

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	2
1.6 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 การสื่อสารเสียง.....	4
2.1.1 ขั้นตอนในการสื่อสารเสียงบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	4
2.1.2 การบีบอัดเสียง (Audio Compression).....	5
2.1.3 การบีบอัดเสียงด้วย G.723.1.....	6
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเสียง.....	6
2.1.4.1 เวลาหน่วง.....	7
2.1.4.2 จิตเตอร์ (Jitter).....	7
2.1.4.3 การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss).....	7
2.1.4.4 แบนด์วิดท์ที่มีจำกัด (Limited bandwidth).....	8
2.1.5 โพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารเสียงบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	8
2.1.5.1 สถาปัตยกรรมเครือข่ายรูปแบบ OSI .....	8
2.1.5.2 ซิกแนลลิงโพรโทคอล(Signaling Protocol).....	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 Real-time Transport Protocol (RTP).....	12
2.2.1 บทบาทของ RTP.....	12
2.2.2 โครงสร้างแพ็คเกจของ RTP (RTP Packet Structure).....	13
2.2.3 RTP Control Protocol (RTCP).....	14
2.2.4 การส่งข้อมูลซ้ำของเสียงโดยใช้โปรโตคอล RTP.....	17
2.3 เทคนิคการพยากรณ์.....	18
2.3.1 ประเภทของเทคนิคการพยากรณ์.....	19
2.3.1.1 เทคนิคพยากรณ์เชิงคุณภาพ.....	19
2.3.1.2 เทคนิคพยากรณ์เชิงปริมาณ.....	19
2.3.1.2.1 เทคนิคอนุกรมเวลา.....	19
2.3.1.2.2 เทคนิคความสัมพันธ์ของข้อมูล.....	19
2.4 เทคนิควิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method).....	20
2.4.1 การประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	20
2.4.2 เทคนิคความสัมพันธ์ของข้อมูล.....	22
2.4.2.1 ข้อมูลมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear Regression).....	22
2.4.2.2 ข้อมูลมีความสัมพันธ์แบบพหุนาม (Polynomial Regression).....	24
2.4.2.3 ข้อมูลมีความสัมพันธ์แบบหลายเชิง (Multiple Regression).....	24
2.4.3 การตรวจสอบความเหมาะสมของฟังก์ชัน.....	26
บทที่ 3 การปรับปรุงและการทำแบบจำลองของอัลกอริทึมแบบปรับตัว.....	28
3.1 การควบคุมความผิดพลาดแบบปรับตัว.....	28
3.1.1 ประเภทคือ FEC.....	28
3.1.2 อัตราการสูญหายของข้อมูลเสียงเมื่อมีการใช้ FEC.....	30
3.2 อัลกอริทึมแบบปรับตัวที่ใช้ในการศึกษา.....	32
3.2.1 อัลกอริทึม Bolot.....	32
3.2.2 อัลกอริทึม RCCS.....	34
3.2.3 อัลกอริทึม CNR.....	38
3.3 การประยุกต์ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในอัลกอริทึมแบบปรับตัว CNR.....	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	43
3.4.1 การตรวจสอบการคำนวณค่า $L_b$ และ $L_u$ ของผู้รับ.....	44
3.4.2 การตรวจสอบการทำงานของอัลกอริทึม.....	46
3.4.2.1 การตรวจสอบการทำงานของอัลกอริทึม Bolot.....	47
3.4.2.2 การตรวจสอบการทำงานของอัลกอริทึม CNR.....	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	50
4.1 การทดลองเพื่อประเมินผลอัลกอริทึม CNR.....	50
4.1.1 การทดลองตอนที่ 1.....	51
4.1.2 การทดลองตอนที่ 2.....	53
4.2 ผลการทดลอง.....	53
4.2.1 ผลการทดลองตอนที่ 1.....	53
4.2.2 ผลการทดลองตอนที่ 2.....	55
4.3 การวิเคราะห์.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
เอกสารอ้างอิง.....	64
ผลงานที่ตีพิมพ์.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	72

# สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของมาตรฐานการบีบอัดข้อมูลเสียง.....	6
3.1 Combination ที่ใช้อัลกอริทึม Bolot.....	32
3.2 ค่า Reward และ Penalty ของแต่ละ Combination ในอัลกอริทึม RCCS.....	36
3.3 คำอธิบายของพารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึม RCCS.....	36
3.4 Combination ของข้อมูลซ้ำที่ใช้ในอัลกอริทึม CNR.....	40
3.5 การตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณค่า $L_b$ ของผู้รับในแบบจำลอง.....	45
3.6 การตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณค่า $L_u$ ของผู้รับในแบบจำลอง.....	46
4.1 Combination ของข้อมูลซ้ำที่ใช้ในอัลกอริทึม CNR .....	51
4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจาก Trace file เปรียบเทียบ 3 วิธีการ.....	60

# สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 การส่งเสียงพูดในรูปแบบดิจิทัลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	5
2.2 การแก้ไข Jitter ที่เกิดกับแพ็กเก็ตข้อมูลเสียงโดยการใช้บัฟเฟอร์ข้อมูลเสียงที่ภาครับ.....	7
2.3 สถาปัตยกรรมเครือข่ายรูปแบบ OSI.....	9
2.4 โครงสร้างโปรโตคอลสำหรับระบบโทรศัพท์บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต.....	10
2.5 การส่ง Signaling และ Media ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต.....	11
2.6 บทบาทของ RTP ในการสื่อสารเสียงและวีดิทัศน์บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	13
2.7 โครงสร้างแพ็กเก็ตของ RTP.....	13
2.8 โครงสร้างเฮดเดอร์ของ RTP.....	13
2.9 โครงสร้างเฮดเดอร์ของแพ็กเก็ต Receiver Report (RR).....	16
2.10 เฮดเดอร์ของบล็อกในแพ็กเก็ต RTP ที่มีข้อมูลซ้ำของเสียง.....	17
2.11 ตัวอย่างแพ็กเก็ต RTP เมื่อมีการส่งข้อมูลซ้ำของเสียง 1 ชุด.....	18
2.12 แสดงการหาค่าเบี่ยงเบนของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด.....	21
2.13 ข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นแบบต่างๆ.....	23
3.1 Media Independent FEC.....	29
3.2 Media Specific FEC.....	29
3.3 การกู้คืนโดยใช้ข้อมูลซ้ำสามารถทำให้ค่า $L_a$ น้อยกว่า $L_b$ .....	31
3.4 การเพิ่มจำนวนข้อมูลซ้ำสามารถช่วยลดค่า $L_a$ ได้.....	31
3.5 แผนภาพการควบคุมความผิดพลาดแบบปรับตัวโดยใช้อัลกอริทึม Bolot.....	33
3.6 การเพิ่มและลด Combination ในอัลกอริทึม Bolot.....	34
3.7 Pseudo Code อัลกอริทึม Bolot.....	34
3.8 แผนภาพการควบคุมความผิดพลาดแบบปรับตัวโดยใช้อัลกอริทึม RCCS.....	35
3.9 Pseudo Code ของอัลกอริทึม RCCS.....	37
3.10 แผนภาพการควบคุมความผิดพลาดแบบปรับตัวโดยใช้อัลกอริทึม CNR.....	38
3.11 การระบุค่า $L_b$ และ $L_a$ ในแพ็กเก็ต Receiver Report.....	39
3.12 Pseudo Code ของอัลกอริทึม CNR.....	41
3.13 การเปลี่ยนแปลงการลด Combination.....	42

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.14 การเชื่อมต่อภายในเครือข่ายที่ใช้ในการจำลอง.....	44
3.15 ตัวอย่างการหาค่า $L_u$ เมื่อกำหนดรูปแบบการตัดทิ้งแพ็กเก็ตแบบ D02.....	46
3.16 ค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณในระหว่างการจำลองโดยใช้อัลกอริทึม Bolot.....	48
3.17 การเปลี่ยนแปลงของ Combination ในระหว่างการจำลองโดยใช้อัลกอริทึม CNR.....	49
4.1 การเชื่อมต่อภายในเครือข่ายที่ใช้ในการจำลอง.....	52
4.2 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม Bolot.....	54
4.3 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม CNR โดยใช้วิธีการ SES ในการหาค่า reward.....	54
4.4 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม CNR โดยใช้วิธีการ Least Square ในการหาค่า reward.....	55
4.5 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม Bolot (TCP 20 โหนด).....	56
4.6 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม CNR โดยใช้วิธีการ SES ในการหาค่า reward (TCP 20 โหนด).....	56
4.7 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม CNR โดยใช้วิธีการ Least Square ในการหาค่า reward (TCP 20 โหนด).....	57
4.8 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม Bolot.....	57
4.9 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม CNR โดยใช้วิธีการ SES ในการหาค่า reward (TCP 40 โหนด).....	58
4.10 แสดงค่า $L_u$ และค่า $L_b$ จากการคำนวณระหว่างการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม CNR โดยใช้วิธีการ Least Square ในการหาค่า reward (TCP 40 โหนด).....	58
4.11 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง combination number ของอัลกอริทึม Bolot และอัลกอริทึม CNR ซึ่งใช้เทคนิค SES และ Least square method ในการหาค่า reward.....	59
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Reward กับค่า Combination number ของวิธีการ Least Square กับวิธีการ Bolot.....	61

## รายการสัญลักษณ์

ACELP	Algebraic Code-Excited Linear Prediction
AIMD	Additive Increase Multiplicative Decrease
API	Application Programming Interface
CNR	Centre Network Research
FEC	Forward Error Correction
IETF	Internet Engineering Task Force
ITU	International Telecommunication Union
$L_a$	Loss Rate after Reconstruction
$L_b$	Loss Rate before Reconstruction
LSM	Least Square Method
MPEG	Moving Picture Expert Group
MP-MLQ	Multi-Pulse Likelihood Quantization
PCM	Pulse Code Modulation
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RCCS	Redundant Codec Combination Selection
RTCP	RTP Control Protocol
RTP	Real-time Transport Protocol
SES	Single Exponential Smoothing
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol