



วิทยานิพนธ์

การเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อภายในเครือข่าย
แลนไร้สายด้วยการใช้ข้อมูลประวัติการเคลื่อนที่

IMPROVING HANDOFF PERFORMANCE OF WIRELESS
LAN WITH MOVEMENT PATH HISTORY

นายอรรถวิท รัชตภูมิ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)
ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อภายในเครือข่ายแลนไร้สาย
ด้วยการใช้ข้อมูลประวัติการเคลื่อนที่

Improving Handoff Performance of Wireless LAN with Movement Path History

นามผู้วิจัย นายอรรถวิท รัชตภูมิ

ได้พิจารณาเห็นชอบ

ประธานกรรมการ

(รศ.ศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์, Ph.D.)

กรรมการ

(รศ.ศาสตราจารย์สรศักดิ์ สงวนพงษ์, M.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เข็มะทัต วิภาตะวนิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รศ.ศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อภายในเครือข่ายแลนไร้สายด้วยการใช้ข้อมูล
ประวัติการเคลื่อนที่

Improving Handoff Performance of Wireless LAN with Movement Path History

โดย

นายอรรถวิท รัชตภูมิ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2551

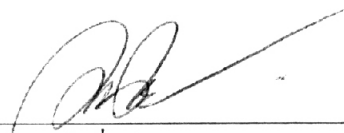
อรรถวิท รัชตภูมิ 2551: การเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อภายใน
เครือข่ายแลนไร้สายด้วยการใช้ข้อมูลประวัติการเคลื่อนที่ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.

52 หน้า

เครือข่ายไร้สาย 802.11 ได้ถูกนำมาใช้งานแพร่หลาย เนื่องจากมีอิสระในการเคลื่อนที่,
ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่ต่ำและไม่เสียค่าบริการเพิ่มเติม นอกจากนี้ยังมีความเร็วที่สูงกว่า
เทคโนโลยีไร้สายอื่นๆ เช่น GPRS หรือ CDMA เป็นต้น จากการออกแบบเริ่มต้นที่มุ่งเพื่อใช้งาน
รับส่งข้อมูลที่ไม่ใช่แบบเวลาจริง ซึ่งทนทานต่อการหน่วง (delay) และการพัว (jitter) แต่
เนื่องจากในปัจจุบันมีความนิยมในการใช้งาน VoIP (Voice over Internet Protocol) หรือ การ
ประชุมทางไกล ซึ่งมีการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง ซึ่งไวต่อการพัวหรือการสูญหายของข้อมูล
ทำให้กระทบกับคุณภาพของเสียงหรือภาพที่ผู้ใช้งานได้รับ จากการส่งต่อเมื่อสถานีเคลื่อนที่ผ่าน
จากจุดเชื่อมต่อหนึ่งไปยังอีกจุดเชื่อมต่อหนึ่ง และเนื่องจากขั้นตอนการตรวจหาซึ่งเป็นขั้นตอน
แรกของการส่งต่อเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุด จึงทำให้เวลารวมของขั้นตอนการส่งต่อมากจน
กระทบกับข้อมูลประเภทเวลาจริง นอกจากนี้วิธีเลือกจุดเชื่อมต่อแบบเดิมพิจารณาเลือกจุด
เชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณสูงที่สุด ซึ่งในบางกรณีไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุด ทำให้เกิดการส่ง
ต่อมากเกินไปจนความจำเป็น ทำให้ยังเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการกระทบกับบริการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธี Receive signal strength Slope with Neighbor Graph
(RSNG) เพื่อลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการส่งต่อแบบเดิม โดยใช้การตรวจหาล่วงหน้าเพื่อวัดค่า
ความแรงสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ทราบแนวโน้มการเคลื่อนที่ของสถานี ร่วมกับกราฟ
เพื่อนบ้านที่เก็บค่าน้ำหนักของความเป็นไปได้ในการส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อรอบข้าง ซึ่งสร้างจาก
ประวัติการส่งต่อของแต่ละสถานีรวมกัน เพื่อนำมาใช้เลือกจุดเชื่อมต่อที่เหมาะสมที่สุด จึง
สามารถลดเวลาจากขั้นตอนการตรวจหา รวมทั้งเพิ่มความถูกต้องในการเลือกจุดเชื่อมต่อเมื่อเทียบกับ
กับวิธีการแบบเดิม

อรรถวิท รัชตภูมิ
ลายมือชื่อนี้

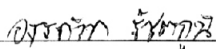

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

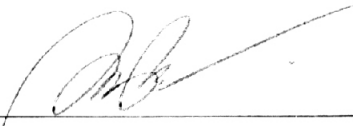
13 / พ.ค. / 2551

Utthawit Ratchatapoom 2008: Improving Handoff Performance of Wireless LAN with Movement Path History. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 52 pages.

The IEEE 802.11 Wireless LAN is now widely deployed. It offers user's mobility with low-cost devices and without monthly fee. Furthermore, it can transfer data faster than other current wireless technologies such as GPRS and CDMA. Originally, WLAN is designed for supporting bulk data transfer which is not affected by delay and jitter. Due to the popularity of VoIP or video conference which is sensitive to delay and jitter, the quality of voice and sound becomes critical, especially when stations handoff from an access point to the others. The first and most time consuming in the handoff process is the probing process. Traditional handoff processes will handle this problem by selecting the highest signal strength from an access point, which might not be an optimal solution. Also, the mechanism may cause unnecessary handoffs which affect the application's quality of service.

In this research, a new mechanism called "Received Signal Strength Slope with Neighbor Graph (RSNG)" has been proposed. The objective is to reduce the handoff time caused by the traditional handoff process. The mechanism uses the pre-scanning technique to determine the change of signal strength level corresponded to the moving direction of a station. The mechanism also implements the neighbor graph technique that maintains the handoff history for predicting the next suitable access point. The results have shown that the proposed mechanism can reduce the handoff time and correctly predict the next suitable access point with high probability.


Student's signature


Thesis Advisor's signature

13 ' May ' 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนอย่างดียิ่งของบุคคลที่เกี่ยวข้องซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่ช่วยชี้แนะแนวทาง ตลอดจนแนะนำวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น และช่วยชี้แนะการปรับปรุง จนทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนสมาชิกของห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สายที่ช่วยซักถามข้อสงสัยและข้อชี้แนะต่างๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถนำมาเพื่อปรับปรุงงานนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

อรรณวิทย์ รัชตภูมิ

เมษายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	40
ผล	40
วิจารณ์	44
สรุปและข้อเสนอแนะ	47
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	50
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	53

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	บริการของเครือข่าย	10
2	รูปแบบช่องสัญญาณสำหรับการตรวจหา	27
3	พารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม Ekahau	35
4	พารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม GloMoSim	35
5	พารามิเตอร์สำหรับวิธีการที่นำเสนอ	36
6	การกำหนดค่าของเมตริกซ์ประชิด	38
7	สัญลักษณ์ที่ใช้ในกราฟ	40
8	สรุปจำนวนครั้งของการส่งต่อ	45

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ตำแหน่งและความสัมพันธ์ของเครือข่ายตระกูล IEEE 802	4
2	เครือข่ายแบบ Independent BSS	6
3	เครือข่ายแบบ Infrastructure BSS	6
4	เครือข่ายแบบ ESS	7
5	การส่งผ่านระหว่าง BSS	11
6	การส่งผ่านระหว่าง ESS	12
7	กรอบข้อมูลทั่วไปของ IEEE 802.11	14
8	กรอบข้อมูลของ frame control	14
9	กรอบข้อมูลการจัดการ	15
10	การสแกนแบบแอคทีฟ	18
11	การสแกนแบบแพสซีฟ	19
12	แสดงสเปกตรัมของช่องสัญญาณในเครือข่าย 802.11	27
13	โครงสร้างกรอบข้อมูลใหม่ของกราฟเพื่อนบ้าน	31
14	แผนผังอาคารที่ 1	36
15	แผนผังอาคารที่ 2	37
16	เมตริกซ์ประชิดแสดงกราฟเพื่อนบ้าน	39
17	กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง A	41
18	กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง B	42
19	กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง C	42
20	กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง D	43
21	กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง E	44

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ACK	=	Acknowledgement
AP	=	Access Point
ATIM	=	IBSS Announcement Traffic Indication Map
BSS	=	Basic Service Set
BSSID	=	Basic Service Set ID
CSMA/CA	=	Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance
CSMA/CD	=	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DCF	=	Distributed Coordination Function
DIFS	=	DCF Interframe Space
DTT	=	Dwell Time Threshold
ESS	=	Extended Service Set
FHT	=	Force Handoff Threshold
FT	=	Fading Threshold
IAPP	=	Inter Access Point Protocol
IBSS	=	Independence Basic Service Set
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHT	=	Initial Handoff Threshold
ITU-T	=	ITU – Telecommunication standardization sector
LAN	=	Local Area Network
MAC	=	Media Access Control
NG	=	Neighbor Graph
OFDM	=	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSI	=	Open System Interconnect
PCF	=	Point Coordination Function
PHY	=	Physical
RSSI	=	Receive Signal Strength Indicator
SIFS	=	Short Interframe Space
SNR	=	Signal to Noise Ratio
SSID	=	Service Set Identifier

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

VLAN	=	Virtual LAN
WEP	=	Wired Equivalent Privacy
WPA	=	Wireless Protected Access
VoIP	=	Voice over Internet Protocol

การเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งต่อระหว่างจุดเชื่อมต่อภายในเครือข่ายไร้สาย ด้วยการใช้ข้อมูลประวัติการเคลื่อนที่

Improving Handoff Performance of Wireless LAN with Movement Path History

คำนำ

เครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (IEEE, 1999) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาที่ถูกและเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาส่วนใหญ่จะติดตั้งโมดูลไร้สายนี้ไว้เรียบร้อยแล้ว ซึ่งในขั้นเริ่มต้นถูกออกแบบเพื่อนำมาใช้สำหรับรับส่งข้อมูลธรรมดา เช่น เว็บ, อีเมล หรือ ไฟล์ ที่สามารถทนทานต่อการหน่วงได้โดยไม่สร้างผลกระทบต่อผู้ใช้ ต่อมาจึงเริ่มมีการประยุกต์ใช้งานสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง (real time) เช่น VoIP (Voice over Internet Protocol) หรือการถ่ายทอดวิดีโอ เพื่อใช้สำหรับติดต่อสื่อสารภายในหรือระหว่างองค์กร เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารที่ปกติต้องผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากมาตรฐานนี้ ไม่ได้ออกแบบให้สนับสนุนสถานี (station) ที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาที่รับส่งข้อมูลภายใน ESS (Extended Service Set) ทำให้เกิดการขัดจังหวะของข้อมูลชั่วขณะเมื่อสถานีมีการส่งต่อ (handoff) จากจุดเชื่อมต่อหนึ่งไปยังอีกจุดเชื่อมต่อ (access point) หนึ่ง เมื่อระดับสัญญาณของจุดเชื่อมต่อปัจจุบันมีความแรงสัญญาณต่ำกว่าค่าส่งต่อเทรชโฮลด์ที่กำหนดไว้ สถานีต้องตรวจหา (probe) แต่ละช่องสัญญาณเพื่อค้นหาจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้าน โดยจะเลือกเชื่อมต่อเข้ากับจุดเชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณสูงสุด จากนั้นสถานีจะเริ่มเจรจาเพื่อยืนยันตัวตน (authentication) และเชื่อมโยงอีกครั้ง (re-association) กับจุดเชื่อมต่อตัวใหม่ หลังจากกระบวนการเหล่านี้เสร็จสิ้น ข้อมูลทั้งหมดของสถานีนั้นจะถูกส่งผ่านจุดเชื่อมต่อตัวใหม่ ซึ่งเรียกกระบวนการทั้งหมดนี้ว่าการส่งต่อ

เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ในการส่งต่อนั้นเป็นเวลาที่ใช้สำหรับการตรวจหา ดังนั้นถ้าสามารถลดเวลาที่ใช้ในขั้นตอนตรวจหาลงได้ จะทำให้ลดเวลาที่ใช้ในการส่งต่อลงได้อย่างมากจนกระทั่งสามารถนำมาใช้รับส่งข้อมูลที่เป็นประเภทเวลาจริงได้ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับบางเครือข่ายที่มีการนำการพิสูจน์ตัวตนเช่น WPA หรือ 802.1x ซึ่งมีขั้นตอนการเจรจาเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้พิสูจน์ตัวตนของผู้ใช้หลายขั้นตอน ทำให้เพิ่มเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการส่งต่อ และเพื่อลดเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ เราอาจทำการส่งข้อมูลข้อมูลนี้ไปเก็บไว้ที่จุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านไว้ล่วงหน้า (context caching) ได้ แต่เมื่อมีจำนวนผู้ใช้พร้อมกันหลายคน ต้องมีการจองทรัพยากรที่จุดเชื่อมต่อมาก

เกินไปโดยไม่จำเป็น เพื่อลดผลจากปัญหาดังกล่าว ถ้าสามารถคาดการณ์ทิศทางที่สถานีอาจจะเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่อนั้นไว้ก่อน ทำให้มีการจองทรัพยากรในจุดเชื่อมต่อที่จำเป็นเท่านั้น

นอกจากนี้วิธีการส่งต่อแบบเดิมจะเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีความแรงสัญญาณมากที่สุด ซึ่งแม้จะเป็นทางเลือกที่ควรจะเหมาะสมที่สุด แต่ในบางสถานการณ์ อาจมีจุดเชื่อมต่อที่อยู่ใกล้เคียงสถานีมากที่สุด แต่ยังคงมีอีกจุดเชื่อมต่อที่อยู่ห่างออกไปมากกว่า โดยที่มีค่าความแรงสัญญาณอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งถ้าสถานีเลือกส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อตัวที่อยู่ไกลกว่านั้น สถานีจะสามารถเลี่ยงการส่งต่อที่ไม่จำเป็นได้อีกหนึ่งครั้ง โดยวิธีการแบบเดิมนั้นต้องส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อตัวแรกที่อยู่ใกล้ที่สุดก่อนเสมอ แล้วจึงส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่ออีกตัว ทำให้ต้องมีการส่งต่อเกิดขึ้นสองครั้ง ทำให้เกิดการหน่วงและเพิ่มภาระของจุดเชื่อมต่อจากการส่งต่อโดยไม่จำเป็น นอกจากนี้เมื่อค่าความแรงสัญญาณของจุดเชื่อมต่อแต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกับขีดแบ่งการส่งต่อ จะทำให้เกิดการส่งต่อกลับไปมาระหว่างจุดเชื่อมต่อตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ซึ่งเรียกว่า “ปรากฏการณ์ปิงปอง” ซึ่งทำให้การรับส่งข้อมูลของสถานีถูกขัดจังหวะบ่อยมากจนไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ค่าความชัน (slope) ของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้าน ร่วมกับกราฟเพื่อนบ้าน (NG: Neighbor Graph) ที่สร้างจากประวัติการเคลื่อนที่ซึ่งเกิดจากการส่งต่อของสถานี โดยค่าความชันจะทำให้คาดคะเนทิศทางการเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณจะแปรผันตรงตามระยะทาง ทำให้ทราบว่าสถานีกำลังเคลื่อนที่เข้าไปหรือออกจากจุดเชื่อมต่อใด ในขณะที่บางกรณีที่ค่าความชันมีค่าเท่ากัน จะมีการใช้ค่าน้ำหนักของจุดเชื่อมต่อในกราฟเพื่อนบ้าน เพื่อเลือกจุดเชื่อมต่อที่ค่าน้ำหนักมากที่สุด เนื่องจากแสดงว่าสถานีส่วนใหญ่จะส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อนั้นมากกว่า ทำให้สามารถคาดการณ์จุดเชื่อมต่อที่เหมาะสมซึ่งสถานีควรจะส่งต่อไป ดังนั้นสถานีสามารถที่จะทำกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เช่น เตรียมการยืนยันตัวตนกับจุดเชื่อมต่อที่สถานีมีโอกาที่จะเคลื่อนที่ไปได้จริงเท่านั้น โดยการกระบวนการทั้งหมดจะกระทำก่อนที่จะเริ่มการส่งต่อจริง จึงลดเวลาที่ใช้ในการส่งต่อและทำให้ลดผลกระทบที่เกิดกับการรับส่งข้อมูลที่กำลังทำงานอยู่ด้วย

วัตถุประสงค์

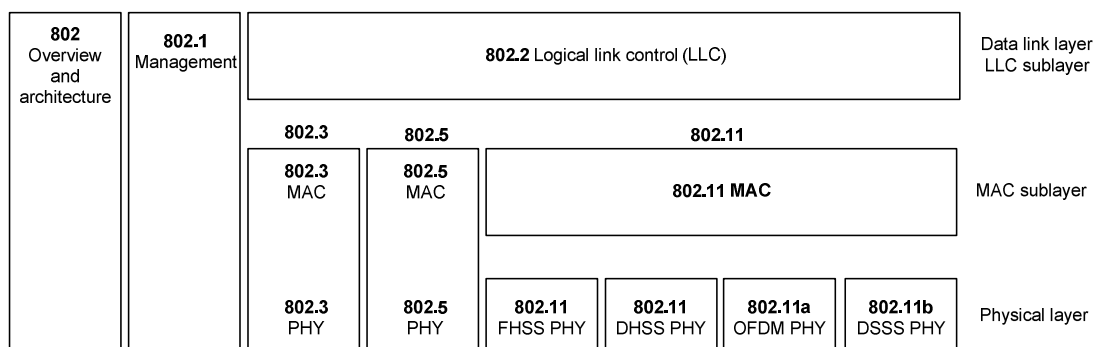
1. ลดจำนวนการส่งต่อที่ไม่จำเป็นในสภาพแวดล้อมภายในอาคาร
2. ลดโอกาสการเกิดปฏิกิริยาป้องกันระหว่างจุดเชื่อมต่อ
3. ลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการส่งต่อภายใน ESS เดียวกัน
4. กระตุ้นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการส่งต่อก่อนที่จะเกิดการส่งต่อจริง

การตรวจเอกสาร

มาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11

เทคโนโลยีเครือข่าย IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นส่วนหนึ่งของ IEEE 802 ซึ่งเป็นกลุ่มของมาตรฐานสำหรับเทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละส่วนประกอบของตระกูล 802 และตำแหน่งในแบบจำลอง OSI โดย IEEE 802 จะเป็นข้อกำหนดที่เจาะจงไปที่ 2 ระดับล่างสุดของแบบจำลอง OSI คือ PHY และ MAC ที่อยู่ในระดับฟิสิกอลและดาต้าลิงก์ตามลำดับ โดย PHY จะใช้สำหรับเข้าใช้สื่อและ MAC จะใช้กำหนดวิธีในการเข้าใช้และการรับส่งข้อมูลร่วมกัน โดยจะมี IEEE 802.2 ในการกำหนดคลิงค์ชั้นร่วมสำหรับแต่ละ MAC ที่แตกต่างกัน และ IEEE 802.1 จะกำหนดวิธีการจัดการภายในเครือข่าย 802 เช่น การควบคุมการเข้าใช้พอร์ตใน 802.1x หรือแลนเสมือน (VLAN) ใน 802.1q เป็นต้น



ภาพที่ 1 ตำแหน่งและความสัมพันธ์ของเครือข่ายตระกูล IEEE 802

ที่มา: Gast (2002)

องค์ประกอบภายในเครือข่าย

ระบบกระจายตัว (Distribution System) เป็นระบบที่ใช้เชื่อมต่อหลายๆ จุดเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเพื่อให้มีพื้นที่ให้บริการมากขึ้น และทำให้สามารถรับส่งข้อมูลไปยังแต่ละสถานีได้ แม้ว่าสถานีจะมีการเคลื่อนที่จากจุดเชื่อมต่อหนึ่งไปยังอีกจุดเชื่อมต่อ โดยระบบกระจายตัวคือส่วนประกอบทางตรรกะที่ใช้ส่งต่อข้อมูลไปยังปลายทาง โดย 802.11 ไม่ได้กำหนดว่าต้องใช้

