บทที่ 4
ผลการจำลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลอง และการวิจารณ์สมรรถนะของระบบ MC-CDMA ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ที่มีการใช้พรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งร่วมกับตัวตรวจหาที่เครื่องรับโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดมาหาค่าพรีโคดเดอร์และตัวตรวจหาดังกล่าวตามวิธีการที่ได้นำเสนอไปในบทที่แล้ว เพื่อปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้น โดยเริ่มต้นจะกล่าวถึงข้อสมมติ และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ ถัดมาจะกล่าวถึงผลการจำลองระบบเพื่อดูผลการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุด และสมรรถนะของระบบที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอที่แบบทดสอบในกรณีต่างๆ และวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดสอบ

4.1 ข้อสมมติต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ

ในการจำลองระบบเพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบ MC-CDMA ที่มีการใช้พรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งร่วมกับตัวตรวจหาที่เครื่องรับโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดมาหาค่าดังกล่าวตามที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีการกำหนดข้อสมมติดังนี้

1. พิจารณาระบบ MC-CDMA ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (uplink channel) ที่มีผู้ใช้หลายคนในระบบ
2. มีการเติมอุปสรรคหมุนวน (cyclic prefix) เพียงพอ
3. พิจารณาช่องสัญญาณเฟดดิงอย่างช้า (slow fading channel)
4. ที่สถานีฐานสามารถทำการเชื่อมประสานทางเวลา (time synchronize) ของสัญญาณที่รับได้ของผู้ใช้ทุกรายได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์
5. ทำการส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ BPSK (binary phase shift keying) ตลอดทั้งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

4.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองระบบ

ค่าพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการจำลองระบบตลอดทั้งวิทยานิพนธ์ มีการกำหนดดังนี้

1. รหัสแผ่ที่ใช้สำหรับผู้ใช้แต่ละรายในระบบ MC-CDMA ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้รหัสแผ่ชนิดวอล์ทฮาดามาท โดยมีความยาวเท่ากับจำนวนคลื่นพาห์ย่อยที่ใช้

2. สัญญาณรบกวน (noise) ที่ใช้ในการจำลองระบบ จะใช้สัญญาณรบกวนเกาส์สีขาวแบบบวก (Additive White Gaussian Noise : AWGN) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของขนาดสัญญาณเท่ากับศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนที่เปลี่ยนตามกำลังของสัญญาณรบกวนที่ใช้ในการจำลองระบบ คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio : SNR) ตามที่กำหนด

4.3 ผลการจำลองระบบ

4.3.1 ผลการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด

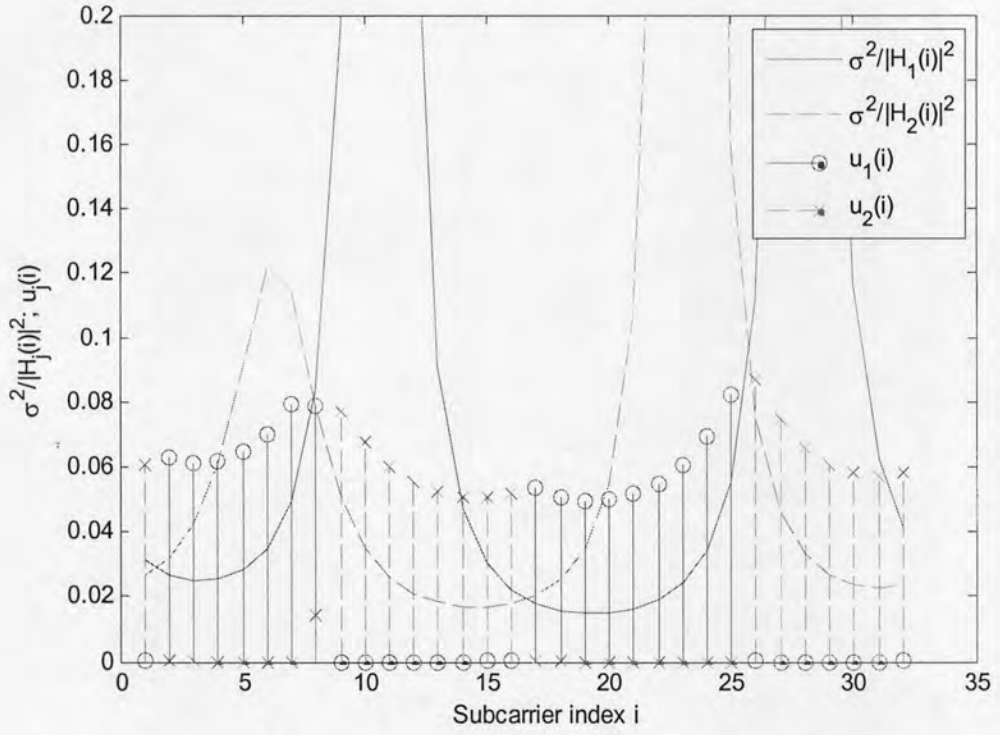
ในหัวข้อนี้ต้องการดูผลของค่าพรีโคดเดอร์ที่หาค่าได้จากการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยวิธีการที่นำเสนอในบทที่ 3 โดยแสดงในรูปการจัดสรรพลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้ กับค่าอัตราส่วนขนาดอัตราขยายช่องสัญญาณ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง จะทำการทดสอบให้เห็นผลที่ได้ในกรณีที่มีผู้ใช้ 2 ราย โดยผู้ใช้แต่ละรายถูกผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณจำนวน 3 แทป มีค่าดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายที่ใช้ในการทดสอบ

