert, P. Casas, F. Wamser, N. Wehner, R. Schatz and P. Tran-Gia, "Application-layer monitoring of QoE parameters for mobile YouTube video streaming in the field," 016 IEEE Sixth International Conference on Communications and Electronics (ICCE), Ha Long, pp. 411-416, July 2016.

[7] P. Casas, A. Sackl, S. Egger and R. Schatz, "YouTube & facebook quality of experience in mobile broadband networks," 2012 IEEE Globecom Workshops, Anaheim, CA, pp. 1269-1274, December 2012.

[8] P. Casas, A. Sackl, R. Schatz, L. Janowski, J. Turk and R. Irmer, "On the quest for new KPIs in mobile networks: the impact of throughput fluctuations on QoE," London, December 2015.

[9] ITU-T G. 1080 – "Quality of experience requirements for IPTV services" December 2008

[10] ITU-T G. 1011 – "Reference guide to quality of experience assessment methodologies" July 2016.

[11] ITU-T P.913 – "Methods for the subjective assessment of video quality, audio quality and audiovisual quality of Internet video and distribution quality television in any environment" March 2016.

[12] ITU-T P.862 – "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs " March 2016.

[13] ITU-T E.800 – "Terms and definitions related to quality of service and network performan ce including dependability" September 2008.

[14] P. Anchuen, P. Uthansakul and M. Uthansakul, "QOE model in cellular networks based on QOS measurements using Neural Network approach," 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Mai, pp. 1-5, July 2016.

ANALYSIS OF THE MOST INFLUENTIAL FACTOR ON QUALITY OF EXPERIENCE IN MOBILE NETWORK

Arisa Vilaikruad[1*], Peerapong Uthansakul[1], Monthippa Uthansakul[1], Patikorn Anchuen[1], and Damar Widjaja[1,2]

Received: March 27, 2018; Revised: May 23, 2018; Accepted: May 23, 2018

Abstract

As the quality of service (QoS) on mobile networks constantly changes, the communication service providers always examine and improve the network performance to maintain the number of customers. In terms of network optimization, communication service providers just focus on adjusting the QoS parameters to the standards of the mobile service but that does not approach the customers' actual needs. The researchers recognize the importance of the QoS parameters along with the users' satisfaction or users' experience which are evaluated using the principles of quality of experience (QoE). In this paper, the relationships among the parameters using model creation based on a feed-forward backpropagation neural network are presented. The same evaluator for all evaluations is utilized because the locations are alien in different environments. The activities for the evaluation of the users' opinions consist of watching the YouTube service, using a web browser, and sending a message via the Line service. These relationships are analyzed to get the QoS parameters that have the most impact on changes of the QoE score using mean absolute deviation (MAD). This study can be used as a guideline for investigation and management of problematic parameters for communication service providers.

Keywords: **Quality of service (QoS), quality of experience (QoE), feed-forward backpropagation neural network, mean absolute deviation (MAD)**

[1] *School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima,30000, Thailand. E-mail: m5840731@g.sut.ac.th; uthansakul@sut.ac.th; mtp@sut.ac.th patikorn_9ho@hotmail.com;*

[2] *Universitas Sanata Dharma, Indonesia. Email: damar@usd.ac.id*

[*] *Corresponding author*

Suranaree J. Sci. Technol. 25(2):151-164

on the YouTube service, visiting a website on the web browser service, and sending a message on the Line service in the various situations. This data collection is explained later. The rest of the paper includes 6 sections comprising: theories and related research; a description of the experimental approach on neural networks; a discussion on the results of the experiments; and the analysis of the results. Finally, we show the summary of which parameters affect the differences between the QoE models on the mobile networks.

Background Overview

Quality of Service (QoS)

The QoS represents the cumulative effect of the service performance and determines the level of customer satisfaction (International Telecommunication Union, 2008a). Mobile network operators have focused on monitoring the QoS parameters to improve a network's overall performance. This monitoring can be explored from either the drive test or walk test approach. The drive test is a method of measuring and assessing the coverage, capacity, and QoS parameters on a mobile network while driving, which is suitable for testing in open outdoor locations. On the other hand, the walk test is suitable for narrow areas or inside buildings (Rahnema, 2008). In our experiments, we applied the walk test to collect data. Usually, the QoS parameters are divided into 2 types as follows:

(a) Radio parameters, which are parameters that indicate the quality of receiving and transmitting a signal in the provider's perspective. In addition, the network engineers use these parameters to improve the quality of a network, i.e., the reference signal received power (RSRP), reference signal received quality (RSRQ), received signal strength indicator (RSSI), signal to interference and noise ratio (SINR), and transmission (Tx) power in long term evolution (LTE) parameters.

