5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

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

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

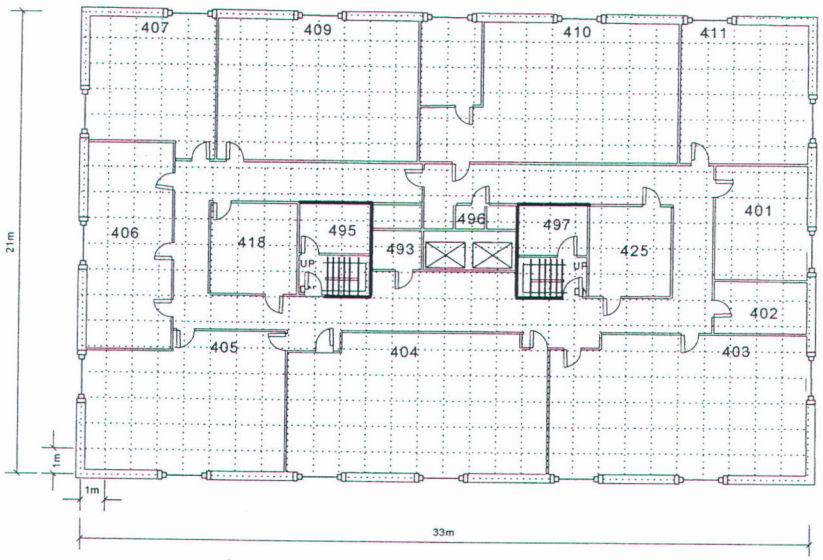
การให้บริการสื่อสารเครือข่ายไร้สายในการทดลองนี้พิจารณาการสื่อสารข้อมูล 3 ประเภท ($|T| = 3$) โดยการสื่อสารข้อมูลแต่ละประเภทต้องการค่าเฉลี่ยปริมาณงานอย่างน้อย 460 kbps, 260 kbps และ 80 kbps สำหรับการสื่อสารข้อมูลประเภทที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ รูปที่ 3 – 6 แสดงการกระจายตัวของผู้ใช้บริการภายในพื้นที่แต่ละชั้น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

ตารางที่ 2 สรุปค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง โดยในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนี้ต้องการให้ความน่าจะเป็นของการครอบคลุมสัญญาณที่ขอบเซลมีค่า 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

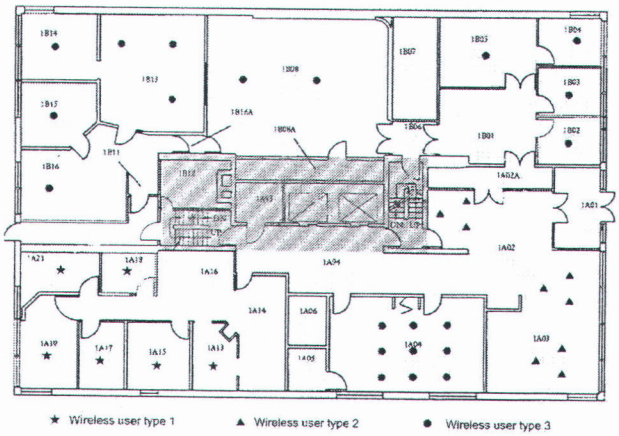
พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบทาบูได้มาจากการทดสอบ และคัดเลือกค่าที่ทำให้ประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบดีที่สุด โดยกำหนดให้จำนวนรอบการค้นหามากที่สุด (*Max_iter*) อยู่ที่ 150 รอบ กำหนดให้ tabu tenure มีค่าอยู่ระหว่าง [4, 8]

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

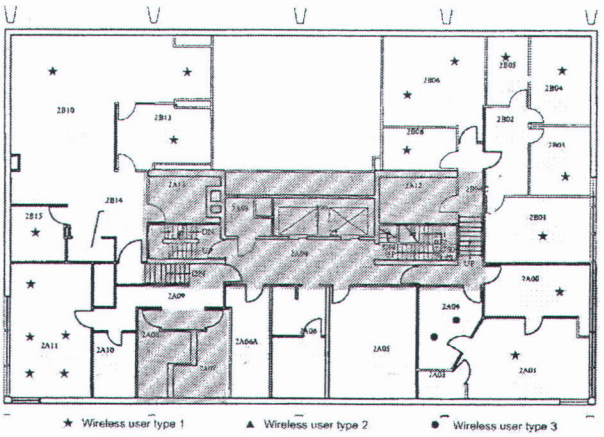
ตัวแปร	ค่าที่กำหนดให้
P	{0, 7, 13, 15, 17, 20, 24} หน่วย dBm
C	{2.412, 2.437, 2.462} หน่วย GHz
$P_{Rthreshold}$	-80 dBm
$SIR_{threshold}$	10 dB
R	54 kbps



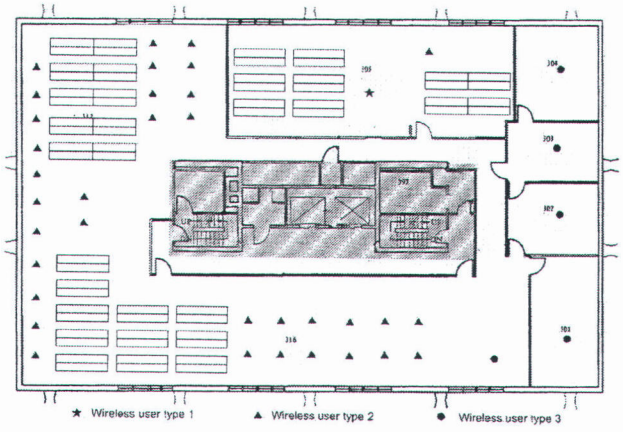
รูปที่ 2 จุดทดสอบสัญญาณภายในพื้นที่ทดลอง



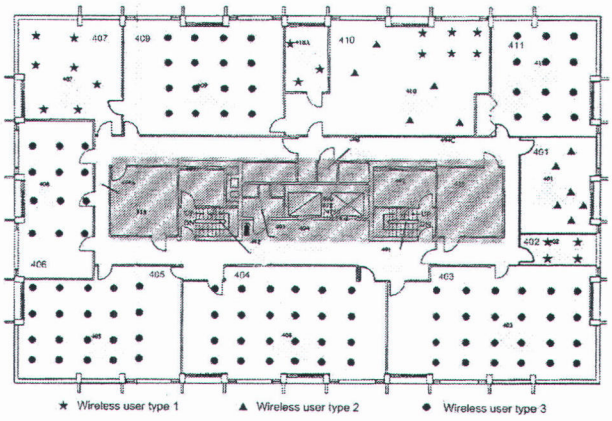
รูปที่ 3 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 1



รูปที่ 4 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 2



รูปที่ 5 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 3



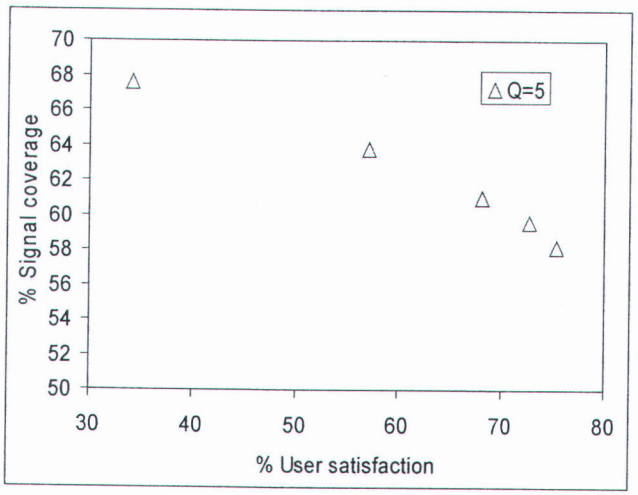
รูปที่ 6 พื้นที่ให้บริการชั้นที่ 4

5.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนัก

สมการคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีการใช้ตัวถ่วงน้ำหนัก w_1 และ w_2 โดยที่ w_1 เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของขนาดพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่าย ส่วน w_2 เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของค่าความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการ ในหัวข้อนี้ทำการศึกษาผลกระทบของค่าของตัวถ่วงน้ำหนักต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้จากการออกแบบ 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

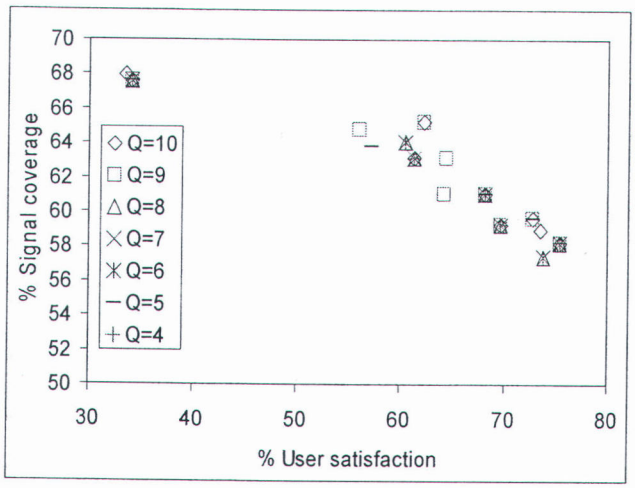


รูปที่ 7 ผลการทดลองเมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกัน (Q=5)

5.2 การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของด้านหน้าพาเรโต

หัวข้อนี้นำเสนอการศึกษาลักษณะการกระจายตัวของด้านหน้าพาเรโตเมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกันในสมการสกาลาร์ ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักคำนวณได้จากสมการที่ (16) โดยใช้ Q = 4, 5, ..., 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 ในสมการสกาลาร์เพื่อออกแบบเครือข่าย ทำให้ได้จุดสูงสุดที่มีค่า f_1=64%, f_2=56% เห็นได้ว่าค่าความพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นถึง 22% ในขณะที่พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายลดลงเพียง 3.6%



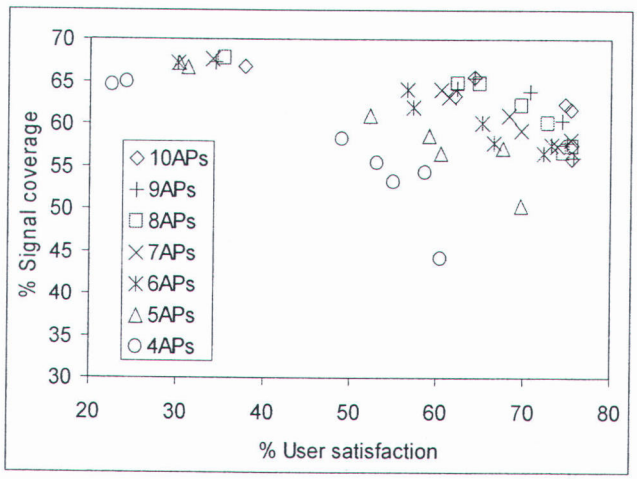
รูปที่ 8 ผลการทดลองเมื่อใช้ค่าถ่วงน้ำหนักต่างกัน (Q=4,5,...,10)

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

จากผู้ใช้บริการได้มากขึ้น แต่การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงไม่ได้ปรับปรุงพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนช่องความถี่ที่สามารถใช้ได้สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เพราะว่าการสร้างเครือข่ายไร้สายที่ประกอบด้วยหลายเซล นั่นคือใช้จุดเข้าถึงมากกว่าหนึ่งเครื่อง จำเป็นต้องมีการใช้ช่องความถี่ที่ซ้ำกัน การที่มีการใช้ช่องความถี่ซ้ำกันมากๆ ทำให้สัญญาณจากจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกันรบกวนกันได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณที่แพร่กระจายในพื้นที่ให้บริการได้

ดังนั้นสรุปได้ว่าค่าความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครื่องข่าย นั่นคือเมื่อมีจำนวนจุดถึงมากขึ้น ค่าความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลจากผู้ใช้บริการก็สูงขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาเรื่องพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ จะเห็นว่าการเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง ทำให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงในเครือข่ายสามารถปรับปรุงความพึงพอใจในคุณภาพการสื่อสารข้อมูลได้ และส่งผลต่อพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 9 ผลการทดลองเมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงที่ต่างกัน ตั้งแต่ 4 เครื่อง จนถึง 10 เครื่อง