ผู้ใช้	ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ช่องสัญญาณ
รายที่ 1	[0.5141 - 0.2216i, -0.1282 - 0.0703i, 0.4069 + 0.2211i]
รายที่ 2	[0.0180 + 0.3724i, 0.0926 - 0.1372i, 0.4964 + 0.3805i]

ผู้ใช้แต่ละรายถูกมอดูเลชันแบบหลายคลื่นพาห์ย่อยจำนวน 32 คลื่นพาห์ย่อย โดยกำลังงานรวมของคลื่นพาห์ย่อยทั้งหมดของผู้ใช้แต่ละรายมีค่าเท่ากัน คือมีค่า $p_1 = p_2$ และสัญญาณรบกวนคือ $\mathbf{R} = \sigma^2\mathbf{I}$ โดยทำการทดสอบที่ค่า SNR เท่ากับ 5 dB ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด

แกน x แสดงดัชนีของความถี่คลื่นพาห์ย่อย ซึ่งมีทั้งหมด 32 คลื่นพาห์ย่อย แกน y ประกอบด้วย 2 ส่วน โดย ในส่วนแรกนั้นคือค่าอัตราส่วนของความแปรปรวนของสัญญาณรบกวนและขนาดอัตราขยายช่องสัญญาณกำลังสอง ($\sigma^2/|H_j(i)|^2$) ซึ่งแสดงด้วยเส้นกราฟในผลการทดสอบ สำหรับส่วนที่สองนั้นคือค่าพรีโคดเดอร์ $\mathbf{u}_j(i)$ ในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยที่หาค่าได้จากการหาค่าเหมาะที่สุดจากวิธีการที่นำเสนอในลักษณะกำลังงานที่จัดสรรให้แต่ละคลื่นพาห์ย่อย ซึ่งแสดงด้วยสเต็มในผลการทดสอบ สำหรับผู้ใช้รายที่หนึ่งนั้นแสดงด้วยเส้นทึบ และผู้ใช้รายที่สองนั้นแสดงด้วยเส้นประ

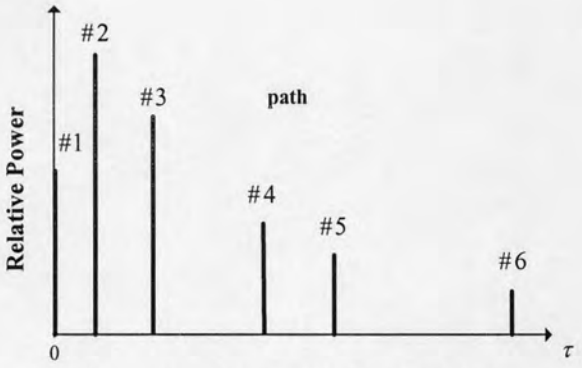
อธิบายผลการทดสอบจากรูปที่ 4.1 ได้ดังนี้ พิจารณาจากเส้นกราฟของ $\sigma^2/|H_j(i)|^2$ ซึ่งมีความหมายคือ เมื่อมีค่าต่ำจะหมายถึงลักษณะช่องสัญญาณดี โดยควรที่จะส่งกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยนั้นให้มีค่ามาก หากมีค่าน้อยจะหมายถึงลักษณะช่องสัญญาณไม่ดี ควรที่จะส่งกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยนั้นให้มีค่าน้อยหรือไม่ส่งเลย เมื่อพิจารณที่ผู้ใช้รายที่หนึ่ง จะพบว่าค่าการจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด $\mathbf{u}_1(i)$ แสดงด้วยสเต็ม ถูกจัดสรรให้มีค่าในคลื่นพาห์ย่อยในลำดับที่ 2-8 และ 17-25 ด้วยค่าขนาดกำลังงานที่

แตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับค่า $\sigma^2/|H_1(i)|^2$ ซึ่งมีค่าต่ำ และไม่มีการจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยที่เหลือเนื่องจากค่า $\sigma^2/|H_1(i)|^2$ มีค่าสูง สำหรับในรายที่สองนั้นจะพบว่าค่าการจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด $\mathbf{u}_2(i)$ ถูกจัดสรรให้มีค่าในคลื่นพาห์ย่อยในลำดับที่ 1, 8-16 และ 26-32 ด้วยค่าขนาดกำลังงานแตกต่างกันซึ่งสอดคล้องกับค่า $\sigma^2/|H_2(i)|^2$ ซึ่งมีค่าต่ำ และไม่มีการจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยที่เหลือเนื่องจากค่า $\sigma^2/|H_1(i)|^2$ มีค่าสูง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในบางคลื่นพาห์ย่อยคือ คลื่นพาห์ย่อยในลำดับที่ 8 นั้นจะมีการจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ในผู้ใช้ทั้งสองราย คือ $\mathbf{u}_1(i)$ และ $\mathbf{u}_2(i)$ และแม้ว่าในคลื่นพาห์ย่อยลำดับที่ 14-16 นั้น ค่า $\sigma^2/|H_1(i)|^2$ ของผู้ใช้รายแรกจะมีค่าต่ำก็ตาม แต่ไม่มีการจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ $\mathbf{u}_1(i)$ กลับจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ $\mathbf{u}_2(i)$ ในผู้ใช้รายที่สองแทน ซึ่งสามารถอธิบายได้เนื่องมาจากลักษณะของผู้ใช้หลายราย การจัดสรรกำลังงานในคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์นอกจากจะพิจารณาค่า $\sigma^2/|H_j(i)|^2$ ของตัวเองแล้วยังต้องคำนึงถึงค่าของผู้ใช้รายอื่นด้วย

