



การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม
แบบแพร่ย้อนกลับสำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4

**Vertical Handover Decision Using Back-Propagation Neural Network for
4G Wireless Networks**

นางสาวชนิดา กิมภา
นางสาวสิรินดา กาศีวี

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

แขนงวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2556

การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม
แบบแพร่ย้อนกลับสำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4

**Vertical Handover Decision Using Back-Propagation Neural Network for
4G Wireless Networks**



โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

แขนงวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2556

หัวข้อโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า

เรื่อง การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ
สำหรับการ สื่อสารไร้สายในยุคที่ 4

โดย

นางสาวชนิดา กิมภา
นางสาวสิรินดา คาศิวี

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำคุณ ศรีสนิท

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์สุนิศา कुमारักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อนุมัติให้นับโครงการ
วิศวกรรมไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวทิน ปียรรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....
๑๕ ๖/๖๖

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญไชย ไทยเยี่ยม)

.....

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำคุณ ศรีสนิท)

.....
๑๕

กรรมการ

(อาจารย์ พิษญา ชัยปัญญา)

.....
๑๕

กรรมการ

(อาจารย์สุนิศา कुमारักษ์)

การตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยใช้วิธีนอร์มัลเนตเวิร์ค แบบแพร่ย้อนกลับสำหรับการ

สื่อสารไร้สายในยุคที่ 4

ปีการศึกษา 2556

โดย

นางสาวชนิดา กิมภา

นางสาวสิรินดา คาศิวี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นำคุณ ศรีสนธิ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์สุนิศา कुमारภัย

บทคัดย่อ

โครงการวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์การใช้งานของระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยนำมาช่วยตัดสินใจในกระบวนการแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งของระบบการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังถูกนำมาใช้ในปัจจุบัน สำหรับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทั้งในด้านของการสื่อสารโดยใช้เสียง การรับ-ส่งข้อมูลต่าง ๆ ทั้งภาพนิ่งและวิดีโอ จะต้องสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพมากขึ้น โดยอาศัยโทรศัพท์เคลื่อนที่เพียงเครื่องเดียวเท่านั้นเพื่อความสะดวกของผู้ใช้ และด้วยความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงส่งผลทำให้การขยายระบบไม่สามารถกระทำได้ที่ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้มีแนวคิดในการทำโครงการวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการออกแบบระบบการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 โดยมีการจำลอง 3 เครือข่ายไร้สาย ได้แก่ Mobile WiMAX, WiFi และ LTE โดยนำข้อมูลความแรงของสัญญาณ ความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิก และต้นทุนค่าใช้จ่ายของทั้ง 3 เครือข่าย มาพิจารณาตัดสินใจที่จะทำการแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB แสดงผลประสิทธิภาพในรูปของอัตราการแฮนด์โอเวอร์ และอัตราการเรียกขาดหายของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีเทรชโฮลซึ่งเป็นวิธีการแฮนด์โอเวอร์แบบดั้งเดิม โดยจากการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถลดการแฮนด์โอเวอร์และอัตราการเรียกขาดหายจากแบบเดิมลงได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครือข่ายไร้สายยุคที่ 4/ การแพร่ย้อนกลับ/ แฮนด์โอเวอร์/ โครงข่ายประสาทเทียม/ แมทแลป

Vertical Handover Decision Using Back Propagation Neural for 4G Wireless Networks

Academic year 2013

By

Ms. Chanida Kimpa

Ms. Sirinda Kadeewee

Project Report Advisor

Asst. Prof. Dr.Namkhun Srisanit

Co – Advisor

Ms. Sunisa Kunarak

ABSTRACT

This engineering project is intended to apply using the Back Propagation Neural Network (BPNN) system that is used the decision process in the vertical handover in Fourth Generation (4G) wireless networks. This 4G of wireless communications describes the heterogeneous wireless environment with different access networks technologies that can support the ever-increasing of user demands in high speed data, real and non-real time multimedia services on an anywhere at anytime from any network. So that, the next generation wireless networks must be able to coordinate services between heterogeneous networks through multi-mode mobile terminals. Such heterogeneity poses a challenge to seamless handover since each access network has different operations. In this engineering project, the considered metrics for handoff initiation include the received signal strength, traffic intensity and monetary cost. To evaluate the proposed algorithm, we simulated the results by MATLAB programming. The results indicate that the proposed vertical handover decision algorithm outperforms another approach in reducing the number of vertical handovers and connection dropping about 10 percentages.

Keyword: 4G Wireless Networks/ Back-Propagation/ Handover/ MATLAB/ Neural Network

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมฉบับนี้จะไม่สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดี หากผู้จัดทำไม่ได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลาย ๆ ส่วนด้วยกันอันดับแรกผู้จัดทำขอขอบพระคุณผศ.ดร.นำคุณ ศรีสนิท ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ และที่ปรึกษาร่วมอาจารย์สุนิศา คุณารักษ์ ซึ่งท่านได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และอธิบายเนื้อหาในส่วนต่าง ๆ ที่ผู้จัดทำไม่เข้าใจ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ต่อการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนสละเวลาในการพิจารณา ตรวจสอบความถูกต้องของโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ ต่อมาผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อน ๆ และคนรอบตัวทุก ๆ คน สำหรับแรงบันดาลใจและแรงกระตุ้นที่ดีตลอดระยะเวลาของการทำโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ และสุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ให้ความรักความเข้าใจ สนับสนุน ให้กำลังใจทุก ๆ เรื่อง และกำลังทรัพย์สนับสนุนการศึกษาของผู้จัดทำมาโดยตลอด

หากโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ ได้ก่อให้เกิดคุณประโยชน์ประการใด ผู้จัดทำขอมอบคุณความดีนั้นแก่ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ หากโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ เกิดข้อผิดพลาดหรือได้รับคำติชมประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับคำติชมและความผิดพลาดนั้น และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	2
1.3 ขอบเขตโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสื่อสารในยุคที่ 4 (Fourth Generation-4G)	4
2.2 แสนด์โอเวอร์ (Handover)	17
2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)	26
2.4 อัลกอริทึมของการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm)	38
บทที่ 3 การออกแบบ	
3.1 การออกแบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4	44
3.2 หาค่าอินพุท	46
3.3 การแบ่งช่วงของอินพุท	48
3.4 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม	52
3.5 การหาจำนวนการแสนด์โอเวอร์ แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.6 การหาจำนวน การแฮนด์โอเวอร์ แบบเทอร์ชโฮล	57
3.7 การหาอัตราการเรียกขาดหาย แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ และวิธีเทอร์ชโฮล	57
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้	58
4.2 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์	62
4.3 อัตราการเรียกขาดหาย	64
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	67
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	68
5.3 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	71
ประวัติย่อแนวคิดผู้ทำโครงการ	80

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เกณฑ์เพื่อตัดสินเริ่มต้นกระบวนการแฮนด์โอเวอร์พร้อมคำอธิบาย และตัวอย่างจุดเริ่มต้นการทำแฮนด์โอเวอร์ในรูปแบบที่ 2.10 อันเป็น ผลมาจากวิธีการต่าง ๆ	24
3.1	แสดงรูปแบบของอินพุตและเป้าหมาย	53



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 วิวัฒนาการของ 4G	4
2.2 โทรศัพท์เคลื่อนที่สมัยก่อน	5
2.3 ความเร็วที่สามารถรองรับกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในลักษณะต่าง ๆ ของการสื่อสารในแต่ละยุค	8
2.4 โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมตามมาตรฐาน LTE-SAE	10
2.5 โครงสร้างของการจัดการช่องความถี่วิทยุขาลง โดยใช้เทคโนโลยี OFDM	11
2.6 การทำงานของ 4G	16
2.7 4G ที่เกิดจากการรวม WiMAX เข้ากับ 3G	16
2.8 กระบวนการย่อยของการแฮนด์โอเวอร์	18
2.9 พื้นที่ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Area)	20
2.10 ตัวอย่างกำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ได้รับเมื่อสถานีผู้ใช้เคลื่อนที่ห่างจากสถานีฐาน 1 เข้าไปใกล้กับสถานีฐาน 2	22
2.11 จุดที่เริ่มต้นทำการแฮนด์โอเวอร์ซึ่งเป็นผลจากเกณฑ์ตัดสินใจต่าง ๆ สำหรับเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์ในตารางที่ 1 ในกรณีที่สถานีฐาน 1 เป็นสถานีฐานปัจจุบันที่ให้บริการสถานีผู้ใช้ (ในรถ) และสถานีฐาน 2 เป็นสถานีฐานที่รับช่วงให้บริการสถานีผู้ใช้ต่อไป	25
2.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ประสาทในทางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียม	26
2.13 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบง่าย	27
2.14 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบหลายอินพุต	28
2.15 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งชั้น	29
2.16 โครงข่ายประสาทเทียมสามชั้น	30
2.17 ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น	31
2.18 ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์	32
2.19 ฟังก์ชันการแปลงแบบ Hyperbolic Tangent Function	33
2.20 ฟังก์ชันการแปลง Hard Limit Transfer Function	34
2.21 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)	35
2.22 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)	36
2.23 การแพร่ย้อนกลับ	38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงโครงสร้างเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4	45
3.2 ตัวอย่างตำแหน่งของผู้ใช้ 200 คน	46
3.3 ช่วงของความแรงของสัญญาณของ 3 เครือข่าย	49
3.4 ช่วงความแรงของสัญญาณของระบบ 4G	49
3.5 ช่วงของค่าใช้จ่ายของ 3 เครือข่าย	50
3.6 ช่วงค่าใช้จ่ายของระบบ 4G	50
3.7 ช่วงของค่าปริมาณทราฟฟิกของระบบ 4G	51
3.8 ขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม	52
3.9 หน้าต่างแสดงการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมอย่างเสร็จสมบูรณ์	55
3.10 กราฟแสดงอัตราการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม	56
4.1 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 200 คน	59
4.2 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 300 คน	59
4.3 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 500 คน	60
4.4 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 800 คน	60
4.5 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 1000 คน	61
4.6 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	62
4.7 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรซโซล	63
4.8 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเปรียบเทียบกับจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรซโซล	63
4.9 อัตราการเรียกขาดหายของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ	64
4.10 อัตราการเรียกขาดหายด้วยวิธีเทรซโซล	65
4.11 อัตราการเรียกขาดหายของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเปรียบเทียบกับจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรซโซล	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ความต้องการของผู้ใช้ที่จะใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station: MS) นั้นมีความแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี จึงส่งผลทำให้เกิดความก้าวหน้าขึ้นมากมาย ดังนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงเป็นที่ต้องการเป็นอย่างมากในปัจจุบัน และจากความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นนี้ทำให้ไม่สามารถที่จะขยายระบบได้ทันภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้เกิดปัญหาการใช้ช่องสัญญาณเต็มเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเรียกขาดหาย (Drop Call) และการเรียกติดขัด (Block Call) ที่สูงขึ้นจากสาเหตุข้างต้นจึงมีผู้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยจะพิจารณาจากความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้สามารถรับได้ หรือทำการพิจารณาจากความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกจากสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่และสถานีฐานข้างเคียง จุดประสงค์ก็เพื่อแบ่งปริมาณทราฟฟิกของสถานีฐานจากสถานีฐานที่มีปริมาณทราฟฟิกที่สูงกว่า ไปยังสถานีฐานที่มีปริมาณทราฟฟิกที่ต่ำกว่า จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) ซึ่งเป็นวิธีการแบบเดิมโดยจะพิจารณาจากความแรงของสัญญาณเท่านั้น แต่สำหรับการสื่อสารในยุคที่ 4 นี้ การพิจารณาความแรงของสัญญาณเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอ เนื่องจากไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงคุณลักษณะของเครือข่ายไร้สายในชนิดต่าง ๆ กันได้ ดังนั้นผู้จัดทำจึงมีแนวความคิดที่จะพิจารณาโดยการนำข้อมูลทั้งความแรงของสัญญาณ ความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกในช่องสัญญาณ และต้นทุนค่าใช้จ่ายของแต่ละเครือข่ายไร้สายมาร่วมพิจารณาในครั้งนี้ เพื่อให้กระบวนการตัดสินใจมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและเกิดการแฮนด์โอเวอร์น้อยลง ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การเรียกติดขัดและการเรียกขาดหายลดลง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์ของระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ทำการออกแบบ ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิก (Traffic Intensity: TI) และต้นทุนค่าใช้จ่ายของแต่ละเครือข่าย (Cost) ของระบบไร้สายในยุคที่ 4 ซึ่งประกอบไปด้วยเครือข่ายไร้สาย 3 ชนิด คือ LTE, Mobile WiMAX และ WiFi ที่มีการทำงานร่วมกัน

1.2.2 เพื่อนำเอาหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Back-Propagation Neural Network: BPNN) มาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยในการตัดสินใจที่จะแฮนด์โอเวอร์ของโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.3 ขอบเขตโครงงานวิศวกรรม

1.3.1 ออกแบบโครงข่ายไร้สายที่ประกอบด้วยเครือข่าย 3 ชนิด ได้แก่ LTE, WiFi และ Mobile WiMAX

1.3.2 ทำการแบ่งช่วงของค่าพารามิเตอร์ เพื่อนำมาใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้เกิดการเรียนรู้

1.3.3 ทำการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับโดยจะนำความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength: RSS) ความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิก (Traffic Intensity: TI) และต้นทุนค่าใช้จ่าย (Cost) ของแต่ละเครือข่ายไร้สายมาเป็นอินพุทของกระบวนการโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลสำหรับกระบวนการตัดสินใจที่จะเปลี่ยนช่องสัญญาณ (Handover)

1.3.4 ทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเทียบกับวิธีที่ใช้ค่าแบ่ง (Threshold) ซึ่งเป็นวิธีการตัดสินใจในการเปลี่ยนช่องสัญญาณทางทฤษฎีโดยการวัดประสิทธิภาพนี้จะแสดงในรูปของจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ (Number of Handover) และอัตราการเรียกขาดหาย (Dropping Rate)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ในด้านการศึกษา

1.) ได้รู้ศึกษาโครงข่ายประสามเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ศึกษาระบบโครงข่ายไร้สายในยุคที่ 4 และทฤษฎีหลักการแฮนด์โอเวอร์

2.) ได้ศึกษาการเขียนโปรแกรมแมทแลป เพื่อทำการจำลองสถานการณ์การเคลื่อนที่ของผู้ใช้เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะของความเป็นจริง

1.4.2 ในด้านของชิ้นงาน

1.) ทำให้อัตราที่จะเกิดการแฮนด์โอเวอร์ (Handover Rate) และอัตราการเรียกขาดหาย (Dropping Rate) ลดลง

2.) เพื่อประหยัดทรัพยากรของระบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4

3.) ทำให้ผู้ใช้งานสามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

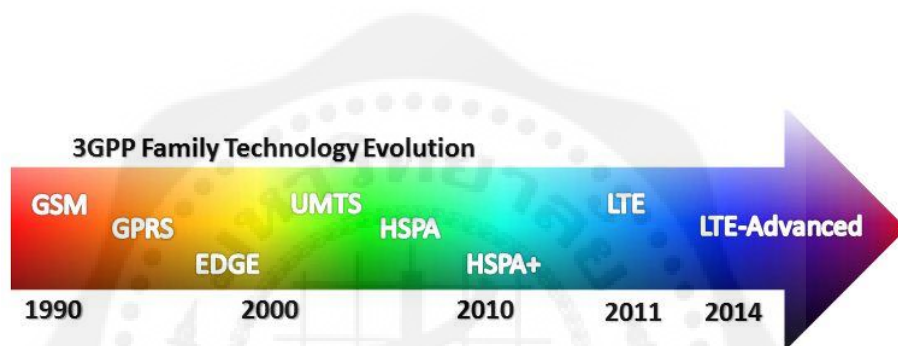
มากขึ้น



บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสื่อสารในยุคที่ 4 (Fourth Generation-4G)

2.1.1 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีจาก 1G สู่ 4G LTE



รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการของ 4G (ที่มา : อภิวัฒน์ 2556)

เทคโนโลยีทุกอย่างย่อมมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเพื่อตอบสนองกับความต้องการของมนุษย์ที่ไม่มีวันสิ้นสุด เทคโนโลยีการสื่อสารก็เช่นกันที่นับวันการย่อโลกทั้งโลกมาอยู่ในฝ่ามือของเราได้รวดเร็วขึ้นกว่าเดิม กว่าที่จะมาถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายล่าสุดอย่าง 4G LTE ลองมาดูกันว่าจากวันนั้นจนถึงวันนี้เราใช้อะไรกันมาแล้วบ้าง

2.1.1.1 ยุค 1G โทรได้อย่างเดียว



รูปที่ 2.2 โทรศัพท์เคลื่อนที่สมัยก่อน (ที่มา : อมตะ 2556)

หลายคนคงจำโทรศัพท์มือถือที่ต้องถือ (แบก) คล้ายกระเป๋าหรือกระดิกน้ำหนักใหญ่ได้ หรือแม้แต่กระบองอันใหญ่ ๆ นั่นคือยุคเริ่มต้นการใช้โทรศัพท์ไร้สาย โดยการรับส่งสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์นั้นจะอยู่ในรูปแบบแอนะล็อก (Analog) ที่สามารถส่งสัญญาณในรูปแบบเสียงได้อย่างเดียว นอกจากนั้นการรับส่งสัญญาณจะต้องส่งไปยังสถานีฐาน (Base-Station) ซึ่งในยุคนั้นมีจำนวนน้อยและสัญญาณต้องแรงพอที่จะส่งไปยังเครื่องปลายทางได้ จึงเป็นสาเหตุให้รูปร่างของโทรศัพท์ในยุคนั้นมีขนาดใหญ่และหนักคล้ายวิทยุของทหารนั่นเอง

2.1.1.2 ยุค 2G, 2.5G และ 2.75G เข้าสู่ยุคดิจิทัล

สามยุคนี้เป็นช่วงที่ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาานพอสมควรและคนที่ใช้โทรศัพท์ในไทยมักจะคุ้นเคยที่สุด เพราะเป็นยุคที่มีการพัฒนาการติดต่อสื่อสารโดยใช้สัญญาณแบบดิจิทัลแทน ซึ่งทำให้สามารถส่งข้อมูลหรือ Data ได้เพิ่มขึ้น โดยถ้าจะให้ไล่เรียงกันทั้งสามยุคนั้นก็คือ

2G คือการใช้ระบบ GSM สามารถโทรหากันข้ามเครือข่ายได้จากที่ไม่สามารถทำได้ในยุค 1G และเป็นยุคที่สามารถส่งข้อความ SMS หรือ Short Message Service ได้

2.5G เป็นการต่อขอดีในการส่งข้อมูลให้ดีขึ้นด้วยบริการรับส่งข้อมูลที่เรียกว่า GPRS (General Packet Radio Service)

สุดท้ายยุค 2.75G เป็นการพัฒนาการส่งสัญญาณให้ดีขึ้น เร็วขึ้นและได้ปริมาณที่มากขึ้นซึ่งนั่นก็คือ EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

โดยทั้งสามยุคนี้ คนหันมาใช้บริการข้อมูลกันเพิ่มมากขึ้นและเป็นยุคที่มีอุปกรณ์ออกมารอง รับการใช้งานข้อมูลเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน

2.1.1.3 ยุค 3G ยุคแห่งการบริโภคข้อมูล

ตอนนี้คนไทยอยู่ในยุคนี้ส่วนใหญ่แล้วตอนนี้เราใช้โทรศัพท์ที่ส่วนใหญ่เป็นสมาร์ทโฟน เกือบทั้งหมดหันมาใช้บริการข้อมูลมากกว่าการใช้บริการเสียงจากผู้ให้บริการโทรศัพท์เสียงอีก ซึ่งยุคแห่งการใช้ข้อมูลนี้ความเร็วจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ จึงส่งผลทำให้เกิดยุคของโทรศัพท์ยุคที่ 3 หรือ 3G ขึ้นมานั่นเอง โดยจะใช้เทคโนโลยีที่ชื่อว่า UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) เป็นแกนหลัก

อันที่จริงแล้วยุค 3G ก็ไม่ต่างกับ 2G ที่มีอยู่ 3 ช่วงเหมือนกันนั่นคือ ในยุคแรกความเร็วในการรับข้อมูลสูงสุดจะอยู่ที่ 2 Mbps และต่อมาก็เริ่มมีการพัฒนาความเร็วจนปัจจุบันนี้เราอยู่ในยุคที่เป็น 3.5G และ 3.75G (ขึ้นอยู่กับพื้นที่ในการรับข้อมูลสูงสุดอยู่ที่มีความเร็ว 21-42 Mbps) โดยความเร็วนั้นจะขึ้นอยู่กับสมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์รับสัญญาณและความหนาแน่นในการใช้งานของพื้นที่นั้นๆ ด้วยและสามารถสังเกตง่าย ๆ ว่าตอนนี้เราใช้ระบบ 3G แบบใดบนโทรศัพท์ โดยดูที่สัญลักษณ์สัญญาณข้อมูลว่าเป็น 3G, H หรือ H+

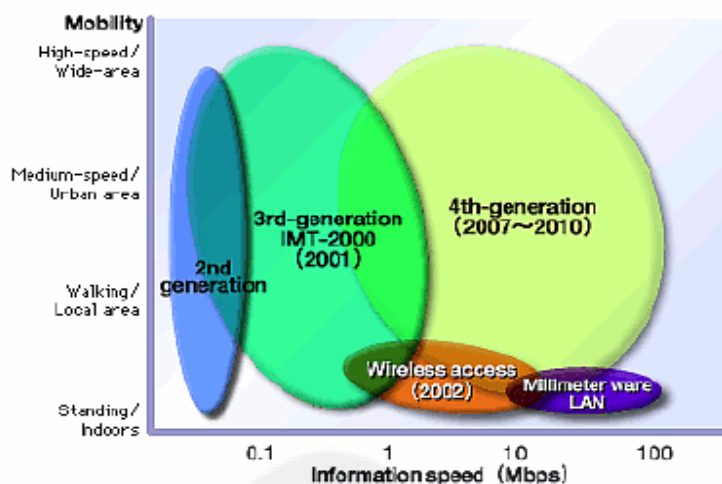
2.1.1.4 ยุค 4G LTE ยุคแห่งการบริโภคข้อมูลด้วยความเร็วแบบสุด ๆ

อย่างที่บอกไปในตอนแรกแล้วว่าชื่อ 4G นั้นถูกเรียกให้เก๋ ๆ โดยอันที่จริงแล้วนั่นมันคือยุคของ 3.9G โดยยุคนี้จะเป็นอีกขั้นของการใช้งานข้อมูลโดยจะให้ความสำคัญกับความเร็วเป็นสำคัญ ซึ่งความเร็วที่ 4G LTE จะสามารถทำได้สูงสุดนั้น มีการรับข้อมูลได้ถึง 100 Mbps และส่งข้อมูลอยู่ที่ 50 Mbps โดยมีการเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี 3G ว่ามี 4G LTE นั้นความเร็วมากกว่าถึง 7 เท่า

2.1.1.5 ลักษณะเด่นของ 4G

4G คือ Fourth Generation ซึ่งในบ้านเรายังไม่มีให้เห็นกัน เมื่อพูดถึงเทคโนโลยีสื่อสารในยุค 4G เรื่องความเร็วที่เหนือกว่า 3G มาก คือทำความเร็วในการสื่อสารได้ถึงระดับ 20-40 Mbps เมื่อเทียบกับความเร็วที่ได้จาก 3G นั้นคนละเรื่องกันเลย ที่ญี่ปุ่นนั้นเครือข่ายโทรศัพท์ที่ใช้เทคโนโลยี 4G สามารถให้บริการรับชมรายการโทรทัศน์ผ่านมือถือได้แล้ว หรือจะโหลดตัวอย่างภาพยนตร์มาชมบนโทรศัพท์มือถือก็มีให้เห็นเช่นกัน ทำไมญี่ปุ่นถึงรีบกระโดดไปสู่ยุค 4G กันเร็วเหลือเกิน คำตอบง่าย ๆ ก็คือดิจิทัลคอนเทนต์ เป็นตัวผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นนั่นเอง เมื่อผู้ให้บริการหลายหลายรูปแบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยจำเป็นต้องอาศัยเครือข่ายที่มีความเร็วสูง สามารถรับส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก ๆ ดังนั้น การผลักดันตัวเองให้เข้าสู่ยุค 4G ที่ใช้เทคโนโลยีที่เหนือกว่า 3G ก่อนคู่แข่ง น่าจะเป็นการตัดสินใจที่ถูกต้องที่สุด

