การพัฒนาระบบแทรกคำบรรยายภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

นาย ชยสร สวนสมจิตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-9750-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A CAPTION INSERTING SYSTEM USING A PERSONAL COMPUTER

Mr. Chayasorn Suansomjit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002
ISBN 974-17-9750-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบแทรกคำบรรยายภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
โดย	นายชยสร สวนสมจิตร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย ลีลารัศมี)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.นัยวุฒิ วงษ์โคเมท)

ชยสร สวนสมจิตร : การพัฒนาระบบแทรกคำบรรยายภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล. (DEVELOPMENT OF A CAPTION INSERTING SYSTEM USING A PERSONAL COMPUTER.) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เอกชัย ลีลารัศมี, 67 หน้า. ISBN 974-17-9750-8.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาระบบแทรกคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ และ โปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้สามารถแทรกรหัสคำบรรยายตามมาตรฐาน PAL 18 Closed Caption Video และอ่านรหัสเวลาแบบ LTC เพื่อใช้กำหนดเวลาของคำบรรยายได้ สัญญาณวีดิทัศน์ขาออกของเครื่องเข้ารหัสถูกออกแบบให้มีคุณภาพสำหรับงานออกอากาศ ส่วนโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยายสามารถสร้างแฟ้มคำบรรยายภาษาไทย – อังกฤษ, จำลองผลการแทรกคำบรรยาย และควบคุมเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายได้ ระบบที่พัฒนาขึ้นถูกทดสอบและเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีขายตามท้องตลาดต่างประเทศ เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายที่พัฒนาขึ้นมีค่าความไหวทางเวลาต่ำกว่า 11.2 ns ผลต่างอัตราขยายมีค่า 0.9 % ผลต่างเฟสมีค่า 0.7° และมีการเบี่ยงเบนสูงสุดของอัตราขยายในช่วงความถี่ 150 kHz ถึง 5.8 MHz เท่ากับ 1.07 dB

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545

##4470265021: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: PAL Closed Caption, LTC Time Code, Caption Encoder

CHAYASORN SUANSOMJIT: DEVELOPMENT OF A CAPTION INSERTING SYSTEM USING A PERSONAL COMPUTER. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. EKACHAI LEELARASMEE, Ph.D., 67 pp. ISBN 974-17-9750-8.

This thesis presents a development of a closed caption system, which consists of two parts: the closed caption encoder and the captioning software. The encoder is able to insert close caption data according to PAL 18 closed caption video specifications and can also read LTC time code from a videotape for synchronization with caption data. In addition, its output video signal quality is designed for broadcast video applications. The captioning software includes three functions: the Thai-English caption file creation, the caption display simulation and the caption encoder control. The testing results of the prototyped system are compared to commercial captioning systems. The developed encoder has an insertion jitter of less than +/-11.2 ns, 0.9% differential gain and 0.7° differential phase. Its maximum gain deviation in the frequency range of 150 kHz to 5.8 MHz is 1.07 dB.

Department Electrical Engineering Student's signature .....

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความสนับสนุนอย่างดียิ่งของ รศ. ดร. เอกชัย ลีลารัศมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวคิด คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกยินดีอย่างยิ่งที่มีโอกาสร่วมงานวิจัยกับท่านอาจารย์และขอขอบคุณท่านอาจารย์มา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ท่านอาจารย์และนิสิตในห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบและประยุกต์วงจรรวมทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และแบ่งบันอุปกรณ์ทำวิจัยกันอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาระดับปริญญามหาบัณฑิตตลอด 2 ปีการศึกษา ข้าพเจ้าหวังว่างานวิจัยที่ข้าพเจ้าได้พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าไม่มากก็น้อย อันจะเป็นการตอบแทนบางส่วนแก่คุณประโยชน์ที่ภาควิชามีให้ต่อข้าพเจ้า

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบทุกคนในคุณครอบครัว อันได้แก่ บิดา มารดา น้องสาว และคุณมนสิชา ซึ่งให้การสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆ ด้านอย่างดียิ่งเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1
1.3 แนวความคิดของงานวิจัย 1
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.6 วิธีดำเนินงานวิจัย 3
1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์ 3
บทที่ 2 งานวิจัยและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 การสร้างรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้ 4
2.2 สัญญาณ PAL Line 18 Closed Caption Video 6
2.3 รหัสต่าง ๆ ที่ใช้กับการซ่อนคำบรรยาย 7
2.4 การวัดคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ 10
2.5 รหัสเวลาแบบ LTC (Longitudinal Time Code) 13
2.6 UML (Unified Modeling Language) กับการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงวัตถุ 15
บทที่ 3 เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ที่ใช้รหัสเวลาแบบ LTC 19
3.1 หน้าที่และโครงสร้างของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพ 19
3.2 ส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยาย (Caption Data Inserter) 20
3.3 ส่วนตรรกควบคุมข้อมูล (Data Control Logic) 21
3.4 วงจรต่อเชื่อมสัญญาณรหัสเวลา (LTC Interface) 23
3.5 ซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรเลอร์ 24
3.6 โปรแกรมส่วนจัดการเส้นภาพ 25
3.6.1 โปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณซิงก์รวม (Csync_Interrupt) 25
3.6.2 โปรแกรมย่อยนับเส้นภาพ (Video_Line_Counting) 26
3.6.3 โปรแกรมย่อยแทรกข้อมูลคำบรรยาย (CC_Inserting) 26
3.7 ส่วนโปรแกรมจัดการเวลา 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7.1 โปรแกรมย่อยนับเวลาด้วยเฟรม (Time_count_up_frame) 27
3.7.2 โปรแกรมย่อยนับเวลาด้วยสัญญาณรหัสเวลา (Time_count_LTC) 27
3.7.3 โปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลา (LTC Interrupt) 27
3.7.4 โปรแกรมย่อยประมวลผลสัญญาณรหัสเวลา (LTC_Process) 28
3.8 ส่วนรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 29
3.8.1 โปรแกรมย่อยจัดการโพรโทคอล 29
3.8.2 โปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะของการส่งข้อมูลอนุกรม 30
3.8.3 โปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะของการรับข้อมูลอนุกรม 30
3.9 การจัดลำดับความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะ 31
บทที่ 4 โปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย Caption Studio 32
4.1 แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย Caption Studio 32
4.2 ส่วนติดต่อผู้ใช้ 33
4.2.1 หน้าต่างย่อยแสดงภาพวีดิทัศน์ (Media Player Window) 33
4.2.2 หน้าต่างย่อยแสดงลำดับคำบรรยาย (Caption Block Sequence Window) 33
4.2.3 หน้าต่างย่อยแก้ไขคำบรรยาย (Editing Window) 34
4.2.4 หน้าต่างย่อยควบคุมการแทรกคำบรรยาย 35
4.3 โครงสร้างเชิงวัตถุพื้นฐานของโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย 36
4.3.1 คลาส CaptionBlock 36
4.3.2 คลาส CaptionComplier 37
4.3.3 คลาส CaptionDBManager 38
4.4 โครงสร้างเชิงวัตถุของส่วนติดต่อผู้ใช้ 40
4.4.1 คลาส frmMDIMain 40
4.4.2 คลาส frmCaptionSeq 41
4.4.3 คลาส frmMediaplayer 41
4.4.4 คลาส frmEditing 41
4.4.5 คลาส frmInserting 41
บทที่ 5 การทดสอบ และสรุปผล 42
5.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น 42
5.2 การทดสอบคุณภาพสัญญาณขาออกของเครื่องเข้ารหัส 45
5.2.1 การวัดค่าการไหวทางเวลาในการแทรกข้อมูล (Insertion Jitter) 45
5.2.2 การคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ขาออก 46
5.3 การเปรียบเทียบสมบัติของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายที่พัฒนาขึ้น 49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.1 เปรียบเทียบกับ InsertaCap 50
5.3.2 เปรียบเทียบกับ EDS400 51
5.3.3 วิจารณ์ผลการเปรียบเทียบสมบัติของเครื่องเข้ารหัส 51
5.4 การทดสอบการใช้งานโปรแกรม Caption Studio 51
5.5 การเปรียบเทียบสมบัติของโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย 52
5.5.1 CAPtivator Offline Edit 53
5.5.2 Softrade Subtitle System 53
5.5.3 วิจารณ์ผลการเปรียบเทียบสมบัติของโปรแกรมผลิตคำบรรยาย Caption Studio 54
5.6 สรุป 54
5.7 ข้อเสนอแนะ 55
รายการอ้างอิง 56
ภาคผนวก 57
ภาคผนวก ก แผนภาพวงจรเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ 58
ภาคผนวก ข บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ใน 2001 International Symposium on Communication and Information (ISCIT2001) 62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 67

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 รหัสแสดงผลภาษาอังกฤษในช่อง CC1 7
ตารางที่ 2.2 รหัสแสดงผลภาษาไทยในช่อง CC2 7
ตารางที่ 2.3 รหัสตำแหน่งเบื้องต้น (Preamble Address Code) 8
ตารางที่ 2.4 รหัสกลางบรรทัด (Mid Row Code) 9
ตารางที่ 2.5 รหัสควบคุมเบ็ดเตล็ด 9
ตารางที่ 2.6 โครงสร้างการเก็บข้อมูลของรหัสเวลาขนาด 80 บิต 14
ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงจำนวนวัตถุที่มักพบบ่อย 18
ตารางที่ 3. 1 ตารางแสดงลำดับความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะ 31
ตารางที่ 5.1 ผลการวัดค่าความเพี้ยนแบบไม่เชิงเส้น 47
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการวัดลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ของเครื่องเข้ารหัส 48
ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบสมบัติเครื่องแทรกรหัสคำบรรยาย 49
ตารางที่ 5.4 ตารางเปรียบเทียบสมบัติโปรแกรมสร้างคำบรรยาย 53

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตคำบรรยายแบบซ่อนได้ 4
รูปที่ 2.2 ลักษณะสัญญาณ PAL Line 18 Closed Caption Video 6
รูปที่ 2.3 สัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลตพาหะย่อยสัญญาณสี 10
รูปที่ 2.4 วิธีการวัดค่าผลต่างเฟสจากเวกเตอร์สโคป 12
รูปที่ 2.5 สัญญาณทดสอบแบบ CCIR 18 13
รูปที่ 2.6 ขอบเขตของลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ (Gain/Frequency Characteristic) ตามมาตรฐาน ITU-T J.61 13
รูปที่ 2.7 การเข้ารหัสสัญญาณแบบ Bi-Phase Mark ของสัญญาณ LTC สำหรับสัญญาณวีดิทัศน์แบบ PAL. 15
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์แทนคลาส 16
รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์แบบ Association 17
รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์แบบ Aggregation 17
รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์แบบ Generalization 17
รูปที่ 3.1 การต่อเชื่อมเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ที่มีรหัสเวลา LTC 19
รูปที่ 3.2 โครงสร้างภายในของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพ 20
รูปที่ 3.3 โครงสร้างส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยาย 21
รูปที่ 3.4 โครงสร้างส่วนตรรกควบคุมข้อมูล 22
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งเข้าวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนเพื่อสร้าง Clock Run-In และข้อมูลคำบรรยาย 23
รูปที่ 3.6 วงจรต่อเชื่อมสัญญาณรหัสเวลา 23
รูปที่ 3.7 แผนผังการจำแนกส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ 24
รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรมบริการการขัดจังหวะซิงก์รวม 25
รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อยนับเส้นภาพ 26
รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของโปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลา 27
รูปที่ 3.11 สัญญาณที่ผ่านวงจรเชื่อมต่อรหัสเวลาและลักษณะการพิจารณาเงื่อนไข 28
รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อย LTC Process 28
รูปที่ 3.13 โพรโทคอลการสื่อสารที่ใช้กับเครื่องเข้ารหัสคำบรรยาย 29
รูปที่ 3.14 แผนผังสถานะของโปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะการรับข้อมูลอนุกรม 30
รูปที่ 4.1 รูปหน้าต่างของส่วนติดต่อผู้ใช้ 32
รูปที่ 4.2 หน้าต่างย่อยแสดงภาพวีดิทัศน์ 33
รูปที่ 4.3 หน้าต่ายย่อยแสดงลำดับคำบรรยาย 34
รูปที่ 4.4 หน้าต่างย่อยแก้ไขคำบรรยายในลักษณะต่างกัน 3 แบบ คือ Key In & Position, Mark, Fine Tune .. 35
รูปที่ 4.5 หน้าต่างย่อยควบคุมการแทรกคำบรรยาย 35
รูปที่ 4.6 แผนผังลำดับขั้นของคลาส 36

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 ภาพอธิบายกระบวนการแปลงข้อมูลจากกลุ่มคำบรรยาย (Caption Block) มาเป็นสายอักขระ (StringOut) พร้อมส่งให้กับเครื่องเข้ารหัสที่เกิดขึ้นจากฟังก์ชัน ComplierText โดยสังเขป 38
รูปที่ 4.8 โครงสร้างคลาส CaptionDBManager 39
รูปที่ 4.9 แผนผังลำดับขั้นคลาสในส่วนติดต่อผู้ใช้ 40
รูปที่ 5.1 เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ที่มีรหัสเวลาแบบ LTC 42
รูปที่ 5.2 การต่อเชื่อมอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานเบื้องต้น 42
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณที่ออกจากเครื่องเข้ารหัส 43
รูปที่ 5.4 ภาพแสดงผลการถอดรหัสคำบรรยายจากสัญญาณที่สร้างขึ้น และลักษณะสัญญาณ PAL 18 Closed Caption ที่ปรากฏบริเวณช่องว่างใต้ภาพ (VBI) 43
รูปที่ 5.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการอ่านรหัสเวลา LTC 44
รูปที่ 5.6 ภาพแสดงการเปรียบเทียบรหัสเวลาที่บันทึกมาบนเทปวีดิทัศน์กับรหัสเวลาที่อ่านได้โดยเครื่องเข้ารหัส 44
รูปที่ 5.7 นิยามการวัดค่าการไหวทางเวลาในการแทรกข้อมูล 45
รูปที่ 5.8 ผลการวัดการไหวทางเวลาของการแทรกข้อมูล 45
รูปที่ 5.9 การต่อเชื่อมอุปกรณ์เพื่อทดสอบคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ 46
รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลทพาหะย่อยสัญญาณสี (Modulated Staircase) ที่ขาออกและขาเข้าของเครื่องเข้ารหัส 46
รูปที่ 5.11 รูปบนเวกเตอร์สโคปของสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลทพาหะย่อยสัญญาณสี (Modulated Staircase) ที่ขาออกของเครื่องเข้ารหัส 47
รูปที่ 5.12 รูปสัญญาณ CCIR 330 ขาออกและขาเข้าของเครื่องเข้ารหัส 47
รูปที่ 5.13 รูปสัญญาณ CCIR 18 ขาออกและขาเข้าของเครื่องเข้ารหัส 48
รูปที่ 5.14 ลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ของเครื่องเข้ารหัสเทียบกับมาตรฐาน ITU-T J.61 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

โทรทัศน์เป็นสื่อที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งในยุคปัจจุบัน กลุ่มคนที่ต้องการรับชมรายการโทรทัศน์มีหลากหลายกลุ่มรวมถึงผู้มีปัญหาในการฟัง เช่น ผู้พิการทางหู ผู้สูงอายุที่หูตึง เป็นต้น กลุ่มคนที่มีปัญหาในการฟังเหล่านี้มีจำนวนประมาณทางสถิติสูงถึงร้อยละ 10 ของประชากร ในประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้มีการพัฒนาระบบโทรทัศน์ซ่อนภาพบรรยาย (Closed Caption TV System) ขึ้น เป็นผลให้กลุ่มคนเหล่านี้สามารถติดตามและรับรู้ข่าวสารทางโทรทัศน์ได้อย่างดี

ระบบโทรทัศน์ที่ซ่อนภาพบรรยายเป็นระบบโทรทัศน์ที่ซ่อนรหัสของคำบรรยายภาพมาพร้อมกับสัญญาณวิดีทัศน์ (Composite Video Signal) โดยผู้รับชมสามารถสั่งให้เปิดหรือปิดการแสดงคำบรรยายขึ้นบนโทรทัศน์ได้ คำบรรยายเหล่านี้ประกอบคำพูดแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับภาพในขณะนั้น เช่น คำพูดของตัวละครเสียงหัวเราะ เสียงดนตรี เป็นต้น คำบรรยายเหล่านี้จะได้รับการจัดเตรียมจากผู้ผลิตรายการมาก่อน หรือในกรณีรายการออกอากาศสดก็จะมีเจ้าหน้าที่ส่งคำบรรยายอย่างทันทีทันใด

ในประเทศไทยก็ได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบโทรทัศน์ซ่อนคำบรรยายภาษาไทย – อังกฤษ ขึ้นโดยห้องปฏิบัติการวิจัยระบบเชิงเลข จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [1] อย่างไรก็ดี ระบบนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศนัก เนื่องจากหลายปัจจัย และปัจจัยหนึ่งคือต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในการผลิตคำบรรยาย เพราะผู้ผลิตรายการโทรทัศน์ต้องการความสะดวก รวดเร็วและประหยัดในการสร้างคำบรรยายประกอบรายการโทรทัศน์ที่ผลิตอยู่เดิม การพัฒนาระบบเข้ารหัสคำบรรยายภาพภาษาไทย-อังกฤษ โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจึงเกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการนี้ อันจะเป็นผลให้การใช้งานระบบโทรทัศน์ซ่อนคำบรรยายเป็นไปอย่างแพร่หลายยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ออกแบบและพัฒนาเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ที่ใช้รหัสเวลาแบบ LTC

1.2.2 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมชื่อ “Caption Studio” เพื่อใช้สร้างแฟ้มคำบรรยายและจำลองการแสดงผลที่ใช้งานได้อย่างสะดวกบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.3 แนวความคิดของงานวิจัย

การผลิตรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้มีขั้นตอนเพิ่มเติมจากผลิตรายการตามปกติเล็กน้อย ขั้นตอนเหล่านั้น ได้แก่ การจัดสร้างกลุ่มคำบรรยายจากรายการ และ การแทรกคำบรรยายเข้าสู่สัญญาณวีดิทัศน์ เพื่อให้ขั้นตอนที่เพิ่มเติมขึ้นมาเหล่านี้กระทำได้อย่างสะดวกและประหยัดจึงเสนอระบบแทรกคำบรรยายภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลขึ้น โดยอยู่บนแนวคิด 2 ส่วน ได้แก่

1) ผู้ผลิตรายการควรใช้เพียงเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่หาได้ง่ายและมีราคาประหยัดเพื่อจัดสร้างกลุ่มคำบรรยาย เพราะว่าขั้นตอนการจัดสร้างกลุ่มคำบรรยายเป็นงานที่ต้องใช้เวลานาน มีการตรวจสอบหลายครั้งและอาจมีผู้ทำงานเช่นนี้หลายคนพร้อมๆ กัน หากขั้นตอนนี้ใช้เครื่องไม้เครื่องมือที่มีราคาแพงจะทำให้ผู้ผลิตคำบรรยายต้องลงทุนสูง

2) เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายต้องสามารถอ่านรหัสเวลาได้ เพราะ หากไม่มีรหัสเวลาแล้ว กระบวนการแทรกคำบรรยายจะเป็นไปอย่างยากลำบาก เนื่องจากไม่สามารถกำหนดเวลาแทรกคำบรรยายให้ตรงกับเวลาในเทปวีดิทัศน์ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้กระบวนการแทรกคำบรรยายเป็นไปอย่างล้าช้า

นอกจากนี้เครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นควรมีการวัดคุณภาพเชิงปริมาณเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณภาพของเครื่องที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องที่มีขายตามท้องตลาดในต่างประเทศได้ ซึ่งการวิจัยก่อนหน้านี้ยังไม่มีข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พัฒนาเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ ภาษาไทย-อังกฤษ ที่มีสมบัติคือ

- ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ XA-G49 ในการควบคุม
- สัญญาณวีดีทัศน์ขาเข้าเป็นสัญญาณ 1 V_{p-p} แบบ Composite Video
- สัญญาณวีดีทัศน์ขาออกเป็นสัญญาณ 1 V_{p-p} แบบ Composite Video
- สามารถแทรกข้อมูล PAL Line 18 Close Caption Video ได้
- การกำหนดเวลาแทรกคำบรรยายเลือกใช้สัญญาณ LTC หรือการนับจากสัญญาณภาพก็ได้
- Insertion Jitter ต่ำกว่า +/- 15 ns
- Differential Gain ต่ำกว่า 2%
- Differential Phase ต่ำกว่า 2°

1.4.2 พัฒนาโปรแกรมช่วยสร้างและแทรกคำบรรยายแบบซ่อนได้ ภาษาไทย-อังกฤษ บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีคุณสมบัติคือ

- ทำงานบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์ 98 หรือ ไมโครซอฟท์วินโดวส์ 2000 ขึ้นไป
- สร้างคำบรรยายได้ไม่จำกัดจำนวนวรรคของคำบรรยาย
- สามารถเปิดแฟ้มวีดีทัศน์แบบ MPEG-1 หรือ VCD ได้เพื่อประกอบการถอดคำบรรยายภาพได้
- สามารถจำลองการแสดงผลของรายการหลังทำการแทรกคำบรรยายแล้วได้
- สามารถนำคำบรรยายที่สร้างขึ้นแล้วส่งไปยังเครื่องเข้ารหัสเพื่อแทรกเข้าในสัญญาณวิดีทัศน์ได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ผู้ผลิตรายการโทรทัศน์สามารถสร้างรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้ภาษาไทย-อังกฤษด้วยความสะดวกยิ่งขึ้น

1.5.2 เป็นประโยชน์ต่อผู้พิการทางหูในการรับรู้ข่าวสารจากรายการโทรทัศน์

1.5.3 ทำให้เกิดความรู้ ความเข้าใจทางด้านวงจรวีดิทัศน์ขึ้นในประเทศไทย

1.6 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.6.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณ PAL 18 Closed Caption และสัญญาณรหัสเวลาแบบ LTC

1.6.2 ศึกษาโครงสร้างเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพและทดลองใช้โปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยายภาพแบบที่เคยมีการออกแบบเพื่อวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสีย

1.6.3 ออกแบบและพัฒนาเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ภาษาไทย-อังกฤษ โดยใช้สัญญาณ LTC

1.6.4 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมช่วยสร้างไฟล์คำบรรยายและจำลองการแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

1.6.5 ทดสอบและวัดผลการทำงานของระบบเข้ารหัสคำบรรยายที่ได้พัฒนาขึ้น

1.6.6 เขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งการนำเสนอเนื้อหาเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนแรกคือ บทที่ 2 ซึ่งกล่าวถึงความรู้และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบแทรกคำบรรยายด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ได้แก่ ขั้นตอนการผลิตรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้ ข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณโทรทัศน์และรหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ ข้อมูลรหัสเวลาแบบ LTC และการใช้ UML เพื่ออธิบายการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ

ในบทที่ 3 กล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบเครื่องเข้ารหัสคำบรรยาย ในด้านฮาร์ดแวร์ เช่น แผนภาพบล็อกของวงจรส่วนต่างๆ เป็นต้น และกล่าวถึงรายละเอียดในด้านซอฟต์แวร์ เช่น ผังงานของโปรแกรมในเครื่องเข้ารหัส เป็นต้น

ส่วนบทที่ 4 กล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบโปรแกรม Caption Studio ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนาคลาสพื้นฐานสำหรับการจัดการกลุ่มคำบรรยายแบบซ่อนได้ และส่วนติดต่อผู้ใช้

เนื้อหาบทสุดท้ายคือบทที่ 5 ซึ่งเสนอผลการทดสอบระบบเข้ารหัสคำบรรยายด้วยเครื่อมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่พัฒนาขึ้น โดยทดสอบในแง่มุมต่างๆ และเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีในตลาด ส่วนท้ายของบทนี้คือสรุปผลและข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้

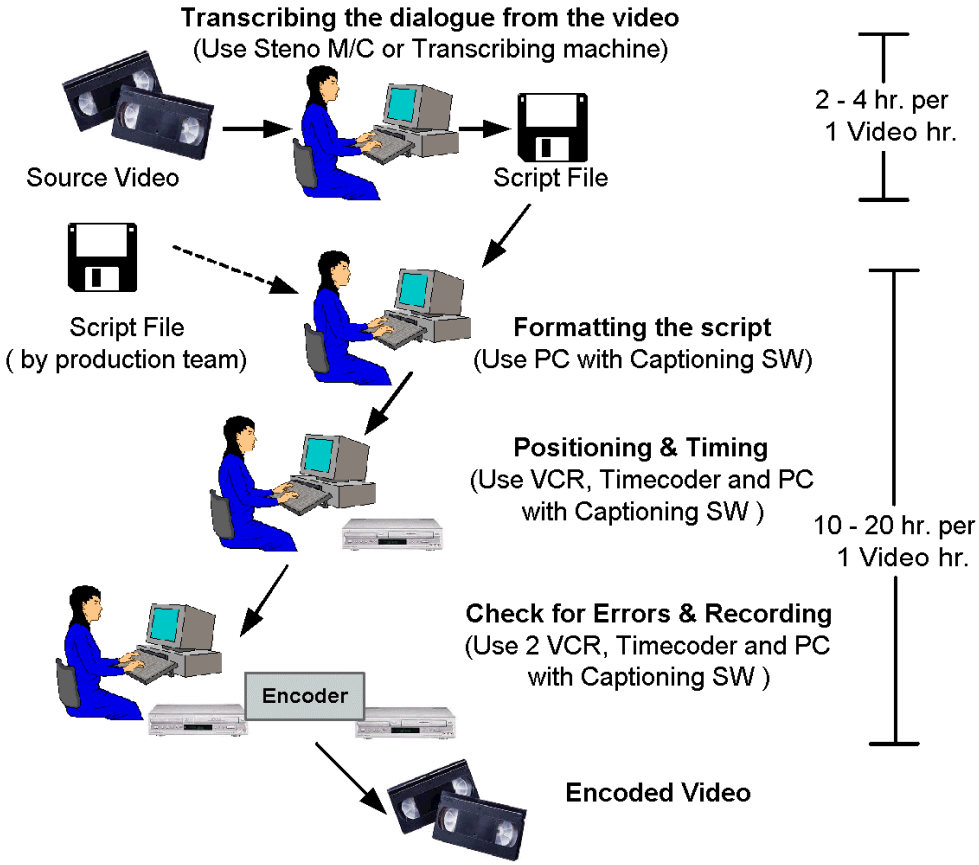
บทที่ 2

งานวิจัยและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสร้างรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้

การซ่อนคำบรรยายจะมี 2 ฝ่ายที่เกี่ยวข้อง คือ ฝ่ายผู้ชมที่รับชมรายการโทรทัศน์จากเครื่องโทรทัศน์ที่มีเครื่องถอดรหัสคำบรรยาย และฝ่ายสถานีส่งที่ถ่ายทอดข้อมูลคำบรรยายซึ่งเข้ารหัสแล้วออกมาพร้อมๆ กับสัญญาณภาพ ข้อมูลคำบรรยายที่ถูกถ่ายทอดออกไปอาจมีที่มาจากการพิมพ์อย่างทันทีทันใด (Online Caption) ในกรณีของรายการสด หรืออาจจะเป็นการเตรียมคำบรรยายไว้ (Offline Caption) ในกรณีที่มีการบันทึกรายการล่วงหน้าก่อนออกอากาศ

การสร้างคำบรรยายสำหรับรายการที่เตรียมการล่วงหน้าก่อนออกอากาศ (Offline Caption) จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน [2] ดังแสดงเป็นแผนผังดังรูปที่ 2.1 แต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตคำบรรยายแบบซ่อนได้ [2]

2.1.1 คัดลอกคำบรรยายจากวีดีทัศน์ (Transcribing the dialogue from the video)

เป็นขั้นตอนแรกของการสร้างคำบรรยาย ผู้ผลิตรายการจำเป็นต้องคัดลอกบทสนทนา หรือถอดเสียงจากรายการมาเป็นข้อความหรือแฟ้มข้อมูล (Script file) ซึ่งในกรณีที่บทสนทนาถูกเตรียมมาก่อนโดยมีข้อมูลแล้วก็ไม่จำเป็นต้องทำขั้นตอนนี้ แต่ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลบทสนทนา ผู้ผลิตรายการต้องใช้การถอดเทปซึ่งทำได้หลายวิธี วิธีที่เร็วที่สุดที่ใช้ในต่างประเทศ คือการใช้เครื่อง Steno machine ซึ่งคล้ายเครื่องพิมพ์ดีดแต่ออกแบบให้มีแป้นน้อยกว่าและสามารถใช้บันทึกบนสนทนาได้อย่างรวดเร็ว โดยจะใช้เวลาถอดเสียงได้ประมาณ 2 ชั่วโมงต่อรายการ 1 ชั่วโมง แต่ผู้ทำต้องมีความชำนาญในการพิมพ์เครื่อง Steno machine

วิธีที่ประหยัดกว่า คือ การบันทึกเฉพาะเสียงของรายการลงบนเทปบันทึกเสียงแล้วนำมาเล่นบนเครื่องเล่นเทปสำหรับถอดเสียง (Transcribing machine) เครื่องเล่นเทปแบบนี้สามารถใช้เท้าช่วยควบคุมการสั่งงานได้ โดยถ้าใช้วิธีนี้จะใช้เวลาถอดเสียง 3-4 ชั่วโมงต่อรายการยาว 1 ชั่วโมง และจะยากขึ้นในกรณีเสียงที่ได้ยินมีเสียงรบกวนมาก

วิธีที่สุดท้ายซึ่งไม่มีประสิทธิภาพนักคือการใช้นักพิมพ์ดีดคอยเล่นเครื่องเล่นเทปวีดิทัศน์แล้วพิมพ์บทสนทนาลงไป แต่เนื่องจากผู้พิมพ์ต้องควบคุม เครื่องเล่นวีดิทัศน์ และพิมพ์คำบรรยาย ทำให้ต้องใช้เวลากว่า 10 ชั่วโมงเพื่อถอดเสียงรายการที่ยาวประมาณ 1 ชั่วโมง

2.1.2 การจัดรูปแบบคำบรรยาย (Formatting the script)

เป็นขั้นตอนที่นำคำบรรยายที่ได้มาไปจัดรูปแบบเป็นบรรทัด บรรทัดละไม่เกิน 32 ตัวอักษร โดยจัดเป็นวรรคที่มีความยาวพอควรเพื่อให้ผู้อ่านสามารถอ่าน ติดตามและทำความเข้าใจได้ง่าย

2.1.3 วางตำแหน่งบนภาพและจัดเวลาแสดงผล (Positioning and timing each line of dialogue block)

เป็นขั้นตอนที่ผู้สร้างคำบรรยายต้องฟังบทสนทนาและตัดสินใจว่าจะวางบทสนทนาลงบนจอให้เหมาะสมเพื่อให้อ่านง่ายและไม่บดบังส่วนประกอบของภาพที่สำคัญ ในขั้นตอนนี้ผู้สร้างจะใช้ซอฟต์แวร์สร้างคำบรรยาย (Captioning Software) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องอ่านรหัสเวลามาช่วยทำงาน โดยผู้สร้างคำบรรยายต้องเล่นเทปรายการและกดปุ่มแทรกคำบรรยายในซอฟต์แวร์เมื่อพบกับบทสนทนา ซอฟต์แวร์จะอ่านรหัสเวลาขณะนั้นและบันทึกลงไป หากไม่มีอุปกรณ์อ่านรหัสเวลาติดตั้ง การจัดเวลาแสดงผลในลักษณะจดและบันทึกเวลาด้วยตนเองจะทำให้เสียเวลามาก และอาจผิดพลาดได้ง่าย ผลลัทธ์ที่ได้หลังจากขั้นตอนนี้ก็คือแฟ้มคำบรรยายที่สามารถนำไปตรวจทานได้

2.1.4 ตรวจทานและบันทึกลงเทป (Check for errors and Recording)

เป็นขั้นตอนที่นำแฟ้มคำบรรยายมาทดสอบบนเครื่องเข้ารหัสเพื่อดูผลลัพธ์ และหากมีจุดใดไม่เหมาะสมก็สามารถแก้ไขได้ เมื่อแก้ไขเรียบร้อยแล้วก็นำบันทึกลงเทปอีกม้วนเพื่อนนำไปออกอากาศต่อไป

