



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพ
เพื่อคุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์

Efficient Wireless Local Area Network Design
for Quality-of-Services Optimization Using Multi-Objective Approaches

โดย

ชุตินา พรหมมาก และคณะ

กันยายน 2553

สัญญาเลขที่ MRG5080381

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพ
เพื่อคุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์

Efficient Wireless Local Area Network Design
for Quality-of-Services Optimization Using Multi-Objective Approaches

โดย

- | | |
|--------------------|---------------------------------------|
| 1. ชุติมา พรหมมาก | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| 2. นฤมล วัฒนพงศ์กร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปนำเสนอผลงานวิจัย

ขอขอบคุณ นักวิจัยที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. นฤมล วัฒนพงศ์กร อาจารย์ประจำภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่กรุณาแนะนำและให้คำปรึกษาตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ของ สกว. ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อดำเนินการ รวมถึงการให้ข้อมูล เอกสาร และแบบฟอร์มต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินโครงการวิจัย จนทำให้งานเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก
30 กันยายน 2553

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : MRG5080381

ชื่อโครงการ: การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพเพื่อคุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์

ชื่อนักวิจัย :

1. ผศ. ดร. ชุตินา พรหมมาก หัวหน้าโครงการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. รศ. ดร. นฤมล วัฒนพงษ์กร นักวิจัยที่ปรึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail Address : cprommak@sut.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 2 กรกฎาคม 2550 – 1 ตุลาคม 2553

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลอย่างมาก เนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถทำการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โน้ตบุ๊ก คอมพิวเตอร์ ตลอดจนเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารไร้สายอื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งสายนำสัญญาณ ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สิ่งที่ต้องออกแบบจะต้องกำหนดคือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ และตำแหน่งที่ติดตั้งที่เหมาะสม รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของจุดเข้าถึงได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ส่งออก และช่องความถี่ของสัญญาณ ซึ่งจะต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ถ้าติดตั้งจำนวนจุดเข้าถึงน้อยเกินไป อาจทำให้สัญญาณครอบคลุมไม่ทั่วถึง และมีขนาดความจุของเครือข่ายไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารในเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากว่าเครือข่ายใช้จำนวนจุดเข้าถึงมากเกินไป หรือมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งและค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้สัญญาณรบกวนในเครือข่ายสูงจนเป็นอุปสรรคต่อระบบรับส่งสัญญาณแบบไร้สายได้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แนวทางการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งได้พิจารณาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายอันได้แก่ การครอบคลุมสัญญาณภายในพื้นที่ให้บริการ ความจุของเครือข่าย และลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ให้บริการ ผู้วิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึมการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีการแบบศึกษาสำนึกที่ใช้เทคนิคการค้นหาแบบทาบ เพื่อกำหนดตำแหน่งที่ติดตั้ง กำลังส่งสัญญาณ และช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงของเครือข่าย จากการทดสอบและประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคและอัลกอริทึมดังกล่าว พบว่าเครือข่ายที่ได้สามารถให้บริการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของคุณภาพสัญญาณภายในพื้นที่ให้บริการ และด้านความจุของเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณข้อมูลสื่อสารของผู้ใช้งานในเครือข่าย

คำหลัก : วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์, การออกแบบเครือข่าย, คุณภาพการให้บริการ

Abstract

Project Code : MRG5080381

Project Title : Efficient Wireless Local Area Network Design for Quality-of-Services
Optimization Using Multi-Objective Approaches

Investigator :

1. Asst. Prof. Dr. Chutima Prommak (Head of project) Suranaree U. of Technology
2. Assoc. Prof. Dr. Naruemon Wattanapongsakorn (Mentor) King Mongkut's U. of Technology Thonburi

E-mail Address : cprommak@sut.ac.th

Project Period : 2 July 2007 – 1 October 2010

Wireless Local Area Networks (WLANs) have played an important role in providing data communication services, especially in areas lacking of wired infrastructure. In the WLAN design, the network planners have to determine the optimal number of access points, their optimal locations and other important parameters of the access points, including the transmitting power levels and the frequency channels. If the network deploys insufficient number of access points, coverage hole may exist in the service area and the network capacity may be insufficient to accommodate the expected traffic demand. On the other hands, over-deploying the access points and/or using inappropriate access points' parameters can lead to the network performance degradation because of interference problems. This research work presents WLAN network design techniques using the multi-objective approach. The proposed techniques take into account important factors that could affect the quality of services of the networks, including the radio signal coverage and the network capacity to serve expected user traffic demand in the service area. We developed a heuristic optimization algorithm based on the Tabu search technique to determine the optimal locations, the power levels and the frequency channels for the access points used in the networks. Numerical results and the network performance analysis show that the networks designed by the proposed techniques can greatly improve the network quality of services in term of the signal coverage availability and the network capacity to accommodate the expected user traffic demand.

Keywords : Multi-objective optimization, Network design, Quality of Services

สารบัญ
(List of Contents)

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทคัดย่อ	iv
Abstract	v
สารบัญ	vi
ข้อสรุปโครงการ	1
เนื้อหางานวิจัย	6
1. บทนำ	6
2. ปรัชญ์นัรณกรรม	9
3. เทคนิคการออกแบบเครือข่ายทอ้งถิ่นไร้สายโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์	11
4. แนวทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบศึกษาสำนึก (Heuristic Optimization Approach)	17
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์	19
6. สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	24
Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	25
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	28

ข้อสรุปโครงการ (Executive Summary)

1. ข้อมูลโครงการ

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)	การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพเพื่อ คุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการแบบ หลายวัตถุประสงค์
(ภาษาอังกฤษ)	Efficient Wireless Local Area Network Design for Quality- of-Services Optimization Using Multi-Objective Approaches
ชื่อหัวหน้าโครงการ ที่อยู่	ผศ. ดร. ชุตินา พรหมมาก สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์	0-4422-4394
โทรสาร	0-4422-4220
E-mail:	cprommak@sut.ac.th
สาขาวิชาที่ทำการวิจัย	Wireless network design, Network optimization, Heuristic approaches for network design
ระยะเวลาดำเนินงาน	2 ปี

2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network หรือ WLAN) เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลอย่างมากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถทำการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ ตลอดจนเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารไร้สายอื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งสายนำสัญญาณ แต่จะใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อ ที่เรียกว่า จุดเข้าถึง (Access Point) และวงจรรับ-ส่งสัญญาณไร้สาย ซึ่งถูกติดตั้งที่เครื่องผู้ใช้ (user terminals) เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังจุดเข้าถึง โดยจุดเข้าถึงจะเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเครื่องผู้ใช้ภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเข้ากับอุปกรณ์สื่อสารอื่นๆ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการรับ-ส่งข้อมูลกับเครือข่ายภายนอกรวมถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วย ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอย่างแพร่หลายภายในหน่วยงาน องค์กร สถานศึกษา ตลอดจนในพื้นที่ต่างๆ เช่น ที่พักผู้โดยสารของท่าอากาศยาน และสถานีขนส่ง โรงแรม ร้านอาหาร ห้องสมุด และสถานที่จัดการประชุม เป็นต้น โดยลักษณะของข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายมีแนวโน้มว่าจะเป็นข้อมูลประเภทโปรแกรม

ประยุกต์มัลติมีเดีย (multimedia applications) ที่มีภาพเคลื่อนไหวและเสียงเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการชมภาพยนตร์ ฟังเพลง การประชุมทางไกล รวมถึงการศึกษาทางไกลระบบออนไลน์ ปริมาณข้อมูลของโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดียต่างๆดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งต้องการแบนด์วิดท์หรือความจุของเครือข่ายเพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลที่เพียงพอเพื่อที่จะสามารถให้บริการสื่อสารได้อย่างมีคุณภาพ

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดคือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ นอกจากนั้นยังต้องกำหนดตำแหน่งที่ติดตั้งที่เหมาะสม รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของจุดเข้าถึงแต่ละเครื่อง อันได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ส่งออก (transmitted power), และช่องความถี่ของสัญญาณ (frequency channel) ซึ่งจะต้องถูกเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือมีสัญญาณครอบคลุมอาณาบริเวณที่ต้องการและความแรงของสัญญาณเพียงพอที่จะทำให้การรับสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้อง แต่ก็ไม่แรงจนทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน นอกจากนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบและติดตั้งควรมีความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสาร เพื่อบริการเครื่องผู้ใช้งานในเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ถ้าติดตั้งจำนวนจุดเข้าถึงน้อยเกินไป อาจทำให้สัญญาณครอบคลุมไม่ทั่วถึง และมีขนาดความจุของเครือข่ายไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารในเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากว่าเครือข่ายใช้จำนวนจุดเข้าถึงมากเกินไป หรือมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งและค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้สัญญาณรบกวนในเครือข่ายสูงจนเป็นอุปสรรคต่อระบบรับส่งสัญญาณแบบไร้สายได้ ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงควรทำด้วยความระมัดระวังโดยต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย นั่นคือความแรงของสัญญาณ ระดับของสัญญาณรบกวน และความจุของเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณข้อมูลสื่อสารของผู้ใช้งานในเครือข่าย

ในระยะแรกวิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมุ่งสนใจเรื่องการหาตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึง เพื่อให้มีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอย่างทั่วถึง (signal coverage-based network design) โดยทำการสุ่มตำแหน่งของจุดเข้าถึงตามความสะดวกในการติดตั้ง (opportunistic approaches) วิธีนี้เหมาะกับกรณีที่พื้นที่ให้บริการของเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก และมุ่งรองรับข้อมูลข่าวสารแบบไม่ต้องการการรับรองคุณภาพการให้บริการ (best effort service) เช่น อีเมล (e-mail) และการถ่ายโอนแฟ้ม (file transfer) เป็นต้น หากพิจารณาการออกแบบเครือข่ายสำหรับพื้นที่ให้บริการขนาดใหญ่ซึ่งอาจครอบคลุมเนื้อที่จำนวนหลายชั้นในตึกอาคารหรือครอบคลุมทั้งตัวอาคาร การออกแบบวิธีนี้จะไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากต้องทำการลองผิดลองถูก (trial and error) เพื่อกำหนดตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึง และหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึงจำนวนหลายๆเครื่อง ผลลัพธ์ของเครือข่ายที่ได้อาจไม่สามารถรับรองคุณภาพของสัญญาณภายในบริเวณที่ต้องการจะให้บริการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้

ต่อมาได้มีการนำเสนอเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แนวทางการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์ (mathematical problem formulation) แล้วทำการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบเครือข่าย (network design optimization) การกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเป็นการสร้างสมการที่รวบรวมปัจจัยและพารามิเตอร์ที่พิจารณาในการออกแบบเครือข่ายเข้าในสมการ แล้วทำการแก้ปัญหาเพื่อหาคำที่เหมาะสมที่สุดให้กับพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึง ซึ่งการออกแบบวิธี

นี้เหมาะสำหรับการออกแบบเครือข่ายในกรณีที่พื้นที่ให้บริการมีขนาดใหญ่ และอาจครอบคลุมเนื้อที่จำนวนหลายชั้นในตัวอาคาร แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายด้วยแนวทางดังกล่าวที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ได้พิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญของจุดเข้าถึงอย่างครบถ้วน แต่จะมุ่งเน้นการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงเท่านั้น และไม่ได้ทำการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายอย่างครบถ้วน ส่วนใหญ่มุ่งเน้นปัจจัยเรื่องของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่เท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องความจุของเครือข่าย ตลอดจนลักษณะและประเภทของข้อมูลข่าวสาร รวมถึงจำนวนของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ให้บริการ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลถึงปริมาณของข้อมูลข่าวสารที่เครือข่ายต้องรองรับ ดังนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีดังกล่าวจึงอาจจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรองรับการสื่อสารข้อมูลประเภทโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดีย และไม่สามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น โครงการนี้ (โดยการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) จึงได้เสนอการวิจัยและพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายอย่างครบถ้วน เพื่อทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึง ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบ การปรับแต่งพารามิเตอร์ และการโยกย้ายตำแหน่งการติดตั้งจุดเข้าถึง โครงการนี้ นอกจากจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อหน่วยงานหรือองค์กรที่ต้องการออกแบบและปรับปรุงคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ยังถือเป็นองค์ความรู้ใหม่ในด้านอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายและการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนาต่อไป

3. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึง (access point) ซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งที่ติดตั้ง ความแรงในการส่งสัญญาณ และช่องความถี่ โดยในอัลกอริทึมการออกแบบจะพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ประกอบด้วย ปริมาณงานของเครือข่าย (network throughput) และคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในบริเวณที่ต้องการให้บริการสื่อสาร
2. เพื่อพัฒนาเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมให้กับพารามิเตอร์ต่างๆดังกล่าวในข้อ 1. ซึ่งจะเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่จะพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่นำเสนอโดยเฉพาะ
3. เพื่อวิเคราะห์และประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
4. เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
5. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมากับคุณภาพของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการอื่น

4. ระเบียบวิธีวิจัย

1. การพัฒนาอัลกอริทึมและโปรแกรมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้สมการเชิงเส้น (linear programming) ในการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่าย โดยมีตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ประกอบด้วย ตำแหน่งที่ติดตั้ง ความแรงในการส่งสัญญาณ และช่องความถี่ของจุดเข้าถึง โดยในอัลกอริทึมการออกแบบจะพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ประกอบด้วย ปริมาณงานของเครือข่าย (network throughput) และคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในบริเวณที่ต้องการให้บริการสื่อสาร
2. การพัฒนาเทคนิคและโปรแกรมเพื่อการหาค่าที่เหมาะสมให้กับตัวแปรตัดสินใจของปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายดังกล่าวในข้อ 1. โดยใช้แนวทางการแก้ปัญหาและหาคำตอบแบบศึกษาสำนึก (heuristic approach) ซึ่งจะเป็นกระบวนการหาคำตอบที่จะพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการออกแบบนี้โดยเฉพาะ
3. การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
4. การวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
5. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมากับคุณภาพของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการอื่น โดยจะทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคที่มุ่งเน้นการออกแบบเพื่อให้ได้สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายที่ดีที่สุด

5. การดำเนินงานวิจัย

แผนงาน/เดือนที่	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1. พัฒนาอัลกอริทึมและโปรแกรมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบหลายวัตถุประสงค์												
2. พัฒนาเทคนิคและโปรแกรมการหาคำตอบให้กับปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในข้อ 1.												
3. วิเคราะห์และประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น												
4. วิเคราะห์และประเมินผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย												
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายกับเทคนิคการออกแบบอื่น												
6. เตรียมเขียนรายงาน และบทความวิจัย												

6. ผลงานที่ได้จากโครงการ

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ
 - C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Network Design and Optimization for Quality of Services in Wireless Local Area Networks using Multi-Objective Approach", WSEAS Transactions on Communications, vol. 7, no. 8, pp. 827-836, 2008.
 - C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Heuristic Approaches to the Multi-objective Network Design and Optimization for Wireless Data Networks", Lecture Notes in Computer Science on Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking, S. Balandin et al. (Eds.), vol. 6294, pp. 398-410, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงวิชาการ โดยได้มีการกล่าวถึงงานวิจัยและได้นำเสนอผลงานวิจัยบางส่วน ในรายวิชาการออกแบบและการประเมินสมรรถภาพเครือข่าย (Network Design and Performance Evaluation) ในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. อื่นๆ (การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ)
ผู้วิจัยได้ตีพิมพ์เผยแพร่และร่วมนำเสนอผลงานวิจัยที่การประชุมวิชาการนานาชาติ ดังนี้ (รายละเอียดในภาคผนวก)
 - C. Prommak "Multi-Objective Network Design and Optimization for Wireless Local Area Networks", Proc. Of the 7th International Conference on Application of Electrical Engineering (AEE08), pp. 21-27, July 2-4, 2008.

โครงการ การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพเพื่อคุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์

Efficient Wireless Local Area Network Design for Quality-of-Services Optimization Using Multi-Objective Approaches

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network หรือ WLAN) เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลอย่างมากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถทำการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ ตลอดจนเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารไร้สายอื่นๆ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งสายนำสัญญาณ แต่จะใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อ ที่เรียกว่า จุดเข้าถึง (Access Point) และวงจรรับ-ส่งสัญญาณไร้สาย ซึ่งถูกติดตั้งที่เครื่องผู้ใช้ (user terminals) เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังจุดเข้าถึง โดยจุดเข้าถึงจะเป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเครื่องผู้ใช้งานภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเข้ากับอุปกรณ์สื่อสารอื่นๆ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการรับ-ส่งข้อมูลกับเครือข่ายภายนอก รวมถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วย ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอย่างแพร่หลายภายในหน่วยงาน องค์กร สถานศึกษา ตลอดจนในพื้นที่ต่างๆ เช่น ที่พักอาศัยโดยสาธารณะของท่าอากาศยาน และสถานีขนส่ง โรงแรม ร้านอาหาร ห้องสมุด และสถานที่จัดการประชุม เป็นต้น โดยลักษณะของข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายมีแนวโน้มว่าจะเป็นข้อมูลประเภทโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดีย (multimedia applications) ที่มีภาพเคลื่อนไหวและเสียงเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการชมภาพยนตร์ ฟังเพลง การประชุมทางไกล รวมถึงการศึกษาทางไกลระบบออนไลน์ ปริมาณข้อมูลของโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดียต่างๆ ดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งต้องการแบนด์วิธหรือความจุของเครือข่ายเพื่อใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลที่เพียงพอเพื่อที่จะสามารถให้บริการสื่อสารได้อย่างมีคุณภาพ

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดคือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ นอกจากนั้นยังต้องกำหนดตำแหน่งที่ติดตั้งที่เหมาะสม รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของจุดเข้าถึงแต่ละเครื่อง อันได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ส่งออก (transmitted power), และช่องความถี่ของสัญญาณ (frequency channel) ซึ่งจะต้องถูกเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือมีสัญญาณครอบคลุมอาณาบริเวณที่ต้องการและความแรงของสัญญาณเพียงพอที่จะทำให้การรับสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้อง แต่ก็ไม่แรงจนทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน นอกจากนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบและติดตั้งควรมีความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสาร เพื่อบริการเครื่องผู้ใช้งานภายในเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ถ้าติดตั้งจำนวนจุดเข้าถึงน้อยเกินไป อาจทำให้สัญญาณครอบคลุมไม่ทั่วถึง และมีขนาดความจุของเครือข่ายไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณข้อมูล

ข่าวสารในเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากว่าเครือข่ายใช้จำนวนจุดเข้าถึงมากเกินไป หรือมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งและค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้สัญญาณรบกวนในเครือข่ายสูงจนเป็นอุปสรรคต่อระบบรับส่งสัญญาณแบบไร้สายได้ ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงควรทำด้วยความระมัดระวังโดยต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย นั่นคือความแรงของสัญญาณ ระดับของสัญญาณรบกวน และความจุของเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณข้อมูลสื่อสารของผู้ใช้งานในเครือข่าย

ในระยะแรกวิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมุ่งสนใจเรื่องการหาตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้า ถึงเพื่อให้มีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอย่างทั่วถึง (signal coverage-based network design) โดยทำการสุ่มตำแหน่งของจุดเข้าถึงตามความสะดวกในการติดตั้ง (opportunistic approaches) วิธีนี้เหมาะกับกรณีที่พื้นที่ให้บริการของเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก และมุ่งรองรับข้อมูลข่าวสารแบบไม่ต้องการการรับรองคุณภาพการให้บริการ (best effort service) เช่น อีเมล (e-mail) และการถ่ายโอนแฟ้ม (file transfer) เป็นต้น หากพิจารณาการออกแบบเครือข่ายสำหรับพื้นที่ให้บริการขนาดใหญ่ซึ่งอาจครอบคลุมเนื้อที่จำนวนหลายชั้นในตึกอาคารหรือครอบคลุมทั้งตัวอาคาร การออกแบบวิธีนี้จะไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากต้องทำการลองผิดลองถูก (trial and error) เพื่อกำหนดตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึง และหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึงจำนวนหลายๆเครื่อง ผลลัพธ์ของเครือข่ายที่ได้อาจไม่สามารถรับรองคุณภาพของสัญญาณภายในบริเวณที่ต้องการจะให้บริการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้

ต่อมาได้มีการนำเสนอเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แนวทางการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์ (mathematical problem formulation) แล้วทำการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบเครือข่าย (network design optimization) การกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเป็นการสร้างสมการที่รวบรวมปัจจัยและพารามิเตอร์ที่พิจารณาในการออกแบบเครือข่ายเข้าในสมการ แล้วทำการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึง ซึ่งการออกแบบวิธีนี้เหมาะสำหรับการออกแบบเครือข่ายในกรณีที่พื้นที่ให้บริการมีขนาดใหญ่ และอาจครอบคลุมเนื้อที่จำนวนหลายชั้นในตึกอาคาร แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายด้วยแนวทางดังกล่าวที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ได้พิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญของจุดเข้าถึงอย่างครบถ้วน แต่จะมุ่งเน้นการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงเท่านั้น และไม่ได้ทำการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายอย่างครบถ้วน ส่วนใหญ่มุ่งเน้นปัจจัยเรื่องของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่เท่านั้น โดยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องความจุของเครือข่าย ตลอดจนลักษณะและประเภทของข้อมูลข่าวสาร รวมถึงจำนวนของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ให้บริการ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของข้อมูลข่าวสารที่เครือข่ายต้องรองรับ ดังนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีดังกล่าวจึงอาจจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรองรับการสื่อสารข้อมูลประเภทโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดีย และไม่สามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น โครงการนี้ (โดยการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) จึงได้เสนอการวิจัยและพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายอย่างครบถ้วน เพื่อทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึง ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบ การ

ปรับแต่งพารามิเตอร์ และการโยกย้ายตำแหน่งการติดตั้งจุดเข้าถึง โครงการนี้ นอกจากจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อหน่วยงานหรือองค์กรที่ต้องการออกแบบและปรับปรุงคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ยังถือเป็นองค์ความรู้ใหม่ในด้านอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายและการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึง (access point) ซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งที่ติดตั้ง ความแรงในการส่งสัญญาณ และช่องความถี่ โดยในอัลกอริทึมการออกแบบจะพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ประกอบด้วย ปริมาณงานของเครือข่าย (network throughput) และคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในบริเวณที่ต้องการให้บริการสื่อสาร
2. เพื่อพัฒนาเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมให้กับพารามิเตอร์ต่างๆดังกล่าวในข้อ 1. ซึ่งจะเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่จะพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่นำเสนอโดยเฉพาะ
3. เพื่อวิเคราะห์และประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
4. เพื่อวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
5. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมากับคุณภาพของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการอื่น

1.3 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนาอัลกอริทึมและโปรแกรมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้สมการเชิงเส้น (linear programming) ในการกำหนดปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่าย โดยมีตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ประกอบด้วย ตำแหน่งที่ติดตั้ง ความแรงในการส่งสัญญาณ และช่องความถี่ของจุดเข้าถึง โดยในอัลกอริทึมการออกแบบจะพิจารณาวัตถุประสงค์ที่ประกอบด้วย ปริมาณงานของเครือข่าย (network throughput) และคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในบริเวณที่ต้องการให้บริการสื่อสาร
2. การพัฒนาเทคนิคและโปรแกรมเพื่อการหาค่าที่เหมาะสมให้กับตัวแปรตัดสินใจของปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายดังกล่าวในข้อ 1. โดยใช้แนวทางการแก้ปัญหาและหาคำตอบแบบศึกษาสำนึก (heuristic approach) ซึ่งจะเป็นกระบวนการหาคำตอบที่จะพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการออกแบบนี้โดยเฉพาะ
3. การวิเคราะห์และประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.