4.3.2 สมรรถนะของระบบที่นำเสนอในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ระบบ MC-CDMA หลายผู้ใช้

หลังจากที่ได้แสดงผลของลักษณะการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยของพรีโคดเดอร์ที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุดในหัวข้อที่แล้ว ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะที่ได้ โดยจะวัดสมรรถนะของระบบจากอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูล (bit error rate : BER) เมื่ออัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio : SNR) เปลี่ยนไปที่ค่าต่างๆ

ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบโดยใช้แบบจำลองช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมือง (typical urban : TU) เพื่อทดสอบระบบสำหรับการนำไปใช้งานในเมือง โดยแบบจำลองช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมืองที่ใช้นั้น มีจำนวนวิถีทั้งหมด 6 วิถี โดยมีพารามิเตอร์คือค่ากำลังงานและเวลาหน่วงในแต่ละวิถีของแบบจำลองช่องสัญญาณ [32] ดังตาราง 4.2 และลักษณะของช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมืองแสดงในรูปที่ 4.2

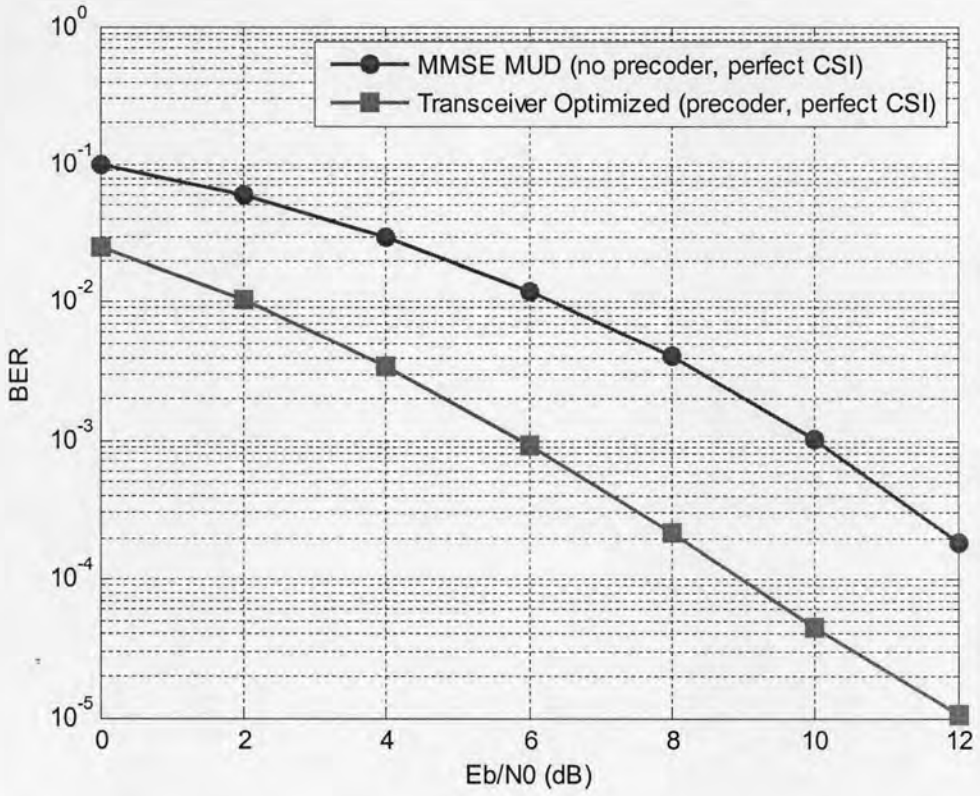


รูปที่ 4.2 ช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมือง

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองช่องสัญญาณเฟดดิงพหุวิถีในเมือง (typical urban : TU) [32]

วิถี (path) #	Delay (μs)	Normalized Power
1	0	0.189
2	0.2	0.379
3	0.5	0.239
4	1.6	0.095
5	2.3	0.061
6	5.0	0.037