เทคโนโลยีโคสำหรับระบบกระจายตัว ในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะสร้างขึ้นโดยการรวมบริดจ์ (bridge) และสื่อบริการระบบกระจายตัว เพื่อสร้างเป็นเครือข่ายแบ็คโบน ซึ่งเกือบทั้งหมดคือ อีเทอร์เน็ต

จุดเชื่อมต่อ เนื่องจากกรอบข้อมูลข้อมูลของเครือข่าย 802.11 ต้องถูกแปลงเป็นเป็นกรอบข้อมูลประเภทอื่นเพื่อส่งต่อไปยังผู้รับ ดังนั้นจุดเชื่อมต่อจึงต้องทำหน้าที่หลักในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายกับเครือข่ายใช้สาย อย่างไรก็ตามจุดเชื่อมต่อก็มีหน้าที่อื่นด้วยเช่นเดียวกัน เช่น การพิสูจน์ตัวตนของผู้ใช้ เป็นต้น

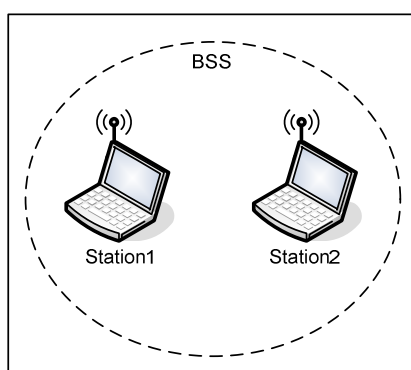
สื่อกลางของเครือข่ายไร้สาย (Wireless Medium) จะทำหน้าที่ส่งต่อกรอบข้อมูลข้อมูลระหว่างสถานีกับสถานีโดยไม่ผ่านสาย ซึ่งตามมาตรฐานสามารถมีหลายๆ ระดับกายภาพที่สร้างเพื่อสนับสนุนแมค (MAC: Media Access Protocol) ของ 802.11 ได้

สถานี คืออุปกรณ์ประมวลผลที่รับส่งข้อมูลระหว่างกันภายในเครือข่ายและระหว่างเครือข่าย โดยทั่วไปมักจะจ่ายพลังงานโดยแบตเตอรี่ แต่ในบางกรณีอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายอาจถูกกับเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ เนื่องจากไม่สามารถเดินสายเครือข่ายได้

ประเภทของเครือข่าย

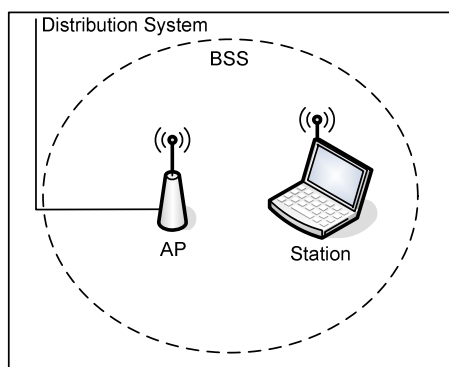
ส่วนประกอบพื้นฐานของเครือข่าย 802.11 คือ BSS (Basic Service Set) ซึ่งแสดงในภาพที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นกลุ่มของสถานีที่ต้องการสื่อสารซึ่งกันและกัน โดยขอบเขตของเครือข่ายนี้จะมีคลุมเครือเนื่องจากคุณลักษณะของสื่อแบบไร้สาย เมื่อสถานีอยู่ในขอบเขตของเครือข่ายนี้ จะสามารถสื่อสารกับสถานีอื่นๆ ได้ โดยเราสามารถแบ่ง BSS ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

เครือข่ายอิสระ (Independence BSS) สถานีที่อยู่ใน IBSS จะติดต่อโดยตรงซึ่งกันและกัน ดังนั้นจึงต้องอยู่ในระยะทางที่ติดต่อกันได้โดยตรง ขนาดที่เล็กที่สุดของเครือข่าย IBSS คือมีสถานี 2 เครื่อง โดยทั่วไป IBSS จะประกอบด้วยสถานีจำนวนไม่มาก ที่ตั้งขึ้นมาวัตถุประสงค์เฉพาะและใช้งานในระยะเวลาสั้นๆ ที่พบได้บ่อยคือการที่ผู้เข้าร่วมประชุมสร้าง IBSS เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน เมื่อการประชุมจบลง IBSS จะถูกปิดลง จากการที่สร้างขึ้นในระยะเวลาสั้น มีขนาดเล็กและมีวัตถุประสงค์ที่เจาะจง ดังนั้นบางครั้ง IBSS จะถูกเรียกว่าเครือข่ายเฉพาะกิจ แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครือข่ายแบบ Independent BSS

เครือข่ายโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure BSS) เครือข่ายประเภทนี้จะสังเกตได้จากมีการใช้จุดเชื่อมต่อ เพื่อใช้สื่อสารภายในเครือข่ายโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมด รวมถึงมีการสื่อสารระหว่างสถานีในบริเวณ BSS เดียวกัน เมื่อสถานีหนึ่งต้องการติดต่อกับอีกสถานี ต้องมีการส่งผ่านข้อมูลสองชั้น คือ จากสถานีแรกไปยังจุดเชื่อมต่อและจากจุดเชื่อมต่อจะส่งต่อข้อมูลนั้นต่อไปยังสถานีที่สอง เนื่องจากต้องมีการส่งผ่านข้อมูลโดยจุดเชื่อมต่อ ดังนั้นขอบเขตของเครือข่ายนี้จะกำหนดโดยตำแหน่งที่สัญญาณจากจุดเชื่อมต่อสามารถเดินทางไปถึงได้ แสดงในภาพที่ 3

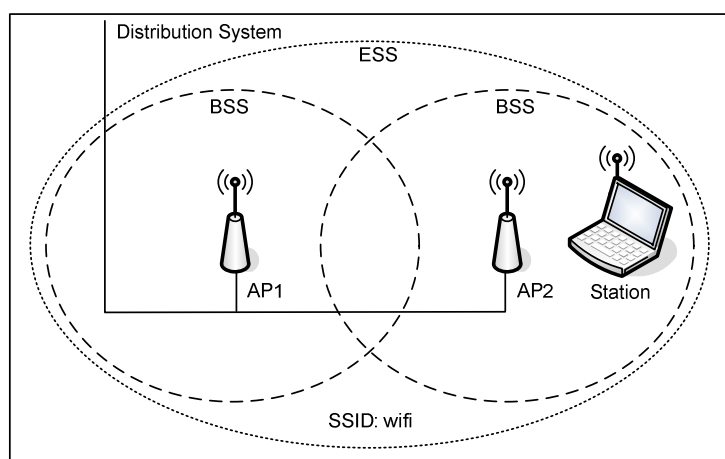


ภาพที่ 3 เครือข่ายแบบ Infrastructure BSS

เครือข่ายขยาย (Extended Service Set) เนื่องจาก BSS สามารถให้บริการในบริเวณพื้นที่เล็กๆ แต่ไม่สามารถให้บริการในพื้นที่ซึ่งใหญ่กว่านั้นได้ ESS ทำให้สามารถสร้างพื้นที่ให้บริการขนาดใหญ่เท่าใดก็ได้ โดยการเชื่อมหลายๆ BSS เพื่อสร้างเป็น ESS ผ่านทางเครือข่ายแบคโบน และเพื่อให้การเชื่อมต่อยังคงอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการวางแต่ละ BSS ให้ซ้อนกัน เพื่อให้ได้พื้นที่ให้บริการที่ต่อเนื่องกัน ดังภาพที่ 4

สถานีที่อยู่ใน ESS เดียวกันสามารถสื่อสารกับสถานีอื่นๆ ได้ แม้ว่าจะอยู่ต่าง BSS กัน หรือแม้กำลังเคลื่อนที่ระหว่าง BSS เพื่อให้สถานีใน ESS สามารถสื่อสารซึ่งกันและกันได้ เครือข่ายไร้สายต้องทำตัวเสมือนเป็นการเชื่อมต่อที่ระดับลิงค์เดียวกัน โดยจุดเชื่อมต่อจะทำหน้าที่เป็นบริดจ์ ดังนั้นการเชื่อมต่อระหว่างสถานีใน ESS เดียวกันต้องผ่านเครือข่ายแบคโบนซึ่งอยู่ในระดับลิงค์เดียวกัน โดยหลายๆ จุดเชื่อมต่อจะเชื่อมต่อผ่านสวิตช์เดียวกัน หรือใช้แลนเสมือน (virtual LAN) ในกรณีที่การเชื่อมต่อในระดับลิงค์ต้องกระจายไปเป็นบริเวณกว้างระหว่างสวิตช์หลายตัว

ESS เป็นระดับใหญ่ที่สุดของ IEEE 802.11 โดยจุดเชื่อมต่อใน ESS ทำหน้าที่เพื่อให้เครือข่ายภายนอกสามารถใช้หมายเลขแมค (MAC address) เดียวกันเพื่อสื่อสารกับสถานีที่อยู่ในตำแหน่งใดๆ ใน ESS ได้



ภาพที่ 4 เครือข่ายแบบ ESS

บริการของเครือข่าย

วิธีการกำหนดเทคโนโลยีของเครือข่าย คือกำหนดบริการที่มีให้และทำให้ผู้ผลิตสามารถสร้างบริการเหล่านั้นตามแบบที่เหมาะสมได้ IEEE 802.11 กำหนด 9 บริการ มีเพียง 3 บริการที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลเท่านั้น ที่เหลืออีก 6 เป็นกระบวนการสำหรับการจัดการ เพื่อให้เครือข่ายติดตามสถานีและส่งกรอบข้อมูลไปให้ได้อย่างเหมาะสม รายการบริการของเครือข่ายแสดงในตารางที่ 1

การกระจาย (Distribution) บริการนี้จะถูกเรียกใช้โดยสถานีในเครือข่ายพื้นฐานทุกๆ ครั้งที่ต้องการส่งข้อมูล เมื่อกรอบข้อมูลได้รับโดยจุดเชื่อมต่อ จะมีการเรียกใช้บริการนี้เพื่อขนส่งกรอบข้อมูลไปยังปลายทาง โดยทุกๆ การสื่อสารที่ผ่านจุดเชื่อมต่อจะมีการใช้บริการนี้ รวมถึงการสื่อสารที่ทั้งสองสถานีเชื่อมต่อผ่านจุดเชื่อมต่อเดียวกันด้วย

การผสาน (Integration) เป็นบริการที่จัดให้โดยบริการการกระจาย ทำให้เชื่อมต่อระบบการกระจายเข้ากับเครือข่ายที่ไม่ใช่แบบ IEEE 802.11 ได้ เนื่องจากการผสานขึ้นอยู่กับระบบการกระจาย ดังนั้นจึงไม่ถูกกำหนดใน IEEE 802.11 โดยเพียงกำหนดให้ต้องมีบริการนี้

การเชื่อมโยง (Association) การขนส่งกรอบข้อมูลไปยังสถานีนั้นเป็นไปได้เพราะสถานีมีการลงทะเบียนหรือเรียกว่าการเชื่อมโยงกับจุดเชื่อมต่อ ระบบการกระจายจึงใช้ข้อมูลนี้เพื่อหาว่าจุดเชื่อมต่อไหนถูกใช้งานโดยสถานีนั้น สถานีที่ไม่มีการเชื่อมโยงจะถือว่าไม่ได้อยู่ในเครือข่าย เช่นเดียวกับสถานีซึ่งไม่ได้ต่อสายอีเทอร์เน็ต โดย IEEE 802.11 กำหนดหน้าที่ซึ่งต้องจัดให้โดยระบบการกระจายโดยใช้ข้อมูลการเชื่อมโยงนี้

การเชื่อมโยงใหม่ (Reassociation) เมื่อสถานีมีการเคลื่อนที่ระหว่าง BSS ที่อยู่ภายใน ESS เดียวกัน ต้องมีการวัดค่าความแรงสัญญาณของจุดเชื่อมต่อปัจจุบันเป็นระยะๆ และเมื่อค่าความแรงสัญญาณต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ สถานีจะทำการเชื่อมโยงซ้ำเมื่อเห็นว่า ถ้าเกิดการเชื่อมโยงซ้ำกับจุดเชื่อมต่อใหม่จะมีผลดีกับการรับส่งข้อมูลมากกว่า โดยกระบวนการนี้จะไม่เริ่มต้นโดยจุดเชื่อมต่อ หลังจากกระบวนการเชื่อมโยงใหม่เสร็จสิ้น ระบบการกระจายจะปรับปรุงตำแหน่งซึ่งแสดงให้รู้ว่าการเข้าถึงสถานีนั้นต้องผ่านจุดเชื่อมต่อใหม่

การยกเลิกเชื่อมโยง (Disassociate) เพื่อหยุดการเชื่อมโยงที่มี สถานีต้องใช้บริการยกเลิกการเชื่อมโยง เมื่อสถานีเรียกใช้บริการนี้ ข้อมูลการเคลื่อนที่ต่างๆ อย่างซึ่งเก็บในระบบการกระจายจะถูกลบ เมื่อการยกเลิกเชื่อมโยงสำเร็จ จะเสมือนว่าสถานีไม่ได้ต่อกับเครือข่าย บริการนี้เป็นขั้นตอนที่สถานีใช้ในกระบวนการยกเลิกการใช้งานอย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามต้องสามารถปรับตัวกับสถานีที่ออกจากเครือข่ายโดยไม่มีการยกเลิกเชื่อมโยงด้วย

การพิสูจน์ตัวตน (Authentication) ความปลอดภัยทางกายภาพเป็นส่วนหลักที่สำคัญสำหรับเครือข่ายแบบใช้สาย เนื่องจากการเชื่อมต่อถูกจำกัดให้อยู่ในบริเวณสำนักงานที่อยู่หลังอาณาเขตที่ถูกอุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์เครือข่ายสามารถทำให้ได้ปลอดภัยได้โดยล็อกไว้ในตู้เก็บ

และสายแลนในห้องจะถูกต่อเมื่อมีความจำเป็นต้องใช้งานเท่านั้น ซึ่งเครือข่ายไร้สายจะไม่สามารถให้ระดับความปลอดภัยเช่นนี้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มกระบวนการพิสูจน์ตัวตนเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้ที่เข้าใช้เครือข่ายนั้นเป็นผู้มีสิทธิ์ การพิสูจน์ตัวตนเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมโยงเนื่องจากผู้ใช้ที่สามารถเข้าใช้งานเครือข่ายได้ต้องผ่านการพิสูจน์ตัวตนแล้วเท่านั้น อย่างไรก็ตามหลายๆ จุดเชื่อมต่อจะถูกตั้งไม่ให้อาศัยการพิสูจน์ตัวตน ซึ่งจะอนุญาตให้ทุกๆ สถานีสามารถใช้งานได้

การยกเลิกการพิสูจน์ตัวตน (Deauthentication) เป็นการสิ้นสุดการพิสูจน์ตัวตน เพราะการพิสูจน์ตัวตนเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมโยง ดังนั้นผลข้างเคียงของการยกเลิกการพิสูจน์ตัวตนคือ เป็นการสิ้นสุดการเชื่อมโยงที่มีอยู่ด้วย

ความเป็นส่วนตัว (Privacy) การควบคุมการเข้าถึงทางกายภาพอย่างเข้มงวด สามารถป้องกันการโจรกรรมความเป็นส่วนตัวของข้อมูลภายในเครือข่ายแลนแบบมีสายได้อย่างมาก โดยผู้บุกรุกต้องเข้าถึงเครือข่ายทางกายภาพให้ได้ก่อนที่จะเริ่มต้นดักฟังข้อมูล และการเข้าถึงสายในเครือข่ายแบบมีสายเป็นส่วนย่อยของการเข้าถึงทรัพยากรคอมพิวเตอร์อื่นๆ การเข้าถึงเครือข่ายแบบไร้สายจะทำได้ง่ายกว่าโดยใช้สายอากาศและวิธีการมอดูเลทที่เหมาะสม เพื่อให้มีความเป็นส่วนตัวแบบเดียวกัน IEEE 802.11 จะให้บริการความเป็นส่วนตัวที่เรียกว่า Wired Equivalent Privacy (WEP) ซึ่งไม่ได้แข็งแกร่งนัก โดยมีการพิสูจน์ว่าถูกเจาะได้อย่างง่ายดายโดยใช้เพียงความสามารถของเครื่องแล็ปท็อป โดยเพียงให้ความปลอดภัยที่ใกล้เคียงกับเครือข่ายแบบมีสาย โดยการเข้ารหัสกรอบข้อมูลที่ถูกส่งผ่านการเชื่อมต่อทางอากาศ เช่นเดียวกับที่ไม่ยากนักในการเข้าถึงสายอีเทอร์เน็ตในเครือข่ายแบบเดิม ซึ่ง WEP เพียงป้องกันผู้ใช้อื่นๆ จากการเข้าถึงเครือข่ายโดยบังเอิญเท่านั้น

การขนส่ง MSDU (MSDU Delivery) เช่นเดียวกับเครือข่ายซึ่งทำหน้าที่ขนส่งข้อมูลไปยังผู้รับ สถานีจัดเตรียมบริการขนส่ง MAC Service Data Unit (MSDU) เพื่อรับผิดชอบหน้าที่นำข้อมูลไปยังปลายทางที่ต้องการ

ตารางที่ 1 บริการของเครือข่าย

บริการ	ประเภทบริการ	รายละเอียด
การกระจาย	การกระจาย	กระจายกรอบข้อมูลไปยังปลายทางภายในเครือข่ายพื้นฐาน
การผสาน	การกระจาย	ขนส่งกรอบข้อมูล IEEE 802.11 ออกไปนอกเครือข่ายไร้สาย
การเชื่อมโยง	การกระจาย	สร้างการเชื่อมโยงเพื่อทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ให้สถานี
การเชื่อมโยงซ้ำ	การกระจาย	ใช้เพื่อเปลี่ยนจุดเชื่อมต่อที่ให้บริการกับสถานี
การยกเลิกเชื่อมโยง	การกระจาย	ลบสถานีออกจากเครือข่าย
การพิสูจน์ตัวตน	สถานี	สร้างความมั่นใจก่อนที่จะสร้างการเชื่อมโยง
การยกเลิกพิสูจน์ตัวตน	สถานี	ใช้เพื่อยกเลิกการพิสูจน์ตัวตนรวมทั้งการเชื่อมโยง
ความเป็นส่วนตัว	สถานี	เตรียมการป้องกันจากผู้ดักฟัง
การขนส่ง MSDU	สถานี	ขนส่งกรอบข้อมูลไปยังผู้รับ

ที่มา: Gast (2002)

ประเภทบริการ

บริการสถานี (Station Services) เป็นบริการที่เป็นส่วนหนึ่งของทุกสถานีที่เข้ากันได้กับมาตรฐาน IEEE 802.11 บริการสถานีจะถูกจัดเตรียมทั้งที่สถานีและจุดเชื่อมต่อแบบไร้สายในจุดเชื่อมต่อ เพื่อให้บริการขนส่งกรอบข้อมูล รวมทั้งอาจต้องใช้เพื่อพิสูจน์ตัวตนเพื่อสร้างการเชื่อมโยง ในบางกรณียังใช้ประโยชน์จากบริการความเป็นส่วนตัวเพื่อป้องกันข้อมูลที่ส่งผ่านการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่เสี่ยงต่อความปลอดภัย

