บทที่ 3

การจำลองแบบของสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบเมช โดยใช้โปรโตคอล Synchronous Collision Resolution

3.1 กล่าวนำ

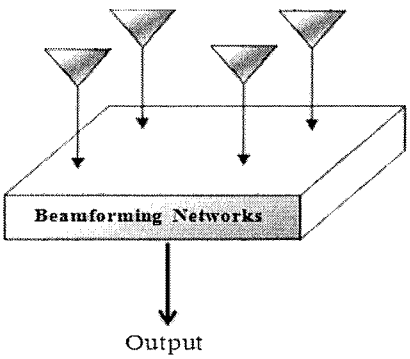
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของสายอากาศเก่งแบบสวิตช์ลำคลื่นเมื่อทำงานในเครือข่ายไร้สายแบบเมช ในการจำลองแบบสายอากาศเก่งจะถูกติดตั้งที่ตัวจัดเส้นทาง ซึ่งจะแบ่งเป็นสองกรณีได้แก่ ติดตั้งไว้ที่ตัวจัดเส้นทางตรงกาง และติดตั้งไว้ที่ทุกตัวจัดเส้นทาง สรรถนะที่สนใจในบทนี้ได้แก่ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่ความหนาแน่นของทราฟฟิก ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบระหว่างการใช้สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นสองแบบที่ได้กล่าวไปในข้างต้นกับระบบที่ใช้สายอากาศที่มีการแผ่พลังงานรอบทิศทาง โปรโตคอลที่มีชื่อว่า Synchronous Collision Resolution (SCR) ซึ่งถูกเผยแพร่โดย Stine, J. A. (2006) และ Hu, H., Zhang, Y. and Luo, J. (2007) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ถูกนำเสนอขึ้นมาใหม่ เพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบ ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้กับสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นได้ ในการจำลองแบบในบทนี้ได้มีการกำหนดคุณลักษณะของโปรโตคอลดังนี้

1. ช่องสัญญาณมีการแบ่งเป็นร่อง (slot)
2. ทุกๆ โนดจะสามารถใช้ได้ทุกร่องเมื่อต้องการส่งข้อมูล
3. โนดที่ต้องการจะส่งข้อมูลจะมีการส่งสัญญาณเพื่อขอใช้ร่อง
4. ทุกๆ กลุ่มข้อมูล (packet) ในหนึ่งร่องใดๆ ถูกส่งพร้อมกัน

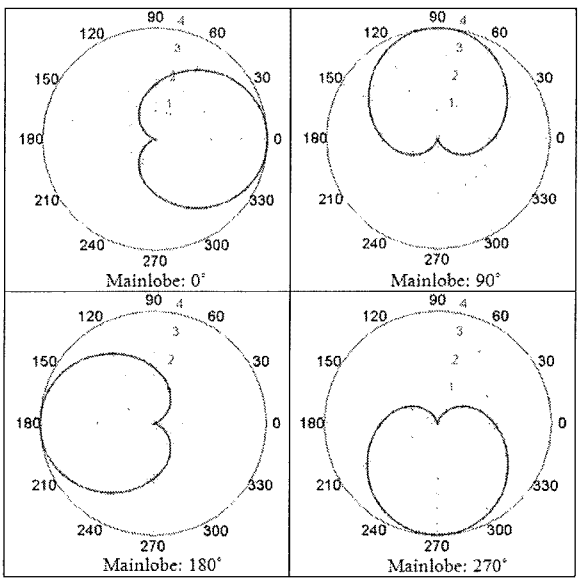
3.2 สายอากาศเก่งแบบสวิตช์ลำคลื่น

โดยทั่วไปแล้วระบบสายอากาศเก่งประกอบด้วย สายอากาศแถวลำดับและหน่วยประผลสัญญาณ ซึ่งสายอากาศแถวลำดับจะทำหน้าประมวลสัญญาณบนโดเมนตำแหน่ง ส่วนหน่วยประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณบนโดเมนเวลา การประมาวลผล