4. การวิเคราะห์และประเมินผลกระทบของปัจจัยต่างๆต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าวในข้อ 1.
5. การวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมากับคุณภาพของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีการอื่น โดยจะทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคที่มุ่งเน้นการออกแบบเพื่อให้ได้สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายที่ดีที่สุด

2. ปรัชญาวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ไม่ปรากฏว่ามีรายงานการตีพิมพ์เผยแพร่ของคณะนักวิจัยใดที่พิจารณางานวิจัยที่เข้าช้อนกับงานวิจัยที่จะดำเนินการในโครงการที่เสนอนี้มาก่อน จากการทบทวนวรรณกรรมดังกล่าว สามารถสรุปหลักการและวิธีดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้เป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ได้สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายที่ดีที่สุด (signal coverage optimization) กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ค่าใช้จ่ายของเครือข่ายน้อยที่สุด (network cost minimization) กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ปริมาณงานรวมของเครือข่ายมีค่าสูงที่สุด (network throughput maximization) และกลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่ายให้ได้สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายที่ดีที่สุดและมีค่าใช้จ่ายของเครือข่ายน้อยที่สุด (signal coverage optimization and network cost minimization) แต่ละกลุ่มงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1) กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ได้สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายที่ดีที่สุด โดยทำการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งจุดเข้าถึง (access point) เพื่อให้คุณภาพสัญญาณในเครือข่ายดีที่สุด ตัวอย่างงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้แก่ งานวิจัย [1] มุ่งเน้นให้อัตราส่วนของสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio, SNR) ในเครือข่ายมีค่าสูงที่สุด และให้ค่าความลดทอนของสัญญาณ (path loss) มีค่าต่ำที่สุด โดยทำการแก้ปัญหาการออกแบบเพื่อหาตำแหน่งในการติดตั้งจุดเข้าถึง โดยมีสมมติฐานว่าจุดเข้าถึง แต่ละเครื่องส่งสัญญาณที่ระดับความแรงเท่ากัน และใช้ช่องความถี่เดียวกัน งานวิจัย [2-3] ได้ทำการหาจำนวนและตำแหน่งการติดตั้ง AP ที่ทำให้คุณภาพของสัญญาณในเครือข่ายดีที่สุด โดยทำให้มีการลดทอนของสัญญาณในเครือข่ายน้อยที่สุด (minimize path loss) และงานวิจัย [4] ได้ทำการตำแหน่งในการติดตั้งจุดเข้าถึง และช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึง แต่ละเครื่องเพื่อให้ระดับความแรงของสัญญาณในเครือข่ายมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่ระดับสัญญาณรบกวนมีค่าต่ำที่สุด

งานวิจัยในกลุ่มนี้ทำการออกแบบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์บางตัวของจุดเข้าถึงเท่านั้น ยังไม่มีรายงานการตีพิมพ์เผยแพร่ของงานวิจัยใดที่ทำการออกแบบเครือข่ายเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึงที่จำเป็นในการสร้างเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอย่างครบถ้วน พารามิเตอร์ดังกล่าวประกอบด้วย ตำแหน่งในการติดตั้ง ระดับความแรงสัญญาณ และช่องความถี่ของจุดเข้าถึงซึ่งเป็นหนึ่งในวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยที่นำเสนอ

2) กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่ายเพื่อให้ค่าใช้จ่ายของเครือข่ายน้อยที่สุด งานวิจัยส่วนใหญ่ในแนวทางนี้ต้องการใช้จำนวนจุดเข้าถึงน้อยที่สุดในการสร้างเครือข่ายเพื่อให้มีสัญญาณ

ครอบคลุมทั่วถึงภายในพื้นที่ที่ต้องการให้บริการ โดยทำการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งจุดเข้าถึงเพื่อให้คุณภาพสัญญาณในเครือข่ายอยู่ในระดับที่ต้องการ (threshold) โดยมีสมมติฐานว่าจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องส่งสัญญาณที่ระดับความแรงเท่ากัน และใช้ช่องความถี่เดียวกัน [5] หลักการของการออกแบบเครือข่ายของงานวิจัยในกลุ่มนี้ได้พัฒนามาจากการออกแบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้จำนวนสถานีฐานให้น้อยที่สุด เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครือข่ายน้อยที่สุด โดยให้มีสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ตามที่กำหนด [6-7] แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยในกลุ่มนี้ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องปริมาณข้อมูลและจำนวนผู้ใช้งานในเครือข่าย ซึ่งอาจทำให้ขนาดความจุของเครือข่ายไม่เพียงพอในการรองรับการสื่อสารของโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดีย

3) กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่าย เพื่อให้ปริมาณงานรวมของเครือข่ายมีค่าสูงที่สุด นั่นคือเครือข่ายสามารถรองรับข้อมูลจากเครื่องผู้ใช้ที่อยู่ภายในพื้นที่บริการได้มากที่สุด โดยงานวิจัย [8] ได้ทำการหาตำแหน่งที่ตั้ง และช่องความถี่ของจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องที่ใช้ในเครือข่าย โดยได้คำนึงถึงลักษณะการเข้าใช้ช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ซึ่งกำหนดหลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) [9] ส่วนงานวิจัย [10] ใช้หลักการออกแบบเครือข่ายที่คำนึงถึงปริมาณข้อมูลของผู้ใช้งานในเครือข่ายและลักษณะการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CSMA/CA แต่ไม่ได้มีข้อจำกัดเรื่องค่าใช้จ่ายของเครือข่าย

งานวิจัยในกลุ่มนี้ไม่ได้คำนึงว่าจะมีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการทั้งหมดหรือไม่ แต่มุ่งเน้นการติดตั้งจุดเข้าถึงในตำแหน่งที่คาดว่าจะมีผู้ใช้งานอยู่มากเท่านั้น แต่เนื่องจากว่าเครื่องผู้ใช้เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถย้ายตำแหน่งไปที่ใดก็ได้ จึงอาจทำให้ไม่สามารถทำการใช้งานเครือข่ายได้ในบางพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณครอบคลุม หรือสัญญาณมีระดับความแรงน้อยเกินไปได้ หรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไป ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงควรพิจารณาเรื่องคุณภาพของสัญญาณภายในพื้นที่ให้บริการด้วย ซึ่งในการวิจัยของโครงการที่นำเสนอจะมุ่งเน้นการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้ได้คุณภาพของสัญญาณครอบคลุมดีที่สุด และมีปริมาณงานของเครือข่ายสูงที่สุดด้วย โดยใช้จำนวนจุดเข้าถึงหรือค่าใช้จ่ายในการสร้างเครือข่ายภายในงบประมาณที่กำหนดให้ หลักการออกแบบเครือข่ายในลักษณะนี้ยังไม่เคยมีคณะนักวิจัยกลุ่มใดนำเสนอมาก่อน

4) กลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นเรื่องการออกแบบเครือข่าย เพื่อให้ได้สัญญาณครอบคลุมของเครือข่ายที่ดีที่สุด และมีค่าใช้จ่ายของเครือข่ายน้อยที่สุด ได้แก่ งานวิจัย [11] ซึ่งได้ทำการหาจำนวนและตำแหน่งการติดตั้งจุดเข้าถึง เพื่อให้ได้เครือข่ายที่มีค่าเฉลี่ยของ SNR ภายในพื้นที่ให้บริการสูงที่สุด โดยใช้จำนวนจุดเข้าถึงน้อยที่สุด ส่วนงานวิจัย [12] ก็ได้ทำการหาจำนวนและตำแหน่งการติดตั้งจุดเข้าถึง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าการลดทอนของสัญญาณในเครือข่ายน้อยที่สุด และใช้จำนวนจุดเข้าถึงน้อยที่สุด

งานวิจัยในกลุ่มนี้ถึงแม้ว่าจะเป็นการออกแบบเครือข่ายที่มุ่งเน้นหลายวัตถุประสงค์ (multi-objective) แต่ก็ได้คำนึงถึงวัตถุประสงค์ในด้านปริมาณงานรวมของเครือข่ายเพื่อการรองรับการสื่อสารของโปรแกรมมัลติมีเดียที่มีทั้งเสียงและภาพเคลื่อนไหว ซึ่งมีปริมาณข้อมูลสูง และต้องใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลมากกว่าการรับ-ส่งข้อมูลธรรมดาที่ไม่ใช่โปรแกรมมัลติมีเดีย นอกจากนั้นงานวิจัยในกลุ่มนี้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึงเพียงอย่างเดียวคือ ตำแหน่งการติดตั้ง โดยสมมติให้จุดเข้าถึงส่งสัญญาณที่ระดับแรงดันเท่ากัน และใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน

จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่ายังไม่มีรายงานของการตีพิมพ์เผยแพร่ใดที่ทำการพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยมุ่งพิจารณาคุณภาพของเครือข่ายในหลายประเด็นพร้อมกันอันประกอบด้วย คุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ให้บริการ ปริมาณงานรวมที่เครือข่ายสามารถรองรับได้ และค่าใช้จ่ายในการสร้างเครือข่าย ซึ่งเป็นหลักการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่จะใช้ในโครงการวิจัยที่น่าเสนอนี้ รวมทั้งยังไม่ปรากฏผลงานของคณะนักวิจัยใดที่ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึงที่จำเป็นในการสร้างเครือข่ายครบทั้งสามพารามิเตอร์คือ ตำแหน่งที่ตั้ง ความแรงสัญญาณที่ส่งออก และช่องความถี่ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยที่น่าเสนอนี้

3. เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์

หัวข้อนี้อธิบายเทคนิคการออกแบบเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective approach) โดยหัวข้อ 3.1 เป็นการนิยามปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและอธิบายประเด็นที่พิจารณาในการออกแบบเครือข่าย หัวข้อ 3.2 นำเสนอสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์ และหัวข้อ 3.3 อธิบายวิธีการแปลงสมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ให้อยู่ในรูปของสเกลาร์ฟังก์ชัน (Scalarizing function)

3.1 การนิยามปัญหาสำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สิ่งที่ต้องออกแบบจะต้องกำหนดคือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ และต้องกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม รวมถึงช่องความถี่ และความแรงในการส่งสัญญาณของจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องด้วย ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพการให้บริการสูงสุด

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาคุณภาพของเครือข่ายทั้งสองด้านคือคุณภาพการให้บริการในด้านของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ รวมถึงคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ของเครือข่าย

3.1.1 การพิจารณาคุณภาพการให้บริการในด้านของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ

วิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในงานวิจัยนี้พิจารณาเรื่องของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยวัดจากความสามารถในการรองรับปริมาณงานเฉลี่ยจากผู้ให้บริการ เนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายใช้โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งปริมาณงานของจุดเข้าถึงจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการที่เชื่อมต่อ หรือสื่อสารผ่านจุดเข้าถึงนั้น และขึ้นอยู่กับช่องความถี่ที่ใช้งานในกลุ่มบริการพื้นฐานที่อยู่ข้างเคียง (neighbor BSSs) เนื่องจากเครื่องผู้ใช้ที่อยู่ในกลุ่มบริการพื้นฐานที่อยู่ข้างเคียงสามารถหน่วงการส่งข้อมูลของเครื่องผู้ใช้อื่นที่ส่งข้อมูลที่ช่องความถี่เดียวกันได้ ตามหลักการทำงานของโปรโตคอลการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ดังนั้นในการจัดสรรช่องความถี่และการเลือกตำแหน่งติดตั้งสำหรับจุดเข้าถึงจะต้องลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการภายในพื้นที่ของเครือข่ายด้วย

3.1.2 การพิจารณาคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ของเครือข่าย

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจำเป็นต้องพิจารณาคุณภาพของสัญญาณในแง่ของความแรงของสัญญาณและระดับของสัญญาณรบกวนในพื้นที่ของเครือข่ายเนื่องจาก ความสามารถในการรับส่งข้อมูล รวมถึงอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณดังกล่าว วิธีการออกแบบเครือข่ายไร้สายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้พิจารณาคุณภาพของสัญญาณโดยมีวัตถุประสงค์ให้เครือข่ายที่ได้มีบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมได้ทั่วถึงมากที่สุด การประเมินบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณ (signal strength) ซึ่งคำนวณโดยใช้แบบจำลองการลดทอนสัญญาณแบบ Partition dependent model [13] และ ค่าเอสไออาร์ หรืออัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio, SIR) โดยการกำหนดจุดทดสอบ (Signal Test Point STP) ซึ่งเป็นจุดที่จะทำการประเมินคุณภาพสัญญาณ ซึ่งถ้าได้ค่าสูงกว่าค่าขีดแบ่ง (threshold) ที่กำหนดไว้ก็แสดงว่าจุดนั้นสามารถรับสัญญาณได้ และสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ระดับอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูล ณ ระดับความแรงสัญญาณนั้นๆ

3.2 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้วิธีการแบบหลาย

วัตถุประสงค์

สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยสัญลักษณ์ประเภทเซต ตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) และตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการออกแบบซึ่งแบ่งเป็นตัวแปรค่าคงที่ (static parameters) และตัวแปรที่เปลี่ยนค่า (dynamic parameters)

ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรที่จะบอกคำตอบสำหรับปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย นั่นคือจะเป็นตัวแปรที่ให้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงที่จะใช้งานในเครือข่าย ซึ่งตัวแปรตัดสินใจสำหรับปัญหานี้ได้แก่ ตัวแปรแสดงระดับความแรงสัญญาณที่กำหนดให้จุดเข้าถึง ตัวแปรแสดงช่องความถี่ที่กำหนดให้จุดเข้าถึง ตัวแปรแสดงการเลือกตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึง ตัวแปรแสดงการเชื่อมต่อของผู้ใช้บริการกับจุดเข้าถึง และตัวแปรแสดงการครอบคลุมของสัญญาณของจุดเข้าถึง

ตัวแปรค่าคงที่เป็นตัวแปรที่มีค่าตามมาตรฐาน ใช้กำหนดค่าขีดแบ่ง (threshold) ของความแรงสัญญาณ ค่าขีดแบ่งของเอสไออาร์ ค่าความจุของจุดเข้าถึง และกำหนดลักษณะการใช้งานของผู้ใช้บริการเครือข่าย (user traffic profiles) ส่วนตัวแปรที่เปลี่ยนค่าได้แก่ ระดับความแรงสัญญาณที่จุดทดสอบ ระดับสัญญาณแทรกสอดที่จุดทดสอบ และค่าปริมาณงานเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจะได้รับ ซึ่งตัวแปรที่เปลี่ยนค่านี้จะต้องทำการคำนวณค่าใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนค่าของตัวแปรตัดสินใจในระหว่างกระบวนการออกแบบ

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์

	ตัวแปร	คำนิยาม
เซต	U	เซตของผู้ใช้บริการ
	G	เซตของจุดทดสอบสัญญาณ
	B	เซตของตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้
	P	เซตของระดับความแรงสัญญาณที่ใช้จัดสรรได้
	C	เซตของช่องความถี่ที่ใช้จัดสรรได้
	T	เซตของประเภทการให้บริการสื่อสารข้อมูล
	U_t	เซตของผู้ใช้บริการที่ใช้บริการสื่อสารข้อมูลประเภท $t \cup_{\forall t \in T} U_t = U$
ตัวแปร	p_j	ตัวแปรแสดงระดับความแรงสัญญาณที่กำหนดให้จุดเข้าถึง j
ตัดสินใจ	c_j	ตัวแปรแสดงช่องความถี่ที่กำหนดให้จุดเข้าถึง j
	b_j	ตัวแปรไบนารีแสดงการเลือกตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึง โดยที่ b_j มีค่า 1 ถ้าเลือกติดตั้งที่ตำแหน่ง j แต่ b_j มีค่า 0 ถ้าไม่เลือกติดตั้งที่ตำแหน่ง j
	u_{ij}^t	ตัวแปรไบนารีแสดงการเชื่อมต่อของผู้ใช้บริการ โดยที่ u_{ij}^t มีค่า 1 ถ้าผู้ใช้บริการ i เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง j แต่ u_{ij}^t มีค่า 0 ถ้าผู้ใช้บริการ i ไม่เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง j
	g_{hj}	ตัวแปรไบนารีแสดงการครอบคลุมของสัญญาณ โดยที่ g_{hj} มีค่า 1 ถ้าจุดทดสอบ h สามารถรับสัญญาณจากจุดเข้าถึง j ได้ แต่ g_{hj} มีค่า 0 ถ้าจุดทดสอบ h ไม่สามารถรับสัญญาณจากจุดเข้าถึง j ได้
ตัวแปร	N	จำนวนจุดเข้าถึงทั้งหมดที่สามารถติดตั้งในบริเวณเครือข่ายได้
ค่าคงที่	R_t	ปริมาณงานของเครือข่ายที่ต้องการสำหรับการให้บริการสื่อสารประเภท t
	$P_{Rthreshold}$	กำหนดค่าขีดแบ่งของความแรงสัญญาณ (dBm)
	$SIR_{threshold}$	ค่าขีดแบ่งของเอสไออาร์ (dB)
	W	ค่าความจุของจุดเข้าถึง (bps)
ตัวแปรที่เปลี่ยนค่า	$P_{R_{ij}}(p_j, c_j, b_j)$	ความแรงสัญญาณที่จุดทดสอบ i รับได้จากจุดเข้าถึง j ซึ่งใช้ความแรงสัญญาณ p_j และใช้ช่องความถี่ c_j
	$Intf_{ij}(p_j, c_j, b_j)$	ระดับสัญญาณแทรกสอดที่จุดทดสอบ i เมื่อพิจารณาการรับสัญญาณจากจุดเข้าถึง j ซึ่งใช้ความแรงสัญญาณ p_j และใช้ช่องความถี่ c_j
	r_i^t	ค่าปริมาณงานเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการ i ซึ่งใช้บริการสื่อสารข้อมูลประเภท t จะได้รับ

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์ประกอบด้วยสมการวัตถุประสงค์ (objective functions) และสมการเงื่อนไข (constraints) ดังต่อไปนี้

3.2.1 สมการวัตถุประสงค์

วิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของเครือข่าย นั่นคือกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดให้กับจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่ายเพื่อให้เครือข่ายมีคุณภาพการให้บริการสูงสุด ซึ่งวัดได้จากขนาดพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณมากที่สุด และความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการมากที่สุด วัตถุประสงค์ในการออกแบบดังกล่าวนี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

1) ทำให้ขนาดพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณมากที่สุด (Maximize signal coverage availability)

สมการวัตถุประสงค์แรกนี้ (f_1) เป็นการวัดขนาดพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของจำนวนจุดทดสอบที่มีระดับความแรงสัญญาณที่ได้รับและค่าเอสไออาร์สูงกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้

$$\text{Maximize } f_1 = \frac{\sum_{\forall h \in G} \sum_{\forall j \in A} g_{hj}}{|G|} \quad (1)$$

2) ทำให้ความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการมากที่สุด (Maximize user satisfaction)

สมการวัตถุประสงค์ที่สอง (f_2) เป็นการวัดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อคุณภาพการสื่อสารข้อมูลที่ได้รับผ่านการใช้งานเครือข่าย ระดับความพึงพอใจนี้คำนวณได้จากอัตราส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถได้รับปริมาณงานมากกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ โดยได้มีการใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก β_t สำหรับผู้ใช้บริการสื่อสารประเภท t ซึ่งค่า β_t เป็นสัดส่วนของปริมาณงานที่ต้องการสำหรับการบริการสื่อสารข้อมูลประเภท t ต่อค่าความจุของจุดเข้าถึง นั่นคือ $\beta_t = R_t/W$.

$$\text{Maximize } f_2 = \frac{\sum_{\forall t \in T} \left(\beta_t \times \left(\sum_{\forall j \in A} \sum_{\forall i \in U_t} u_{ij}^t \right) \right)}{\sum_{\forall t \in T} (\beta_t \times |U_t|)} \quad (2)$$

3.2.2 สมการเงื่อนไข

ข้อกำหนดต่างๆ ของการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายได้ถูกแปลงเป็นสมการคณิตศาสตร์ ที่กำหนดเงื่อนไขการสื่อสารดังต่อไปนี้

$$\sum_{\forall j \in B} u_{ij}^t \leq 1, \forall i \in U \quad (3)$$

$$u_{ij}^t (P_{R_{ij}}(p_j, c_j, b_j) - P_{R_{threshold}}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (4)$$

$$u_{ij}^t (P_{R_{ij}}(p_j, c_j, b_j) - Intf_{ij}(p_j, c_j, b_j) - SIR_{threshold}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (5)$$

$$u_{ij}^t (r_i^t - R_t) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (6)$$

$$g_{hj} (P_{R_{hj}}(p_j, c_j, b_j) - P_{R_{threshold}}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (7)$$

$$g_{hj} (P_{R_{hj}}(p_j, c_j, b_j) - Intf_{hj}(p_j, c_j, b_j) - SIR_{threshold}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (8)$$

$$u_{ij}^t \geq b_j, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (9)$$

$$g_{hj} \geq b_j, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (10)$$

$$\sum_{\forall j \in B} b_j \leq N \quad (11)$$

$$u_{ij}^t \in \{0,1\}, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (12)$$

$$g_{hj} \in \{0,1\}, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (13)$$

$$b_j \in \{0,1\}, \forall j \in B \quad (14)$$

เงื่อนไขที่ (3) กำหนดให้ผู้ให้บริการแต่ละรายเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงได้หนึ่งเครื่องเท่านั้น ซึ่งกำหนดด้วยตัวแปรตัดสินใจ u_{ij}^t เมื่อตัวแปรนี้มีค่าเป็น 1 หมายความว่า ผู้ให้บริการ i ทำการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j ซึ่งตัวแปรนี้จะมีความเป็น 1 ได้เมื่อค่าความแรงของสัญญาณที่ผู้ให้บริการ i รับได้จากจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j ($P_{R_{ij}}$ in dBm) และค่าเอสไออาร์สัมพันธ์กับจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j (นั่นคือค่าความแรงสัญญาณ ($P_{R_{ij}}$ in dBm) ลบความแรงของสัญญาณแทรกสอด ($Intf_{ij}$ in dBm)) มีค่าไม่น้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ตามสมการเงื่อนไขที่ (4) และ (5) นอกจากนี้เมื่อตัวแปร u_{ij}^t มีค่าเป็น 1 เงื่อนไขที่ (6) จะต้องเป็นจริง นั่นคือปริมาณงานเฉลี่ยที่ผู้ให้บริการ i จะได้รับการสื่อสารผ่านจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j (r_i^t) จะต้องมากกว่าค่าปริมาณงานเฉลี่ยที่กำหนดไว้สำหรับผู้ให้บริการสื่อสารประเภท t (R_t) ถ้าเงื่อนไขนี้ไม่เป็นจริงตัวแปร u_{ij}^t จะมีค่าเป็นศูนย์

เงื่อนไขที่ (7) และ (8) มีไว้สำหรับประเมินคุณภาพของสัญญาณที่ตำแหน่งจุดทดสอบ h ซึ่งเป็นการประเมินค่าความแรงสัญญาณและระดับเอสไออาร์ โดยตัวแปรตัดสินใจ g_{hj} จะมีค่าเป็น 1 ได้ถ้าค่าความแรงของสัญญาณที่จุดทดสอบ h รับได้จากจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j ($P_{R_{hj}}$ in dBm) และค่าเอสไออาร์สัมพันธ์กับจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j (นั่นคือค่าความแรงสัญญาณ ($P_{R_{hj}}$ in dBm) ลบความแรงของสัญญาณแทรกสอด ($Intf_{hj}$ in dBm)) มีค่าไม่น้อยกว่าค่าขีดแบ่งที่กำหนดไว้ ถ้ามีเช่นนั้นตัวแปร g_{hj} จะมีค่าเป็นศูนย์

เงื่อนไขที่ (9) และ (10) กำหนดว่า ถ้าผู้ให้บริการ i และจุดทดสอบ h เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่ตำแหน่งที่ตำแหน่ง j แล้วจะต้องมีการติดตั้งจุดเข้าถึงที่ตำแหน่ง j นั่นคือตัวแปร b_j ซึ่งเป็นตัวแปรไบนารีแสดงการเลือกตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงจะต้องมีค่าเป็น 1 ส่วนเงื่อนไขที่ (11) กำหนดจำนวนจุดเข้าถึงที่มากที่สุดที่สามารถติดตั้งได้ในบริเวณที่ให้บริการเครือข่าย สำหรับเงื่อนไข (12) (13) และ (14) กำหนดว่าตัวแปร u_{ij}^t , g_{hj} และ b_j เป็นตัวแปรประเภทไบนารีมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

3.3 การแปลงสมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ให้อยู่ในรูปของสมการสเกลาร์

สมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบสเกลาร์ (Scalarizing function) [14] โดยใช้สมการสเกลาร์ที่มีตัวแปรถ่วงน้ำหนักสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\text{Maximize } F = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (15)$$

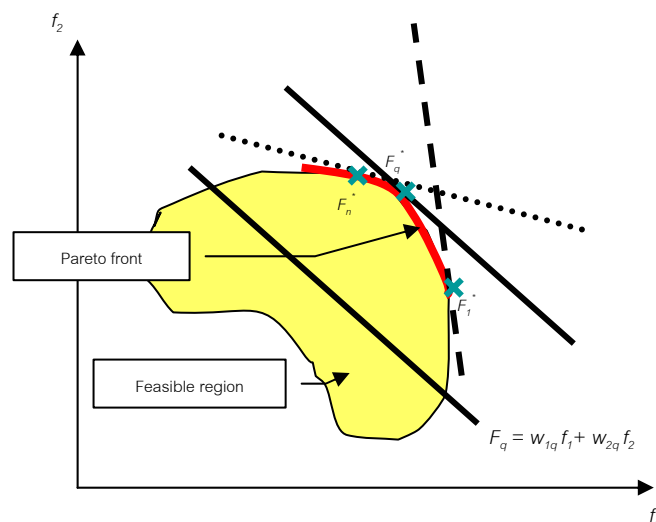
w_1 และ w_2 เป็นตัวแปรถ่วงน้ำหนักสำหรับสมการวัตถุประสงค์ (1) และ (2) โดยตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันคือ $w_1 + w_2 = 1$

ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบสเกลาร์นั้น จุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหาค่าสูงสุด (maximization) คือจุดที่อยู่บนด้านหน้าพาเรโต (Pareto front) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ ตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 1 สมการสเกลาร์ F_q เป็นสมการที่ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักชุด q (w_{1q}, w_{2q}) และจุด F_q^* คือจุดที่เส้นตรงซึ่งกำหนดโดยสมการสเกลาร์ F_q สัมผัสกับเส้นขอบของ feasible region นั่นคือ F_q^* เป็นจุดที่อยู่บนด้านหน้าพาเรโต ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่าสูงที่สุดสำหรับสมการสเกลาร์ F_q

ในการประมาณค่าด้านหน้าพาเรโต (Pareto front approximation) นั้นสามารถทำได้โดยการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์หลายๆครั้ง โดยแต่ละครั้งใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกัน ซึ่งการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละค่าจะนำไปสู่จุดสูงสุดที่ต่างกันบนด้านหน้าพาเรโต

กำหนดให้ Q เป็นจำนวนชุดของค่าถ่วงน้ำหนัก และ q เป็นดัชนีบอกลำดับชุดถ่วงน้ำหนัก ค่าต่างๆของตัวถ่วงน้ำหนักใน Q จะกระจายอย่างสม่ำเสมอระหว่างค่า 0 ถึง 1 ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับชุดถ่วงน้ำหนักที่ q (w_{1q}, w_{2q}) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$w_{1q} = (q-1)/(Q-1), \quad w_{2q} = 1 - w_{1q} \quad (16)$$



รูปที่ 1 สมการสเกลาร์ที่มีตัวแปรถ่วงน้ำหนัก และด้านหน้าพาเรโต

4. แนวทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบศึกษาสำนึก (Heuristic Optimization Approach)

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้แนวทางแบบศึกษาสำนึก สำหรับการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้สมการแบบหลายวัตถุประสงค์ตามที่อธิบายในหัวข้อที่ 3 แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถหารูปแบบเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุด โดยกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึง นอกจากนี้ยังกำหนดค่าความแรงสัญญาณ และช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดให้กับจุดเข้าถึงด้วย

โครงสร้างการทำงานของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้แนวทางแบบศึกษาสำนึก ประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization phase) และขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization phase)

4.1 ขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดรูปแบบโครงข่ายเริ่มต้น โดยการเลือกค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆของจุดเข้าถึง ขั้นตอนนี้ใช้หลักการของการค้นหาค่าแบบโลภ (Greedy based search technique) ซึ่งจะเลือกค่าของตัวแปรที่ทำให้ค่าของสมการสเกลาร์ (15) มีค่าสูงที่สุด หลักการก็คือแต่ละรอบของการค้นหาค่าตอบ (Iteration) จะทำการติดตั้งจุดเข้าถึงที่ละเครื่อง จนกระทั่งติดตั้งจุดเข้าถึงครบจำนวนที่กำหนดไว้ ในแต่ละรอบนั้นก็จะทำการหาค่าของตัวแปรของจุดเข้าถึง (นั่นคือตำแหน่งที่ติดตั้ง ความแรงสัญญาณ และช่องความถี่) ซึ่งทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณสมการสเกลาร์ (15) มีค่าสูงที่สุด ขั้นตอนการหาค่าตอบดังกล่าวสามารถอธิบายเป็นผังการทำงาน (Pseudo-Code) ดังนี้

Algorithm 1 Initialization algorithm

Input: Objective functions (f_1, f_2), weight coefficients w_1 and w_2

Number of base stations

Service area characteristics (# floors, size, wall materials)

Wireless user characteristics (user density, distribution, traffic profile)

Output: Initial network configuration specifying values of power level and frequency channel assigned to each base station

Step 1: Initialize parameters

$k = 1$ // place the first wireless base station (BS)

Step 2: while ($k \leq N$) do // Find parameters location, power level and frequency channel for b_k

For all $j \in B$ do

Place BS k at location j temporarily

For all $p \in P$ do

Assign power level p to BS k

For all $c \in H$ do

Assign frequency channel h to BS k

Compute the scalarizing function with BS k installed at j using p and c

Record the obtained value as $F_k(j,p,c)$

Select the maximum $F_k(j,p,c)$

Assign the optimal parameters (j,p,c) to BS k permanently

$k++$ // place the next BS

Step 3: Return the best solution found and stop

4.2 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Phase)

ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดใช้แนวทางการค้นหาแบบทาบู (Tabu search techniques) ซึ่งเป็นแนวทางที่พัฒนาและนำเสนอครั้งแรกโดย Glover [15] หลักการเบื้องต้นของการค้นหาแบบทาบูคือการใช้โครงสร้างความจำ (Memory structures) เป็นแนวทางในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะทำให้การค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการค้นหาแบบทาบูจะทำการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood) ของคำตอบปัจจุบัน โดยในระหว่างการค้นหานี้จะยอมให้เคลื่อนไปยังคำตอบที่แย่ลงได้เพื่อป้องกันการติดอยู่ที่คำตอบที่ดีที่สุดแบบท้องถิ่น (Local optima) นอกจากนี้การค้นหาแบบทาบูยังเพิ่มข้อจำกัดของคำตอบใกล้เคียงที่จะเคลื่อนไปได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการค้นหวนอยู่กับที่ โดยการใช้ข้อมูลจากโครงสร้างความจำของการค้นหาคำตอบที่ผ่านมาในการกำหนดข้อจำกัดดังกล่าว

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนา knowledge-based move operators [16] ซึ่งเป็นระบบข้อมูลและโครงสร้างความจำที่ช่วยในการค้นหาคำตอบใกล้เคียงอย่างมีประสิทธิภาพ หลักการทำงานก็คือการใช้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายช่วยในการนำทางการค้นหาคำตอบของวิธีทาบู โดยการกำหนดตัวแปรที่มีความน่าจะเป็นในการที่จะทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพการให้บริการเครือข่ายได้

ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนี้เริ่มต้นจากการประเมินคุณภาพเครือข่ายที่มีรูปแบบเครือข่ายตามที่หาได้จากขั้นตอนการกำหนดค่าเริ่มต้น (Initialization phase) การค้นหาแบบทาบูจะทำการกำหนดกลุ่มของคำตอบใกล้เคียงของคำตอบเริ่มต้น และเคลื่อนที่ไปยังคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มของคำตอบใกล้เคียงนั้นซึ่งไม่ติดข้อจำกัดใดๆ หลังจากนั้นก็จะทำการค้นหาในรอบต่อไปในลักษณะเดิม จนกระทั่งถึงจุดสิ้นสุดการค้นหาคำตอบตามที่ได้กำหนดไว้ ขั้นตอนการหาคำตอบดังกล่าวสามารถอธิบายเป็นผังการทำงาน (Pseudo-Code) ดังนี้

Algorithm 2 TS optimization algorithm

Input: Objective functions ($f1$, $f2$), weight coefficients w_1 and w_2

Number of base stations

Service area characteristics (# floors, size, wall materials)

Wireless user characteristics (user density, distribution, traffic profiles)

Initial network configuration

Output: Optimal network configuration (specifying base station parameters: locations, power levels, frequency channels)

Step 1: Set the current solution (s) = the initial network configuration

$i = 1$ // initialize the iteration number

Step 2: while ($i \leq \text{Max_iter}$) do // Exploring the neighborhood

2.1: Generate neighborhood of s denoted as $N(s)$ according to the specified neighborhood structure and the knowledge-based move operators.

2.2: Determine the best solution in $N(s)$ while taking into account the tabu status and the aspiration criteria. The evaluation function is given by the scalarizing function in Eq. (15).

2.3: Determine the tabu tenure which is randomly generated from the interval $[t_{\min}, t_{\max}]$ with uniform distribution. Update tabu status.

2.4: Update $s =$ the best solution in $N(s)$ and update the best-so far solution.

$i++$ // do the next iteration

Step 3: Return the best solution found and stop

5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือหัวข้อที่ 5.1 นำเสนอการทดลองและการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนัก หัวข้อที่ 5.2 นำเสนอการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของด้านหน้าพารेटโต และหัวข้อที่ 5.3 นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งในเครือข่าย

โดยในการทดลองพิจารณาพื้นที่ให้บริการของอาคารสี่ชั้นซึ่งประกอบไปด้วยห้องเรียน สำนักงาน ห้องปฏิบัติการ ห้องทำงานนักศึกษา และห้องสมุด แต่ละชั้นมีขนาดของพื้นที่กว้าง 21 เมตร ยาว 33 เมตร จุดทดสอบสัญญาณภายในพื้นที่ดังกล่าวกำหนดไว้ที่ความละเอียด 1×1 ตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 ในการทดลองนี้มีตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงได้ทั้งหมด 50 ตำแหน่ง ($|B| = 50$)

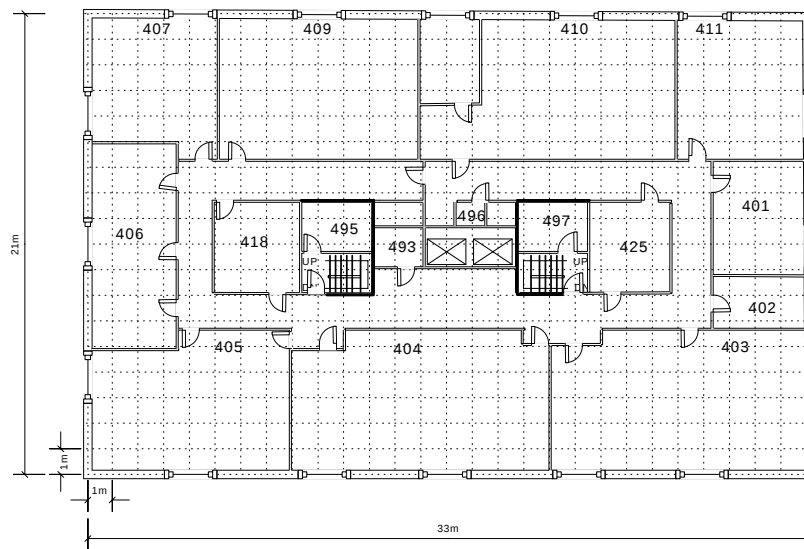
การให้บริการสื่อสารเครือข่ายไร้สายในการทดลองนี้พิจารณาการสื่อสารข้อมูล 3 ประเภท ($|T| = 3$) โดยการสื่อสารข้อมูลแต่ละประเภทต้องการค่าเฉลี่ยปริมาณงานอย่างน้อย 460 kbps, 260 kbps และ 80 kbps สำหรับการสื่อสารข้อมูลประเภทที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ รูปที่ 3 – 6 แสดงการกระจายตัวของผู้ใช้บริการภายในพื้นที่แต่ละชั้น โดยสัญลักษณ์ ● หมายถึง ผู้ใช้บริการที่ใช้บริการสื่อสารข้อมูลประเภทที่ 1 สัญลักษณ์ ▲ หมายถึง ผู้ใช้บริการที่ใช้บริการสื่อสารข้อมูลประเภทที่ 2 และสัญลักษณ์ ★ หมายถึง ผู้ใช้บริการที่ใช้บริการสื่อสารข้อมูลประเภทที่ 3

ตารางที่ 2 สรุปค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้ต้องการให้ความน่าจะเป็นของการครอบคลุมสัญญาณที่ขอบเซลล์มีค่า 95% ในกรณีนี้ใช้ค่า fading margin ที่ 5.75 dB ในการคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่รับได้ ซึ่งใช้แบบจำลองการสูญเสียสัญญาณแบบที่พิจารณาสิ่งกีดขวาง (Partition-dependent path loss model) โดยใช้ค่า path loss exponent ที่ 3.3 ระยะอ้างอิง (Reference distance) ที่ 1 เมตร [17] และใช้สายอากาศที่มีกำลังขยาย 2.5 dB

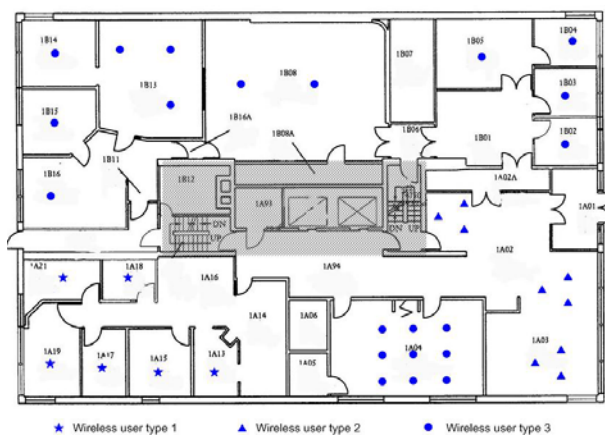
พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทาบูได้มาจากการทดสอบ และคัดเลือกค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบดีที่สุด โดยกำหนดให้จำนวนรอบการค้นหามากที่สุด (Max_iter) อยู่ที่ 150 รอบ กำหนดให้ tabu tenure มีค่าอยู่ระหว่าง [4, 8]

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

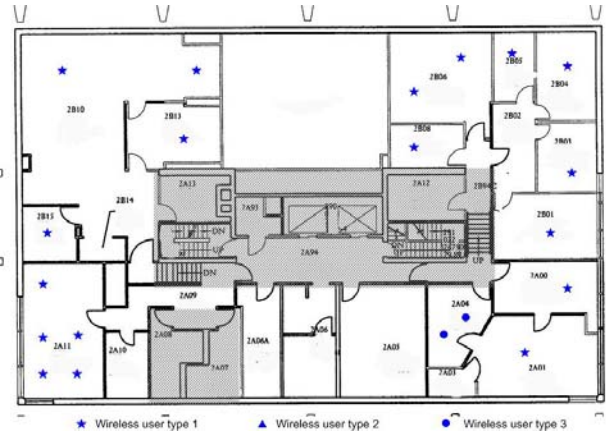
ตัวแปร	ค่าที่กำหนดให้
P	{0, 7, 13, 15, 17, 20, 24} หน่วย dBm
C	{2.412, 2.437, 2.462} หน่วย GHz
$P_{Rthreshold}$	-80 dBm
$SIR_{threshold}$	10 dB
R	54 kbps



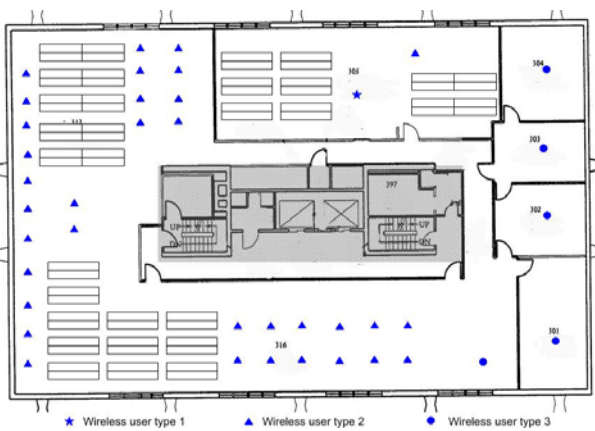
รูปที่ 2 จุดทดสอบสัญญาณภายในพื้นที่ทดลอง



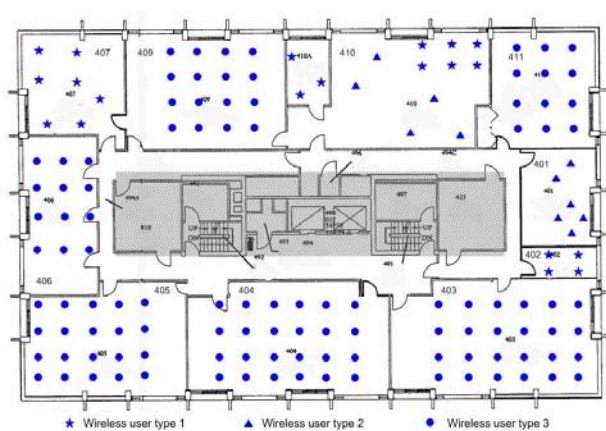
รูปที่ 3 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 1



รูปที่ 4 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 2



รูปที่ 5 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 3



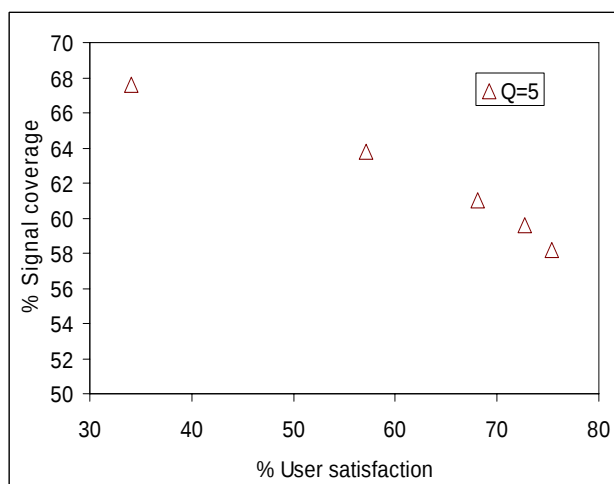
รูปที่ 6 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 4

5.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนัก

สมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีการใช้ตัวถ่วงน้ำหนัก w_1 และ w_2 โดยที่ w_1 เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของขนาดพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่าย ส่วน w_2 เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของค่าความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ ในหัวข้อนี้ ทำการศึกษาผลกระทบของค่าของตัวถ่วงน้ำหนักต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้จากการออกแบบ โดยทำการประมาณหน้าพาเรโตด้วยการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายด้วยการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักหลายๆชุด

โดยทำการประมาณค่าด้านหน้าพาเรโต (Pareto front approximation) ด้วยการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์หลายๆครั้ง โดยแต่ละครั้งใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกัน ซึ่งการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละค่าจะนำไปสู่จุดสูงสุดที่ต่างกันบนด้านหน้าพาเรโต ลักษณะดังกล่าวแสดงในผลการทดลองรูปที่ 3 ซึ่งได้จากการประเมินคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย 5 เครือข่าย โดยที่แต่ละเครือข่ายได้จากการออกแบบโดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันจำนวน 5 ชุด ($Q = 5$) ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักแต่ละชุดคำนวณได้จากสมการที่ (16) ในการทดลองชุดนี้ใช้จุดเข้าถึงจำนวนเจ็ดเครื่อง จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าจุดสูงสุดที่ปลายทั้งสองของด้านหน้าพาเรโตอยู่ที่ $f_1=67.6\%$, $f_2=34\%$ เมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1=1$, $w_2=0$ ในการออกแบบเครือข่าย และอยู่ที่ $f_1=58\%$, $f_2=75.4\%$ เมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1=0$, $w_2=1$ ในการออกแบบเครือข่าย

จากผลการทดลองสังเกตได้ว่า เมื่อตัวถ่วงน้ำหนัก w_2 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 1 ค่าความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นถึง 40% ในขณะที่ขนาดพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายลดลง 10% จะเห็นได้ว่าเมื่อเราพิจารณาประเด็นของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการเข้าไปในสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ทำให้เราสามารถปรับปรุงคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายในด้านของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการได้อย่างมาก แต่ก็มีข้อแลกเปลี่ยนคือจะทำให้บริเวณครอบคลุมสัญญาณเครือข่ายลดลงเล็กน้อย

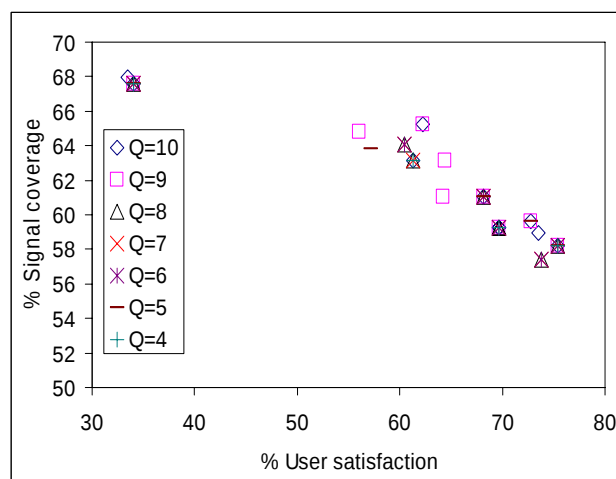


รูปที่ 7 ผลการทดลองเมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกัน ($Q=5$)

5.2 การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของด้านหน้าพาเรโต

หัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของด้านหน้าพาเรโตเมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกันในการสมการสเกลาร์ ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักคำนวณได้จากสมการที่ (16) โดยใช้ $Q = 4, 5, \dots, 10$ ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่าการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่คำนวณจาก Q แต่ละค่าจะได้ผลลัพธ์ของด้านหน้าพาเรโตที่ต่างกัน สังเกตได้ว่าจุดสูงสุดที่ได้กระจายตัวในบริเวณตรงกลาง เยื้องไปทางด้านล่างที่มุมขวา

จะเห็นว่าการที่เพิ่มการพิจารณาประเด็นเรื่องความพอใจในการใช้บริการเครือข่ายเข้าไปในสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่าย โดยที่ค่าถ่วงน้ำหนัก w_2 มีค่าเพียงเล็กน้อย ก็จะช่วยเพิ่มคุณภาพการให้บริการการสื่อสารขึ้นอย่างมาก ซึ่งเห็นได้จากกราฟที่จุดมุมบนด้านขวาซึ่งได้จากการออกแบบที่ใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1=1, w_2=0$ จุดสูงสุดนี้มีค่าวัตถุประสงค์ที่ประเมินได้คือ $f_1=67.6\%, f_2=34\%$ แต่เมื่อเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก w_2 เพียงเล็กน้อย โดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1=0.87, w_2=0.13$ ในสมการสเกลาร์เพื่อออกแบบเครือข่าย ทำให้ได้จุดสูงสุดที่มีค่า $f_1=64\%, f_2=56\%$ เห็นได้ว่าค่าความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นถึง 22% ในขณะที่พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายลดลงเพียง 3.6%



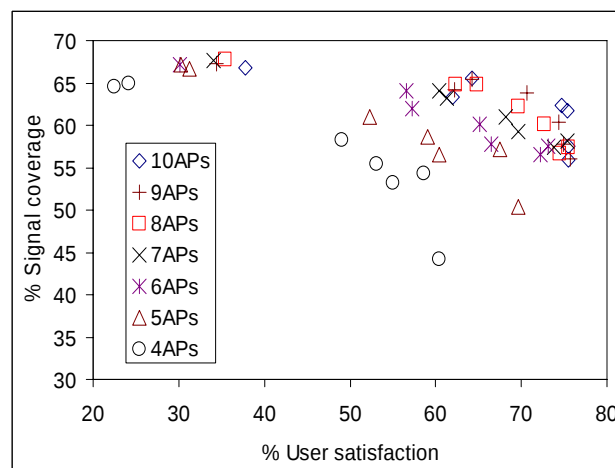
รูปที่ 8 ผลการทดลองเมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกัน ($Q=4,5,\dots,10$)

5.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งในเครือข่าย

หัวข้อนี้ทำการศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งในเครือข่ายต่อขนาดของพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ และความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยทำการทดลองใช้จุดเข้าถึงที่ต่างกัน ตั้งแต่ 4 เครื่อง จนถึง 10 เครื่อง และกำหนดให้ $Q = 7$ ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 9 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อจำนวนของจุดเข้าถึงเพิ่มขึ้นจาก 4 เครื่องเป็น 10 เครื่อง ค่าความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลเพิ่มเกือบ 20% ในขณะที่พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเพิ่มเพียง 3% เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง ทำให้ความจุของเครือข่ายเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถรองรับปริมาณข้อมูล

จากผู้ให้บริการได้มากขึ้น แต่การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงไม่ได้ปรับปรุงพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนช่องความถี่ที่สามารถใช้ได้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เพราะว่าการสร้างเครือข่ายไร้สายที่ประกอบด้วยหลายเซลล์ นั่นคือใช้จุดเข้าถึงมากกว่าหนึ่งเครื่อง จำเป็นต้องมีการใช้ช่องความถี่ที่ซ้ำกัน การที่มีการใช้ช่องความถี่ซ้ำกันมากๆ ทำให้สัญญาณจากจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกันรบกวนกันได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณที่แพร่กระจายในพื้นที่ให้บริการได้

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่าย นั่นคือเมื่อมีจำนวนจุดเข้าถึงมากขึ้น ค่าความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลจากผู้บริการก็สูงขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาเรื่องพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ จะเห็นว่าการเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง ทำให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงในเครือข่ายสามารถปรับปรุงความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลได้ และส่งผลต่อพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 9 ผลการทดลองเมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงที่ต่างกัน ตั้งแต่ 4 เครื่อง จนถึง 10 เครื่อง

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective approach) โดยพิจารณาประเด็นสำคัญของคุณภาพการให้บริการในสมการวัตถุประสงค์ของการออกแบบคือ เรื่องความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยประเมินจากปริมาณงานของเครือข่ายที่สามารถรองรับข้อมูลของผู้ใช้บริการได้ และเรื่องของคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในบริเวณที่ต้องการให้บริการสื่อสาร นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พัฒนาเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับพารามิเตอร์ของเครือข่ายโดยใช้แนวทางแบบศึกษาสำนึก (Heuristic optimization approach) ที่พัฒนาจากวิธีการค้นหาแบบทาบ (Tabu search techniques) ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนา knowledge-based move operators ซึ่งเป็นโครงสร้างข้อมูลและความจำที่ช่วยในการค้นหาตอบโต้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับวิธีการค้นหาแบบทาบ

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบโดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นพบว่า เทคนิคการออกแบบที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ทำให้ได้เครือข่ายที่มีคุณภาพการให้บริการดีทั้งในด้านความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยประเมินจากปริมาณงานของเครือข่ายที่สามารถรองรับข้อมูลของผู้ใช้บริการได้ และคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมในพื้นที่ของเครือข่าย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการพิจารณาประเด็นของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการเข้าไปในสมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแล้ว ทำให้เราสามารถปรับปรุงคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายในด้านของความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการได้อย่างมาก แม้จะมีข้อแลกเปลี่ยนคือทำให้บริเวณครอบคลุมสัญญาณเครือข่ายลดลงเล็กน้อย และจากการสืบค้นในฐานข้อมูลต่างๆพบว่างานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่น่าแนวทางการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์มาใช้ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาวิธีการออกแบบเครือข่ายไร้สายที่มีประสิทธิภาพต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการในเครือข่าย ร่วมกับการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลด้วย
2. ปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถทำงานได้แบบเวลาจริง เพื่อให้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของจุดเข้าถึงได้ตามการเปลี่ยนแปลงสถานะการใช้งานเครือข่าย ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนเทคนิคและวิธีการแบบศึกษาสำนึกให้เหมาะสมด้วย

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ (รายละเอียดในภาคผนวก)
 - C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Network Design and Optimization for Quality of Services in Wireless Local Area Networks using Multi-Objective Approach", WSEAS Transactions on Communications, vol. 7, no. 8, pp. 827-836, 2008.
 - C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Heuristic Approaches to the Multi-objective Network Design and Optimization for Wireless Data Networks", Lecture Notes in Computer Science on Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking, S. Balandin et al. (Eds.), vol. 6294, pp. 398-410, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงวิชาการ โดยได้มีการกล่าวถึงงานวิจัยและได้นำเสนอผลงานวิจัยบางส่วน ในรายวิชาการออกแบบและการประเมินสมรรถภาพเครือข่าย (Network Design and Performance Evaluation) ในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. อื่นๆ (การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ)

ผู้วิจัยได้ตีพิมพ์เผยแพร่และร่วมนำเสนอผลงานวิจัยที่การประชุมวิชาการนานาชาติ ดังนี้ (รายละเอียดในภาคผนวก)

 - C. Prommak "Multi-Objective Network Design and Optimization for Wireless Local Area Networks", Proc. of the 7th International Conference on Application of Electrical Engineering (AEE), pp. 21-27, 2008.

เอกสารอ้างอิง

1. E. Tangprasert and N. Wattanapongsakorn, "Multi-Objective Design and Optimization of Outdoor Wireless Lan System," The 21st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, 2006 pp. 625-628.
2. S. Kouhbor, J. Ugon, A. Kruger, and A. Ruginov, "Optimal Placement of Access Point in WLAN Based on a New Algorithm," The International Conference on Mobile Business, 2005.
3. M. Unbehauen and J. Zander, "Infrastructure Density and Frequency Reuse for User-Deployed Wireless LAN Systems at 17 GHz in an office environment," IEEE International Conference on Communications, 2001 pp. 2535-2539.
4. R. C. Rodrigues, G. R. Mateus, and A. A. F. Loureiro, "On the Design and Capacity Planning of a Wireless Local Area Network," IEEE Conference on Network Operations and Management Symposium, 2000 pp. 335-348.
5. X. Ling and K. Lawrence Yeung "Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2005 pp. 1583-1588.
6. "IEEE standard for information technology- telecommunications and information exchange between systems- local and metropolitan area networks- specific requirements Part II: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications," in IEEE Std 802.11g-2003, pp. i-67.
7. C. Prommak, J. Kabara, and D. Tipper, "Demand-based network planning for large scale WLANs," International Conference on Broadband Wireless Services and Applications, 2004.
8. Y. Sato and Y. Kera "Wireless Access Point Configuration by Genetic Algorithm using a Local Rule," IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2005 pp. 1516-1523.
9. S. Hurley, "Planning Effective Cellular Mobile Radio Networks," IEEE Transaction on Vehicular Technology, 2002 v.51 pp. 243-253.
10. R.M. Mathar and T. Niessen, "Optimum Positioning of Base Stations for Cellular Radio Networks," Wireless Networks, 2000 pp. 421-428.
11. K. Maksuriwong, V. Varavithya, and N. Chaiyaratana "Wireless LAN Access Point Placement using a Multi-Objective Genetic Algorithm," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2003 pp. 1944-1949.
12. T.M. Chan, K.F. Man, K.S. Tang, and S. Kwong "Optimization of Wireless Local Area Network in IC Factory using a Jumping-Gene Paradigm," The 3rd IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2005 pp. 773-778.
13. T.S. Rapaport, Wireless Communications, Second edition: Prentice-Hall, 1996.
14. Pallab Dasgupta, P. P. Chakrabarti and S. C. DeSarkar, Multiobjective heuristic search : an introduction to intelligent search methods for multicriteria optimization, GWV Vieweg Verlag, Germany, 1999.

15. Glover, F., Laguna, M., Tabu Search, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 1997.
16. C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Heuristic Approaches to the Multi-objective Network Design and Optimization for Wireless Data Networks", Lecture Notes in Computer Science on Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking, S. Balandin et al. (Eds.), vol. 6294, pp. 398-410, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
17. S.Y. Seidel and T.S. Rappaport, "Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multi-floored Buildings," IEEE Transactions on Antennas Propagation, pp. 207-217. IEEE Press, New York, 1992.

ภาคผนวก

1. บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

- C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Network Design and Optimization for Quality of Services in Wireless Local Area Networks using Multi-Objective Approach", WSEAS Transactions on Communications, vol. 7, no. 8, pp. 827-836, 2008.
- C. Prommak and N. Wattanapongsakorn, "Heuristic Approaches to the Multi-objective Network Design and Optimization for Wireless Data Networks", Lecture Notes in Computer Science on Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking, S. Balandin et al. (Eds.), vol. 6294, pp. 398-410, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.

2. บทความวิจัยที่ตีพิมพ์และนำเสนอที่การประชุมวิชาการนานาชาติ

- C. Prommak "Multi-Objective Network Design and Optimization for Wireless Local Area Networks", Proc. of the 7th International Conference on Application of Electrical Engineering (AEE), pp. 21-27, 2008.

Network Design and Optimization for Quality of Services in Wireless Local Area Networks using Multi-Objective Approach

CHUTIMA PROMMAK[†], NARUEMON WATTANAPONGSAKORN^{*}

Department of Telecommunication Engineering[†]
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, 30000

Department of Computer Engineering^{*}
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bangkok, 10140
THAILAND

cprommak@sut.ac.th[†], naruemon@cpe.kmutt.ac.th^{*}

Abstract: - A multi-objective wireless local area network (WLAN) design models have been developed to optimize the network quality of services. The proposed model combines three problems together, including the optimal access point placement, the frequency channel assignment and the power level assignment. In addition, it accounts for user population density in the service area, traffic demand characteristics and the physical structure of the service area. The design model aims to determine a network configuration that optimizes the network quality of services in term of the radio signal coverage and the data rate capacity to serve expected user traffic demand in the service area. Numerical results and sensitivity analysis is performed to analyze the improvement of the network performance. We found that when we incorporate the issue of the user data rate capacity in the design model, we can greatly improve the quality of service in term of data rate requirement while slightly degrading the signal coverage availability. It is observed that as the weight factor of the user data rate capacity objective increases from 0 to 1, the user satisfaction level increases about 40% while the signal coverage availability decreases about 10%.

Key-Words: - Multi-objective, Optimization, Network design, Wireless Local Area Networks

1 Introduction

With the continued growth and the expansion of the infrastructure-based Wireless Local Area Network (WLAN) deployments, efficient network design methods are required so that the resulting WLANs can provide high Quality of Services (QoS). An infrastructure network employs an access point (AP) for central control of the communication between wireless users participating in a Basic Service Set (BSS). A coverage area within which wireless users are free to move around and yet still remain connected to the AP is called a Basic Service Area (BSA) which covers an area ranging from 20 to 300 meters in radius depending on the transmitting power level and the radio propagation environments [1]. For large service regions, a cellular architecture with multiple BSAs can be used in which the APs are interconnected via a wired distribution infrastructure to form a single system called an Extended Service Set (ESS). Fig.1 illustrates an ESS where three BSAs exist. Note that some of BSAs in

the ESS can overlap. Recently research efforts using simulation tools [2] and analytical models [3-7] have been carried out to study performances and quality of services in WLANs. In this paper, we aim to solve the problem of laying out BSAs to cover a target region and achieve high quality of services. In particular, we aim to determine the optimal network

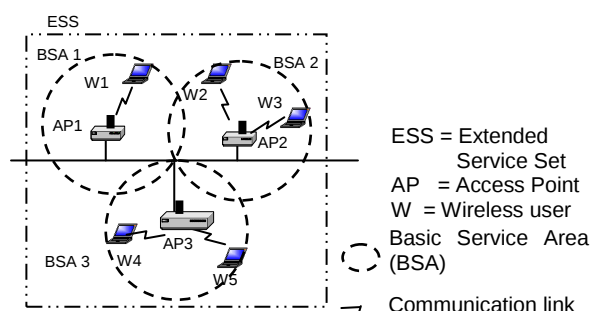


Fig.1 Infrastructure-based WLANs

configuration (i.e. the location, frequency channel and power level of each AP) in order to maximize the network quality of services in term of the radio signal coverage and the data rate capacity to serve expected user traffic demand in the service area.

The issue on the quality of signal in the target service areas and the concerns about the user data rate capacity are two important metrics to be accounted in determining the optimal network configuration. However, the majority of the published papers do not seek all three parameters of the network configuration and the attention is focused on either one of the design aspects. Traditional works focus on the AP placement problems. The design focus mainly on the signal quality aspect, aiming to maximize Signal to Noise Ratio (SNR) [8] or minimize path loss [9,10]. Other works [11,12] consider the frequency channel assignment problems for WLANs. Ref [11] aims at maximizing the total received signal strength whereas Ref. [12] aims at maximizing the coverage availability. Ref. [13] considers both the AP placement and the frequency assignment problems by maximizing data rate capacity of the network but not considering the signal coverage aspect.

In this paper we propose a multi-objective WLAN design approach, optimizing both the signal quality and the data rate capacity aspect to solve the AP placement, frequency channel and power level assignment problem. Moreover, the proposed model accounts for user population density in the service area, traffic demand characteristics and the physical structure of the service area.

The rest of the paper is organized as follows. The next section describes the problem definition of the WLAN design model and gives the mathematical formulation of the design model. Section 3 gives numerical results and discussion. Section 4 provides conclusions.

2 Problem Formulation

The task of WLAN design is to place a given number of access points (APs) in a service area that may be located on a single floor or range across multiple floors. The APs may be configured with different power levels and frequency channels. The power level and frequency channel of an AP, together with the environment specific path loss and an antenna radiation pattern, determines the region (called Basic Service Area (BSA)) in which the AP can support traffic demand to/from wireless users.

We propose a problem formulation for WLAN configuration design seeking the optimal location, frequency channel and power level of each AP in a

service area, in order to optimize the network quality objectives described below.

2.1 Network Quality Objectives

2.1.1 Radio Signal Coverage Objective

We consider signal quality in the proposed network design model because the service availability of the network depends on availability of the radio signal and the level of interferences in the area. To achieve a particular data transmission rate, wireless users must be within a certain range of the received signal strength and the SIR threshold. Thus, an important design objective is to maximize the signal coverage availability. We evaluate the signal coverage availability by defining Signal-Test-Points (STP) where the received signal strength and the SIR are assessed. To maximize the signal coverage availability is to maximize the number of STPs of which the received signal strength and the SIR level are greater than the specified threshold.

2.1.2 Data Rate Capacity Objective

As the user population grows and multimedia applications requiring higher data rate spread, the obtainable user data rate (throughput of each wireless users) becomes an essential concern in designing WLANs [1]. According to capacity analysis of the CSMA/CA protocol used in WLANs, the average user obtainable data rate can vary depending on the number of active wireless users on the AP. As the number of wireless users with active data transfer connections to a particular AP increases, the effective AP capacity decreases. Thus, the location of APs should be a function of the density characteristics of the wireless users as well.

Network trace studies [14-18] report that average obtainable user data rates does not depend merely on the number of wireless users existing in the service area, but also on the activity of users. Additionally, traffic volume in the network correlates with user behavior [14]. User behavior in turn correlates to the types of locations where users are situated and the major activities users typically pursue in those locations [14-18]. The following sections discuss the incorporation of information about characteristics of WLAN usage and traffic patterns into the design model.

2.2 Demand Node Representation

The demand node concept used in facility location problems describes the geographic pattern of demand for retail goods and services [23]. The concept was extended to wide-area wireless network design to represent the distribution of expected network traffic in a service area [19,20]. In

designing WLANs a demand node represents an individual prospective wireless user in a service area. The definition allows a designer to describe precisely the potential number of wireless users and their locations, in order to appropriately place APs to accommodate expected traffic demand. In WLANs, users communicate through APs using the CSMA/CA protocol in which users compete for channel access and share AP capacity. Therefore, information about the number of users is required to calculate an average user data rate whereas the information about user locations is needed to approximately assign users to an AP based on an acceptable radio signal level.

Network trace studies characterized the usage of WLANs in various environments such as on university campuses [15,17], in corporate office buildings [14], in academic building [18], and in a large auditorium [16]. Similarities exist in network usage characteristics among different network environments [14-18]. Traffic load at APs depends on users' level of data transfer activity in addition to the number of wireless users situated within the radio coverage area of APs. Network trace studies show a correlation between users' level of data transfer activity and locations where users are present [14-17].

In the proposed WLAN design model, a user activity level (α_t) accounts for the correlation between network usage characteristics and user locations. α_t is the percentage of wireless users in a sub-area of type t who are simultaneously active in data transfer through APs. Active users participate in medium contention to gain access to a communication channel and share AP capacity. We define three types of sub-areas: $t \in T = \{1, 2, 3\}$ where 1 denotes private sub-areas, such as offices, 2 denotes public sub-areas for unscheduled activities, such as student lounges, and 3 denotes public sub-areas for schedule-based activities, such as classrooms. The remaining user ($1 - \alpha_t$) are idle users who, although situated in a sub-area of type t , do not generate data transfer activity over the network at a particular time and therefore do not affect AP capacity [16]. An average user data rate requirement in sub-area of type t (R_t) imposes a desired link rate that should be available to active users in average.

2.3 Multi-Objective Problem Formulation

The WLAN configuration design problem is formulated as a Multi-Objective Problem (MOP), which combines two measures of network service qualities: radio signal coverage and data rate

capacity. MOP seeks an optimal network configuration, i.e. the optimal location, frequency channel and power level of each AP in a service area.

Let A denotes a set of APs used in the service area, where n is the total number of APs required. Let $\mathcal{Q}_j = \{p_j, f_j, (x_j, y_j, z_j)\}$ denote a set of decision variables which are parameters assigned to ap_j for $j = 1, 2, \dots, n$. p_j denotes the power level assigned to ap_j , f_j denotes the frequency channel assigned to ap_j , and (x_j, y_j, z_j) denotes the coordinate (x_j, y_j) on floor z_j where ap_j is located.

Let G denotes a set of signal test points (STPs) representing locations for testing the received signal strength and the SIR level. Each STP g_h refers to a coordinate in three-dimensional space (x_h, y_h, z_h) , where z_h is the floor where g_h is located.

Let U denotes a set of demand nodes where index t indicates the type of sub-area where demand node i is located. $U_t \subset U$ is a set of demand nodes in sub-area type t . The position of demand node i within the service area is denoted by (x_i, y_i, z_i) , where (x_i, y_i) is the coordinates on floor z_i where the demand node i is located.

The user activity level (α_t) and the average data rate requirement (R_t) specify the network usage characteristics of the demand node. The set of demand nodes together with the sub-area classification and parameters specifying network usage characteristics (α_t and R_t) are given as input to the design process.

Other decision variables include u_{ij}^t and g_{hj} . u_{ij}^t is a user association binary variable that equals 1 if demand node $i \in U$ associates to $ap_j \in A$; 0 otherwise. g_{hj} is a signal availability binary variable that equals 1 if STP $h \in G$ can receive a signal from $ap_j \in A$; 0 otherwise.

Let P is the set of candidate power levels (discrete values) for variable p_j . F is the set of candidate frequency channels for variable f_j and O is the set of candidate locations for AP placement.

Parameters in the design process are classified into static and dynamic parameters. Static parameters do not change during the design process because they depend solely on standard requirements and the characteristics of user activity in service area. Static parameters specifying the physical signal requirements (e.g., the received signal strength ($P_{Rthreshold}$) and the SIR level ($SIR_{threshold}$)), user profiles (e.g., the user activity level (α_t) and the average user data rate requirement (R_t)), and the data rate capacity of AP (C).

Dynamic parameters are recomputed each time a variable changes value during the design process.

Dynamic variables include received signal strength ($P_{R_{ij}}$), interference level ($Intf_{ij}$), and average obtainable data rate (r_i^t). The mathematical model of MOP for the WLAN design is written as follows:

Objectives:

1) Maximize signal coverage area

$$\text{Maximize } f_1 = \frac{\sum_{\forall h \in G} \sum_{\forall j \in A} g_{hj}}{|G|} \quad (1)$$

f_1 measures the signal coverage availability. It is the normalized number of STPs which the received signal strength and the SIR level are greater than the specified threshold.

2) Maximize user satisfaction

$$\text{Maximize } f_2 = \frac{\sum_{\forall t \in T} \left(\beta_t \times \left(\sum_{\forall j \in A} \sum_{\forall i \in U_t} u_{ij}^t \right) \right)}{\sum_{\forall t \in T} (\beta_t \times |U_t|)} \quad (2)$$

f_2 measures the user satisfaction level. It is the normalized number of users that can obtain the required data rate. β_t is a relative important weight of user type t . It is defined as the ratio of the required data rate of user type t to the maximum bit rate capacity of the AP, $\beta_t = \frac{R_t}{C}$.

Constraints:

$$\sum_{\forall j \in A} u_{ij}^t \leq 1, \forall i \in U \quad (3)$$

$$u_{ij}^t (P_{R_{ij}} - P_{R_{threshold}}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (4)$$

$$u_{ij}^t (P_{R_{ij}} - Intf_{ij} - SIR_{threshold}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (5)$$

$$u_{ij}^t (r_i^t - R_t) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (6)$$

$$g_{hj} (P_{R_{hj}} - P_{R_{threshold}}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in A \quad (7)$$

$$g_{hj} (P_{R_{hj}} - Intf_{hj} - SIR_{threshold}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in A \quad (8)$$

$$u_{ij}^t \in \{0,1\}, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (9)$$

$$g_{hj} \in \{0,1\}, \forall h \in G, \forall j \in A \quad (10)$$

Constraint (3) specifies that each user can associate to at most one AP. The decision variable u_{ij}^t can be equal to one if the received signal strength that user i received from the ap_j ($P_{R_{ij}}$ in dBm) and the SIR level with respect to the ap_j (the received signal strength ($P_{R_{ij}}$ in dBm) less the interference level ($Intf_{ij}$ in dBm)) meet the receiver sensitivity threshold ($P_{R_{threshold}}$) and the SIR threshold ($SIR_{threshold}$) as specified by constraint (4) and (5), respectively. In addition, when u_{ij}^t is equal to one, constraint (6) must be satisfied. It ensures that the average data rate available to wireless user i which is a type t user (r_i^t) is greater than the specified user data rate (R_t). The 802.11 capacity model and the user activity pattern correlated with the type of sub-areas where users locate are incorporated in this constraint to estimate the average data rate that the active wireless user can obtain [21,22]. u_{ij}^t is equal to zero otherwise. Constraints (7) and (8) assess the radio signal quality at the STP h , testing the received signal strength and the SIR level. The decision variable g_{hj} can be equal to one if the received signal strength at the STP h transmitted from the ap_j ($P_{R_{hj}}$) and the SIR level with respect to the ap_j (i.e., $P_{R_{hj}} - Intf_{ij}$) meet the received sensitivity threshold ($P_{R_{threshold}}$) and the SIR threshold ($SIR_{threshold}$). Otherwise, g_{hj} is equal to zero. Constraints (9) and (10) specify that variable u_{ij}^t and g_{hj} are binary $\{0, 1\}$ variables, respectively.

3 Numerical Results

Numerical experiments were conducted on the service area in the building with four floors. The building comprised of classrooms, offices, laboratories, student lounges, and a library. The dimension of each floor is 33m $\times$ 21m. The service area is divided into grids of size 1m $\times$ 1m as shown in fig.6. The grid points specify the STPs. In fig.7-10, the symbol $\bullet$ represents the demand nodes located in public areas for scheduled activities, the symbol $\blacktriangle$ represents the demand nodes located in public areas for unscheduled activities, and the symbol $\star$ represents the demand nodes located in private areas. User activity levels corresponding to each

sub-area type are based on studies showing that users in private sub-areas are the most active network users, followed by users in the public areas for unscheduled activities and then users of public areas for schedule-based activities [14-18]. Similarly, the average user data rates are taken from observed network usage characteristics [14-18]. Table 1 summarizes the network usage characteristics.

Table 2 summarizes the input parameters of the network design problem. The design aims for 95% coverage availability at the edge of AP coverage areas. In this case, a fading margin of 5.75 dB is applied in the signal coverage calculation.

We applied the proposed MOP to the WLAN configuration design for the four-story building. A scalarizing function (11) (a weighted sum of the objectives) is applied to convert a multi-objective problem to a single objective problem.

$$\text{Max } F = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (11)$$

The patching algorithm [13] is applied to solve the scalarizing function. The maximum point found is a particular point on the Pareto front. For example, in fig.2, F_i is a scalarizing function when using a weight set i (w_{1i}, w_{2i}). F_i^* is a single point on a feasible region boundary where the line defined by the weighted sum F_i is tangent. F_i^* is a particular point on the Pareto front that is the maximum of F_i .

3.1 Effects of weight factors

Sensitivity analysis is conducted to study effects of weight factors on the WLAN quality of service in term of the signal coverage availability and the user satisfaction level. In particular, we generate an approximated Pareto front by running the program many times using different weight sets. Each weight set converges to different maximum point on the Pareto front. The results plotted in fig. 3 demonstrate this behavior. The plotted is obtained by running the patching algorithm to solve the network design optimization five times, using five different weight sets ($Q = 5$) in which the weight values are spread equally as written in Eq. (12). We use seven APs in this experiment. The points in fig. 3 are the maximum points found with each set of weights. Two end of the front are at ($f_1=67.6\%$, $f_2=34\%$) and ($f_1=58\%$, $f_2=75.4\%$).

$$w_{1q} = (q-1)/(Q-1), \quad w_{2q} = 1 - w_{1q} \quad (12)$$

where $q = 1, 2, \dots, Q$,
 $Q = \text{the number of different weight sets}$

In fig.3, We can observe that as the w_{2q} increases from 0 to 1, the user satisfaction level increases about 40% whereas the signal coverage availability decreases about 10%. We can see that when we incorporate the issue of the data rate capacity in the design model, we can greatly improve the quality of service in term of data rate requirement while slightly degrading the signal coverage availability.

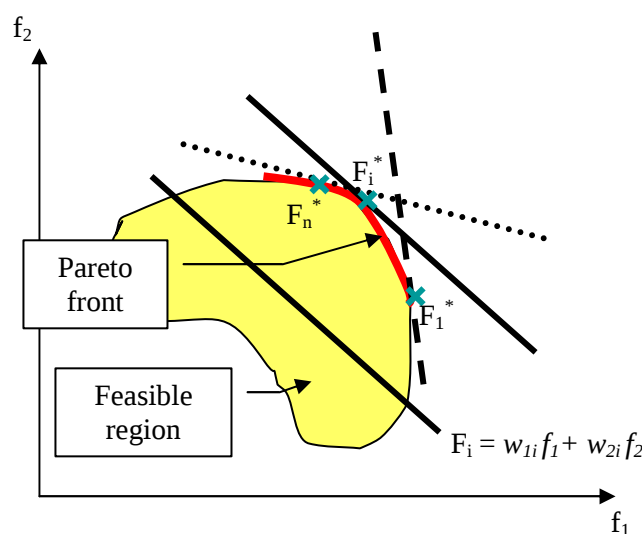


Fig.2 Weighted sum of the objectives and the Pareto front

3.2 Distribution of the Pareto front

We conduct another set of experiments using different values of Q to observe the distribution of the Pareto front. Fig. 4 presents the results obtained by using seven values of Q ($Q = 4, 5, \dots, 10$) to generate weight sets. The points found with a set of weights generated by each Q are depicted with a different shape. It can be observed that the points spread out more toward the middle and the lower right corner of the front. The upper left corner of the front is around ($f_1=67.6\%$, $f_2=34\%$) where the weight set is ($w_{1q}=1$, $w_{2q}=0$). We can draw a similar observation that slightly increasing value of w_{2q} can improve the user satisfaction level greatly while slightly degrading the signal coverage availability. For example, at the weight set of ($w_{1q}=0.87$, $w_{2q}=0.13$), the user satisfaction level increases 22% whereas the signal coverage availability reduces 3.6% (i.e., $f_1=64\%$, $f_2=56\%$).

3.3 Effects of the number of APs

The last set of experiments aims to study effects of the number of APs used in the network on the signal coverage availability and the user satisfaction level. The results of using different number of APs (4, 5, ..., 10) are plotted in fig.5. In this set of experiments, Q is equal to 7. The results show that the user satisfaction level is proportional to the number of APs. The more APs used in the network, the higher level of user satisfaction. Increasing the number of APs used in the network improves the user satisfaction level more than improving the signal coverage availability. It can be observed that as the number of APs increases from 4 to 10, the user satisfaction level increases almost 20% whereas the signal coverage availability increases about 3%. The reason is that the more APs used, the more capacity the network has for accommodating user traffic demand. Since a limited number of channels exist in the available frequency spectrum for an 802.11 WLAN, a multi-cell network deployment (using high number of APs) requires that some channels are reused. Reuse of frequency channels in neighbouring cells can cause interferences which affect the signal coverage availability in the service area.

4 Conclusion

This paper presents a novel mathematical model for a WLAN configuration design which is formulated as a Multi-Objective Problem that combines two

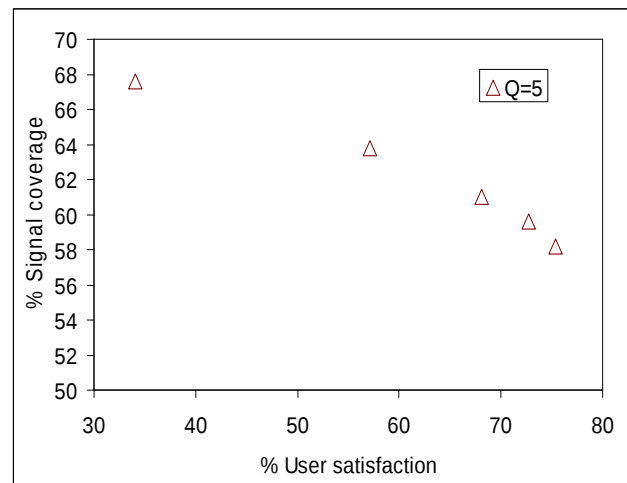


Fig.3 Results with different weight sets ($Q=5$)

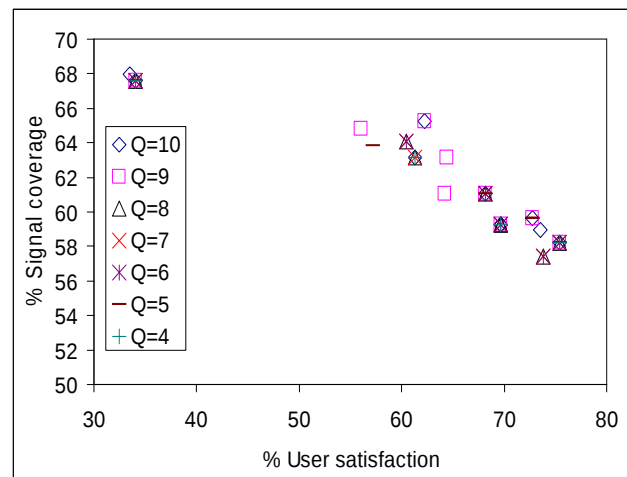


Fig.4 Results with different weight sets ($Q=4,5,\dots,10$)

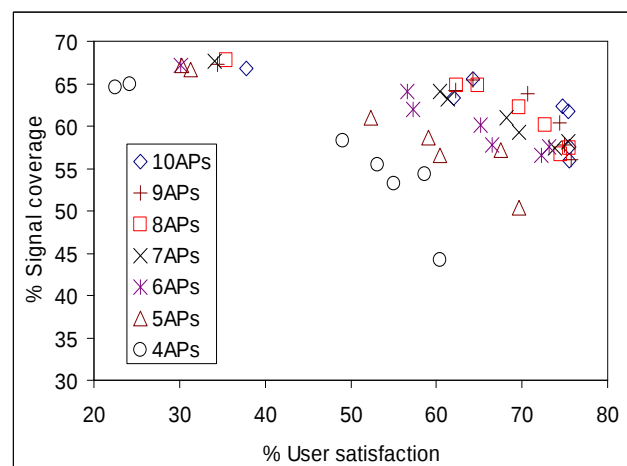


Fig.5 Results of using different number of APs

measures of network service qualities: radio signal coverage and data rate capacity. A scalarizing function is applied to convert a multi-objective problem to a single objective problem. Sensitivity analysis is conducted to study effects of weight factors on the WLAN quality of service in term of the signal coverage availability and the user satisfaction level. From numerical results we can conclude that incorporating the issue of the data rate capacity in the design model can greatly improve the quality of service in term of data rate requirement while slightly degrading the signal coverage availability.

Acknowledgment:

This work was supported by the Thailand Research Fund (Grant number MRG5080381).

References:

- [1] A. Hills, Large-scale wireless LAN design, *IEEE Communication Magazine*, Vol.39, 2001, pp. 98-104.
- [2] B. Aslam, M. Akhlaq and S. A. Khan, 802.11 Disassociation DoS attack Simulation Using Verilog, *WSEAS Transactions on Communications*, Issue 3, Vol. 7, March 2008, pp. 198-206.
- [3] X. Chen, H. Zhai, X. Tian and Y. Fang, Supporting QoS in IEEE 802.11e Wireless LANs, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 5, No. 8, August 2006, pp. 2217-2227.
- [4] J. Liu and Z. Niu, A Dynamic Admission Control Scheme for QoS Supporting in IEEE 802.11e EDCA, *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2007, pp. 3700-3705.
- [5] Y. Kuo, C. Lu, E.H. Wu, and G. Chen, An Admission Control Strategy for Differentiated Services in IEEE 802.11, *Proc. of the IEEE Global Telecommunications Conference*, Dec. 2003, Vol. 2, pp.707-712.
- [6] J.-S. Liu, Analysis of Burst Acknowledgement Mechanisms for IEEE 802.11e WLANs over Fading Wireless Channels, *WSEAS Transactions on Communications*, Issue 5, Vol. 7, May 2008, pp. 383-392.
- [7] J.-S. Liu, Achieving Weighted Fairness in IEEE 802.11-based WLANs: Models and Analysis, *WSEAS Transactions on Communications*, Issue 6, Vol. 7, June 2008, pp. 605-615.
- [8] E. Tangprasert and N. Wattanapongsakorn, Multi-Objective Design and Optimization of Outdoor Wireless Lan System, *Proc. of the 21st International Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, 2006, pp. 625-628.
- [9] S. Kouhbor, J. Ugon, A. Kruger, and A. Ruginov, Optimal Placement of Access Point in WLAN Based on a New Algorithm, *Proc. of the International Conference on Mobile Business*, 2005.
- [10] M. Unbehaun and J. Zander, Infrastructure Density and Frequency Reuse for User-Deployed Wireless LAN Systems at 17 GHz in an office environment, *Proc. of the IEEE International Conference on Communications*, 2001, pp. 2535-2539.
- [11] R. C. Rodrigues, G. R. Mateus, and A. A. F. Loureiro, On the Design and Capacity Planning of a Wireless Local Area Network, *Proc. of the IEEE Conference on Network Operations and Management Symposium*, 2000, pp. 335-348.
- [12] C. Prommak and B. Deeka, On the Analysis of the Optimal Frequency Planning for Wireless Local Area Networks, *Proc. of the 4th PSU Engineering Conference*, 2005, pp. 77-81.
- [13] X. Ling and K. Lawrence Yeung, Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs, *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2005, pp. 1583-1588.
- [14] M. Balazinska and P. Castro, Characterizing mobility and network usage in a corporate wireless local-area network, *Proc. of the International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services*, San Francisco, CA, USA, May 2003.
- [15] D. Kotz and K. Essien, Characterizing usage of a campus-wide wireless network, *Technical Report TR2002-423*, Department of Computer Science, Dartmouth College, March 2002.
- [16] A. Balachandran, G. M. Voelker, P. Bahl, and P. V. Rangan, Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN, *Proc. of the International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems*, June 2002.
- [17] D. Kotz and K. Essien, Analysis of a campus-wide wireless network, *the 8th International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, September 2002.
- [18] D. Tang and M. Baker, Analysis of a local-area wireless network, *the 6th International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, August 2000.
- [19] K. Tutschku, Demand-based radio network planning of cellular mobile communication

systems, *Proc. of the IEEE INFOCOM*, Vol. 3, 1998, pp. 1054-1061.

- [20] N. Weicker, G. Szabo, K. Weicker, and P. Widmayer, Evolutionary multiobjective optimization for base station transmitter placement with frequency assignment, *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, Vol. 7, 2003, pp. 189-203.
- [21] F. Cali, M. Conti, and E. Gregori, Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a

theoretical throughput limit, *IEEE/ACM Transactions on networking*, Vol. 8, 2000, pp. 785-799.

- [22] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, Performance Anomaly of 802.11b, *Proc. of the IEEE INFOCOM*, 2003.
- [23] Z. Drezner, Chapter 14, *Facility location: A survey of applications and methods*, 1995, pp. 301-330.

Table 1 Network usage characteristics

Sub-areas	User activity level	Average user data rate (Kbps)
Type 1: Private sub-areas (such as graduate student and library staff offices)	$\alpha_1 = 0.50$	$R_1 = 460$
Type 2: Public sub-areas for unscheduled activities (such as library study areas, student lounge)	$\alpha_2 = 0.40$	$R_2 = 260$
Type 3: Public sub-areas for schedule-based activities (such as classrooms, laboratories)	$\alpha_3 = 0.35$	$R_3 = 80$

Table 2 Network parameters used in the multi-objective optimization for WLAN design

Parameter	Definition	Value
Candidate set for Variables:		
P	Set of candidate power levels for variable p_i	{0, 7, 13, 15, 17, 20, 24} in dBm
F	Set of candidate frequency channels for variable f_j	{2.412, 2.437, 2.462} in GHz
Static Parameters:		
α_t	User active level defines percentage of wireless users in sub-area type t that are engaged in data transfer activities (i.e., participating in channel contention and sharing AP capacity)	See Table 1
R_t	Average user data rate requirement in sub-area type t	
$P_{Rthreshold}$	Received sensitivity threshold	-80 dBm
$SIR_{threshold}$	Signal to interference ratio threshold	10 dB
C	Data rate capacity of the ap_i for $\forall j \in A$	11 Kbps
Path loss Parameters:		
d_0	Reference distance d_0	1 meter
n	Path loss exponent	3.3
δ	Standard deviation representing shadow fading	3.5 dB
Antenna Parameters:		
G_{AZ}	Antenna gain (peak directivity)	2.5 dB

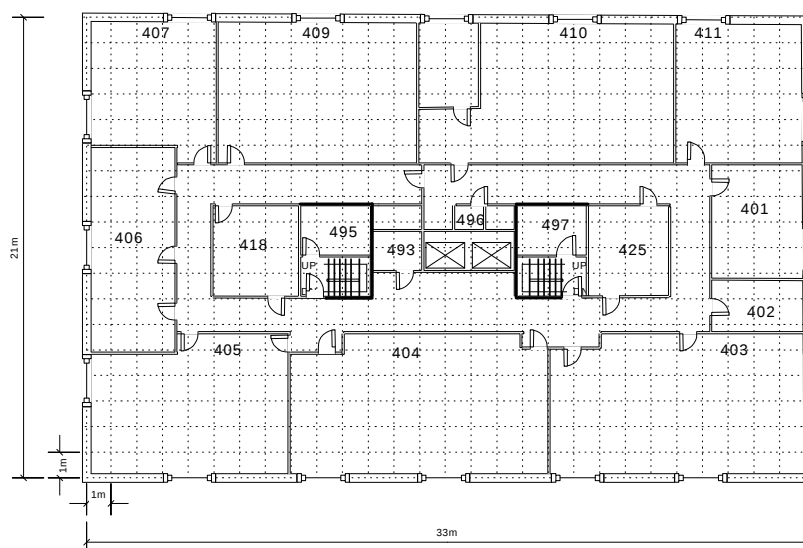
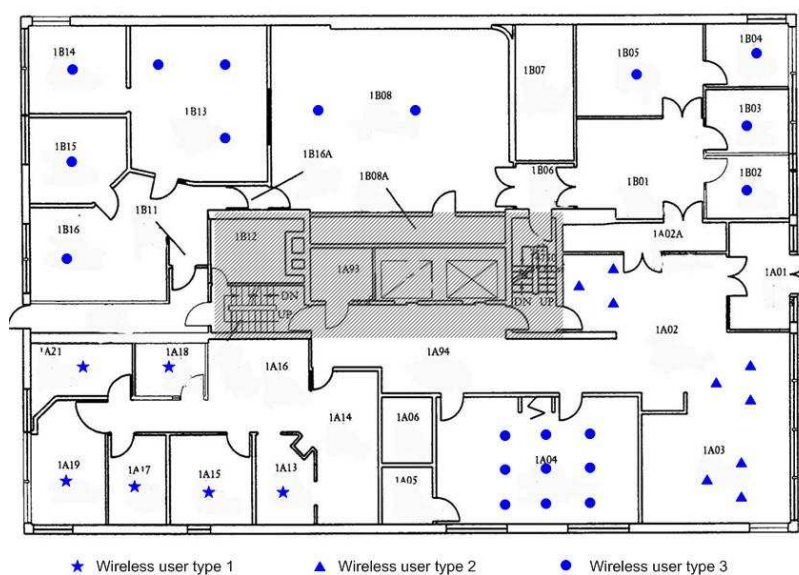
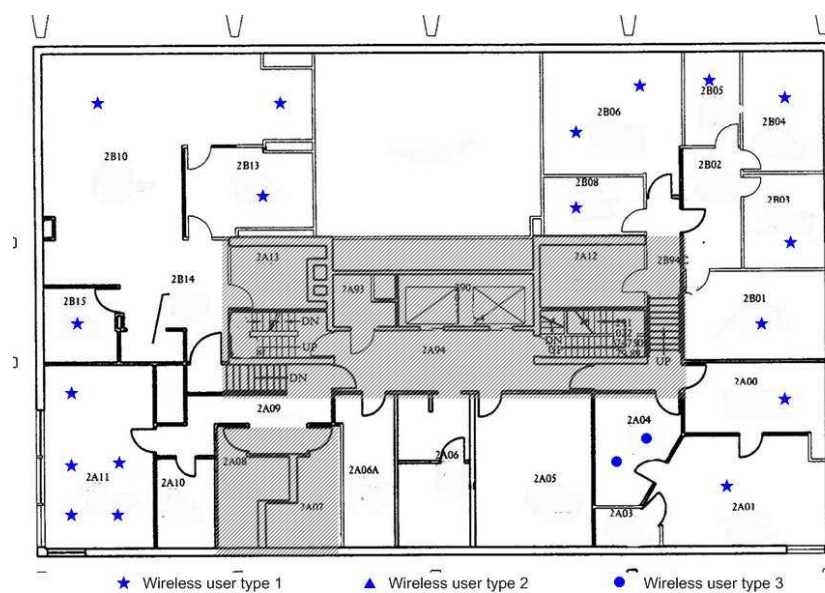


Fig.6 Grid point resolution of the service area

Fig.7 Service area (the 1st first floor)Fig.8 Service area (the 2nd second floor)

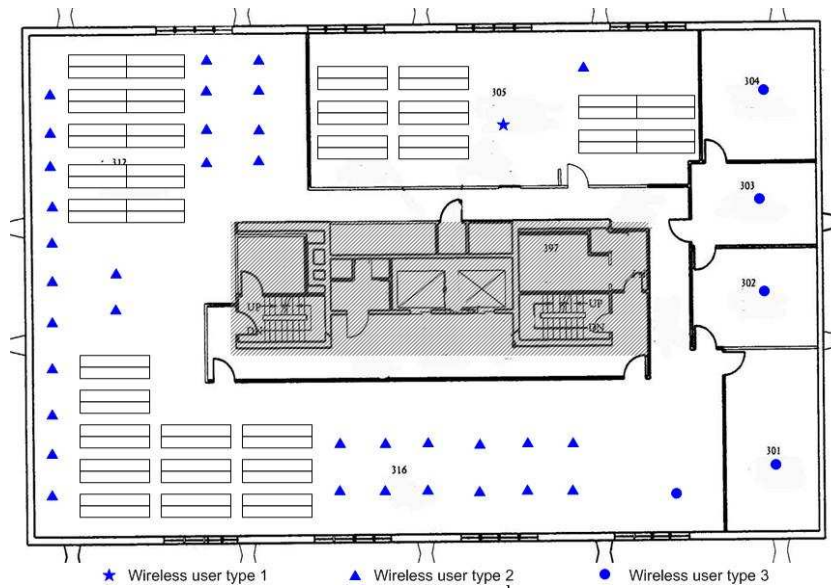


Fig.9 Service area (the 3rd third floor)

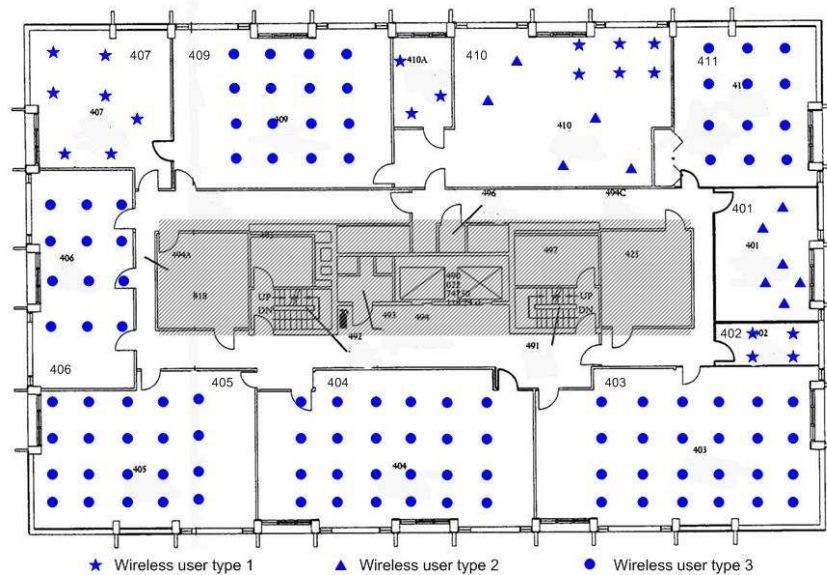


Fig.10 Service area (the 4th forth floor)

Heuristic Approaches to the Multi-objective Network Design and Optimization for Wireless Data Networks

Chutima Prommak¹ and Naruemon Wattanapongsakorn²

¹ School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima, Thailand

cprommak@sut.ac.th

² Department of Computer Engineering, King Mongkut's University of Technology
Thonburi, Bangkok, Thailand

naruemon@cpe.kmutt.ac.th

Abstract. In this paper, we present a multi-objective model for the wireless data network (WDN) design problem. The proposed model aims to determine the network configurations that optimize the network quality of services in term of the radio signal coverage and the network throughput availability to serve expected user traffic demand in the service area. The problem consists of the base station placement, the frequency channel assignment and the power level assignment. Since this problem is NP-hard, we develop a heuristic optimization techniques based on Tabu search algorithm to solve the problem. Numerical experiments were conducted to demonstrate the capability of the proposed multi-objective model and the heuristic algorithm.

Keywords: Multi-objective optimization, Heuristic techniques, Network design, Wireless data networks.

1 Introduction

Wireless data networks (WDN) have become potential solutions to bring broadband data access to users in area lacking of wired network infrastructure. Nowadays several wireless network technologies are available such as wireless local area networks (WLANs), UMTS networks and WiMAX networks. Efficient network design methods are required so that the resulting WDNs can provide high Quality of Services (QoS).

Several works in literature have devoted to the study of wireless network design problems. Some existing works consider the radio network design for the UMTS networks considering the base station placement problems by using a single objective function [1-6]. Several works consider the WLAN network design problems [7-12] and some works devote to the WiMAX network design problems [13-15]. Most works focus on the placement problems of the wireless base stations [7-8],[13-15]. The design mainly considers the signal quality aspect, aiming to maximize coverage area [7] or minimize path loss over the service area by using the convex combination of the

average path loss and the maximum path loss [8]. Some works focus on minimizing the network cost by minimizing the number of installed base stations [13-15]. Other works consider the frequency channel assignment problems for WLANs [9-10]. [9] aims at maximizing the total received signal strength whereas [10] aims at maximizing the coverage availability. In [11-12], the authors consider both the base station placement and the frequency assignment problems by maximizing throughput capacity of the network but not considering the signal quality aspect.

The majority of the published works in literatures have paid attention on either the base station placement problems or the frequency channel assignment problems with the objective to minimize the network cost or maximize signal coverage quality. While their contribution is significant, the existing network design methods do not simultaneously consider two important metrics, the signal coverage quality and the user data rate capacity, in the network design methods. For this reason, more efficient WDN design techniques are needed.

In this paper we propose the multi-objective design approach to the WDN design problem. We aim to optimize not only the signal coverage availability but also the user satisfaction level on the available network throughput. The proposed network design model considers three important problems including the wireless base station placement problem, the frequency channel and the power level assignment problem. Additionally, the proposed method accounts for user distribution characteristics and is general that it can be applied to different wireless network technologies.

The rest of the paper is organized as follows. The next section describes the problem definition of the WDN design model and gives the mathematical formulation of the design model. Section 3 describes the proposed heuristic solution techniques to solve the WDN design problems. Section 4 presents the numerical results and discussions. Finally, section 5 provides conclusions.

2 Problem Definition and Formulations

The WDN configuration design problem is formulated as a Multi-Objective Problem (MOP) model, which combines two measures of network service qualities: the radio signal coverage and the data rate capacity. MOP seeks an optimal network configuration, i.e. the optimal location, frequency channel and power level of each wireless base station in the service area.

Table 1 defines notations used in the model. The notations consist of sets, decision variables, and parameters. Parameters in the design process are classified into static and dynamic parameters. Static parameters do not change during the design process because they depend on standard requirements and the user traffic profiles. Static parameters specify the physical signal requirements, the Signal to Interference Ratio (SIR) level, the user traffic profiles and the base station capacity. Dynamic parameters are recomputed each time a variable changes value during the design process. Dynamic variables include the received signal strength, the interference level, and the average obtainable data rate. The mathematical formulation of MOP for the WDN design is written as follows:

Table 1. Notations used in the mathematical formulations

	Parameters	Definition
Sets:	U	Set of demand nodes (DNs)
	G	Set of signal test points (STPs)
	B	Set of candidate locations to install wireless base stations (BSs)
	P	Set of available power levels
	C	Set of available frequency channels
	T	Set of types of service levels
	U_t	A set of DNs with the service level type $t \bigcup_{\forall t \in T} U_t = U$
Decision variables:	p_j	Power level assigned to BS j
	c_j	Frequency channel assigned to BS j
	b_j	A site selection binary variable that equals 1 if site j is selected to install the wireless base station; 0 otherwise
	u_{ij}^t	A user association binary variable that equals 1 if DN $i \in U$ associates to BS j ; 0 otherwise
	g_{hj}	A signal availability binary variable that equals 1 if STP $h \in G$ can receive a signal from BS j ; 0 otherwise
Static parameters:	N	The number of wireless base stations to be installed in the service area
	R_t	The required network throughput for the service level type t
	$P_{Rthreshold}$	Received sensitivity threshold (dBm)
	$SIR_{threshold}$	Signal to interference ratio threshold (dB)
	W	Base station capacity (bps)
Dynamic parameters:	$P_{R_{ij}}(p_j, c_j, b_j)$	Received signal strength (in dBm) that DN i receives from BS at site j which uses power level p_j and frequency channel c_j
	$Intf_{ij}(p_j, c_j, b_j)$	Interference level (in dB) at DN i , when associating to BS at site j which uses power level p_j and frequency channel c_j
	r_i^t	Average network throughput available to DN i with the service level type t (in bps)

2.1 Objective Functions

The proposed WDN design aims to devise an optimal network configuration that maximizes the signal coverage availability and the user satisfaction level. These objectives are mathematically written as follows:

1) Maximize signal coverage availability

The first objective function (f_1) measures the signal coverage availability. It is the normalized number of signal test points (STPs) of which the received signal strength and the Signal to Interference Ratio (SIR) are greater than the specified threshold.

$$\text{Maximize } f_1 = \frac{\sum_{\forall h \in G} \sum_{\forall j \in A} g_{hj}}{|G|} \quad (1)$$

2) Maximize user satisfaction

The second objective function (f_2) measures the user satisfaction level. It is a normalized number of users that can obtain the required throughput. β_t is a relative important weight of the service level type t . It is defined as the ratio of the required throughput of the service level type t to the maximum capacity of the base station (BS), $\beta_t = R_t/W$.

$$\text{Maximize } f_2 = \frac{\sum_{\forall t \in T} \left(\beta_t \times \left(\sum_{\forall j \in A} \sum_{\forall i \in U_t} u_{ij}^t \right) \right)}{\sum_{\forall t \in T} (\beta_t \times |U_t|)} \quad (2)$$

2.2 Constraints

The network requirements, such as signal quality requirements and the base station capacity limitation, are incorporated into the mathematical model through the following constraints.

$$\sum_{\forall j \in B} u_{ij}^t \leq 1, \forall i \in U \quad (3)$$

$$u_{ij}^t (P_{R_{ij}}(p_j, c_j, b_j) - P_{R_{threshold}}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (4)$$

$$u_{ij}^t (P_{R_{ij}}(p_j, c_j, b_j) - \text{Intf}_{ij}^t(p_j, c_j, b_j) - \text{SIR}_{threshold}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (5)$$

$$u_{ij}^t (r_i^t - R_t) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (6)$$

$$g_{hj} (P_{R_{hj}}(p_j, c_j, b_j) - P_{R_{threshold}}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (7)$$

$$g_{hj} (P_{R_{hj}}(p_j, c_j, b_j) - \text{Intf}_{hj}^t(p_j, c_j, b_j) - \text{SIR}_{threshold}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (8)$$

$$u_{ij}^t \geq b_j, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (9)$$

$$g_{hj} \geq b_j, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (10)$$

$$\sum_{\forall j \in B} b_j \leq N \quad (11)$$

$$u_{ij}^t \in \{0, 1\}, \forall i \in U, \forall j \in B \quad (12)$$

$$g_{hj} \in \{0, 1\}, \forall h \in G, \forall j \in B \quad (13)$$

$$b_j \in \{0, 1\}, \forall j \in B \quad (14)$$

Constraint (3) specifies that each demand node (DN) can associate to at most one BS. The decision variable u_{ij}^t can be equal to one if the received signal strength that DN i received from BS at site j ($P_{R_{ij}}$ in dBm) and the SIR level with respect to BS at site j (the received signal strength ($P_{R_{ij}}$ in dBm) less the interference level ($Intf_{ij}$ in dBm)) meet the receiver sensitivity threshold ($P_{R_{threshold}}$) and the SIR threshold ($SIR_{threshold}$) as specified by constraint (4) and (5), respectively. In addition, when u_{ij}^t is equal to one, constraint (6) must be satisfied. It ensures that the average throughput available to DN i with the service level type t (r_i^t) is greater than the average network throughput requirement, R_t . The throughput analytical model is applied here to estimate an available network throughput, r_i^t . u_{ij}^t is equal to zero otherwise. Constraints (7) and (8) assess the radio signal quality at STP h , testing the received signal strength and the SIR level. The decision variable g_{hj} can be equal to one if the received signal strength at STP h transmitted from BS j ($P_{R_{ij}}$) and the SIR level with respect to BS at site j (i.e., $P_{R_{ij}} - Intf_{ij}$) meet the received sensitivity threshold ($P_{R_{threshold}}$) and the SIR threshold ($SIR_{threshold}$). Otherwise, g_{hj} is equal to zero. Constraints (9) and (10) specify that if DN i and STP h associate to BS at site j , BS must be installed at site j , i.e. b_j is equal to one. Constraint (11) specifies the maximum number of BS to be installed in the service area. Constraints (12), (13) and (14) specify that variable u_{ij}^t , g_{hj} and b_j are binary $\{0, 1\}$ variables.

2.3 Scalarizing Function

We convert the above multi-objective optimization problem into a scalar optimization problem using a scalarizing function written in Eq. (15).

$$\text{Maximize } F = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (15)$$

where w_1 and w_2 are the weight coefficients associated with the normalized objectives (1) and (2), respectively. The relationship between the weight coefficients is that, given $w_1, w_2 = 1 - w_1$. Solving the scalar optimization problem, the maximum point found is a particular point on the Pareto front corresponding to the weight coefficients used. For example, in fig.1, F_q is a scalarizing function when using a weight set q (w_{1q}, w_{2q}). F_q^* is a single point on a feasible region boundary where the line defined by the weighted sum F_q is tangent. F_q^* is a particular point on the Pareto front that is the maximum of F_q .

An approximated Pareto front can be generated by solving the MOP model many times using different weight sets. Each weight set converges to different maximum point on the Pareto front. Let Q be the total number of weight sets and q be the index number of the weight set. The weight values are spread equally. The values of the q^{th} weight set (w_{1q}, w_{2q}) are written in Eq. (16).

$$w_{1q} = (q-1)/(Q-1), \quad w_{2q} = 1 - w_{1q} \quad (16)$$

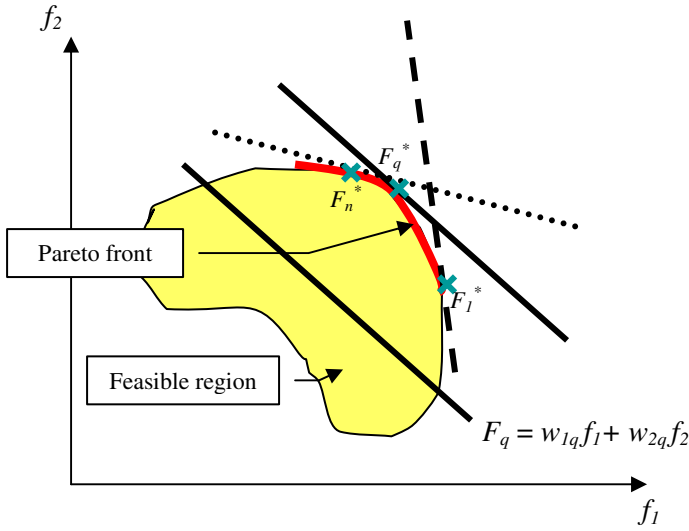


Fig. 1. Weighted sum of the objectives and the Pareto front

3 Heuristic Solution Techniques

This section presents a heuristic solution technique developed to solve the WDN design problem. The heuristic solution technique will determine the optimal network configuration specifying locations, power levels and frequency channels of the wireless base stations.

The overall framework of the heuristic solution technique consists of two phases, including the initialization and the optimization phase. The following sections describe the detailed implementation of each phase.

3.1 Initialization Phase

The initialization phase devises a good starting solution which provides initial values for wireless base stations' parameters. This phase uses a greedy based search technique to find the best solution that maximizes the scalarizing function in Eq. (15). The main idea is to place one wireless base station at a time and the process repeats until a pre-defined number of base stations are placed. In each iteration, the algorithm aims at deriving optimal parameters (site, power level, and frequency channel) for each base station. The algorithm works cumulatively in the way that the parameters of the new base stations are derived so that they, together with those already assigned base stations, can provide highest value of the scalarizing function, Eq. (15). The following shows the pseudo code of the initialization algorithm.

Algorithm 1. Initialization algorithm

Input: Objective functions ($f1, f2$), weight coefficients w_1 and w_2
 Number of base stations
 Service area characteristics (# floors, size, wall materials)
 Wireless user characteristics (user density, distribution, traffic profile)

Output: Initial network configuration specifying values of power level and frequency channel assigned to each base station

Step 1: Initialize parameters
 $k = 1$ // place the first wireless base station (BS)

Step 2: while ($k \leq N$) do // Find parameters location, power level and frequency channel for b_k
 For all $j \in B$ do
 Place BS k at location j temporarily
 For all $p \in P$ do
 Assign power level p to BS k
 For all $c \in H$ do
 Assign frequency channel h to BS k
 Compute the scalarizing function with BS k installed at j using p and c
 Record the obtained value as $F_k(j, p, c)$
 Select the maximum $F_k(j, p, c)$
 Assign the optimal parameters (j, p, c) to BS k permanently
 $k++$ // place the next BS

Step 3: Return the best solution found and stop

3.2 Optimization Phase

The optimization phase to solve the multi-objective WDN design problem is developed based on the Tabu Search (TS) heuristic. TS was first suggested by Glover [16]. The basic idea of TS is to use memory strategies to guide the search process so that the solution space can be explored efficiently. TS process finds the best solution in the neighborhood of the current solution. The search avoids trapping in the local optima by allowing moves resulting in a degradation of the value of the objective function. Additionally, TS imposes restrictions on the choices of neighbor solutions in order to prevent cycling of solutions during particular iterations. Restrictions are imposed by making reference to memory structures.

In this paper, we develop knowledge-based move operators providing the neighborhood information that helps facilitate the search process. The basic idea is to use information about the network quality of service to navigate the search space and to change the values of potential variables that can contribute to optimize the objective functions.

The optimization phase begins by evaluating the initial network configuration (initial solution) generated by the initialization phase. The TS evaluates the neighbor solutions of the initial solution and moves to the best unrestricted solution (the solution with the highest degree of the quality of service improvement) in the neighborhood. Then, the best unrestricted solution is regarded as the current solution during the following iteration and is evaluated. The process of neighborhood evaluation is repeated until the termination rule is reached. The following shows the pseudo code of the TS optimization algorithm.

Algorithm 2. TS optimization algorithm

Input: Objective functions ($f1, f2$), weight coefficients w_1 and w_2
 Number of base stations
 Service area characteristics (# floors, size, wall materials)
 Wireless user characteristics (user density, distribution, traffic profiles)
 Initial network configuration
Output: Optimal network configuration (specifying base station parameters: locations, power levels, frequency channels)

Step 1: Set the current solution (s) = the initial network configuration

$i = 1$ // initialize the iteration number

Step 2: while ($i \leq \text{Max_iter}$) do // Exploring the neighborhood

2.1: Generate neighborhood of s denoted as $N(s)$ according to the specified neighborhood structure and the knowledge-based move operators.

2.2: Determine the best solution in $N(s)$ while taking into account the tabu status and the aspiration criteria. The evaluation function is given by the scalarizing function in Eq. (15).

2.3: Determine the tabu tenure which is randomly generated from the interval $[t_{min}, t_{max}]$ with uniform distribution. Update tabu status.

2.4: Update $s =$ the best solution in $N(s)$ and update the best-so far solution.

$i++$ // do the next iteration

Step 3: Return the best solution found and stop

3.3 Neighborhood Structure and Knowledge-Based Move Operators

This section describes the neighborhood structure and the move operators developed in this paper to efficiently solve the multi-objective WDN design problem. Evaluating all solutions in the neighborhood can take a lot of computational time because each evaluation requires the computation of the received signal strength and the SIR levels at all signal test points (STPs). The number of STPs depends on the size of the service area and the grid spacing used. Moreover, the size of the neighborhood can be large, depending on the size of the candidate set of each variable.

To restrict the number of neighbor solutions examined in each iteration, we utilize the information about the quality of service status of the network to derive a set of potential neighbor solutions that are likely to lead the search to a better solution. The reason is that the current solution might violate some constraints or yield poor quality of services. In other words, signal strength and/or SIR level in some areas might be below the threshold and/or some wireless base stations might experience a traffic overload. The idea is to keep track of those location(s) where network performance is poor or does not meet the design requirements. This information is used to identify variables that should be adjusted to improve network performance based on the specified design criteria.

To manage the information about network quality of services, we divide the service area into a unit area (UA) where the performance information described below is evaluated and recorded. The reason that the performance information is managed per UA is to provide a good indicator about the locations of problems, in case those locations are spread across the service region. An example described later in this section will illustrate this scenario.

Table 2. Notations used in the neighborhood structure

Parameters	Definition
n_{UA}	Total number of UAs managed in the service area
G_i^{pr}	Set of STPs in UA_i where the received signal strength is below the threshold, for $i = 1, \dots, n_{UA}$
G_i^{SIR}	Set of STPs in UA_i where the SIR level is below the threshold, for $i = 1, \dots, n_{UA}$
B_i^{ov}	Set of base stations in UA_i that cannot provide the required average throughput to associated wireless users for $i = 1, \dots, n_{UA}$

For each UA_i , the following information is observed and recorded.

1. Information related to low signal strength grids
 - Center of gravity of STPs in G_i^{pr} (denoted by CoG_i^{pr})
 - The lowest received signal strength among STPs in G_i^{pr} (denoted by l_i^{pr})
 - Location of the STP with the lowest signal strength (denoted by Loc_i^{pr})
2. Information related to low SIR grids
 - $|G_i^{SIR}|$, Number of STPs in G_i^{SIR}
 - Average SIR level of all STPs in G_i^{SIR} (denoted by avg_i^{SIR})
 - Center of gravity of STPs in G_i^{SIR} (denoted by CoG_i^{SIR})
3. Information related to overload wireless base stations
 - B_i^{ov}
 - Center of gravity of the locations of wireless users assigned to $b^{ov} \in B_i^{ov}$ (denoted by $CoG_i^{b^{ov}}$) where b^{ov} denotes an overload wireless base station

Fig. 2 illustrates the performance information observed within the example service area. The red grids represent the STPs where signal strength is below the received sensitivity threshold. The red cross-circle represents the centers of gravity for those grids with low signal strength. The blue grids represent the STPs where SIR is below the acceptable threshold. The blue cross-circle represents the center of gravity for those grids with low SIR level. The small green circles represent those wireless users whose average data rate is below the required rate. The green cross-circle represents the center of gravity for those wireless users.

The neighbors of the current solution are obtained by adjusting parameters of BSs which are likely to result in the improvement of the network quality of services. The information about the network quality of services described previously is used to identify a set of potential BSs whose variables should be adjusted. Then derive a set of neighbor solutions.

To generate neighbors of the current solution, two types of move operators are developed. They include greedy moves and conservative moves. Each type deals with changing the power level, the frequency channel and the location of the potential BSs.

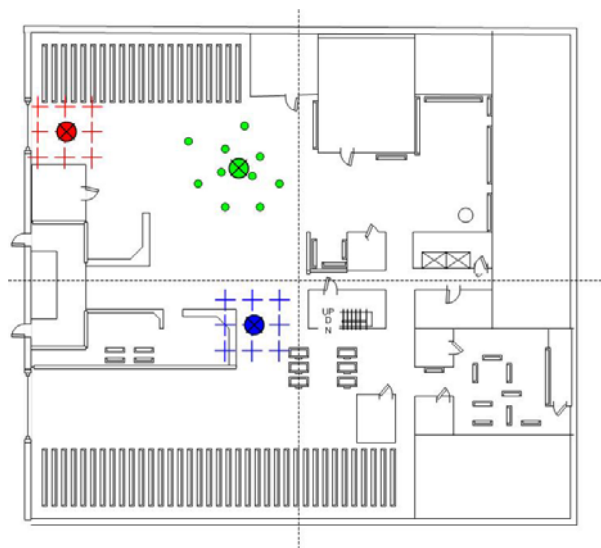


Fig. 2. Examples of performance information management

In greedy moves, parameters of all potential BSs are changed simultaneously. The advantage of this strategy is that the network performance in multiple areas can be improved in one iteration. This allows a fast convergence of the search. However, greedy moves can be too aggressive and cause unintended degradation of the network performance in some cases, especially when the search is approaching an optimal solution. Conservative moves overcome this problem by changing only one parameter of BS at a time. Another advantage of the conservative move strategy is that it allows the search to escape from those solutions in which the greedy moves could not derive any better solution.

4 Numerical Results and Discussions

This section demonstrates the numerical experiments of the wireless data network design. Here we consider a wireless local area network (WLAN) as an example of wireless data networks.

The numerical experiments were conducted on the service area of the building with four floors. The dimension of each floor is $33\text{m} \times 21\text{m}$. The service area is divided into grids of size $1\text{m} \times 1\text{m}$ where the grid points specify a set of STPs, G . We consider 50 candidate sites to install the wireless base stations (i.e., $|B| = 50$). These candidate sites were uniformly located in the building. We consider 300 DNs (i.e., $|U| = 300$) of which the locations were uniformly distributed in the service area. We consider three types of service levels (i.e., $|T| = 3$). Each service level requires different amount of bandwidths, including 460 kbps, 260 kbps and 80 kbps.

Table 3. Input parameters

Parameter	Value
P	{0, 7, 13, 15, 17, 20, 24} in dBm
C	{2.412, 2.437, 2.462} in GHz
$P_{Rthreshold}$	-80 dBm
$SIR_{threshold}$	10 dB
R	54 kbps

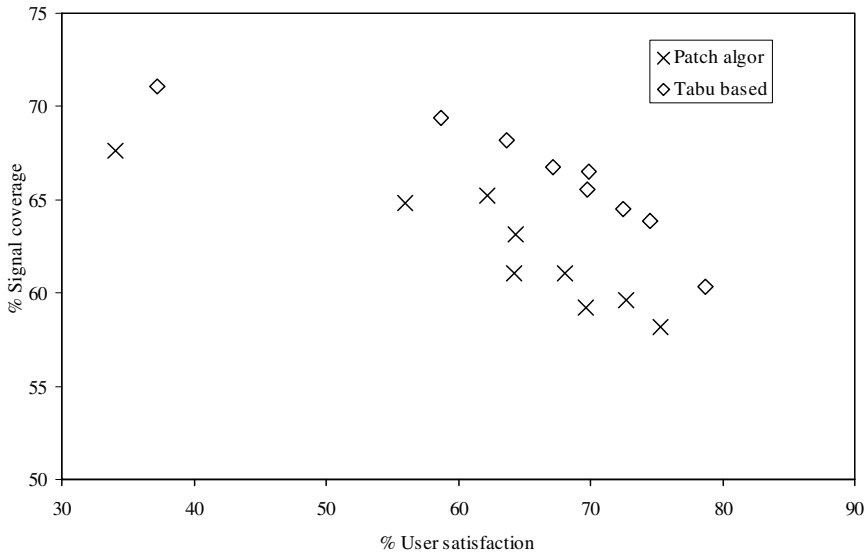


Fig. 3. Network quality comparison

Table 3 summarizes the input parameters of the network design problem. The design aims for 95% coverage availability at the edge of the signal coverage areas. In this case, a fading margin of 5.75 dB is applied in the signal coverage calculation which uses the partition-dependent path loss model with the path loss exponent of 3.3 and the reference distance of 1 m [17]. We consider the base stations using the antenna with gain 2.5 dB.

Parameters used in the TS optimization phase were selected from pilot studies that performed the best search. The Max_iter is set to 150. The tabu tenure $[t_{min}, t_{max}]$ is set to $[4, 8]$ and the number of unit areas, n_{UA} , is set to 8, i.e. 2s on each floor.

Fig. 3 plots the results obtained by using the patch algorithm [11] to solve the WDN design problem, compared with those using the proposed TS heuristic. The graph compares the network quality of services in term of the signal coverage availability and the user satisfaction level obtained by solving the problem nine times, using nine different weight sets ($Q = 9$). The points in fig. 3 are the maximum points found with different weight sets. The graph shows that the results obtained by the patch algorithm [11] are dominated by those obtained by the proposed TS heuristics. In other words, the propose TS heuristics can derive better network configurations

resulting in higher network quality of services in term of the user satisfaction level and the signal coverage availability.

Furthermore, it can be observed from fig. 3 that as the w_{2q} increases from 0 to 1 (from left to right), the user satisfaction level increases about 40% whereas the signal coverage availability decreases about 10%. Thus, incorporating the issues of the radio signal quality and the user satisfaction level into the design model can significantly improve the network quality of services in term of the user satisfaction level while slightly degrading the signal coverage availability. These prove an efficiency of the proposed MOP model for the WDN design.

5 Conclusions

In this paper, we have studied the wireless data network design problem and developed a multi-objective mathematical model to determine three important parameters of the network configuration, including the number of base stations, their locations, frequency channels and power levels. In addition, we proposed a heuristic solution techniques based on Tabu search algorithm to solve the problem.

Numerical results have shown that the proposed multi-objective network design model that incorporates the issues of the radio signal quality and the user satisfaction level into the design model can significantly improve the network quality of services in term of the user satisfaction level while slightly degrading the signal coverage availability. Furthermore, the results have shown that the proposed heuristic techniques could yield network configurations of which the network performances outperform that of the network configurations obtained by other techniques. The proposed multi-objective model and heuristic algorithms can be applied to solve the network design problems of different types of the wireless data networks. We currently investigate this direction.

Acknowledgment

This work was supported by the Thailand Research Fund (Grant number MRG5080381) and the Suranaree University of Technology.

References

1. Amaldi, E., Capone, A., Malucelli, F.: Optimizing UMTS Radio Coverage via Base Station Configuration. In: 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, vol. 1, pp. 315–319. IEEE Press, New York (2002)
2. Amaldi, E., Capone, A., Malucelli, F.: Planning UMTS Base Station Location: Optimization Models with Power Control and Algorithms. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 2(5), 939–952 (2003)
3. Zhang, J., Guo, L., Wu, J.Y.: An Integrated Approach for UTRAN Planning and Optimization. In: IEEE 59th Vehicular Technology Conference, vol. 4, pp. 2360–2364. IEEE Press, New York (2004)

4. Cardeiro, J., Correia, L.M.: Optimisation of Base Station Location in UMTS-FDD for Realistic Traffic Distributions. In: 17th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1–5. IEEE Press, New York (2006)
5. Yang, J., Aydin, M.E., Zhang, J., Maple, C.: UMTS Base Station Location Planning: a Mathematical Model and Heuristic Optimization Algorithms. *IET Communications* 1(5), 1007–1014 (2007)
6. Amara, S., Boujemaa, H., Siala, M.: Planning base station location for the UMTS network. In: 2nd International Conference on Signals, Circuits and Systems, pp. 1–6 (2008)
7. Kamenetsky, M., Unbehaun, M.: Coverage Planning for Outdoor Wireless LAN Systems. In: International Zurich Seminar on Broadband Communications, pp. 491–496 (2002)
8. Kouhbor, S., Ugon, J., Kruger, A., Ruginov, A.: Optimal Placement of Access Point in WLAN Based on a New Algorithm. In: International Conference on Mobile Business, pp. 592–598 (2005)
9. Rodrigues, R.C., Mateus, G.R., Loureiro, A.A.F.: On the Design and Capacity Planning of a Wireless Local Area Network. In: IEEE Conference on Network Operations and Management Symposium, New York, pp. 335–348. IEEE Press, New York (2000)
10. Prommak, C., Deeka, B.: On the Analysis of the Optimal Frequency Planning for Wireless Local Area Networks. In: 4th PSU Engineering Conference, pp. 77–81 (2005)
11. Ling, X., Yeung, K.L.: Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 5(10), 2705–2711 (2006)
12. Gondran, A., Baala, O., Caminada, A., Mabed, H.: Joint optimization of access point placement and frequency assignment in WLAN. In: 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia on Internet, pp. 1–5. IEEE Press, New York (2007)
13. Teterin, V., Hurley, S., Allen, S.M.: Optimizing Performance of WiMAX Networks Through Automated Site Selection. In: International Conference on Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting, pp. 28–29 (2007)
14. Mousavi, M., Chamberlanda, S., Quintero, A.: A New Approach for Designing WiMAX Networks. In: Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 487–490 (2007)
15. Teterin, V., Hurley, S., Allen, S.M.: A Staged Optimization Framework for Cost Optimized WiMAX Network Design. In: 4th International Conference on Wireless and Mobile Communications, pp. 185–190 (2008)
16. Glover, F., Laguna, M.: *Tabu Search*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht (1997)
17. Seidel, S.Y., Rappaport, T.S.: Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multi-floored Buildings. *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 207–217 (1992)

Multi-Objective Network Design and Optimization for Wireless Local Area Networks

CHUTIMA PROMMAK

Department of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology
111 University Road, Muang District, Nakhon Ratchasima, 30000 THAILAND
cprommak@sut.ac.th

Abstract: - This paper presents a multi-objective wireless local area networks design and optimization. The proposed model combines three problems together, including the optimal access point placement, the frequency channel assignment and the power level assignment. In addition, it accounts for user population density in the service area, traffic demand characteristics and the physical structure of the service area. The design model aims to determine a network configuration that optimizes the network quality of services in term of the radio signal coverage and the data rate capacity to serve expected user traffic demand in the service area. Numerical results and sensitivity analysis is performed to analyze the network quality of service.

Key-Words: - Multi-objective, Optimization, Network design, Wireless Local Area Networks

1 Introduction

With the continued growth and the expansion of the infrastructure-based Wireless Local Area Network (WLAN) deployments, efficient network design methods are required so that the resulting WLANs can provide high Quality of Services (QoS). An infrastructure network employs an access point (AP) for central control of the communication between wireless users participating in a Basic Service Set (BSS). A coverage area within which wireless users are free to move around and yet still remain connected to the AP is called a Basic Service Area (BSA) which covers an area ranging from 20 to 300 meters in radius depending on the transmitting power level and the radio propagation environments [1]. For large service regions, a cellular architecture with multiple BSAs can be used in which the APs are interconnected via a wired distribution infrastructure to form a single system called an Extended Service Set (ESS). Fig.1 illustrates an ESS where three BSAs exist. Note that some of BSAs in the ESS can overlap. In this paper, we aim to solve the problem of laying out BSAs to cover a target region and achieve high quality of services. In particular, we aim to determine the optimal network configuration (i.e. the location, frequency channel and power level of each AP) in order to maximize the network quality of services in term of the radio signal coverage and the data rate capacity to serve expected user traffic demand in the service area.

The issue on the quality of signal in the target service areas and the concerns about the user data rate capacity are two important metrics to be accounted in determining the optimal network

configuration. However, the majority of the published papers do not seek all three parameters of the network configuration and the attention is focused on either one of the design aspects. Traditional works focus on the AP placement problems. The design focus mainly on the signal quality aspect, aiming to maximize Signal to Noise Ratio (SNR) [2] or minimize path loss [3,4]. Other works [5,6] consider the frequency channel assignment problems for WLANs. Ref [5] aims at maximizing the total received signal strength whereas Ref. [6] aims at maximizing the coverage availability. Ref. [7] considers both the AP placement and the frequency assignment problems by maximizing data rate capacity of the network but not considering the signal coverage aspect.

In this paper we propose a multi-objective WLAN design approach, optimizing both the signal quality and the data rate capacity aspect to solve the AP placement, frequency channel and power level assignment problem. Moreover, the proposed model

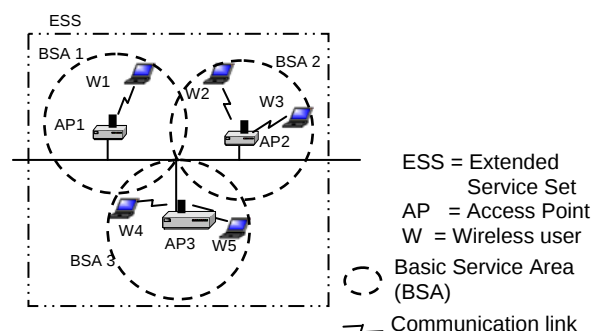


Fig.1 Infrastructure-based WLANs

accounts for user population density in the service area, traffic demand characteristics and the physical structure of the service area.

The rest of the paper is organized as follows. The next section describes the problem definition of the WLAN design model and gives the mathematical formulation of the design model. Section 3 gives numerical results and discussion. Section 4 provides conclusions.