ถ้าไม่รวมขั้นตอนคัดลอกคำบรรยายจากวีดิทัศน์แล้ว ขั้นตอนที่เหลือทั้งหมดอาจใช้เวลาตั้งแต่ 10 – 20 ชั่วโมงต่อรายการ 1 ชั่วโมงโดยขึ้นกับความซับซ้อน และประเภทของรายการ จะเห็นได้ว่ากว่าจะได้มาซึ่งคำบรรยายที่สมบูรณ์ ผู้ผลิตจำเป็นต้องใช้งานเครื่องมือราคาสูง เช่น เครื่องเล่นเทปวีดิทัศน์ที่มีรหัสเวลา เป็นเวลานานหลายชั่วโมงเพื่อผลิตคำบรรยาย จึงเป็นการประหยัดและสะดวกกว่าหากเปลี่ยนเทปรายการต้นฉบับเป็นแฟ้มวีดิทัศน์ (Video File) แล้วใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีราคาถูกและหาได้ง่ายเพื่อสร้างและจัดการคำ

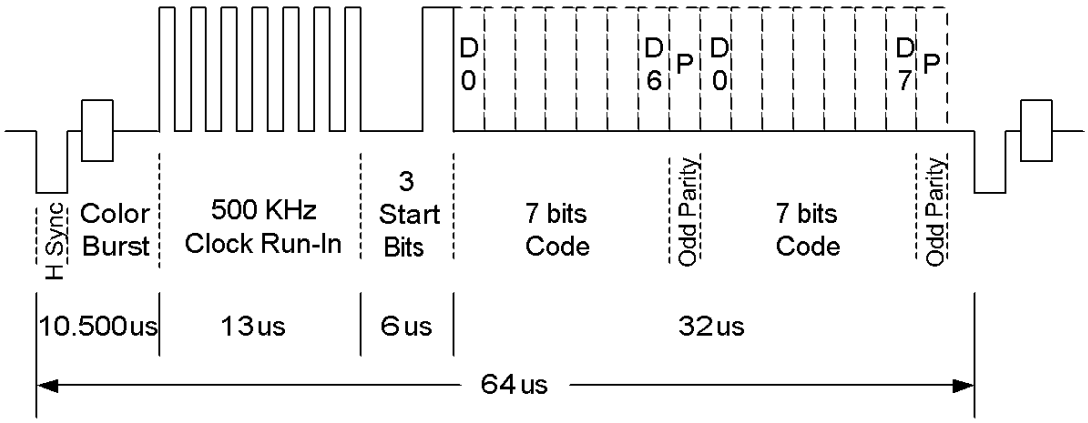
บรรยาย รวมทั้งการจำลองการทำงานแทนเพราะต้นทุนต่ำกว่า ส่วนเครื่องเข้ารหัสจะถูกใช้เฉพาะเมื่อต้องการบันทึกเทปเพื่อออกอากาศเท่านั้น

2.2 สัญญาณ PAL Line 18 Closed Caption Video

เนื่องจากโทรทัศน์ระบบ PAL นั้นไม่มีมาตรฐานของระบบคำบรรยายแบบซ่อนได้ ห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบและประยุกต์วงจรรวม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงได้เสนอให้ส่งข้อมูลคำบรรยายแบบซ่อนได้บนเส้นที่ 18 ของสัญญาณโทรทัศน์แบบ PAL และลักษณะของสัญญาณจะคล้ายกับสัญญาณคำบรรยายแบบซ่อนได้ของระบบโทรทัศน์แบบ NTSC จึงเรียกมาตรฐานนี้ว่า PAL Line 18 Closed Caption Video

สัญญาณ PAL Line 18 Closed Caption Video นั้นจะเกิดขึ้นที่เส้นที่ 18 ของสัญญาณวีดิทัศน์แบบ PAL และมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย

1) สัญญาณนาฬิกา (Clock Run-in) ความถี่ 500 KHz จำนวน 6 คาบครึ่ง ซึ่งมีพัลส์จำนวน 7 ลูก เพื่อเป็นสัญญาณเข้าจังหวะแก่วงจรถอดรหัส
2) บิตเริ่ม (Start Bits) 3 บิต ที่มีค่าเป็น “001” สำหรับระบุการเริ่มต้นข้อมูลที่จะตามมา
3) ข้อมูลคำบรรยายภาพ (Caption Data) ขนาด 8 บิต 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยรหัสขนาด 7 บิต กับ พาริตี้บิตชนิดเสมอคี่ (Odd Parity Bit) อีก 1 บิต



รูปที่ 2.2 ลักษณะสัญญาณ PAL Line 18 Closed Caption Video

นอกเหนือจากกำหนดมาตรฐานสัญญาณรหัสคำบรรยายภาพซึ่งใช้สำหรับการผลิตรายการแล้ว ระบบ PAL Line 18 CC System ยังกำหนดมาตรฐานสำหรับการแสดงผลอีกด้วย กล่าวคือการแสดงผลจะต้องแสดงได้ 2 ภาษา คือ ไทยและอังกฤษ และแบ่งจอภาพเพื่อแสดงคำบรรยายได้สูงสุด 15 แถว ๆ ละ 32 คอลัมน์ แต่การแสดงคำบรรยายแต่ละครั้งจะแสดงเพียงบางแถวเท่านั้นเพื่อมิให้ข้อความบังภาพมากเกินไป

2.3 รหัสต่าง ๆ ที่ใช้กับการซ่อนคำบรรยาย

รหัสขนาด 7 บิต ที่แทรกอยู่ในเส้นกวาดที่ 18 ของสัญญาณวีดิทัศน์ระบบ PAL จะมีค่าและความหมายเช่นเดียวกับรหัสที่ใช้ในระบบ NTSC Line 21 CC Video ทุกประการ ยกเว้นส่วนที่เกี่ยวกับภาษาไทยเท่านั้น กล่าวคือรหัสเหล่านี้จะถูกจำแนกตามหน้าที่การใช้งานได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

2.3.1 รหัสแสดงผล (Display Code) มีค่าตั้งแต่ 20_H จนถึง FF_H เท่านั้น และใช้เพียง 1 รหัส ต่อการแสดงตัวอักษรหนึ่ง 1 ตัว ในแต่ละภาษา คือ อังกฤษ ในช่อง CC1 และไทยในช่อง CC2 รหัสแสดงผลที่เลือกใช้ในโครงการวิจัยนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน ส.ม.อ. ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 รหัสแสดงผลภาษาอังกฤษในช่อง CC1

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
0																	ไม่ใช้
1																	
2		!	"	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/	
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?	
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_	
6	`	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
7	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~		

ตารางที่ 2.2 รหัสแสดงผลภาษาไทยในช่อง CC2

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	
0																	ไม่ใช้
1																	
2		ก	ข	ฃ	ค	ฅ	ฆ	ง	จ	ฉ	ช	ซ	ฌ	ญ	ฎ	ฏ	
3	ฐ	ฑ	ฒ	ณ	ด	ต	ถ	ท	ธ	น	บ	ป	ผ	ฝ	พ	ฟ	
4	ภ	ม	ย	ร	ฤ	ล	ฦ	ว	ศ	ษ	ส	ห	ฬ	อ	ฮ	ฯ	
5	ะ	ั	า	ำ	ิ	ี	ึ	ื	ุ	ู						฿	
6	เ	แ	โ	ใ	ไ	ๅ	ๆ	็	่	้	๊	๋	์	๎	๏	๚	
7	๐	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙	๚						

2.3.2 *รหัสควบคุม (Control Code)* ใช้ 2 รหัส ต่อการควบคุม 1 แบบ ตัวแรกจะมีค่าระหว่าง 10Hถึง 17H สำหรับช่อง CC1 และระหว่าง 18H จนถึง 1FH สำหรับช่อง CC2 รหัสทั้ง 2 ตัวนี้จะต้องอยู่ในเส้นกวาดเดียวกัน และระบบควรแทรกรหัสควบคุมซ้ำติดกัน 2 ครั้งเพื่อกันความผิดพลาด รหัสนี้แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ รหัสตำแหน่งเริ่มต้น, รหัสกลางบรรทัด และรหัสควบคุมเบ็ดเตล็ด ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) *<u>รหัสตำแหน่งเริ่มต้น</u> (Preamble Address Code)* เป็นรหัสกำหนดตำแหน่ง (cursor) เริ่มต้นของบรรทัดพร้อมกำหนดสีและลักษณะตัวอักษรบางชนิดไปในตัว ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รหัสตำแหน่งเบื้องต้น (Preamble Address Code)

	บรรทัดคำบรรยายภาพที่														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ข้อมูลไบต์ที่ 1															
ช่องสัญญาณ CC1 หรือ T1	11H	11H	12H	12H	15H	15H	16H	16H	17H	17H	10H	13H	13H	14H	14H
ช่องสัญญาณ CC2 หรือ T2	19H	19H	1AH	1AH	1DH	1DH	1EH	1EH	1FH	1FH	18H	1BH	1BH	1CH	1CH
ข้อมูลไบต์ที่ 2															
ย่อหน้า 0 สีขาว	40H	60H	40H	60H	40H	60H	40H	60H	40H	60H	40H	40H	60H	40H	60H
ย่อหน้า 0 สีขาว ขีดเส้นใต้	41H	61H	41H	61H	41H	61H	41H	61H	41H	61H	41H	41H	61H	41H	61H
ย่อหน้า 0 สีเขียว	42H	62H	42H	62H	42H	62H	42H	62H	42H	62H	42H	42H	62H	42H	62H
ย่อหน้า 0 สีเขียว ขีดเส้นใต้	43H	63H	43H	63H	43H	63H	43H	63H	43H	63H	43H	43H	63H	43H	63H
ย่อหน้า 0 สีน้ำเงิน	44H	64H	44H	64H	44H	64H	44H	64H	44H	64H	44H	44H	64H	44H	64H
ย่อหน้า 0 สีน้ำเงิน ขีดเส้นใต้	45H	65H	45H	65H	45H	65H	45H	65H	45H	65H	45H	45H	65H	45H	65H
ข้อมูลไบต์ที่ 1															
ช่องสัญญาณ CC1 หรือ T1	11H	11H	12H	12H	15H	15H	16H	16H	17H	17H	10H	13H	13H	14H	14H
ช่องสัญญาณ CC2 หรือ T2	19H	19H	1AH	1AH	1DH	1DH	1EH	1EH	1FH	1FH	18H	1BH	1BH	1CH	1CH
ข้อมูลไบต์ที่ 2															
ย่อหน้า 0 สีฟ้า	46H	66H	46H	66H	46H	66H	46H	66H	46H	66H	46H	46H	66H	46H	66H
ย่อหน้า 0 สีฟ้า ขีดเส้นใต้	47H	67H	47H	67H	47H	67H	47H	67H	47H	67H	47H	47H	67H	47H	67H
ย่อหน้า 0 สีแดง	48H	68H	48H	68H	48H	68H	48H	68H	48H	68H	48H	48H	68H	48H	68H
ย่อหน้า 0 สีแดง ขีดเส้นใต้	49H	69H	49H	69H	49H	69H	49H	69H	49H	69H	49H	49H	69H	49H	69H
ย่อหน้า 0 สีเหลือง	4AH	6AH	4AH	6AH	4AH	6AH	4AH	6AH	4AH	6AH	4AH	4AH	6AH	4AH	6AH
ย่อหน้า 0 สีเหลือง ขีดเส้นใต้	4BH	6BH	4BH	6BH	4BH	6BH	4BH	6BH	4BH	6BH	4BH	4BH	6BH	4BH	6BH
ย่อหน้า 0 สีม่วง	4CH	6CH	4CH	6CH	4CH	6CH	4CH	6CH	4CH	6CH	4CH	4CH	6CH	4CH	6CH
ย่อหน้า 0 สีม่วง ขีดเส้นใต้	4DH	6DH	4DH	6DH	4DH	6DH	4DH	6DH	4DH	6DH	4DH	4DH	6DH	4DH	6DH
ย่อหน้า 0 สีขาว ตัวเอียง	4EH	6EH	4EH	6EH	4EH	6EH	4EH	6EH	4EH	6EH	4EH	4EH	6EH	4EH	6EH
ย่อหน้า 0 สีขาว ตัวเอียง ขีดเส้นใต้	4FH	6FH	4FH	6FH	4FH	6FH	4FH	6FH	4FH	6FH	4FH	4FH	6FH	4FH	6FH
ย่อหน้า 0 สีขาว	50H	70H	50H	70H	50H	70H	50H	70H	50H	70H	50H	50H	70H	50H	70H
ย่อหน้า 0 สีขาว ขีดเส้นใต้	51H	71H	51H	71H	51H	71H	51H	71H	51H	71H	51H	51H	71H	51H	71H
ย่อหน้า 4 สีขาว	52H	72H	52H	72H	52H	72H	52H	72H	52H	72H	52H	52H	72H	52H	72H
ย่อหน้า 4 สีขาว ขีดเส้นใต้	53H	73H	53H	73H	53H	73H	53H	73H	53H	73H	53H	53H	73H	53H	73H
ย่อหน้า 8 สีขาว	54H	74H	54H	74H	54H	74H	54H	74H	54H	74H	54H	54H	74H	54H	74H
ย่อหน้า 8 สีขาว ขีดเส้นใต้	55H	75H	55H	75H	55H	75H	55H	75H	55H	75H	55H	55H	75H	55H	75H
ย่อหน้า 12 สีขาว	56H	76H	56H	76H	56H	76H	56H	76H	56H	76H	56H	56H	76H	56H	76H
ย่อหน้า 12 สีขาว ขีดเส้นใต้	57H	77H	57H	77H	57H	77H	57H	77H	57H	77H	57H	57H	77H	57H	77H
ย่อหน้า 16 สีขาว	58H	78H	58H	78H	58H	78H	58H	78H	58H	78H	58H	58H	78H	58H	78H
ย่อหน้า 16 สีขาว ขีดเส้นใต้	59H	79H	59H	79H	59H	79H	59H	79H	59H	79H	59H	59H	79H	59H	79H
ย่อหน้า 20 สีขาว	5AH	7AH	5AH	7AH	5AH	7AH	5AH	7AH	5AH	7AH	5AH	5AH	7AH	5AH	7AH
ย่อหน้า 20 สีขาว ขีดเส้นใต้	5BH	7BH	5BH	7BH	5BH	7BH	5BH	7BH	5BH	7BH	5BH	5BH	7BH	5BH	7BH
ย่อหน้า 24 สีขาว	5CH	7CH	5CH	7CH	5CH	7CH	5CH	7CH	5CH	7CH	5CH	5CH	7CH	5CH	7CH
ย่อหน้า 24 สีขาว ขีดเส้นใต้	5DH	7DH	5DH	7DH	5DH	7DH	5DH	7DH	5DH	7DH	5DH	5DH	7DH	5DH	7DH
ย่อหน้า 28 สีขาว	5EH	7EH	5EH	7EH	5EH	7EH	5EH	7EH	5EH	7EH	5EH	5EH	7EH	5EH	7EH
ย่อหน้า 28 สีขาว ขีดเส้นใต้	5FH	7FH	5FH	7FH	5FH	7FH	5FH	7FH	5FH	7FH	5FH	5FH	7FH	5FH	7FH

2) *<u>รหัสกลางบรรทัด</u> (Mid Row Code)* เป็นรหัสสำหรับเปลี่ยนสีกับลักษณะตัวอักษรที่ ตามมาดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยสีกับลักษณะจะมีลำดับความสำคัญต่างกัน หากเป็นรหัสควบคุมที่สั่งให้เปลี่ยนสี จะหยุดการแสดงอักษรตัวเอียง แต่หากเป็นรหัสควบคุมที่สั่งให้แสดงตัวเอียงจะยังคงมีสีเดิม สำหรับรหัสควบคุมที่สั่งให้แสดงอักษรตัวขีดเส้นใต้จะไม่มีผลกับการแสดงสีและอักษรตัวเอียง

ตารางที่ 2.4 รหัสกลางบรรทัด (Mid Row Code)

ช่องสัญญาณข้อมูล CC1 หรือ T1		ช่องสัญญาณข้อมูล CC2 หรือ T2		
ข้อมูลไบต์ที่ 1	ข้อมูลไบต์ที่ 2	ข้อมูลไบต์ที่ 1	ข้อมูลไบต์ที่ 2	สีกับลักษณะตัวอักษร
11H	20H	19H	20H	ตัวตรง สีขาว
11H	21H	19H	21H	ตัวตรง สีขาว ขีดเส้นใต้
11H	22H	19H	22H	ตัวตรง สีเขียว
11H	23H	19H	23H	ตัวตรง สีเขียว ขีดเส้นใต้
11H	24H	19H	24H	ตัวตรง สีน้ำเงิน
11H	25H	19H	25H	ตัวตรง สีน้ำเงิน ขีดเส้นใต้
11H	26H	19H	26H	ตัวตรง สีฟ้า
11H	27H	19H	27H	ตัวตรง สีฟ้า ขีดเส้นใต้
11H	28H	19H	28H	ตัวตรง สีแดง
11H	29H	19H	29H	ตัวตรง สีแดง ขีดเส้นใต้
11H	2AH	19H	2AH	ตัวตรง สีเหลือง
11H	2BH	19H	2BH	ตัวตรง สีเหลือง ขีดเส้นใต้
11H	2CH	19H	2CH	ตัวตรง สีม่วง
11H	2DH	19H	2DH	ตัวตรง สีม่วง ขีดเส้นใต้
11H	2EH	19H	2EH	ตัวเอียง ไม่เปลี่ยนสี
11H	2FH	19H	2FH	ตัวเอียง ไม่เปลี่ยนสี ขีดเส้นใต้

3) <u>*รหัสควบคุมเบ็ดเตล็ด*</u> *(Miscellaneous Control Code)* เป็นรหัสควบคุมการแสดงผลอื่น ๆ ของเครื่องถอดรหัส ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รหัสควบคุมเบ็ดเตล็ด

ช่องสัญญาณข้อมูล CC1 หรือ T1		ช่องสัญญาณข้อมูล CC2 หรือ T2			
ข้อมูลไบต์ที่ 1	ข้อมูลไบต์ที่ 2	ข้อมูลไบต์ที่ 1	ข้อมูลไบต์ที่ 2	รหัสควบคุมเบ็ดเตล็ด	คำย่อ
14H	20H	1CH	20H	Resume Caption Loading	RCL
14H	21H	1CH	21H	Backspace	BS
14H	22H	1CH	22H	Reserved (formerly Alarm Off)	AOF
14H	23H	1CH	23H	Reserved (formerly Alarm On)	AON
14H	24H	1CH	24H	Delete to End of Row	DER
14H	25H	1CH	25H	Roll Up Caption 2 Rows	RU2
14H	26H	1CH	26H	Roll Up Caption 3 Rows	RU3
14H	27H	1CH	27H	Roll Up Caption 4 Rows	RU4
14H	28H	1CH	28H	Flash On	FON
14H	29H	1CH	29H	Resume Direct Captioning	RDC
14H	2AH	1CH	2AH	Text Restart	TR
14H	2BH	1CH	2BH	Resume Text Display	RTD
14H	2CH	1CH	2CH	Erase Displayed Memory	EDM
14H	2DH	1CH	2DH	Carriage Return	CR
14H	2EH	1CH	2EH	Erase Non Displayed Memory	ENM
14H	2FH	1CH	2FH	End of Caption (Flip Memories)	EOC
17H	21H	1FH	21H	Tab Offset 1 Column	TO1
17H	22H	1FH	22H	Tab Offset 2 Columns	TO2
17H	23H	1FH	23H	Tab Offset 3 Columns	TO3

2.4 การวัดคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์

มาตรฐาน ITU-T J.61 (เดิมคือ CCIR 567) “Transmission Performance of Television Circuit Designed for Use in International Connections” [2] แบ่งข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของสัญญาณโทรทัศน์ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่

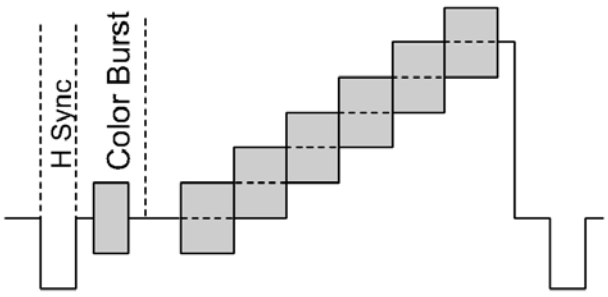
1) ข้อกำหนดด้านอัตราขยาย (Insertion Gain)
2) ข้อกำหนดด้านสัญญาณรบกวน (Noise)
3) ข้อกำหนดด้านการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ (Cross-talk form another channel)
4) ข้อกำหนดด้านความเพี้ยนแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear Distortion)
5) ข้อกำหนดด้านเพี้ยนแบบเชิงเส้น (Linear Distortion)

แต่จากการศึกษาจะพบว่าอุปกรณ์ที่ทำงานเกี่ยวกับสัญญาณโทรทัศน์ เช่น เครื่องเข้ารหัสคำบรรยาย มักระบุข้อกำหนดเพียงบางข้อเท่านั้นและที่พบเห็นได้บ่อยครั้งคือ ค่า ผลต่างอัตราขยาย (Differential Gain) และผลต่างเฟส (Differential Phase) ซึ่งเป็นความเพี้ยนแบบไม่เชิงเส้นอย่างหนึ่ง ดังนั้นการวัดคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเพียงบางค่าที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดของคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์อันได้แก่ ผลต่างอัตราขยาย, ผลต่างเฟส และ ลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ (Gain/Frequency Characteristic) ข้อกำหนดเหล่านี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 ผลต่างอัตราขยาย (Differential Gain)

ผลต่างอัตราขยายนั้นจัดอยู่ในกลุ่มค่าความเพี้ยนแบบไม่เป็นเชิงเส้น ประเภทการมอดูเลทสัญญาณร่วมจากสัญญาณความสว่างไปยังสัญญาณสี (Intermodulation from the luminance signal to chrominance signal) นิยามของผลต่างอัตราขยายตามมาตรฐาน ITU-T J.61 กำหนดว่า ถ้าสัญญาณขาเข้ามีขนาดพาหะย่อยสัญญาณสี (Chrominance sub-carrier) คงที่แล้ว ค่าผลต่างอัตราขยาย คือ การเปลี่ยนขนาดของพาหะย่อยสัญญาณสีที่ขาออกของวงจร เมื่อระดับความสว่างเปลี่ยนค่าจากสีดำไปถึงสีขาว

วงจรขยายสัญญาณวีดิทัศน์มีค่าผลต่างอัตราขยายจะส่งผลให้ภาพวีดิทัศน์ขาออกที่ได้มีความอิ่มตัวของสีไม่ถูกต้องและมักสังเกตเห็นผลของความผิดพลาดนี้ได้ง่ายในสีแดงและสีเหลือง [4]



รูปที่ 2.3 สัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลตพาหะย่อยสัญญาณสี

วิธีวัดค่าผลต่างอัตราขยายของวงจรวิธีหนึ่งทำได้โดยป้อนสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลตพาหะย่อยสัญญาณสีขนาดคงที่ (Modulated Staircase) ดังรูปที่ 2.3 เข้าสู่วงจร วัดขนาดของพาหะย่อยสัญญาณสีขาออกที่ระดับต่างๆ บนขั้นบันได ค่าผลต่างอัตราขยายมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ตามการคำนวณเป็นไปดังนี้

ให้ x แทนค่าผลต่างอัตราขยายที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายถึงพาหะย่อยสัญญาณสีมีขนาดใหญ่ขึ้น และ y แทนค่าผลต่างอัตราขยายที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงพาหะย่อยสัญญาณสีมีขนาดเล็กลง

$$x = 100 \cdot \left| \frac{A_{\max}}{A_0} - 1 \right| \qquad y = 100 \cdot \left| \frac{A_{\min}}{A_0} - 1 \right|$$

ให้ x+y แทนค่าผลต่างอัตราขยายแบบยอดถึงยอด

$$x + y = 100 \cdot \left| \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_0} \right|$$

โดยกำหนดให้

A_{max} คือขนาดพาหะย่อยสัญญาณสีที่ใหญ่ที่สุดในสัญญาณขั้นบันได

A_{min} คือขนาดพาหะย่อยสัญญาณสีที่เล็กที่สุดในสัญญาณขั้นบันได

A_0 คือขนาดพาหะย่อยสัญญาณสีที่ระดับแรงดันสีดำ

มาตรฐาน ITU-T J.61 กำหนดขอบเขตของผลต่างอัตราขยายไว้ดังนี้ คือ x น้อยกว่า 10 % และ y น้อยกว่า 10% และ x + y น้อยกว่า 12 %

2.4.2 ผลต่างเฟส (Differential Phase)

ผลต่างเฟสจัดอยู่ในกลุ่มค่าความเพี้ยนแบบไม่เป็นเชิงเส้นประเภทการมอดูเลทสัญญาณร่วมจากสัญญาณความสว่างไปยังสัญญาณสี (Intermodulation from the luminance signal to chrominance signal) เช่นเดียวกับผลต่างอัตราขยาย นิยามของผลต่างเฟสตามมาตรฐาน ITU-T J.61 กำหนดว่า ถ้าสัญญาณขาเข้ามีขนาดพาหะย่อยสัญญาณสี (Chrominance sub-carrier) คงที่ ผลต่างเฟสของ คือ การเปลี่ยนเฟสของพาหะย่อยสัญญาณสีที่ขาออกของวงจร เมื่อความระดับสว่างเปลี่ยนค่าจากสีดำไปถึงสีขาว

ผู้ชมมักไม่รู้สึกถึงความผิดปกติใดๆ ในการชมรายการจากสัญญาณวีดิทัศน์ที่มีค่าผลต่างเฟสอยู่ไม่มาก เนื่องจากเครื่องรับโทรทัศน์ในปัจจุบันใช้ระบบถอดรหัสด้วยสายหน่วงเวลา (Delay line decoder) ที่สามารถกำจัดผลการเลื่อนเฟสของสัญญาณสี เป็นผลให้ผู้ชมไม่สังเกตเห็นการเลื่อนของสี (Hue shift) ที่ผิดพลาด

การวัดค่าผลต่างเฟสทำได้โดยป้อนสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลตพาหะย่อยสัญญาณสีขนาดคงที่ดังรูปที่ 2.3 เข้าสู่วงจร วัดเฟสของพาหะย่อยสัญญาณสีขาออกที่ระดับต่างๆ บนขั้นบันได ผลต่างเฟสมีค่าเป็นองศาตามการคำนวณต่อไปนี้

ให้ x แทนค่าผลต่างเฟสที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายถึงพาหะย่อยสัญญาณสีมีเฟสมากขึ้น และ y แทนค่าผลต่างเฟสที่มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงพาหะย่อยสัญญาณสีมีเฟสต่ำลง

$$x = \left| \Phi_{\max} - \Phi_0 \right| \qquad y = \left| \Phi_{\min} - \Phi_0 \right|$$

ให้ x+y แทนค่าผลต่างเฟสแบบยอดถึงยอด

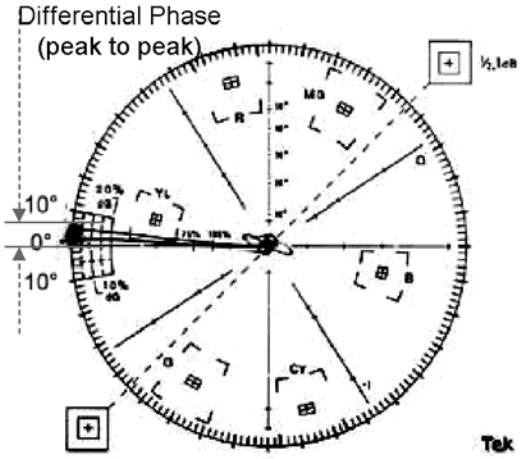
$$x + y = \left|\Phi_{\max} - \Phi_{\min}\right|$$

Φ_{max} คือเฟสของสัญญาณสีที่มากที่สุดในสัญญาณขั้นบันได

Φ_{min} คือเฟสของสัญญาณสีที่น้อยที่สุดในสัญญาณขั้นบันได

Φ_{0} คือเฟสของพาหะย่อยสัญญาณสีอ้างอิงที่ระดับแรงดันสีดำ

ตามมาตรฐาน ITU-T J.61 กำหนดขอบเขตของผลต่างเฟสไว้ดังนี้ คือ x น้อยกว่า 5° และ y น้อยกว่า 5° และ x + y น้อยกว่า 6°

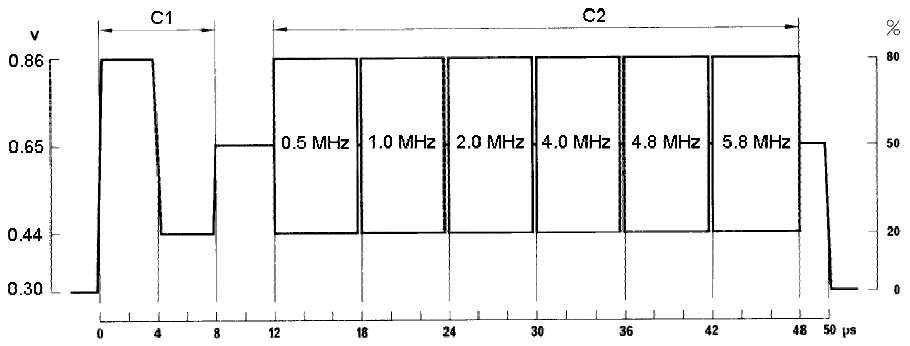


รูปที่ 2.4 วิธีการวัดค่าผลต่างเฟสจากเวกเตอร์สโคป

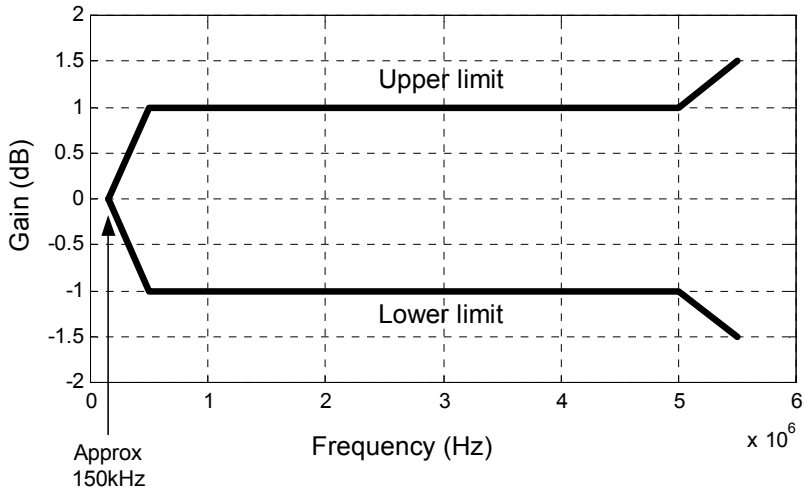
ในทางปฏิบัติการวัดค่าเฟสพาหะย่อยสัญญาณสีจะใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า เวกเตอร์สโคป เพื่อแสดงขนาดและเฟสของสัญญาณวีดีทัศน์ที่ถูกป้อนเข้าไป วิธีวัดค่าผลต่างเฟสจากภาพที่ปรากฏบนเวกเตอร์สโคปแสดงดังรูปที่ 2.4

2.4.3 ลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ (Gain/Frequency Characteristic)

มาตรฐาน ITU-T J.61 ให้นิยามของลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ว่าคือ ค่าอัตราขยายระหว่างสัญญาณเข้าและออกของวงจรบนช่วงความถี่ตั้งแต่ความถี่ของฟิลด์ภาพไปจนถึงความถี่คัทออฟของระบบ การวัดลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ทำได้โดยป้อนสัญญาณ CCIR 18 ดังรูปที่ 2.5 แล้วบันทึกขนาดสัญญาณออกยอดถึงยอด (Peak to Peak) ที่แต่ละช่วงของเส้นภาพ ผลลัพธ์จากการวัดจะทำให้ทราบขนาดของสัญญาณออกที่ความถี่ต่างๆ กันคือ 0.5 MHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 4.8 MHz และ 5.8 MHz ตามลำดับ เมื่อนำขนาดสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ มาเทียบกับขนาดยอดถึงยอดของสัญญาณอ้างอิงที่ช่วงต้น (ช่วง C1 จากรูปที่ 2.5) จะได้ข้อมูลลักษณะสมบัติของอัตราขยายกับความถี่ ซึ่งใช้พิจารณาว่าผ่านข้อกำหนดด้านคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์หรือไม่ โดยขอบเขตของข้อกำหนดตามมาตรฐาน ITU-T J.61 แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 สัญญาณทดสอบแบบ CCIR 18



รูปที่ 2.6 ขอบเขตของลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่
(Gain/Frequency Characteristic) ตามมาตรฐาน ITU-T J.61

2.5 รหัสเวลาแบบ LTC (Longitudinal Time Code)

