

โปรแกรมจำลองคุณภาพสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่ A Program to Model Mobile Station's Signal Quality and Hand-off

ณัฐฐา เหลือจ้อย, อนวัช พวงศิริ และ กฤษณา มามาตร*
Natta Lhuajoy, Anawat Phuangsiri and Kritsada Mamat*

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Department Electronic Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

*Email: kritsada.m@cit.kmutnb.ac.th

Received: March 05, 2021; Revised: May 18, 2021; Accepted: May 11, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้มีนำเสนอโปรแกรมจำลองคุณภาพของสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่โดยนำเส้นทางบนแผนที่จริงจากโปรแกรม Google Earth มาพิจารณาและใช้แบบจำลองของฮาทะเป็นตัวชี้วัดการลดทอนของสัญญาณโปรแกรมจำลองดังกล่าวสามารถวิเคราะห์และจำลองคุณภาพของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับรวมถึงตัดสินใจย้ายข้ามเซลล์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งบริเวณที่เป็นพื้นที่ทับซ้อนกันระหว่างสถานีฐานโดยการจำลองสร้างสถานีฐานและสุ่มจำนวนผู้ใช้แต่ละสถานีฐาน การใช้งานโปรแกรมจำลองดังกล่าวสามารถทำได้โดยการป้อนพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการออกแบบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ได้แก่ กำลังส่งของสถานีฐาน ความถี่ของสัญญาณส่ง ความสูง และมุมของสายอากาศส่ง หลังจากนั้นโปรแกรมจำลองจะทำการประมวลผลค่าคุณภาพของสัญญาณแสดงออกมาเป็นระดับสีที่แตกต่างกัน ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของสัญญาณขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น โดยคุณภาพของสัญญาณสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับพารามิเตอร์ให้เหมาะสม ในส่วนของการย้ายข้ามเซลล์นั้นโปรแกรมจำลองจะแสดงสถานีฐานที่เหมาะสมสำหรับเส้นทางที่นำมาทดสอบ ผู้ที่สนใจสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมจำลองดังกล่าวไปใช้งานได้ที่ส่วนท้ายของบทความนี้

คำสำคัญ : การย้ายข้ามเซลล์, คุณภาพของสัญญาณ, โปรแกรมส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

Abstract

This article proposes a program to indicate mobile station's signal quality and to make a hand-off decision. The path considered is imported from Google Earth and Hata model is selected to be a signal loss indicator. The proposed program can analyze and simulate the mobile station's signal qualities and select the optimal base station for a hand-off process by creating base stations and randomizing the user's positions. To operate the developed program, the user need to input essential parameters such as transmit power, operating frequency, height of base station and antenna angle. After that, the program will calculate the signal qualities of the intended user's route and show by different colors. Simulation results show that the mobile station's signal quality depends on the mentioned parameters. Performance of the system can be improved by adjusting parameters to be optimal. For a hand-off decision, the program will show the

optimal base station for the considered route. The interested readers can download the proposed program at the end of this article.

Keywords : Hand-off; signal quality ; Graphic User Interface (GUI)

1. บทนำ

การสื่อสารไร้สาย (wireless communication) เป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญในโลกยุคปัจจุบันเป็นอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ต่าง ๆ ได้มากกว่า การสื่อสารที่ต้องใช้สายส่งสัญญาณ (wireline communication) โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile communication) ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากเนื่องจากความสามารถในการสื่อสารที่พัฒนาไปอย่างก้าวกระโดดในยุคการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 (4G) และยุคที่ 5 (5G) ทำให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถรองรับการส่งข้อมูลความเร็วสูงได้นอกเหนือจากความสามารถในการสื่อสารด้วยเสียงพูดในการสื่อสารไร้สายในยุคก่อนหน้า [1]

อุปสรรคสำคัญในการสื่อสารไร้สายคือการสูญเสีย (loss) อย่างรุนแรงของสัญญาณอันเนื่องมาจากการสื่อสารโดยใช้อากาศเป็นตัวนำสัญญาณและการแทรกสอด (interference) จากผู้ใช้งานอื่นในระบบ [2] ปัญหาเหล่านี้นำมาซึ่งการขาดหาย (drop call) ของสัญญาณในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำให้การสื่อสารเกิดความไม่ต่อเนื่องในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ที่มีการจัดสรรช่วงความถี่เฉพาะสำหรับระบบและมีการประยุกต์ใช้ความถี่หลายซ้ำหลาย ๆ ชุดโดยจัดสรรความถี่ลงบนพื้นที่ให้บริการต่าง ๆ กันซึ่งพื้นที่ให้บริการดังกล่าวจะถูกเรียกว่า เซลล์ (cell) [3] กระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณระหว่างเซลล์ข้างเคียงจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากเนื่องจากทำให้การบริการแก่ผู้ใช้งานมีความต่อเนื่องและมีคุณภาพเป็นที่น่าพึงพอใจ ความสามารถของสถานีฐาน (base station) ที่ทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์หรือสถานีเคลื่อนที่ (mobile station) ณ ตำแหน่งต่าง ๆ สามารถใช้โทรศัพท์หรือสนทนาเป็นไปอย่างต่อเนื่องเรียกว่า กระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณหรือเทคนิคที่เรียกว่าแฮนด์ออฟ (handoff) หรือแฮนด์โอเวอร์ (handover) ด้วยกระบวนการนี้มีความสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่จะทำให้ระบบ

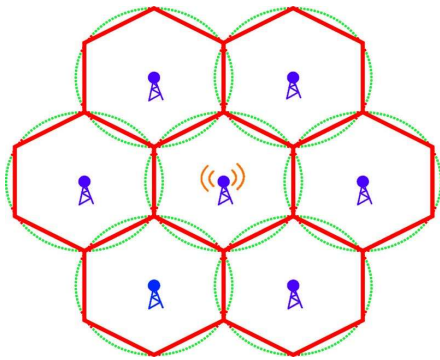
โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถสื่อสารได้อย่างสมบูรณ์เนื่องจากการทำให้สถานีเคลื่อนที่ที่สามารถรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้นก็คือการออกแบบสถานีฐานให้ครอบคลุมพื้นที่การใช้งาน สิ่งสำคัญในการตัดสินใจทำกระบวนการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่คือคุณภาพของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับจากทุกสถานีฐานได้เมื่อสถานีเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ทับซ้อนระหว่างเซลล์ การศึกษาคุณภาพสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่นั้นสามารถทำได้ด้วยการใช้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้แก่ กำลังส่งของสถานีฐาน ความถี่ของสัญญาณส่ง ความสูง และมุมของสายอากาศส่ง [3], [4] โดยทั่วไปแล้วสมการเหล่านี้มีความซับซ้อนและยากต่อการศึกษาและทำความเข้าใจถึงผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีต่อคุณภาพของสัญญาณ

