

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จาก  
คุณภาพของบริการโดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม



นายปรีกร อันชื่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2559

**QOE MODEL IN MOBILE NETWORKS BASED ON QOS  
MEASUREMENTS USING NEURAL NETWORK  
APPROACH**



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

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2016**

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากคุณภาพของ  
บริการโดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



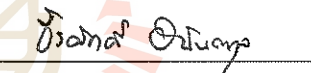
(ผศ. ดร. รุ่งสรรค์ ทองทา)

ประธานกรรมการ



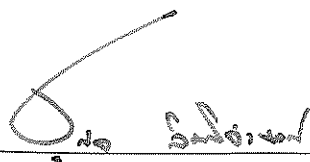
(รศ. ดร. พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ดร. ธีรศักดิ์ อนันตกุล)

กรรมการ



(ศ. ดร. สุทธิ ลิ้มปิ๋จันงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชานีประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปรีกษณ์ อ้นชื่น : แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จาก  
คุณภาพของบริการ โดยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม (QOE MODEL IN MOBILE  
NETWORKS BASED ON QOS MEASUREMENTS USING NEURAL NETWORK  
APPROACH) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 117 หน้า.

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Networks) มีการพัฒนาอย่าง  
ต่อเนื่องและมีจำนวนของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในการเข้าถึงบริการมัลติมีเดียต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิด  
มูลค่าทางเศรษฐกิจสำหรับผู้ให้บริการ จึงทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการด้วยกัน ปัจจัย  
หนึ่งที่จะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของผู้ให้บริการนั้นคือความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่ได้รับจากการใช้  
บริการ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาคุณภาพของบริการ (Quality of Service) เป็นผลการดำเนินงานที่สำคัญ  
ของทุกเครือข่ายเพราะมันสามารถวัดได้จริงและช่วยให้วิศวกรปรับปรุงการให้บริการเครือข่าย  
อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) สะท้อนให้เห็นคุณภาพภายใน  
เครือข่ายโดยไม่ได้ระบุถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (Opinion Score) แต่อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้บางคน  
อาจจะได้สัมผัสกับการบริการที่ไม่ดีเนื่องจากการเข้าถึงเครือข่ายที่มีผู้ใช้หนาแน่นแม้ความแรงของ  
สัญญาณจะยังคงดีก็ตาม ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินความพึง  
พอใจของผู้ใช้ในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience) ที่เป็นผลมาจากปัจจัย  
ด้านคุณภาพของบริการแทนการวัดความพึงพอใจจากผู้ใช้งานโดยตรง

จากการสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มียานวิจัยใดที่หารูปแบบ  
ความสัมพันธ์สำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งปัจจัยด้านคุณภาพของบริการของเครือข่าย  
โทรศัพท์เคลื่อนที่มีความแตกต่างจากเครือข่ายอื่น โดยเฉพาะค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่  
ได้รับอิทธิพลมาจาก การเฟดของช่องสัญญาณ ถึงแม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่พยายามหาความสัมพันธ์  
แต่ก็ยังไม่ได้รับข้อสรุปใด ๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอแบบจำลองที่ใช้ประเมินคุณภาพของ  
ประสบการณ์จากคุณภาพของบริการด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม ผลของความพึงพอใจของ  
ผู้ใช้งานจึงเป็นเรื่องที่ผู้ให้บริการควรให้ความสำคัญ ซึ่งผลสำเร็จจากงานวิจัยนี้จะสะท้อนให้เห็น  
ถึงคุณภาพของประสบการณ์ที่ผู้ใช้งานได้รับจากบริการเพื่อให้ผู้ให้บริการนำไปปรับปรุงคุณภาพ  
ของบริการที่จะรักษาและดึงดูดผู้ใช้งาน

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา ปรีกษณ์ อ้นชื่น

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล

PATIKORN ANCHUEN : QOE MODEL IN MOBILE NETWORKS  
BASED ON QOS MEASUREMENTS USING NEURAL NETWORK  
APPROACH. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PEERAPONG  
UTHANSAKUL, Ph.D., 117 PP.

#### QOE/QOS/ANN

At present, mobile networks are constantly evolving and the number of users is constantly increasing in access to multimedia services, which are contributing to the economic value of service providers. The factor that will be a key indicator of the service provider is the user satisfaction gained by using the service. In the past, the Quality of Service (QoS) was the key performance of every network because it could be really measured and help engineers to improve the network services. However, QoS parameters reflect only the network performances which do not directly indicate the satisfaction of users. Some users experience a bad service due to crowd accessibility even though the signal strength is still good. Hence, this research offers modeling to assess user satisfaction in terms of Quality of Experience resulting from Quality of Service instead of directly measuring user satisfaction.

From the recent literature survey, no research has found any form of correlation for mobile networks. There are some specific QoS parameters of cellular networks which are different from other networks. These parameters are influenced by the propagation fading channel that is special for mobile networks. Then, the value of QoS parameters based on the same services might be different between mobile and wifi networks. Although there are some researchers that try to find a relationship but they

have not obtained any conclusions. Therefore, this research provides a model to evaluate the Quality of Experience (QoE) based on the Quality of Service by using Artificial Neural Networks (ANN). The success of this research will reflect the quality of the experience so that service providers will improve the quality of the service to maintain and satisfy users.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature กิตติกร อภิสิทธิ์

Advisor's Signature ดร. วรวิทย์ อภิสิทธิ์

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ และ อาจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูญาษา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณมนตรี อานุบุตร คุณนารี เทียงธรรม อภัสพรหม คุณณลินรัตน์ เกียรตินำโชค ดร.ธีรศักดิ์ อนันตกุล ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง รวมถึงความอนุเคราะห์การใช้งาน AZENQOS สำหรับเก็บข้อมูลในงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และขอบคุณ คุณวีรินทร์ อาจหาญ เลขาธิการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและจัดการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาโดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

ปธิกร อันจั่น

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ต
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบตกลงเบื้องต้น.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	4
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	5
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	5
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	6
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	7



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>2 ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>8</b>
2.1 กล่าวนำ.....	8
2.2 โครงข่ายประสาทเทียม.....	8
2.3 หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม.....	9
2.4 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม.....	10
2.5 ประเภทของการเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม.....	11
2.5.1 การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning Algorithm).....	11
2.5.2 การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning Algorithm).....	13
2.6 คุณสมบัติและความสามารถที่เป็นประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	14
2.7 ลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียม.....	15
2.8 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	15
2.9 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม.....	16
2.9.1 แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward Network).....	16
2.9.2 แบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (Feedback Network).....	16
2.10 ประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม.....	17
2.10.1 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทชั้นเดียว (Single Layer Neural Network).....	17
2.10.2 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทหลายชั้น (Multilayer Neural Network).....	20
2.11 การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการก่อนใช้ในการสร้างแบบจำลอง.....	24
2.11.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน.....	24
2.11.2 การคัดเลือกตัวแปรทำนายของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ.....	25
2.12 ปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	26
2.13 สรุปท้ายบท.....	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>3 การออกแบบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์</b> .....	29
3.1 กล่าวนำ.....	29
3.2 ปัญหาและความเป็นมาของงานวิจัย.....	29
3.3 ข้อมูลจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟน.....	31
3.4 วิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์.....	34
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลของบริการและการออกแบบการทดลอง.....	35
3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลของบริการ.....	36
3.5.2 การออกแบบการทดลอง.....	38
3.6 อัลกอริทึมนิเวศน์เน็ตเวิร์กที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
3.6.1 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	40
3.6.2 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม.....	48
3.6.3 รายละเอียดเพิ่มเติมของโครงข่ายประสาทเทียม.....	49
3.7 โครงสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์การนำแบบจำลองคุณภาพ ของประสบการณ์.....	51
3.7.1 การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Create QoE Model).....	51
3.7.2 การประเมินคุณภาพของประสบการณ์ (Estimate QoE).....	52
3.8 สรุปท้ายบท.....	53
<b>4 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และการวิเคราะห์</b> .....	54
4.1 กล่าวนำ.....	54
4.2 ข้อตกลงในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์.....	55
4.3 การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์.....	55
4.3.1 การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจ.....	57
4.3.2 แบบจำลองคุณภาพประสบการณ์จากปัจจัยโดยรวมด้านคุณภาพของบริการ.....	63
4.3.3 การสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....	64

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน.....	74
4.4.1 การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในพื้นที่ที่แตกต่างกัน.....	76
4.4.2 การเปรียบเทียบความเหมือนความต่างของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์.....	86
4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน.....	92
4.5.1 การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการเปรียบเทียบความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่าง.....	92
4.5.2 การสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยวิธี โครงข่ายประสาทเทียมในการเปรียบเทียบความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่าง.....	95
4.5.3 การนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ไปใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากการ ไลฟ์เทส (Drive Test) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่าง.....	98
4.6 สรุปท้ายบท.....	101
<b>5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>102</b>
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	103
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	104
รายการอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เอกสาร Standard Normal t-table.....	107
ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	117

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบระหว่างประสาทในสมองมนุษย์กับโครงข่ายประสาทเทียม.....15
3.1	ตารางกำหนดค่าเข้าของโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นส่งออก.....43
4.1	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Call 3G.....57
4.2	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Youtube 3G.....58
4.3	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Facebook 3G.....59
4.4	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Line 3G.....60
4.5	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Web Browser 3G.....60
4.6	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Call test 4G (CSFB Base on 3G).....61
4.7	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Youtube 4G.....61
4.8	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Facebook 4G.....62
4.9	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Line 4G.....62
4.10	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจในบริการ Web Browser 4G.....63
4.11	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCDMA).....64
4.12	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE).....64
4.13	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Call 3G.....65
4.14	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Youtube 3G.....66
4.15	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Facebook 3G.....67
4.16	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Line 3G.....68
4.17	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Web Browser 3G.....68
4.18	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Call test 4G (CSFB on 3G).....69
4.19	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Youtube 4G.....69
4.20	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Facebook 4G.....70
4.21	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Line 4G.....70
4.22	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Web Browser 4G.....71

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.23	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Call 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 76
4.24	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ YouTube 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 77
4.25	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Facebook 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 78
4.26	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Line 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 79
4.27	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Web Browser 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 80
4.28	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Call test 4G (Base on 3G) ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters.. 81
4.29	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ YouTube 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 82
4.30	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Facebook 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 83
4.31	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Line 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 83
4.32	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Web Browser 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters..... 84
4.33	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่ กรุงเทพมหานครในส่วนของ End Parameter..... 85
4.34	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่ กรุงเทพมหานครในส่วนของ ALL Parameter..... 85
4.35	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่ กรุงเทพมหานครในส่วนของ End Parameter..... 85

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.36	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่กรุงเทพมหานครในส่วนของ All Parameter.....	85
4.37	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ End Parameter.....	85
4.38	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ All Parameter.....	86
4.39	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ End Parameter.....	86
4.40	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ All Parameter.....	86
4.41	เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 3G (WCMDA) จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในส่วนของ End Parameters.....	88
4.42	เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 3G (WCMDA) จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในส่วนของ All Parameters.....	89
4.43	เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 4G (LTE) จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในส่วนของ End Parameters.....	90
4.44	เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 4G (LTE) จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในส่วนของ All Parameters.....	91
4.45	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากของกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษามัธยมศึกษาและบุคคลวัยทำงานบนระบบ 3G (WCMDA) ในส่วนของ End Parameters.....	93
4.46	ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากของกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษามัธยมศึกษาและบุคคลวัยทำงานบนระบบ 4G (LTE) ในส่วนของ End Parameters.....	94
4.47	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากตัวแทนนักศึกษามัธยมศึกษาที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....	95

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.48	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากตัวแทน นักศึกษามัธยมศึกษาที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร..... 95
4.49	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCDMA) จาก ตัวแทนบุคคลวัยทำงานที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร..... 95
4.50	ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากตัวแทนบุคคล วัยทำงานที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร..... 95
4.51	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการในระบบ 3G (WCDMA)..... 97
4.52	การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการในระบบ 4G (LTE)..... 98
4.53	ผลการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในระบบ 3G (WCDMA)..... 100
4.54	ผลการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในระบบ 4G (LTE)..... 100



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แบบจำลองของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์.....9
2.2	แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม.....10
2.3	การแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม.....11
2.4	การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning Algorithm).....12
2.5	การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning Algorithm).....13
2.6	สถาปัตยกรรมของ Feed forward network.....16
2.7	สถาปัตยกรรมของ Feedback network.....17
2.8	โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่มีเซลล์ประสาทชั้นเดียว.....17
2.9	ฟังก์ชันการกระตุ้นของนิวรอน.....18
2.10	โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่มีเซลล์ประสาท 3 ชั้น.....20
3.1	ผู้ใช้งานได้รับบริการที่ไม่ดีแม้ความแรงของสัญญาณ โดยรอบอยู่ในระดับที่ดี.....31
3.2	บริการที่ใช้ในการทดสอบความพึงพอใจ.....31
3.3	Radio Parameters และ Data Parameters ในระบบ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE).....33
3.4	ขอบเขตของบริการที่กำหนดใน โปรแกรม AZENQOS.....33
3.5	วิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์.....35
3.6	ระดับคะแนนของความพึงพอใจที่มีต่อบริการที่ผู้ใช้งานได้รับ.....36
3.7	โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่มีเซลล์ประสาท 3 ชั้น.....41
3.8	การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม.....42
3.9	การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นเอาต์พุตไปยังชั้นซ่อน.....45
3.10	การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นซ่อนไปยังอินพุต.....46
3.11	กราฟแสดงตัวอย่างพฤติกรรมการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม.....48
3.12	ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....48
3.13	แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม.....51



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	แผนผังมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....56
4.2	แผนผังเส้นทางการเก็บผลไดรฟ์เทสของพื้นที่ตัวอย่างในจังหวัดนครราชสีมา.....71
4.3	แผนที่คุณภาพของประสบการณ์บริการ Web Browser บนระบบ 3G (WCDMA).....72
4.4	ช่วงคะแนนคุณภาพของประสบการณ์เทียบกับสีที่กำหนด.....72
4.5	แผนที่คุณภาพของประสบการณ์บริการ Web Browser บนระบบ 3G (WCDMA) ที่มีคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ต่ำกว่า 3.75.....73
4.6	แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพื้นที่.....74
4.7	แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา.....76
4.8	แผนผังการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์.....87
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Duration เทียบกับคะแนนคุณภาพของ.....96
4.10	การเก็บผลไดรฟ์เทส (Drive Test) บนรถไฟฟ้าสายสุขุมวิท.....99
4.11	การประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากแบบจำลองที่แตกต่างกัน.....99

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

3G	=	Third Generation
4G	=	Fourth Generation
QoE	=	Quality of Experience
QoS	=	Quality of Service
OS	=	Opinion Score
MOS	=	Mean Opinion Score
ITU	=	International Telecommunication Union
WCDMA	=	Wideband Code Division Multiple Access
HSPA	=	High-Speed Packet Access
LTE	=	Long Term Evolution
LTE-A	=	Long Term Evolution Advanced
AI	=	Artificial Intelligence
ANN	=	Artificial Neural Networks
$\rho$	=	Rho
$\theta$	=	Threshold
$\Delta w$	=	Delta Weight
$e$	=	Error
$\delta$	=	Gradient
$\alpha$	=	Alpha
CSFB	=	Circuit Switched FallBack
RSCP	=	Received Signal Code Power
RSSI	=	Received Signal Strength Indicator
EcIo	=	Energy per chip to Interference power ratio
HSDPA	=	High-Speed Downlink Packet Access
BLER	=	Block Error Ratio
MOD	=	Modulation

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

QPSK	=	Quadrature Phase-Shift Keying
QAM	=	Quadrature Amplitude Modulation
CQI	=	Channel Quality Indicator
HSUPA	=	High Speed Uplink Packet Access
DPDCH	=	Dedicated Physical Data Channel
DTX	=	Discontinuous transmission
RGCH	=	Relative Grant Channel
RSRP	=	Reference Signal Received Power
RSRQ	=	Reference Signal Received Quality
SINR	=	Signal to Interference plus Noise Ratio
PDSCH	=	Physical Downlink Shared Channel
PUSCH	=	Physical Uplink Shared Channel
MCS	=	Modulation and Coding Scheme
SSE	=	Sum of Square Error
Sig	=	Significant
N.A.	=	Not Available
NMA	=	Nakhon Ratchasima
BKK	=	Bangkok
SUT	=	Suranaree University of Technology
MAD	=	Mean Absolute Deviation

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Networks) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีจำนวนของผู้ใช้งานเพิ่มมากขึ้น ในการเข้าถึงบริการมัลติมีเดียต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจสำหรับผู้ให้บริการ จึงทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการด้วยกัน ปัจจัยที่เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญของผู้ให้บริการนั้น คือ ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งในอดีตรูปภาพของบริการ (Quality of Service : QoS) เป็นผลการดำเนินงานที่สำคัญของทุกเครือข่าย เพราะสามารถวัดค่าได้และช่วยให้วิศวกรปรับปรุงการให้บริการเครือข่ายให้ตอบสนองต่อจำนวนของผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเพียงสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพภายในเครือข่ายเท่านั้นซึ่งไม่ได้ระบุถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานแต่อย่างใด ผู้ใช้งานบางรายอาจมีความรู้สึกที่ไม่ดีเนื่องจากการเข้าใช้งานพร้อมกันเป็นจำนวนมาก แม้ความแรงของสัญญาณดีก็ตาม ด้วยจำนวนผู้ใช้งานบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้ผู้ประกอบการต้องพัฒนาเครือข่ายอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก

ในการเพิ่มและรักษาจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งผู้ประกอบการมีความกังวลต่อการเลือกใช้บริการในเครือข่ายของตน จึงมีปัจจัยใหม่ที่เป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการให้บริการที่จะเป็นเครื่องมือในการแข่งขันของผู้ให้บริการ คือ คุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ใช้วัดของความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน คุณภาพของประสบการณ์คือมุมมองของผู้ใช้งานที่ได้รับผลกระทบจากคุณภาพของการบริการ (Quality of Service) ซึ่งเป็นมุมมองของเครือข่ายที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ดังนั้นผู้ประกอบการจึงได้ตระหนักถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เพื่อใช้ในการปรับปรุงเครือข่ายของตนให้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์และคุณภาพของบริการ คือ คุณภาพของประสบการณ์เป็นความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่ประกอบไปด้วยระดับความรู้สึก ดีมาก ดี พอใช้ น้อย และน้อยที่สุด ส่วนคุณภาพของการบริการเป็นมุมมองของเครือข่ายที่ส่งผลกระทบโดยตรงหรือโดยอ้อมต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้แนวคิดทางเทคนิคในการตีความจากมุมมองของ

เครือข่ายให้เป็นมุมมองของผู้ใช้งาน รูปแบบการประมาณค่าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนของการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างระดับความพึงพอใจ (Opinion Score : OS) และปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) นักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอแนวคิด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคุณภาพของประสบการณ์ เช่น การตั้งสมมุติฐานสมการเอกซ์โพเนนเชียล เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์กับคุณภาพของบริการที่เป็นผลมาจากการวัดข้อมูลเชิงปริมาณของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเพียงหนึ่งปัจจัย ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการหาความสัมพันธ์จากวิธีการใช้สมการลอการิทึม (M. Fiedler, T. Hossfeld, and P. Tran-Gia, 2010) นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างคุณภาพของประสบการณ์และคุณภาพของบริการ จากวิธีการใช้สมมุติฐานสมการเอกซ์โพเนนเชียล สำหรับการให้บริการมัลติมีเดียสตรีมมิ่งที่เกิดจากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการหลายปัจจัย (H. J. Kim and S. G. Choi, 2010) ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์กับปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ โดยแบบจำลองการแมปอิงบนพื้นฐานของตัวชี้วัดคุณภาพวิดีโอสำหรับบริการสตรีมมิ่งวิดีโอ (Wang, Tianyi, Anjum Pervez, and Hua Zou, 2010) คุณภาพของประสบการณ์ที่อยู่บนพื้นฐานของวิธีการของการวิเคราะห์ทางสถิติในบริการของวิดีโอสตรีมมิ่งซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการคาดการณ์ถึงระดับความพึงพอใจและจัดสรรทรัพยากรของเครือข่าย (F. Agboma and A. Liotta, 2008) มีความพยายามที่จะสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่จะใช้ประเมินความพึงพอใจด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความพึงพอใจของคุณภาพประสบการณ์กับปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ สำหรับประเมินคุณภาพของประสบการณ์ของบริการวิดีโอ (Du, Haiqing, et al, 2009) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการประเมินความพึงพอใจสำหรับบริการของวิดีโอสตรีมมิ่งซึ่งมีประสิทธิภาพกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสมการเชิงเส้นถดถอย (Kaiyu, Wang, Wang Yumei, and Zhang Lin, 2014) อย่างไรก็ตามวรรณกรรมดังกล่าว ไม่ได้มีรูปแบบความสัมพันธ์สำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งปัจจัยด้านคุณภาพของบริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความแตกต่างจากเครือข่ายอื่น โดยเฉพาะค่าปัจจัยที่ได้รับอิทธิพลมาจาก การเฟลของช่องสัญญาณ ถึงแม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่มีการศึกษาหาความสัมพันธ์สำหรับการให้บริการวิดีโอบนเครือข่ายไร้สาย (Zheng, Kan, et al, 2015) แต่ไม่ได้รับข้อสรุปใด ๆ ที่เป็นรูปแบบการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการที่จะประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

เนื่องด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองที่มีโครงสร้างและหลักการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์ซึ่งจะมีการจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ภายในแบบจำลองที่มีการกำหนด

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับระดับความพึงพอใจ ผลของระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน (ITU-T P.800, 2006) จึงเป็นเรื่องที่ผู้ให้บริการควรจะทำให้มีความสำคัญ ซึ่งผลสำเร็จของงานวิจัยนี้สามารถสะท้อนให้เห็นถึงคุณภาพของประสบการณ์ที่ผู้ใช้งานได้รับ เพื่อให้ผู้ให้บริการนำไปปรับปรุงคุณภาพของบริการที่จะรักษาและดึงดูดผู้ใช้งาน รวมไปถึงก่อให้เกิดผลดีต่อการแข่งขันระหว่างผู้ประกอบการและเป็นผลดีต่อผู้ใช้บริการที่จะได้รับบริการที่มีคุณภาพตอบสนองต่อความต้องการ ซึ่งแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์การด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการเข้าถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากการใช้ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์แทนการวัดความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในการประเมินความพึงพอใจในรูปแบบของคุณภาพของประสบการณ์แทนการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

1.3.2 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างโดยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ได้

1.3.3 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างโดยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์

## 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ใช้อุปกรณ์สมาร์ทโฟน ที่ติดตั้งโปรแกรม AZENQOS เพื่อให้ผู้ใช้งานทดสอบและประเมินความพึงพอใจในบริการ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser

1.4.2 ใช้โปรแกรม AZENQOS ในการเก็บค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ

1.4.3 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของของประสพการณ์ ด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

1.4.4 ในการเก็บผลการทดลองจะใช้กลุ่มตัวอย่างในการประเมินความพึงพอใจจากบริการที่ได้กำหนดในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและกรุงเทพมหานคร

1.4.5 กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจะทำการประเมินความพึงพอใจจากบริการในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและกรุงเทพมหานคร และกลุ่มตัวอย่างบุคคลวัยทำงานทำการประเมินความพึงพอใจของบริการเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.2 เก็บรวบรวมข้อมูลคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งานและปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์โดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม

1.5.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์

## 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายประสาทเทียม
- 3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน
- 4) สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์โดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม
- 5) สังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสพการณ์
- 6) เปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์
- 7) นำแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์ไปใช้ในการประเมินระดับความพึงพอใจด้วยปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ

### 1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาวิธีการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายประสาทเทียม
- 3) พัฒนาวิธีการจากการสำรวจปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 4) ออกแบบกระบวนการวิเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์
- 5) บริการที่ถูกลนำมาสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ประกอบไปด้วย Call Youtube Facebook Line และ Web browser

### 1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

- 1) พื้นที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในจังหวัดนครราชสีมาที่ประกอบด้วย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี บริเวณลานอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี ในเขตตัวเมืองนครราชสีมา และห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา
- 2) พื้นที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในกรุงเทพมหานครที่ประกอบด้วยพื้นที่บริเวณ สยาม ประตูน้ำ ตลาดนัดจตุจักร แยกราชประสงค์ และลาดพร้าว
- 3) ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

### 1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)
- 2) สมาร์ทโฟน (Smartphone)
- 3) โปรแกรม AZENQOS
- 4) โปรแกรม MATLAB
- 5) ฐานข้อมูลออนไลน์ของโปรแกรม AZENQOS
- 6) โปรแกรม MICROSOFT OFFICE
- 7) รถยนต์นั่งส่วนบุคคล 1 คัน



### 1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างจากบริการที่กำหนดพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและกรุงเทพมหานคร
- 3) รวบรวมคะแนนความพึงพอใจและปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

### 1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นแรก โดยนำค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) มาหาความสัมพันธ์กับระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (Opinion Score) เพื่อคัดเลือกปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์โดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ในขั้นที่สองนำค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ถูกคัดเลือกจากขั้นแรกป้อนเข้าแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกกำหนดเป้าหมายจากคะแนนความพึงพอใจเพื่อให้เกิดกระบวนการเรียนรู้ (Learning) ภายในโครงข่ายประสาทเทียมจะได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนในการนำมาใช้ทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการป้อนข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และนำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ใช้งาน ในขั้นที่สามจะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครือข่ายของผู้ให้บริการ และในขั้นที่สี่จะนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ไปใช้งานจากการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เพื่อทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และวิเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ทำให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเข้าถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากการใช้เพียงปัจจัยด้านคุณภาพของบริการโดยสะท้อนให้เห็นความพึงพอใจของผู้ใช้งานในแต่ละคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และสังเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ถูกตั้งไว้ โดยแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ใช้เพียงปัจจัยด้านคุณภาพของ

บริการในการประเมินผลจึงทำให้ประหยัดเวลาและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเข้าถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

## 1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ได้จากเครื่องมือ

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม การสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่มีผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์เพื่อนำไปปรับปรุงเครือข่ายของผู้ให้บริการ

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของงานวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งประกอบด้วยทั้งหมด 13 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะกล่าวถึงโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ส่วนที่สามจะกล่าวถึงหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน ส่วนที่สี่จะกล่าวถึงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่ห้าจะกล่าวถึงประเภทของการเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่หกจะกล่าวถึงคุณสมบัติและความสามารถที่เป็นประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่เจ็ดจะกล่าวถึงลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่แปดจะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่เก้าจะกล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่สิบจะกล่าวถึงประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่สิบเอ็ดจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานก่อนใช้ในการสร้างแบบจำลอง ส่วนที่สิบสองจะกล่าวถึงการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และส่วนสุดท้ายจะเป็นการสรุปเนื้อหาทั้งหมดในบทนี้ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูลจาก The Institute of Electrical and Electronics Engineers หรือ IEEE นอกจากนี้ยังได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ จากหน่วยงานผู้ให้บริการด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการสืบค้นที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

#### 2.2 โครงข่ายประสาทเทียม

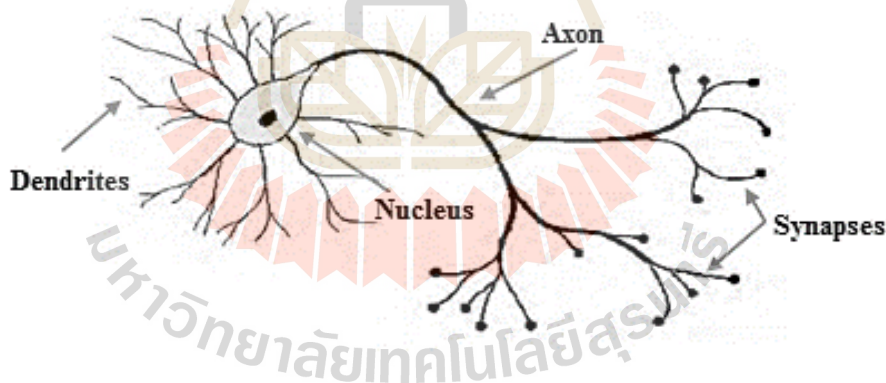
โครงข่ายประสาทเทียม คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการประมวลผลด้วยการคำนวณแบบคอนเนชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานที่คล้ายกับระบบประสาทในสมองมนุษย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือ ซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำแบบรูป (Pattern Recognition) และการอุปมาความรู้ (Knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่

มีในสมองมนุษย์ (วิทยา พรพัชรพงศ์, 2551) แนวคิดของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย

- 1) นิวเคลียส (Nucleus) หรือ เซลล์ประสาท
- 2) ไซแนป (Synapses) หรือ จุดประสานประสาทในแต่ละเซลล์ประสาท
- 3) เดนไดรต์ (Dendrites) หรือ ปลายการรับกระแสประสาท ซึ่งในแต่ละเซลล์ประสาทจะมีเดนไดรต์จำนวนมาก เป็นจุดที่รับกระแสประสาทเข้ามาจากเซลล์ประสาท

4) แอกซอน (Axon) หรือ ปลายในการส่งกระแสประสาท ส่วนปลายของแอกซอนจะแตกออกเป็นกิ่งก้าน และที่ส่วนปลายของแต่ละกิ่งก้านเหล่านี้ ลักษณะเป็นปม และจะไปเชื่อมต่อกับปลายของเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทเซลล์อื่น เพื่อเป็นจุดที่ส่งกระแสประสาทของเซลล์ประสาทออกไป

เซลล์ประสาทเหล่านี้จะทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นจากเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่ นิวเคลียส ซึ่งจะเป็นส่วนที่ตัดสินใจได้ว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อ ถ้ากระแสประสาทมีความแรงมากเพียงพอ นิวรอนก็จะกระตุ้นไปยังเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอน ดังรูปที่ 2.1



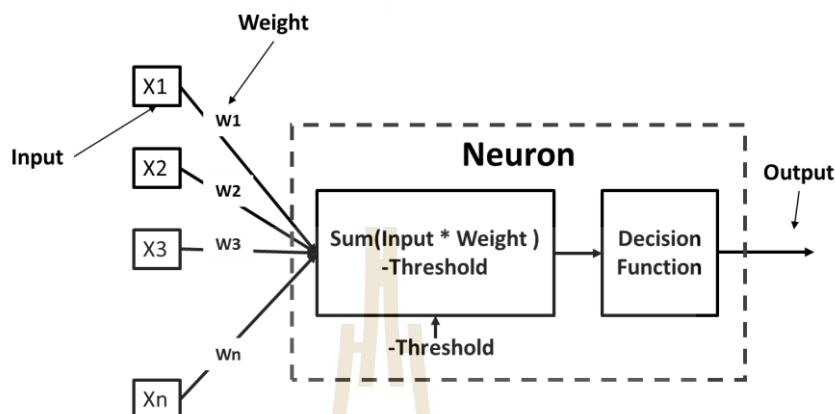
รูปที่ 2.1 แบบจำลองของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์