(b) End parameters, which are parameters that terminal users can recognize while utilizing the mobile service, i.e., throughput download (Kbps), duration to first play (s), buffering count (n) and buffering duration (s) on the YouTube service, send time

Table 1. Description of QoS parameters

QoS parameters	Description
Radio parameters	
- RSRP	Reference Signal Received Power is the received power level in a network.
- RSRQ	Reference Signal Received Quality is the quality of the received reference signal.
- RSSI	Received Signal Strength Indicator is the average total of the received power.
- SINR	Signal to Interference and Noise Ratio is all the quantities of signal quality and receiver noise.
- Transmission (Tx) power	Tx power indicates the power of the equipment transmission.
End parameters	
- Throughput download	Throughput download is the data that can be transferred in a given amount of time.
- Duration time (Web browse service)	Duration time is all the time used to download a page.
Sending time (Line service)	Duration time is all the time used to send messages.
- Duration of first play (YouTube service)	Duration of first play is all the time used to download a video before it starts.
- Buffering duration (YouTube service)	Buffering duration is all the time when a video is paused.

(ms) and send duration (s) on the Line service, and duration time (s) and throughput download (Kbps) on a web browser service. The description of the QoS parameters is shown in Table 1.

Quality of Experience (QoE)

The QoE is a parameter that indicates the overall quality of the system from the users' perspective. Moreover, the QoE can also help operators to understand the customers' requirements and measure the success of business communication competition (International Telecommunication Union, 2008b). The QoE evaluations are divided into 2 methods as follows (International Telecommunication Union, 2016):

(a) The subjective evaluation method which estimates from the users' perspective of the service overview and is the best method for the QoE evaluation because it directly accesses the users' opinion. However, direct access to the users' opinion may not be practical because it is a complicated experiment that requires many people and is time-consuming and costly. The users' satisfaction score levels in the subjective evaluation method are divided into 5 levels. These score levels are called mean opinion scores (MOS), which are commonly used for the QoE evaluation according to the International Telecommunication Union's E.800.1 standard (International Telecommunication Union, 2008c) as shown in Table 2.

(b) The objective evaluation method, which has the principle of predicting the quality of a network by mathematical methods and statistical methods from measurement using a subjective, user-centred evaluation method.

Table 2. MOS rating scale

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

Artificial Neural Networks

Artificial Neural Networks (ANNs) are a branch of artificial intelligence that can emulate the behavior of the human brain using information processing and recognizing the information from the experience of learning. In addition, ANNs can link various facts for concluding the relationships among the information (De Veaux and Ungar, 1997). The function of a hidden layer is to act as a processor that receives data from the input layer and passes it to the output layer. Details regarding the characteristics, structure, and algorithm of ANNs are provided in the following subsections.

(a) Characteristics of Artificial Neural Networks

The characteristics of ANNs are divided into 2 types, which are the single-layer (SL) neural network and multi-layer (ML) neural network (Psaltis *et al*., 1988). The characteristics of ANNs are presented in Figure 1. The SL neural network consists of the input layer and output layer but the ML neural network has a hidden, additional layer. The function of the input layer is input data processing, which will be analyzed with the data appropriate to the ANNs. Next, the function of the hidden layer is as a processor that receives data from the input layer and passes it to the output layer. The hidden layer has advantages that we can use to manage complicated data. Finally, the function of the output layer is as a processor to get the final result from a neural network.

(b) Structures of Artificial Neural Networks

The structures of ANNs include 2 types, which are the feed-forward neural network and feedback neural network (Belavkin, 2014). The structures of ANNs are presented in Figure 2. Both have different types of data entering them. The feed- forward neural network is used to get the desired result using only a forward data process between the layers. However, the feedback neural network is different from the feed-forward neural network because we can use this structure to get a suitable result for ANNs using the feedback

loops between layers. In addition, the feedback neural network is suitable for investigating the non-obvious relationships between data.

(c) Algorithms of Artificial Neural Networks

In this section, we will discuss the detail of the main algorithms in ANNs including the learning neural network, the testing neural network, and the activation function.

(i) Learning Neural Network

The learning neural network uses a pattern recognition algorithm to predict the final outcome of ANNs and is classified into 2 types. They consist of supervised learning and unsupervised learning. The supervised learning is a learning function that maps data from the input layer to the output layer and repeatedly predicts the outcome from the training dataset until the correct answer is obtained (Fritzke, 1994). If the answer is not correct, the backpropagation (BP) approach is used to find the error caused by the difference between the outcomes from ANNs and the expected results. The unsupervised learning is a process that has no error detection and learning of the expected results.

(ii) Testing Neural Network

The testing neural network has a function to receive parameters from the learning neural network to investigate the relationship between the data and to create a model from the relationship. In addition, the model's efficiency can be calculated to reduce error in creation of the model. The error values are called the sum of squared errors (SSE).

(iii) Activation Function

The activation function is a function to judge the results in the ANNs (Specht, 1991). It is divided into continuous and discrete functions. The function selection depends on the characteristics of the data for the input and output layers as shown in Table 3. From the literature, there are many popular functions such as the sigmoid function, linear function, and tan-sigmoid function.