สัญญาณในทั้งสองส่วนที่กล่าวมานั้นจะช่วยลดผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณเดียวกันลงได้ ส่งผลให้สามารถปรับปรุงคุณคุณภาพของสัญญาณที่รับเข้ามาในระบบ ทำให้เราสามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบสื่อสารไร้สายได้ ในการจำลองแบบในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้สายอากาศเก่งแบบสวิตช์ลำคลื่น เนื่องจากไม่มีความซับซ้อน ส่งผลให้มีต้นทุนที่ไม่สูง แต่ยังคงให้ประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ดีสำหรับการใช้งานในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย การวางตัวของสายอากาศจะมีลักษณะเป็นแถวลำดับแบบระนาบจำนวน 2×2 ต้นดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศแถวลำดับ และโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นที่ทำหน้าประมวลสัญญาณเชิงเวลา รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้มาจากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยฉบับนี้ เมื่อกำหนดให้ระบบสามารถหันลำคลื่นไปยังทิศทาง 0° 90 ° 180 ° และ 270 ° ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.1 สายอากาศเก่งแบบสวิตช์ลำคลื่นแบบ 2×2

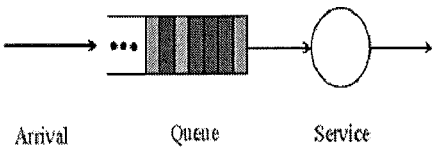


รูปที่ 3.2 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น 2×2

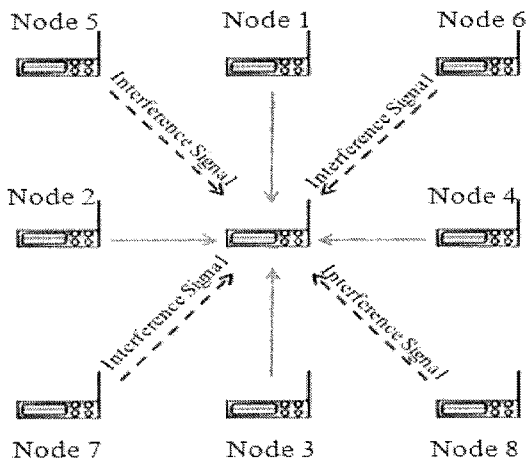
3.3 ทฤษฎีคิว

ทฤษฎีคิว (queuing theory) เป็นทฤษฎีที่ใช้กำหนดพฤติกรรมของกลุ่มข้อมูล (packet) ในระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ทฤษฎีคิวอย่างง่ายที่อ้างถึง M/M/1/∞ คิว จากงานวิจัยของ Garcia, A. L. (1994) โดยที่มีการกำหนดการมาถึงของกลุ่มข้อมูลให้มีลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบปัวซงและเวลาการให้บริการ (service time) ให้มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง (exponential) ด้วยเซอร์เวอร์เดี่ยวและ infinite waiting space โดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์ปัญหาด้วยการกำหนดให้เป็นเซอร์เวอร์เดี่ยวนั้นจำทำได้ง่ายกว่าการกำหนดให้เป็นระบบคิวแบบเซอร์เวอร์หลายตัว ยิ่งไปกว่านั้นผลของขอบเขตจะได้มาจากการกำหนดให้ระบบมีการเข้าคิวของเซอร์เวอร์ตัวเดี่ยวหลายๆ ตัวขนานกัน เมื่อผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลสามารถเข้าคิวได้แบบเชิงสุ่ม