[Maureen Candill, 1989]

### 2.3 หลักการของโครงข่ายประสาทเทียม

นักวิจัยส่วนใหญ่เห็นตรงกันว่า โครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากโครงข่ายในสมองแต่ก็ยังมีเหมือนสมองมนุษย์ในแง่ที่ว่าโครงข่ายประสาทเทียม คือ การรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อพิจารณาขนาดแล้ว สมองมีขนาดใหญ่กว่าโครงข่ายประสาทเทียมอย่างมาก

รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของโครงข่ายประสาทเทียม อย่างไรก็ตาม ไรก็คิหน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนี้



รูปที่ 2.2 แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม

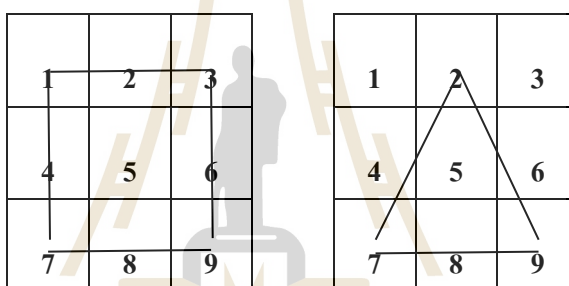
สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมในคอมพิวเตอร์ นิวรอน (Neurons) ประกอบด้วย ส่วนการนำเข้าหรืออินพุต (Input) และส่วนในการส่งออกหรือเอาต์พุต (Output) เหมือนกัน โดยจำลองให้อินพุตแต่ละอันมีค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวกำหนดน้ำหนักของอินพุตโดยนิวรอน (Neuron) แต่ละหน่วยจะมีค่าขีดแบ่งเป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของอินพุตต้องมากขนาดไหน จึงจะสามารถส่งเอาต์พุต ไปยังนิวรอนตัวอื่นได้ เมื่อนำนิวรอนแต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ในทางตรรกะแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมองเพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลข

## 2.4 การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม คือ เมื่อมีอินพุตเข้ามายังโครงข่ายจะถูกนำมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละขาและรวมผลเพื่อเปรียบเทียบกับค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่งแล้วจะถูกนำไปคำนวณค่าเพื่อส่งเอาต์พุตออกไป เอาต์พุตนี้ก็จะถูกส่งไปยังอินพุตของนิวรอนอื่น ๆ ที่เชื่อมกันในโครงข่าย ถ้าค่าน้อยกว่าค่าขีดแบ่งก็จะไม่เกิดเอาต์พุต ซึ่งเขียนออกมาได้ดังนี้

$$\text{If (sum ( input * weight ) > threshold ) then output}$$

สิ่งสำคัญคือ เราต้องทราบค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งสำหรับสิ่งที่เราต้องการ เพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จัก ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้ โดยการสอนให้ระบบรู้จักรูปแบบของสิ่งที่เราต้องการให้ระบบรู้จักด้วยการใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้ว ค่าเอาต์พุตจากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่าย เพื่อใช้แก้ไขค่าถ่วงน้ำหนักเครือข่าย เช่น จะรู้จักรูปสามเหลี่ยมกับรูปสี่เหลี่ยม เราอาจแบ่งอินพุตเป็น 9 ตัว คือเป็นตาราง 3x3 ถ้าวาดรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมให้เต็มกรอบ 3x3 สี่เหลี่ยมจะมีส่วนของขอบอยู่ในช่อง 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 โดยสมมติให้น้ำหนักตรงช่องเหล่านี้มีค่ามาก ถ้ามีเส้นขีดผ่านก็เอามาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก แล้วก็เอามารวมกัน ตั้งค่าให้พอเหมาะก็จะสามารถแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมกับสามเหลี่ยมได้ นี่คือหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 2.3 การแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม

[<http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>]

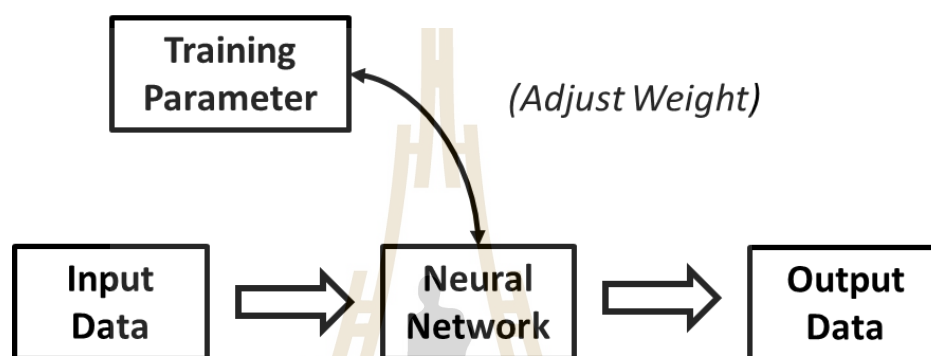
## 2.5 ประเภทของการเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

เป้าหมายหลักของการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานด้านวิศวกรรมและวิทยาการคอมพิวเตอร์นั้น คือการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ให้มีประสิทธิภาพสูง การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการฝึกหัด (Training) หรือเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือใช้งาน (Working) โดยในขั้นตอนของการเรียนรู้ (Learning) นั้นยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

### 2.5.1 การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning Algorithm)

ในปี พ.ศ.2486 ได้ถือว่าเป็นปีแห่งการกำเนิดของสาขาโครงข่ายประสาทเทียมในวงการวิทยาศาสตร์ (Garson, 1998) ที่สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งต่อมา โดแนลด์ เฮบบ์ (Donald Hebb) ได้เสนอกฎการเรียนรู้ของเฮบบ์ (Hebb's rule) ทำให้โครงข่าย

ประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ปัญหาแบบง่าย ๆ ได้สำเร็จซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของการเรียนรู้แบบไม่มีครูสอนซึ่งก็คือการเรียนรู้แบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด โครงข่ายประสาทเทียมจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้โครงข่ายประสาทเทียมจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ หากเปรียบเทียบกับมนุษย์ เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของระบบได้เองโดยไม่มีใครสอน สามารถแสดงส่วนต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning Algorithm)

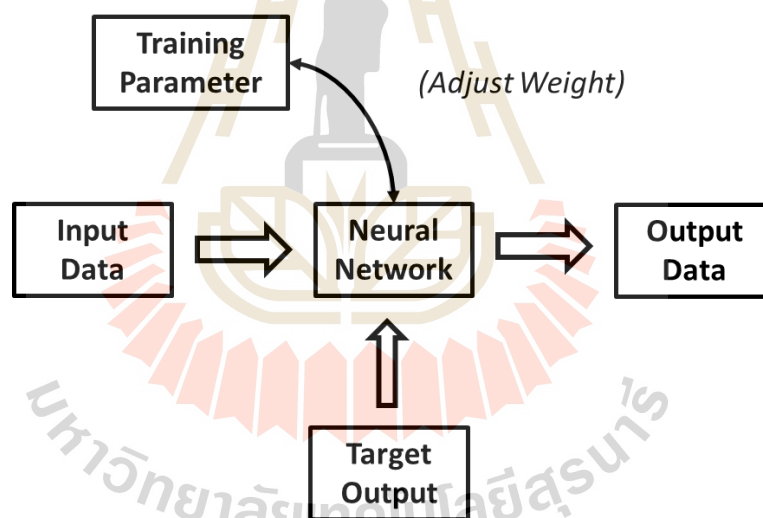
[<http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>]

การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนั้น ไม่จำเป็นต้องมีค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูลตัวอย่าง ในระหว่างการเรียนรู้ โครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับข้อมูลกระตุ้นในรูปแบบต่าง ๆ และทำการจัดกลุ่มรูปแบบต่าง ๆ เหล่านั้นตามต้องการ ผลของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบไม่มีครูสอนนี้จะเป็นการระบุกลุ่มของข้อมูลที่ใส่เข้าไป โดยจะอิงจากวิธีการจัดกลุ่มซึ่งได้เรียนรู้จากข้อมูลที่โครงข่ายเคยพบมา และเนื่องจากขั้นตอนการเรียนรู้แบบไม่มีครูสอนนี้ จะมีการระบุกลุ่มของข้อมูลตัวอย่างก่อน เมื่อตัดสินใจได้แล้วว่าข้อมูลใหม่มีลักษณะที่ควรจัดรวมเข้ากลุ่มใด (หรืออาจจะถือเป็นกลุ่มใหม่ในกรณีที่เห็นว่าไม่ควรจัดเข้ากลุ่มใดเลย) หลังจากนั้นจึงมีการปรับคุณลักษณะของกลุ่มโดยการนำลักษณะของข้อมูลใหม่นี้มาช่วยกำหนดแนวทางการจัดด้วย ในการตัดสินใจว่าข้อมูลใหม่นี้ควรจัดรวมเข้ากลุ่มใด ในโครงข่ายประสาทเทียมบางชนิดอาจจะใช้วิธีการแข่งขันกันของกลุ่มต่าง ๆ ว่ากลุ่มใดควรได้ข้อมูลดังกล่าวไป การเรียนรู้ในลักษณะนี้จะถูกเรียกว่า การเรียนรู้แบบการแข่งขันกัน (Competitive Learning) ซึ่งอีกแง่มุมหนึ่งนับจากจุดเริ่มต้นของการเรียนรู้ซึ่งไม่มีการจัดกลุ่มข้อมูลในแบบใด ๆ เลยจนถึงเวลาที่การจัดเสร็จสิ้นแล้ว จะพบว่าการจัดกลุ่มข้อมูลเกิดขึ้นตามคุณลักษณะบางอย่างของข้อมูลตัวอย่าง ซึ่งการจัดกลุ่มนี้เกิดจากการที่โครงข่ายประสาท

เทียบประเมินข้อมูลต่างที่ถูกป้อนเข้าไปในระหว่างการเรียนรู้ จนสร้างเป็นวิธีการจัดกลุ่มขึ้นมาได้ ดังนั้น การเรียนรู้ในลักษณะดังกล่าวจึงถูกเรียกว่า การเรียนรู้แบบจัดตัวเอง (Self-Organizing)

### 2.5.2 การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning Algorithm)

ในปี พ.ศ.2501 (Garson, 1998) แฟรงค์ โรเซนแบลทท์ (Frank Rosenblatt) ได้พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมรวมทั้งเสนอวิธีการเรียนรู้แบบใหม่ซึ่งมีการเรียนรู้จัดอยู่ในแบบมีครูสอน ซึ่งก็คือการเรียนรู้แบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใส่สอนโครงข่ายประสาทเทียมจะมีคำตอบไว้คอยตรวจสอบว่าโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก โครงข่ายประสาทเทียมก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น หากเปรียบเทียบกับมนุษย์ก็เหมือนกับการสอนนักเรียน โดยมีครูผู้สอนคอยให้คำแนะนำ สามารถแสดงส่วนต่าง ๆ ได้ดังรูป 2.5



รูป 2.5 การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning Algorithm)

[<http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>]

รูปแบบการเรียนรู้แบบมีการสอนจะเริ่มด้วยการส่งสิ่งเร้าที่ใช้ในการสอนเข้าไปเป็นอินพุตในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสร้างเอาต์พุตออกมา ซึ่งเอาต์พุตจะเป็นอย่างไร ก็ขึ้นอยู่กับสถานะในตอนเริ่มต้นการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เอาต์พุตดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลตอบเป้าหมาย (Target Output) ซึ่งผู้สอน (Teacher) จะเป็นผู้สร้างขึ้น หากผลลัพธ์ทั้งสองมีความแตกต่างกัน นั่นคือมีความคลาดเคลื่อน (Error) เกิดขึ้น



ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณเพื่อการปรับแต่งค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ต่าง ๆ ในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อลดความคลาดเคลื่อนลงให้เหลือน้อยที่สุด การปรับแต่งค่าถ่วงน้ำหนักโดยพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนนี้จะขึ้นอยู่กับกฎการเรียนรู้หรือขั้นตอนการคำนวณซึ่งเรียกว่าอัลกอริทึม (Algorithm) ที่แตกต่างกัน โดยแต่ละอัลกอริทึมจะมีคุณลักษณะ และสมรรถนะแตกต่างกัน

ตัวอย่างของการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานแต่ละแบบ เช่น ถ้าต้องการให้คอมพิวเตอร์สามารถระบุผู้พูดเมื่ออินพุตคือเสียงพูดเสียงหนึ่ง ในขั้นตอนของการเรียนรู้เราก็ต้องเตรียมข้อมูลคู่อินพุตและคู่เอาต์พุต ของแต่ละเสียงพูดไว้ นั่นคือเก็บแฟ้มเสียงพูดเป็นอินพุต และเอาต์พุตก็เป็นชื่อหรือรหัสของผู้พูดคนนั้น ๆ คู่ของ อินพุต-เอาต์พุต ทั้งหมดจะถูกส่งเข้าไปในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการเรียนรู้ ซึ่งงานลักษณะนี้เหมาะที่จะเลือกใช้การเรียนรู้แบบมีครูสอน (Supervised Learning Algorithm) เพราะเวลาทำการสอนเราจะสอนให้โครงข่ายประสาทเทียมรู้ว่า สำหรับอินพุตหนึ่งใด ๆ เอาต์พุตที่สอดคล้องกับอินพุตนั้นควรจะเป็นเอาต์พุตใด แต่ถ้าเปลี่ยนเป็นงานประยุกต์ที่ว่ามียุคคนอยู่ 10,000 คน ซึ่งเราต้องการแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ โดยที่เราไม่ทราบว่าจะแบ่งด้วยกฎเกณฑ์อย่างไร ปัญหาลักษณะนี้ก็จะเหมาะกับการเรียนรู้แบบไม่มีครูสอน (Unsupervised Learning Algorithm) เป็นอย่างยิ่ง นั่นคือมีเฉพาะค่าอินพุตเท่านั้น ส่วนเอาต์พุตนั้น โครงข่ายประสาทเทียมจะต้องเป็นผู้ระบุให้เราอย่างนี้เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีบางรูปแบบที่เป็นการผสมผสานทั้ง 2 รูปแบบ เข้ามาใช้ในงานร่วมกัน รวมทั้งยังมีการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานร่วมกับแขนงอื่น ๆ ในงานทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) เช่น นำเอาฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) มาใช้งานร่วมกับ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เป็นแบบจำลองใหม่ที่เรียกกันว่า ฟัซซีนิวรอน (Fuzzy-Neuro) เป็นต้น

## 2.6 คุณสมบัติและความสามารถที่เป็นประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียม

- 1) มีความยืดหยุ่นสูงจนสามารถจำลองขบวนการของปัญหาใด ๆ ได้
- 2) มีความสามารถในการจำลองชุดของคู่อินพุตและคู่เอาต์พุต ที่มีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถจำลองแบบในเชิงความน่าจะเป็นได้
- 3) มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม
- 4) มีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลที่ไม่เคยเห็น

## 2.7 ลักษณะของปัญหาที่เหมาะสมกับโครงข่ายประสาทเทียม

- 1) ตัวอย่างข้อมูลสำหรับการฝึกหัดประกอบด้วย ลักษณะเฉพาะหลาย ๆ ค่า
- 2) เอาต์พุต ที่ต้องการสามารถเป็นค่าจำนวนเต็มหรือจำนวนจริง หรือเป็นเวกเตอร์ (Vector) ของจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้
- 3) ตัวอย่างข้อมูลสามารถมีความผิดพลาดปะปนอยู่ได้
- 4) ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับขั้นตอนการฝึกหัดซึ่งอาจใช้เวลานานมาก
- 5) ไม่ต้องการเข้าใจวิธีการแก้ปัญหา ต้องการเพียงแค่ให้ปัญหาได้รับการแก้ไขเท่านั้น

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบระหว่างประสาทในสมองมนุษย์กับโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาท	โครงข่ายประสาทเทียม
นิวเคลียส	นิวรอน
เดนไดรต์	อินพุต
แอกซอน	เอาต์พุต
ไซแนป	ค่าถ่วงน้ำหนัก

## 2.8 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม

การเชื่อมโยงเซลล์ประสาทเทียมจำนวนหนึ่งเข้าด้วยกันเป็น โครงข่ายประสาทเทียมนั้น สามารถเชื่อมโยงแบบใดก็ได้โดยไม่มีขอบเขตจำกัด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วเทคนิคการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมมักจะถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้กับสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะเฉพาะเท่านั้น สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่พบทั่วไป ซึ่งจะมีลักษณะหลัก ๆ คือ

- 1) จำนวนชั้น จะประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ คือ ชั้นนำเข้า (Input Layer) ชั้นส่งออก (Output Layer) และชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งจะอยู่ระหว่างชั้นนำเข้าและชั้นส่งออกในโครงข่ายประสาทเทียมอาจมีชั้นซ่อนได้หลายชั้น

- 2) การเชื่อมต่อระหว่างชั้น ทุก ๆ โหนด (node) ในชั้นนำเข้าจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นแรก และทุก ๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นแรกจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ โหนดในชั้นถัดไปจนในที่สุดทุก ๆ โหนดในชั้นซ่อนชั้นสุดท้ายจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ โหนดในชั้นส่งออก

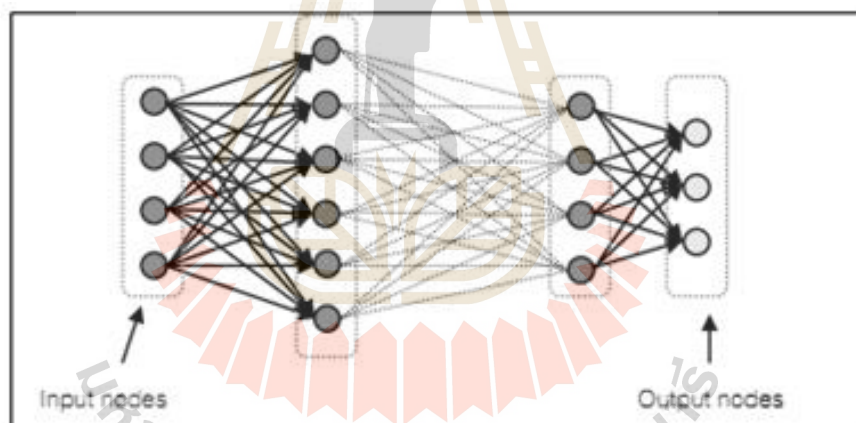
- 3) การทำงานของชั้นต่าง ๆ ชั้นนำเข้าไม่มีการประมวลผลทำหน้าที่รับสัญญาณเข้าแล้วกระจายออกไปยังแต่ละโหนดในชั้นถัดไปเท่านั้น แต่ส่วนชั้นซ่อน และชั้นนำออกนั้นจะมีการประมวลผลก่อนกระจายออกไปยังโหนดชั้นถัดไป

## 2.9 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีลักษณะเป็นการประกอบกันของรูปแบบโครงสร้าง ดังต่อไปนี้

### 2.9.1 แบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward Network)

ข้อมูลที่ประมวลผลในโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจากชั้นนำเข้าสู่ต่อมาเรื่อย ๆ จนถึงชั้นส่งออก โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่โหนด (Node) ในชั้นเดียวกันก็ไม่มี การเชื่อมต่อระหว่างกัน อาจจัดได้เป็น 2 แบบย่อย คือ แบบมีชั้นของเซลล์ประสาทชั้นเดียว (Single Layer) และแบบมีชั้นของเซลล์ประสาทหลายชั้น (Multilayer) โดยปกติแล้วการเชื่อมโยงจะถูกกำหนดขึ้นระหว่างชั้นที่ติดกัน โดยจะมีการเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาทเทียมทุกตัวจากชั้นหนึ่ง ๆ ไปยังเซลล์ประสาทเทียมทุกตัวในชั้นต่อไป ซึ่งในบางสถาปัตยกรรมอาจมีการเชื่อมโยงข้ามชั้นก็ได้ ดังรูปที่ 2.6

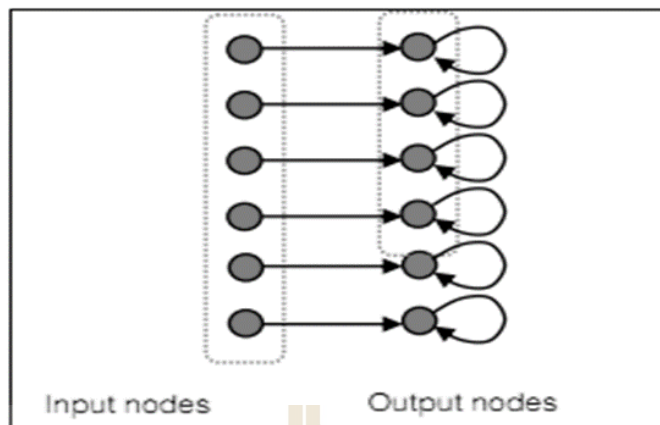


รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของ Feed forward network

[<http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>]

### 2.9.2 แบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (Feedback Network)

ข้อมูลที่ประมวลผลในโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการเชื่อมโยงที่ถูกกำหนดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาทเทียมในชั้นหนึ่ง ๆ ย้อนกลับไปยังชั้นอื่น ๆ ก่อนหน้านั้น หรือแม้แต่ภายในชั้นเดียวกันเอง จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังโครงข่ายประสาทเทียมหลาย ๆ ครั้งจนกระทั่งได้คำตอบออกมาบางที่เรียกว่า Recurrent Network ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของ Feedback network

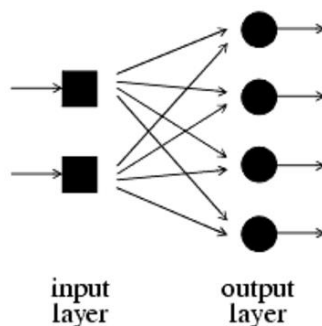
[<http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>]

## 2.10 ประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม

เราสามารถจำแนกตามจำนวนชั้น (Layer) ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

### 2.10.1 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทชั้นเดียว (Single Layer Neural Network)

มีค่าถ่วงน้ำหนักเชื่อมต่อเพียงชั้นเดียว โหนดชั้นอินพุต (Input Layer Node) จะแยกออกจากกัน และรับสัญญาณมาจากภายนอก ส่วนโหนดชั้นเอาต์พุต (Output Layer Node) จะเป็นผลตอบสนองจากโครงข่ายประสาทเทียม โดยโหนดชั้นอินพุตจะทำการเชื่อมต่อกับหน่วยเอาต์พุตทั้งหมด แต่ไม่เชื่อมต่อกับโหนดอินพุตอื่น ๆ และโหนดชั้นเอาต์พุตจะไม่เชื่อมต่อกับโหนดเอาต์พุตอื่น ๆ เช่นกันดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่มีเซลล์ประสาทชั้นเดียว

[H. Jack, 1991]

หลักการปรับตัวของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทชั้นเดียวแบบจำลองของ แมคคัลลอคและพิตส์ (McCulloch and Pitts) ในยุคแรกแสดงไว้ดังสมการที่ 2.1

$$X = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (2.1)$$

โดยที่  $X$  คือ ผลรวมระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักกับอินพุต

$x_i$  คือ อินพุตตัวที่  $i$

$w_i$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักตัวที่  $i$

ฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) จะถูกเรียกว่า Sign Function หรือ Signum Function ดังนั้นเราสามารถแสดง Actual เอาต์พุตของนิวรอนที่ใช้ Sign Activation Function ได้ดังนี้

$$y = \text{sign}\left[\sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta\right] \quad (2.2)$$

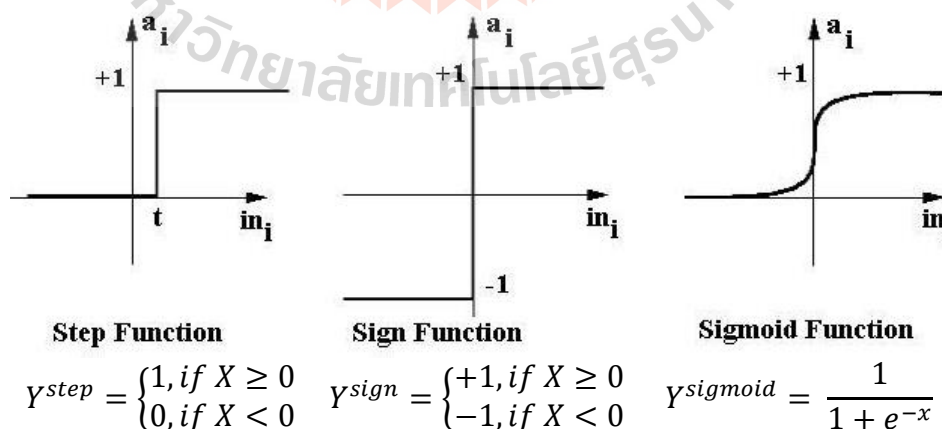
โดยที่  $y$  คือ ค่า Actual เอาต์พุต

$\theta$  คือ ค่าขีดแบ่ง

$x_i$  คือ อินพุตตัวที่  $i$

$w_i$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักตัวที่  $i$

ฟังก์ชันการกระตุ้นของนิวรอนที่นิยมใช้แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ฟังก์ชันการกระตุ้นของนิวรอน

ขั้นตอนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทชั้นเดียว (Linear Perceptron) มีขั้นตอนดังนี้

### ขั้นตอนที่ 1 : Initialization

กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มต้น (Initial weights)  $w_1, w_2, \dots, w_n$  และค่าขีดแบ่ง (Threshold) ให้มีค่าแบบสุ่ม (random)

### ขั้นตอนที่ 2 : Activation

ทำการ Activate the Perceptron โดยการป้อนอินพุต  $x_1(p), x_2(p), \dots, x_n(p)$  เพื่อทำการคำนวณค่า Actual เอาต์พุตที่ Iteration เท่ากับ 1 โดยใช้สมการดังนี้

$$Y(p) = \text{step}[\sum_{i=1}^n x_i(p)w_i(p) - \theta] \quad (2.3)$$

โดยที่  $Y(p)$  คือ ค่า Actual เอาต์พุต

$w_i(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

$x_i(p)$  คือ ค่าอินพุต

$\theta$  คือ ค่าขีดแบ่ง

$n$  คือ จำนวนของชุดข้อมูลอินพุต

### ขั้นตอนที่ 3 : Weight Training

ทำการอัปเดต (update) ค่าถ่วงน้ำหนักของ perceptron ดังสมการที่ 2.4 ถึง 2.6

$$w_i(p+1) = w_i(p) + \Delta w_i(p) \quad (2.4)$$

โดยที่  $w_i(p+1)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่

$w_i(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

$\Delta w_i(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไป

$$\Delta w_i(p) = \alpha \times x_i(p) \times e(p) \quad (2.5)$$

โดยที่  $\Delta w_i(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไป

$\alpha$  คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

$x_i(p)$  คือ ค่าอินพุต

$e(p)$  คือ ค่าความผิดพลาด

$$e(p) = Y_d(p) - Y(p) \quad (2.6)$$

โดยที่  $e(p)$  คือ ค่าความผิดพลาด

$Y_d(p)$  คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

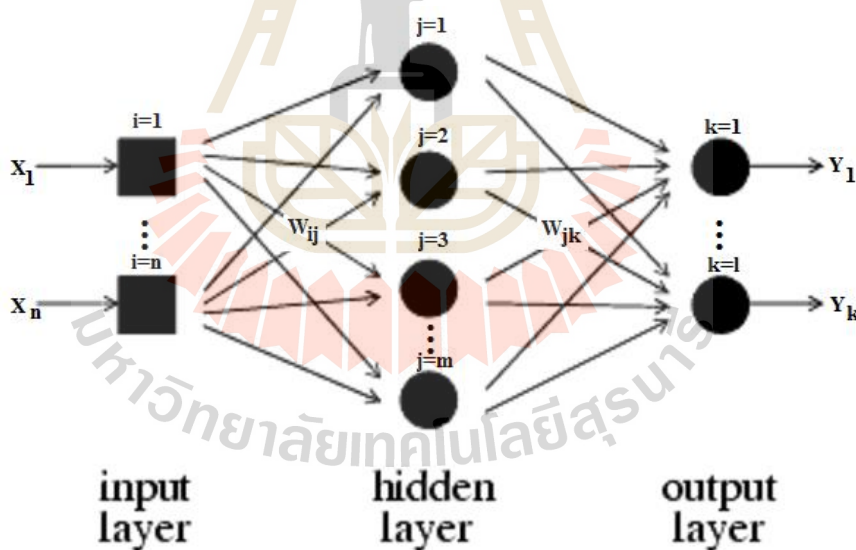
$Y(p)$  คือ ค่าเอาต์พุตที่ได้

**ขั้นตอนที่ 4 :** Iteration

ทำการเพิ่ม Iteration  $p$  ไปอีก 1 จากนั้นกลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 และทำการ Repeat Process ทั้งหมดจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะของการลู่เข้า

### 2.10.2 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทหลายชั้น (Multilayer Neural Network)

เป็นโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาทหลายชั้น ซึ่งอาจจะมีชั้นซ่อน 1 ชั้น หรือมากกว่าก็ได้ โดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (Node) หรือเปรียบได้กับเซลล์ประสาท และมีการเชื่อมต่อโดยมีค่าถ่วงน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบที่มีเซลล์ประสาท 3 ชั้น

[H. Jack, 1991]

- $i, j$  และ  $k$  หมายถึงนิวรอนในชั้นอินพุต, ชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต ตามลำดับ
- ชุดข้อมูลอินพุต  $x_1, x_2, \dots, x_n$  จะถ่ายทอดผ่านโครงข่ายจากซ้ายไปขวา
- ชุดข้อมูลค่าความผิดพลาด  $e_1, e_2, \dots, e_l$  จะถ่ายทอดย้อนกลับจากขวาไปซ้าย

ชุดข้อมูลค่าความผิดพลาดเริ่มจากชั้นเอาต์พุตและทำงานย้อนกลับมายังชั้นซ่อน  
ชุดข้อมูลค่าความผิดพลาดที่เอาต์พุตของนิวรอน  $k$  คำนวณได้จากสมการที่ 2.7

$$e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p) \quad (2.7)$$

โดยที่  $e_k(p)$  คือ ค่าความผิดพลาดของ neuron  $k$

$y_{d,k}(p)$  คือ เอาต์พุตเป้าหมายของ neuron  $k$

$y_k(p)$  คือ เอาต์พุตของ neuron  $k$

ดังนั้น เราจะใช้สมการในการอัปเดตค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นเอาต์พุต ดังนี้