โดยการทดสอบวัดสมรรถนะในกรณีนี้จะพิจารณาเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและตัวตรวจหาที่เครื่องรับด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดนั้นถูกต้องสมบูรณ์ ในระบบ MC-CDMA ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด 8 ราย ใช้รหัสวอล์ทฮาดามาทซึ่งมีความยาวเท่ากับจำนวนคลื่นพาห์ย่อย และมีจำนวนคลื่นพาห์ย่อยเท่ากับ 64 โดยเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการดั้งเดิมซึ่งไม่มีการใช้พรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่ง กล่าวคือไม่มีการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยและใช้เครื่องรับแบบ MMSE MUD [5], [8] ผลการวัดสมรรถนะด้วยอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลที่ค่า SNR ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลของระบบที่นำเสนอ เมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและดีโคดเดอร์ที่เครื่องรับด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดนั้นถูกต้องสมบูรณ์ (Perfect CSI)

แกน x แสดงค่า SNR ที่ค่าต่างๆ ที่ค่า SNR ต่ำ หมายถึงระบบถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนมาก ซึ่งทำให้การดีเทกข้อมูลที่เครื่องรับผิดพลาดได้ง่ายกว่า ที่ค่า SNR สูง แกน y แสดงค่าอัตราความผิดพลาดของบิตข้อมูล โดยระบบที่ดีจะต้องมีค่า BER ต่ำ

อธิบายผลการทดสอบสมรรถนะจากรูปที่ 4.3 ได้ดังนี้ พิจารณากราฟที่ได้จะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอคือการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและดีโคดเดอร์ที่เครื่องรับด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดนั้น มีสมรรถนะที่ดีกว่าโดยได้ค่า BER ที่ต่ำกว่า การใช้เครื่องรับแบบ MMSE MUD ซึ่งไม่มีการใช้พรีโคดเดอร์ ประมาณ 4 dB ตลอดช่วง SNR ที่ค่าต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่า SNR น้อยนั้น โดยปกติการที่จะปรับปรุงสมรรถนะให้ดีขึ้นนั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากขนาดของสัญญาณรบกวนมีค่ามาก ส่วนที่ค่า SNR สูงนั้นโดยปกติระบบจะมีค่า BER น้อยอยู่แล้ว การที่วิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถทำให้ค่า BER น้อยลงได้นั้นเป็นผลเนื่องมาจากการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยด้วยพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งซึ่งเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสม

กับสถานะของช่องสัญญาณในขณะนั้นด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด โดยค่าตัวตรวจหาที่ใช้ที่เครื่องรับด้วยวิธีการนี้ก็มีค่าเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งด้วย ตามเกณฑ์ที่ใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุดคือทำให้ระบบมีค่า MSE ต่ำที่สุด

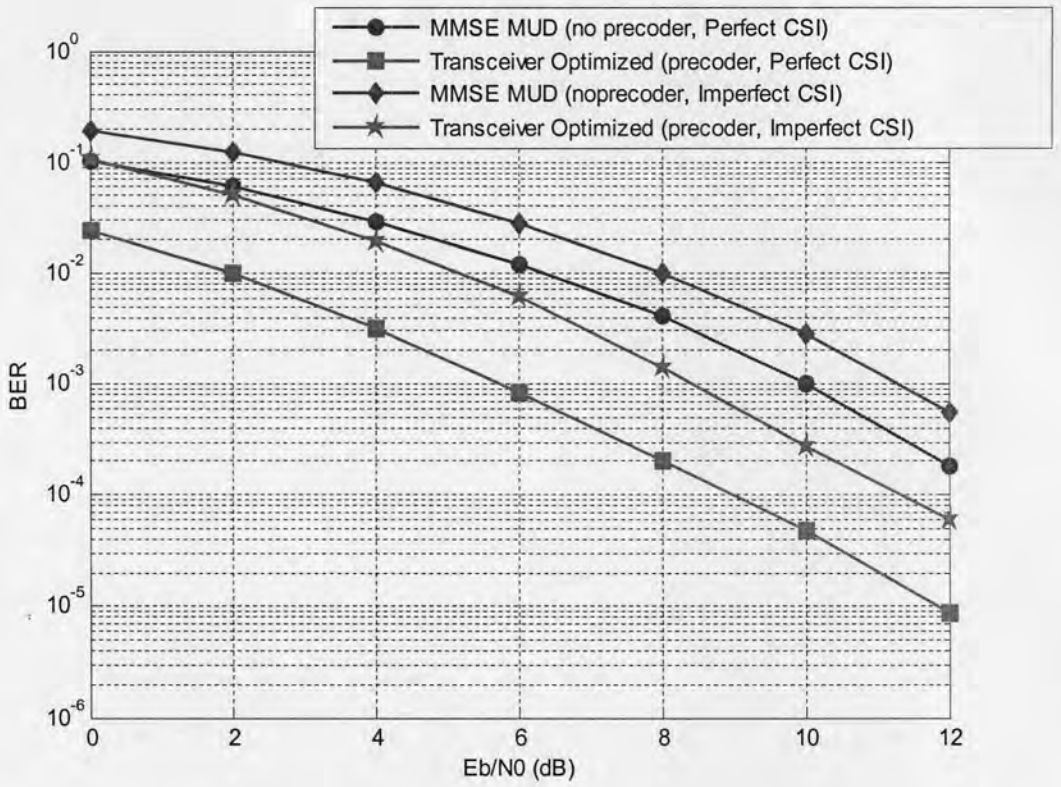
4.3.3 ผลการทดสอบเมื่อค่าการประมาณช่องสัญญาณไม่ถูกต้องสมบูรณ์ (imperfect channel estimation)

