โพรโทคอลแบบปรับตัวสำหรับการสื่อสารแบบดีพีเอสเคในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ

นายชูชาติ มูลคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

P452 O852t 2549

ADAPTIVE PROTOCOL FOR DPSK COOPERATIVE WIRELESS COMMUNICATIONS

Mr.Chuchat Moolkum

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

491752

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โพรโทคอลแบบปรับตัวสำหรับการสื่อสารแบบดีพีเอสเคในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ
โดย	นาย ชูชาติ มูลคำ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ชินรุ่งเรือง)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยยศ พิรักษ์)

ชูชาติ มูลคำ : โพรโทคอลแบบปรับตัวสำหรับการสื่อสารแบบดีพีเอสเคในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ (ADAPTIVE PROTOCOL FOR DPSK COOPERATIVE WIRELESS COMMUNICATIONS) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุลจำนวนหน้า 104 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือมีอัตราการส่งข้อมูลแบบเต็มอัตราใช้การมอดูเลตแบบดีพีเอสเคในช่องสัญญาณที่มีการเกิดเฟดดิงราบแบบเรย์ลี โดยมีผู้ใช้งานในระบบทั้งหมด 3 คน เครื่องรับ 1 เครื่อง ผู้ใช้งาน 1 คน ทำหน้าที่เป็นผู้ส่งข้อมูล ผู้ใช้งานที่เหลือ 2 คน ทำหน้าที่ช่วยส่งต่อสัญญาณโดยทำการขยายและส่งต่อสัญญาณไปยังเครื่องรับ ส่วนแรกที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาด เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดที่คำนวณได้มีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณของการส่งข้อมูลซึ่งมีความซับซ้อนน้อย เพื่อนำไปใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับการทำงานในโพรโทคอลแบบปรับตัว ส่วนที่สองที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การนำโพรโทคอลแบบปรับตัวมาใช้ในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอเพื่อทำหน้าที่ในการเลือกจำนวนและระบุผู้ใช้งานที่จะทำหน้าที่ช่วยส่งต่อสัญญาณ รวมทั้งเลือกเส้นทางการส่งสัญญาณภายใต้สภาวะช่องสัญญาณที่เกิดการเฟดดิงราบแบบเรย์ลี โดยใช้หลักการเลือกเพื่อให้ได้ค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณที่ต่ำที่สุดในแต่ละช่วงเวลาที่ส่งข้อมูล จากผลการจำลองการทำงานของระบบพบว่าค่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่ใช้โพรโทคอลแบบปรับตัวมีค่าต่ำกว่า การส่งข้อมูลแบบไม่มีการเลือกเส้นทางการส่งสัญญาณ เนื่องจากการเลือกเส้นทางในแต่ละช่วงเวลานั้นระบบจะเลือกเส้นทางที่มีค่าความน่าจะเป็นของอัตราความผิดพลาดบิตที่ต่ำที่สุด จึงส่งผลทำให้ระบบมีค่าอัตราขยายไดเวอร์ซีตีเพิ่มขึ้นและทำให้อัตราความผิดพลาดบิตต่ำลง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ศึกษาวิธีการจัดสรรกำลังส่งสำหรับผู้ใช้งานแต่ละคนและศึกษาถึงขีดจำกัดของสมรรถนะของระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ชูชาติ มูลคำ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2549

4770628421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: COOPERATIVE COMMUNICATIONS / DPSK / ADAPTIVE PROTOCOL /AF

CHUCHAT MOOLKUM : ADAPTIVE PROTOCOL FOR DPSK COOPERATIVE WIRELESS COMMUNICATIONS.THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.SOMCHAI JITAPUNKUL, Dr.Ing. 104 pp.