ความโดดเด่นของ 4G คือ ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานบนเครือข่ายที่กินพื้นที่กว้างก็ได้หรือจะเป็นเครือข่ายขนาดเล็ก ๆ แบบ WLAN ได้อีกด้วย นั่นจึงทำให้หลายคนมองว่า 4G จะมาเบียดเทคโนโลยีของ Wi-Fi หรือไม่ เพราะสามารถใช้งานได้ทั้งสองแบบ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังคงอิงกับมาตรฐานของ 3G อยู่ ซึ่งยังไม่มีการทำอะไรที่จะขยับขยายไปสู่ยุค 4G เลย เพราะ WiMAX กำลังเข้ามาแน่นอน ระบบสื่อสารแห่งอนาคตที่ให้ความยืดหยุ่นสูง สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างไกล ความเร็วในการสื่อสารสูงสุดในขณะนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความเร็วที่สามารถรองรับกับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในลักษณะต่าง ๆ ของการสื่อสารในแต่ละยุค (ที่มา : อภิวัฒน์ 2556)

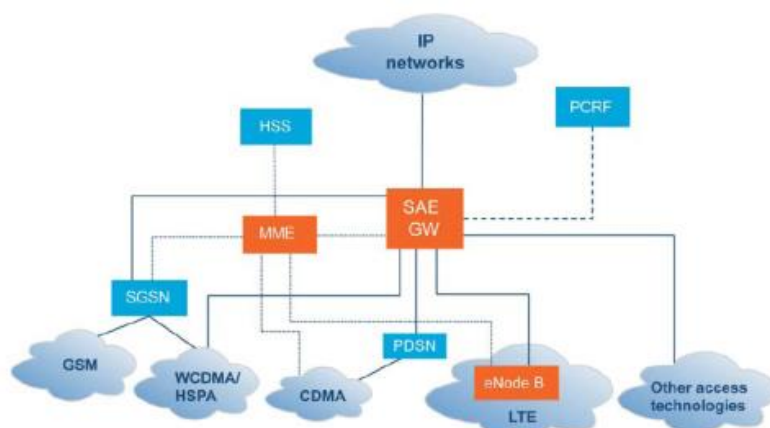
2.1.1.6 LTE

LTE เป็นหนึ่งมาตรฐานจากกลุ่ม Third Generation Partner Ship Project (3GPP) ที่มุ่งเป้าในเรื่องของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูง บนระบบ Mobile ไปสู่ระบบ Mobile ยุคต่อไปที่อาจจะเรียกว่าเป็นยุค 4 (4G) ซึ่งสถาปัตยกรรมแนวคิดการพัฒนานั้น LTE น่าจะเป็นการต่อยอดจากเทคโนโลยี 3G ทางเทคนิคนั้น LTE ถูกสร้างอยู่บนพื้นฐานของ GSM, GPRS ,EDGE และ WCDMA รวมถึง HSPA อีกด้วย ปัจจัยหลักของ LTE คือการเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูล การดาวน์โหลดและอัปโหลด (Download/Upload) และลดค่า Latency หรือค่าความหน่วงเวลา ตัวนี้จะเป็นความเร็วจริง ๆ ที่ใช้รับส่งข้อมูล ทำให้ไม่เกิดความล่าช้า หรือหน่วงเวลามากนักเข้า Concept ของการบริการแบบ Delay Sensitive Services ทำให้ผู้ใช้บริการจะได้บริการที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

LTE จะสร้างปรากฏการณ์ Real-Time, VoIP, VDO Conference คุณภาพสูงผ่านช่องความถี่ 20 MHz ประกอบกับการดาวน์โหลดที่มีความเร็วสูงถึง 100 Mbps (สูงสุดที่ 300Mbps) และอัปโหลดที่ได้มากถึง 50Mbps (สูงสุดที่ 75Mbps) และ ping ต่ำกว่า 10 มิลลิวินาที โดยมีแบนด์วิธอยู่ในช่วงระหว่างช่วง 1.4 เมกะเฮิร์ตถึง 20 เมกะเฮิร์ต

ข้อกำหนดมาตรฐาน LTE ได้รับการออกแบบให้ทำงานร่วมกับมาตรฐานเครือข่ายแบบ SAE ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน เพื่อลดปัญหาข้อมูลหน่วงภายในเครือข่ายระหว่างการสื่อสาร อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการสร้างและบริหารจัดการเครือข่ายของผู้ให้บริการ ที่สำคัญก็คือยังเป็นการจัดวางสถาปัตยกรรมเครือข่ายเพื่อสนับสนุนการให้บริการและแอปพลิเคชันประเภท IP ได้อย่างเต็มรูปแบบ

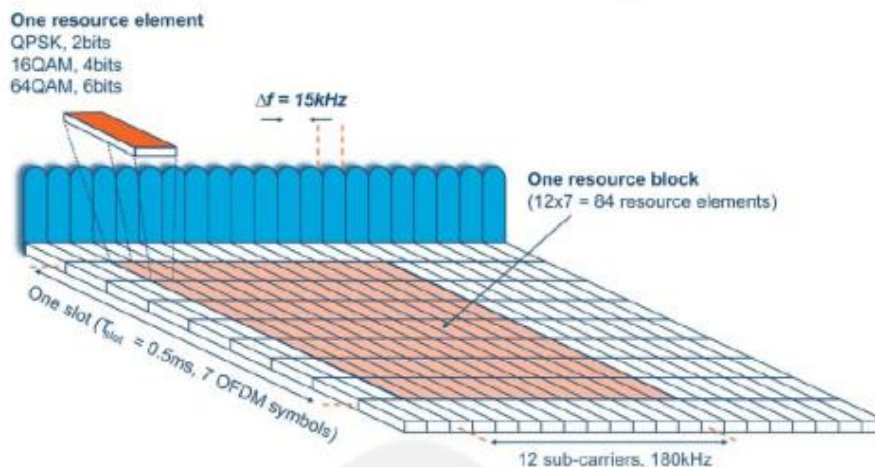
โครงสร้างของเครือข่าย LTE ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ เพียง 3 ประเภท อุปกรณ์ชนิดแรกก็คือสถานีฐาน LTE ซึ่งมีชื่อเรียกเป็นการเฉพาะว่า eNodeB เป็นอุปกรณ์ที่จะมีการติดตั้งครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ อุปกรณ์ชนิดที่สองคือ SAE Gateway (SAE GW) โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างกันผ่านทางจุดเชื่อมต่อมาตรฐาน S1 นอกจากนี้ผู้ให้บริการเครือข่าย LTE ที่มีการให้บริการผ่านเครือข่าย GSM, WCDMA/HSPA หรือ CDMA อยู่แต่เดิม ก็สามารถวางแผนการให้บริการร่วมกันได้ โดยเพียงทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ชนิดที่สามที่มีชื่อเรียกว่า Mobility Management Entity (MME) เพื่อทำการรับส่งสัญญาณควบคุมจากอุปกรณ์ Serving GPRS Support Node (SGSN) ภายในเครือข่าย GSM และ WCDMA/HSPA เข้ากับสถาปัตยกรรม SAE ส่วนข้อมูลต่าง ๆ จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ SAE GW โดยตรง สำหรับการเชื่อมต่อกับเครือข่าย CDMA ก็จะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือเชื่อมต่ออุปกรณ์ Packet Data Service Node (PDSA) ของเครือข่าย CDMA เข้ากับอุปกรณ์ MME สำหรับการรับส่งสัญญาณควบคุม ส่วนข้อมูลต่างๆ จะถูกรับส่งโดยตรงกับอุปกรณ์ SAE GW



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางสถาปัตยกรรมตามมาตรฐาน LTE-SAE (ที่มา : อภิวัฒน์ 2556)

อุปกรณ์ MME จะทำหน้าที่บริหารจัดการสัญญาณควบคุมที่ใช้ตรวจสอบและปรับตำแหน่งที่อยู่ของผู้ใช้บริการทั้งที่เป็นเครื่องลูกข่าย LTE และเครื่องลูกข่ายในเครือข่ายอื่น ๆ ที่เชื่อมต่ออยู่ร่วมกับสถาปัตยกรรม SAE โดย MME จะเชื่อมต่อและทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Home Subscriber Server (HSS) ผ่านทางมาตรฐานเชื่อมต่อแบบ Diameter ซึ่งรองรับสัญญาณควบคุม (Network Signaling) ที่เกี่ยวข้องกับกลไก Policy control และ Charging โดยมีได้ใช้มาตรฐานระบบสัญญาณควบคุม Signaling System Number 7 (SS7) เหมือนในกรณีของเครือข่าย 2G และ 3G อื่น ๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

นอกจากนั้น สถาปัตยกรรมร่วม LTE-SAE ยังได้รับการออกแบบให้สามารถบริหารจัดการปรับเปลี่ยนการจัดสรรทรัพยากรเครือข่ายเพื่อให้สอดคล้องประเภทและรูปแบบของการสื่อสารข้อมูล มีผลทำให้การใช้งานทรัพยากรเครือข่ายทั้งทางภาคการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุและการเชื่อมต่อภายในเครือข่าย IP เป็นไปตามพฤติกรรมของการสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายในขณะนั้น ๆ มากที่สุด เรียกว่าเป็นการบริหารจัดการแบบกำหนดระดับคุณภาพของการให้บริการ (Class-based QoS)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของการจัดการช่องความถี่วิทยุขาลง โดยใช้เทคโนโลยี OFDM

ที่มา : อกวิวัฒน์ 2556

3GPP กำหนดให้มีการใช้เทคโนโลยีแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ในการสื่อสารด้านทิศทางการระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่าย LTE ซึ่งช่วยให้สามารถบริหารจัดการทรัพยากรความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อสร้างอัตราเร็วในการสื่อสารได้สูงสุดโดยมีต้นทุนที่ต่ำสุด เทคโนโลยี OFDM เป็นมาตรฐานสากลที่ได้รับการพิสูจน์ถึงประสิทธิภาพ และมีการนำไปใช้งานในมาตรฐานการสื่อสาร Wireless LAN ตามข้อกำหนด IEEE 802.11a/b/g รวมถึงมีการใช้งานในเครือข่าย IEEE 802.16, HiperLAN-2, Digital Video Broadcast (DVB) และ Digital Audio Broadcast (DAB) ดังรูปที่ 2.5

สำหรับการสื่อสารในทิศทางขาขึ้นจะใช้เทคนิคการสื่อสารที่มีชื่อว่า SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการคิดค้นขึ้นมาเพื่อทดแทนการสื่อสารแบบ OFDM ตามปกติ ทั้งนี้ในการสื่อสารแบบ OFDM สำหรับทิศทางขาขึ้นนั้น มักพบปัญหาว่าจะต้องใช้เครื่องส่งวิทยุที่มีกำลังส่งสูง ทำให้เกิดปัญหาการกินไฟ จึงไม่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับอุปกรณ์สื่อสารพกพาขนาดเล็ก เทคโนโลยี SC-FDMA มีกลไกการจัดสรรช่องสัญญาณวิทยุที่ลดค่ากำลังส่ง ซึ่งปกติมีการวัดค่าในหน่วย PAPR (Peak to Average Power Ratio) ทำให้ค่า PAPR ต่ำลง นอกจากนี้จะเป็นการช่วยประหยัดการสิ้นเปลืองพลังงานให้กับเครื่องลูกข่ายแล้ว ยังเป็นการช่วยลดระดับพลังงานที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายจำนวนมาก

ที่ใช้งานอยู่ภายในเครือข่าย ทำให้ระดับสัญญาณรบกวนลดลง เป็นการช่วยขยายพื้นที่ให้บริการของเครือข่าย LTE ได้อีกประการหนึ่ง

2.1.2 ประโยชน์ของการใช้ 4G

1.) พื้นฐานแนวคิดการพัฒนานั้น LTE เป็นการพัฒนาต่อยอดจากเทคโนโลยี 3G ไปสู่เทคโนโลยี 4G เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดีขึ้น

2.) ในการทำงานระบบ 4G สามารถผ่านประชุมทางไกลคุยแบบโต้ตอบได้ทันที ไม่เหมือน 3G ที่จะมีอาการดีเลย์ แคม 4G ยังได้ภาพคมชัดแบบ HD กว่า 3G ด้วย (3G เปรียบดั่งเคเบิลทีวีดาวเทียม ที่ภาพออนแอร์มาจะช้ากว่า 4G ที่คุยกับคนอื่นได้อย่างตาเห็น ตามไปตอบกลับได้ทันทีไม่ต้องรอ แม้จะอยู่ต่างประเทศห่างไกลมาก ๆ ก็ตาม)

3.) ข้อดีด้วยความเร็วของ 4G ที่เร็วแรงกว่า 3G นี้ การให้บริการ 4G ผ่าน Wi-Fi Adaptor จะทำให้เพิ่มโอกาสในการเข้าถึง Internet ได้อย่างง่ายดาย และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพียงมี Aircard 4G และ Wi-Fi Adaptor เมื่อเชื่อมต่อแล้ว สามารถแชร์สัญญาณ 4G เพื่อให้ใช้พร้อมกันกับอุปกรณ์ที่รองรับสัญญาณ Wi-Fi ได้อย่างสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น เสมือนกับถนนที่มีขนาดใหญ่ยิ่งขึ้น ก็สามารถที่จะรองรับรถได้มากขึ้น และวิ่งเร็วได้มากขึ้นด้วย

4.) ความสามารถของระบบ 4G ยังสามารถส่งไฟล์วิดีโอความละเอียดสูง และการถ่ายทอดสดแบบ Live Broadcast แบบ Realtime การประชุมทางไกลแบบ Interactive ที่สามารถโต้ตอบแบบทันที บริการ cloud service สนับสนุนการเรียนผ่านทาง E-learning, การรักษาโรคทางไกล (Telemedicine) และรวมไปถึงการชมภาพยนตร์ความละเอียดสูงบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเหมาะสำหรับการทำธุรกิจด้านมัลติมีเดียและวิดีโอออนไลน์ในอนาคต

ปัจจุบัน ประเทศจีน ญี่ปุ่น และเกาหลี มีการจับมือกันแลกเปลี่ยนเทคโนโลยี หวังสร้างมาตรฐานร่วม 4G แห่งเอเชีย โดยซุคซุมสมบัติเด่น รับส่งข้อมูล 100 เมกะบิตต่อวินาที พร้อมเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูง โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตโปรโตคอล เวอร์ชัน 6 หรือ “ไอพีวี 6” (IPv6) ที่ประเทศญี่ปุ่นเป็นผู้พัฒนาขึ้นเป็นรายแรก และมีแผนที่จะผลักดันให้กลายเป็นมาตรฐานระดับโลก

2.1.3 การทำงานระบบ 4G

จากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของระบบเครือข่ายสื่อสารไร้สายทำให้มีการคาดหมายไว้ว่าระบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4 จะเข้ามาในอีกไม่เกิน 8-10 ปี ซึ่งจะเป็นวิวัฒนาการที่แตกต่างไปจากการพัฒนาในยุค 2.5G และ 3G โดยจะเน้นไปที่การรวมเอาเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่มีอยู่ทั้งหมดเข้าด้วยกันอย่างลงตัวไม่ว่าจะเป็น GSM แล่นไร้สาย บลูทูธ หรือแม้กระทั่ง RFID ถ้าจะเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีในยุค 3G ที่มุ่งเน้นด้านการพัฒนามาตรฐานใหม่และวิวัฒนาการด้านฮาร์ดแวร์ของเครื่องโทรศัพท์มือถือแล้วนั้นเทคโนโลยีในยุค 4G จะเน้นทางด้านการใช้งานและรูปแบบบริการส่วนบุคคลรวมถึงความเสถียรและคุณภาพในการให้บริการเป็นหลักแต่อย่างไรก็ตามเส้นทางในการก้าวไปสู่ยุค 4G นั้นก็ยังคงมีความท้าทายที่รออยู่หลายด้านอันจะได้อธิบายต่อไปในช่วงสิบปีที่ผ่านมา เราได้เห็นความสำเร็จของระบบโทรศัพท์มือถือในยุค 2G ที่ได้ขยายตัวไปทั่วทุกมุมโลกอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นเหตุให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับยุค 3G ตามมาอย่างรวดเร็วเช่นกัน โดยตัวอย่างเทคโนโลยียุค 2G ที่เป็นที่ยอมรับและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายนั้นได้แก่ GSM, IS-95 และ cdmaOne ซึ่งทั้งหมดนี้ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับการสื่อสารด้านเสียงและการส่งข้อมูลแบบ low-bit-rate ส่วนระบบในยุค 3G นั้นได้ออกแบบมาเพื่อรองรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงสำหรับการรับส่งข้อมูลและวิดีโอ

และในช่วงกลางระหว่างการพัฒนาเปลี่ยนจากยุค 2G ไปเป็นยุค 3G นั้นก็ได้มีวิวัฒนาการด้านระบบสื่อสารไร้สายมากมายหรือที่เรามักจะเรียกกันว่าเป็นเทคโนโลยีในยุค 2.5G ซึ่งมีความสามารถในการรองรับการสื่อสารและบริการด้านข้อมูลมากขึ้น เช่น GPRS, IMT-2000, บลูทูธ, แล่นไร้สาย IEEE 802.11 ไอพีเออร์แลน และ ไวแมก (WIMAX) โดยแต่ละเทคโนโลยีนั้นได้ถูกพัฒนาขึ้นมาให้มีความสามารถเฉพาะเจาะจงกับการใช้งานและการบริการเฉพาะทาง ซึ่งต่างก็มีจุดเด่นที่ไม่สามารถที่จะหาเอาเทคโนโลยีอันหนึ่งอันใดมาแทนการใช้งานของเทคโนโลยีเหล่านี้ได้

ดังนั้น สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีในยุค 4G นั้นแทนที่จะมุ่งพัฒนาในด้านเทคโนโลยีคลื่นความถี่วิทยุอย่างที่เคยทำมาทั้งกับเทคโนโลยีในยุค 2.5G และ 3G ก็ได้มีแนวคิดใหม่สำหรับระบบโทรศัพท์มือถือในยุค 4G ซึ่งน่าจะเป็นการรวมเอาเทคโนโลยีไร้สายต่าง ๆ ให้สามารถทำงานร่วมกันเป็นระบบเดียวและน่าจะเป็นวิธีที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดโดยในปัจจุบันนี้ทีมวิจัยของบริษัทชั้นนำอย่าง NTT DoCoMo ก็กำลังดำเนินการวางกรอบของเทคโนโลยียุค 4G ในอนาคตอยู่เช่นกันแต่สุดท้ายแล้วจะออกมาเป็นแบบใดก็คงต้องติดตามกัน ถ้าจะลองนึกภาพของเทคโนโลยียุค 4G นั้นก็น่าจะเป็นระบบเครือข่ายที่เป็น IP-based ทั้งหมดซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงระบบได้ทุกที่ทุกเวลาโดยอาศัยเครื่องโทรศัพท์ที่สามารถใช้งานได้กับทุกเทคโนโลยีและแอปพลิเคชันต่าง ๆ บนโครงข่ายไร้สายทุกประเภทเหมือน ๆ กับแนวคิดของโทรศัพท์มือถือที่ใช้

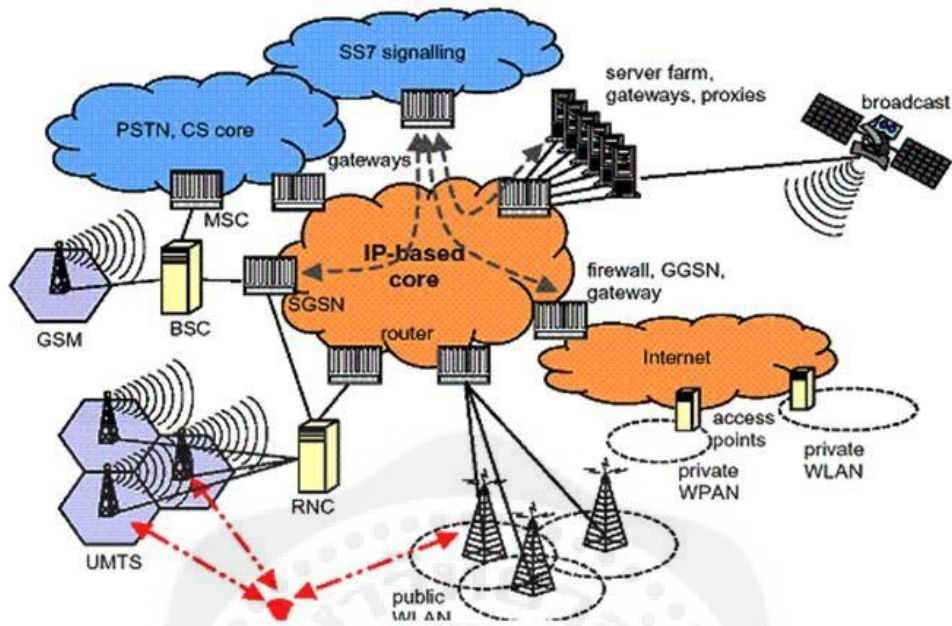
งานได้แบบ Quad-Band ในปัจจุบัน แต่จะมีความสามารถมากกว่าในการรวมเอาหลากหลายเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน

นอกจากนี้ เทคโนโลยียุค 4G นั้นควรที่จะเน้นในการให้บริการด้านโทรคมนาคมรวมถึงการสื่อสารข้อมูลและมัลติมีเดียด้วย โดยมีปัจจัยหลักในการให้บริการมัลติมีเดียที่ต้องการบริการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงผ่านระบบที่มีความเสถียรรวมทั้งการบริการด้านเสียงและแอปพลิเคชันแบบ Low-Bit-Rate ที่จะต้องทำงานไปด้วยกันได้เป็นอย่างดี ทุกวันนี้จำนวนผู้ใช้บริการโทรศัพท์มือถือได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างมากและถ้าคิดไปถึงอีก 5 ปีข้างหน้าก็เป็นไปได้ว่าจะมีอัตราการใช้งานมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของประชากรที่จะมีโทรศัพท์แบบพกพาใช้กัน ซึ่งนี่จะเป็นอีกจุดหนึ่งที่เทคโนโลยีในยุค 4G ต้องมีการเตรียมการสำหรับรูปแบบการให้บริการที่เหมาะสมของผู้ใช้แต่ละบุคคลคือ จะเป็นการสร้างรูปแบบบริการต่าง ๆ ให้กับกลุ่มผู้ใช้แบบเฉพาะเจาะจงหรือที่เรียกว่า Personalized Service ทั้งนี้ เนื่องจากว่าเมื่อฐานผู้ใช้บริการกว้างขึ้นก็จะทำให้เกิดความหลากหลายของวัย อาชีพ ทัศนียม วิถีชีวิตที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผู้ให้บริการจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างรูปแบบบริการที่สามารถสนองต่อความต้องการของลูกค้าทุกกลุ่มให้ได้ ลองจินตนาการดูว่าถ้าผู้ใช้โทรศัพท์ยุค 4G ที่กำลังมองหาข้อมูลเกี่ยวกับตารางเวลาภาพยนตร์จากโรงภาพยนตร์ที่ใกล้ที่สุดซึ่งผู้ใช้นั้นสามารถใช้โทรศัพท์มือถือทำการเชื่อมต่อกับระบบไร้สายภายนอกหลาย ๆ ระบบได้ ซึ่งอาจจะประกอบไปด้วยระบบพิกัดสถานที่ (Global Positioning System, GPS) สำหรับระบุตำแหน่งของผู้ใช้ในการเลือกโรงภาพยนตร์ที่ใกล้ที่สุด และระบบแลนไร้สายที่สามารถเชื่อมต่อกับฮอตสปอตที่ใกล้ที่สุดในการโหลดตัวอย่างภาพยนตร์ และตารางฉายขึ้นมาดูรวมไปถึงระบบโทรศัพท์มือถือแบบซีดีเอ็มเอ (Code-Division Multiple Access, CDMA) สำหรับการโทรศัพท์ไปสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกับโรงภาพยนตร์นั้น ๆ ตัวอย่างการใช้งานที่ได้กล่าวไปนั้นแท้จริงแล้วเป็นการให้บริการต่าง ๆ จากหลากหลายผู้ให้บริการซึ่งแอปพลิเคชันแต่ละอย่างก็มีความแตกต่างทั้งในส่วนของระดับความปลอดภัยของข้อมูล การตั้งค่าของเครื่องลูกข่าย วิธีการคิดค่าใช้จ่ายบริการซึ่งจริง ๆ แล้วก็น่าจะเป็นการดีถ้าทุกสิ่งทุกอย่างนี้สามารถรวมกันได้ในแอปพลิเคชันของเทคโนโลยีในยุค 4G แต่ก็ต้องรอให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านฮาร์ดแวร์ของเครื่องโทรศัพท์มือถือที่สามารถสื่อสารได้กับทุกเทคโนโลยีไม่ว่าจะเป็น GSM GPRS CDMA UMTS หรือ แลนไร้สาย ตลอดจนต้องมีส่วนเชื่อมต่อที่สามารถใช้งานได้กับ สมาร์ทการ์ดหรือการ์ดหน่วยความจำต่าง ๆ ซึ่งทั้งหมดนี้ก็คงต้องมีการใช้ซอฟต์แวร์ในการควบคุมการทำงานที่สามารถปรับให้เครื่องลูกข่ายสื่อสารกับทุก ๆ เทคโนโลยีให้ได้ การโรมมิ่งระหว่างเครือข่ายผู้ให้บริการต่าง ๆ เช่น จากแลนไร้สายภายในอาคารสำนักงานออกไปสู่ระบบ GSM เมื่อก้าวออกนอกสำนักงานและผ่านระบบแลนไร้สายอีกครั้งเมื่อนั่งอยู่ในรถไฟใต้ดินโดยทั้งหมดนี้จะต้องมีการกำหนดวิธีการส่งต่อ (Handover)