จากผลการทดสอบสมรรถนะของระบบที่ได้ของวิธีการที่นำเสนอในหัวข้อที่แล้วนั้นอยู่บนพื้นฐานของการที่ค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่านั้นมีค่าถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งค่านี้นั้นใช้ในเครื่องรับแบบ MMSE MUD ในระบบเดิมเช่นกัน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติค่าสถานะของช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและตัวตรวจหาที่เครื่องรับนั้นจะมีค่าที่ถูกต้องไม่สมบูรณ์ อันเนื่องมาจากสาเหตุ เช่น การประมาณค่าสถานะช่องสัญญาณที่เครื่องรับนั้นผิดพลาดไปจากค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบในกรณีดังกล่าวนี้ คือเมื่อ ค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้นั้นมีค่าผิดพลาดไปจากค่าที่ถูกต้อง [34] สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\hat{h}_k = h_k + \Delta h_k \tag{4.1}$$

เมื่อ $\hat{h}_k$ แทนค่าสถานะช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นเมื่อภาครับของระบบทำการประมาณค่าสถานะช่องสัญญาณผิดพลาดไปจากค่าที่ถูกต้องของช่องสัญญาณ h_k ในขณะนั้นโดยผิดพลาดไปด้วยค่า Δh_k ซึ่งคือตัวแปรสุ่มเกาส์เชิงซ้อน (complex Gaussian random variable) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ_e^2 โดยค่าความแปรปรวนของ Δh_k ซึ่งมีค่าความแปรปรวน σ_e^2 จะขึ้นอยู่กับขนาด SNR ของสัญลักษณ์นำร่อง (pilot symbol) ดังนี้ คือ $\sigma_e^2 \propto \left(\frac{E_p}{N_0}\right)^{-1}$ เมื่อ E_p แทนพลังงานของสัญลักษณ์นำร่อง จากนั้นจึงนำค่า $\hat{h}_k$ ที่ได้ตามที่กล่าวไว้นี้ไปใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและตัวตรวจหาที่เครื่องรับด้วยการหาค่าเหมาะที่สุด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบในหัวข้อนี้ซึ่งทำการทดสอบดูผลเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้มีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์อันเนื่องมาจากการประมาณค่าสถานะช่องสัญญาณที่เครื่องรับนั้นผิดพลาดไปจากค่าที่ถูกต้องตามที่ได้กล่าวไว้ โดยกำหนดให้ค่าพลังงานสัญลักษณ์นำร่องเท่ากับพลังงานสัญลักษณ์ข้อมูล สำหรับค่าพารามิเตอร์อื่นนั้นใช้ค่าตามที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ผลที่ได้ในกรณีนี้ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลของระบบที่นำเสนอ เมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์ที่เครื่องส่งและดีโคดเดอร์ที่เครื่องรับด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดนั้นไม่ถูกต้องสมบูรณ์ (imperfect channel state information)

อธิบายผลการทดสอบสมรรถนะจากรูปที่ 4.4 ได้ดังนี้ พิจารณากราฟที่ได้จะเห็นว่าเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ในการออกแบบหาค่าพรีโคดเดอร์และตัวตรวจหา มีค่าที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์อันเนื่องมาจากการประมาณช่องสัญญาณที่เครื่องรับผิดพลาดไปจากค่าสถานะช่องสัญญาณจริงในขณะนั้น จะทำให้ผลของสมรรถนะระบบลดลง โดยมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลของระบบเพิ่มสูงขึ้น ผลกราฟที่ได้เมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณไม่ถูกต้องสมบูรณ์ทั้งกรณีของเครื่องรับ MMSE MUD ในระบบเดิม กับวิธีการที่นำเสนอโดยใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อหาค่าพรีโคดเดอร์นั้น จะมี BER ที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณถูกต้องสมบูรณ์ โดยในกรณีของเครื่องรับแบบ MMSE MUD เปรียบเทียบเมื่อค่า CSI ถูกต้องสมบูรณ์ กับ มีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์นั้น ต่างกันประมาณ 2 dB ตลอดช่วง SNR ส่วนในกรณีของวิธีการนำเสนอซึ่งใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดนั้น เปรียบเทียบเมื่อค่า CSI ถูกต้องสมบูรณ์ กับ มีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์นั้น ต่างกันประมาณ 3 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลของค่า CSI ที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์อันเนื่องมาจากการประมาณช่องสัญญาณที่เครื่องรับผิดพลาดไปจากค่าสถานะ

ช่องสัญญาณจริงในขณะนั้น ในกรณีของวิธีการที่นำเสนอซึ่งใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดนั้น มีผลมากกว่า โดยอธิบายได้ว่าเมื่อนำค่า CSI ที่ไม่ถูกต้องมาใช้ ทำให้การหาค่าพรีโคดเดอร์เพื่อจัดสรรกำลังงานผิดพลาดจะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบโดยมี BER เพิ่มขึ้นมากกว่าในกรณีใช้เครื่องรับ MMSE MUD ในระบบเดิมซึ่งไม่มีการจัดสรรกำลังงานโดยให้กำลังงานในทุกคลื่นพาห์ย่อยเท่ากัน