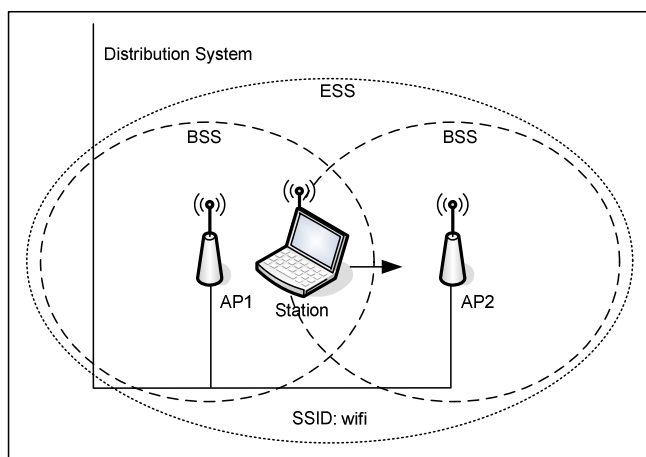
บริการระบบการกระจาย (Distribution System Services) เชื่อมต่อจุดเชื่อมต่อเข้ากับระบบการกระจายหน้าที่หลักของจุดเชื่อมต่อคือเพื่อขยายบริการจากเครือข่ายมีสายไปยังเครือข่ายไร้สายซึ่งทำโดยจัดเตรียมบริการเชื่อมโยงและการผสานกับด้านไร้สาย การจัดการการเชื่อมโยงของสถานีเป็นอีกหน้าที่หนึ่งของระบบการกระจาย โดยจัดเตรียมบริการเชื่อมโยง, การเชื่อมโยงซ้ำและการยกเลิกเชื่อมโยงเพื่อใช้ดูแลข้อมูลการเชื่อมโยง

การสนับสนุนการเคลื่อนที่

การที่สถานีสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยไม่ติดข้อจำกัดของสายแลนเป็นวัตถุประสงค์หลักของการติดตั้งเครือข่าย IEEE 802.11 โดยสถานีสามารถเคลื่อนที่ในขณะที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายและกำลังรับส่งข้อมูล ขอบเขตการเคลื่อนที่ของสถานีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ คือ

ไม่มีการส่งผ่าน เมื่อสถานีเคลื่อนที่อยู่ภายใน BSS ของจุดเชื่อมต่อปัจจุบันโดยไม่มีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของจุดเชื่อมต่อปัจจุบัน จะไม่เกิดการส่งผ่าน

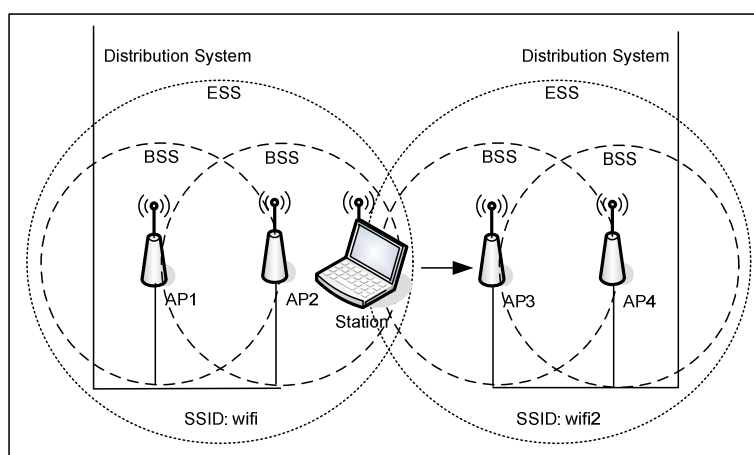
การส่งผ่านระหว่าง BSS แสดงในภาพที่ 5 สถานีจะเฝ้าตรวจวัดค่าความแรงสัญญาณและคุณภาพของสัญญาณจากทุกๆ จุดเชื่อมต่อที่ครอบคลุมภายใน ESS โดย IEEE 802.11 สนับสนุนการเคลื่อนที่ระดับแมคซึ่งอยู่ภายใน ESS เดียวกัน สถานีที่เชื่อมต่อกับระบบการกระจายสามารถส่งข้อมูลไปยังหมายเลขแมคของสถานีอื่น และให้จุดเชื่อมต่อจัดการส่งข้อมูลในขั้นสุดท้ายไปยังสถานีที่เหมาะสมต่อไป โดยระบบการกระจายไม่จำเป็นต้องรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสถานี ถ้าสถานียังคงอยู่ใน ESS เดียวกันทั้งหมด



ภาพที่ 5 การส่งผ่านระหว่าง BSS

การส่งผ่านระหว่าง ESS คือการที่สถานีเคลื่อนที่ข้ามจาก ESS หนึ่งไปยังอีก ESS หนึ่ง แสดงในภาพที่ 6 ซึ่ง IEEE 802.11 ไม่สนับสนุนการส่งผ่านประเภทนี้ โดยเพียงยอมให้สถานีเชื่อมโยงใหม่กับอีกจุดเชื่อมต่อที่อยู่ใน ESS ใหม่ หลังจาก que สถานีเคลื่อนที่ออกจาก ESS แรกแล้ว

และการเชื่อมต่อของโปรโตคอลในระดับที่สูงกว่า เช่น TCP/IP จะถูกขัดจังหวะเพื่อรักษาการเชื่อมต่อจำเป็นต้องพึ่งการสนับสนุนจากโปรโตคอลอื่น ในกรณีที่เป็น TCP/IP จำเป็นต้องใช้งานร่วมกัน Mobile IP เพื่อการส่งผ่านที่ต่อเนื่องโดยไม่ทำให้การเชื่อมต่อและการรับส่งข้อมูลถูกขัดจังหวะ นอกจากนี้ IEEE 802.11 ยังไม่ได้กำหนดวิธีการสื่อสารระหว่างจุดเชื่อมต่อขณะมีการส่งผ่านระหว่าง ESS แต่ถูกกำหนดในมาตรฐาน IAPP (Inter Access Point Protocol) (IEEE, 2003)



ภาพที่ 6 การส่งผ่านระหว่าง ESS

การควบคุมการเข้าใช้สื่อ (Medium Access Control)

เนื่องจากสื่อไร้สายต้องถูกใช้งานร่วมกันระหว่างแต่ละสถานีที่ใช้งานช่องสัญญาณเดียวกัน ดังนั้นเพื่อป้องกันการรบกวนหรือชนกันของกรอบข้อมูล การเข้าใช้งานสื่อไร้สายต้องถูกควบคุมโดยโปรโตคอลที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งสามารถแยกตามรูปแบบการควบคุมการเข้าใช้สื่อที่เรียกว่าฟังก์ชันการประสานงาน (coordination function) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

DCF (Distributed Coordinate Function) เป็นกระบวนการพื้นฐานของการเข้าใช้สื่อแบบ CSMA/CA การทำงานเริ่มโดยการตรวจสอบก่อนว่าสื่อไร้สายถูกใช้งานอยู่หรือไม่ ก่อนที่จะเริ่มต้นส่งข้อมูล เช่นเดียวกับเครือข่ายอีเทอร์เน็ต เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของกรอบข้อมูล สถานีจะใช้เวลาในการหยุดรอ เมื่อมีผู้ใช้งานช่องสัญญาณนั้นอยู่ ในบางกรณี DCF อาจจะใช้เทคนิค CTS/RTS (Request to Send/Clear to Send) เพิ่มขึ้นอีกเพื่อลดโอกาสของการชนกันของกรอบข้อมูล แต่จะทำให้เพิ่มภาระของสื่อไร้สายด้วยเช่นกัน

PCF (Point Coordinate Function) เป็นบริการที่ปลดการแย่งชิง มีสถานะพิเศษที่เรียกว่าจุดประสานงาน (point coordinator) จะถูกใช้เพื่อให้แน่ใจว่าสื่อที่จัดเตรียมให้มันไม่มีการแย่งชิงกัน จุดประสานงานจะทำงานภายในจุดเชื่อมต่อ ดังนั้น PCF จึงถูกจำกัดในเครือข่ายโครงสร้างพื้นฐานเท่านั้น เพื่อให้มีความสำคัญเหนือ DCF ดังนั้น PCF จะให้สถานะที่ทำงานในโหมด PCF มีโอกาสส่งกรอบข้อมูลหลังจากช่วงเวลารอคอยที่สั้นกว่า แต่ในขณะนี้ PCF ยังไม่ถูกนำมาใช้งานอย่างจริงจังมากนัก

โครงสร้างกรอบข้อมูล

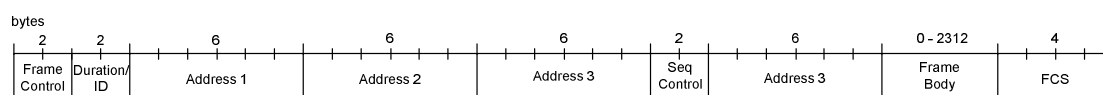
ส่วนสำคัญที่สุดของมาตรฐาน IEEE 802.11 คือส่วนควบคุมการเข้าใช้สื่อซึ่งสามารถทำงานบนระดับกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), Infrared หรือ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) ซึ่งทำให้ได้ความเร็วที่แตกต่างกัน เพื่อให้หน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลของผู้ใช้ไปบนสื่อไร้สาย, กำหนดโครงสร้างของกรอบข้อมูลและควบคุมการสื่อสารกับเครือข่ายไร้สาย

IEEE 802.11 ไม่แตกต่างจาก IEEE 802.3 ที่ถูกออกมาก่อนหน้าอย่างสิ้นเชิง โดยปรับเครือข่ายแบบอีเทอร์เน็ตที่ใช้สายให้ไปใช้การเชื่อมต่อโดยคลื่นวิทยุ สิ่งที่มีเหมือนกันคือ IEEE 802.11 ใช้วิธี Carrier Sense Multiple Access (CSMA) เพื่อตรวจสอบการใช้งานสื่อ อย่างไรก็ตาม การเกิดการชนกันของข้อมูลทำให้สูญเสียความสามารถของสื่อที่มีค่า ดังนั้น แทนที่จะใช้ CD (Collision Detection) แบบเดียวกับอีเทอร์เน็ต IEEE 802.11 ใช้ CA (Collision Avoidance) ส่วนที่เหมือนกับอีเทอร์เน็ตคือเป็นแบบกระจาย ทำให้ไม่ต้องมีส่วนควบคุมส่วนกลาง โดยแต่ละสถานีจะใช้วิธีเดียวกันในการเข้าใช้สื่อ

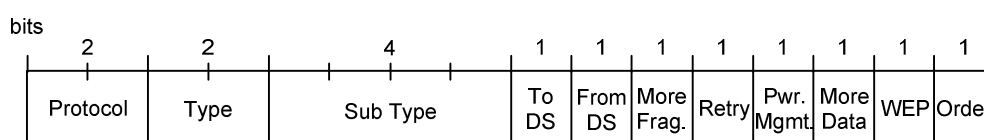
เพื่อให้กรอบข้อมูลนั้นสามารถเอาชนะจากข้อจำกัดของสื่อไร้สาย เช่น คุณภาพของช่องสัญญาณที่เกิดจากสัญญาณรบกวน, ปัญหาสถานีซ่อน, ความซับซ้อนของการตรวจหาการชนกันของกรอบข้อมูล เป็นต้น

ภาพที่ 7 แสดงกรอบข้อมูลแบบทั่วไปของ IEEE 802.11 ซึ่งจะเริ่มต้นส่งข้อมูลไปบนเครือข่ายจากทางซ้ายไปยังขวาของภาพ โดยกรอบข้อมูลของ IEEE 802.11 มีส่วนที่แตกต่างจากกรอบข้อมูลของอีเทอร์เน็ตหลายส่วน เช่น ไม่มีเขตข้อมูลพรีแอมเบิล (preamble) หรือเขตข้อมูลชนิด/ความยาว (ethertype/length) โดยเขตข้อมูลพรีแอมเบิลจะอยู่ในระดับกายภาพและเขตข้อมูลชนิด/ความยาวจะอยู่ในส่วนของเขตข้อมูลแทน

ส่วนที่เหมือนกันของทั้ง IEEE 802.11 และอีเทอร์เน็ตจะใช้เขตข้อมูลหมายเลขแมคขนาด 6 ไบต์ โดยนอกเหนือจากเขตข้อมูลหมายเลขแมคของผู้รับและผู้ส่งแล้ว IEEE 802.11 ยังมีเขตข้อมูลที่สามเพื่อใช้สำหรับจำกัดขอบเขตของข้อมูลให้อยู่ใน BSS เดียวกัน และมี FCS (Frame Check Sequence) ที่ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทางด้านผู้รับเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 7 กรอบข้อมูลทั่วไปของ IEEE 802.11



ภาพที่ 8 กรอบข้อมูลของ frame control

Frame Control แต่ละกรอบข้อมูลจะเริ่มด้วยกรอบข้อมูลควบคุมซึ่งมีขนาด 2 ไบต์ แสดงในภาพที่ 8 เป็นกรอบข้อมูลที่ใช้แสดงรายละเอียดของกรอบข้อมูลในส่วนที่เหลือ เช่น ชนิดของกรอบข้อมูล, ทิศทางของกรอบข้อมูล ว่าถูกส่งจากหรือส่งไปยังระบบการกระจาย, การเข้ารหัสหรือสถานะของระบบประหยัดพลังงาน เป็นต้น

Duration เขตข้อมูลนี้ส่วนใหญ่จะถูกใช้เก็บเวลาที่จองการเข้าใช้สื่อ ที่เรียกว่า Network Allocation Vector (NAV) เพื่อป้องกันการแย่งใช้ช่องสัญญาณ หรือใช้ในกรณีที่ดินที่อื่นใช้แจ้ง association ID เพื่อรับกรอบข้อมูลที่เก็บอยู่ที่จุดเชื่อมต่อในโหมดประหยัดพลังงาน

Address เป็นค่าหมายเลขแมคที่ใช้อ้างอิงสถานี ใน IEEE 802.11 จะมีจำนวนของเขตข้อมูลซึ่งเป็นไปได้สูงสุด 4 ค่า สาเหตุที่แทนด้วยตัวเลข เนื่องจากค่าที่เก็บอยู่จะขึ้นกับชนิดของกรอบข้อมูล โดยในเครือข่ายโครงสร้างพื้นฐานค่าที่ 1, 2 และ 3 จะเป็นที่อยู่ของผู้รับ, ที่อยู่ของผู้ส่ง และ BSSID ตามลำดับ โดยค่าที่ 4 จะมีใช้งานในเครือข่ายที่ใช้บริดจ์ไร้สายเท่านั้น

Sequence Control เป็นค่าที่ใช้รวมกรอบข้อมูลที่ถูกแยกจากกันระหว่างการส่งและใช้จัดลำดับของข้อมูลที่ส่งผ่านชั้นควบคุมการเข้าใช้สื่อ

Frame Body เป็นส่วนที่ใช้ขนส่งข้อมูลของชั้นที่สูงกว่า ซึ่งมีขนาดที่เป็นไปได้สูงสุดคือ 2,304 ไบต์ แต่ต้องรองรับข้อมูลที่มีขนาด 2,312 ไบต์เพื่อรองรับโอเวอร์เฮดในกรณีที่มีการใช้งาน WEP ด้วย

Frame Check Sequence เป็นเขตข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านสื่อ ซึ่งเป็นส่วนที่คล้ายกับอีเทอร์เน็ต บางครั้งอาจถูกเรียกว่า Cyclic Redundancy Check (CRC) ตามกระบวนการทำงาน โดยคำนวณค่าจากส่วนหัวของกรอบข้อมูลรวมทั้งข้อมูลด้วย ดังนั้นแม้การคำนวณจะเหมือนกับอีเทอร์เน็ตแต่ส่วนหัวของกรอบข้อมูล IEEE 802.11 แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีส่วนหัวที่ใช้ในการห่อหุ้มข้อมูลของโปรโตคอลในระดับที่สูงกว่าด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณเขตข้อมูลนี้ใหม่โดยจุดเชื่อมต่อ ซึ่งถ้าผู้รับสามารถคำนวณค่านี้ได้เท่ากับค่าในเขตข้อมูลนี้แสดงว่าเป็นไปได้สูงที่กรอบข้อมูลจะถูกต้อง

โครงสร้างของกรอบข้อมูลการจัดการ

เป็นกรอบข้อมูลที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครือข่ายไร้สาย โดยกรอบข้อมูลการจัดการทุกชนิดจะมีโครงสร้างเหมือนกัน โดยไม่ขึ้นกับรูปแบบการจัดการที่แตกต่างกัน ภาพที่ 9 แสดงโครงสร้างของกรอบข้อมูลการจัดการ



ภาพที่ 9 กรอบข้อมูลการจัดการ

เขตข้อมูลหมายเลขแมค ประกอบด้วยเขตข้อมูลทั้งหมด 3 เขตข้อมูล โดยเขตข้อมูลแรกจะเป็นหมายเลขแมคของผู้รับ, ผู้ส่งและ BSSID ตามลำดับ โดย BSSID คือหมายเลขแมคของจุดเชื่อมต่อไร้สาย เนื่องจากกรอบข้อมูลการจัดการส่วนใหญ่จะใช้เพื่อควบคุมภายใน BSS เดียวกันเท่านั้น ดังนั้น BSSID จึงใช้เพื่อควบคุมผลที่เกิดจากกรอบข้อมูลชนิดบรอดแคสต์หรือมัลติแคสต์ให้อยู่ภายใน BSS เดียวกัน เพื่อลดการประมวลผลกรอบข้อมูลที่ไม่จำเป็นของสถานีอื่น ให้อยู่เฉพาะจุดเชื่อมต่อที่สถานีกำลังเชื่อมโยงเท่านั้น ยกเว้นกรอบข้อมูลบีคอน (beacon) ที่ใช้ประกาศการมีอยู่ของเครือข่าย IEEE 802.11 ในกรณีที่เป็นเครือข่ายแบบ IBSS ค่า BSSID จะถูกสร้างโดยการสุ่มหมายเลขแมคเมื่อ IBSS นั้นถูกสร้าง

กรอบข้อมูลการจัดการก่อนข้างมีความยืดหยุ่น เขตข้อมูลส่วนใหญ่จะมีความยาวคงที่ เรียกว่า เขตข้อมูลขนาดคงที่ (fixed field) และส่วนที่แปรเปลี่ยนขนาดได้ เรียกว่า อินฟอร์เมชัน อิลิเมนต์ (information element) ซึ่งเป็นกลุ่มของเขตข้อมูลที่มีหลายขนาด แต่ละส่วนจะกำหนดรหัสชนิดและขนาดของข้อมูลที่เก็บ ซึ่งจะช่วยให้ทราบได้ว่าข้อมูลชนิดนั้นมีความหมายและต้องถูกแปลความหมายอย่างไร อินฟอร์เมชันอิลิเมนต์ชนิดใหม่สามารถถูกกำหนดในมาตรฐาน IEEE 802.11 รุ่นใหม่ อุปกรณ์ที่เก่ากว่าสามารถปฏิเสธข้อกำหนดของมาตรฐานใหม่ได้แต่อาจทำให้ไม่สามารถเข้าใช้งานเครือข่ายได้ อย่างไรก็ตามสามารถปิดความสามารถบางส่วนเพื่อให้คงความเข้ากันได้

ชนิดของกรอบข้อมูลการจัดการ

Beacon ใช้ประกาศความมีตัวตนของเครือข่าย โดยจะถูกส่งในทุกๆ ช่วงเวลาซึ่งแน่นอนเพื่อให้สถานีสามารถค้นหาและจำแนกเครือข่าย รวมทั้งยังใช้เพื่อจับคู่พารามิเตอร์สำหรับการเข้าใช้เครือข่าย ในเครือข่ายโครงสร้างพื้นฐาน จุดเชื่อมต่อทุกตัวจะทำหน้าที่ในการส่งบีคอนเพื่อแสดงขอบเขตของ BSS เนื่องจากสถานีต้องส่งข้อมูลผ่านจุดเชื่อมต่อ ดังนั้นสถานีต้องอยู่ในระยะที่สามารถรับบีคอนได้เช่นกัน