บทความนี้ศึกษาพารามิเตอร์ที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่และนำเสนอออกมาในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจรวมทั้งนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมจำลองการย้ายเซลล์ที่เกิดขึ้นของสถานีเคลื่อนที่ดังกล่าวในส่วนในพื้นที่ที่มีการทับซ้อนกันระหว่างสถานีฐานในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปโดยอ้างอิงจากทฤษฎีต่าง ๆ ได้แก่หลักการของการย้ายข้ามเซลล์ พารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการออกแบบระบบ แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณและแบบจำลองการแทรกสอดของผู้ใช้งานรายอื่น การใช้งานโปรแกรมจำลองดังกล่าวนี้ผู้ใช้สามารถป้อนพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการออกแบบสถานีฐานให้ครอบคลุมเส้นทางการเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่ที่กำหนดโดยเส้นทางดังกล่าวเป็นเส้นทางเสมือนจริงจากโปรแกรม Google Earth โปรแกรมจำลองคุณภาพสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีฐานที่ได้จากบทความนี้มีประโยชน์ต่อ ครู อาจารย์ และนักศึกษาในการใช้ประกอบการเรียนการสอนวิชาที่เกี่ยวข้องกับหลักการโทรศัพท์เคลื่อนที่รวมไป

ถึงวิศวกรผู้ออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อใช้ในการ ออกแบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เบื้องต้น

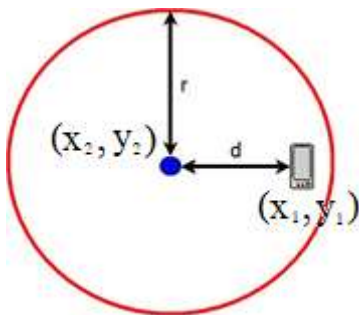
2. แบบจำลองของระบบ

บทความนี้สนใจระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ ตามที่แสดงในรูปที่ 1 จากรูปดังกล่าวกำหนดให้มีการแบ่ง พื้นที่ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกเป็นเซลล์แต่ละเซลล์ สามารถแสดงได้ด้วยพื้นที่รูปหกเหลี่ยมเส้นทึบสีแดง แต่ละ เซลล์มีสถานีฐานอยู่ที่กึ่งกลางทำหน้าที่กระจายสัญญาณให้ สถานีเคลื่อนที่ที่กระจายอยู่ภายในเซลล์ ในบทความนี้ กำหนดให้ที่สถานีฐานใช้สายอากาศแบบรอบตัว (omni directional antenna) ที่สามารถแพร่กระจายสัญญาณ วิทยุออกไปได้ทุกทิศทางเป็นวงกลมตามที่แสดงเอาไว้ด้วย เส้นประสีเขียวในรูป

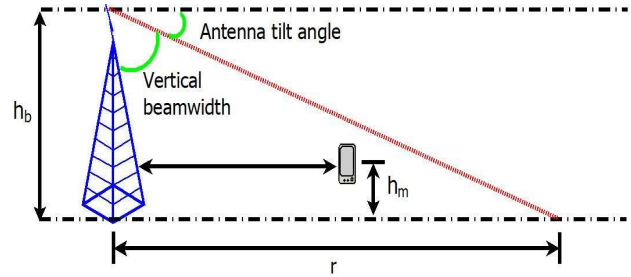


รูปที่ 1 แสดงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ [5]

เราสามารถพิจารณาเซลล์ใดเซลล์หนึ่งในรูปที่ 1 ใน รายละเอียดของพารามิเตอร์ที่สำคัญในระบบทั้งในมุมมอง ด้านบน (top view) และมุมมองด้านข้าง (side view) ได้ดัง รูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของเซลล์ในมุมมองด้านบน



รูปที่ 3 แสดงรายละเอียดของเซลล์ในมุมมองด้านข้าง

จากรูปที่ 2 และ 3 กำหนดให้ d เป็นระยะทางระหว่าง สถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่โดยสามารถคำนวณได้จาก สมการดังต่อไปนี้

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ (x_1, y_1) และ (x_2, y_2) คือตำแหน่งของ สถานีเคลื่อนที่และตำแหน่งของสถานีฐานในพิกัดคาร์ทีเซียน ตามลำดับ ระยะการแพร่กระจายสัญญาณ r ในหน่วย กิโลเมตรสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$r = \frac{h_b}{\tan\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right)} \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ h_b คือความสูงของสถานีฐานในหน่วยเมตร β คือความกว้างของลำคลื่นโดยมีค่าระหว่าง 1-10 องศา และ α คือมุมกอดของสายอากาศ (tilt) โดยมีค่าระหว่าง 1- 10 องศาและ $\alpha > \beta / 2$

ในส่วนของการลดทอนสัญญาณนั้นบทความนี้พิจารณา แบบจำลองการสูญเสียของฮาตะ (Hata model) [6] เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวสามารถใช้ประมาณการ ลดทอนของสัญญาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริงที่ระยะทาง มากกว่า 1 กิโลเมตรซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้กับ ระบบเซลลูลาร์ที่เซลล์มีขนาดใหญ่และมีรัศมีการ แพร่กระจายกว้าง แบบจำลองการลดทอนดังกล่าวเป็นการ กระจายเสถียรใหญ่ (large scale fading) โดยอาจนำมา พิจารณาร่วมกับการกระจายแบบพหุวิถี (multipath fading) ซึ่งเป็นการกระจายเสถียรเล็ก (small scale fading) [4] เพื่อให้ได้แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณที่สมจริง มากยิ่งขึ้น สำหรับแบบจำลองของฮาตะนั้นค่าการลดทอน

(path loss) หรือ $L_{p;dB}$ ในหน่วยเดซิเบลสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$L_{p;dB} = 69.55 + 26.16 \log(f) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] - \log(d) - 13.82 \log(h_m) - a(h_m) \quad (3)$$

เมื่อ f แทนความถี่ของสัญญาณวิทยุในหน่วยเฮิรตซ์

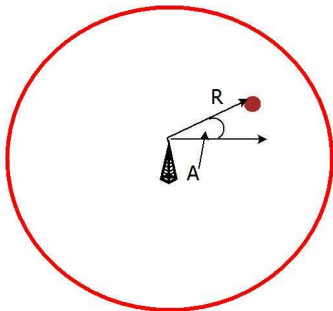
$$a(h_m) = 3.2[\log(11.75h_m)]^2 - 4.9 \quad (4)$$