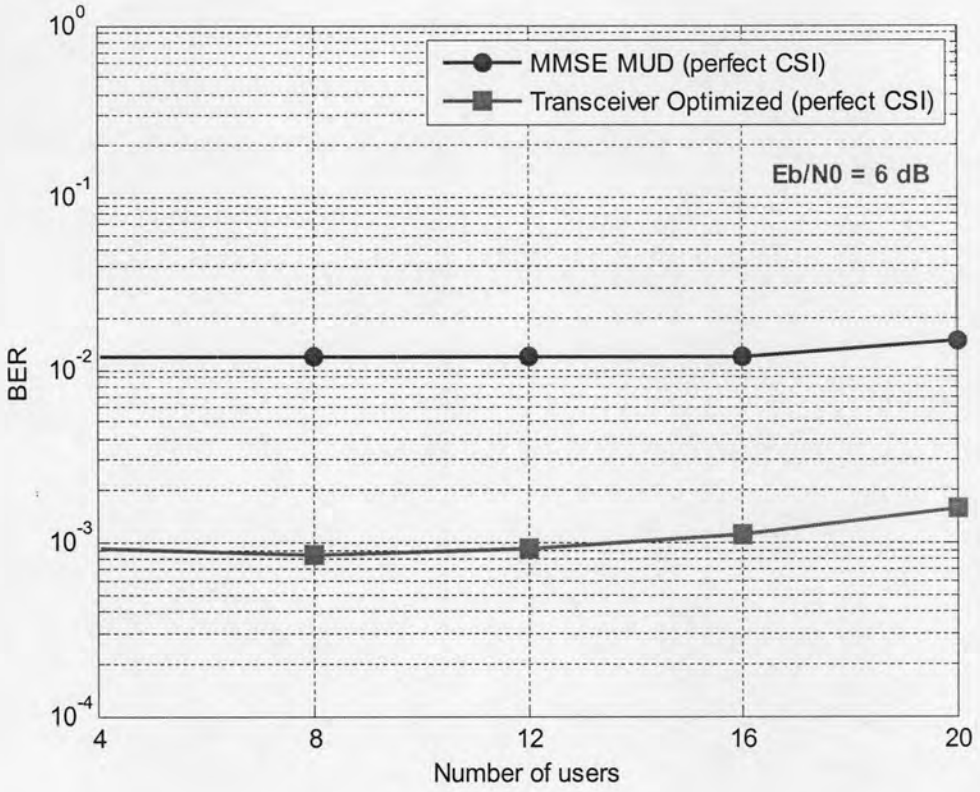
อย่างไรก็ตามสมรรถนะที่ได้ของระบบที่นำเสนอซึ่งมีการจัดสรรกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยด้วยพรีโคดเดอร์นั้น มีสมรรถนะที่ดีกว่าระบบดั้งเดิมที่ไม่มีพรีโคดเดอร์สำหรับกรณีเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้จะมีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์ ด้วยเช่นกัน

4.3.4 สมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น

ในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบสมรรถนะของระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบ MC-CDMA ที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้นั้นเป็นระบบที่ใช้สำหรับรองรับผู้ใช้งานหลายรายเข้าใช้งานช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยจะทำการวัดอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น ที่ค่า SNR เท่ากับ 6

1. ผลของจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นในกรณีเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณถูกต้องสมบูรณ์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ ในหัวข้อนี้ใช้ค่าเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 4.3.2 โดยทำการทดสอบที่ค่า SNR เท่ากับ 6 dB ที่ค่าจำนวนผู้ใช้ต่างๆ ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ถูกต้องสมบูรณ์ (Perfect CSI) ได้ผลดังรูปที่ 4.5