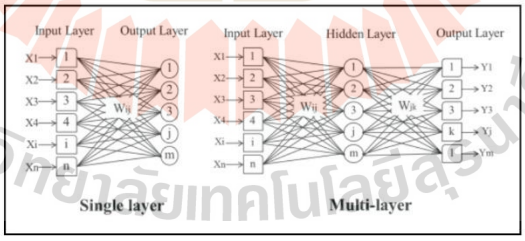


Figure 1. Characteristics of ANNs

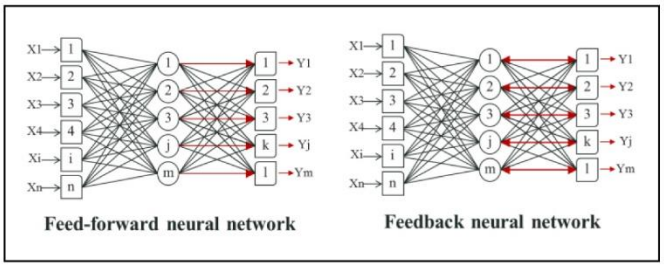


Figure 2. Structures of ANNs

Experimental Design

In this section, we discuss details of the experiment which consists of 3 major steps. The first step is information preparation for applying the data to the modeling process. Subsequently, we present the modeling process. Finally, we compare and analyze the models to conclude the factors that affect the differences between the scores of the users' satisfaction.

Information Preparation

Information preparation is an important step in optimizing our models because there is selection and conversion of the QoS parameters before we apply these parameters to establish the models as shown in Figure 3. The information preparation procedures include 3 steps as follows: (a) information collection from the walk test approach, (b) calculation of the correlation coefficients' values, and (c) data conversion into the modeling process.

(a) Information Collection

We collected information with the walk test approach. After that, we divided the information into 2 sets, which are the QoS parameters and the opinion scores of the users (MOS). In terms of the walk test approach, we utilized 3 popular services which were YouTube, Line, and the web browser application in a department store in Nakhon Ratchasima province. The information obtained from the walk test approach is as follows:

(i) The QoS parameters which are values that can be used to monitor the performance of a mobile network according to the communication standards. In the collection of the QoS parameters, we obtained these parameters from the Azenqos application for each service on a smartphone. The Azenqos application is the program used to test the connection or speed of a network, for which our work utilized the services on the 4G network due to it having many mobile subscribers. Moreover, the application displays the real time of the QoS parameters and the route with the signal strength on a map.

(ii) The opinion scores which are a parameter used to measure the actual usage of the customers' experience while they utilize multimedia services. We assessed the opinion scores for each service as follows:

In the assessment method for the YouTube service, we began by assessing the satisfaction from the start of downloading a video until the video ended. We employed 1 video content, in which the video length was approximately 2 min and the quality of the video was 1080p resolution.

In the assessment method for the Line service, we assessed the users' satisfaction from the duration time of sending an image (the image size was 1250×1250 pixels) from a mobile phone to another mobile phone. Then, we began by assessing the satisfaction from the start of uploading a picture and successfully sending it to the terminal equipment.

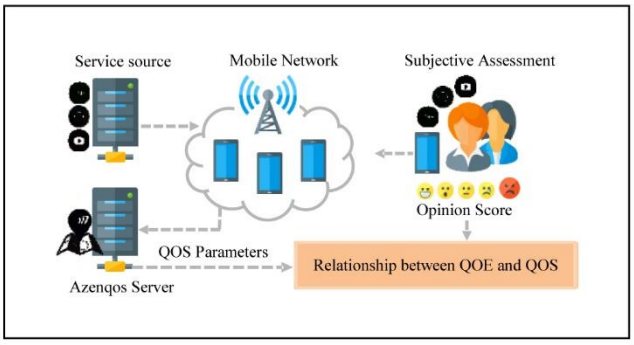


Figure 3. Preparing data for the modeling process

In the assessment method for the web browser service, we assessed the users' satisfaction during the time a webpage was downloading (www.facebook.com) until the download was complete.

(b) Calculation of Correlation Coefficients

The correlation coefficients are used to measure the degree of correlation between variables in the datasets (Zaid, 2015). In our work, these variables are the QoS parameters and opinion scores. The correlation coefficients have values between -1 to 1. If the values of the correlation coefficients are less than 0.8, we do not use these parameters for the ANNs because there is a weak linear relationship which means that the datasets have no correlation. The correlation coefficients are divided into 3 relationships as follows:

The correlation coefficients that are approximately -1 indicate a negative linear relationship and have a relationship between variables in the inverse direction. For example, if 1 variable decreases, another increases.

The correlation coefficients that are approximately 1 indicate a positive linear relationship and have a relationship between variables in the same direction.

