บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะเป็นส่วนของผลการวิจัยและการวิจารณ์สมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด โดยแบ่งเป็น 4 หัวข้อใหญ่ หัวข้อแรกมีเนื้อหาเกี่ยวกับวิธีการจำลองระบบ หัวข้อที่สองจะเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับลักษณะการลู่เข้าของ SMSE เมื่อค่าช่วงก้าวเปลี่ยนไป หัวข้อที่สามจะเป็นสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องรับอื่นๆในสภาวะต่างๆ เช่น เมื่อ SNR เปลี่ยนไป, เมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น และความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล เป็นต้น โดยมีสมมุติฐานว่าไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่เครื่องรับ และหัวข้อสุดท้ายจะมีเนื้อหาเกี่ยวกับผลของความผิดพลาดที่ด้านรับที่มีต่อสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด

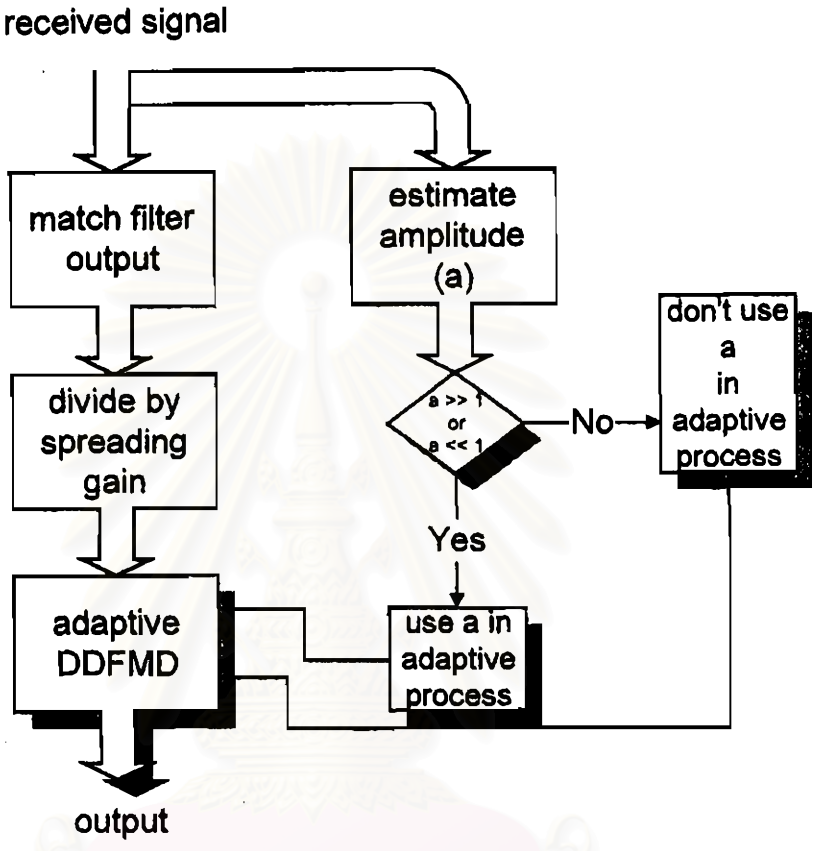
สำหรับเครื่องรับที่ถูกนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด มีดังนี้คือ เครื่องรับแบบแมตช์, ดีคอรีเลเตอร์ของ Lupas ในบทที่ 2, มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับของ A. Duel-Hallen ในบทที่ 2 (เพื่อไม่ให้สับสนกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดอื่นเครื่องรับนี้จะถูกเรียกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่), มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติโดยอัลกอริทึม LMS ของ P. Seite ในบทที่ 2 และเครื่องรับแบบแมตช์ในกรณีที่มีผู้ใช้รายที่พิจารณาส่งข้อมูลเพียงคนเดียวเท่านั้น หรือที่เรียกว่าขอบเขตผู้ใช้รายเดียวซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2 ทั้งนี้ขอบเขตผู้ใช้รายเดียวจะบอกถึงสมรรถนะในกรณีที่ไม่มีการรบกวนจาก MAI อยู่เลย

สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับในกระบวนการทำงานด้วย จะถูกตั้งสมมุติฐานว่าด้านรับสามารถประมาณขนาดของสัญญาณได้อย่างถูกต้อง ซึ่งหมายความว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับของ A. Duel-Hallen ที่นำมาเปรียบเทียบนี้จะเป็นกรณีที่ดีที่สุด

4.1 วิธีการจำลองระบบ

ในการจำลองระบบจะนำสัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์มาทำการหารด้วยอัตราขยายของสเปรดดิงโค้ด (spreading gain) ก่อนที่จะป้อนเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันอื่นๆต่อไป ซึ่งไม่ว่าจะมีการหารด้วยอัตราขยายก่อนเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันหรือไม่ สมรรถนะจะเป็นเช่นเดียวกัน

เนื่องจากการหารด้วยอัตราขยายนี้เป็นเพียงการปรับเท่าสเปรดดิงโค้ดให้มีขนาดเป็น 1 เท่านั้น อัตราส่วนของ MAI และสัญญาณรบกวนที่มากวนบิตข้อมูลที่ต้องการจะมีค่าเท่าเดิม และเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสเปรดดิงโค้ดที่ปรับเท่าแล้วนี้จะมีสมาชิกในแนวเส้นทะแยงมุมเป็นหนึ่ง การหาอินเวอร์ส และ cholesky decomposition จะใช้เมตริกซ์สหสัมพันธ์ที่ปรับเท่าแล้วนี้ในการคำนวณ



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการจำลองระบบของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดที่มีการปรับค่าน้ำหนักถ่วง

ทั้งนี้สามารถป้อนสัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์เข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันโดยตรงได้ เพียงแต่ถ้ามีการหารด้วยอัตราขยายจะสะดวกกว่าในการจำลองระบบของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดที่มีการปรับค่าน้ำหนักถ่วง เนื่องจากสัญญาณเข้าในส่วนป้อนกลับเป็นบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้ซึ่งมีขนาดเป็น 1 ในขณะที่สัญญาณเข้าส่วนป้อนไปข้างหน้าหากไม่มีการหารด้วยอัตราขยายจะมีขนาดประมาณค่าอัตราขยายซึ่งจะพบว่ามีขนาดมากกว่า 1 มากๆ ดังนั้นในกระบวนการปรับอัตโนมัติจำเป็นจะต้องใช้ค่าช่วงก้าวที่ต่างกันสำหรับวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับเพื่อให้สามารถทำงานไปด้วยกันได้ดี (หากใช้ค่าช่วงก้าวเท่ากันส่วนป้อนกลับจะปรับตัวได้ช้ากว่ามากๆเนื่องจากสัญญาณเข้ามีขนาดน้อยกว่ามาก ทำให้บิตข้อมูลที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้รายที่มี

ส่วนป้อนกลับมากๆ เช่นผู้ใช้ในลำดับท้ายๆ จะได้รับการกำจัด MAI ช้ากว่าผู้ใช้ลำดับต้นๆมาก หากต้องการให้กำจัด MAI ให้กับผู้ใช้ลำดับปลายเร็วขึ้นก็ต้องเพิ่มค่าช่วงก้าวซึ่งจะส่งผลให้สมรรถนะในการกำจัด MAI ให้กับผู้ใช้ลำดับต้นไม่ดี และในกรณีของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะมีการนำบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้อื่นๆไปใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติด้วยการที่กำจัด MAI ของผู้ใช้บางรายไม่ดีจะส่งผลกระทบให้เกิดความผิดพลาดต่อไปยังผู้ใช้คนอื่นๆด้วย)

นอกจากนี้การที่ขนาดของสัญญาณเข้าในส่วนป้อนไปข้างหน้าแปรตามค่าอัตราขยาย เมื่อเปลี่ยนอัตราขยายของสเปรดดิงโค้ดค่าช่วงก้าวที่เหมาะสมจะเปลี่ยนไปอย่างมากทำให้ต้องทำการหาค่าที่เหมาะสมในช่วงกว้าง

ฉะนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากในการหาค่าช่วงก้าว 2 ตัว และความยุ่งยากในการหาค่าช่วงก้าวเมื่ออัตราขยายเปลี่ยนไป จะทำการปรับเท่าโดยนำสัญญาณที่ผ่านออกจากเครื่องรับแบบแมตช์มาหารด้วยอัตราขยาย ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดของสัญญาณใกล้เคียง 1 ซึ่งทำให้สามารถใช้ค่าช่วงก้าวของวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับเป็นค่าเดียวกันโดยที่มีสมรรถนะของระบบดีได้ หรือกล่าวได้ว่าจะทำให้วงจรกรองป้อนกลับและวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวในระยะใกล้เคียงกัน และเมื่อเปลี่ยนอัตราขยายของสเปรดดิงโค้ดค่าช่วงก้าวที่เหมาะสมจะเปลี่ยนไปไม่มาก

อย่างไรก็ตามในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงด้วยขนาดมากกว่าหรือน้อยกว่า 1 มากๆ จะทำให้สัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ที่มีการหารด้วยอัตราขยายแล้วยังคงมีขนาดมากกว่าหรือน้อยกว่า 1 มากเช่นกัน ทำให้ต้องใช้ค่าช่วงก้าวในกระบวนการปรับอัตโนมัติต่างกันในส่วนป้อนกลับและส่วนป้อนไปข้างหน้าจึงได้ผลดี

ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากนี้จะนำขนาดสัญญาณที่มาถึงของผู้ใช้แต่ละคนมาใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติด้วย เช่นในกรณีที่ขนาดสัญญาณของผู้ใช้มากกว่า 1 มากๆ กระบวนการปรับอัตโนมัติในส่วนป้อนกลับจะมีการใช้ค่าผลคูณระหว่างขนาดสัญญาณของผู้ใช้กับบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้นั้นแทนที่จะใช้เพียงค่าบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามค่าขนาดของสัญญาณที่นำมาใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัตินี้ไม่จำเป็นต้องมีความแม่นยำ ต้องการเพียงขนาดโดยคร่าวๆเท่านั้น เนื่องจากเป็นเพียงการปรับให้สัญญาณเข้าของวงจรกรองป้อนกลับนี้ใกล้เคียงกับสัญญาณเข้าในส่วนป้อนไปข้างหน้าเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่า เหมือนเป็นการเพิ่มค่าช่วงก้าวในการปรับอัตโนมัติให้กับค่าน้ำหนักถ่วงที่มีการใช้ข้อมูลของผู้ใช้รายที่มีกำลังมากกว่า 1 มากๆ นี้ สำหรับขั้นตอนในการจำลองระบบทั้งหมดของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่มีกระบวนการปรับค่าน้ำหนักถ่วงแสดงดังรูปที่ 4.1

4.2 ลักษณะการลู่เข้าของ SMSE และค่าช่วงก้าว

ในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาผลของค่าช่วงก้าวที่มีต่อค่า SMSE โดยที่ค่า SMSE หาได้จากการเฉลี่ยค่ากำลังสองของความแตกต่างระหว่างสัญญาณออกจากมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดกับผลคูณระหว่างข้อมูลจริงที่ด้านส่งส่งมากับค่าคงที่ตัวหนึ่งดังสมการ (3-28)

รูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 แสดงลักษณะการลู่เข้าเฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระ 1000 ครั้งของ SMSE สำหรับผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน ซึ่งถูกสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต ตามตารางที่ 4.1 ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับของผู้ใช้แต่ละคนเป็น 1 และสัญญาณที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตช์มี SNR = 14 dB ใช้ค่าช่วงก้าวเดียวกันในการปรับค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองทั้งป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับ และเปรียบเทียบผลเมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเปลี่ยนไป 3 ค่าด้วยกันคือ 0.002, 0.007 และ 0.03

ตารางที่ 4.1 สเปรดดิงโค้ดสำหรับผู้ใช้แต่ละคน
ในกรณีระบบ 4 คนซึ่งสเปรดสัญญาณด้วย Gold code ขนาด 7 บิต

ผู้ใช้คนที่	สเปรดดิงโค้ดที่ใช้
1	1 -1 -1 1 1 1 -1
2	1 1 -1 -1 -1 -1 -1
3	-1 1 -1 1 1 1 -1
4	1 -1 -1 -1 -1 1 -1

จากรูปทั้ง 4 จะพบว่าในกรณีที่ค่าช่วงก้าวมีค่าต่ำ SMSE จะลู่เข้าช้ากว่าในกรณีช่วงก้าวค่าสูงแต่ก็จะได้ค่า SMSE ที่สภาวะอยู่ตัวค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะค่าช่วงก้าวเป็นหน่วยความจำในกระบวนการปรับอัตโนมัติ ดังนั้นในกรณีที่เลือกค่าช่วงก้าวต่ำกระบวนการปรับอัตโนมัติจะดำเนินไปค่อนข้างช้าเนื่องจากต้องใช้เวลาในการกำจัดผลของข้อมูลเดิม แต่ผลของความผิดพลาดซึ่งเกิดจากการประมาณค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยค่าที่ขณะใดๆในกรณีที่ใช้ค่าช่วงก้าวต่ำนี้จะถูกกรองออกไปมากกว่ากรณีค่าช่วงก้าวสูงๆ [28] จึงทำให้ในกรณีค่าช่วงก้าวต่ำจะได้ค่า SMSE ที่สภาวะอยู่ตัวต่ำกว่ากรณีค่าช่วงก้าวสูง

นอกจากนั้นจากรูปทั้ง 4 ยังสังเกตได้ว่าแม้ใช้ค่าช่วงก้าวเดียวกันแต่ SMSE ของผู้ใช้แต่ละคนไม่จำเป็นต้องลู่เข้าที่จุดเดียวกันเพราะว่าสัญญาณเข้าและค่าสุดท้ายที่ต้องการปรับไปหาของผู้ใช้แต่ละคนแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาที่ค่าช่วงก้าวใดช่วงก้าวหนึ่งจะพบว่าผู้ใช้คนที่ 1 จะเป็นผู้ใช้ที่ลู่เข้าช้าที่สุดเสมอในกรณีนี้ และผู้ใช้คนที่ 2-4 จะลู่เข้าในระยะที่ใกล้เคียงกัน เพราะในกรณีนี้ค่าคงที่

ของผู้ใช้คนที่ 1 ที่หาได้จากสมการ (3-26) และ (3-27) มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.4706 ในขณะที่ค่าคงที่ของผู้ใช้คนที่ 2-4 จะมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.8095, 0.9796 และ 1 ตามลำดับ และเนื่องจากเป็นกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์สัญญาณเข้าเครื่องรับของผู้ใช้แต่ละคนจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อใช้ค่าช่วงก้าวค่าเดียวกันจะทำให้ค่า SMSE ของผู้ใช้คนที่ 1 ลู่เข้าช้าที่สุดเนื่องจากต้องปรับสัญญาณเข้าที่มีขนาดใกล้กันเพื่อให้ได้สัญญาณออกต่ำกว่าสัญญาณออกตัวอื่นๆ

ในรูปที่ 1 ถึง 4 นั้นอาจดูเหมือนกับว่าผู้ใช้คนที่ 1 มีค่าความผิดพลาดที่จะปรับไปสู่ค่าคงที่ต่ำกว่าผู้ใช้คนอื่นๆเนื่องจากได้ค่า SMSE ที่สภาวะอยู่ตัวต่ำที่สุด แต่ความจริงแล้วเนื่องจากค่าคงที่ที่ต้องการให้ลู่เข้าไม่ใช่ค่าเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเท่าเพื่อให้เปรียบเทียบกันได้โดยนำ SMSE ของผู้ใช้แต่ละคนมาหารด้วยกำลังสองของค่าคงที่ที่มันต้องการจะปรับไปหา และจะเรียกผลที่ได้ว่า NSMSE (Normalized Scaled Mean Square Error) ซึ่งลักษณะของ NSMSE สำหรับผู้ใช้ทุกคนกรณีที่ค่าช่วงก้าวเป็น 0.002 และ 0.007 แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ จากรูปทั้ง 2 พบว่า ณ สภาวะอยู่ตัว ที่ค่าช่วงก้าวเดียวกันผู้ใช้ลำดับต้นๆจะได้รับความผิดพลาดมากกว่าผู้ใช้ในลำดับปลาย เพราะได้รับการรบกวนจากสัญญาณรบกวนมากกว่า (จากสมการที่ (3-40) แสดงให้เห็นว่าผลจากสัญญาณรบกวนแปรผกผันกับขนาดของค่าคงที่ ดังนั้นในกรณีนี้ซึ่งผู้ใช้ลำดับต้นมีค่าคงที่ต่ำกว่าผู้ใช้ลำดับปลายจึงได้รับผลจากสัญญาณรบกวนมากกว่า)

รูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 เป็นตัวอย่างของการลู่เข้าของค่าน้ำหนักถ่วงเมื่อถูกปรับด้วยกระบวนการปรับอัตโนมัติของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดเมื่อค่าช่วงก้าวมีค่าเป็น 0.002, 0.007 และ 0.03 สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดนั้นในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้ 4 คนผู้ใช้แต่ละคนจะมีน้ำหนักถ่วงคนละ 4 ตัวทำให้มีน้ำหนักถ่วงทั้งหมด 16 ตัว ซึ่งในที่นี้จะแสดงตัวอย่างของน้ำหนักถ่วงบางตัวเท่านั้น จากกราฟจะสังเกตได้ว่าค่าน้ำหนักถ่วงแต่ละตัวของผู้ใช้คนเดียวกันไม่จำเป็นต้องลู่เข้าที่จุดเดียวกัน และน้ำหนักถ่วงบางตัวจะลู่เข้าช้ากว่าค่า SMSE นั่นคือเมื่อใกล้ๆถึงสภาวะอยู่ตัวของค่าน้ำหนักถ่วงค่า SMSE จะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวก่อนเนื่องจากค่า SMSE นั้นเป็นผลจากค่าน้ำหนักถ่วงทุกตัวดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของค่าน้ำหนักถ่วงตัวใดตัวหนึ่งจะไม่ส่งผลต่อ SMSE มากนัก และสำหรับลักษณะของค่าช่วงก้าวที่มีผลต่อค่าน้ำหนักถ่วงจะเป็นไปเช่นเดียวกับค่า SMSE นั่นคือค่าช่วงก้าวต่ำจะลู่เข้าช้ากว่าค่าช่วงก้าวสูง และเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักถ่วงในสภาวะอยู่ตัวของรูปทั้ง 3 กับตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงค่าน้ำหนักถ่วงในกรณีอุดมคติที่คำนวณได้จากสมการ (3-23) ก็พบว่ากระบวนการปรับอัตโนมัติสามารถปรับค่าน้ำหนักถ่วงได้ถูกต้อง

ตารางที่ 4.2 ค่าน้ำหนักถ่วงในกรณีอุดมคติสำหรับสเปรดดิงโค้ดตามตาราง 4.1 ในกรณีที่ขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับของผู้ใช้ทุกคนเป็น 1

ผู้ใช้คนที่	ค่าน้ำหนักถ่วง			
1	1	0.3529	-0.4706	-0.6471
2	-0.2857	1	0.0833	-0.4167
3	0.4898	-0.0816	1	0.1429
4	0.4286	0.4286	-0.1429	1

สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการลู่เข้าของ SMSE ของผู้ใช้แต่ละคนคือค่าช่วงก้าว ซึ่งค่าช่วงก้าวยิ่งต่ำจะลู่เข้าช้าแต่จะได้ SMSE ที่สภาวะอยู่ตัวต่ำด้วยเช่นกัน และเมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเดียวกัน SMSE ของผู้ใช้แต่ละคนไม่จำเป็นต้องลู่เข้าที่ตำแหน่งเดียวกัน

ในส่วนต่อไปจะพิจารณาในกรณีเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกลรุนแรงมากๆ และผู้ใช้บางคนในระบบมีขนาดของสัญญาณมากกว่าผู้ใช้คนอื่นๆ และมากกว่า 1 มากๆ ซึ่งการหารด้วยขนาดของอัตราขยายเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถทำให้ใช้ค่าช่วงก้าวเดียวกันได้

ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ 1 มีขนาดสัญญาณที่มาถึงด้านรับเป็น 15 และผู้ใช้คนที่ 2-4 มีขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับเป็น 1 โดยที่ผู้ใช้คนที่ 2-4 มี SNR เป็น 14 dB และผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวของวงจรกรองทั้งสองเท่ากันเป็น 0.001 จะได้ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE เมื่อเฉลี่ยภายใต้การทดลองอย่างอิสระ 1000 ครั้งดังรูปที่ 4.11 โดยค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนซึ่งนับหลังจาก 2000 บิตแรกเป็นต้นไปเป็นไปอีก 3000 บิต ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่าผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดจากเดิมที่ไม่มีความผิดพลาดเลยเมื่อใช้เครื่องรับแบบแมตช์กลับเกิดความผิดพลาดขึ้นอย่างมากรวมทั้งผู้ใช้คนที่ 4 ก็ไม่ได้รับการกำจัดความผิดพลาดออกไป เมื่อทดสอบลดค่าช่วงก้าวของวงจรกรองทั้งสองลงเป็น 0.0002 จะได้ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนเป็นตามตารางที่ 4.4 ซึ่งพบว่าผู้ใช้คนที่ 1 ยังคงเกิดความผิดพลาดเพิ่มจากเครื่องรับแบบแมตช์และผู้ใช้คนที่ 4 ยังคงไม่ได้รับการกำจัด MAI หมายความว่าเมื่อลดค่าช่วงก้าวลงมากๆนี้ก็ไม่ได้ผลดีขึ้นเพียงแต่ทำให้กระบวนการปรับช้าลงเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.11 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว

เครื่องรับ \ ผู้ใช้คนที่	1	2	3	4
เครื่องรับแบบแมตช์	0	0.4994	0.5002	0.5000
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	0.4991	0.0002	0.0007	0.5000

ตารางที่ 4.4 ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.12 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว

เครื่องรับ \ ผู้ใช้คนที่	1	2	3	4
เครื่องรับแบบแมตช์	0	0.4994	0.5002	0.5000
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	0.3056	0.0056	0.00704	0.5000

ฉะนั้นในกรณีที่มีผู้ใช้ซึ่งมีขนาดของสัญญาณมากกว่า 1 มากๆนี้ ควรจะแยกค่าช่วงก้าวของวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าและวงจรกรองป้อนกลับให้ต่างกัน โดยให้ค่าช่วงก้าวของวงจรกรองป้อนไปข้างหน้ามีค่าต่ำกว่าค่าช่วงก้าวของวงจรกรองป้อนกลับพอสมควรเพื่อให้กระบวนการปรับอัตโนมัติโดยรวมที่ส่วนป้อนไปข้างหน้าและส่วนป้อนกลับมีอัตราเร็วใกล้เคียงกันดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว รูปที่ 4.13 เป็นกรณีที่ใช้ค่าช่วงก้าวของวงจรกรองทั้งสองต่างกันส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ เป็นเช่นเดียวกับรูปที่ 4.11-4.12 โดยที่ให้วงจรกรองป้อนไปข้างหน้าใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.0001 และวงจรกรองป้อนกลับใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.003 ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีนี้แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งจะพบว่าการใช้ค่าช่วงก้าวต่างกันดังนี้จะสามารถลดความผิดพลาดของผู้ใช้ทุกคนลงไปได้

ตารางที่ 4.5 ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.13 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว

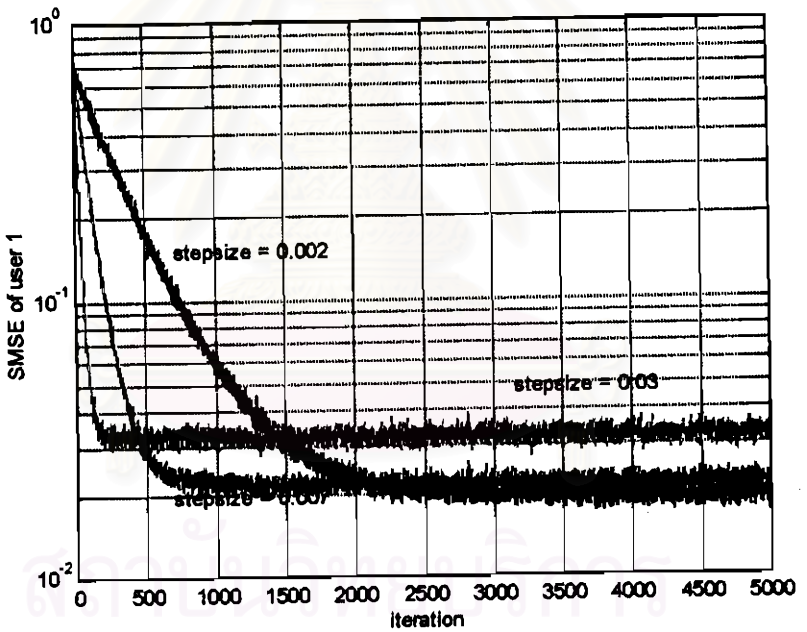
เครื่องรับ \ ผู้ใช้คนที่	1	2	3	4
เครื่องรับแบบแมตช์	0	0.4994	0.5002	0.5000
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	0	0.0011	0	0

หรือ อีกวิธีหนึ่งซึ่งได้กล่าวไปในหัวข้อที่แล้วคือ การนำขนาดสัญญาณโดยคร่าวๆของผู้ใช้แต่ละคนที่มาถึงไปใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติด้วย ในกรณีนี้คือนำค่า 15 ไปคูณกับข้อมูลที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้คนที่ 1 แล้วจึงนำไปใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติของส่วนป้อนกลับ โดยที่ค่าขนาดของสัญญาณไม่จำเป็นต้องแม่นยำนัก ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งเป็นลักษณะของ NSMSE เฉลี่ย 1000 ครั้ง ในกรณีที่ใช้ค่าช่วงก้าว 0.0008 ทั้งในวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับ โดยที่ถือว่ามีการประมาณขนาดสัญญาณของผู้ใช้คนแรกผิดพลาดจาก 15 ประมาณได้เพียง 10 และตารางที่ 4.6 เป็นค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีนี้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าแม้จะใช้การประมาณที่ผิดพลาดก็ยังคงให้ผลดีอยู่

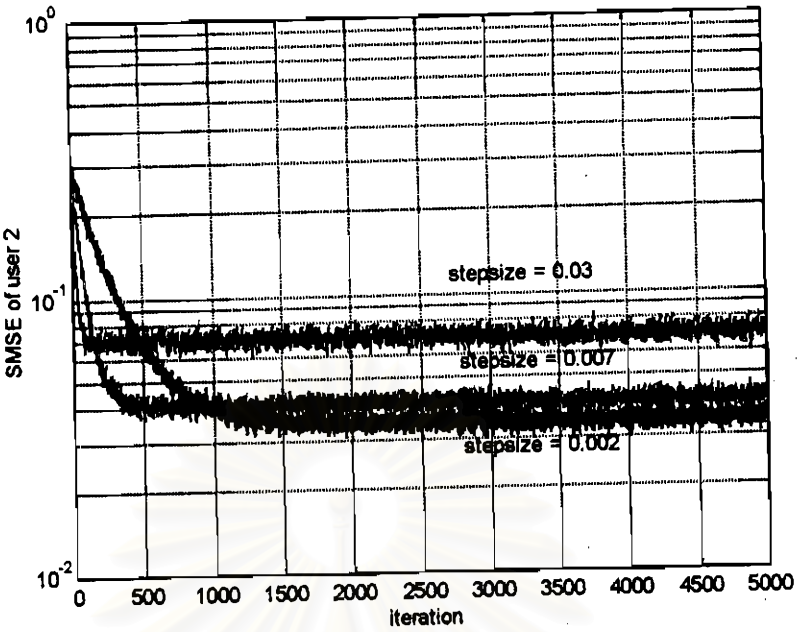
ตารางที่ 4.6 ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.14 เมื่อผ่าน 2000 บิตแรกแล้ว