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \quad (2.8)$$

โดยที่  $w_{jk}(p+1)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$w_{jk}(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$\Delta w_{jk}(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไประหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$$\Delta w_{jk}(p) = \alpha \times y_j(p) \times \delta_k(p) \quad (2.9)$$

โดยที่  $\Delta w_{jk}(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไประหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$\alpha$  คือ อัตราการเรียนรู้

$y_j(p)$  คือ เอาต์พุตของ neuron  $j$

$\delta_k(p)$  คือ error gradient ที่ neuron  $k$

ในชั้นเอาต์พุต error gradient สามารถหาได้จากการอนุพันธ์ของ Activation Function คูณกับค่าความผิดพลาด ของ neuron เอาต์พุต ดังนั้น สำหรับ neuron  $k$  ในชั้นเอาต์พุตจะ  
ได้

$$\delta_k(p) = \frac{\partial y_k(p)}{\partial x_k(p)} \times e_k(p) \quad (2.10)$$

โดยที่  $\delta_k(p)$  คือ error gradient ที่ neuron  $k$  ในชั้นเอาต์พุต

$y_k(p)$  คือ เอาต์พุตของ neuron  $k$

$x_k(p)$  คือ อินพุตของ neuron  $k$

$e_k(p)$  คือ ค่าความผิดพลาดของชั้น neuron  $k$



จาก Sigmoid Activation สมการที่ (2.12) สามารถแทนได้ดังนี้

$$\delta_k(p) = \frac{d\left\{\frac{1}{1+\exp[-x_k(p)]}\right\}}{dx_k(p)} e_k(p) = \frac{\exp[-x_k(p)]}{\{1+\exp[-x_k(p)]\}^2} e_k(p) \quad (2.11)$$

ดังนั้น จะได้

$$\delta_k(p) = y_k(p) \times [1 - y_k(p)] \times e_k(p) \quad (2.12)$$

ถ้าต้องการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไประหว่างชั้นอินพุตกับชั้นซ่อนจะสามารถหาได้จากสมการเดียวกัน คือ

$$\Delta w_{ij}(p) = \alpha \times x_i(p) \times \delta_j(p) \quad (2.13)$$

โดยที่  $\Delta w_{ij}(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไประหว่างชั้นอินพุตกับชั้นซ่อน

$\alpha$  คือ อัตราการเรียนรู้

$x_i(p)$  คือ อินพุตของ neuron  $i$

$\delta_j(p)$  คือ error gradient ที่ neuron  $j$  ในชั้นซ่อน

$$\delta_j(p) = y_j(p) \times [1 - y_j(p)] \times \sum_{k=1}^l \delta_k(p) w_{jk}(p) \quad (2.14)$$

โดยที่  $\delta_j(p)$  คือ error gradient ที่ neuron  $j$  ในชั้นซ่อน

$y_j(p)$  คือ เอาต์พุตของ neuron  $j$

$\delta_k(p)$  คือ error gradient ที่ neuron  $k$  ในชั้นเอาต์พุต

$w_{jk}(p)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$l$  คือ จำนวนของนิวรอนในชั้นเอาต์พุต

$$y_j(p) = \frac{1}{1 + e^{-X_j(p)}}; \quad X_j(p) = \sum_{i=1}^n x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \quad (2.15)$$

ขั้นตอนการเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียมที่มีมีเซลล์ประสาทหลายชั้นมี  
ขั้นตอนดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1 : Initialization**

กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งแบบสุ่มตัวเลขและกระจายค่าให้อยู่ในช่วงดังนี้

$$\left( -\frac{2.9}{m}, +\frac{2.9}{m} \right) \quad (2.16)$$

โดยที่  $m$  = จำนวนอินพุตของนิวรอน

**ขั้นตอนที่ 2 : Activation**

(a) คำนวณ actual เอาต์พุตของนิวรอนในชั้นซ่อน

$$y_j(p) = \text{sigmoid} \left[ \sum_{i=1}^n x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \right] \quad (2.17)$$

(b) คำนวณ actual เอาต์พุตของนิวรอนในชั้นเอาต์พุต

$$y_k(p) = \text{sigmoid} \left[ \sum_{j=1}^m x_{jk}(p) \times w_{jk}(p) - \theta_k \right] \quad (2.18)$$

**ขั้นตอนที่ 3 : Weight Training**

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักในกระบวนการ Back-Propagation

(a) คำนวณค่า error gradient ของ neurons ในชั้นเอาต์พุต

$$\delta_k(p) = y_k(p) \times [1 - y_k(p)] \times e_k(p) \quad (2.19)$$

โดยที่  $e_k(p) = y_{d,k}(p) - y_k(p)$

ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไประหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$$\Delta w_{jk}(p) = \alpha \times y_j(p) \times \delta_k(p) \quad (2.20)$$

ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นเอาต์พุต

$$w_{jk}(p+1) = w_{jk}(p) + \Delta w_{jk}(p) \quad (2.21)$$

(b) คำนวณค่า error gradient ของ neurons ในชั้นซ่อน

$$\delta_j(p) = y_j(p) \times [1 - y_j(p)] \times \sum_{k=1}^l \delta_k(p) w_{jk}(p) \quad (2.22)$$

ค่าถ่วงน้ำหนักที่เปลี่ยนไประหว่างชั้นอินพุตกับชั้นซ่อน

$$\Delta w_{ij}(p) = \alpha \times x_i(p) \times \delta_j(p) \quad (2.23)$$

ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ระหว่างชั้นอินพุตกับชั้นซ่อน

$$w_{ij}(p+1) = w_{ij}(p) + \Delta w_{ij}(p) \quad (2.24)$$

**ขั้นตอนที่ 4** : Iteration

ทำการเพิ่ม Iteration  $p$  ไปอีก 1 จากนั้นกลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 และ Repeat Process

ทั้งหมดจนกระทั่ง ไม่เกิดความผิดพลาดอีก

## 2.11 การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการก่อนใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameter) และคะแนนความพึงพอใจ (Opinion Score) ที่ถูกเก็บรวบรวมจะนำมาวิเคราะห์เพื่อเลือกค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในการที่จะนำมาใช้ในการทำนายคะแนนคุณภาพประสบการณ์ (QoE Score) ซึ่งต้องมีความสัมพันธ์กับคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ใช้งานได้ประเมินดังนั้น จึงมีกระบวนการวิเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นก็คือปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งานซึ่งค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นระหว่างตัวแปรดังนี้

### 2.11.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) กับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (Opinion Score) ซึ่งค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในแต่ละบริการการจะมีค่าที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละบริการจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ โดยใช้กำหนดเกณฑ์ความสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ดังสมการ 2.25

$$r_i = \frac{\sum (y - \bar{y})(x_i - \bar{x}_i)}{\sqrt{(y - \bar{y})^2} \sqrt{(x_i - \bar{x}_i)^2}} \quad (2.25)$$

โดยที่  $r_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจกับปัจจัยด้านคุณภาพของบริการตัวที่  $i$

$y$  คือ คะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

$x_i$  คือ ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการตัวที่  $i$

ทิศทางของความสัมพันธ์ (Direction of the Relationship) ในการหาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจนั้นมีทิศทางของความสัมพันธ์ได้ 3 แบบ คือ

1. สหสัมพันธ์ทางบวก (Positive Correlations) หมายถึงเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มหรือลดลงอีกตัวแปรหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปด้วย
2. สหสัมพันธ์ทางลบ (Negative Correlations) หมายถึงเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ
3. สหสัมพันธ์เป็นศูนย์ (Zero Correlations) หมายถึงตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

### 2.11.2 การคัดเลือกตัวแปรทำนายของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ

ในการคัดเลือกตัวแปรของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเพื่อนำไปใช้สร้างแบบจำลองของคุณภาพของประสบการณ์นั้นจะทดสอบระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ เป็นการทดสอบว่าตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์ ซึ่งจะใช้ตัวอักษรภาษากรีก คือ  $\rho$  (rho) ซึ่งเขียนเป็นสมมติฐานทางสถิติ ได้ดังนี้

$$H_0 : \rho = 0 \quad (\text{ตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน})$$

$$H_1 : \rho \neq 0 \quad (\text{ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กัน})$$

เมื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากสมการ (2.25) แล้วต้องการทราบว่าค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่สามารถทำได้โดยการคำนวณค่าสถิติที (t-test) จากสมการดังนี้

$$t_i = \frac{|r_i| \sqrt{N-1}}{\sqrt{1-r_i^2}} \quad (2.26)$$

โดยที่  $N$  คือ จำนวนชุดข้อมูล

$r_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนความพึงพอใจกับปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ ตัวที่  $i$

ค่า  $t$  ที่คำนวณได้นำไปเทียบกับค่าวิกฤตของที่ได้จากตารางวิกฤตหรือสามารถเทียบได้กับตารางค่าวิกฤตของค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน โดยถ้าค่า  $t$  ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าวิกฤต แสดงว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่

$t_{\text{คำนวณ}} > t_{\text{วิกฤต}}$  ปฏิเสธ  $H_0$  ยอมรับ  $H_1$  (ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กัน)

$t_{\text{คำนวณ}} < t_{\text{วิกฤต}}$  ปฏิเสธ  $H_1$  ยอมรับ  $H_0$  (ตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์กัน)

โดยงานวิจัยนี้กำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่าร้อยละ 95

## 2.12 ปรัชญ่วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีที่กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยทำการสำรวจปรัชญ่วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้พอสังเขป ได้ดังนี้ จากการสำรวจปรัชญ่วรรณกรรมงานวิจัยของ (M. Fiedler, T. Hossfeld, and P. Tran-Gia, 2010) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดของการใช้วิธีการของสมการเอกซ์โพเนนเชียล เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์กับคุณภาพของการบริการที่เป็นผลมาจากการวัดเชิงปริมาณของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเพียงหนึ่งปัจจัย พบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการหาความสัมพันธ์จากวิธีการใช้สมการลอการิทึม ซึ่งเป็นวิเคราะห์จากตัวแปรต้น (ตัวแปรต้น หมายถึง ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ) เพียงหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม (ตัวแปรตาม หมายถึง คะแนนความพึงพอใจ) ในความเป็นจริงอาจจะมีมากกว่าหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม โดยจะถูกนำไปใช้กับบริการของ Voice Over IP และ Web Browser จากการสำรวจปรัชญ่วรรณกรรมของ (H. J. Kim and S. G. Choi, 2010) การใช้วิธีการของสมการเอกซ์โพเนนเชียล เพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของประสบการณ์กับคุณภาพของการบริการที่เป็นผลมาจากการวัดเชิงปริมาณของปัจจัยด้านคุณภาพของการบริการหลายปัจจัย เมื่อเทียบกับ (M. Fiedler, T. Hossfeld, and P. Tran-Gia, 2010) ที่ใช้ตัวแปรต้นเพียง 1 ตัว แต่ก็มี ความซับซ้อนของระดับน้ำหนักของตัวแปรต้นแต่ละตัวที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์และไม่มีรูปแบบที่อ้างอิงได้

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ (Wang Tianyi, Pervez Anjum and Zou Hua, 2010) ซึ่งเป็นการแมปปีง (Mapping) ความสัมพันธ์ของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ โดยตัวชี้วัดคุณภาพวิดีโอสำหรับบริการสตรีมมิ่งวิดีโอซึ่งปริทัศน์วรรณกรรมนี้ไม่ได้ระบุถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และยังมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่อยู่ยากซับซ้อนจากการหาค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปรต้นแต่ละตัวเพื่อได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ในการใช้ทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมของ (F. Agboma and A. Liotta, 2008) ซึ่งเป็นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจที่ได้จากผู้ใช้งานในบริการวิดีโอสตรีมมิ่ง (Video Streaming) โดยวิธีการของการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์คะแนนคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการนำไปใช้จัดสรรทรัพยากรของเครือข่าย ซึ่งแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีการนี้มีความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมของ (Du and Haiqing, 2009) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนจากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการสำหรับบริการวิดีโอสตรีมมิ่งในการทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ซึ่งแบบจำลองที่ได้นั้นมีความซับซ้อนในกระบวนการสร้างแบบจำลอง นำไปสู่ประสิทธิภาพที่ดี จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมของ (Kaiyu Wang, Yumei Wang and Lin Zhang, 2014) แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนนั้นมีประสิทธิภาพวิธีการใช้สมการเชิงเส้นถดถอยในการทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการสำหรับบริการวิดีโอสตรีมมิ่งในเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network) ซึ่งยังไม่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งปัจจัยด้านคุณภาพของบริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความแตกต่างจากเครือข่ายอื่น โดยเฉพาะค่าปัจจัยเหล่านี้ที่ได้รับอิทธิพลมาจาก การเฟดของช่องสัญญาณ (Propagation Fading Channel) ถึงแม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่มีการศึกษาหาความสัมพันธ์สำหรับการให้บริการวิดีโอบนเครือข่ายไร้สาย จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมของ (Zheng and Kan, 2015) ใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการกับคะแนนความพึงพอใจโดยการประยุกต์ใช้ในบริการวิดีโอบนเครือข่าย LTE แต่ไม่ได้รับข้อสรุปใด ๆ ที่เป็นรูปแบบการประมาณคุณภาพของประสบการณ์

จากปฏิทัศน์วรรณกรรมเหล่านี้ยังไม่มียานวิจัยใดที่หารูปแบบความสัมพันธ์สำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ถึงแม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่พยายามหาความสัมพันธ์แต่ก็ยังไม่ได้รับข้อสรุปใด ๆ จึงเป็นแนวคิดของงานวิจัยที่จะสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคปัจจุบันที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากที่เข้าใช้งานบริการมัลติมีเดียต่าง ๆ ซึ่งผู้ให้บริการได้เล็งเห็นถึงการพัฒนาเครือข่ายเพื่อตอบสนองต่อความพึงพอใจผู้ใช้งานจากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการโดยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลสำเร็จจากงานวิจัยสามารถเป็นตัวชี้วัดถึงความสำเร็จในการให้บริการ

เนื่องด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและมีโครงสร้างและหลักการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์ (McCulloch, 1943) ซึ่งจะมีการจำลองกระบวนการเรียนรู้ภายในของข้อมูลระหว่างตัวแปรต้นและเป้าหมายภายในที่เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนในการนำไปใช้คาดการณ์ตัดสินใจหรือประเมินที่มีการตัดสินใจคล้ายกับกลุ่มตัวอย่างของมนุษย์ที่เป็นผู้ประเมินความพึงพอใจ ผลของระดับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจึงเป็นเรื่องที่ผู้ให้บริการควรจะทำให้มีความสำคัญ เพื่อให้ผู้ให้บริการนำไปปรับปรุงคุณภาพของบริการที่จะรักษาและดึงดูดผู้ใช้บริการ รวมไปถึงก่อให้เกิดผลดีต่อการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการและเป็นผลดีต่อผู้ใช้บริการที่จะได้รับบริการที่มีคุณภาพที่ตอบสนองต่อความต้องการ

### 2.13 สรุปท้ายบท

ในเนื้อหาทั้งหมดของบทที่สองได้กล่าวถึงโครงข่ายประสาทเทียม หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม คุณสมบัติความสามารถและลักษณะของข้อมูลที่เหมาะสมของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะอธิบายถึงหลักการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจากสมการทางคณิตศาสตร์ในการป้อนข้อมูลที่เป็นตัวเลขและเป้าหมายที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าเกณฑ์ในการนำไปใช้ทำนายผลจากการป้อนข้อมูลตัวแปรต้นของงานวิจัย ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงจนสามารถจำลองขบวนการของปัญหาของกลุ่มข้อมูล อินพุต-เอาต์พุต ที่มีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถจำลองแบบในเชิงน่าจะเป็นได้ ซึ่งในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อคัดเลือกตัวแปรที่มีความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นพิจารณาถึงค่าสหสัมพันธ์และแนวโน้มของปัจจัยด้านคุณภาพของประสบการณ์กับคะแนนความพึงพอใจ ในส่วนสุดท้ายเป็นการกล่าวถึงการสำรวจปฏิทัศน์วรรณกรรมที่ได้ทำการสำรวจมา จากทฤษฎีและการสำรวจปฏิทัศน์วรรณกรรมนี้จะนำไปทำการออกแบบเพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่มีความยืดหยุ่นและนำไปใช้ประโยชน์กับผู้ประกอบการในบริการต่าง ๆ สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคปัจจุบัน

## บทที่ 3

### การออกแบบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

#### 3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์และสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ ด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมในกระบวนการวิเคราะห์และสังเคราะห์ในงานวิจัย โดยในส่วนแรกจะเป็นการกล่าวนำหัวข้อของบทนี้ ส่วนที่สองจะเป็นการกล่าวถึงปัญหาและความเป็นมาของงานวิจัยในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ในส่วนที่สามจะกล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ใช้ในการเก็บผลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในแต่ละบริการ ส่วนที่สี่จะกล่าวถึงวิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ ส่วนที่ห้าจะกล่าวถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลและการออกแบบการทดลองในงานวิจัยจากการสร้างแบบจำลองที่ได้จากสองกลุ่มตัวอย่างสองพื้นที่ในการเก็บข้อมูล ส่วนที่หกจะกล่าวถึงอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัย ส่วนที่เจ็ดจะเป็นโครงสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการสรุปท้ายบท

#### 3.2 ปัญหาและความเป็นมาของงานวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีโครงข่ายไร้สาย (Mobile Network) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการให้บริการข้อมูลความเร็วสูง ซึ่งมีผู้ใช้งานจำนวนมากเข้าใช้งานบริการในรูปแบบต่าง ๆ เกิดผลที่ตามมาด้วยมูลค่าทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้นของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งสิ่งที่จะดึงดูดและรักษาจำนวนผู้ใช้งานได้ จำเป็นต้องเข้าถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อบริการจากเครือข่ายของผู้ให้บริการได้มอบให้ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานได้แก่ ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ ปัจจัยด้านราคาของบริการ ปัจจัยความคุ้มค่า ปัจจัยความชื่นชอบของผู้ใช้งาน และปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อจำนวนผู้ใช้งานและการเติบโตเศรษฐกิจที่ผู้ประกอบการทุกรายต้องการ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาปัจจัยด้านคุณภาพของบริการเป็นผลการดำเนินงานที่สำคัญของทุก



เครือข่ายเพราะมันสามารถวัดได้จริงและช่วยให้วิศวกรสามารถปรับปรุงเครือข่าย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เพียงสะท้อนในมุมมองของเครือข่ายเท่านั้น ซึ่งไม่ได้ระบุมุมมองพึงพอใจของผู้ใช้งานแต่อย่างใด ผู้ใช้งานบางกลุ่มได้สัมผัสกับการบริการที่ไม่ดี เนื่องจากการเข้าถึงของจำนวนผู้ใช้งานในพื้นที่ที่มากเกินไป แม้ความแรงของสัญญาณจะดีก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเข้าถึงผู้ใช้งานด้วยการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน บริการมัลติมีเดียบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งบริการเหล่านี้จำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลความเร็วสูง บนพื้นฐานของเทคโนโลยีในปัจจุบันเช่น WCDMA หรือ LTE-A ดังนั้นเพื่อเพิ่มและรักษาจำนวนผู้ใช้ที่ผู้ประกอบการมีความกังวลจึงมีพารามิเตอร์ใหม่ที่เป็นตัวแทนของความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ที่เรียกว่า คุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience) ซึ่งเป็นผลมาจากตัวชี้วัดปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ได้จากการวัดผลในเครือข่ายของผู้ให้บริการ โดยที่ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความแตกต่างจากเครือข่ายอื่น โดยเฉพาะช่องสัญญาณในระบบสื่อสารเคลื่อนที่จะได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณรบกวน สัญญาณแทรกสอด (พีระพงษ์, 2556) หรืออิทธิพลจากการเฟดของช่องสัญญาณ (Propagation Fading Channel) และจำนวนของผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดความล่าช้าในการรับส่งข้อมูล อันเป็นผลกระทบต่อความพึงพอใจในการใช้บริการ ซึ่งระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานนั้นจะถูกแบ่งออกทั้งหมด 5 ระดับตามมาตรฐานของ ITU-T P.800 ประกอบไปด้วย น้อยมาก น้อย พอใช้ ดี และดีมาก โดยมีคะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ หากผู้ใช้งานมีระดับความพึงพอใจที่ไม่ดีจะส่งผลต่อการยกเลิกการใช้บริการและเลือกใช้เครือข่ายใหม่ที่ตอบสนองความต้องการหรือใช้บริการที่ดีกว่า ซึ่งถ้าหากผู้ประกอบการสามารถที่จะรับรู้ความพึงพอใจของผู้ใช้งานนั้นได้ก่อนก็จะสามารถที่จะรักษาผู้ใช้งานเดิมและดึงดูดผู้ใช้งานรายใหม่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการในการประเมินความพึงพอใจในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience) เป็นแนวทางการจัดการอย่างหนึ่งของคุณภาพของบริการ (Quality of Service) ซึ่งเป็นคุณภาพโดยรวมของระบบจากมุมมองของผู้ใช้และยังเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานแบบ End-to-End ในการเข้าถึงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงความสำเร็จในการให้บริการที่จะใช้เป็นเครื่องมือในการแข่งขันของผู้ให้บริการ



รูปที่ 3.1 ผู้ใช้งานได้รับบริการที่ไม่ดีแม้ความแรงของสัญญาณ โดยรอบอยู่ในระดับที่ดี

### 3.3 ข้อมูลจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ใช้ในการเก็บผลค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) จากโปรแกรม AZENQOS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ติดตั้งบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ผู้ให้บริการส่วนใหญ่ใช้งานในการเก็บผลจากการไคร์ฟเทส (Drive test) และวอล์กเทส (Walk test) ในงานวิจัยนี้จะนำมาใช้ในการเก็บผลข้อมูลของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) และให้ผู้ใช้งานทำการประเมินความพึงพอใจจากขอบเขตของแต่ละบริการที่กำหนดในโปรแกรม AZENQOS ที่นำมาประยุกต์เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีบริการที่ประกอบไปด้วย Call Youtube Facebook Line และ Web browser จะถูกเก็บรวบรวมข้อมูลค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์



รูปที่ 3.2 บริการที่ใช้ในการทดสอบความพึงพอใจ

ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS ที่ประกอบไปด้วยบริการ Call Youtube Facebook Line และ Web browser ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ WCDMA และ LTE ซึ่งค่าปัจจัยด้าน

คุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากโปรแกรมมีอยู่ 3 ส่วนสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters โดยขอบเขตของแต่ละบริการจากการกำหนดค่าในโปรแกรม AZENQOS ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจจากการดำเนินการใน โปรแกรม AZENQOS เพื่อเก็บข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในแต่ละบริการ โดยที่ข้อแตกต่างในแต่ละบริการในส่วนของ End Parameters ที่แตกต่างกันจากโปรแกรม AZENQOS ได้ดังนี้

บริการ Call ประกอบด้วย

- Setup Duration (ms.)
- MM\_CM\_SERVICE\_REQUEST to CC\_SETUP duration (ms.)
- CC\_SETUP to CC\_ALERTING duration (ms.)
- CSFB-EMM\_ExtendedServiceRequest to MM\_CM\_SERVICE\_REQUEST duration (ms.) (ซึ่งมีเฉพาะในขณะที่อุปกรณ์กำลังจับสัญญาณในระบบ 4G)

บริการ Youtube ประกอบด้วย

- Throughput\_Download\_App (Kbps.)
- YouTube\_Duration\_To\_First\_Play (s.)
- YouTube\_Buffering\_Count (n.)
- YouTube\_Buffering\_Duration (s.)

บริการ Facebook ประกอบด้วย

- Post\_photo\_duration\_time (s.)
- Download\_photo\_duration\_time (s.)
- Throughput post photo (Kbps.)
- Throughput download photo (Kbps.)

บริการ Line ประกอบด้วย

- LINE\_Send\_Time (ms.)
- LINE\_Send\_Duration (s.)
- LINE\_Load\_Photo\_Result\_Time (ms.)
- LINE\_Load\_Photo\_Duration (ms.)

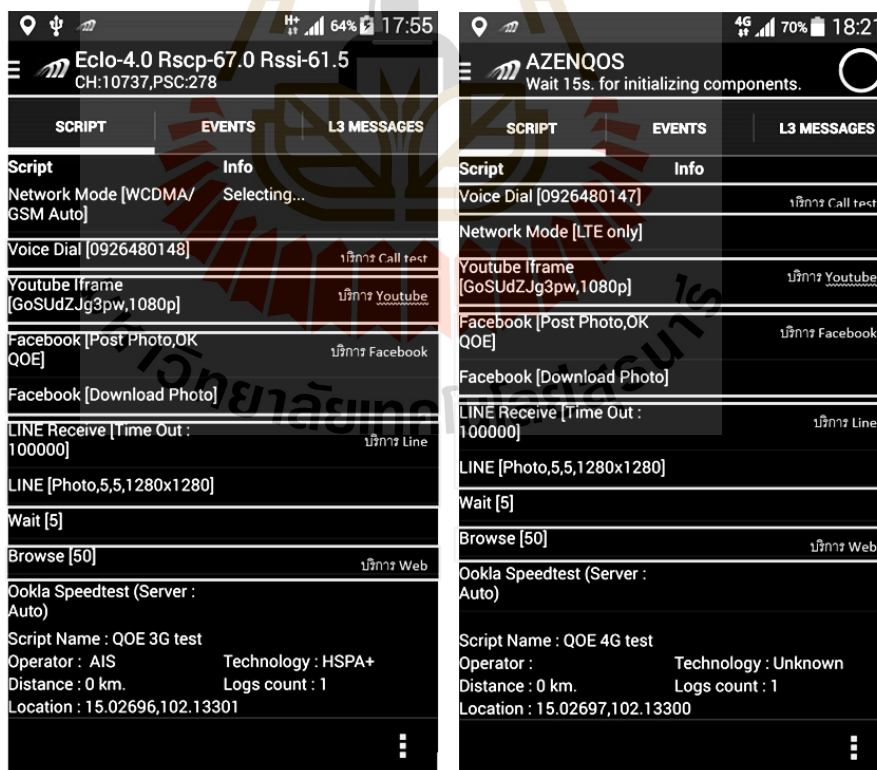
บริการ Web browser ประกอบด้วย

- Web\_Duration\_Time (s.)
- Web\_Throughput\_Download\_App (Kbps.)