This thesis investigates a performance of full-rate differentially-modulated cooperative wireless communications in flat Rayleigh fading channels with three active users and one destination, i.e. one user acts as a source node and the remaining two users act as relay nodes with amplify-and-forward (AF) protocol. Firstly, this thesis analyzes a probability of error detection for such systems. The resulting probability of error detection imposes high computational complexity, which is not suitable for practical applications. Therefore, this thesis further proposes the approximate probability of error detection with low computational complexity. Secondly, this thesis proposes the adaptive protocol for the studied cooperative communication systems using the proposed approximate probability of error detection as a performance metric. The adaptive protocol can optimally, specify cooperative partners and choose the best cooperation strategy in each transmission period resulting in the enhanced probability of error detection in comparison with the fixed protocols. Furthermore, simulation results demonstrate that the proposed scheme can achieve the maximum achievable diversity gain available in such systems. In addition, an optimum power allocation strategy and a performance limit are also studied in this thesis.

Department Electrical Engineering Student's signature... chuchat M.
Field of study Electrical Engineering Advisor's signature...
Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย ตลอดจนความเมตตา และเอาใจใส่ต่อผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชัยยศ พิรักษ์ ที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและให้การช่วยเหลือด้วยดีมาตลอดในช่วงของการทำงานวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนด้วยดีเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา (Cooperative Project between Department of Electrical Engineering and Private sector for Research and Development) ที่ให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณพี่ปริญญาเอกและเพื่อนปริญญาโททุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัล ที่มีส่วนช่วยเหลือในการให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และกำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฎ

บัญชีคำศัพท์ ..... ณ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์ 4

1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 6

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ 7

2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 ความรู้พื้นฐานของระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ 9

2.1.1 แบบจำลองระบบและการเข้าถึงช่องสัญญาณ 10

2.1.2 โพรโทคอลสำหรับระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ 12

2.2 เทคนิคการรวมสัญญาณ 15

2.2.1 เทคนิคการรวมสัญญาณแบบเลือก 15

2.2.2 เทคนิคการรวมสัญญาณแบบทำให้อัตราส่วนสัญญาณสูงสุด 16

2.2.3 เทคนิคการรวมสัญญาณแบบใช้อัตราขยายเท่ากัน 17

2.3 การมอดูเลตแบบดีพีเอสเค 19

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับช่องสัญญาณ 21

2.4.1 ช่องสัญญาณ 21

2.4.2 ดอปเพลอร์ 23

2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้วัดสมรรถนะของระบบและความหมายของค่าต่างๆ 24

บทที่ หน้า

3 ระบบที่นำเสนอ 25
3.1 ระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ 25
3.2 การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดสำหรับช่องสัญญาณที่มีการเฟดดิงราบแบบเรย์ลี 33
3.3 โพรโทคอลแบบปรับตัว 42
3.4 การจัดสรรกำลังย่อยที่เหมาะสม 45

4 ผลการจำลอง 48
4.1 วิธีการจำลองระบบ 48
4.2 สมรรถนะระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ 52
4.3 สมรรถนะระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอจากการใช้โพรโทคอลแบบปรับตัว 66
4.4 ขีดจำกัดสมรรถนะของระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ 72

5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 86
5.1 สรุปผลการวิจัย 86
5.2 ข้อดีของระบบที่นำเสนอ 88
5.3 ข้อเสียของระบบที่นำเสนอ 88
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 88
รายการอ้างอิง 90
ภาคผนวก 93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 104