เครื่องรับ \ ผู้ใช้คนที่	1	2	3	4
เครื่องรับแบบแมตช์	0	0.4994	0.5002	0.5000
มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด	0	0	0	0

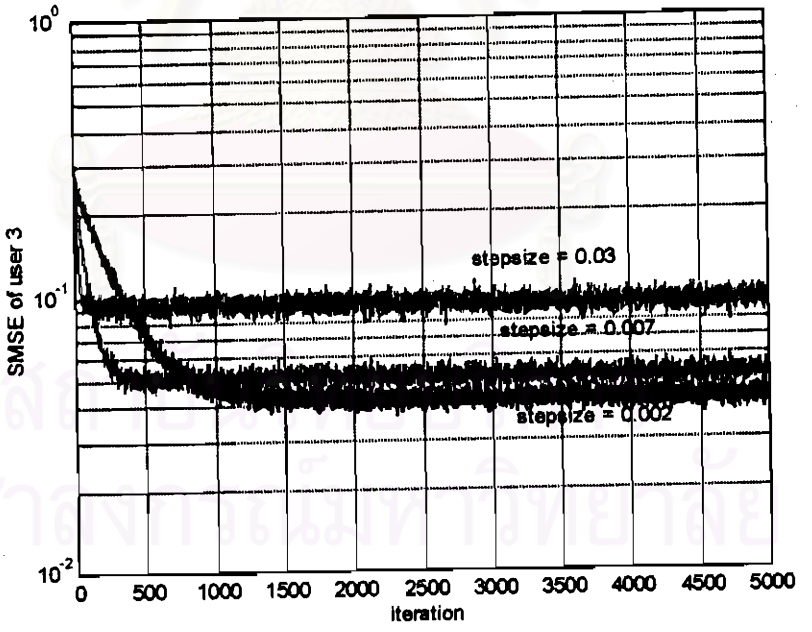
อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีกำลังของสัญญาณที่มาถึงมากกว่าหรือน้อยกว่า 1 มากๆเท่านั้น การจำลองระบบส่วนใหญ่ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถใช้ค่าช่วงก้าวของวงจรกรองทั้งสองเป็นค่าเดียวกัน โดยที่ไม่ต้องนำค่าขนาดของสัญญาณมาใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติและยังคงให้ผลดีอยู่



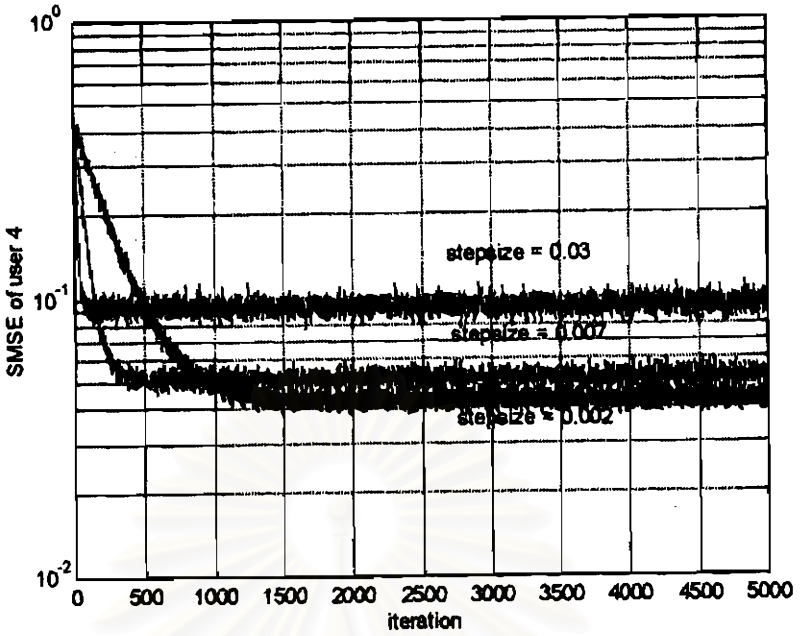
รูปที่ 4.2 ลักษณะการลู่เข้าของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 1 ที่ค่า SNR = 14 dB



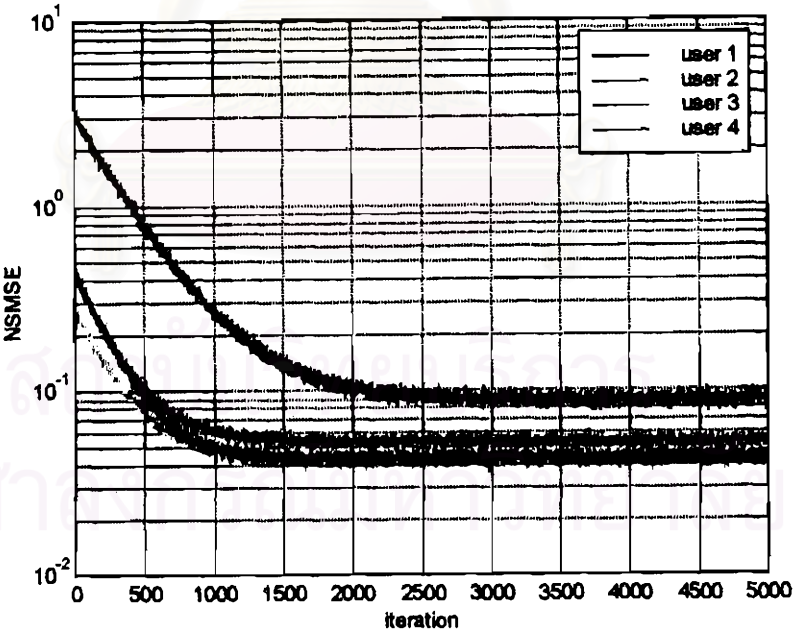
รูปที่ 4.3 ลักษณะการลู่เข้าของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 2 ที่ค่า SNR = 14 dB



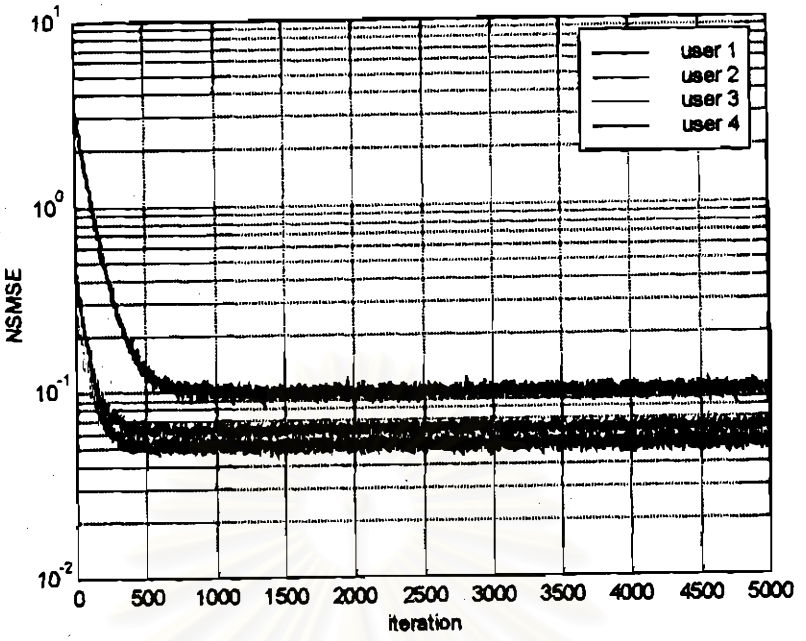
รูปที่ 4.4 ลักษณะการลู่เข้าของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 3 ที่ค่า SNR = 14 dB



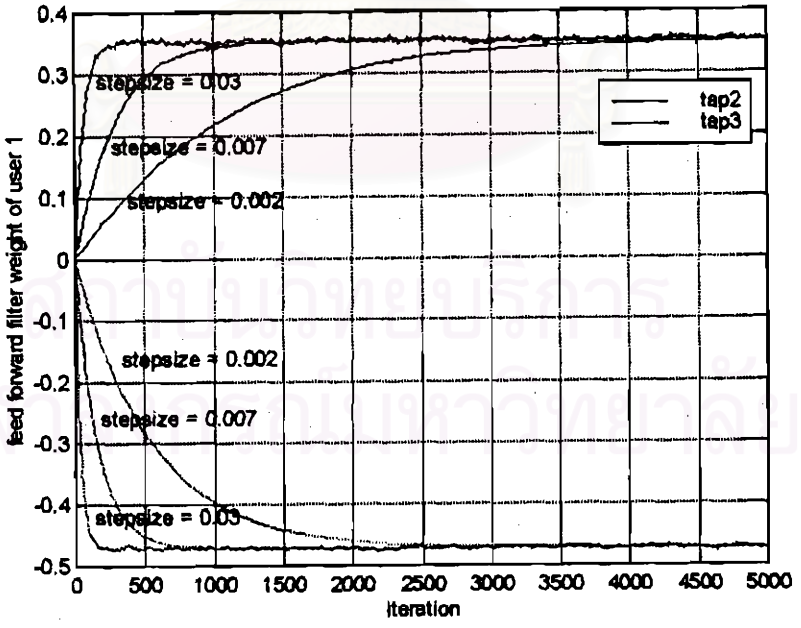
รูปที่ 4.5 ลักษณะการลู่เข้าของ SMSE ของผู้ใช้คนที่ 4 ที่ค่า SNR = 14 dB



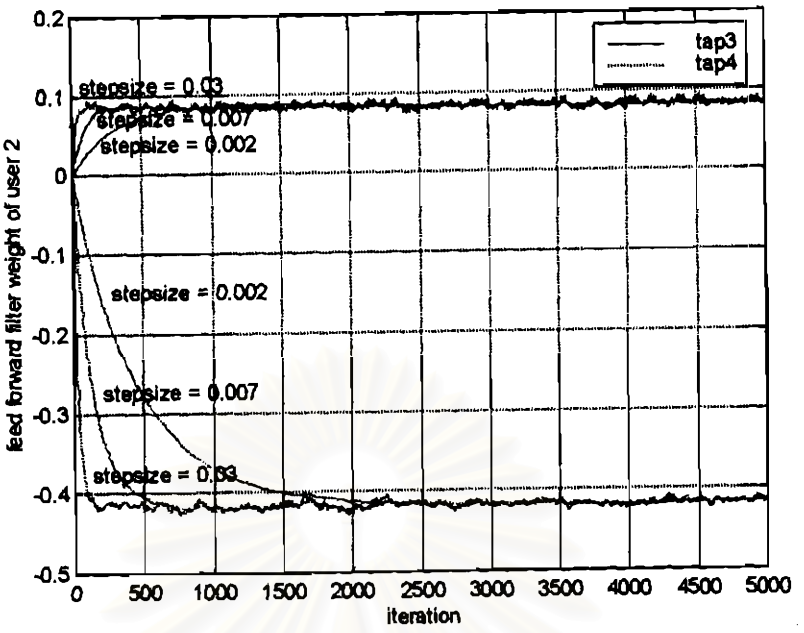
รูปที่ 4.6 ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน
เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.002 ที่ค่า SNR = 14 dB



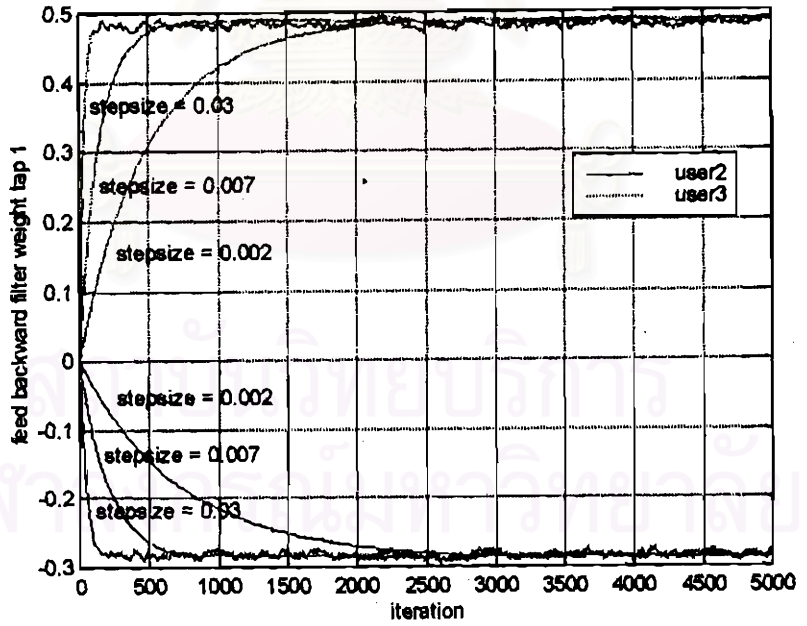
รูปที่ 4.7 ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน
เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.007 ที่ค่า SNR = 14 dB



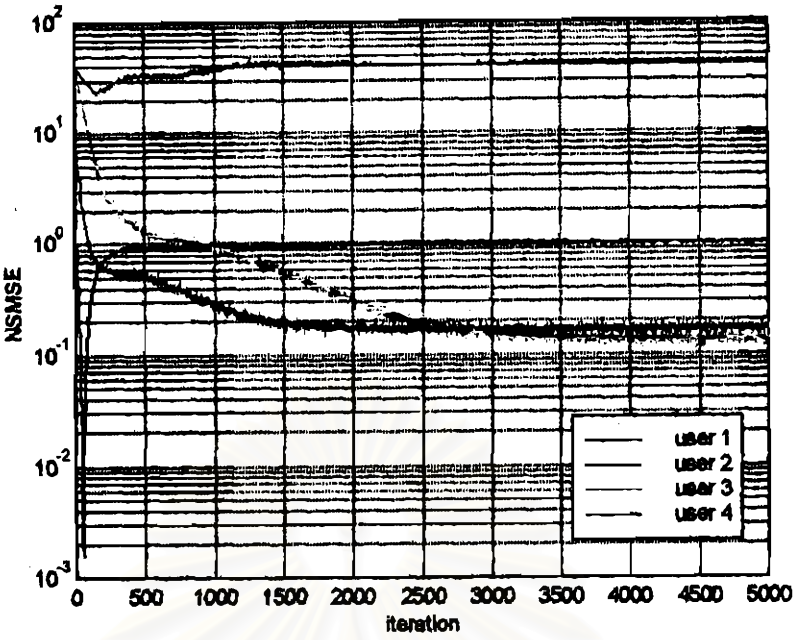
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างลักษณะการลู่เข้าของน้ำหนักถ่วงในวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าของผู้ใช้คนที่ 1



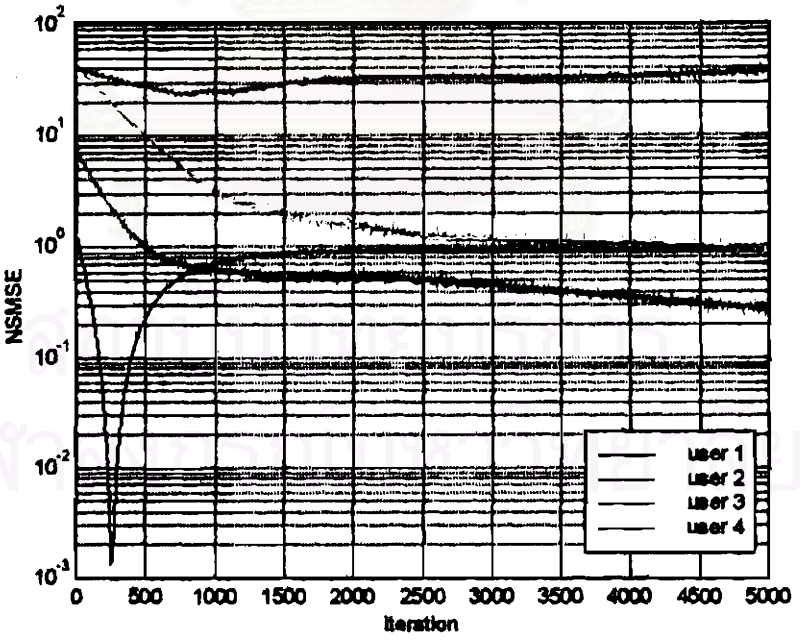
รูปที่ 4.9 ตัวอย่างลักษณะการลู่เข้าของน้ำหนักถ่วงในวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าของผู้ใช้คนที่ 2



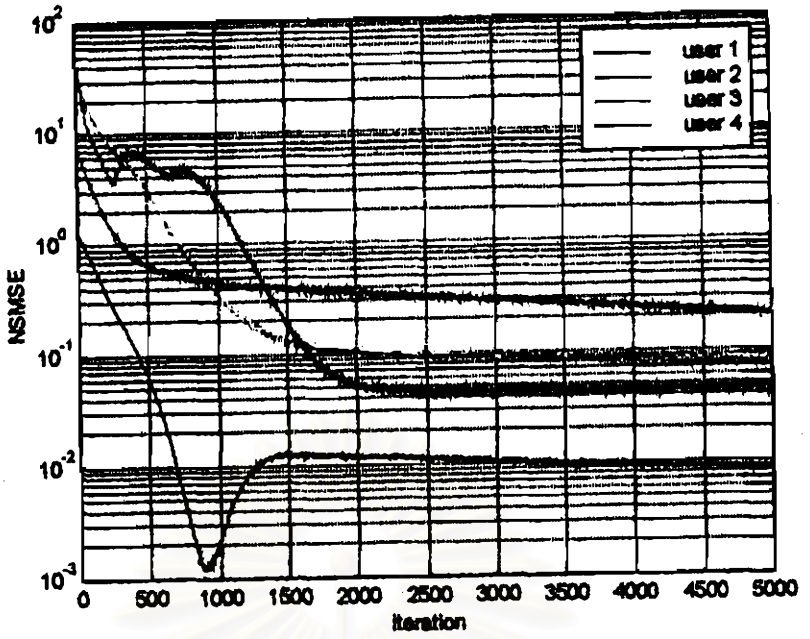
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างลักษณะการลู่เข้าของน้ำหนักถ่วงในวงจรกรองป้อนกลับ



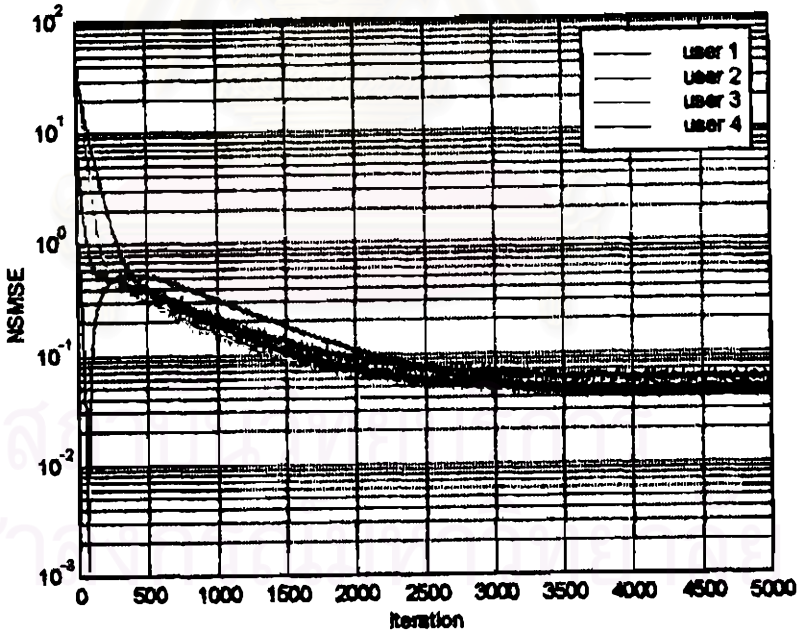
รูปที่ 4.11 ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน
เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.001 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB
ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.12 ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน
เมื่อใช้ค่าช่วงก้าวเป็น 0.0002 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB
ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.13 ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน
เมื่อค่าช่วงก้าวที่วงจรกรองปรับอันไปข้างหน้าและวงจรกรองปรับอันกลับ
มีค่าเป็น 0.0001 และ 0.003 ตามลำดับ เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB
ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.14 ลักษณะการลู่เข้าของ NSMSE ของผู้ใช้แต่ละคน
เมื่อใช้ค่าขนาดของสัญญาณในกระบวนการปรับอัตโนมัติที่ส่วนปรับอันกลับ
และใช้ค่าช่วงก้าวที่วงจรกรองทั้งสองเป็น 0.0008 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2-3 มีค่า 14 dB
ในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

4.3 สมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด

หัวข้อนี้เป็นผลการจำลองระบบเพื่อศึกษาสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดในด้านต่างๆ มีพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. ค่า BER เมื่อ SNR เปลี่ยนไป โดยการนับ BER จะเริ่มนับหลังจากผ่าน 2000 บิตแรกไปแล้วดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 โดยจะพิจารณาแยกเป็น 2 กรณีคือ
   - กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ หมายถึง บังคับให้สัญญาณของผู้ใช้ทุกคนมาถึงด้านรับด้วยขนาดของสัญญาณเท่ากัน
   - กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ หมายถึง สัญญาณของผู้ใช้ทุกคนมาถึงด้านรับด้วยขนาดของสัญญาณต่างกัน หรือ เป็นกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกล นั่นเอง
2. ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆในระบบสูงกว่าผู้ใช้คนที่พิจารณา 1 ถึง 8 dB
3. ผลต่อความจุของระบบ

โดยระบบที่พิจารณามีทั้งระบบที่สเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ด Gold code ยาว 7 บิต, ระบบที่สเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ด Gold code ยาว 31 บิต และระบบที่สเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มยาว 31 บิต โดยที่สเปรดดิงโค้ดแบบ Gold code ขนาด 7 บิตนั้น เป็นสเปรดดิงโค้ดชุดที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ในบทความเกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ เนื่องจากให้ MAI ในระดับกลางๆทำให้ผลที่ออกมาสามารถนำไปประยุกต์บอกถึงสมรรถนะของระบบในกรณีทั่วๆไปได้ นอกจากนั้นสเปรดดิงโค้ดชุดนี้จะมีจำนวนผู้ใช้ไม่มากเหมาะกับการวิเคราะห์ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับซึ่งผลการตรวจจับบิตข้อมูลของผู้ใช้คนหนึ่งมีผลต่อผู้ใช้อีกคนหนึ่ง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกจำลองระบบโดยให้ชุดรหัส Gold code ซึ่งมีความยาว 7 เป็นหลัก

อย่างไรก็ตามในวิทยานิพนธ์นี้จะมีการจำลองระบบโดยใช้สเปรดดิงโค้ดชุดอื่นด้วย คือ Gold code ขนาด 31 บิต และสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต เพื่อยืนยันผลในกรณีที่เปลี่ยนชนิดและความยาวของสเปรดดิงโค้ด ซึ่งลักษณะของผลการจำลองระบบส่วนใหญ่จะออกมาในทำนองเดียวกันกับกรณีที่ใช้สเปรดดิงโค้ดขนาด 7 บิต

4.3.1 ข้อสมมุติฐานในหัวข้อนี้

สำหรับขอบเขตของวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาสมรรถนะในกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่เครื่องรับ นั่นคือ

1. ด้านรับมีการเรียงลำดับของสัญญาณเพื่อเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับได้ถูกต้องตามกำลังที่มาถึงจากสูงไปต่ำ
2. ไม่มีความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณของเครื่องรับ

อย่างไรก็ดีในวิทยานิพนธ์นี้จะมีการพิจารณาสมรรถนะของเครื่องรับเมื่อเกิดความผิดพลาดที่ด้านรับข้อใดข้อหนึ่งขึ้นในหัวข้อ 4.4

4.3.2 ผลการจำลองระบบ

4.3.2.1 กรณีผู้ใช้ 4 คนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต

4.3.2.1.1 BER เมื่อ SNR เปลี่ยนไป

พิจารณาระบบที่มีผู้ใช้จำนวน 4 คนแต่ละคนส่งข้อมูลจำนวน 20000 บิตซึ่งแต่ละบิตข้อมูลถูกสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ด Gold code ขนาด 7 บิต ตามตารางที่ 4.1 ผ่านช่องสัญญาณ AWGN และสามารถเขียนเมตริกซ์สหสัมพันธ์ระหว่างรหัส $\mathbf{\Gamma}$ ซึ่งถูกปรับเท่าแล้วได้เป็น

$$\mathbf{\Gamma} = \frac{1}{7}\begin{bmatrix} 7 & -1 & 3 & 3 \\ -1 & 7 & -1 & 3 \\ 3 & -1 & 7 & -1 \\ 3 & 3 & -1 & 7 \end{bmatrix} \tag{4-1}$$

ซึ่งจะทำให้สามารถหาเมตริกซ์ $\mathbf{\Gamma}^{-1}$ ได้เป็น

$$\mathbf{\Gamma}^{-1} = \begin{bmatrix} 2.1250 & 0.7500 & -1.0000 & -1.3750 \\ 0.7500 & 1.5000 & -0.2500 & -1.0000 \\ -1.0000 & -0.2500 & 1.5000 & 0.7500 \\ -1.3750 & -1.0000 & 0.7500 & 2.1250 \end{bmatrix} \tag{4-2}$$

และสามารถแยก cholesky decomposition เพื่อหาเมตริกซ์ $(\mathbf{F}^T)^{-1}$ และ $\mathbf{R}$ ในบทที่ 2 ได้เป็น

$$(\mathbf{F}^T)^{-1} = \begin{bmatrix} 1.4577 & 0.5145 & -0.6860 & -0.9432 \\ 0 & 1.1114 & 0.0926 & -0.4631 \\ 0 & 0 & 1.0104 & 0.1443 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0000 \end{bmatrix} \tag{4-3}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.3176 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4949 & -0.0825 & 0 & 0 \\ 0.4286 & 0.4286 & -0.1429 & 0 \end{bmatrix} \quad (4\text{-}4)$$

เมตริกซ์ในสมการที่ (4-2) จะถูกนำไปใช้ในดีคอรีเลเตอร์ และสมการที่ (4-3) และ (4-4) จะถูกนำไปใช้ในมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ต่อไป

พิจารณาระบบออกเป็น 2 กรณี กรณีแรกจะเป็นกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ไม่มีผลจากปรากฏการณ์ใกล้-ไกลกำลังของผู้ใช้ทุกคนมาถึงด้านรับเท่ากัน ส่วนกรณีที่ 2 จะเป็นกรณีที่มีปรากฏการณ์ใกล้-ไกลกำลังของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงด้านรับไม่เท่ากัน

4.3.2.1.1.1 กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

พิจารณาผลการจำลองระบบในกรณีแรกก่อน รูปที่ 4.15.1 และ 4.15.2 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป เปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับ 6 เครื่องคือ เครื่องรับแบบแมตช์, ดีคอรีเลเตอร์, มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ (fix-weight-DDFMD), มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติโดยส่งเทรนนิ่งซีเควนซ์ (training-adaptive-DDFMD), มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอด (blind-adaptive-DDFMD) ที่เสนอขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้ และสุดท้ายขอบเขตผู้ใช้รายเดียวซึ่งเป็นขอบเขตของสมรรถนะของเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ โดยผลการจำลองระบบในกราฟนี้ได้จากการเฉลี่ยผลการทดลองอย่างอิสระจำนวน 50 ครั้ง

จะพบว่าในกรณีที่ SNR ต่ำๆ (< 6 dB) นั้นมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันทั้งหมดรวมทั้งขอบเขตผู้ใช้รายเดียวจะให้ BER ใกล้เคียงกับเครื่องรับแบบแมตช์ ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีที่ค่า SNR ต่ำๆนั้นปัญหาสัญญาณรบกวนจะมีผลต่อ BER มากกว่าปัญหา MAI ดังนั้นการกำจัด MAI ด้วยมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจะไม่ส่งผลให้ BER ดีขึ้นมากนัก