และ h_m แทนความสูงของสถานีฐานในหน่วยเมตร ตามลำดับ จากสมการที่ (3) เราสามารถคำนวณกำลังของสัญญาณที่รับได้ ณ สถานีเคลื่อนที่ P_r ในหน่วยดีบีเอ็มได้ดังสมการต่อไปนี้

$$P_{r;dB} = P_{t;dB} - L_p \quad (5)$$

เมื่อ $P_{t;dB}$ คือกำลังส่งของสถานีฐานในหน่วยดีบีเอ็ม

บทความนี้สนใจระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีผู้ใช้งานในเซลล์พร้อมกันหลายรายโดยรูปแบบของการกระจายตัวของผู้ใช้แต่ละรายในเซลล์ที่สนใจนั้นกำหนดให้เป็นแบบยูนิฟอร์มกล่าวคือผู้ใช้แต่ละรายกระจายตัวอยู่ภายในเซลล์อย่างสม่ำเสมอด้วยความน่าจะเป็นเท่ากัน การกระจายตัวแบบยูนิฟอร์มดังกล่าวสามารถใช้จำลองตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ในระบบที่มีเซลล์ขนาดใหญ่และผู้ใช้ไม่กระจุกตัวในตำแหน่งที่อยู่ใกล้สถานีฐานได้เป็นอย่างดีบทความนี้ใช้พิกัดเชิงขั้วในการสร้างตำแหน่งของสถานีฐานตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการสร้างแบบจำลองการกระจายตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ในพิกัดเชิงขั้ว

จากรูปที่ 4 กำหนดให้ A แทนมุมและ R แทนขนาดในพิกัดเชิงขั้วตามลำดับโดยพารามิเตอร์ทั้งสองสามารถอธิบายได้ตามสมการต่อไปนี้

$$A = 2\pi U \quad (6)$$

$$R = rU \quad (7)$$

เมื่อ U แทนตัวแปรสุ่มยูนิฟอร์มที่มีการกระจายอยู่ในช่วง $[0,1]$ สำหรับการแปลงพิกัดเชิงขั้วให้อยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียนของผู้ใช้แต่ละรายสามารถทำได้จากสมการต่อไปนี้

$$X_m = R \cos(A) \quad (8)$$

$$Y_m = R \sin(A) \quad (9)$$

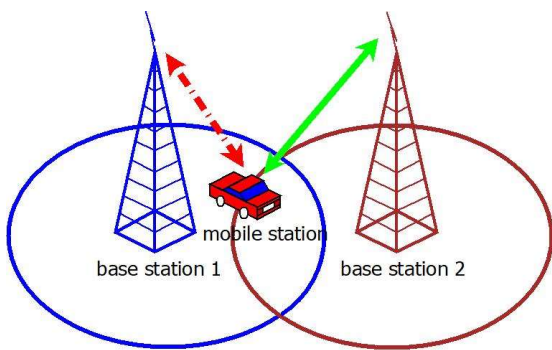
เมื่อ X_m และ Y_m แทนตำแหน่งในแกน x และแกน y ของผู้ใช้แต่ละรายในพิกัดคาร์ทีเซียนตามลำดับ นอกจากการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์มที่เลือกใช้ในบทความนี้แล้วในงานวิจัยอื่นยังนำเสนอการกระจายตัวของสถานีฐานในรูปแบบอื่น ๆ โดยในงานวิจัย [7] นำเสนอการกระจายตัวแบบไม่ยูนิฟอร์มงานวิจัย [8], [9] เสนอการกระจายตัวแบบปัวซอง ในการวัดสมรรถนะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีผู้ใช้งานพร้อมกันหลายรายนั้นบทความนี้เลือกใช้อัตราส่วนของกำลังรับต่อกำลังแทรกสอด (signal-to-interference ratio) หรือ SIR ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$SIR = \frac{P_{r;w}}{\sum_{i=1}^{N-1} P_{i;w}} \quad (10)$$

เมื่อ $P_{r;w}$ แทนกำลังของผู้ใช้ที่สนใจในหน่วยวัตต์ $P_{i;w}$ แทนกำลังของผู้ใช้ที่เป็นสัญญาณแทรกสอดและ N แทนจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์ที่สนใจ

กระบวนการย้ายข้ามเซลล์ (handoff หรือ handover process) คือกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณในการติดต่อสื่อสารซึ่งเป็นกระบวนการส่งต่อการใช้งานหรือการบริการของสถานีเคลื่อนที่จากช่องสัญญาณหนึ่งไปยังอีกช่องสัญญาณหนึ่งของเซลล์ข้างเคียงเพื่อให้เกิดบริการที่ต่อเนื่องไม่ถูกขัดจังหวะและมีคุณภาพของสัญญาณเป็นที่น่าพึงพอใจ [3] เนื่องจากในขณะการสนทนาคู่สนทนาทั้งสอง

ฝ่ายจะอยู่บนช่องสัญญาณเสียง (voice channel) ที่สถานีฐานกำหนดให้ เมื่อผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ออกจากสถานีฐานที่กำลังใช้งานอยู่จนใกล้เขตแดนระหว่างเซลล์ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานนั้น ๆ ก็จะลดลงอย่างต่อเนื่องตามระยะทางที่ห่างออกไปดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งส่งผลให้คุณภาพการบริการที่สถานีเคลื่อนที่ได้รับนั้นด้อยลงไปแต่ในขณะเดียวกันความแรงที่ผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานของเซลล์ข้างเคียงก็จะมีกำลังที่สูงขึ้น สถานีฐานแรกนั้นก็จะทำการขอย้ายข้ามเซลล์ไปยังชุมสาย ในกรณีนี้สถานีข้างเคียงนั้นมีช่องสัญญาณว่างอยู่ระบบก็จะทำการสลับช่องสัญญาณเสียงไปยังสถานีฐานข้างเคียงโดยไม่มีการขัดจังหวะการสนทนาของผู้ใช้เกิดขึ้นในระหว่างการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่จากสถานีฐานที่ 1 ไปยังสถานีฐานที่ 2