The correlation coefficients that are close to 0 indicate no relationship at all. From the literature, the most commonly used equation for correlation coefficients (r) is Pearson's correlation, which is defined as:

$$r_i = \frac{\sum_{P=1}^{p}(x_{i,P}-\bar{x})(y_{i,P}-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{P=1}^{p}(x_{i,P}-\bar{x})^2\sum_{P=1}^{p}(y_{i,P}-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

where

r_i is the correlation coefficients' values (between the opinion scores and ith QoS parameters),
P is the total amount of information,
x_i is the information from variable 1 (QoS parameters),
y_i is the information from variable 2 (opinion scores),
$\bar{x}$ is the mean of x_i, and
$\bar{y}$ is the mean of y_i.

(c) Data Conversion

We converted the data into the learning neural network for decreasing the complicated data and improving data to the same standard as shown in Equation (2).

$$c_i = \frac{\left|\sum_{i=1}^{p} y_{i,p}x_{i,p}\right|}{\sum_{i=1}^{p} x_{i,p}^{2}} \quad (2)$$

where

c_i is the input data converted,
P is the total amount of information,
x_i is the data from variable 1 (QoS parameters), and
y_i is the data from variable 2 (opinion scores).

Then, we used the data which is calculated from the above Equation to pass on to the learning neural network.

Model Creation

In model creation, we established models from the relationship between the QoS and QoE parameters using ANNs because ANNs are based on flexible algorithms for learning the complicated relationships between variables. Moreover, ANNs are not restricted regarding the characteristics of the input variables. Additionally, we obtained the information from the previous step to create the models which have the following steps:

(a) ANNs Configuration

In our research, the characteristic of the ANNs which we used was the multi- layer neural network which consists of 1 input layer, 1 hidden layer, and 1 output layer. In terms of node numbers, the input layer has 1 node but the hidden node and output nodes have 5 nodes as shown in Table 4. The ANNs' structure is the feed-forward neural network without reverse data in the ANNs' process.

(b) Learning Neural Networks Process

The learning neural networks are an important process for predicting the data used to create the models. In our research, we adopted the supervised learning method into the learning neural networks process because it has validation of the results between the target and output values from the ANNs. The supervised learning steps are as follows:

(i) Activation Function

In terms of the activation function, we adopted the sigmoid function in the learning neural network because we needed an outcome that is consistent with the results shown in Table 3. The output range of the sigmoid function is between 0 and 1. We proposed the following activation function procedure (Figure 4). The first step was to choose the input data which are the QoS parameters. Next, we adjusted the weighting networks and threshold values between the input layer with the hidden layer and the hidden layer with the output layer to learn the pattern recognition and data correlation. In weighting the networks and threshold values, we randomly set these values between 0 to 1 and investigated the relationships of the input data, weighting network, and threshold value in Equation (3). Finally, we calculated the outcome using the sigmoid function, which is shown as the transfer formula in Equation (4).

$$x_{net}(p) = \sum_{i=1}^{p} x_i(p) \times w_i(p) - \theta_j \quad (3)$$

$$y_{out}(p) = \text{sigmoid}(x_{net}) \quad (4)$$

where

x_{net} is the sum value of the input,
x_i is the input value (QoS parameters),
w_i is the weight network,
θ_j is the threshold value,
P is the total amount of the information, and
y_{out} is the output value.

The y_{out} value from Equation (4) will be adjusted to get the best value for the ANNs in the next step.

Table 3. Activation functions

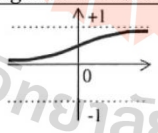
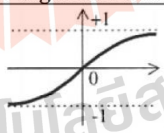
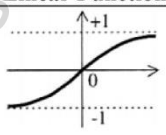
Function	Sigmoid Function	Tan-Sigmoid Function	Linear Function
Plot			
Equation	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$	$f(x) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}}$	$f(x) = x$
Range	[0,1]	[-1,1]	[-∞,∞]

Table 4. The target value of the output node

Quality	Opinion Score	Goal (Output layer = 5 nodes)				
		Node 5	Node 4	Node 3	Node 2	Node 1
Bad	1	0	0	0	0	1
Poor	2	0	0	0	1	0
Fair	3	0	0	1	0	0
Good	4	0	1	0	0	0
Excellent	5	1	0	0	0	0

(ii) Error Detection

We randomly set the weighting coefficients and threshold value until the outcome (y_k) from the output layers and the desired results ($y_{d,k}$) were equal. This is called error detection (e_k), which is calculated from Equation (5).

$$e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p) \quad (5)$$

If the outcome differs from the desired results, the outcome will be imported into the backpropagation algorithm (Rojas, 1996) to correct the discrepancies as much as possible and learn the new weighting coefficients from the error gradient formula.

(iii) Recurrent Adjustment

The recurrent adjustment of weighting the network and threshold value is repeated until the SSE is acceptable. We defined the SSE value as 0.001 because we needed the minimal error.

$$SSE = \sum_{i=1}^{p} \sum_{k=1}^{5} (e_k(p))^2 \quad (6)$$

where, the SSE is the sum of the square difference between the estimation outcome and the desired results. If the SSE is close to 0, it indicates that the random weighting coefficients are perfect.