และนอกจากนี้ในกรณี SNR ค่าต่ำจะพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติทั้งชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์และไม่ใช้จะให้ผลดีกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่เสมอ เพราะมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มีคุณสมบัติที่เพิ่มสัญญาณรบกวนในขณะที่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติโดยใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์มีการลดสัญญาณรบกวนลง (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 2) และสำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดนั้นในกรณีที่ SNR ต่ำๆสมการ bootstrap จะกำจัด MAI ได้ไม่หมดแต่จะให้สัญญาณรบกวนที่ผ่านออกมาจากวงจรกรองป้อนไปข้างหน้ามีค่าน้อยกว่ากรณีที่

กำจัดหมด [17, 26] ดังนั้นในกรณีนี้ซึ่งสัญญาณรบกวนมีผลมากกว่า MAI มาก ทำให้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้ค่า BER ที่ดีกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่

เมื่อ SNR เพิ่มขึ้นจะพบว่าสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจะดีเหนือเครื่องรับแบบแมตช์มากขึ้น และมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับค่าน้ำหนักถ่วงจะมี BER เท่าหรือด้อยกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เพราะเมื่อ SNR เพิ่มขึ้น σ^2 จะมีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณ ดังนั้น $(\Gamma+\sigma^2 A^{-2})$ มีค่าเข้าใกล้ Γ มากขึ้น ทำให้สมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์มีสมรรถนะเข้าใกล้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มากขึ้น (รายละเอียดอยู่ในท้ายบทที่ 2) และในกรณี SNR ค่าสูงนี้อัลกอริทึมแบบบอดจะกำจัด MAI ได้เกือบทั้งหมด รวมทั้งมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเช่นเดียวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ ดังนั้นค่า BER ที่ได้ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะใกล้เคียงกัน (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 3)

แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าในกรณีที่ SNR ค่าสูงมากนั้น (เมื่อผลการรบกวนจากสัญญาณรบกวนน้อยมาก) ค่า BER ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติจะด้อยกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มากขึ้น เนื่องจากความผิดพลาดในกระบวนการปรับอัตโนมัติต่อค่า BER จะชัดเจนขึ้นในกรณีที่สัญญาณรบกวนต่ำๆ

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติด้วยกัน พบว่าที่ SNR ค่าสูงนี้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะมีค่า BER ด้อยกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ เนื่องจากอัลกอริทึมแบบบอดนี้อาศัยการประมาณค่าข้อมูลในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักถ่วงซึ่งอาจมีความผิดพลาดได้ ในขณะที่กระบวนการที่ใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ไม่มีความผิดพลาดในส่วนนี้เกิดขึ้น

สำหรับรูปที่ 4.16-4.18 จะแสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.15.1 ที่ค่า SNR 6, 10 และ 12 dB ตามลำดับ ซึ่งการที่ผู้ใช้แต่ละคนมี BER ไม่เท่ากันนั้นเนื่องมาจากสเปรดดิงโค้ดที่ใช้ ซึ่งถ้าพิจารณาสมการ (4-1) จะพบว่าสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่ 1 และ 4 มีสหสัมพันธ์กับสเปรดดิงโค้ดตัวอื่นๆมากกว่าสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 ดังนั้นค่า BER ของผู้ใช้คนที่ 1 และ 4 จึงสูงกว่าผู้ใช้คนที่ 2 และ 3

จากรูปทั้ง 3 จะพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ และจากแผนภูมิแท่งเหล่านี้จะพบว่าผู้ใช้คนที่ 4 (ผู้ใช้ที่ถูกเรียงสัญญาณอยู่ลำดับสุดท้ายก่อนเข้ามัลติยูสเซอร์ดีเทก

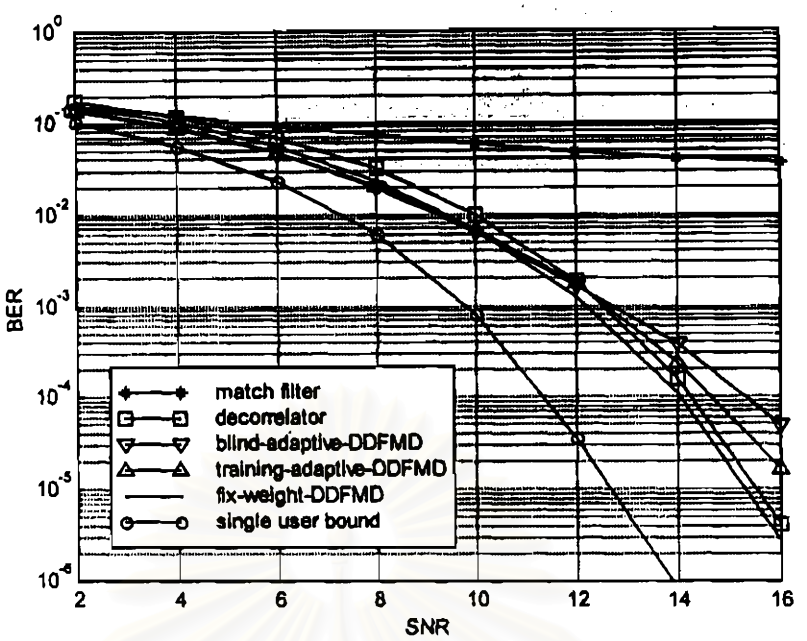
ชันแบบป้อนกลับ) จะมีสัดส่วนของ BER ที่ดีขึ้นหลังจากผ่านมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับมากกว่าผู้ใช้คนอื่นๆ โดยจะเห็นได้ชัดในรูปที่ 4.19 ซึ่งเปรียบเทียบผลในรูป 4.18 ร่วมกับดีคอรีเลเตอร์ด้วยว่า BER ของผู้ใช้คนที่ 4 ในกรณีของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับดีกว่าของดีคอรีเลเตอร์อย่างชัดเจน ในขณะที่ BER ของผู้ใช้คนอื่นๆจะใกล้เคียงกันในเครื่องรับทั้งสอง

การที่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับกำจัด MAI ให้ผู้ใช้คนที่ 4 ได้มากกว่าผู้ใช้คนอื่นๆนั้น เนื่องจากผู้ใช้คนที่ 4 ซึ่งเป็นผู้ใช้คนสุดท้ายไม่ได้รับการกำจัด MAI ด้วยวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าเลย ดังนั้นจะไม่เกิดการเพิ่มผลของสัญญาณรบกวนเหมือนผู้ใช้คนอื่นๆ (วงจรกรองป้อนไปข้างหน้าเป็นตัวเพิ่มผลของสัญญาณรบกวน ในขณะที่วงจรกรองป้อนกลับไม่เพิ่ม) ดังนั้นผู้ใช้คนที่ 4 ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับจะมีสัดส่วนของค่า BER ที่ดีขึ้นมากกว่าผู้ใช้คนอื่นๆ แต่สำหรับเครื่องรับแบบดีคอรีเลเตอร์จะเพิ่มผลของสัญญาณรบกวนให้กับผู้ใช้ทุกๆคนไม่มีการยกเว้น ดังนั้นเมื่อเทียบกัน BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อใช้ดีคอรีเลเตอร์จึงด้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด

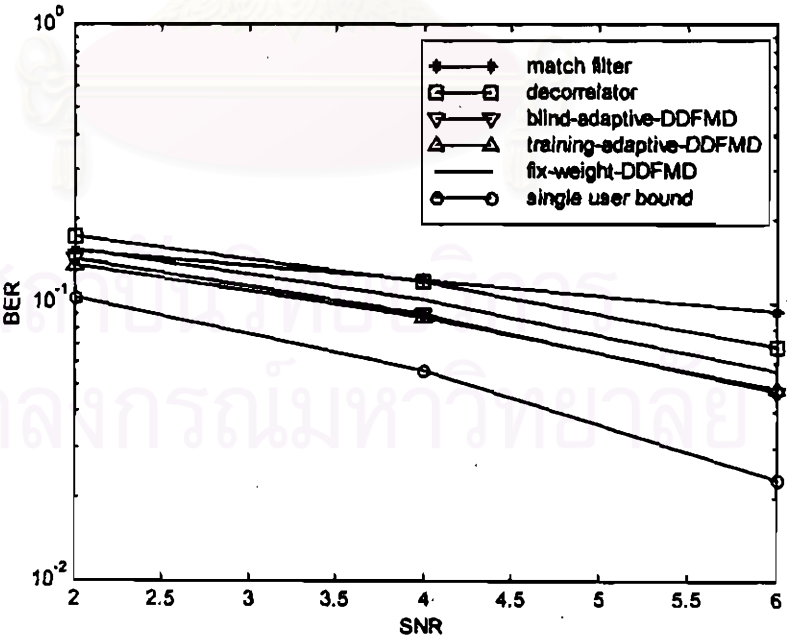
อย่างไรก็ตามแม้ว่าผู้ใช้คนที่ 4 ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับจะมี BER ที่ดีกว่าดีคอรีเลเตอร์ แต่ในรูปที่ 4.15.1 นี้พบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับและดีคอรีเลเตอร์จะให้ค่า BER เฉลี่ยของระบบค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากเป็นกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ ดังนั้นส่วนป้อนกลับจึงไม่ได้ใช้ข้อได้เปรียบในส่วนที่นำเอาสัญญาณที่เชื่อถือได้ของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงในการตรวจจับข้อมูลของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำซึ่งเชื่อถือได้น้อยกว่า

นอกจากนั้นในกรณีนี้ ผู้ใช้คนแรกซึ่งเป็นผู้ใช้ที่ถูกนำเอาบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้แล้วไปหักล้าง MAI ให้กับผู้ใช้คนอื่นๆนั้นเป็นผู้ใช้ที่มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างรหัสค่อนข้างมาก (พิจารณาจากเมตริกซ์สหสัมพันธ์ในสมการ (4-1)) ดังนั้น BER ของผู้ใช้คนแรกนี้เมื่อผ่านวงจรกรองป้อนไปข้างหน้าก็ยังมี BER ที่สูงอยู่เมื่อเทียบกับผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 ซึ่งทำให้ข้อมูลของผู้ใช้คนนี้มีความผิดพลาดพอสมควรดังนั้นเมื่อนำบิตข้อมูลของผู้ใช้คนนี้ไปหักล้าง MAI ให้กับผู้ใช้คนอื่นๆจึงทำให้สมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับไม่ดีเหนือดีคอรีเลเตอร์มากนัก หากเรียงให้ผู้ใช้คนที่ 1 เป็นผู้ใช้ลำดับท้ายๆ (เลื่อนผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 ขึ้นเป็นผู้ใช้ลำดับ 1 และ 2) จะพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับจะมีสมรรถนะเหนือดีคอรีเลเตอร์อย่างเห็นได้ชัด ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 ซึ่งผู้ใช้คนที่ 3 ในรูปทั้งสองนี้คือผู้ใช้คนที่ 1 ในรูปกรณีรูปที่ 4.15.1 และจากรูปจะพบว่าเมื่อเรียงลำดับตามนี้ค่า BER ของผู้ใช้คนที่ 1 เดิมจะดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทำให้ BER เฉลี่ยของระบบในกรณีมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับทั้งชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่และชนิดบอดดีขึ้นอย่างชัดเจน

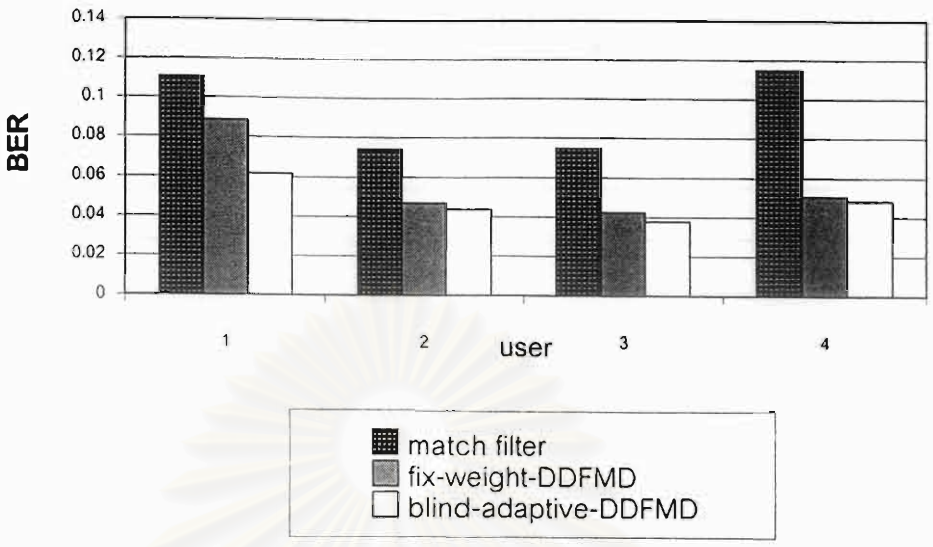
สรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงสัญญาณรบกวนต่อเครื่องรับ พบว่าในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้สมรรถนะโดยเฉลี่ยของระบบและสมรรถนะของผู้ใช้แต่ละคนใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่



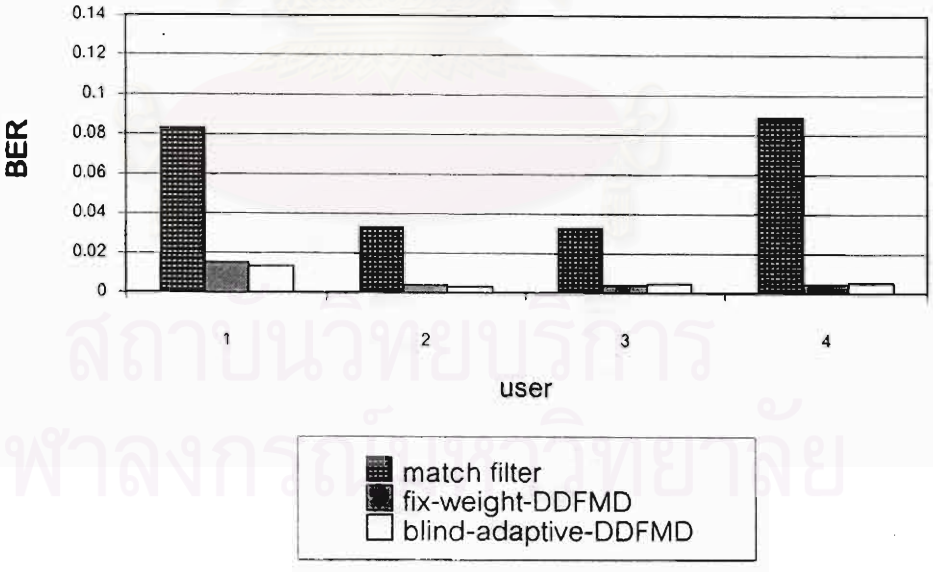
รูปที่ 4.15.1 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนในระบบเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code 7 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



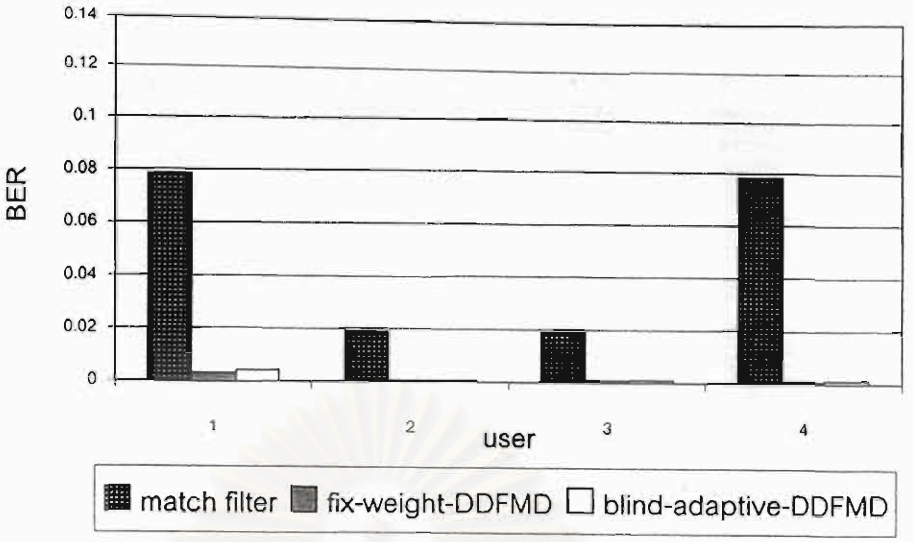
รูปที่ 4.15.2 ส่วนขยายในช่วง SNR 2-6 dB ของรูปที่ 4.15.1



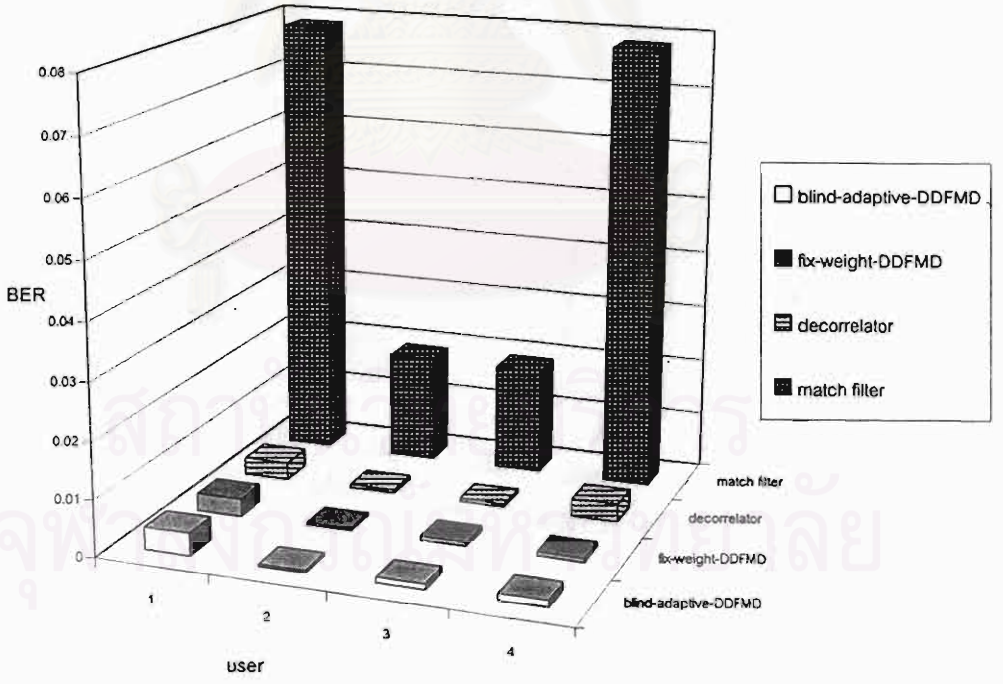
รูปที่ 4.16 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 6 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต



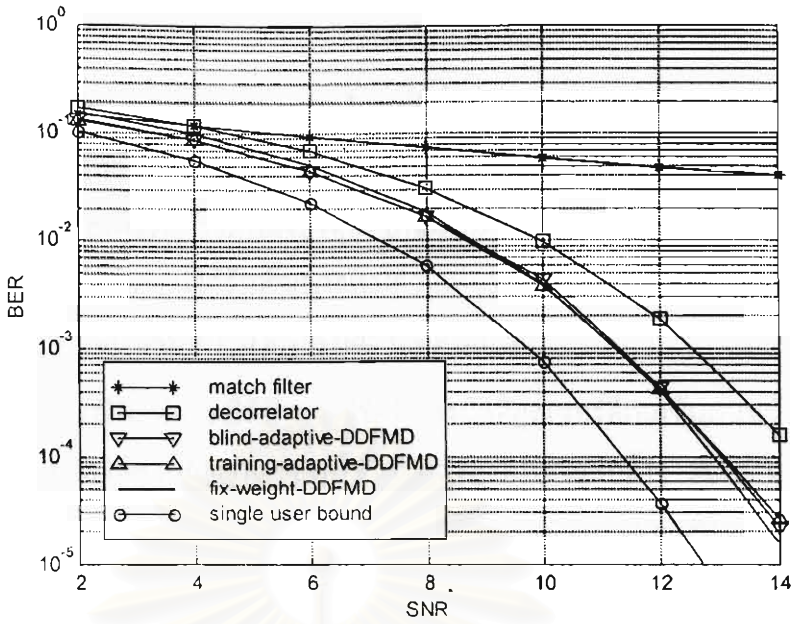
รูปที่ 4.17 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 10 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต



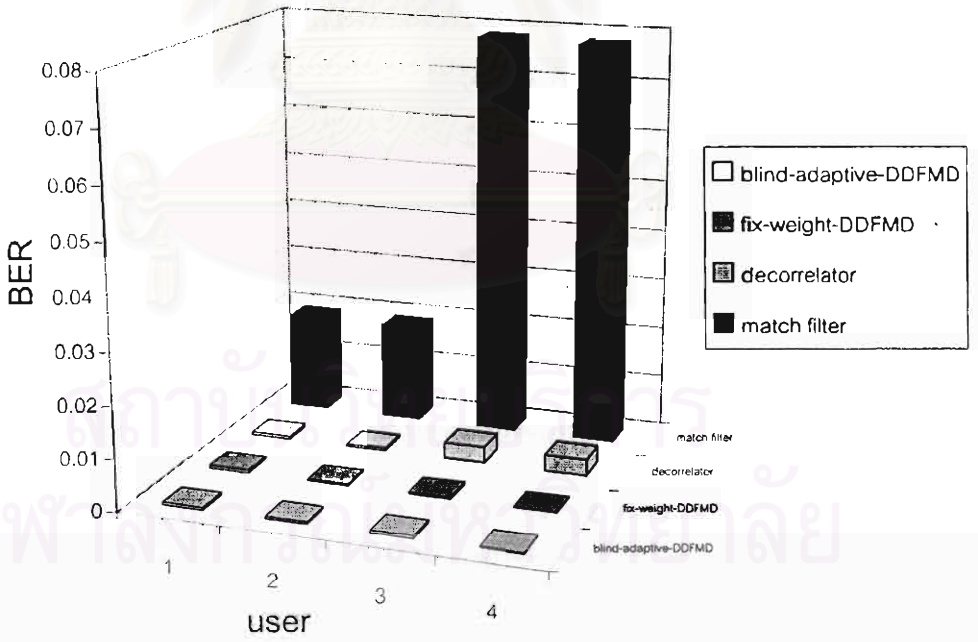
รูปที่ 4.18 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 12 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.19 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.18 เมื่อเปรียบเทียบร่วมกับดีคอรีเลเตอร์



รูปที่ 4.20 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์เมื่อลำดับผู้ใช้ต่างออกไป



รูปที่ 4.21 BER ของผู้ใช้แต่ละคนที่ SNR 12 dB ในสภาวะควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ เมื่อใช้ Gold code ขนาด 7 บิต เมื่อลำดับผู้ใช้ต่างออกไป

4.3.2.1.1.2 กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

ในส่วนนี้จะเป็นสมรรถนะของระบบในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ รูปที่ 4.22.1 ถึง 4.22.2 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 50 ครั้ง ระหว่าง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงสุด (คนแรก) เปลี่ยนไปสำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบต่างๆ โดยให้ผู้ใช้แต่ละคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่าๆกัน และให้สัญญาณที่มาถึงของผู้ใช้คนแรกจนถึงผู้ใช้คนที่ 4 มีขนาดเป็น 1, 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ

จะพบว่าในกรณีนี้ก็คือกรณีที่มีการใช้ข้อดีของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ คือมีการนำสัญญาณที่เชื่อถือได้สูง(สัญญาณของผู้ใช้ที่มีกำลังสูง)มาช่วยหักล้าง MAI ให้กับสัญญาณที่เชื่อถือได้น้อยกว่า(สัญญาณของผู้ใช้ที่มีกำลังต่ำกว่า) ดังนั้นสมรรถนะของเครื่องรับแบบป้อนกลับทั้งชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ และชนิดปรับค่าได้ทั้งใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์และแบบบอดจะมีสมรรถนะดีเหนือเครื่องรับแบบดีคอรีเลเตอร์อย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะในช่วงที่ SNR สูงๆ และจะพบว่าสมรรถนะในช่วง SNR > 12dB นั้นเข้าหาค่าขอบเขตผู้ใช้รายเดียวเลยทีเดียว แต่สำหรับในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีผลมากๆหรือกรณี SNR ต่ำๆนั้นมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันทุกแบบก็ยังคงให้ผลไม่ดีนักเช่นเดิม เพราะว่าผลของสัญญาณรบกวนซึ่งมีต่อ BER นั้นมากจนกลบผลของ BER ที่ดีขึ้นเนื่องจากการกำจัด MAI ไปหมด

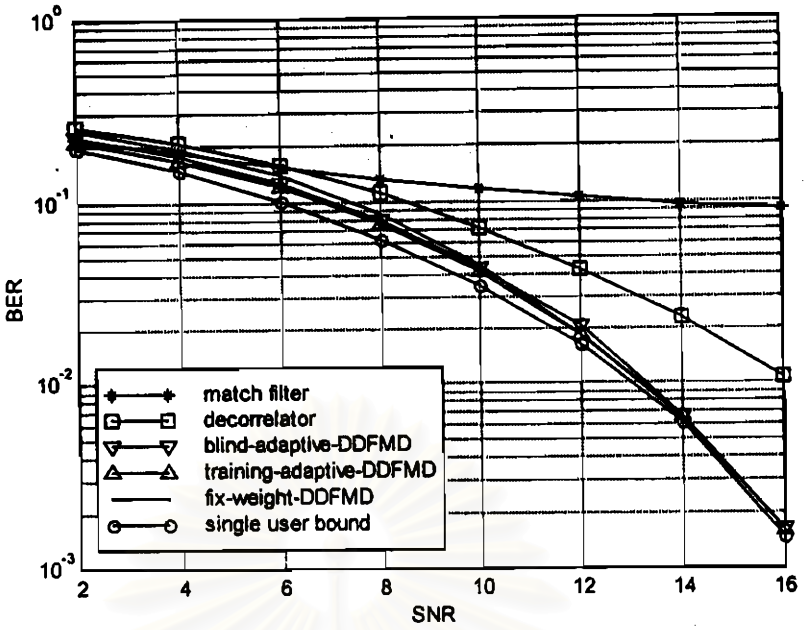
สำหรับสมรรถนะของเครื่องรับแบบบอดนั้นพบว่าให้ผลใกล้เคียงมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่และชนิดที่ใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์มาก นอกจากนั้นที่ค่า SNR ต่ำมากๆจะพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะให้ BER ดีกว่ามัลมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่เช่นเดียวกับกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ด้วยเหตุผลเดียวกัน คือ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดเพิ่มสัญญาณรบกวนน้อยกว่า ซึ่งจะเห็นได้ชัดในรูปที่ 4.22.2 ว่าที่ SNR 2 dB มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มีการเพิ่มสัญญาณรบกวนจนกระทั่งทำให้ BER สูงกว่าเครื่องรับแบบแมตช์เลยทีเดียว ในขณะที่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอดจะได้ BER ประมาณเครื่องรับแบบแมตช์

สำหรับรูปที่ 4.23-4.25 แสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดเป็น 6, 10 และ 12 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่และชนิดบอดจะให้ค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนใกล้เคียงกัน

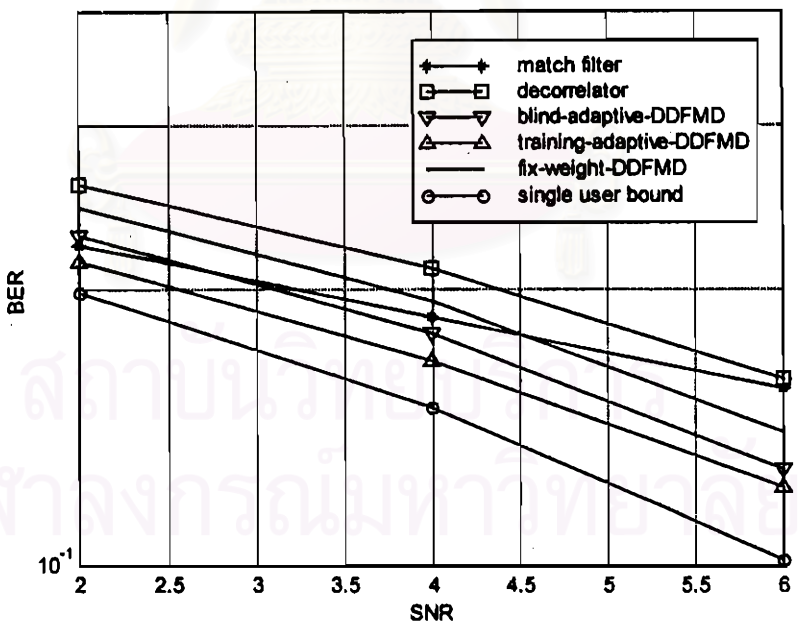
สรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงสัญญาณรบกวนต่อเครื่องรับในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้สมรรถนะโดยเฉลี่ยของระบบ