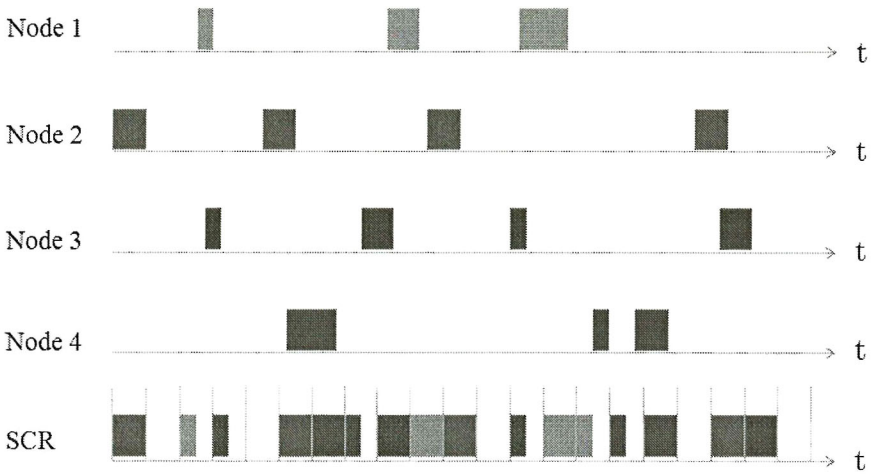
ระบบการเข้าคิว (queuing systems) คือรูปแบบที่เหมาะสมที่ใช้อ้างอิงในการทำงานวิจัยและพัฒนาสำหรับระบบสื่อสารทั่วไป หลักการพื้นฐานของระบบคิวแสดงในรูปที่ 3.3 สำหรับระบบคิวแบบ M/M/1 จะมีความหนาแน่นของทราฟฟิกดังนี้ $\rho = \lambda/\mu$ เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของทราฟฟิก λ คืออัตราการมาถึงเฉลี่ยของข้อมูล และ μ คืออัตราการบริการเฉลี่ย เมื่อโนดตัวรับคือโนดตัวกลางที่แสดงในรูปที่ 3.4 สำหรับกลุ่มข้อมูลที่มาถึงการกระจายตัวจะถูกกำหนดให้เป็นแบบ Poi



รูปที่ 3.3 ระบบคิว



รูปที่ 3.3 รูปแบบการส่งสัญญาณจากโนดต่างๆ ในระบบ



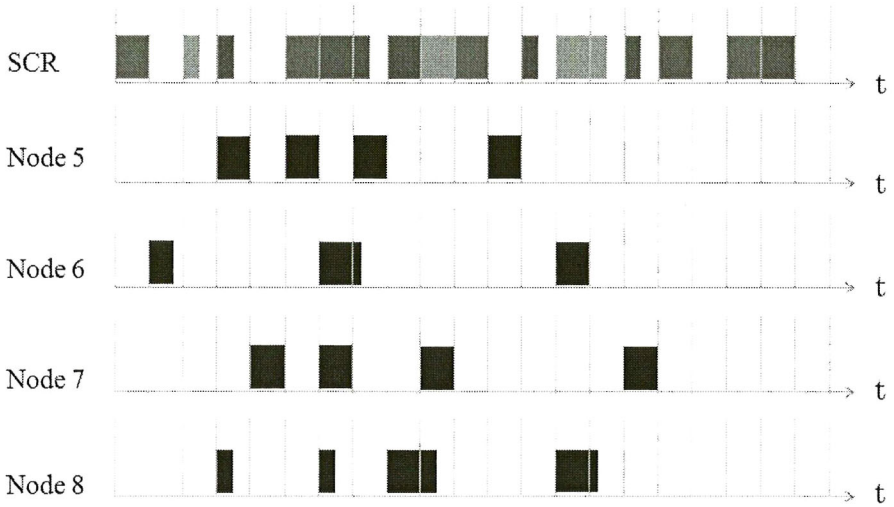
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเข้าถึงของกลุ่มข้อมูลในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย

รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นตัวอย่างของกลุ่มข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นจากโหนดรอบข้างในรูปที่ 3.3 ทั้ง 4 โนดและผลลัพของการส่งกลุ่มข้อมูลที่เกิดขึ้น เมื่อใช้โปรโตคอลแบบ SCR ในการจัดคิดที่ตัวรับซึ่งเป็นโนดตัวกลางที่เห็นในรูปที่ 3.3

