บทที่ 3 การวิเคราะห์สมรรถนะของเครือข่ายเมชไร้สาย

3.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเราสามารถนำระบบ เครือข่ายเมชไร้สาย มาใช้งานเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วถึงและเชื่อมโยงกันตลอดเวลา ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายอินเตอร์เน็ตของโรงเรียน สำนักงาน อพาร์ทเม้นท์ คอนโดมิเนียม หมู่บ้านจัดสรร หรือแม้กระทั่งเครือข่ายอินเตอร์เน็ตไร้สายของชุมชนในเขตเมือง แต่ในระหว่าง เมชโหนด ยังคงมีปัญหาที่เกิดขึ้นกับการทำงานของ จุดเข้าถึงสัญญาณ ซึ่งมีหลายประการ ดังต่อไปนี้ ประการแรก คือ กำลังส่งและชนิดของสายอากาศที่ใช้ โดยกำลังส่งที่ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ไม่สามารถแผ่ขยายคลื่นวิทยุครอบคลุมพื้นที่ได้ตามที่ต้องการ และอาจส่งผลให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า Hidden Node ได้ ซึ่งการเกิด Hidden Node อาจทำให้เกิดปัญหาการชนกันของสัญญาณข้อมูลตามมา ประการที่สอง คือสัญญาณคลื่นวิทยุถูกปิดกั้นปัญหาสัญญาณคลื่นวิทยุถูกปิดกั้นมีความเป็นไปได้สูงสำหรับพื้นที่ที่เต็มไปด้วยกำแพงอิฐปูนซึ่งเป็นกำแพงปิดกั้นคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดี ปัญหาการถูกปิดกั้นจะเกิดขึ้นทันที หากใช้งานในที่ที่ล้อมรอบด้วยกำแพงอิฐปูนจะส่งผลให้คลื่นวิทยุอ่อนลง ทำให้รับสัญญาณได้น้อยลง และประการสุดท้าย คือ การสะท้อนและการดูดซับของคลื่นวิทยุของวัสดุในพื้นที่ทำงานปัญหาการกระจายตัวของคลื่นวิทยุไปตามเส้นทางต่าง ๆ หลายเส้นทางคลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศของ จุดเข้าถึงสัญญาณ เมื่อเดินทางไปยังเครื่องของผู้รับ อาจพบกับอุปสรรคหลายประการ เช่น คลื่นวิทยุอาจแตกตัวออกเป็นหลายทิศทางเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นวิทยุกระทบกับวัตถุที่บดบังทำให้กำลังแรงถูกลดทอนลงไปนอกจากนี้วัสดุบางอย่างในที่ทำงานอาจดูดซับคลื่นวิทยุไปบางส่วน ทำให้เกิดอาการสูญหายของคลื่นสัญญาณ (Fading) ส่งผลให้ผู้รับไม่สามารถรับสัญญาณได้เต็มที่

จากเหตุการณ์ดังกล่าว แนวทางแก้ไขปัญหานั้น ผู้ออกแบบรูปร่างเครือข่ายจึงควรคำนึงถึงเหตุการณ์และปัญหาต่างๆเหล่านี้ในการออกแบบ ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการออกแบบที่ดีที่สุดนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงปัญหาเหล่านี้ และนำมาพิจารณาในการออกแบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบหาการวางตำแหน่งของเครือข่ายเมชไร้สาย โดยได้นำปัจจัยภายนอกมาพิจารณา ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยใดได้นำปัจจัยนี้มาพิจารณา

งานวิจัยนี้ได้เริ่มศึกษาการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จของแต่ละโหนดโดยในการออกแบบได้คำนึงถึงหลักความเป็นจริงที่ว่าในการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จนั้นในทางทฤษฎีแล้วค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จจะมีค่าเท่ากันในทุกๆ โหนดแต่ตามความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จ น่าจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอก ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณงานที่ดีที่สุด จึงมีการศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบหาผลของปริมาณงานที่ได้ โดยอาศัยทฤษฎีคิวแบบ M/M/1/K ในการวิเคราะห์ และเพื่อนำมาซึ่ง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ ออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดภายในตัวอาคารของเครือข่ายเมชไร้สาย เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจากปริมาณงานที่ดีที่สุด ซึ่งในการออกแบบนั้นจะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เป็นไปได้

3.2 โครงสร้างของเครือข่ายเมชไร้สาย

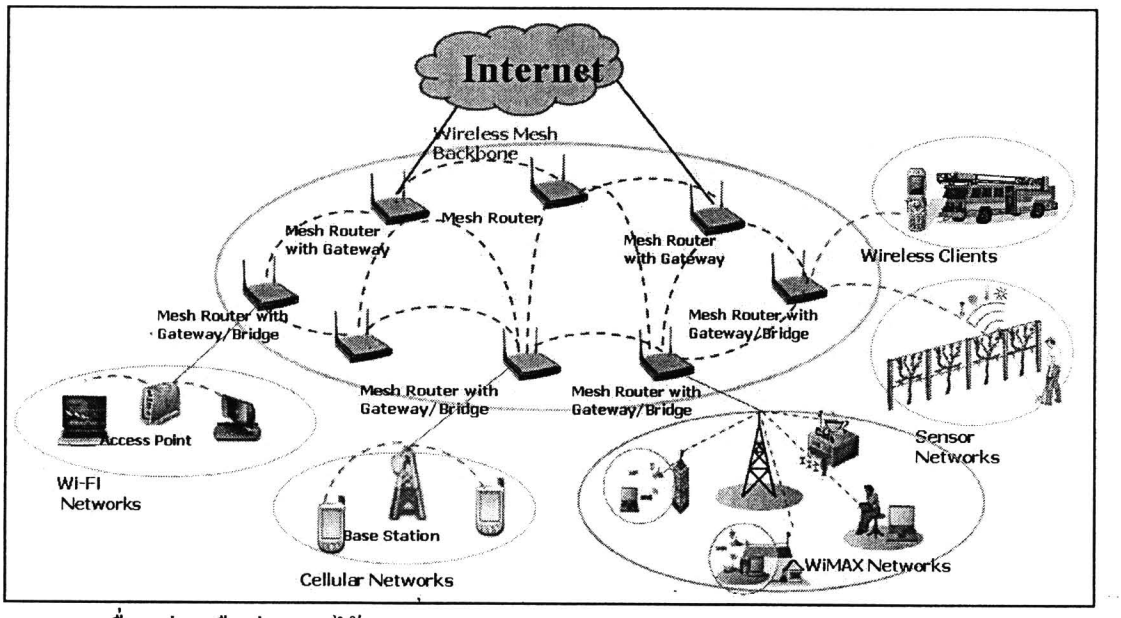
ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือเทคโนโลยีไร้สาย เป็นที่แพร่หลายในองค์กรต่าง ๆ แต่ยังมีข้อจำกัดในการส่งสัญญาณระหว่างจุดเข้าถึงสัญญาณ แต่ละจุดจำเป็นต้องผ่านสายเคเบิลซึ่งเชื่อมโยงระหว่าง จุดเข้าถึงสัญญาณ แต่ละตัวผ่านเครือข่ายหลัก(Backbone) ดังนั้น เครือข่ายเมชไร้สายเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ทำให้ จุดเข้าถึงสัญญาณ สามารถส่งผ่านข้อมูลถึงกันได้โดยตรงแบบไร้สาย ไม่ต้องผ่านสายเคเบิล ซึ่งมีระยะทางสามารถเชื่อมต่อกันได้ประมาณ 300 ฟุต ในแต่ละจุดเชื่อมต่อ ซึ่ง เครือข่ายเมชไร้สายใช้งานได้ทั้ง เครือข่ายไร้สาย แบบ ภายใน และ ภายนอกทั้งแบบที่ใช้ภายในอาคารขนาดเล็ก หรือเครือข่ายขนาดใหญ่

จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยของ Akyildiz, I.F., and Xudong, W., (2005) ได้มีการนำเสนอโครงสร้างของเครือข่ายเมชไร้สาย โดยแบ่งได้ 3 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้