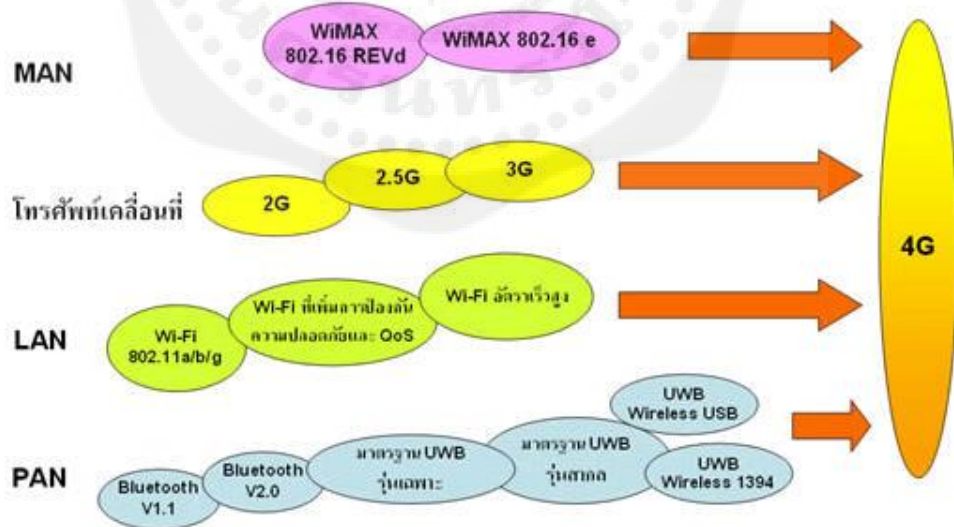
ระหว่างโครงข่ายต่าง ๆ ซึ่งเทคโนโลยีเครือข่ายที่ได้มีการพัฒนามาช่วยในเรื่องนี้ก็คือ Mobile IPv6 (MIPv6) โดยนับได้ว่าเป็นมาตรฐานโพรโตคอลสำหรับ IP-Based ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายใต้หลักการมาตรฐานของ IP version 6 (IPv6) ซึ่งคาดว่าจะเริ่มมีการใช้งานใช้เชิงพาณิชย์ภายในไม่เกิน 1-2 ปีข้างหน้า ส่วนระบบการเรียกเก็บค่าบริการของผู้ให้บริการที่หลากหลายนั้นก็ต้องมีการเตรียมการล่วงหน้า ซึ่งคุณแล้วคงจะไม่ใช่ว่าเรื่องง่าย ๆ อย่างในปัจจุบันที่จะคิดค่าบริการแบบเหมาจ่าย คิดตามจำนวนเวลาหรือปริมาณข้อมูลที่รับ ให้บริการแต่ความซับซ้อนจากหลายผู้ส่ง เพราะเมื่อมีระบบ Billing System ที่อยู่เบื้องหลังนั้นคงจะเป็นเรื่องปวดหัวไม่เบาสำหรับนักการตลาดและนักพัฒนาโปรแกรม

ทั้งนี้ เนื่องจากว่าผู้ใช้บริการ ไม่ได้ผูกติดอยู่กับผู้ให้บริการรายใดรายหนึ่งอย่างในปัจจุบัน แต่จะเป็นลูกค้าของผู้ให้บริการทุกรายที่รวมอยู่ในระบบ 4G ดังรูปที่ 2.5 และแนวทางหนึ่งที่น่าจะเป็นไปได้ก็คือต้องมีบริษัทกลางที่ทำหน้าที่เป็น Broker ในการรับชำระค่าใช้บริการและนำไปแบ่งจ่ายให้กับผู้ให้บริการแต่ละรายต่อไป ซึ่งก็คงจะคล้าย ๆ กับบริษัท Broker สำหรับการซื้อในปัจจุบันนั้น สำหรับอัตราค่าบริการนั้นเป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มีความซับซ้อนและอ่อนไหวมาก เพราะจะต้องเหมาะสมกับธุรกิจ การตลาดและระบบ Billing System ที่จะต้องมีความคล่องตัวมากพอในการปรับแต่งค่าตามโปรโมชั่นและแผนการตลาดของผู้ให้บริการแต่ละราย นอกจากนี้ยังมีอีกแนวความคิดหนึ่งที่เทคโนโลยีในยุค 4G น่าจะมีออกมาให้บริการได้ซึ่งนั่นก็คือ Personal Mobility ที่การสื่อสารไม่ได้ยึดติดอยู่กับอุปกรณ์ PDA โน้ตบุ๊ก หรือโทรศัพท์มือถือแต่จะเป็นการติดตามตัวผู้ใช้บริการเอง เช่น ถ้ามีการส่งวีดิโอเมลล์ไปให้ผู้รับตัวระบบจะตรวจสอบว่าในเวลานั้น ๆ ผู้ใช้กำลังทำอะไรและอยู่ที่ใดแล้วจึงค่อยส่งวีดิโอเมลล์นั้นไปยังอุปกรณ์ที่กำลังทำงานอยู่ ซึ่งเมื่อถึงเวลานั้นไม่ว่าผู้ใช้จะอยู่ที่ใดหรือกำลังใช้อุปกรณ์อะไรอยู่ที่ตามข้อความก็จะสามารถส่งถึงผู้รับได้อย่างถูกต้อง

การพัฒนาไปสู่เทคโนโลยีเครือข่ายในยุค 4G นั้นต้องมีการศึกษาและพัฒนาในด้านต่าง ๆ ซึ่งอาจจะจัดหมวดหมู่ได้เป็นสามกลุ่มใหญ่คือเทคโนโลยีฮาร์ดแวร์ของเครื่องโทรศัพท์มือถือที่จะต้องมีความสามารถในการเลือกสื่อสารกับระบบไร้สายต่าง ๆ ได้ และสำหรับในส่วนที่สองคือด้านระบบที่จะต้องมีการส่งต่อการให้บริการ (Handover) ระหว่างโครงข่ายตลอดจนสามารถรักษาระดับคุณภาพของแอปพลิเคชันต่าง ๆ ได้ไม่ว่าจะมีการส่งต่อการให้บริการไปอย่างไร ในส่วนสุดท้ายก็คือ ระบบ Billing System และบริการติดตามผู้ใช้ Personal Mobility ที่จะต้องอาศัยความสามารถของซอฟต์แวร์ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ทุกชิ้นในระบบเครือข่ายเพื่อให้สามารถบรรลุจุดประสงค์ในการสร้างบริการรูปแบบใหม่ ๆ ต่อไปได้



รูปที่ 2.6 การทำงานของ 4G (ที่มา : อมตะ 2556)

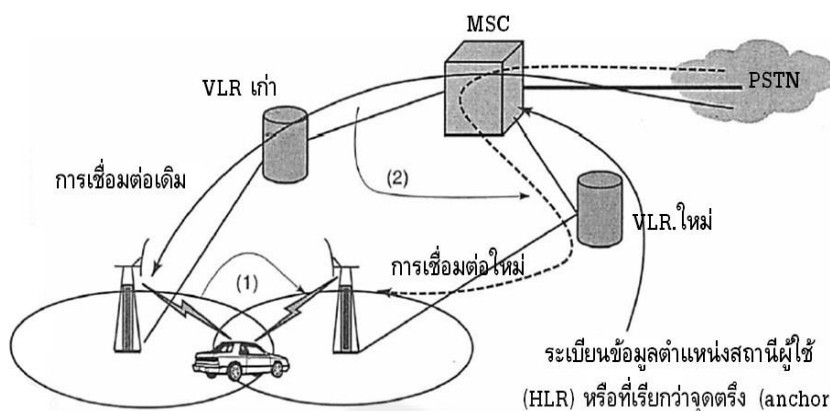


รูปที่ 2.7 4G ที่เกิดจากการรวม WiMAX เข้ากับ 3G (ที่มา : อมตะ 2556)

2.2 แสนด์โอเวอร์ (Handover)

กระบวนการแสนด์โอเวอร์หรือแสนด์ออฟ (Handover or Handoff Process) คือกระบวนการเปลี่ยนช่องสัญญาณในการสื่อสารซึ่งเป็นกระบวนการส่งต่อการบริการของสถานีผู้ใช้จากช่องสัญญาณหนึ่งไปยังอีกช่องสัญญาณซึ่งกรณีสำคัญที่จำเป็นต้องมีการแสนด์โอเวอร์คือกรณีที่สถานีผู้ใช้งานกำลังเคลื่อนที่จากเซลล์บริการหนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งในเครือข่ายสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ (Mobile Wireless Networks) เพื่อให้เกิดบริการที่ต่อเนื่องและมีคุณภาพที่น่าพอใจได้ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อสถานีผู้ใช้เคลื่อนที่ห่างจากสถานีฐานที่ให้บริการตนออกไปเรื่อย ๆ จนใกล้เขตแดนระหว่างเซลล์ค่าเฉลี่ยกำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันก็ลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งอาจส่งผลให้คุณภาพการบริการที่สถานีผู้ใช้ได้รับนั้นค่อยๆ ลดลงไปในขณะเดียวกันกำลังสัญญาณจากสถานีฐานใกล้เคียงบางสถานีก็ดีขึ้นสถานการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นเป็นประจำที่เครือข่ายสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สายต้องมีการแสนด์โอเวอร์ที่ช่วยตัดสินใจว่าเมื่อใดควรทำการเปลี่ยนสถานีฐานที่ให้บริการและด้วยเกณฑ์ตัดสินใจอะไรเมื่อได้ตัดสินใจขั้นตอนของการโอนการบริการในกระบวนการแสนด์โอเวอร์ก็เกิดขึ้นและดำเนินไปจนสถานีผู้ใช้นั้นได้รับการบริการจากสถานีฐานใหม่ซึ่งสามารถรับส่งสัญญาณระหว่างกันได้ดีกว่า

กระบวนการแสนด์โอเวอร์ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบย่อยดังแสดงในรูปที่ 2.8 คือ (1) เกณฑ์ตัดสินใจว่าต้องทำการแสนด์โอเวอร์หรือไม่และ (2) กระบวนการที่ระบบเครือข่ายต้องทำให้เกิดการส่งต่อการบริการระหว่างช่องสัญญาณของสองสถานีฐานขึ้น โดยให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างสถานีผู้ใช้ผ่านสถานีฐานใหม่และให้เกิดการละทิ้งการเชื่อมต่อระหว่างสถานีผู้ใช้ผ่านสถานีฐานเดิม



รูปที่ 2.8 กระบวนการย่อยของการแฮนด์โอเวอร์ (ที่มา : ไพศาล 2553)

2.2.1 กระบวนการจัดการการแฮนด์โอเวอร์ (Handover Management Process) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1.) กระบวนการค้นหาเครือข่าย (Network Discovery) คือขั้นตอนเริ่มต้นในการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เช่น ความแรงที่ผู้ใช้ได้รับ ปริมาณทราฟฟิก เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการหาสถานะของแต่ละเครือข่ายว่าว่างหรือไม่

2.) กระบวนการเลือกเครือข่าย (Network Selection) คือขั้นตอนการเลือกเครือข่ายที่ว่างและเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ซึ่งได้ข้อมูลมาจากขั้นตอนแรก

3.) กระบวนการดำเนินการแฮนด์โอเวอร์ (Handover Execution) คือขั้นตอนสุดท้ายในการดำเนินการแฮนด์โอเวอร์เมื่อตัดสินใจเลือกเครือข่ายได้จากขั้นตอนที่ 2 ก่อนหน้านี้

2.2.2 การแฮนด์โอเวอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.) การแฮนด์โอเวอร์ในแนวนอน (Horizontal Handover) จะเกิดขึ้นในกรณีที่ใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อที่เหมือนกัน เช่น การเปลี่ยนจากแอคเซสพอยท์ (Access Point) หนึ่งไปยังอีกแอคเซสพอยท์ (Access Point) หนึ่ง

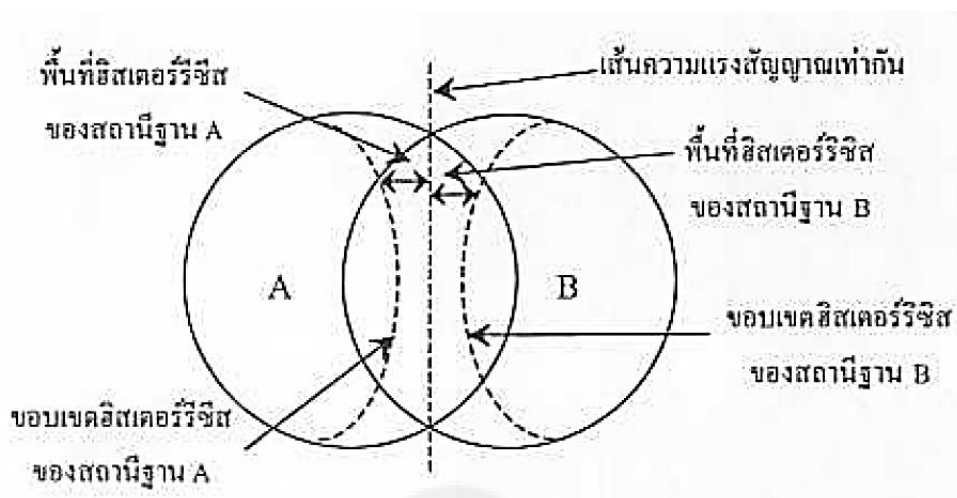
2.) การแฮนด์โอเวอร์ในแนวตั้ง (Vertical Handover) จะเกิดขึ้นในกรณีที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในการเข้าถึงที่มีเทคโนโลยีแตกต่างกันเช่นการเปลี่ยนเครือข่ายยุคที่สาม (3G) มาใช้ไวเลสแลน (WLAN) ซึ่งจะเป็นเทคนิคสำหรับเครือข่ายในอนาคต

2.2.3 วิธีการแฮนด์โอเวอร์

1.) การแฮนด์โอเวอร์วิธีฮิสเทอรีซิส (Handover Hysteresis)

สำหรับระบบ GSM นั้นตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการแฮนด์โอเวอร์โดยระบบจะมอบหมายให้เครื่องโทรศัพท์ทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับสัญญาณที่สามารถรับได้จากทั้งเซลล์ที่กำลังให้บริการอยู่และสัญญาณที่รับได้จากเซลล์รอบ ๆ จากนั้นจะรายงานผลที่ได้ไปให้กับสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่เดิมเป็นช่วง ๆ ตลอดเวลาเพื่อใช้ในการตัดสินใจที่จะแฮนด์โอเวอร์ต่อไปดังนั้นในการเลือกว่าจะต้องมีการแฮนด์โอเวอร์หรือไม่ก็สามารถดูได้จากสถานีฐานข้างเคียงที่มีความแรงของสัญญาณดีกว่าและมีความแตกต่างของความแรงสัญญาณเกินค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งจากนั้นก็จะสั่งให้มีการแฮนด์โอเวอร์ไปยังสถานีฐานข้างเคียงนั้นสำหรับการแฮนด์โอเวอร์ในลักษณะนี้จะมีชื่อเรียกว่า MAHO (Mobile Assisted Handover)

พื้นที่ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Area) เป็นพื้นที่ที่เกิดจากการซ้อนทับกันของเซลล์หรือสถานีฐานซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในพื้นที่นี้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีการแฮนด์โอเวอร์แต่ถ้าหากมีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่นี้ไปยังสถานีฐานข้างเคียงจึงจะเกิดการแฮนด์โอเวอร์ได้โดยจะมีการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ฮิสเทอรีซิสนี้ได้จากค่าฮิสเทอรีซิสค่าหนึ่งซึ่งจะเป็นค่าความแตกต่างของความแรงสัญญาณระหว่างสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่กับสถานีฐานข้างเคียงโดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะต้องมีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าฮิสเทอรีซิสที่กำหนดไว้ซึ่งค่าฮิสเทอรีซิสที่กล่าวถึงนี้จะช่วยลดผลจากการแฮนด์โอเวอร์แบบกลับไปกลับมา (Ping-Pong Effect) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือผู้ใช้อยู่ตรงบริเวณขอบเซลล์พอดีเพราะสัญญาณที่รับได้ตรงบริเวณนี้จะมีควมไวต่อการถูกรบกวนเป็นอย่างมากส่งผลทำให้สัญญาณเกิดการเฟดดิ้งขึ้น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 พื้นที่ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Area) (ที่มา : วรวิทย์ 2551)

2.) การแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรชโฮลด์ (Handover Threshold)

อย่างไรก็ตามจะมีพื้นที่ตรงส่วนขอบเขตในการให้บริการของสถานีฐานซึ่งจะอยู่ในพื้นที่ฮิสเทอริซิสเช่นกันดังนั้นเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตในการให้บริการของสถานีฐานที่ใช้อยู่ก็จะยังไม่มีแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้นจึงทำให้การสนทนาหรือการเรียกนั้นเกิดการเรียกขาดหายขึ้น (Dropped Call) ดังนั้นจึงต้องมีค่าที่ใช้กำหนดให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อให้เกิดแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้นก่อนที่จะออกนอกขอบเขตในการให้บริการของสถานีฐานที่กำลังใช้งานอยู่ซึ่งจะเรียกค่าที่กล่าวถึงนี้ว่าเป็นค่าแฮนด์โอเวอร์เทรชโฮลด์ (Handover Threshold)

3.) การแฮนด์โอเวอร์วิธีฮิสเทอริซิสเทรชโฮลด์ (Handover Hysteresis Threshold)

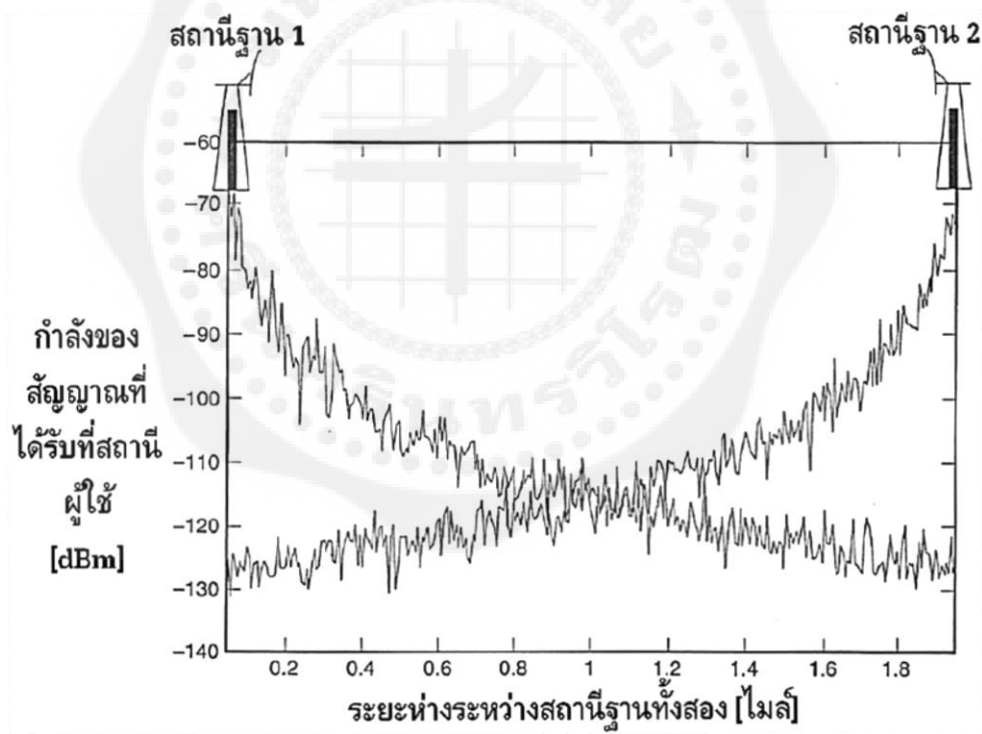
สำหรับการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีนี้จะทำการพิจารณาค่าแห่งของผู้ใช้ว่าอยู่ในขอบเขตของพื้นที่ฮิสเทอริซิสหรือไม่โดยพิจารณาจากค่าความแตกต่างของความแรงสัญญาณระหว่างสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่กับสถานีฐานข้างเคียง โดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะต้องมีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับค่าฮิสเทอริซิสที่กำหนดไว้และในขณะที่ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับในเซลล์ปัจจุบันนั้นจะต้องมีค่าต่ำกว่าค่าเทรชโฮลด์ค่าหนึ่งด้วย จึงจะเกิดการแฮนด์โอเวอร์ขึ้นได้

2.2.4 หลักเกณฑ์การตัดสินใจที่จะทำการแฮนด์โอเวอร์

ในปัจจุบันเกณฑ์ตัดสินใจที่จะทำแฮนด์โอเวอร์มีอยู่หลากหลายรูปแบบในที่นี้กล่าวถึงเฉพาะเกณฑ์ที่ใช้ค่าชี้วัด (Metric) มาเทียบเคียงซึ่งโดยทั่วไปค่าชี้วัดเป็นค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ (Received Signal Strength : RSS) จากสถานีฐานทั้งที่ให้บริการในปัจจุบันและทั้งที่อยู่ใกล้เคียงเพื่อทำการตัดสินใจโดยนอกจากค่ากำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ได้รับแล้วค่าชี้วัดอื่นที่สามารถใช้ได้ก็คือค่าสูญเสียระหว่างเส้นทาง (Pathloss) ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณของคลื่นพาห่ที่นำส่งข้อมูลต่อกำลังสัญญาณของคลื่นแทรกสอด (Carrier-to-Interference Ratio : CIR) ค่าอัตราส่วนกำลังสัญญาณข้อมูลที่ได้รับต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio : SIR) ค่าอัตราสัญญาณบิตผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) ค่าอัตรากลุ่มข้อมูลที่ได้รับผิดพลาด (Block Error Rate : BLER) เช่นแพ็กเก็ตข้อมูลเฟรมข้อมูล ค่าอัตราสัญลักษณ์ที่ได้รับผิดพลาด (Symbol Error Rate : SER) รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างค่ากำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ได้รับขณะหนึ่ง ๆ