รหัสเวลาคือข้อมูลเชิงเลขที่ถูกบันทึกร่วมกับสื่อของระบบวีดิทัศน์หรือระบบเสียงเพื่อช่วยการตัดต่อและเรียบเรียงภายหลัง [5] มาตรฐานของรหัสเวลามีหลายแบบ แบบหนึ่งที่นิยมคือรหัสเวลาแบบ LTC (Longitudinal Time Code) มาตรฐานรหัสเวลาแบบ LTC ถูกกำหนดขึ้นโดยทั้ง Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) ในประเทศสหรัฐอเมริกาสำหรับสัญญาณภาพแบบ NTSC และ EBU (European Broadcast Union) สำหรับสัญญาณภาพแบบ PAL รหัสเวลาแบบ LTC นี้สามารถบันทึกลงในช่องสัญญาณเสียงได้ดังนั้นจึงสามารถใช้งานเกี่ยวกับการตัดต่อเสียง หรือตัดต่อรายการวีดิทัศน์ตามมาตรฐานต่างๆ เช่น VHS หรือ Batacam เป็นต้น รหัสเวลา LTC มีค่าสูงสุดได้เท่ากับ 24 ชั่วโมง โดยแบ่งเก็บเป็นตัวเลขของ ชั่วโมง นาที วินาทีและหน่วยย่อยของวินาที โดยหน่วยย่อยนี้จะมีความละเอียดอยู่ที่ 1/25 วินาที สำหรับการทำงานกับระบบวีดีทัศน์แบบ PALหรือ 1/29.97 วินาที สำหรับระบบวีดิทัศน์แบบ NTSC

ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในรหัสเวลาแบบ LTC นั้นจะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ ดังนี้

1) กลุ่มบิตเวลา (Time Bits) จำนวน 26 บิต เพื่อระบุค่าเวลาของแต่ละเฟรมภาพ โดยแบ่งบันทึกเป็นรหัส BCD ของตัวเลขต่างๆ คือ ตัวเลขชั่วโมง (0 –23) ตัวเลขนาที (0-59) ตัวเลขวินาที (0-59) และตัวเลขเฟรม (0 – 24 ในกรณีของ PAL และ 0 – 29 ในกรณีของ NTSC)
2) กลุ่มบิตผู้ใช้ (User Bits) จำนวน 32 บิต แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 8 กลุ่มๆ ละ 4 บิต เพื่อให้ผู้ใช้บันทึกข้อมูลอื่นๆ เช่น วัน เดือน ปี หรือ เวลาสำรองชุดที่สอง หรือเลขประจำเครื่องเป็นต้น
3) กลุ่มเข้าจังหวะ (Synchronization Bits) จำนวน 16 บิต เรียกรวมกันว่า Sync Word และมีค่าคงที่คือ ‘1011 1111 1111 1100’
4) กลุ่มอื่นๆ จำนวน 6 บิต เช่น บิตทิ้งเฟรม (Drop Frame Bit) ใช้สำหรับปรับเวลาในวีดีทัศน์ระบบ NTSC ที่มีอัตราส่งภาพเท่ากับ 29.97 เฟรม/วินาที และบิตแก้เฟส เป็นต้น

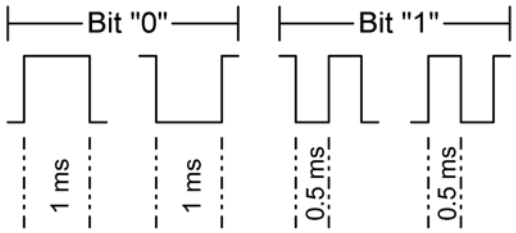
รายละเอียดและตำแหน่งของแต่ละบิตได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 โครงสร้างการเก็บข้อมูลของรหัสเวลาขนาด 80 บิต

ข้อมูลเวลา	บิตที่	ข้อมูลอื่นๆ
หลักหน่วยของเฟรม (Frame Units)	0 – 3	
	4 – 7	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 1 (User Group #1)
หลักสิบของเฟรม (Frame Tens)	8 – 9	
	10	บิตทิ้งเฟรม (Drop Frame Bit)
	11	บิตสีเฟรม (Colour Frame Bit)
	12 – 15	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 2 (User Group #2)
หลักหน่วยของวินาที (Seconds Units)	16 – 19	
	20 – 23	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 3 (User Group #3)
หลักสิบของวินาที (Seconds Tens)	24 – 26	
	27	บิตแก้เฟส Phase Correction Bit
	28 – 31	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 4 (User Group #4)
หลักหน่วยของนาที (Minutes Units)	32 – 35	
	36 – 39	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 5 (User Group #5)
หลักสิบของนาที (Minutes Tens)	40 – 42	
	43	บิตสำรอง Reserve Bit
	44 – 47	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 6 (User Group #6)
หลักหน่วยของชั่วโมง (Hours Units)	48 – 51	
	52 – 55	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 7 (User Group #7)
หลักสิบของชั่วโมง (Hours Tens)	56 – 57	
	58 – 59	ยังไม่ใช้ (Unassigned)
	60 – 63	ข้อมูลผู้ใช้กลุ่มที่ 7 (User Group #7)
	64 – 79	บิตเข้าจังหวะ (Synchronization Bits) มีค่าคงที่เท่ากับ ‘1011 1111 1111 1100’

สัญญาณแต่ละบิตของรหัสเวลาแบบ LTC จะถูกส่งเป็นสัญญาณเชิงเลขในลักษณะ Bi-phase mask [6] ดังรูปที่ 2.7 คือ สำหรับบิต ‘0’ จะเปลี่ยนระดับสัญญาณ 1 ครั้งใน 1 คาบเวลา ส่วนบิต ‘1’ จะเปลี่ยนระดับสัญญาณ 2 ครั้งใน 1 คาบเวลา โดยคาบเวลาของแต่ละบิตจะมีค่าคงที่ ดังนั้นการส่งบิต ‘0’ อย่างต่อเนื่องก็จะได้ความถี่เป็นครึ่งหนึ่งของการส่งบิต ‘1’ อย่างต่อเนื่อง

รหัสเวลาของแต่ละเฟรมจะถูกส่งไปทีละบิตจนครบ 80 บิต โดยใช้เวลานานเท่ากับการส่งภาพ 1 เฟรม พอดี เป็นผลให้ในวีดิทัศน์ระบบ PAL ที่ส่งภาพด้วยอัตรา 25 เฟรม/วินาที จะส่งรหัสเวลาด้วยอัตราเร็ว 25x80 = 2000 บิต/วินาที หรือคาบเวลาของแต่บิตจะกว้างเท่ากับ 1/2000 s = 0.5 ms นั่นเอง ดังนั้นสัญญาณ LTC ในระบบ PAL ก็จะมีความถี่อยู่ในย่าน 1000 Hz – 2000 Hz ซึ่งสามารถบันทึกลงในช่องสัญญาณความถี่เสียงได้โดยง่าย



รูปที่ 2.7 การเข้ารหัสสัญญาณแบบ Bi-Phase Mark ของสัญญาณ LTC สำหรับสัญญาณวีดิทัศน์แบบ PAL

เนื่องจากรหัสเวลาแบบ LTC ถูกบันทึกบนช่องสัญญาณเสียง ทำให้สามารถแทรกหรือจัดการกับรหัสเวลาได้โดยไม่ทำให้สัญญาณวีดิทัศน์มีคุณภาพลดลง อย่างไรก็ดีรหัสเวลาแบบ LTC นี้ไม่สามารถจะถูกอ่านได้ขณะหยุดภาพ แต่การใช้งานเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้นี้ โดยปกติจะไม่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ ดังนั้นรหัสเวลาแบบ LTC จึงเหมาะสมกับการใช้งานเช่นนี้อย่างยิ่ง

2.6 UML (Unified Modeling Language) กับการพัฒนาซอฟต์แวร์เชิงวัตถุ

หัวใจในการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุคือการสร้างแบบจำลองข้อมูลให้เหมาะสมกับปัญหา ดังนั้นเพื่อให้การสร้างแบบจำลองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงมีการพัฒนาวิธีการอธิบายโครงสร้างข้อมูลเหล่านั้นขึ้นมา และวิธีหนึ่งที่นิยมกันและกำลังกลายเป็นมาตรฐานของการพัฒนาซอฟต์แวร์ในปัจจุบันคือการใช้ UML (Unified Model Language) [7]

UML เป็นภาษากราฟิก (Graphical Language) ที่พัฒนาขึ้นแสดงเพื่ออธิบายรายละเอียดต่างๆ ของโปรแกรม คล้ายกับพิมพ์เขียวของสิ่งต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นโปรแกรม การใช้ UML ทำให้สามารถจัดเก็บและแสดงความสัมพันธ์ต่างๆ ของวัตถุที่มีอยู่อย่างมีมาตรฐาน สามารถนำมาใช้ได้ทั้งเพื่อการออกแบบโปรแกรมหรือการเก็บข้อมูลโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแล้วเพื่อให้ง่านต่อการเข้าใจภายหลัง

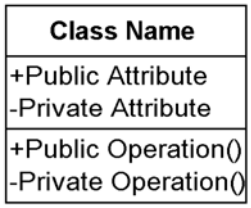
UML ประกอบด้วยแผนภาพต่างๆ จำนวน 9 ประเภท แต่ละประเภทแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของโปรแกรมในแง่มุมที่แตกต่างกัน 9 แบบได้แก่

Use Case diagram, Class diagram, Object diagram, Sequence diagram, Collaboration diagram, Statechart diagram, Activity diagram, Component diagram และ Deployment diagram

งานวิจัยนี้จะนำ Class diagram มาอธิบายองค์ประกอบของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ดังนั้นจะขออธิบายรายละเอียดเฉพาะส่วน Class diagram เท่านั้น

UML Class diagram

Class diagram แสดงภาพรวมของระบบในแง่ความสัมพันธ์ของคลาสต่างๆ Class diagram นี้จะเป็นแผนภาพที่ไม่เปลี่ยนลักษณะในขณะโปรแกรมกำลังทำงาน หรือเป็นแผนภาพแบบ Static นั่นเอง Class diagram อธิบายถึงการกระทำระหว่างคลาสแต่ไม่ได้แสดงรายละเอียดสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อมีการกระทำระหว่างกัน



รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์แทนคลาส

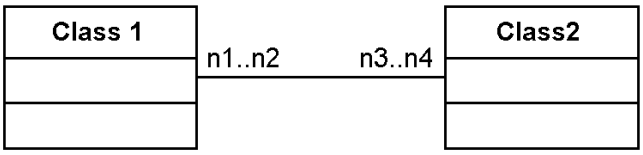
รูปที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้แทนคลาส สัญลักษณ์นี้ประกอบด้วยรูปสี่เหลี่ยม 3 ส่วน ข้อความในสี่เหลี่ยมบนสุดแสดงชื่อคลาส ข้อความในสี่เหลี่ยมถัดลงมาแสดงรายชื่อค่าคุณสมบัติประจำตัว (Attribute) ต่างๆ ของคลาส และข้อความในสี่เหลี่ยมล่างสุดแสดงชื่อพฤติกรรมต่างๆ ภายในคลาส (UML เรียกพฤติกรรม หรือฟังก์ชัน ว่า Operation)

เครื่องหมาย + หรือ – ด้านหน้าชื่อระบุการเข้าถึงข้อมูล คือ + แสดงว่าคุณสมบัติหรือฟังก์ชันนั้นเข้าถึงได้จากภายนอกคลาส (Public) และ - แสดงว่าคุณสมบัติหรือฟังก์ชันนั้นเข้าถึงได้เฉพาะภายในคลาสเอง (Private)

เพื่อนิยามคลาสให้ละเอียดขึ้น อาจจะระบุชื่อของคุณสมบัติหรือพฤติกรรมพร้อมกับชนิดข้อมูลในในรูปแบบ “Attribute : Attribute_type” หรือ “Operation : Return_type” เมื่อ Attribute_type แทนชนิดข้อมูลของคุณสมบัติ และ Reture_type แทนชนิดข้อมูลที่ได้จากการคืนค่าของพฤติกรรม

Class diagram มีความสัมพันธ์ 3 แบบได้แก่

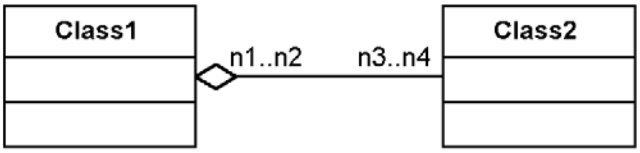
Association คือ ความสัมพันธ์ที่มีระหว่างวัตถุจากคลาสทั้งสอง เช่น ถ้าคลาสหนึ่งต้องรู้จักองค์ประกอบของอีกคลาสหนึ่งเพื่อให้การทำงานเป็นไปได้ หรือคลาสสองคลาสมีการส่งข้อมูลกัน ถือได้ว่าคลาสทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์แบบ Association ระหว่างกัน สัญลักษณ์แทนความสัมพันธ์แบบ Association แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์แบบ Association

รูปที่ 2.9 อธิบายว่าวัตถุจากคลาส Class1 แต่ละวัตถุมีความสัมพันธ์กับวัตถุจากคลาส Class2 จำนวน n3 ถึง n4 วัตถุ และในทางกลับกัน วัตถุจากคลาส Class2 แต่ละวัตถุมีความสัมพันธ์กับวัตถุจากคลาส Class1 จำนวน n1 ถึง n2 วัตถุ

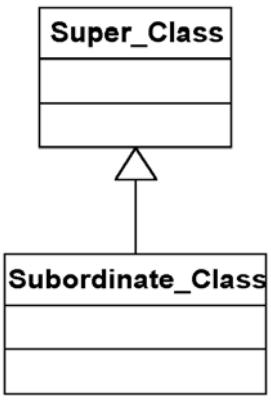
Aggregation คือ ความสัมพันธ์ที่คลาสหนึ่งมีองค์ประกอบจากอีกคลาสหนึ่งร่วมอยู่ด้วย สัญลักษณ์ความสัมพันธ์แบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์แบบ Aggregation

รูปที่ 2.10 อธิบายว่าวัตถุจากคลาส Class1 แต่ละวัตถุมีส่วนประกอบของวัตถุจากคลาส Class2 จำนวน n3 ถึง n4 วัตถุ และในทางกลับกัน วัตถุจากคลาส Class2 แต่ละวัตถุอาจจะเป็นส่วนประกอบของวัตถุจากคลาส Class1 จำนวน n1 ถึง n2 วัตถุ

Generalization คือ ความสัมพันธ์ที่คลาสหนึ่งสืบทอด (Inherit) ทั้งคุณสมบัติและพฤติกรรมจากอีกคลาสหนึ่งมา สัญลักษณ์ความสัมพันธ์แบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.11 โดยจากรูปนี้แสดงให้เห็นว่าคลาส Subordinate_Class สืบทอดมาจาก คลาส Super_Class



รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์แสดงความสัมพันธ์แบบ Generalization

จำนวนความสัมพันธ์ (Multiplicity of an association)

สัญลักษณ์ n1..n2, n3..n4 ที่ปรากฏในรูปที่ 2.9 และ รูปที่ 2.10 เรียกว่าจำนวนความสัมพันธ์ จำนวนความสัมพันธ์คือจำนวนที่เป็นไปได้ของวัตถุในคลาสนั้นที่จะมีความสัมพันธ์กับวัตถุ 1 ชิ้นในอีกคลาสอีกฝั่งหนึ่ง ตัวเลขนี้อาจเป็นจำนวนเดี่ยวๆ หรือช่วงของจำนวนก็ได้ จำนวนความสัมพันธ์ที่พบบ่อยในการสร้าง Class Diagram [8] แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตารางแสดงจำนวนวัตถุที่มักพบบ่อย

จำนวนความวัตถุ	ความหมาย
0..1	ไม่มี หรือ มีเพียง 1 วัตถุ
0..* หรือ *	ไม่จำกัดจำนวนวัตถุ (รวมถึงไม่มี)
1	มีเพียงวัตถุเดียว
1..*	มีอย่างน้อย 1 วัตถุ

บทที่ 3

เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ที่ใช้รหัสเวลาแบบ LTC

3.1 หน้าที่และโครงสร้างของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพ

เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพที่พัฒนาขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้มีหน้าที่รับสัญญาณวีดิทัศน์จากรายการต้นฉบับและแทรกสัญญาณ PAL 18 Closed Caption เพื่อนำไปบันทึกหรือถ่ายทอดออกอากาศ เครื่องเข้ารหัสนี้สามารถใช้สัญญาณ LTC เพื่อกำหนดตำแหน่งเฟรมที่ข้อมูลไปจะถูกแทรกเข้าไป โดยข้อมูลคำบรรยายที่ส่งถูกแทรกเหล่านั้นจะถูกส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้งโปรแกรม Caption Studio ไว้แล้ว เครื่องเข้ารหัสและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานร่วมกันจะถูกเชื่อมต่อดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 การต่อเชื่อมเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ที่มีรหัสเวลา LTC

โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพแบบซ่อนได้ที่ใช้รหัสเวลาแบบ LTC นั้นมีลักษณะดังรูปที่ 3.2 โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

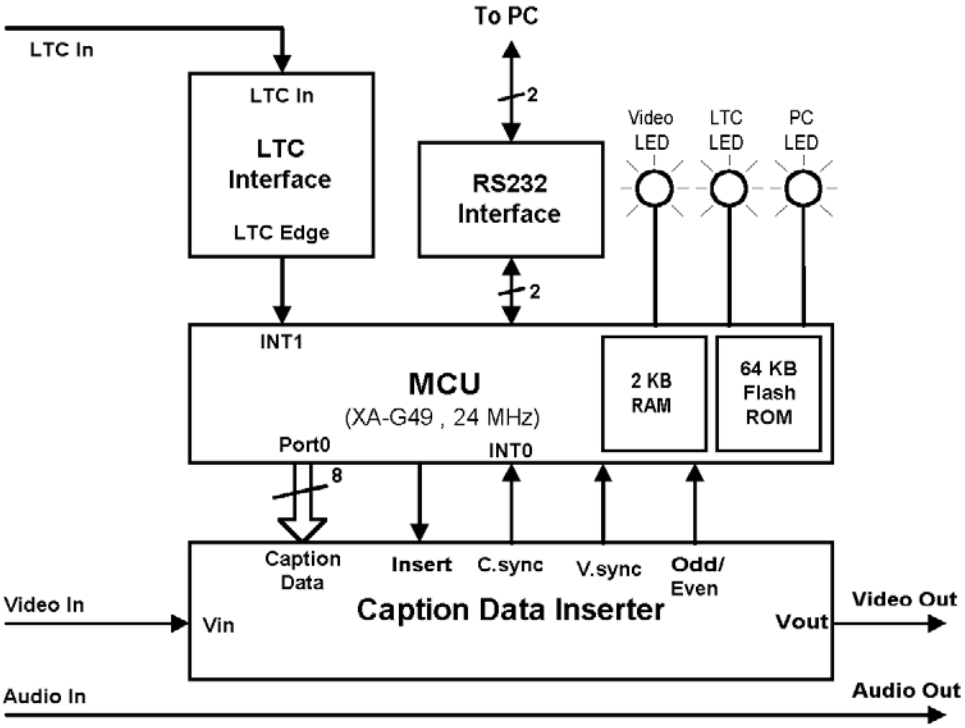
1) *ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)* เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล XA เบอร์ XA-G49 ของบริษัท Philips [9] ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิต จุดเด่นคือมีส่วนจัดการการขัดจังหวะ (Interrupt) ที่ดี เหมาะกับการใช้งานในเครื่องเข้ารหัสนี้เนื่องจากเครื่องเข้ารหัสต้องตอบสนองสัญญาณขัดจังหวะความถี่สูง 3 แหล่งคือสัญญาณ LTC (เกิดขึ้นทุกๆ 0.5 – 1 ms), สัญญาณเส้นภาพ (เกิดขึ้นทุกๆ 64 μs) และ สัญญาณการสื่อสารแบบอนุกรม (เกิดขึ้นทุกๆ 1 ms)

2) *ส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยาย (Caption Data Inserter)* เป็นส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณวีดิทัศน์ต้นฉบับเข้ามาและแทรกข้อมูลที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ลงไป นอกจากนี้ยังส่งสัญญาณเกี่ยวกับเส้นภาพที่สำคัญ เช่น ซิงก์รวม (Composite Sync), ซิงก์แนวตั้ง (Vertical Sync), และสัญญาณฟิลด์ เป็นต้น เพื่อให้ไมโครคอนโทรเลอร์รู้จังหวะการส่งข้อมูลเข้ามา

3) *ส่วนติดต่อสัญญาณ LTC (LTC Interface)* ทำหน้าที่ปรับรูปสัญญาณ LTC ให้เหมาะกับการต่อเชื่อมกับวงจรดิจิตอล

4) *RS-232 Interface* เป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลแบบ 0 V – 5 V ไปเป็นสัญญาณตามมาตรฐาน RS-232 เพื่อรับส่งกับเครื่องคอมพิวเตอร์

5) *LED* เพื่อแสดงสถานะต่างๆ ของวงจร



รูปที่ 3.2 โครงสร้างภายในของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายภาพ

3.2 **ส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยาย** (Caption Data Inserter)

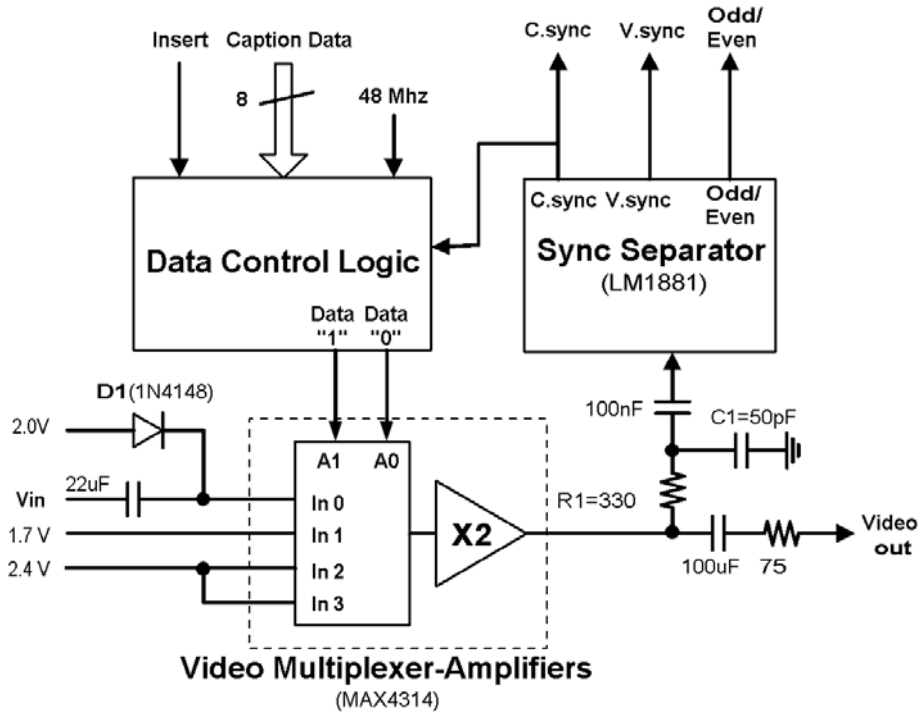
ส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยายทำหน้าที่ 2 อย่าง อย่างแรกคือแยกข้อมูลซิงก์ต่างๆ ที่สำคัญจากสัญญาณวีดิทัศน์ ได้แก่ สัญญาณซิงก์แนวตั้ง (Vertical Sync), สัญญาณซิงก์รวม (Composite Sync), และสัญญาณฟิลด์ เพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าที่อีกอย่างของส่วนนี้คือรับข้อมูลคำบรรยายจากไมโครคอนโทรเลอร์ที่ละ 8 บิต เพื่อแทรกในสัญญาณวีดิทัศน์ขาออก

ส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยายมีส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 3.3 ได้แก่ ส่วนตรรกควบคุมข้อมูล ส่วนแยกสัญญาณซิงก์ ส่วนมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์ การทำงานของส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยายเริ่มต้นที่การรับสัญญาณวีดิทัศน์ขาเข้าจากขา V_{in} ผ่านตัวเก็บประจุเพื่อกำจัดส่วนไฟตรง สัญญาณที่ผ่านตัวเก็บประจุจะถูกตรึง

(Clamp) แรงดันต่ำสุดไว้ที่ 1.3 V ด้วยไดโอด D1 แล้วส่งสัญญาณนี้ไปยังขาเข้าของตัวมัลติเพลกซ์สัญญาณวีดิทัศน์ นอกจากสัญญาณวีดิทัศน์แล้วตัวมัลติเพลกซ์ยังมีสัญญาณไฟตรงแรงดัน 1.7 V และ 2.4 V ป้อนที่ขาเข้าของมันเพื่อแทนตรรกะ “0” และ “1” ของสัญญาณ PAL 18 Closed Caption ตามลำดับ ตัวมัลติเพลกซ์นี้ได้รับข้อมูลที่จะแทรกมาจากส่วนตรรกควบคุมข้อมูล สัญญาณออกจากตัวมัลติเพลกซ์จะถูกขยาย 2 เท่าด้วยบัฟเฟอร์ภายในเพื่อขับสัญญาณออกและป้อนเข้าสู่วงจรแยกซิงก์

ตัวแยกซิงก์เป็นวงจรรวมหมายเลข LM1881 เมื่อป้อนสัญญาณวีดิทัศน์เข้าไปตัวแยกซิงก์จะสร้างสัญญาณ 3 อย่างออกมาคือ ซิงก์แนวรวม (Composite Sync หรือ C.sync) ซิงก์แนวตั้ง (Vertical Sync หรือ V.sync) และสัญญาณฟิลด์คู่/คี่ สัญญาณที่ป้อนเข้าตัวแยกซิงก์ต้องผ่านข่ายวงจรตัวต้านทานและตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรกรองแบบผ่านต่ำเพื่อกรองพาหะย่อยสัญญาณสีออกเสียก่อน

เนื่องจากตัวมัลติเพลกซ์เป็นทางผ่านของสัญญาณวีดิทัศน์ ดังนั้นจึงมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณขาออกอย่างมาก จึงเลือกใช้วงจรรวมเบอร์ MAX4314 ของบริษัท Maxim ที่ออกแบบเพื่อใช้กับสัญญาณวีดิทัศน์สำหรับออกอากาศ (Broadcast Video) โดยมีค่าผลต่างอัตราขยาย (Differential Gain) และ ผลต่างเฟส (Differential Phase) เป็น 0.09% และ 0.03° ตามลำดับ

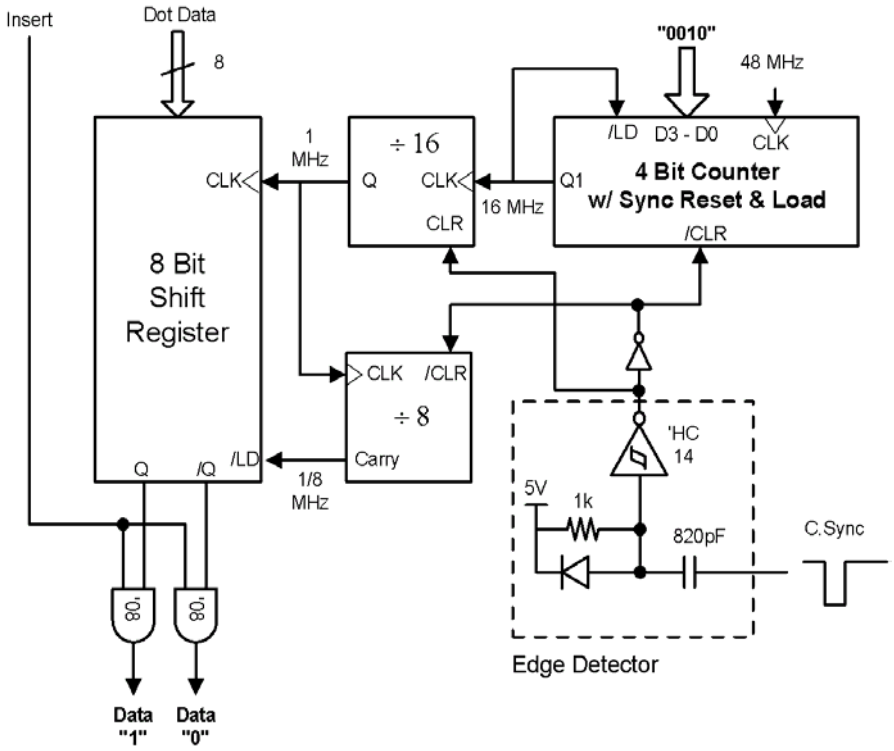


รูปที่ 3.3 โครงสร้างส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยาย

3.3 **ส่วนตรรกควบคุมข้อมูล** (Data Control Logic)

วงจรนี้ทำหน้าที่เลื่อนข้อมูลขนาด 8 บิตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเข้ามาทางขา Caption Data ออกไปยังขาข้อมูล “1” และ “0” อย่างเข้าจังหวะกับสัญญาณซิงก์รวม เป็นผลให้ระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของสัญญาณซิงก์กับจุดเริ่มแทรกสัญญาณคำบรรยายมีค่าคงที่ตามข้อกำหนดของสัญญาณ PAL 18 Closed caption คือ 10.5 μs

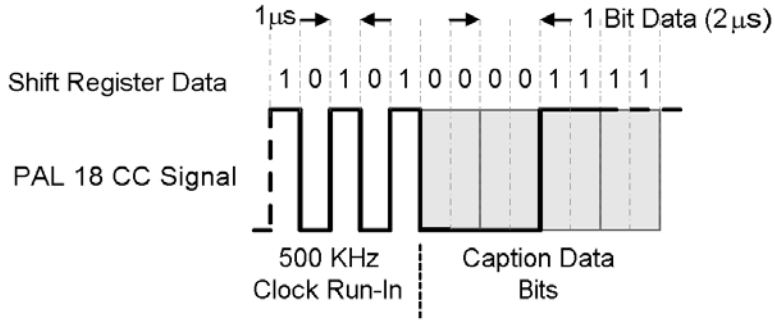
วงจรส่วนนี้มีโครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 3.4 วงจรจะรับสัญญาณซิงก์รวมเข้ามาและผ่านไปยังวงจรตรวจจับขอบสัญญาณ (Edge detector) ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ ไดโอดและ Inverter แบบ Schmitt trigger สัญญาณขอบที่ได้นี้ จะไปเริ่มต้น (Reset) สถานะของวงจรเชิงเลข 3 ส่วนได้แก่ วงจรนับขนาด 4 บิต (4 Bit Counter with Synchronous Reset and Clear) วงจรหาร 16 และ วงจรหาร 8 ดังนั้นการขึ้นต้นเส้นภาพใหม่ทุกครั้งส่งจะผลให้สถานะของวงจรเชิงเลขทั้งสามนี้ถูกเริ่มต้นใหม่เสมอ



รูปที่ 3.4 โครงสร้างส่วนตรรกควบคุมข้อมูล

วงจรนับขนาด 4 บิต จะนับขึ้นและอ่านค่า “0010” เข้าไปทุกครั้งที่สัญญาณ Q1 มีค่าเป็น “0” ทำให้สัญญาณขาออก Q1 มีความถี่ 16 MHz หรือมีความถี่เป็น 1 ใน 3 ของความถี่สัญญาณนาฬิกาขาเข้านั่นเอง สัญญาณ 16 MHz นี้จะถูกส่งไปยังวงจรหาร 16 ต่อไป ผลลัพธ์จากวงจรหาร 16 คือสัญญาณความถี่ 1 MHz ที่จะใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาสำหรับวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนขนาด 8 บิตต่อไป นอกจากนี้สัญญาณ 1 MHz ยังต่อกับวงจรหาร 8 เพื่อใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านค่า (/LD) ของวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนอีกด้วย

เมื่อพิจารณาสัญญาณ PAL 18 Closed Caption จะพบว่าช่วงเวลาที่สั้นที่สุดที่ของแต่ละระดับแรงดันเกิดขึ้นในช่วง Clock Run-In ในช่วงนี้สัญญาณ PAL 18 Closed Caption จะเป็นสัญญาณนาฬิกาความถี่ 500 kHz ซึ่งสลับแรงดันไปมาระหว่าง “0” และ “1” นานครั้งละ 1 μs เพื่อให้สามารถสร้างสัญญาณเช่นนี้ได้ จำเป็นต้องป้อนสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 MHz ให้กับวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อน อย่างไรก็ดีในกรณีที่จะส่งข้อมูลคำบรรยายที่มีความกว้างของแต่ละบิตเป็น 2 μs ก็จะต้องส่งข้อมูลเข้าสู่วงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อน 2 บิตติดต่อกัน เช่น ต้องการส่งข้อมูล “1” ก็ต้องส่งข้อมูลให้วงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนเป็น “11” แทน เป็นต้น ลักษณะการส่งข้อมูลไปยังวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนเพื่อสร้างสัญญาณ Clock Run-In และสัญญาณข้อมูลคำบรรยายแสดงตัวอย่างให้เห็นดังรูปที่ 3.5



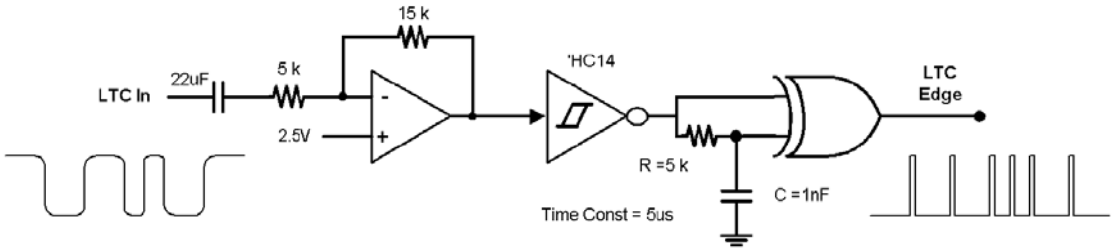
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งเข้าวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนเพื่อสร้างสัญญาณ Clock Run-In และข้อมูลคำบรรยาย

สัญญาณที่ออกจากวงจรรีจิสเตอร์แบบเลื่อนจะถูกควบคุมด้วยด้วยสัญญาณ Insert จากไมโครคอน-โทรลเลอร์ซึ่งจะส่งค่า “1” เมื่อเส้นภาพขณะนั้นเป็นเส้นภาพที่ 18

การเข้าจังหวะระหว่างสัญญาณซิงก์รวมกับสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้รีจิสเตอร์แบบเลื่อนจะเกิดการไหวเชิงเวลา (Time Jitter) ไม่เกิน 1 คาบของความถี่ 48 MHz คือ 20.83 ns (+/- 10.42 ns) การไหวเชิงเวลานี้มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนดของ PAL 18 Closed Caption [1] คือ +/- 0.25 μs อย่างมาก และต่ำกว่าข้อกำหนดในการออกแบบของงานวิจัยนี้คือ +/- 15 ns อย่างไรก็ดีการไหวเชิงเวลารวมทั้งหมดอาจเพิ่มขึ้นจากปัจจัยอื่นเพิ่มเติมได้อีกเล็กน้อย เช่น การหน่วงเวลาของอุปกรณ์ต่างๆ

3.4 วงจรต่อเชื่อมสัญญาณรหัสเวลา (LTC Interface)

วงจรต่อเชื่อมสัญญาณรหัสเวลาแสดงดังรูปที่ 3.6 การทำงานเริ่มต้นจากสัญญาณรหัสเวลา LTC จะถูกส่งเข้าวงจรขยายแบบกลับขั้วเพื่อปรับขนาดสัญญาณให้เหมาะสม และผ่านเข้าวงจร Schmitt Trigger เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณ LTC ที่เป็นสัญญาณเชิงอุปมานให้เป็นสัญญาณเชิงเลข สัญญาณเชิงเลขนี้จะป้อนเข้าวงจรตรวจจับขอบสัญญาณที่ประกอบด้วยข่ายวงจรตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุและวงจรรวม Exclusive-OR ผลลัพธ์จากวงจรนี้คือสัญญาณที่ตรรกะเป็น “1” ช่วงเวลาสั้นๆ ที่ขอบทั้งขาขึ้นและขาลงของสัญญาณ LTC



รูปที่ 3.6 วงจรต่อเชื่อมสัญญาณรหัสเวลา

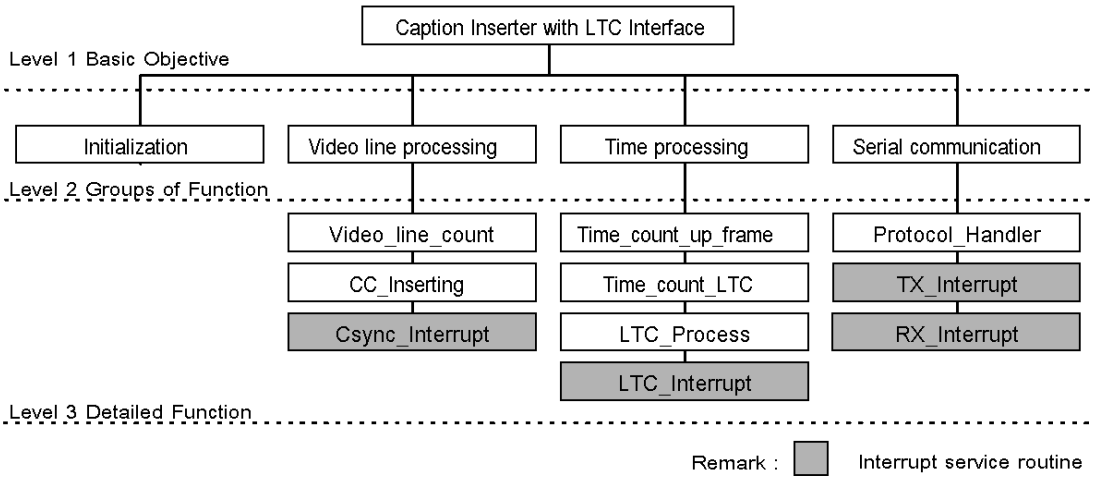
3.5 ซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรเลอร์

ลักษณะการทำงานของซอฟต์แวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในเบื้องต้น คือ เครื่องเข้ารหัสจะนำข้อมูลเวลาที่ได้จากรหัสเวลา LTC หรือที่นับได้จากเฟรมภาพ ส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หากมีการแทรกคำบรรยาย เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Caption Studio จะส่งข้อมูลคำบรรยายมายังเครื่องเข้ารหัส เครื่องเข้ารหัสก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาแทรกลงบนสัญญาณวีดิทัศน์ตามมาตรฐาน PAL 18 Closed Caption ต่อไป

ซอฟต์แวร์นี้ถูกออกแบบให้เน้นการทำงานแบบขัดจังหวะ (Interrupt) ด้วยเหตุผลสองประการคือ เครื่องเข้ารหัสต้องตอบสนองสัญญาณภายนอกหลายอย่างที่อาจเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมจะยุ่งยากหากออกแบบให้ทำงานแบบวนรอ (Polling) และอีกประการหนึ่งคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้มีความสามารถในการจัดการสัญญาณขัดจังหวะได้ดี สามารถใช้ข้อได้เปรียบนี้ทำให้พัฒนาซอฟต์แวร์ได้ง่ายขึ้น การเลือกแนวทางการออกแบบซอฟต์แวร์เช่นนี้จึงเป็นผลให้โปรแกรมในวงรอบหลัก (Main Loop) มีน้อย โปรแกรมส่วนใหญ่ทำงานในส่วนตอบสองการขัดจังหวะ โปรแกรมจะถูกแบ่งเป็นส่วนต่างๆ อย่างอิสระจากกัน ง่ายต่อการตรวจสอบ อย่างไรก็ดีการพัฒนาซอฟต์แวร์ในลักษณะนี้เหมาะกับโปรแกรมที่ส่วนบริการการขัดจังหวะไม่ซับซ้อนหรือใช้เวลาประมวลผลไม่มากนัก และจะต้องพิจารณาลำดับความสำคัญ (Priority) ของสัญญาณขัดจังหวะอย่างเหมาะสม

โครงสร้างของซอฟต์แวร์เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบ่งเป็นหน้าที่สำคัญๆ ได้ดังรูปที่ 3.7 อันได้แก่

1. *ส่วนตั้งค่าเริ่มต้น (Initialization)*
2. *ส่วนจัดการเส้นภาพในสัญญาณวีดิทัศน์ (Video line processing)*
3. *ส่วนจัดการเวลา (Timing Processing)*
4. *ส่วนรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication)*



รูปที่ 3.7 แผนผังการจำแนกส่วนประกอบของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6 โปรแกรมส่วนจัดการเส้นภาพ

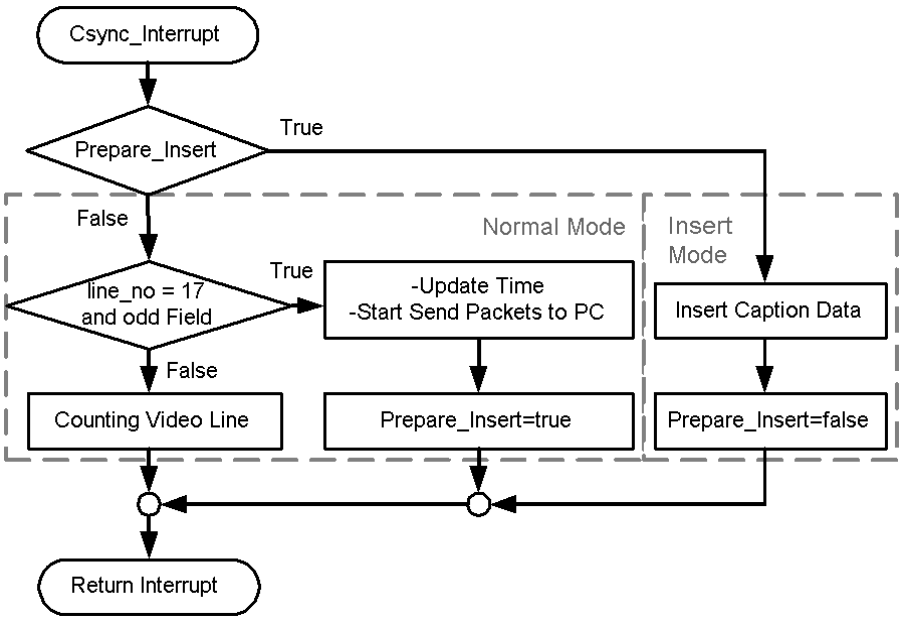
โปรแกรมส่วนจัดการเส้นภาพสามารถแบ่งหน้าที่ที่สำคัญเป็น 3 ส่วน คือส่วนตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะ ส่วนนับเส้นภาพ และส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยายลงในเส้นที่ 18

3.6.1 โปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณซิงก์รวม (Csync_Interrupt)

ส่วนโปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณซิงก์รวมจะทำงานทุกครั้งที่มีสัญญาณขัดจังหวะจากซิงก์รวมเข้ามา โดยเป็นไปตามแผนผังรูปที่ 3.8 เพื่อง่ายต่อความเข้าใจ จะขอแบ่งการทำงานงานของโปรแกรมนี้ออกเป็น 2 โมด คือ โมดปกติ ซึ่งตัวแปร Prepare_insert มีค่าเป็น “False” และโมดแทรกข้อมูล ซึ่งตัวแปร Prepare_insert มีค่าเป็น “True”

ในโมดปกติ โปรแกรมนี้จะเรียกโปรแกรมย่อยการนับเส้นภาพ (Counting Video line) ทุกครั้งที่ได้รับสัญญาณขัดจังหวะจากซิงก์รวม และเมื่อใดก็ตามที่ตรวจพบว่าเส้นภาพปัจจุบันเป็นเส้นภาพที่ 17 ก็จะส่งข้อมูลเวลาออกไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านช่องสื่อสารอนุกรม พร้อมกับตั้งค่า Prepare_Insert เป็น “True” เพื่อเตรียมเข้าสู่โมดแทรกข้อมูลในการขัดจังหวะครั้งต่อไป

โมดแทรกข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อได้รับสัญญาณขัดจังหวะของเส้นภาพที่ 18 โปรแกรมจะตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะซิงก์รวมทันที และส่งข้อมูลคำบรรยายออกไปยังวงจรส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยายที่ละ 8 บิต เนื่องจากก่อนเข้าสู่โมดนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังหยุดรอสัญญาณขัดจังหวะ ดังนั้นการตอบสนองจึงเกิดขึ้นในสัญญาณนาฬิกาถัดมาทันที เวลาในการตอบสนองสัญญาณขัดจังหวะจึงเกิดขึ้นอย่างแม่นยำ ผิดพลาดไปไม่เกิน 1 คาบสัญญาณนาฬิกา 24 MHz หากไม่ทำเช่นนี้แล้ว เวลาการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะอาจผิดพลาดได้มากกว่า คือตั้งแต่ 3 – 24 คาบสัญญาณนาฬิกาโดยขึ้นกับคำสั่งที่กำลังปฏิบัติ

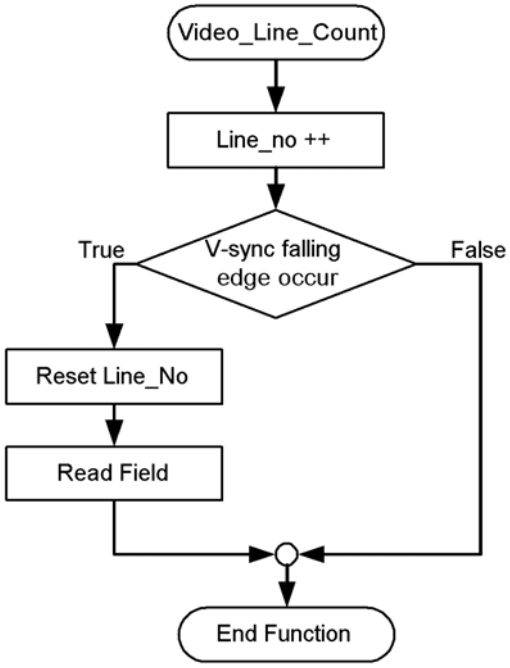


รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรมบริการการขัดจังหวะซิงก์รวม

3.6.2 โปรแกรมย่อยนับเส้นภาพ (Video_Line_Counting)

โปรแกรมย่อยนับเส้นภาพจะนับเส้นภาพขึ้นทุกครั้งที่ถูกเรียก ต่อจากนั้นจะพิจารณาสัญญาณซิงก์แนวตั้ง (Vertical Sync) ถ้าพบว่าซิงก์แนวตั้งเกิดขอบขาลงก็จะตั้งค่าเส้นภาพให้เริ่มต้นเส้นที่ 1 ใหม่ นอกจากนี้ยังอ่านสัญญาณฟิลด์ภาพเข้ามาในจังหวะนี้ด้วย

แม้การตรวจสอบการเริ่มต้นฟิลด์ใหม่สามารถทำได้โดยพิจารณาเพียงสัญญาณฟิลด์เท่านั้น แต่จากการทดลองพบว่าการหาจุดเริ่มต้นฟิลด์ด้วยสัญญาณฟิลด์คู่/คี่จากตัวแยกซิงก์เบอร์ LM1881 นั้นมีความผิดพลาดมากกว่าการหาจุดเริ่มต้นฟิลด์จากสัญญาณซิงก์แนวตั้ง เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณฟิลด์แม้ไม่ได้อยู่ในช่วงเปลี่ยนฟิลด์ ดังนั้นจึงเลือกใช้สัญญาณซิงก์แนวตั้งเป็นหลักในการหาจุดเริ่มต้นฟิลด์ และจะอ่านสัญญาณฟิลด์คู่/คี่ เฉพาะช่วงขึ้นฟิลด์ใหม่เท่านั้น แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อยนับเส้นภาพเป็นไปดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อยนับเส้นภาพ

3.6.3 โปรแกรมย่อยแทรกข้อมูลคำบรรยาย (CC_Inserting)

โปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกเมื่อเข้าสู่เส้นที่ 18 ของสัญญาณวีดิทัศน์และทำหน้าที่ส่งข้อมูลเชิงเลขที่ละ 8 บิตไปควบคุมวงจรแทรกข้อมูลคำบรรยาย ข้อมูลที่ส่งไปได้แก่บิตสัญญาณ Clock Run-In และบิตข้อมูลที่ถูกแปลงให้กว้างขึ้นเป็นสองเท่าแล้ว โปรแกรมส่วนนี้จะต้องทำงานสัมพันธ์กับจังหวะการแทรกสัญญาณของวงจรแทรกคำบรรยาย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่งให้เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงใดๆ กับโปรแกรมที่ถูกปฏิบัติหลังจากได้รับสัญญาณขัดจังหวะจนถึงโปรแกรมส่วนนี้ (ตั้งแต่เริ่มต้นที่“Csync_Interrupt” ถูกเรียกจนถึง “Insert Caption data” ตามแผนผังรูปที่ 3.8) จะมีผลทำให้จังหวะการแทรกสัญญาณไม่ถูกต้องได้

3.7 ส่วนโปรแกรมจัดการเวลา

โปรแกรมกลุ่มนี้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจัดการค่าเวลาปัจจุบันของเครื่องเข้ารหัสโดยมีตัวแปรที่สำคัญคือตัวแปรเก็บค่าเวลาโดยออกแบบให้เก็บค่าเวลาได้ 24 ชั่วโมง ความละเอียดเป็น 1/25 วินาที โปรแกรมส่วนนี้แบ่งเป็นโปรแกรมย่อยได้ 4 ส่วนได้แก่

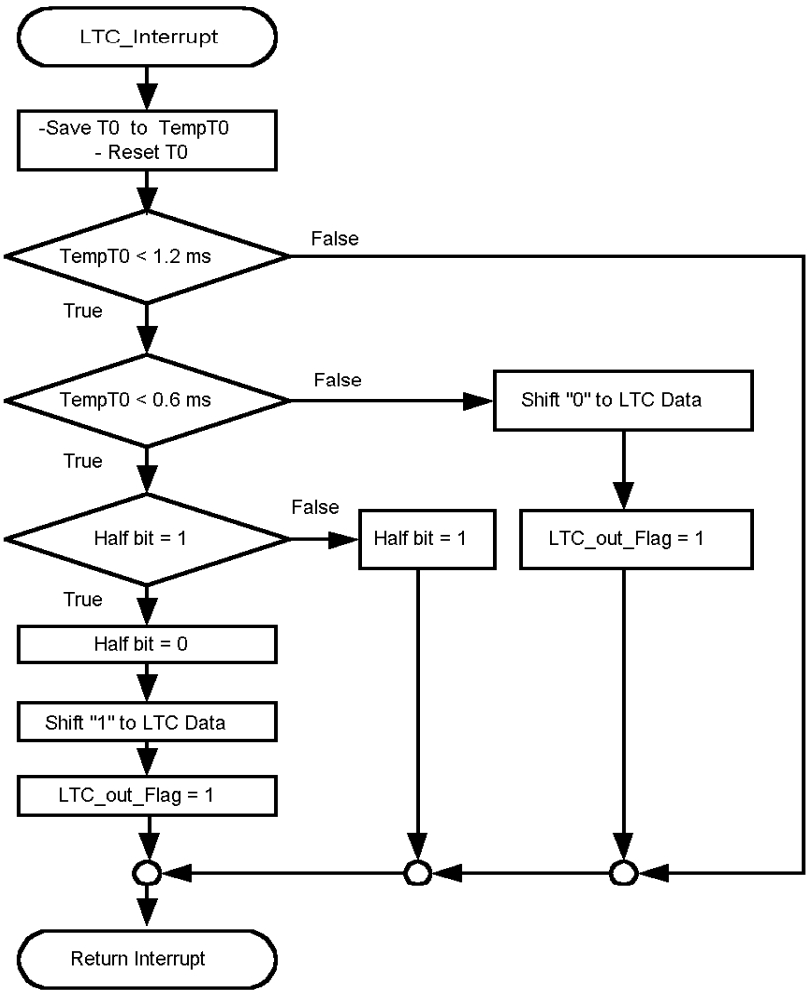
3.7.1 โปรแกรมย่อยนับเวลาด้วยเฟรม (Time_count_up_frame)

โปรแกรมย่อยนี้จะเพิ่มค่าตัวแปรเวลาขึ้นทีละ 1 เฟรมทุกครั้งที่ถูกเรียก และโปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกที่เส้นภาพที่ 17 เสมอหากทำงานอยู่ในโมดไม่ใช้รหัสเวลา

3.7.2 โปรแกรมย่อยนับเวลาด้วยสัญญาณรหัสเวลา (Time_count_LTC)

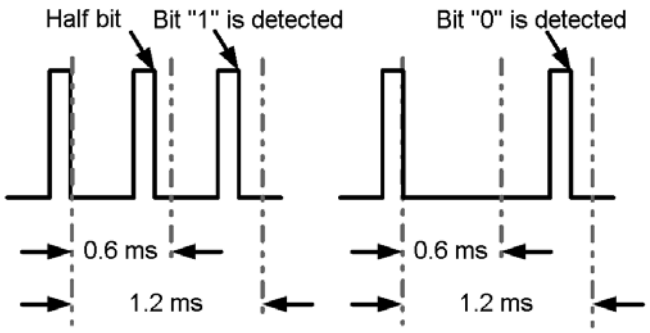
โปรแกรมย่อยนี้จะทำงานร่วมกับโปรแกรมย่อยสำหรับประมวลผลสัญญาณรหัสเวลา LTC (LTC Process) และโปรแกรมบริการการขัดจังหวะของสัญญาณรหัสเวลา LTC โดยมีหน้าที่อ่านข้อมูลดิบที่ได้จากส่วนจัดการสัญญาณรหัสเวลา (LTC Process) มาอยู่ในรูปของตัวแปรเวลา

3.7.3 โปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลา (LTC Interrupt)



รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของโปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลา

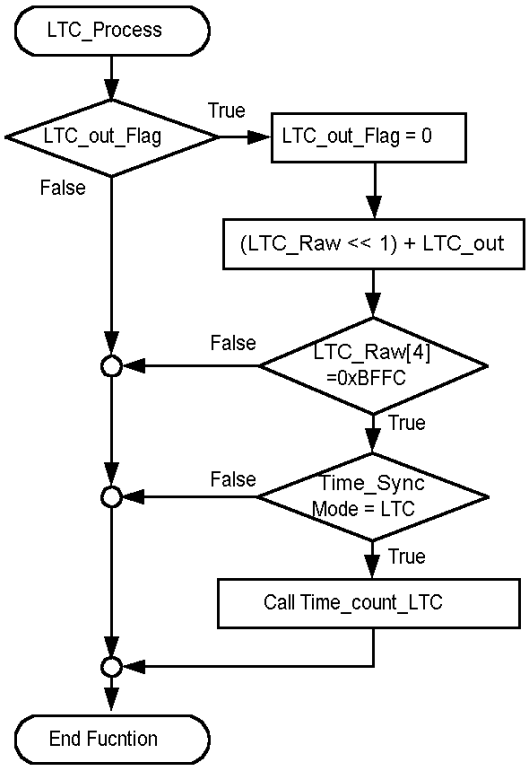
โปรแกรมย่อยนี้จะทำหน้าที่พิจารณาลักษณะสัญญาณรหัสเวลาที่เข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตีความว่าข้อมูลที่เข้ามาเป็นบิต “0”, บิต “1”, หรือไม่ใช้สัญญาณ LTC โดยมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.11 สัญญาณที่ผ่านวงจรเชื่อมต่อรหัสเวลาและลักษณะการพิจารณาเงื่อนไข

โปรแกรมบริการการขัดจังหวะของสัญญาณรหัสเวลานี้จะทำงานร่วมกับตัวตั้งเวลาหมายเลข 0 (Timer0) ในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจับเวลาที่ห่างกันของสัญญาณขัดจังหวะจากรหัสเวลาแต่ละครั้ง ระยะเวลาเหล่านี้จะนำมาพิจารณาว่าอยู่ในเงื่อนไขใดของสัญญาณ LTC โดยลักษณะสัญญาณที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.11 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าเป็นข้อมูล LTC จริงก็จะตั้งค่า LTC_out_Flag ให้เป็น “1” เพื่อให้โปรแกรมย่อยประมวลผลรหัสเวลานำไปใช้ต่อไป

3.7.4 โปรแกรมย่อยประมวลผลสัญญาณรหัสเวลา (LTC_Process)



รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมย่อย LTC Process

โปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกใช้อยู่ในวงรอบหลัก เมื่อพบว่าบิต LTC_out_Flag เป็น “1” ซึ่งแสดงการมาถึงของขอบสัญญาณ LTC โปรแกรมย่อยนี้จะอ่านบิต LTC_Out ซึ่งเป็นบิตข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลา แล้วเลื่อนเข้าไปเก็บไว้ในตัวแปรข้อมูลดิบสัญญาณรหัสเวลา (LTC_Raw) ต่อมาโปรแกรมจะตรวจสอบหาหัวข้อมูล (Header) ว่าพบหรือไม่ ถ้าหัวข้อมูลถูกต้องและขณะนั้นเครื่องเข้ารหัสทำงานอยู่ในโมดใช้รหัสเวลา โปรแกรมส่วนนี้ก็จะเรียกโปรแกรมย่อยนับเวลาด้วยรหัสเวลา (Time_count_LTC) เพื่อปรับปรุงค่าในตัวแปรเวลาให้ตรงกับที่อ่านมาได้ แผนผังการทำงานเป็นไปดังรูปที่ 3.12

มีข้อสังเกตอันหนึ่งในกระบวนการอ่านรหัสเวลาคือรหัสเวลาที่ส่งออกไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์ปกติแล้วจะล้าหลังไปจากเฟรมจริงอยู่ 1 เฟรม ทั้งนี้เนื่องจากรหัสเวลาปัจจุบันยังถูกอ่านไม่สมบูรณ์ในขณะนั้น เพื่อแก้ไขความล้าหลังนี้ ซอฟต์แวร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์จึงอาจชดเชยความล้าหลังนี้ด้วยการเพิ่มรหัสเวลาที่อ่านได้ไป 1 เฟรม

3.8 ส่วนรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

กระบวนการติดต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอตลอดการทำงานของเครื่องเข้ารหัส ข้อมูลที่ส่งจากเครื่องเข้ารหัส ได้แก่ ข้อมูลเวลาและเฟรมปัจจุบันของเครื่องเข้ารหัส ส่วนข้อมูลที่รับจากคอมพิวเตอร์ ได้แก่ ข้อมูลคำบรรยาย และคำสั่งควบคุมอื่นๆ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเครื่องเข้ารหัสต้องตอบสนองต่อการรับส่งข้อมูลอย่างน้อยทุกๆ เฟรมภาพหรือ 40 ms

ส่วนรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถแบ่งเป็นโปรแกรมย่อยได้ดังนี้

3.8.1 โปรแกรมย่อยจัดการโพรโทคอล

ทำหน้าที่จัดการกับลำดับข้อมูลที่รับเข้ามา และตอบสนองเหตุการณ์เหล่านั้นให้เป็นไปตามโพรโทคอลที่ออกแบบไว้ โพรโทคอลในการสื่อสารนี้ออกแบบขึ้นอย่างง่ายๆ ประกอบด้วยไบต์เริ่มต้น 1 ไบต์ ตามด้วยไบต์แสดงชนิดของการสื่อสาร และข้อมูลส่วนที่เหลือขึ้นกับประเภทของการสื่อสาร โดยมีโครงสร้างข้อมูลดังรูปที่ 3.13

Caption Data Packet Received from PC

Start Byte 0x5A	Caption data mode 0x13	Caption byte #1	Caption byte #2

Switch Encoder Time Mode Packet Received from PC

Start Byte 0x5A	Switch Time Mode 0x14	LTC (0xAA) / Frame Count (0x55)

Encoder Time Packet Transmitted to PC

Start Byte 0x5A	Time Sync 0x39	Hour byte	Minute byte	Second byte	Frame byte	0x3A

รูปที่ 3.13 โพรโทคอลการสื่อสารที่ใช้กับเครื่องเข้ารหัสคำบรรยาย

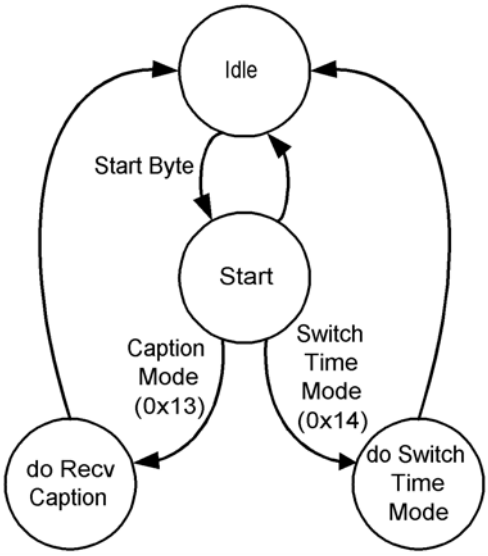
กลุ่มข้อมูลในโพรโทคอลมี 3 ประเภท ได้แก่

1) กลุ่มข้อมูลคำบรรยาย (Caption Data Packet) เป็นกลุ่มข้อมูลที่ถูกส่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรม Caption Studio โดยข้อมูลนี้จะถูกนำไปแทรกเป็นสัญญาณ PAL 18 Closed Caption ของเฟรมถัดไป

2) กลุ่มข้อมูลสลับโมดเวลา (Switch Encoder Time Mode Packet) กลุ่มข้อมูลนี้ถูกส่งมาจากโปรแกรม Caption Studio เช่นกัน เพื่อกำหนดโมดการทำงานของเครื่องเข้ารหัสให้เลือกใช้เวลาจากการนับเฟรมภาพ หรือ จากรหัสเวลา LTC

3) กลุ่มข้อมูลประเภทสุดท้ายคือกลุ่มข้อมูลเวลาของเครื่องเข้ารหัส (Encoder Time Packet) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเวลาปัจจุบันของเครื่องเข้ารหัสกลับไปยังโปรแกรม Caption Studio

กระบวนการรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์จะเริ่มต้นที่การตรวจสอบหาไบต์เริ่มต้น (5Ah) ตามด้วยไบต์ที่แยกประเภทของการสื่อสาร โดยหากไบต์ใดมีค่าไม่อยู่ในเงื่อนไขของโพรโตคอลก็จะเริ่มค้นหาไบต์เริ่มต้นใหม่ โปรแกรมส่วนนี้พัฒนาขึ้นแบบสถานะ (State) ดังแสดงได้ด้วยแผนผังสถานะรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนผังสถานะของโปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะการรับข้อมูลอนุกรม

3.8.2 โปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะของการส่งข้อมูลอนุกรม

โปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลอนุกรมเสร็จสิ้น การทำงานคือนำกลุ่มข้อมูลที่จะส่งออกไป เช่น กลุ่มข้อมูลแสดงเวลา (Time Synchronize packet) มาทยอยส่งออกไปทีละไบต์ทุกครั้งที่ถูกเรียก ดังนั้นกระบวนการส่งข้อมูลจึงเป็นไปอย่างต่อเนื่องทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลเสร็จโดยไม่ต้องมีการวนรอบตรวจสอบบิตการส่งข้อมูลเสร็จสิ้น (TI Flag)

3.8.3 โปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะของการรับข้อมูลอนุกรม

โปรแกรมย่อยนี้จะถูกเรียกทุกครั้งที่การรับข้อมูลอนุกรมเสร็จสิ้น การทำงานคือนำข้อมูลอนุกรมที่ได้รับมาป้อนให้โปรแกรมย่อยจัดการโพรโทคอลนำไปใช้ต่อไป และล้างค่าในบิตรับข้อมูลเสร็จสิ้น (RI Flag) ของส่วนรับข้อมูลอนุกรม เพื่อให้ส่วนรับข้อมูลพร้อมรับข้อมูลชุดต่อไป

3.9 การจัดลำดับความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะ

เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดสัญญาณขัดจังหวะหลายส่วน และมีโอกาสเกิดขึ้นพร้อมๆ กันได้ การกำหนดความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะจึงสำคัญมาก โดยกำหนดลำดับความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงลำดับความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะ

ส่วนของโปรแกรม	เวลาตอบสนองนานที่สุด	ลำดับความสำคัญ
โปรแกรมบริการการขัดจังหวะซิงก์รวม	62 μs	13
โปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลา	4.3 μs	12
โปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะการรับข้อมูลอนุกรม	7.7 μs	11
โปรแกรมย่อยบริการการขัดจังหวะการส่งข้อมูลอนุกรม	4.5 μs	10
โปรแกรมวงรอบหลัก	-	8

<u>หมายเหตุ</u> ลำดับความสำคัญที่ 15 มีค่าสูงสุดและลดลงตามลำดับ

จากการจัดเรียงลำดับความสำคัญของการขัดจังหวะเช่นนี้จะทำให้ให้โปรแกรมบริการการขัดจังหวะซิงก์รวมทำงานก่อนเสมอ ส่วนโปรแกรมบริการการขัดจังหวะสัญญาณรหัสเวลาอาจตอบสนองล้าช้าไปบ้างแต่ก็ไม่เกิน 62 μs ซึ่งคิดเป็นเวลาที่น้อยกว่าระยะเวลาระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรหัส LTC คือ 1 ms สำหรับบิต “0” และ 0.5 ms สำหรับบิต “1” จึงไม่ส่งผลให้การอ่านรหัสเวลาผิดพลาด

สำหรับกรณีของสัญญาณขัดจังหวะการรับข้อมูลอนุกรม แต่ละไบต์ข้อมูลจะเข้ามาห่างกัน 10/9600 วินาที คือ ประมาณ 1 ms ซึ่งแม้จะมีสัญญาณขัดจังหวะซิงก์รวมเข้ามาก็ยังสามารถเก็บข้อมูลได้ทัน ส่วนกรณีของสัญญาณขัดจังหวะการส่งข้อมูลนั้น ไม่มีเงื่อนไขพิเศษใดๆ ให้รีบส่งข้อมูล ดังนั้นการถูกขัดจังหวะจากสัญญาณขัดจังหวะอื่นๆ จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณา

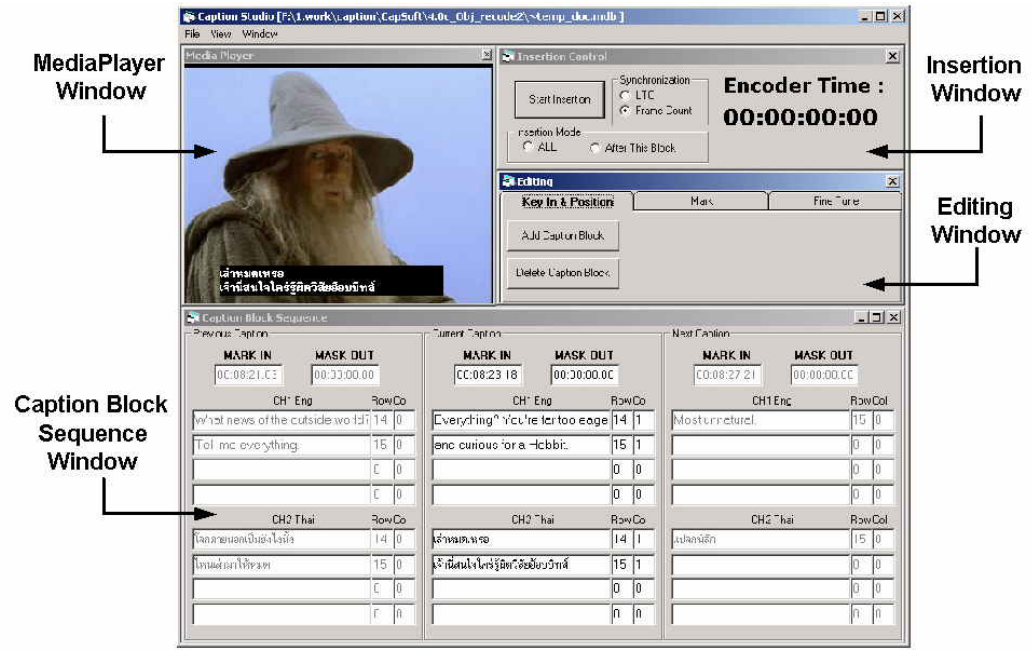
บทที่ 4

โปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย Caption Studio

4.1 แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย Caption Studio

ในการผลิตรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้ ขั้นตอนที่ใช้เวลานาน คือ การถอดคำบรรยายของรายการมาเป็นตัวอักษร และ การจัดรูปแบบและกำหนดเวลาของคำบรรยายเหล่านั้นให้เหมาะสม โดยวิธีปกติแล้วขั้นตอนทั้งสองจะถูกกระทำตามลำดับ คือ ถอดคำบรรยายก่อนแล้วนำมากำหนดเวลาและตำแหน่งให้เหมาะสมอีกทีหนึ่ง แต่เนื่องจากขั้นตอนทั้งสองนี้สามารถทำได้พร้อมๆ กันเพราะขณะถอดคำบรรยายผู้ถอดก็จะทราบเวลาของคำบรรยายอยู่แล้ว ดังนั้นจึงพัฒนาโปรแกรมนี้ให้สามารถช่วยผนวกขั้นตอนทั้งสองให้เกิดขึ้นไปพร้อมๆ กันอย่างอัตโนมัติ นำไปสู่การลดเวลาในการผลิตรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้

นอกจากหน้าที่ในการช่วยจัดสร้างคำบรรยายจากรายการวีดิทัศน์แล้ว โปรแกรมนี้ยังมีส่วนต่อเชื่อมกับเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายเพื่อควบคุมการทำงานและถ่ายข้อมูลคำบรรยายที่สร้างไว้ไปยังเครื่องเข้ารหัส โดยออกแบบให้ส่งข้อมูลคำบรรยายไปครั้งละ 2 ไบต์ต่อเฟรมภาพ จึงไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลคำบรรยายทั้งหมดไปเก็บไว้ในเครื่องเข้ารหัสก่อน ทำให้ไม่ต้องใส่หน่วยความจำจำนวนมากไว้ในเครื่องเข้ารหัส แต่ต้องเชื่อมต่อเครื่องเข้ารหัสกับคอมพิวเตอร์อยู่ตลอดการแทรกคำบรรยาย



รูปที่ 4.1 รูปหน้าต่างของส่วนติดต่อผู้ใช้

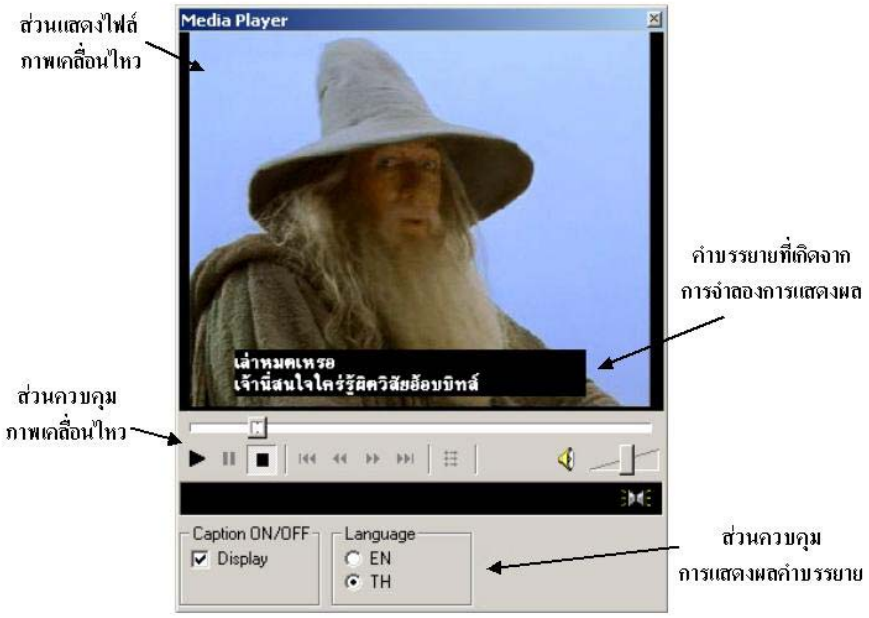
การพัฒนาโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยายนี้เลือกใช้เครื่องมือพัฒนา Visual Basic 6 ซึ่งสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ สามารถสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ได้อย่างสะดวกในรูปแบบ Visual Programming นอกจากนี้ยังสนับสนุนความสามารถด้านสื่อประสม (Multimedia) และการจัดการฐานข้อมูลอย่างดียิ่ง แต่การใช้เครื่องมือพัฒนานี้ทำให้โปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยายสามารถทำงานอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดว์ส 98 ขึ้นไป

4.2 ส่วนติดต่อผู้ใช้

การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งของการพัฒนาโปรแกรม Caption Studio เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการออกแบบส่วนนี้ ภาพหน้าจอของโปรแกรม Caption Studio แสดงดังรูปที่ 4.1 ประกอบด้วยหน้าต่างย่อย 4 ส่วน ได้แก่

4.2.1 หน้าต่างย่อยแสดงภาพวีดิทัศน์ (Media Player Window)

หน้าต่างย่อยแสดงภาพวีดิทัศน์มีหน้าที่แสดงแฟ้มภาพเคลื่อนไหวของรายการวีดิทัศน์ที่จะใส่คำบรรยาย นอกจากนี้ยังใช้จำลองผลการแทรกคำบรรยายอีกด้วย หน้าต่างย่อยนี้จะมีปุ่มควบคุมคล้ายบนเครื่องถอดรหัสคำบรรยายของผู้รับ นอกจากนี้ยังมีปุ่มควบคุมการชมแฟ้มวีดิทัศน์ เช่น ปุ่ม Play,ปุ่ม Stop, ปุ่ม Pause และแถบสำหรับค้นหาภาพ (Seek Bar) ซึ่งทุกครั้งที่เลื่อนแถบนี้จะส่งผลให้หน้าต่างแสดงลำดับคำบรรยาย (Caption Block Sequence) เลื่อนตามเพื่อแสดงกลุ่มคำบรรยายที่เวลาเดียวกันด้วย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หน้าต่างย่อยแสดงภาพวีดิทัศน์

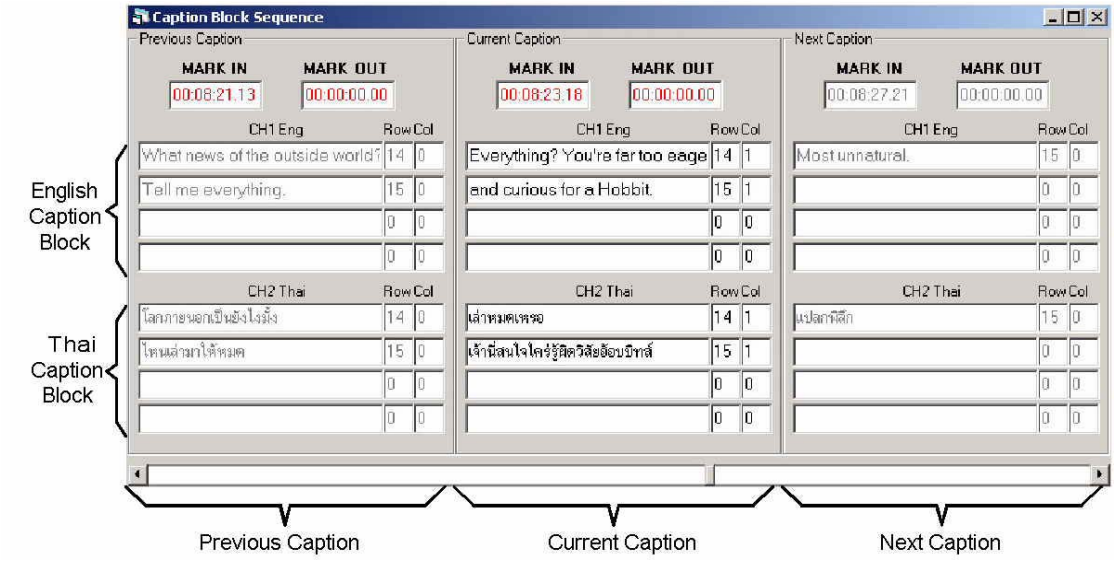
4.2.2 หน้าต่างย่อยแสดงลำดับคำบรรยาย (Caption Block Sequence Window)

หน้าต่างย่อยแสดงลำดับคำบรรยายดังแสดงในรูปที่ 4.3 มีหน้าที่แสดงกลุ่มคำบรรยาย (Caption block) ซึ่งแสดงผลในช่วงเวลาเดียวกัน จำนวน 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีทั้งทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ คำบรรยายแต่ละภาษาสามารถบรรจุข้อความได้ไม่เกิน 32 ตัวอักษรต่อหนึ่งบรรทัด และมีเลขระบุตำแหน่งบรรทัด (Row) และย่อหน้า (Col) กำกับด้วย นอกจากนี้ยังระบุเวลาเริ่มแสดง (Mark In) และเวลาหยุดแสดง (Mark Out) อีกด้วย กลุ่ม

คำบรรยาย 3 กลุ่มแบ่งเป็นกลุ่มที่เวลาปัจจุบัน (Current Block) กลุ่มเวลาถัดไป (Next Block) และกลุ่มที่เวลาก่อนหน้า (Previous Block) เพื่อช่วยให้ง่ายในติดตามและตรวจแก้ข้อความ

ในกรณีกลุ่มคำบรรยายที่อยู่ติดกันมีจำนวนตัวอักษรมากแต่มีเวลาเริ่มแสดงใกล้เคียงกันอาจทำให้กลุ่มคำบรรยายบางกลุ่มไม่สามารถส่งไปให้เครื่องเข้ารหัสได้ทันเวลาแสดงของมัน ตัวเลขระบุเวลาเริ่มและหยุดแสดงของกลุ่มนี้จะเปลี่ยนเป็นสีแดงเพื่อให้ผู้ใช้ทราบและแก้ไขต่อไป

ด้านล่างของหน้าต่างจะมีแถบเลื่อนตามแนวนอนเพื่อเลื่อนลำดับกลุ่มคำบรรยาย และส่งผลให้หน้าต่างย่อยแสดงภาพวีดิทัศน์ (Media Player Window) เลื่อนตำแหน่งของภาพวีดิทัศน์ให้ตรงกับเวลาของกลุ่มคำบรรยายปัจจุบันด้วย ซึ่งคล้ายกับการเลื่อนแถบหาภาพของหน้าต่างแสดงวีดิทัศน์



รูปที่ 4.3 หน้าต่างย่อยแสดงลำดับคำบรรยาย

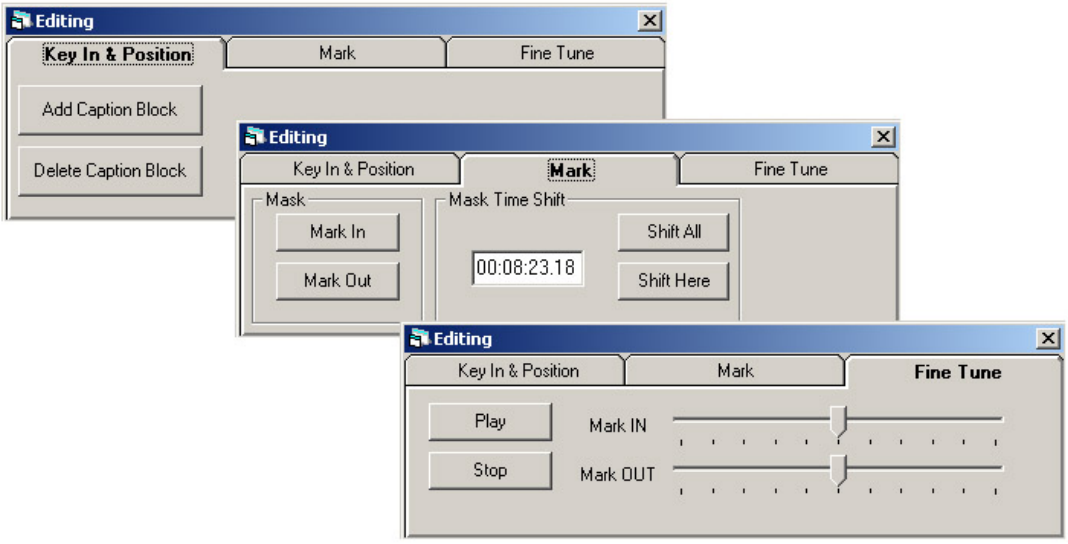
4.2.3 หน้าต่างย่อยแก้ไขคำบรรยาย (Editing Window)

หน้าต่างย่อยแก้ไขคำบรรยายดังรูปที่ 4.4 จะรวบรวมหน้าจอและปุ่มเกี่ยวกับการเพิ่ม ลบกลุ่มคำบรรยายและการปรับเวลาเริ่มและหยุดแสดงของกลุ่มคำบรรยายปัจจุบัน หน้าต่างย่อยนี้จะประกอบด้วยหน้าจอซ้อนทับกัน 3 อัน ได้แก่

1) หน้าจอ Key In & Position ใช้เพิ่มหรือลบกลุ่มคำบรรยาย สำหรับการเพิ่มนั้นกลุ่มคำบรรยายที่เพิ่มขึ้นจะถูกตั้งเวลาเริ่มแสดง (Mark In Time) ให้ตรงกับเวลาปัจจุบันของแฟ้มภาพวีดิทัศน์โดยอัตโนมัติ

2) หน้าจอ Mark ใช้ป้อนเวลาเริ่มแสดง (Mark In Time) และเวลาหยุดแสดง (Mark Out Time) ของกลุ่มคำบรรยายปัจจุบันใหม่อีกครั้งในกรณีที่การปรากฏเดิมไม่ตรงเวลาที่ต้องการ

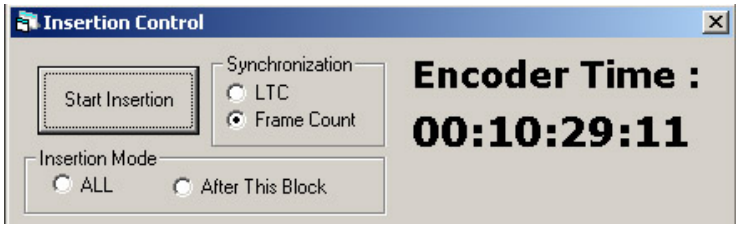
3) หน้าจอ Fine Tune ใช้ปรับเวลาเริ่มและหยุดการแสดงคำบรรยายอย่างละเอียดโดยการเลื่อนแถบควบคุม



รูปที่ 4.4 หน้าต่างย่อยแก้ไขคำบรรยายในลักษณะต่างกัน 3 แบบ คือ Key In & Position, Mark, Fine Tune

4.2.4 หน้าต่างย่อยควบคุมการแทรกคำบรรยาย

หน้าต่างย่อยควบคุมการแทรกคำบรรยายดัง รูปที่ 4.5 มีหน้าที่แสดงเวลาที่อ่านได้จากเครื่องเข้ารหัส และควบคุมการทำงานของเครื่องเข้ารหัส ได้แก่ การเลือกโมดเวลาของเครื่องเข้ารหัสว่าจะใช้เวลาที่อ่านได้จากรหัสเวลา LTC หรือเวลาที่ได้จากการนับเฟรมภาพวีดิทัศน์ และการสั่งเริ่มต้นหรือยุติการแทรกคำบรรยาย



รูปที่ 4.5 หน้าต่างย่อยควบคุมการแทรกคำบรรยาย

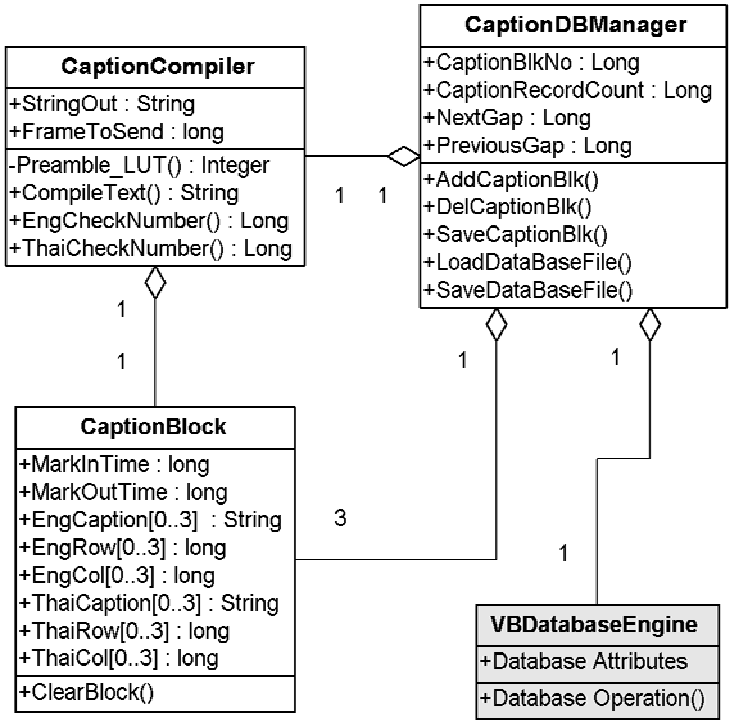
นอกจากหน้าต่างที่แบ่งแยกการทำงานออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้ใช้งานได้ง่ายแล้ว โปรแกรมนี้ยังออกแบบให้สามารถใช้คีย์ด่วน (Hotkey) ช่วยสร้างคำบรรยายได้ โดยผู้ใช้งานไม่ต้องสลับมือระหว่างแป้นพิมพ์ (Keyboard) กับเมาส์ ทำให้การสร้างคำบรรยายเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว คีย์ด่วนเหล่านี้ ประกอบด้วย

1. CTRL + A เพื่อเพิ่มคำบรรยายที่เวลานั้น เมื่อกดคีย์นี้แล้วภาพเคลื่อนไหวจะถูกสั่ง Pause พร้อมกับส่ง Cursor มาที่หน้าต่าง Caption Block Sequence เพื่อให้ผู้ใช้ป้อนคำบรรยายได้ทันที
2. CTRL + S เพื่อเล่นรายการวีดิทัศน์ที่ช่วงเวลานั้นอีกครั้งเป็นระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 5 วินาที ใช้ในกรณีต้องการทวนรายการช่วงที่จะพิมพ์คำบรรยายอีกครั้งหากไม่สามารถจดจำบทสนทนาหรือคำบรรยายช่วงนั้นได้ทันในครั้งก่อน
3. CTRL + D เพื่อสั่งให้เล่นภาพเคลื่อนไหวต่อไป

การกดคีย์ด่วน 3 แบบนี้ร่วมกับการป้อนคำบรรยายที่ได้ฟังจากแฟ้มภาพเคลื่อนไหวจะช่วยให้สามารถผลิตแฟ้มคำบรรยายภาพที่ประกอบด้วยคำบรรยายพร้อมเวลาเริ่มแสดง (Mark In Time) ของแต่ละกลุ่มคำบรรยายได้อย่างรวดเร็ว

4.3 โครงสร้างเชิงวัตถุพื้นฐานของโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย

เพื่อให้การพัฒนาโปรแกรม Caption Studio เป็นไปอย่างมีระบบจึงได้ออกแบบและพัฒนาคลาสพื้นฐานที่สนับสนุนการจัดการคำบรรยายขึ้นมา จำนวน 3 คลาส คือ คลาส CaptionBlock, CaptionComplier, CaptionDBManager โดยมีแผนผังลำดับขั้นของคลาสดังรูปที่ 4.6 รายละเอียดของทั้งคลาส 3 มีดังนี้



รูปที่ 4.6 แผนผังลำดับขั้นของคลาส

4.3.1 คลาส CaptionBlock

คลาสนี้เป็นคลาสพื้นฐานที่ทำหน้าที่เก็บกลุ่มคำบรรยายทั้งภาษาไทยและอังกฤษที่แสดงผลเวลาเดียวกัน ข้อมูลในคลาส CaptionBlock แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.6 โดยประกอบด้วย

<u>ข้อมูลเวลาแสดงผล</u>

- จำนวนเต็มขนาด 32 บิต (Long) สำหรับเก็บรหัสเวลาเริ่มแสดงกลุ่มคำบรรยาย (Mark In Time)
- จำนวนเต็มขนาด 32 บิต (Long) สำหรับเก็บรหัสเวลาหยุดแสดงกลุ่มคำบรรยาย (Mark Out Time)

<u>ข้อมูลคำบรรยายภาษาอังกฤษ</u>

- สายอักขระ (String) 4 สาย ชื่อ EngCaption0, EngCaption1, EngCaption2 และEngCaption3 สำหรับเก็บคำบรรยายภาษาอังกฤษ 4 บรรทัด

- จำนวนเต็ม EngCol0, EngCol1, EngCol2, และ EngCol3 สำหรับเก็บตำแหน่งย่อหน้าของแต่ละบรรทัด
- จำนวนเต็ม EngRow0, EngRow1, EngRow2, และ EngRow3 สำหรับเก็บตำแหน่งแถวบนจอของแต่ละบรรทัด

ข้อมูลคำบรรยายภาษาไทย

- สายอักขระ (String) 4 สาย ชื่อ ThaiCaption0, ThaiCaption1, ThaiCaption2 และ ThaiCaption3 สำหรับเก็บคำบรรยายภาษาไทย 4 บรรทัด
- จำนวนเต็ม ThaiCol0, ThaiCol1, ThaiCol2, และ ThaiCol3 สำหรับเก็บตำแหน่งย่อหน้าของแต่ละบรรทัด
- จำนวนเต็ม ThaiRow0, ThaiRow1, ThaiRow2, และ ThaiRow3 สำหรับเก็บตำแหน่งแถวบนจอของแต่ละบรรทัด

นอกจากนี้คลาส CaptionBlock ยังบรรจุฟังก์ชัน ClearBlock ที่ทำหน้าที่ล้างให้ค่าภายในคลาสเป็นค่าตั้งต้น คือตัวแปรคำบรรยายทุกตัวไม่มีอักขระ และจำนวนเต็มทุกจำนวนมีค่าเป็น 0

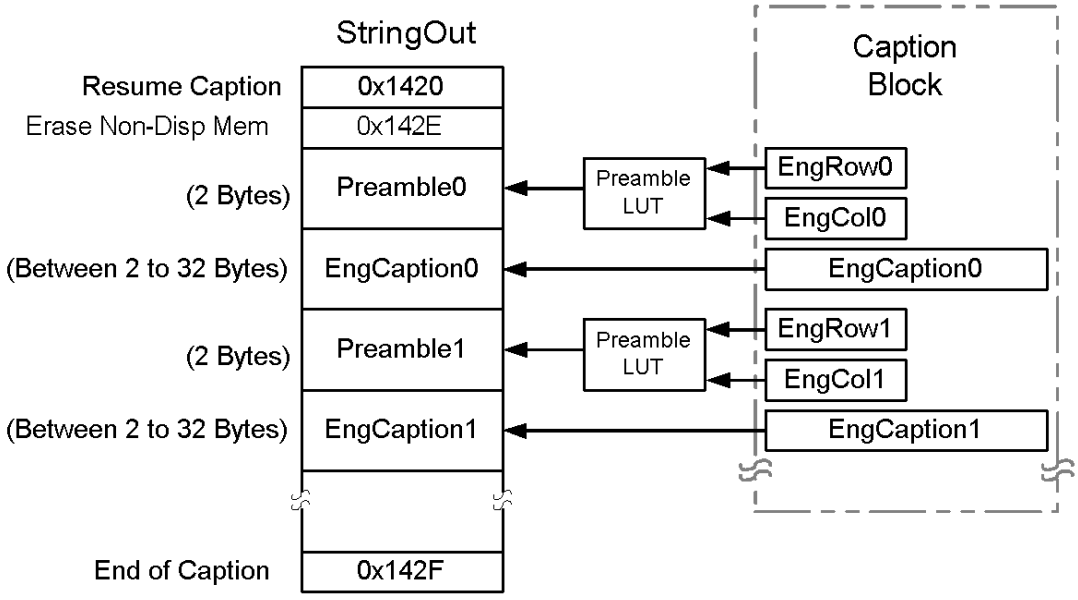
4.3.2 คลาส CaptionCompiler

คลาสนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแปลงกลุ่มคำบรรยายให้เป็นสายอักขระที่พร้อมจะนำไปส่งให้เครื่องเข้ารหัส โดยจะนำข้อมูลจากคลาส CaptionBlock ที่มีอยู่ภายในไปประมวลผลด้วยฟังก์ชัน CompileText เพื่อแปลงข้อความเหล่านั้นให้เป็นรหัสสำหรับเครื่องถอดรหัส

หัวใจหลักของคลาสนี้ก็คือฟังก์ชัน CompileText ซึ่งมีหลักการทำงานคือนำข้อมูลในแต่ละบรรทัดคำบรรยายมาเรียงกันพร้อมกับแทรก Preamble Code ของแต่ละบรรทัดเข้าไปให้ถูกต้อง จะได้ผลลัพธ์คือสายอักขระ StringOut ที่สามารถส่งออกไปยังเครื่องเข้ารหัสทีละ 2 ไบต์ได้

การแทรก Preamble Code ของแต่ละบรรทัดจะแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถหาได้ด้วยวิธีเปิดตาราง (Look Up Table) โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในฟังก์ชันชื่อ Preamble_LUT

กระบวนการแปลงข้อมูลที่กล่าวถึงมานี้เป็นไปดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ภาพอธิบายกระบวนการแปลงข้อมูลจากกลุ่มคำบรรยาย (Caption Block) มาเป็นสายอักขระ (StringOut) พร้อมส่งให้กับเครื่องเข้ารหัสที่เกิดขึ้นจากฟังก์ชัน CompilerText โดยสังเขป

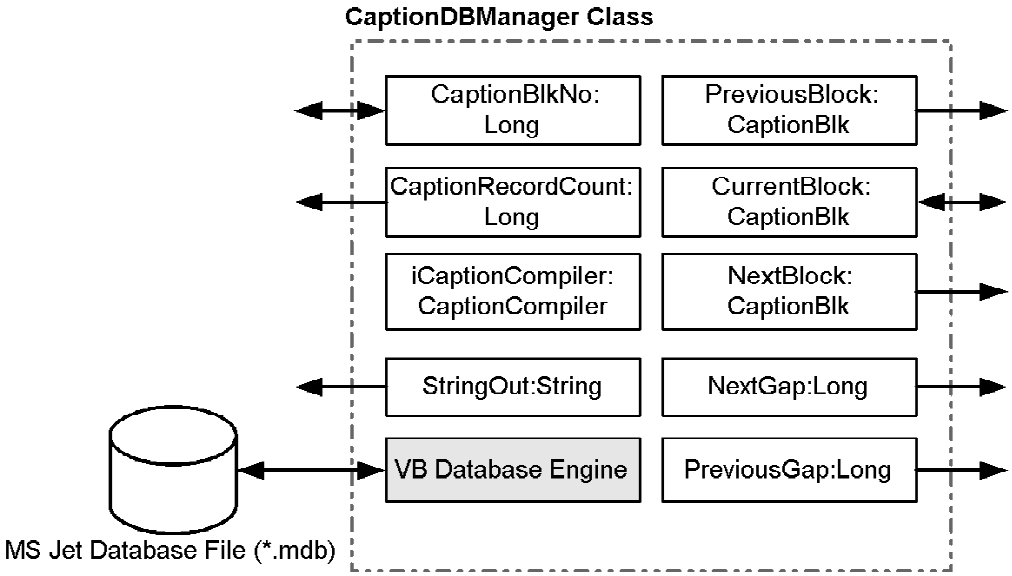
ความยาวของสายอักขระจะถูกคำนวณออกมาด้วยเพื่อใช้กำหนดเวลาส่งข้อมูลล่วงหน้าสำหรับส่งกลุ่มคำบรรยายนี้ให้เครื่องเข้ารหัสเสร็จก่อนเวลาเริ่มแสดงที่ต้องการ โดยจะเก็บความยาวสายอักขระไว้ที่ตัวแปร FrameToSend

นอกเหนือจากการแปลงกลุ่มคำบรรยายเป็นสายอักขระ StringOut แล้วคลาสนี้ยังบรรจุฟังก์ชันหาความยาวอักขระตามแนวนอนของภาษาอังกฤษคือ EngCheckNumber ซึ่งทำได้โดยหาความยาวอักขระตามปกติ และฟังก์ชันหาความยาวอักขระตามแนวนอนของภาษาไทยคือ ThaiCheckNumber ซึ่งจะนับแต่อักขระที่ใช้พื้นที่ในแนวนอน ไม่รวมสระและวรรคยุกต์ที่อยู่ระดับบน หรือระดับล่าง ตัวอย่างเช่น สายอักขระที่มีข้อมูลภายในเป็น “นี้” ถ้าใช้ฟังก์ชันหาความยาวสายอักขระปกติจะได้ผลลัพธ์เป็น 3 แต่ถ้าใช้ฟังก์ชันหาความยาวอักขระตามแนวนอนจะได้ผลลัพธ์เป็น 1 เป็นต้น ฟังก์ชันทั้งสองนี้ช่วยในการตรวจสอบความยาวของตัวอักษรที่จะส่งไปไม่ให้เกิน 32 ตัวอักษร และยังทำให้สามารถพิมพ์ตัวอักษรทั้งอังกฤษและไทยได้เต็มหน้าจออย่างแท้จริง

4.3.3 คลาส CaptionDBManager

คลาสนี้รับผิดชอบการเชื่อมต่อแฟ้มฐานข้อมูลเพื่ออ่านและเขียนกลุ่มคำบรรยายลงไป โดยใช้ฐานข้อมูลแบบ Microsoft Jet ซึ่งติดตั้งมาให้ในโปรแกรม Visual Basic โครงสร้างข้อมูลภายในคลาสนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 โดยประกอบด้วย

1) *กลุ่มข้อมูลคำบรรยาย CurrentBlock, NextBlock, PreviousBlock* ซึ่งเก็บข้อมูลกลุ่มคำบรรยายปัจจุบัน กลุ่มถัดไป และกลุ่มก่อนหน้านี้ตามลำดับ กลุ่มคำบรรยายปัจจุบันสามารถอ่านและเขียนกลับเข้าไปได้ แต่กลุ่มคำบรรยายอื่นจะอ่านได้อย่างเดียวเท่านั้น