3.2.1 โครงสร้างแบบโครงสร้างพื้นฐานหรือเครือข่ายหลักของเครือข่ายเมชไร้สาย

โดยมีรูปแบบโครงสร้างดังรูปที่ 3-1 เมื่อเส้นประแสดงการเชื่อมต่อแบบไร้สาย โครงสร้างแบบนี้จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางเพื่อไว้ให้สำหรับลูกข่ายเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายและใช้บริการอินเทอร์เน็ตได้ ส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE802.11 ซึ่งอุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ในเครือข่ายเมชนี้จะสามารถทำการเชื่อมต่อและรักษาเสถียรภาพของระบบได้ด้วยตัวมันเองและเครือข่ายของอุปกรณ์จัดเส้นทางนั้นสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยวิธีที่เรียกว่า Infrastructure meshing คือจะมีเครือข่ายหลักให้ลูกข่ายแบบเก่าและเครือข่ายเมชไร้สายสามารถใช้งานร่วมกันได้กับเครือข่ายไร้สายที่มีอยู่โดยผ่านฟังก์ชันการทำงานของเกตเวย์หรือบริด (Gateway/Bridge) ในเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัด

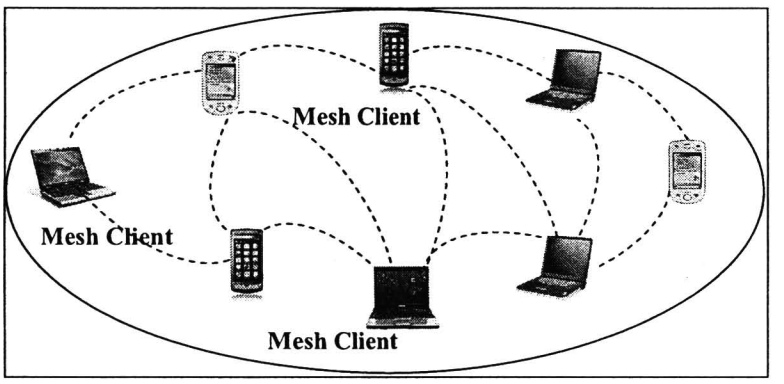
เส้นทางเอง ซึ่งลูกข่ายแบบเก่านั้นจะสามารถเชื่อมต่อสื่อสารกับเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางด้วยระบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet)



รูปที่ 3-1 การเชื่อมต่อเครือข่ายเมชไร้สาย

3.2.2 โครงสร้างของเครือข่ายผู้ใช้งานเครือข่ายเมชไร้สาย

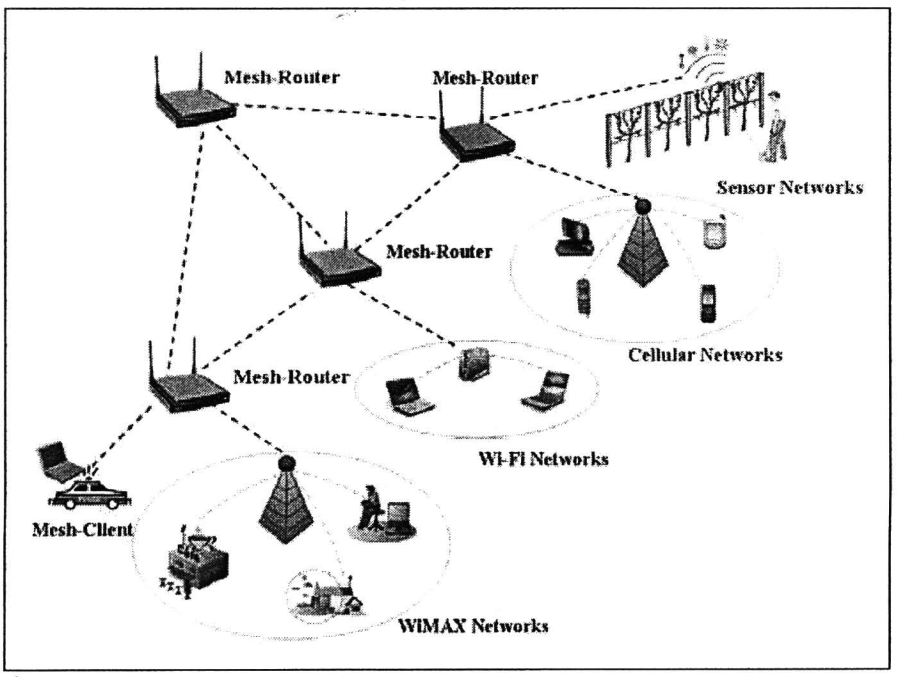
เครือข่ายเมชของผู้ใช้งานนั้นจะใช้การเชื่อมต่อกันแบบกลุ่มส่วนตัวในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน ในโครงสร้างชนิดนี้โหนดของผู้ใช้งานจะทำหน้าที่จัดเส้นทางและจัดการระบบที่ดีที่สุดให้กับกลุ่มผู้ใช้งาน ดังนั้นเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางนั้นจึงไม่มีความจำเป็นสำหรับเครือข่ายแบบนี้ รูปที่ 3-2 แสดงลักษณะพื้นฐานของเครือข่ายเมชของผู้ใช้งาน ซึ่งข้อมูลหรือข่าวสารที่จะส่งไปยังโหนดปลายทางนั้นก็จะมีการส่งผ่านจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งซึ่งจะทำการส่งกันไปเรื่อย ๆ จนถึงปลายทางที่เราต้องการ โดยปกติแล้วเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานนั้นจะใช้เพียงคลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์เท่านั้นนอกจากนี้ ความต้องการของผู้ใช้งานระบบมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมชไร้สาย ดังนั้นในเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานนั้นจะต้องมีการเพิ่มฟังก์ชันการจัดเส้นทางและต้องสามารถจัดการระบบได้ด้วยตัวของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานเอง



รูปที่ 3-2 การเชื่อมต่อเครือข่ายผู้ใช้งานเครือข่ายเมชไร้สาย

3.2.3 โครงสร้างเครือข่ายเมชไร้สายแบบไฮบริด

โครงสร้างแบบไฮบริดนี้จะเป็นการรวมกันของโครงสร้างพื้นฐานและโครงสร้างของเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 3-3 โดยที่เครือข่ายเมชของผู้ใช้งานระบบนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายได้โดยผ่านเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทาง ในการเชื่อมต่อกันระหว่างเครือข่ายเมชของผู้ใช้งานกับเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางนั้นเราจะใช้สัญญาณ Wi-Fi WiMAX สัญญาณโทรศัพท์ (cellular) และเครือข่ายเซ็นเซอร์ (sensor networks) เป็นต้น ดังนั้นอุปกรณ์จัดเส้นทางเหล่านี้จะสามารถให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อเครือข่ายดีขึ้นและครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายเมชไร้สายได้



รูปที่ 3-3 การเชื่อมต่อเครือข่ายเมชแบบไฮบริด

เครือข่ายเมชไร้สาย เป็น Ad-Hoc Network มีการจัดเรียงเครือข่ายเป็นแบบเมชซึ่งสามารถเชื่อมต่อ จุดเข้าถึงสัญญาณไปในบริเวณ ที่ไม่สะดวกในการใช้สายเคเบิลโดยที่เมชโหนดสามารถติดต่อกับโหนดอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงได้ซึ่งเมชโหนดจะทำหน้าที่เหมือนอุปกรณ์จัดเส้นทางส่งต่อแพ็กเกตไปยังโหนดอื่น ๆ ไปยังปลายทางซึ่งเครือข่ายเมชไร้สายสามารถจัดการกับโหนดของตัวเองโดยอัตโนมัติและสามารถสร้างเส้นทางในการเชื่อมต่อระหว่างเมชได้เองซึ่งถ้าเส้นทางการเชื่อมต่อใดล้มเหลวก็จะทำการหาเส้นทางใหม่และหากเครือข่ายเมชไร้สายนั้นมีโหนดเคลื่อนที่ภายในจะทำให้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งตลอดเวลาเพื่อทำการปรับปรุงเชื่อมต่อบนเครือข่ายซึ่งมีลักษณะสำคัญคือไม่จำเป็นต้องมีส่วนกลางคอยควบคุมแนวคิดการใช้เครือข่ายเมชไร้สายจึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจเพราะว่าในการติดตั้ง จุดเข้าถึงสัญญาณตามจุดต่างๆนั้นจะต้องมีการเดินสายเชื่อมต่อไปยังจุดต่างๆเหล่านั้นซึ่งทำให้การติดตั้งทำได้ลำบากอย่างที่ยกตัวอย่างมาและทำให้การขยายเครือข่ายทำได้ลำบากและล่าช้า ดังนั้น การใช้เครือข่ายเมชไร้สายจะทำให้การขยายเครือข่ายทำได้สะดวก จึงทำให้การขยายเครือข่าย WiFi ในเมืองหรือพื้นที่ต่างๆทำได้สะดวกรวดเร็วกว่าซึ่งเป็นแนวโน้มของเมืองต่างๆที่ต้องการจะขยายเครือข่าย WiFi ให้ครอบคลุมมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาก็คือเทคโนโลยีการเชื่อมWiFi แบบ เครือข่ายเมชไร้สายนั้นเป็นแบบ Proprietary กล่าวคือ เป็นเทคโนโลยีเฉพาะของผู้ผลิตอุปกรณ์เท่านั้น เมื่อมีอุปกรณ์จากผู้ผลิตอื่นมาใช้งานด้วยก็ไม่สามารถที่จะเชื่อมต่อกันแบบ เมช ได้ ดังนั้นทาง IEEE จึงได้พยายามพัฒนามาตรฐาน WiFi ที่มีการเชื่อมต่อแบบ เมชไร้สาย ระหว่างผู้ผลิตต่าง ๆ ได้โดยในปี 2004 ทาง IEEE ก็ได้จัดตั้ง Task Group S ขึ้น เพื่อพัฒนา 802.11s และเป็นมาตรฐานสำหรับรองรับเครือข่ายเมชไร้สาย

3.2.4 มาตราฐาน IEEE802.11s

IEEE 802.11s กำหนดอนุมัติมาตรฐานภายในวันที่ 30 กันยายน 2553 เป็นการเพิ่มขีดความสามารถให้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้เองในลักษณะของเครือข่ายเมชไร้สายโดยอุปกรณ์ จุดเข้าถึงสัญญาณ ที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11s จะสามารถใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อรับส่งสัญญาณระหว่างกันได้ ทำให้สามารถสร้างเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ให้บริการกว้าง ๆ ได้ โดยใช้อุปกรณ์ จุดเข้าถึงสัญญาณ หลาย ๆ ชุดเชื่อมต่อกัน โดยไม่ต้องเดินสายนำสัญญาณไปยัง จุดเข้าถึงสัญญาณ และสำหรับเครือข่าย 802.11s ซึ่งเป็นเครือข่ายเมชไร้สาย ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Mesh Portal (MPP) เป็นส่วนของเครือข่ายเมช WiFi ที่มีการเชื่อมต่อแบบมีสาย กล่าวคือ เป็นส่วนของเครือข่ายเมชที่มีการเชื่อมต่อที่ไม่ใช่ 802.11 เข้าสู่อินเทอร์เน็ตภายนอก และจะเป็นประตูเปิดสู่เครือข่าย

อินเตอร์เน็ตโดยเป็นจุดที่มีการแปลง MSDU (Mac Service Data Unit) ของเครือข่าย WiFi เป็นรูปแบบมาตรฐานอื่น

Mesh Point (MP) จะทำหน้าที่หลักในการส่งต่อทราฟฟิกไปยังส่วนต่างๆของเครือข่าย โดยจะทำหน้าที่ทั้งควบคุมดูแล การจัดการเครือข่ายเมช WiFi ทั้งหมด ซึ่ง MPP ก็คือ MP ที่มีการเชื่อมต่อแบบที่ไม่ใช่ 802.11 นั่นเอง

Mesh Access Point (MAP) จะเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานที่จะใช้อุปกรณ์ WiFi ทั่วไปในการเชื่อมต่อ เนื่องจากในเครือข่ายเมช WiFi นั้นจะมีเรื่องของปริมาณความจุ (Capacity) มากกว่าในเครือข่าย WiFi ทั่วไป เพราะนอกจากช่องสัญญาณที่ให้บริการแก่ผู้ใช้งานแล้วนั้น ยังต้องมีช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อกันเองของเครือข่ายเมชด้วย ดังนั้น การเชื่อมต่อที่ใช้ระยะทางที่ดีที่สุด (ใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด) และประหยัดเวลาที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น

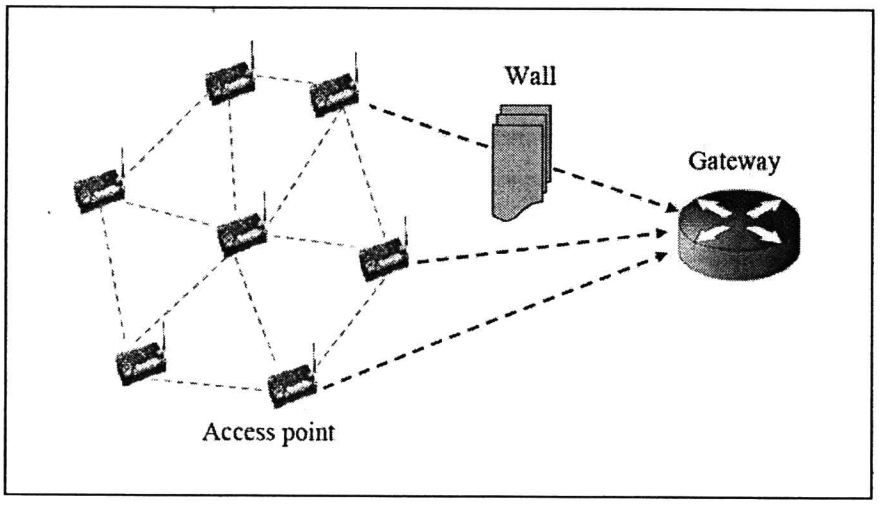
3.3 การวิเคราะห์สมรรถนะด้วยทฤษฎีแถวคอย

3.3.1 การคำนวณหาปริมาณงานในระบบ

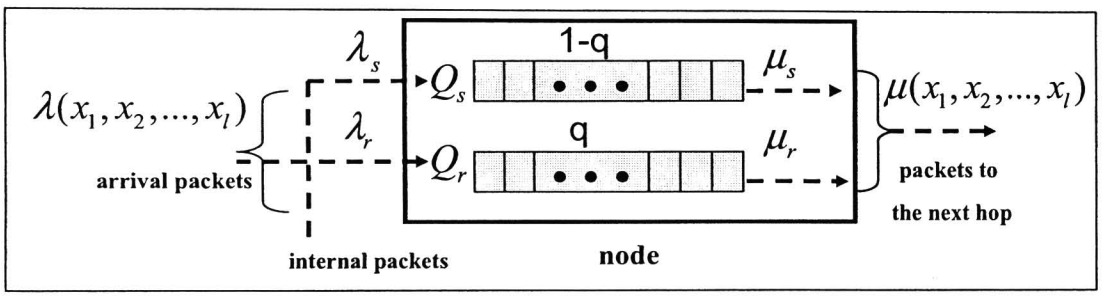
ในการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายเมชไร้สายนั้นสามารถพิจารณาได้จากปริมาณงานที่แต่ละโหนดได้รับ ซึ่ง ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดปริมาณงานจากระบบนั้น ในความเป็นจริงไม่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมทั้งหมดได้ เช่น ชนิดของวัสดุที่เป็นอาคารและผนังห้อง ซึ่งมีผลต่อปริมาณงานที่วัดได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3-4 อย่างไรก็ตามเพื่อให้การออกแบบมีประสิทธิภาพมากที่สุดและควรคำนึงถึงหลักความเป็นจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาปริมาณงาน ซึ่งได้พัฒนาจากเทคนิคการคำนวณหาปริมาณงานจากงานวิจัยของ Liu, T and Liao, W.(2008) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณงานของระบบจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่มีค่าเท่ากันในทุกๆตำแหน่งของโหนด และไม่ได้พิจารณาปัจจัยภายนอกหรือสิ่งแวดล้อม