สำหรับในส่วนของ Radio Parameters และ Data Parameters ในแต่ละระบบจะแตกต่างกันตามเทคโนโลยีของสถาปัตยกรรมเครือข่ายซึ่งปัจจัยด้านคุณภาพของบริการแสดงดังได้รูปที่ 3.3

3G Parameters		4G Parameters	
<b>RADIO PARAMETER</b> EcIo RSCP WCDMA RSSI WCDMA Tx Power	<b>DATA PARAMETER</b> HSDPA Scheduled Rate Data HSDPA ServedRate Data HSDPA Throughput HSDPA SBLE HSDPA Num Codes Used BLER Average Percent HSDPA MOD QPSK Percent HSDPA MOD 16QAM Percent Data HSPAP MOD 64QAM Percent Data HSPAP CQI DC Data_HSUPA_P_DTX Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTI Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Down Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	<b>RADIO PARAMETER</b> RSRP RSRQ SINR[0,1] RSSI Tx Power	<b>DATA PARAMETER</b> CQI CW L1 PDSCH TP LTE BLER LTE MCS index PDSCH Stream Block Size PDSCH Stream Modulation PDSCH Traffic To Polot Ratio PUCCH PUSCH

รูปที่ 3.3 Radio Parameters และ Data Parameters ในระบบ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE)



รูปที่ 3.4 ขอบเขตของบริการที่กำหนดในโปรแกรม AZENQOS

จากรูปที่ 3.4 ซึ่งจะเป็นส่วนโปรแกรมภายในบริการที่กำหนดของโปรแกรม AZENQOS ที่ประกอบไปด้วยบริการที่ได้กำหนดไว้เพื่อใช้ในการเก็บผลและประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ซึ่งประกอบไปด้วยบริการ Call Youtube Facebook Line และ Web browser บนระบบ WCDMA ด้านซ้ายของรูปที่ 3.4 และระบบ LTE ที่ด้านขวา

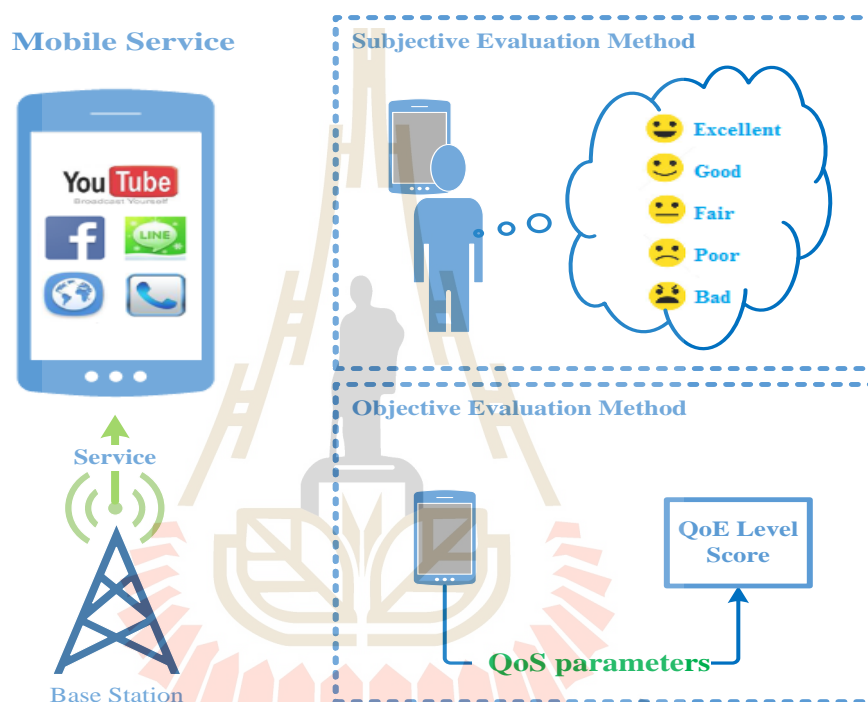
### 3.4 วิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เป็นตัวชี้วัดคุณภาพรูปแบบหนึ่งในมุมมองของเครือข่ายเพราะสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพหรือนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดในการปรับปรุงเครือข่ายของผู้ให้บริการ ซึ่งค่าปัจจัยต่าง ๆ นั้นสามารถวัดได้จากอุปกรณ์ที่ใช้เฉพาะเพื่อให้ทราบและเข้าถึงข้อมูลเชิงปริมาณหรือข้อมูลเชิงคุณภาพที่แสดงให้ทราบถึงค่าปัจจัยเหล่านั้นจากมุมมองของเครือข่าย

งานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์สมาร์ตโฟนเป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อการทดสอบและประเมินผลความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน โดยค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ใช้โปรแกรม AZENQOS ซึ่งค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในส่วนที่ผู้ใช้งานได้รับจากบริการบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนจากขอบเขตที่กำหนดในงานวิจัยที่ได้แก่บริการ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser ที่ใช้ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

ด้วยวิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 วิธีการ ก็คือ วิธีการประเมินผลอัตนัย (Subjective Evaluation Method) ซึ่งจะเป็นการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งาน โดยนำคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง หรือที่เรียกว่า (Mean Opinion Score : MOS) ดังที่ระบุไว้ตาม (ITU-T P.800, 2006) มาเป็นภาพสะท้อนให้เห็นถึงระดับคุณภาพของประสบการณ์ของเครือข่ายผู้ให้บริการ โดยวิธีการนี้มีข้อดีที่สะท้อนถึงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการได้อย่างแม่นยำไม่ซับซ้อนแต่ใช้เวลานานและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เพื่อเข้าถึงเพียงแค่นั้นที่และกลุ่มตัวอย่างที่สนใจเท่านั้น และวิธีการที่สองเรียกว่า วิธีการประเมินผลวัตถุประสงค์ (Objective Evaluation Method) ที่ได้เสนอใน (ITU-T P.862, 2001) และ (ITU-T G.107, 2005) ซึ่งจะเป็นวิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS มาเป็นภาพสะท้อนให้เห็นถึงระดับความพึงพอใจในแง่ของคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score) ซึ่งมีข้อดีที่ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเข้าถึงความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ในแง่ของ

คะแนนคุณภาพของประสบการณ์แต่ก็มีความซับซ้อนของแบบจำลองเพื่อให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพที่ดีซึ่งเป็นวิธีการที่จะต้องใช้วิธีการประเมินผลอัตนัย (Subjective Evaluation Method) ควบคู่ไปกับการเก็บรวบรวมค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เพื่อนำข้อมูลไปใช้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่ใช้เพียงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เพื่อใช้ในการประเมินความพึงพอใจในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์



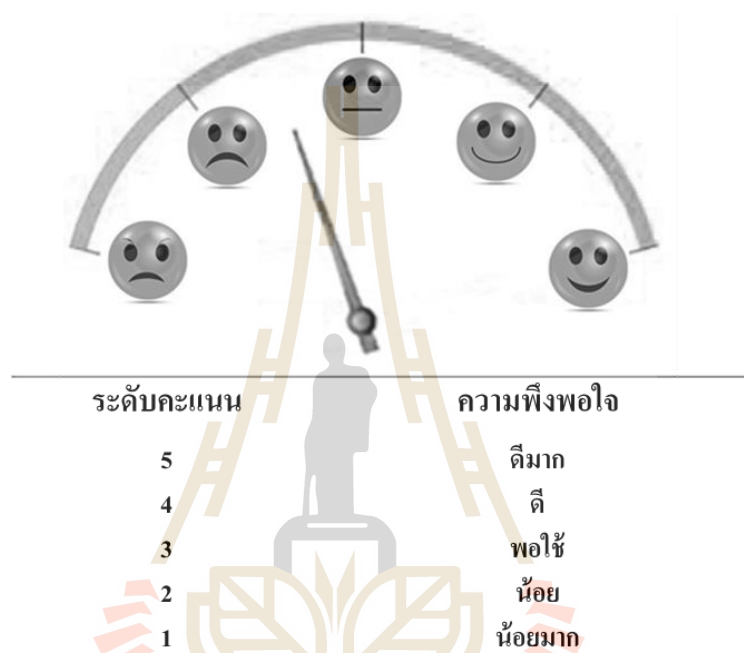
รูปที่ 3.5 วิธีการประเมินคุณภาพของประสบการณ์

### 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูลของบริการและการออกแบบการทดลอง

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์โดยการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่สนใจและทดสอบในพื้นที่ที่จะกำหนด เพื่อศึกษาอิทธิพลที่ส่งผลความพึงพอใจจากค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกติดตั้งบนสมาร์ตโฟนที่จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีปัจจัยด้านคุณภาพของบริการประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ End-Parameters Radio-Parameters และ Data-Parameters ซึ่งทั้งสามส่วนนี้ในงานวิจัยจะเรียกว่า All-Parameters ซึ่งเป็นปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ผู้ใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างทำการทดสอบ

ตามบริการที่ได้กำหนดเพื่อประเมินความพึงพอใจของแต่ละบริการในโทรศัพท์สมาร์ทโฟนบนระบบ WCDMA และ LTE

การกำหนดระดับของความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อบริการต่าง ๆ นั้นจะถูกแปลงข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นของมูลเชิงปริมาณหรือตัวเลข ซึ่งกำหนดระดับคะแนนของความพึงพอใจตามมาตรฐานใน ITU-P.800 ซึ่งแต่ละระดับแสดงได้ในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ระดับคะแนนของความพึงพอใจที่มีต่อบริการที่ผู้ใช้งานได้รับ

### 3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลของบริการ

การเก็บรวบรวมข้อมูลของแต่ละบริการผู้ใช้งานจะทำการใช้บริการต่าง ๆ ที่ได้กำหนดจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งโปรแกรม AZENQOS โดยมี Script ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้โดยเฉพาะ ซึ่งในส่วนของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) โปรแกรมจะทำการจัดการเก็บข้อมูลและรวบรวมตามแทร็ค (Track) ที่ได้บันทึกไว้โดยอัตโนมัติ ในส่วนของคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่ประเมินในแต่ละบริการ ในขั้นตอนของการประเมินผลจากการทดสอบประกอบไปด้วย

- ให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบจากการใช้เครื่องมือที่กำหนดให้โดยจะมีบริการต่าง ๆ ประกอบด้วย Call Youtube Facebook Line และ Web Browser บนระบบ WCDMA และ LTE

- ในแต่ละบริการผู้ทดสอบจะต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นในการประเมินความพึงพอใจของแต่ละบริการได้แก่
  - Call ระยะเวลาในการโทรติดหลังจากได้รับสัญญาณแจ้งเตือน ซึ่งเวลาที่มากไปจะส่งผลต่อระดับความพึงพอใจที่ไม่ดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ทดสอบซึ่งความพึงพอใจของแต่ละคนอาจจะไม่เหมือนกัน
  - Youtube การเล่นวิดีโอในขณะที่โปรแกรมทำงานได้แก่ การเริ่มเล่นวิดีโอ การกระตุกของวิดีโอ ซึ่งทั้งนี้ระดับความพึงพอใจต่อบริการของแต่ละคนก็อาจจะแตกต่างกัน โดยกำหนดความละเอียดของวิดีโอไว้ที่ 1080p
  - Facebook ระยะเวลาในการอัปโหลด ดาวน์โหลด รูปภาพ ดูจากพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม AZENQOS ในระหว่างโปรแกรมทำงาน ซึ่งเวลาที่มากไปจะส่งผลระดับความพึงพอใจที่ไม่ดี
  - Line ระยะเวลาในการส่งรูปภาพปรับรูปภาพในขณะที่ทำโปรแกรมทำงาน
  - Web Browser ระยะเวลาในการโหลดหน้าเว็บซึ่งจะส่งผลถึงระดับความพึงพอใจที่ดีเมื่อมีระยะเวลาที่ต่ำ โดยดูจากพารามิเตอร์ภายในโปรแกรม AZENQOS
- หลังจากการโปรแกรม AZENQOS ทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานจะต้องทำการประเมินความพึงพอใจของแต่ละบริการและกรอกข้อมูลเชิงเทคนิคในการติดตาม (Track) เพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลที่ผู้ใช้งานประเมินกับค่าปัจจัยของระบบที่ได้จากโปรแกรม

ข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบในส่วนของคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน (Opinion Score) และข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS ในขณะที่ผู้ใช้งานทำการทดสอบก็คือ ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) จะเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นชุดข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บผลการประเมินความพึงพอใจในพื้นที่ที่กำหนด จากนั้นก็จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ส่งผลต่อคะแนนความพึงพอใจ (Opinion Score) ที่ผู้ใช้งานได้ทำการทดสอบ เพื่อนำค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ ที่ส่งผลต่อความพึงพอใจ โดยมีค่าความเชื่อมั่นและค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เพื่อเลือกไปใช้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และนำไปใช้ในการสังเคราะห์



ถึงค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงเครือข่ายต่อไป

### 3.5.2 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เก็บผลและการทดลองจริงในพื้นที่ที่กำหนดจากกลุ่มตัวอย่างที่สนใจบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ทำการติดตั้งโปรแกรมเพื่อเก็บค่าปัจจัยต่าง ๆ ของเครือข่ายในระหว่างการใช้บริการซึ่งเปรียบเสมือนกับการที่ผู้ใช้งานได้ทดสอบจากการใช้อุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ใช้งานอยู่ประจำเพียงแต่การบริการที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการสอบนั้นเป็นการกำหนดจากผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการจัดเก็บข้อมูลของบริการเหล่านั้นอยู่ประจำจากการที่มีจำนวนที่มีผู้ให้บริการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

พื้นที่และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยโดยพื้นที่ทำการเก็บผลเพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในการศึกษาแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่จะนำไปพัฒนานั้นในครั้งแรก ใช้กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ที่อยู่ในขอบเขตช่วงอายุ 18 – 25 ปี ที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เก็บผลการประเมินความพึงพอใจในบริเวณพื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อศึกษาและออกแบบการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจากการใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในการใช้ประเมินคะแนนความพึงพอใจในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์

ในส่วนที่สองจะเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นตัวแทนนักศึกษบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อเก็บข้อมูลในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและนครราชสีมาในการศึกษาถึงปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในแต่ละพื้นที่ ที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ทั้งนี้ค่าปัจจัยที่ประกอบไปด้วย End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters จะนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยเหล่านี้ โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเดียวกันทดสอบใช้บริการแต่มีพื้นที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลในกรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมาถึงค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจ ที่จะหาข้อสรุปถึงผลที่เกิดจากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์มีความเหมือนที่แตกต่างกันในด้านของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ ซึ่งพื้นที่ในการเก็บผลดังนี้

- กรุงเทพมหานคร พื้นที่ในการเก็บผล ได้แก่ สยาม, ประตูน้ำ, ตลาดนัดจตุจักร, แยกราชประสงค์, ตลาดพร้าว ฯลฯ

- นครราชสีมา พื้นที่ในการเก็บผลได้แก่ ห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์ นครราชสีมา, ในเขตตัวเมืองนครราชสีมา, ลานอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ฯลฯ

ในส่วนที่สามจะเป็นการเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้ใช้งานในกลุ่มตัวอย่าง ตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กับ กลุ่มตัวแทนของบุคคลวัยทำงานเพื่อหาข้อสรุปถึงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่แตกต่างกันเมื่อกำหนดเกณฑ์คุณภาพของประสบการณ์เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงเครือข่าย ทั้งนี้กลุ่มตัวแทนของบุคคลวัยทำงานจะทำการเก็บข้อมูลเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในบริเวณ เช่นเดียวกันกลุ่มตัวแทนของนักศึกษารับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้นในส่วนแรกทำการเก็บผลเพื่อศึกษาและพัฒนากระบวนการภายในแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในการที่จะนำไปใช้งาน ในส่วนที่สองจะเป็นการศึกษาผลกระทบของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) โดยการที่จะสร้างแบบจำลอง จากส่วนของ End Parameters และ All Parameters เพื่อให้ได้ข้อสรุปถึงค่าปัจจัยเหล่านี้ และในส่วนที่สามจะเป็นการศึกษาระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่าปัจจัยที่ได้ข้อสรุปจากส่วนที่สอง ภายในค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ด้วยการกำหนดเกณฑ์ระดับคุณภาพของประสบการณ์ในการสะท้อนถึงค่าปัจจัยเหล่านี้ เพื่อระบุความต้องการของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างในและนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครือข่ายต่อไป

### 3.6 อัลกอริทึมนิวรอนเน็ตเวิร์คที่ใช้ในงานวิจัย

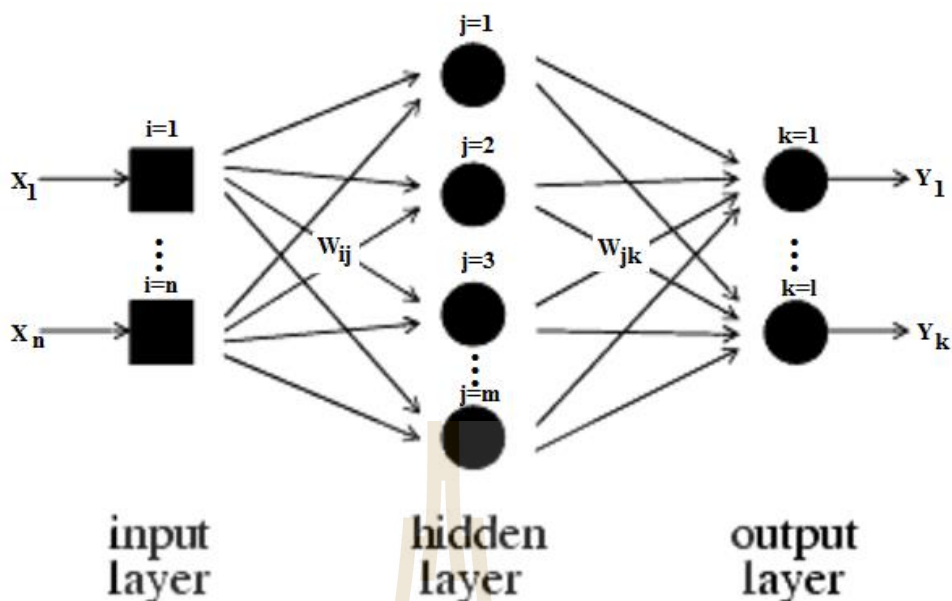
จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเนื่องจากมีความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนเข้าระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) และเป้าหมายของการเรียนรู้ก็คือคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน (Opinion Score) โดยสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Feed-Forward Neural Networks) จะมีการใช้อัลกอริทึมแบบแบ็คพรอพาเกชัน (Back Propagation Algorithm) เพื่อใช้ในการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักของเครือข่าย (Network Weight) หลังจากป้อนข้อมูลสำหรับเรียนรู้ให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้วค่าที่ส่งออก (Output) จาก

เครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้ส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าถ่วงน้ำหนักภายในเครือข่ายต่อไป

เนื่องด้วยอัลกอริทึมแบ็คพรอพาเกชันเป็นสมการในการเรียนรู้ที่ง่ายที่สุดจากการแพร่กระจายข้อมูลแบบย้อนกลับซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ฝึกให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าอินพุต (Input) และเป้าหมาย (Target) ที่ต้องการ โดยมีหลักการคล้ายกับสมองมนุษย์ในแง่ของโครงข่ายประสาทเทียม คือ การรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของโครงข่าย เมื่อพิจารณาขนาดของสมองมีขนาดใหญ่กว่าโครงข่ายประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทในสมองยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของโครงข่ายประสาทเทียม อย่างไรก็ตาม หน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาทนี้ ซึ่งหมายถึงกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินความพึงพอใจของบริการจะแทนด้วยการนำค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ใช้ป้อนเข้าแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจึงทำให้คะแนนความพึงพอใจในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์จากการทำนายของแบบจำลองเหมือนกัน การทำนายกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินความพึงพอใจ

### 3.6.1 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

หลักการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-Forward Backpropagation Neural Network) เป็นการเรียนรู้จากข้อมูลจะใช้สร้างแบบจำลองโดยคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า (Input) และผลลัพธ์ (Output) ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาทหลายชั้น (Multi-layer Neural Network) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยหลายชั้น ซึ่งอาจจะมีชั้นซ่อน 1 ชั้น หรือมากกว่าก็ได้ โดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (Node) หรือเปรียบได้กับตัวเซลล์ประสาท และมีการเชื่อมต่อโดยมีค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น ดังรูปที่ 3.7

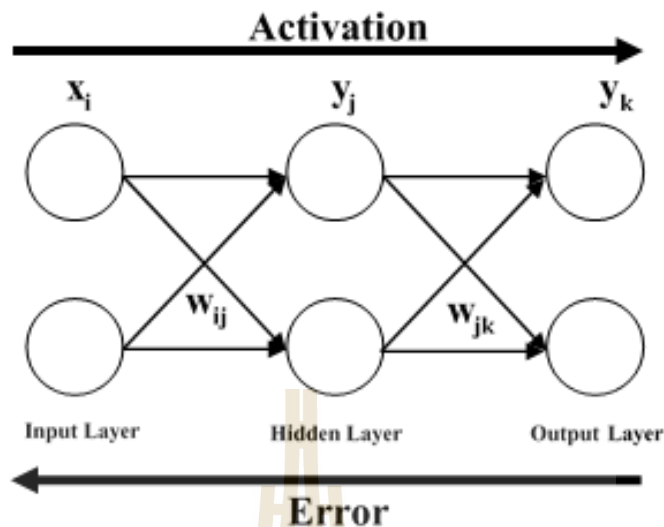


รูปที่ 3.7 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาท 3 ชั้น

[H. Jack, 1991]

- $i, j$  และ  $k$  หมายถึง นิวรอนในชั้นอินพุต, ชั้นซ่อน และชั้นเอาต์พุต ตามลำดับ
- $m, n$  กล่าวถึง จำนวนของนิวรอนในชั้นอินพุต, ชั้นซ่อน
- ชุดข้อมูลอินพุตจะถ่ายทอดผ่านโครงข่ายจากซ้ายไปขวา
- ชุดข้อมูลค่าความผิดพลาดจะถ่ายทอดย้อนกลับจากขวาไปซ้าย

โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ (Feed-Forward Backpropagation Neural Network) ซึ่งในส่วนขั้นตอนของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น จะเป็นการป้อนข้อมูลไปข้างหน้าโดยการ Activation เพื่อหาค่าความผิดพลาด (Error) ระหว่าง เป้าหมายที่ใช้สอนกับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการ Activation และทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักย้อนกลับ โดยทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนักชั้นเอาต์พุตไปชั้นซ่อน และปรับค่าถ่วงน้ำหนักชั้นซ่อนไปยังชั้นนำเข้าหรือเรียกว่าชั้นอินพุต (Input)



รูปที่ 3.8 การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม

ฟังก์ชันที่ใช้ในการตัดสินใจในการ Activation ของนิวรอนที่นิยมใช้แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่ Sigmoid Function ที่ช่วงของโดเมนตั้งแต่ ลบอินฟินิตี้ถึงอินฟินิตี้ โดยที่ ช่วงเรนจ์มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เท่านั้น ซึ่งในเซลล์ประสาทของงานวิจัยซึ่งเป็นค่าเป้าหมายที่ใช้ในการตัดสินใจในชั้นส่งออกหรือที่เรียกว่าเอาต์พุตซึ่งแต่ละโหนดนั้นจะกำหนด 0 หรือ 1 ตามเงื่อนไขของระดับความพึงพอใจ ในขั้นตอนของการเรียนรู้จะประกอบไปด้วย

#### ขั้นตอนที่ 1 : Initialization

เริ่มจากการสุ่มค่าถ่วงน้ำหนักภายในโครงข่ายประสาทที่เชื่อมกันระหว่างนิวรอนในชั้นนำเข้าเชื่อมกับนิวรอนในชั้นซ่อนและนิวรอนในชั้นซ่อนเชื่อมต่อกับนิวรอนในชั้นส่งออก โดยแต่ละเส้น เรียกว่าลิงก์เวท (Link Weight) และสุ่มค่าขีดแบ่งภายในนิวรอนของแต่ละชั้น ค่าขีดแบ่งมีการสุ่มตัวเลขและกระจายค่าให้อยู่ในช่วง  $-2.9$  ต่อจำนวนนิวรอนในชั้นนำเข้า ถึง  $2.9$  ต่อจำนวนนิวรอนในชั้นนำเข้าที่ได้จากการหาอนุพันธ์ของ Sigmoid Function ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการตัดสินใจในโครงข่ายประสาทเทียมที่อัตราการเรียนรู้ที่  $0.05$  ซึ่งเป็นการกำหนดค่าที่เหมาะสมในการสุ่มช่วงตัวเลขของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งในการเรียนรู้ของข้อมูลดังสมการที่ 3.1

$$\left( -\frac{2.9}{m}, +\frac{2.9}{m} \right) \quad (3.1)$$

การกำหนดระดับความพึงพอใจที่จะถูกใช้เป็นเป้าหมาย (Target) ในขั้นตอนของการเรียนรู้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบจำนวนนิรอนในชั้นส่งออกหรือที่เรียกว่า Output Node เท่ากับ 5 โหนด จากระดับความพึงพอใจที่มีอยู่ 5 ระดับได้แก่ น้อยมากมีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 1 น้อยมีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 2 พอใช้มีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 3 ดีมีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 4 และดีมากมีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 5 ซึ่งคะแนนความพึงพอใจแต่ละระดับกำหนดเป้าหมายให้แต่ละโหนดในชั้นส่งออกของโครงข่ายประสาทเทียมในตารางที่ 3.1 ดังนี้ เมื่อมีความพึงพอใจที่ต่ำมาก โหนดที่ 5 จะมีค่าเท่ากับ 0 โหนดที่ 4 จะมีค่าเท่ากับ 0 โหนดที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 0 โหนดที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ 0 และโหนดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับความพึงพอใจที่ดีมากจะกำหนดให้ โหนดที่ 5 จะมีค่าเท่ากับ 1 โหนดที่ 4 จะมีค่าเท่ากับ 0 โหนดที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 0 โหนดที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ 0 และโหนดที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งนี้การกำหนดเป้าหมายเริ่มต้นในแต่ละโหนดจะมีเพียงแค่ค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้ Sigmoid Function ที่ใช้ในการตัดสินใจภายในโครงข่ายประสาทเทียมนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางกำหนดค่าเป้าหมายของโครงข่ายประสาทเทียมในชั้นส่งออก

ความพึงพอใจ	ระดับคะแนน	กำหนดเป้าหมายของ Neurons ในชั้นส่งออก				
		โหนดที่ 5	โหนดที่ 4	โหนดที่ 3	โหนดที่ 2	โหนดที่ 1
น้อยมาก	1	0	0	0	0	1
น้อย	2	0	0	0	1	0
พอใช้	3	0	0	1	0	0
ดี	4	0	1	0	0	0
ดีมาก	5	1	0	0	0	0

### ขั้นตอนที่ 2 : Activation

การป้อนข้อมูลไปข้างหน้าโดยการ Activation เพื่อหาค่าค่าเอาต์พุต โดยการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) คูณกับค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมระหว่างเซลล์ประสาทและลบด้วยค่าขีดแบ่งเพื่อหาค่า เอาต์พุตของนิรอนในชั้นซ่อน (Hidden Layer) และเอาต์พุตของนิรอนในชั้นเอาต์พุต (Output Layer) ตามลำดับจากซ้ายไปขวาดังรูปที่ 3.8 ดังสมการที่ 2.15 ในแต่ละชั้นของการคำนวณ actual เอาต์พุตของนิรอน

a.) การคำนวณ Actual เอาต์พุตของนิวรอนในชั้นซ่อน (Hidden Layer)

$$y_j(p) = \text{sigmoid} \left[ \sum_{i=1}^n x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \right] \quad (3.2)$$

b.) คำนวณ Actual เอาต์พุตของนิวรอนในเอาต์พุต (Output Layer)

$$y_j(p) = \text{sigmoid} \left[ \sum_{i=1}^n x_i(p) \times w_{ij}(p) - \theta_j \right] \quad (3.3)$$

### ขั้นตอนที่ 3 : Weight Learning

ซึ่งเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในกระบวนการแบ็คพรอพาเกชัน (Back-Propagation) โดยที่ Gradient Descent on Error ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 3.4

$$E = \frac{1}{2} \sum_k (t_k - y_k)^2 \quad (3.4)$$

โดยที่  $t_k$  คือ ค่าเป้าหมายของนิวรอนในชั้นเอาต์พุต โหนดที่  $k$

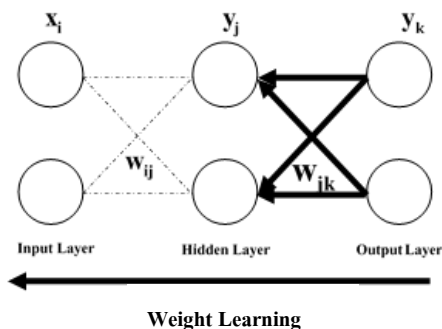
$y_k$  คือ ค่าเอาต์พุตของนิวรอนในชั้นเอาต์พุต โหนดที่  $k$

ความสัมพันธ์ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_{ij}$  และ  $w_{jk}$  เพื่อลดข้อผิดพลาดโดยรวมของโครงข่ายประสาทเทียม คือ การเปลี่ยนแปลงของค่าถ่วงน้ำหนักแปรผันตรงกับอนุพันธ์ของ Gradient Descent on Error เทียบกับค่าถ่วงน้ำหนัก โดยที่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

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

$$\Delta W = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial W} \quad (3.5)$$

ที่มาของกระบวนการเรียนรู้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight Learning) ในการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างนิวรอนชั้นเอาต์พุตกับชั้นซ่อน  $w_{jk}$  ดังนี้



รูปที่ 3.9 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นเอาต์พุตไปยังชั้นซ่อน

$$\Delta w_{jk} \propto -\frac{\partial E}{\partial w_{jk}} \quad (3.6)$$

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากกฎของ Chain Rule ดังสมการ 3.7

$$\Delta w_{jk} = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial y_k} \frac{\partial y_k}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial w_{jk}} \quad (3.7)$$

โดยที่ Derivative of the error with respect to the activation  $\frac{\partial E}{\partial y_k}$  จะได้

$$\frac{\partial E}{\partial y_k} = \frac{\partial \left( \frac{1}{2} (t_k - y_k)^2 \right)}{\partial y_k} = -(t_k - y_k) = -e_k \quad (3.8)$$

ซึ่ง Derivative of the activation with respect to the net input  $\frac{\partial y_k}{\partial net_k}$  จะได้

$$\frac{\partial y_k}{\partial net_k} = \frac{\partial (1 + e^{-net_k})^{-1}}{\partial net_k} = \frac{e^{-net_k}}{(1 + e^{-net_k})^2} \quad (3.9)$$

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

$$\frac{\partial y_k}{\partial net_k} = y_k (1 - y_k) \quad (3.10)$$

Derivative of the net input with respect to a weight  $\frac{\partial net_k}{\partial w_{jk}}$  จะได้



$$\frac{\partial net_k}{\partial w_{jk}} = \frac{\partial (y_j w_{jk} - \theta_k)}{\partial w_{jk}} = y_j \quad (3.11)$$

เพราะฉะนั้น Weight change rule for a hidden to output weight จะเท่ากับ

$$\Delta w_{jk} = -\varepsilon [-e_k][y_k(1-y_k)][y_j] = \varepsilon \overbrace{e_k y_k (1-y_k)}^{\delta_k} y_j \quad (3.12)$$

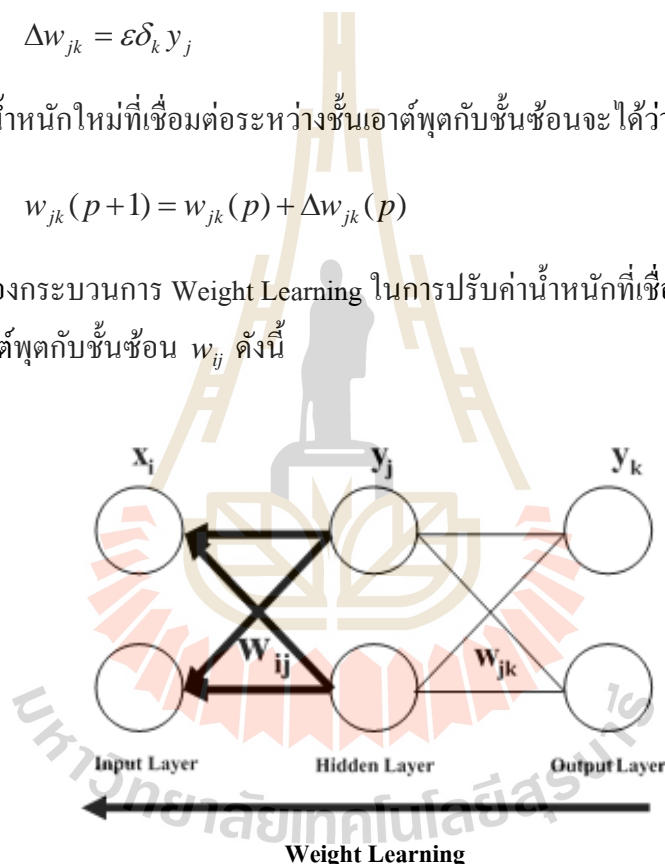
โดยสมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นเอาต์พุตที่เชื่อมต่อกับชั้นซ่อนจะได้ว่า

$$\Delta w_{jk} = \varepsilon \delta_k y_j \quad (3.13)$$

ซึ่งค่าน้ำหนักใหม่ที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นเอาต์พุตกับชั้นซ่อนจะได้ว่า

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

ที่มาของกระบวนการ Weight Learning ในการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่าง นิวรอนชั้นเอาต์พุตกับชั้นซ่อน  $w_{ij}$  ดังนี้



รูปที่ 3.10 การแพร่กระจายแบบย้อนกลับของชั้นซ่อนไปยังอินพุต

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon \left[ \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \frac{\partial y_k}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial y_j} \right] \frac{\partial y_j}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial w_{ij}} \quad (3.15)$$

เพราะฉะนั้น Weight change rule for a input to hidden weight จะเท่ากับ

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon \left[ \sum_k \overbrace{e_k y_k (1-y_k)}^{\delta_k} w_{jk} \right] y_j (1-y_j) x_i \quad (3.16)$$

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon \left[ \sum_k \delta_k w_{jk} \right] y_j (1 - y_j) x_i \quad (3.17)$$

โดยสมการที่ใช้ปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นซ่อนที่เชื่อมต่อกับชั้นอินพุตจะได้ว่า

$$\Delta w_{ij} = \varepsilon \delta_j x_i \quad (3.18)$$

ซึ่งค่าน้ำหนักใหม่ที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นซ่อนกับชั้นอินพุตจะได้ว่า