(c) Testing Neural Network Process

In testing the neural network process, we applied the complete parameters from the learning neural networks, both the weighting coefficient and threshold values. Next, we examined the accuracy and precision of the parameters with new datasets of the QoS parameters using Equations (3) and (4). The outcome of these equations is between 0 to 1. However, the users' satisfaction has many levels in practice. Therefore, we calculated Equation (7) to get a consistent outcome with the MOS which is called the QoE score.

$$QoE = \frac{\sum_{k=1}^{5} k y_k}{\sum_{k=1}^{5} y_k} \quad (7)$$

where

y_k is the final outcome of the ANNs and

k is the number of nodes in the output layer.

Finally, we measured the performance of the model creation using the correlation of the model Equation (8):

$$\text{Correlation of model} = \frac{\sum_{p=1}^{P} (OS_p - \overline{OS})(QoE_p - \overline{QoE})}{\sqrt{\sum_{p=1}^{P} (OS_p - \overline{OS})^2} \sqrt{\sum_{p=1}^{P} (QoE_p - \overline{QoE})^2}} \quad (8)$$

where

OS_p is the datasets of the opinion score (from the actual users' satisfaction),

QoE_P is the datasets of the QoE score (from the ANNs),

$\overline{OS}$ is the mean of opinion score, and

$\overline{QoE}$ is the mean of the QoE score.

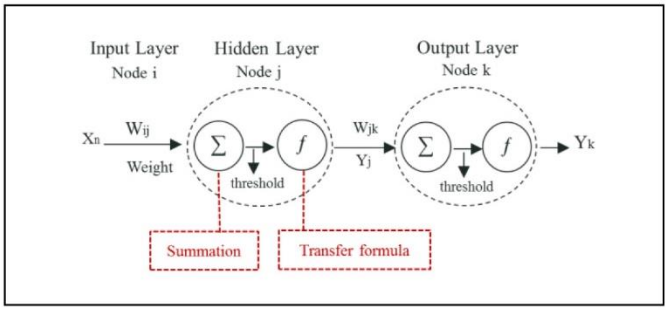


Figure 4. Functions of the activation function

Relationship Comparison

After we finished the model creation, we created graphs of the relationship between the opinion score and the QoS parameters as shown in Figure 5. Then, we compared these relationships between the models with the information from the walk test for 5 days.

Experimental Results

In this section, we present the comparison of the relationship between the QoS parameters and the QoE scores to determine the QoS parameters that impact the maximum change of the QoE score for each service used in our research. We will describe only the models which have high correlation coefficients because we can clearly observe the differences between the models.

The comparison between the QoS parameters in the QoE model for the web browser service is shown in Figures 6 and 7. The QoS parameters include the duration time, throughput download, RSRP, and RSRQ. The comparison between the QoS parameters in the QoE model for the Line service is in Figure 8, which consists of only the sending time parameters. From Figures 9 and 10, the QoS parameters for the YouTube service comprise throughput download, duration of first play, buffering duration, RSRP, RSRQ, and RSSI.

When we finished establishing the QoE models and the comparison, we took the result into the experiment analysis to conclude the important QoS parameters that affect the change of the QoE models in our research.

Experimental Analysis

In this section, we propose the analysis of the QoS parameters that affect the change of the QoE models using the MAD as shown in Equation (9). The MAD of the dataset is the average of the difference between 2 variables.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{p} |X1_i - X2_i|}{p} \quad (9)$$

where

$X1_i$ is the QoE scores from the first model,

$X2_i$ is the QoE scores from the next model, and

P is the total amount of data.

If the MAD value equals 0, this means that the dispersion of the datasets between 2 variables is not different. Next, we present the MAD values between the QoE models for each service in the form of column graphs in which Figures 11 and 12 show the MAD values for the web browser service. Figure 13 shows the MAD values for the Line service and Figures 14 and 15 show the MAD values for the YouTube service.

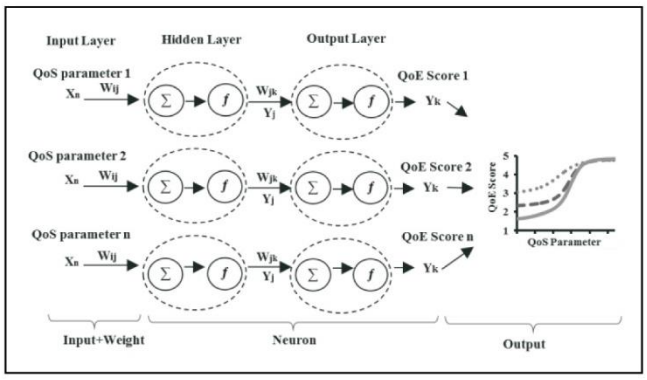


Figure 5. Comparison of the relationship between the QoS parameters and QoE scores

In Figures 11-15, the descriptions of the symbols are as follows: the QoE score I is the QoE model as established from the first collection of the QoS parameters and MOS; then, the QoE scores II, III, IV, and V are the QoE model as established from the next collection of the QoS parameters and MOS.