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 1.1 ระบบสื่อสารไร้สายแบบหลายสัญญาณเข้าหลายสัญญาณออก 1
รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ 9
รูปที่ 2.2 การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบ TDMA ของระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ 10
รูปที่ 2.3 การส่งสัญญาณแบบ Amplify-and-Forward ในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ 13
รูปที่ 2.4 การส่งสัญญาณแบบ Decode-and-Forward ในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ 14
รูปที่ 2.5 เทคนิคการรวมสัญญาณแบบเลือก 15
รูปที่ 2.6 เทคนิคการรวมสัญญาณแบบทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณสูงสุด 16
รูปที่ 2.7 เทคนิคการรวมสัญญาณแบบใช้อัตราขยายเท่ากัน 17
รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบค่าอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเทียบกับจำนวนช่องสัญญาณ ของเทคนิคการรวมสัญญาณทั้ง 3 เทคนิค 18
รูปที่ 2.9 บล๊อกไดอะแกรมของเครื่องถอดรหัสของการมอดูเลตแบบ B-DPSK 19
รูปที่ 2.10 แสดงมุม α_n ของคลื่นสัญญาณที่มาถึงของปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ 23
รูปที่ 3.1 ระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ 26
รูปที่ 3.2 การส่งสัญญาณโดยไม่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ 26
รูปที่ 3.3 ก) การส่งสัญญาณโดยที่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ 1 คน แบบเลือกผู้ใช้งานคนที่ 2 (Relay 1) ช่วยส่งต่อสัญญาณ 27
รูปที่ 3.3 ข) การส่งสัญญาณโดยที่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ 1 คน แบบเลือกผู้ใช้งานคนที่ 3 (Relay 2) ช่วยส่งต่อสัญญาณ 27
รูปที่ 3.4 การส่งสัญญาณโดยที่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ 2 คน 28
รูปที่ 3.5 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอลแบบปรับตัว 43
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของสัญญาณแถบแคบ 51
รูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณแต่ละช่องสำหรับการจำลองระบบที่นำเสนอ 54
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดแบบขอบเขตบนของการส่งสัญญาณในเส้นทางต่างๆ ในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ 54
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดแบบขอบเขตล่างของการส่งสัญญาณในเส้นทางต่างๆ ในระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือที่นำเสนอ 56

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดแบบขอบเขตบนและค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากการจำลองระบบของการส่งสัญญาณในเส้นทางต่างๆ 57
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดแบบขอบเขตล่างและค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากการจำลองระบบของการส่งสัญญาณในเส้นทางต่างๆ 58
รูปที่ 4.7 แสดงการกำหนดค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณแต่ละช่องสำหรับการจำลองระบบที่นำเสนอ 60
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดเทียบกับค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณแบบขอบเขตบน 60
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดเทียบกับค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณแบบขอบเขตล่าง 61
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณแบบขอบเขตบนเทียบกับค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากการจำลองระบบ 62
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณแบบขอบเขตล่างเทียบกับค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากการจำลองระบบ 62
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาดโดยประมาณเทียบกับค่าอัตราความผิดพลาดบิตจากการจำลองระบบสำหรับกรณีการจัดสรรกำลังส่งเท่ากันและการจัดสรรกำลังส่งย่อยที่เหมาะสม 64
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ได้จากโพรโทคอลแบบปรับตัว 67
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางสำหรับการส่งสัญญาณของโพรโทคอลแบบปรับตัว 68
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ได้จากโพรโทรคอลแบบปรับตัว ในกรณีที่มีการจัดสรรกำลังส่งเท่ากันและการจัดสรรกำลังส่งย่อยที่เหมาะสมให้กับผู้ใช้งานในระบบ 69

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางสำหรับการส่งสัญญาณในโพรโทคอลแบบปรับตัวในกรณีที่มีการจัดสรรกำลังส่งเท่ากันและการจัดสรรกำลังส่งย่อยที่เหมาะสมให้กับผู้ใช้งานในระบบ 70
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าอัตราอัตราความผิดพลาดบิตที่ได้จากโพรโทรคอลแบบปรับตัวในกรณีพิจารณาแบ่งค่า *n* ออกเป็น 2 กลุ่ม 71
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบที่นำเสนอ เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 10 เดซิเบล 73
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัวเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 10 เดซิเบล 73
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบที่นำเสนอ เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 20 เดซิเบล 74
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัว เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 20 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่1กับเครื่องรับ 76
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัวเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 20 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 1กับผู้ใช้งานคนที่ 2 76
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัวเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 20 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 2 กับเครื่องรับ 77
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบที่นำเสนอ เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 30 เดซิเบล 78
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัวเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 30 เดซิเบลเมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่1กับเครื่องรับ 79

รูปที่ หน้า

รูปที่ 4.26 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัว เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 30 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 1 กับ ผู้ใช้งานคนที่ 2 80
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัว เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 30 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 2 กับ เครื่องรับ 80
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตของระบบที่นำเสนอ เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 40 เดซิเบล 82
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัว เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 40 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 1 กับเครื่องรับ 83
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัว เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 40 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 1 กับ ผู้ใช้งานคน ที่ 2 83
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงอัตราร้อยละของจำนวนการเลือกเส้นทางของโพรโทคอลแบบปรับตัว เมื่อกำหนดให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเท่ากับ 40 เดซิเบล เมื่อมีการเพิ่มค่าแวเรียนซ์ของช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้งานคนที่ 2 กับเครื่องรับ 84

บัญชีคำศัพท์

การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งความถี่	Frequency Division Multiple Access ย่อว่า FDMA
การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งเวลา	Time Division Multiple Access ย่อว่า TDMA
การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแบ่งรหัส	Code Division Multiple Access ย่อว่า CDMA
การเข้ารหัสปริภูมิ-เวลา	Space Time Coding
การจัดสรรกำลังส่งย่อยที่เหมาะสม	Sub-Optimum Power Allocation
การมอดูเลตทางเฟสแบบผลต่าง	Differential Phase Shift Keying ย่อว่า DPSK
การสื่อสารแบบร่วมนัย	Coherent Communication
การสื่อสารแบบไม่ร่วมนัย	Noncoherent Communication
การส่งสัญญาณโดยไม่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ	Noncooperation Strategy
การส่งสัญญาณโดยที่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ 1 คน	1-Relay Cooperation Strategy
การส่งสัญญาณโดยที่มีผู้ใช้งานอื่นช่วยเหลือ 2 คน	2-Relay Cooperation Strategy
กระบวนการสุ่ม	Random Process
ขยายและส่งต่อ	Amplify-and-Forward
ขอบเขตบน	Upper Bound
ขอบเขตล่าง	Lower Bound
คาบเวลาร่วมนัย	Time Coherent ย่อว่า TC
ความน่าจะเป็นของการตัดสินบิตข้อมูลผิดพลาด	Probability of error detection
ความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหาย	Outage Probability
ช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบเรย์ลี	Rayleigh Fading Channel
ช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบไรเซียน	Ricean Fading Channel

ฟังก์ชันก่อกำเนิดโมเมนต์	Moment Generating Function ย่อว่า MGF
ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น	Probability Density Function
ถอดรหัสและส่งต่อ	Decode-and-Forward
ทฤษฎีจำกัดค่ากลาง	Central Limit Theorem ย่อว่า CLT
พหุวิถี	Multipath
ผลตอบสนองอิมพัลส์	Impulse Response
ผู้ใช้งานที่ทำหน้าที่ช่วยส่งต่อสัญญาณ	Relay
ระบบสื่อสารไร้สายแบบร่วมมือ	Wireless Cooperative Communication System
ระบบสื่อสารแบบหลายทางเข้าหลายทางออก	Multiple Input Multiple Output Communication System ย่อว่า MIMO
สัญญาณแถบแคบ	Narrowband Signal
อัตราความผิดพลาดบิต	Bit Error Rate ย่อว่า BER
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	Signal to Noise Radio ย่อว่า SNR
อุปกรณ์ควบคุมการเลื่อนเฟส	Phase Shifter
เทคนิคการรวมสัญญาณแบบเลือก	Selection Combining ย่อว่า SC
เทคนิคการรวมสัญญาณแบบทำให้อัตราส่วนสัญญาณสูงสุด	Maximal Radio Combining ย่อว่า MRC
เทคนิคการรวมสัญญาณแบบใช้อัตราขยายเท่ากัน	Equal Gain Combining ย่อว่า EGC
เฟดดิงราบแบบเรย์ลี	Flat Rayleigh Fading
โพรโทคอลแบบปรับตัว	Adaptive Protocol
โพรโทคอลแบบไม่เปลี่ยนแปลง	Fixed Relaying Protocol
โพรโทคอลแบบเลือก	Selecting Relaying Protocol
โพรโทคอลแบบมีการป้อนกลับ	Incremental Relaying Protocol