รูปที่ 4.8 โครงสร้างคลาส CaptionDBManager

2) *ข้อมูลสายอักขระ StringOut* ทำหน้าที่เก็บข้อมูลสายอักขระสำหรับส่งให้เครื่องเข้ารหัสของกลุ่มคำบรรยายปัจจุบัน

3) *จำนวนเฟรมว่าง NextGap, PreviousGap* ซึ่งเก็บจำนวนเฟรมว่างระหว่างกลุ่มคำบรรยายปัจจุบันกับกลุ่มถัดไป และระหว่างกลุ่มคำบรรยายปัจจุบันกับกลุ่มก่อนหน้า ตามลำดับ

4) *หมายเลขกลุ่มคำบรรยาย CaptionBlkNo* ใช้เก็บเลขลำดับของกลุ่มคำบรรยายปัจจุบัน และถ้าส่งข้อมูลให้ตัวแปรนี้ โปรแกรมภายในคลาสก็จะอ่านกลุ่มคำบรรยายที่สอดคล้องกับหมายเลขที่ส่งเข้าไปพร้อมทั้งกลุ่มคำบรรยายก่อนหน้าและกลุ่มคำบรรยายถัดไป เพื่อเก็บไว้ในตัวแปรทั้ง 3 ตัวคือ CurrentBlock, NextBlock, PreviousBlock

5) *จำนวนคำบรรยายทั้งหมด CaptionRecordCount* เก็บจำนวนกลุ่มคำบรรยายที่เก็บไว้ภายในแฟ้มฐานข้อมูลคำบรรยาย

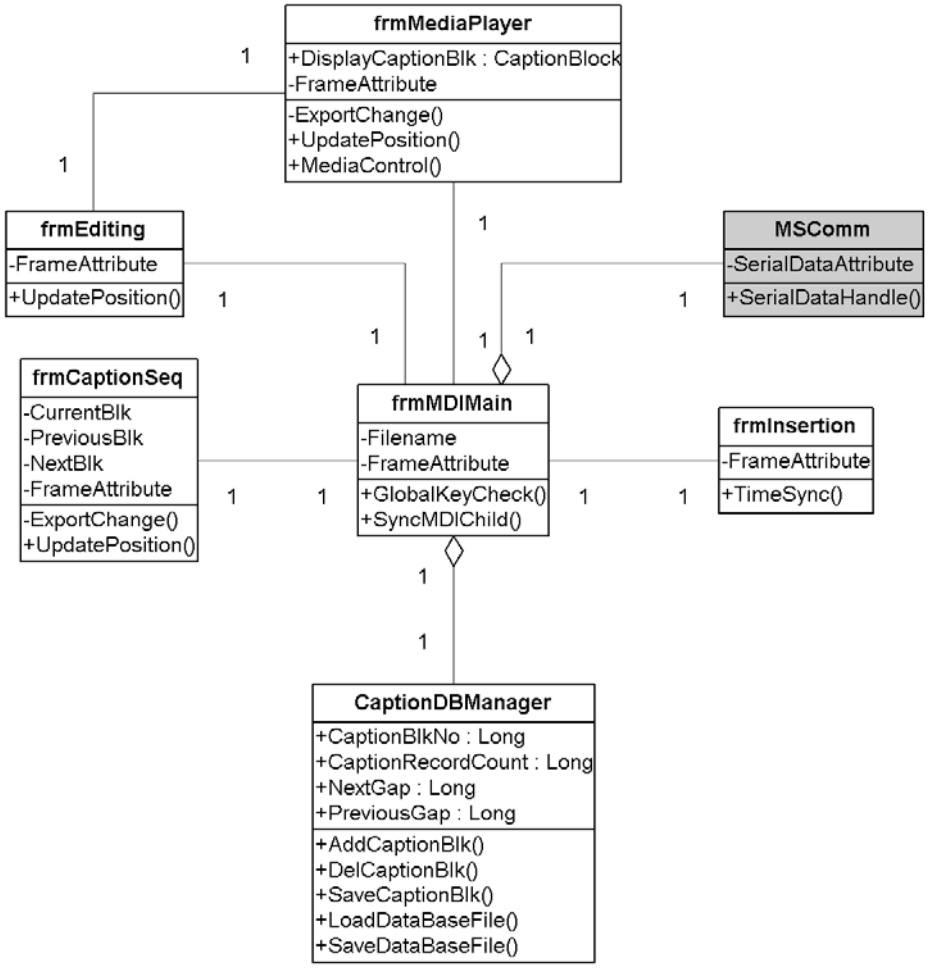
คลาส CaptionDBManager ทำให้การเรียกใช้กลุ่มคำบรรยายสามารถทำได้ง่ายดาย เพียงป้อนค่าลำดับกลุ่มคำบรรยายที่ต้องการลงไปในตัวแปร CaptionBlkNo ต่อจากนั้นคลาสนี้จะค้นหากลุ่มคำบรรยายที่มีลำดับที่ต้องการออกมา พร้อมกับกลุ่มคำบรรยายข้างเคียงรวมเป็น 3 กลุ่มคำบรรยายคือกลุ่มปัจจุบัน (CurrentBlock) กลุ่มคำบรรยายก่อนหน้า (PreviousBlock) และกลุ่มคำบรรยายถัดไป (NextBlock) โดยเรียกกลุ่มคำบรรยายออกมาแล้วก็สามารถแก้ไขส่วนของกลุ่มคำบรรยายปัจจุบัน (CurrentBlock) และบันทึกการแก้ไขลงไปได้ด้วยฟังก์ชัน SaveCaptionBlk ส่วนการการเพิ่มและลดกลุ่มคำบรรยายที่บันทึกในแฟ้มฐานข้อมูลจะกระทำผ่านฟังก์ชัน AddCaptionBlk, DelCaptionBlk, ตามลำดับ

เนื่องจากคลาสนี้เป็นคลาสที่เก็บข้อมูลของทุกกลุ่มคำบรรยายไว้ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาช่วงเวลาว่างระหว่างกลุ่มคำบรรยายได้ว่าเพียงพอต่อการส่งหรือไม่ โดยสร้างตัวแปร NextGap เพื่อบันทึกจำนวนเฟรมว่างระหว่างกลุ่มคำบรรยายปัจจุบันกับกลุ่มถัดไป และสร้างตัวแปร PreviousGap เพื่อบันทึกจำนวนเฟรมว่าง

ระหว่างกลุ่มคำบรรยายปัจจุบันกับกลุ่มก่อนหน้า ตัวแปรทั้ง 2 จะเปลี่ยนค่าทุกครั้งที่มีการใส่ลำดับคำบรรยาย (CaptionBlkNo) ใหม่

4.4 โครงสร้างเชิงวัตถุของส่วนติดต่อผู้ใช้

คลาสต่างๆ ในส่วนติดต่อผู้ใช้ของโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย Caption Studio สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้เป็นแผนผังลำดับขั้นของคลาสโดยสังเขปดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนผังลำดับขั้นคลาสในส่วนติดต่อผู้ใช้

โดยคลาสหลักในส่วนการติดต่อผู้ใช้ประกอบด้วย 5 คลาสดังนี้

4.4.1 คลาส frmMDIMain

คลาสนี้เป็นคลาสของหน้าต่างหลัก (Parent Window) แม้ส่วนประกอบในการติดต่อผู้ใช้จะมีเพียงส่วนของแถบเมนูด้านบน แต่คลาสจะบรรจุวัตถุและข้อมูลที่เกี่ยวกับคำบรรยายทั้งหมด การอ่านหรือแก้ไขข้อมูลคำบรรยายจากวัตถุอื่นๆ ในโปรแกรมจะต้องกระทำผ่านคลาสนี้เท่านั้น คลาสนี้จึงเป็นเหมือนศูนย์กลางของโปรแกรม Caption Studio

ในคลาสมีวัตถุคลาส CaptionDBManager ทำหน้าที่ติดต่อกับแฟ้มฐานข้อมูลคำบรรยาย ส่วนข้อมูลอื่นๆ ที่เก็บได้แก่ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของหน้าต่างหลัก และชื่อแฟ้มฐานข้อมูลที่ติดต่ออยู่ เป็นต้น

ฟังก์ชันที่มีอยู่ในคลาสนี้ได้แก่ ฟังก์ชัน GlobalKeyCheck ทำหน้าที่ตอบสนองคีย์ด่วน โดยฟังก์ชันนี้จะถูกเรียกจากคลาสอื่นๆ เพื่อรับผลการติดต่อจากผู้ใช้ และฟังก์ชัน SyncMDIChild ทำหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลในคลาสอื่นๆ ที่เป็นหน้าต่างย่อยใน frmMDIMain ให้ตรงกับข้อมูลปัจจุบันที่คลาสเก็บไว้

4.4.2 คลาส frmCaptionSeq

คลาสนี้คือหน้าต่างย่อยแสดงลำดับคำบรรยาย (Caption Block Sequence) ประกอบด้วยส่วนแสดงผลกลุ่มคำบรรยาย 3 กลุ่ม คือ กลุ่มคำบรรยายปัจจุบัน กลุ่มคำบรรยายก่อนหน้า และกลุ่มคำบรรยายถัดไป ซึ่งกลุ่มคำบรรยายเหล่านี้อ่านมาได้จากกลุ่มคำบรรยายในวัตถุ CaptionDBManager จากคลาส frmMDIMain

คลาสนี้จะมีแถบเลื่อนสำหรับเลื่อนหากลุ่มคำบรรยายที่ต้องการ ทุกครั้งที่เลื่อนคลาสนี้จะอ่านข้อมูลกลุ่มคำบรรยายใหม่มาจากคลาส frmMDIMain ซึ่งเป็นศูนย์กลางข้อมูล และหากมีการแก้ไขข้อมูลในหน้าต่างนี้ ฟังก์ชัน ExportChange ก็จะถูกเรียกใช้เพื่อนำข้อมูลที่แก้ไขแล้วไปบันทึกกลับลงบนข้อมูลหลักจากคลาส frmMDIMain

4.4.3 คลาส frmMediaplayer

คลาสนี้เป็นส่วนของการเล่นแฟ้มภาพเคลื่อนไหวแบบ MPEG และนำกลุ่มคำบรรยายมาแสดงทับบนจอภาพในช่วงเวลาเริ่มแสดง (Mark In Time) และหยุดแสดง (Mark Out Time) ที่ตั้งไว้ในกลุ่มคำบรรยาย หรือเป็นการจำลองการแสดงผลคำบรรยายนั่นเอง การแสดงผลคำบรรยายสามารถแสดงได้ทั้งภาษาไทยและอังกฤษตามที่ผู้ใช้เลือก

ขณะเล่นภาพเคลื่อนไหว คลาสนี้จะตรวจสอบทุกๆ 20 ms ว่าจำเป็นต้องแสดงผลคำบรรยายถัดมาหรือไม่ ซึ่งถ้าจำเป็นก็จะอ่านกลุ่มคำบรรยายถัดไปจาก frmMDIMain พร้อมกับเรียกฟังก์ชัน ExportChange ภายในคลาสเพื่อให้วัตถุอื่นๆ ปรับข้อมูลให้ถูกต้องตามข้อมูลจากวัตถุ frmMDIMain ปัจจุบัน

นอกจากนี้เวลาที่อ่านได้จากแฟ้มภาพคำบรรยายจะยึดถือเป็นเวลาหลักในขณะป้อนคำบรรยาย ดังนั้นถ้ามีการกดสร้างคำบรรยาย เวลา MarkInTime ก็จะเท่ากับเวลาขณะสั่งเพิ่มคำบรรยาย

4.4.4 คลาส frmEditing

คลาสนี้เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ ภายในคลาสมีเพียงการรับคำสั่งจากปุ่มต่างๆ ในหน้าต่างของตนแล้วไปควบคุมวัตถุ CaptionDBManager ในคลาส frmMDIMain ต่อไป

4.4.5 คลาส frmInserting

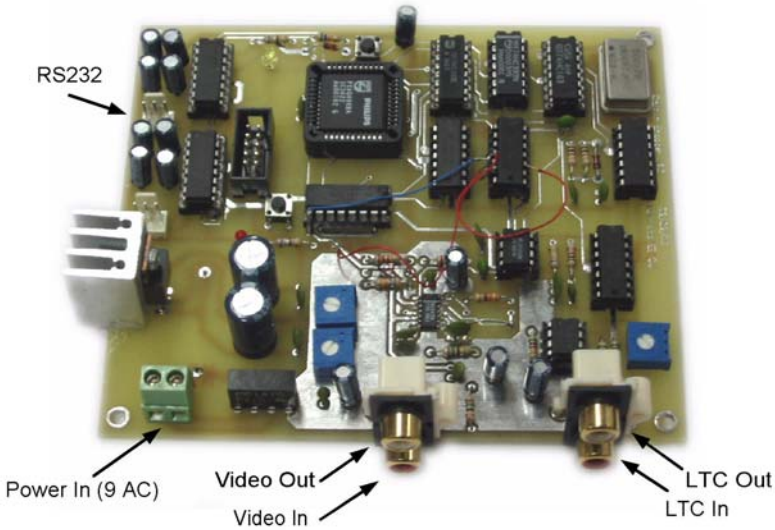
คลาสนี้จะติดต่อกับส่วนคลาส MSComm ซึ่งเป็นคลาสสื่อสารภายใน frmMDIMain โดยจะตรวจสอบข้อมูลที่เครื่องเข้ารหัสส่งเข้ามา ถ้าเป็นส่วนของการส่งค่าเฟรมก็จะนำค่าที่ได้มาแสดงบนหน้าต่างนี้ ส่วนคำสั่งต่างๆ ที่ถูกสั่งลงไปในหน้าต่าง เช่นการเลือกโมดรหัสเวลา หรือการสั่งเริ่มต้น/ยุติการแทรกสัญญาณก็จะถูกส่งไปยังคลาสการสื่อสารเพื่อส่งไปยังเครื่องเข้ารหัสต่อไป

บทที่ 5

การทดสอบ และสรุปผล

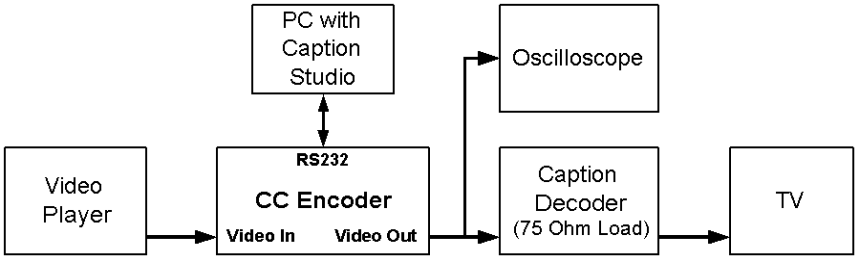
5.1 การทดสอบการทำงานเบื้องต้น

เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายที่พัฒนาแล้วมีลักษณะดังรูปที่ 5.1 จุดเชื่อมต่อกับภายนอกเพื่อการใช้งาน ได้แก่ ช่องสัญญาณวีดิทัศน์เข้า (Video In), ช่องสัญญาณวีดิทัศน์ออก (Video Out), ช่องสัญญาณรหัสเวลาขาเข้า (LTC In), ช่องสัญญาณรหัสเวลาขาออก (LTC Out) และช่องสัญญาณ RS232 เพื่อต่อเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์

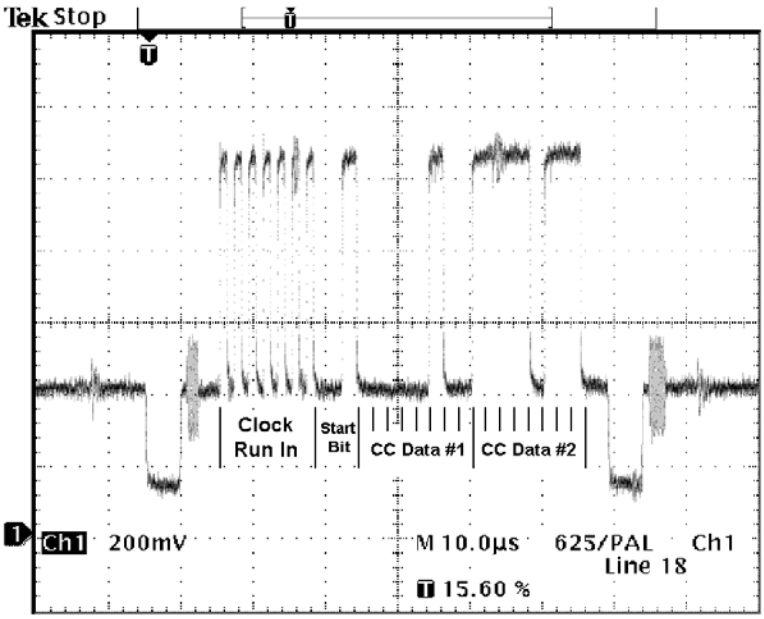


รูปที่ 5.1 เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ที่มีรหัสเวลาแบบ LTC

การทดสอบเครื่องเข้ารหัสในขั้นต้นคือการพิจารณาสัญญาณ PAL 18 Closed Caption ที่สร้างขึ้นจากเครื่องเข้ารหัส ทำได้โดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 5.2 คือ เครื่องเล่นวีดิโอเทปส่งสัญญาณวีดิทัศน์ไปยังเครื่องเข้ารหัส และกำหนดให้โปรแกรม Caption Studio พร้อมส่งข้อมูลคำบรรยายออกมา ติดตั้งออสซิลโลสโคปเพื่อสังเกตสัญญาณวีดิทัศน์ขาออกของเครื่องเข้ารหัส และติดตั้งเครื่องถอดรหัสคำบรรยายเพื่อดูผลการถอดรหัส



รูปที่ 5.2 การต่อเชื่อมอุปกรณ์เพื่อทดสอบการทำงานเบื้องต้น



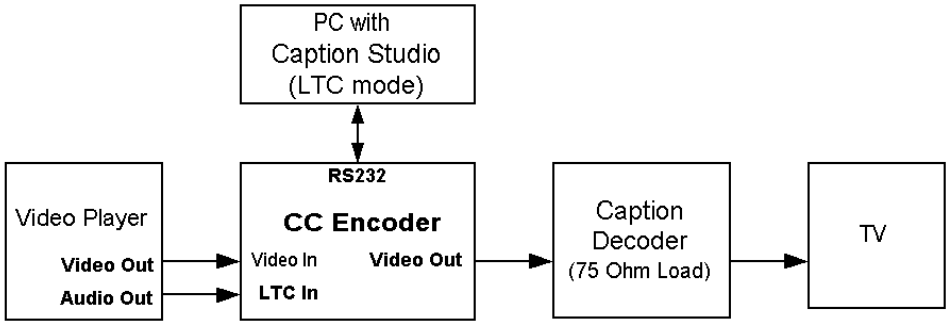
รูปที่ 5.3 รูปสัญญาณที่ออกจากเครื่องเข้ารหัส

ลักษณะสัญญาณที่บันทึกได้จากเครื่องเข้ารหัสนี้แสดงดังรูปที่ 5.3 โดยแสดงเห็นได้ถึงส่วนประกอบต่างๆ ของสัญญาณ PAL 18 Closed Caption คือ สัญญาณนาฬิกาเริ่มต้น (Clock Run In), บิตเริ่มต้น (Start Bit) และข้อมูลอีก 2 ไบต์

รูปที่ 5.4 ภาพแสดงผลการถอดรหัสคำบรรยายจากสัญญาณที่สร้างขึ้น
และลักษณะสัญญาณ PAL 18 Closed Caption ที่ปรากฏบริเวณช่องว่างใต้ภาพ (VBI)

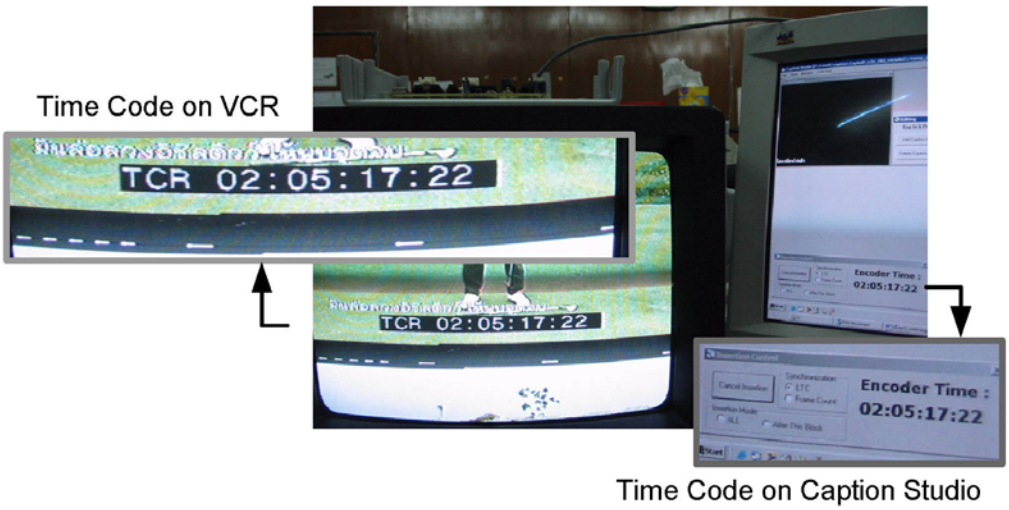
เมื่อสังเกตภาพจากโทรทัศน์ซึ่งผ่านเครื่องถอดรหัสคำบรรยายมาแล้วจะพบว่า การถอดคำบรรยายเป็นไปอย่างถูกต้อง ตรงกับข้อมูลคำบรรยายที่สร้างไว้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างภาพจากโทรทัศน์แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.4

การทดสอบต่อมาคือการทดสอบอ่านรหัสเวลา LTC ซึ่งทำได้โดยต่อเชื่อมอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบการอ่านรหัสเวลา LTC

การทดสอบครั้งนี้ เครื่องเล่นเทปวีดิทัศน์จะแสดงเทปบันทึกรายการที่มีรหัสเวลา LTC อยู่ในช่องสัญญาณเสียงพร้อมกับตัวเลขแสดงเวลานั้นบนภาพด้วย เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบกัน โดยผลการทดสอบพบว่าเครื่องเข้ารหัสจะส่งข้อมูลเวลาขึ้นมาแสดงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ และค่าที่อ่านออกมาก็ตรงกับที่แสดงในวีดิทัศน์ ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ภาพแสดงการเปรียบเทียบรหัสเวลาที่บันทึกมาบนเทปวีดิทัศน์กับรหัสเวลาที่อ่านได้โดยเครื่องเข้ารหัส

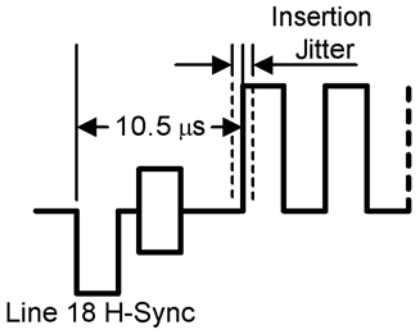
จากการทดสอบในเบื้องต้นทั้งสองอย่าง แสดงให้เห็นว่าเครื่องเข้ารหัสสามารถแทรกรหัส PAL 18 Closed Caption ได้ และสัญญาณวีดิทัศน์เหล่านั้นสามารถส่งไปยังเครื่องถอดรหัสและแสดงผลคำบรรยายได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้เครื่องเข้ารหัสยังสามารถอ่านรหัสเวลาแบบ LTC เพื่อช่วยกำหนดค่าเวลาได้อีกด้วย

5.2 การทดสอบคุณภาพสัญญาณขาออกของเครื่องเข้ารหัส

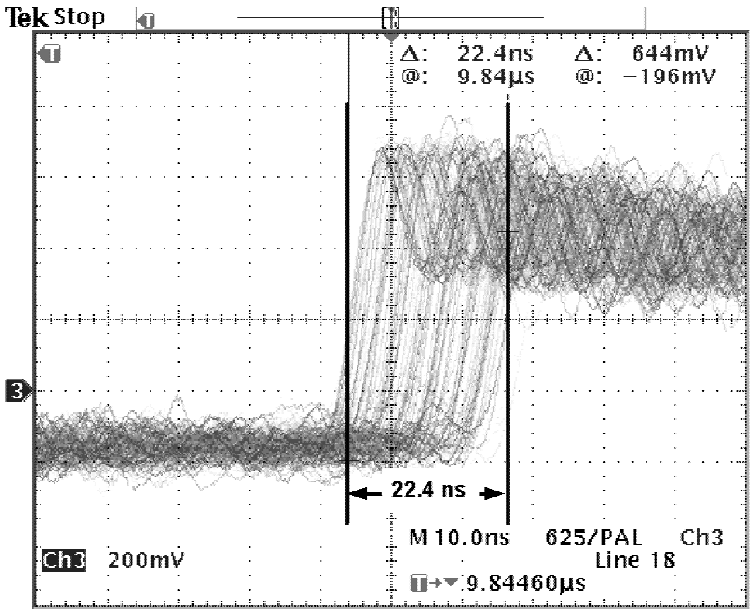
การทดสอบคุณภาพสัญญาณขาออกจะทำในสองลักษณะ ได้แก่

5.2.1 การวัดค่าการไหวทางเวลาในการแทรกข้อมูล (Insertion Jitter)

ค่าการไหวทางเวลาในการแทรกข้อมูลคือ ระยะเวลาระหว่างจุดเริ่มต้นของเส้นภาพที่ 18 ไปจนถึงจุดเริ่มต้นการแทรกข้อมูลที่เบี่ยงเบนไปจากข้อกำหนดคือ 10.5 μs นิยามการวัดการไหวทางเวลาแสดงดังรูปที่ 5.7 เพื่อวัดค่านี้สามารถทำได้โดยต่อวงจรดังรูปที่ 5.2 แล้วขยายภาพสัญญาณตามแกนเวลาที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณ PAL 18 Closed Caption (หรือระยะเวลาห่างจากการขึ้นต้นเส้นภาพที่ 18 ออกไป 10.5 μs นั่นเอง) เมื่อนำภาพมาตรวจสอบจะพบการไหวทางเวลา (Jitter) เทียบกับจุดเริ่มต้นเส้นภาพ เพื่อให้วัดการไหวทางเวลาได้สะดวกจึงตั้งค่าให้ออสซิลโลสโคปแสดงภาพซ้ำเป็นเวลา 5 วินาที ได้ผลดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.7 นิยามการวัดค่าการไหวทางเวลาในการแทรกข้อมูล

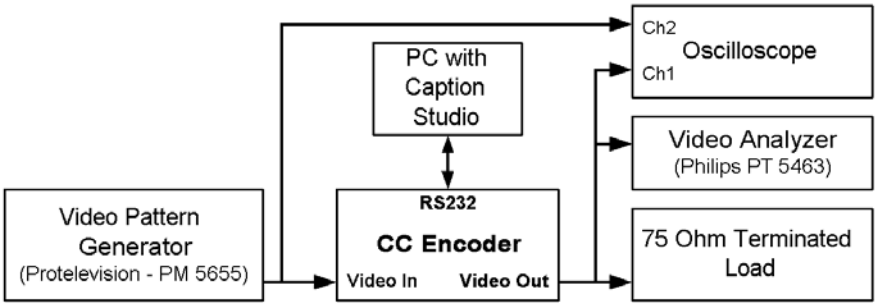


รูปที่ 5.8 ผลการวัดการไหวทางเวลาของการแทรกข้อมูล

จากรูปที่ 5.8 ที่พบว่าการไหวทางเวลาในการแทรกข้อมูลเมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้นเส้นภาพมีค่าต่ำกว่า 22 .4 ns หรือต่ำกว่า +/- 11.2 ns นั่นเอง ค่าการไหวทางเวลาที่วัดได้นี้มากกว่าค่าทางทฤษฎีจากการออกแบบ คือ 10.8 ns อยู่เล็กน้อย อย่างไรก็ดีผลการวัดก็ต่ำกว่าข้อกำหนดที่ได้ตั้งไว้คือ +/- 15 ns

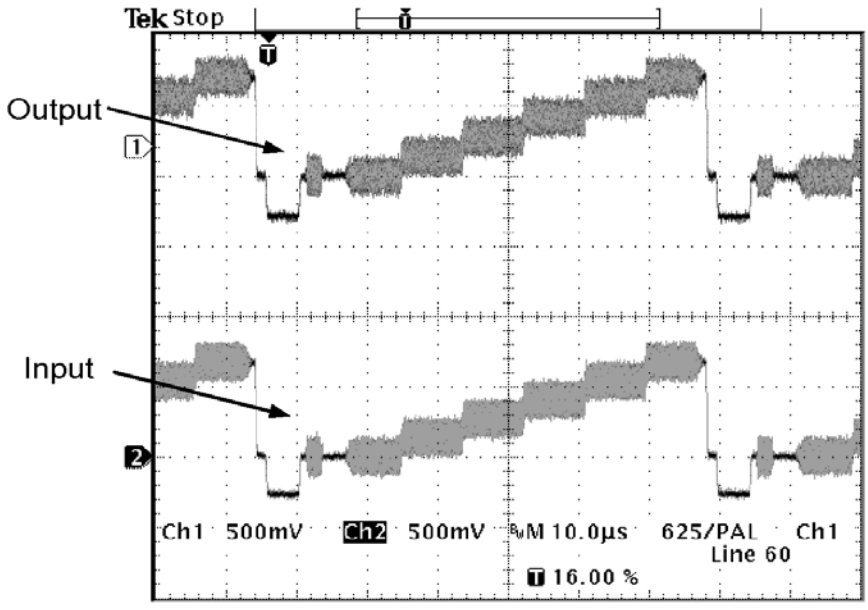
5.2.2 การคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ขาออก

การวัดคุณภาพสัญญาณโทรทัศน์ทำได้โดยติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.9

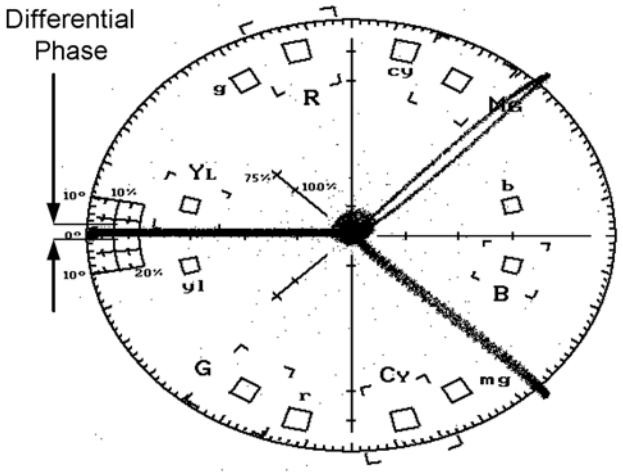


รูปที่ 5.9 การต่อเชื่อมอุปกรณ์เพื่อทดสอบคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์

การวัดคุณภาพสัญญาณนี้จะวัดแต่ค่าที่สนใจได้แก่ ผลต่างอัตราขยาย (Differential Gain), ผลต่างเฟส (Differential Phase) และลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ (Gain/Frequency Characteristic) ของวงจร การวัดเหล่านี้ทำได้โดยเลือกรูปแบบสัญญาณวีดิทัศน์จากเครื่องสร้างสัญญาณวีดิทัศน์ (Video Pattern Generator) ที่เหมาะสมกับการวัดสัญญาณแต่ละประเภท ต่อจากนั้นเครื่องวิเคราะห์สัญญาณวีดิทัศน์ (Video Analyzer) จะแสดงตัวเลขค่าต่างๆ ออกมา นอกจากนี้ยังใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อเปรียบเทียบสัญญาณเข้าและสัญญาณออกจากเครื่องเข้ารหัส



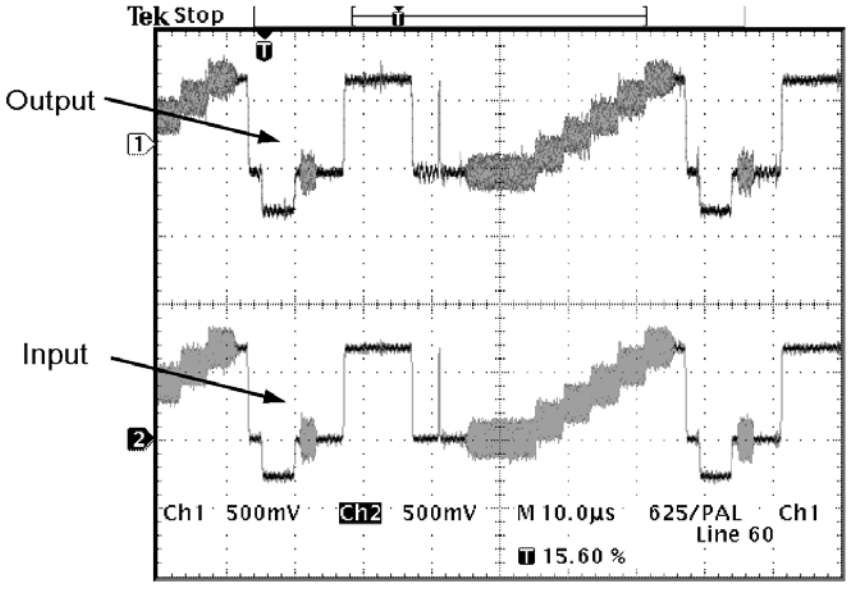
รูปที่ 5.10 รูปสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลทพาหะย่อยสัญญาณสี (Modulated Staircase) ที่ขาออกและขาเข้าของเครื่องเข้ารหัส