Figure 11 shows the MAD value which is a comparison of the dataset dispersion between the first QoE score with next QoE score. The difference between the MAD in the end parameter of the web browser service can be seen. The MAD value of the duration time is more valuable than the throughput download and has a value more than 0.38 but the MAD value between the radio parameters is not much different, as shown in Figure 12.

The Line service has only end parameters because the radio parameters are not dispersed between the dataset of the QoE score. For this reason, the authors do not show the MAD value of the radio parameters. In Figure 13, the parameter that affects the differentiation of the QoE model is the "Line Sent Time".

Figures 14 and 15 show the differences of the MAD values for the YouTube service. In terms of the end parameters, the parameter that most affects the difference of the QoE scores is the buffering duration. In terms of the radio parameters, the parameter that most affects the difference of the QoE scores is the RSRQ. As mentioned above, this means that it is the MAD value that indicates the change of the QoE model.

Conclusions

The purpose of our research was to investigate the QoS parameters that affect the change in users' satisfaction for the mobile network (4G) using the creation of a QoE model using ANNs. The datasets in our experiment were obtained from the exploration of the users' satisfaction and opinions on actual usage in a department store. For the data collection, we used 5 days to collect both the QoS and QoE parameters. Then, we compared the relationship between the QoS parameters and QoE score for each day with that on the next day to determine the QoS parameters of the 3 services that have an impact on the differences between each model. The results are summarized as follows.

In terms of the end parameters for the web browser, Line, and YouTube services, the

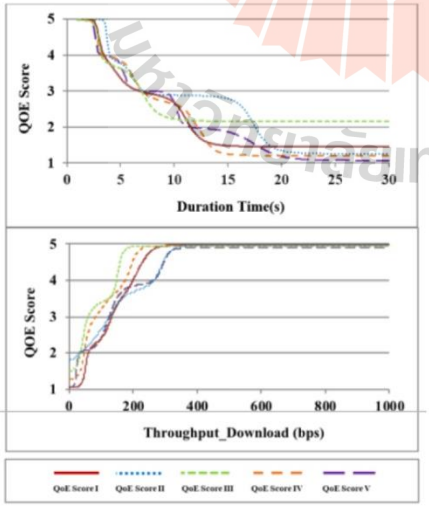


Figure 6. QoE scores' comparison with end parameters on the web browser service

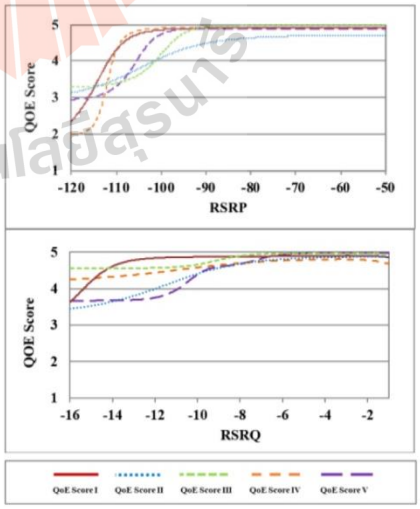


Figure 7. QoE scores' comparison with radio parameters on the web browser service

QoS parameters that affect the change of the QoE models for each of these services are: the duration time for the web browser, the sent time for the Line service, and the buffering time for the YouTube service. In terms of the radio parameters on the web browser and YouTube services, the QoS parameters that affect the change of the QoE models are the RSRP, RSRQ (for the web browser service), and the RSRQ (for the YouTube service). From all above- mentioned parameters, we have concluded these parameters using the MAD formula.

From the conclusion of the parameters that indicate the change of the QoE models, we can use these processes as a guideline to manage the problematic parameters for network operators. These parameters can be adjusted to meet the criteria so that users are satisfied with their usage of the mobile network. However, although the exploration and analysis of the QoS parameters and QoE score in our research can be used as a guideline for network improvement, we cannot use the results to judge users' satisfaction with their