และสมรรถนะของผู้ใช้แต่ละคนใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่

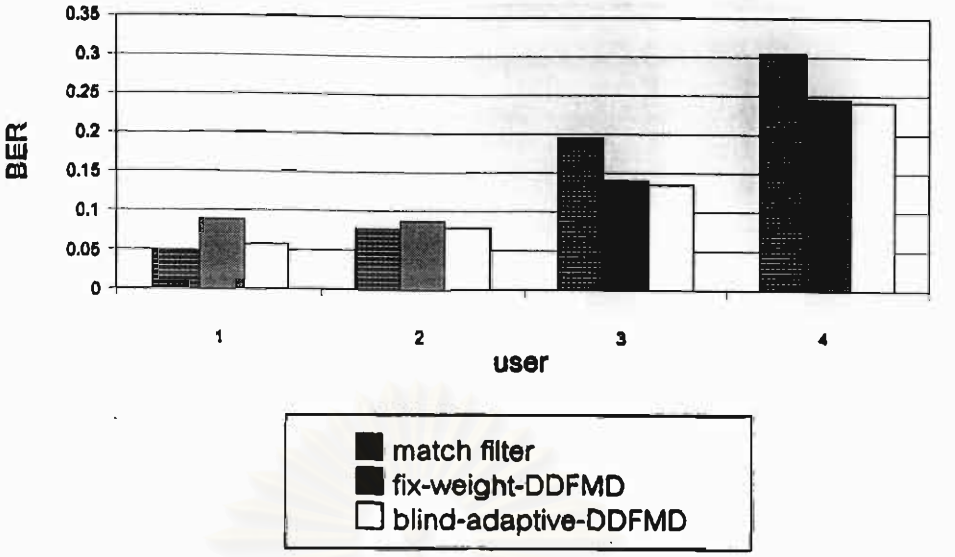
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



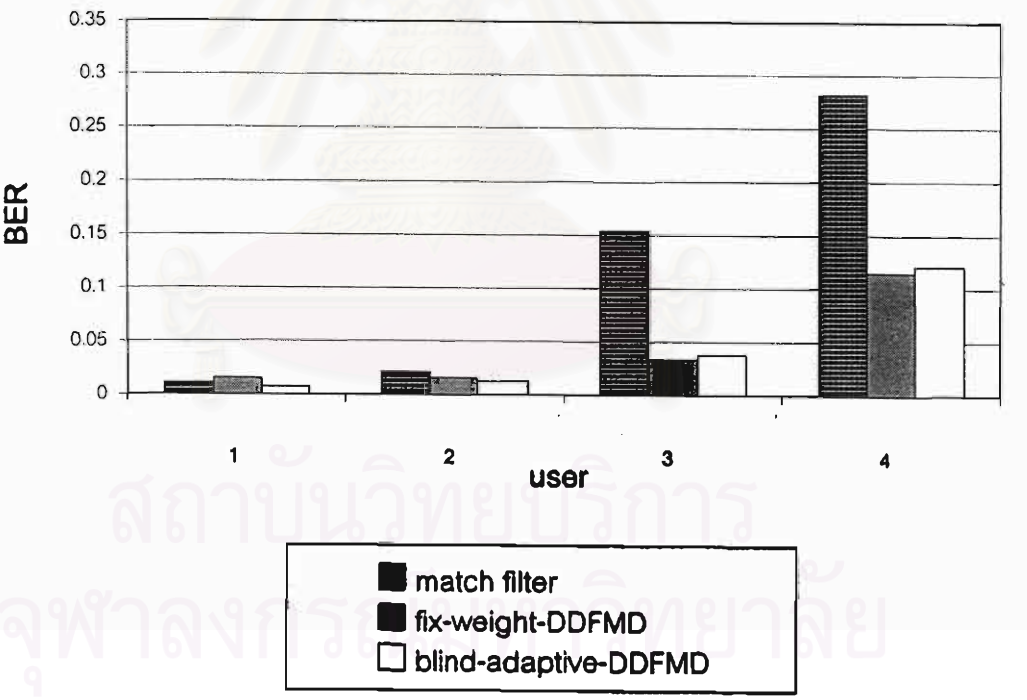
รูปที่ 4.22.1 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code 7 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งไม่ส่งสมบูรณ์



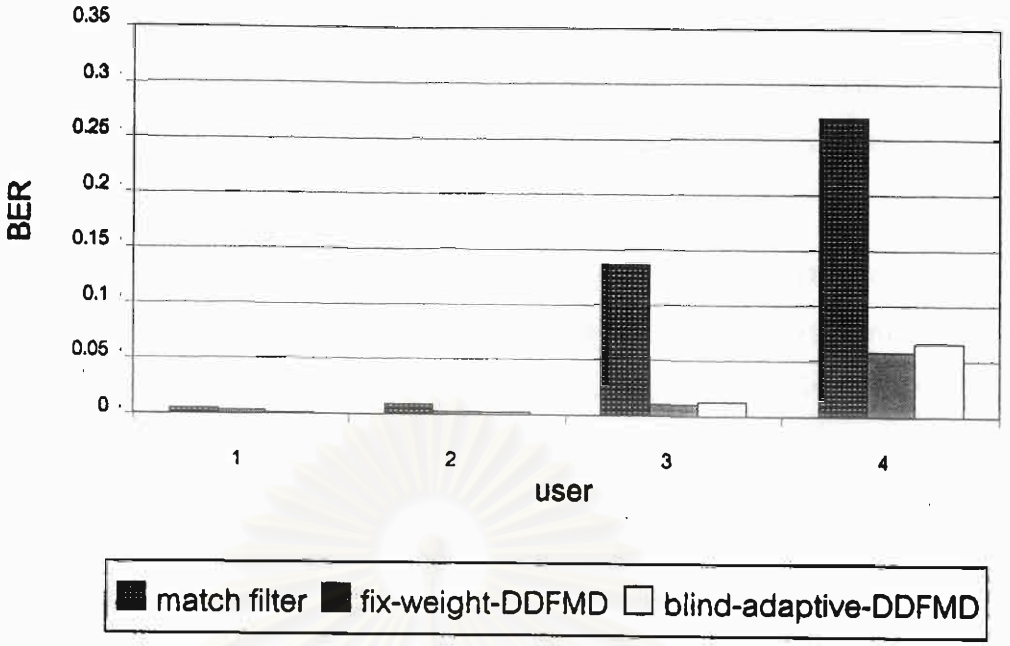
รูปที่ 4.22.2 ส่วนขยายในช่วง SNR 2-6 dB ของรูปที่ 4.22.1



รูปที่ 4.23 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.22.1 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 6 dB โดยที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน ในสภาวะควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.24 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.22.1 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 10 dB โดยที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน ในสภาวะควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.25 BER ของผู้ใช้แต่ละคนในรูปที่ 4.22.1 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 12 dB โดยที่ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากัน ในสภาวะควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.1.2 ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกล

สำหรับผลการจำลองระบบในหัวข้อนี้จะเป็นผลเกี่ยวกับความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล โดยใช้ผู้ใช้จำนวน 4 คนและใช้สเปรดดิ่งโค้ดเหมือนเดิมแต่กำลังที่มาถึงด้านรับจะต่างออกไป

รูปที่ 4.26 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 20 ครั้ง ระหว่าง BER ของผู้ใช้คนที่ 4 ซึ่งมีกำลังของสัญญาณต่ำสุดเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นโดยแกน x เป็นค่าผลต่างระหว่าง SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆกับ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 ซึ่งมีค่าเป็น 10 ทั้งนี้ให้ผู้ใช้ทุกคนได้รับสัญญาณรบกวนเท่ากันและสัญญาณรบกวนมีค่าคงที่ ดังนั้นการเพิ่ม SNR ในกรณีนี้จะหมายถึงเพิ่มกำลังของสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆ หรือเป็นการเพิ่มสัญญาณแทรกสอดที่มารบกวนผู้ใช้ที่พิจารณานั่นเอง

พบว่าเมื่อกำลังของสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆเพิ่มขึ้นเครื่องรับแบบแมตช์จะมี BER เพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องรับแบบแมตช์คิด MAI เป็นสัญญาณรบกวน ฉะนั้นเมื่อกำลังของผู้ใช้คนอื่นๆเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึง MAI เพิ่มขึ้น ก็เหมือนกับมีสัญญาณรบกวนเพิ่ม ดังนั้นค่า BER จึงเพิ่มขึ้น แต่สำหรับเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันซึ่งกำจัด MAI จะให้สมรรถนะต่างออกไป สำหรับดีคอรีเลเตอร์ค่า BER ของผู้ใช้ที่พิจารณาจะไม่ขึ้นกับกำลังของสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆเลย เพราะดีคอรีเลเตอร์นั้นสามารถกำจัด MAI ได้ทั้งหมด ส่วนมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับทั้ง 3 ชนิดจะมี BER ดีกว่าดีคอรีเลเตอร์เนื่องจากมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนน้อยกว่า แต่จะมีค่า BER ดีกว่ามากน้อยเพียงไรขึ้นกับว่าสามารถหักล้าง MAI ได้มากเพียงใด นั่นคือ หากบิตข้อมูลที่นำมาหักล้าง MAI ให้กับผู้ใช้คนที่ 4 นี้เชื่อถือได้มาก การกำจัด MAI ก็จะถูกต้องมากขึ้น ซึ่งจากรูปจะพบว่า BER ของเครื่องรับจะลดลงและลู่เข้าสู่ขอบเขตผู้ใช้รายเดียวเมื่อกำลังของสัญญาณจากผู้ใช้คนอื่นๆมากกว่าผู้ใช้คนที่ 4 อยู่ 5 dB

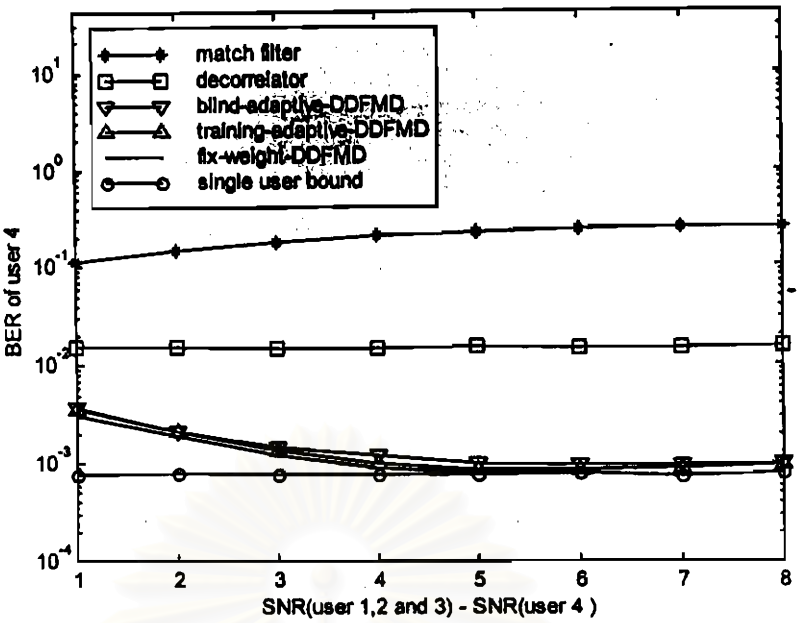
นั่นคือสำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชั้นแบบป้อนกลับแล้วยิ่งผู้ใช้คนอื่นๆที่มากวนมีกำลังสัญญาณแรงเท่าไรยิ่งหมายความว่าบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้จากผู้ใช้เหล่านั้นเชื่อถือได้มากขึ้นเท่านั้น ดังนั้น เมื่อนำมาช่วยเหลือผู้รับที่มีกำลังต่ำสุดก็จะทำให้หักล้าง MAI ได้ถูกต้องทำให้สมรรถนะดีจนลู่เข้าสู่ขอบเขตผู้ใช้รายเดียว

สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับแบบบอดนั้นพบว่าจะมีสมรรถนะแบบเดียวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ คือให้ค่า BER ของผู้ใช้คนที่ 4 สูงกว่าชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่เล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาค่า BER ของผู้ใช้คนแต่ละคนก็พบว่าให้ค่า BER ใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ด้วยเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 4.27

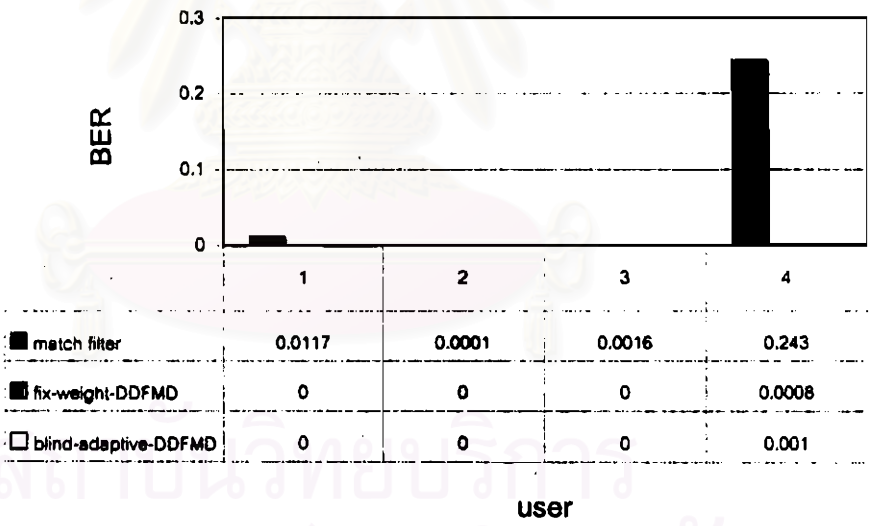
ส่วนต่อไปจะเป็นผลการจำลองระบบในกรณีที่กำลังของผู้ใช้คนอื่นๆเพิ่มขึ้นไม่หมดทุกคน รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 20 ครั้งระหว่าง BER ของผู้ใช้คนที่ 4 ซึ่งมี SNR = 11 dB เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เพิ่มขึ้นคนเดียวในขณะที่ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 คงที่เป็น 12 dB และรูปที่ 4.29 เป็นกรณีที่ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้นเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 11 ซึ่งจากรูปทั้งสองแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ 1 มีกำลังเพิ่มขึ้นคนเดียวนั้นสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับทั้งชนิดบอดและชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ให้ค่า BER ด้อยกว่ากรณีที่กำลังของผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 เพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ BER ของดีคอรีเลเตอร์คงที่ ทั้งนี้ก็เนื่องจากว่าในกรณีผู้ใช้ทุกๆคนมีกำลังเพิ่มขึ้นนั้นสัญญาณของผู้ใช้ที่มีกำลังเพิ่มขึ้นจะเชื่อถือได้มากขึ้น ในขณะที่ถ้ากำลังของผู้ใช้คนที่ 1 เพิ่มขึ้นอยู่คนเดียว ผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 จะถูกรบกวนจากผู้ใช้คนที่ 1 เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผู้ใช้คนที่ 4 ทำให้ความน่าเชื่อถือของบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 ลดลง ดังนั้น เมื่อนำบิตข้อมูลนี้ไปใช้จึงทำให้ BER สูงกว่าในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ 2 และ 3 มีกำลังเพิ่มขึ้นด้วย สำหรับในกรณีดีคอรีเลเตอร์จะไม่มีการนำบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้แล้วมาใช้ ดังนั้นความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ตรวจจับได้จากผู้ใช้แต่ละคนจะไม่มีผลต่อกัน

จากผลการจำลองระบบในส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอดนี้มีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลในลักษณะเดียวกับเครื่องรับแบบป้อนกลับที่มีค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ และจะให้ค่า BER ในกรณีที่มีเกิดปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเหนือดีคอรีเลเตอร์เสมอเมื่อเรียงลำดับสัญญาณเข้าอย่างถูกต้อง

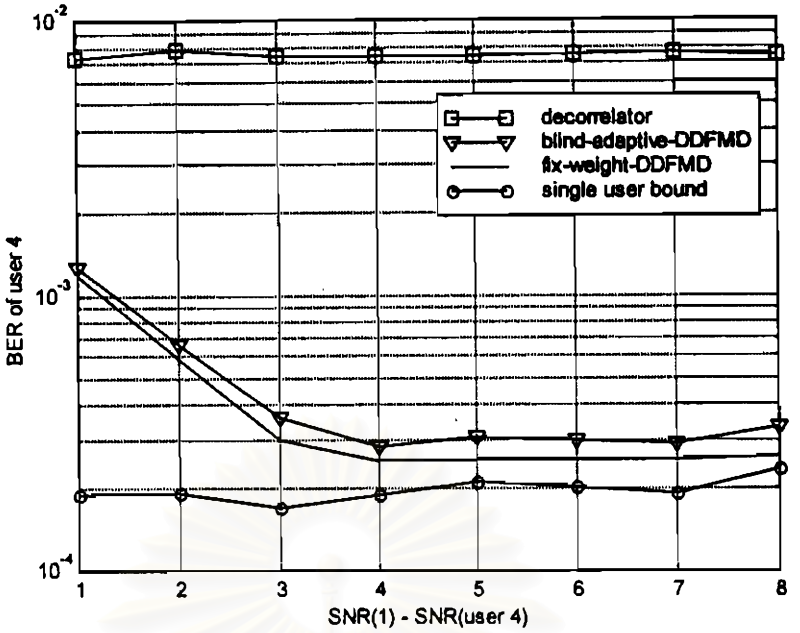
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



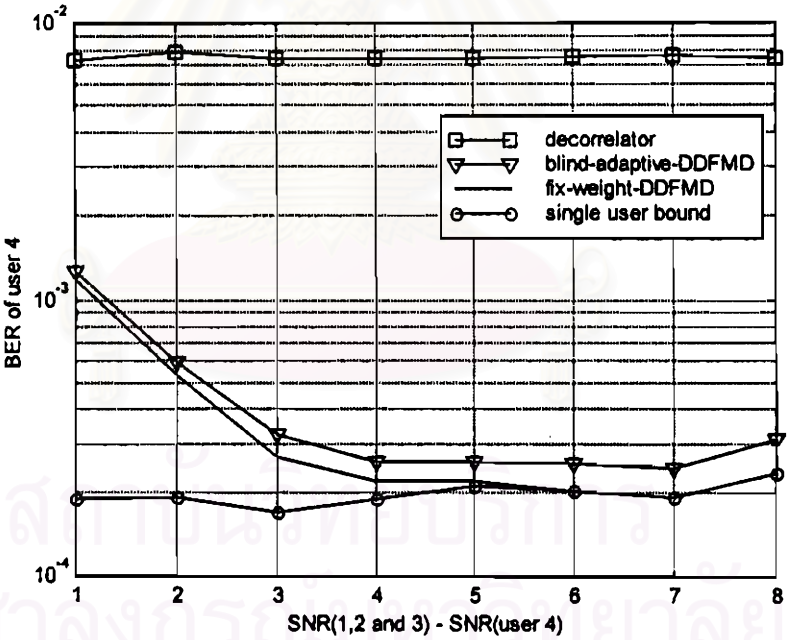
รูปที่ 4.26 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.27 BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อผู้ใช้คนที่ 4 มี SNR เป็น 10 และผู้ใช้คนอื่นๆมี SNR เป็น 16
เมื่อสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.28 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เพิ่มขึ้น
และ SNR ของผู้ใช้คนที่ 2, 3 และ 4 เป็น 12, 12 และ 11 ตามลำดับ กรณี Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.29 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
ในขณะที่ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 11 กรณี Gold code ขนาด 7 บิต

4.3.2.2 กรณีผู้ใช้ 15 คนสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ด Gold code ขนาด 31 บิต

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาระบบซึ่งมีผู้ใช้ทั้งหมด 15 คนแต่ละคนสเปรดบิตข้อมูลด้วยสเปรดดิงโค้ด Gold code ซึ่งมีความยาว 31 บิต และให้สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนเป็นไปตามตารางที่ 4.7 ซึ่งสามารถหาค่าเมตริกซ์ Γ และ $\mathbf{F}$ ได้ตามตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

พิจารณาสมรรถนะของระบบเช่นเดียวกับกรณีสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต คือ ค่า BER เมื่อ SNR เปลี่ยนไป และความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล

ผลการจำลองระบบในรูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 50 ครั้งระหว่าง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนและ SNR ของผู้ใช้ทุกคนในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ ซึ่งในกรณีนี้จะพบว่าลักษณะของกราฟจะคล้ายคลึงกับในกรณีผู้ใช้ 4 คนและสเปรดด้วย Gold code 7 บิต ในรูปที่ 4.20

รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งระหว่าง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนและ SNR ของผู้ใช้คนแรกในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์โดยให้ผู้ใช้คนที่ 1 มีขนาดสัญญาณที่มาถึงเป็น 1 ส่วนผู้ใช้คนถัดๆไปมีขนาดของสัญญาณต่ำกว่าผู้ใช้คนแรกอยู่ลำดับละ $\frac{0.8}{15}$ และผู้ใช้แต่ละคนถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนเท่ากันพบว่าลักษณะของกราฟจะคล้ายคลึงกับในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์เมื่อสเปรดด้วย Gold code 7 บิตเช่นกัน

รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งระหว่าง BER ของผู้ใช้คนที่ 15 ซึ่งมีกำลังของสัญญาณต่ำสุดเมื่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนในระบบมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในกรณีนี้พบว่าลักษณะของกราฟโดยรวมจะคล้ายกับกรณี Gold code 7 บิต อย่างไรก็ตามมีส่วนที่แตกต่างคือในรูปนี้จะพบว่า BER ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะมีเส้นกราฟทับกับค่าขอบเขตผู้ใช้รายเดียวตั้งแต่กำลังของสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆไม่สูงนักไปจนถึงสูงมาก และมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดก็จะมีค่า BER ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ต้นกราฟ ต่างจากในกรณีรูปที่ 4.26 ซึ่งต้องรอจนผู้ใช้คนอื่นๆมีกำลังของสัญญาณสูงพอสมควรค่า BER จึงคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณาเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของ Gold code ขนาด 31 บิตซึ่งมีผู้ใช้ 15 คน ตามตารางที่ 4.8 นั้นพบว่าจะมีค่าสหสัมพันธ์โดยรวมน้อยกว่าในกรณี Gold code ขนาด 7 บิต ซึ่งมีผู้ใช้ 4 คน ซึ่งแสดงว่า MAI จะน้อยกว่าด้วย (ยืนยันได้โดยการเปรียบเทียบ BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ใน 2 กรณีนี้ ซึ่งจะพบว่ากรณี Gold code 7 บิตจะมี BER ที่ SNR เดียวกันสูงกว่า) ดังนั้น ในกรณีนี้ความน่าเชื่อถือของบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้จากผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงกว่าคนผู้ใช้ที่ 15 จะมีค่อนข้างสูงตั้งแต่ในกรณีที่ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1-14 ยังไม่สูงมาก ดังนั้นกราฟจึงดู่เข้าหาขอบเขตผู้ใช้รายเดียวตั้งแต่ในช่วงแรกของกราฟ

นอกจากนั้น ในรูป 4.32 นี้พบว่ามีความแตกต่างระหว่าง BER ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มากกว่ากรณีระบบ 4 คนที่ใช้ Gold code เนื่องมาจากบังเอิญผู้ใช้คนที่ 14 ได้รับการสเปรดดิงโค้ดที่มีค่าสหสัมพันธ์กับ สเปรดดิงโค้ดตัวอื่นๆมากๆ (จากตารางที่ 4.8 ผู้ใช้คนที่ 14 มีค่าสหสัมพันธ์ของสเปรดดิงโค้ดมากกว่าผู้ใช้คนอื่นในระบบ) ดังนั้น แม้จะส่งด้วยกำลังสูงๆก็ยังคงได้ BER ไม่ดี ดังรูปที่ 4.33 ความน่าเชื่อถือของข้อมูลของผู้ใช้คนนี้จึงไม่ดีนัก เมื่อนำบิตข้อมูลมาใช้อาจเกิดความผิดพลาด ซึ่งในกรณีมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะได้รับผลจากความผิดพลาดนี้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติด้วย จึงทำให้ BER ด้อยกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มากกว่าในกรณี Gold code 7 บิตซึ่งผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนมีความน่าเชื่อถือต่ำกว่าผู้ใช้คนสุดท้าย ดังรูปที่ 4.27 จะพบว่า BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ของผู้ใช้คนที่ไม่ใช่คนสุดท้ายจะดีมากๆ ต่างจากรูปที่ 4.33 ซึ่ง BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ของผู้ใช้คนที่ 14 ด้อยกว่าคนสุดท้าย แต่อย่างไรก็ตามแม้จะให้ค่า BER ด้อยกว่ากรณีค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มากขึ้นแต่ก็ยังคงเป็นค่าที่ใกล้เคียง รวมทั้งยังคงให้ BER ดีกว่าเครื่องรับแบบดีคอรีเลเตอร์

สรุปได้ว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้สมรรถนะใกล้เคียงมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ในกรณี Gold code 31 บิตนี้ และความน่าเชื่อถือของบิตข้อมูลที่ตรวจจับได้ของผู้ใช้ที่มีลำดับต่ำกว่าผู้ใช้ที่พิจารณาจะส่งผลต่อสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดมากกว่าชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีระบบ 15 คนซึ่งสเปรดสัญญาณด้วย Gold code ขนาด 31 บิต

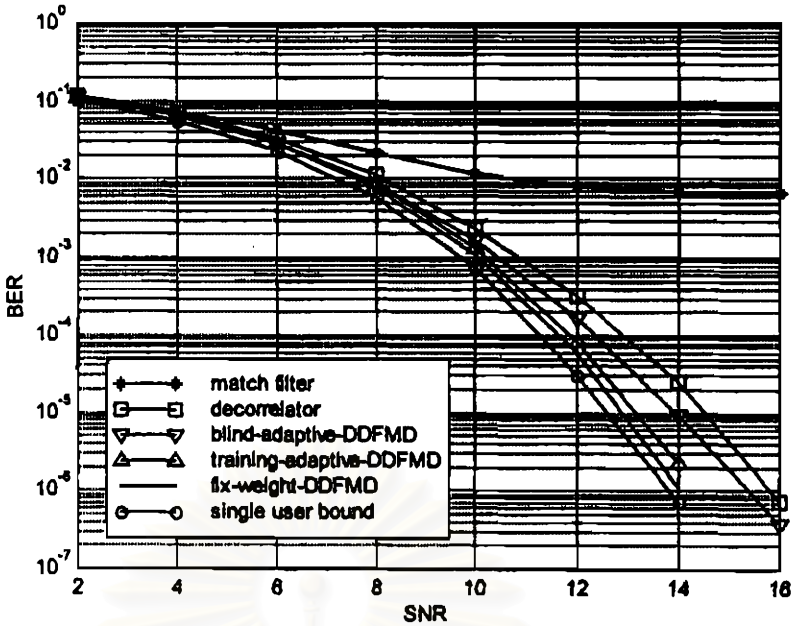
ผู้ใช้คนที่	สเปรดดิงโค้ดที่ใช้																														
1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
3	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
4	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
7	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1
8	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
9	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1
11	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1
12	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1
13	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1
14	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1
15	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	1

ตารางที่ 4.8 เมตริกซ์ Γ ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรดดิงโค้ดในตารางที่ 4.7

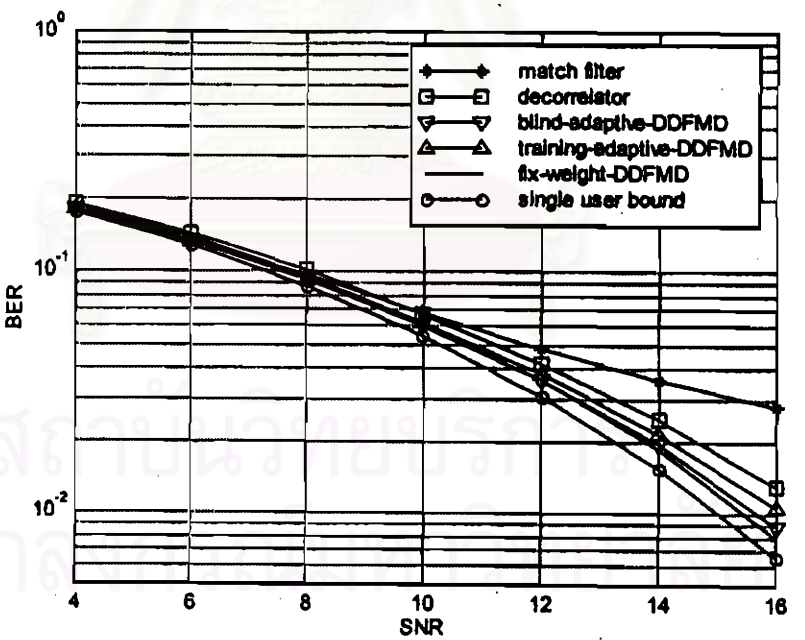
แถว\คอลัมน์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323
2	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323
3	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323
4	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323
5	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323
6	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323
7	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323
8	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323
9	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323
10	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323
11	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323
12	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.0323	-0.2903	-0.0323
13	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	1	-0.2903	-0.0323
14	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.0323	0.2258	0.2258	-0.0323	0.2258	0.2258	-0.0323	0.2258	-0.2903	-0.2903	1	-0.2903
15	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.2903	1

ตารางที่ 4.9 เมตริกซ์ F ของสเปรดดิงโค้ดในตารางที่ 4.7

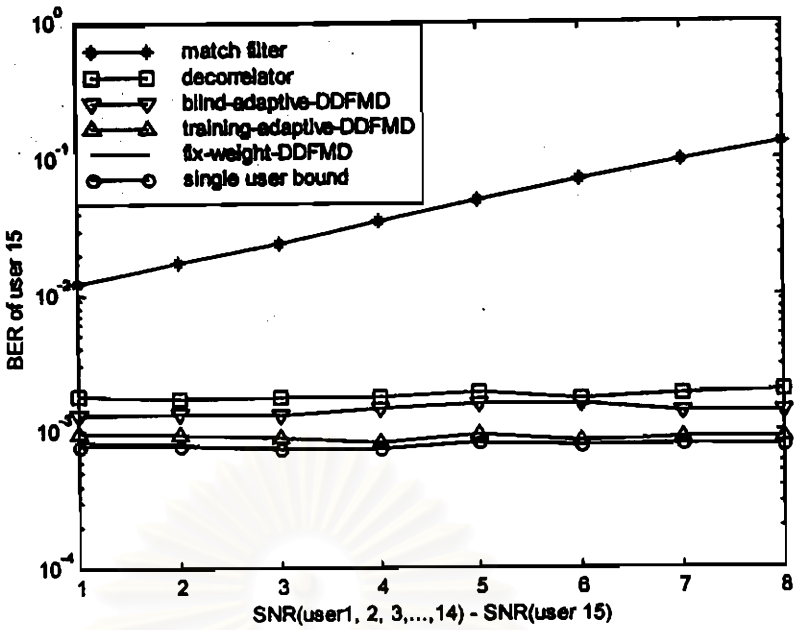
แถว\คอลัมน์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.9887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-0.0525	0.9901	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-0.0404	-0.0404	0.9354	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-0.0484	-0.0484	-0.0363	0.9921	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-0.033	-0.033	-0.1431	-0.033	0.9469	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-0.0289	-0.0289	-0.1254	-0.0289	-0.1254	0.9552	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-0.0444	-0.0444	-0.0266	-0.0444	-0.0266	-0.0266	0.9941	0	0	0	0	0	0	0	0
8	-0.0247	-0.0247	-0.111	-0.0247	-0.111	-0.111	-0.0247	0.962	0	0	0	0	0	0	0
9	-0.0222	-0.0222	-0.1001	-0.0222	-0.1001	-0.1001	-0.0222	-0.1001	0.9672	0	0	0	0	0	0
10	-0.0415	-0.0415	-0.0207	-0.0415	-0.0207	-0.0207	-0.0415	-0.0207	-0.0207	0.9955	0	0	0	0	0
11	-0.0194	-0.0194	-0.0907	-0.0194	-0.0907	-0.0907	-0.0194	-0.0907	-0.0907	-0.0194	0.9717	0	0	0	0
12	-0.0573	-0.0573	0.0458	-0.0573	0.0458	0.0458	-0.0573	0.0458	0.0458	-0.0573	0.0458	0.939	0	0	0
13	-0.0494	-0.0494	0.0395	-0.0494	0.0395	0.0395	-0.0494	0.0395	0.0395	-0.0494	0.0395	-0.1384	0.9491	0	0
14	-0.0435	-0.0435	0.2262	-0.0435	0.2262	0.2262	-0.0435	0.2262	0.2262	-0.0435	0.2262	-0.3132	-0.3132	0.9569	0
15	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.2903	1



รูปที่ 4.30 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

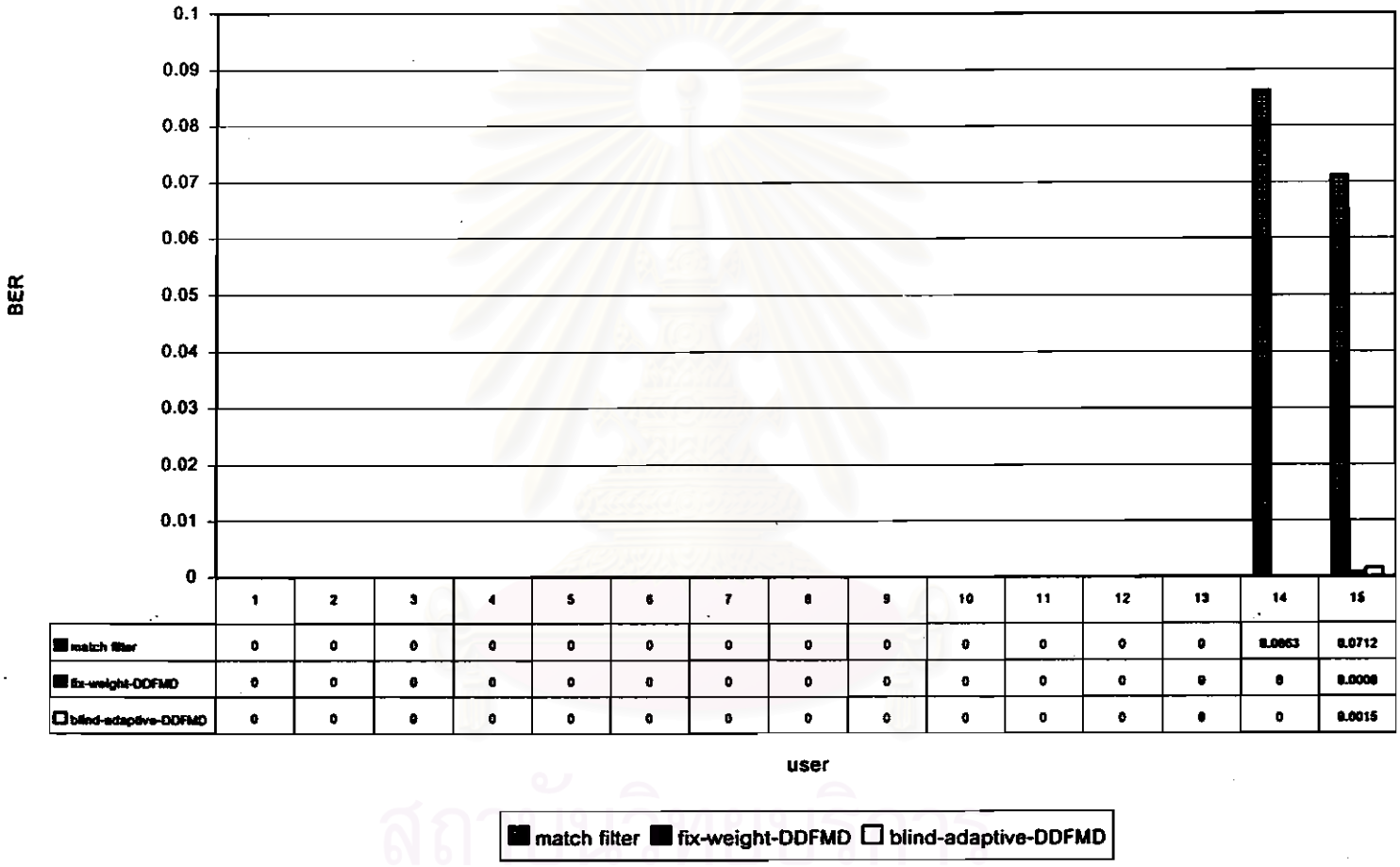


รูปที่ 4.31 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังไม่ส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.32 BER ของผู้ใช้คนที่ 15 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 15 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 31 บิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
match filter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0863	0.0712
fix-weight-DDFMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0008
blind-adaptive-DDFMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0015

รูปที่ 4.33 BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อผู้ใช้คนที่ 15 มี SNR เป็น 10 และผู้ใช้คนอื่นๆมี SNR เป็น 16 เมื่อสเปรดด้วย Gold code ขนาด 31 บิต

4.3.2.3 กรณีผู้ใช้ 15 คนสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มยาว 31 บิต

สำหรับหัวข้อนี้จะพิจารณากรณีสเปรดดิงโค้ดซึ่งให้ MAI มากๆซึ่งในที่นี้แทนด้วยรหัสซึ่งถูกสุ่มมาอย่างอิสระยาว 31 บิต และมีขนาดของค่าสหสัมพันธ์ระหว่างรหัสสูงสุดเป็น 0.5484 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับ Gold code 31 บิตซึ่งมีขนาดของค่าสหสัมพันธ์สูงสุดเพียง 0.2903 นอกจากนี้ขนาดของค่าสหสัมพันธ์โดยรวมก็จะมีค่าสูงกว่ากรณีของ Gold code 31 บิต โดยในที่นี้พิจารณาระบบที่มีจำนวนผู้ใช้ 15 คน และกำหนดสเปรดดิงโค้ดให้ผู้ใช้แต่ละคนตามตารางที่ 4.10 ซึ่งสามารถหาค่าเมตริกซ์ Γ และ $\mathbf{F}$ ได้ตามตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

พิจารณาสมรรถนะของระบบเช่นเดียวกับกรณีสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต คือ ค่า BER เมื่อ SNR เปลี่ยนไป และความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล

พิจารณารูปที่ 4.34 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งของ BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ทุกคนในระบบเปลี่ยนไปในกรณีที่ควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์, รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งระหว่าง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่มีกำลังสูงสุด (คนแรก) เปลี่ยนไปในกรณีที่เกิดปัญหาปรากฏการณ์ใกล้ไกล โดยให้ผู้ใช้คนแรกมีขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับเป็น 1 และผู้ใช้คนอื่นๆมีขนาดสัญญาณลดลงจากผู้ใช้คนแรกทีละ $\frac{0.5}{15}$ เช่นเดียวกับกรณี Gold code 31 บิต และสุดท้ายรูปที่ 4.36 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งระหว่าง BER ของผู้ใช้คนที่ 15 ซึ่งมีกำลังของสัญญาณต่ำสุดเมื่อกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะพบว่ากราฟทั้งสามนั้นจะมีลักษณะเป็นเช่นเดียวกับในกรณีของผู้ใช้ 4 คนสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิตในรูปที่ 4.15.1, 4.22.1 และ 4.26 ตามลำดับ เพียงแต่ในกรณีรูปที่ 4.36 จะพบว่ามีค่า BER แตกต่างจากมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักคงที่มากกว่าเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากผู้ใช้หลายๆคนก่อนคนสุดท้ายในกรณีสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มนี้จะมีการกวนกันสูงจึงทำให้ BER ที่ได้จากเครื่องรับแบบแมตช์สูงแม้จะส่งด้วยกำลังที่สูงก็ตาม ดังรูปที่ 4.37 เมื่อนำข้อมูลของผู้ใช้เหล่านี้ไปใช้ต่อจะทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการปรับอัตโนมัติได้ซึ่งต่างจากรูปที่ 4.27 กรณีระบบ 4 คนสเปรดด้วย Gold code 7 บิตซึ่งผู้ใช้คนทุกคนก่อนคนสุดท้ายมี BER ของเครื่องรับแบบแมตช์ต่ำมากๆ แต่อย่างไรก็ตามแม้จะให้ค่า BER ด้อยกว่ากรณีค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มากขึ้นแต่ก็ยังคงเป็นค่าที่ใกล้เคียง รวมทั้งค่า BER ยังคงดีกว่าเครื่องรับแบบดีคอรีเลเตอร์

สรุปได้ว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้สมรรถนะใกล้เคียงมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ในกรณีสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิตนี้

ตารางที่ 4.10 สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีระบบ 15 คนซึ่งสเปรดสัญญาณด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต

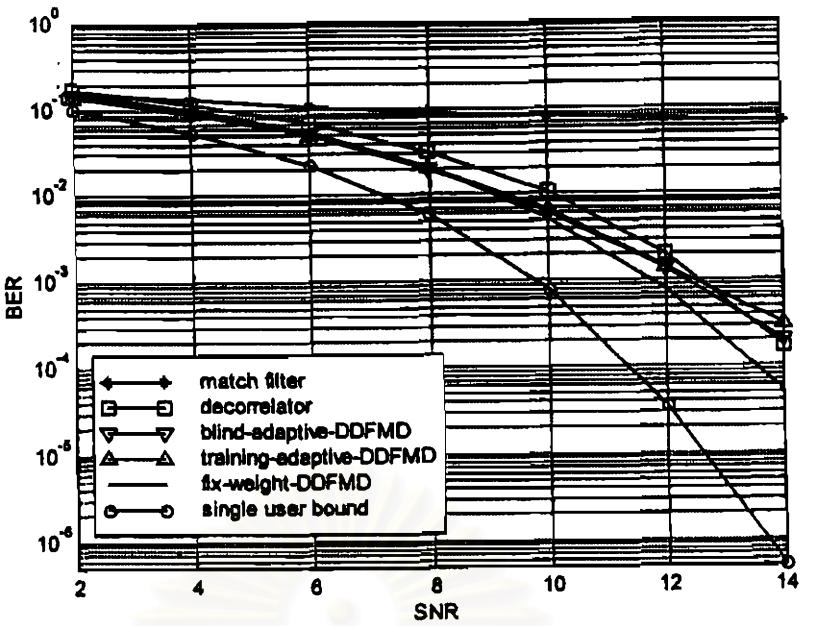
ผู้ใช้คนที่	สเปรดดิงโค้ดที่ใช้																														
1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1
2	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1
3	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1
4	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
5	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
6	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
7	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
8	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
9	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
11	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1
12	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1
14	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
15	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1

ตารางที่ 4.11 เมตริกซ์ Γ ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มในตารางที่ 4.10

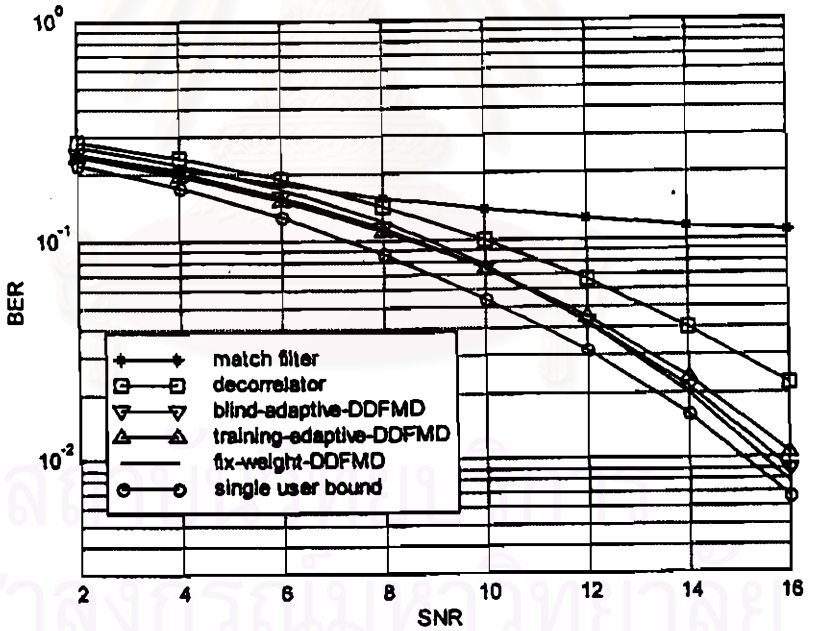
แถว\คอลัมน์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0.0323	0.0323	0.1613	0.4839	0.0968	-0.0323	0.0323	0.0323	-0.2903	-0.0323	-0.1613	-0.0968	-0.5484	0.0968
2	0.0323	1	0.0968	0.0968	0.1613	-0.0968	0.0323	-0.0323	-0.2903	-0.0968	0.0323	0.0323	0.0968	-0.0968	-0.0968
3	0.0323	0.0968	1	0.2258	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.0323	-0.2258	0.0323	-0.0968	-0.0323	-0.0968	0.2903
4	0.1613	0.0968	0.2258	1	0.1613	-0.0968	0.0323	0.0968	-0.2903	0.0323	-0.0968	0.0323	0.2258	-0.2258	-0.0968
5	0.4839	0.1613	0.0323	0.1613	1	-0.0323	0.0968	-0.0968	0.1613	-0.4194	-0.1613	-0.1613	0.0323	-0.2903	-0.0323
6	0.0968	-0.0968	0.0323	-0.0968	-0.0323	1	-0.0323	0.1613	0.0323	-0.0323	-0.2903	0.2258	0.0323	-0.1613	-0.0323
7	-0.0323	0.0323	-0.0968	0.0323	0.0968	-0.0323	1	0.0323	0.2903	-0.4194	-0.1613	0.0968	-0.0968	-0.1613	-0.2903
8	0.0323	-0.0323	-0.1613	0.0968	-0.0968	0.1613	0.0323	1	0.0968	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.0968	0.0323
9	0.0323	-0.2903	-0.0323	-0.2903	0.1613	0.0323	0.2903	0.0968	1	-0.3548	-0.0968	-0.2258	-0.0323	0.1613	-0.0968
10	-0.2903	-0.0968	-0.2258	0.0323	-0.4194	-0.0323	-0.4194	0.0323	-0.3548	1	0.2258	0.2258	0.1613	0.0968	0.0968
11	-0.0323	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.2903	-0.1613	0.0323	-0.0968	0.2258	1	-0.2903	0.0323	-0.0323	-0.0323
12	-0.1613	0.0323	-0.0968	0.0323	-0.1613	0.2258	0.0968	-0.0968	-0.2258	0.2258	-0.2903	1	0.2903	-0.1613	-0.2903
13	-0.0968	0.0968	-0.0323	0.2258	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.0323	0.1613	0.0323	0.2903	1	-0.2258	0.0323
14	-0.5484	-0.0968	-0.0968	-0.2258	-0.2903	-0.1613	-0.1613	-0.0968	0.1613	0.0968	-0.0323	-0.1613	-0.2258	1	-0.0323
15	0.0968	-0.0968	0.2903	-0.0968	-0.0323	-0.0323	-0.2903	0.0323	-0.0968	0.0968	-0.0323	-0.2903	0.0323	-0.0323	1

ตารางที่ 4.12 เมตริกซ์ F ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มในตารางที่ 4.10

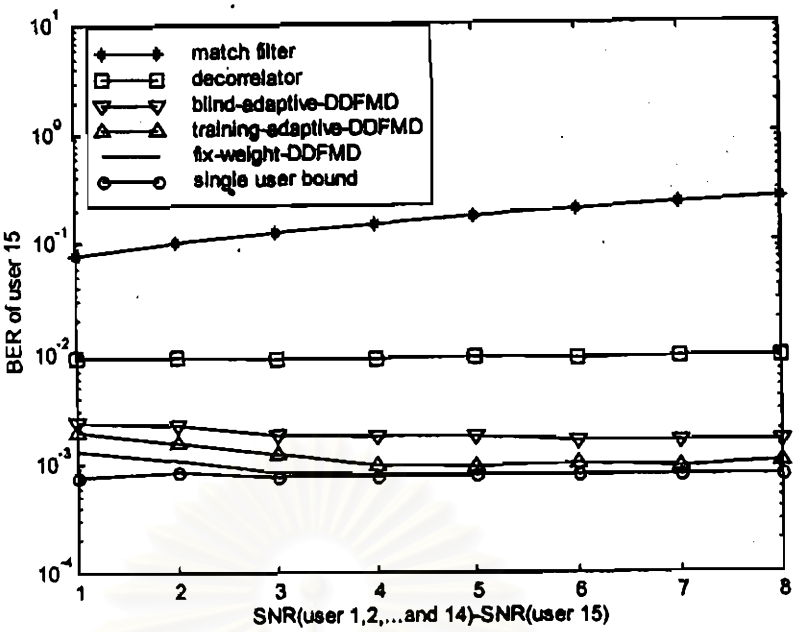
แถว/คอลัมน์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.6507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.0294	0.8737	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-0.1923	0.1785	0.7875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.1018	-0.1097	0.3805	0.8306	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.2105	0.1335	-0.0974	0.104	0.8206	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-0.0022	-0.0841	0.0605	-0.1592	-0.1023	0.9044	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-0.2336	0.0425	-0.1293	0.0766	-0.1236	-0.1518	0.8295	0	0	0	0	0	0	0	0
8	-0.0692	0.0367	-0.1631	0.1511	-0.123	0.1561	0.0089	0.9593	0	0	0	0	0	0	0
9	0.0278	-0.3575	-0.0666	-0.3218	0.0243	0.0745	0.1918	0.1457	0.8899	0	0	0	0	0	0
10	-0.1371	-0.0984	-0.2767	0.1192	-0.2655	0.0181	-0.3363	0.0942	-0.2675	0.8804	0	0	0	0	0
11	-0.1116	0.0113	0.0388	-0.1543	-0.2694	-0.2391	-0.1773	0.0157	-0.1949	0.3333	0.9366	0	0	0	0
12	-0.1828	-0.0379	-0.0117	-0.0929	-0.2344	0.2101	0.0199	-0.0588	-0.2534	0.2451	-0.3462	0.9025	0	0	0
13	-0.2286	0.0795	-0.0629	0.1822	-0.0331	-0.0033	-0.1292	-0.1888	0.0066	0.1855	0.0265	0.2683	0.9739	0	0
14	-0.5455	-0.0999	-0.0875	-0.229	-0.2915	-0.1624	-0.1707	-0.0958	0.1583	0.0999	-0.0333	-0.1707	-0.2249	0.9995	0
15	0.0968	-0.0968	0.2903	-0.0968	-0.0323	-0.0323	-0.2903	0.0323	-0.0968	0.0968	-0.0323	-0.2903	0.0323	-0.0323	1



รูปที่ 4.34 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

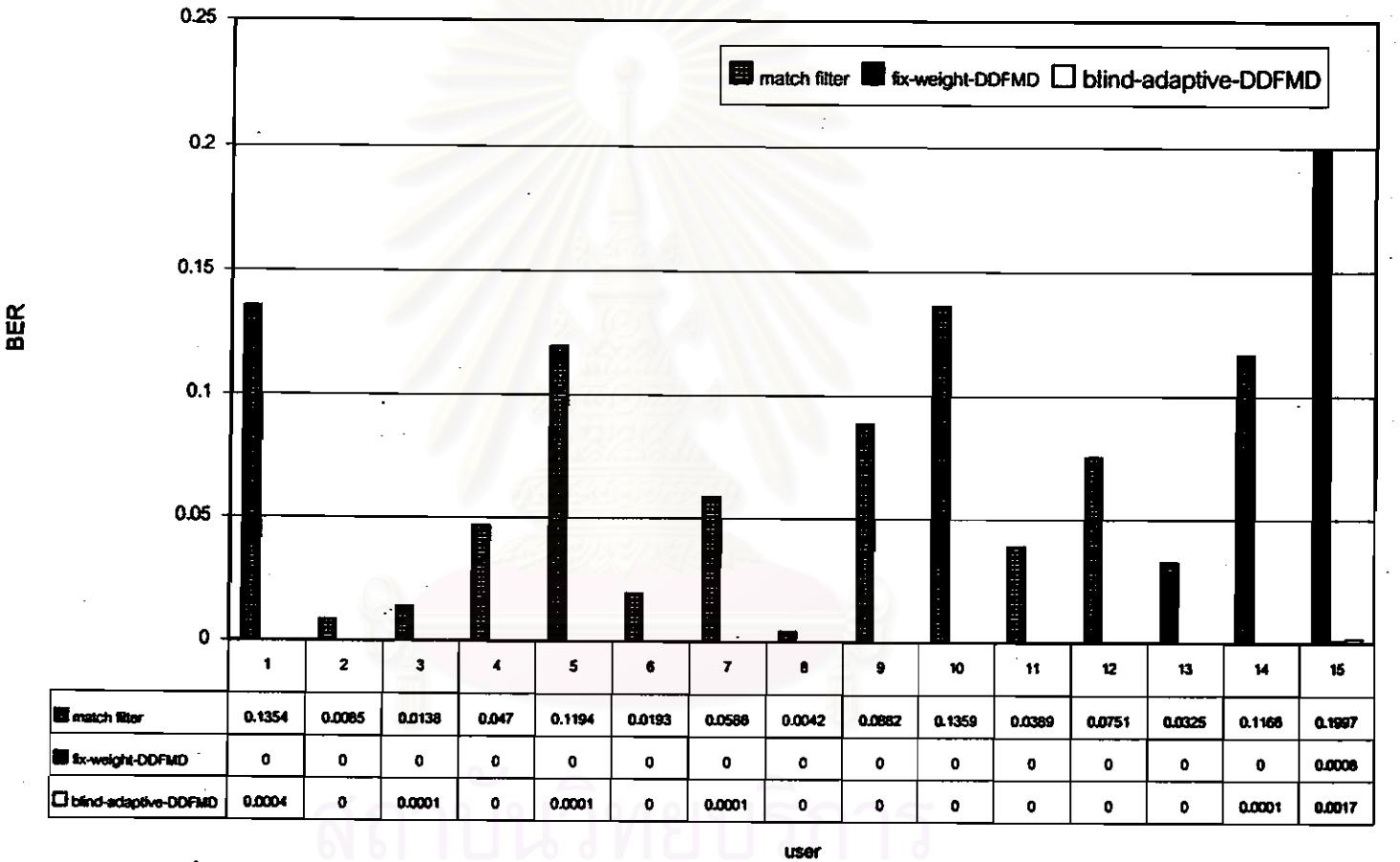


รูปที่ 4.35 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 1 เปลี่ยนไป ในระบบที่มีผู้ใช้ 15 คน แต่ละคนสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต กรณีควบคุมกำลังไม่ส่งสมบูรณ์



รูปที่ 4.36 BER ของผู้ใช้คนที่ 15 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆในระบบเพิ่มขึ้น เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 15 เป็น 10 ในระบบที่ใช้สเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
match filter	0.1354	0.0085	0.0138	0.047	0.1194	0.0193	0.0586	0.0042	0.0882	0.1359	0.0389	0.0751	0.0325	0.1166	0.1997
fix-weight-DDFMD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0008
blind-adaptive-DDFMD	0.0004	0	0.0001	0	0.0001	0	0.0001	0	0	0	0	0	0	0.0001	0.0017