3.4 ปัญหาการแทรกสอดของสัญญาณ

ถึงแม้ว่าโปรโตคอล SCR จะถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของกลุ่มข้อมูล แต่ก็คงเกิดการชนกันของกลุ่มข้อมูลอยู่ สาเหตุเนื่องมาจากสัญญาณแทรกสอดที่ส่งมาจากโนดข้างเคียง รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นตัวอย่างการชนกันของกลุ่มข้อมูลอันเนื่องมาจากสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณเดียวกัน ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อโนดหนึ่งส่งข้อมูลถึงโนดข้างเคียงและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกส่งออกมารอบทิศทางทำให้เกิดการแทรกสอดขึ้นที่โนดอื่นด้วยเช่นกัน จากรูปที่ 3.5 เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าการเกิดการชนกันของข้อมูลทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณได้เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นระบบเครือข่ายเมชไร้สายจึงจำเป็นต้องมีระบบที่จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาการแทรกสอดของสัญญาณจากช่องสัญญาณเดียวกัน ซึ่งได้แก่ระบบสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นนั้นเอง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูป 3.5 ตัวอย่างการชนกันของข้อมูลที่เกิดจากสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณเดียวกัน

3.5 การจำลองแบบเพื่อดูผลกระทบของสัญญาณแทรกสอด

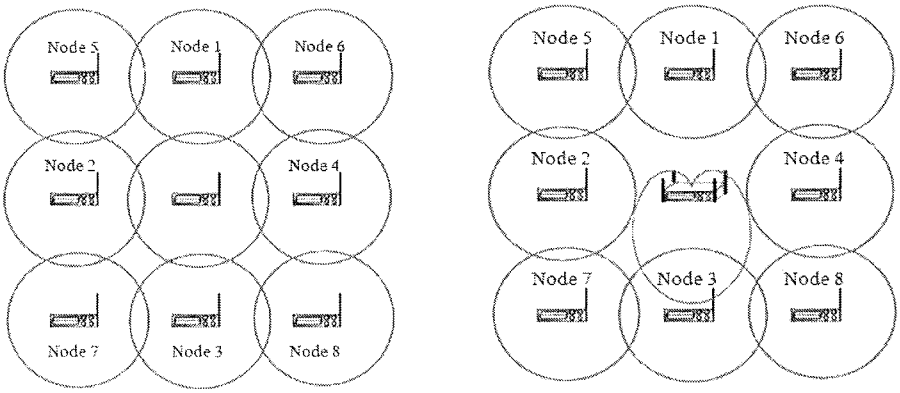
การจำลองแบบจะกระทำในคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบถึงผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย ในการจำลองแบบครั้งนี้ ระยะห่างระหว่างโนดแต่ละโนดในแนวตั้งและแนวนอนมีค่าเท่ากัน พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งบอกถึงสมรรถนะของระบบได้แก่ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal-to-Interference Ratio: SIR) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณแทรกสอดที่มีช่องสัญญาณเดียวกัน ค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทางได้เป็นอย่างดี

ในการจำลองแบบครั้งนี้จะกำหนดสถานการณ์ที่เกิดขึ้นอยู่ 3 สถานการณ์ดังนี้ สถานการณ์ที่ 1: ทุกโนดมีการแผ่พลังงานในลักษณะรอบทิศทางดังที่แสดงในรูปที่ 3.6 (ก) ซึ่งในสถานการณ์นี้จะไม่มีการใช้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นติดตั้งไว้ที่ตัวจัดเส้นทาง สถานการณ์ที่ 2: สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นจะถูกติดตั้งไว้ที่โนดตัวกลางเท่านั้น ซึ่งเปรียบได้ว่าโนดตัวกลางเป็น gateway ส่วนโนดรอบข้างที่เหลือจะใช้สายอากาศที่มีการแผ่พลังงานแบบรอบทิศทางดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 (ข) สถานการณ์ที่ 3: สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นถูกติดตั้งไว้ที่โนดทุกตัวในระบบ จากนี้การทดลอง 3 การทดลองจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อทดสอบสมรรถของระบบเครือข่ายเมชไร้สายดังนี้