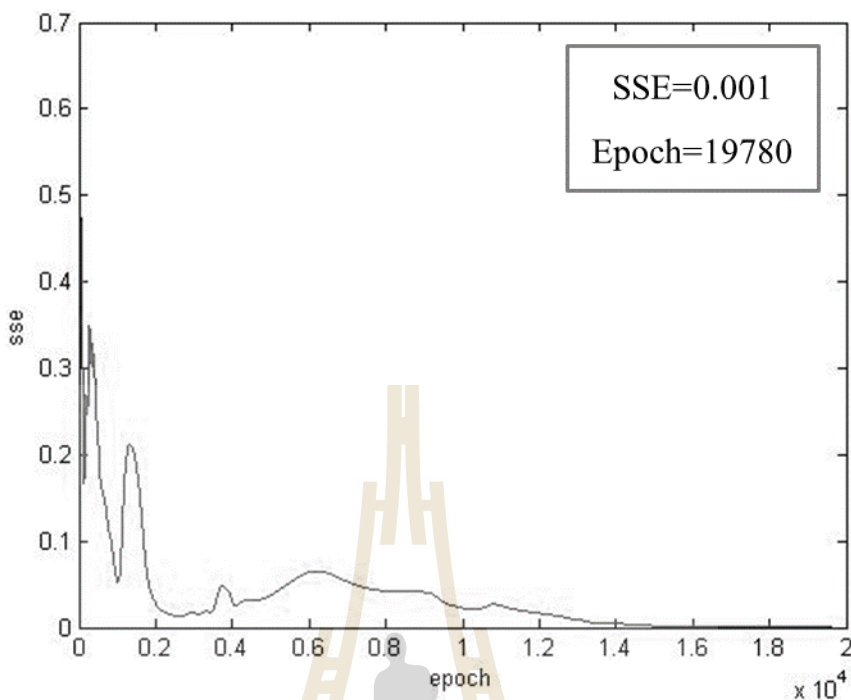
$$w_{ij}(p+1) = w_{ij}(p) + \Delta w_{ij}(p) \quad (3.19)$$

#### ขั้นตอนที่ 4 : Iteration

ทำการเพิ่ม Iteration  $p$  ไปอีก 1 จากนั้นกลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 จนครบตามจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้และ Repeat Process ทั้งหมดจนกระทั่งเหลือความผิดพลาดเท่าที่สามารถยอมรับได้โดยที่ความผิดพลาดที่สามารถยอมรับดังที่แสดงในสมการที่ 3.20

$$sse = \sum_{p=1}^{dataset} \sum_{k=1}^5 e_k(p)^2 \quad (3.20)$$

ในขั้นตอนสุดท้ายของการเรียนรู้โครงข่ายประสาทเทียมนั้นกำหนดจากผลบวกของค่าความผิดพลาด (Error) กำลังสอง (Sum of Square Error) โดยที่ค่า sse จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้งของการ Repeat Process (Epoch) ในการนำชุดข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ครบทุกตัว ดังที่แสดงในรูปที่ 3.11 เมื่อกำหนดค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับในกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม  $sse = 0.001$  จะเห็นได้ว่า เริ่มต้นนั้นค่า sse จะมีการแกว่งไปมาเล็กน้อยและมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ตาม Epoch ที่เพิ่มขึ้น เมื่อค่า sse ลดลงจนถึงค่าที่ยอมรับได้ตามที่กำหนดไว้ จะได้ว่าจำนวนของ Epoch เท่ากับ 19780 ครั้ง ทั้งนี้จำนวนครั้งจะขึ้นอยู่กับค่าที่ยอมรับได้ของการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งยังมีค่าลดลงจะทำให้จำนวนครั้ง Epoch ในการเรียนรู้มีการเพิ่มขึ้น และค่าของ Epoch จะขึ้นกับการกำหนดโครงสร้างภายในของโครงข่ายประสาทเทียมและความแปรปรวนของข้อมูลที่นำมาใช้ในกระบวนการเรียนรู้



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงตัวอย่างพฤติกรรมการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม

### 3.6.2 การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

หลังจากที่โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการฝึกสอนเพื่อเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะได้มาซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งที่เหมาะสมที่แสดงดังรูปที่ 3.12

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1j} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i1} & w_{i2} & \dots & w_{ij} \end{bmatrix} \quad w_{jk} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1j} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{i1} & w_{i2} & \dots & w_{jk} \end{bmatrix} \quad \theta_j = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \dots \\ \theta_j \end{bmatrix} \quad \theta_k = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \dots \\ \theta_k \end{bmatrix}$$

รูปที่ 3.12 ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

นำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้มาป้อนเข้าสมการที่ 3.2 และ 3.3 โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งตามผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้ และทำการถ่วงน้ำหนักเอาต์พุตทั้ง

5 โหนด ดังสมการที่ 3.21 โดยค่าที่ได้จากเอาต์พุตทั้ง 5 โหนด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่อยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 5

$$QoE = \frac{\sum_{k=1}^5 ky_k}{\sum_{k=1}^5 y_k} \quad (3.21)$$

ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมจากการป้อนข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้เพื่อทำนายเอาต์พุตที่ได้แล้วเปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเป้าหมายที่ต้องการดังสมการที่ 3.22

$$CorrelationModel = \frac{\sum_{p=1}^P (OS_p - \overline{OS})(QoE_p - \overline{QoE})}{\sqrt{\sum_{p=1}^P (OS_p - \overline{OS})^2} \sqrt{\sum_{p=1}^P (QoE_p - \overline{QoE})^2}} \quad (3.22)$$

โดยค่า (Correlation Coefficient) นี้จะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์แทนการทดสอบการทำนายแบบถูกผิดซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ได้ค่าตัวเลขที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจากการสร้างแบบจำลองโดยกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบใช้บริการในการประเมินความพึงพอใจซึ่งเปรียบเสมือนการนำกลุ่มตัวอย่างไปประเมินความพึงพอใจที่ใช้เพียงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เท่านั้น ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบสำหรับงานวิจัยอาจจะมีเกณฑ์ความพึงพอใจต่อบริการที่ได้รับที่แตกต่างกันซึ่งจะต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนมากเพื่อใช้ในการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อดำเนินการหาความสัมพันธ์และประมาณค่าความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างแทนรายบุคคล

### 3.6.3 รายละเอียดเพิ่มเติมของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ซึ่งเหมาะในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนวิธีหนึ่ง ด้วยการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้า (Input) และผลลัพธ์ (Output) โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย

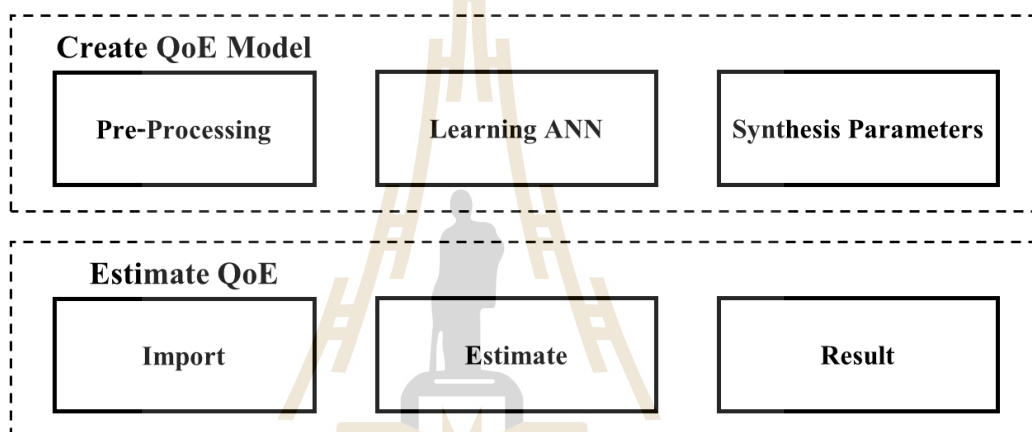
1. การเลือกปัจจัยนำเข้า (Input) การเลือกปัจจัยนำเข้ามีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในกระบวนการเรียนรู้ และทดสอบ การตรวจสอบระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์

สามารถทำได้โดยการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) โดยเบื้องต้นนั้นเงื่อนไขในการวิเคราะห์จะต้องมีความเชื่อมั่นมากกว่า 95%

2. จำนวนชั้นซ่อน (Number of Hidden Layer Nodes) [Panchal, 2011] ซึ่งจำนวนชั้นซ่อนแต่ละชั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป ถ้ามากกว่าเกินไปจะเกิดปัญหา Overfitting แต่ถ้าน้อยเกินไปจะเกิด Underfitting ซึ่งทั้ง 2 เป็นปัญหาทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมลดลงจากการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ระหว่างผลที่ได้จากค่าเอาต์พุตและเป้าหมาย
3. จำนวนข้อมูลที่ใช้ฝึกโครงข่ายประสาทเทียมในกระบวนการเรียนรู้ (Data Set of Learning) โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพภายในขอบเขตของข้อมูลที่ได้รับการฝึกสอน ซึ่งถ้าหากข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนมีการกระจายตัวดีภายในขอบเขตก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมดีขึ้น
4. การ Normalization ของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน ซึ่งจะต้องปรับข้อมูลให้มีค่าในช่วงที่เหมาะสมก่อนป้อนเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประสิทธิภาพที่ดี
5. ค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนัก (Initialization Weight) จะมีผลต่อการเข้าใกล้จุด Local Minimum หรือ Global Minimum ของผลลัพธ์ที่ได้ ดังนั้นควรกำหนดค่าที่ยอมรับได้ (SSE) ในกระบวนการเรียนรู้ที่ต่ำ ๆ เพื่อเกิดการปรับค่าน้ำหนักที่เหมาะสมมากขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม
6. จำนวนรอบการฝึกสอน (Epoch) ถ้ามีค่ามากไปจะทำให้การเรียนรู้มีช้าลงและถ้าหากน้อยไปอาจจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ทั้งนี้ขึ้นกับการกำหนดค่า SSE ควบคู่ ถ้าหาก SSE มีค่าต่ำ ๆ และ Epoch ที่น้อยเกินไปอาจจะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมหยุดการเรียนรู้ก่อนที่จะถึงเป้าหมายได้ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพที่แย่ง
7. ชนิดของฟังก์ชันที่ใช้ในการตัดสินใจ (Decision Function) ที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการเรียนรู้และผลลัพธ์ที่ดี

### 3.7 โครงสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์การนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจากการใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในการประเมินความพึงพอใจของบริการ โดยมีโครงสร้างของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ประกอบไปด้วย 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Create QoE Model) และส่วนที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ (Estimate QoE) ซึ่งแสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

#### 3.7.1 การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Create QoE Model)

ส่วนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Create QoE Model) และใช้ในการสังเคราะห์ถึงปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างขึ้นด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนจากการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่มีรูปแบบการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นค่าถ่วงน้ำหนักและค่าขีดแบ่งในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่จะถูกนำมาใช้ในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์

หลังจากที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) และคะแนนความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน (Opinion Score) ของกลุ่มตัวอย่างเป้าหมายแล้ว ชุดข้อมูลจะเก็บรวบรวมเพื่อที่จะนำไปสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Model) ในแต่ละบริการ โดยในส่วนของการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ประกอบด้วย กระบวนการก่อนเริ่ม

(Pre-Processing) วิเคราะห์ข้อมูลก่อนสร้างแบบจำลอง กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมให้เกิดการเรียนรู้ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง และกระบวนการสังเคราะห์ปัจจัย (Synthesis Parameters) ที่เป็นการสังเคราะห์ผลที่ได้จากผลตอบสนองของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score)

### 3.7.2 การประเมินคุณภาพของประสบการณ์ (Estimate QoE)

ส่วนที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์แทนการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน โดยใช้เพียงปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากการเก็บผลการวัดบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ติดตั้งโปรแกรม AZENQOS หลังจากที่ได้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เรียบร้อยแล้ว จะเก็บค่าน้ำหนักค่าเกณฑ์ต่างค่า ๆ เพื่อนำมาใช้งานจากการเก็บผลจากการทำไดรฟ์เทส (Drive test) และหรือ วอล์กเทส (Walk test) ในสถานที่ต่าง ๆ ที่ต้องการทราบถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานเพื่อใช้ในการนำไปปรับปรุงระบบ ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ประกอบด้วย ส่วนของการนำเข้าข้อมูล (Import) ซึ่งจะเป็นการนำเข้าข้อมูลของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการตำแหน่งแผนที่ที่ทำการเก็บผล และนำเข้าข้อมูลของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Model) ที่สร้างขึ้นจากส่วนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Create QoE Model)

ในส่วนของการประเมินคะแนนคุณภาพประสบการณ์ (Estimate QoE) ซึ่งจะเป็นการประเมินค่าคุณภาพของประสบการณ์ โดยที่ผลที่ได้จะเป็นค่าคะแนนคุณภาพของประสบการณ์จากการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการและตำแหน่งของพื้นที่ที่เก็บผล และในส่วนนี้จะเป็นมีการสังเคราะห์ผลที่ได้จากผลตอบสนองของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score) เมื่อมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เพื่อระบุถึงจุดที่ทำให้ค่า QoS Parameter ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะบ่งบอกได้ถึงปัญหาเบื้องต้นจากการที่มี QoE Score ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และส่วนสุดท้ายนั้นจะเป็นการแสดงผล (Result) โดยประกอบไปด้วยแผนที่ (Map) ในการเก็บผลในพื้นที่ที่เก็บผล ข้อมูลปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) และคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score) ระบุถึงสาเหตุเพื่อนำไปปรับปรุงระบบ

การนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ไปใช้งานจากการเก็บผลค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) จากโปรแกรม AZENQOS ที่จะได้จากการเก็บข้อมูลของแต่ละบริการจากการทำไดรฟ์เทสหรือวอล์กเทส ตามพื้นที่ที่ต้องการทราบผลเพื่อนำสะท้อนถึงระดับความพึงพอใจในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์

### 3.8 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ผู้วิจัยได้แสดงวิธีการออกแบบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์โดยการใช้ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากการเก็บผลบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ติดตั้งโปรแกรม AZENQOS ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานวิจัยเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและทดสอบจากกลุ่มตัวอย่างและสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้จากพื้นที่ที่แตกต่างกันและกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในบริการที่ใช้งาน ได้แก่ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser บนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ WCDMA และ LTE โดยแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ถูกสร้างขึ้นจากแบบจำลองทาคณิตศาสตร์ที่มีการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์เพื่อวิเคราะห์เรียนรู้จากข้อมูลของค่าปัจจัยที่ถูกป้อนเข้าแบบจำลองเทียบกับคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ใช้งานได้ประเมินจากกลุ่มตัวอย่าง

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างหลักในการทำงานสองส่วนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ (Create QoE Model) และใช้ในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (Estimate QoE) โดยทั้งนี้ในแต่ละส่วนจะมีกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลก่อนสร้างแบบจำลองและการสังเคราะห์ถึงสาเหตุของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ส่งผลต่อระดับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score) จากการตั้งเกณฑ์คะแนนขั้นต่ำเพื่อนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิงในการปรับปรุงระบบเครือข่ายให้ตอบสนองต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งการนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ไปใช้งานในการประเมินนั้นจะต้องใช้โปรแกรม AZENQOS ในการเก็บผล ไลฟ์เทส (Drive Test) หรือ วอล์กเทส (Walk Test) ตามพื้นที่ที่ต้องการทราบ และนำเอาข้อมูลมาใช้ป้อนเข้าแบบจำลองเพื่อทำนายค่าโดยไม่ต้องใช้กลุ่มผู้ทดสอบไปประเมินในพื้นที่ที่ต้องการทราบผลความพึงพอใจ จากที่กล่าวมานี้จะเป็นการออกแบบของงานวิจัยซึ่งในบทถัดไปจะเป็นผลของการวิจัย



## บทที่ 4

### แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และการวิเคราะห์

#### 4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลของการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และการวิเคราะห์จากการเก็บผลทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานในพื้นที่และกลุ่มตัวอย่างที่ได้ ออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในบริการที่กำหนดและสังเคราะห์สาเหตุของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลกระทบต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ซึ่งจะถูกตั้งเกณฑ์คะแนนเพื่อสะท้อนให้เห็นค่าปัจจัยต่าง ๆ ในการพิสูจน์ถึงการนำแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นไปใช้งานในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่ต่าง ๆ นั้น จะต้องทำการเปรียบเทียบจากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างขึ้นจากการเก็บผลการทดสอบความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างเดียวกันในพื้นที่แตกต่างกันซึ่งงานวิจัยนี้จะเก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นจากการเลือกใช้ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่แตกต่างกันได้แก่ ส่วนของ End Parameters และส่วน All Parameters ซึ่งในส่วนนี้ประกอบไปด้วย End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters จะได้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการเก็บผลในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาที่ประกอบไปด้วย 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ที่ใช้เพียง End Parameters ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์และแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ค่าปัจจัยทั้งหมดที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS คือ All Parameters ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ และสำหรับแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ได้จากการเก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่ประกอบด้วย 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา โดยจะนำแบบจำลองเหล่านี้มาเปรียบเทียบความแตกต่างในพื้นที่ของการเก็บผลทดสอบความพึงพอใจที่ต่างกัน จากนั้นจะเป็นการพิสูจน์ความแตกต่างของแบบจำลองที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในพื้นที่เดียวกัน เพื่อที่จะเข้าถึงกลุ่มผู้ใช้งานในแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้แบบจำลองในงานวิจัยนั้นได้สร้างเพื่อพิสูจน์ถึงวิธีการที่ได้ ออกแบบไว้จากการเก็บผลการทดสอบความพึงพอใจจากผู้ใช้งานในกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในพื้นที่ที่แตกต่างกันเพื่อสะท้อนให้เห็นถึงคะแนนคุณภาพของประสบการณ์และสังเคราะห์ถึงค่า

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อระดับคุณภาพของประสบการณ์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และยังสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครือข่าย

#### 4.2 ข้อตกลงในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้โปรแกรมแมทแลป เพื่อสร้างแบบจำลองและใช้โปรแกรม AZENQOS ในการทดสอบความพึงพอใจและเก็บผลค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ หลังจากได้ข้อสรุปของการวิจัยแล้วจะทำการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานจากการเก็บผลไดร์ฟเทส (Drive test) จากโปรแกรม AZENQOS ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์และวิเคราะห์ผลของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครือข่าย

#### 4.3 การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

จากการออกแบบงานวิจัยของการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการกำหนดกลุ่มของผู้ใช้งาน เพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพประสบการณ์ โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างของนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 4 อยู่ในขอบเขตช่วงอายุ 18 – 25 ปีที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในบริเวณพื้นที่เขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ประกอบไปด้วย 16 โซน ได้แก่ อาคารเรียนรวม 1, อาคารเรียนรวม 2, อาคารวิชาการ 1, อาคารบรรณาสาร, อาคารกิจการนักศึกษา, โรงอาหารกลาง, อาคารสุรพัฒน์, กลุ่มอาคารหอพักนักศึกษา, โรงพยาบาล มทส., Road Zone 1, Road Zone 2, Road Zone 3, Road Zone 4, Road Zone 5, Road Zone 6 และ Road Zone 7 ที่แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยมีจำนวนนักศึกษาที่เข้ารับการทดสอบ 92 คน โดยแบ่งเป็น 16 กลุ่ม ทำการประเมินตามโซนที่แต่ละกลุ่มได้เลือก ซึ่งนักศึกษาแต่ละคนต้องประเมินจากผลจากทุกอุปกรณ์ที่ได้รับทั้งหมดคนละไม่ต่ำกว่า 12 ครั้ง ในบริการพื้นที่ที่กำหนด

จากการออกแบบการทดลองจะต้องทดสอบจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ติดตั้งโปรแกรม AZENQOS ที่มีบริการ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser บนระบบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) ด้วยการประเมินความพึงพอใจจากการดำเนินการที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งแต่ละครั้งที่ทำการประเมินทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลสองส่วนด้วยกัน ได้แก่ ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) สำหรับโปรแกรมที่ใช้งานในแต่ละบริการจะมีทั้งหมดอยู่ 3 ส่วน ได้แก่ End Parameters ซึ่งค่าปัจจัยนี้ในแต่ละบริการจะแตกต่างกัน และส่วนของ Radio Parameters และ Data Parameters ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะมีค่าปัจจัย

ในแต่ละบริการที่เหมือนกันแต่จะแตกต่างกันตามเทคโนโลยี ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 3.3 ในส่วน  
ของค่าปัจจัย Radio Parameters และ Data Parameters ในระบบ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) ซึ่ง  
ค่าปัจจัยที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS ทั้งหมดจะเรียกว่า All Parameters และในข้อมูลส่วนที่สอง  
จะเป็นข้อมูลของคะแนนความพึงพอใจที่ผู้ใช้งานทำการประเมินในแต่ละบริการ หลังจากที่ทำการ  
ดำเนินการเพื่อให้ผู้ใช้งานประเมินความพึงพอใจแล้ว ข้อมูลทั้งสองส่วนนี้จะเก็บรวบรวมตาม  
บริการและเทคโนโลยีที่ใช้งาน เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์



ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างนั้นจะต้องมีระดับความพึงพอใจที่ผู้ใช้งาน  
ประเมินครบทั้ง 5 ระดับ ได้แก่ น้อยมาก น้อย พอใช้ ดี และดีมาก ซึ่งพื้นที่ในการทดลองนั้นจะต้อง  
ครอบคลุมจุดที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากเข้าใช้งานพร้อม ๆ กัน จุดอับสัญญาณภายในอาคาร จุดทั่วไป  
ที่เหมาะสมตามความสะดวกของผู้ใช้งาน ฯลฯ ทั้งนี้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งจาก  
การเก็บผลของกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา สาขาวิชาโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 4 นี้มีจำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด  
กว่า 500 ชุดข้อมูลในแต่ละบริการ ได้แก่ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser และแต่  
ละระบบบนเทคโนโลยี 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างจะถูก  
นำไปใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองซึ่งค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters)  
ที่มีทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters จะถูกนำไปวิเคราะห์  
ความสัมพันธ์และความเชื่อมั่น เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานในสร้าง  
แบบจำลอง

#### 4.3.1 การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจ

ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในส่วนต่าง ๆ ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3 ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการเก็บรวบรวมจะนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) กับคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (Opinion Score) ทั้งนี้ เพื่อที่จะกำจัดค่าปัจจัยที่เกินความจำเป็นที่จะถูกนำมาใช้ในการทำนายคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์ต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และยังสามารถที่จะเลือกเฉพาะในส่วนของค่าปัจจัยที่ประกอบด้วย End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters เพื่อแยกส่วนของการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์โดยส่วนนี้จะนำข้อมูลที่ได้ทั้งสามส่วน All Parameters มาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ (Correlation) โดยนำค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ได้เก็บผลของแต่ละบริการมาหาความสัมพันธ์กับระดับความพึงพอใจ โดยพิจารณาที่ค่านัยสำคัญ (Significant) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ของแต่ละปัจจัย (สำหรับงานวิจัยนี้กำหนด Sig<0.05 หรือระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 95%) โดยเลือกใช้เฉพาะปัจจัยที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนด เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience) จากปัจจัยด้านคุณภาพบริการ (QoS Parameters) ในแต่ละบริการโดยเลือกค่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับคะแนนความพึงพอใจซึ่งผลจากชุดข้อมูลกลุ่มตัวอย่างสรุปได้ ดังนี้

สำหรับระบบ 3G (WCDMA) ในแต่ละบริการแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.5 และระบบ 4G (LTE) ในแต่ละบริการแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 ถึง 4.10 ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Call 3G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
setup_duration	-0.462
MM_CM_SERVICE_REQUEST to CC_SETUP duration	-0.127
CC_SETUP to CC_ALERTING duration	-0.409
Ec/Io Average.	0.119
RSCP Average.	0.090
WCDMA Tx Power	-0.103

ตารางที่ 4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Youtube 3G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
Throughput_Download_App	0.592
YouTube_Duration_To_First_Play	-0.446
YouTube_Buffering_Duration	-0.578
Ec/Io Average.	0.214
BLER Average Percent	0.246
Data HSDPA Served Rate	0.520
Data HSDPA Throughput	9.573
HSDPA SBLER on 1st transmission	-0.219
HSDPA Num Codes Used Avg.	0.207
HSDPA MOD QPSK Percent	0.226
HSDPA MOD 16QAM Percent	-0.276
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	0.224
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	-0.392
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	0.267
Data_HSUPA_P_DTX	0.358
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.362
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.365
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	0.246

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Facebook 3G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
post_photo_duration_time	-0.375
download_photo_duration_time	-0.235
throughput post photo	0.349
throughput download photo	0.296
Ec/Io Average.	0.249
HSDPA Num Codes Used Avg.	0.200
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	0.210
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	-0.215
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	0.206
Data_HSUPA_P_DTX	0.374
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.278
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.292
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	0.263



ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Line 3G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
LINE_Load_Photo_Result_Time_MS	-0.171
Ec/Io Average.	0.170
HSDPA Scheduled Rate	0.141
Data HSDPA Served Rate	0.141
Data HSDPA Throughput	0.146
HSDPA SBLER on 1st transmission	-0.185
HSDPA SBLER	-0.185
HSDPA Num Codes Used Avg.	0.154
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.206
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.199
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	0.160

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Web Browser 3G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
Ec/Io Average.	0.202
BLER Average Percent	-0.110
HSDPA Scheduled Rate	-0.124
HSDPA MOD 16QAM Percent	-0.154
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	0.139
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	-0.195
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	0.172
Data_HSUPA_P_DTX	0.113
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.204
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.224

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Call test 4G (CSFB Base on 3G)

QoS Parameters	Correlation Coefficient
setup_duration	-0.400
CSFB - EMM_ExtendedServiceRequest to MM_CM_SERVICE_REQUEST duration	-0.197
CC_SETUP to CC_ALERTING duration	-0.369
Ec/Io Average.	0.144

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Youtube 4G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
Throughput_Download_App	0.363
YouTube_Duration_To_First_Play	-0.381
YouTube_Buffering_Duration	-0.632
Avg RSRP	0.128
Avg RSRQ	0.203
Avg RSSI	0.127
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	0.123
lte 11 pdsch throughput all carriers mbps arg(1)	0.375



ตารางที่ 4.8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Facebook 4G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
post_photo_duration_time	-0.305
download_photo_duration_time	-0.173
throughput post photo	-0.171
throughput download photo	0.130
Avg RSRP	0.162
Avg RSRQ	0.135
Avg RSSI	0.159
CQI CW[0] arg(1)	0.112
PDSCH Stream[0] Block Size arg(1)	0.146
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	0.102
PDSCH Stream[1] Block Size arg(1)	0.145
LTE PUSCH Tx Power	-0.109

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Line 4G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
Avg RSRP	0.091
Avg RSSI	0.087
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	0.098
lte mcs index arg(1)	0.079

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในบริการ Web Browser 4G

QoS Parameters	Correlation Coefficient
Duration_Time	-0.535
Avg RSSI	0.098
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	0.178
LTE BLER arg(1)	-0.142
lte mcs index arg(1)	0.094

หลังจากนำข้อมูลที่ถูกรวบรวมจากกลุ่มตัวอย่างในแต่ละบริการแต่ละระบบเรียบร้อยแล้ว จะนำปัจจัยเหล่านี้ไปใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่ใช้เพียงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในการประเมินความพึงพอใจในแง่ของคุณภาพของประสบการณ์ที่เปรียบเสมือนการนำกลุ่มตัวอย่างไปประเมินความพึงพอใจ

ปัจจัยที่ถูกวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองแต่ละปัจจัยจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้ความสัมพันธ์ในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อสังเคราะห์ถึงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์โดยทำการกำหนดเกณฑ์คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ เพื่อที่จะใช้ในการสะท้อนและเป็นข้อมูลในการพัฒนาเครือข่ายต่อไป เพื่อให้ได้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ในระดับที่สูงขึ้น

#### 4.3.2 แบบจำลองคุณภาพประสบการณ์จากปัจจัยโดยรวมด้านคุณภาพของบริการ

การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเรียนรู้ และขั้นตอนการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดจากการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพบริการเข้าแบบจำลองเทียบกับผลการประเมินความพึงพอใจ ซึ่งหากมีค่า Correlation Coefficient เข้าใกล้ 1 จะส่งผลให้แบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ผลจากการสร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในตารางที่ 4.11 และ 4.12 แสดงค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากกระบวนการทดสอบด้วยข้อมูลที่ถูกใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละบริการของระบบ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) ตามลำดับ โดยที่ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจากการนำชุดข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมเพื่อใช้ในการเรียนรู้หลังจากสิ้นสุดกระบวนการนี้ แบบจำลองที่ได้ถูกทดสอบด้วยข้อมูลที่ใช้ในการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมซึ่ง

ผลลัพธ์ที่ได้ถูกเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับค่าเป้าหมายที่ได้ในสมการที่ 3.21 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลที่น่าไปใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้ ทั้งนี้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบใช้บริการในการประเมินความพึงพอใจซึ่งเปรียบเสมือนการนำกลุ่มตัวอย่างไปประเมินความพึงพอใจที่ใช้เพียงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) เท่านั้น กลุ่มตัวอย่างที่ทดสอบสำหรับงานวิจัยในแต่ละคนอาจจะมีเกณฑ์ความพึงพอใจต่อบริการที่ได้รับที่แตกต่างกันซึ่งต้องทำการเก็บข้อมูลจำนวนมาก เพื่อใช้ในการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อดำเนินการหาความสัมพันธ์และประเมินความพึงพอใจในนามของกลุ่มตัวอย่างแทนรายบุคคล

ตารางที่ 4.11 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCDMA)

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.757	0.963	0.904	0.850	0.831

ตารางที่ 4.12 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE)

SERVICE	Call test	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.583	0.837	0.798	0.373	0.803

#### 4.3.3 การสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแต่ละค่าปัจจัยด้านคุณภาพบริการ (QoS Parameter) ที่ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจ (Opinion Score) ซึ่งเป็นการกำหนดค่าเกณฑ์ในแต่ละพารามิเตอร์เทียบกับระดับคุณภาพประสบการณ์ โดยกำหนดให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์เท่ากับ 3.75 เพื่อหาความสัมพันธ์ในแต่ละปัจจัยที่ทำให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ (QoE Score) มากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในกรณีที่นำไปปรับปรุงระบบให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์สูงขึ้น โดยค่าที่เข้าใกล้ 5 ซึ่งหมายถึงระดับความพึงพอใจที่ดีมาก