รูปที่ 4.37 BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อผู้ใช้คนที่ 15 มี SNR เป็น 10 และผู้ใช้คนอื่นๆมี SNR เป็น 16 เมื่อสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต

4.3.2.4 มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและความจุของระบบ

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาเกี่ยวกับสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดในการเพิ่มความจุของระบบ โดยจะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนกับจำนวนผู้ใช้ในระบบ ซึ่งความสัมพันธ์นี้สามารถบ่งบอกถึงความจุของระบบเมื่อใช้เครื่องรับต่างๆได้ สำหรับในหัวข้อนี้เลือกใช้สเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มจำนวน 31 บิต ตามตารางที่ 4.13 ในการสเปรดบิตข้อมูลเพื่อจำลองระบบ โดยที่ค่าของเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของสเปรดดิงโค้ด Γ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.14 ทำการจำลองระบบโดยพิจารณาระบบทั้งในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

4.3.2.4.1 กรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

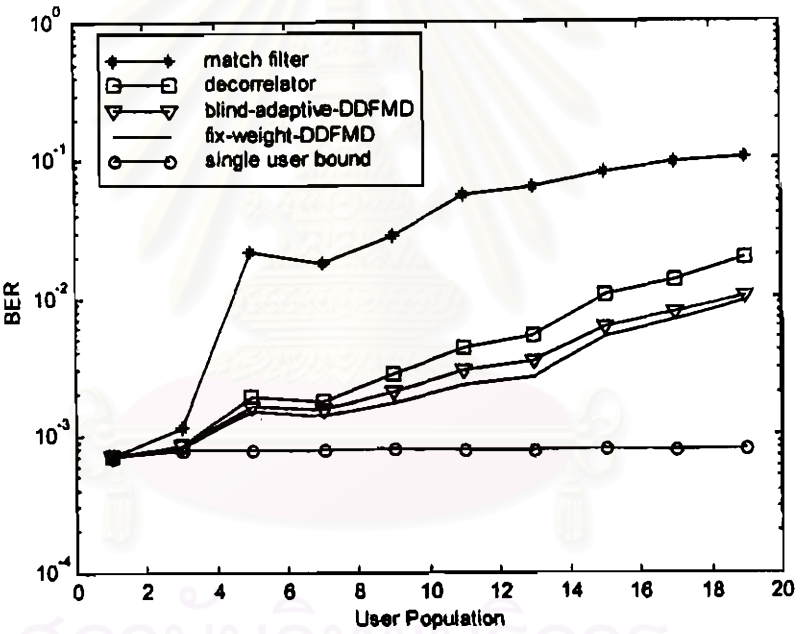
รูปที่ 4.38 แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งของ BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนในระบบกับจำนวนผู้ใช้ในระบบในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และผู้ใช้แต่ละคนมีค่า SNR เป็น 10 dB

จากกราฟจะพบว่าในกรณีของเครื่องรับแบบแมตช์นั้นจะให้สมรรถนะดีมากในกรณีที่มีผู้ใช้คนเดียวเท่านั้นในระบบหรือไม่มี MAI เลย แต่หลังจากนั้นเมื่อผู้ใช้เพิ่มขึ้นมีผลของ MAI เข้ามาเครื่องรับแบบแมตช์จะให้ BER สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ในรูปที่ 4.38 จะพบว่า BER จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผู้ใช้มีจำนวนถึงคนที่ 5 ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าเป็นผลจากสเปรดดิงโค้ดที่ใช้ จากตารางที่ 4.14 พบว่าสเปรดดิงโค้ดที่ใช้ในการสเปรดสัญญาณของผู้ใช้คนที่ 1-4 นั้นมีค่าสหสัมพันธ์ต่อกันไม่มาก (ค่าสหสัมพันธ์สูงสุด 0.2258) ดังนั้น จะก่อให้เกิด MAI ไม่มาก ฉะนั้นเมื่อผู้ใช้เพิ่มจาก 1 คนเป็น 3 คนจะได้ค่า BER เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น คือจาก 0.0007 เป็น 0.0011 แต่สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่ 5 นั้นค่อนข้างมีความสัมพันธ์กับสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนอื่นๆมากกว่าผู้ใช้คนที่ 1-4 โดยมีค่าสหสัมพันธ์สูงสุดกับผู้ใช้คนที่ 1 เป็น 0.4839 ดังนั้นเมื่อเพิ่มผู้ใช้คนที่ 5 เข้ามาจึงทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณซึ่งกันและกันมากทำให้ BER ของระบบสูงขึ้นทันที จาก 0.0011 เมื่อมีผู้ใช้ 3 คน ไปเป็น 0.0215 เมื่อมีผู้ใช้ 5 คน (ในการจำลองระบบได้เพิ่มผู้ใช้เข้าไปครั้งละ 2 คน)

แต่เมื่อพิจารณาในส่วนของสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจะพบว่าค่า BER จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนของผู้ใช้เพิ่มขึ้นไม่มีการเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหันเหมือนเครื่องรับแบบแมตช์ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนจากผู้ใช้ 3 คนเป็น 5 คนในกรณีของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดค่า BER จะเปลี่ยนจาก 0.0008 เป็น 0.0016 เท่านั้นในขณะที่เครื่องรับแบบแมตช์จะเปลี่ยนจาก 0.0011 เป็น 0.0215 ทั้งนี้ค่า BER ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันทุกชนิดจะต่ำกว่าค่า BER ของเครื่องรับ

แบบแมตช์เสมอเมื่อจำนวนผู้ใช้มากกว่าหนึ่งคนเนื่องจากมีการกำจัด MAI ออกไป อย่างไรก็ตาม BER ยังคงเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นเนื่องจาก MAI ที่กำจัดไม่หมดซึ่งอาจเกิดจากบิตที่ป้อนกลับมาไม่ถูกต้องในกรณีมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ หรือผลจากการเพิ่มสัญญาณรบกวนในดีคอรีเลเตอร์

สำหรับสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดในการเพิ่มความจุให้กับระบบนั้นพบว่าให้ผลใกล้เคียงกับกรณีที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ โดยสมรรถนะในการเพิ่มความจุของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดนี้จะสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องรับแบบแมตช์ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ต้องการให้ BER ของผู้ใช้ทุกคนในระบบมีค่าสูงสุดที่ 10^{-2} นั้น ถ้าใช้เครื่องรับแบบแมตช์จะสามารถมีผู้ใช้ในระบบทั้งหมดได้เพียง 4 คนในขณะที่ใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะสามารถรองรับผู้ใช้ในระบบได้ถึง 19 คน นั่นคือเพิ่มความจุของระบบได้เกือบ 5 เท่า เป็นต้น



รูปที่ 4.38 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนในระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น
ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์
เมื่อสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต ที่ SNR ของผู้ใช้ทุกคนเป็น 10 dB

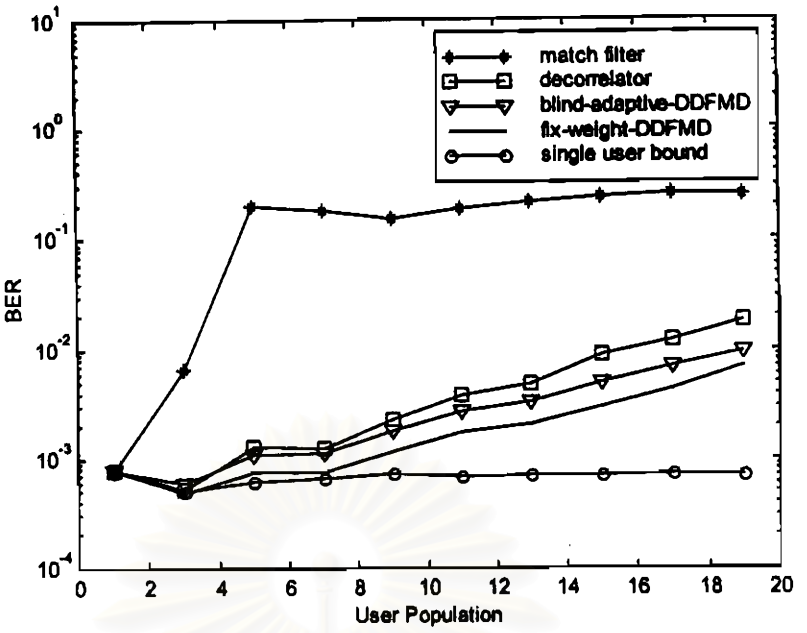
4.3.2.4.2 กรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์

พิจารณาระบบในกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ไกล้-ไกลโดยให้ผู้ใช้คนแรกมาถึงด้านรับด้วยขนาดของสัญญาณเป็น 10 และผู้ใช้คนอื่นๆมาถึงด้วยขนาดของสัญญาณเป็น 1 เมื่อถูกรบกวนด้วยสัญญาณรบกวนซึ่งมี σ^2 เป็น 3.1 เท่ากัน นั่นคือ SNR ที่ออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ของผู้ใช้คนแรกสูงกว่าผู้ใช้คนอื่นๆอยู่ 20 dB และผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำมี SNR เป็น 10 ทั้งนี้ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้คนเดียวให้จะให้ผู้ใช้คนนั้นมี SNR เป็น 10

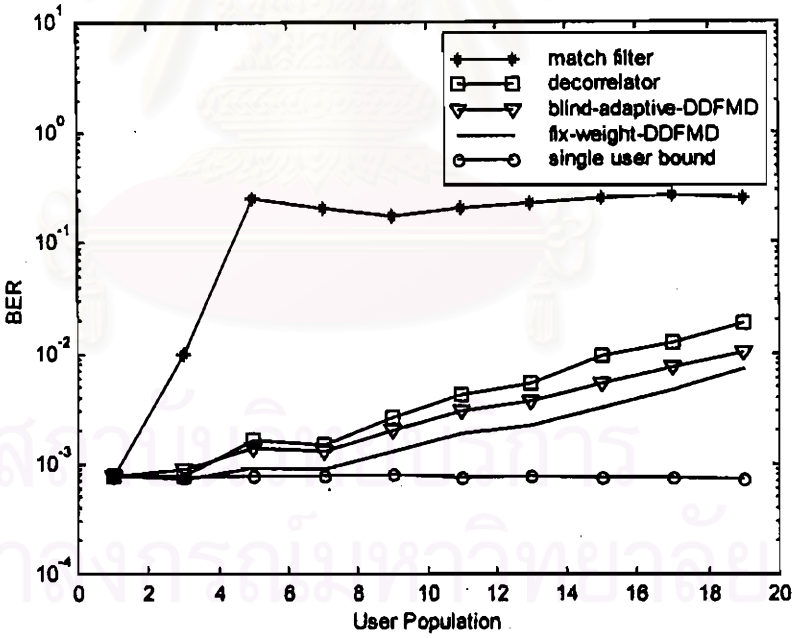
รูปที่ 4.39.1 แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดลองอย่างอิสระจำนวน 30 ครั้งของ BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนกับจำนวนผู้ใช้ในระบบ ส่วนรูปที่ 4.39.2 แสดง BER เฉลี่ยเฉพาะผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำกับจำนวนผู้ใช้ในระบบ จากรูปทั้งสองพบว่าในกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ไกล้-ไกลในกรณีนี้เครื่องรับแบบแมตช์จะให้ค่า BER ด้อยลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ในรูปที่ 4.38 ในขณะที่สมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจะไม่เปลี่ยนแปลงจากกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์มากนัก เนื่องจากมีความทนทานต่อปรากฏการณ์ไกล้-ไกลดังผลในหัวข้อก่อนหน้านี้ และสำหรับสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดในกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ไกล้-ไกลนี้พบว่าสามารถเพิ่มความจุของระบบได้ในลักษณะเดียวกันกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เช่นเดียวกับในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์

4.3.3 สรุปผล

เมื่อไม่มีความผิดพลาดที่ด้านรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดนี้ให้สมรรถนะในด้าน BER เมื่อ SNR เปลี่ยนไป, ความทนทานต่อปรากฏการณ์ไกล้-ไกล และผลต่อความจุของระบบโดยรวมในลักษณะเดียวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ทั้งในระบบผู้ใช้ 4 คน สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต, ผู้ใช้ 15 คน สเปรดด้วย Gold code ขนาด 31 บิต และผู้ใช้ 15 คนสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่ม โดยที่ SNR ต่ำๆมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะมี BER ที่ดีกว่ากรณีค่าน้ำหนักถ่วงคงที่เล็กน้อยเนื่องจากมีผลของสัญญาณรบกวนน้อยกว่า และที่ SNR สูงๆจะมี BER ด้อยกว่ากรณีน้ำหนักถ่วงคงที่เล็กน้อยเนื่องจากความผิดพลาดในกระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอด ทำให้กำจัด MAI ได้ไม่หมดซึ่งจะเห็นผลในกรณีที่ SNR สูงๆ อย่างไรก็ตามในกรณีที่สัญญาณของผู้ใช้ลำดับก่อนหน้าเชื่อถือได้ต่ำจะมีผลเสียต่อมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดมากกว่าชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เนื่องจากจะส่งผลต่อกระบวนการปรับอัตโนมัติด้วย



รูปที่ 4.39.1 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทั้งหมดในระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เมื่อสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต



รูปที่ 4.39.2 BER เฉลี่ยของผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำทั้งหมดเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้น
ในกรณีควบคุมกำลังส่งไม่สมบูรณ์ เมื่อสเปรดด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต

ตารางที่ 4.13 สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีระบบ 19 คนซึ่งสเปรดสัญญาณด้วยสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต

ผู้ใช้คนที่	สเปรดดิงโค้ดที่ใช้																															
1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	1
2	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1
3	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1
4	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
5	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
6	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
7	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1
8	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
9	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
11	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1
12	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
13	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1
14	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1
15	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
16	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1
17	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	
18	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
19	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1

ตารางที่ 4.14 เมตริกซ์ Γ ซึ่งได้รับการปรับเท่าแล้วของสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มในตารางที่ 4.13

แถว\คอลัมน์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	0.0323	0.0323	0.1613	0.4839	0.0968	-0.0323	0.0323	0.0323	-0.2903	-0.0323	-0.1613	-0.0968	-0.5484	0.0968	0.0968	0.2258	0.0323	-0.0323
2	0.0323	1	0.0968	0.0968	0.1613	-0.0968	0.0323	-0.0323	-0.2903	-0.0968	0.0323	0.0323	0.0968	-0.0968	-0.0968	0.1613	0.0323	0.3548	-0.0968
3	0.0323	0.0968	1	0.2258	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.0323	-0.2258	0.0323	-0.0968	-0.0323	-0.0968	0.2903	0.2903	-0.2258	0.0968	0.0323
4	0.1613	0.0968	0.2258	1	0.1613	-0.0968	0.0323	0.0968	-0.2903	0.0323	-0.0968	0.0323	0.2258	-0.2258	-0.0968	0.1613	-0.0968	-0.0323	-0.0968
5	0.4839	0.1613	0.0323	0.1613	1	-0.0323	0.0968	-0.0968	0.1613	-0.4194	-0.1613	-0.1613	0.0323	-0.2903	-0.0323	-0.0323	0.2258	0.0323	-0.0323
6	0.0968	-0.0968	0.0323	-0.0968	-0.0323	1	-0.0323	0.1613	0.0323	-0.0323	-0.2903	0.2258	0.0323	-0.1613	-0.0323	-0.0323	0.2258	-0.2258	0.0968
7	-0.0323	0.0323	-0.0968	0.0323	0.0968	-0.0323	1	0.0323	0.2903	-0.4194	-0.1613	0.0968	-0.0968	-0.1613	-0.2903	-0.0323	0.4839	0.1613	0.0968
8	0.0323	-0.0323	-0.1613	0.0968	-0.0968	0.1613	0.0323	1	0.0968	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.0968	0.0323	-0.0968	0.1613	0.0968	0.0323
9	0.0323	-0.2903	-0.0323	-0.2903	0.1613	0.0323	0.2903	0.0968	1	-0.3548	-0.0968	-0.2258	-0.0323	0.1613	-0.0968	0.0323	0.2903	-0.0323	0.1613
10	-0.2903	-0.0968	-0.2258	0.0323	-0.4194	-0.0323	-0.4194	0.0323	-0.3548	1	0.2258	0.2258	0.1613	0.0968	0.0968	0.0968	-0.1613	0.0323	0.0968
11	-0.0323	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.2903	-0.1613	0.0323	-0.0968	0.2258	1	-0.2903	0.0323	-0.0323	-0.0323	0.0968	-0.2903	-0.2258	0.0968
12	-0.1613	0.0323	-0.0968	0.0323	-0.1613	0.2258	0.0968	-0.0968	-0.2258	0.2258	-0.2903	1	0.2903	-0.1613	-0.2903	-0.1613	0.2258	0.0323	0.2258
13	-0.0968	0.0968	-0.0323	0.2258	0.0323	0.0323	-0.0968	-0.1613	-0.0323	0.1613	0.0323	0.2903	1	-0.2258	0.0323	0.0323	-0.2258	-0.2903	0.2903
14	-0.5484	-0.0968	-0.0968	-0.2258	-0.2903	-0.1613	-0.1613	-0.0968	0.1613	0.0968	-0.0323	-0.1613	-0.2258	1	-0.0323	-0.0323	-0.1613	0.0323	-0.1613
15	0.0968	-0.0968	0.2903	-0.0968	-0.0323	-0.0323	-0.2903	0.0323	-0.0968	0.0968	-0.0323	-0.2903	0.0323	-0.0323	1	0.2258	-0.1613	0.0323	0.0968
16	0.0968	0.1613	0.2903	0.1613	-0.0323	-0.0323	-0.0323	-0.0968	0.0323	0.0968	0.0968	-0.1613	0.0323	-0.0323	0.2258	1	0.0968	0.0323	0.0968
17	0.2258	0.0323	-0.2258	-0.0968	0.2258	0.2258	0.4839	0.1613	0.2903	-0.1613	-0.2903	0.2258	-0.2258	-0.1613	-0.1613	0.0968	1	0.4194	0.2258
18	0.0323	0.3548	0.0968	-0.0323	0.0323	-0.2258	0.1613	0.0968	-0.0323	0.0323	-0.2258	0.0323	-0.2903	0.0323	0.0323	0.0323	0.4194	1	-0.2258
19	-0.0323	-0.0968	0.0323	-0.0968	-0.0323	0.0968	0.0968	0.0323	0.1613	0.0968	0.0968	0.2258	0.2903	-0.1613	0.0968	0.0968	0.2258	-0.2258	1

4.4 ผลของความผิดพลาดที่ด้านรับที่มีต่อสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด

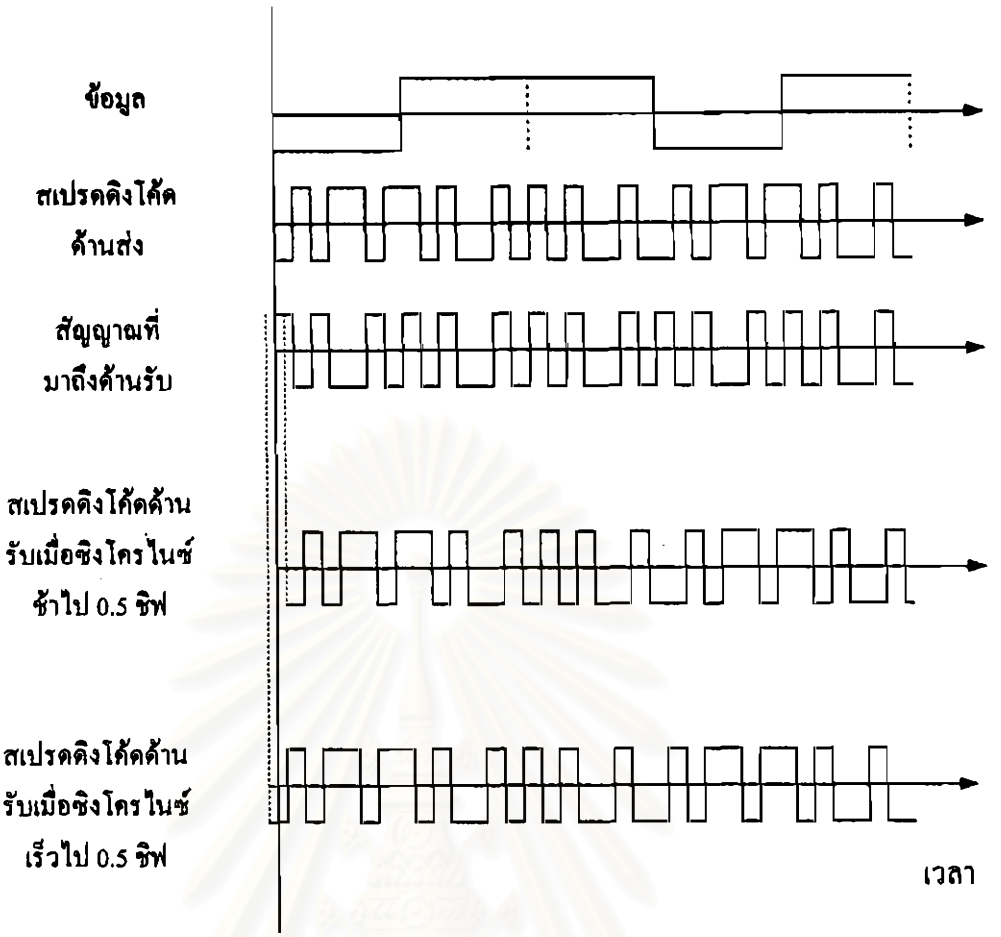
จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1.9 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ว่าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาเฉพาะในกรณีที่เรียงลำดับของสัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ตามกำลังที่มาถึงเพื่อเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับได้ถูกต้องและสามารถซิงโครไนซ์สัญญาณที่มาถึงกับเครื่องรับได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น ผลการจำลองระบบในหัวข้อที่แล้วจะอยู่ภายใต้สมมุติฐานนี้ อย่างไรก็ตามในหัวข้อนี้จะมีการพิจารณาสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดว่าเมื่อเกิดความผิดพลาดทั้งสองนี้ที่เครื่องรับแล้วสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

4.4.1 ความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณที่ด้านรับกับสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด

ปกติแล้วงานวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจะตั้งสมมุติฐานให้เครื่องรับนั้นสามารถซิงโครไนซ์กับสัญญาณที่มาถึงด้านรับได้อย่างถูกต้องในระดับชิฟ นั่นคือเครื่องรับแบบแมตช์สามารถจัดเรียงสเปรดดิงโค้ดให้ตรงกันกับสัญญาณที่มาถึงด้านรับในระดับชิฟเพื่อทำการดีสเปรดสัญญาณได้ถูกต้อง แต่ในทางปฏิบัติแล้วอาจเกิดความผิดพลาดในส่วนนี้ได้ ดังรูปที่ 4.40

ผลของการซิงโครไนซ์สัญญาณผิดพลาดที่ด้านรับนี้จะทำให้สมรรถนะของเครื่องรับลดลง เนื่องจากการที่ซิงโครไนซ์ไม่ตรงจะทำให้ค่าสหสัมพันธ์ที่เป็นตัวแทนของสัญญาณของตนเองลดลง ทำให้ BER สูงขึ้นในกรณีของเครื่องรับแบบแมตช์ นอกจากนั้นเมื่อนำสัญญาณออกของเครื่องรับแบบแมตช์ที่ผิดพลาดนี้ไปใช้ต่อในเครื่องรับมัลติยูสเซอร์ก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดต่อเนื่องไปอีก

สำหรับการจำลองระบบในหัวข้อนี้จะพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้จำนวน 4 คน ซึ่งถูกสเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต ตามตาราง 4.1 ในกรณีที่เรียงลำดับสัญญาณตามกำลังที่มาถึงเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับได้ถูกต้อง



รูปที่ 4.40 แสดงตัวอย่างการซิงโครไนซ์สัญญาณที่รับได้เข้ากับสเปรดดิงโค้ดช้าและเร็วไป 0.5 ชิฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1.1 BER และความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณ

รูปที่ 4.41 ก.) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอิสระ 20 ครั้งระหว่าง BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนกับค่าความผิดพลาดในการจัดเรียงสเปรดดิงโค้ดเข้ากับสัญญาณที่รับได้เร็วไปเป็นเศษส่วนของชิฟ ในกรณีที่ผิดพลาดเฉพาะผู้ใช้คนที่ 1 ส่วนรูปที่ 4.41 ข.) เป็นกรณีที่ผิดพลาดเฉพาะผู้ใช้คนสุดท้าย และรูปที่ 4.41 ค.) เป็นกรณีที่ผิดพลาดทุกๆคน โดยที่ทั้ง 3 รูปย่อยนี้เป็นกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์ และกำหนดให้สัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนมาถึงด้านรับด้วย SNR 10 dB

พิจารณารูปย่อยทั้ง 3 พบว่าเมื่อความผิดพลาดในการจัดเรียงสเปรดดิงโค้ดเพิ่มขึ้น เครื่องรับแบบแมตช์และเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์จะมี BER สูงขึ้นเรื่อยๆ โดยที่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันจะมีความไวต่อการผิดพลาดนี้มากกว่า ดังจะเห็นได้จากการที่เส้นกราฟพุ่งขึ้นด้วยอัตราสูงกว่าเส้นกราฟของเครื่องรับแบบแมตช์ ทั้งนี้เพราะการใช้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันต้องนำเอาค่าจากเครื่องรับแบบแมตช์ซึ่งมีความผิดพลาดมาใช้ต่อ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องรับแบบแมตช์มีความทนทานต่อการซิงโครไนซ์สัญญาณผิดพลาดในระดับชิฟดีกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน

และในบรรดามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันด้วยกัน พบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันประเภทที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มีความไวต่อความผิดพลาดนี้มาก ดังรูปย่อยทั้ง 3 พบว่าเมื่อค่าความผิดพลาดมากๆ ค่า BER ของเครื่องรับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะมีค่าเกินค่า BER ของเครื่องรับแบบแมตช์เลยทีเดียว

สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติทั้งกรณีที่เป็นกระบวนการแบบบอดและกรณีใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ จะมีความทนทานต่อความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณในระดับชิฟได้ดีกว่าชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ ดังจะเห็นได้จากรูปทั้ง 3 ว่าเครื่องรับเหล่านี้จะมีค่า BER ต่ำกว่า และนอกจากนี้ในกรณีที่มีความผิดพลาดมากๆแม้ว่าค่า BER จะไม่ดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์แต่ก็จะไม่ถึงกับด้อยกว่าแบบกรณีที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่

ทั้งนี้การที่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติมีสมรรถนะที่ดีกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เป็นเพราะในกรณีที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ ค่าน้ำหนักถ่วงนั้นเป็นค่าที่คำนวณจากการตั้งสมมุติฐานว่าซิงโครไนซ์สัญญาณถูกต้อง หรือกล่าวได้ว่ากำจัด MAI ตามสัดส่วนที่คิดจากกรณีซิงโครไนซ์สัญญาณถูกต้อง ดังนั้นเมื่อซิงโครไนซ์สัญญาณผิดไป สัดส่วนของ MAI นี้เปลี่ยนไป หากยังคงใช้ค่าสัดส่วนเดิมในการกำจัด MAI ก็จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการทำงานขึ้น ในทางกลับกันมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัตินั้นจะปรับตัวตามสัญญาณเข้า ฉะนั้น จึงสามารถปรับตัวเพื่อกำจัด MAI ตามสัดส่วนใหม่ได้ สมรรถนะจึงดีกว่า

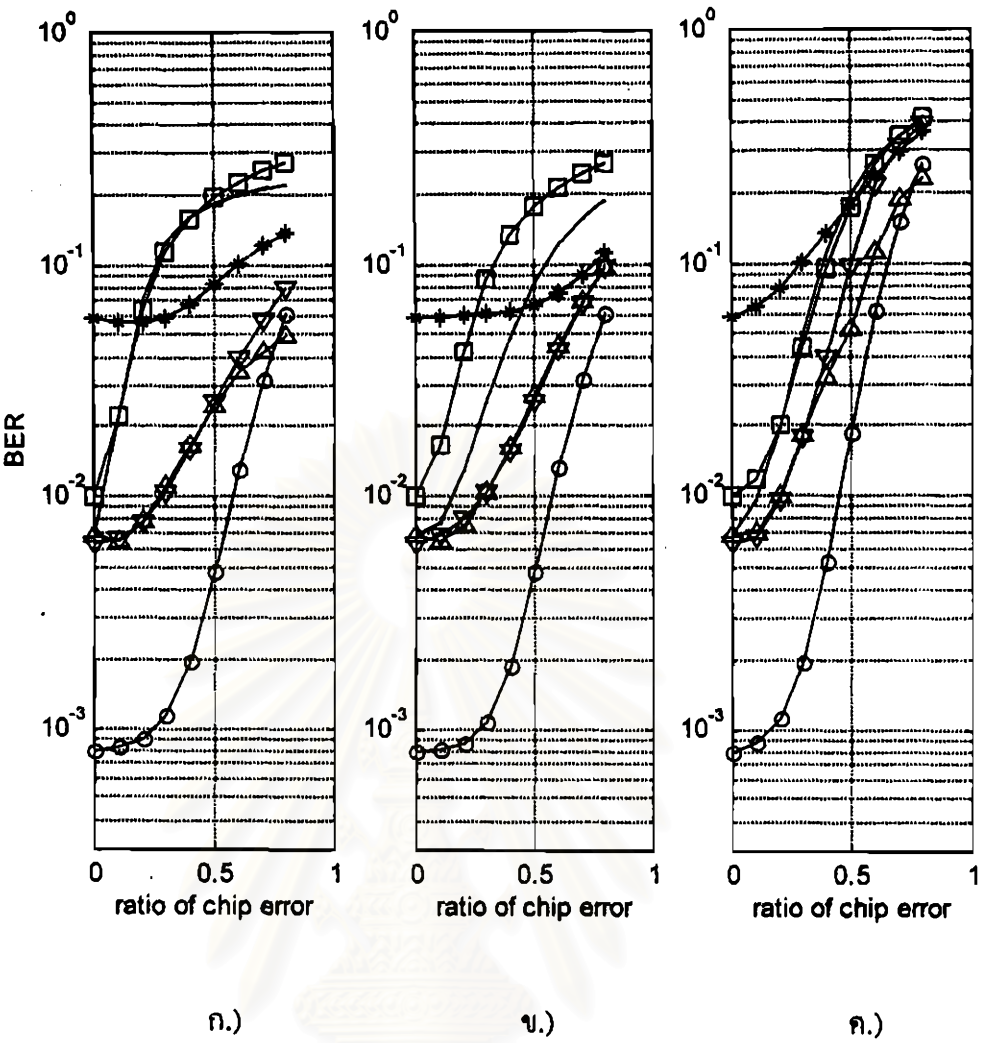
นอกจากนั้นยังพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่อาศัยเทรนนิ่งซีเควนซ์จะมีความทนทานต่อความผิดพลาดในระดับสูงๆดีกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอด เพราะกระบวนการปรับแบบบอดถือว่าบิตที่ตรวจจับได้เป็นค่าบิตที่ถูกต้องและนำไปใช้ต่อในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักถ่วง ซึ่งเมื่อเกิดความผิดพลาดในการจัดเรียงชิฟ์มากๆการประมาณบิตข้อมูลด้วยบิตที่ตรวจจับได้จะผิดมากขึ้น ฉะนั้นเมื่อนำไปใช้จะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในกระบวนการปรับอัตโนมัติ ในขณะที่การใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์จะไม่มีความผิดพลาดในส่วนนี้เนื่องจากใช้ข้อมูลที่ทราบอย่างถูกต้องอยู่แล้ว

พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 4.41 ก.) และรูปที่ 4.41 ข.) จะพบว่าในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ 4 ผิดพลาด ค่า BER เฉลี่ยของระบบของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะดีกว่าในกรณีคนที่ 1 ผิดพลาดอย่างเห็นได้ชัด เป็นเพราะมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับนั้นจะป้อนสัญญาณที่ตรวจจับแล้วของผู้ใช้คนที่ 1 ไปหักล้าง MAI ให้กับผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนในขณะที่ผู้ใช้คนที่ 4 จะไม่ถูกป้อนไปหักล้าง MAI ให้กับใครเลย ดังนั้นการที่ผู้ใช้คนที่ 1 มีความผิดพลาดจะส่งผลต่อ BER ของระบบมากกว่าการที่ผู้ใช้คนที่ 4 มีความผิดพลาด

แต่สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติทั้งชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์และชนิดบอดนั้น กรณีที่ผู้ใช้คนที่ 4 ผิดพลาดจะให้ค่า BER เฉลี่ยของระบบใกล้เคียงกับกรณีผู้ใช้คนที่ 1 ผิดพลาด นั่นคือกระบวนการปรับอัตโนมัติสามารถลดผลของความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณของผู้ใช้คนที่ 1 ได้ในระดับหนึ่งเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.42 ว่าในกรณีที่ผู้ใช้คนแรกผิดพลาด BER ของผู้ใช้คนแรกของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดนั้นก็ยังคงมีค่าไม่สูงแตกต่างจากรูปที่ 4.43 ซึ่งผู้ใช้คนแรกไม่เกิดความผิดพลาดมากนัก ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ต่อจึงทำให้ค่า BER เฉลี่ยไม่สูงมากนัก ฉะนั้น BER เฉลี่ยของระบบจึงเปลี่ยนแปลงไม่มากระหว่างรูปที่ 4.41 ก.) และ 4.41 ข.)

สำหรับดีคอรีเลเตอร์และเครื่องรับแบบแมตช์นั้นไม่ได้มีการนำข้อมูลของผู้ใช้คนอื่นๆที่ตรวจจับไปแล้วมาใช้ ดังนั้นการที่ผู้ใช้คนที่ 1 หรือ คนที่ 4 ผิดพลาดจะส่งผลต่อระบบในระดับใกล้เคียงกัน โดยความแตกต่างเล็กน้อยนี้จะเกิดจากการที่ผู้ใช้คนที่ 1 และคนที่ 4 ใช้สเปรดดิงโค้ดต่างกันเพราะสัดส่วนความผิดพลาดจะมีผลต่อสเปรดดิงโค้ดต่างกันไม่เหมือนกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



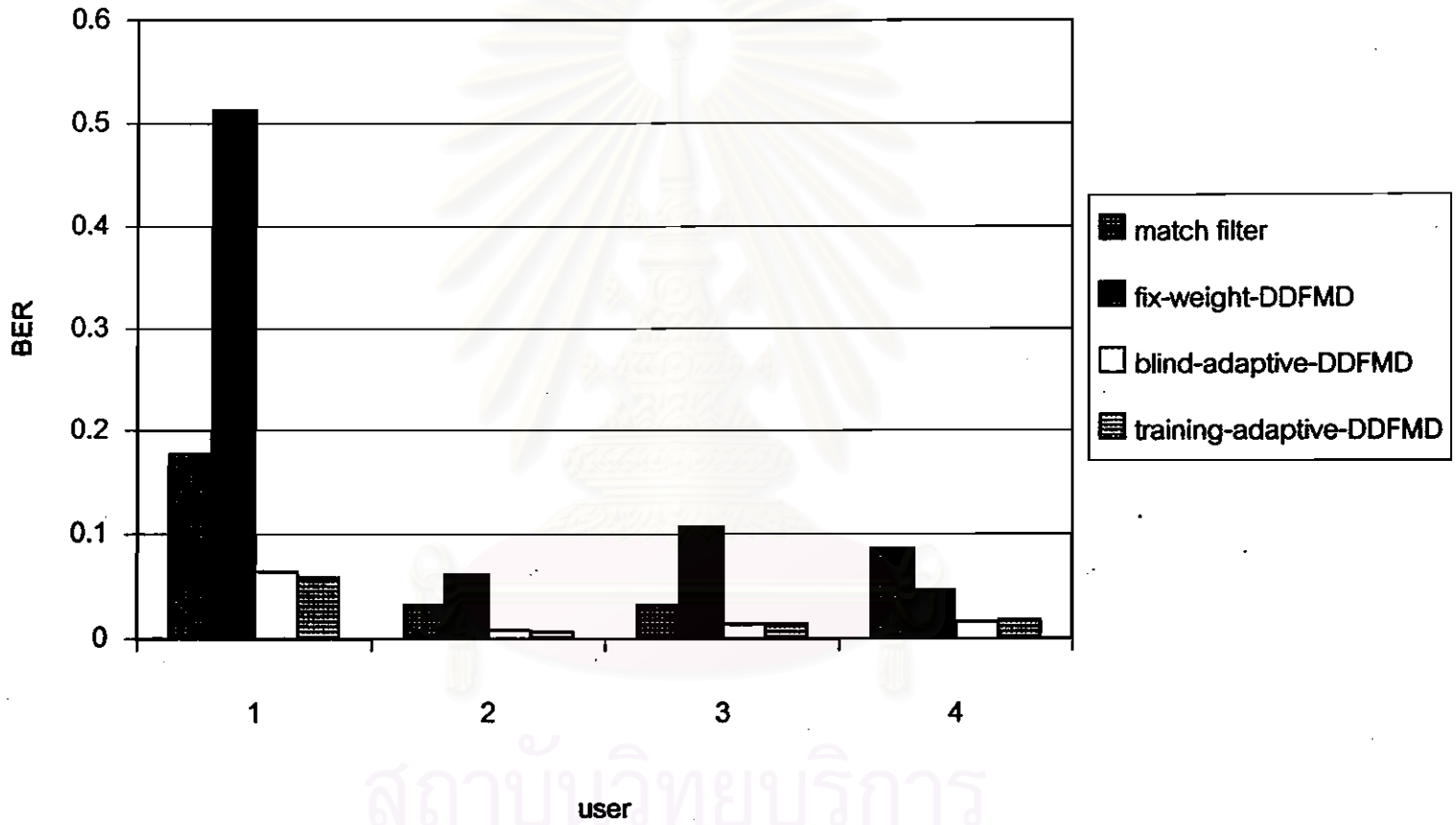
รูปที่ 4.41 ผลของความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณที่มีต่อค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคน

เมื่อ ก.) ผู้ใช้คนแรกซิงโครไนซ์สัญญาณผิดพลาดรายเดียว

ข.) ผู้ใช้คนสุดท้ายซิงโครไนซ์สัญญาณผิดพลาดรายเดียว

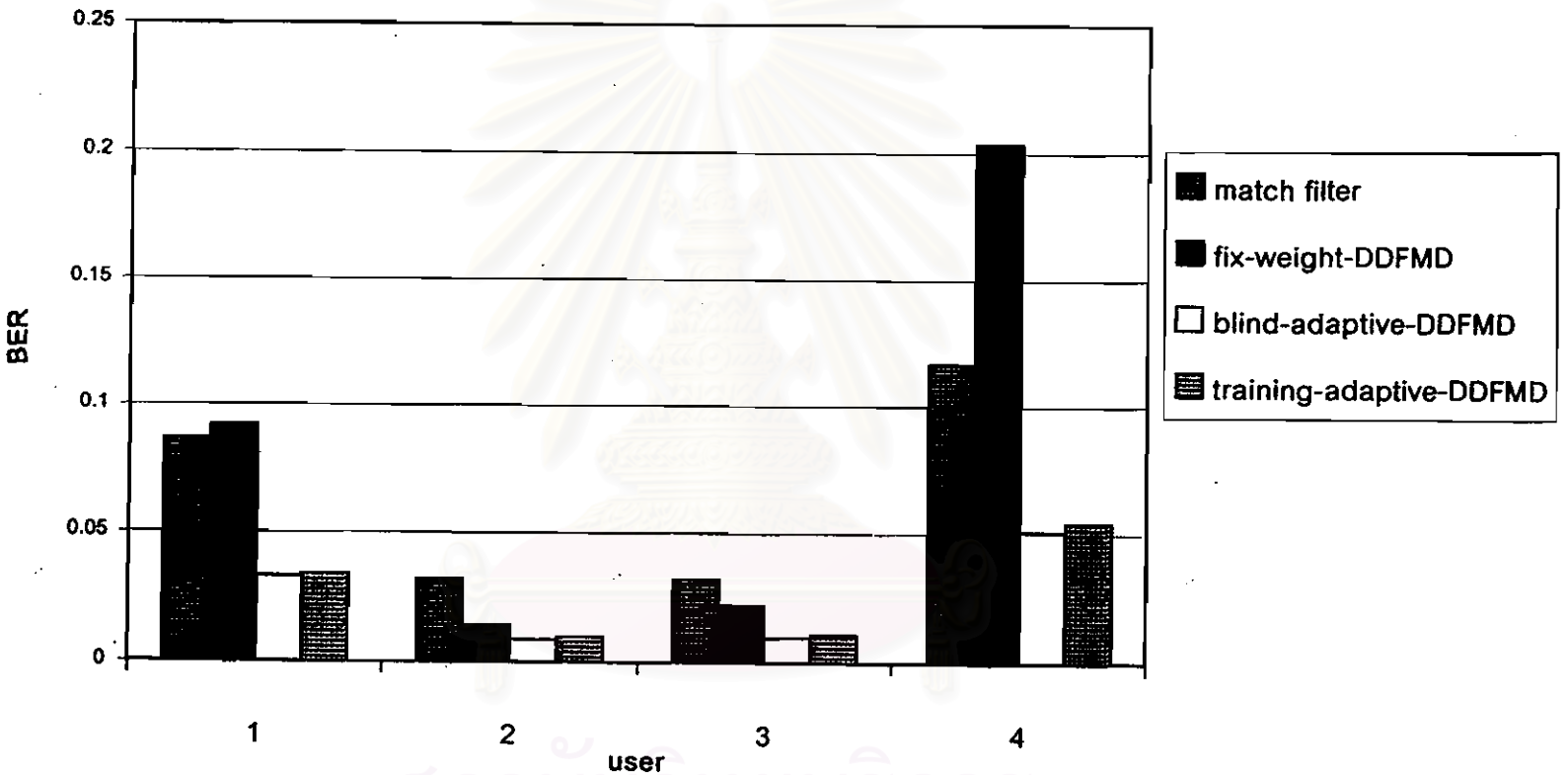
ค.) ผู้ใช้ทุกคนซิงโครไนซ์สัญญาณผิดพลาดเท่าๆกัน

ในกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์



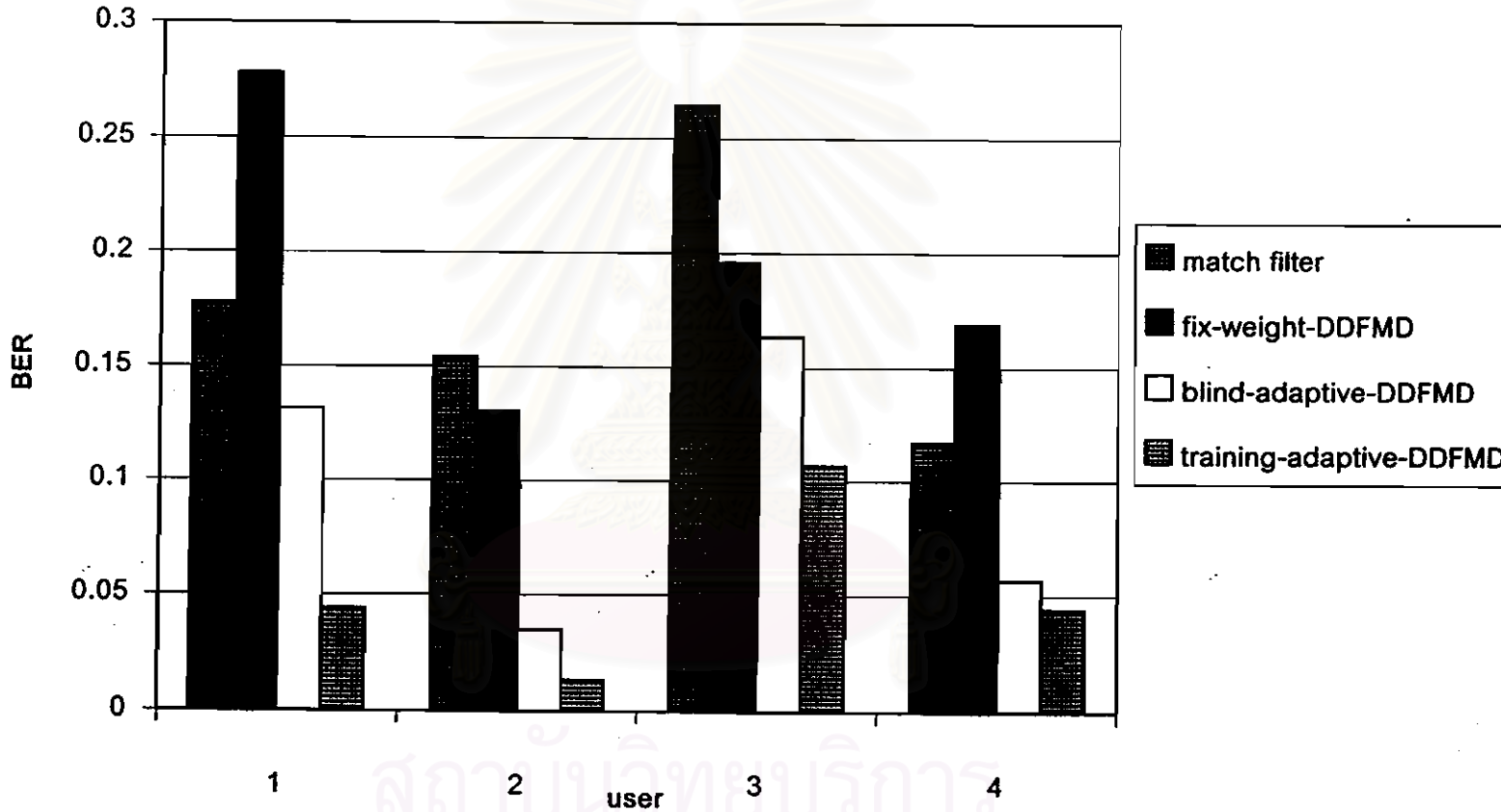
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.42 BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อเกิดความผิดพลาดจากการซิงโครไนซ์ผู้ใช้คนแรกไป 0.5 เท่าของชิฟ



รูปที่ 4.43 BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อเกิดความผิดพลาดจากการซิงโครไนซ์ผู้ใช้คนสุดท้ายไป 0.5 เท่าของชิฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.44 BER ของผู้ใช้แต่ละคนเมื่อเกิดความผิดพลาดจากการซิงโครไนซ์ผู้ใช้แต่ละคนไป 0.5 เท่าของชิฟ

4.4.1.2 ความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเมื่อเกิดความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณ

รูปที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์เฉลี่ยของการทดลองอย่างอิสระ 25 ครั้งของ BER ของผู้ใช้คนที่ 4 ซึ่งมีกำลังของสัญญาณที่มาถึงด้านรับต่ำที่สุดด้วย SNR 10 dB เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆ ซึ่งมีกำลังสูงกว่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในกรณีที่เครื่องรับแบบแมตช์ของผู้ใช้คนแรกเรียงสัญญาณผิดไป 0.1 ชิฟ ส่วนรูปที่ 4.46 จะเป็นกราฟความสัมพันธ์แบบเดียวกันแต่เป็นกรณีที่เครื่องรับของผู้ใช้คนสุดท้ายเรียงสัญญาณผิดไป 0.1 ชิฟ และสุดท้ายรูปที่ 4.47 จะเป็นกราฟความสัมพันธ์แบบเดียวกันในกรณีที่เครื่องรับของผู้ใช้ทุกคนเรียงสัญญาณผิดไป 0.1 ชิฟ

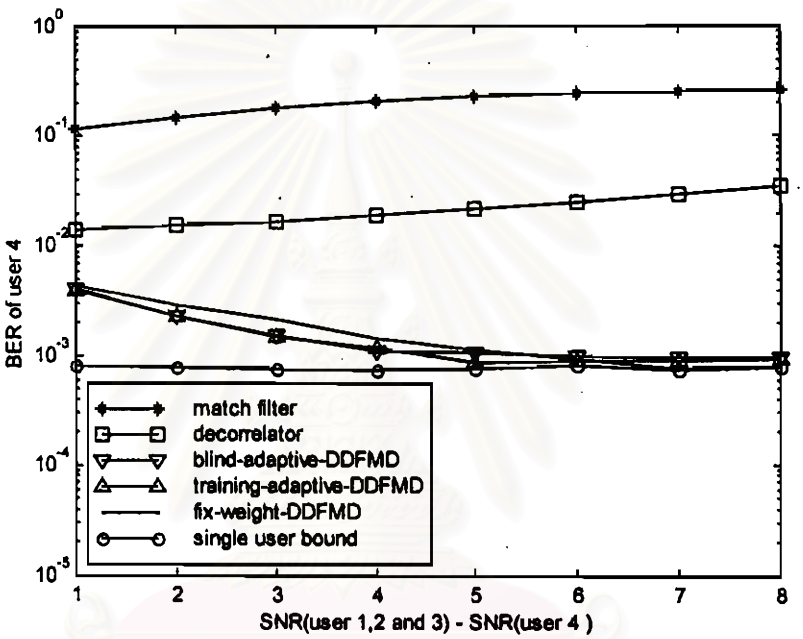
จากกราฟทั้ง 3 จะพบว่าในกรณีของเครื่องรับแบบแมตช์เมื่อสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆแรงขึ้น BER ของผู้ใช้คนที่ 4 จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเหมือนในกรณีที่ไม่มีการเรียงสัญญาณผิดพลาด แต่สำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันซึ่งเป็นเครื่องรับที่มีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกลในกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณ กลับพบว่าในกรณีที่เรียงสัญญาณผิดพลาดมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันบางชนิดจะมีการสูญเสียคุณสมบัตินี้ไป

พบว่าสำหรับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะสูญเสียความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้ไกลในบางกรณี ดังจะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 4.45 และ 4.46 ว่าเมื่อกำลังของสัญญาณแรงขึ้นเรื่อยๆ BER ของดีคอรีเลเตอร์จะเพิ่มขึ้น และในรูปที่ 4.46 และ 4.47 พบว่า BER ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังของสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆแรงขึ้น อย่างไรก็ตาม BER ที่ได้ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันทั้ง 2 นี้ยังคงดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์เนื่องจากกรณีที่พิจารณานี้เป็นกรณีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย (0.1 ชิฟ)

สำหรับในกรณีความผิดพลาด 0.1 ชิฟนี้ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับค่าน้ำหนักถ่วงโดยอัตโนมัติทั้งชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์และชนิดบอดนั้นจะไม่สูญเสียคุณสมบัติเกี่ยวกับความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล ดังเห็นได้จากรูปกราฟว่าเมื่อกำลังของสัญญาณของผู้ใช้คนอื่นๆเพิ่มขึ้นค่า BER ของผู้ใช้คนที่ 4 ไม่ได้เพิ่มตามไปด้วย

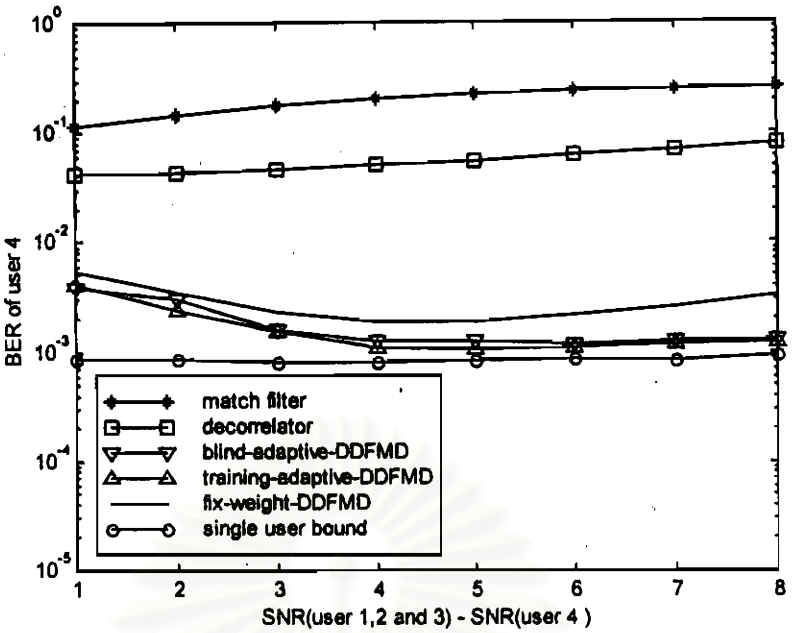
อย่างไรก็ตามเมื่อความผิดพลาดของการซิงโครไนซ์สูงมากๆจะพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติจะสูญเสียความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.48 ซึ่งเป็นกรณีที่ผู้ใช้คนที่ 1 จัดเรียงสัญญาณผิดพลาดไป 0.6 ชิฟ ซึ่งในกรณีนี้พบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะมี BER สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อกำลังของสัญญาณจากผู้ใช้คนอื่นๆเพิ่มขึ้น แต่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ยังคงมีความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลอยู่ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ผู้ใช้คนที่ 4 จัดเรียงสัญญาณผิดไป 0.6 ชิฟในรูปที่ 4.49 จะพบว่าทั้งมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและชนิดใช้ เทรนนิ่งซีเควนซ์จะสูญเสียความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกลทั้งคู่

สรุปได้ว่าในกรณีที่มีความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณในระดับชิฟจะมีผลต่อเครื่องรับแบบมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันซึ่งนำสัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์ไปใช้ต่อค่อนข้างมาก และพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติจะมีความทนทานต่อความผิดพลาดนี้มากกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ โดยมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติโดยใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์จะมีความทนทานมากกว่าการใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอด

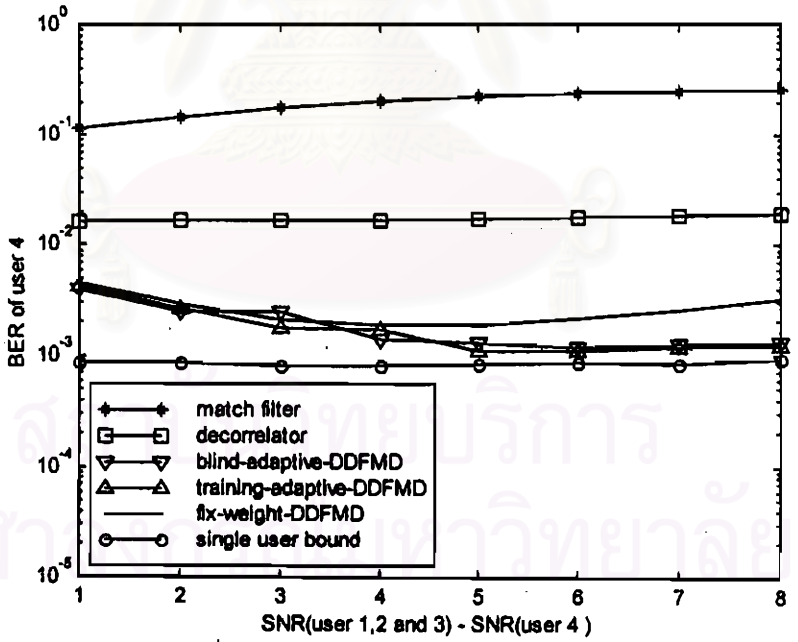


รูปที่ 4.45 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
ในกรณีที่ซิงโครไนซ์ผู้รับคนแรกผิดไป 0.1 ชิฟ
เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต

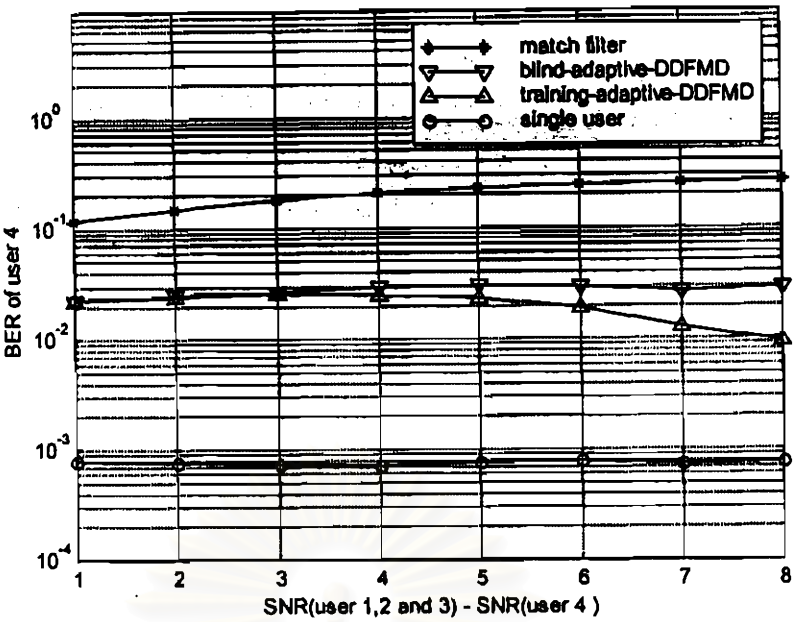
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



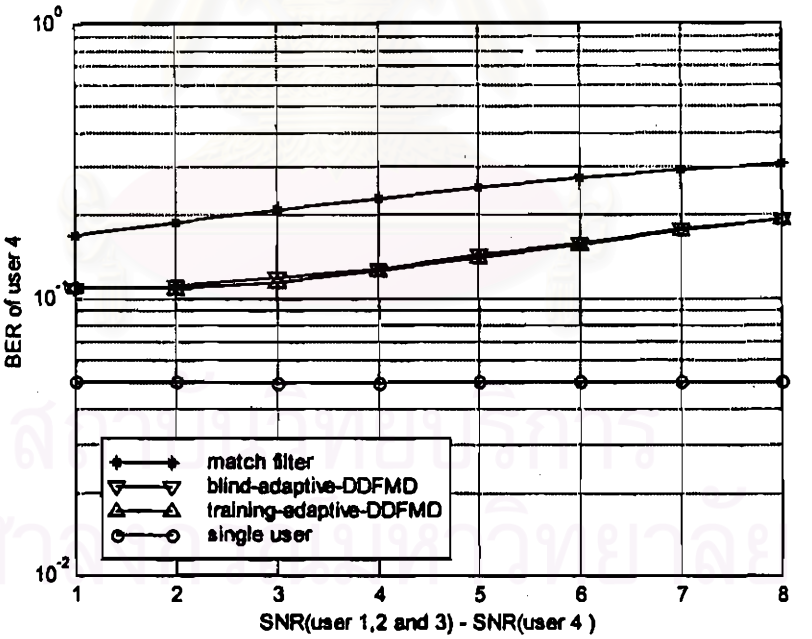
รูปที่ 4.46 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
ในกรณีที่ซิงโครไนซ์ผู้รับคนสุดท้ายผิดไป 0.1 ชิฟ
เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.47 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
ในกรณีที่ซิงโครไนซ์ผู้รับทุกคนผิดไป 0.1 ชิฟ
เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.48 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
ในกรณีที่ซิงโครไนซ์ผู้ใช้คนที่ 1 ผิดไป 0.6 ชิฟ
เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.49 BER ของผู้ใช้คนที่ 4 เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนอื่นๆทุกคนเพิ่มขึ้น
ในกรณีที่ซิงโครไนซ์ผู้ใช้คนที่ 4 ผิดไป 0.6 ชิฟ
เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่ 4 เป็น 10 ในระบบที่สเปรดด้วย Gold code ขนาด 7 บิต

4.4.2 ผลของการเรียงลำดับกำลังก่อนเข้ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับผิดพลาด

รูปที่ 4.50 แสดงค่า BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนภายใต้การทดลองอย่างอิสระ 20 ครั้ง เมื่อ SNR ของผู้ใช้คนที่มีกำลังแรงที่สุดเปลี่ยนไป ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้ 4 คนและมีขนาดของสัญญาณที่มาถึงของผู้ใช้แต่ละคนเป็น 1, 0.8, 0.6 และ 0.4 เช่นเดียวกับรูปที่ 4.22.1 แต่ในรูปที่ 4.50 นี้จะเป็นกรณีที่มีการเรียงลำดับของสัญญาณผิดพลาด โดยเรียงสวนทางกับที่มันควรจะเป็น คือให้ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่ป้อนเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับเป็นผู้ใช้ซึ่งมีขนาดของสัญญาณที่มาถึงเป็น 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ตามลำดับ และเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้กับกรณีเรียงลำดับผู้ใช้ถูกจะต้องให้ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 ในกรณีนี้ใช้สเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้คนที่ 4, 3, 2 และ 1 ในตารางที่ 4.1 หรือกล่าวได้ว่าผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 ในรูปที่ 4.50 นี้คือผู้ใช้คนที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับในรูปที่ 4.22.1

สำหรับรูปที่ 4.51 จะเป็นการนำรูปที่ 4.50 และ 4.22.1 มาเปรียบเทียบกัน จากรูปจะพบว่าในกรณีเรียงลำดับผิดนี้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับทั้งชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่และชนิดปรับตัวแบบบอดให้ค่า BER เฉลี่ยที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เรียงลำดับถูกต้องอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งก็เป็นผลมาจากการที่นำเอาข้อมูลของผู้ใช้ที่เชื่อถือได้น้อยกว่าไปกำจัด MAI ให้ผู้ใช้ที่เชื่อถือได้มากกว่านั่นเอง

และพบว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะให้ค่า BER สูงขึ้นในระดับใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ ซึ่งแสดงว่ากระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอดนี้ไม่สามารถช่วยลดความผิดพลาดเนื่องจากการธียงลำดับสัญญาณเข้าผิดพลาด และเมื่อพิจารณา BER ของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ พบว่าไม่สามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากการเรียงลำดับผิดพลาดนี้เช่นกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าผลของการเรียงลำดับผิดพลาดไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยกระบวนการปรับอัตโนมัติ

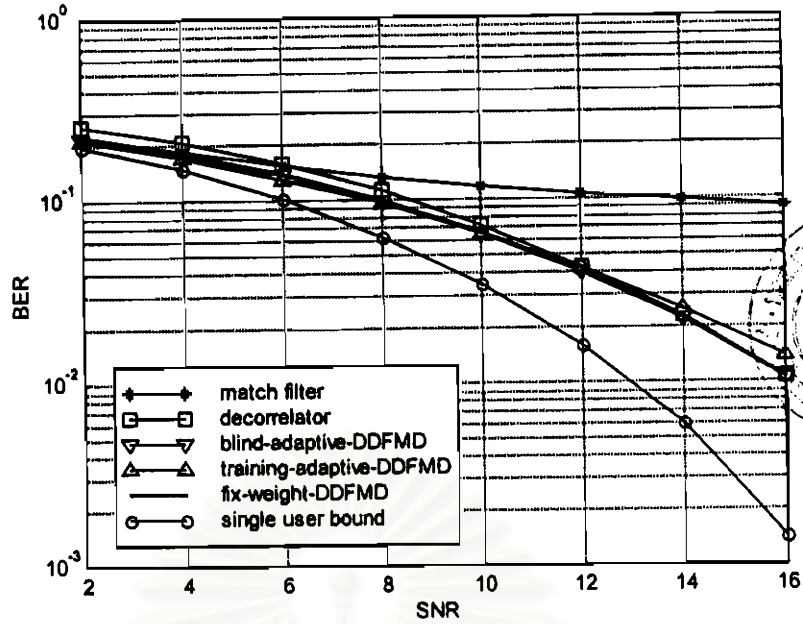
พิจารณารูปที่ 4.53 ซึ่งเป็นแผนภูมิแท่งแสดงค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณผิดพลาด โดยในที่นี้ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 ในแกน x เป็นผู้ใช้คนเดียวกันกับผู้ใช้คนที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับในรูปที่ 4.25 ซึ่งเป็นกรณีที่เรียงลำดับสัญญาณถูกต้อง เพื่อให้เปรียบเทียบได้ง่ายจะแสดงรูปที่ 4.25 อีกครั้งในรูปแบบเรียงแกน x ใหม่ในรูปที่ 4.52 ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.52 และ 4.53 จะพบว่าผู้ใช้คนที่มีกำลังต่ำที่สุดในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณผิดนั้นจะไม่ได้รับการกำจัด MAI จากผู้ใช้คนที่เชื่อถือได้มากกว่ามันทำให้ค่า BER สูงขึ้น ส่วนผู้ใช้คนอื่นๆนั้นเนื่องจากถูกกำจัด MAI ด้วยผู้ใช้คนที่เชื่อถือได้น้อยกว่าทำให้ BER สูงขึ้นกว่าในกรณีเรียงลำดับถูกต้องเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 4.54 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่า BER ของผู้ใช้แต่ละคนของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่และชนิดบอดเมื่อเรียงลำดับสัญญาณถูก

และผิด โดยแกน x ในที่นี้หมายถึงลำดับผู้ใช้ตามตารางที่ 4.1 ไม่ใช่ลำดับผู้ใช้ที่เข้ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน

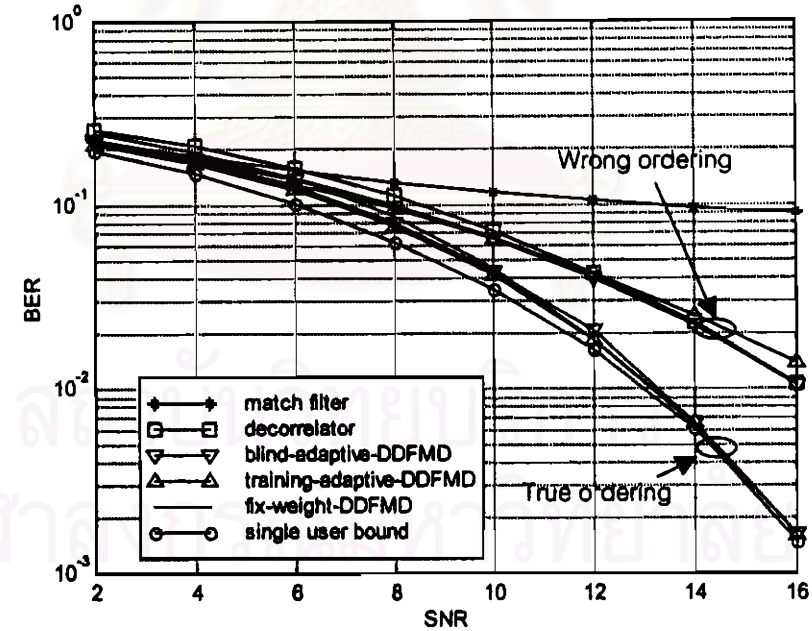
อย่างไรก็ตามกรณีที่ทำการทดสอบนี้เป็นกรณีที่เรียงลำดับสัญญาณสวนทาง ซึ่งจะเป็นกรณีที่ด้อยที่สุด หากเป็นกรณีมีการเรียงลำดับผิดพลาดไม่มากนักสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับก็จะลดลงไม่มากเช่นกัน

สรุปได้ว่าในกรณีที่มีการเรียงลำดับของสัญญาณเข้าผิดพลาดมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะให้ค่า BER สูงขึ้นเช่นเดียวกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับที่ใช้ค่าน้ำหนักถ่วงคงที่

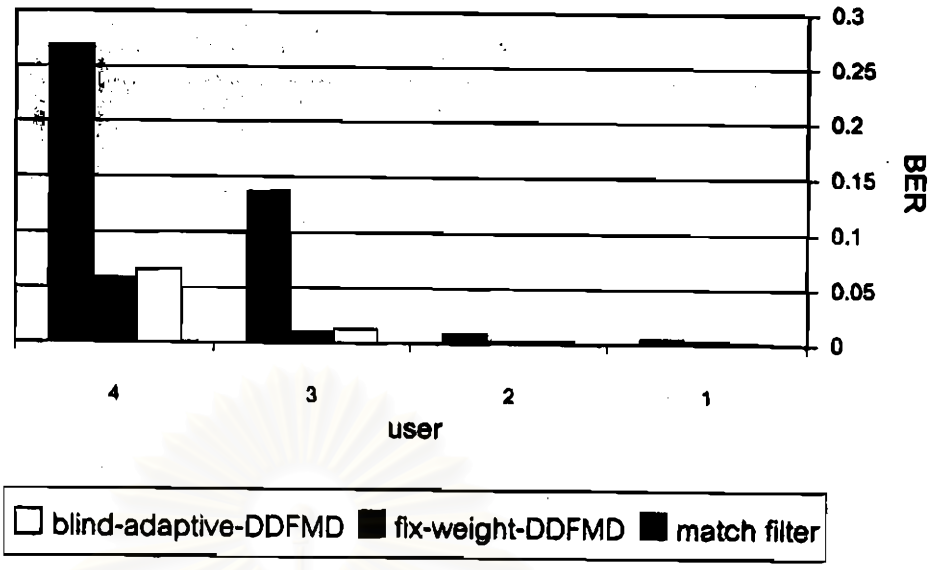
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



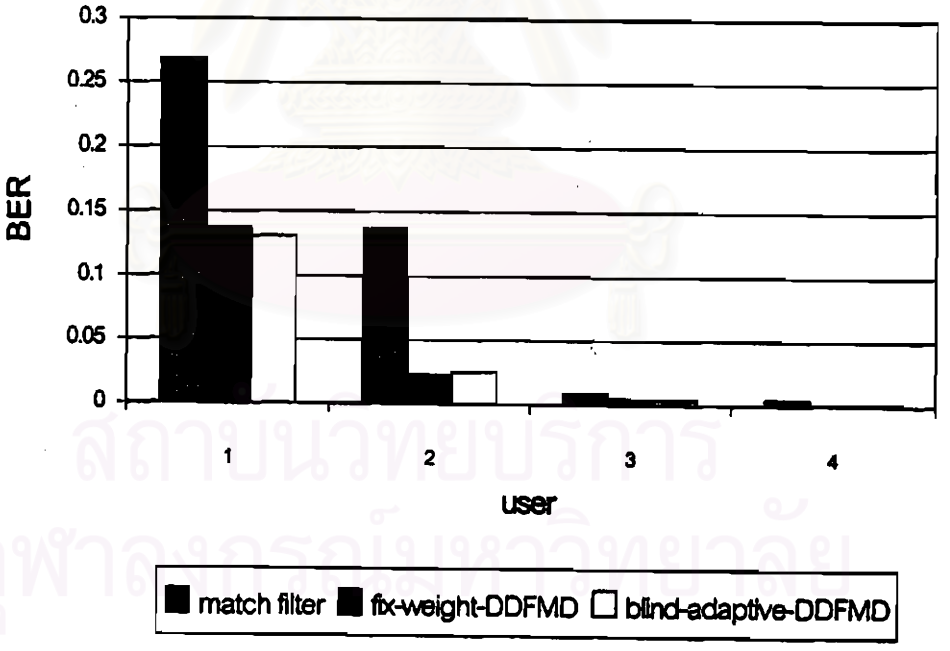
รูปที่ 4.50 BER เฉลี่ยของผู้ใช้ทุกคนเมื่อ SNR ของผู้ใช้ที่มีกำลังสูงสุดเปลี่ยนไป
ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย gold code ขนาด 7 บิต
กรณีควบคุมกำลังไม่ส่งสมบูรณ์ซึ่งมีการเรียงสัญญาณเข้าเครื่องรับผิดพลาด



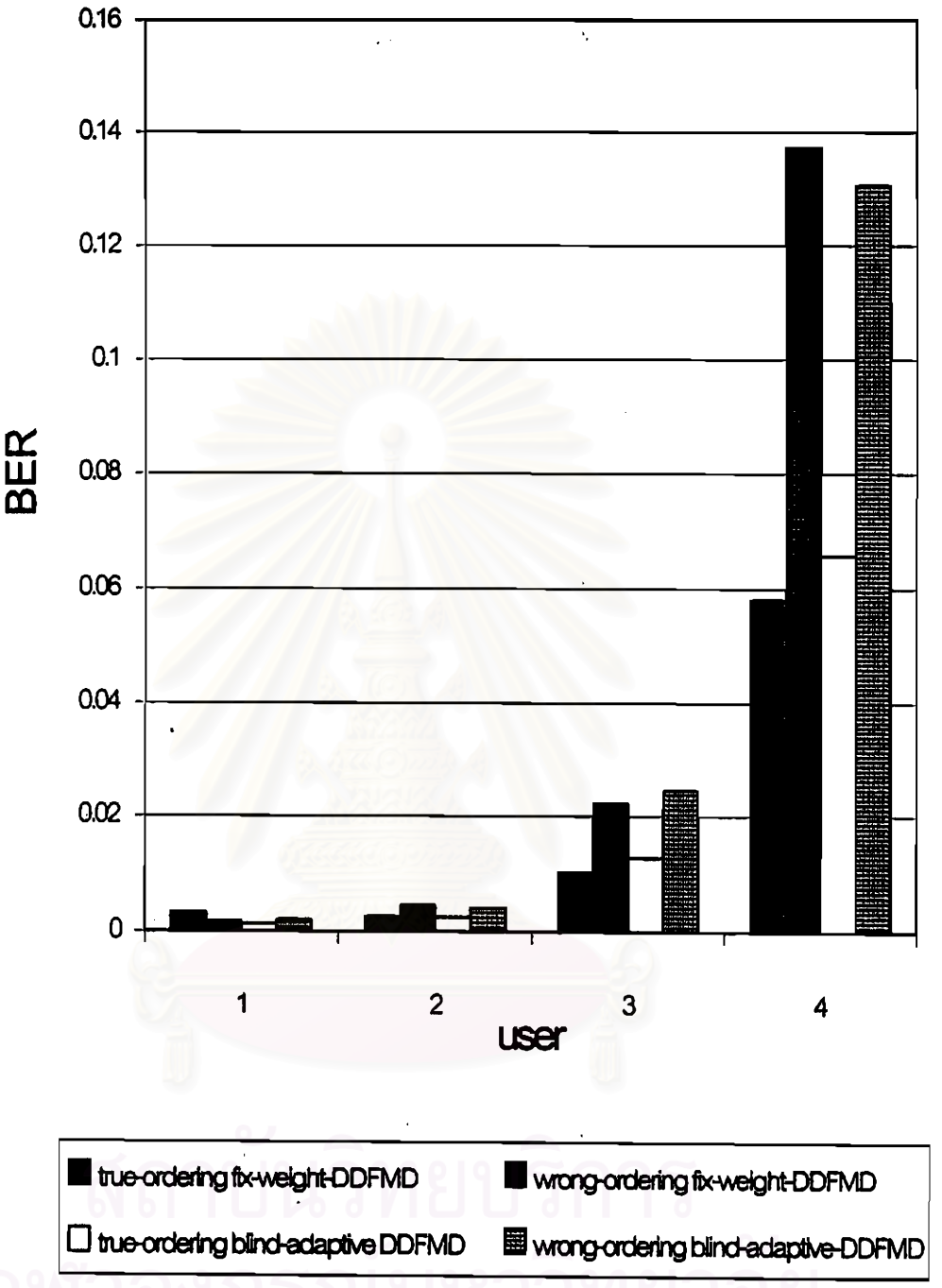
รูปที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ
เมื่อมีการเรียงลำดับสัญญาณผิดพลาดและไม่ผิดพลาดเทียบกับเครื่องรับแบบอื่นๆ
ในระบบที่มีผู้ใช้ 4 คน แต่ละคนสเปรดด้วย gold code ขนาด 7 บิต



รูปที่ 4.52 เปรียบเทียบ BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณถูกต้อง ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 มีขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับเป็น 1, 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.53 เปรียบเทียบ BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณผิดพลาด ผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 มีขนาดของสัญญาณที่มาถึงด้านรับเป็น 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.54 เปรียบเทียบ BER ของผู้ใช้แต่ละคนในกรณีเรียงกำลังของสัญญาณถูกต้องและผิดพลาด โดยขนาดสัญญาณที่มาถึงด้านรับของผู้ใช้คนที่ 1, 2, 3 และ 4 เป็น 1, 0.8, 0.6 และ 0.4 ตามลำดับ

4.5 สรุปผลการวิจัย

เพื่อลดความยุ่งยากในการหาค่าช่วงก้าวที่เหมาะสมในการจำลองระบบ สัญญาณออกจากเครื่องรับแบบแมตช์จะถูกนำมาหารด้วยอัตราขยายของสเปรดดิงโค้ด ก่อนที่จะป้อนเข้าไปสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชัน รวมทั้งในกรณีที่ขนาดของสัญญาณที่มาถึงมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 1 มากๆ จะนำค่าขนาดของสัญญาณไปใช้ในกระบวนการปรับอัตโนมัติด้วย ซึ่งได้ผลการวิจัยดังนี้

1) ในกรณีที่ค่าช่วงก้าวมีค่าต่ำ SMSE จะลู่เข้าช้ากว่าในกรณีช่วงก้าวค่าสูงแต่ก็จะได้ค่า SMSE ที่สภาวะอยู่ตัวค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะค่าช่วงก้าวเป็นหน่วยความจำในกระบวนการปรับอัตโนมัติ ดังนั้นในกรณีที่เลือกค่าช่วงก้าวต่ำกระบวน การปรับอัตโนมัติจะดำเนินไปค่อนข้างช้าเนื่องจากต้องใช้เวลาในการกำจัดผลของข้อมูลเดิม แต่ผลของความผิดพลาดซึ่งเกิดจากการประมาณค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยค่าที่ขณะใดๆในกรณีที่ใช้ค่าช่วงก้าวต่ำนี้จะถูกกรองออกไปมากกว่ากรณีค่าช่วงก้าวสูงๆ ทำให้ในกรณีค่าช่วงก้าวต่ำจะได้ค่า SMSE ที่สภาวะอยู่ตัวต่ำกว่ากรณีค่าช่วงก้าวสูง

2) ในกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นที่เครื่องรับ พบว่า

- มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดในระบบที่ใช้สเปรดดิงโค้ดชนิดต่างๆ คือ Gold code ขนาด 7 บิต, Gold code ขนาด 31 บิต และสเปรดดิงโค้ดแบบสุ่มขนาด 31 บิต ให้สมรรถนะเฉลี่ยของระบบ และสมรรถนะของผู้ใช้แต่ละคน ส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่และชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์ ทั้งกรณีควบคุมกำลังส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์
- มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบอื่นๆจะให้สมรรถนะดีกว่าเครื่องรับแบบแมตช์อย่างเห็นได้ชัดในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่าต่ำ แต่จะให้สมรรถนะเหนือเครื่องรับแบบแมตช์ไม่มากนักในกรณีที่สัญญาณรบกวนมีค่าสูง เพราะผลของสัญญาณรบกวนรุนแรง กลบผลการกำจัด MAI ไปหมด
- เมื่อพิจารณาสมรรถนะในกรณีที่สัญญาณรบกวนเปลี่ยนแปลง พบว่าในกรณี SNR ค่าต่ำมัลติยูสเซอร์ดีเทคชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะให้สมรรถนะดีกว่าชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เนื่องจากเพิ่มสัญญาณรบกวนน้อยกว่า ส่วนในกรณีที่ค่า SNR สูงๆจะให้สมรรถนะด้อยกว่าเล็กน้อยเนื่องจากความผิดพลาดในกระบวนการปรับอัตโนมัติที่ใช้กำจัด MAI จะมีผลต่อ BER ชัดเจนขึ้นเมื่อสัญญาณรบกวนมีผลน้อยลง
- ในด้านความทนทานต่อปรากฏการณ์ใกล้-ไกล พบว่า มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดมีความทนทานในลักษณะเดียวกันกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่า

น้ำหนักถ่วงคงที่ คือ เมื่อกำลังของสัญญาณของผู้ใช้ที่มารบกวนผู้ใช้คนสุดท้ายสูงขึ้น ค่า BER ของผู้ใช้คนสุดท้ายจะดีขึ้นโดยลู่เข้าหาขอบเขตผู้ใช้รายเดียว อย่างไรก็ตามมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะมีสมรรถนะด้อยกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้ความแตกต่างระหว่างสมรรถนะของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะขึ้นกับความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนผู้ใช้ที่พิจารณา ถ้าเชื่อถือได้มากสมรรถนะของเครื่องรับทั้งสองจะใกล้เคียงกันมากกว่ากรณีที่เชื่อถือได้ต่ำ เพราะกระบวนการปรับอัตโนมัติแบบบอดจะผิดพลาดต่ำลง

- เมื่อเรียงลำดับสัญญาณเข้ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดได้เหมาะสม มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับจะมีสมรรถนะเหนือดีคอรีเลเตอร์
- มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดให้ความจุของระบบใกล้เคียงกับมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ โดยความจุที่ได้นี้มีค่าสูงกว่าความจุที่ได้จากเครื่องรับแบบแมตช์อย่างมาก รวมทั้งเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นค่า BER ของระบบจะค่อยๆเพิ่มขึ้นต่างจากเครื่องรับแบบแมตช์ซึ่ง BER อาจเพิ่มขึ้นอย่างกระทันหันเมื่อค่าสหสัมพันธ์ของสเปรดดิงโค้ดของผู้ใช้รายใหม่มีค่าสูง

3) ในกรณีที่มีความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณที่เครื่องรับ มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์จะให้สมรรถนะดีกว่ามัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่ เพราะมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดค่าน้ำหนักถ่วงคงที่จะกำจัด MAI ตามสัดส่วนที่คิดจากกรณีที่ซิงโครไนซ์สัญญาณถูกต้อง แต่เมื่อเกิดความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์สัญญาณค่าสัดส่วนของ MAI ที่เกิดจากผู้ใช้แต่ละคนจะเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงกำจัด MAI ผิดไป แต่ในกรณีของมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดที่ใช้กระบวนการปรับอัตโนมัติจะปรับตัวตามสัญญาณเข้า ดังนั้นจึงสามารถปรับตัวเองเพื่อกำจัด MAI ตามสัดส่วนที่เปลี่ยนไปได้ อย่างไรก็ตามมัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดจะให้สมรรถนะด้อยกว่าชนิดใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์เนื่องจากมีความผิดพลาดในกระบวนการปรับอัตโนมัติที่ใช้ข้อมูลที่ตรวจจับได้แทนข้อมูลจริง ในขณะที่กรณีที่ใช้เทรนนิ่งซีเควนซ์จะทราบค่าข้อมูลจริงๆจึงไม่มีความผิดพลาดในส่วนนี้

4) ในกรณีที่มีความผิดพลาดในการเรียงลำดับสัญญาณของผู้ใช้ก่อนเข้าสู่มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับ กระบวนการปรับอัตโนมัติไม่สามารถชดเชยความผิดพลาดในส่วนนี้ได้ ทำให้มัลติยูสเซอร์ดีเทกชันแบบป้อนกลับชนิดบอดและชนิดอื่นๆมีสมรรถนะด้อยลงเช่นเดียวกัน ในขณะที่เครื่องรับแบบคีคอรีเลเตอร์จะไม่มีผลจากการเรียงลำดับของสัญญาณผิด เนื่องจากไม่ได้ใช้ข้อมูลที่ตรวจจับได้แล้วของผู้ใช้คนอื่นๆในการตรวจจับบิตข้อมูลของผู้ใช้ที่พิจารณา