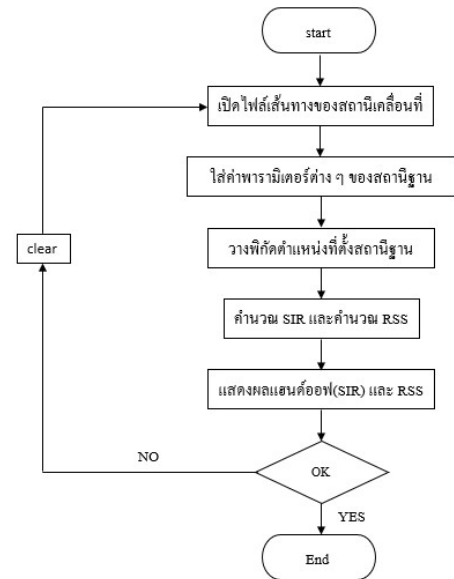
รูปที่ 5 แสดงการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ภาพรวมของโปรแกรมจำลอง

โปรแกรมจำลองนี้ทำการออกแบบให้เป็น GUI (Graphic User Interface) ซึ่งสามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลูลาร์ เช่น พิกัดและความสูงของสถานีฐาน มุมของสายอากาศ ความถี่ของคลื่นวิทยุและจำนวนผู้ใช้ในระบบได้ตามต้องการของผู้ใช้ โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงเส้นทางที่นำมาพิจารณาด้วยว่าควรจะวางพิกัดของสถานีฐานไว้ตำแหน่งใดเพื่อให้ครอบคลุมเส้นทางที่กำหนดและเพื่อให้การรับส่งสัญญาณมีคุณภาพ ซึ่งระดับคุณภาพของสัญญาณ

จะแสดงตามแถบสีทั้งหมด 7 สีแต่ละสีจะบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ของสถานีเคลื่อนที่ นอกจากนี้โปรแกรมจำลองดังกล่าวยังสามารถแสดงการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่ได้ด้วย ผู้ใช้สามารถปรับค่าต่าง ๆ ได้เมื่อสถานีเคลื่อนที่ได้รับคุณภาพของสัญญาณต่ำโดยทำการใส่ค่าพารามิเตอร์ใหม่เพื่อให้คุณภาพมีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรมจำลองเป็นไปตามดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรมจำลอง

3.2 การย้ายข้ามเซลล์ด้วยกระบวนการตัดสินใจด้วย SIR

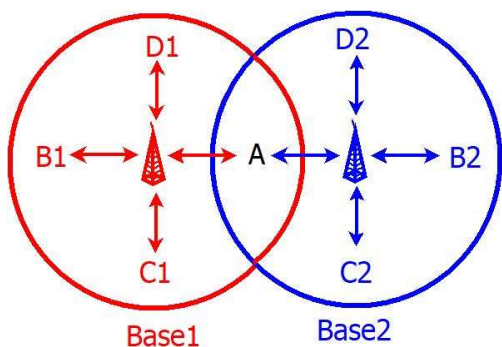
การย้ายข้ามเซลล์ด้วยกระบวนการตัดสินใจจาก SIR จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสถานีเคลื่อนที่ที่สนใจเคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่ทับซ้อนระหว่างสองเซลล์ที่อยู่ติดกันตามที่แสดงเป็นตัวอย่างเอาไว้ในรูปที่ 7 จากรูปจะเห็นว่าสถานีเคลื่อนที่ A อยู่ในพื้นที่ทับซ้อนของสถานีฐาน Base1 และสถานีฐาน Base2 โดยนอกจากสถานีเคลื่อนที่ A แล้วแต่ละสถานีฐานยังให้บริการสถานีเคลื่อนที่หรือผู้ใช้งานรายอื่นกล่าวคือ สถานีฐาน Base1 ให้บริการสถานีเคลื่อนที่ B1, C1 และ D1 ในทำนองเดียวกันสถานีฐาน Base2 ในบริการสถานีเคลื่อนที่ B2, C2 และ D2 ตามลำดับ สถานีเคลื่อนที่เหล่านี้จะถูกนำมาคิดเป็นกำลังแทรกสอดในการคิด SIR ของสถานีเคลื่อนที่ A ในลำดับถัดไป จากสถานการณ์ดังกล่าวเราสามารถคำนวณหา SIR ของสถานีเคลื่อนที่ A กรณีที่

รับสัญญาณจากสถานีฐาน Base1 และสถานีฐาน Base2 ตามลำดับได้ตั้งสมการต่อไปนี้

$$SIR_{A;Base1} = \frac{P_{A1}}{P_{B1} + P_{C1} + P_{D1}} \quad (11)$$

$$SIR_{A;Base2} = \frac{P_{A1}}{P_{B2} + P_{C2} + P_{D2}} \quad (12)$$

เมื่อ P_{Xn} แทนกำลังของสถานีเคลื่อนที่ x ซึ่งได้รับมาจากสถานีฐาน n จากสมการที่ (11) และ (12) สถานีเคลื่อนที่ A จะเลือกย้ายข้ามเซลล์ไปยังสถานีฐานที่ให้ค่า SIR สูงกว่า ตัวอย่างเช่นในกรณีนี้ที่ $SIR_{A;Base1}$ มีค่ามากกว่า $SIR_{A;Base2}$ สถานีเคลื่อนที่ A จะทำการย้ายข้ามเซลล์ไปยังสถานีฐาน Base1 สำหรับการใช้งานเครือข่าย ณ เวลานั้น



รูปที่ 7 กระบวนการตัดสินใจย้ายข้ามเซลล์โดยใช้ SIR

3.3 การสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้สำหรับแสดงคุณภาพของสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์

รูปที่ 8 แสดงการออกแบบ GUI เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถใช้งานโปรแกรมจำลองคุณภาพสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่ที่นำเสนอในบทความนี้ได้ง่ายขึ้น

จากรูปส่วนต่าง ๆ ของ GUI แต่ละส่วนจะมีการใช้งานดังนี้

หมายเลข 1: เป็นปุ่มที่ใช้ในการเลื่อน ขยาย และย่อผลการประมวลผลที่แสดง

หมายเลข 2: File Route ใช้สำหรับการเลือกเปิดไฟล์เส้นทางจาก Google Earth ที่ได้ทำการบันทึกไว้โดยไฟล์จะต้องอยู่ในแฟ้มข้อมูลเดียวกับตัวโปรแกรม

หมายเลข 3: แถบ Design Base Station's เป็นแถบสำหรับใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ กำลังส่ง ความถี่ ความสูงของสถานีฐานและผู้ใช้ มุมกตของสายอากาศ จำนวนผู้ใช้งานทั้งหมดที่สถานีฐานให้บริการ และพิกัดที่ตั้งของสถานีฐานโดยผู้ใช้งาน