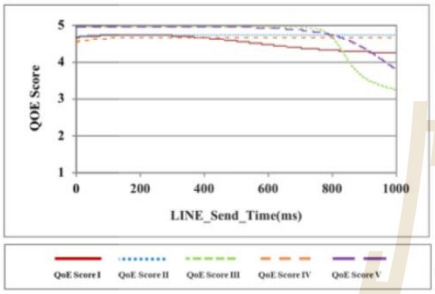


Figure 8. QoE scores' comparison with end parameters on the Line service

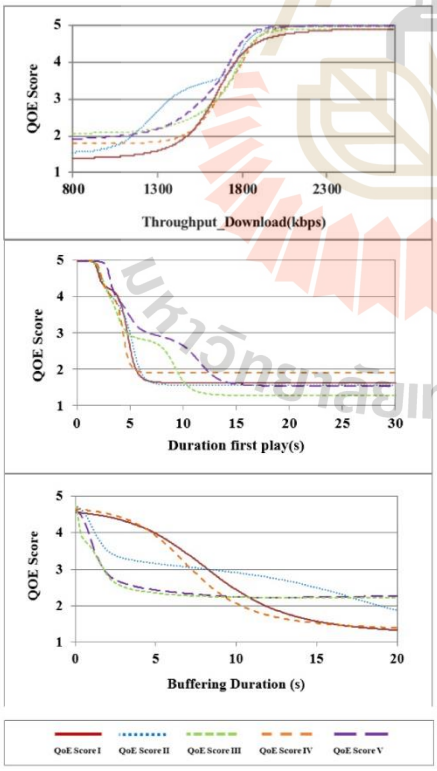


Figure 9. QoE scores' comparison with end parameters on the YouTube servic

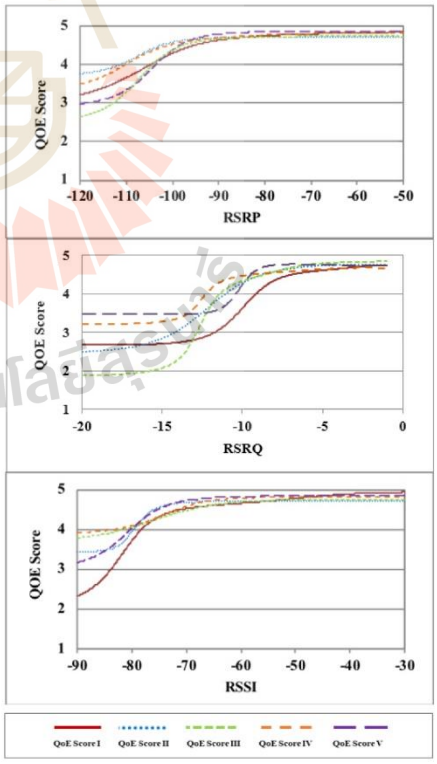


Figure 10. QoE scores' comparison with radio parameters on the YouTube service

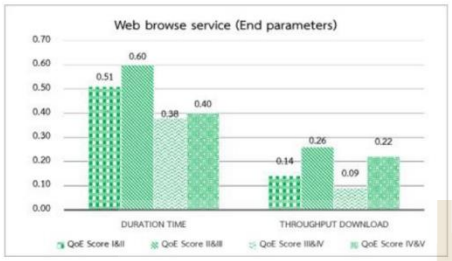


Figure 11. MAD between QoE models with end parameterson the web browser service

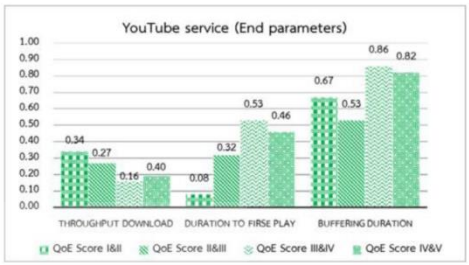


Figure 14. MAD between QoE models with end parameters on the YouTube service

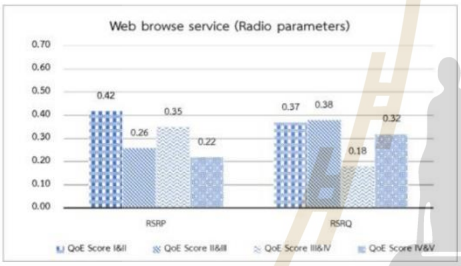


Figure 12. MAD between QoE models with radio parameterson the web browser service

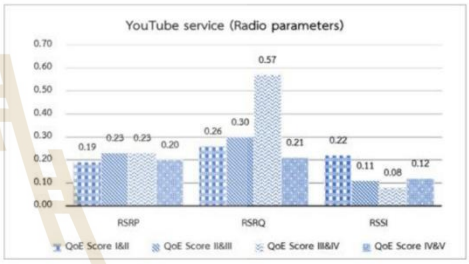


Figure 15. MAD between QoE models with radio parameters on the YouTube service

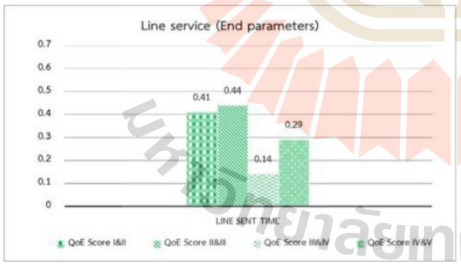


Figure 13. MAD between QoE models with end parameters on the Line service

usage of services on mobile networks in different environments.