หลังจากที่ได้เลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในเบื้องต้นแล้วนำปัจจัยเหล่านี้เข้ามาหาความสัมพันธ์ เพื่อสังเคราะห์ค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในการหาแนวโน้มและค่าของปัจจัยที่ต้องเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อนำไปปรับปรุงเครือข่ายให้ได้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์สูงกว่าเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ซึ่งสามารถแสดงดังนี้

สำหรับระบบ 3G (WCDMA) ในแต่ละบริการแสดงได้ดังตารางที่ 4.13 ถึง 4.17 และระบบ 4G (LTE) ในแต่ละบริการแสดงได้ดังตารางที่ 4.18 ถึง 4.22 ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครือข่ายซึ่งแสดงดังตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 4.13 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Call 3G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
setup_duration	5523	(-) ต้องน้อยกว่า
MM_CM_SERVICE_REQUEST to CC_SETUP duration	1276	(-) ต้องน้อยกว่า
CC_SETUP to CC_ALERTING duration	4686	(-) ต้องน้อยกว่า
Ec/Io Average.	-7.84	(+) ต้องมากกว่า
RSCP Average.	-84.67	(+) ต้องมากกว่า
WCDMA Tx Power	-2.18	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.14 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Youtube 3G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
Throughput_Download_App	1610	(+) ต้องมากกว่า
YouTube_Duration_To_First_Play	3.60	(-) ต้องน้อยกว่า
YouTube_Buffering_Duration	2.10	(-) ต้องน้อยกว่า
Ec/Io Average	-8.14	(+) ต้องมากกว่า
BLER Average Percent	1.08	(+) ต้องมากกว่า
Data HSDPA Served Rate	2618	(+) ต้องมากกว่า
Data HSDPA Throughput	2400	(+) ต้องมากกว่า
HSDPA SBLER on 1st transmission	23.25	(-) ต้องน้อยกว่า
HSDPA Num Codes Used Avg.	9.25	(-) ต้องน้อยกว่า
HSDPA MOD QPSK Percent	34.68	(+) ต้องมากกว่า
HSDPA MOD 16QAM Percent	39.32	(-) ต้องน้อยกว่า
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	83.84	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	1.67	(-) ต้องน้อยกว่า
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	86.13	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_P_DTX	61.04	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	149.13	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	133.57	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	53.00	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.15 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Facebook 3G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
post_photo_duration_time	5.18	(-) ต้องน้อยกว่า
download_photo_duration_time	1.43	(-) ต้องน้อยกว่า
throughput post photo	54.39	(+) ต้องมากกว่า
throughput download photo	203.04	(+) ต้องมากกว่า
Ec/Io Average.	N.A.	N.A.
HSDPA Num Codes Used Avg.	N.A.	N.A.
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	51.15	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	N.A.	N.A.
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	N.A.	N.A.
Data_HSUPA_P_DTX	52.02	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	400.40	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	469.65	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	237.99	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.16 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Line 3G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
LINE_Load_Photo_Result_Time_MS	4697	(-) ต้องน้อยกว่า
Ec/Io Average.	-12.50	(+) ต้องมากกว่า
HSDPA Scheduled Rate	141.57	(+) ต้องมากกว่า
Data HSDPA Served Rate	N.A.	N.A.
Data HSDPA Throughput	N.A.	N.A.
HSDPA SBLER on 1st transmission	37.26	(-) ต้องน้อยกว่า
HSDPA SBLER	36.66	(-) ต้องน้อยกว่า
HSDPA Num Codes Used Avg.	1.13	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	209.55	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	191.47	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	36.43	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.17 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Web Browser 3G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
Ec/Io Average. (dB)	-6.30	(+) ต้องมากกว่า
BLER Average Percent	1.08	(-) ต้องน้อยกว่า
HSDPA Scheduled Rate	7022	(+) ต้องมากกว่า
HSDPA MOD 16QAM Percent	39.71	(-) ต้องน้อยกว่า
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	84.93	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	0.20	(-) ต้องน้อยกว่า
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	N.A.	N.A.
Data_HSUPA_P_DTX	49.38	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	354.32	(+) ต้องมากกว่า
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	323.19	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.18 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Call test 4G (CSFB on 3G)

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
setup_duration (ms.)	5500	(-) ต้องน้อยกว่า
CSFB - EMM_ExtendedServiceRequest to MM_CM_SERVICE_REQUEST duration	1382	(-) ต้องน้อยกว่า
CC_SETUP to CC_ALERTING duration	3870	(-) ต้องน้อยกว่า
Ec/Io Average. (dB)	-8.02	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.19 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Youtube 4G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
Throughput_Download_App	1560	(+) ต้องมากกว่า
YouTube_Duration_To_First_Play	3.33	(-) ต้องน้อยกว่า
YouTube_Buffering_Duration	1.73	(-) ต้องน้อยกว่า
Avg RSRP	N.A.	N.A.
Avg RSRQ	-11.41	(+) ต้องมากกว่า
Avg RSSI	N.A.	N.A.
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	N.A.	N.A.
lte11 pdsch throughput all carriers mbps arg(1)	2.25	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		



ตารางที่ 4.20 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Facebook 4G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
post_photo_duration_time (s)	5.710	(-) ต้องน้อยกว่า
download_photo_duration_time (s)	5.770	(-) ต้องน้อยกว่า
throughput post photo (kbps)	31.28	(-) ต้องน้อยกว่า
throughput download photo (kbps)	166.10	(+) ต้องมากกว่า
Avg RSRP	N.A.	N.A.
Avg RSRQ	N.A.	N.A.
Avg RSSI	N.A.	N.A.
CQI CW[0] arg(1)	5.23	(+) ต้องมากกว่า
PDSCH Stream[0] Block Size arg(1)	N.A.	N.A.
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	N.A.	N.A.
PDSCH Stream[1] Block Size arg(1)	N.A.	N.A.
LTE PUSCH Tx Power	N.A.	N.A.
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

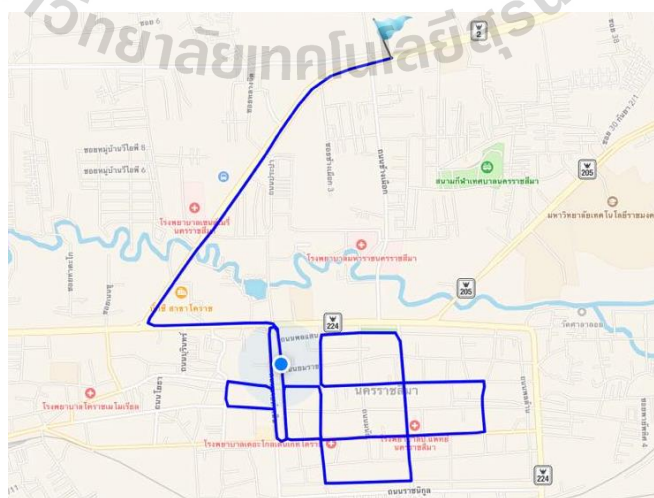
ตารางที่ 4.21 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Line 4G

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
Avg RSRP	N.A.	N.A.
Avg RSSI	N.A.	N.A.
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	N.A.	N.A.
lte mcs index arg(1)	N.A.	N.A.
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

ตารางที่ 4.22 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการ Web Browser 4G

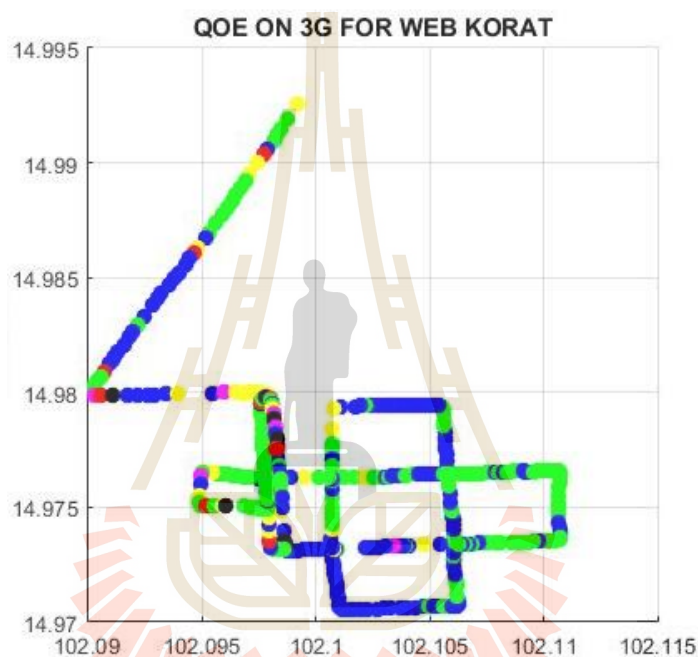
ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	ค่าเกณฑ์	แนวโน้ม
Duration_Time(S)	5.57	(-) ต่ำน้อยกว่า
Avg RSSI	N.A.	N.A.
PDSCH Traffic To Pilot Ratio arg(1)	N.A.	N.A.
LTE BLER arg(1)	N.A.	N.A.
lte mcs index arg(1)	3.68	(+) ต่ำมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>		

จากการสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ส่งผลต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่กำหนดคะแนนคุณภาพของประสบการณ์เท่ากับ 3.75 ซึ่งผลที่ได้จากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างนักศึกษานี้ จะนำไปใช้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์จากค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่วัดได้จากอุปกรณ์สามารถ โฟนใน โปรแกรม AZENQOS ทั้งนี้หลังจากสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ก็จะถูกนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ไปใช้งาน ซึ่งแบบจำลองนี้เปรียบเสมือนการนำกลุ่มตัวอย่างไปประเมินทั้งนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้การการ ไร้พเทส (Drive Test) เพื่อประเมินคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งจากรูปที่ 4.2 เป็นการออกแบบเส้นทาง การเก็บผลของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของประสบการณ์ โดยการใช้โปรแกรม AZENQOS ในการทำ ไร้พเทส เพื่อนำค่าปัจจัยเหล่านี้ในแต่ละบริการไปประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์

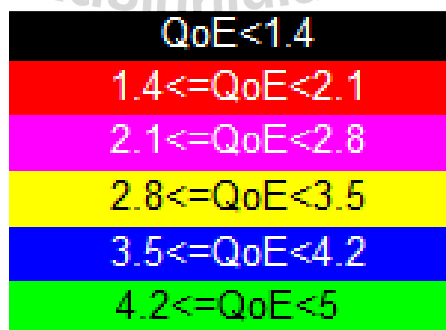


รูปที่ 4.2 แผนผังเส้นทาง การเก็บผล ไร้พเทสของพื้นที่ตัวอย่างในจังหวัดนครราชสีมา

ผลที่ได้จากการนำค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS ถูกนำมาข้อมูลเหล่านี้พร้อมกับตำแหน่งแผนที่ในจุดที่ทำการเก็บผลไปป้อนเข้าแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในแต่ละบริการเพื่อประเมินคุณภาพของประสบการณ์ดังกล่าวในรูปที่ 4.3 แสดงแผนที่คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ในบริการ Web Browser ซึ่งถูกกำหนดช่วงคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ดังกล่าวในช่วงสีในรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นการกำหนดช่วงของคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ตามสี เพื่อให้ง่ายต่อการแสดงผล



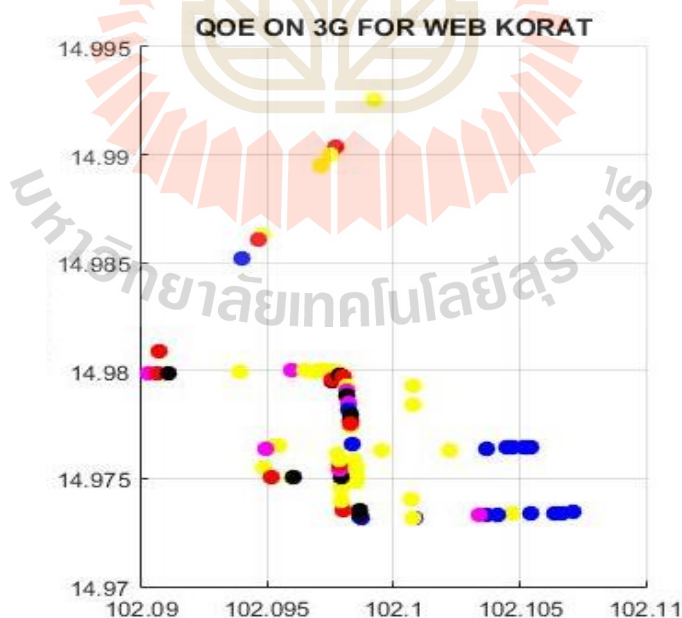
รูปที่ 4.3 แผนที่คุณภาพของประสบการณ์บริการ Web Browser บนระบบ 3G (WCDMA)



รูปที่ 4.4 ช่วงคะแนนคุณภาพของประสบการณ์เทียบกับสีที่กำหนด

ผลของคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์จากการเก็บผลไคร์ฟเทส (Drive Test) ของพื้นที่ตัวอย่างจังหวัดนครราชสีมาดังรูปที่ 4.3 ในบริการ Web Browser บนระบบ WCDMA มีค่าคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์เฉลี่ยเท่ากับ 4.054 จากการเก็บผลทั้งหมด 475 จุดในพื้นที่ตัวอย่างนี้ซึ่งหมายถึงมีช่วงคะแนนอยู่ในระดับที่ดีในมุมมองของผู้ใช้งาน ทั้งนี้จากเกณฑ์ของคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ที่ตั้งไว้เท่ากับ 3.75 หมายถึง ในพื้นที่ที่ทำการเก็บผลนั้นมีจุดที่ทำการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพขอบริการแล้วทำให้ได้คะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 ในบริการ Web Browser บนระบบ WCDMA ซึ่งมี 113 จุด จากทั้งหมด 475 จุด มีค่าเท่ากับ 23.79 เปอร์เซนต์ หมายถึงในพื้นที่ที่ทำการประเมินคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ที่ตั้งเกณฑ์คะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ไว้ที่ 3.75 คิดเป็น 76.21 เปอร์เซนต์ ที่มีคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์สูงกว่าเกณฑ์ที่ถูกตั้งไว้

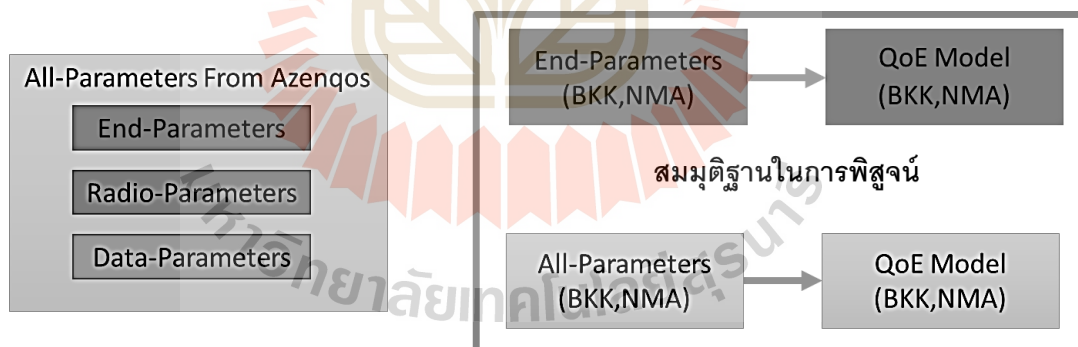
ในส่วนของจุดที่มีคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้ ค่าปัจจัยด้านคุณภาพขอประสบการณ์ที่ใช้ในการประเมินถูกนำไปวิเคราะห์ที่ละเอียด เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้คะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ด้วยการสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพขอบริการด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ดังหัวข้อที่ 4.3.3 ในการนำข้อมูลเหล่านี้ไปปรับปรุงเครือข่าย เพื่อให้คะแนนคุณภาพขอบริการมีค่าที่ดีขึ้นจากเดิม จะทำให้ผู้ใช้งานได้รับบริการที่ดีที่สุดจากผู้ให้บริการ



รูปที่ 4.5 แผนที่คุณภาพขอประสบการณ์บริการ Web Browser บนระบบ 3G (WCDMA) ที่มีคะแนนคุณภาพขอประสบการณ์ต่ำกว่า 3.75

#### 4.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ได้สร้างขึ้นจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์เท่านั้น ทั้งนี้งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างขึ้นในพื้นที่ที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ในการพิสูจน์ถึงความแตกต่างของค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ซึ่งใช้กลุ่มตัวอย่างของตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษาที่มีช่วงอายุ 18-25 ปี ทำการเก็บผล เพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นการเลือกจุดพื้นที่ต่าง ๆ ดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 ในการออกแบบ เพื่อเก็บรวบรวมผลในการสร้างแบบจำลอง ทั้งสองพื้นที่ที่ได้เก็บผล เพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ และใช้พิสูจน์ถึงผลกระทบของค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจที่แตกต่างกัน โดยนำแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นในพื้นที่กรุงเทพมหานครไปใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาจากข้อมูลที่ได้เก็บผล เพื่อสร้างแบบจำลองและในขณะเดียวกันแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ได้สร้างขึ้นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาไปใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากข้อมูลที่ได้เก็บผลเพื่อสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 4.6 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์เพื่อใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพื้นที่

การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์นี้ เพื่อพิสูจน์ถึงการนำแบบจำลองที่สร้างในพื้นที่ที่แตกต่างกันไปใช้งานในแต่ละพื้นที่ที่ทำกรวิจัย ซึ่งได้แบ่งปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ออกเป็นสองส่วนด้วยกัน โดยที่ส่วนแรกใช้ End Parameters ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ทั้งนี้ End Parameters เป็นปัจจัยที่สามารถเข้าถึงความรู้สึกของผู้ใช้งานได้โดยตรง เช่น ความรู้สึกของเวลาในการใช้บริการ ความรู้ถึงความเร็วที่ได้รับจาก

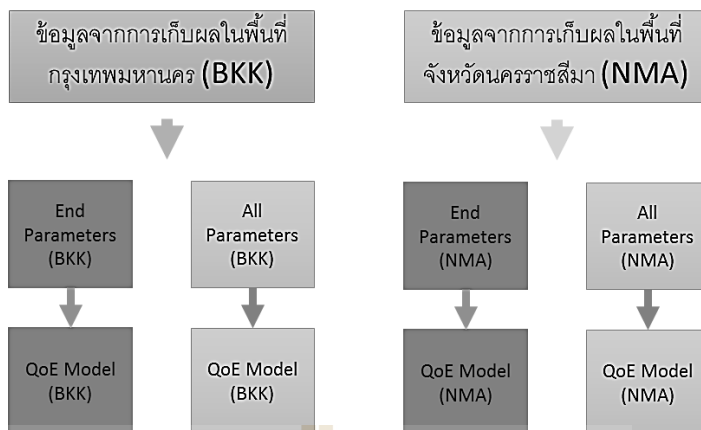
บริการ ฯลฯ และในส่วนที่สองใช้ All Parameters ซึ่งประกอบด้วย End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters ดังที่แสดงได้ในรูปที่ 4.6 ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มาเปรียบเทียบ เพื่อพิสูจน์ถึงกระบวนการในการสร้างแบบจำลองเพื่อที่จะนำไปใช้สร้างแบบจำลองที่สามารถใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในทุกพื้นที่ได้ ดังนั้น ตัวชี้วัดที่จะใช้ในการพิสูจน์ความเหมือนความต่างของแบบจำลอง คือ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Mean Absolute Deviation) ของข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ทั้งสองพื้นที่ ดังที่แสดงในสมการที่ 4.1

$$MAD = \frac{\sum |QoE_A - QoE_B|}{n} \quad (4.1)$$

$$\% Error = \frac{MAD}{OS_{max}} \times 100 \quad (4.2)$$

จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 จะนำมาวิเคราะห์ความเหมือนหรือความต่างของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการเก็บข้อมูลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ประเมินความพึงพอใจจากการทดสอบใช้บริการจากกลุ่มตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา ซึ่งการเก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ได้แก่ สยาม, ประตูนํ้า, ตลาดนัดจตุจักร, แยกราชประสงค์, ลาดพร้าว ฯลฯ และการเก็บผลในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ได้แก่ ห้างสรรพสินค้าเดอะมอลล์นครราชสีมา, ในเขตตัวเมืองนครราชสีมา, ลานอนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ฯลฯ จากนั้นข้อมูลที่ได้ทั้งสองชุดจะถูกนำไปวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

หลังจากรวบรวมข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาบัณฑิตศึกษาที่ทำการทดสอบใช้บริการที่กำหนดเพื่อประเมินความพึงพอใจในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ของทั้งสองพื้นที่มาใช้สร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งข้อมูลที่ได้ทั้งสองพื้นที่สามารถนำมาสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ในส่วน of End Parameters ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ในส่วน of All Parameters ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา



รูปที่ 4.7 แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา

#### 4.4.1 การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในพื้นที่ที่แตกต่างกัน

การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม มีกระบวนการการเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจ โดยกำหนดความสัมพันธ์จากค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เพื่อใช้ในการเลือกปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งในพื้นที่ที่แตกต่างกันอาจมีปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจแตกต่างกันดังที่แสดงได้จากผลการวิจัยในแต่ละพื้นที่และบริการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.23 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ในบริการ Call 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
setup_duration	-0.73	-0.67
<b>All Parameters</b>		
setup_duration	-0.73	-0.67
MM_CM_SERVICE_REQUEST to CC_SETUP duration	-	-0.21
CC_SETUP to CC_ALERTING duration	-0.69	-0.63
Ec/Io	0.15	0.26
RSCP	-	0.41
WCDMA Tx Power	-0.15	-0.36
WCDMA RSSI	-	0.38

ตารางที่ 4.24 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
ในบริการ YouTube 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
YouTube_Duration_To_First_Play	-0.66	-0.70
YouTube_Buffering_Count	-0.73	-0.81
YouTube_Buffering_Duration	-0.77	-0.76
<b>All Parameters</b>		
Throughput_Download_App	0.37	0.60
YouTube_Duration_To_First_Play	-0.66	-0.70
YouTube_Buffering_Count	-0.73	-0.81
YouTube_Buffering_Duration	-0.77	-0.76
Ec/Io	-	0.45
RSCP	-	0.40
WCDMA Tx Power	-	-0.41
WCDMA RSSI	-	0.34
BLER Average Percent	-	0.35
HSDPA Scheduled Rate	-	0.42
Data HSDPA Served Rate	0.49	0.65
Data HSDPA Throughput	0.50	0.68
HSDPA SBLER on 1st transmission	-0.21	-0.32
HSDPA SBLER	-0.23	-
HSDPA Num Codes Used Avg.	-	-0.30
HSDPA MOD QPSK Percent	-	0.39
HSDPA MOD 16QAM Percent	-	-0.55
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	-0.45	-0.33
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	-	0.28
Data_HSUPA_P_DTX	0.23	0.37
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.21	0.35
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.21	0.34
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	0.25	-
Data HSPAP MOD 64QAM Percent	-	0.38



ตารางที่ 4.25 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
 ในบริการ Facebook 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
post_photo_duration_time	-0.45	-0.22
<b>All Parameters</b>		
post_photo_duration_time	-0.45	-0.22
download_photo_duration_time	-	-0.25
throughput download photo	0.20	0.17
Ec/Io	0.17	-
WCDMA Tx Power	-	-0.18
Data HSDPA Served Rate	-	-0.24
Data HSDPA Throughput	-	-0.24
HSDPA SBLER on 1st transmission	-0.16	-
HSDPA SBLER	-0.16	-
HSDPA MOD QPSK Percent	-	0.21
Data_HSUPA_P_DTX	0.20	-

ตารางที่ 4.26 ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
ในบริการ Line 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
LINE_Load_Photo_Duration_MS	-0.35	-0.23
<b>All Parameters</b>		
LINE_Send_Duration	-	-0.35
LINE_Load_Photo_Duration_MS	-0.35	-0.23
Ec/Io	0.15	0.20
WCDMA Tx Power	-	-0.19
Data HSDPA Served Rate	-	0.24
Data HSDPA Throughput	-	0.27
HSDPA SBLER on 1st transmission	-	-0.18
HSDPA SBLER	-	-0.22
HSDPA Num Codes Used Avg.	-	0.19
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	-	-0.16
Data_HSUPA_P_DTX	0.20	0.23
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.18	0.17
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.21	0.14
Data HSPAP MOD 64QAM Percent	0.15	-

ตารางที่ 4.27 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
 ในบริการ Web Browser 3G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
Duration_Time	-0.48	-0.61
<b>All Parameters</b>		
Duration_Time	-0.480	-0.611
Throughput_Download_App	0.609	0.606
Ec/Io arg(1)	0.269	0.307
RSCP arg(1)	-	0.275
WCDMA Tx Power	-	-0.242
WCDMA RSSI	-	0.235
BLER Average Percent	-	-0.222
HSDPA Scheduled Rate	0.354	0.449
Data HSDPA Served Rate	0.456	0.461
Data HSDPA Throughput	0.479	0.468
HSDPA SBLER on 1st transmission	-0.233	-
HSDPA SBLER	-0.239	-
HSDPA Num Codes Used Avg.	-	0.249
HSDPA MOD QPSK Percent	-0.334	-
HSDPA MOD 16QAM Percent	-	-0.269
Data_HSUPA_P_Happy_bit_TTIs	-	0.304
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Up	-	-0.237
Data_HSUPA_P_Serving_RGCH_Hold	-	0.213
Data_HSUPA_P_DTX	-	0.220
Data_HSUPA_Avg_Raw_Throughput	0.237	0.469
Data_HSUPA_Avg_Scheduled_Throughput	0.240	0.491
Data_HSUPA_Total_E_DPDCH_Throughput	0.533	0.508
Data HSPAP MOD 64QAM Percent	0.325	0.342

ตารางที่ 4.28 ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
 ในบริการ Call test 4G (CSFB Base on 3G) ในส่วนของ End Parameters และ All  
 Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
setup_duration	-0.76	-0.66
<b>All Parameters</b>		
setup_duration	-0.76	-0.66
CSFB duration	-0.35	-0.42
MM_CM_SERVICE_REQUEST to CC_SETUP duration	-0.19	-
CC_SETUP to CC_ALERTING duration	-0.71	-0.56
Ec/Io	0.17	-
RSCP	-	0.25
WCDMA Tx Power	-0.25	-0.32
WCDMA RSSI	-	0.26



ตารางที่ 4.29 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
 ในบริการ YouTube 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
YouTube_Duration_To_First_Play	-0.69	-0.57
YouTube_Buffering_Count	-0.78	-0.81
YouTube_Buffering_Duration	-0.80	-0.83
<b>All Parameters</b>		
Throughput_Download_App	0.30	0.56
YouTube_Duration_To_First_Play	-0.69	-0.57
YouTube_Buffering_Count	-0.78	-0.81
YouTube_Buffering_Duration	-0.80	-0.83
Avg RSRQ	0.13	-
Avg RSSI	-	0.15
PDSCH Stream[0] Block Size	-0.32	-
PDSCH Traffic To Pilot Ratio	-	0.14
PDSCH Stream[1] Block Size	-0.26	-0.13
LTE BLER	-	-0.18
lte mcs index	-0.19	-
lte 11 pdsch throughput all carriers mbps	0.30	0.45
LTE PUCCH Tx Power	-0.11	-

ตารางที่ 4.30 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
ในบริการ Facebook 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
post_photo_duration_time	-0.23	-0.17
<b>All Parameters</b>		
post_photo_duration_time	-0.23	-0.17
PDSCH Traffic To Pilot Ratio	-	0.19

ตารางที่ 4.31 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
ในบริการ Line 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
LINE_Load_Photo_Duration_MS	-0.37	-0.23
<b>All Parameters</b>		
LINE_Send_Duration		-0.34
LINE_Load_Photo_Duration_MS	-0.37	-0.23
Avg RSRP	0.15	-
Avg RSSI	0.15	-
PDSCH Stream[0] Block Size	0.19	0.18
PDSCH Traffic To Pilot Ratio	-	0.21
PDSCH Stream[1] Block Size	0.18	-
lte tx power	-0.17	-
lte mcs index	0.22	-
LTE PUCCH Tx Power	-0.18	-
LTE PUSCH Tx Power	-0.20	-

ตารางที่ 4.32 ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา  
ในบริการ Web Browser 4G ในส่วนของ End Parameters และ All Parameters

QoS Parameters	Correlation Coefficient	
	BKK TRAIN	NMA TRAIN
<b>End Parameters</b>		
Duration_Time	-0.52	-0.53
<b>All Parameters</b>		
Duration_Time	-0.52	-0.53
Throughput_Download_App	0.62	0.50
Avg RSRP	-	0.14
Avg RSSI	0.10	0.18
SINR Rx[0]	0.11	-
SINR Rx[1]	0.10	-
PDSCH Stream[0] Block Size	0.33	0.24
PDSCH Traffic To Pilot Ratio	-	0.14
PDSCH Stream[1] Block Size	0.21	-
lte tx power	-0.12	-
lte sinr	0.11	-
lte mcs index	0.24	0.23
lte l1 pdsch throughput all carriers mbps	0.50	0.44
LTE PUCCH Tx Power	-0.19	-
LTE PUSCH Tx Power	-0.14	-

ผลที่ได้จากตารางที่ 4.23 ถึง 4.32 แสดงค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งค่าที่บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับคะแนนความพึงพอใจที่แสดงได้จากค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งหากมีค่าเข้าใกล้ 1 จะส่งผลให้แบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ค่าปัจจัยเหล่านี้จากตารางจะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และทำการเปรียบเทียบความเหมือนความแตกต่างของแบบจำลอง

หลังจากการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมในลำดับถัดไปจะเป็นขั้นตอนการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดจากการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพบริการเข้าแบบจำลองเทียบกับผลการประเมินความพึงพอใจ ผลจาก

การสร้างแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างสามารถอธิบายในแต่ละส่วนของการสร้างแบบจำลองได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4.33 ถึง 4.40

ตารางที่ 4.33 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่กรุงเทพมหานครในส่วนของ End Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.746	0.842	0.447	0.413	0.693

ตารางที่ 4.34 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่กรุงเทพมหานครในส่วนของ ALL Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.826	0.965	0.837	0.775	0.941

ตารางที่ 4.35 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่กรุงเทพมหานครในส่วนของ End Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.759	0.898	0.265	0.500	0.705

ตารางที่ 4.36 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่กรุงเทพมหานครในส่วนของ All Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.835	0.946	0.267	0.884	0.954

ตารางที่ 4.37 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ End Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.634	0.919	0.301	0.388	0.787



ตารางที่ 4.38 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCDMA) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ All Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.855	0.997	0.937	0.991	0.955

ตารางที่ 4.39 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ End Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.686	0.943	0.204	0.344	0.759

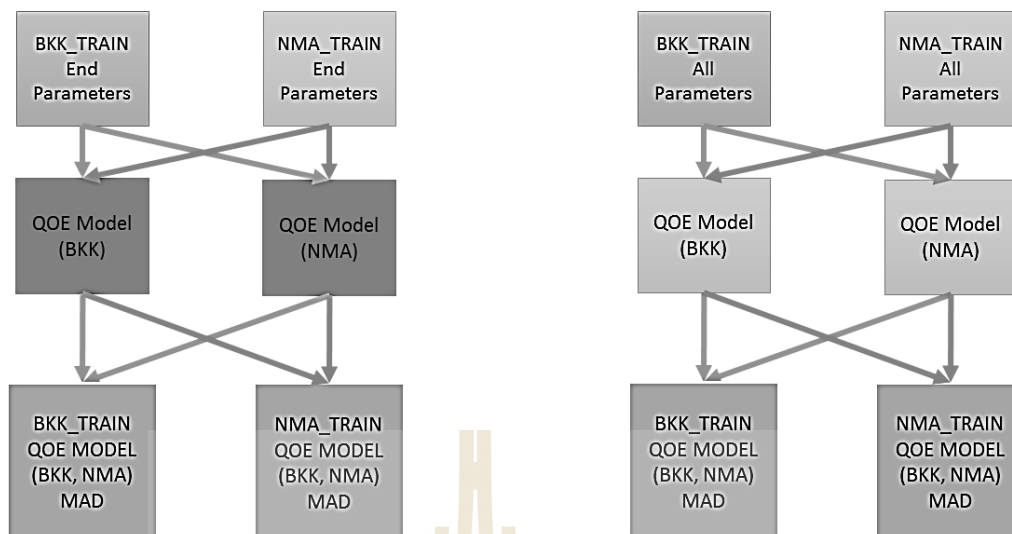
ตารางที่ 4.40 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในส่วนของ All Parameter

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.909	0.970	0.356	0.873	0.956

จากข้อมูลที่แสดงจะเห็นได้ว่าค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในบางบริการมีค่าที่ต่ำสุดเท่ากับ 0.204 และมีค่าสูงสุด 0.997 ซึ่งบริการที่มีค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์การที่ต่ำนั้นเป็นผลมาจากจำนวนของปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและความสัมพันธ์ระหว่างค่าปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่ต่ำ ดังนั้นในการเลือกปัจจัยด้านคุณภาพของบริการจะต้องคำนึงถึงค่าสหสัมพันธ์และปัจจัยที่ต้องการจะศึกษาเพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์

#### 4.4.2 การเปรียบเทียบความเหมือนความต่างของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม โดยแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ End Parameters และแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ All Parameters ในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ในการใช้ตัวชี้วัดจากสมการที่ 4.1 ในการเปรียบเทียบความเหมือนความแตกต่างของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างจากพื้นที่ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.8 แผนผังการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์

จากรูปที่ 4.8 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์ก็คือ BKK TRAIN และข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์ก็คือ NMA TRAIN ทั้งนี้หลังจากที่ได้แบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์ใช้ End Parameters และแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์ที่ใช้ All Parameters ในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสพการณ์ ข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลของทั้งสองพื้นที่จะนำไปป้อนเข้าแบบจำลองคุณภาพของประสพการณ์โดยการป้อนข้อมูลที่สร้างแบบจำลองของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาเข้าแบบจำลองที่สร้างจากการเก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และในขณะเดียวกันข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองในพื้นที่กรุงเทพมหานครป้อนเข้าแบบจำลองถูกสร้างจากการเก็บผลในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ผลของเปรียบเทียบแบบจำลองสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.41 เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 3G (WCMDA) จากปัจจัย  
ด้านคุณภาพของบริการในส่วนของ End Parameters

MODEL	MAD	%ERROR
<b>CALL 3G</b>		
BKK	0.187	4%
NMA	0.182	4%
<b>YOUTUBE 3G</b>		
BKK	0.081	2%
NMA	0.088	2%
<b>FACEBOOK 3G</b>		
BKK	0.100	2%
NMA	0.113	2%
<b>LINE 3G</b>		
BKK	0.341	7%
NMA	0.324	6%
<b>WEB BROWSER 3G</b>		
BKK	0.257	5%
NMA	0.271	5%

ตารางที่ 4.42 เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 3G (WCMDA) จากปัจจัย  
ด้านคุณภาพของบริการในส่วนของ All Parameters

MODEL	MAD	%ERROR
<b>CALL 3G</b>		
BKK	0.622	12%
NMA	0.512	10%
<b>YOUTUBE 3G</b>		
BKK	2.331	47%
NMA	0.688	14%
<b>FACEBOOK 3G</b>		
BKK	0.356	7%
NMA	0.463	9%
<b>LINE 3G</b>		
BKK	0.560	11%
NMA	0.604	12%
<b>WEB BROWSER 3G</b>		
BKK	0.714	14%
NMA	0.728	15%

ตารางที่ 4.43 เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 4G (LTE) จากปัจจัยด้าน  
คุณภาพของบริการในส่วนของ End Parameters

MODEL	MAD	%ERROR
<b>CALL 4G (BASE ON 3G)</b>		
BKK	0.211	4%
NMA	0.097	2%
<b>YOUTUBE 4G</b>		
BKK	0.080	2%
NMA	<b>0.086</b>	<b>2%</b>
<b>FACEBOOK 4G</b>		
BKK	0.149	3%
NMA	0.147	3%
<b>LINE 4G</b>		
BKK	0.105	2%
NMA	0.120	2%
<b>WEB BROWSER 4G</b>		
BKK	0.290	6%
NMA	0.306	6%

ตารางที่ 4.44 เปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์บนระบบ 4G (LTE) จากปัจจัยด้าน  
คุณภาพของบริการในส่วนของ All Parameters

MODEL	MAD	%ERROR
<b>CALL 4G (BASE ON 3G)</b>		
BKK	0.712	14%
NMA	0.564	11%
<b>YOUTUBE 4G</b>		
BKK	0.182	4%
NMA	0.182	4%
<b>FACEBOOK 4G</b>		
BKK	2.027	41%
NMA	0.226	5%
<b>LINE 4G</b>		
BKK	0.405	8%
NMA	0.449	9%
<b>WEB BROWSER 4G</b>		
BKK	0.713	14%
NMA	0.807	16%

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่แสดงได้ดัง  
ตารางที่ 4.41 เปรียบเทียบกับ ตารางที่ 4.42 บนระบบ 3G (WCDMA) และ ตารางที่ 4.43  
เปรียบเทียบกับ ตารางที่ 4.44 บนระบบ 4G (LTE) พบว่าแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่  
สร้างจากพื้นที่กรุงเทพมหานครกับแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างขึ้นจากพื้นที่จังหวัด  
นครราชสีมา มีความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกันมากจากกลุ่มผู้ใช้เดียวกัน ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้  
เฉพาะส่วนของ End Parameters ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และทดสอบให้  
ความน่าเชื่อถือของแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สูงมากซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด  
ประมาณ 1 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์

เมื่อใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของประสบการณ์ในส่วนของ All Parameters ซึ่ง  
ประกอบด้วย End Parameters Radio Parameters และ Data Parameters ในการสร้างแบบจำลอง

คุณภาพของประสบการณ์และทดสอบให้ค่าความผิดพลาดที่สูงกว่าและการเลือกปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการประเมินความพึงพอใจ

#### 4.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน

จากหัวข้อที่ 4.4.2 นั้นเราได้ข้อสรุปในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ทุกพื้นที่จากกลุ่มตัวอย่างเดียวกันนี้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS นั้น ในส่วนของการเลือกใช้ End Parameters ให้ค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าการเลือกใช้จาก All Parameters เนื่องจากในบางพื้นที่มีสภาพทางกายภาพที่แตกต่างกัน จึงส่งผลทำให้ค่าปัจจัยในส่วนของ Radio Parameters มีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกับความพึงพอใจของผู้ใช้งานและมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างระหว่าง End Parameters กับ Radio Parameters ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น ข้อสรุปของการใช้ End Parameters จะนำไปพิจารณาในการเปรียบเทียบคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ค่าปัจจัยในส่วนของ Radio Parameters และ Data Parameters สามารถที่จะนำไปใช้สร้างแบบจำลองเพื่อประเมินคุณภาพของประสบการณ์เฉพาะในส่วนในพื้นที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งในหัวข้อนี้จะใช้เพียงค่าปัจจัยเพียงส่วนของ End Parameters ในแต่ละบริการเท่านั้น

จากที่ได้ออกแบบการเก็บผลวิจัยเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างจากตัวแทนนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาและบุคลากรทำงานที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นการเก็บผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในพื้นที่เดียวกัน เพื่อหาข้อสรุปถึงระดับคุณภาพของประสบการณ์ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างต้องการเมื่อเทียบกับค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในส่วนของ End Parameters ของแต่ละบริการ ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกพื้นที่กรุงเทพมหานครในการเก็บผลนี้ที่ประกอบไปด้วย สยาม, ประตูน้ํา, จตุจักร, แยกราชประสงค์, ลาดพร้าว ฯลฯ ซึ่งข้อมูลที่ได้จากทั้งสองกลุ่มตัวอย่างในแต่ละบริการมีจำนวนมากกว่า 500 ชุดข้อมูล เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน

##### 4.5.1 การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการเปรียบเทียบความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่าง

การเลือกปัจจัยด้านคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจ โดยถูกกำหนดความสัมพันธ์จากค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เพื่อใช้ในการเลือกปัจจัยเหล่านี้จากค่า

ปัจจัยในส่วนของ End Parameters จากทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งแสดงการเลือกใช้ค่าปัจจัยในแต่ละบริการของแต่ละกลุ่มตัวอย่างได้ดังตารางที่ 4.45 ในระบบ WCDMA และในตารางที่ 4.46 ในระบบ LTE

ตารางที่ 4.45 ปัจจัยที่มีส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจจากของกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา และบุคคลวัยทำงานบนระบบ 3G (WCDMA) ในส่วนของ End Parameters

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	Correlation Coefficient	
	บัณฑิต	วัยทำงาน
<b>Call 3G</b>		
Setup_Duration (ms.)	-0.73	-0.55
CC_SETUP to CC_ALERTING duration (ms.)	-0.69	-0.50
<b>Youtube 3G</b>		
Throughput_Download_App (kbps)	0.37	0.77
YouTube_Duration_To_First_Play (s)	-0.66	-0.63
YouTube_Buffering_Count (n)	-0.73	-0.77
YouTube_Buffering_Duration (s)	-0.77	-0.85
<b>Facebook 3G</b>		
post_photo_duration_time (s)	-0.45	-0.57
download_photo_duration_time (s)	-0.10	-0.63
throughput post photo (kbps)	0.12	0.10
throughput download photo (kbps)	0.20	0.18
<b>Line 3G</b>		
LINE_Send_Duration (s)	-0.12	-0.13
LINE_Load_Photo_Duration_MS (ms.)	-0.35	-0.28
<b>Web 3G</b>		
Duration_Time (s)	-0.48	-0.85
Throughput_Download_App (kbps)	0.61	0.78



ตารางที่ 4.46 ปัจจัยที่มีส่งผลต่อความพึงพอใจจากของกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และบุคคลวัยทำงานบนระบบ 4G (LTE) ในส่วนของ End Parameters

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	Correlation Coefficient	
	บัณฑิต	วัยทำงาน
<b>Call 4G (CSFB Base on 3G)</b>		
Setup_Duration (ms.)	-0.76	-0.64
CSFB (ms.)	-0.35	-0.24
MM_CM_SERVICE_REQUEST to CC_SETUP duration (ms.)	-0.19	-0.21
CC_SETUP to CC_ALERTING duration (ms.)	-0.71	-0.58
<b>Youtube 4G</b>		
Throughput_Download_App (kbps)	0.30	0.89
YouTube_Duration_To_First_Play (s)	-0.69	-0.61
YouTube_Buffering_Count (n)	-0.78	-0.84
YouTube_Buffering_Duration (s)	-0.80	-0.83
<b>Facebook 4G</b>		
post_photo_duration_time (s)	-0.23	-0.31
download_photo_duration_time (s)	-0.10	-0.35
<b>Line 4G</b>		
LINE_Send_Duration (s)	-0.11	-
LINE_Load_Photo_Duration_MS (ms.)	-0.37	-0.45
<b>Web 4G</b>		
Duration_Time (s)	-0.52	-0.91
Throughput_Download_App (kbps)	0.62	0.84

หลังจากที่การเลือกใช้ค่าปัจจัยเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และใช้ในการนำไปเปรียบเทียบระดับคุณภาพของประสบการณ์จากของกลุ่มตัวอย่างในลำดับถัดไปเป็นขั้นตอนการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดจากการป้อนค่าปัจจัยด้านคุณภาพบริการเข้าแบบจำลองเทียบกับผลการประเมินความพึงพอใจ ซึ่งหากมีค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) เข้าใกล้ 1 จะส่งผลให้แบบจำลองนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ผลจากการสร้างแบบจำลองของแต่ละกลุ่มตัวอย่างสามารถอธิบายในแต่ละส่วนของการสร้างแบบจำลองได้ดังตารางที่ 4.46 ถึง 4.49

ตารางที่ 4.47 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากตัวแทน นักศึกษามัธยมศึกษาที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.772	0.881	0.615	0.546	0.720

ตารางที่ 4.48 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G (LTE) จากตัวแทน นักศึกษามัธยมศึกษาที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.801	0.891	0.437	0.641	0.730

ตารางที่ 4.49 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 3G (WCMDA) จากตัวแทน บุคคลวัยทำงานที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.644	0.959	0.878	0.500	0.872

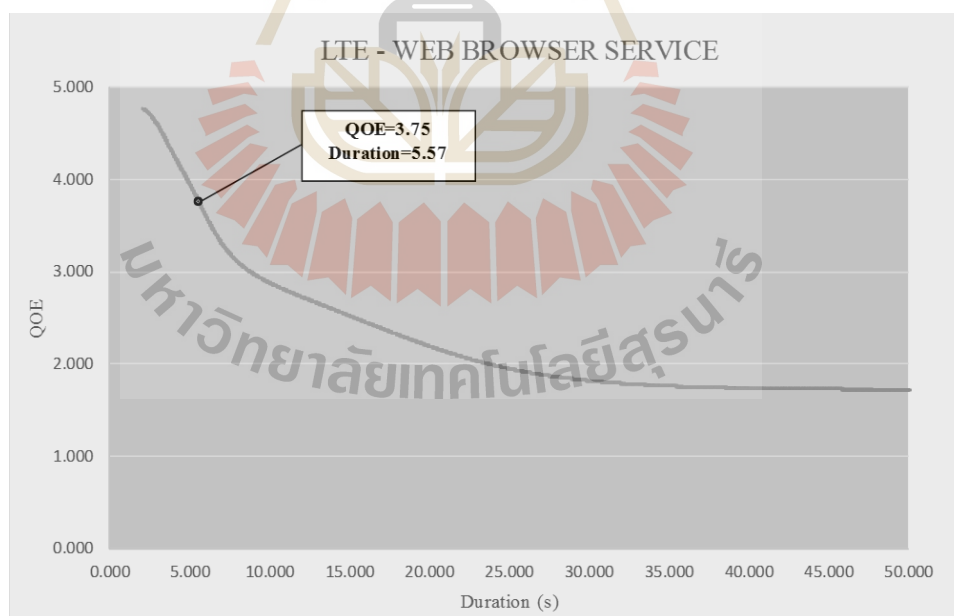
ตารางที่ 4.50 ค่าสหสัมพันธ์ของแบบจำลองของแต่ละบริการในระบบ 4G ((LTE) จากตัวแทน บุคคลวัยทำงานที่เก็บผลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

SERVICE	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
CORRELATION	0.728	0.931	0.543	0.691	0.943

**4.5.2 การสังเคราะห์ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมในการเปรียบเทียบความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่าง**

เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของแต่ละค่าปัจจัยด้านคุณภาพบริการ (QoS parameter) ที่ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นการกำหนดค่าเกณฑ์ในแต่ละพารามิเตอร์เทียบกับระดับคุณภาพประสบการณ์ โดยกำหนดให้ คะแนนคุณภาพของ

ประสบการณ์เท่ากับ 3.75 ทั้งนี้ทั้งสองกลุ่มตัวอย่างจะตั้งเกณฑ์ไว้เพื่อเปรียบเทียบค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลเทียบกับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ เพื่อใช้ในการนำไปปรับปรุงเครือข่ายและศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ในกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน จากรูปที่ รูปที่ 4.9 เป็นการแสดงข้อมูลกราฟเพื่อที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการสะท้อนและปรับปรุงเครือข่ายในบริการ Web Browser บนระบบ 4G (LTE) จากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาสาขาวิชาโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 4 ที่อยู่ในขอบเขตช่วงอายุ 18 – 25 ปีที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากค่า Duration Time ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.22 ซึ่งเป็นค่าปัจจัยที่ระบุถึงระยะเวลาในการโหลดหน้าเว็บสำเร็จที่มีหน่วยของเวลาเป็นวินาที จากตัวอย่างนี้ผู้วิจัยกำหนดให้เกณฑ์ QoE Score มีค่าเท่ากับ 3.75 เพื่อนำไปเทียบกับค่าปัจจัยที่แสดงดังรูปนี้ จะเห็นได้ว่าที่คะแนนคุณภาพของประสบการณ์มีค่าเท่ากับ 3.75 โดยมีค่าปัจจัย Duration Time เท่ากับ 5.57 วินาที ซึ่งกราฟมีความชันเป็นลบหรือที่เรียกว่ามีแนวของค่าปัจจัยในทิศทางตรงข้ามกับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ ทั้งนี้ถ้าหากต้องการให้มีค่าคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่มากกว่า 3.75 จะต้องปรับปรุงเครือข่ายให้มีค่า Duration Time น้อยกว่า 5.57 วินาที เพื่อที่จะทำให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ตอบสนองต่อความต้องการในกลุ่มตัวอย่างนี้ได้ดีกว่าเดิม



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Duration เทียบกับคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ในบริการ Web Browser บนระบบ 4G (LTE) ของกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาชั้นปี 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2559

จากการเลือกปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) ในแต่ละบริการดังตารางที่ 4.44 และ 4.45 แล้วนั้น ค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์จะนำไปสังเคราะห์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในการหาแนวโน้มและค่าของปัจจัยที่ต้องเพิ่มหรือลดเพื่อทำนำไปปรับปรุงเครือข่ายให้ได้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์สูงกว่าเกณฑ์ที่ได้ตั้งไว้และเปรียบเทียบระดับความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงตามตารางที่ 4.50 และ 4.51 ซึ่งเป็นการสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในระบบ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.51 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการในระบบ 3G (WCDMA)

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	บันทึก	วัยทำงาน	แนวโน้ม
<b>Call 3G</b>			
Setup_Duration (ms.)	5013	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
CC_SETUP to CC_ALERTING duration (ms.)	4402	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Youtube 3G</b>			
Throughput_Download_App (kbps)	1631	1477	(+) ต้องมากกว่า
YouTube_Duration_To_First_Play (s)	3.46	4.37	(-) ต้องน้อยกว่า
YouTube_Buffering_Count (n)	2	3	(-) ต้องน้อยกว่า
YouTube_Buffering_Duration (s)	9	4.29	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Facebook 3G</b>			
post_photo_duration_time (s)	NA	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
download_photo_duration_time (s)	NA	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
throughput post photo (kbps)	60	NA	(+) ต้องมากกว่า
throughput download photo (kbps)	39	116	(+) ต้องมากกว่า
<b>Line 3G</b>			
LINE_Send_Duration (s)	3.71	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
LINE_Load_Photo_Duration_MS (ms.)	1690	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Web 3G</b>			
Duration_Time (s)	NA	15.8	(-) ต้องน้อยกว่า
Throughput_Download_App (kbps)	NA	1763	(+) ต้องมากกว่า
<b>***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75</b>			

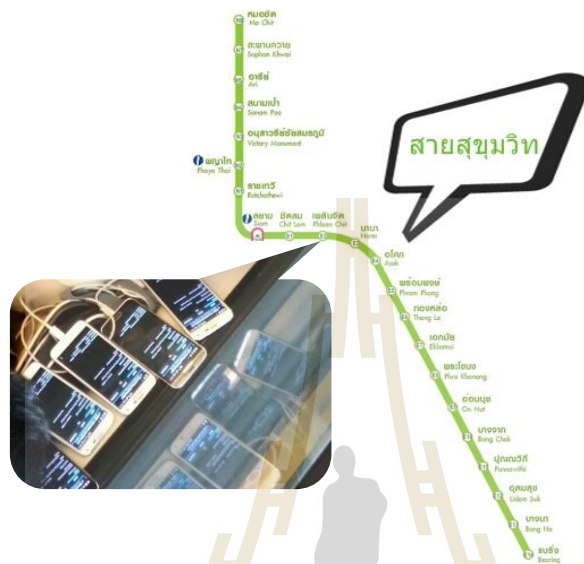
ตารางที่ 4.52 การสังเคราะห์ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการในบริการในระบบ 4G (LTE)

ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ	บันทึก	วัยทำงาน	แนวโน้ม
<b>Call 4G (CSFB Base on 3G)</b>			
Setup_Duration (ms.)	5370	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
CSFB (ms.)	1117	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
MM_CM_SERVICE to CC_SETUP duration (ms.)	117	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
CC_SETUP to CC_ALERTING duration (ms.)	3715	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Youtube 4G</b>			
Throughput_Download_App (kbps)	1696	1588	(+) ต้องมากกว่า
YouTube_Duration_To_First_Play (s)	3.6	4.67	(-) ต้องน้อยกว่า
YouTube_Buffering_Count (n)	6	4	(-) ต้องน้อยกว่า
YouTube_Buffering_Duration (s)	13.58	5.63	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Facebook 4G</b>			
post_photo_duration_time (s)	NA	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
download_photo_duration_time (s)	NA	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Line 4G</b>			
LINE_Send_Duration (s)	NA	-	(-) ต้องน้อยกว่า
LINE_Load_Photo_Duration_MS (ms.)	5920	NA	(-) ต้องน้อยกว่า
<b>Web 4G</b>			
Duration_Time (s)	5.64	14.21	(-) ต้องน้อยกว่า
Throughput_Download_App (kbps)	NA	1830	(+) ต้องมากกว่า
***กำหนดค่าเกณฑ์ของ QoE Score มีค่ามากกว่า 3.75			

**4.5.3 การนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ไปใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากการไต่รฟเทส (Drive Test) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างจากกลุ่มตัวอย่าง**

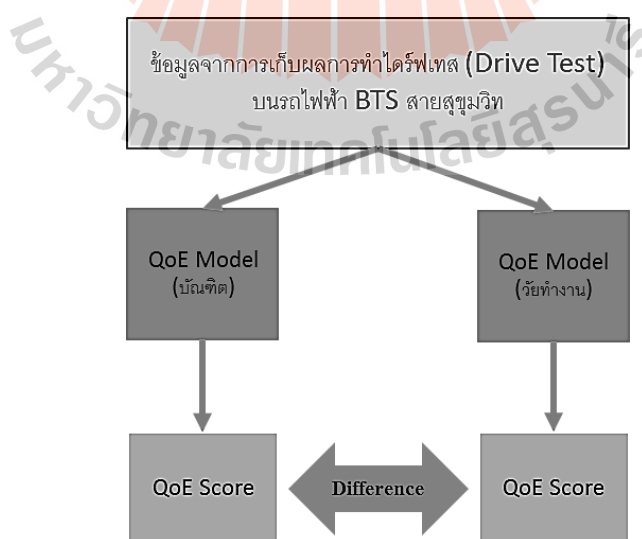
หลังจากกระบวนการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่าง นักศึกษามัธยมศึกษาและบุคคลวัยทำงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปงานจากการเก็บผลไต่รฟเทส (Drive Test) ทั้งนี้ได้ทดสอบกับการเก็บผลในเส้นทางรถไฟฟ้ามหานคร BTS สายสุขุมวิท จากสถานีหมอชิตถึงสถานีแบร็ง ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลจากการดำเนินการในแต่ละบริการจากโปรแกรม AZENQOS ในการเก็บค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการและข้อมูลตำแหน่ง

พิกัดที่ทำการเก็บข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อัปโหลดเข้าแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา และแบบจำลองที่สร้างจากกลุ่มบุคคลวัยทำงานในการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์



รูปที่ 4.10 การเก็บผลไคร์ฟเทส (Drive Test) บนรถไฟฟ้าสายสุขุมวิท

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บผล Drive Test นำไปป้อนเข้าแบบจำลอง เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากแบบจำลองที่แตกต่างกัน

ผลที่ได้จากการประเมินคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ในแต่ละบริการแต่ละระบบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.52 และ 4.53

ตารางที่ 4.53 ผลการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในระบบ 3G (WCMDA)

แบบจำลองคุณภาพ ของประสบการณ์	Average QoE Score				
	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
บัณฑิต	4.076	4.681	4.731	3.748	2.549
บุคคลวัยทำงาน	<b>4.903</b>	<b>4.795</b>	<b>4.951</b>	<b>4.815</b>	<b>4.415</b>

ตารางที่ 4.54 ผลการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ในระบบ 4G (LTE)

แบบจำลองคุณภาพ ของประสบการณ์	Average QoE Score				
	Call	Youtube	Facebook	Line	Web
บัณฑิต	4.109	4.897	4.953	4.697	3.403
บุคคลวัยทำงาน	<b>4.833</b>	<b>4.958</b>	<b>4.996</b>	<b>4.847</b>	<b>4.786</b>

จากผลการประเมินคุณภาพของประสบการณ์ พบว่าแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างบุคคลวัยทำงานมีคะแนนคุณภาพของประสบการณ์สูงกว่าแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษาในทุกบริการทุกระบบ ซึ่งหมายความว่า ผู้ใช้งานในกลุ่มตัวอย่างของบุคคลวัยทำงานมีความพึงพอใจที่มีเกณฑ์ในการประเมินต่ำกว่ากลุ่มตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษา ทั้งนี้แบบจำลองที่สร้างจากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันย่อมส่งผลคะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่แตกต่างกันจากมุมมองของงานวิจัยนี้

ในการเลือกใช้แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในมุมมองของการนำไปใช้งานอาจจะต้องมองถึงกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้งานในเครือข่ายของผู้ประกอบการและผลประกอบการจากผู้ใช้งานในแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้สำหรับการนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงเครือข่ายนั้น ควรเลือกแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่สร้างจากกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าเกณฑ์ที่สูง ทั้งนี้เพื่อให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่สะท้อนออกจากรูปแบบตัวอย่างนี้ที่ส่งผลกระทบต่อกลุ่มตัวอย่าง

#### 4.6 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้เป็นการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และการวิเคราะห์ตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ที่มีการออกแบบแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และขั้นตอนการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานต่าง ๆ ซึ่งเริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา 92 คนที่กำลังศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีการศึกษา 2559 ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจากการเก็บผลการทดสอบความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างนี้ จะนำไปใช้พัฒนาแบบจำลองในกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเป็นเพียงแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนเพียงกลุ่มนักศึกษาในกลุ่มนี้เท่านั้น แต่ในความเป็นจริงในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์พื้นที่ในการเก็บผลของแบบจำลองย่อมทำให้ค่าปัจจัยด้านคุณภาพของบริการบางปัจจัยส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่แตกต่างกัน ในขั้นถัดไปได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมาจากกลุ่มตัวอย่างของนักศึกษามัธยมศึกษา สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ซึ่งผลที่ได้จากการเก็บผลสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์มีความคล้ายกันเมื่อนำเพียงปัจจัยด้านบริการในส่วนของ End Parameters มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง เมื่อได้ข้อสรุปของแบบจำลองนี้ในขั้นถัดไปจะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันจากกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษามัธยมศึกษาที่ได้ทำการเก็บข้อมูลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและกลุ่มตัวอย่างตัวแทนของบุคคลวัยทำงาน เก็บผลในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งผลที่ได้พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความพึงพอใจที่แตกต่างกัน โดยจากผลการเปรียบเทียบสองกลุ่มตัวอย่างพบว่ากลุ่มตัวแทนนักศึกษามัศึกษามีเกณฑ์ที่สูงกว่ากลุ่มตัวแทนจากวัยทำงาน

ข้อมูลที่สร้างจากงานวิจัยเพื่อหาข้อพิสูจน์จากสมมุติฐานต่าง ๆ ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงความแตกต่างของพื้นที่ความแตกต่างของกลุ่มตัวอย่าง จนได้ข้อสรุปและนำไปพัฒนาแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่จะสามารถนำไปใช้จริงกับผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่



## บทที่ 5

### สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ได้กล่าวมาในบทที่ 1 เทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการพัฒนาในด้านความเร็วที่สูงขึ้นและบริการมัลติมีเดียต่าง ๆ จึงทำให้มีผู้ใช้งานบริการเหล่านี้บนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและทำให้เกิดการขยายเครือข่ายการให้บริการของผู้ประกอบการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยจำนวนผู้ใช้งานและผลตอบแทนทางธุรกิจที่ผู้ให้บริการได้รับ จึงทำให้เกิดการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการด้วยกัน ซึ่งในอดีตคุณภาพของบริการ (Quality of Service) เป็นผลการดำเนินงานที่สำคัญของทุกเครือข่ายเพราะสามารถวัดค่าได้ และช่วยให้วิศวกรปรับปรุงการให้บริการเครือข่ายให้ตอบสนองต่อจำนวนของผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่ได้ระบุถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อเครือข่าย ผู้ใช้งานบางคนได้รับบริการที่ไม่ดีเนื่องจากมีผู้เข้าใช้จำนวนมากถึงแม้ว่าความแรงของสัญญาณยังคงดีก็ตาม ผู้ให้บริการต้องการที่จะเข้าถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานจึงทำให้เกิดตัวชี้วัดใหม่ที่เรียกว่าคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience)

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการ (QoS Parameters) แทนการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานเพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการที่ให้ทราบถึงข้อมูลนี้ด้วยการนำเอาอัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียมที่มีคุณสมบัติในการทำงานคล้ายกับสมองมนุษย์ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินคุณภาพของประสบการณ์ควบคู่ไปกับกระบวนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่นำไปใช้สร้างแบบจำลองด้วยการกำหนดเกณฑ์จากการเปรียบเทียบกับความพึงพอใจที่ผู้ใช้งานประเมิน ซึ่งบริการที่ใช้การสร้างแบบจำลองในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยบริการ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser ด้วยการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์จากการเก็บข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยในการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ ซึ่งเป็นเพียงแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนเพียงกลุ่มนักศึกษาในกลุ่มนี้เท่านั้น จึงได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและจังหวัดนครราชสีมาจากกลุ่มตัวอย่างของตัวแทนบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ผลที่ได้จากการเก็บผลสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ มีความคล้ายคลึงกัน เมื่อนำปัจจัยด้านบริการในส่วนของ End Parameters มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อให้ได้ข้อสรุปของแบบจำลองนี้ จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันจากกลุ่มตัวอย่างตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษาที่มีช่วงอายุ 18-25 ปี ได้ทำการเก็บข้อมูลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและกลุ่มตัวอย่างตัวแทนของบุคลากรวัยทำงานที่มีช่วงอายุ 26-40 ปี ในการเก็บผลในพื้นที่เดียวกัน ซึ่งผลที่ได้พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันส่งผลต่อระดับความพึงพอใจที่แตกต่างกัน โดยจากผลการเปรียบเทียบสองกลุ่มตัวอย่างพบว่ากลุ่มตัวแทนนักศึกษาบัณฑิตศึกษาจะมีเกณฑ์ที่สูงกว่ากลุ่มตัวแทนจากวัยทำงาน

จากงานวิจัยนี้ได้ข้อสรุปที่จะใช้ในการพัฒนาเพื่อสร้าง โปรแกรม ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานด้วยการออกแบบโปรแกรมเฉพาะในการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์และการประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ได้จากโปรแกรม AZENQOS

จากผลการวิจัยที่ได้นำเสนอในนี้มีความมุ่งหวังว่าผู้ให้บริการด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่จะนำแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ไปใช้ประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากคุณภาพของบริการเพื่อสะท้อนให้ผู้ให้บริการนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงเครือข่ายของตนเพื่อดึงดูดและครองใจผู้ใช้งานในการเพิ่มจำนวนลูกค้าของตนในยุคที่มีการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บผลในพื้นที่จริง ซึ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกันในพื้นที่ที่แตกต่างกันที่ประกอบด้วยพื้นที่กรุงเทพมหานครและพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในพื้นที่ที่แตกต่างกันผู้ทดสอบอาจเหนื่อยถ้าจากการเก็บผลได้ ซึ่งปัญหาในงานวิจัยได้นำไปสู่การสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการประเมินคุณภาพของประสบการณ์แทนผู้ใช้งานเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการที่จะเข้าถึงความพึงพอใจในเทอมของคุณภาพของประสบการณ์

แบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ในมุมมองของการนำไปใช้งานต้องสังเกตเห็นถึงกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้งานในเครือข่ายของผู้ประกอบการและผลประกอบการจากผู้ใช้งานในแต่ละกลุ่ม ทั้งนี้สำหรับการนำไปใช้เพื่อประเมินคุณภาพของประสบการณ์ให้ได้มาซึ่งข้อมูลในการปรับปรุง

เครือข่ายนั้นควรเลือกแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ที่ถูกสร้างจากกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าเกณฑ์ที่สูงทั้งนี้เพื่อให้คะแนนคุณภาพของประสบการณ์ที่สะท้อนออกจากกลุ่มตัวอย่างนี้ที่จะส่งผลได้ครอบคลุม

### 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจากการใช้ปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่ได้จากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนที่ตั้งโปรแกรม AZENQOS เท่านั้น ซึ่งเป็นการโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาในการสร้างและประเมินคุณภาพของประสบการณ์การจากบริการ Call Youtube Facebook Line และ Web Browser บนระบบ 3G (WCDMA) และ 4G (LTE) เท่านั้น ซึ่งในอนาคตการพัฒนาที่มีมิติเดียวต่าง ๆ รวมทั้งสถาปัตยกรรมโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีความเร็วและมีการรองรับจำนวนผู้ใช้งานได้มากขึ้น ก็สามารถที่จะพัฒนาแบบจำลอง เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของประสบการณ์จากบริการต่าง ๆ ที่จะเข้ามาในอนาคต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของปัจจัยด้านคุณภาพของบริการที่จะพัฒนาให้รองรับกับบริการและระบบต่าง ๆ ในอนาคตอีกด้วย

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคะแนนคุณภาพของประสบการณ์จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการวิเคราะห์ที่สามารถระบุได้ว่าต้องปรับปรุงปัจจัยตัวใดบ้างที่จะทำให้มีคะแนนคุณภาพของประสบการณ์มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ซึ่งอาจจะนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองในการปรับปรุงคุณภาพของบริการจากอุปกรณ์ภายในเครือข่ายเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด

## รายการอ้างอิง

- พีระพงษ์ อุฑารสกุล. 2556. "ระบบสื่อสารเคลื่อนที่." สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- M. Fiedler, T. Hossfeld, and P. Tran-Gia. "A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service." IEEE Network, 2010, vol. 24, no. 2, pp. 36–41.
- H. J. Kim and S. G. Choi. "A study on a QoS/QoE correlation model for QoE evaluation on IPTV service." In Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT '10), 2010, pp. 1377–1382.
- Wang, Tianyi, Anjum Pervez, and Hua Zou. "VQM-based QoS/QoE mapping for streaming video." Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT), 2010 3rd IEEE International Conference on. IEEE, 2010. p. 807-812.
- F. Agboma and A. Liotta. "QoE-aware QoS management." Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia, 2008, pp. 111-116.
- Du, Haiqing, et al. "Research on relationship between QoE and QoS based on BP Neural Network." Network Infrastructure and Digital Content, 2009. IC-NIDC 2009. IEEE International Conference on. IEEE, 2009.
- Kaiyu, Wang, Wang Yumei, and Zhang Lin. "A new three-layer QoE modeling method for HTTP video streaming over wireless networks." Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC), 2014 4th IEEE International Conference on. IEEE, 2014.
- Zheng, Kan, et al. "Quality-of-experience assessment and its application to video services in LTE networks." IEEE Wireless Communications 22.1 (2015): 70-78.
- ITU-T P.800. "Mean Opinion Score (MOS) terminology." July 2006.
- ITU-T P.862. "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)." Feb 2001.
- ITU-T G.107. "The E-model, a computational model for use in transmission planning." Mar 2005
- Maureen Candill. "Neural Network Primer." AI Expert Part 1, 1989.

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

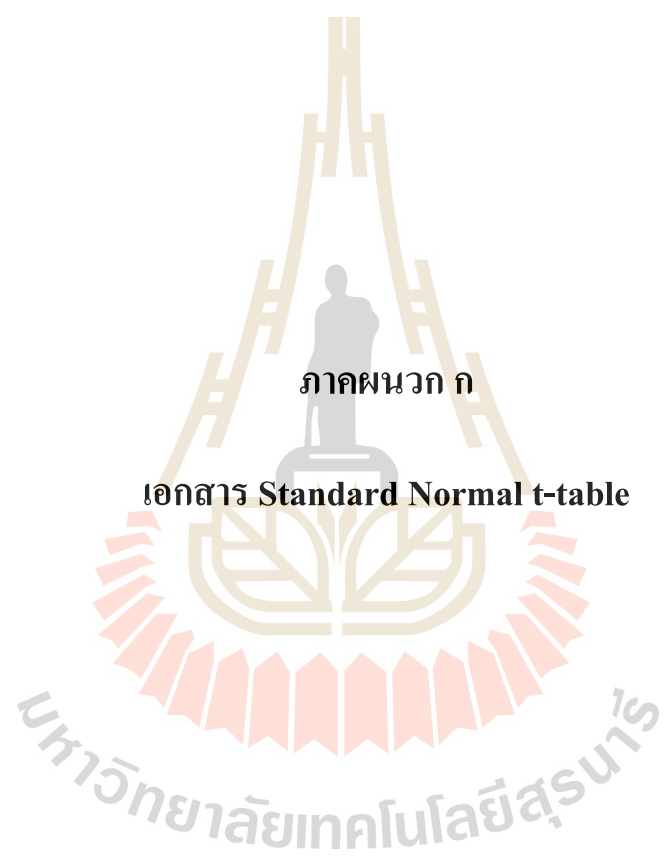
Panchal, G., et al. "Review on methods of selecting number of hidden nodes in artificial neural network." International Journal of Computer Theory and Engineering 3.2 (2011): 332-337.

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

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

วิทยา พรพัชรพงศ์. [ออนไลน์]. 2551. "โครงข่ายประสาทเทียม." แหล่งที่มา : <https://www.gotoknow.org/posts/163433>

ประหัยด์ สุพะกำเนิด. [ออนไลน์]. 2559. "Artificial Neural Network." แหล่งที่มา : <http://alaska.reru.ac.th/text/ann.pdf>



ภาควิชาคณิตศาสตร์

เอกสาร Standard Normal t-table

รายชื่อเอกสารที่ใช้สำหรับอ้างอิง

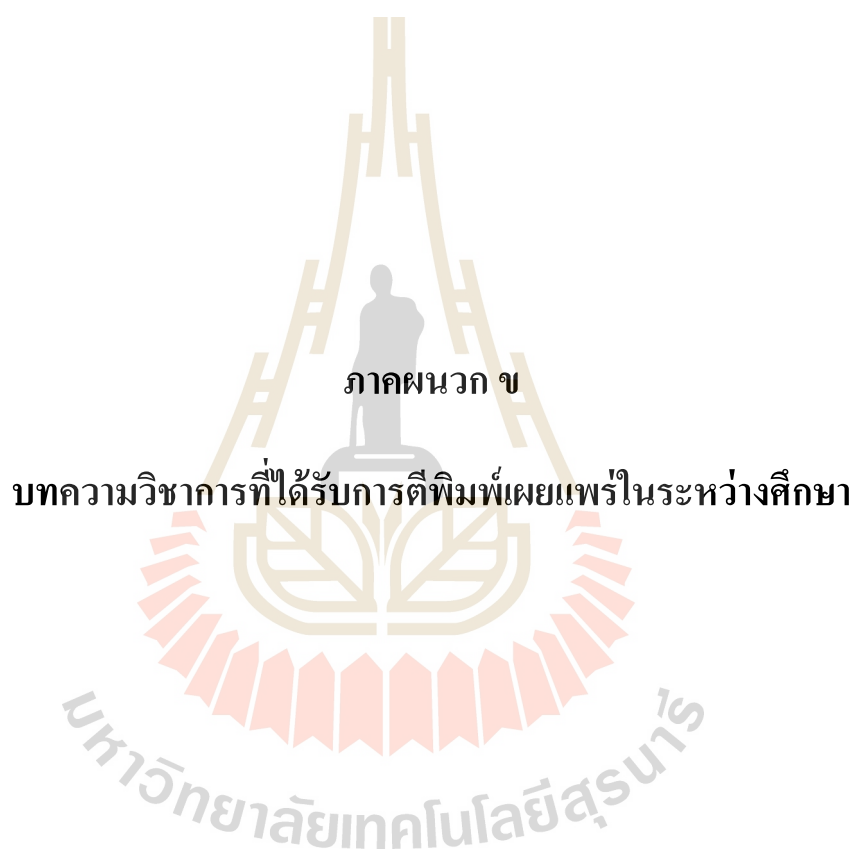
<http://www.sjsu.edu/faculty/gerstman/StatPrimer/t-table.pdf>



**t Table**

cum. prob	<i>t</i> <sub>.50</sub>	<i>t</i> <sub>.75</sub>	<i>t</i> <sub>.80</sub>	<i>t</i> <sub>.85</sub>	<i>t</i> <sub>.90</sub>	<i>t</i> <sub>.95</sub>	<i>t</i> <sub>.975</sub>	<i>t</i> <sub>.99</sub>	<i>t</i> <sub>.995</sub>	<i>t</i> <sub>.999</sub>	<i>t</i> <sub>.9995</sub>
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
<b>Z</b>	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%
	<b>Confidence Level</b>										





ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Patikorn Anchuen, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul. “**QOE model in cellular networks based on QOS measurements using Neural Network approach.**” Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016 13th International Conference on. IEEE, 2016., Chiang Mai, Thailand



# QOE Model in Cellular Networks Based on QOS Measurements Using Neural Network Approach

Patikorn Anchuen, Peerapong Uthansakul, Monthippa Uthansakul  
 School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology  
 Muang, NakhonRatchasima, Thailand 30000  
 Email: m5840748@g.sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th and mtp@sut.ac.th

**Abstract**— In the past, the Quality Of Service (QOS) was the key performance of every network because it could be really measured and helped engineers to improve the network services. However, QOS parameters reflect only the network performances which do not directly indicate the satisfaction of users. Some users experience a bad service due to crowd accessibility even though the signal strength is still good. Hence, this paper proposes the estimation model of user satisfaction in terms of Quality Of Experience (QOE) by using neural network approach. The input of this model is obtained from the measured QOS parameters. Firstly, the authors determine the correlation of QOE due to the QOS. The algorithm used for analysis is Artificial Neural Networks (ANN) toolbox in Matlab software. Data Collection QOS parameter and Application Mean Opinion Score (AMOS) in each user of different networks were used to learn in neural networks to get the right weights in QOE correlation model. The role of this research is to demonstrate the use of neural network approach to create QOE model in the assessment of user satisfaction resulted from the QOS parameters instead of directly measuring the Mean Opinion Score (MOS) from users.

**Keywords**—QOE; QOS; AMOS; ANN

## I. INTRODUCTION

Nowadays, the users of mobile networks have a lot of multimedia services connecting to the internet. These services require a high speed data transmission. In fact, for 3G/4G networks and beyond, there is no any difficulty to provide such a high data rate. Based on the current technology like HSDPA or LTE-A, the technical limitation is out of consideration. It becomes to the fact that any network operators can offer a high speed services to any users. This can be evidenced by the similar Quality Of Service (QOS) obtained by any network operators. Therefore, in order to increase and maintain the number of users, the operators have to concern the new parameter that has a direct impact on users.

The Quality Of Experiences (QOE) is the parameter to represent the satisfaction of the users and this QOE is affected by many indicators of QOS. As a result of technological development offering multimedia service, the service operators need to improve their services for the satisfaction of customers that affect the decision of customers to consume networks. The number of users in mobile network has tremendous impacts for business and it causes a lot of marketing competition. Therefore, the operators need to offer the greatest experience to

increase user satisfactions and attract new users. The QOE can also represent the growth and success of the service network. The QOE is the viewpoint of the user while QOS is the viewpoint of the network that indirectly affects satisfaction of users. Indeed, there is a correlation between QOE and QOS parameters. Hence, if we know the correlation, the operators can realize the user satisfaction from the measured QOS parameters. This can improve their networks to meet all coverage areas with the best user experience.

The relationship between QOE and QOS revealed that QOE is the feeling of users on multimedia services such as excellent, good, fair, poor and bad. The QOS is the viewpoint of the operators that indirectly affect this feeling. Using quantitative QOS parameters is a technical concept to interpret the viewpoint of network to be the viewpoint of users. The estimation model is a complex process of determining the relationship between the context and QOS parameters.

Many researchers have presented the concept to find the correlation of QOE. For example, the IQX-hypothesis method was a result of quantitative QOS [1]. There was also a presentation on the general relationship between QOE and QOS methods on IQX-hypothesis for multimedia streaming services [2]. The correlation between QOE and QOS parameters by means of the VQM-BASED for streaming video is presented in [3] and QOE management based on statistical analysis is discussed in [4]. There are some attempts to estimate QOE models based on machine learning methods using artificial neural networks to map the correlation between QOE and QOS parameters such as back-propagation neural networks used to assess quality of experience for video quality [5] and typical neural networks used in the evaluation for video streaming [6]. However, all above mentioned literatures did not find the correlation model for cellular networks. There are some specific QOS parameters of cellular networks which are different from other networks. These parameters are influenced by the propagation fading channel that is special for cellular networks. Then, the value of QOS parameters based on the same services might be different between cellular and wifi networks. Although, QOE was studied for video services on LTE network [7] but there has not been any QOE estimation model yet. Therefore, this paper proposed the method to assess QOE from QOS parameters using the neural network approach. The proposed QOE estimation model is trained by the user experience from popular application on smart phone called as

AMOS. It is very easy to apply the surveyed user experience into the proposed model in the future.

The remainders of this paper is organized as follows: Section II discusses on the background overview about the parameters involved in the model. The neural network used in the relationship is presented in Section III. The results of proposed model are discussed in Section IV and the conclusion of this paper is presented in Section V.

## II. BACKGROUND OVERVIEWS

The QOE definition can be classified into two groups. The first group is the subjective quality assessment from mean opinion score to measure the satisfaction of users as stated in the recommendations of the ITU-T E.800 [8]. The second group is the objective quality assessment from relation of mathematical equations that has been proposed to ITU-T such as P.862 [9] PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) and G.107 E-Model [10].

The factors in the service network influencing QOE of services operator's include delay, bit rate, jitter and other QOS metrics. This paper proposes to assess QOE using QOS parameters instead of assessing by the users. The factor of service is measured from the QOS measuring tool and at the same time the opinion score is measured by the AMOS application. The results of QOS parameters and AMOS were used for learning in the artificial neural networks and determine relationship to create QOE model.

### A. QOS Parameters

The parameters measured by the QOS measuring tool will influence the opinion scores of users. The authors have chosen common tools for application on the smart phone to measure the parameters provided by the service including download bit rates, upload bit rates, latency, jitter, browsing performance rate and streaming performance rate, as shown in Fig. 1. The authors collect all parameters by using the monitoring program called as nPerf which is license-free. All QOS parameters have the following meanings.

- Download bit rates is an average of downloading data. It indicates the amount of data connected to the services that users get from nPerf server used for testing of applications.

- Upload bit rates is an average of uploading data. It indicates the amount of data connected to the services that users get from nPerf server used for testing of applications.

- Latency average is the parameter that indicates the average time delay of a small packet transmitting round-trip from user to nPerf server. The increase of average time will result on users to receive a bad service.

- Latency Jitter is the variance value of the time delay of a small packet transmitting round-trip from the user to nPerf server.

- Browsing Performance rate is the parameter that indicates the effectiveness of the service received by users when visiting the scope of the Web browsing from the measuring tool.

- Streaming performance rate is the parameter that indicates the effectiveness of the service received by users when operating the traffic streaming.



Fig. 1. QOS parameters



Fig. 2. AMOS Measuring Tool

Table I: QOS parameter Level of Application Mean Opinion Score.

SCORE	CONTENT
5	Excellent
4	Good
3	Fair
2	Poor
1	Bad

### B. AMOS Measuring Tool

For QOE, the study requires the real experience of users on providing services. The users are the persons who assess the service which sometimes it takes a long time, a high cost, and a lot of repeated tests in order to get the Mean Opinion Score (MOS). The MOS is likely correlated with QOS parameters. In this experiment, the authors employ the instrumentation for measuring MOS by application in Smartphone, instead of measuring the opinion score from users. Network Assessment Tool (NAT) is used to measure the Application Mean Opinion Score (AMOS) for each measured value. The trademark of AMOS is shown in Fig. 2. The values in Table I present five levels of scores including Excellent, Good, Fair, Poor and Bad. The Network assessment tool (NAT) is used to assess AMOS.

This paper measured the QOS parameters including the average of download bit rates, the average of upload bitrates, the average of latency, jitter, browsing performance rate and streaming performance rate. These parameters influence to AMOS which can be the experience of users as indicated in Table I. Based on experimental results, the authors create the QOE estimation model from both collected values from nPerf and AMOS of NAT by applying the artificial neural networks which will be explained in the next section.

## III. NEURAL NETWORKS

Neural networks are mathematical models or computational models that look very similar to the structure and function of the human brain. The process begins with the concept of

biological networks for neurons in the human brain consisting of dendrite which it receives nerve impulses into the neuron and axon that transmits nerve impulses to other neurons. According to this model, artificial neural networks of connections between neurons that work together as a network, typically artificial neural networks is capable of learning from data between inputs and output in the desired format.

After the process of learning artificial neural networks, the authors will collect information link weight and the threshold of each neuron. To be used in the next test, the artificial neural networks can be deployed in a variety of patterns. The general format is used widely, as shown in Fig. 3. It is a model of data input and output which typically there is a mathematical model to formulate the relationship of data.

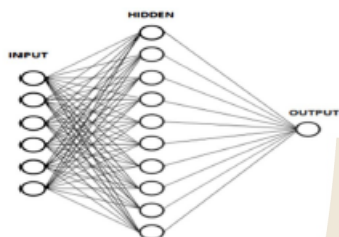


Fig. 3. Artificial neural networks architecture.

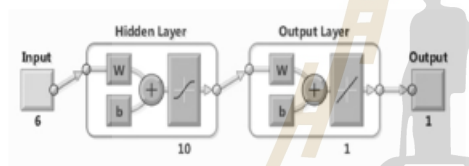


Fig. 4. Two-layer-forward neural network.

The basic algorithms on neural networks can be expressed in (1) and (2) [5].

$$o_{h_j} = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + \theta_j\right) \quad j = 1, 2, 3, \dots, p \quad (1)$$

$$y_k = f\left(\sum_{j=1}^p w_{jk}h_j + \theta_k\right) \quad k = 1, 2, 3, \dots, q \quad (2)$$

When  $w_{ij}$  is the link weight of input node  $x_i$  to hidden layer node  $h_j$ ;  $w_{jk}$  is the link weight of hidden layer node  $h_j$  to output layer node  $k$ ;  $o_{h_j}$  is the value of hidden layer node and  $y_k$  is the value of output layer node;  $\theta_j$  is the threshold of hidden layer node  $h_j$  and  $\theta_k$  is the threshold of output layer node  $k$ ;  $n$  is the number of input node;  $p$  is the number of hidden layer node;  $q$  is the number of output node. The authors choose the decision function of Sigmoid expressed in (3).

$$f(x) = 1/(1 + e^{-x}) \quad (3)$$

The application of artificial neural networks for the proposed model is to estimate the QOE value from the QOS parameters. All parameters including the average of download bit rates, the average of upload bitrates, the average of latency, jitter, browsing performance rate and streaming performance rate are the input values for neural networks. The value of AMOS is the output for the process of learning in ANN.

In this paper, the authors will use two-layer-forward neural network with sigmoid hidden neurons and linear output neurons by toolbox in MATLAB software, as shown in Fig. 4. In proposed QOE model, this paper sets the number of hidden nodes at 10 nodes. These nodes can be increased or decreased depending on the variance of input data. In this paper, the variation of experimental data is not too much so the amount of 10 nodes is appropriated for QOE model.

#### IV. EXPERIMENTAL RESULTS

This section presents operating procedures in order to create QOE model. It includes all steps in the learning neural networks and the testing process of neural networks as shown in Fig. 5. As seen in Fig. 5, there are two parts of QOE model including learning and testing neural networks. In learning part, the link weight and threshold to the system are obtained. For testing part, the already learned QOE model is tested with the input parameters that are different from the set of learning steps. The outcome of testing part is the estimated QOE value which is the aim of this work.

The selected data sets with different experimental conditions are shown in Table II. These value are used to be input of the learning neural network. For the testing neural network part, the authors measure the QOS parameters from the different situation of learning sets to be input for the QOE model. The outcome of testing will be compared with the value of AMOS in order to validate the proposed model.

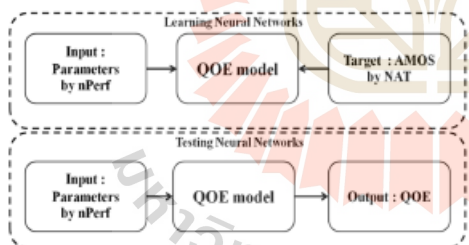


Fig. 5. QOE estimation model.

Table II: QOS parameters and AMOS under different circumstances in cellular networks

Download bit rate (average) [Mbps]	Upload bit rate (average) [Mbps]	Latency (average) [ms]	Latency (jitter) [ms]	Browsing performance rate [%]	Streaming performance rate [%]	AMOS
3.99	2.29	43	84	59.69	77.18	4
0.43	0.31	99	127	25.34	25.05	2
21.18	4.1	51	804	77.89	83.44	5
0.44	0.29	108	70	27.42	25.11	2
0.25	0.32	113	1066	27.10	23.86	1
6.14	2.29	69	85	70.70	85.29	4
0.27	0.19	92	1496	25.34	39.16	2
6.23	0.64	150	97	91.31	82.38	4.5
5.48	2.86	154	95	66.17	75.64	3.5
5.55	1.07	137	12	96.60	86.58	4.5
4.31	2.22	198	137	79.63	78.76	3.5
6.45	2.65	46	104	51.05	71.55	4

A. Learning Neural Network

The parameters in Table II were used to learn in artificial neural network. All five QOS parameters are entered to be inputs while the AMOS values are entered as output, as written in the matrix form below.

Input layer:

3.99	2.29	43	84	59.69	77.18
0.43	0.31	99	127	25.34	25.05
21.18	4.1	51	804	77.89	83.44
0.44	0.29	108	70	27.42	25.11
0.25	0.32	113	1066	27.10	23.86
6.14	2.29	69	85	70.70	85.29
0.27	0.19	92	1496	25.34	39.16
6.23	0.64	150	97	91.31	82.38
5.48	2.86	154	95	66.17	75.64
5.55	1.07	134	12	96.60	86.58
4.31	2.22	198	137	79.63	78.76
6.45	2.65	46	104	51.05	71.55

Output layer:

[4 2 5 2 1 4 1 4.5 3.5 4.5 3.5 4]

The learning results were shown in Fig. 6 and the relationship between the target and the output is 0.9986.

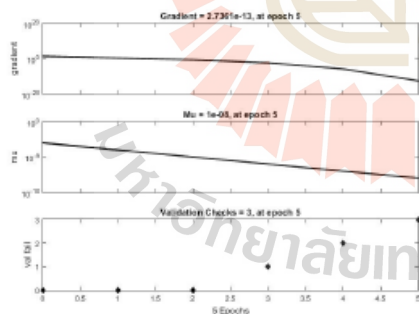


Fig. 6. Learning results

B. Testing Neural Network

This step is the real test to verify whether the proposed model is validated or not. The authors take measurements to collect QOS parameters and then put these parameters to QOE model in order to get the estimated QOE value. Then the authors compare QOE values obtained from proposed model and the AMOS program. Table III show the QOS parameters and AMOS used for testing. Actually, the authors did the testing values more than one set but for sake of space only one example is presented.

Table III: QOS parameters and AMOS for testing

Download bit rate (average) [Mbps]	Upload bit rate (average) [Mbps]	Latency (average) [ms]	Latency (jitter) [ms]	Browsing performance rate [%]	Streaming performance rate [%]	AMOS
8.17	2.62	40	38	79.39	85.43	4

The QOE model is created by means of algorithm neural network to assess the QOE from QOS parameters as shown in Fig. 7. All programming is performed by MATLAB.

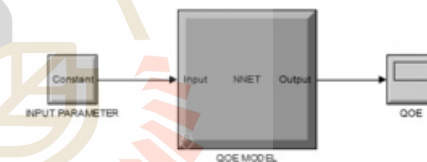


Fig. 7. QOE model in MATLAB.

After entering the QOS parameters into the QOE model shown in Fig. 8, the QOE model will produce the output as estimated QOE value. As shown in Fig. 8, the QOE output is 4.17 while the value of AMOS by NAT presented in Table III is equal to 4. There is a little error between QOE from model and AMOS. The authors test with 100 different sets of QOS parameters. The results provide the same agreement between QOE from model and AMOS with the variance of error at 3.63%. The results have confirmed that the QOE model using artificial neural network approach provide the results similar to the evaluation of AMOS.

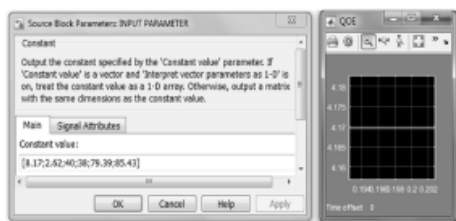


Fig. 8. The output from QOE model.

The proposed QOE model is ready for assessing the user experience at any locations only if all QoS parameters at those locations are collected. In fact, the drive test which is a regular task in cellular network can be often undertaken. It means that the network operators can realize the satisfaction of users without performing the real surveys on each user. This reduces both cost and time for network operators. Moreover, the output QOE can suggest the operators to improve a coverage area based on direct demand of users. With the improvement, the operators can maintain the existing users and attract new users.

#### V. CONCLUSIONS

In this paper, the study of estimation model to assess the satisfaction of users in terms of QOE is proposed by using neural network approach. The QOE value is estimated from five QoS parameters including the average of download bit rates, the average of upload bitrates, the average of latency, jitter, browsing performance rate and streaming performance rate. The results show the good agreement between QOE value from the proposed model and QOE value from the AMOS applications. This is very helpful for network operators to realize the satisfaction of users based on viewpoint of

network performances. Hence, both cost and time will be saved when using the proposed model.

#### ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Montakarn Ahkuputra, Naree Thientum, Apatsaraphrom Nalinrat Kiatmamchok and Dheerasak Anantakul for supporting the practical concept.

#### REFERENCES

- [1] M. Fiedler, T. Hossfeld, & P. Tran-Gia, (2010) "A generic quantitative relationship between quality of experience and quality of service," *IEEE Network*, vol. 24, no. 2, pp. 36-41.
- [2] H. J. Kim & S. G. Choi, (2010) "A study on a QoS/QoE correlation model for QoE evaluation on IPTV service," in *Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT '10)*, pp. 1377-1382.
- [3] WANG, Tianyi; PERVEZ, Anjum; ZOU, Hua. VQM-based QoS/QoE mapping for streaming video. In: *Broadband Network and Multimedia Technology (IC-BNMT), 2010 3rd IEEE International Conference on*. IEEE, 2010. p. 807-812.
- [4] F. Agboma & A. Liotta, (2008) "QoE-aware QoS management," in *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia*, pp. 111-116.
- [5] DU, Haiqing, et al. 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*. IEEE, 2009. p. 312-315.
- [6] KAIYU, Wang; YUMEI, Wang; LDN, Zhang. A new three-layer QoE modeling method for HTTP video streaming over wireless networks. In: *Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC), 2014 4th IEEE International Conference on*. IEEE, 2014. p. 56-60.
- [7] ZHENG, Kan, et al. Quality-of-experience assessment and its application to video services in LTE networks. *Wireless Communications*, IEEE, 2015, 22.1: 70-78.
- [8] ITU-T P.800, "Mean Opinion Score(MOS) terminology," July 2006.
- [9] 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

## ประวัติผู้เขียน

นายปรีกร อันชื่น เกิดเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ เริ่มศึกษาชั้นประถมปีที่ 1-6 โรงเรียนอนุบาลลำปลายมาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 - 6 โรงเรียนลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อปี พ.ศ. 2557 จากนั้นได้เข้าทำงานที่บริษัท บี บี เทคโนโลยี จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร (Engineer)

ปี พ.ศ. 2558 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนจากทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายใน (OROG) ระหว่างศึกษาได้มีโอกาสทำงานร่วมกับบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่งวิศวกรวิจัย และสร้างแบบจำลองคุณภาพของประสบการณ์ให้กับบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) และบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับ ดังนี้

1) 13<sup>th</sup> Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) ในหัวข้อ . “**QOE model in cellular networks based on QOS measurements using Neural Network approach.**” Chiang Mai, Thailand, 28 June - 1 July 2016.