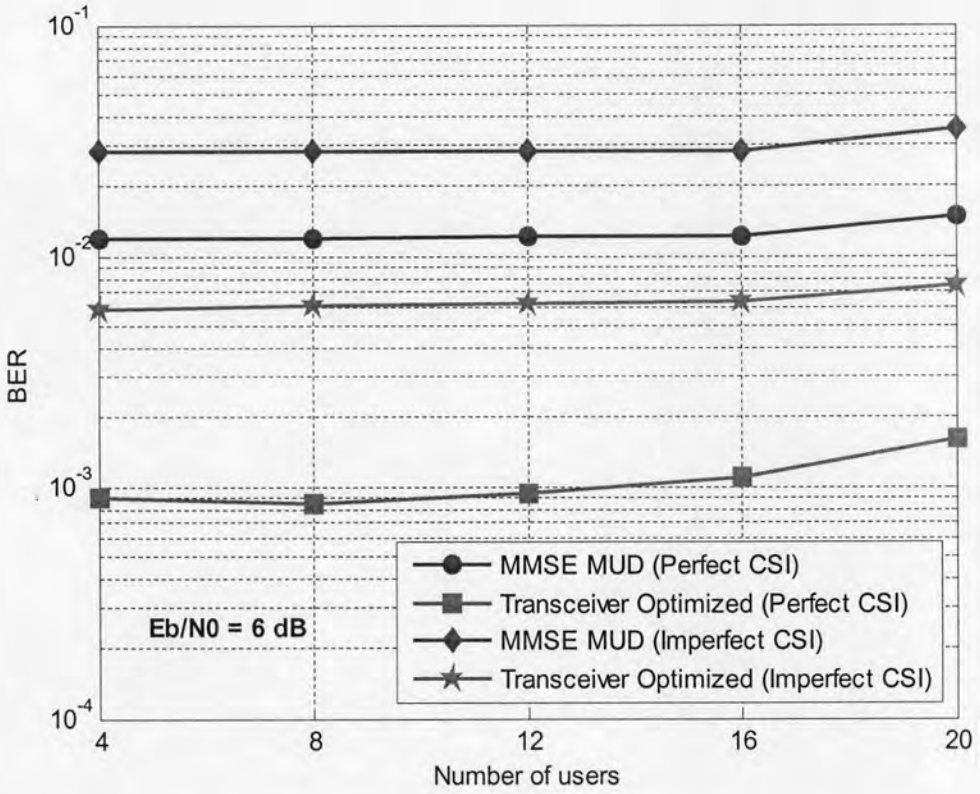


รูปที่ 4.5 สมรรถนะของระบบที่จำนวนผู้ใช้ต่างๆ ที่ค่า SNR เท่ากับ 6 dB

อธิบายผลการทดสอบสมรรถนะจากรูปที่ 4.5 ได้ดังนี้ จากกราฟ ในประเด็นแรกจะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอคือการใช้พรีโคดเดอร์เพื่อจัดสรรกำลังงานด้วยวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดจะมีค่าอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลที่ต่ำกว่า วิธีการเดิมที่ไม่มีพรีโคดเดอร์เพื่อจัดสรรกำลังงาน ที่ทุกค่าของจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือวิธีการที่นำเสนอมีสมรรถนะที่ดีกว่าแม้ว่าจำนวนผู้ใช้จะเพิ่มขึ้น ประเด็นถัดมาจากกราฟผลของจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นที่จำนวนผู้ใช้ในระบบไม่มาก คือจำนวนผู้ใช้น้อยกว่า 16 ราย อัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ผลของอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลจะเริ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น คือจำนวนผู้ใช้ในระบบมีจำนวนมากกว่า 16 ราย อธิบายได้ว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่งการรบกวนกันเองก็จะสะสมเพิ่มขึ้นจนส่งผลให้เริ่มเห็นถึงอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลที่สูงขึ้น

2. ผลของจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นในกรณีเมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณไม่ถูกต้องสมบูรณ์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ ในหัวข้อนี้ใช้ค่าเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 4.3.2 โดยทำการทดสอบที่ค่า SNR เท่ากับ 6 dB ที่ค่าจำนวนผู้ใช้ต่างๆ ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ (Imperfect CSI) ได้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สมรรถนะของระบบที่จำนวนผู้ใช้ต่างๆ ที่ค่า SNR เท่ากับ 6 dB เมื่อค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้ไม่ถูกต้องสมบูรณ์

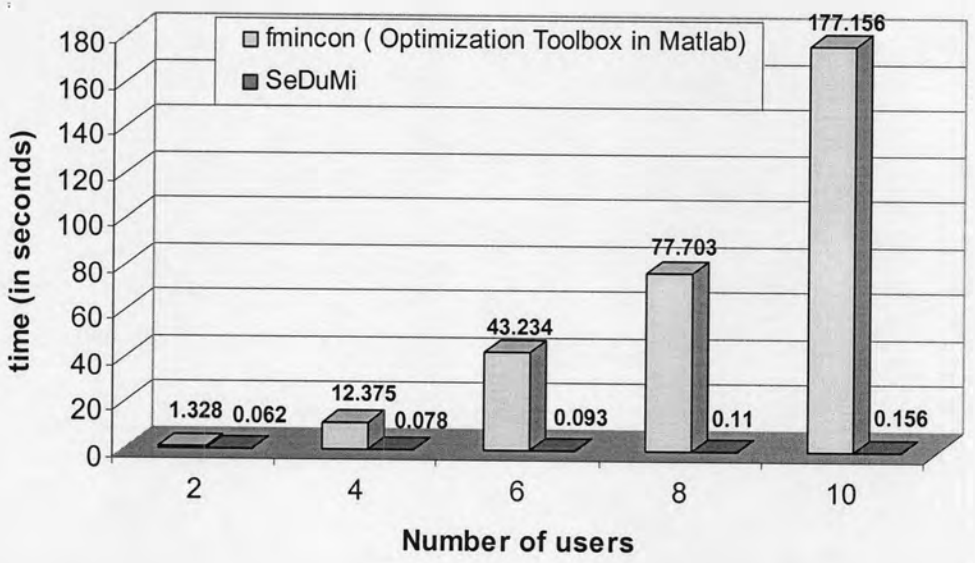
อธิบายผลจากกราฟสำหรับในกรณีนี้เพื่อดูผลเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ค่าสถานะช่องสัญญาณที่ใช้มีค่าไม่ถูกต้องสมบูรณ์ จะเห็นว่าที่ค่าสถานะช่องสัญญาณไม่ถูกต้อง นั้นวิธีการที่นำเสนอซึ่งมีการจัดสรรกำลังงานด้วยพรีโคดเดอร์นั้นอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลจะมีค่าน้อยกว่าวิธีการดั้งเดิมที่ไม่มีพรีโคดเดอร์ กล่าวคือวิธีการที่นำเสนอทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น โดยค่า BER จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบมีค่ามากขึ้นโดยจากกราฟจะเริ่มเห็นความแตกต่างเมื่อจำนวนผู้ใช้มากว่า 16 ราย สำหรับจำนวนคลื่นพาห์ย่อยที่ใช้เท่ากับ 64 อธิบายได้ว่าเนื่องจากการหาค่าพรีโคดเดอร์ด้วยวิธีการที่นำเสนอนั้นจะอาศัยค่าสถานะช่องสัญญาณ