จำเป็นต้องกรอกค่าให้ครบทุกสถานีฐานโปรแกรมจึงจะทำงานตามคำสั่งได้

หมายเลข 4: Run เป็นคำสั่งสำหรับประมวลผลโปรแกรม

หมายเลข 5: ส่วนหน้าจอการแสดงผล

หมายเลข 6: เป็นแถบสำหรับเลือกดูผล SIR และคุณภาพของสัญญาณ RSS (received signal strength)

หมายเลข 7: Clear เป็นคำสั่งล้างหน้าจอลงแสดงผลทั้งหมด

หมายเลข 8: แถบสีแสดงระดับความแรงของสัญญาณ RSS ซึ่งแต่ละสีแสดงคุณภาพของสัญญาณที่แตกต่างกันโดยเรียงลำดับจากคุณภาพที่ดีมากไปต่ำมาดังนี้ : เขียวเข้ม > เขียวอ่อน > เหลือง > ฟ้า > น้ำเงิน > ม่วง > แดง > ดำ

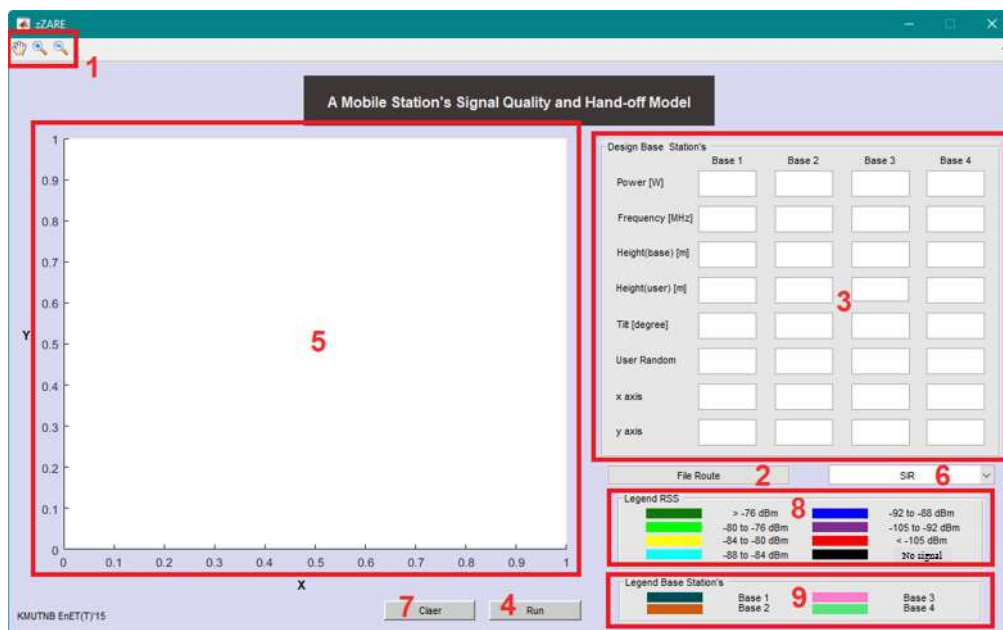
หมายเลข 9: แถบแสดงสีของแต่ละสถานีฐานเพื่อบ่งบอกว่าสีใดคือสถานีฐานใด

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบ

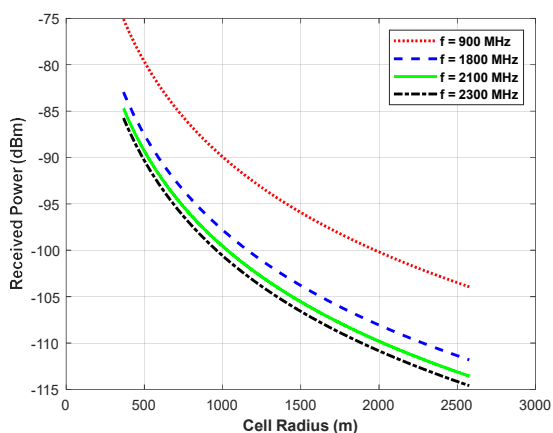
เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการใช้งานโปรแกรมจำลองที่นำเสนอในบทความนี้มากขึ้น ในหัวข้อนี้จะขอนำเสนอผลของการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบเซลล์ลูลาร์ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 แบบจำลองระบบซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากรูปที่ 2 และ 3 ในบทความนี้

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่รับได้ ณ สถานีเคลื่อนที่ $P_{r;dB}$ กับรัศมีเซลล์ r โดยกำหนดให้ความสูงของสถานีฐานเท่ากับ 45 เมตรและความสูงของสถานีเคลื่อนที่เท่ากับ 2 เมตร กำลังส่งที่สถานีฐานเท่ากับ 2 วัตต์ ความกว้างของลำคลื่น β และมุมกตของสายอากาศ α มีค่าเท่ากับเท่ากับ 6 และ 4 องศาตามลำดับ โดยความถี่แตกต่างกัน 4 ความถี่ได้แก่ย่านความถี่ที่ 900 1,800 2,100 และ 2,300 MHz



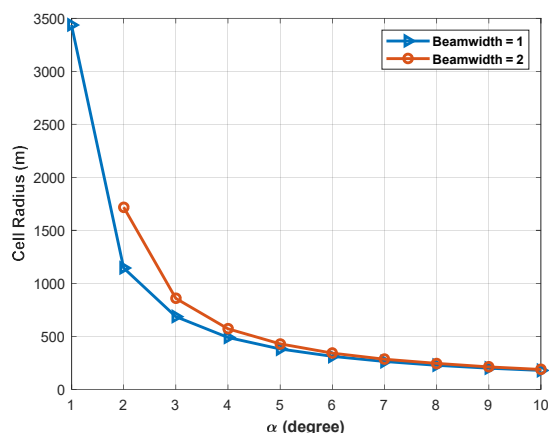
รูปที่ 8 การออกแบบ GUI เพื่อใช้งานโปรแกรมจำลองที่นำเสนอ

จากรูปจะพบว่าเมื่อรัศมีขอบเซลล์มีระยะที่มากขึ้นความแรงของสัญญาณที่ได้รับมีค่าลดลง ซึ่งอธิบายได้ว่าความห่างของรัศมีขอบเซลล์มีผลต่อความแรงของสัญญาณที่ได้รับ นอกจากนี้ยังพบว่าความถี่ของคลื่นวิทยุที่สูงขึ้นส่งผลให้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับมีค่าลดลง ตัวอย่างเช่นที่ระยะทางที่ 2,500 เมตร ความถี่ 900 MHz ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่าเท่ากับ -103.5 dBm ส่วนที่ความถี่ 2,300 MHz ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีค่าเท่ากับ -115.5 dBm