Probe Request สถานีใช้กรอบข้อมูลนี้เพื่อตรวจหาจุดเชื่อมต่อที่มีอยู่ โครงสร้างของกรอบข้อมูลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ SSID และความเร็วที่สนับสนุน (supported rate) ของสถานี เมื่อเครือข่ายได้รับกรอบข้อมูลจะใช้ข้อมูลนี้เพื่อตัดสินใจว่าสถานีจะสามารถเข้าใช้เครือข่ายได้หรือไม่ โดยสถานีต้องสนับสนุนทุกความเร็วที่เครือข่ายต้องการและเจาะจงเครือข่ายที่ต้องการ โดยกำหนด SSID หรือทุกเครือข่ายที่เข้ากันได้โดยไม่ต้องกำหนดค่า SSID

Probe Response ถ้ากรอบข้อมูลร้องขอการตรวจหาเข้ากันได้กับค่าที่จุดเชื่อมต่อต้องการ เครือข่ายจะส่งกรอบข้อมูลตอบสนองการตรวจหาไปยังสถานี ซึ่งในเครือข่ายโครงสร้างพื้นฐาน สถานีนี้คือจุดเชื่อมต่อ และสำหรับเครือข่าย IBSS หน้าทีนี้จะถูกกระจาย โดยสถานีที่ส่งบีคอนครั้งล่าสุดมีหน้าที่ต้องตอบสนองการร้องขอการตรวจหาภายในช่วงเวลาบีคอน

IBSS Announcement Traffic Indication Map (ATIM) เนื่องจาก IBSS ไม่มีจุดเชื่อมต่อ ดังนั้นจึงไม่สามารถทำหน้าที่พักข้อมูลสำหรับสถานีที่อยู่ในสถานะประหยัดพลังงาน แต่เมื่อสถานีได้พักกรอบข้อมูลไว้แล้ว จะส่งกรอบข้อมูล ATIM ไปยังผู้รับในช่วงเวลาการขนส่งเพื่อแจ้งว่ามีข้อมูลที่ถูกพักอยู่

Authentication ต้องมีการแลกเปลี่ยนกรอบข้อมูลการพิสูจน์ตัวตนเพื่อพิสูจน์ตัวตนกับจุดเชื่อมต่อ หลายๆ อัลกอริทึมสามารถใช้งานร่วมกันได้โดยการเปลี่ยนค่าในเขตข้อมูลหมายเลขอัลกอริทึม

Association Request เมื่อสถานีมีการแสดงตัวและพิสูจน์ตัวตนกับเครือข่ายแล้ว หลังจากนั้นจึงพยายามเข้าใช้เครือข่ายโดยการส่งกรอบข้อมูลร้องขอการเชื่อมโยง

Reassociation Request เมื่อสถานีมีการเคลื่อนที่ระหว่าง BSS ภายใน ESS เดียวกัน ต้องมีการเชื่อมโยงกับเครือข่ายใหม่ ก่อนที่จะเริ่มต้นสื่อสารกับระบบการกระจายอีกครั้ง หรือสถานีเคลื่อนที่ออกไปนอกพื้นที่ให้บริการของจุดเชื่อมต่อชั่วคราวและกลับเข้ามาใหม่

Association Response และ Reassociation Response เมื่อสถานีพยายามเชื่อมโยงกับจุดเชื่อมต่อ จุดเชื่อมต่อจะตอบกลับด้วยกรอบข้อมูลตอบสนองการเชื่อมโยง โดยขึ้นอยู่กับชนิดของกรอบข้อมูลที่ส่งมา และจุดเชื่อมต่อจะกำหนดหมายเลขการเชื่อมโยง (Association ID) ส่วนที่จำแนกชนิดของกรอบข้อมูลคือเขตข้อมูลชนิดย่อยในเขตข้อมูลควบคุมซึ่งจะแตกต่างกัน

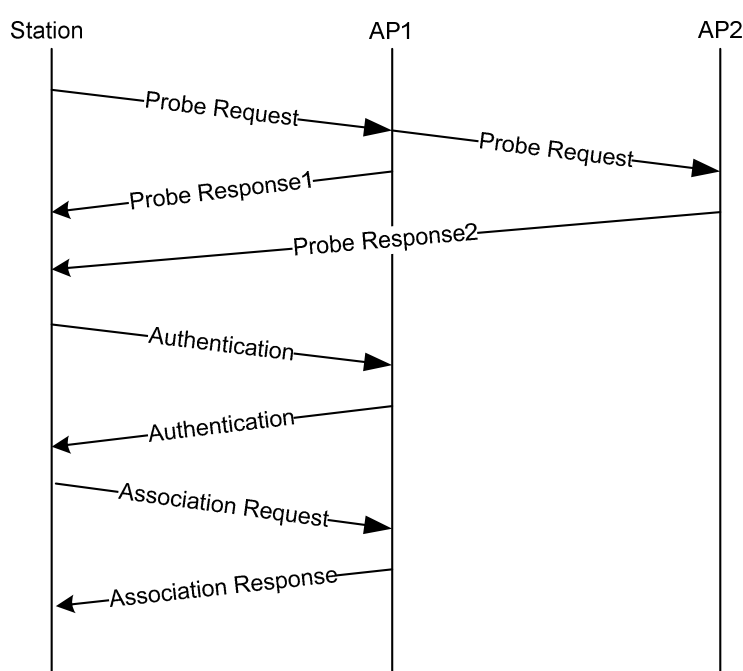
Disassociation และ Deauthentication กรอบข้อมูลยกเลิกการเชื่อมโยงใช้เพื่อยกเลิกการเชื่อมโยงและกรอบข้อมูลยกเลิกการพิสูจน์ตัวตนใช้เพื่อยกเลิกการพิสูจน์ตัวตน ซึ่งในกรอบข้อมูลจะแสดงรหัสของสาเหตุการยกเลิก ส่วนที่จำแนกชนิดของกรอบข้อมูลคือเขตข้อมูลชนิดย่อยซึ่งแตกต่างกัน

กระบวนการเชื่อมเข้ากับจุดเชื่อมต่อ

การส่งต่อเกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ระหว่าง BSS เมื่อค่าความแรงสัญญาณของจุดเชื่อมต่อปัจจุบันลดลงจนต่ำกว่าค่าระดับการส่งต่อ (handoff threshold) เพื่อรักษาการเชื่อมโยงไว้ ดังนั้นสถานีต้องเริ่มต้นกระบวนการส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นซึ่งมีค่าความแรงสัญญาณมากกว่า ซึ่งขั้นตอนมีดังนี้ คือ

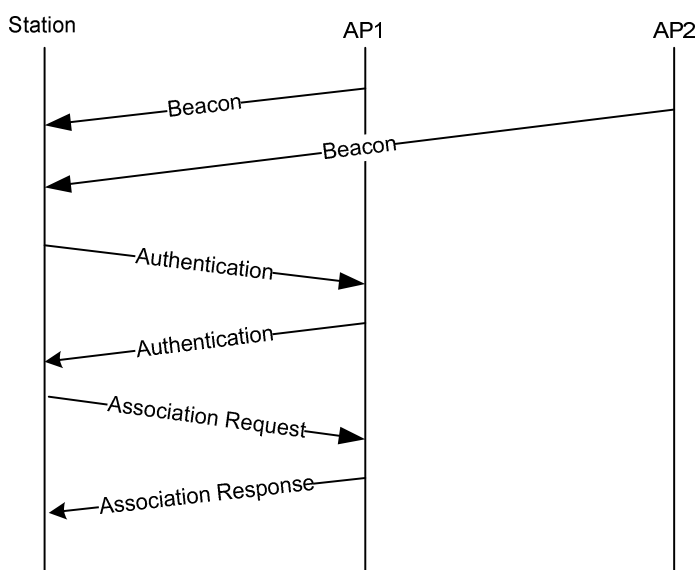
Scanning เป็นการตรวจหาเพื่อค้นหาจุดเชื่อมต่อที่อยู่รอบข้าง เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ตัดสินใจเลือกจุดเชื่อมต่อซึ่งเหมาะสมกับการเชื่อมโยงต่อไป เราสามารถแบ่งวิธีการตรวจหาออกได้เป็น 2 วิธี คือ

การสแกนแบบแอคทีฟ (active scanning) ทำงานโดยการส่งกรอบข้อมูลร้องขอการตรวจหาออกไปแบบบรอดแคสต์ (broadcast) ในแต่ละช่องสัญญาณที่สถานีสามารถใช้งานได้ ซึ่งเมื่อจุดเชื่อมต่อที่อยู่ในช่องสัญญาณนั้นได้รับกรอบข้อมูลนี้ จะตอบกลับด้วยกรอบข้อมูลตอบสนองการตรวจหา ทำให้สถานีรู้ถึงรายการของจุดเชื่อมต่อที่ทำงานอยู่ในแต่ละช่องสัญญาณ จากนั้นสถานีจึงเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณมากที่สุด แผนภาพการทำงานแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การสแกนแบบแอคทีฟ

การสแกนแบบพาสซีฟ (passive scanning) เป็นการค้นหาโดยการรอรับกรอบข้อมูลบีมคอนที่ถูกส่งมาจากแต่ละจุดเชื่อมต่อ ซึ่งสถานีต้องเปลี่ยนไปยังแต่ละช่องสัญญาณที่สนับสนุนเพื่อรอรับกรอบข้อมูลนี้ที่จะถูกส่งมาในช่วงเวลาที่แน่นอน โดยปกติคือ 100 มิลลิวินาที และหลังจากสถานีเปลี่ยนไปยังทุกช่องสัญญาณแล้ว สถานีจะรวบรวมรายการของจุดเชื่อมต่อที่พบ และเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณมากที่สุด แผนภาพการทำงานแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การสแกนแบบแพชซีฟ

Authentication หลังจากทีสถานีตรวจหาและเลือกจุดเชื่อมต่อได้แล้ว สถานีต้องพิสูจน์ตัวตนกับจุดเชื่อมต่อที่เลือก โดยขั้นตอนจะขึ้นอยู่กับชนิดของระบบความมั่นคงที่ใช้ เช่น แบบเปิด (open) หรือ แบบกุญแจร่วม (shared) เป็นต้น ซึ่งถ้าสถานีสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลการพิสูจน์ตัวตนได้ถูกต้อง จุดเชื่อมต่อจะอนุญาตให้สถานีเชื่อมต่อหรือเชื่อมต่อใหม่ได้

Association/Reassociation เมื่อสถานีพิสูจน์ตัวตนได้สำเร็จแล้ว จะทำกระบวนการเชื่อมต่อเข้ากับจุดเชื่อมต่อเพื่อเชื่อมเข้ากับระบบการกระจาย ทำให้สถานีสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสถานีที่อยู่จุดเชื่อมต่อเดียวกัน, อยู่ต่างจุดเชื่อมต่อหรือต่ออยู่กับเครือข่ายไร้สาย โดยสถานีจะใช้กรอบข้อมูลที่ต่างชนิดกันสำหรับสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยถ้าเชื่อมต่อเข้ากับจุดเชื่อมต่อนี้เป็นครั้งแรก สถานีจะใช้กรอบข้อมูลการเชื่อมต่อ แต่ถ้าสถานีส่งต่อมาจากจุดเชื่อมต่ออื่น สถานีจะส่งกรอบข้อมูลเชื่อมต่อใหม่แทน

งานวิจัยเกี่ยวกับการลดเวลาที่ใช้ในการส่งต่อของเครือข่าย IEEE 802.11

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในขั้นตอนส่งต่อมีค่าสูงจนเกิน 50 มิลลิวินาที จนทำให้มีอาการกระทบกับการส่งข้อมูลแบบเวลาจริง (ITU-T, 2003) โดยทำให้ผู้ใช้รู้สึกถึงการขัดจังหวะของข้อมูล ดังนั้นเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้เครือข่าย IEEE 802.11 กับข้อมูลประเภทนี้ได้ จึงต้องลดเวลาที่ใช้ในการส่งต่อลง โดยสามารถแบ่งกลุ่มงานวิจัยตามเทคนิคที่ใช้ได้ดังนี้

การปรับปรุงวิธีการค้นหาจุดเชื่อมต่อ

Ramani and Savage (2005) นำเสนอวิธีการปรับเวลาสำหรับการส่งบิตคอนของแต่ละจุดเชื่อมต่อให้เชื่อมโยงกันแบบเรียงลำดับ ทำให้ลดเวลาที่สถานีต้องรอบิตคอนหลังจากเปลี่ยนไปยังช่องสัญญาณใหม่ เพื่อลดเวลาของกระบวนการส่งต่อในขั้นตอนตรวจสอบแบบแพชชีฟ Kwon and Lee (2004) ลดเวลาที่ใช้โดยใช้หลักการ ถ้ามีจุดเชื่อมต่อมากกว่า 1 ตัว เมื่อสถานีส่งกรอบข้อมูล probe request เนื่องจากจุดเชื่อมต่อจะส่งกรอบข้อมูล probe response กลับมาทันที ดังนั้นจะเกิดการชนกันของกรอบข้อมูล ซึ่งจะทำให้สถานีทราบว่าไม่มีจุดเชื่อมต่อมากกว่า 1 ตัว แต่ถ้าไม่พบการชนกันของกรอบข้อมูล แสดงว่าไม่มีจุดเชื่อมต่ออื่นอีก ดังนั้นสถานีสามารถเปลี่ยนไปตรวจสอบสถานีที่ช่องสัญญาณอื่นได้ทันที โดยไม่ต้องรอนจนครบเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งทั้งสองวิธียังคงใช้เงื่อนไขในการเลือกจุดเชื่อมต่อแบบเดิม คือ เลือกจุดเชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณสูงที่สุด

การปรับปรุงเงื่อนไขการเลือกจุดเชื่อมต่อ

Velayos and Karlsson (2004) นำเสนอวิธีการตัดสินใจเริ่มต้นการส่งต่อโดยวัดปริมาณกรอบข้อมูลที่สถานีส่งไปและสูญหายที่ชั้นการเชื่อมโยง (link-layer) หรือในกรณีที่สถานีรับข้อมูล จะใช้การวัดปริมาณบิตคอน (beacon) ที่ได้รับ แทนที่วิธีเดิมที่ใช้ระดับความแรงสัญญาณ เพื่อลดเวลาที่ใช้ในเริ่มต้นการตรวจหา นอกจากนี้ยังเสนอค่าพารามิเตอร์สำหรับการตรวจหาแบบแอคทีฟที่ทำให้สามารถลดเวลาที่ใช้เวลาในตรวจหาจุดเชื่อมต่อได้

การตรวจหาล่วงหน้า

งานวิจัยอีกส่วนหนึ่งจะใช้การตรวจหาแต่ละช่องสัญญาณล่วงหน้า เพื่อหาจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านก่อนที่จะมีการส่งต่อจริง ทำให้เวลาที่ใช้ในการตรวจหาลดลง Mustafa *et al.* (2005) ใช้การทำสัญลักษณ์ช่องสัญญาณ (channel mask) เพื่อให้สถานีตรวจหาเฉพาะช่องสัญญาณที่มีจุดเชื่อมต่อเท่านั้น Speicher and Bunnig (2006) เสนอวิธีที่ใช้แพคเกจ (packet) ตรวจหาชนิดพิเศษสำหรับการตรวจหาจุดเชื่อมต่อที่มีอยู่ เพื่อเปลี่ยนไปยังช่องสัญญาณอื่นก่อนที่กลับมารับแพคเกจตอบกลับทำให้ลดเวลาที่ต้องรอลง Yong and Lixin (2006) ใช้การแบ่งช่องสัญญาณที่จะตรวจหาทั้งหมดออกเป็นกลุ่มย่อยๆ เพื่อลดเวลาที่ใช้และสลับการตรวจหากับการรับส่งข้อมูลปกติ Ping-Jung *et al.* (2006) ปรับปรุงกระบวนการคอนเท็กซ์สวิตช์ ของ IAPP เพื่อให้มีการเลือกจุดเชื่อมต่อถัดไปก่อนที่จะเริ่มกระบวนการส่งต่อจริง Liao and Gao (2006) จะใช้วิธีแบ่งจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องตรวจหาออกเป็นส่วนเล็กๆ จำนวนหลายๆ ส่วน เพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจหาแต่ละครั้ง

ลง แล้วจึงทำขั้นตอนนี้สลับกับการรับส่งข้อมูลตามปกติ ดังนั้นในขณะที่ทำขั้นตอนตรวจหาจึงยังคงสามารถทำการรับส่งข้อมูลได้เช่นกัน และ Wu *et al.* (2007) ใช้รายการช่องสัญญาณสำคัญ (priority channel list) เพื่อลดจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องตรวจหาจุดเชื่อมต่อแต่ละครั้งแบบแบ่งส่วน สลับกับการตรวจหาแบบเต็มเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการตรวจหา

การพิสูจน์ตัวตนล่วงหน้า

Sangheon and Yanghee (2002) และ Hye-Soo *et al.* (2004) นำเสนอการลดเวลาที่ใช้สำหรับการยืนยันตัวตนโดยการพิจารณาค่าน้ำหนักของกราฟเพื่อนบ้านของจุดเชื่อมต่อ จากนั้นจึงทำขั้นตอนยืนยันตัวตนล่วงหน้า อย่างไรก็ตามวิธีที่เสนอยังไม่สามารถเลือกจุดเชื่อมต่อที่เหมาะสมกับเส้นทางการเคลื่อนของสถานีทำให้อาจมีการยืนยันตัวตนล่วงหน้ากับจุดเชื่อมต่อมากเกินไป

การปรับปรุงวิธีการเลือกจุดเชื่อมต่อ

Haitao *et al.* (2007) เสนอการใช้ค่าความแรงสัญญาณและอัตราการส่งข้อมูลมาใช้เป็นพิจารณาเพื่อเริ่มหรือหยุดขั้นตอนการส่งต่อ ในขณะที่ Lan *et al.* (2003) จะใช้อัตราความแรงสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR), ภาระของจุดเชื่อมต่อและเวลาที่เชื่อมโยงกับจุดเชื่อมต่อ เพื่อใช้แก้ปัญหาป้องกัน อย่างไรก็ตามผู้เสนอยังคงใช้เทคนิคการตรวจหาแบบเดิม เพื่อป้องกันเหตุการณ์ที่สถานีส่งต่อกลับไปกลับมาระหว่างจุดเชื่อมต่อที่มีระดับความแรงสัญญาณใกล้เคียงกัน ซึ่งเรียกว่า “ปรากฏการณ์ปึงปึง”

การปรับปรุงโปรโตคอล

Ok *et al.* (2007) ใช้ช่องสัญญาณที่มีปริมาณการใช้งานน้อยเพื่อสร้างช่องสัญญาณบิกอนร่วมสำหรับจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านในบริเวณเดียวกัน ดังนั้นสถานีจึงไม่จำเป็นต้องตรวจหาช่องสัญญาณเพื่อค้นหาจุดเชื่อมต่อ แต่จะใช้ข้อมูลนี้จากช่องสัญญาณบิกอนร่วมแทน

การตรวจหาและการพิสูจน์ตัวตนล่วงหน้า

Huang *et al.* (2006) ใช้ข้อมูลจากกราฟเพื่อนบ้านที่แลกเปลี่ยนกับจุดเชื่อมต่อปัจจุบันในขั้นตอนแรก จากนั้นจึงใช้การตรวจหาล่วงหน้าเฉพาะในช่องสัญญาณที่มีจุดเชื่อมต่ออยู่เท่านั้น แล้วจึงพิสูจน์ตัวตนล่วงหน้าด้วย IAPP กับจุดเชื่อมต่อที่มีความแรงสัญญาณมากที่สุด นอกจากนี้ในขณะที่มีการส่งต่อจะมีการพักข้อมูลเก็บไว้ที่จุดเชื่อมต่อด้วย