เมื่อเคลื่อนห่างสถานีฐาน 1 ที่ให้บริการปัจจุบันและเข้าใกล้สถานีฐาน 2 ที่รับให้บริการสถานีผู้ใช้
ต่อจากสถานีฐาน 1

เมื่อสถานีผู้ใช้สามารถตรวจวัดกำลังสัญญาณจากสถานีฐานใกล้เคียงได้แล้ว
สามารถใช้เทียบค่ากำลังสัญญาณระหว่างสถานีฐานทั้งสองหรือเกณฑ์ต่าง ๆ (ดังแสดงในคอลัมน์
แรกของตารางที่ 2.1) เพื่อใช้การตัดสินใจเริ่มต้นทำการแฮนด์โอเวอร์เรียงลำดับจากวิธีที่ตรงไปตรงมา
มากที่สุดไปยังวิธีที่ซับซ้อนที่สุดกล่าวคือวิธีที่ตรงไปตรงมาที่สุดจะมีอัตราการแฮนด์โอเวอร์สูงสุด
เนื่องจากเกณฑ์การเทียบที่อ่อนไหวต่อการขึ้นลงของกำลังสัญญาณที่ได้รับส่งผลให้ระบบเครือข่าย
มีปริมาณโหลดสูงสุดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็น สำหรับวิธีที่ซับซ้อนที่สุด
จะมีอัตราการแฮนด์โอเวอร์ต่ำสุดและส่งผลให้เครือข่ายมีปริมาณโหลดต่ำสุดที่เกิดขึ้นจาก
กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็น



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ได้รับเมื่อสถานีผู้ใช้เคลื่อนที่ห่างจากสถานีฐาน 1 เข้า
ไปใกล้กับสถานีฐาน 2 (ที่มา : ไพศาล 2553)

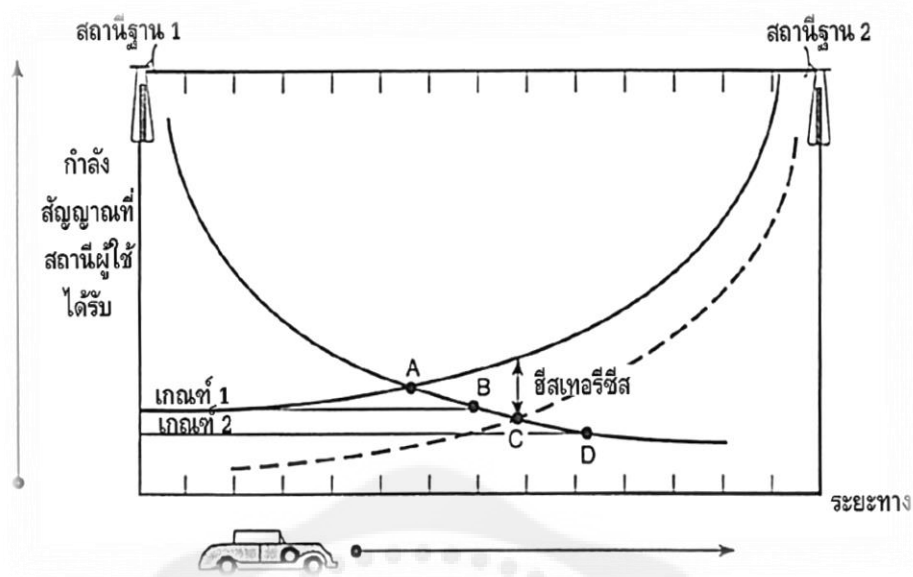
เกณฑ์เพื่อตัดสินใจเริ่มต้นกระบวนการแฮนด์โอเวอร์พร้อมคำอธิบายถูกแสดงในตารางที่ 2.1

โดยที่	P_{new}	คือค่ากำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานที่รับให้บริการต่อ
	$P_{current}$	คือค่ากำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบัน
	T	คือค่าเกณฑ์ (Threshold) คงที่ที่ใช้เทียบกับกำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานที่ให้บริการในปัจจุบัน
	H	คือค่าฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ที่เป็นเกณฑ์สำหรับผลต่างที่น้อยที่สุดของกำลังสัญญาณที่ได้รับของทั้งสองสถานีฐานเพื่อเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์เพื่อให้มั่นใจว่าการตัดสินใจทำแฮนด์โอเวอร์นั้นมีประสิทธิภาพ



ตารางที่ 2.1 เกณฑ์เพื่อตัดสินเริ่มต้นกระบวนการแฮนด์โอเวอร์พร้อมคำอธิบายและตัวอย่างจุดเริ่มต้นการทำแฮนด์โอเวอร์ในรูปแบบที่ 2.10 อันเป็นผลมาจากวิธีการต่าง ๆ

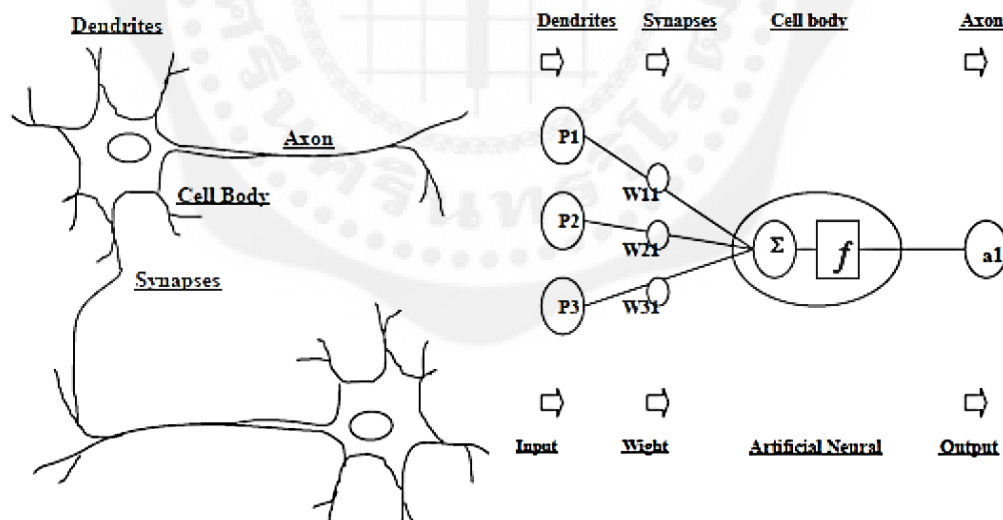
เกณฑ์การตัดสิน เริ่มการแฮนด์โอ เวอร์	คำอธิบาย	จุดที่เริ่มทำ กระบวนการ แฮนด์โอเวอร์ (ดังแสดงในรูปแบบที่ 2.10)
$P_{\text{new}} > P_{\text{current}}$	สถานีผู้ใช้ตัดสินเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์ทันทีเมื่อกำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่ากำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานสามารถรับให้บริการต่อ	ตำแหน่ง A
$P_{\text{new}} > P_{\text{current}}$ และ $P_{\text{current}} < T_1$	สถานีผู้ใช้ตัดสินเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์ทันทีเมื่อ (1) สัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่ากำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานสามารถรับให้บริการต่อ (2) กำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ 1 ของกำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ควรได้รับ	ตำแหน่ง B
$P_{\text{new}} > P_{\text{current}} + H$	สถานีผู้ใช้ตัดสินเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์ทันทีเมื่อกำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่ากำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานที่สามารถรับให้บริการต่ออย่างน้อยด้วยค่าฮิสเทอรีซิส H	ตำแหน่ง C
$P_{\text{new}} > P_{\text{current}} + H$ และ $P_{\text{current}} < T_2$	สถานีผู้ใช้ตัดสินเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์ทันทีเมื่อ (1) สัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่ากำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานที่สามารถรับให้บริการต่ออย่างน้อยด้วยค่าฮิสเทอรีซิส H (2) กำลังสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่ 2 ของกำลังสัญญาณที่สถานีผู้ใช้ควรได้รับ	ตำแหน่ง D



รูปที่ 2.11 จุดที่เริ่มต้นทำการแฮนด์โอเวอร์ซึ่งเป็นผลจากเกณฑ์ตัดสินต่าง ๆ สำหรับเริ่มทำแฮนด์โอเวอร์ในตารางที่ 1 ในกรณีที่สถานีฐาน 1 เป็นสถานีฐานปัจจุบันที่ให้บริการสถานีผู้ใช้ (ในรถ) และสถานีฐาน 2 เป็นสถานีฐานที่รับช่วงให้บริการสถานีผู้ใช้ต่อไป (ที่มา : ไพศาล 2553)

2.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองระบบที่ซับซ้อนและมีส่วนประกอบแบบไม่เชิงเส้นได้ดี แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (Neurons) และ จุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรต์” (Dendrite) ซึ่งเป็นอินพุตและปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอกซอน” (Axon) ซึ่งเป็นเหมือนเอาต์พุตของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอก หรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกันกระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่นิวเคลียส ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน ผลการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าที่เหมือนหรือมีลักษณะพิเศษบางอย่างเหมือนกันจะให้ผลลัพธ์สุดท้ายเป็นค่าที่ค่อนข้างแน่นอน



รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเซลล์ประสาทในทางชีววิทยากับเซลล์ประสาทเทียม

(ที่มา : ธนพัฒน์ 2554)

2.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบง่าย

โครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายจะมีค่าอินพุต เป็นสเกลาร์ หนึ่งอินพุต โดยไม่มีค่าเอนเอียง หรือไบแอส (Bias) โดยค่าอินพุตสเกลาร์ p ถูกป้อนเข้าผ่านจุดต่อและคูณกับค่าความแข็งแรง (Strength) ซึ่งเป็นค่าน้ำหนักสเกลาร์ (Scalar Weight: w) และได้ผลคูณเป็นค่าสเกลาร์ wp กลายเป็นค่าอินพุตที่ถูกจัดน้ำหนัก (Weighted Input: n) ส่งต่อไปยังฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function: f) ซึ่งเกิดเป็นค่าเอาต์พุตสเกลาร์ (Scalar Output: a) ดังแสดงภาพ ก) ซึ่งสามารถคำนวณค่าเอาต์พุต a ได้จากสมการ

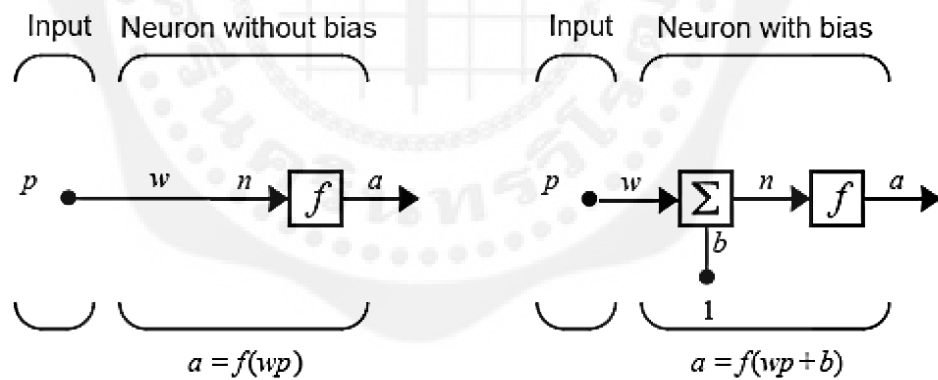
$$n = wp$$

$$a = f(n) = f(wp)$$

สำหรับภาพ ข) แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบง่ายที่มีค่าอินพุต เป็นสเกลาร์หนึ่งอินพุต และมีค่าเอนเอียง b ซึ่งมีอินพุต เป็น 1 โดยค่าสเกลาร์เอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$n = wp + b$$

$$a = f(n) = f(wp + b)$$



ก) แบบไม่มีไบแอส

ข) แบบมีไบแอส

รูปที่ 2.13 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบง่าย (ที่มา : กิตติชัย 2555)

ในที่นี้ f เป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชันขั้นบันได และฟังก์ชันซิกมอยด์ เป็นต้น ทำหน้าที่รับค่าอินพุต n ($n = w p$ หรือ $n = w p + b$) เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าเอาต์พุต a ($a = f(n)$)

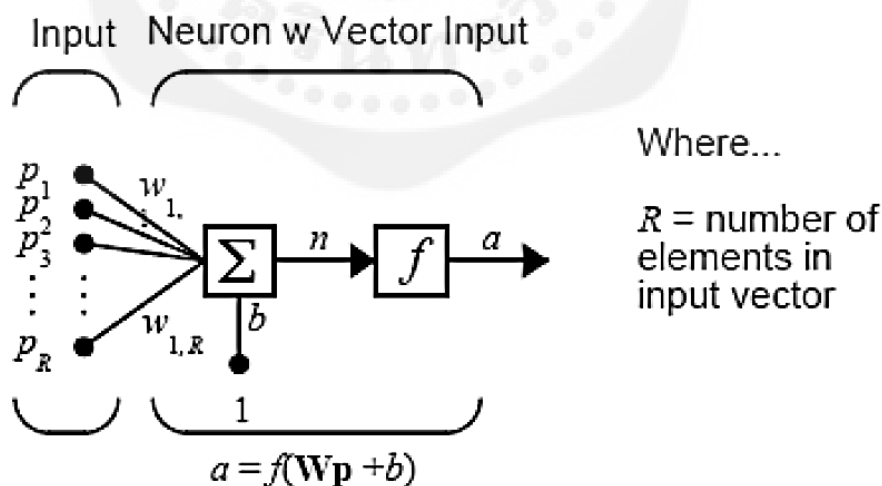
สำหรับค่าน้ำหนัก w และค่าไบแอส b เป็นค่าพารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่สามารถปรับได้ จุดศูนย์กลางแนวคิดเกี่ยวกับโครงข่ายประสาทเทียมก็คือค่าพารามิเตอร์ w และ b สามารถปรับเปลี่ยนได้เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมแสดงพฤติกรรมตามที่เรต้องการ ยกตัวอย่างเช่นการจดจำ สิ่งที่เคยเรียนรู้มาก่อน ดังนั้นเราสามารถสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ทำงานที่เราต้องการ โดยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์น้ำหนักและไบแอสของโครงข่ายประสาทเทียมหรือบางทีโครงข่ายประสาทเทียมจะปรับพารามิเตอร์เพื่อให้ได้สิ่งคาดหวังด้วยตัวเองอย่างอัตโนมัติ

2.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบหลายอินพุต

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายอินพุตในรูปเวกเตอร์ $\mathbf{p} = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_R]$ มีอินพุต R ค่าอินพุต แต่ละตัวถูกคูณด้วยเวกเตอร์น้ำหนัก $\mathbf{w} = [w_{11} \ w_{12} \ \dots \ w_{1R}]$ แล้วป้อนให้กับฟังก์ชันถ่ายโอน f เป็นเอาต์พุต a ดังสมการ

$$n = \mathbf{W} \mathbf{p} + b = w_{11}p_1 + w_{12}p_2 + \dots + w_{1R}p_R + b$$

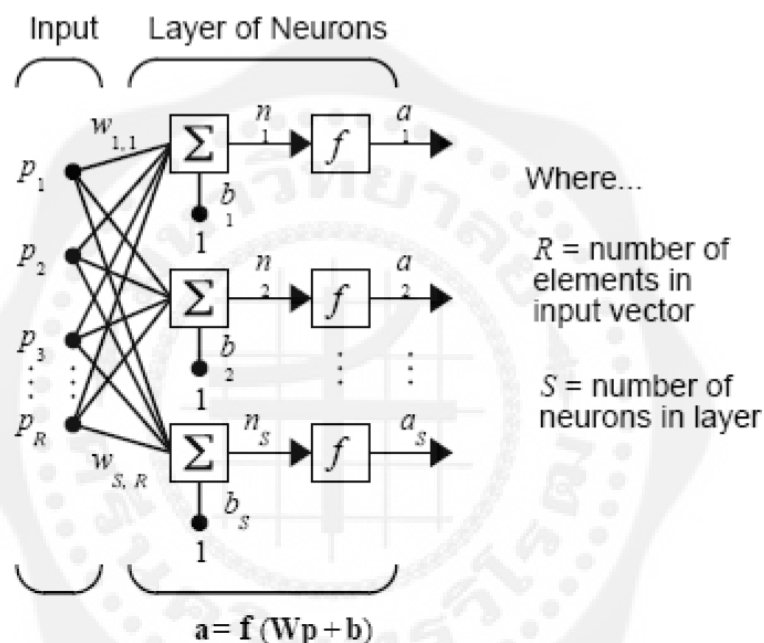
$$a = f(n) = f(\mathbf{W} \mathbf{p} + b)$$



รูปที่ 2.14 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งหน่วยแบบหลายอินพุต (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบเป็นชั้น

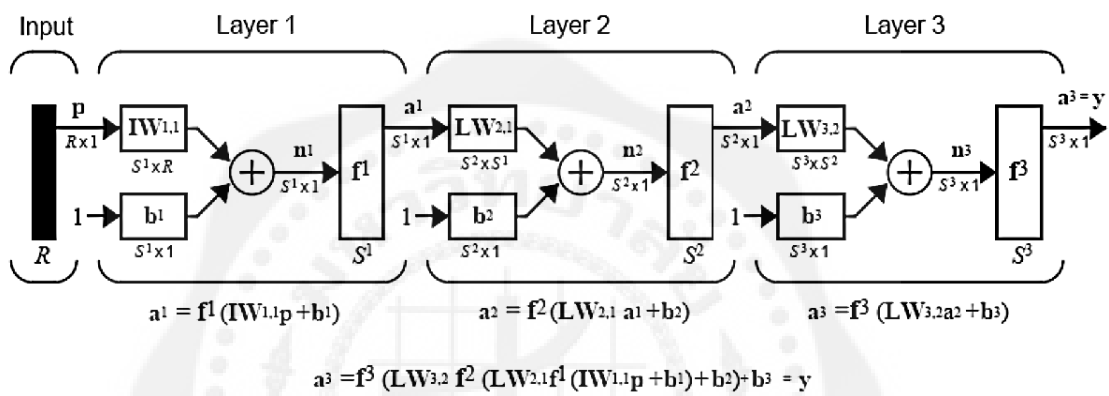
ในระบบงานทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวแปร โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายหน่วยหลายอินพุต จะมีหลายสัญญาณเข้าและหลายสัญญาณออก ซึ่งทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบหลายตัวแปรได้ โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายอินพุตมีชื่อทั่วไปว่า โครงข่ายประสาทเทียมแบบเป็นชั้น (Layered Perceptron) โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งชั้นแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงข่ายประสาทเทียมหนึ่งชั้น (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron : MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้มากที่สุด เป็นโครงข่ายที่สามารถทำงานที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ อาจกล่าวได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานเกือบทุกประเภท โดยมีข้อแม้ว่าต้องมีจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม



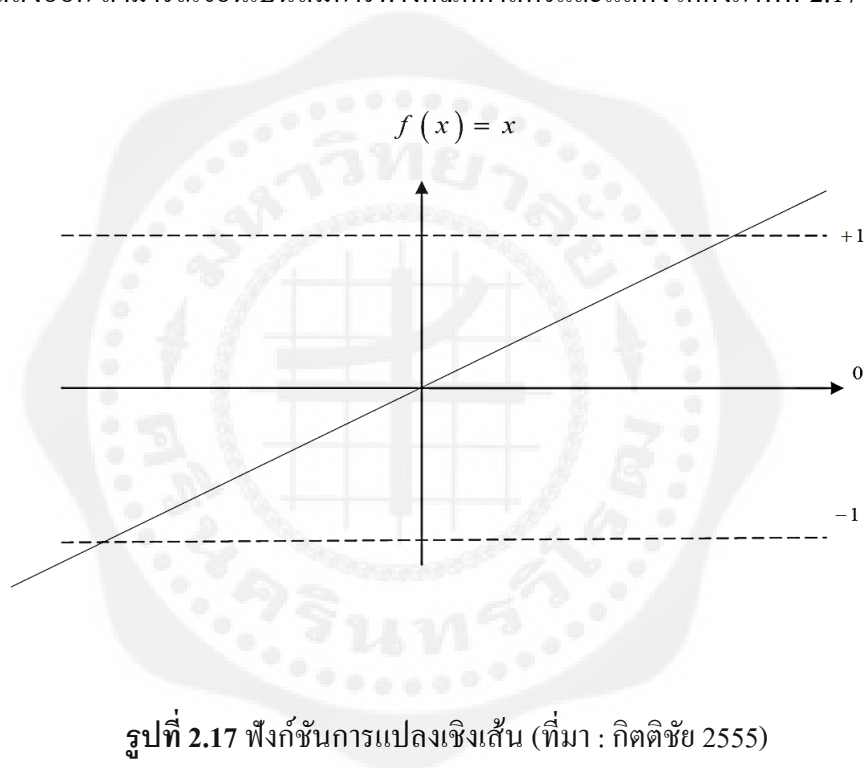
รูปที่ 2.16 โครงข่ายประสาทเทียมสามชั้น (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.5 ฟังก์ชันการแปลง (Transfer Function)

เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function) เป็นต้น

2.3.6 Linear Transfer Function (purelin)

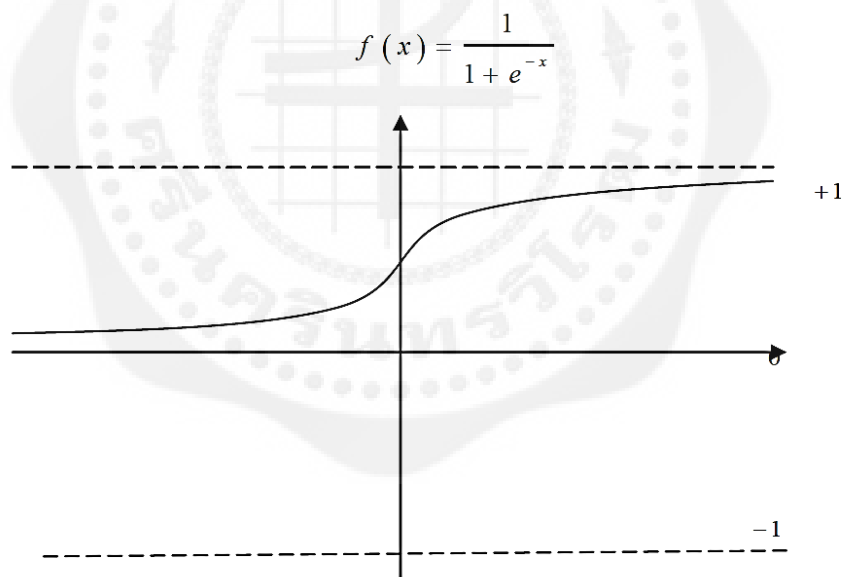
ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น สามารถเรียนรู้เพียงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลป้อนเข้า และข้อมูลส่งออก สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์และแสดงได้ดังภาพที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ฟังก์ชันการแปลงเชิงเส้น (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.6 Sigmoid Function (logsig)