2 Problem Definition and Formulation

We propose a problem formulation for WLAN configuration design seeking the optimal location, frequency channel and power level of each AP in a service area, in order to optimize the network quality objectives described below.

2.1 Network Quality Objectives

2.1.1 Radio Signal Coverage Objective

We consider signal quality in the proposed network design model because the service availability of the network depends on availability of the radio signal and the level of interferences in the area. To achieve a particular data transmission rate, wireless users must be within a certain range of the received signal strength and the SIR threshold. Thus, an important design objective is to maximize the signal coverage availability. We evaluate the signal coverage availability by defining Signal-Test-Points (STP) where the received signal strength and the SIR are assessed. To maximize the signal coverage availability is to maximize the number of STPs of which the received signal strength and the SIR level are greater than the specified threshold.

2.1.2 Data Rate Capacity Objective

As the user population grows and multimedia applications requiring higher data rate spread, the obtainable user data rate (throughput of each wireless users) becomes an essential concern in designing WLANs [1]. According to capacity analysis of the CSMA/CA protocol used in WLANs, the average user obtainable data rate can vary depending on the number of active wireless users on the AP. As the number of wireless users with active data transfer connections to a particular AP increases, the effective AP capacity decreases. Thus, the location of APs should be a function of the density characteristics of the wireless users as well.

Network trace studies [8-10] report that average obtainable user data rates does not depend merely on the number of wireless users existing in the service area, but also on the activity of users. Additionally, traffic volume in the network correlates with user

behavior [8]. User behavior in turn correlates to the types of locations where users are situated and the major activities users typically pursue in those locations [8-10].

We incorporate information about characteristics of WLAN usage and traffic patterns into the design model by using the demand node concept [11]. A user activity level α_t parameter accounts for the correlation between network usage characteristics and user locations. α_t is the percentage of wireless users in a sub-area of type t who are simultaneously active in data transfer through APs. Active users participate in medium contention to gain access to a communication channel and share AP capacity. We define three types of sub-areas: $t \in T = \{1, 2, 3\}$ where 1 denotes private sub-areas, such as offices, 2 denotes public sub-areas for unscheduled activities, such as student lounges, and 3 denotes public sub-areas for schedule-based activities, such as classrooms. The remaining user $(1 - \alpha_t)$ are idle users who, although situated in a sub-area of type t , do not generate data transfer activity over the network at a particular time and therefore do not affect AP capacity [10]. An average user data rate requirement in sub-area of type t (R_t) imposes a desired link rate that should be available to active users in average.

2.2 Multi-Objective Problem Formulation

The WLAN configuration design problem is formulated as a Multi-Objective Problem (MOP), which combines two measures of network service qualities: radio signal coverage and data rate capacity. MOP seeks an optimal network configuration, i.e. the optimal location, frequency channel and power level of each AP in a service area.

Let A denotes a set of APs used in the service area, where n is the total number of APs required. Let $\Omega_j = \{p_j, f_j, (x_j, y_j, z_j)\}$ denote a set of decision variables which are parameters assigned to ap_j for $j = 1, 2, \dots, n$. p_j denotes the power level assigned to ap_j . f_j denotes the frequency channel assigned to ap_j , and (x_j, y_j, z_j) denotes the coordinate (x_j, y_j) on floor z_j where ap_j is located. Let G denotes a set of signal test points (STPs) representing locations for testing the received signal strength and the SIR level. Each STP g_h refers to a coordinate in three-dimensional space (x_h, y_h, z_h) , where z_h is the floor where g_h is located. Let U denotes a set of demand nodes where index t indicates the type of sub-area where demand node i is located. $U_t \subset U$ is a set of demand nodes in sub-area type t . The position of demand node i within the service area is denoted by (x_i, y_i, z_i) ,

where (x_i, y_i) is the coordinates on floor z_i where the demand node i is located. The user activity level (α_t) and the average data rate requirement (R_t) specify the network usage characteristics of the demand node. The set of demand nodes together with the sub-area classification and parameters specifying network usage characteristics (α_t and R_t) are given as input to the design process. Other decision variables include u_{ij}^t and g_{hj} . u_{ij}^t is a user association binary variable that equals 1 if demand node $i \in U$ associates to $ap_j \in A$; 0 otherwise. g_{hj} is a signal availability binary variable that equals 1 if STP $h \in G$ can receive a signal from $ap_j \in A$; 0 otherwise. Let P is the set of candidate power levels (discrete values) for variable p_j . F is the set of candidate frequency channels for variable f_j and O is the set of candidate locations for AP placement.

Parameters in the design process are classified into static and dynamic parameters. Static parameters do not change during the design process because they depend solely on standard requirements and the characteristics of user activity in service area. Static parameters specifying the physical signal requirements (e.g., the received signal strength ($P_{Rthreshold}$) and the SIR level ($SIR_{threshold}$)), user profiles (e.g., the user activity level (α_t) and the average user data rate requirement (R_t)), and the data rate capacity of AP (C). Dynamic parameters are recomputed each time a variable changes value during the design process. Dynamic variables include received signal strength (P_{Rij}), interference level ($Intf_{ij}$), and average obtainable data rate (r_i^t). The mathematical model of MOP for the WLAN design is written as follows:

Objectives:

1) Maximize signal coverage area

$$\text{Maximize } f_1 = \frac{\sum_{h \in G} \sum_{j \in A} g_{hj}}{|G|} \quad (1)$$

f_1 measures the signal coverage availability. It is the normalized number of STPs which the received signal strength and the SIR level are greater than the specified threshold.

2) Maximize user satisfaction

$$\text{Maximize } f_2 = \frac{\sum_{t \in T} \left(\beta_t \times \left(\sum_{j \in A} \sum_{i \in U_t} u_{ij}^t \right) \right)}{\sum_{t \in T} (\beta_t \times |U_t|)} \quad (2)$$

f_2 measures the user satisfaction level. It is the normalized number of users that can obtain the required data rate. β_t is a relative important weight of user type t . It is defined as the ratio of the required data rate of user type t to the maximum bit rate capacity of the AP, $\beta_t = R_t / C$.

Constraints:

$$\sum_{j \in A} u_{ij}^t \leq 1, \forall i \in U \quad (3)$$

$$u_{ij}^t (P_{Rij} - P_{Rthreshold}) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (4)$$

$$u_{ij}^t (P_{Rij} - Intf_{ij} - SIR_{threshold}) \geq 0, \quad (5)$$

$$\forall i \in U, \forall j \in A$$

$$u_{ij}^t (r_i^t - R_t) \geq 0, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (6)$$

$$g_{hj} (P_{Rij} - P_{Rthreshold}) \geq 0, \forall h \in G, \forall j \in A \quad (7)$$

$$g_{hj} (P_{Rij} - Intf_{hj} - SIR_{threshold}) \geq 0, \quad (8)$$

$$\forall h \in G, \forall j \in A$$

$$u_{ij}^t \in \{0, 1\}, \forall i \in U, \forall j \in A \quad (9)$$

$$g_{hj} \in \{0, 1\}, \forall h \in G, \forall j \in A \quad (10)$$

Constraint (3) specifies that each user can associate to at most one AP. The decision variable u_{ij}^t can be equal to one if the received signal strength that user i received from the ap_j (P_{Rij} in dBm) and the SIR level with respect to the ap_j (the received signal strength (P_{Rij} in dBm) less the interference level ($Intf_{ij}$ in dBm)) meet the receiver sensitivity threshold ($P_{Rthreshold}$) and the SIR threshold ($SIR_{threshold}$) as specified by constraint (4) and (5), respectively. In addition, when u_{ij}^t is equal to one, constraint (6) must be satisfied. It ensures that the average data rate available to wireless user i which is a type t user (r_i^t) is greater than the specified user data rate (R_t). The 802.11 capacity model and the user activity pattern correlated with the type of sub-areas where users locate are incorporated in this constraint to estimate the average data rate that the active wireless user can obtain [12]. u_{ij}^t is equal to zero otherwise. Constraints (7) and (8) assess the radio signal quality at the STP h , testing the received signal

strength and the SIR level. The decision variable g_{hj} can be equal to one if the received signal strength at the STP h transmitted from the ap_j ($P_{R_{hj}}$) and the SIR level with respect to the ap_j (i.e., $P_{R_{hj}} - Intf_{ij}$) meet the received sensitivity threshold ($P_{R_{threshold}}$) and the SIR threshold ($SIR_{threshold}$). Otherwise, g_{hj} is equal to zero. Constraints (9) and (10) specify that variable u_{ij}^t and g_{hj} are binary $\{0, 1\}$ variables, respectively.

3 Numerical Results

Numerical experiments were conducted on the service area in the building with four floors. The building comprised of classrooms, offices, laboratories, student lounges, and a library. The dimension of each floor is $33\text{m} \times 21\text{m}$. The service area is divided into grids of size $1\text{m} \times 1\text{m}$. The grid points specify the STPs. In fig.5-8, the symbol $\bullet$ represents the demand nodes located in public areas for scheduled activities, the symbol $\blacktriangle$ represents the demand nodes located in public areas for unscheduled activities, and the symbol $\star$ represents the demand nodes located in private areas. User activity levels corresponding to each sub-area type are based on studies showing that users in private sub-areas are the most active network users, followed by users in the public areas for unscheduled activities and then users of public areas for schedule-based activities [8-10]. Similarly, the average user data rates are taken from observed network usage characteristics [8-10]. Table 1 summarizes the network usage characteristics.

Table 2 summarizes the input parameters of the network design problem. The design aims for 95% coverage availability at the edge of AP coverage areas. In this case, a fading margin of 5.75 dB is applied in the signal coverage calculation.

We applied the proposed MOP to the WLAN configuration design for the four-story building. A scalarizing function (11) (a weighted sum of the objectives) is applied to convert a multi-objective problem to a single objective problem.

$$\text{Max } F = w_1 f_1 + w_2 f_2 \quad (11)$$

The patching algorithm [7] is applied to solve the scalarizing function. The maximum point found is a particular point on the Pareto front. For example, in fig.2, F_i is a scalarizing function when using a weight set i (w_{1i}, w_{2i}). F_i^* is a single point on a feasible region boundary where the line defined by the weighted sum F_i is tangent. F_i^* is a particular point on the Pareto front that is the maximum of F_i .

Sensitivity analysis is conducted to study effects of weight factors on the WLAN quality of service in term of the signal coverage availability and the user satisfaction level. In particular, we generate an approximated Pareto front by running the program many times using different weight sets. Each weight set converges to different maximum point on the Pareto front. The results plotted in Fig. 3 demonstrate this behavior. The plotted is obtained by running the patching algorithm to solve the network design optimization five times, using five different weight sets ($Q = 5$) in which the weight values are spread equally as written in Eq. (12). We use seven APs in this experiment. The points in Fig. 3 are the maximum points found with each set of weights. Two end of the front are at ($f_1=34\%$, $f_2=67.6\%$) and ($f_1=75.4\%$, $f_2=58\%$).

$$w_{1q} = (q-1)/(Q-1), \quad w_{2q} = 1 - w_{1q} \quad (12)$$

where $q = 1, 2, \dots, Q$,

$Q =$ the number of different weight sets

In fig.3, We can observe that as the w_{2q} increases from 0 to 1, the user satisfaction level increases about 40% while the signal coverage availability decreases about 10%. We can see that when we incorporate the issue of the data rate capacity in the design model, we can greatly improve the quality of service in term of data rate requirement while slightly degrading the signal coverage availability.

We conduct another set of experiments using different values of Q to observe the distribution of the Pareto front. Fig. 4 presents the results obtained by using seven values of Q ($Q = 4, 5, \dots, 10$) to generate weight sets. The points found with a set of weights generated by each Q are depicted with a different shape. It can be observed that the points spread out more toward the middle and the lower right corner of the front. The upper left corner of the front is around ($f_1=67.6\%$, $f_2=34\%$) where the weight

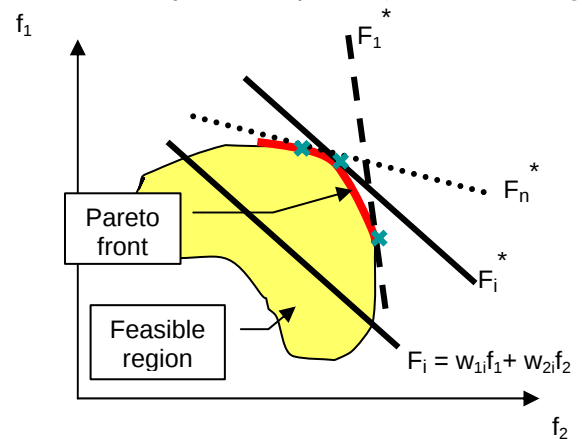


Fig.2 Weighted sum of the objectives and the pareto front

set is ($w_{1q}=1$, $w_{2q}=0$). We can draw a similar observation that slightly increasing value of w_{2q} can improve the user satisfaction level greatly while slightly degrading the signal coverage availability. For example, at the weight set of ($w_{1q}=0.87$, $w_{2q}=0.13$), the user satisfaction level increases 22% whereas the signal coverage availability reduces 3.6% (i.e., $f_1=64\%$, $f_2=56\%$).

4 Conclusion

This paper presents a novel mathematical model for a WLAN configuration design which is formulated as a Multi-Objective Problem that combines two measures of network service qualities: radio signal coverage and data rate capacity. A scalarizing function is applied to convert a multi-objective problem to a single objective problem. Sensitivity analysis is conducted to study effects of weight factors on the WLAN quality of service in term of the signal coverage availability and the user satisfaction level. From numerical results we can conclude that incorporating the issue of the data rate capacity in the design model can greatly improve the quality of service in term of data rate requirement while slightly degrading the signal coverage availability.

Acknowledgment:

This work was supported by the Thailand Research Fund (Grant number MRG5080381).

References:

- [1] A. Hills, "Large-scale wireless LAN design," *IEEE Communication Magazine*, vol. 39, pp. 98-104, 2001.
- [2] E. Tangprasert and N. Wattanapongsakorn, "Multi-Objective Design and Optimization of Outdoor Wireless Lan System," *The 21st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications*, 2006 pp. 625-628
- [3] S. Kouhbor, J. Ugon, A. Kruger, and A. Ruginov, "Optimal Placement of Access Point in WLAN Based on a New Algorithm," *The International Conference on Mobile Business*, 2005.
- [4] M. Unbehauen and J. Zander, "Infrastructure Density and Frequency Reuse for User-Deployed Wireless LAN Systems at 17 GHz in an office environment," *IEEE International Conference on Communications*, 2001 pp. 2535-2539.
- [5] R. C. Rodrigues, G. R. Mateus, and A. A. F. Loureiro, "On the Design and Capacity Planning of a Wireless Local Area Network," *IEEE Conference on Network Operations and Management Symposium*, 2000 pp. 335-348.
- [6] C. Prommak and B. Deeka, "On the Analysis of the Optimal Frequency Planning for Wireless Local Area Networks", *The Fourth PSU Engineering Conf. (PEC-4)*, pp. 77-81, December 2005
- [7] X. Ling and K. Lawrence Yeung "Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs," *IEEE Wireless Communications and Networking Conf.*, pp. 1583-1588, 2005.
- [8] M. Balazinska and P. Castro, "Characterizing mobility and network usage in a corporate wireless local-area network," *International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys'03)*, San Francisco, CA, USA, May 2003.
- [9] D. Kotz and K. Essien, "Characterizing usage of a campus-wide wireless network," Department of Computer Science, Dartmouth College *Technical Report TR2002-423*, March 2002.
- [10] A. Balachandran, G. M. Voelker, P. Bahl, and P. V. Rangan, "Characterizing user behavior and network performance in a public wireless LAN," *ACM SIGMETRICS'02*, June 2002.
- [11] K. Tutschku, "Demand-based radio network planning of cellular mobile communication systems," *INFOCOM 98*, vol. 3, pp. 1054-1061, 1998.
- [12] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, and A. Duda, "Performance Anomaly of 802.11b," *INFOCOM*, April 2003.

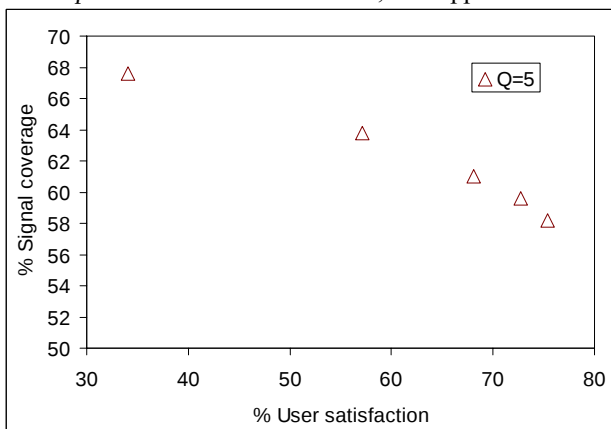


Fig.3 Results with different weight sets (Q=5)

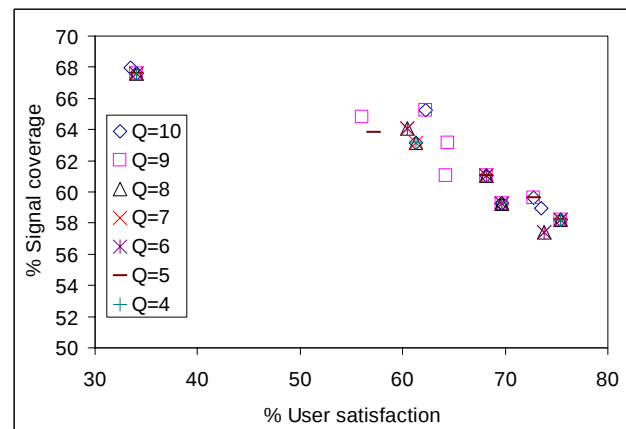


Fig.4 Results with different weight sets (Q=4,5,...,10)

Table 1 Network usage characteristics

Sub-areas	User activity level	Average user data rate (Kbps)
Type 1: Private sub-areas	$\alpha_1 = 0.50$	$R_1 = 460$
Type 2: Public sub-areas for unscheduled activities	$\alpha_2 = 0.40$	$R_2 = 260$
Type 3: Public sub-areas for schedule-based activities	$\alpha_3 = 0.35$	$R_3 = 80$

Table 2 Network parameters used in the multi-objective optimization for WLAN design

Parameter	Definition	Value
Candidate set for Variables:		
P	Set of candidate power levels for variable p_i	$\{0, 7, 13, 15, 17, 20, 24\}$ in dBm
F	Set of candidate frequency channels for variable f_i	$\{2.412, 2.437, 2.462\}$ in GHz
Static Parameters:		
α_t	User active level	See Table 1
R_t	Average user data rate requirement in sub-area type t	
$P_{Rthreshold}$	Received sensitivity threshold	-80 dBm
$SIR_{threshold}$	Signal to interference ratio threshold	10 dB
C	Data rate capacity of the ap_i for $\forall j \in A$	11 Kbps
Path loss Parameters:		
d_0	Reference distance d_0	1 meter
n	Path loss exponent	3.3
δ	Standard deviation representing shadow fading	3.5 dB
Antenna Parameters:		
G_{AZ}	Antenna gain (peak directivity)	2.5 dB



Fig.5 Service area (the 1st first floor)

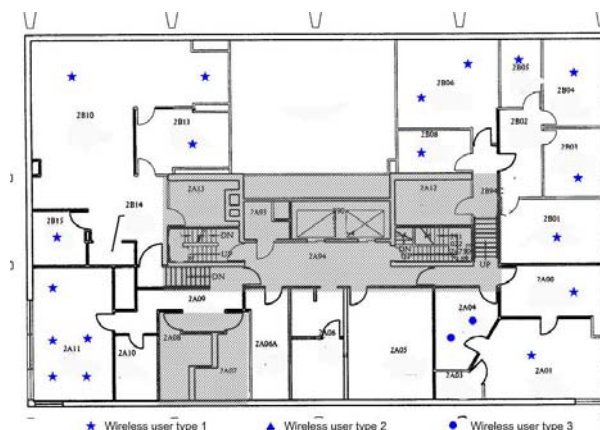


Fig.6 Service area (the 2nd second floor)

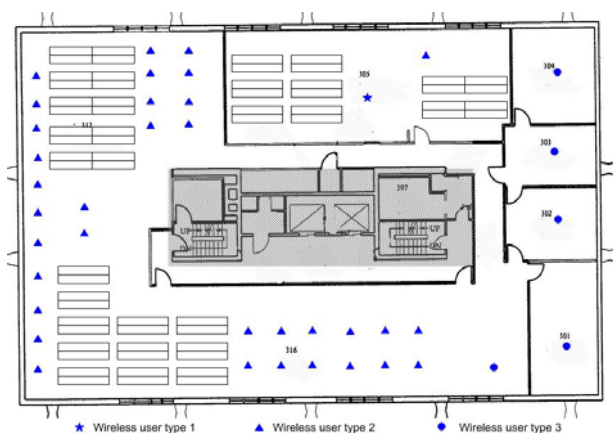


Fig.7 Service area (the 3rd third floor)

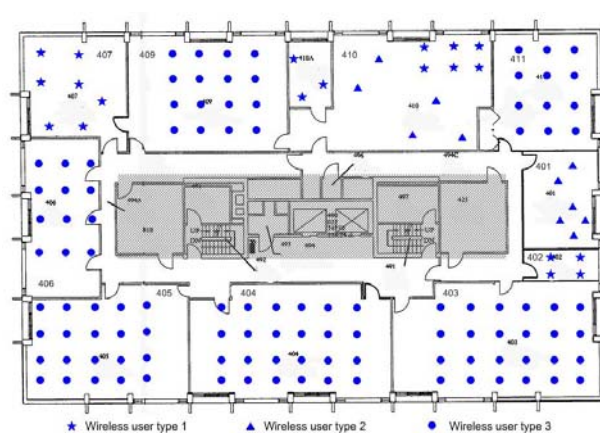


Fig.8 Service area (the 4th forth floor)