วิธีที่การที่นำเสนอทั้งหมด ไม่มีวิธีการใดที่ใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของสถานีเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกจุดเชื่อมต่อ ดังนั้นบางสภาพแวดล้อมที่สถานีสามารถรับสัญญาณจากหลายๆ จุดเชื่อมต่อ สถานีจะเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีความแรงสัญญาณสูงที่สุด แต่อาจไม่ได้อยู่ในแนวเส้นทางการเคลื่อนที่ ซึ่งทำให้สถานีเชื่อมโยงกับจุดเชื่อมต่อเป็นระยะเวลาสั้นๆ และจำเป็นต้องเปลี่ยนไปเชื่อมโยงกับจุดเชื่อมต่ออื่นเมื่อสถานีเคลื่อนที่ผ่านไป จึงเกิดการส่งต่อที่ไม่จำเป็น โดยในขณะที่เกิดการส่งต่อ ทำให้เกิดการขัดจังหวะของการรับหรือส่งข้อมูล ซึ่งมีผลกับข้อมูลประเภทเวลาจริง ที่ไวต่อการพรั่ว ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีการลดเวลาและจำนวนครั้งที่ใช้ในการส่งต่อ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ จำนวน 1 เครื่อง
 - CPU Intel Core 2 Duo 1.8 GHz
 - RAM 2 GB
 - ฮาร์ดดิสก์ 320 GB
 - OS Linux Ubuntu 7.10
 - Atheros AR5212
2. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา จำนวน 1 เครื่อง
 - CPU Intel Pentium M 1.6 GHz
 - RAM 1.2 GB
 - ฮาร์ดดิสก์ 40 GB
 - Intel PROset Wireless 2200BG
 - OS Linux Ubuntu 7.10
3. จุดเชื่อมต่อไร้สาย Linksys รุ่น WRT54G 1 ตัว
4. โปรแกรม GloMoSim รุ่น 2.02 (Parallel Computing Laboratory [PCL], 2001a)
5. โปรแกรม Ekahau Site Survey รุ่น 2.1 (Ekahau, 2004)
6. โปรแกรม Wireshark รุ่น 0.99.6 (Combs, 2008)

วิธีการ

งานวิจัยนี้ปรับปรุงกระบวนการส่งต่อเพื่อลดเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการตรวจหาและเพิ่มความถูกต้องในการเลือกจุดเชื่อมต่อ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Receive signal strength Slope with Neighbor Graph (RSNG) (อรรณวิทย์ และ อนันต์, 2550) ซึ่งจากการพิจารณากระบวนการส่งต่อแบบเดิม พบว่าใช้เวลาในขั้นตอนตรวจหาสูงมากที่สุด เมื่อเทียบกับขั้นตอนพิสูจน์ตัวตนและขั้นตอนการเชื่อมโยง (Mishra *et al.*, 2003) จนมีผลกระทบกับข้อมูลแบบเวลาจริง นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องลดการเกิดปรากฏการณ์ปิงปองและเปลี่ยนวิธีการเลือกจุดเชื่อมต่อเพื่อลดจำนวนการส่งต่อซึ่งไม่จำเป็น

การปรับปรุงกระบวนการตรวจหา

เพื่อลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการส่งต่อทั้งหมดให้ต่ำกว่า 50 มิลลิวินาที จึงต้องลดเวลาจากขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุด ซึ่งคือขั้นตอนการตรวจหา ดังนั้นถ้าสามารถทำขั้นตอนนี้ล่วงหน้าก่อน จะเกิดการส่งต่อจริง จะทำให้ทราบรายการของจุดเชื่อมต่อที่ปรากฏรอบข้าง เพื่อนำมาใช้พิจารณาเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยที่ยังคงรักษาการเชื่อมต่อกับจุดเชื่อมต่อปัจจุบันได้ ทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการรับส่งข้อมูลที่กำลังทำงานอยู่

จากที่กล่าวในบทที่ผ่านมาแล้วว่า มีวิธีการตรวจหา 2 วิธี คือ แบบแพชชีฟ และแบบแอคทีฟ ซึ่งทั้งสองวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในแต่ละสถานการณ์ ดังนี้

1. แบบแอคทีฟ เป็นการค้นหาจุดเชื่อมต่อโดยการส่งกรอบข้อมูลร้องขอการตรวจหาออกไปแบบบรอดแคสต์ ซึ่งถ้ามีจุดเชื่อมต่อทำงานอยู่ที่ BSSID นั้น จะตอบกลับมามีกรอบข้อมูลตอบสนองการตรวจหา ทำให้สถานีรู้ถึงการมีอยู่ของจุดเชื่อมต่อนั้น แผนภาพการทำงานแสดงในภาพที่ 10

ข้อดี

1. ใช้เวลาในการตรวจหาน้อยกว่าแบบแพชชีฟ

ข้อเสีย

1. ต้องใช้พลังงานเพิ่มจากแบบแพชชีฟ เนื่องจากต้องใช้สำหรับการส่งกรอบข้อมูลตรวจหาค้าง
2. เพิ่มภาระให้กับช่องสัญญาณของเครือข่าย
3. เพิ่มภาระให้กับจุดเชื่อมต่อ

2. แบบแพชชีฟ เป็นการรอรับกรอบข้อมูลบีมคอนที่จะถูกส่งออกมาจากจุดเชื่อมต่อทุกๆ ตัว เพื่อแสดงการมีอยู่ของ BSS แผนภาพการทำงานแสดงในภาพที่ 11 โดยทั่วไปจะถูกส่งออกมาแบบบรอดแคสต์ทุกๆ เวลา 100 มิลลิวินาที

ข้อดี

1. ประหยัดพลังงาน เนื่องจากจึงไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการส่งกรอบข้อมูลออกไปเพิ่มเติม
2. ไม่เพิ่มภาระให้กับช่องสัญญาณของเครือข่าย เนื่องจากไม่ต้องมีการส่งกรอบข้อมูลตรวจหาซึ่งต้องไปร่วมใช้งานช่องสัญญาณกับข้อมูลปกติ
3. ไม่เพิ่มภาระให้กับจุดเชื่อมต่อ เนื่องจากจุดเชื่อมต่อจะส่งกรอบข้อมูลบิตคอนออกมาตลอดเวลาโดยอัตโนมัติ

ข้อเสีย

1. ใช้เวลาในการตรวจหามากเนื่องจากต้องรอรับกรอบข้อมูลบิตคอนเป็นเวลานาน ในกรณีที่แย่ที่สุดอาจนานถึง 100 มิลลิวินาทีต่อ 1 ช่องสัญญาณ ซึ่งเวลาที่มากนี้ จะส่งผลกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการส่งต่อทั้งหมดด้วย

ดังนั้นเพื่อลดเวลาการตรวจหา ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้การตรวจหาแบบแอดทีฟ แม้ว่าการตรวจหาแบบแอดทีฟต้องใช้พลังงานและเพิ่มภาระให้กับจุดเชื่อมต่อ แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถลดเวลาในการตรวจหาได้อย่างมาก โดยไม่จำเป็นต้องแก้ไขโปรโตคอลเพิ่มเติม นอกจากนี้กระบวนการส่งต่อยังเกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ เมื่อเทียบกับเวลาที่สถานีใช้เพื่อรับส่งข้อมูลทั้งหมด นอกจากนี้เนื่องจากเทคโนโลยีในปัจจุบันมีการพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์มากขึ้น เช่น หน่วยประมวลผลที่ทำงานเร็วขึ้นแต่ใช้พลังงานน้อยลงหรือแบตเตอรี่ที่มีความจุมากขึ้น ทำให้ข้อจำกัดเรื่องพลังงานมีสำคัญรองลงจากการทำงานของเครือข่ายไร้สายที่ดีขึ้น เนื่องจากผู้ใช้งานไม่รู้สึกรู้สถึงการขัดจังหวะของการเชื่อมต่อ เมื่อสถานีมีการเคลื่อนที่ระหว่าง BSS ภายใน ESS เดียวกัน

ในการตรวจหาจะเป็นการแบ่งจำนวนช่องสัญญาณออกเป็นส่วนๆ ส่วนละ 3 ช่องสัญญาณ เนื่องจากเครือข่าย 802.11b/g มีความกว้างแถบความถี่ 22 MHz ในขณะที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องมีแบนด์วิธเท่ากับ 5 MHz ตามที่แสดงในภาพที่ 12 ดังนั้นเพื่อไม่ให้ช่องสัญญาณซ้อนทับกัน จึงต้องตั้งช่องสัญญาณให้ห่างกันอย่างน้อย 5 ช่อง ในขณะที่จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดที่ใช้งานได้ในประเทศไทยคือ 13 ช่อง จึงมีช่องสัญญาณทั้งหมด 3 ช่องที่ไม่ซ้อนทับกัน เช่น ช่อง 1, 6 และ 11 ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของเครือข่ายสูงที่สุด ผู้ดูแลระบบจึงมักจะตั้งช่องสัญญาณของจุดเชื่อมต่อแต่ละตัวให้อยู่ใน 3 ช่องนี้ แต่อาจมีบางกรณีที่จุดเชื่อมต่อถูกตั้งให้เป็นช่องสัญญาณอื่น

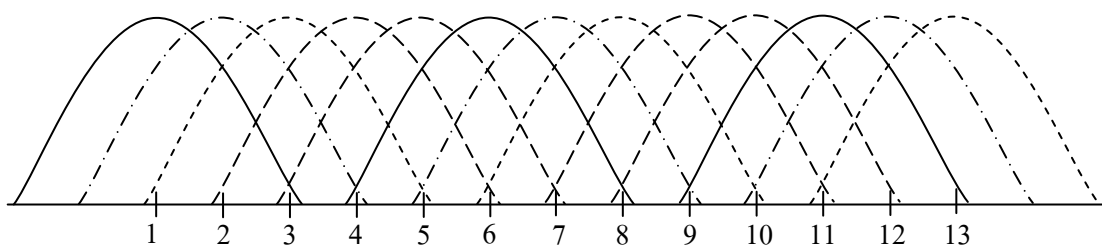
เช่น 3, 5 หรือ 7 เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถค้นหาจุดเชื่อมต่อได้ทั้งหมด ในขณะเดียวกันก็ต้องใช้เวลาในการตรวจหาน้อยกว่าการตรวจหาทุกช่องสัญญาณ จึงต้องแบ่งการตรวจหา ออกเป็นทั้งหมด 4 ครั้ง โดยที่แต่ละครั้งตรวจหาไปยังช่องสัญญาณที่ห่างกัน 5 ช่อง ยกเว้นครั้งสุดท้ายซึ่งจะตรวจหาไปที่ช่องที่เหลืออยู่แทน โดยสามารถเขียนแทนในรูป pseudo code ดังนี้

Pseudo code การค้นหาจุดเชื่อมต่อและวัดค่าความแรงสัญญาณ

```

1  SET MaxCH := 13
2  SET CHList [1 ... MaxCH] := 0
3  SET CHSpacing := 5
4  SET CurrentCH := 1
5  SET CHOffset := 0
6  WHILE CHOffset <= 2 THEN
7      Probe AP in CurrentCH for 3 times to find average signal strength
8      SET CHList[CurrentCH] := 1
9      SET CurrentCH := CurrentCH + CHSpacing
10     IF CurrentCH > MaxCH THEN
11         SET CurrentCH := CEIL ( CurrentCH / 2 ) – CHSpacing – CHOffset
12         SET CHOffset := CHOffset + 1
13     ENDIF
14 END WHILE
15 FOREACH CurrentCH in CHList THEN
16     IF CHList[CurrentCH] = 0 THEN
17         Probe AP in CurrentCH for 3 times to find average signal strength
18     END
19 END FOREACH
20 END

```



ภาพที่ 12 แสดงสเปกตรัมของช่องสัญญาณในเครือข่าย 802.11

ดังนั้นได้รูปแบบการตรวจหาตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบช่องสัญญาณสำหรับการตรวจหา

ลำดับ	ช่องสัญญาณ
1	1, 6, 11
2	3, 8, 13
3	2, 7, 12
4	4, 5, 9, 10

โดยถ้าพบจุดเชื่อมต่ออื่นๆ ที่อยู่ใน SSID เดียวกัน ในแต่ละลำดับของรอบของการตรวจหามากกว่า 1 ตัวขึ้นไป ในรอบการตรวจหาถัดไปที่ใช้สำหรับการหาค่าเฉลี่ย จะตรวจหาเฉพาะช่องสัญญาณที่พบจุดเชื่อมต่อที่อยู่ในลำดับเดียวกันเท่านั้น จนกระทั่งตรวจหาครบจำนวนที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยแล้ว จึงตรวจหาไปยังลำดับถัดไปจนกระทั่งพบจุดเชื่อมต่อใหม่ จึงเริ่มตรวจหาซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย และทำขั้นตอนเหล่านี้ซ้ำกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงลำดับสุดท้าย แล้วจึงวนกลับมาเริ่มที่ลำดับที่ 1 อีกครั้ง

แม้จะมีการตรวจหาล่วงหน้าเพื่อค้นหาจุดเชื่อมต่อก่อนขาดการเชื่อมโยงแล้ว แต่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการตรวจหากระทบกับขั้นตอนการรับส่งข้อมูลที่กำลังทำงานอยู่ด้วย ทำให้ค่าการพราสูงจนผู้ใช้งานรู้สึกถึงการขาดช่วงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการแบ่งสลับการตรวจหากับการรับส่งข้อมูลตามปกติ โดยรับหรือส่งข้อมูล 1 กรอบข้อมูล แล้วจึงสลับไปตรวจหาที่ช่องสัญญาณที่กำหนดจำนวน 3 ครั้ง จึงกลับมารับส่งข้อมูลที่ช่องสัญญาณเดิมอีกครั้ง

เนื่องจากขณะที่สถานีเปลี่ยนช่องสัญญาณเพื่อส่งกรอบข้อมูลตรวจหาช่องสัญญาณอื่น สถานีจะไม่สามารถรับข้อมูลที่ส่งมาจากจุดเชื่อมต่อได้ ทำให้ถ้ามีข้อมูลส่งจากจุดเชื่อมต่อในเวลานั้น อาจจะทำให้ข้อมูลสูญหาย เนื่องจากสถานีไม่สามารถตอบรับข้อมูลนั้นได้ทัน ทำให้จุดเชื่อมต่อต้องส่งข้อมูลนั้นกลับมาใหม่ซ้ำอีกเรื่อยๆ จนถ้าเกินจำนวนครั้งที่กำหนด จะทำให้จุดเชื่อมต่อยกเลิกการส่งกรอบข้อมูลนั้น การแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคเดียวกับสถานีที่อยู่ในสถานะประหยัดพลังงาน โดยมีขั้นตอน คือ ต้องแจ้งจุดเชื่อมต่อว่าต้องการเข้าสู่สถานะประหยัดพลังงาน (power saving mode) เพื่อให้จุดเชื่อมต่อทราบว่ามีข้อมูลที่ส่งไปยังสถานีนั้น ให้เก็บข้อมูลพักไว้ในบัฟเฟอร์ก่อน แล้วสถานีจึงเปลี่ยนไปยังช่องสัญญาณอื่นเพื่อส่งกรอบข้อมูลตรวจหาและรอรับการตอบกลับจากจุดเชื่อมต่อที่ทำงานในช่องสัญญาณนั้น จากนั้นจึงเปลี่ยนช่องสัญญาณกลับมายังช่องเดิมเพื่อรับข้อมูลที่พักอยู่ในบัฟเฟอร์ของจุดเชื่อมต่อ ทำให้ข้อมูลที่ส่งมาให้สถานีนั้นยังคงไม่สูญหาย

จากทดสอบ โมดูลเครือข่ายไร้สายของอินเทล รุ่น 2200BG ที่ติดตั้งกับเครื่องแล็ปท็อปที่ใช้หน่วยประมวลของอินเทลในปัจจุบันเป็นส่วนใหญ่ ใช้เวลาเปลี่ยนช่องสัญญาณไปจนกระทั่งเตรียมพิสูจน์ตัวตน คือ 8 มิลลิวินาที ดังนั้นเวลาสำหรับการเปลี่ยนช่องสัญญาณจนกระทั่งกลับมายังช่องสัญญาณเดิมในกรณีทำงานตาม IEEE 802.11b แสดงตามสมการที่ 1

$$\begin{aligned}
 ProbeTime &= (2 * SwitchTime) + (3 * (DIFS + ProbeReq + DIFS + ProbeRes + SIFS + ACK)) \quad (1) \\
 &= (2 * 8) + (3 * (0.050 + (0.192 + 68/1.375 * 10^6) + 0.050 + \\
 &\quad (0.192 + 79/1.375 * 10^6) + 0.010 + (0.192 + 14/1.375 * 10^6))) \\
 &= 16 + (3 * (0.050 + 0.241 + 0.050 + 0.249 + 0.010 + 0.202)) \\
 &= 18.406 \quad \sim 18 \text{ มิลลิวินาที}
 \end{aligned}$$

การวัดค่าความแรงสัญญาณ

เพื่อให้สามารถคาดการณ์การเคลื่อนที่ของสถานีเมื่อเทียบกับจุดเชื่อมต่อแต่ละตัว ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าที่สามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากระบบความแรงสัญญาณที่สถานีได้รับแปรผันตามพาสทอส (path loss) ซึ่งขึ้นกับระยะทางของสถานีกับจุดเชื่อมต่อ ตามสมการที่ 2 (Parsons, 2000)

$$Loss(d) = 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (2)$$

โดยที่ f คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น MHz

d คือ ระยะทางจากสถานีไปยังจุดเชื่อมต่อ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

$Loss(d)$ คือ พารามิเตอร์ของระยะทางจากสถานีไปยังจุดเชื่อมต่อ มีหน่วยเป็น dB

เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณจะลดลงเมื่อสถานีเคลื่อนที่ออกจากจุดเชื่อมต่อ ดังนั้นค่าความแรงสัญญาณที่สถานีได้รับ จะแสดงในสมการที่ 3

$$Rx_{(d)} = Tx_{power} - Loss(d) \quad (3)$$

โดยที่ $Rx(d)$ คือ ความแรงสัญญาณที่สถานีได้รับที่ระยะ d มีหน่วยเป็น dBm

Tx คือ กำลังส่งของจุดเชื่อมต่อ มีหน่วยเป็น dBm

$Loss(d)$ คือ พารามิเตอร์ของระยะทางจากสถานีไปยังจุดเชื่อมต่อ มีหน่วยเป็น dB

เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณที่สถานีได้รับจากจุดเชื่อมต่อ นั้นจะมีผลจากการเฟด (fading) ของการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมภายในอาคาร ซึ่งสัญญาณอาจถูกลดทอนหรือสะท้อนจากสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น โต๊ะ, เก้าอี้ หรือ คนเคลื่อนที่ผ่านไป เพื่อลดผลจากการเฟดจึงต้องนำค่าที่วัดได้หลายๆ ครั้งมาหาค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Exponentially Weighted Moving Average ซึ่งแสดงในสมการที่ 4

$$S_x = \alpha * Y_{x-1} + (1 - \alpha) * S_{x-1} \quad \text{เมื่อ } x \geq 2 \quad (4)$$

โดยที่ α คือ ค่า smoothing factor มีค่าระหว่าง 0 – 1

S_x คือ ค่าหลังจากการเฉลี่ยที่เวลา x

Y_x คือ ค่าที่วัดได้ที่เวลา x

S_1 จะไม่ถูกกำหนดค่า ขณะที่กำหนดให้ S_2 จะมีค่าเท่ากับ Y_1 ในที่นี้จะให้ α มีค่าเป็น 0.1

การคำนวณค่าความชันกราฟ

วิธีการที่นำเสนอจะเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าความแรงสัญญาณของแต่ละจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านเพื่อนำมาหาค่าความชันของกราฟ ซึ่งจะช่วยให้ทราบแนวโน้มการเคลื่อนที่ของสถานีเมื่อเทียบกับจุดเชื่อมต่อแต่ละตัวได้

ค่าความชันของค่าความแรงสัญญาณ $\text{slope}(x)$ ที่เวลา x ของแต่ละจุดเชื่อมต่อสามารถคำนวณได้โดยการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณที่เวลา x คือ $\text{RSSI}(x)$ เทียบกับค่าความแรงสัญญาณที่เวลา $x-1$ คือ $\text{RSSI}(x-1)$ ตามที่แสดงในสมการที่ 5

$$\text{Slope}(x) = \frac{\text{RSSI}(x) - \text{RSSI}(x-1)}{t_x - t_{x-1}} \quad (5)$$