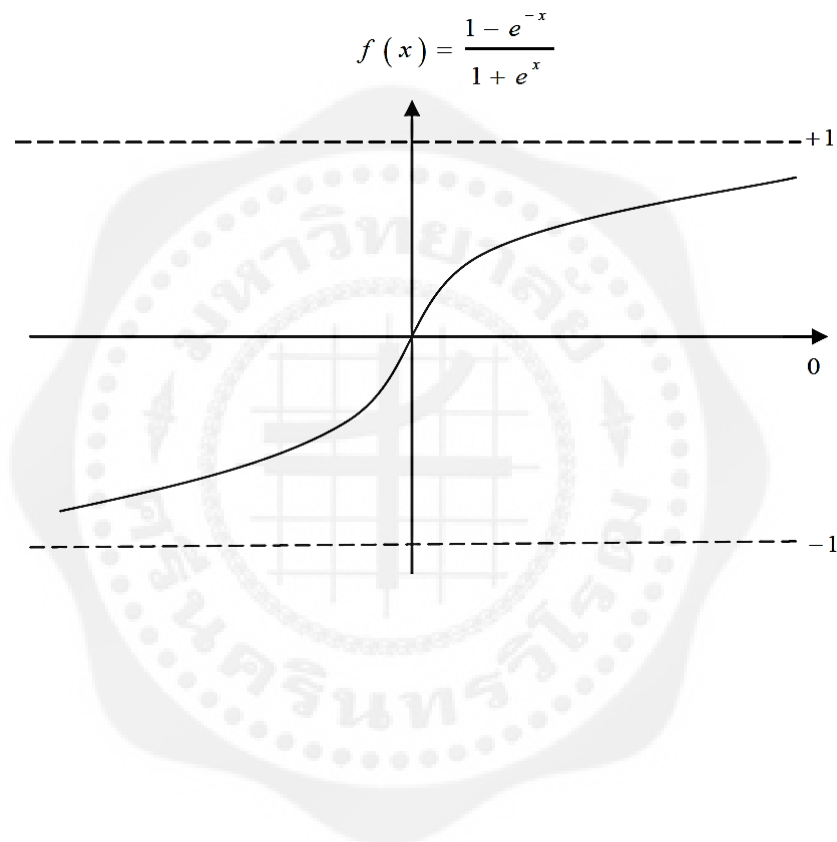
ซิกมอยด์ฟังก์ชันหรือฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ จะบีบช่วงข้อมูลป้อนเข้าที่ไม่จำกัด ให้เป็นช่วงของข้อมูลส่งออกที่จำกัด โดยที่ช่วงของข้อมูลส่งออกจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์จะแสดงลักษณะของข้อเท็จจริงที่มีความชันเข้าใกล้ศูนย์เมื่อข้อมูลป้อนเข้ามีจำนวนมาก ขั้นตอนวิธีการฝึกฝนแบบแพร่ย้อนกลับ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลกระทบที่ส่งผลต่อขนาดของอนุพันธ์ไม่ให้มีผลกระทบต่อค่าน้ำหนักปัจจุบัน โดยขนาดของการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักถูกกำหนดโดยค่าปัจจุบันที่แยกออกมา ค่าปัจจุบันสำหรับค่าน้ำหนักและความโน้มเอียงแต่ละค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุพันธ์ของฟังก์ชันสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักที่มีเครื่องหมายเดียวกันสำหรับการกระทำซ้ำรอบสอง และค่าปัจจุบันจะลดลงเมื่ออนุพันธ์ที่สัมพันธ์กับน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายจากการกระทำซ้ำรอบก่อน ถ้าอนุพันธ์เท่ากับศูนย์แสดงว่าค่าปัจจุบันยังคงเดิม ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์และแสดงได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.7 Hyperbolic Tangent Function (tansig)

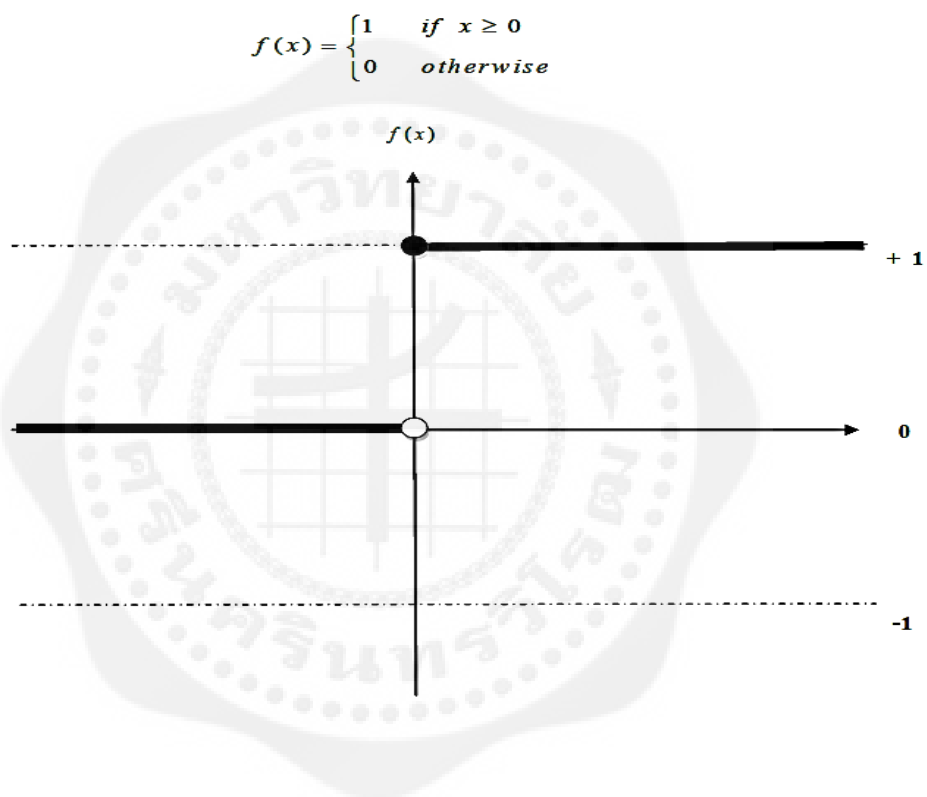
ฟังก์ชันการแปลงแบบไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ มีลักษณะเช่นเดียวกับฟังก์ชันการแปลงแบบซิกมอยด์ (Sigmoid Transfer Function) แต่ต่างกันเพียงช่วงของข้อมูลส่งออกจะอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 ฟังก์ชันการแปลงแบบไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ และแสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันการแปลงแบบ hyperbolic tangent function (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.8 Hard Limit transfer Function (hardlim)

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันชนิดนี้จะให้ค่าเอาต์พุต 2 ค่า ตามค่าเนื้องานเข้าพุท กล่าวคือหากค่าอินพุทมีค่าต่ำกว่า 0 จะให้เอาต์พุต เป็น 0 และถ้าหากค่าอินพุท มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 จะให้ค่าเอาต์พุต เป็น 1 ดังรูปที่ 2.20

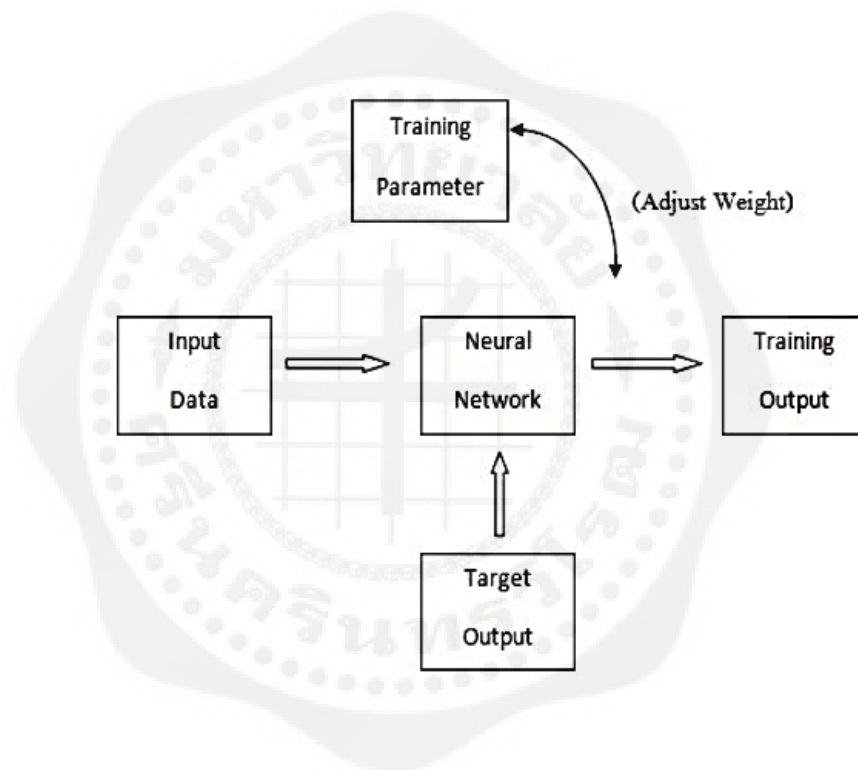


รูปที่ 2.20 ฟังก์ชันการแปลง Hard Limit Transfer Function (ที่มา : กิตติชัย 2555)

2.3.9 การเรียนรู้สำหรับ Neural Network

2.3.9.1 Supervised learning การเรียนแบบมีการสอน

เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้วงจรมีการปรับตัวชุดข้อมูลที่ใช้สอน วงจรข่ายจะมีค่า ตอบไว้คอยตรวจดูว่าวงจรมีคำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก วงจรข่ายก็จะปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (เปรียบเทียบกับคน เหมือนกับการสอนนักเรียน โดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ) ดังรูปที่ 2.21

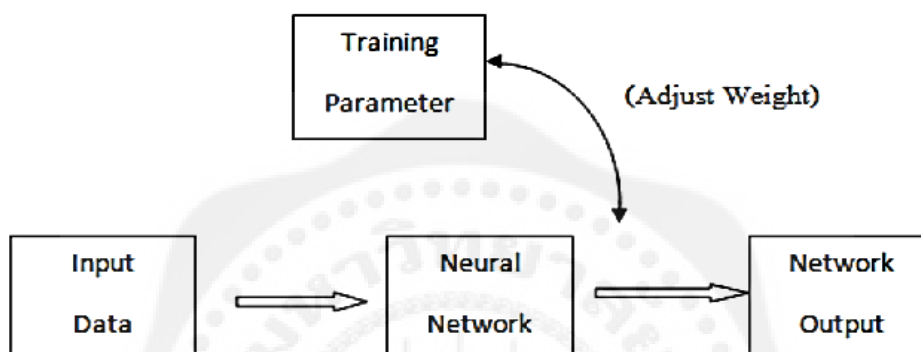


รูปที่ 2.21 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)

ที่มา : กิตติชัย 2555

2.3.9.2 Unsupervised learning การเรียนแบบไม่มีการสอน

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ วงจรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

ที่มา : กิตติชัย 2555

2.9.10 กระบวนการสอนหรือการเรียนรู้ (Training or Learning)

ความคิดพลาดที่โครงข่ายใช้ในกระบวนการเรียนรู้หรือกระบวนการสอนนั้นมีอยู่โดยหลักการ 3 ข้อ คือ 1) ค้นหาคำตอบ 2) ตรวจสอบคำตอบว่าถูกต้องหรือไม่ 3) ปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักแล้วคำนวณใหม่อีกครั้ง กระบวนการสอนคือการนำข้อผิดพลาดจากการคำนวณครั้งก่อนมาปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักให้กับการสอนในรอบต่อไปทำให้คำตอบที่ได้มีความถูกต้องสูงขึ้น ในขั้นตอนการเรียนรู้จะเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการปรับค่าน้ำหนักของแต่ละโหนดโดยอาศัยจากประสบการณ์การเรียนรู้ของโครงข่ายการเรียนรู้ของโครงข่ายในแต่ละรอบจะนำผลลัพธ์ที่ประมวลได้มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่ได้จากการทดลองซึ่งอาจจะมีคลาดเคลื่อนหลังจากนั้นโครงข่ายจะย้อนกลับไปเรียนรู้ในรอบต่อไปพร้อมกับการปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อให้การประมวลผลรอบต่อไปมีความแม่นยำมากขึ้น การปรับแก้อาจจะเป็นการปรับขึ้นหรือปรับลงก็ได้

การวัดผลว่าโครงข่ายสามารถเรียนรู้ได้ดีเพียงใดจะดูจากตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่นค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) ในชั้นแสดงผลลัพธ์

เป็นกระบวนการใช้ตัวอย่างเพื่อพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่รวมรูปแบบของอินพุตด้วยคำตอบที่ถูกต้อง กลุ่มของตัวอย่างที่มีเอาต์พุตที่รู้จักถูกส่งไปยังเน็ตเวิร์คซ้ำ ๆ กัน เพื่อฝึกสอนระบบโครงข่าย กระบวนการฝึกสอนจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องซึ่งการฝึกสอนมีขั้นตอนในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักได้ดังนี้

$$W_i^{new} = W_{i-1}^{old} + e_i p_i$$

- เมื่อ W_i^{new} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่ต้องการหา (ตัวที่ i)
 W_{i-1}^{old} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักตัวที่อยู่ก่อนหน้า (ตัวที่ $i - 1$)
 e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (ตัวที่ i) ซึ่งสามารถหาได้จาก $t_i - a_i$
 p_i คือ ข้อมูลนำเข้า (Input) ตัวที่ i
 t_i คือ ข้อมูลเป้าหมาย (Target) ตัวที่ i

การฝึกสอน มีขั้นตอนในการคำนวณไบแอส ได้ดังนี้

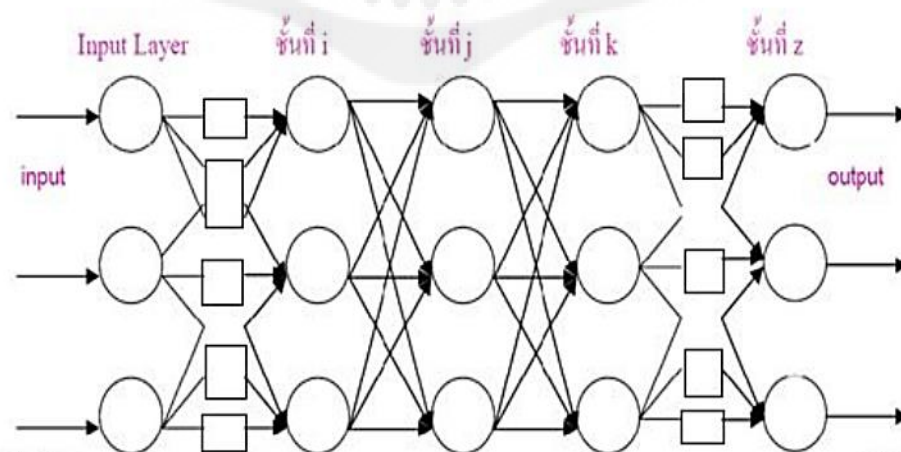
$$b_i^{new} = b_{i-1}^{old} + e_i$$

- เมื่อ b_i^{new} คือ ค่าความเอนเอียงตัวที่ต้องการหา (ตัวที่ i)
 b_{i-1}^{old} คือ ค่าความเอนเอียงตัวที่อยู่ก่อนหน้า (ตัวที่ $i - 1$)
 e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (ตัวที่ i) ซึ่งสามารถหาได้จาก $t_i - a_i$

2.4 อัลกอริทึมของการแพร่ย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm)

วิธีการแพร่กระจายกลับเป็นการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ ซึ่งประกอบด้วย การส่งผ่านสองแบบระหว่างชั้นของเครือข่ายประสาทคือการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward Pass) และการเคลื่อนที่แบบย้อนกลับ (Backward Pass) ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าข้อมูลจะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่ายประสาทในชั้นตัวแปรด้านเข้า เคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นซ่อน เพื่อคำนวณจนได้ผลลัพธ์ออกมาที่ชั้นตัวแปรด้านนอก เมื่อมีตัวแปรด้านเข้า เข้าสู่เครือข่ายประสาทประสาทในระหว่างการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ค่าถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างชั้นของตัวแปรในเครือข่ายประสาททั้งหมดยังคงที่ และระหว่างการเคลื่อนที่ย้อนกลับจะตรงกันข้ามคือ ค่าของตัวถ่วงน้ำหนักระหว่างชั้นของเครือข่ายประสาท จะถูกปรับเปลี่ยนค่าไปตามกฎการปรับค่าความผิดพลาด (Error – Correction Rule) โดยที่ค่าผลลัพธ์ที่ได้ของเครือข่ายประสาท ไปลบกับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ (Desired or Target) คือค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะแพร่กระจายกลับไปยังเครือข่ายตามทิศทางของการเชื่อมต่อ ดังนั้นจึงได้ชื่อว่า “ การแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ ” (Error Back-Propagation) ค่าตัวถ่วงน้ำหนักที่เชื่อมต่อจะถูกปรับเพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายเข้าใกล้ผลลัพธ์ที่ต้องการ

การแพร่ย้อนกลับเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน Multilayer Perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาศัยความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุต ที่ต้องการพิจารณา รูปต่อไปนี้เป็นประกอบ



รูปที่ 2.23 การแพร่ย้อนกลับ (ที่มา : จริยะ 2553)

2.4.1 ขั้นตอนของการแพร่ย้อนกลับ มีดังนี้

1.) กำหนดค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (Learning Rate : r)

2.) สำหรับแต่ละตัวอย่างอินพุต ให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้จนกว่าได้ระดับ

ประสิทธิภาพ (Performance) ที่ต้องการ

- คำนวณหาค่าเอาต์พุต โดยใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้น ซึ่งอาจได้จากการสุ่ม

- คำนวณหาค่า β : แทนประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตของแต่ละ

โหนดในชั้นเอาต์พุต

$$\beta_z = d_z - o_z$$

เมื่อ d_z = ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

o_z = ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้

- ในชั้นซ่อน (Hidden Layer)

$$B_j = \sum_k W_{jk} o_k (1 - o_k) \beta_k$$

เมื่อ w_{jk} = น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นที่ j กับ k

- คำนวณค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับในท่อน้ำหนักด้วยสมการต่อไปนี้

$$\Delta w_{ij} = r o_i o_j (1 - o_j) \beta_j$$

- เพิ่มค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง สำหรับตัวอย่างอินพุตทั้งหมด และเปลี่ยนค่า

น้ำหนัก

การนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานนั้นจะต้องมี 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการฝึกสอน (Training) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีหลักการดังนี้

2.4.2 ขั้นตอนการฝึกสอน (Training)

สำหรับขั้นตอนของการฝึกสอนเน็ตเวิร์ค (Training Network) นั้นจะเป็นแบบควบคุม (Supervised Training) ซึ่งการฝึกสอนแบบควบคุมนี้จะต้องมีคู่ของการฝึกสอน (Training Pairs) ระหว่างรูปแบบอินพุตกับรูปแบบเป้าหมายที่ต้องการ โดยในโครงข่ายจะถูกฝึกสอนไปตามจำนวนคู่ของรูปแบบที่ต้องการให้โครงข่ายรู้จักตามลำดับ ซึ่งค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้จากโครงข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความสอดคล้องของรูปแบบเป้าหมาย และค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนกลับไปยังโครงข่ายเพื่อเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighted Value) ให้สอดคล้องกับอัลกอริทึม (Algorithm) โดยจะส่งผลทำให้แนวโน้มของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างเอาต์พุตกับเป้าหมายมีค่าลดต่ำลงจนถึงค่าที่กำหนด และสมการหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของเอาต์พุตทั้งหมดสามารถหาได้จาก

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Target_i - Output_i)^2$$

เมื่อ N คือ จำนวนรูปแบบของคู่ระหว่างอินพุตกับเป้าหมาย

Target คือ รูปแบบเป้าหมายที่ต้องการ

Output คือ รูปแบบที่ได้จากโครงข่าย

สำหรับขั้นตอนในการฝึกสอนแบบแพร่ย้อนกลับนั้นมีอยู่ 2 ส่วน คือ การแพร่ไปข้างหน้า (Forward Propagation) และการแพร่ย้อนกลับ (Backward Propagation)

ในส่วนของการแพร่ไปข้างหน้า (Forward Propagation) จะเป็นการป้อนข้อมูลอินพุตให้กับนิวรอลเน็ตเวิร์ค จากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมก็จะทำการคำนวณจากชั้นอินพุตไปยังชั้นเอาต์พุต โดยกำหนดให้ $X_p = (X_{p1}, X_{p2}, X_{p3}, \dots, X_{pn})$ เป็นข้อมูลที่ป้อนให้กับชั้นอินพุต p และหมายถึงลำดับของการเรียนรู้ และจะได้เน็ตอินพุต ที่ j ของชั้นซ่อนเป็น

$$Net_{pj}^h = \sum_{i=1}^N V_{ji}^h X_{pi} + b_j^h$$

และคำนวณเอาต์พุตที่ชั้นซ่อนได้จากสมการ

$$Z_{pj} = f(\text{net}_{pi}^h)$$

และสมการที่ชั้นเอาต์พุตเป็น

$$\text{net}_{pk}^o = \sum_{j=1}^L W_{kj}^o Z_{pj} + b_k^o Y_{pk} = f(\text{net}_{pk}^o)$$

เมื่อ $f(x)$ คือ ซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function)

X คือ โหนดอินพุต (Input Node)

Y คือ โหนดเอาต์พุต (Output Node)

Z คือ โหนดซ่อน (Hidden Node)

w คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของโหนดเอาต์พุต (Weighted Value of Output Node)

v คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของโหนดซ่อน (Weighted Value of Hidden Node)

b คือ ค่าไบอัส (Bias Value) ซึ่งกำหนดให้

$$b_j^h = v_{0j}$$

$$b_k^o = w_{0k}$$

ในส่วนของการแพร่ย้อนกลับ (Backward Propagation) จะเป็นการคำนวณจากชั้นเอาต์พุตมายังชั้นอินพุต โดยมีการคำนวณหาค่าความผิดพลาดเพื่อที่จะปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักของชั้นซ่อนและชั้นเอาต์พุต โดยจะปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่ชั้นเอาต์พุตคำนวณได้จากสมการ

$$\delta_{pk} = f'(\text{net}_{pk}^o)(t_k - Y_{pk})$$

เมื่อ $(t_k - Y_{pk})$ คือ ค่าความผิดพลาดที่ชั้นเอาต์พุต โดยกำหนดให้

$$\Delta w_{kj}^{(t)} = \eta \delta_{pk} Z_{pi}$$

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก โดยการรวมค่าโมเมนตัม (μ) เข้าไปด้วยเพื่อช่วยให้ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) เข้าสู่เร็วขึ้น ดังสมการ

$$\Delta w_{kj}(t+1) = \eta \delta_{pk} Z_{pi} + \mu \Delta w_{kj}(t)$$

ดังนั้นจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักค่าใหม่ของชั้นเอาต์พุตเป็นดังสมการ

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \Delta w_{kj}(t+1)$$

เมื่อ η คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

μ คือ ค่าโมเมนตัม (Momentum)

δ_{pk} คือ ค่าความผิดพลาดคูณกับค่าดิฟเฟอเรนเชียลของฟังก์ชันกระตุ้น
ความสนใจ

$w_{kj}(t)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักเดิมของชั้นเอาต์พุตก่อนปรับค่า

$w_{kj}(t+1)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ของชั้นเอาต์พุตหลังปรับค่า

$\Delta w_{kj}(t+1)$ คือ การปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักโดยรวมค่าโมเมนตัมเข้ามา

และการปรับค่าถ่วงน้ำหนักที่ชั้นซ่อนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta_{pj} = f'(net_{pj}^h) \sum_k \delta_{pk} w_{kj}$$

เมื่อ $\sum_k \delta_{pk} w_{kj}$ คือ ค่าความผิดพลาดที่ชั้นซ่อน

โดยกำหนดให้

$$\Delta v_{ji}(t+1) = \eta \delta_{pj} X_{pi} + \mu \Delta v_{ji}(t)$$

ดังนั้นจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ที่ชั้นซ่อน ดังสมการ

$$v_{ji}(t+1) = v_{ji}(t) + \Delta v_{ji}(t+1)$$

เมื่อ $v_{ji}(t)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักเดิมของชั้นซ่อนก่อนปรับค่า

$v_{ji}(t+1)$ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ของชั้นซ่อนหลังปรับค่า

$\Delta V_{ji}(t+1)$ คือ การปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักโดยรวมค่าโมเมนตัมเข้ามา

δ_{pj} คือ ค่าควบคุมที่ทำให้ค่าถ่วงน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเข้าสู่จุดที่ดีที่สุด

ทำการคำนวณซ้ำจากสมการ $MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Target_i - Output_i)^2$ จนได้ค่า
 เอาท์พุทที่ถูกต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายโดยการตรวจสอบจากผลรวมของค่าผิดพลาดเฉลี่ย
 ระหว่างเอาท์พุทกับเป้าหมายทั้งหมด

2.4.3 ขั้นตอนการทดสอบ (Testing)