Acknowledgment

The purpose of our research was to investigate the QoS parameters that affect the change in users' satisfaction for the mobile network (4G) using the creation

References

Anchuen, P., Uthansakul, P., and Uthansakul, M. (2016). QoE model in cellular networks based on QoS measurements using neural network approach. Proceedings of the IEEE 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON); June 28-July 1, 2016; Chiang Mai, Thailand, p. 1-5.

Aroussi, S. and Mellouk, A. (2014). Survey on machine learning- based QoE- QoS correlation models. Proceedings of the IEEE 2014 International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel); April 27-29, 2014; Da Nang, Vietnam, p. 200-204.

Belavkin, R.V. (2014). Feed Forward Neural Network. BIS3226. Available from: http://www.eis.mdx.ac.uk/staffpages/rvb/teaching/BIS3226/hand11.pdf. Accessed date:

Cisco Systems, Inc. (2017). Cisco Visual Networking Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper. Available from: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html. Accessed date: February 7, 2017.

Danish, E., Alreshoodi, M., Fernando, A., Alzahrani, B., and Alharthi, S. (2016). Cross-layer QoE prediction for mobile video based on random neural networks. Proceedings of the IEEE 2016 International Conference on Consumer Electronics (ICCE); Jan 7-11, 2016; Las Vegas, NV, USA, p. 227-228.

De Veaux, R. D. and Ungar, L. H. (1997). A brief introduction to neural networks. Available from: https://cis.upenn.edu/~ungar/papers/nnet-intro.ps. Accessed date:

Fritzke, B. (1994). Growing cell structures - a self-organizing network for unsupervised and supervised learning. Neural Networks, 7(9):1441-1460.

Ghalut, T., Larijani, H., and Shahrabi, A., (2015). Content-based video quality prediction using random neural networks for video streaming over LTE networks. Proceedings of the IEEE 2015 International Conference on Computer and Information Technology, Ubiquitous Computing and Communications, Dependable, Autonomic and Secure Computing, Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM); Oct 26-28, 2015; Liverpool, UK, p. 1626-1631.

International Telecommunication Union. (2008a). E.800: Definitions of terms related to quality of service. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland.

International Telecommunication Union. (2008b). G.1080: Quality of experience requirements for IPTV services. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland.

International Telecommunication Union. (2008c). P.800.1: Mean opinion score (MOS) terminology. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland.

International Telecommunication Union. (2016). G.1011: Reference guide to quality of experience assessment methodologies. International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland.

Pierucci, L. (2015). The quality of experience perspective toward 5G technology. IEEE Wirel. Commun., 22(4):10-16.

Psaltis, D., Sideris, A., and Yamamura, A.A. (1988). A multilayered neural network controller. IEEE Contr. Syst. Mag., 8(2):17-21.

Rahnema, M. (2008). RAN performance root cause analysis and trending techniques for effective troubleshooting and optimization. In: UMTS network planning, optimization, and inter-operation with GSM. Rahnema, M. John Wiley and Sons, Singapore, p. 299-300.

Rivera, S., Riveros, H., Ariza-Porras, C., Lozano-Garzon, C., and Donoso, Y. (2013). QoS-QoE correlation neural network modeling for mobile internet services. Proceedings of the IEEE 2013 International Conference on Computing, Management and Telecommunications (ComManTel); Jan 21-24, 2013; Ho Chi Minh City, Vietnam, p. 75-80.

Rojas, R. (1996). The backpropagation algorithm. In: Neural Networks. Rojas, R. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany, p.149-182.

Specht D.F. (1991). A general regression neural network. IEEE T. Neural Networ., (2)6:568-576.

Zaid, M.A. (2015). Correlation analysis. In: Correlation and Regression Analysis. Zaid, M. A. The Statistical, Economic and Social Research and Training Centre for Islamic Countries (SESRIC), Ankara, Turkey, p.4-8.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวอริสา วิลัยกรวด เกิดเมื่อวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ.2536 ณ อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา สถานศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1- 6 โรงเรียนเมืองนครราชสีมา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 6 โรงเรียนอัสสัมชัญนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2559

ปี พ.ศ. 2560 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุน "กิตติบัณฑิต" ซึ่งเป็นทุนสนับสนุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตเกียรตินิยมเพื่อศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บทความและวารสารทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 3 ฉบับ ดังนี้

1) 14th Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) บทความในหัวข้อเรื่อง. "Effect of quality of service parameters on quality of experience for YouTube service in mobile networks." **Phuket, Thailand, 27-30 June 2017.**

2) 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) บทความในหัวข้อเรื่อง. "The Impact of Throughput Fluctuation on Quality of Experience for YouTube Service." **Nagoya, Japan, 21-23 April 2017.**

3) Suranaree Journal of Science and Technology (SJST) วารสารในหัวข้อเรื่อง. "Analysis of The Most Influential Factor On Quality Of Experience In Mobile Network." **Suranaree University of Technology, Thailand.**