ค่าความชันที่ได้ จะสัมพันธ์กับทิศทางการเคลื่อนที่ของสถานีกับจุดเชื่อมต่อ คือ เมื่อค่า $\text{slope}(x)$ มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสถานีกำลังเคลื่อนที่เข้าหาจุดเชื่อมต่อ ในขณะที่เมื่อเป็นค่าลบ แสดงว่าสถานีกำลังเคลื่อนที่ออกจากจุดเชื่อมต่อ แต่ถ้ามีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าสถานีไม่มีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่เป็นวงกลมรอบจุดเชื่อมต่อ

การสร้างกราฟเพื่อนบ้าน

ค่าของกราฟเพื่อนบ้านจะถูกใช้เพื่อให้สถานีตัดสินใจว่าจะส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อใดมากที่สุด ในกรณีที่ค่าความชันของกราฟมีค่าเท่ากันเนื่องจากสถานีเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่อเหล่านั้นเช่นเดียวกัน

นิยามกราฟเพื่อนบ้านได้ดังนี้

$$G := \{V, E\}$$

$$V := \{AP_1, \dots, AP_n\}$$

$$e_{ij} := \{AP_i, AP_j : (AP_i, AP_j) \in V\}$$

$$NG(AP_i) := \{e_{ij}\}$$

G คือ กราฟทิศทาง (directed graph) ที่แทนด้วย $\{V, E\}$ โดยจุดยอด (vertex) V แทนจุดเชื่อมต่อ และด้าน (edge) E แทนความเป็นไปได้ที่สถานีจะส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อตัวนั้น โดยค่าน้ำหนักของแต่ละด้านแทนค่าความเป็นไปได้ของการส่งต่อ ซึ่งถ้าไม่มีด้านเชื่อมระหว่างจุดเชื่อมต่อแสดงว่าสถานีไม่เคยหรือไม่สามารถส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อตัวนั้นได้ $NG(AP_i)$ คือกราฟเพื่อนบ้านของจุดเชื่อมต่อตัวที่ i A คือ เมตริกซ์ประชิด (adjacency matrix) และ $H(e)$ คือ จำนวนครั้งการส่งต่อที่ด้าน e

ค่าของกราฟเพื่อนบ้านจะถูกปรับปรุงเสมอเมื่อสถานีมีการตัดสินใจเลือกและส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่ออีกตัวเรียบร้อยแล้วตามสมการที่ 6

$$A := (a_{ij})_{n \times n} \begin{cases} \frac{H(e_{ij})}{\sum_{u=1}^n H(e_{iu})} & \text{ถ้าส่งต่อจาก } v_i \text{ ไปยัง } v_j \\ 0 & \text{ไม่เช่นนั้น} \end{cases} \quad (6)$$

ในขณะที่กราฟเพื่อนบ้านถูกสร้างและปรับปรุงภายในจุดเชื่อมต่อ แต่กระบวนการส่งต่อของ 802.11 นั้นจะเริ่มต้นและตัดสินใจจากสถานี ดังนั้นจึงต้องมีการกระจายค่านี้อย่างแต่ละสถานีเป็นระยะๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจของสถานีแต่ละตัว โดยจุดเชื่อมต่อต้องแปลงข้อมูลค่าน้ำหนักนี้ให้เก็บอยู่เขตข้อมูล “information element” ซึ่งอยู่ในกรอบข้อมูลบีคอน โดยสามารถใช้หมายเลขรหัสซึ่งวางอยู่ตั้งแต่ 32 ถึง 255 ได้



ภาพที่ 13 โครงสร้างกรอบข้อมูลใหม่ของกราฟเพื่อนบ้าน

* เป็นชุดของเขตข้อมูลที่แทนค่าสำหรับจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านแต่ละตัว

จากภาพที่ 13 แต่ละเขตข้อมูลแทนค่าดังนี้ ID คือ หมายเลข ID ของ information element ที่ต้องการกำหนด, Len คือ จำนวนจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้าน, Next AP MAC คือ หมายเลขแมคของจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้าน, ค่าน้ำหนักของโอกาสการเกิดส่งต่อ และ CH คือ ช่องสัญญาณที่ทำงาน โดยเขต

ข้อมูลที่ 3 ถึง 5 จะเก็บค่าของจุดเชื่อมต่อ 1 ตัว และจะมี 3 เขตข้อมูลเหล่านี้เพิ่มขึ้นตามจำนวนจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านที่มี

การแทนค่า “Handoff Ratio” จะถูกเก็บในรูปแบบค่า floating point ตามมาตรฐาน IEEE 754 แบบความเที่ยงเดียว (single precision) ขนาด 32 บิต

เนื่องจากข้อจำกัดในการติดตั้งของเครือข่าย 802.11b/g ที่มีช่องสัญญาณที่ไม่ซ้อนกันเพียง 3 ช่องที่สามารถใช้งานในบริเวณที่ติดกัน ดังนั้นข้อมูลของกราฟเพื่อนบ้านจึงมีขนาดโดยมากไม่เกิน 6 ชุด ถ้าจัดวางจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านเรียงกันเป็นรูปหกเหลี่ยมรอบจุดเชื่อมต่อปัจจุบัน

การลดจำนวนการส่งต่อที่ไม่จำเป็น

อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญของงานวิจัยนี้คือ การลดปริมาณการส่งต่อที่ไม่จำเป็นที่เกิดจากการเลือกส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากวิธีการส่งต่อแบบเดิมนั้นจะเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณสูงที่สุดเท่านั้น เนื่องจากในบางสถานการณ์ที่มีจุดเชื่อมต่อซึ่งเป็นทางเลือกมากกว่าหนึ่งตัว ในขณะที่จุดเชื่อมต่อที่มีความแรงสัญญาณมากที่สุด ไม่ใช่ตัวที่ควรส่งต่อไป เนื่องจากอาจมีจุดเชื่อมต่ออื่นที่สามารถให้บริการสถานีนั้นเป็นระยะเวลานานกว่า ดังนั้นถ้าสถานีเลือกส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อตัวที่สองนั้น สถานีจะสามารถลดจำนวนการส่งต่อที่ไม่จำเป็นไปยังสถานีแรกได้ ทำให้ลดโอกาสที่การเชื่อมต่อจะถูกขัดจังหวะหรือเพิ่มค่า jitter ของข้อมูล

การเริ่มต้นและสิ้นสุดกระบวนการส่งต่อ

เพื่อให้สถานีสามารถเริ่มและหยุดกระบวนการส่งต่อได้อย่างเหมาะสม ต้องมีการกำหนดระดับเริ่มต้น (threshold) ของค่าความแรงสัญญาณอย่างเหมาะสม โดยต้องตัดสินใจเลือกระหว่างอัตราการรับส่งข้อมูลที่ได้กับจำนวนครั้งของการส่งต่อ, ปริมาณรอบข้อมูลที่ต้องรับส่งมากขึ้น และพลังงานที่ใช้ระหว่างกระบวนการส่งต่อ

ระดับเริ่มต้น 2 ค่าแรกที่กำหนดคือ “Initial Handoff Threshold” (IHT) และ “Force Handoff Threshold” (FHT) ซึ่งทั้งสองมีหน่วยเป็น dBm โดย IHT จะเป็นค่าที่กำหนดเงื่อนไขการเริ่มต้นกระบวนการ ในขณะที่ FHT เป็นค่าที่กำหนดเงื่อนไขการสิ้นสุดกระบวนการและเลือกจุดเชื่อมต่อที่สถานีควรจะส่งต่อไป

สำหรับการกำหนดค่าที่เหมาะสมของ IHT และ FHT นั้น ต้องเริ่มโดยกำหนดค่า FHT ก่อน โดยขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วของการรับส่งข้อมูลขั้นต่ำที่ต้องการ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย จากนั้นจึงกำหนดค่า IHT ซึ่งในเบื้องต้นควรให้สูงกว่าค่า FHT อย่างน้อย 10 dBm โดยถ้า IHT มีค่าสูงเกินไป จะทำให้เริ่มต้นกระบวนการเร็วเกินไป ซึ่งทำให้มีการใช้พลังงานมากเกินไปจนความจำเป็น ในขณะที่ ถ้า IHT มีค่าน้อยเกินไป กระบวนการจะเริ่มช้าเกินไปที่จะรวบรวมข้อมูลที่พอเพียง ทำให้อาจจะไม่สามารถคาดการณ์จุดเชื่อมต่อที่ควรส่งต่อไปได้อย่างถูกต้องจนได้ผลที่อาจไม่แตกต่างจากวิธีเดิม เพราะกระบวนการถูกหยุดเนื่องจากค่าความแรงสัญญาณลดลงถึงค่า FHT ซึ่งเป็นระดับของสัญญาณที่ต้องส่งต่อแล้ว

นอกจากค่า IHT และ FHT แล้วยังมีค่าที่เกี่ยวข้องกับการลดจำนวนการส่งต่อที่ไม่จำเป็น คือ “Dwell Time Threshold” (DTT) หน่วยเป็นวินาที และ “Fading Threshold” (FT) หน่วยเป็น dBm เนื่องจาก 2 ค่านี้สามารถใช้ตัดสินใจได้ว่าสถานีมีการเคลื่อนที่หรือไม่ โดยถ้าภายในระยะเวลา DTT วินาที ค่าความแรงสัญญาณ (RSS) ไม่ลดลงจากค่าก่อนหน้า (RSS_{t-1}) อย่างน้อย FT dBm จะถือว่าสถานีหยุดอยู่กับที่ ดังนั้นแม้ค่าความแรงสัญญาณจะต่ำกว่า IHT วิธีที่นำเสนอจะหยุดกระบวนการตัดสินใจและไม่ส่งต่อจนกว่าค่าจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้น ซึ่งค่าทั้ง 2 ค่านี้ยังช่วยป้องกันปรากฏการณ์ปิงปอง โดยถ้าค่าความแรงสัญญาณเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าเดิม FT dBm ภายในเวลา DTT วินาที วิธีที่นำเสนอจะไม่สั่งให้สถานีส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่ออื่น

Pseudo code แสดงกระบวนการทำงานของวิธีที่นำเสนอ

จากรายละเอียดของขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถนำมาเขียนอธิบายให้อยู่ในรูปของ pseudo code ได้ดังนี้

- 1 Measure RSSI of current AP
- 2 WHILE RSSI < IHT THEN
- 3 IF $[RSSI(CurrentAP)_{T-DTT} - RSSI(CurrentAP)_T > FT]$
OR [this is the first measure] THEN
- 4 Measure RSSI of neighbor APs
- 5 Calculate RSSI slope of neighbor APs
- 6 Select AP which highest RSSI slope AND RSSI > FHT
- 7 ENDIF

```

8  ENDWHILE
9  IF RSSI slope of neighbor AP is equal to other APs THEN
10     Select highest weight AP in NG AND RSSI > FHT
11  ENDIF
12  IF selected AP not exist in NG THEN
13     Add that AP to NG
14  ENDIF
15  Handoff to selected AP
16  Update weight of AP in NG

```

การทดสอบการทำงาน

ในการจำลองการทำงานของวิธีซึ่งนำเสนอ จะทำด้วยโปรแกรมที่ชื่อ GloMoSim (GLObal MObile information systems SIMulation) (PCL, 2001a) ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมสำหรับการซิมูเลชันสำหรับเครือข่ายแบบไร้สายและแบบใช้สาย โดยใช้ทำงานอยู่บน Parsec (PARallel Simulation Environment for Complex Systems) (PCL, 2001b) ซึ่งเป็นภาษาโคดเป็นผลงานของห้องวิจัย Parallel Computing Laboratory มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ลอสแอนเจลิส

ในการตรวจหาผลที่ได้จากวิธีการซึ่งนำเสนอ จะทำโดยเขียนส่วนที่ใช้จำลองการทำงานในโปรแกรม GloMoSim แต่เนื่องจากโปรแกรมนี้นับสนุนแบบจำลองการแพร่กระจาย (propagation model) ที่เหมาะกับสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นที่ว่าง คือ free space และ two-ray แต่ไม่เหมาะกับสภาพแวดล้อมภายในอาคารซึ่งมีสิ่งกีดขวางที่หลากหลาย และมีอัตราการลดทอนสัญญาณไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้จึงใช้การจำลองค่าความแรงสัญญาณจากโปรแกรม Ekahau (Ekahau, 2004) แทน ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งและชนิดของสิ่งกีดขวาง เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ใกล้เคียงความเป็นจริง แล้วจึงปรับปรุงโปรแกรม GloMoSim ให้สามารถนำเข้าข้อมูลค่าความแรงสัญญาณที่อยู่ในรูปแบบไฟล์ภาพที่แยกตามแต่ละจุดเชื่อมต่อได้ โดยสร้างเป็นแบบจำลองการส่งต่อใหม่ ชื่อว่า “SURVEY” สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับโปรแกรม Ekahau แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม Ekahau

ชื่อของค่า	ค่าที่กำหนด
กำลังส่งของจุดเชื่อมต่อ	10 dBm
ความสูงของจุดเชื่อมต่อ	2.5 เมตร
อัตราขยายของสายอากาศ	2.5 dBi

กำหนดค่าที่ใช้ในการจำลองการทำงานของโปรแกรม GloMoSim และวิธีที่นำเสนอ แสดงในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งในจำลองการทำงานนี้ เนื่องจากต้องการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของสถานีแบบ 2 มิติ ณ เวลาหนึ่งไว้ล่วงหน้า ดังนั้นจึงกำหนดแบบจำลองการเคลื่อนที่เป็นแบบ “TRACE” โดยสร้างจากเส้นทางการเคลื่อนที่ของสถานีที่ต้องการและให้สถานีมีความเร็ว 1 เมตร/วินาที

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม GloMoSim

ชื่อของค่า	ค่าที่กำหนด
MOBILITY	TRACE
PROPAGATION-MODEL	SURVEY
MOBILITY-POSITION-GRANULARITY	0.1
PROPAGATION-FADING-MODEL	NONE
RADIO-TYPE	RADIO-NONNOISE
RADIO-RX-SENSITIVITY	-91.0
RADIO-RX-THRESHOLD	-81.0
RADIO-BANDWIDTH	2 Mbps

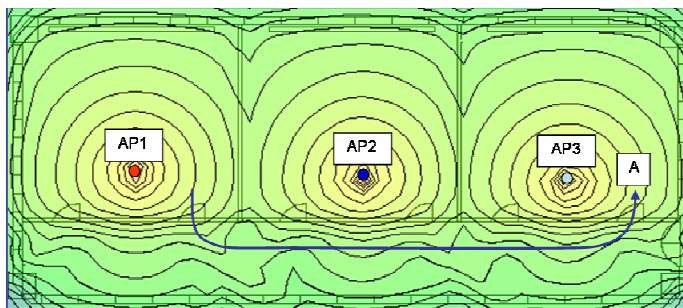
สำหรับพารามิเตอร์ของวิธีการที่นำเสนอ เพื่อให้สามารถกำหนดค่า IHT และ FHT ได้ ต้องกำหนดความเร็วการเชื่อมโยงที่ต้องการก่อน ดังนั้นถ้าต้องการความเร็วขั้นต่ำที่ 36 Mbps อ้างอิงจากอุปกรณ์จุดเชื่อมต่อของบริษัทซิสโก้ รุ่น AIR-AP1231G ซึ่งต้องการค่า SNR คือ 24 dB และให้ค่าความแรงสัญญาณรบกวน คือ -94 dBm ดังนั้นจึงได้ค่าความแรงสัญญาณขั้นต่ำที่ต้องการ คือ -70 dBm ให้เป็นค่า FHT และเป็นค่าเริ่มต้นการส่งต่อของวิธีเดิมด้วย สำหรับค่า IHT กำหนดให้มีค่ามากขึ้น 10 dB ได้เป็น -60 dBm

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์สำหรับวิธีการที่นำเสนอ

ชื่อของค่า	ค่าที่กำหนด
Initial Handoff Threshold	-60 dBm
Force Handoff Threshold	-70 dBm
Dwell Time Threshold	5 Seconds
Fading Threshold	3 dBm

การทดสอบและประเมินผลของวิธีซึ่งนำเสนอ จะใช้แผนผังอาคารจำลองจำนวน 2 แบบ สำหรับทดสอบในสถานการณ์ต่างๆ จำนวนทั้งหมด 5 เส้นทาง เพื่อแทนรูปแบบการเคลื่อนที่ของ สถานีที่เป็นไปได้ในสภาพแวดล้อมที่กำหนด

แผนผัง 1 แสดงในภาพที่ 14 เป็นอาคารที่มีห้องทั้งหมด 3 ห้อง และวางจุดเชื่อมต่อ 3 ตัว เรียงในห้องแต่ละห้อง ซึ่งในการทดลองนี้มีเพียงเส้นทางเดียว คือ เส้นทาง A



ภาพที่ 14 แผนผังอาคารที่ 1

เส้นทาง A แทนสถานการณ์ที่สถานีมีทางเลือกในการส่งต่อเพียงทางเลือกเดียว คือ ไปยังจุดเชื่อมต่อที่อยู่ติดกันกับจุดเชื่อมต่อปัจจุบันเท่านั้น เนื่องจากบริเวณที่เกิดการส่งต่อมีจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านเพียงตัวเดียวเท่านั้น

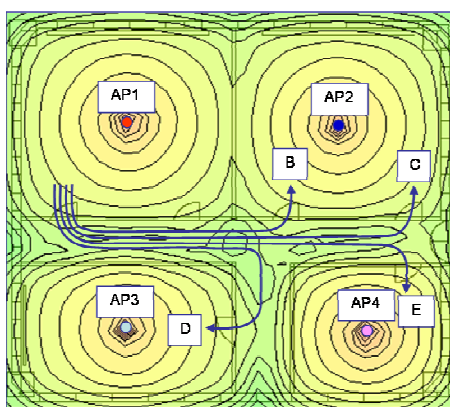
แผนผัง 2 แสดงในภาพที่ 15 เป็นอาคารที่มีห้องทั้งหมด 4 ห้อง ในแต่ละห้องมี จุดเชื่อมต่อ 1 ตัว ซึ่งทางเดินในอาคารต้องผ่านทางสามแยก เพื่อแสดงการพิจารณาเลือก จุดเชื่อมต่อของวิธีเดิมเปรียบเทียบกับวิธีซึ่งนำเสนอ ประกอบด้วยเส้นทางทั้งหมด 4 เส้นทาง ดังนี้

เส้นทาง B แทนสถานการณ์ที่สถานีเคลื่อนที่ไปยังห้องซึ่งอยู่ติดกัน โดยเข้าไปยังประตูด้านที่อยู่ใกล้กับจุดเชื่อมต่อที่ 1 เพื่อแสดงผลการเลือกเมื่อสถานีเคลื่อนที่ออกจากจุดเชื่อมต่อที่ 1 ผ่านไปใกล้ยังจุดเชื่อมต่อที่ 2 โดยระยะทางยังคงไม่ไกลจากจุดเชื่อมต่อที่ 1 มากจนจำเป็นต้องส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อใหม่

เส้นทาง C แทนสถานการณ์ที่สถานีเคลื่อนที่ไปยังห้องซึ่งอยู่ติดกัน ซึ่งเป็นห้องเดียวกับเส้นทาง B แต่จะเคลื่อนที่ผ่านทางสามแยกไปยังประตูด้านที่อยู่ไกลกว่า เพื่อแสดงผลการเลือกเมื่อสถานีมีการเคลื่อนที่ออกจากจุดเชื่อมต่อที่ 1 และจำเป็นต้องมีการส่งต่อ เนื่องจากออกนอกพื้นที่ให้บริการของจุดเชื่อมต่อที่ 1 โดยเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่อทิศทางเดียวกันมากกว่า 1 จุดเชื่อมต่อ และสถานีไม่ได้เคลื่อนที่ไปในเส้นทางที่สถานีส่วนใหญ่ใช้

เส้นทาง D แทนสถานการณ์ที่สถานีเคลื่อนที่ผ่านทางสามแยกไปใกล้กับจุดเชื่อมต่อที่ 2 แล้วจึงเคลื่อนที่ไปยังห้องที่มีจุดเชื่อมต่อที่ 3 เพื่อแสดงผลการเลือกเมื่อสถานีต้องการเคลื่อนที่จากจุดเชื่อมต่อที่ 1 ไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 3 โดยผ่านบริเวณที่ต้องมีการส่งต่อซึ่งมีค่าความแรงสัญญาณจากจุดเชื่อมต่อที่ 2 มากกว่าจุดเชื่อมต่อที่ 3

เส้นทาง E แทนสถานการณ์ที่สถานีเคลื่อนที่ออกจากจุดเชื่อมต่อที่ 1 ไปยังห้องที่มีจุดเชื่อมต่อที่ 4 โดยเคลื่อนที่ตรงผ่านทางแยกเข้าไปยังห้องปลายทาง เพื่อแสดงผลการเลือกเมื่อสถานีจำเป็นต้องมีการส่งต่อจากจุดเชื่อมต่อที่ 1 และเคลื่อนที่ผ่านจุดเชื่อมต่อที่ 2 ซึ่งมีค่าความแรงสัญญาณมากกว่าและมีการเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 2 เช่นเดียวกัน ผ่านไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 4 ที่มีค่าความแรงสัญญาณน้อยกว่าแต่มีจำนวนครั้งของสถานีที่ส่งต่อมากกว่าจุดเชื่อมต่อที่ 2



ภาพที่ 15 แผนผังอาคารที่ 2

นอกจากค่าความแรงของสัญญาณและเส้นทางการเคลื่อนที่ของสถานีแล้ว ยังต้องมีการกำหนดเมตริกซ์ประชิดเพื่อใช้แทนค่าความเป็นไปได้ที่สถานีจะส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อแต่ละตัว ซึ่งในการทดสอบนี้มีผลกับเส้นทาง C และ E ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่สถานีมีจำนวนครั้งการเคลื่อนที่ไปยังแต่ละจุดเชื่อมต่อแตกต่างกัน คือ สถานีมีค่าความเป็นไปได้ที่จะเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 2 น้อยกว่าจุดเชื่อมต่อที่ 4

ค่าของเมตริกซ์ในภาพที่ 16 สร้างจากรูปแบบการส่งต่อในตารางที่ 6 ตามสมการที่ 6 โดยเริ่มต้นสถานีเชื่อมโยงกับจุดเชื่อมโยงที่ 1 ที่อันดับที่ 1 สถานีส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 2 เนื่องจากการส่งต่อครั้งแรกทำให้ค่าน้ำหนักของด้าน $\{1, 2\}$ มีค่าเป็น 1, อันดับที่ 2 สถานีส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 3 ทำให้จำนวนการส่งต่อของทั้งสองจุดเชื่อมต่อเป็น 1 ดังนั้นค่าน้ำหนักของด้าน คือ $\{1,2\} (\frac{1}{2} = 0.5)$ และ $\{1,3\} (\frac{1}{2} = 0.5)$, อันดับที่ 3 เป็นการส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 4 ทำให้ทั้งสามจุดเชื่อมต่อมีจำนวนการส่งต่อเป็น 1 ดังนั้นค่าน้ำหนักของด้าน คือ $\{1,2\} (\frac{1}{3} = 0.33)$, $\{1,3\} (\frac{1}{3} = 0.33)$ และ $\{1,4\} (\frac{1}{3} = 0.33)$ อันดับสุดท้าย สถานีจะส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อที่ 4 อีกครั้ง ทำให้จำนวนครั้งการส่งต่อเป็น 2 ในขณะที่จำนวนครั้งการส่งต่อของจุดเชื่อมต่ออื่นเป็น 1 ดังนั้น ค่าน้ำหนักของด้าน คือ $\{1,2\} (\frac{1}{4} = 0.25)$, $\{1,3\} (\frac{1}{4} = 0.25)$ และ $\{1,4\} (\frac{2}{4} = 0.5)$

ตารางที่ 6 การกำหนดค่าของเมตริกซ์ประชิด

อันดับ	รูปแบบการส่งต่อ	ค่าของเมตริกซ์ประชิด
1	$1 > 2$	$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
2	$1 > 3$	$\begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
3	$1 > 4$	$\begin{bmatrix} 0 & 0.33 & 0.33 & 0.33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
4	$1 > 4$	$\begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.25 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

ขั้นตอนสุดท้ายหลังจากสถานีเคลื่อนที่ตามรูปแบบในตารางที่ 6 ทำให้ได้เมตริกซ์ประชิดตามภาพที่ 16 ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่ใช้สำหรับจำลองผลการทำงานโดยโปรแกรม GloMoSim ซึ่งแสดงผลในบทถัดไป

$$\begin{bmatrix} 0 & 0.25 & 0.25 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ภาพที่ 16 เมตริกซ์ประชิดแสดงกราฟเพื่อนบ้าน

ผลและวิจารณ์

ผล

ในการวัดประสิทธิภาพจะใช้การเปรียบเทียบการส่งต่อระหว่างวิธีการที่นำเสนอและวิธีการเดิม โดยเปรียบเทียบระหว่างเส้นทาง, จุดที่เกิดการส่งต่อและจำนวนการส่งต่อทั้งหมดของสถานีที่เคลื่อนที่ในเส้นทางที่กำหนดทั้ง 5 เส้นทาง ร่วมกับเมตริกซ์ประชิดที่กำหนด เพื่อแสดงให้เห็นถึงจุดเด่นและข้อจำกัดของวิธีการที่นำเสนอ

สำหรับทุกเส้นทาง สถานีจะเริ่มต้นโดยเชื่อมโยงกับ AP1 ก่อน หลังจากนั้นจึงเคลื่อนที่ตามแต่ละเส้นทางไปยังห้องที่กำหนด

เนื่องจากในแผนผังห้องที่ใช้ทดสอบจะมีการวางจุดเชื่อมต่อห้องละ 1 ตัว ดังนั้นในการอ้างอิงชื่อห้องจะใช้ลำดับเดียวกับชื่อจุดเชื่อมต่อ เช่น ห้องที่ 1 คือ ห้องที่มีจุดเชื่อมต่อที่ 1 (AP1)

สัญลักษณ์แสดงจุดที่เกิดการส่งต่อในกราฟค่าความแรงสัญญาณที่ใช้ในภาพที่ 17 ถึง 21 แสดงในตารางที่ 7

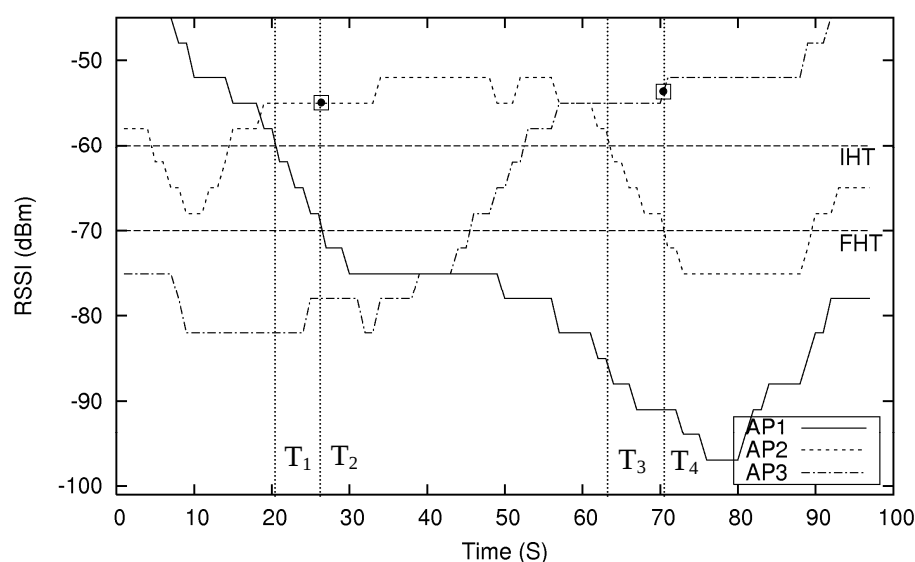
ตารางที่ 7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในกราฟ

สัญลักษณ์	ความหมาย
●	จุดที่เกิดการส่งต่อของวิธีเดิม
□	จุดที่เกิดการส่งต่อของวิธีการที่นำเสนอ
■	บริเวณที่อาจเกิดปรากฏการณ์ปิงปอง

แผนผัง 1

เส้นทาง A เมื่อสถานีเคลื่อนที่ออกจากห้องที่ 1 สำหรับวิธีที่นำเสนอ หลังจากเคลื่อนที่ผ่านหน้าห้องที่ 2 ที่ T_1 ตามภาพที่ 17 ค่าความแรงสัญญาณจะลดลงจนต่ำกว่า IHT (-60 dBm) ทำให้เริ่มต้นการเลือกจุดเชื่อมต่อ และเมื่อค่าความแรงสัญญาณลดลงจนถึงค่า FHT (-70 dBm) ที่ T_2 ทำให้เกิดการส่งต่อไปยัง AP2 และจะเกิดกระบวนการเดียวกันไปยัง AP3 ที่เวลา T_3

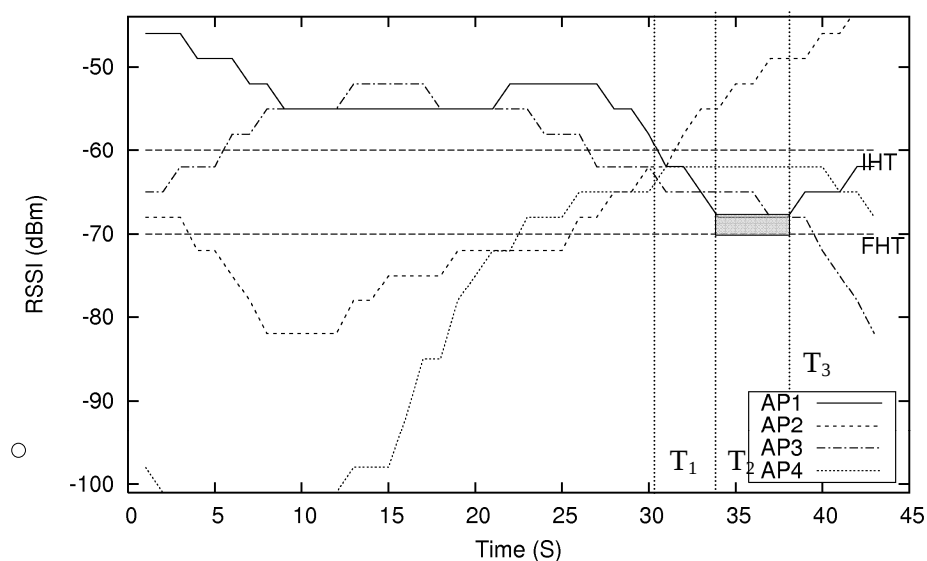
และ T_4 ตามลำดับ สำหรับวิธีเดิมเมื่อสถานีเคลื่อนที่ผ่านห้องที่ 2 ที่ T_2 ค่าความแรงสัญญาณจะลดลงจนต่ำกว่าระดับเริ่มต้นการส่งต่อ สถานีจะค้นหาจุดเชื่อมต่อและเกิดการส่งต่อไปยัง AP2 ที่เวลา T_2 และจะเกิดกระบวนการนี้ซ้ำอีกเมื่อถึงเวลา T_4 โดยเป็นการส่งต่อจาก AP2 ไปยัง AP3



ภาพที่ 17 กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง A

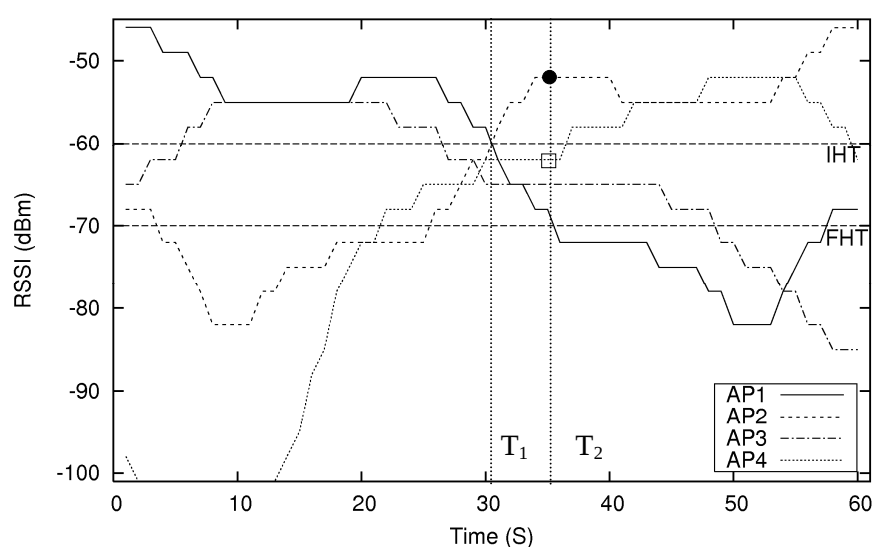
แผนผัง 2

เส้นทาง B เมื่อสถานีเคลื่อนที่ผ่านหน้าห้องที่ 2 ค่าความแรงสัญญาณจะลดลงเรื่อยๆ ทำให้วิธีที่นำเสนอเริ่มทำงานที่ T_1 ของกราฟตามภาพที่ 18 เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณลดลงจนต่ำกว่าค่า IHT แต่ไม่เกิดการส่งต่อ เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงที่ T_2 และ T_3 น้อยกว่าค่า FT (3 dBm) ภายในช่วงเวลา DTT (5 วินาที) และไม่ต่ำกว่าค่า FHT จึงทำให้หยุดกระบวนการตัดสินใจการส่งต่อ โดยยังคงเชื่อมโยงกับ AP1 แต่สำหรับวิธีการแบบเดิมมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการส่งต่อระหว่าง AP1 และ AP2 ที่ช่วงเวลา T_2 และ T_3 เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณของ AP1 มีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับเริ่มต้นการส่งต่อที่ -70 dBm



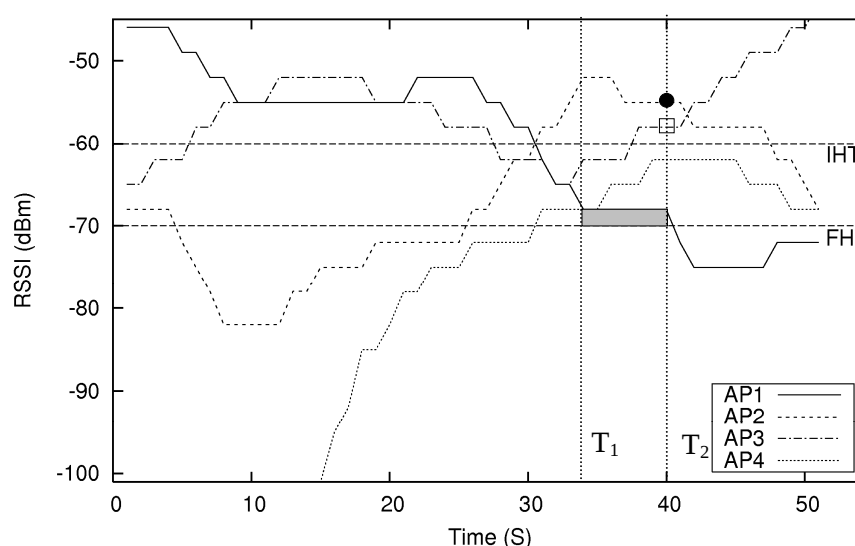
ภาพที่ 18 กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง B

เส้นทาง C วิธีที่นำเสนอ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ผ่านหน้าบริเวณห้องที่ 2 ค่าความแรงสัญญาณจะลดลงจนต่ำกว่า IHT ที่ T_1 และต่ำกว่า FHT ที่ T_2 จึงเกิดการส่งต่อไปยัง AP4 แต่ที่จุดปลายของเส้นทาง สถานีกลับเคลื่อนที่ไปยัง AP2 แทน ดังนั้นอาจเกิดการส่งต่ออีกครั้งถ้าสถานีเคลื่อนที่ไปไกลจาก AP4 จนค่าความแรงสัญญาณต่ำกว่าค่า FHT ในขณะที่วิธีการส่งต่อแบบเดิมจะเลือก AP2 เนื่องจากที่ T_2 ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการส่งต่อ AP2 มีค่าความแรงสัญญาณสูงที่สุด



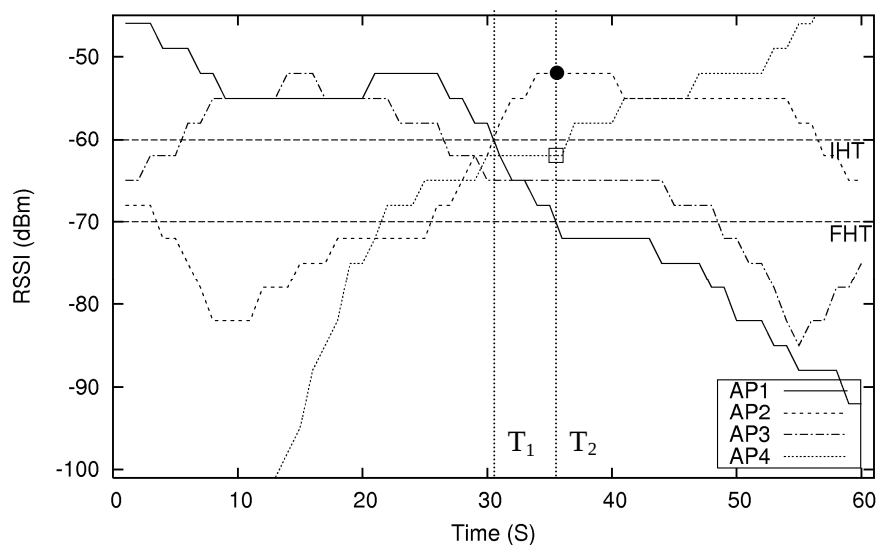
ภาพที่ 19 กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง C

เส้นทาง D จากภาพที่ 20 เมื่อสถานีเคลื่อนที่ออกจากห้องที่ 1 ผ่านหน้าต่างที่ 2 ค่าความแรงสัญญาณของ AP1 จะลดลงเรื่อยๆ จนเมื่อถึง T_1 วิธีที่นำเสนอจะเริ่มการทำงาน และเมื่อถึง T_2 สถานีจะส่งต่อไปยัง AP3 เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณของ AP3 และ AP4 มีค่าความชันเป็นบวก ในขณะที่ค่าความแรงสัญญาณของ AP1 มีค่าความชันเป็นลบ แต่ AP3 มีค่าความแรงสัญญาณมากกว่า AP4 ดังนั้นจึงเลือกส่งต่อไปยัง AP3 ในขณะที่วิธีเดิม ที่ T_2 จะเกิดการส่งต่อไปยัง AP2 ก่อน จากนั้นจึงส่งต่อกลับไปยัง AP3 อีกครั้ง เมื่อเคลื่อนที่ไกลออกจาก AP2 ไปยัง AP3 มากขึ้น หรืออาจเกิดการส่งต่อไปยัง AP2 ระหว่างช่วงเวลาที่ T_1 และ T_2 เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณของ AP1 มีค่าใกล้เคียงค่าเริ่มต้นการส่งต่อ



ภาพที่ 20 กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง D

เส้นทาง E นั้นจะใกล้เคียงกับเส้นทาง C ยกเว้นที่ปลายเส้นทางสถานีจะเลี้ยวขวาไปยัง AP4 แทน สำหรับวิธีที่นำเสนอ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ผ่านหน้าต่างที่ 2 จนระดับสัญญาณต่ำกว่าค่า IHT ที่ T_1 สถานีจะเริ่มต้นกระบวนการ ในขณะที่เคลื่อนที่ห่างออกจาก AP1 ที่ T_2 สถานีจะเลือกส่งต่อไปยัง AP4 เนื่องจากมีค่าน้ำหนักของการส่งต่อสูงกว่า AP2 แต่วิธีเดิมที่ T_2 สถานีจะส่งต่อไปยัง AP2 ก่อน เนื่องจากมีค่าความแรงสัญญาณที่จุดส่งต่อ T_2 สูงที่สุดและเกิดการส่งต่อกลับมายัง AP4 อีกครั้งเมื่อสถานีเคลื่อนที่ออกจาก AP2 ไปยัง AP4 มากขึ้น ตามภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กราฟค่าความแรงสัญญาณของเส้นทาง E

วิจารณ์

เส้นทาง A ทั้งวิธีเดิมและวิธีที่นำเสนอให้ผลเหมือนกัน เนื่องจากที่บริเวณหน้าห้องที่ 2 มีเพียง AP2 เท่านั้นที่ค่าความแรงสัญญาณเกินกว่า ดังนั้นเมื่อถึง T_2 ที่ค่าความแรงสัญญาณต่ำกว่า FHT วิธีที่เสนอจะเลือกจุดเชื่อมต่อที่มีค่าความแรงสัญญาณมากกว่า FHT และมีค่าความชันของค่าความแรงสัญญาณเป็นบวก ซึ่งในกรณีนี้มีเพียงจุดเชื่อมต่อเดียว คือ AP2 เท่านั้น และเกิดเหตุการณ์เดียวกันที่ T_4 ซึ่งมีเพียง AP3 เท่านั้นเช่นกัน

เส้นทาง B วิธีที่นำเสนอสามารถลดการส่งต่อที่ไม่จำเป็นได้ ซึ่งมักเกิดกับวิธีการส่งต่อแบบเดิมได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าความแรงสัญญาณน้อยกว่า FT ภายในเวลา DTT ทำให้หยุดกระบวนการส่งต่อ แม้ค่าความแรงสัญญาณต่ำกว่าค่า IHT เป็นช่วงสั้นๆ

เส้นทาง C วิธีการที่เสนอจะมีจำนวนการส่งต่อมากกว่าวิธีการเดิม แต่กรณีนี้จะเกิดขึ้นได้น้อย เนื่องจากจากค่าน้ำหนักของ AP4 ที่มีค่ามากกว่า AP2 แม้ค่าความชันกราฟของ AP2 จะมีค่าเป็นบวก แต่เนื่องจากค่าความชันกราฟของ AP3 และ AP4 มีค่าคงที่ ดังนั้นวิธีที่นำเสนอจะเลือกใช้ค่าน้ำหนักจากกราฟเพื่อนบ้านแทน เนื่องจากค่าน้ำหนักการส่งต่อของ AP4 (0.5) มีค่ามากกว่า AP2 (0.25) ดังนั้นจึงกำหนดให้สถานีส่งต่อไปยัง AP4 แสดงให้เห็นว่าถ้าสถานีเคลื่อนที่เลขจุดที่ต้องเกิด

การส่งต่อจาก AP1 ที่ T_2 โดยไม่เคลื่อนที่เข้าไปหา AP2 ในขณะที่เคลื่อนออกจากจุดเชื่อมต่ออื่นๆ ด้วย สันนิษฐานได้ว่าสถานีส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปยัง AP4 มากกว่าไปที่ AP2 เนื่องจากถ้าสถานีต้องการเข้าไปยังห้องที่ 2 สถานีส่วนใหญ่จะเข้าโดยผ่านประตูแรกเนื่องจากมีระยะทางสั้นกว่า แต่ถ้าเคลื่อนที่ผ่านประตูแรกไปแล้ว สถานีส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ไปยัง AP4

เส้นทาง D วิธีที่นำเสนอสามารถลดจำนวนครั้งของการส่งต่อได้ เนื่องจากระหว่าง T_1 และ T_2 กราฟค่าความแรงสัญญาณของ AP3 และ AP4 มีค่าความชันเป็นบวกในขณะที่ AP2 มีค่าความชันเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถนำค่าความชันกราฟมาตัดสินใจได้ โดยแสดงให้เห็นว่าสถานีเคลื่อนที่ออกจาก AP2 ไปยัง AP3 และ AP4 แต่เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณของ AP3 มีค่าสูงกว่า AP4 ดังนั้นจึงเลือกส่งต่อไปยัง AP3

เส้นทาง E ในสถานการณ์นี้ วิธีการที่นำเสนอสามารถลดจำนวนการส่งต่อลงได้ เนื่องจากเมื่อสถานีเคลื่อนที่ออกจาก AP1 ค่าความแรงสัญญาณของ AP2 จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าความแรงสัญญาณของ AP3 และ AP4 คงที่ จึงไม่สามารถใช้ค่าความชันกราฟในการตัดสินใจได้ แต่ใช้ค่าน้ำหนักการส่งต่อจากเมตริกซ์ในภาพที่ 16 ในการตัดสินใจแทน เนื่องจากค่าน้ำหนักของ AP4 (0.5) สูงกว่า AP2 (0.25) แสดงให้เห็นว่า ถ้าสถานีเคลื่อนที่ผ่านจุดที่ต้องเกิดการส่งต่อที่ T_2 แต่สถานีไม่ได้เคลื่อนที่เข้าไปหา AP2 โดยเคลื่อนที่ออกจากจุดเชื่อมต่ออื่นๆ แสดงว่าสถานีกำลังเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นที่มีค่าน้ำหนักการส่งต่อสูงกว่า คือ AP4

จากผลการส่งทดสอบทั้งหมด 5 เส้นทางสามารถสรุปผลได้ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปจำนวนครั้งของการส่งต่อ

เส้นทาง	จำนวนการส่งต่อ		หมายเหตุ
	วิธีเดิม	วิธีที่เสนอ	
A	2	2	ให้ผลเหมือนกัน เนื่องจากมีจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านเพียงทางเดียว
B	0	0	อาจเกิดการส่งต่อที่ไม่จำเป็นกับวิธีการส่งต่อแบบเดิม
C	1	2	วิธีที่นำเสนอเกิดการส่งต่อมากกว่า แต่มีโอกาสเกิดได้น้อยกว่า เนื่องจากเป็นเส้นทางที่สถานีส่วนใหญ่ใช้น้อย
D	2	1	วิธีที่นำเสนอลดจำนวนครั้งของการส่งต่อได้

ตารางที่ 8 (ต่อ)

เส้นทาง	จำนวนการส่งต่อ		หมายเหตุ
	วิธีเดิม	วิธีที่เสนอ	
E	2	1	วิธีที่นำเสนอสามารถลดการส่งต่อที่ไม่จำเป็นไปยัง AP2 ได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยนี้ เป็นการนำเสนอวิธีใช้ค่าความชันของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากจุดเชื่อมต่อร่วมกับค่าน้ำหนักของกราฟเพื่อนบ้าน เนื่องจากในบางครั้งซึ่งไม่สามารถใช้ค่าความชันของกราฟเป็นเกณฑ์สำหรับตัดสินใจได้ เพราะบางเส้นทางค่าความชันกราฟของแต่ละจุดเชื่อมต้อมีค่าเหมือนกัน จึงต้องใช้ข้อมูลอื่นแทน คือ กราฟเพื่อนบ้านที่สร้างจากประวัติการส่งต่อของทุกสถานีที่เคยส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อเหล่านั้น ทำให้สามารถหาความเป็นไปได้ว่าสถานีควรส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อใดมากที่สุดเพื่อลดจำนวนครั้งและเวลาที่ใช้ในการส่งต่อภายใน ESS เดียวกัน แทนวิธีเดิมที่เลือกส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านที่มีค่าความแรงสัญญาณแรงที่สุดแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งในบางกรณี รูปแบบการเคลื่อนที่ของสถานีทำให้ต้องมีการส่งต่อกลับไปมาระหว่างจุดเชื่อมต่อหลายตัว จากการทดลองกับเส้นทางตัวอย่าง พบว่าสามารถลดจำนวนครั้งในการส่งต่อที่ไม่จำเป็นจำนวน 2 จาก 5 เส้นทาง ซึ่งเป็นกรณีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น แต่มี 1 เส้นทางที่ให้ผลแย่กว่าวิธีเดิม เนื่องจากเป็นเส้นทางที่สถานีเคลื่อนที่เป็นจำนวนน้อยกว่ากรณีส่วนใหญ่ 1 เส้นทางที่สามารถลดการส่งต่อที่อาจเกิดขึ้น และมี 1 เส้นทางที่ให้ผลไม่แตกต่างจากวิธีเดิม เนื่องจากมีทางเลือกของการส่งต่อเพียงแบบเดียว จึงไม่สามารถปรับปรุงการเลือกจุดเชื่อมต่ออีกได้

วิธีการที่นำเสนอเปลี่ยนขั้นตอนการตรวจหาเป็นแบบล่วงหน้า ทำให้ใช้เวลาในการค้นหาจุดเชื่อมต่อลดลงจนต่ำกว่า 50 มิลลิวินาที และเพิ่มตัวแปรสำหรับช่วยตัดสินใจควรส่งต่อหรือไม่เพื่อลดปรากฏการณ์ปึงปองหรือลดจำนวนการส่งต่อซึ่งไม่จำเป็น ซึ่งมักเกิดกับการส่งต่อแบบเดิมเมื่อค่าความแรงของสัญญาณใกล้เคียงกับระดับเริ่มต้นการส่งต่อ ทำให้ลดเวลารวมซึ่งใช้ในการส่งต่อและลดโอกาสที่จะเกิดการขาดตอนของข้อมูลที่เกิดระหว่างการส่งต่อ ทำให้เครือข่ายไร้สายเหมาะสมกับการใช้งานร่วมกับโปรแกรมที่มีการรับส่งข้อมูลแบบเวลาจริง ซึ่งไวต่อการหน่วงและการพรว้า

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิธีการนำเสนอจะใช้รูปแบบการตรวจหาช่องสัญญาณที่คาดการณ์ว่าผู้ดูแลเครือข่ายจะตั้งช่องสัญญาณของจุดเชื่อมต่อห่างกันตัวละ 5 ช่อง ทำให้รูปแบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณที่ไม่ซ้อนทับกันมากที่สุดคือ 1, 6 และ 11 เพราะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการใช้งาน

สูงที่สุด ดังนั้น เพื่อให้สามารถค้นหาจุดเชื่อมต่อที่มีทั้งหมดในบริเวณนั้น ได้อย่างรวดเร็วในลำดับการตรวจหาครั้งแรก เนื่องจากถ้าไม่ได้กำหนดช่องสัญญาณในรูปแบบนี้ วิธีการที่นำเสนอต้องกลับมาค้นหาในรอบถัดไป ซึ่งทำให้ใช้เวลามากขึ้น เพราะมีจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องตรวจหามากขึ้น ดังนั้นในการติดตั้งจึงควรตั้งช่องสัญญาณของจุดเชื่อมต่อที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกันให้อยู่ในรูปแบบที่กล่าว

ในการเลือกตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเชื่อมต่อ กรณีที่ค่าความแรงสัญญาณของจุดเชื่อมต่อมีค่าใกล้เคียงกับระดับเริ่มต้นการส่งต่อที่บริเวณใกล้เคียงกับทางแยก ถ้าเป็นไปได้ควรวางจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านให้มีการซ้อนทับกันของพื้นที่ให้บริการในบริเวณทางแยก เพื่อให้สถานียังคงเชื่อมโยงกับจุดเชื่อมต่อปัจจุบันในขณะที่ยังสามารถวัดค่าความแรงสัญญาณของจุดเชื่อมต่อเพื่อนบ้านเพื่อหาแนวโน้มการเคลื่อนที่ไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องส่งต่อไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นก่อน เพราะค่าความแรงสัญญาณต่ำกว่าระดับเริ่มต้นการส่งต่อ ทำให้วิธีการที่นำเสนอสามารถคาดการณ์จุดเชื่อมต่อที่ควรส่งต่ออย่างถูกต้องโดยยังไม่เกิดการเชื่อมโยง

การปรับค่าเริ่มต้นที่เกี่ยวข้อง เช่น IHT หรือ FHT มีผลกับพลังงานที่สถานีใช้ระหว่างการส่งต่อ เนื่องจากต้องใช้พลังงานสำหรับการส่งกรอบข้อมูล probe request ไปยังจุดเชื่อมต่อ ซึ่งต้องแลกเปลี่ยนกันระหว่างอัตราความเร็วการรับส่งข้อมูล, จำนวนครั้งการส่งต่อ, ความถูกต้องของการคาดการณ์ หรือปริมาณพลังงานที่ใช้ เป็นต้น ดังนั้นผู้ใช้จึงควรกำหนดค่าเหล่านี้ให้เหมาะสมกับการใช้งานและข้อจำกัดที่ยอมรับได้ เช่น อุปกรณ์ที่มีพลังงานของแบตเตอรี่สูง เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์แบบแล็ปท็อป สามารถปรับค่า IHT ให้มีค่าน้อยกว่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบมือถือที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า เนื่องจากทำให้วิธีการที่นำเสนอเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่าความแรงสัญญาณเป็นเวลานานมากขึ้น จึงสามารถเปรียบเทียบค่าความชันได้แม่นยำขึ้น ในขณะที่การปรับค่า DTT และ FD มีผลกับการลดการส่งต่อที่ไม่จำเป็นและหยุดกระบวนการส่งต่อเมื่อเห็นว่าสถานีไม่เคลื่อนที่ จึงมีผลกับพลังงานที่ต้องใช้ในการส่งต่อด้วย

สำหรับงานในอนาคต วิธีการที่ใช้ควรปรับค่าเริ่มต้นที่เกี่ยวข้องกับการส่งต่อได้อย่างอัตโนมัติโดยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและข้อจำกัดของสถานี เช่น อัตราความเร็วการรับส่งข้อมูลขั้นต่ำที่ยอมรับได้, ข้อจำกัดปริมาณพลังงานของสถานี หรือความแม่นยำการเลือกจุดเชื่อมต่อ เป็นต้น นอกจากนี้ เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอใช้กราฟเพื่อนบ้านร่วมกันสำหรับเครือข่ายไร้สายเดียวกัน ทำให้ค่าน้ำหนักของกราฟเพื่อนบ้านที่เก็บในจุดเชื่อมต่อ เป็นค่าเฉลี่ยของผู้ใช้หลายๆ ราย ที่แทนรูปแบบการเคลื่อนที่ของสถานีส่วนใหญ่ ซึ่งไม่สามารถแทนความเป็นไปได้ของการส่งต่อ

สำหรับผู้ใช้งานรายที่มีรูปแบบการเคลื่อนที่แตกต่างจากผู้ใช้งานส่วนใหญ่ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำสำหรับการเลือกจุดเชื่อมต่อของผู้ใช้ในกลุ่มนี้ จึงต้องแยกกราฟเพื่อนบ้านของผู้ใช้แต่ละรายออกจากกันโดยเก็บค่าของผู้ใช้แต่ละรายไว้ที่แต่ละสถานีของผู้ใช้ โดยสามารถกำหนดให้แยกเก็บค่าตามวันหรือเวลา ทำให้ได้ข้อมูลประวัติการส่งต่อแยกจากกันตามพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ จึงสามารถหาความเป็นไปได้ของการส่งต่อที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานแต่ละรายได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อรรณวิทย์ รัชตภูมิ และ อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. การปรับปรุงวิธีการแฮนด์ออฟแบบรวดเร็วโดยการใช้การคาดการณ์ทิศทางในเครือข่ายไร้สาย, น. 379-386. ใน การประชุมวิชาการวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 11. มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.

Combs, G. 2007. **Wireshark**. Wireshark. Available Source: <http://www.wireshark.org/>. 2007

Ekahau. 2007. **Ekahau Site Survey**. Ekahau Inc. Available Source: <http://www.ekahau.com/>, 2004

Gast, M. 2002. **802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide**. O'Reilly, Sebastopol, CA

Huang, P.J., Y.C. Tseng and K.C. Tsai. 2006. A Fast Handoff Mechanism for IEEE 802.11 and IAPP Networks, p. 966–970. In **IEEE Vehicular Technology Conference 63rd. ed.** IEEE Press, Melbourne.

Hye-Soo, K., P. Sang-Hee, P. Chun-Su, K. Jae-Won and K. Sung-Jea. 2004. Selective Channel Scanning for Fast Handoff in Wireless LAN Using Neighbor Graph. **LNCS (3260):** 194–203.

IEEE. 1999. **Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications**. IEEE Press, New Jersey.

_____. 2003. **Trial-Use Recommended Practice for Multi-Vendor Access Point Interoperability via an Inter-Access Point Protocol Across Distribution Systems Supporting IEEE 802.11 Operation**. IEEE Press, New Jersey.

J. D. Parsons. 2000. **The Mobile Radio Propagation Channel**. 2nd. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England.

- Kwon, K. and C. Lee. 2004. A fast handoff algorithm using intelligent channel scan for IEEE 802.11 WLANs, p. 46–50. *In International Conference on Advanced Communication Technology 6th. ed.* IEEE Press, Gangwon-Do, Korea.
- Lan, W., N. Zhislieig, Z. Yanfeiig, H. Deiig and Y. Masashi. 2003. Integration of SNR, Load and Time in Handoff Initiation for Wireless LAN, p. 2032–2036. *In IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 14th. ed.* IEEE Press, Beijing.
- Liao, Y. and L. Gao. 2006. Practical Schemes for Smooth MAC Layer Handoff in 802.11 Wireless Networks, p. 10. *In International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 7th. ed.* IEEE Press, New York.
- Mishra, A., S. Minho and W. Arbaugh. 2003. An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* (33): 93–102.
- Mustafa, N., W. Mahmood, A. A. Chaudhry and M. Ibrahim. 2005. Pre-scanning and dynamic caching for fast handoff at MAC layer in IEEE 802.11 wireless LANs, p. 8. *In IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference .* IEEE Press, Washington.
- Ok, J., P. Morales, A. Darmawan and H. Morikawa. 2007. Using Shared Beacon Channel for Fast Handoff in IEEE 802.11 Wireless Networks, *In IEEE Vehicular Technology Conference 65th. ed.* IEEE Press
- Parallel Computing Laboratory. 2007. **Glomosim**. University of California Los Angelis. Available Source: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/GloMoSim/>, Feb 7, 2001
- _____. 2007. **Parsec**. University of California Los Angelis. Available Source: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/parsec/>, Nov 18, 2001

- Ramani, I. and S. Savage. 2005. SyncScan: practical fast handoff for 802.11 infrastructure networks, p. 675–684. *In* **Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies 24th. ed.** IEEE Press, Miami.
- Sangheon, P. and C. Yanghee. 2002. Fast Inter-AP Handoff using Predictive-Authentication Scheme in a Public Wireless LAN, *In* **IEEE NETWORKS 2002 (Joint Conference: ICWLHN 2002 and ICN 2002)** . IEEE Press, Atlanta.
- Speicher, S. and C. Bunnig. 2006. Fast MAC-Layer Scanning in IEEE 802.11 Fixed Relay Radio Access Networks, p. 144. *In* **International Conference on Networking, International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies.** IEEE Press, Morne.
- Velayos, H. and G. Karlsson. 2004. Techniques to reduce the IEEE 802.11b handoff time, p. 3844–3848. *In* **IEEE International Conference on Communications** . IEEE Press, Paris.
- Wu, H., K. Tan, Y. Zhang and Q. Zhang. 2007. Proactive Scan: Fast Handoff with Smart Triggers for 802.11 Wireless LAN, p. 749–757. *In* **IEEE International Conference on Computer Communications 26th. ed.** IEEE Press, Anchorage, Alaska.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายอรรถวิท รัชตภูมิ
เกิดวันที่	วันที่ 6 กันยายน 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรอาวุโส
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ทู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)