ในขั้นตอนการทดสอบข้อมูล จะมีวิธีการคำนวณเพื่อให้ได้เอาท์พุทในลักษณะเช่นเดียวกับการฝึกสอนในส่วนของการแพร่ไปข้างหน้าทุกประการ แต่แตกต่างกันตรงที่ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทดสอบและเอาท์พุทที่ได้ คือ ผลลัพธ์ของการทดสอบ ซึ่งการทดสอบนี้จะใช้เวลาน้อยกว่ากระบวนการฝึกสอนมาก เพราะการคำนวณเป็นเพียงการแพร่ไปข้างหน้า เพียงรอบเดียว โดยนำค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ที่ได้จากการฝึกสอนมาใช้งาน

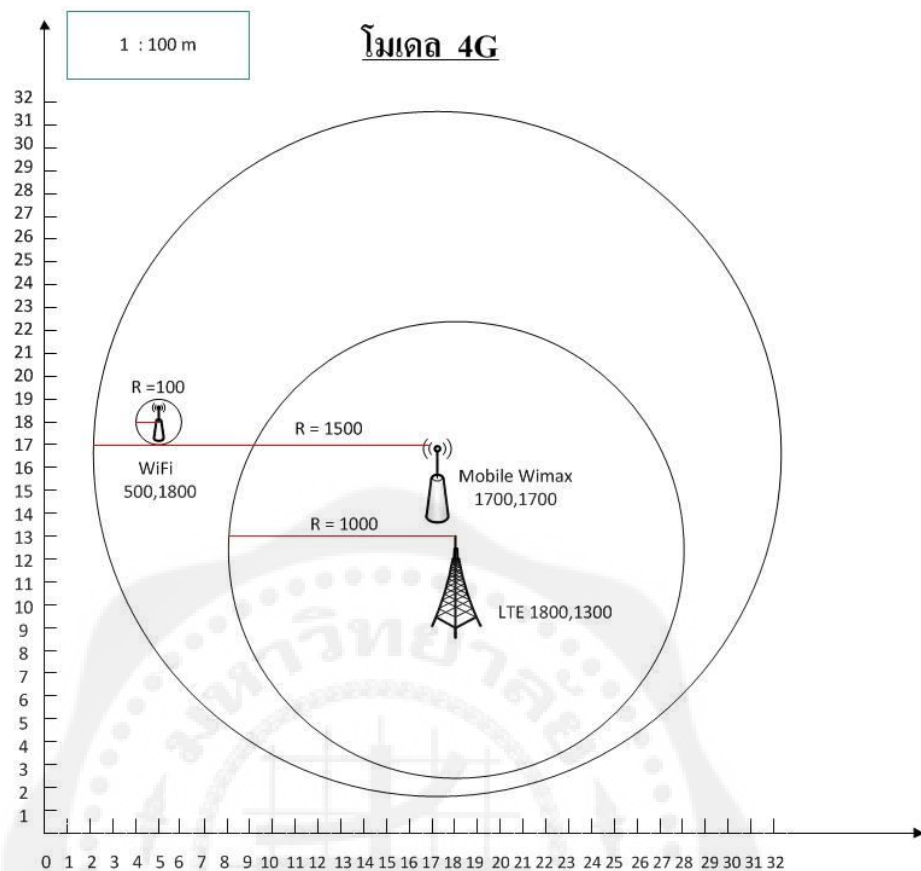
บทที่ 3

การออกแบบ

ในการศึกษาการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์แบบแนวตั้งโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับสำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 4 ในบทนี้จะมีส่วนของ วิธีการทดลองต่าง ๆ จะประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างของเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4 เพื่อให้สามารถมีข้อมูลเพื่อที่สามารถนำไปออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม แล้วนำโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ มาพิจารณาค่าอัตราการแฮนด์โอเวอร์ของระบบ และวิธีการหาอัตราการแฮนด์โอเวอร์ โดยใช้ค่า RSS เพียงอย่างเดียว

3.1 การออกแบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4

3.1.1 ออกแบบโครงสร้างเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4 โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแล็บและเพื่อแสดงผลให้เห็นชัดเจนจึงนำมาแสดงภาพจำลองโดยใช้โปรแกรม Visio



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4

จากรูปที่ 3.1 ได้ออกแบบโครงสร้างเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4 เพื่อกำหนดค่า และนำไปใช้ในสมการ หาค่า RSS ของระบบเครือข่ายได้แก่ Wi-Fi , LTE และ Mobile WiMAX โดยกำหนด สเกลของกราฟ 1 หน่วย ต่อ 100 เมตร

3.1.2 ออกแบบการสุ่มตำแหน่งของผู้ใช้ (User) โดยใช้โปรแกรมแมทแลป

กำหนดให้หมายเลข 1 คือ Wi-Fi มีรัศมีของสัญญาณจากสถานีฐาน คือ 100 m

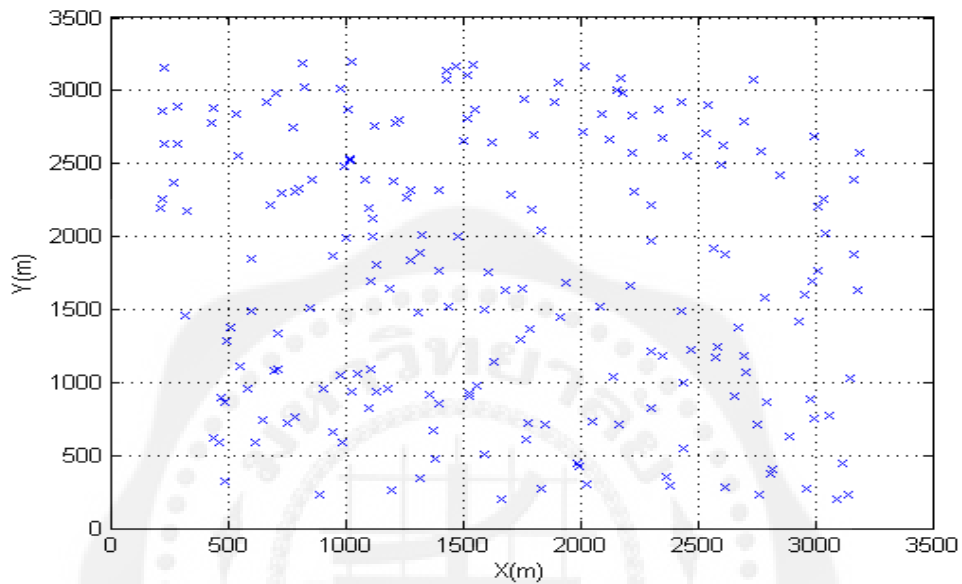
กำหนดให้หมายเลข 2 คือ LTE มีรัศมีของสัญญาณจากสถานีฐาน คือ 1000 m

กำหนดให้หมายเลข 3 คือ Mobile WiMAX มีรัศมีของสัญญาณจากสถานีฐาน คือ 1500 m

นำค่าที่ได้ไปลงบันทึกและเขียนในโปรแกรมแมทแลป เพื่อสุ่มในแต่ละตำแหน่งของผู้ใช้ โดยกำหนดจุดบนระนาบ x และ y ทำให้ได้ค่าสุ่มตำแหน่งของผู้ใช้ในเครือข่ายต่าง ๆ ของระบบ 4G แบ่งผู้ใช้ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 200,300,500,800 และ1000 คน ตามลำดับ

3.2 หาค่าอินพุท

3.2.1 หาค่า ความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength : RSS) ของระบบ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างตำแหน่งของผู้ใช้ 200 คน

จากรูปที่ 3.2 จะนำผลลัพธ์ที่ได้ แทนค่าลงในสมการการสูญเสียกำลังของสัญญาณตามระยะทาง ของทุกเครือข่ายมาใส่ในสมการเพื่อหาค่าความแรงของสัญญาณของระบบ

3.2.1.1 เครือข่าย Wi-Fi จะมีการหาค่าความแรงของสัญญาณ จากสมการ ที่ 2.1

$$RSS(d)_{dBm} = 10 \log\left(\frac{100}{39.37d}\right) \gamma \quad (2.1)$$

โดย γ คือค่าลดทอนการสูญเสีย มีค่าเท่ากับ 2.8

3.2.1.2 เครือข่าย LTE จากสมการ ที่ 2.2

$$PL(d)_{dB} = S + 10n \log(d) + X_\gamma \quad (2.2)$$

โดยค่า S คือค่าลดทอนกำลังของสัญญาณในการทดลองให้มีค่าเท่ากับ 19 dB

n คือค่าตัวคูณในการลดทอนสัญญาณที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้างหรือตึก อาคารสถานที่ให้มีค่าเท่ากับ 3.5

X_γ คือค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนการทดลองใช้ค่าเท่ากับ 36 dB

และนำค่าที่ได้ดังกล่าวมาข้างต้นมาคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณ จาก

สมการ (2.3)

$$RSS(d) = P_t - PL(d) \quad (2.3)$$

โดยค่า P_t คือค่ากำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานเท่ากับ 1 Watt

3.2.1.3 เครื่องข่าย Mobile WiMAX จะมีสมการหาค่ากำลังการสูญเสียโดยแปรผกผัน ตามระยะทางได้ดังสมการที่ 2.4

$$PL(d)_{dB} = 20 \log\left(\frac{4\pi d_0}{\lambda}\right) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\gamma \quad (2.4)$$

โดยค่า d_0 คือค่าระยะทางอ้างอิงซึ่งมีค่าเท่ากับ 1

$$\lambda \text{ มาจาก } \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{3.5 \times 10^8}$$

n คือค่าตัวคูณในการลดทอนสัญญาณที่เกิดจากสิ่งปลูกสร้างหรือตึก อาคารสถานที่ให้มีค่าเท่ากับ 4

X_γ คือค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียนการทดลองใช้ค่าเท่ากับ 36 dB

และนำค่าที่ได้ มาหาค่าความแรงของสัญญาณ จากสมการที่ 2.3

ทำการคำนวณเพื่อหาค่าตามสมการความแรงของสัญญาณ ของแต่ละเครือข่ายได้ผล ดังต่อไปนี้

Wi-Fi	มีค่า -87 dBm ถึง -82 dBm
LTE	มีค่า -147dBm ถึง -143dBm
Mobile WiMAX	มีค่า -162dBm ถึง -158dBm

3.2.2 หาค่าใช้จ่าย (Cost) ของระบบ

ค่าใช้จ่ายของแต่ละเครือข่ายของระบบเครือข่ายไร้สายในยุคที่ 4 จะมีค่าไม่เท่ากัน สืบเนื่องมาจากต้นทุนของแต่ละเครือข่ายไม่เท่ากัน เช่น อุปกรณ์ ค่าติดตั้ง และค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา เป็นต้น โดยแต่ละเครือข่ายจะมีค่าใช้จ่าย ดังนี้

3.2.2.1 ค่าใช้จ่าย ของเครือข่าย Wi-Fi มีค่า 0.2 ถึง 0.4

3.2.2.2 ค่าใช้จ่าย ของเครือข่าย LTE มีค่า 0.5 ถึง 0.7

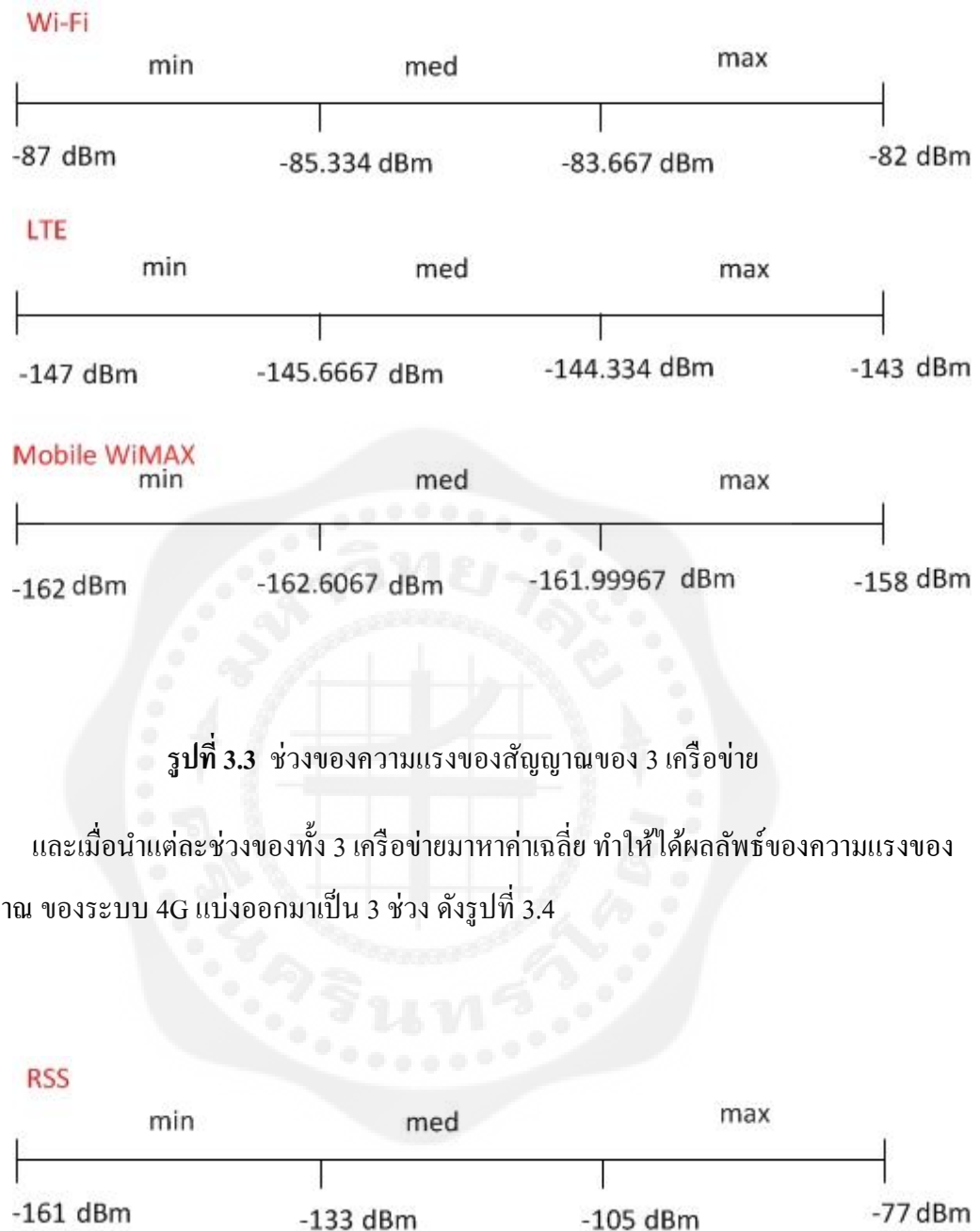
3.2.2.3 ค่าใช้จ่าย ของเครือข่าย Mobile WiMAX มีค่า 0.8 ถึง 1.0

3.2.2 หาค่าปริมาณทราฟฟิก (Traffic Intensity : TI) ของระบบ

ค่าปริมาณทราฟฟิก ของระบบจะใช้เท่ากันทั้ง 3 เครือข่าย มีค่า $0.63 \text{ Erlangs/Channel}$ ถึง $0.7 \text{ Erlangs/Channel}$

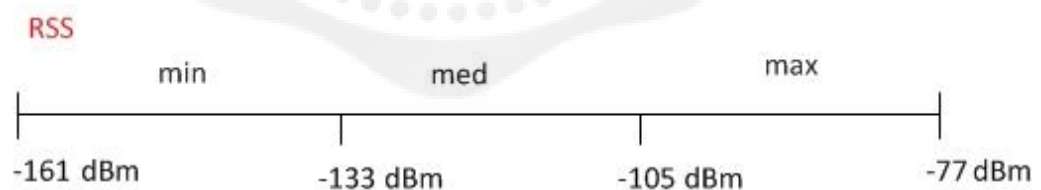
3.3 การแบ่งช่วงของอินพุท

3.3.1 การหาค่าความแรงของสัญญาณ โดยโปรแกรมแมทแลป โดยนำแต่ละเครือข่ายมาแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้ดังรูปที่ 3.3



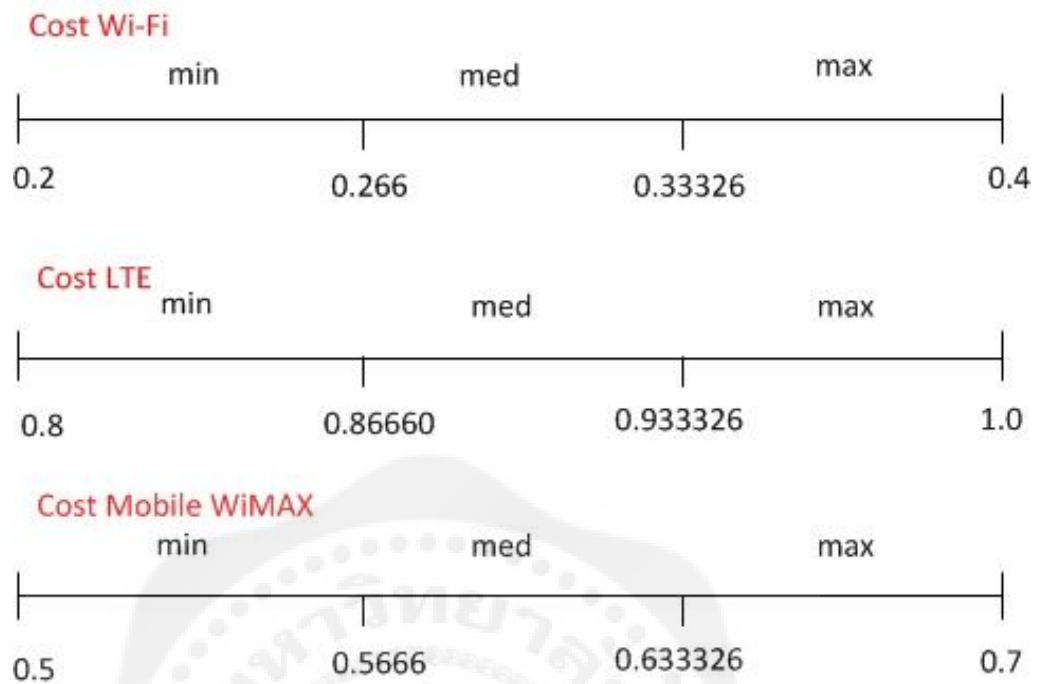
รูปที่ 3.3 ช่วงของความแรงของสัญญาณของ 3 เครือข่าย

และเมื่อนำแต่ละช่วงของทั้ง 3 เครือข่ายมาหาค่าเฉลี่ย ทำให้ได้ผลลัพธ์ของความแรงของสัญญาณ ของระบบ 4G แบ่งออกมาเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ช่วงความแรงของสัญญาณของระบบ 4G

3.3.2 แบ่งช่วงจากค่าของค่าใช้ข่าย ทั้ง 3 เครือข่าย โดยนำแต่ละเครือข่ายมาแบ่งเป็น 3 ช่วง เพื่อนำเครือข่ายมาหาค่าเฉลี่ย ได้ดังรูปที่ 3.5



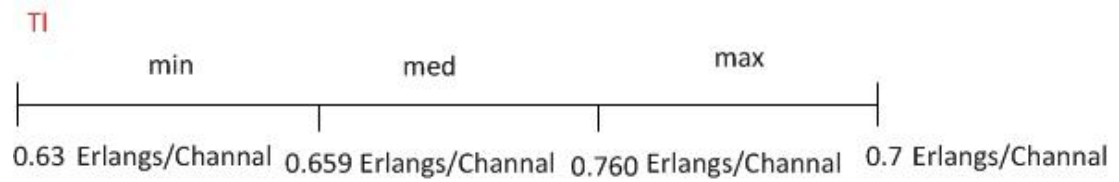
รูปที่ 3.5 ช่วงของค่าใช้จ่ายของ 3 เครือข่าย

และเมื่อนำแต่ละช่วงของทั้ง 3 เครือข่ายมาหาค่าเฉลี่ย ทำให้ได้ผลลัพธ์ค่าใช้จ่าย ของระบบ 4G แบ่งออกมาเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ช่วงค่าใช้จ่ายของระบบ 4G

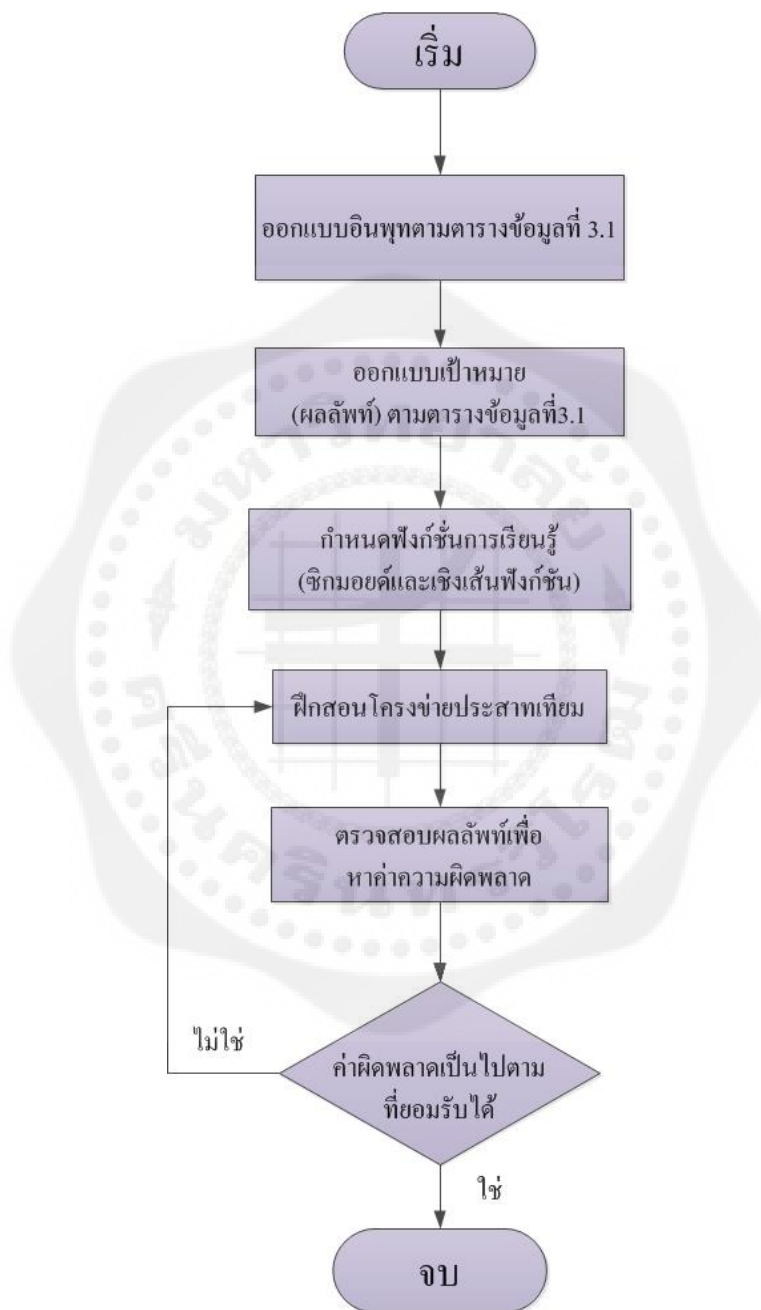
3.3.3 แบ่งช่วงของค่าปริมาณทราฟฟิกของระบบ 4G สามารถแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้ดังรูปที่ 3.7
ช่วงของค่าปริมาณทราฟฟิกของระบบ 4G



รูปที่ 3.7 ช่วงของค่าปริมาณทราฟฟิกของระบบ 4G



3.4 ออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 3.8 จะให้เห็นถึงการออกแบบเป็นส่วน ๆ ของการทำงานในการออกแบบใน
ขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1 ออกแบบค่าอินพุตและค่าเป้าหมาย

จากการแบ่งทั้ง 3 อินพุตเป็น 3 ช่วง ทำให้ค่าอินพุตและค่าเป้าหมายมีการออกแบบ
ทั้งหมด 27 เงื่อนไข ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบของอินพุตและเป้าหมาย

RSS	TI	Cost	Target
Min	Min	Min	HO
Min	Min	Med	HO
Min	Min	Max	HO
Min	Med	Min	HO
Min	Med	Med	HO
Min	Med	Max	HO
Min	Max	Min	HO
Min	Max	Med	HO
Min	Max	Max	HO
Med	Min	Min	NOHO
Med	Min	Med	NOHO
Med	Min	Max	NOHO
Med	Med	Min	NOHO
Med	Med	Med	NOHO
Med	Med	Max	HO
Med	Max	Min	HO

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบของอินพุตและเป้าหมาย (ต่อ)

RSS	TI	Cost	Target
Med	Max	Med	HO
Med	Max	Max	HO
Max	Min	Min	NOHO
Max	Min	Med	NOHO
Max	Min	Max	NOHO
Max	Med	Min	NOHO
Max	Med	Med	NOHO
Max	Med	Max	NOHO
Max	Max	Min	NOHO
Max	Max	Med	NOHO
Max	Max	Max	NOHO

จากตารางที่ 3.1 สามารถกำหนดค่าเพื่อจะนำไปเป็นการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความรู้จำได้ง่ายมากขึ้น โดยให้เงื่อนไขของ อินพุต

$$\text{Min} = 0$$

$$\text{Med} = 1$$

$$\text{Max} = 2$$

และเงื่อนไขของ เป้าหมาย

$$\text{HO} = 1$$

$$\text{NOHO} = 0$$

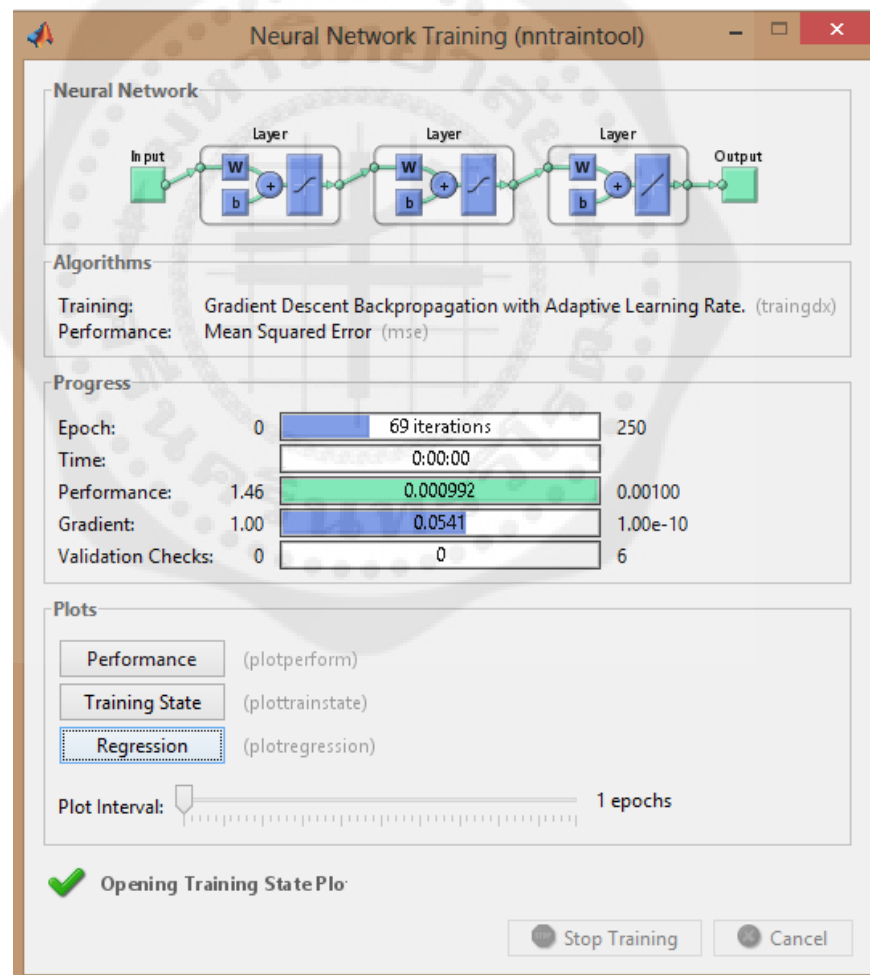
3.4.2 กำหนดฟังก์ชันและค่าการทำงานต่าง ๆ ของโครงข่ายประสาทเทียม

ในส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับที่ใช้ในการทดลองดำเนินงานนั้น ประกอบด้วยจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้นซึ่งมีฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นแทนเจนต์ซิกมอยด์ และชั้นเอาต์พุต 1 ชั้นมีฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นแบบเชิงเส้น โดยกำหนดจำนวนรอบในการเรียนรู้หรือการ

ฝึกสอนทั้งสิ้นเป็นจำนวน 250 รอบ ซึ่งการเรียนรู้ในแต่ละรอบนั้นจะทำการปรับปรุงทั้งค่าการเรียนรู้และค่าโมเมนตัมเพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้เร็วขึ้น และสามารถยอมรับค่าความผิดพลาดได้ที่ 0.001

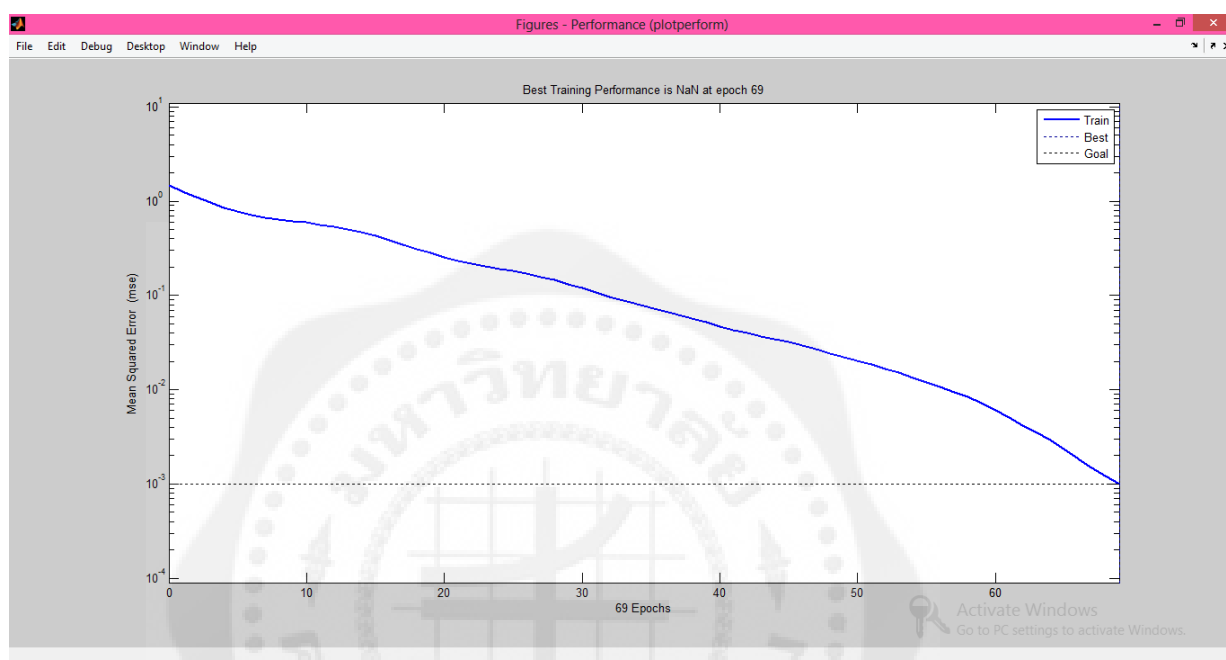
3.4.3 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

เมื่อได้สร้างโครงข่ายประสาทเทียมตามฟังก์ชันและเงื่อนไขต่าง ๆ แล้ว (ภาคผนวก ค) จะทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยกด RUN ในโปรแกรมแมทแล็บ เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมได้รับการฝึกสอนอย่างสมบูรณ์แล้วจะมีหน้าต่างขึ้น ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หน้าต่างแสดงการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมอย่างเสร็จสมบูรณ์

เพื่อตรวจสอบการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม จะได้กราฟแสดงอัตราการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูป ที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงอัตราการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม

สำหรับในรูปที่ 3.10 จะเป็นกราฟที่แสดงถึงขั้นตอนในการเรียนรู้หรือการฝึกสอนของวิธีแบบแพร่ย้อนกลับซึ่งเป็นวิธีที่ได้ถูกนำเสนอในโครงการงานเล่มนี้ จะพบว่ามีการใช้จำนวนรอบในการเรียนรู้หรือการฝึกสอนทั้งหมดเป็นจำนวนเท่ากับ 250 รอบ แต่จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าค่าความผิดพลาดซึ่งอยู่ในรูปกำลังสองเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเริ่มมีการลู่เข้าสู่ค่า 0.001 ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ที่จำนวนรอบประมาณ 69 รอบ

3.4.4 ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียม

การทดสอบเครือข่ายประสาทเทียม มีขึ้นเพื่อทดสอบค่าความถูกต้องหลังจากที่ได้ทำการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้รู้จำ และนำไปแก้ไขในจุดที่เกิดข้อผิดพลาดในขั้นตอนต่าง ๆ

ก่อนที่จะสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียม ไปใช้กับการหาอัตราการแฮนด์โอเวอร์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

3.5 การหาจำนวน การแฮนด์โอเวอร์ แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

การหาจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ โดยการนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาพิจารณาด้วยการออกแบบในโปรแกรมแมทแลป แล้วกำหนดค่าตามที่ได้กล่าวถึงในตอนต้นรวมถึงนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ออกแบบไว้มาใช้พิจารณาการแฮนด์โอเวอร์ จะพิจารณาที่กลุ่มจำนวนผู้ใช้ 5 กลุ่ม แบ่งออกเป็น 200,300,500,800 และ1000 คน (ดูจากภาคผนวก ก)

3.6 การหาจำนวน การแฮนด์โอเวอร์ แบบทรซโซล

การหาจำนวนการแฮนด์โอเวอร์แบบทรซโซล จะนำค่าความแรงของสัญญาณในช่วงต้นโดยจะพิจารณาการแฮนด์โอเวอร์จาก ระดับความแรงของสัญญาณ ที่ผู้ใช้ได้รับของทั้ง 3 เครือข่าย เพียงอย่างเดียว โดยนำข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้จากวิธีการข้างต้นมาพิจารณา (ดูจากภาคผนวก ข)

3.6.1 Wi-Fi แฮนด์โอเวอร์ที่ระดับความแรง -82 dBm

3.6.2 LTE แฮนด์โอเวอร์ที่ระดับความแรง -143 dBm

3.6.3 Mobile WiMAX แฮนด์โอเวอร์ที่ระดับความแรง -158 dBm

3.7 การหาอัตราการเรียกขาดหาย แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับและวิธีทรซโซล

การหาอัตราการเรียกขาดหายเป็นอีก 1 วิธีที่ทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม ซึ่งการหาอัตราการเรียกขาดหายของทั้งสองวิธีนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{อัตราการเรียกขาดหาย} = \frac{\text{จำนวนการเรียกขาดหายของสถานีฐานนั้น}}{\text{จำนวนการเรียกที่มีการร้องขอแฮนด์โอเวอร์ของสถานีฐานนั้น}}$$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

สำหรับในส่วนเนื้อหาของบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองต่าง ๆ ทั้งหมด ที่ได้มีการอธิบายหลักทฤษฎีหรือแม้กระทั่งการออกแบบค่าของแบบจำลองต่าง ๆ เอาไว้ทั้งหมดแล้วในตอนต้น เพื่อพิสูจน์ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวิธีที่ได้นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีเดิมที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น

ที่ต้องพิจารณาข้อมูลนำเข้าทั้ง 3 พารามิเตอร์ เพราะการสะท้อนให้เห็นถึงคุณลักษณะที่แตกต่างของการทำงานในแต่ละเครือข่ายที่ต่างชนิดกัน ซึ่งในการทำงานของผู้จัดทำจะเริ่มจากการหาตำแหน่งของผู้ใช้ที่อยู่ของแต่ละเครือข่าย เพื่อหาความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับ โดยตำแหน่งของผู้ใช้ที่ทำการพิจารณา จะพิจารณาจากผู้ใช้ที่มีตั้งแต่ 200 - 1000 คน ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงการกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้ได้ดังกราฟต่อไปนี้

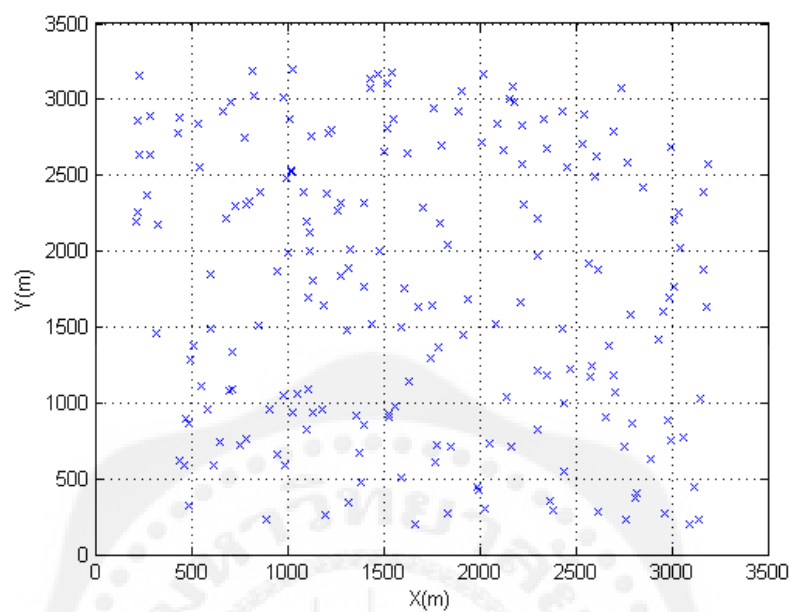
4.1 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้

การกระจายตัวของตำแหน่งผู้ใช้ จะมีลักษณะแบบสุ่มซึ่งมีการกระจายตำแหน่งอยู่ในช่วงตั้งแต่ 200 – 3,200 เมตร ทั้งในแนวแกน x และ y โดยพิจารณาที่คำสั่ง

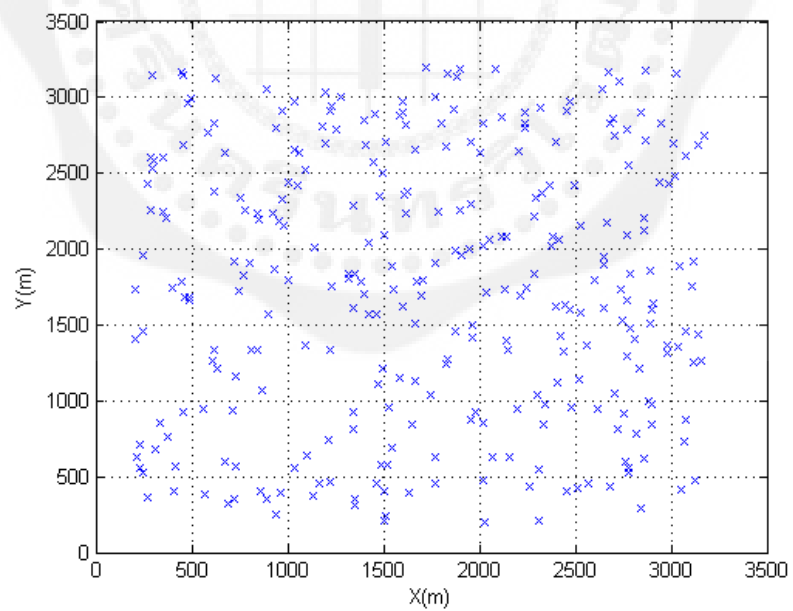
$$\text{dist_users_x} = \text{ax} + (\text{bx} - \text{ax}) * \text{rand}(\text{m}, \text{n})$$

$$\text{dist_users_y} = \text{ay} + (\text{by} - \text{ay}) * \text{rand}(\text{m}, \text{n})$$

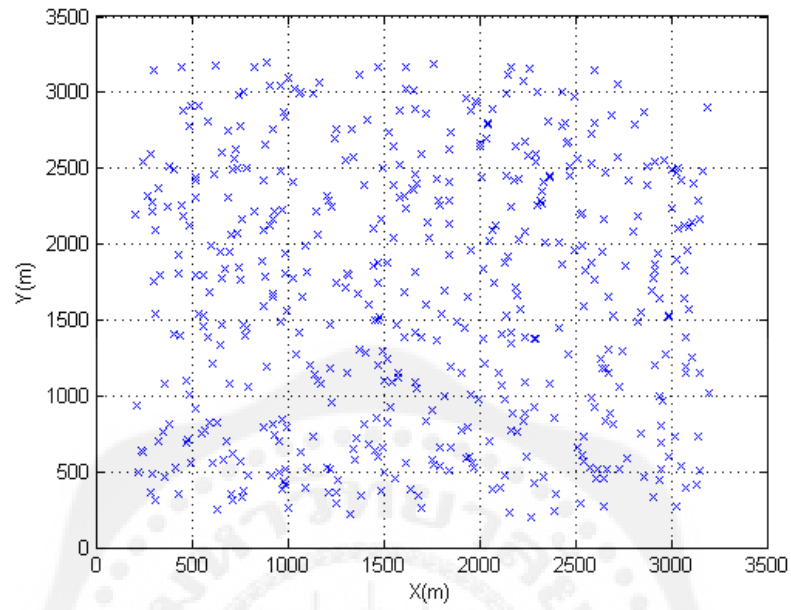
(ดูจากภาคผนวก ก) คือคำสั่งการกระจายตำแหน่งของผู้ใช้ให้อยู่บนระนาบของค่า x และค่า y ที่ได้กำหนดไว้จากการออกแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่า n คือจำนวนของผู้ใช้บริการเครือข่ายระบบ 4G ที่ได้มีการกำหนดค่าตั้งแต่ 200,300,500,800 และ 1000 คน แสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง รูปที่ 4.5 ตามลำดับ



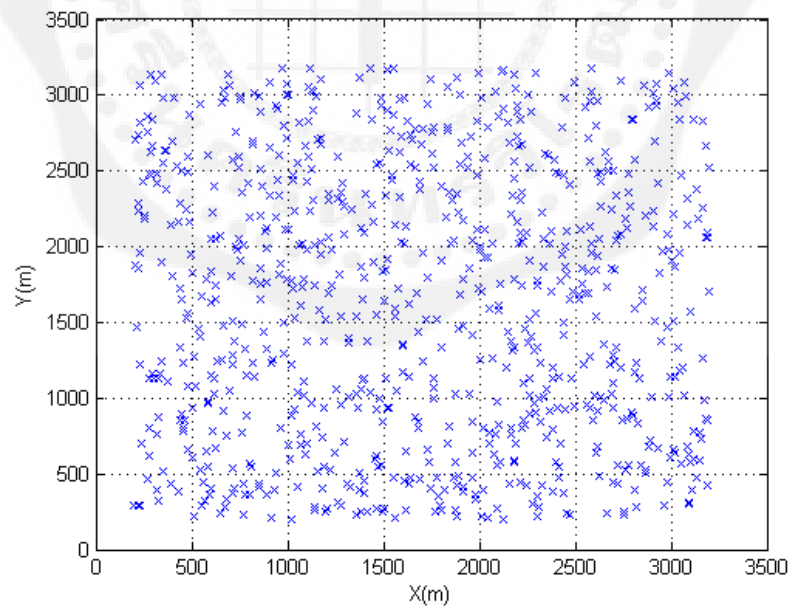
รูปที่ 4.1 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 200 คน



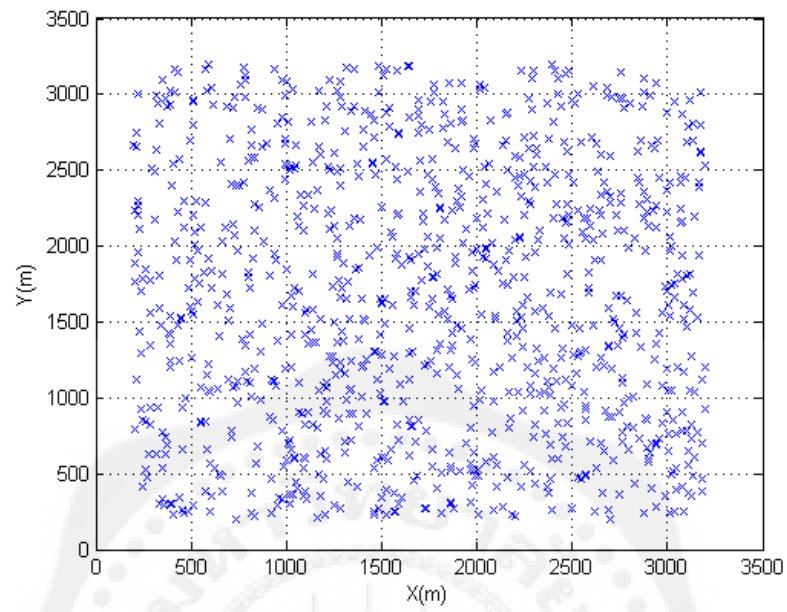
รูปที่ 4.2 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 300 คน



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 500 คน



รูปที่ 4.4 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 800 คน

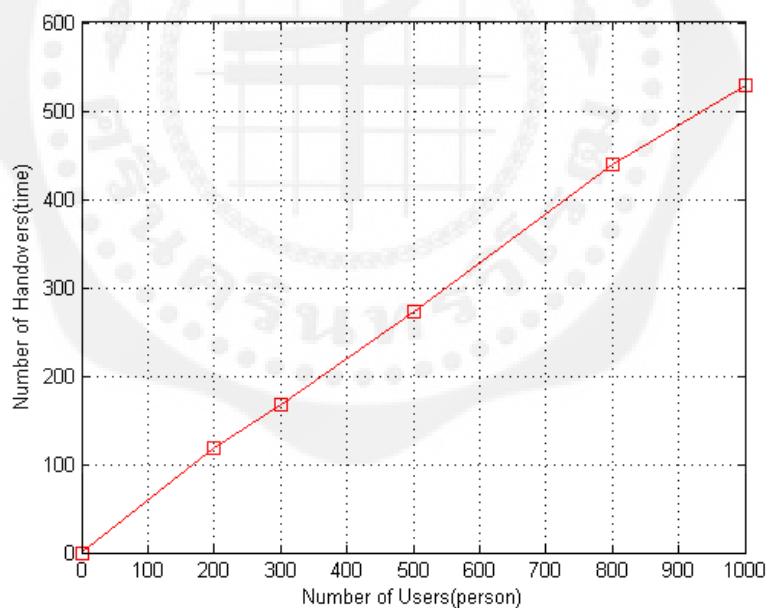


รูปที่ 4.5 การกระจายตัวตำแหน่งของผู้ใช้จำนวน 1000 คน

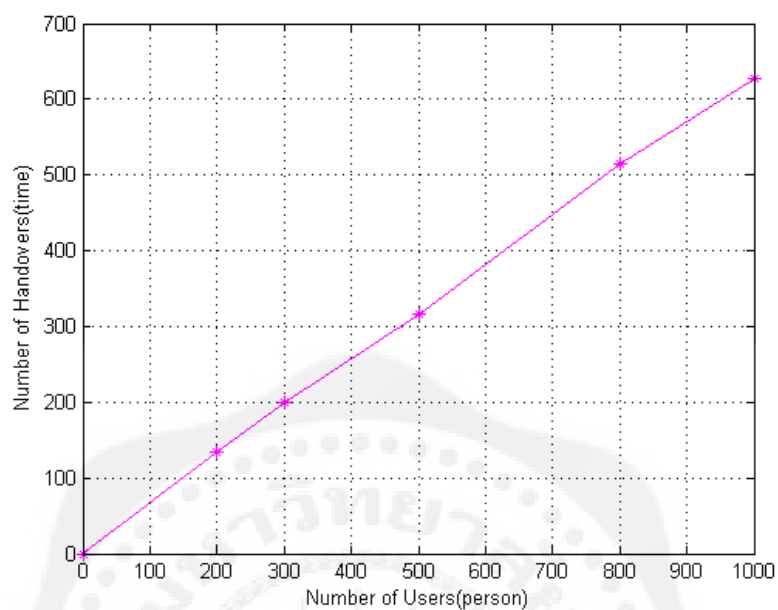
4.2 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์