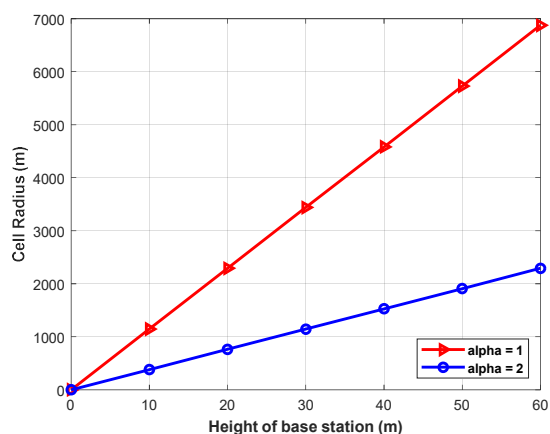


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับและรัศมีขอบเซลล์ที่ความถี่แตกต่างกัน

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมกตของสายอากาศ α กับรัศมีขอบเซลล์ r โดยกำหนดความสูงของสถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่เท่ากับ 30 เมตร และ 2 เมตรตามลำดับ กำหนดให้ความกว้างของลำคลื่น β เท่ากับ 1 และ 2 องศา จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการปรับมุม α จาก 1 ถึง 10 ทำให้รัศมีขอบเซลล์ลดลงจึงสามารถสรุปได้ว่าการปรับค่า α ส่งผลต่อรัศมีขอบเซลล์ในการส่งสัญญาณของสถานีฐานเป็นอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงที่ α มีค่าน้อยมาก (0-5 องศา)

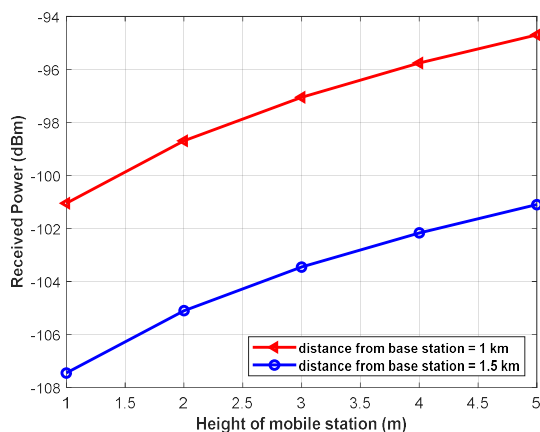


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีขอบเซลล์และมุมกตของสายอากาศที่ค่า β เท่ากับ 1 และ 2 องศา



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีขอบเซลล์และความสูงของสถานีฐาน

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับความสูงของสถานีฐาน h_b กับรัศมีขอบเซลล์ r โดยกำหนดให้ความกว้างของลำคลื่น β เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1 องศา มุมกอด α เท่ากับ 1 และ 2 องศาตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าความสูงของสถานีฐานและมุมกอดส่งผลต่อรัศมีขอบเซลล์เป็นอย่างมากโดยรัศมีขอบเซลล์แปรผันตรงกับความสูงของสถานีฐานและแปรผกผันกับมุมกอดของสายอากาศส่ง

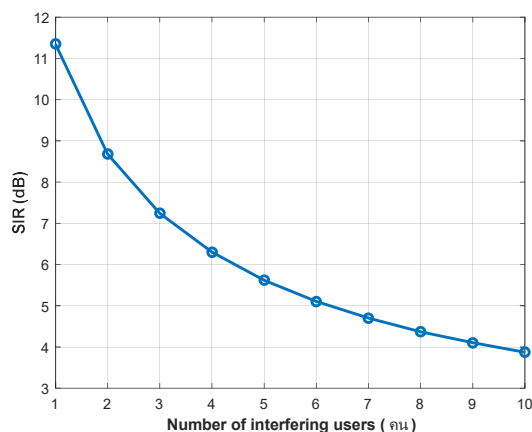


รูปที่ 12 ความสัมพันธ์กำลังรับและความสูงของสถานีเคลื่อนที่

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณที่รับได้ $P_{r,dB}$ กับความสูงของสถานีเคลื่อนที่ h_m โดยมีการกำหนดกำลังงานในการส่งเท่ากับ 5 วัตต์ ความถี่

ของสัญญาณเท่ากับ 1,800 MHz β และ α เท่ากับ 6 และ 4 องศาตามลำดับโดยได้ทำการเปรียบเทียบที่ระยะห่างของสถานีเคลื่อนที่จากสถานีฐานเท่ากับ 1 และ 1.5 กิโลเมตรจากรูปจะเห็นว่าเมื่อสถานีเคลื่อนที่มีความสูงที่มากขึ้นส่งผลให้ความแรงของสัญญาณที่รับได้มีคุณภาพที่ดีขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่นในระยะทาง 1 กิโลเมตรเมื่อสถานีเคลื่อนที่สูง 2 เมตรสัญญาณที่รับได้เท่ากับ -105 dBm แต่เมื่อปรับความสูงเป็น 4 เมตร สัญญาณที่รับได้เท่ากับ -102.2 dBm ส่วนในระยะทาง 1.5 กิโลเมตรเมื่อสถานีเคลื่อนที่สูง 2 เมตรสัญญาณที่รับได้เท่ากับ -98.8 dBm และเมื่อปรับความสูงเป็น 4 เมตร สัญญาณที่รับได้เท่ากับ -95.8 dBm

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอด SIR กับจำนวนผู้ใช้ที่เป็นสัญญาณแทรกสอดตั้งแต่ 1 – 10 คน โดยที่มีการกำหนดความสูงของสถานีฐานเท่ากับ 30 เมตร ความสูงของสถานีเคลื่อนที่เท่ากับ 2 เมตร กำลังงานในการส่งเท่ากับ 5 วัตต์ ความถี่เท่ากับ 900 MHz จากรูปจะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานให้มากขึ้นทำให้อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอดมีค่าน้อยลงนั่นคือกำลังของสัญญาณที่รับได้ ณ สถานีเคลื่อนที่จะมีค่าน้อยลงตามไปด้วยเนื่องจากการแทรกสอดที่เพิ่มมากขึ้น