รูปที่ 5.11 รูปบนเวกเตอร์สโคปของสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลทพาหะย่อยสัญญาณสี (Modulated Staircase) ที่ขาออกของเครื่องเข้ารหัส

การวัดผลต่างอัตราขยายและผลต่างเฟสทำได้โดยป้อนสัญญาณขั้นบันไดที่มอดูเลตพาหะย่อยสัญญาณสีเข้าสู่วงจรแล้ววัดสัญญาณออก โดยค่าผลต่างอัตราขยายหาได้จากค่าแอมปลิจูดที่เปลี่ยนแปลงของพาหะย่อยสัญญาณสีที่ระดับความสว่างต่างๆ และ ค่าผลต่างเฟส หาได้จากมุมที่สัญญาณแสดงบนเวกเตอร์-สโคป ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 ตามลำดับ แต่ว่าการวัดด้วยวิธีเหล่านั้นจะให้ผลไม่ละเอียดนักจึงเลือกใช้การวัดจากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณวีดิทัศน์แทน

การวัดค่าผลต่างอัตราขยายและผลต่างเฟสด้วยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณวีดิทัศน์จะใช้สัญญาณ CCIR-330 แทนได้เพราะสัญญาณนี้ประกอบด้วยลักษณะสัญญาณหลายแบบเพื่อการวัดความไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งรวมถึงผลต่างอัตราขยายและผลต่างเฟส ลักษณะสัญญาณ CCIR 330 เป็นไปดังรูปที่ 5.12 ค่าผลต่างอัตราขยายและผลต่างเฟสที่ได้จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณวีดิทัศน์มีค่าดังตารางที่ 5.1

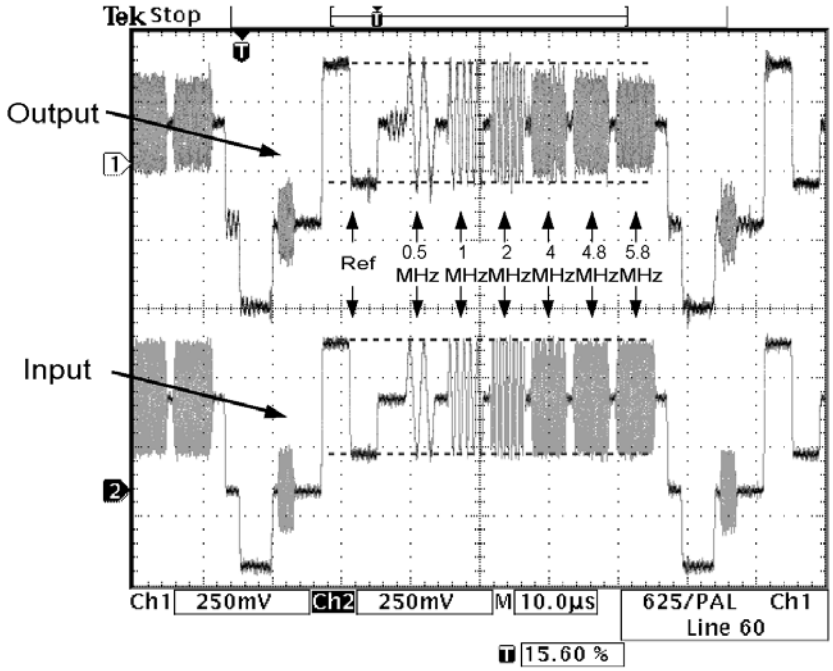


รูปที่ 5.12 รูปสัญญาณ CCIR 330 ขาออกและขาเข้าของเครื่องเข้ารหัส

ตารางที่ 5.1 ผลการวัดค่าความเพี้ยนแบบไม่เชิงเส้น

ความเพี้ยนแบบไม่เชิงเส้น	ค่าที่วัดได้
ผลต่างอัตราขยาย (Differential Gain) จากยอดถึงยอด	0.9%
ผลต่างเฟส (Differential Phase) จากยอดถึงยอด	-0.7°

การวัดลักษณะสมบัติของอัตราขยายกับความถี่สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณ CCIR 18 เข้าไปและผลการวัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปเป็นไปดังรูปที่ 5.13

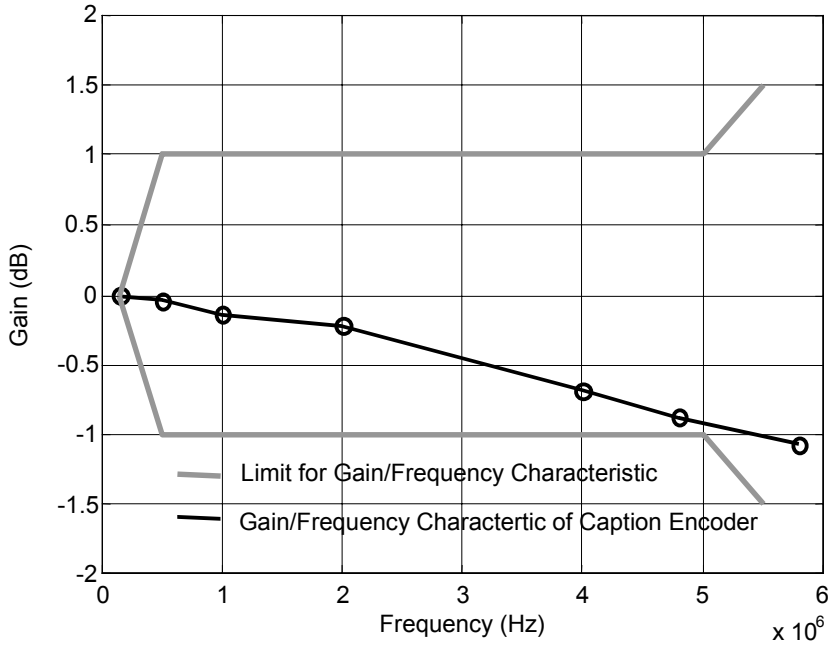


รูปที่ 5.13 รูปสัญญาณ CCIR 18 ขาออกและขาเข้าของเครื่องเข้ารหัส

จากภาพแสดงให้เห็นแนวโน้มอย่างชัดเจนในเรื่องการตอบสนองเชิงความถี่ในย่านสัญญาณวีดิทัศน์ เพราะลักษณะสัญญาณออกชี้ว่า ถ้าสัญญาณเข้าที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีความถี่สูงกว่า สัญญาณออกมาจะมีขนาดเล็กลง ผลการวัดเป็นตัวเลขโดยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณวีดิทัศน์ได้ผลดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการวัดลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ของเครื่องเข้ารหัส

ความถี่	0.5 MHz	1.0 MHz	2.0 MHz	4.0 MHz	4.8 MHz	5.8 MHz
ขนาดที่แตกต่างไปจากสัญญาณอ้างอิง	-0.4%	-1.3%	-2.5%	-7.6%	-9.6%	-11.6%
ขนาด(dB)	-0.035	-0.116	-0.220	-0.687	-0.877	-1.071



รูปที่ 5.14 ลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่ของเครื่องเข้ารหัสเทียบกับมาตรฐาน ITU-T J.61

ผลการวัดที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดด้านคุณภาพของสัญญาณวีดิทัศน์ตามมาตรฐาน ITU-T J.61 ได้ดังรูปที่ 5.14 รูปนี้ยืนยันให้เห็นว่าเครื่องเข้ารหัสผ่านข้อกำหนดเพราะลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่อยู่ในขอบเขตของมาตรฐาน

5.3 การเปรียบเทียบสมบัติของเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายที่พัฒนาขึ้น

เครื่องเข้ารหัสที่เลือกนำมาเปรียบเทียบเป็นของบริษัท ULTECH ซึ่งผลิตเครื่องเข้ารหัส 2 รุ่นที่เน้นการใช้งานซึ่งต่างกันคือ รุ่น Insertacap [10] ที่เหมาะสำหรับผู้ผลิตรายการที่มีคำบรรยาย และรุ่น EDS400 [11] ที่เหมาะกับสถานีส่งรายการโทรทัศน์หรือบริษัทรับสร้างคำบรรยาย (Caption Service Provider)

ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบสมบัติเครื่องแทรกรหัสคำบรรยาย

หัวข้อการเปรียบเทียบ	เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้	InsertaCap	EDS400
มาตรฐานสัญญาณวีดิทัศน์	PAL	NTSC / PAL [1]	NTSC / PAL
ชนิดสัญญาณเข้า	- Composite Video (1 Vp-p)	- Composite Video (1 Vp-p) - Y/C Component	- Composite Video (1 Vp-p)
ชนิดสัญญาณออก	- Composite Video (1 Vp-p)	- Composite Video (1 Vp-p) - Y/C Component	- Composite Video (1 Vp-p)

ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบสมบัติเครื่องแทรกรหัสคำบรรยาย (ต่อ)

หัวข้อการเปรียบเทียบ	เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้	InsertaCap	EDS400
ประเภทการแทรกข้อมูล	PAL 18 Close Caption	Line 21 Data Service (Line 22 for NTSC) (Line 22 for PAL)	Line 21 Data Service (Line 22 for NTSC) (Line 22 for PAL)
การไหวทางเวลาของการแทรกข้อมูล	+/- 15 ns (+/- 11.2 ns)$_2$	ไม่ระบุ	+/- 8 ns
Differential Gain	0.9%	ผ่านมาตรฐาน EIA-250B	0.1 %
Differential Phase	- 0.7°	ผ่านมาตรฐาน EIA-250B	0.1 °
การเชื่อมต่อข้อมูล	RS232	RS232	RS232 / Modem
การอ่านรหัสเวลา	รหัสเวลา LTC	รหัสเวลา LTC	-
ซอฟต์แวร์ควบคุมบนเครื่องคอมพิวเตอร์	Caption Studio	ซอฟต์แวร์ Captioning จากผู้ผลิตอื่นที่สนับสนุน	ซอฟต์แวร์ Captioning จากผู้ผลิตอื่นที่สนับสนุน
อื่นๆ		มี Caption Decoder ในตัว	

<u>หมายเหตุ</u> 1) InsertaCap มี 2 รุ่นเพื่อทำงานในสัญญาณ PAL หรือ NTSC โดยเฉพาะ

2) ค่าที่วัดได้จริง

จากตารางที่ 5.3 สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลได้ดังนี้

5.3.1 เปรียบเทียบกับ InsertaCap

เมื่อเทียบระหว่างเครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องเข้ารหัส InsertaCap พบว่าเครื่อง InsertaCap จะรองรับการเชื่อมต่อสัญญาณโทรทัศน์ได้ทั้งแบบ Composite ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้ทั่วไป และแบบ Y/C ซึ่งแยกสัญญาณความสว่าง (Y) และสัญญาณสี (C) ในทางปฏิบัติ การแยกสัญญาณความสว่างและสัญญาณสีออกจากกันควรให้คุณภาพสัญญาณที่ออกมาดีกว่าทั้งนี้เพราะการแยกออกแบบวงจรขยายสัญญาณวิดิทัศน์เป็น 2 ส่วนทำให้ไม่เกิดความเพี้ยนจากการมอดูเลทสัญญาณร่วมกัน (Intermodulate) ระหว่างสัญญาณทั้ง 2 อันเป็นผลให้เกิด Differential Gain และ Differential Phase ดังนั้นเครื่อง InsertaCap จึงให้ความสะดวกในการใช้งานเหนือกว่าในแง่นี้

เครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบเพื่อสร้างสัญญาณ PAL 18 Closed Caption โดยเฉพาะ แต่สำหรับเครื่อง InsertaCap นั้นจะแทรกได้แต่บนเส้นที่ 22 ในกรณีของสัญญาณ PAL ซึ่งไม่ตรงตามข้อกำหนดของ PAL 18 Closed Caption

ในแง่ของคุณภาพสัญญาณออกนั้นเครื่อง InsertaCap มิได้แสดงตัวเลขไว้ ระบุเพียงว่าผ่านมาตรฐาน EIA-250B “Electrical Performance for Television Transmission Systems” แต่เนื่องจากไม่มีเอกสารของมาตรฐานนี้จึงไม่ทราบค่าที่แท้จริง อย่างไรก็ดีมาตรฐานที่คล้ายกับ EIA-250B ก็คือ ITU-T J.61 (เดิมคือ CCIR 567) “Transmission Performance of Television Circuit Designed for Use in International Connections”

โดยตามมาตรฐานนี้แล้ว Differential Gain และ Differential Phase ที่ยอมรับได้มีค่าถึง 10% และ 5° ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า Differential Gain และ Differential Phase ของเครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นอย่างมาก

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายคือ Caption Studio ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ แต่สำหรับ InsertaCap จะใช้ซอฟต์แวร์ของบริษัทอื่นๆ ที่รองรับการทำงานของเครื่องนี้มาควบคุม

เครื่อง InsertaCap มีจุดเด่นเหมาะแก่การใช้งานเพื่อผู้ผลิตรายการที่มีคำบรรยายเนื่องจากมีเครื่องถอดรหัสคำบรรยายภายใน สามารถใช้ทดลองแทรกคำบรรยายหรือสร้างคำบรรยายแบบไม่ซ่อน (Open Caption) ก็ได้ ซึ่งเครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นทำไม่ได้ในขณะนี้

5.3.2 เปรียบเทียบกับ EDS400

เมื่อเทียบระหว่างเครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องเข้ารหัส EDS400 จะพบว่าเครื่อง EDS400 สามารถต่อเชื่อมกับสัญญาณวีดิทัศน์ได้แบบเดียวคือสัญญาณวิดิทัศน์แบบ Composite เหมือนกับเครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้น

Insertion Jitter ของเครื่อง EDS400 มีค่า +/- 8 ns ซึ่งต่ำกว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นคือ +/- 11.2 ns

จุดเด่นของเครื่อง EDS400 คือ คุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ขาออกที่มีค่า Differential Gain และ Differential Phase เพียง 0.1% และ 0.1° ตามลำดับ ค่าทั้งสองนี้ต่ำกว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้น

การเชื่อมต่อข้อมูลของเครื่อง EDS400 มีทั้ง RS232 และ Modem ทำให้เครื่องเข้ารหัสนี้มีความสามารถในการถูกควบคุมจากระยะไกลเพื่อจุดประสงค์บางอย่าง เช่น การสร้างคำบรรยายสด เป็นต้น แต่เครื่องเข้ารหัสที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์ที่จะทำเช่นนั้นจึงไม่ได้ออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับ Modem ได้

5.3.3 วิจารณ์ผลการเปรียบเทียบสมบัติของเครื่องเข้ารหัส

เครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดอยู่ในกลุ่มเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายเพื่อผู้ผลิตรายการโทรทัศน์ได้ เพราะมีคุณภาพสัญญาณออกที่ดี คือ ผ่านมาตรฐาน ITU-T J.61 และมีค่า Insertion Jitter ต่ำ คือ ต่ำกว่ามาตรฐานของ PAL 18 Closed Caption ที่ตั้งไว้ +/- 250 ns โดยมีค่าเพียง +/- 11.2 ns เท่านั้น นอกจากนี้เครื่องเข้ารหัสที่พัฒนาขึ้นยังมีส่วนอ่านรหัสเวลาแบบ LTC จึงทำให้เหมาะกับงานผู้ผลิตรายการที่มีคำบรรยายแบบซ่อนได้อย่างยิ่ง เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายที่พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำติดตั้งในสถานีโทรทัศน์เพราะ คุณภาพสัญญาณออกยังไม่ใกล้เคียงกับเครื่องแทรกคำบรรยายประเภทนี้ และไม่สามารถสั่งงานระยะไกลเพื่อสร้างคำบรรยายแบบสดได้

5.4 การทดสอบการใช้งานโปรแกรม Caption Studio

การทดสอบโปรแกรม Caption Studio ทำได้โดยทดลองสร้างแฟ้มคำบรรยายภาพจากภาพยนตร์เรื่อง “Lord of The Ring: The Fellowship of The Ring” ในช่วงเวลา 15 นาทีแรก การสร้างคำบรรยายจะใช้แผ่น VCD เป็นแฟ้มภาพเคลื่อนไหวเพื่อประกอบการสร้างคำบรรยาย และกำหนดให้คำบรรยายถูกแสดงบริเวณบรรทัดล่างของจอ (บรรทัดที่13 –15) ซึ่งการสร้างคำบรรยายก็สำเร็จได้ด้วยดี และสังเกตได้กว่าการใช้คีย์ด่วน

ช่วยลดการขยับมือได้มาก ทำให้การแทรกคำบรรยายเป็นไปอย่างสะดวก อย่างไรก็ดีผู้ใช้ต้องเตรียมพร้อมกดคีย์ด่วนอยู่เสมอเมื่อเกิดบทสนทนา ทำให้เมื่อยมือเมื่อต้องกระทำเป็นเวลานาน

เมื่อนำคำบรรยายที่สร้างแล้วมาจำลองการแสดงผลพบว่า ตำแหน่งการกดคีย์ด่วนจะล้าช้าไปกว่าตำแหน่งเริ่มการสนทนาจริงอยู่เล็กน้อย (ประมาณ 1 วินาที) เสมอ ทำให้ต้องแก้ไขด้วยการเลื่อนเวลาแสดงผล (Mark In Time) ให้เร็วขึ้นเล็กน้อย วิธีการเลื่อน Mark In Time ก็สามารถทำในหน้าต่าง Mark ที่ช่องการเลื่อนเวลาคำบรรยาย โดยง่ายดาย

5.5 การเปรียบเทียบสมบัติของโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย

การเปรียบเทียบโปรแกรมจะกระทำด้วยการศึกษาคุณสมบัติที่แสดงไว้เอกสารเท่านั้น ไม่ได้มีการทดลองใช้งานโปรแกรมแต่อย่างใด โปรแกรมเข้ารหัสที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่โปรแกรม “CAPtivator Offline” [12] และโปรแกรม “Softrade Subtitle System” [13] แม้โปรแกรมทั้งสองนี้จะจัดอยู่ในกลุ่มโปรแกรมผลิตคำบรรยายทั้งคู่แต่มีความแตกต่างในรายละเอียดปลีกย่อยมาก โดยอธิบายได้ดังนี้

โปรแกรม “Captivator Offline” เป็นโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อการผลิตคำบรรยายแบบซ่อนได้โดยเฉพาะ โดยแบ่งเป็นโปรแกรม 2 ชุด คือ “CAPtivator Offline Edit” และ “PostCap”

โปรแกรม CAPtivator Offline Edit” เป็นโปรแกรมช่วยจัดสร้างคำบรรยาย ผู้ผลิตอ้างว่าโปรแกรมพัฒนาขึ้นเพื่อมุ่งเน้นความเร็วในการป้อนคำบรรยาย ตัวโปรแกรมสามารถจัดเรียงและตัดตอนบรรทัดคำบรรยายให้อัตโนมัติ มีการแสดงภาพวีดิทัศน์เพื่อจำลองการทำงานโดยอาศัยฮาร์ดแวร์พิเศษภายนอก โปรแกรมสามารถติดต่อกับเครื่องเล่นเทปวีดิทัศน์แบบต่างๆ ได้เพื่อควบคุมการแสดงผล และมีสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดในการสร้างคำบรรยายได้ในหลายลักษณะ

ส่วนโปรแกรม “PostCap” ทำหน้าที่นำแฟ้มข้อมูลคำบรรยายที่ป้อนข้อมูลแล้วมาแทรกและบันทึกลงเทปวีดิทัศน์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมนี้ต้องมีเครื่องบันทึกเทป และเครื่องอ่านรหัสเวลาติดตั้งอยู่ด้วย การออกแบบโปรแกรมแยกเป็นสองส่วนเช่นนี้เพื่อให้แบ่งการจัดสร้างคำบรรยายและการแทรกคำบรรยายลงเทปวีดิทัศน์ออกจากกัน

อีกโปรแกรมหนึ่งที่นำมาเปรียบเทียบคือโปรแกรม “Softrade Subtitle System” โปรแกรมนี้ออกแบบขึ้นเพื่อการสร้างคำบรรยายทุกรูปแบบทั้งแบบซ่อนได้และแบบไม่ซ่อน โปรแกรมนี้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ “The SST Translator/Editor Interface (TEI)”, “The Back-End”, และ ”The Prep Station (MPEG Encoder/CD-R Writer)”

ส่วน “The SST Translator/Editor Interface (TEI)” คือส่วนที่ใช้พิมพ์คำบรรยายเข้าไป และสามารถจำลองการแสดงผลของคำบรรยายที่ป้อนเข้าไป ส่วน Back-End คือส่วนที่นำแฟ้มคำบรรยายซึ่งสร้างแล้วมาแทรกเข้าไปยังเทปวีดิทัศน์ โดยคอมพิวเตอร์ที่เป็นส่วน Back-End จะต้องเชื่อมต่อกับเครื่องเล่นวีดิทัศน์และเครื่องอ่านรหัสเวลา ส่วนสุดท้ายคือ The Prep Station ซึ่งมีหน้าที่นำเทปวีดิทัศน์ที่ต้องการสร้างคำบรรยายประกอบมาแปลงเป็นแฟ้ม MPEG เพื่อใช้กับส่วน The SST Translator/Editor Interface (TEI)

ตารางที่ 5.4 ตารางเปรียบเทียบสมบัติโปรแกรมสร้างคำบรรยาย

หัวข้อการเปรียบเทียบ	Caption Studio	CAPtivator Offline Edit	Softrade Subtitle System
ประเภทคำบรรยายที่สร้างได้	Close Caption ภาษาไทย-อังกฤษ	Close Caption/Open Caption ภาษาอังกฤษ	Close Caption/Open Caption ภาษาอังกฤษ
ความยาวข้อความที่แทรกได้	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด
การจำลองการแสดงผล	จำลองการแสดงผลด้วยแฟ้ม MPEG-1	จำลองการแสดงผลด้วยฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม	จำลองการแสดงผลด้วยแฟ้ม MPEG-1
การตรวจสอบความผิดพลาดของคำบรรยาย	- ตรวจสอบความยาวคำบรรยาย - ตรวจสอบการซ้อนทับของเวลา	- ตรวจสอบความยาวคำบรรยาย - ตรวจสอบการซ้อนทับของเวลา - ตรวจสอบคำสั่งลบเฟรมที่ผิดพลาด - ตรวจสอบอัตราการอ่านคำบรรยายสูงสุด	ไม่ระบุ
ระบบปฏิบัติการที่ใช้	Windows98 ขึ้นไป	MSDOS 6.2	Windows98 ขึ้นไป
เครื่องเข้ารหัส	เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ (PAL 18 Closed Caption)	เครื่องเข้ารหัสตามรุ่นที่ระบุ	การ์ดเฉพาะเพื่อประมวลผลสัญญาณโทรทัศน์
อุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่นๆ	ไม่มี	VCR, Time code Reader	การ์ดเฉพาะเพื่อเข้ารหัส MPEG

จากตารางที่ 5.4 สามารถนำมาพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลได้ดังนี้

5.5.1 CAPtivator Offline Edit

เปรียบเทียบโปรแกม Caption Studio กับโปรแกรม CAPtivator Offline Edit แล้วจะพบว่าการจำลองการแสดงผลของโปรแกรม Caption Studio ทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากไม่ต้องการฮารด์แวร์เพิ่มเติมพิเศษ แต่โปรแกรม CAPtivator ก็โดดเด่นกว่าที่มีส่วนตรวจสอบความผิดพลาดในหลายๆ จุด และยังผลิตได้ทั้ง คำบรรยายแบบซ่อนได้ (Close Caption) และคำบรรยายแบบไม่ซ่อน (Open Caption)

5.5.2 Softrade Subtitle System

โปรแกรม Softrade Subtitle System เหนือกว่า Caption Studio ที่สร้างคำบรรยายได้ทั้งคำบรรยายแบบซ่อนได้ (Close Caption) และคำบรรยายแบบไม่ซ่อน (Open Caption) การจำลองการทำงานใช้แนวคิดคล้ายกับโปรแกรม Caption Studio คือใช้แฟ้มภาพเคลื่อนไหวแบบ MPEG แต่โปรแกรม Softrade Subtitle

System มีซอฟต์แวร์แปลงเทปโทรทัศน์ให้เป็นไฟล์ MPEG มาให้ด้วย อย่างไรก็ตามโปรแกรม Softrade Subtitle System นั้นจะทำงานกับอุปกรณ์เฉพาะที่ขายพร้อมกับซอฟต์แวร์

5.5.3 วิจารณ์ผลการเปรียบเทียบสมบัติของโปรแกรมผลิตคำบรรยาย Caption Studio

โปรแกรม Caption Studio ที่พัฒนาขึ้นยังถือว่ามีประสิทธิภาพด้อยกว่าโปรแกมสร้างคำบรรยายในท้องตลาดต่างประเทศในแง่รายละเอียดในการทำงานต่างๆ เช่นการตรวจสอบความผิดพลาด การรองรับฮาร์ดแวร์แทรกคำบรรยาย อย่างไรก็ดีโปรแกรมตัวอย่างทั้งสองไม่รองรับการสร้างคำบรรยายภาษาไทยเช่น Caption Studio เลย

จากการศึกษาแนวทางเติบโตของซอฟต์แวร์ผลิตคำบรรยายของต่างประเทศพบว่ามีแนวโน้มที่จะหันไปแทรกคำบรรยายบนเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยการประมวลผลแฟ้มวีดิทัศน์โดยตรงแทนการใช้ฮาร์ดแวร์แทรกคำบรรยาย เนื่องจากแนวโน้มของการประมวลผลภาพวีดิทัศน์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะมีการใช้งานมากขึ้นและฮาร์ดแวร์แปลงสัญญาณวีดิทัศน์เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์มีราคาถูกลงเรื่อยๆ

5.6 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาระบบแทรกคำบรรยายภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ที่มีรหัสเวลาแบบ LTC และโปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยายชื่อ Caption Studio

การพัฒนาเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ที่มีรหัสเวลาแบบ LTC ประกอบด้วยการสร้างวงจรเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายที่รับสัญญาณจากช่องสัญญาณ RS232 เพื่อควบคุมการแทรกรหัสคำบรรยายตามมาตรฐาน PAL 18 Closed Caption ลงในสัญญาณวีดิทัศน์ เครื่องเข้ารหัสยังสามารถอ่านรหัสเวลาแบบ LTC เพื่อใช้กำหนดเวลาการแทรกคำบรรยายได้ และวงจรที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบให้มีคุณภาพสัญญาณวีดิทัศน์ขาออกที่ดีเพียงพอกับการใช้งานสำหรับผู้ผลิตรายการโทรทัศน์

การพัฒนาโปรแกรม Caption Studio ประกอบด้วยการออกแบบคลาสพื้นฐานที่สามารถรองรับข้อมูลคำบรรยายได้อย่างเหมาะสม อันได้แก่ คลาส CaptionBlock ที่เก็บชุดข้อมูลคำบรรยายแต่ละชุด คลาส CaptionComplier ซึ่งทำหน้าที่แปลงกลุ่มข้อมูลในคลาส CaptionBlock ให้เป็นสายอักขระที่พร้อมส่งให้เครื่องเข้ารหัส และคลาส CaptionDBManager ที่ทำหน้าที่ติดต่อกับแฟ้มฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บชุดคำบรรยายจำนวนมาก การพัฒนาโปรแกรม Caption Studio ยังรวมถึงการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ให้มีความสะดวกในการใช้งาน สามารถป้อนกลุ่มคำบรรยายได้อย่างรวดเร็ว และจำลองการแสดงผลกลุ่มคำบรรยายเหล่านั้นได้

ผลการทดสอบระบบแทรกคำบรรยายภาพแสดงดังต่อไปนี้

1) เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายสามารถแทรกรหัสคำบรรยายตามมาตรฐาน PAL 18 Closed Caption ได้และเมื่อนำสัญญาณออกไปถอดรหัสก็พบว่าทำงานได้อย่างถูกต้อง
2) เครื่องเข้ารหัสสามารถอ่านรหัสเวลาแบบ LTC เพื่อใช้กำหนดเวลาการแสดงผลของตัวอักษรได้อย่างถูกต้อง

3) คุณภาพสัญญาณออกของเครื่องเข้ารหัสเป็นไปดังข้อกำหนดต่อไปนี้คือ ค่า Differential Gain เท่ากับ 0.9% และ Differential Phase เท่ากับ -0.7° ส่วนลักษณะสมบัติอัตราขยายกับความถี่จะมีค่าอัตราขยายอยู่ระหว่าง –1.071 dB ถึง 0 dB ตลอดย่านความถี่ 150 kHz ถึง 5.8 MHz และ Insertion Jitter น้อยกว่า +/-11.2 ns

4) โปรแกรมช่วยสร้างคำบรรยาย Caption Studio สามารถสร้างคำบรรยายและจำลองการแสดงผลคำบรรยายเหล่าได้ รวมทั้งสามารถควบคุมเครื่องเข้ารหัสเพื่อสร้างเทปวิดีทัศน์ที่มีรหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้ตามมาตรฐาน PAL 18 Closed Caption

5.7 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้คือ

1) ติดตั้งเครื่องถอดรหัสไว้ร่วมกับเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายเพื่อใช้แสดงจำลองการทำงานในลักษณะเหมือนจริงกว่าการจำลองด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ทั้งยังทำให้เครื่องเข้ารหัสนี้สามารถสร้างคำบรรยายแบบไม่ซ่อน (Open Caption) ในตัว

2) พัฒนาให้ซอฟต์แวร์มีส่วนช่วยเหลือผู้ป้อนคำบรรยายให้มากขึ้น เช่น จัดบรรทัดและตัดคำให้อย่างเหมาะสมอัตโนมัติ หรือ ตรวจสอบคำผิดอัตโนมัติ เป็นต้น การช่วยเหลือที่เหมาะสมจากโปรแกรมจะสามารถลดเวลาการผลิตคำบรรยายลงได้มาก

3) พัฒนาให้เครื่องเข้ารหัสคำบรรยายและซอฟต์แวร์ Caption Studio สื่อสารกันด้วยโพรโตคอลที่มีมาตรฐานขึ้น หรือ เข้ากันได้กับมาตรฐานของเครื่องเข้ารหัสอื่นๆ ในตลาด

รายการอ้างอิง

1. เอกชัย ลีลารัศมี. การพัฒนาระบบโทรทัศน์ที่สามารถซ่อนคำบรรยายภาษาไทย – อังกฤษ. ทุนอุดหนุดการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กลุ่มวิชาการสาขา วิศวกรรมศาสตร์ และอุตสาหกรรมวิจัย, 2542.

2. Dilip Som. “Post-Production Captions - Movies & Videos”, The Community Ear. (1996): 20-22.

3. ITU-T J.61 Transmission performance of television circuit designed for use in international connections. International Telecommunication Union, 1990.

4. Tektronix, Inc., Non-linear distortions. Television Measurements PAL Systems, pp. 47-55. 1991.

5. Masterclock Inc., SMPTE Time Code Tutorial & Additional Data Encoded by C&A [Online]. (n.d.). Available from: http://www.masterclock.com/data_files/smpte-tutorial.pdf.