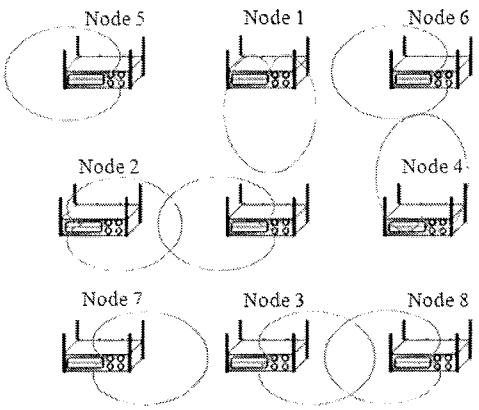
-การทดลองที่ 1: กำหนดให้อัตราการมาถึงเฉลี่ยของข้อมูล (λ) มีค่าเท่ากับ 0.5 และค่าความหนาแน่นทราฟฟิก (ρ) เท่ากับ 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 0.9

-การทดลองที่ 2: กำหนดให้ค่าอัตราการบริการเฉลี่ย (μ) มีค่าคงที่เท่ากับ 0.5 และค่าความหนาแน่นทราฟฟิก (ρ) เท่ากับ 0.1 0.3 0.5 0.7 และ 0.9

-การทดลองที่ 3: กำหนดให้อัตราการมาถึงเฉลี่ยของข้อมูล (λ) มีค่าเท่ากับ 0.5 และค่าความหนาแน่นทราฟฟิก (ρ) เท่ากับ 0.5 เพื่อแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของความน่าจะเป็นของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 สถานการณ์ทั้งสามของเครือข่ายเมชไร้สายที่ใช้ในการจำลองแบบเมื่อ

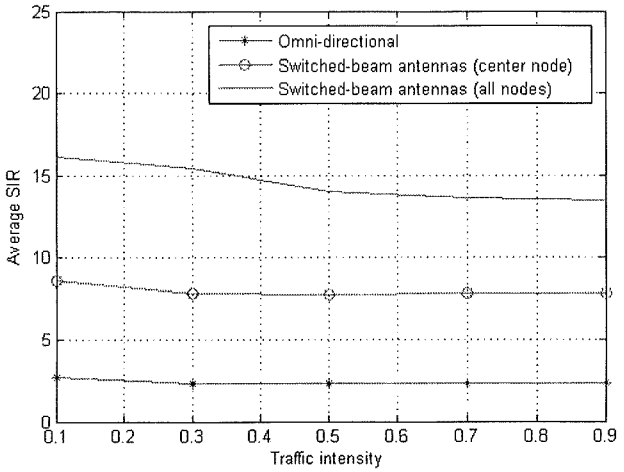
(ก) ทุกโนดติดตั้งสายอากาศที่มีการแผ่พลังงานรอบทิศทาง

(ข) โนดตัวกลางติดตั้งสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นเพียงตัวเดียว