มาใช้หาค่าการจัดสรรกำลังงาน ซึ่งหากค่าสถานะช่องสัญญาณนั้นมีค่าที่ผิดพลาดก็จะส่งผลให้การจัดสรรกำลังงานผิดพลาดทำให้อัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลสูงกว่าวิธีการเดิมซึ่งไม่มีการจัดสรรกำลังงาน คือการกระจายกำลังงานในแต่ละคลื่นพาห์ย่อยเท่ากันหมด

4.3.5 เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (Computational time)

การที่ต้องแปลงปัญหาของวิธีการที่นำเสนอ ให้อยู่ในรูปแบบการหาค่าเหมาะที่สุดคอนเวกซ์ เนื่องจากเมื่อปัญหาอยู่ในรูปแบบคอนเวกซ์แล้ว จะทำให้ได้ประโยชน์สองประการ คือ ในประการแรกจะทำให้คำตอบที่หาค่าได้เป็นค่าเหมาะที่สุดวงกว้าง ซึ่งได้ส่งผลให้วิธีการที่นำเสนอนั้นทำให้ระบบมีอัตราบิตข้อมูลผิดพลาดที่ต่ำกว่า นั่นคือระบบที่ได้มีสมรรถนะที่ดีกว่า ดังผลการทดสอบที่ผ่านมา และประโยชน์อีกประการหนึ่งเมื่อแปลงให้อยู่ในรูปคอนเวกซ์ คือ มีตัวแก้ปัญหาซึ่งใช้สำหรับปัญหาคอนเวกซ์โดยเฉพาะซึ่งอาศัยวิธีจุดภายใน เช่น SeDuMi โดยสามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมที่ผ่านมาของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบเวลาที่ใช้เมื่อนำมาคำนวณด้วยตัวแก้ปัญหา SeDuMi ซึ่งอาศัยวิธีจุดภายใน กับวิธีการเดิมโดยใช้ตัวแก้ปัญหาที่มากับโปรแกรม Matlab โดยใช้ฟังก์ชัน fmincon โดยนำสมการที่ (3.19) ในบทที่ 3 เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นแนวโน้มเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อหาคำตอบโดยตัวแก้ปัญหาดังกล่าว

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบในส่วนนี้ กำหนดให้ใช้ Matlab รุ่นที่ 7.1 (R14) service pack 3 และใช้ฟังก์ชัน fmincon ในเครื่องมือการหาค่าเหมาะที่สุดของ Matlab ซึ่งเป็นรุ่น 3.03 เปรียบเทียบกับตัวแก้ปัญหาซึ่งใช้วิธีจุดภายใน โดยใช้ SeDuMi รุ่น 1.1 [33] โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณใช้หน่วยประมวลผล Intel Pentium M 1.6 GHz โดยแกน x เป็นจำนวนผู้ใช้ที่ค่าต่างๆ สำหรับแกน y เป็นเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ โดยทำการหาคำตอบซ้ำทั้งหมด 5 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้แสดง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบ เปรียบเทียบตัวแก้ปัญหา SeDuMi กับตัวแก้ปัญหาที่มากับโปรแกรม Matlab

ผลจากการทดสอบจากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาคำตอบของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดคอนเวกซ์ โดยใช้ตัวแก้ปัญหา SeDuMi ซึ่งเป็นตัวแก้ปัญหาโดยอาศัยวิธีจุดภายใน สำหรับปัญหาที่เป็นคอนเวกซ์ นั้นใช้เวลาน้อยกว่า เมื่อใช้ตัวแก้ปัญหาที่มากับโปรแกรม Matlab ซึ่งเรียกใช้ผ่านฟังก์ชัน fmincon ซึ่งจากผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับคุณประโยชน์ของการที่ต้องทำการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดคอนเวกซ์ เนื่องจากมีตัวแก้ปัญหาซึ่งมีประสิทธิภาพมากสำหรับใช้หาคำตอบดังกล่าวโดยใช้เวลาที่น้อยมาก โดยหากใช้ตัวแก้ปัญหาที่มากับโปรแกรม Matlab เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น จะเห็นว่าเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อหาคำตอบจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก