คาร์ล มัลคอล์ม คอร์โดวา : การทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่มด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก จังหวัดอัลบาย ประเทศฟิลิปปินส์ อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ฐนกร ศรีธราพิพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันทิพย์ ปิยะทัศนานนท์, 145 หน้า.

คำสำคัญ: ความเสี่ยงดินถล่ม, การทำแผนที่สินค้าคงคลังดินถล่ม, การเรียนรู้เชิงลึก, CNN-2D, MLP

จังหวัดอัลบาย (Albay) ได้ประสบกับภัยดินถล่มเป็นประจำ เนื่องจากมีที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ทางตะวันออกเฉียงใต้ของเกาะลูซอน (the island of Luzon) ทำให้จังหวัดนี้เสี่ยงต่อภัยพิบัติทางธรรมชาติ เนื่องจากจังหวัดนี้ตั้งอยู่บนชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศ จึงมีโอกาสถูกพายุไต้ฝุ่นซึ่งเข้าประเทศฟิลิปปินส์เป็นประจำ อักทั้งจังหวัดอัลเบย์ยังตั้งอยู่ในแนววงแหวนปแปซิฟิกแห่งไฟ (the Pacific Ring of Fire) ด้วย ดังนั้นจังหวัดนี้จึงได้รับผลประทบจากการเคลื่อนของแผ่นเปลือกโลกด้วย เนื่องจากมีรอยเลื่อนที่ยังคุกรุ่นอยู่ผ่านในพืนที่ และเป็นที่ตั้งของภูเขาไฟมายอน (Mayon Volcano) ซึ่งเป็นภูเขาไฟที่มีการปะทุมากที่สุดในฟิลิปปินส์

จากสถานการณ์เหล่านี้ การทำแผนที่ความเสี่ยงแผ่นดินถล่มจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามยังขาดพื้นที่ดังกล่าว ยังขาดการศึกษาที่ครอบคลุมในสาขานี้ เนื่องจากความยากลำบากในการเตรียมข้อมูลซึ่งมีขนาดใหญ่ ดังนั้นเพื่อให้สามารถสร้างแผนที่ดังกล่าวซึ่งครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ การศึกษานี้จึงใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกลด้วยวสองเทคนิคหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ฮอตสปอตข้อมูล PSI (persistent scatterer interferometry) (PSI-based hotspot analysis) และการจัดกลุ่มดัชนีสเปกตรัม (clustering of spectral indices)

โดยเทคนิคแรก เป็นการวิเคราะห์ฮอตสปอตข้อข้อมูล PSI ใช้เพื่อระบุตำแหน่งที่มีโอกาสเกิดการเกิดดินถล่มสูง โดยอิงตามเกณฑ์ความเสถียรของข้อมูล PSI ทั้งนี้ข้อมูล PSI สามารถคำนวณได้จาก ภาพถ่าย SAR (Synthetic Aperture Radar) จากดาวเทียม Sentinel-1 ซึ่งประกอบไปด้วยภาพแนวขึ้น 62 ภาพ และภาพแนวลง 65 ภาพ ตั้งแต่วันที่ 30 กรกฎาคม ค.ศ. 2017 ถึง 31 ธันวาคม ค.ศ. 2020 โดยสกัดข้อมูล PSI ออกมาได้ทั้งหมด 277,525 จุด ซึ่งวัดค่า V_{LOS} (line-of-sight velocity) โดยมีเกณฑ์ความเสถียรที่ 11 มม./ปี โดยการวัดค่า V_{LOS} ถูกฉายไปตามทิศทางของความลาดชันที่ชันที่สุดเพื่อวัดความเร็วการเสียรูปของความลาดชัน (slope deformation velocity) (V_{SLOPE}) และได้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ฮอตสปอตของ Getis-Ord Gi* ดังนี้ว่า จาก 871 จุด มีระดับความมั่นใจอยู่ที่ 99% และมี 356 จุดที่มี V_{SLOPE} >33 มม./ปี และจัดดังกล่าวจะถูกกำหนดให้เป็นจุดดินถล่ม

อีกหนึ่งเทคนิคที่ใช้สำหรับการทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่ม คือการดึงคุณลักษณะของพื้นที่ดินถล่ม ด้วยการจัดกลุ่มดัชนีสเปกตรัมแบบ Gaussian (the Gaussian clustering of spectral indices) ในการศึกษานี้ใช้ดัชนีสเปกตรัมสองตัว ได้แก่ NDVI (Normalized difference vegetation index) และ BSI (Bare Soil Index) และข้อมูลเสริมจากภาพของความชัน (slope raster) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลอินพุตในอัลกอริธึมการจัดกลุ่มแบบ Gaussian เพื่อหาพื้นที่ดินถล่มแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยได้รับการยืนยันจากกลุ่มกระจุกตัวของจุดเกิดดินถล่ม โดยการเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมก่อนเกิดดินถล่มและหลังเกิดดินถล่มจากสามเหตุการณ์ที่แตกต่างกัน ในช่วงหลังพายุไต้ฝุ่น โดยสามารถหาพื้นที่ดินถล่มได้ทั้งหมด 200 พื้นที่ จากกระบวนการประมวลผลด้วยตนเอง

ข้อมูลดินถล่มถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ข้อมูลการฝึก 70% ซึ่งถูกใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าในอัลกอริธึมการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) สำหรับการทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่ม และข้อมูลการทดสอบ 30% ซึ่งถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินความถูกต้องของอัลกอริธึม โดยได้ผลลัพธ์ดังนี้ คือ อัลกอริธึมแบบการเรียนรู้เชิงลึก ในรูปแบบ CNN (Convolutional Neural Network) และ MLP (Multilayer perceptron) ให้ความถูกต้องที่สูงถึง 92% และ 89% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมทั่วไปให้ความถูกต้องที่น้อยลงมา พบว่า RF (Random Forest) ให้ความถูกต้องที่อยู่ที่ 86% ตามมาด้วย SVM (Support Vector Machine) อยู่ที่ 85% และ LR (Logistic Regression) ให้ความถูกต้องน้อยที่สุดคือ 79%

จากการประเมินพื้นที่ความเสี่ยงของดินถล่มในแต่ละจังหวัด พบว่า จากพื้นที่ทั้งหมด 2,500 ตร.กม. มีพื้นเสี่ยงแผ่นดินถล่มที่สูงมาก อยู่ที่ 990.92 ตร.กม. และมีพื้นเสี่ยงแผ่นดินถล่มที่สูง 701.58 ตร.กม. ทั้งนี้ในการทำแผนที่ความเสี่ยงต่อประชากรนั้น แสดงให้ เห็นว่า จาก 720 ตำบล ตำบลที่มีมีความเสี่ยงสูงถึง 290 ตำบล โดย 103 แห่งในนั้นมีความเสี่ยงสูงมาก โดยเขตเทศบาลเมืองบนเกาะราปูราปู (Rapu-rapu) ทั้งหมดมีความเสี่ยงสูงมาก ส่วนสำคัญของเขตเทศบาลติวี (Tiwi), มาลินาว (Malinao), มานิโต (Manito) และโฮเวเลียาร์ (Jovellar) ก็มีความเสี่ยงที่สูงมากเช่นกัน ในขณะที่พื้นที่ทั้งหมดของเมืองเลกัซปี (Legazpi) มีความเสี่ยงที่ต่ำมากที่จะเกิดดินถล่ม จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดการเพื่อลดผลกระทบของแผ่นดินถล่มในเขตที่มีความเสี่ยงได้

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2566 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

KARL MALCOLM N. CORDOVA : LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING OF ALBAY PROVINCE PHILIPPINES USING DEEP LEARNING ALGORITHMS. THESIS ADVISOR : TANAKORN SRITARAPIPAT, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. PANTIP PIYATADSANANON, Ph.D. 145 PP.

Keyword: LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY, LANDSLIDE INVENTORY MAPPING, DEEP LEARNING, CNN-2D, MLP

The province of Albay regularly experiences landslides due to its geographic location in the southeastern part of the island of Luzon, making it prone to natural disasters. Being located in the country's eastern seaboard, the province is regularly hit by typhoons entering the Philippines. Since the province is situated in the Pacific Ring of Fire, Albay is also tectonically active as characterized by the presence of active faults traversing the area and being the location of Mayon Volcano, which is the most active volcano in the Philippines.

Despite these circumstances which necessitate the need for landslide susceptibility mapping, there is still a lack of comprehensive studies in this field due to the difficulty of preparing and obtaining a landslide inventory. To overcome these challenges, the study utilized two remote sensing techniques to identify landslide features, namely PSI (persistent scatterer interferometry)-based hotspot analysis, and clustering of spectral indices.

The first technique; PSI was used to identify locations where landslides are highly likely to occur based on their stability threshold. PSI was performed on a stack of 62 ascending and 65 descending Sentinel-1 SAR images dated from July 30, 2017 to December 31, 2020, extracting a total of 277,525 PSI points measuring V_{LOS} (line-of-sight velocity) with a stability threshold of 11 mm./yr. VLOS measurements were projected along the direction of the steepest slope to measure slope deformation velocity (V_{SLOPE}). Results of Getis-Ord Gi* hotspot analysis showed that out of 871 points with a 99% degree of confidence, 356 points have a V_{SLOPE} of >33mm./yr. and are designated as landslide points.

Another technique used for landslide inventory mapping is the extraction of landslide features from the Gaussian clustering of spectral indices. In this study, two spectral indices (NDVI and BSI) supplemented with slope raster were used as input data in a Gaussian clustering algorithm to semi-automatically extract confirmed landslide features on clusters by comparing pre-landslide and post-landslide satellite images across three different dates, all of which were taken during the aftermath of typhoons. A total of 200 landslide features were successfully extracted through the manual post-processing of Gaussian clustering output features.

The landslide inventory data were split into 70% training data used as input in deep learning algorithms for landslide susceptibility mapping, and 30% testing data for accuracy assessment. Both deep CNN-2D and MLP showed high overall accuracy at 92% and 89%, respectively. Comparison with conventional machine learning algorithms showed that RF can perform on par with MLP with an overall accuracy of 86% followed closely by SVM at 85% and with LR showing the lowest accuracy at 79%.

Assessment of landslide susceptibility in the province shows that a total land area of 990.92 sq.km. out of 2500 sq.km. was classified as having very high susceptibility and 701.58 sq.km. at high susceptibility. Population risk exposure mapping also showed that 290 out of 720 subdistricts are at high risk with 103 of them at very high risk. The entire island municipality of Rapu-rapu is at very high risk. Significant parts of the municipalities of Tiwi, Malinao, Manito, and Jovellar are also at very high risk while the entirety of the city of Legazpi has very low risk to landslides. The results of the study imply the need of robust disaster risk reduction and management planning to mitigate the risk of landslides in vulnerable municipalities.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Mathematical Sciences
and Geoinformatics
Academic Year 2023

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____
Co-advisor's Signature _____