ในงานวิจัยฉบับนี้เริ่มจากการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของระบบการเข้าแถวคอยแบบ M/M/1/K Gross and Harris. (1998) เป็นระบบแถวคอยที่มีเซิร์ฟเวอร์เพียงตัวเดียว และการเข้ามาใช้บริการระบบของผู้ใช้มีคุณลักษณะของกระบวนการปัวส์ซอง เพราะฉะนั้นช่วงเวลาระหว่างการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้สองคนติดกันแต่ละช่วง จะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่เป็นอิสระต่อกัน และช่วงเวลาที่ผู้ใช้แต่ละคนรับบริการอยู่ในระบบ (Service times) เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่เป็นอิสระต่อกัน จำกัดขนาดของระบบเท่ากับ K คือจะยอมให้มีจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ในระบบได้มากที่สุดเท่ากับ K และมีรูปแบบการบริการ คือ การเลือกลำดับของผู้ใช้บริการที่เข้ามารับบริการในระบบ เป็นแบบ

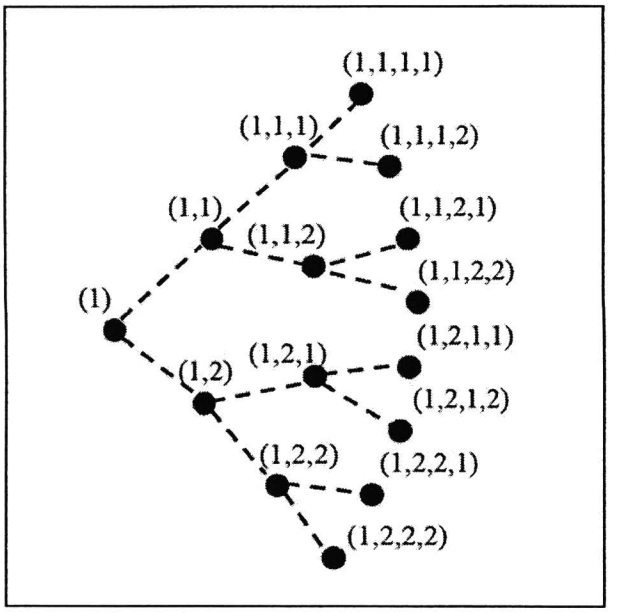
มาก่อนรับบริการก่อน (First Come First Served : FCFS) รายละเอียดซึ่งได้อธิบายในบทที่ 2 และแบบจำลองของ M/M/1/K แสดงได้ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างของสิ่งกีดขวางจากโหนดถึงตัวปล่อยสัญญาณ



รูปที่ 3-5 แบบจำลอง M/M/1/K ของเครือข่ายเมชไร้สาย



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างของการกำหนดตำแหน่งของโหนด

จากรูปที่ 3-5 เป็นรูปแบบการจำลอง M/M/1/K ที่ใช้ในเครือข่ายเมชไร้สาย ในแต่ละโหนดนั้นมีระบบการเข้าคิวอยู่ 2 แบบ คือ คิวสำหรับข้อมูลของตัวมันเองสร้างขึ้น (Q_s) และคิวที่ส่งข้อมูลมาจากฮอปก่อนหน้านี้ (Q_r) ในระบบการเข้าคิวจะมีกฎในการส่งต่อข้อมูลออกไปในแต่ละ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนด และสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ในกรณี Q_r ว่าง ที่ Q_s จะสร้างแพ็กเกต ขึ้นมาเองแล้วส่งต่อออกไปยังโหนดถัดไป

ในกรณี Q_r ไม่ว่าง Q_r จะส่งแพ็กเกตออกไปด้วยความน่าจะเป็น $q(x_1, x_2, ..., x_l)$ และ Q_s จะส่งแพ็กเกตออกไปด้วยความน่าจะเป็น $1 - q(x_1, x_2, ..., x_l)$

ในการหาปริมาณงานของระบบนั้น ในงานวิจัยนี้ได้เริ่มศึกษาจากอัตราการส่งข้อมูล (Mean Service Rate: μ) ที่ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนด และสามารถหาได้จากการประยุกต์สมการของLiu, T and Liao, W.(2008)

$$\mu(x_1, x_2, ..., x_l) \approx \frac{1}{t_c} \ln\left(\frac{1}{1 - p(x_1, x_2, ..., x_l)}\right) \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ $\mu(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูล

$p(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จในแต่ละโหนด

t_c คือ เวลาเฉลี่ยของการส่งข้อมูลหนึ่งแพ็คเกตในอากาศ

สำหรับ Q_r ที่ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนด จะมีอัตราการบริการของข้อมูล เท่ากับ อัตราการส่งข้อมูล และจะได้ว่า อัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_r มีค่าเท่ากับ

$$\mu_r(x_1, x_2, ..., x_l) = \mu(x_1, x_2, ..., x_l).q(x_1, x_2, ..., x_l) \quad (3\text{-}2)$$

เมื่อ $\mu_r(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ อัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_r

$q(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป

สำหรับ Q_s ที่ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนด จะมี อัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_s มีค่าเท่ากับ

$$\mu_s(x_1, x_2, ..., x_l) = \mu(x_1, x_2, ..., x_l).(1 - q(x_1, x_2, ..., x_l)) \quad (3\text{-}3)$$

เมื่อ $\mu_s(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ อัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_s

$1 - q(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลใน Q_s จะถูกส่งต่อออกไป

จากกฎในการส่งต่อของข้อมูลที่ได้อธิบายข้างต้นในกรณี Q_r ไม่ว่างจะมีโอกาสในการส่งผ่านข้อมูลมายัง Q_r และมีประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_r ที่ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนดไปยังฮอปถัดไปดังสมการ

$$\sigma_r(x_1, x_2, ..., x_l) = \mu_r(x_1, x_2, ..., x_l).[1 - P_{0r}(x_1, x_2, ..., x_l)] \quad (3\text{-}4)$$

เมื่อ $\sigma_r(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ ประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_r

$P_{0r}(x_1, x_2, ..., x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_r ที่เริ่มว่างที่ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนด

เมื่อ Q_r ว่างโอกาสในการส่งผ่านข้อมูลจะถูกส่งมาที่ Q_s และที่ Q_s จะมีประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลออกไป ที่ $(x_1, x_2, ..., x_l) - hop$ โหนดมีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_s(x_1, x_2, ..., x_l) = \mu_s(x_1, x_2, ..., x_l).[1 - P_{0s}(x_1, x_2, ..., x_l)] \quad (3\text{-}5)$$

เมื่อ $\sigma_s(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_s

$P_{0s}(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_s ที่เริ่มว่างที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด

ในการวิเคราะห์อัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูล (Packet-arrival rates: λ) สำหรับ Q_r และ Q_s สามารถหาได้ดังสมการที่ 3-6 และสมการที่ 3-7 ตามลำดับ

$$\begin{aligned}\lambda_r(x_1,x_2,...,x_l) &= \sum_{x_{l+1}=1}^{N(x_1,x_2,...,x_{l+1})} \sigma(x_1,x_2,...,x_{l+1}) \\ &= \sum_{x_{l+1}=1}^{N(x_1,x_2,...,x_{l+1})} \sigma_r(x_1,x_2,...,x_{l+1})+\sigma_s(x_1,x_2,...,x_{l+1})\end{aligned} \tag{3-6}$$

$$\lambda_s(x_1,x_2,...,x_l) = \rho_s(x_1,x_2,...,x_l).\mu(x_1,x_2,...,x_l).(1-q(x_1,x_2,...,x_l)) \tag{3-7}$$

เมื่อ

$N(x_1,x_2,...x_{l+1})$ คือ จำนวณโหนดทั้งหมดในชั้นที่ $(x_1,x_2,...x_{l+1})$

$\lambda_r(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ อัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูลของ Q_r ที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด

$\lambda_s(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ อัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูลของ Q_s ที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด

และสามารถหาอัตราการส่งข้อมูลออกไปรวม ได้ดังสมการ

$$\sigma(x_1,x_2,...,x_l) = \sigma_s(x_1,x_2,...,x_l)+\sigma_r(x_1,x_2,...,x_l) \tag{3-8}$$

เมื่อ $\sigma(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไป

$\sigma_s(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_s

$\sigma_r(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_r

การวิเคราะห์หาค่าของปริมาณงานของโหนดที่มีการบริการอยู่ จะถูกกำหนดด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่ออกจาก Q_s เมื่อไม่เกิดการบล็อก ดังนั้นจะได้สมการของ ปริมาณงาน ดังสมการที่ 3-9

$$T(x_1,x_2,...,x_l)=\begin{cases}\sigma_s(x_1) & ,l=1\\ \sigma_s(x_1,x_2,...,x_l).[1-P_{br}(x_1)].[1-P_{br}(x_1,x_2)]...[1-P_{br}(x_1,x_2,...,x_{l-1})] & \\ & ,l=2,...,H\end{cases} \quad (3\text{-}9)$$

เมื่อ $T(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ปริมาณงานที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด

$P_{br}(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับ Q_r ที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด

เมื่ออัตราการเข้าและออกของข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน และเป็นไปตามลักษณะของกระบวนการปัวส์ซอง ดังนั้นการแจกแจงของช่วงเวลาที่ผู้ใช้แต่ละคนรับบริการอยู่ในระบบ (Service time) และ ข้อมูลที่ถูกส่งต่อออกไป (Relay packet) สำหรับ Q_r ทั้งสองเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำลอง Q_r เป็นแบบ M/M/1/K ซึ่งมีขนาดของผู้ใช้งานในระบบ เท่ากับ K สามารถพิจารณาหาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับ Q_r ที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด สามารถหาได้จาก การประยุกต์ M/M/1/K ดังสมการ

$$P_{br}(x_1,x_2,...,x_l)=\begin{cases}\dfrac{[1-\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)]\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)^K}{1-\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)^{K+1}} & ;\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)\le 1\\ \dfrac{1}{K+1} & ;\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)=1\end{cases} \quad (3\text{-}10)$$

เมื่อ $\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Traffic Intensity) สำหรับ Q_r ที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ โหนด โดยมีสมการดังนี้

$$\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)=\frac{\lambda_r(x_1,x_2,...,x_l)}{\mu_r(x_1,x_2,...,x_l)} \quad (3\text{-}11)$$

แทนค่าจากสมการที่ 3-4 และ 3-5 ลงในสมการที่ 3-6 และแทนค่าจากสมการที่ 3-2 ลงในสมการที่ 3-11 ดังนั้นจะได้สมการของปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Traffic Intensity) สำหรับ Q_r คือ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

$$\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)=\left[\frac{\sum\left[\begin{array}{l}\left[\mu(x_1,x_2,...,x_{l+1}).q.(1-P_{0r}(x_1,x_2,...,x_{l+1}))\right]\\+\left[\mu(x_1,x_2,...,x_{l+1}).(1-q).(1-P_{0s}(x_1,x_2,...,x_{l+1}))\right]\end{array}\right]}{\mu(x_1,x_2,...,x_l).q}\right] \quad (3\text{-}12)$$

เมื่อ $P_{0r}(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_r ที่เริ่มว่างที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ สามารถหาได้จาก การประยุกต์ M/M/1/K ดังสมการ

$$P_{0r}(x_1,x_2,...,x_l)=\begin{cases}\dfrac{1-\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)}{1-\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)^{K+1}} & ;\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)\le 1\\ \dfrac{1}{K+1} & ;\rho_r(x_1,x_2,...,x_l)=1\end{cases} \quad (3\text{-}13)$$

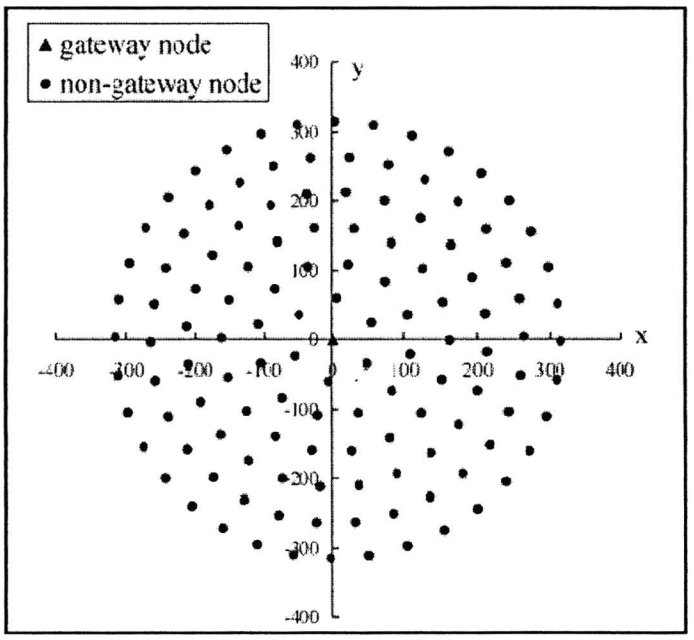
และ $P_{0s}(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของที่ Q_s ว่างที่ $(x_1,x_2,...,x_l)-hop$ สามารถหาได้ดังสมการ

$$P_{0s}(x_1,x_2,...,x_l)=\begin{cases}\dfrac{1-\rho_s(x_1,x_2,...,x_l)}{1-\rho_s(x_1,x_2,...,x_l)^{K+1}} & ;\rho_s(x_1,x_2,...,x_l)\le 1\\ \dfrac{1}{K+1} & ;\rho_s(x_1,x_2,...,x_l)=1\end{cases} \quad (3\text{-}14)$$

กำหนดให้ $\rho_s(x_1,x_2,...,x_l)$ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Traffic Intensity) สำหรับ Q_s ซึ่งเป็นปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการใช้งานของ ผู้ใช้งานในหนึ่งโหนด ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

3.3.2 การเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

ในงานวิจัยอ้างอิงได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างโดยมีตัวปล่อยสัญญาณ 1 จุดและมีจำนวนโหนด 126 โหนดซึ่งแสดงดังรูปที่ 3-7 โดยใช้สมการของงานวิจัยของ Liu, T and Liao, W.(2008) ในการคำนวณในโปรแกรมแมทแลบและในงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 3-9 ที่ได้ทำการวิเคราะห์ขึ้นมาเพื่อคำนวณในโปรแกรมแมทแลบและใช้ตัวแปรต่าง ๆ ดังตารางที่ 3-1



รูปที่ 3-7 รูปแบบการจำลองระบบเครือข่ายเมชไร้สาย (Liu, T and Liao, W.(2008))

ตารางที่ 3-1 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

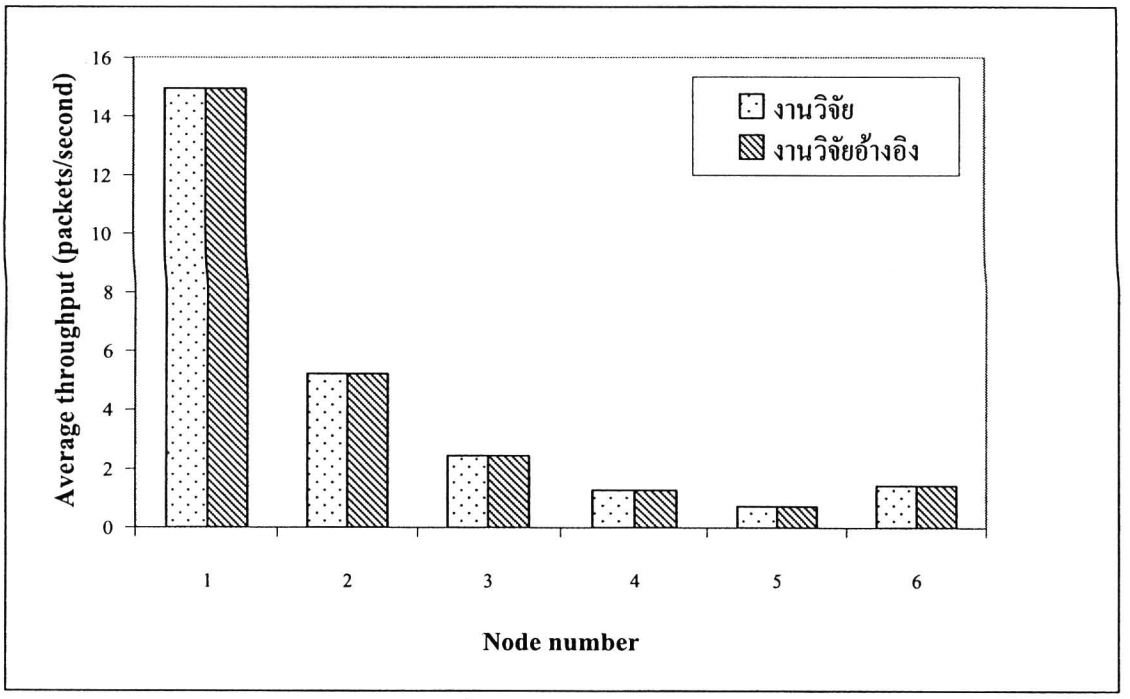
ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ขนาดของข้อมูล	1500 Byte
ปริมาณความจุ	75 Mb/s
จำนวนโหนด	126
ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ	0.7

ขั้นตอนการทดลอง

1.จำลองระบบเครือขายเมชไร้สายดังรูปที่ 3-7

2.ทดสอบปริมาณงานในการคำนวณงานวิจัยอ้างอิงจะใช้โปรแกรมแมทแลบและใช้สมการในงานวิจัยอ้างอิงส่วนงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 3-9 โดยมีการใช้ค่าตัวแปรที่เหมือนกันดังในตารางที่ 3-1 เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

3.แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบผลของปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่ได้จากโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

ก่อนที่จะดำเนินการวิจัยนั้นเราได้มีการเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงโดยใช้สมการที่วิเคราะห์จากแนวคิดในการออกแบบหาปริมาณงานตามสมการที่ 3-9 จะพบว่าปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ 3-9 สามารถนำมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณงานและเพื่อใช้ในการออกแบบหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมของเครือข่ายเมชไร้สายได้

3.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบเครือข่ายเมชไร้สาย

3.4.1 ความแรงของสัญญาณ

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายเมชไร้สายนั้น มีปัจจัยในการที่ทำให้ข้อมูลเกิดความสูญเสียระหว่างเส้นทางในการรับส่งข้อมูลซึ่งสิ่งที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยเหล่านี้ คือ ความแรงของสัญญาณ(Signal strength)โดยความแรงของสัญญาณที่มีค่าความแรงของสัญญาณมากน้อยจะเป็นตัวที่ทำให้ค่าความสูญเสียของข้อมูลนั้นแตกต่างกันออกไป โดยปกติแล้วเครือข่ายเมชไร้สายจะมีระยะ

ในการส่งสัญญาณประมาณ 300 ฟุต ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าถ้ามีกำแพงหรือสิ่งกีดขวางหลายชั้น ระยะในการส่งสัญญาณก็จะสั้นลง ทำให้เกิดความสูญเสียของข้อมูลเพิ่มขึ้น ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาหาตัวแปรหรือความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่แสดงถึงผลของความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณ และความสูญเสียของข้อมูล (loss) ที่เกิดขึ้น โดยการวิเคราะห์ค่าแล้วนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดค่าความผิดพลาดของข้อมูล และพัฒนาระบบเครือข่ายเมชไร้สายในอนาคต

ในหลักความเป็นจริงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสำเร็จของข้อมูลจะแปรผันตรงกับค่าความแรงของสัญญาณ ถ้าค่าความแรงของสัญญาณมาก ค่าความสำเร็จของการส่งข้อมูลจะมีค่าความสำเร็จมาก (ค่าความสูญเสียในการส่งข้อมูลน้อย) ถ้าความแรงของสัญญาณ น้อย ค่าความสำเร็จของการส่งข้อมูลจะมีค่าความสำเร็จน้อย (ค่าความสูญเสียในการส่งข้อมูลมาก) และสมการเอกซ์โพเนนเชียลเป็นสมการที่มีแนวโน้มที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เข้ากับ ค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลได้สำเร็จเพื่อนำมาหาค่าปริมาณงานในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย

จากรูปที่ 3-9 วัดค่าความแรงของสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Wireshark ซึ่งอธิบายวิธีการใช้งานในภาคผนวก ก การวัดดำเนินการที่อาคารวิชาการ ชั้นที่ 4 ประกอบด้วย จุดเข้าถึงสัญญาณ จำนวน 4 ตัว ซึ่งได้มีการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน ในแต่ละวันทดสอบจุดเข้าถึงสัญญาณ แต่ละตัว ตัวละ 20 จุดทดสอบ จุดทดสอบละ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 720 ครั้งที่ทำการทดสอบ และจากรูปที่ 3-10 สามารถนำมาคำนวณหาความแรงของสัญญาณที่รับได้ รูปแบบสมการจะใช้ค่า Mean Square Error (MSE) ในการวิเคราะห์ ค่า MSE บ่งบอกถึงค่าความถูกต้องและแม่นยำ ค่า MSE มากค่าความผิดพลาดมากแสดงถึงว่ามีความถูกต้องและแม่นยำน้อยถ้าค่า MSE น้อยค่าความผิดพลาดน้อยแสดงถึงว่ามีความถูกต้องและแม่นยำมาก ดังสมการที่ 3-15

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}{n} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2}{n} \qquad (3\text{-}15)$$

เมื่อ

e_t คือ ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์

n คือ จำนวนครั้งทั้งหมดที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 3- แสดงถึงค่า MSE เมื่อใช้การประมาณค่าจากฟังก์ชันต่างๆ จากการทดสอบและการคำนวณหาค่า MSE นั้นแสดงให้เห็นว่าการคำนวณโดยใช้รูปแบบของสมการเอกซ์โพเนนเชียลจะทำให้ค่าน้อยที่สุด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss,%) และความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ดังสมการที่ 3-16

ตารางที่ 3-2 ค่า MSE เมื่อใช้การประมาณค่าจากฟังก์ชันต่างๆ

รูปแบบสมการ	MSE
Polynomial degree 2	7.78
Polynomial degree 3	9843.08
Polynomial degree 4	15673.51
Exponential	8.94

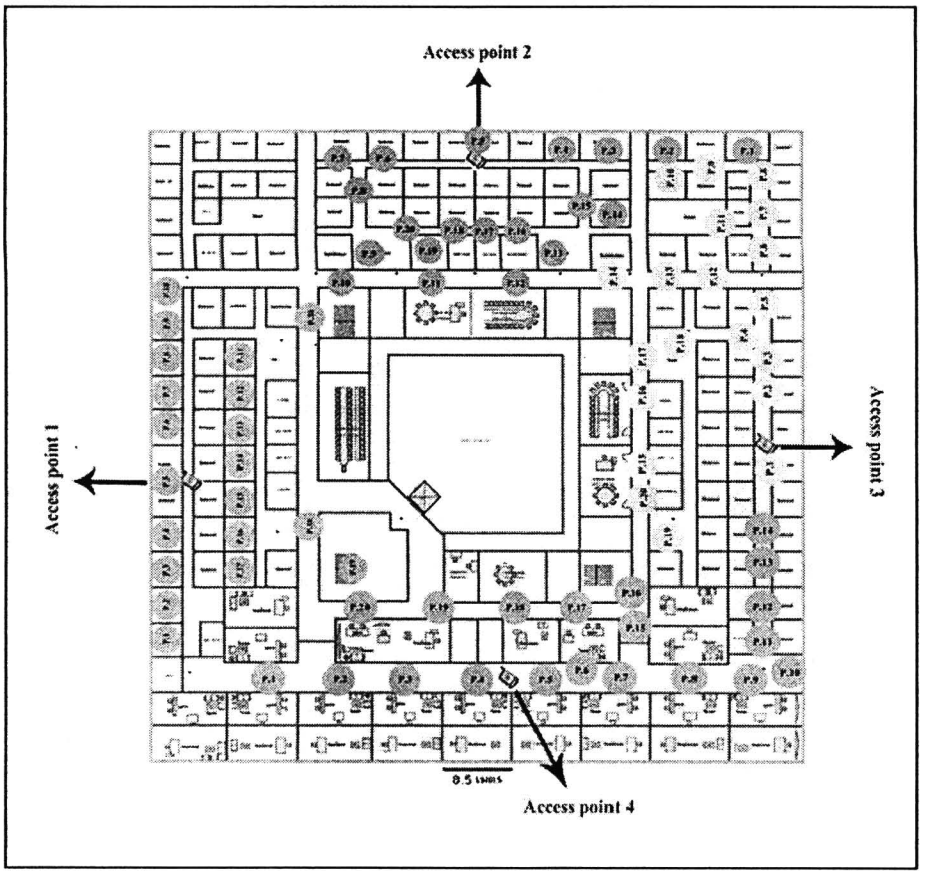
$$A(x_1,x_2,..x_l) = 0.1840 * \mathbf{exp}((-0.0358)(\mathrm{P}_r(x_1,x_2,..x_l))) \quad (3\text{-}16)$$

โดยที่ $A(x_1,x_2,..x_l)$ คือ ค่าประมาณความสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss,%)

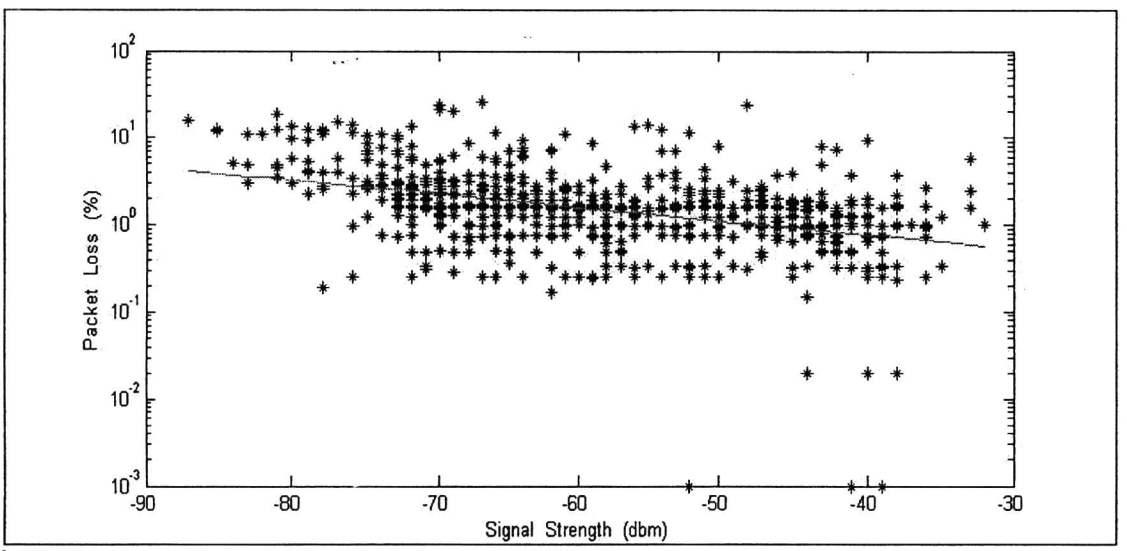
$\mathrm{P}_r(x_1,x_2,..x_l)$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้

และสามารถหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้ดังสมการที่ 3-16 โดยพิจารณาสิ่งกีดขวางได้จากค่า $\mathrm{P}_r(x_1,x_2,..x_l)$ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

$$p(x_1,x_2,..x_l) = 1 - A(x_1,x_2,..x_l) \quad (3\text{-}17)$$



รูปที่ 3-9 แสดงการทดสอบความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (อ้างอิงจาก การหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลได้สำเร็จจากค่าความแรงของสัญญาณ 2552)



รูปที่ 3-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss, %) และความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) (อ้างอิงจาก การหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลได้สำเร็จจากค่าความแรงของสัญญาณ 2552)

3.4.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลังของสัญญาณ

เป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณค่าของความสูญเสียอันเนื่องจากระยะทางและการลดทอนของสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดซึ่งมีค่าการลดทอนไม่เท่ากัน และสามารถคำนวณหา $P_r(x_1, x_2, ..x_l)$ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของจุดเข้าถึงสัญญาณในแต่ละโหนดได้ดังสมการ

$$P_r(x_1, x_2, ...x_l) = P_t + 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right) + G_t + G_r - Loss - 20\log\left(\frac{d(x_1, x_2, ...x_l)}{d_0}\right) \quad (3\text{-}18)$$

เมื่อ

$P_r(x_1, x_2, ...x_l)$ คือ กำลังที่รับได้จากตัว จุดเข้าถึงสัญญาณณ ตำแหน่งใด ๆ

Pt คือ กำลังส่งของตัว จุดเข้าถึงสัญญาณ

d_0คือ ระยะทาง 1 เมตร

$d(x_1, x_2, ...x_l)$ คือ ระยะทางระหว่างตัว จุดเข้าถึงสัญญาณไปยังผู้ใช้งาน

Loss คือ เป็นผลรวมของค่าความสูญเสียจากจำนวนสิ่งกีดขวางที่นับจากตัวจุดเข้าถึงสัญญาณไปยังจุดที่ทำการวัด

Gt คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่งที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวจุดเข้าถึงสัญญาณ

Gr คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับของตัวรับที่ขึ้นอยู่กับชนิดของ WLAN Card

λ คือ ค่าความยาวคลื่นซึ่งสามารถคิดได้จากค่าความถี่ (f) ที่มาจากการเลือกมาตรฐานของ IEEE ของตัว จุดเข้าถึงสัญญาณแต่ละชนิด

ตารางที่ 3-3 ค่าพารามิเตอร์ของ จุดเข้าถึงสัญญาณภายในบริเวณอาคารวิชาการชั้นที่ 4

มาตรฐาน	IEEE 802.11g 2.4-2.5 GHz, Channel 1 (2.412GHz)
กำลังส่ง	18 dBm
อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง	2.2 dB (Koop,M.H.2007)
อัตราขยายของสายอากาศภาครับ(เครื่องที่ใช้วัดสัญญาณ)	2.2 dB

3.4.3 การทดสอบผลกระทบของสิ่งกีดขวาง ต่อปริมาณงาน

ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้อาคารวิชาการชั้น 4 ดังรูปที่ 3-11 ในการทดสอบโดยเป็นการเปรียบเทียบหาปริมาณงานจากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงซึ่งในพื้นที่ที่มีจุดเข้าถึงสัญญาณทั้งหมด 4 ตัวและได้ทำการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดดังรูปที่ 3-12

ขั้นตอนในการทดลอง

1.จำลองออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดตามพื้นที่ที่กำหนด

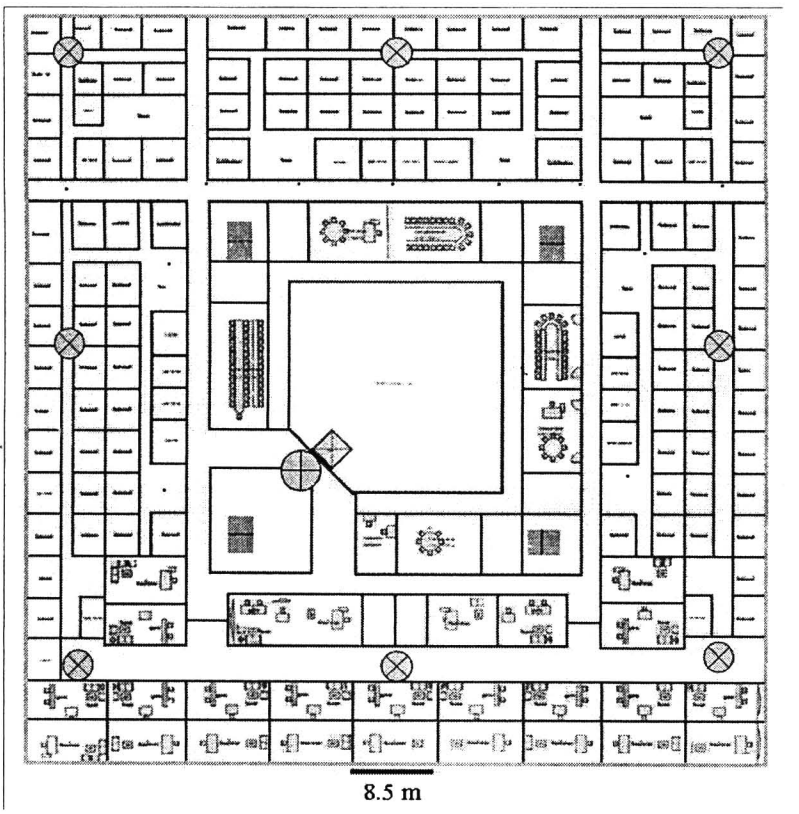
2. เลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลดังรูปที่ 3-11

3.คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยใช้สมการที่ 3-18 และคำนึงถึงสิ่งกีดขวาง เนื่องจากสถานที่ทำการทดสอบโปรแกรมนี้มีสิ่งกีดขวางเป็น Office wall จึงใช้ค่าการลดทอนเท่ากับ 6 dB (John C. Stein.2007) ซึ่งแสดงในตารางที่ 3-5

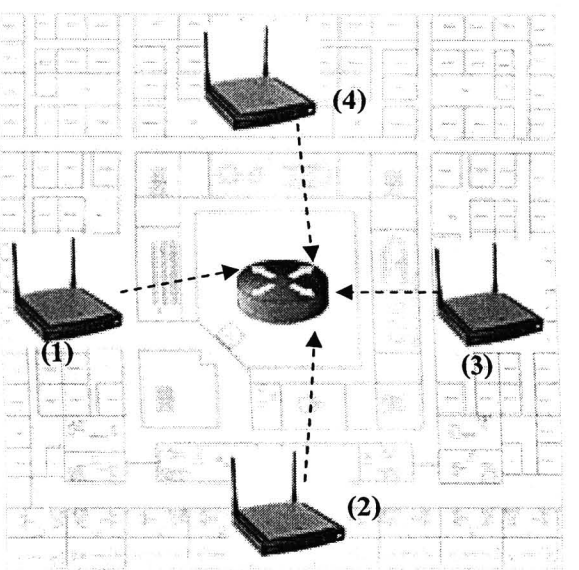
4.กำหนดค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3-4

5.นำค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่คำนวณได้จากข้อ 3 ไปคำนวณโดยใช้โปรแกรมแมทแลปเพื่อนำไปหาปริมาณงานที่สูงที่สุด และในการคำนวณจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของการลดทอนในวัสดุแต่ละชนิดจากตารางที่ 3-5

6. นำผลการทดลองที่ได้จากข้อ 5 มาหาค่าเฉลี่ยของปริมาณงานเปรียบเทียบจากโปรแกรมงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงดังรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-11 อาคารวิชาการชั้น 4 ที่ใช้ในการทดสอบ



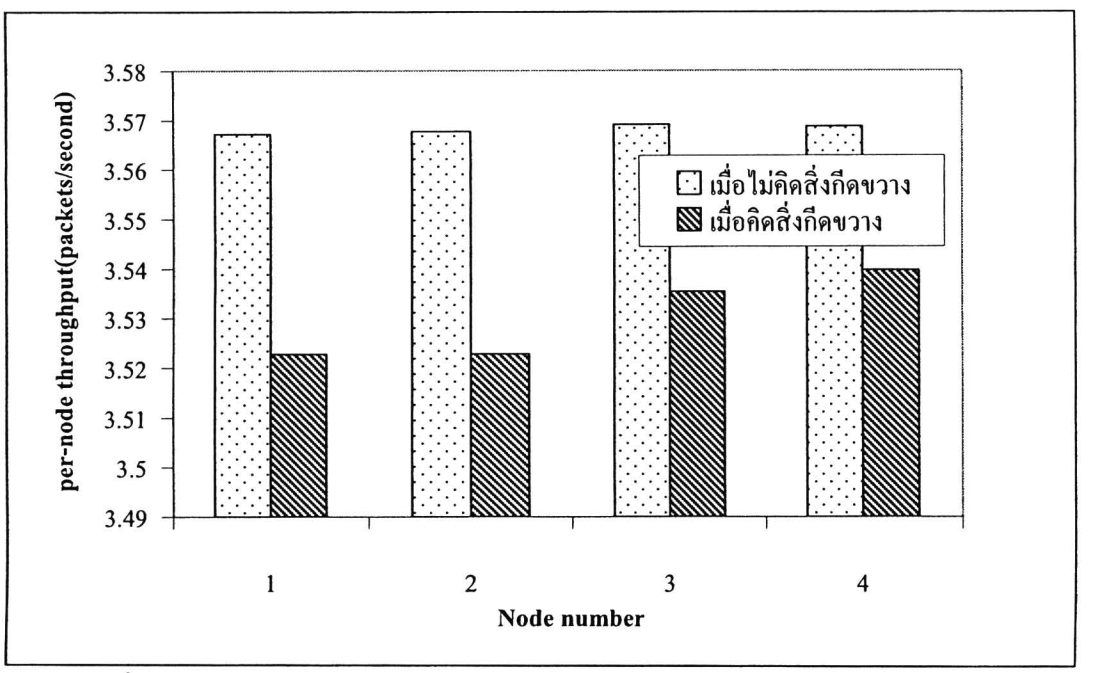
รูปที่ 3-12 รูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดในอาคารวิชาการชั้น 4

ตารางที่ 3-4 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กำลังที่ใช้ในการส่ง	18 dBm
ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกต ใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป	0.7
ขนาดของผู้ใช้งานในระบบ	64

ตารางที่ 3-5 แสดงค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวาง

ชนิดของสิ่งกีดขวาง	ค่าการลดทอนวัดในหน่วย dB
Concrete block wall	12
Metal wall / door	12
Brick wall	5
Office wall	6
Wood wall	4
Glass wall	6



รูปที่ 3-13 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานเปรียบเทียบระหว่างการคิดและไม่คิดสิ่งกีดขวาง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 3-13 แสดงให้เห็นว่าผลของงานวิจัยอ้างอิงเมื่อไม่ได้นำสิ่งกีดขวางมาพิจารณาผลที่ได้คือ ปริมาณงานที่ได้ในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนดนั้นมีค่าเท่ากันทุก ๆ จุด ส่วนผลการทดลองของงานวิจัย เมื่อพิจารณาในพื้นที่จริงซึ่งคำนึงถึงสิ่งกีดขวางแล้วนั้น ผลที่ได้คือ ปริมาณงานที่ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางถ้ามีสิ่งกีดขวางมากปริมาณงานที่ได้ก็จะมีค่าน้อย ถ้ามีสิ่งกีดขวางน้อยปริมาณงานที่ได้ก็จะมีค่ามาก จากผลการทดลองดังกล่าวดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยภายนอกมีผลกระทบต่อปริมาณงานที่ได้

3.5 กล่าวท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้ทำการอธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์เครือข่ายเมชไร้สายด้วยการใช้ทฤษฎีแถวคอยซึ่งเป็นการสมมุติให้ในแต่ละโหนดมีแถวคอยสองแถว แถวแรกเป็นการรองรับการส่งข้อมูลต่อไปจากโหนดก่อนหน้านี้ และแถวคอยที่สองคือการรับภาระการส่งต่อจากข้อมูลที่เกิดขึ้นของผู้ใช้งานภายในโหนดนั้นเอง ซึ่งการวิเคราะห์นี้ทำให้ได้สมการใหม่ที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณงานของเครือข่ายเมชไร้สายได้

นอกจากนี้ในบทนี้ยังกล่าวถึงการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงของสัญญาณกับความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลได้สำเร็จซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่เกิดจากการวัดค่าจริง ทำให้มีความน่าเชื่อถือมาก ซึ่งผลการวัดจริงภายในอาคารนี้จะถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะในการออกแบบด้วย เพราะผลการจำลองแบบชี้ให้เห็นว่า การคิดสิ่งกีดขวางมีผลมากต่อการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ซึ่งในบทถัดไปจะเป็นการออกแบบเครือข่ายโดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวไว้ในบทนี้