สำหรับในส่วนการทดลองผู้วิจัย ได้ดำเนินการทดลองโดยวัดจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ซึ่งเป็นวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีเทรซโซลซึ่งเป็นวิธีแบบดั้งเดิม โดยจะทำการพิจารณาแค่ค่าความแรงของสัญญาณเพียงอย่างเดียว

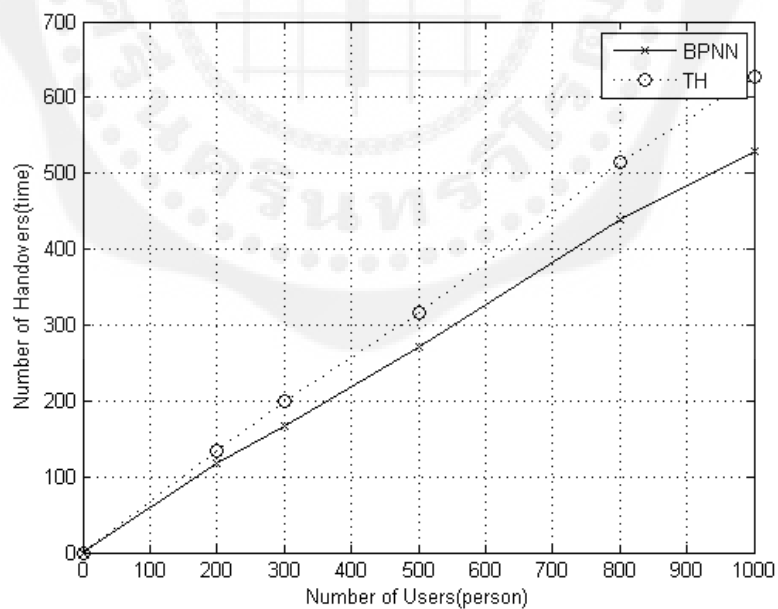
จากผลการทดลองจะพบว่า กราฟของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับโดยเราพิจารณาข้อมูลนำเข้า 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้สามารถรับได้ ความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกจากสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่และสถานีฐานข้างเคียงของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และราคาของแต่ละเครือข่าย มีอัตราการเพิ่มขึ้นของกราฟที่น้อยกว่าถึงแม้ว่าจำนวนผู้ใช้จะเพิ่มมากขึ้นก็ตาม และมีอัตราการแฮนด์โอเวอร์ที่น้อยกว่าวิธีการเทรซโซลซึ่งจะพิจารณาเพียงความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้ได้รับเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.6 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ



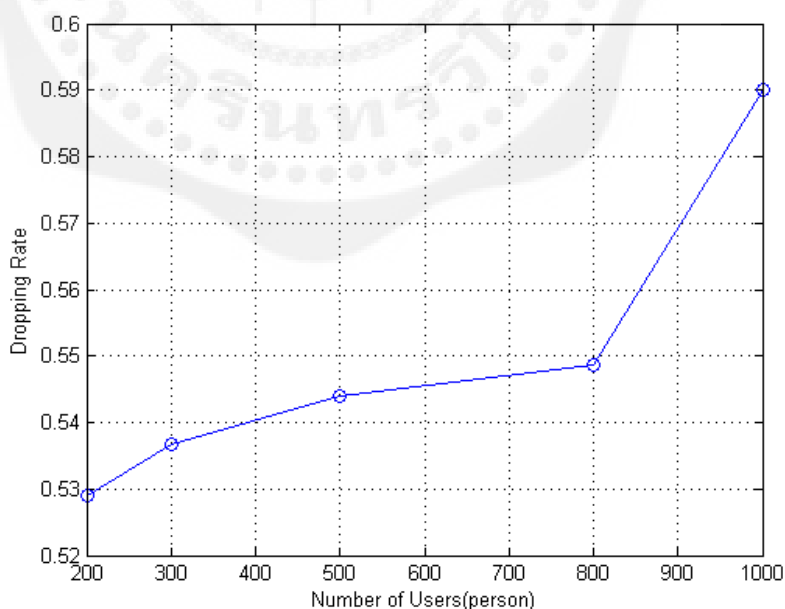
รูปที่ 4.7 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรซโฮล



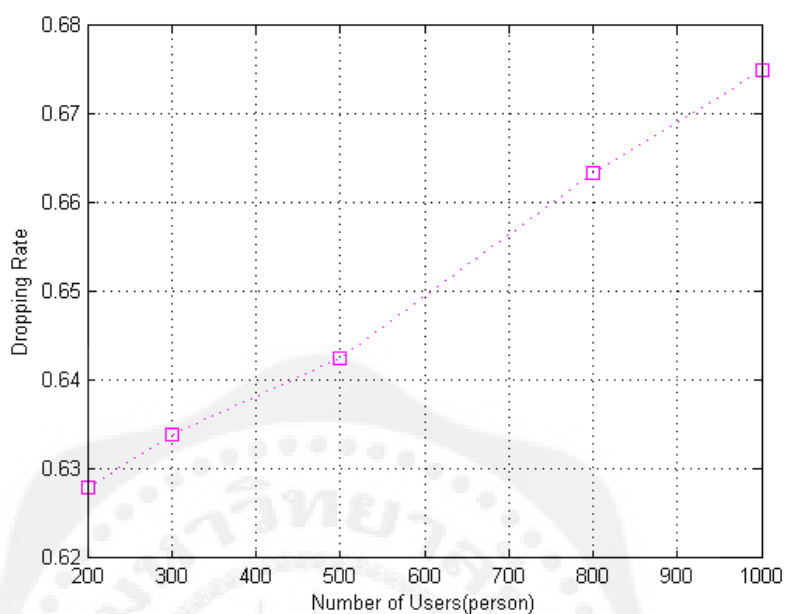
รูปที่ 4.8 จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเปรียบเทียบกับ
จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรซโฮล

4.3 อัตราการเรียกขาดหาย

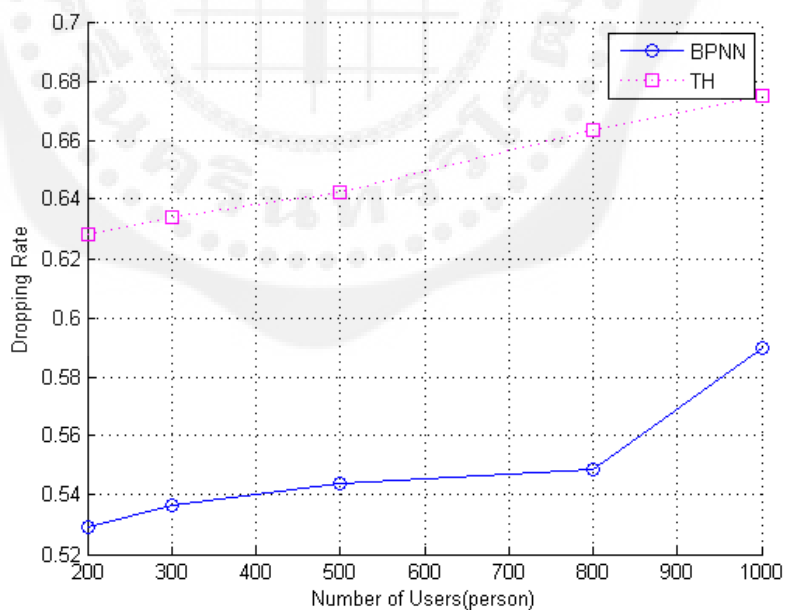
สำหรับรูปที่ 4.8 จะเป็นการแสดงถึงการเปรียบเทียบจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ที่เกิดขึ้นจากวิธีการแพร์ย้อนกลับ และวิธีเทรชโฮล ซึ่งจากผลการทดลองก็จะพบว่าจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ของวิธีการแพร์ย้อนกลับนั้นจะมีจำนวนที่ต่ำที่สุด เนื่องจากว่าพารามิเตอร์ที่นำมาพิจารณาเพื่อใช้ในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์จะมีอยู่ด้วยกันทั้งสิ้น 3 พารามิเตอร์คือ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้สามารถรับได้ ความหนาแน่นของปริมาณกราฟฟิคจากทั้งสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่และสถานีฐานข้างเคียง และต้นทุนค่าใช้จ่ายของแต่ละเครือข่ายที่นำมาพิจารณา ซึ่งทั้งสามพารามิเตอร์นี้ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งต่อการแฮนด์โอเวอร์ รวมทั้ง โครงข่ายประสาทเทียมแบบการแพร์ย้อนกลับนั้นมีความสามารถที่นำมาใช้ในการแยกแยะข้อมูลทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การตัดสินใจออกมามีความถูกต้อง ส่วนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรชโฮลนั้นจะมีอัตราการแฮนด์โอเวอร์ที่สูง เนื่องจากว่าการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีนี้จะทำการพิจารณาพารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้รับได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น กล่าวคือเมื่อมีความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้สามารถรับได้จากสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่ และสถานีฐานข้างเคียงน้อยกว่าที่กำหนด ก็จะทำให้เกิดการแฮนด์โอเวอร์ในทันทีจึงส่งผลทำให้การแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทรชโฮลนี้มีค่าที่สูงมาก



รูปที่ 4.9 อัตราการเรียกขาดหายของวิธี โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร์ย้อนกลับ



รูปที่ 4.10 อัตราการเรียกขาดหายด้วยวิธีเทอร์ชโฮล



รูปที่ 4.11 อัตราการเรียกขาดหายของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับเปรียบเทียบกับ

จำนวนการแฮนด์โอเวอร์ด้วยวิธีเทอร์ชโฮล

สำหรับในส่วนของอัตราการเรียกขาดหายนั้นก็ยังคงมีแนวโน้มที่เหมือนกับอัตราการแฮนด์โอเวอร์ โดยวิธีการแปรย้อนกลับที่นำเสนอนี้จะมีอัตราการเรียกขาดหายที่ต่ำกว่าวิธีเทรชโฮลค่อนข้างมาก อีกเช่นเดียวกัน โดยอัตราการเรียกขาดหายที่กล่าวถึงนี้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกมีค่ามากขึ้น ดังนั้นวิธีที่ได้นำเสนอมาจึงสามารถช่วยลดอัตราการเรียกขาดหายได้ นั่นก็หมายความว่าเมื่อผู้ใช้งานมีการร้องขอที่จะทำการแฮนด์โอเวอร์ไปยังสถานี่ฐานข้างเคียง ส่วนใหญ่การร้องขอนั้นจะประสบความสำเร็จส่งผลทำให้สัญญาณของผู้ใช้ได้รับความต่อเนื่องตลอดช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารนั่นเอง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายนี้ จะเป็นการกล่าวสรุปผลการทดลองทั้งหมดที่ได้เกิดขึ้นในโครงการวิศวกรรมฉบับนี้ รวมทั้งการสรุปผลที่เป็นข้อดีจากการพิจารณาข้อมูลนำเข้า 3 พารามิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้นำเสนอ และข้อเสนอแนะหรือแนวทางในการที่จะสามารถพัฒนางานให้ก้าวหน้าขึ้นไปในอนาคต

5.1 สรุปผล

จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า กระบวนการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์มีความสำคัญต่ออัตราการแฮนด์โอเวอร์ อัตราการเรียกติดขัด และอัตราการเรียกขาดหายของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอย่างมาก เพื่อให้สามารถรองรับกับความต้องการของผู้ใช้ที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยที่กระบวนการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์ที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดอัตราการเรียกติดขัด อัตราการเรียกขาดหาย และอัตราการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็นลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ระบบสามารถรองรับกับความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกได้มากขึ้นอีกด้วย

สำหรับในส่วนของการนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการตัดสินใจที่จะแฮนด์โอเวอร์นั้นสามารถทำได้โดยการพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ ความแรงของสัญญาณที่ผู้ใช้สามารถรับได้ ความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิกจากสถานีฐานที่กำลังให้บริการอยู่และสถานีฐานข้างเคียงของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และราคาของแต่ละเครือข่าย จากการออกแบบ โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการทดลองนั้นจะประกอบไปด้วย การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพิจารณาว่าการแฮนด์โอเวอร์ โดยวิธีเดิมคือวิธีเทรชโฮลที่จะพิจารณาจากพารามิเตอร์ความแรงของสัญญาณเพียงอย่างเดียวเท่านั้น กับการใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับซึ่งพิจารณาทั้ง 3 พารามิเตอร์นั้น แบบไหนจะมีอัตราการแฮนด์โอเวอร์มากกว่ากัน

จากผลการทดลองที่ได้จะพบว่า วิธีที่ได้นำเสนอสามารถลดอัตราการแฮนด์โอเวอร์ที่ไม่จำเป็นลงได้ โดยเฉลี่ย 9.887 % เมื่อเทียบกับวิธีเทรชโฮล

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ในช่วงเริ่มต้นเกิดความล่าช้าในการศึกษาค้นคว้า เนื่องจากเรื่องโครงข่ายประสาทเทียม เป็นเนื้อหาใหม่ที่ทางคณะผู้จัดทำไม่เคยเรียนเนื้อหามาก่อน

5.2.2 มีปัญหาในการอ่านบทความภาษาอังกฤษ

5.2.3 เกิดความล่าช้าในการทำข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเขียนโปรแกรม

5.2.4 โปรแกรมแม่แบบที่ใช้ไม่สมบูรณ์ในเวอร์ชัน 2012a จึงต้องหาเวอร์ชันอื่นมาใช้แทน

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับในอนาคตการปรับปรุงหรือพัฒนาการตัดสินใจในการแฮนด์โอเวอร์นั้น สามารถทำได้ โดยการเพิ่มรูปแบบที่เป็นพารามิเตอร์อื่น ๆ เข้าไปให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการพิจารณาตัดสินใจที่จะแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งสามารถที่จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการแฮนด์โอเวอร์ได้ โดยถือว่าการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ เพื่อให้มีความถูกต้องและมีความแม่นยำขึ้นในการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กิตติชัย สีฝ่อง. (2555). การศึกษาผลกระทบของราคาน้ำมันบนตลาดหุ้นไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม. ปรินญาณิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- จริยะ คัชনীวรรณและคณะ. (2553). การสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับทำนาย ปริมาณความเข้มข้นของความชุ่ม และฟิโคลโคลิฟอร์ม (กรณีศึกษาลำน้ำ เจ้าพระยา). ปรินญาณิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชนพัฒน์ พงษ์ไพโรจน์ และนายบุรินทร์ คูตระกูล. (2554). การพยากรณ์ค่า BODโดยใช้ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม. ปรินญาณิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ปริญญา สวงนศักดิ์. (2556). คู่มือการใช้ MABLAB ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี : อดีซี พรีเมียร์.
- ไพศาล สนธิกร. (2553). หลักการพื้นฐานสำหรับโครงข่ายสื่อสารไร้สาย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วรวิทย์ อ่องวงศ์วัฒนา. (2551). การตัดสินใจในการแฮนด์ออฟด้วยนิเวศน์เวิร์คโดยใช้ความแรงสัญญาณที่รับได้และความหนาแน่นของปริมาณทราฟฟิก ปรินญาณิพนธ์ปริญญาตรี.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุนิศา คุณารักษ์. (2553). กระบวนการแฮนด์ออฟที่ขึ้นอยู่กับเรเดียลเบสซิสฟังก์ชันในระบบเซลล์ลู่ลาร์ที่มีทั้งสถานีภาคพื้นดินและสถานีลอยฟ้า. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อภิวัฒน์ จันทะศูนย์. (2556). หลักการทำงานพื้นฐานของเทคโนโลยี 4G.
<https://sites.google.com/site/datacommunicationandnetworking/hlak-kar-thangan-phun-than-khxng-thekhnoloyi-4g>. January 17, 2014.
- อมตะ อุตมะ. (2556). ลักษณะเด่นของ 4G. <https://sites.google.com/site/happylife4g/3-laksna-den-khxng-4g>. January 17, 2014.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภาษาอังกฤษ

Alaska. (2553). **Artificial Neural Network** โครงข่ายประสาทเทียม. alaska.reru.ac.th/text/ann.

January 15, 2014.

Anun Katelue. (2556). **เทคโนโลยียุค 4G (Forth Generation)**.

<http://datacommunicationand.blogspot.com/>. January 17, 2014.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การทำจำนวนการแฮนด์โอเวอร์

แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

การออกแบบการหาจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ แบบวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับบนโปรแกรม

แมทแลป

```

m = 1 ; n = 200 ;
ax=200; bx=3200;
ay=200; by=3200;
dist_users_x = ax+(bx-ax)*rand(m,n) ;
dist_users_y = ay+(by-ay)*rand(m,n);
dist_users = zeros(m,n);
for i=1:n
    if(dist_users_x(i) >=400)&&(dist_users_x(i)<=600)...
        &&(dist_users_y(i) >=1700)&&(dist_users_y(i)<=1900)
        dist_users(i) = 1;
    elseif (dist_users_x(i) >=800) &&(dist_users_x(i)<=2800)...
        &&(dist_users_y(i) >=300) &&(dist_users_y(i)<=2300)
        dist_users(i) = 2;
    else
        dist_users(i) = 3;
    end
end

RSS_LTE = zeros(m,n);
RSS_MW = zeros(m,n);
RSS_WiFi = zeros(m,n);
RSS = zeros(m,n); AllDist = zeros(m,n);

%% Input for BPNN
s = 19; nM = 3.5; Gamma = 36; Pt = 30; Gamma_WiFi = 2.8;
aa = 0.6; bb = 0.8; n1 = 1; n2 = 200;
TI = aa+(bb-aa)*rand(n1,n2);
for ii = 1:length(RSS)
    if dist_users(ii) == 1;
        n1 = 1; n2 = 1;
        Cost(ii) = aa+(bb-aa)*rand(n1,n2);
        AllDist(ii) = sqrt((dist_users_x(ii)-500).^2+(dist_users_y(ii)-
1800).^2);
        RSS(ii)=10*log10(100/(39.37*AllDist(ii)))*Gamma_WiFi ;
        if RSS(ii)<= -85.334
            RSSNN(ii) = 0 ;
        elseif -85.334 < RSS(ii) && RSS(ii) < -83.667
            RSSNN(ii) = 1 ;
        else
            RSSNN(ii) = 2 ;
        end

        if TI(ii)<=0.659
            TINN(ii) = 0;
        elseif 0.659 < TI(ii)&& TI(ii) < 0.76
            TINN(ii) = 1;
        else
            TINN(ii) = 2;
        end
    end
end

```

```

end

    if Cost(ii)<= 0.2666
        CostNN(ii) = 0 ;
    elseif 0.2666 <Cost(ii) && Cost(ii) < 0.33326
        CostNN (ii) = 1 ;
    else
        CostNN(ii) = 2 ;
    end

%     end

elseif dist_users(ii) == 2;
    n1 = 1; n2 = 1;
    Cost(ii) = aa+(bb-aa)*rand(n1,n2);
    AllDist(ii) = sqrt((dist_users_x(ii)-1800).^2+(dist_users_y(ii)-
1300).^2);
    PL_LTE(ii) = s+10*nM*log10(AllDist(ii))+Gamma ;
    RSS(ii) = Pt-PL_LTE(ii);
    if RSS(ii)<= -145.6667
        RSSNN(ii) = 0 ;
    elseif -145.6667 < RSS(ii) && RSS(ii) < -144.334
        RSSNN(ii) = 1 ;
    else
        RSSNN(ii) = 2 ;
    end

    if TI(ii)<=0.659
        TINN(ii) = 0;
    elseif 0.659 < TI(ii)&& TI(ii) < 0.76
        TINN(ii) = 1;
    else
        TINN(ii) = 2;
    end

    if Cost(ii)<= 0.8666
        CostNN(ii) = 0 ;
    elseif 0.8666 <Cost(ii) && Cost(ii) < 0.93326
        CostNN (ii) = 1 ;
    else
        CostNN(ii) = 2 ;
    end

%     end

else %dist_users(ii) == 3;
    aaa = 0.5; bbb = 0.7; n1 = 1; n2 = 1;
    Cost(ii) = aa+(bb-aa)*rand(n1,n2);
    nn = 4 ; d0 = 1; Lamda = 0.08571 ; Pt_MW = 15;
    AllDist(ii) = sqrt((dist_users_x(ii)-1700).^2+(dist_users_y(ii)-
1700).^2);
    PL_MW(ii)=20*log10(4*pi*d0/Lamda)+10*nn*log10(AllDist(ii)/d0)+Gamma ;
    RSS(ii)=Pt_MW-PL_MW(ii);
    if RSS(ii)<= -161.99967
        RSSNN(ii) = 0 ;

```

```
elseif -161.99967 < RSS(ii) && RSS(ii) < -160.6067
    RSSNN(ii) = 1 ;
else
    RSSNN(ii) = 2 ;
end

    if TI(ii) <= 0.659
        TINN(ii) = 0;
    elseif 0.659 < TI(ii) && TI(ii) < 0.76
        TINN(ii) = 1;
    else
        TINN(ii) = 2;
    end

        if Cost(ii) <= 0.5666
            CostNN(ii) = 0 ;
        elseif 0.5666 < Cost(ii) && Cost(ii) < 0.63326
            CostNN(ii) = 1 ;
        else
            CostNN(ii) = 2 ;
        end
    end
end

RSSE = RSSNN' ;
TIE = TINN';
CostE = CostNN';

%% Testing
new_data = [RSSNN;TINN;CostNN];
load net.mat
Result = round(sim(net,new_data));
```



ภาคผนวก ข

การหาจำนวนการแฮนด์โอเวอร์แบบเทอร์ชไฮล

การออกแบบการหาจำนวนการแฮนด์โอเวอร์ แบบวิธีเทรชโฮลบนโปรแกรมแมทแลป

```
load matpro
for kkk = 1:length(RSS)
    if dist_users (kkk)== 1 && RSS(kkk)< -82
        HO(kkk)=1 ;
    elseif dist_users (kkk)== 2 && RSS(kkk)< -143
        HO(kkk)=1 ;
    elseif dist_users (kkk)== 3 && RSS(kkk)< -158
        HO(kkk)=1 ;
    else
        HO (kkk) = 0;
    end
end
end
```





ภาคผนวก ค

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมตามฟังก์ชันและเงื่อนไขต่างๆ

```
Target = [1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] ;
```

```
Input = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2;0 0 0 1 1 1 2  
2 2 0 0 0 1 1 1 2 2 2 0 0 0 1 1 1 2 2 2;0 1 2 0 1 2 0 1 2 0 1 2 0 1 2 0 1 2 0  
1 2 0 1 2 0 1 2 ];
```

```
net = newff(minmax(Input),[35 20  
1],{'tansig','tansig','purelin'},'traingdx');  
net.trainParam.epochs=250;  
[net,tr]=train(net,Input,Target);
```





ประวัติย่ออนิสิตผู้ทำโครงการงาน

ประวัติย่อ นิสิตผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	นางสาวชนิศา กิมภา
วัน เดือน ปีเกิด	21 กุมภาพันธ์ 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	29/454 ต.คลองสาม อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทรศัพท์	081-6596884
E-mail	da_sasuke_killua@hotmail.com



ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเตรียมบัณฑิต (บริบูรณ์ศิลป์ศึกษา)
พ.ศ. 2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนหอวัง ปทุมธานี
พ.ศ. 2556	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ประวัติย่อ นิสิตผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-สกุล	นางสาวสิรินดา คาศีวี
วัน เดือน ปีเกิด	15 กรกฎาคม 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	14/148 หมู่บ้าน The villa ซ.คู້บอน 27 แยก10 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
โทรศัพท์	089 443 7997 , 091 769 3889
E-mail	nesk.312@gmail.com



ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2549	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนราชวินิตบางแคปานขำ
พ.ศ. 2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนราชวินิตบางปานขำ
พ.ศ. 2556	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ทรคมนามคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