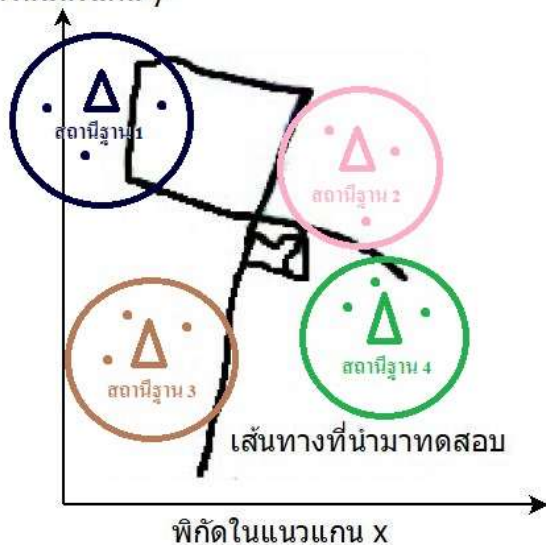


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอด SIR ในหน่วยเดซิเบล และจำนวนผู้ใช้ที่เป็นสัญญาณแทรกสอด (คน)

4.2 การทดสอบการใช้งานโปรแกรมจำลองที่นำเสนอ

ในการทดสอบโปรแกรมจำลองที่พัฒนาขึ้นในบทความนี้นั้น ผู้เขียนได้กำหนดวิธีการทดสอบตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 14

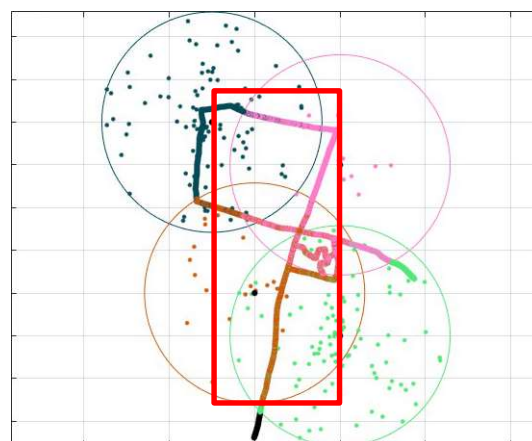
พิกัดในแนวแกน y



รูปที่ 14 ระบบที่ใช้ทดสอบโปรแกรมที่นำเสนอในบทความ

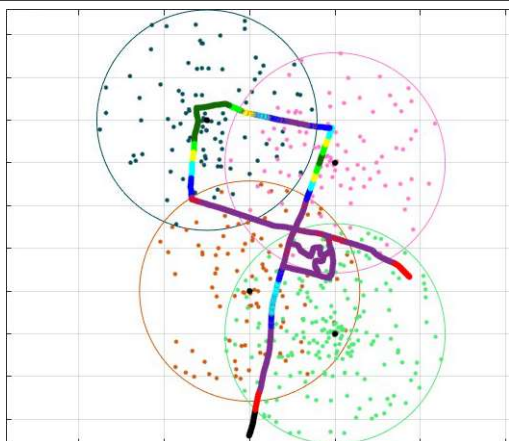
จากรูปที่ 14 กำหนดให้เส้นสีดำแทนเส้นทางการเดินทางของสถานีฐาน เส้นทางดังกล่าวเป็นเส้นทางที่มีอยู่จริงโดยนำเข้ามาจากโปรแกรม Google Earth ในรูปดังกล่าวมีสถานีฐานจำนวน 4 สถานีโดยสีน้ำเงินเข้มแทนสถานีฐานที่ 1 สีชมพูแทนสถานีฐานที่ 2 สีน้ำตาลแทนสถานีฐานที่ 3 และสีเขียวอ่อนแทนสถานีฐานที่ 4 ในแต่ละสถานีฐานมีผู้ใช้ที่ทำหน้าที่เป็นสัญญาณแทรกสอดแทนด้วยจุดสีเดียวกับสถานีฐาน โดยทั้งหมดอยู่ในพิกัดคาร์ทีเซียน x และ y ตามลำดับ ในการทดสอบโปรแกรมจำลองนั้นผู้ใช้ต้องกำหนดพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ ให้แก่แต่ละสถานีฐาน ได้แก่ กำลังส่ง ความถี่ของสัญญาณ ความสูงของสถานีฐาน มุมกวดของสายอากาศส่งและพิกัดในแกน x และ y โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมเส้นทางทั้งหมด และเมื่อส่วนของเส้นทางมีการย้ายข้ามเซลล์ไปยังสถานีฐานใดสีของส่วนของเส้นทางจะเปลี่ยนไปตามสีของสถานีฐานนั้น

รูปที่ 15 แสดงผลการย้ายข้ามเซลล์ที่เกิดขึ้นของสถานีเคลื่อนที่ตลอดเส้นทางที่นำมาทดสอบโดยตัดสีใจจากอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอด SIR ที่สถานีเคลื่อนที่ได้รับ จากรูปสีของเส้นทางจะเปลี่ยนไปตามสถานีฐานที่สถานีเคลื่อนที่ย้ายข้ามเซลล์ไป จะพบว่าตลอดเส้นทางมีการย้ายข้ามเซลล์ที่แตกต่างกันไปตามสถานีฐาน โดยถ้าเส้นทางอยู่ในขอบเขตการใช้งานของสถานีฐานใดก็จะรับสัญญาณจากที่สถานีฐานนั้น ในส่วนเส้นทางที่อยู่บริเวณพื้นที่ทับซ้อนกันระหว่างสถานีฐานจะมีการย้ายข้ามเซลล์เกิดขึ้นดังในรูป โดยการย้ายข้ามเซลล์ดังกล่าวจะตัดสีใจจากค่าของ SIR ตามที่อธิบายไว้ข้างต้นและสำหรับเส้นทางที่เป็นสีดำคือไม่สามารถรับค่าได้หรือไม่มีการเชื่อมต่อ เพราะเนื่องจากเส้นทางไม่อยู่ในบริเวณขอบเขตการให้บริการของสถานีฐานใด ๆ



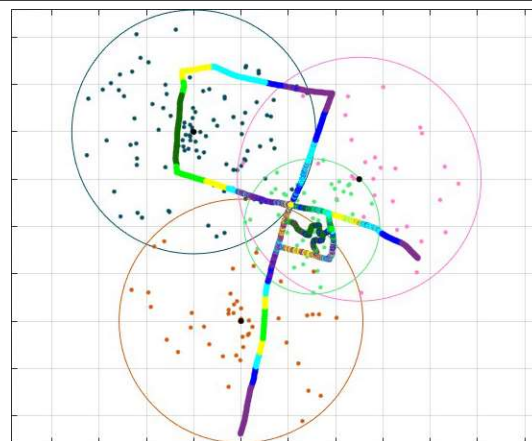
รูปที่ 15 แสดงการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีฐานในเส้นทางที่กำหนดโดยใช้โปรแกรมจำลองที่นำเสนอ