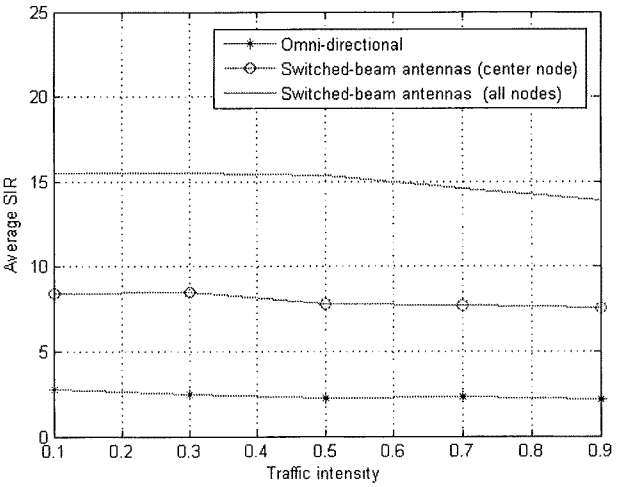
(ค) ทุกโนดติดตั้งสายอากาศสวิตช์ลำคลื่น

3.6 ผลการจำลองแบบ

ผลที่ได้จากการจำลองแบบเพื่อดูค่าความหนาแน่น (ρ) เทียบกับกับค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด ของทั้งสามสถานการณ์แสดงอยู่ในรูปที่ 3.7 เมื่อผลที่แสดงในรูปที่ 3.7(ก) และรูป 3.7(ข) คือผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 และ 2 ดังที่กำหนดไว้ในข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีที่ติดตั้งสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่โนดตัวกลางและทุกโนดจะทำให้สมรรถนะของระบบสูงกว่าในกรณีที่โนดทุกตัวใช้สายอากาศที่การแผ่พลังงานรอบทิศทางประมาณ 12 dB ส่วนค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด ของระบบในกรณีที่ใช้สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่โนดทุกตัวสูงกว่าในกรณีที่ใช้สายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่โนดตัวกลางอย่างเดียวอยู่ 6 dB



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 ค่าเฉลี่ย สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด เทียบกับค่าความหนาแน่นทราฟฟิก

(ก) กรณีที่ค่าอัตราการมาถึงของข้อมูลเฉลี่ยเท่ากับ 0.5

(ข) กรณีที่ค่าอัตราการบริการเฉลี่ยเท่ากับ0.5

รูปที่ 3.8 แสดงการกระจายตัวของความน่าจะเป็นของค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด ของระบบใน 3 สถานการณ์ที่กำหนดในเบื้องต้น จากรูปพบว่ากรณีที่ใช้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นทำให้ความน่าจะเป็นของค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด ที่จะเกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าอีก 2 สถานการณ์: ใช้สายอากาศรอบทิศทาง และสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่โนดตัวกลางเพียงอย่างเดียว ส่วนเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในกรณีที่ติดตั้งสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นที่โนดตัวกลางและการใช้สายอากาศรอบทิศทางที่ทุกโนด พบว่าในกรณีที่ใช้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นจะให้สมรรถนะที่สูงกว่า กล่าวคือให้ความน่าจะเป็นของค่าสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด ที่สูงกว่า

จากผลทั้งหมดที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 2 สถานการณ์พบว่า เราสามารถยืนยันสมรรถนะของสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นที่มีสูงกว่าการใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย เนื่องจากสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นมีความสามารถในการลดสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณเดียวกันด้วยการหันลำคลื่นรองหรือจุดศูนย์ไปยังทิศทางของสัญญารแทรกสอด จึงส่งผลให้ค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด เฉลี่ยของระบบสูงขึ้น และในกรณีที่ติดตั้งสายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่นไว้ที่โนดทุกตัวจะทำให้ได้สรรถนะสูงที่สุด

3.7 กล่าวสรุป

ในบทนี้ได้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของสายอากาศเก่งแบบสวิตช์ลำคลื่นที่สามารถลดผลกระทบของสัญญาณแทรกสอดจากช่องสัญญาณเดียวกันในระบบเครือข่ายเมชไร้สาย ซึ่งโปรโตคอล SCR ถูกเลือกมาใช้เนื่องจากเหมาะสมกับเครือข่ายเมชไร้สายที่ใช้สายอากาศแบบสวิตช์ลำคลื่น จากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์พบว่ากรณีที่มีการติดตั้งสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่โนดทุกตัวทำให้ระบบมีค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด สูงที่สุด หรือแม้กระทั่งติดตั้งสายอากาศสวิตช์ลำคลื่นที่โนดตัวกลางเพียงอย่างเดียวก็ยังให้ค่า สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด ที่สูงกว่าเครือข่ายเมชไร้สายที่ใช้สายอากาศรอบทิศทางที่ทุกตัวจัดเส้นทาง