รูปที่ 16 แสดงผลของความแรงของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ ซึ่งความแรงหรือคุณภาพของสัญญาณที่รับได้นั้นจะแสดงผลตามระดับสีที่โปรแกรมได้กำหนดไว้โดยสีเขียวเข้มจะแสดงว่าสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ได้รับมีคุณภาพดีที่สุด ส่วนสีแดงนั้นจะแสดงว่าสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ที่มีคุณภาพที่ต่ำมากและสีดำคือไม่สามารถใช้งานได้



รูปที่ 16 แสดงผลของความแรงของสัญญาณที่รับได้

ในกรณีสัญญาณที่ได้รับเป็นสีแดงแสดงว่าสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับมีคุณภาพต่ำ จนไม่สามารถใช้งานหรือเชื่อมต่อได้ เนื่องจากอาจอยู่ในบริเวณพื้นที่ขอบของสถานีฐานหรือสัญญาณที่ได้รับเป็นสีดำแสดงว่าไม่สามารถใช้งานได้เลย เนื่องจากเส้นทางไม่อยู่ในบริเวณขอบเขตการใช้งานของสถานีฐานใดๆ เลย ดังนั้นผู้ใช้สามารถทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 17 ที่ได้ทำการปรับกำลังส่งมากขึ้น ปรับมุมกวดของสายอากาศให้เจาะจงบริเวณพื้นที่มากขึ้น ปรับความสูงของสายอากาศ รวมถึงการปรับพิคกัตที่ตั้งของสถานีฐานใหม่เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น จะเห็นว่าสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ในรูปที่ 17 จะไม่มีสีแดงหรือสีดำ ซึ่งหมายความว่ามีความคุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น และครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น เมื่อพิจารณาภาพที่ 17 จะพบว่ามีบางสถานีฐานที่มีรัศมีให้บริการลดลงอย่างมากซึ่งสามารถเป็นไปได้เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อที่ระบบสามารถให้บริการสถานีเคลื่อนที่ได้อย่างราบรื่นตลอดเส้นทางที่นำมาทดสอบ อย่างไรก็ตามการปรับพารามิเตอร์ตามรูปที่ 17 นั้นยังไม่เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยการปรับเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดนั้นการกำหนดเงื่อนไขของโปรแกรมจะมีความซับซ้อนมาก

รูปที่ 17 ผลของความแรงของสัญญาณที่รับได้
หลังทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบ

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

บทความนี้นำเสนอโปรแกรมจำลองคุณภาพสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่ขึ้นเพื่อต้องการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของสัญญาณและการย้ายข้ามเซลล์ของสถานีเคลื่อนที่ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4 เช่น ค่ารัศมีขอบเซลล์จะแปรผกผันกับคุณภาพของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ กล่าวคือยิ่งรัศมีขอบเซลล์เพิ่มขึ้นที่ขอบเซลล์ก็จะได้รับคุณภาพของสัญญาณที่ต่ำลง จำนวนผู้ใช้ที่เป็นสัญญาณแทรกสอดในแต่ละสถานีฐานจะแปรผกผันกับอัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณแทรกสอด โดยจำนวนผู้ใช้งานในแต่ละสถานีฐานจะส่งผลให้เกิดการย้ายข้ามเซลล์ที่ต่างกัน โปรแกรมจำลองที่นำเสนอในบทความนี้สามารถใช้จำลองสถานการณ์การย้ายข้ามเซลล์ของเส้นทางที่สนใจได้เป็นอย่างดีนอกจากนี้โปรแกรมจำลองดังกล่าวยังสามารถแสดงคุณภาพของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในเส้นทางรวมทั้งสามารถปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์เนื่องจากเส้นทางที่นำมาใช้ในโปรแกรมจำลองนี้เป็นเส้นทางจริงที่นำมาจากโปรแกรม Google Earth ดังนั้นโปรแกรมจำลองนี้จึงเป็นประโยชน์มากสำหรับใช้ศึกษาการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์เบื้องต้น

แนวทางการพัฒนาในอนาคตเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของโปรแกรมจำลองนี้ได้แก่การพัฒนาโปรแกรมให้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบให้เหมาะสมเพื่อให้ได้สัญญาณมีคุณภาพสูงที่สุดในแต่ละตำแหน่งของเส้นทางพัฒนาโปรแกรมให้สามารถสร้างสถานีฐานได้มากขึ้นจากที่กำหนดไว้เนื่องจากโปรแกรมนี้อาจจำลองได้มากที่สุดแค่ 4 สถานีฐาน พัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานสายอากาศชนิดเจาะจงทิศทาง (sector antenna) ได้และพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานแผนที่จริงได้

สำหรับผู้สนใจทดลองใช้งานโปรแกรมจำลองที่นำเสนอในบทความนี้สามารถเข้าไปดาวน์โหลดโปรแกรมจำลองและคู่มือการใช้งานได้จากลิงค์ด้านล่างนี้

https://drive.google.com/drive/folders/10uZe8oUB_XYhPInjRk54WcW-gUiQ-3u

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Daengsi and P. Pornpongtechavanich, "5G: The Communication Technology of the Next Decade (in Thai)," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 162–180, May–August, 2019.
- [2] F. Box, "Utilization of Atmospheric Transmission Losses for Interference-Resistant Communications," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 34, no. 10, pp. 1009–1015, October, 1986.
- [3] K. Wesolowski, "The cellular system concept," in *Mobile Communication Systems*, 1st ed. West Sussex, UK, 2002, ch. 5, sec. 5.1, pp. 135–143.
- [4] D. Tse and P. Viswanath, "Cellular systems: multiple access and interference management," in *Fundamentals of Wireless Communication*, 1st ed. Cambridge University Press, UK, 2005, ch. 4, sec. 4.1, pp. 120–165.
- [5] notAdmin. What is the difference between a cell phone and a mobile phone. [Online]. (2016). [Cited March 4, 2021]. Available:

<http://notadmin.com/fantonyms/mobile-phone-cellular-telephone/>

- [6] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 317–325, August, 1980.
- [7] H. S. Dhillon, R. K. Ganti and J. G. Andrews, "Modeling Non-Uniform UE Distributions in Downlink Cellular Networks," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 2, no. 3, pp. 339–342, June 2013.
- [8] J. G. Andrews, F. Baccelli, and R. K. Ganti, "A tractable approach to coverage and rate in cellular networks," *IEEE Transaction on Communications*, vol. 59, no. 11, pp. 3122–3134, November 2011.
- [9] H. S. Dhillon, R. K. Ganti, F. Baccelli, and J. G. Andrews, "Modeling and analysis of K-tier downlink heterogeneous cellular networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 30, no. 3, pp. 550 – 560, April 2012