6. Philip Rees Music Technology. Synchronisation and SMPTE Timecode (time code)[Online]. 2001. Available from: http://www.philrees.co.uk/articles/timecode.htm

7. Sparx Systems Pty Ltd. UML Tutorial, Available from: http://www.sparxsystems.com.au/UML_Tutorial.htm [10 March 2003]

8. TogetherSoft, Inc. Practical UML, A Hands-On Introduction for Developers [Online]. 2002. Available from: http://www.togethersoft.com/services/practical_guides/umlonlinecourse/index.html [10 March 2003]

9. Philips Electronic. XA-G49: XA 16-bit microcontroller family 64K FLASH/2K RAM, watchdog, 2 UARTs. 2000

10. Mixedsignals Corporation. InsertaCap User’s manual [Online]. 1998. Available from: http://www.mixedsignals.com/pdfs/InsertalinkManual.v2.pdf

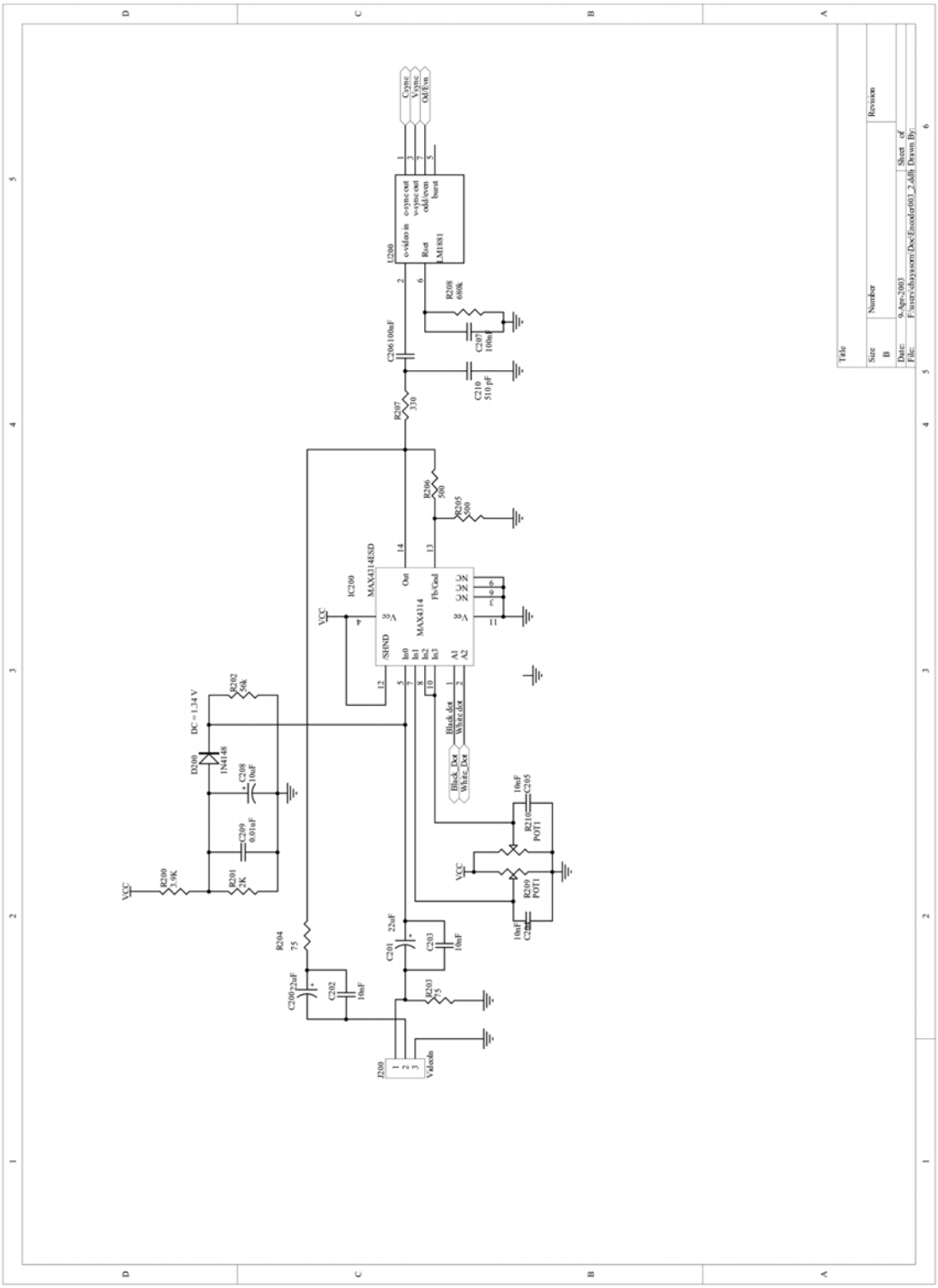
11. ULTECH Corporation. EDS400 XDS / Caption Encoder [Online]. (n.d.). Available from: http://www.ultechvideo.com/pdf/eds400.pdf

12. Softrade International. The SST System [Online], Available from: http://www.softrade-intl.com/sst/ [25 March 2003]

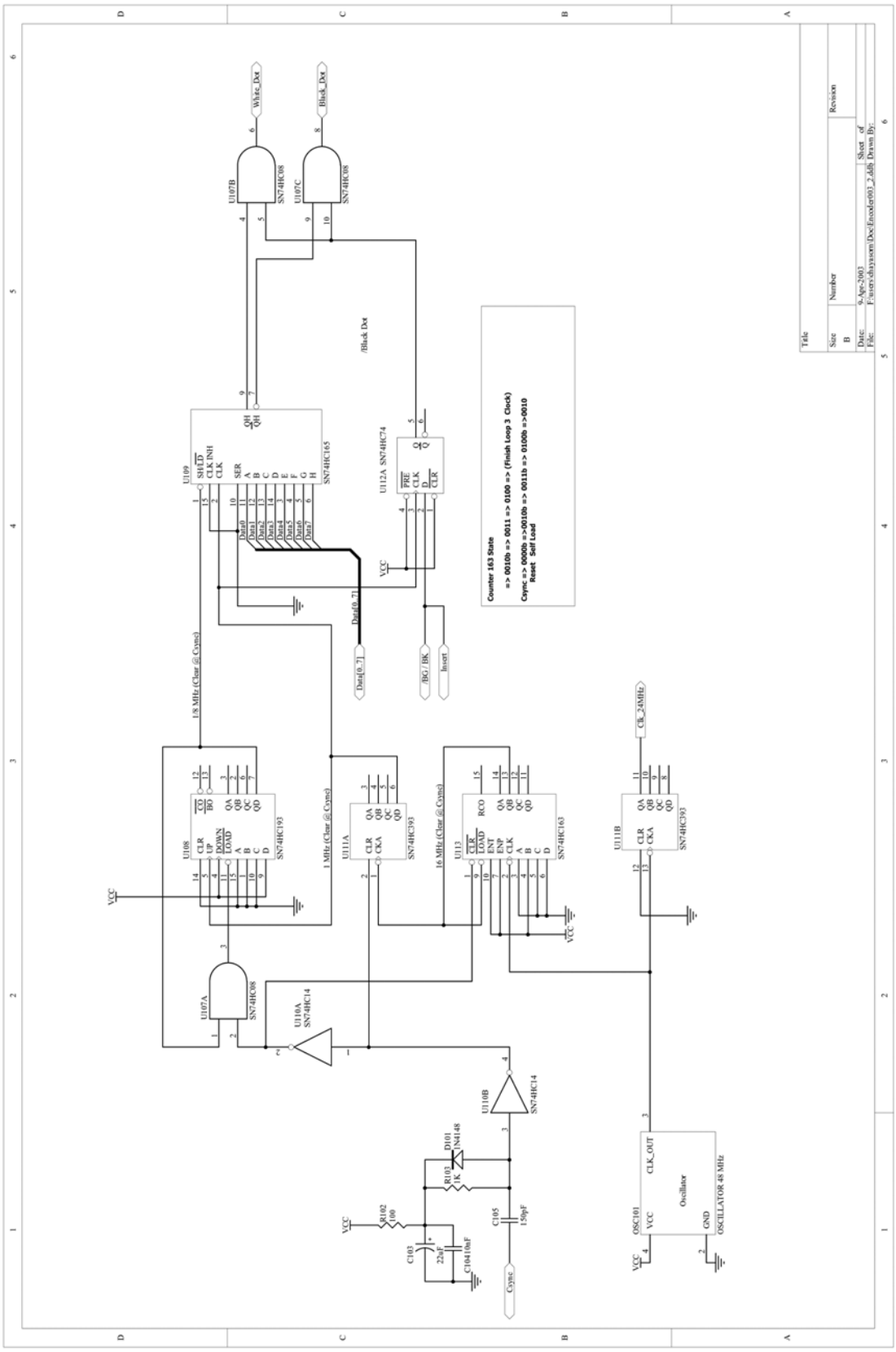
13. Cheetah International. Captivator Offline [Online], Available from: http://www.caption.com/English/Products/Captivator_Offline/CAPtivator_Offline.html [25 March 2003]

ภาคผนวก

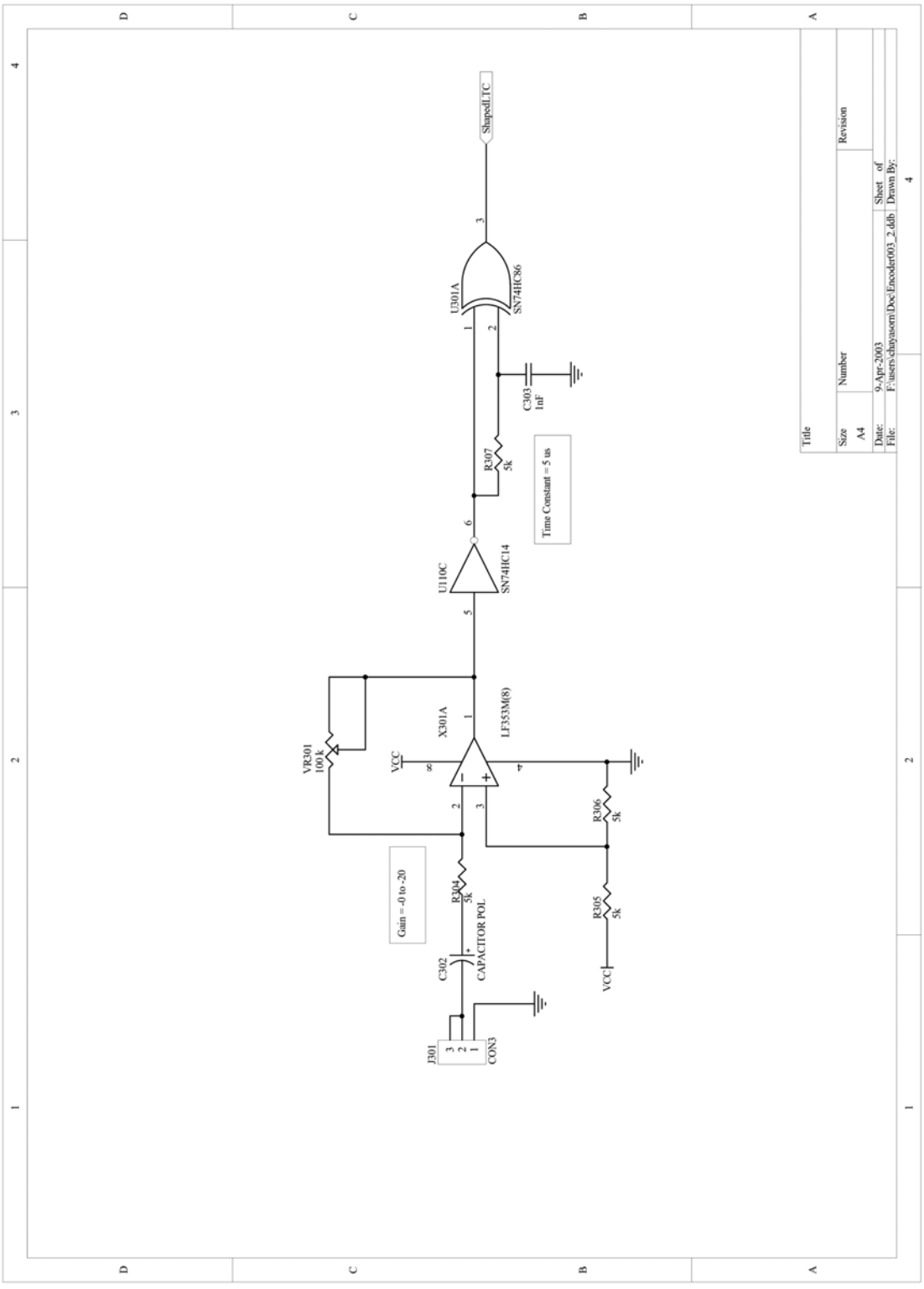
ภาคผนวก ก
แผนภาพวงจรเครื่องเข้ารหัสคำบรรยายแบบซ่อนได้



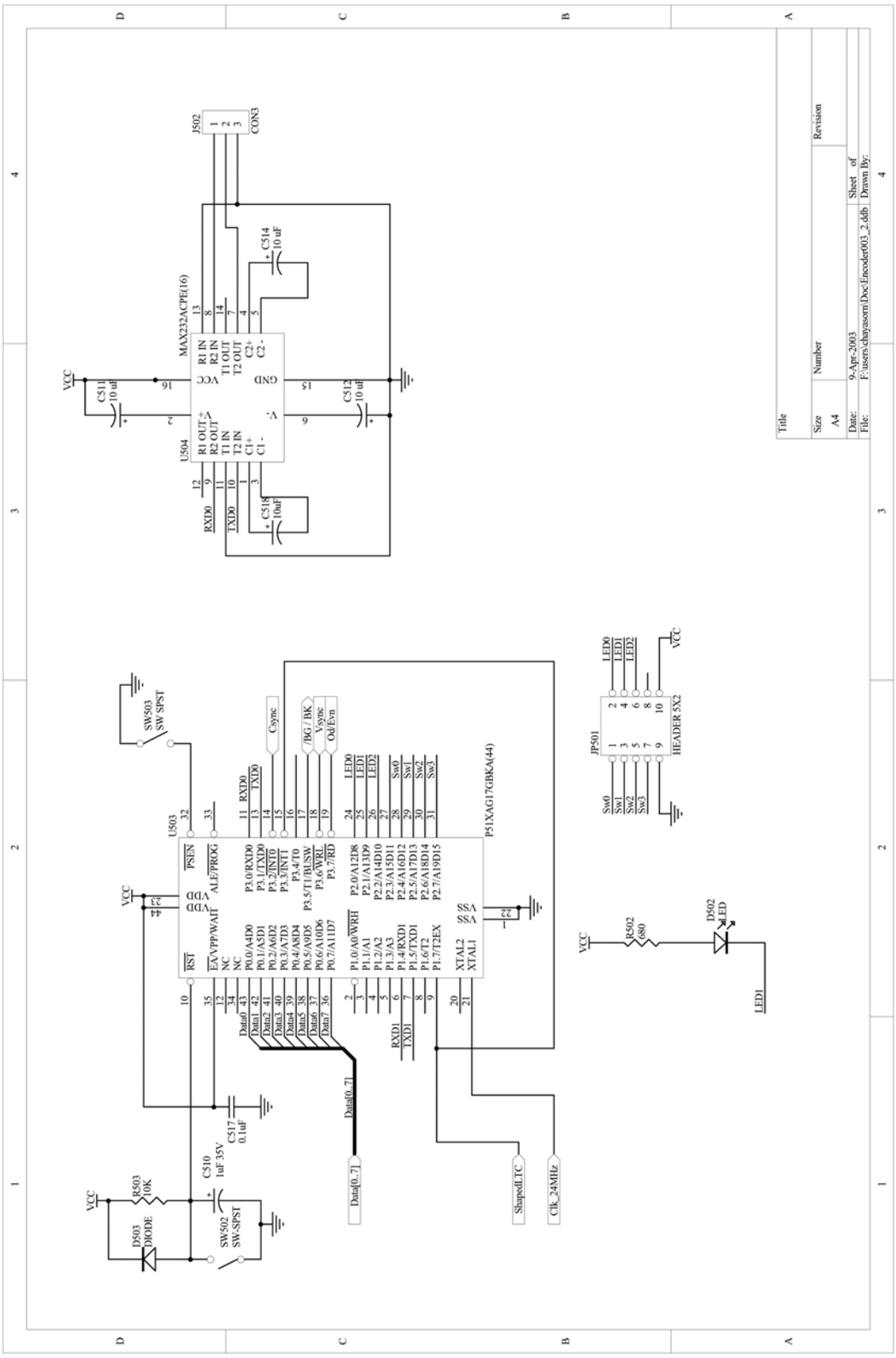
รูปที่ ก.1 แผนภาพวงจรส่วนแทรกข้อมูลคำบรรยาย (ยกเว้นส่วนตรรกะควบคุมข้อมูล)



รูปที่ ก.2 แผนภาพวงจรส่วนตรรกะควบคุมข้อมูล



รูปที่ ก.3 แผนภาพวงจรส่วนติดต่อสัญญาณรหัสเวลา



รูปที่ ก.4 แผนภาพวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ XA-G49

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ใน

2001 International Symposium on Communication and Information

(ISCIT2001)

A PAL LINE 18 THAI-ENGLISH CLOSED CAPTION DECODER

Ekachai Leelarasmee and Chayasorn Suansomjit

Ekachai Leelarasmee
Dept. of Electrical Engineering,
Chulalongkorn University
Phaya-thai Rd., Patumwan, Bangkok 10330,
THAILAND
Phone/Fax. (662) 218-6488
E-mail : ekachai.l@chula.ac.th

Chayasorn Suansomjit
Dept. of Electrical Engineering,
Chulalongkorn University
Phaya-thai Rd., Patumwan, Bangkok 10330,
THAILAND
Phone (662) 218-6537 Fax. (662) 218-6488
E-mail : chayasorn@iname.com

ABSTRACT

This work proposes a PAL line 18 Closed Caption (CC) video system for Thailand. The system can support captions in two languages, i.e. English in CC channel 1 and Thai in CC channel 2. Two caption codes are inserted at the rate of 500 Kbit/sec in the 18th scan line of every PAL video frame using a format that is similar to the well known NTSC line 21 CC system. To view CC data on a normal TV set, a set-top box CC decoder must be attached. The decoder developed in this research not only uses a low cost 8 bit microcontroller for decoding the inserted CC codes but also needs a font generator specially designed for displaying Thai and English characters in an a 32x16 dot format.

I. INTRODUCTION

Captions [1] of a video program are text that are overlaid on the program pictures to help viewers who might be hearing impaired or want to learn the language. These text include dialogues, laughters, background sounds, musical notes and etc as shown in Fig.1. To avoid distracting or annoying normal viewers, an NTSC line 21 closed caption (CC) video system [2] was developed in the United states 30 years ago and have proven to be beneficial to deaf and elderly persons. In this system, captions are stored as ASCII codes in its vertical blanking intervals (VBI) [3]. Hence they are not visible on the screen and a CC decoding circuit is needed to extract and display them. A pioneering attempt to develop such a similar system in Thailand is thus proposed in this paper and is called the PAL line 18 Thai-English CC video system. Due to the differences in line frequency, #lines per field and languages between these two CC systems, a PAL Thai-English CC decoder must be invented to support Thai viewers.

Fig. 1 Example of a program picture with captions

II. A PAL LINE 18 CC VIDEO SIGNAL

The proposed PAL CC system uses its 18th scan line of each video frame, which lies in its VBI, for storing two 7 bit codes as shown in Fig.2 and can support two languages, i.e. English on CC channel 1 (CC1) and Thai on CC channel 2 (CC2). The code format, representing characters and control codes, is the same as in the NTSC CC system [4] except for the addition of Thai character codes as shown in Table 1. A PAL CC encoder is developed to implement the system as shown is Fig.3. The captioner uses a captioning software specially developed for editing positioning and timing captions as illustrated in Fig.4. The decoder will receive these ready made caption information from the personal computer (PC) and place them, together with the clock run-in and start bits (see Fig.2), in the incoming video signal to produce a CC video signal that can be recorded in a normal VHS videotape or directly transmitted by a TV broadcast station. Due to the fact that existing commercial encoders or inserters can be imported from abroad to perform this task, the details of our encoder will not be given here. Also, the captioning software is beyond the scope of this paper. Therefore, the key factor in making the proposed system commercially viable is in developing a low cost PAL line 18 Thai-English CC decoder.

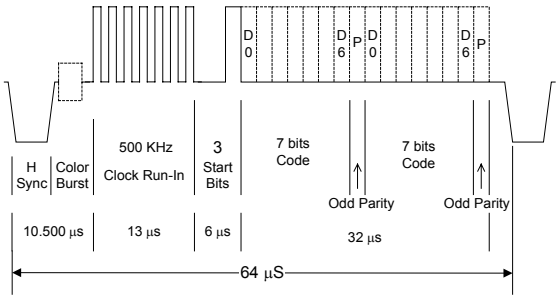


Fig.2 PAL Line 18 CC signal waveform

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0																
1																
2		!	"	#	$	%	&	'	(	)	*	+	,	-	.	/
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>	?
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[	\	]	^	_
6	`	a	B	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
7	P	q	R	s	t	u	v	w	x	y	z	{	|	}	~	

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
0																
1																
2		ก	ข	ฃ	ค	ฅ	ฆ	ง	จ	ฉ	ช	ซ	ฌ	ญ	ฎ	ฏ
3	ฐ	ฑ	ฒ	ณ	ด	ต	ถ	ท	ธ	น	บ	ป	ผ	ฝ	พ	ฟ
4	ภ	ม	ย	ร	ฤ	ล	ฦ	ว	ศ	ษ	ส	ห	ฬ	อ	ฮ	ฯ
5	ะ	ั	า	ำ	ิ	ี	ึ	ื	ุ	ู						฿
6	เ	แ	โ	ใ	ไ	ๅ	ๆ	็	่	้	๊	๋	์	๐	๑	๒
7	๐	๑	๒	๓	๔	๕	๖	๗	๘	๙	๚	๛				

Table I. Table for ASCII codes in CC1 and Thai codes in CC2

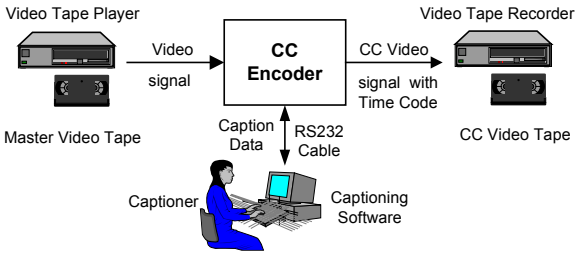


Fig. 3 A CC encoding system

Block	English captions	Thai captions	Time
1	We feel refreshed When walking in the forest.	เมื่อเราเดินเข้าไปในป่า เราจะรู้สึกสดชื่น	00:00:1
2	There are many kinds of trees.	ในป่ามีต้นไม้หลายหลากชนิด	00:00:3
3	Some trees bear fruit.	ต้นไม้บางชนิดมีผล	00:00:7
4	Others blossom colorful flowers.	บางชนิดมีดอก มีสีสันงดงาม	00:00:9

Fig. 4 Example of caption information editted by using a captioning software

III. A PAL LINE 18 THAI-ENGLISH CC DECODER

The decoder is designed to be used as a TV set-top box as shown in Fig.5. Its incoming CC video signal can come from either a videotape player or a TV tuner. It has two control switches, one for turning ON/OFF the CC decoding function and the other for the selection between English/Thai languages. The internal architecture of the decoder consists of four blocks as shown in Fig.6. They are:

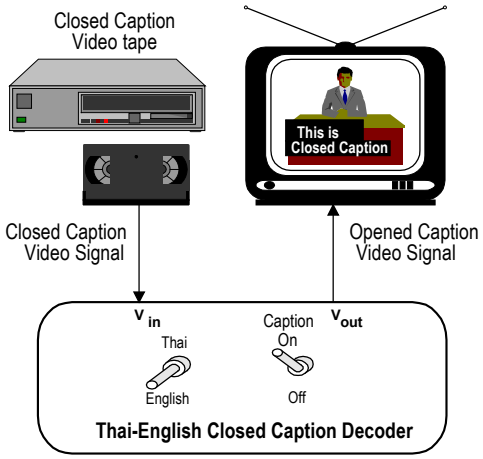


Fig. 5 A CC receiving system

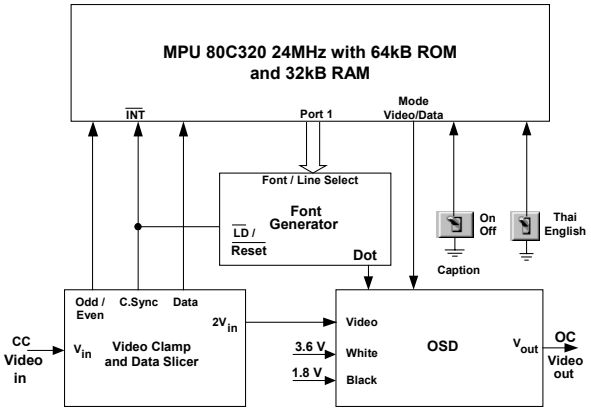


Fig. 6 Internal architecture of the PAL CC decoder

1) **Video Clamp and Data Slicer.** This block is used to extract digital information from the CC video signal. These are Odd/Even field indicator, horizontal synchronizing pulse and serial CC data. Its circuit diagram is shown in Fig.7 and uses simple commercial chips such as the LM1881 video sync separator [5], the LM319 comparator and the MAX428 operational amplifier. Note that the incoming video signal is buffered and amplified by two so that it can be later used as a source for overlaying characters.

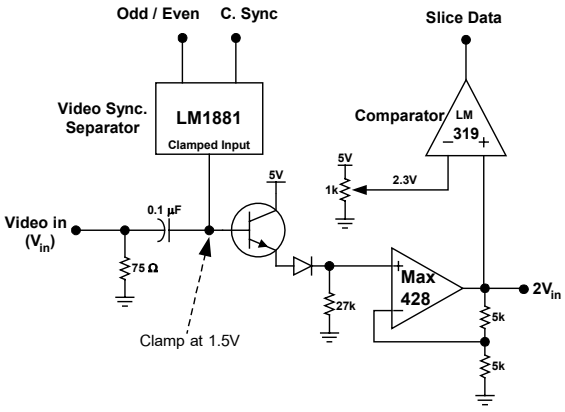


Fig. 7 Video Clamping and Data Slicing Circuit

2) **Font Generator.** This block generates the 12MHz dot signal for displaying character fonts. It has an 8Kx16 bit ROM, or Font ROM, for storing 256 fonts, each of which is a dot matrix of 32 rows by 16 columns as shown in Fig.8. Its output is fed into a 16 bit shift register and shifted at 12MHz as shown in Fig.9. Since the duration of a PAL scan line is $64\mu s$ (or $64\mu s \; x \; 12MHz = 768$ dots) and the visual screen occupies approximately 550 scan lines (out of 625), this font generator can easily organize the screen into 15 rows x 30 columns of character positions. This character resolution is the same as that of the NTSC CC System. The 12MHz dot clock is generated by a simple relaxation oscillator using a NAND with two Schmitt triggered inputs. Its frequency error is not critical as this will only effect the character width. The NAND is used because it provides a free input that allows the horizontal sync pulse to reset/restart the oscillation. This ensures that the dot positions in each scan line remain the same and thus guarantees a stable character display.

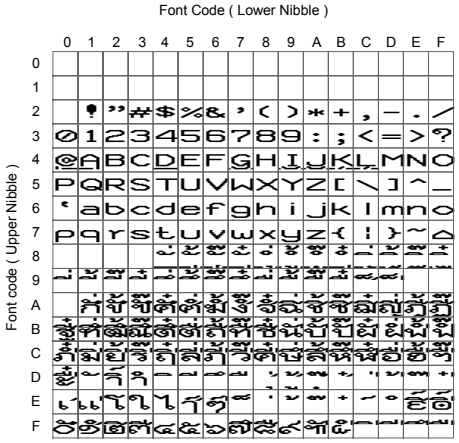


Fig. 8 Thai-English font table

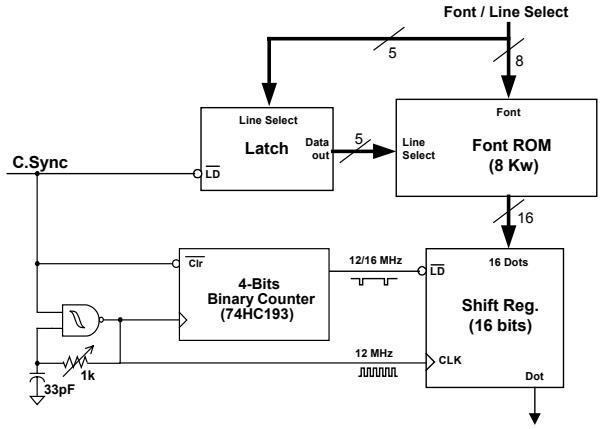
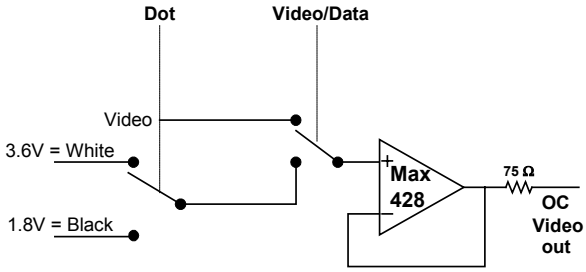


Fig. 9 Font generator circuit

3) **On Screen Display (OSD).** Actual overlaying of dotted characters in the video program signal is carried out in this block whose internal circuit is show in Fig.10. A fast quad analog switches chip, i.e. 74HCT4066, is used for multiplexing the video signal with either 1.8 or 3.6 volts corresponding to the black or white levels in the video signal. With this design, captions will appear as a block of white characters with black background as displayed in Fig.1 and 12. An operational amplifier, i.e. MAX428, then buffers the multiplexed signal and



drives the output.

Fig. 10 OSD circuit

4) **Microcontroller Unit (MCU).** An 8 bit MCS-51 microcontroller with external 64KB program ROM and 32KB data RAM is used in this block (see Fig.6). The MCU is programmed to performs many real time functions as summarized by the following pseudo code.

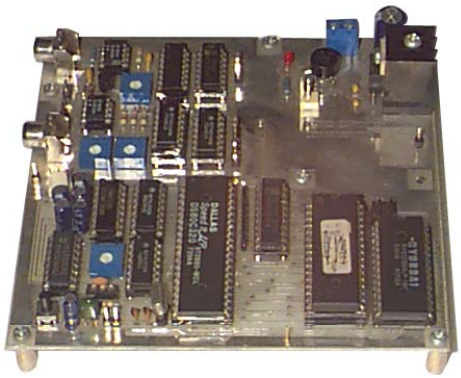
```
Initialization ;
repeat
    Read the position of the Thai/English switch ;
    Wait for line 18 ;
    Capture two caption codes from the CC data
        input ;
    If the capture codes are display codes then
        convert into font codes and store them in
        the data RAM
```

Else execute the controlling function as given by them ;
Wait for line 47 ; (this is the beginning of a visual screen)
If Caption Switch is at ON position then
Execute the OSD function to display the codes stored in the data RAM ;
until forever ;

The MCU uses the horizontal sync pulse (C.sync) and Odd/Even field indicator signals for determining the scan line number of the video input. Since this detection is crucial for its other operations, C.sync is fed as its interupt signal with the highest priority. The OSD function also requires a high speed operation since, at 12MHz dot frequency, the MCU has only 16 dots/12MHz = 1.33μSec to put out the next font code at its Port 1 output to the font generator. For a 24MHz MCU clock with 4 clocks per instruction, this interval corresponds to 32 clock cycles or 8 instruction execution. The RAM is used for storing caption codes captured from the CC data input. These codes must be later converted into their corresponding font codes as determined by Fig.8. Each CC channel reserves two memory blocks, called pages, in the RAM. Each page corresponds to one full screen of 15 rows x 30 columns of characters. One is used for displaying while the other is used for capturing. Note that, due to the special characteristic of Thai language, one character line requires three lines of font codes to support the upper tones, normal consonants and lower vowels.

IV. TEST AND CONCLUSION

Fig.11 shows the actual photograph of the PAL line 18 Thai-English CC decoder. The decoder is tested on 4 Thai-English CC PAL videotapes and its sampled output displays are shown in Fig.1 for English captions and Fig.12 for Thai captions. In conclusion, a modification of the PAL video system to support Thai-English closed captions is proposed and implemented. This video system is very similar to the well know NTSC line 21 CC video system. A prototype low cost PAL Thai-English CC decoder is constructed and tested successfully. It uses a high speed 8 bit MCS-51 microcontroller to perform real time functions such as CC data extracting, decoding and displaying. A 8K Word ROM is also needed for keeping 256 Thai-English fonts, each of which is a dot matrix of 32 rows x 16 columns. The decoder can be manufactured at a cost that is much lower than the TV receiver. The captioned video signal can be recorded in a normal VHS tape and playback without



significantly distorting the data waveform.

Fig. 11 Thai-English CC decoder board

Fig. 12 Example of a program picture with Thai captions

V. ACKNOWLEDGEMENTS

This work is mainly supported by the grant from the National Research Council of Thailand and partially supported by the National Electronic and Computer Technology Center.

VI. REFERENCES

[1] http://main.wgbh.org/wgbh/pages/captioncenter/who.html
[2] *"EIA-608:Recommended practice for line 21 data service"* , Electronic Industries Association, Washington, District of Columbia , 1994.
[3] K. Blair Benson and Jerry C. Whitaker , *"Television Engineering Handbook"* , McGraw-Hill , 1992
[4] *"Report and order on GEN docket No. 91-1"* , Federal Communications Commission United States of America , 1991.
[5] *"LM1881 : Video Sync. Separator Data Sheet"*, National Semiconductor

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ชยสร สวนสมจิตร เกิดวันที่ 7 กรกฎาคม 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543 ระหว่างการศึกษานั้นได้เข้าร่วมกิจกรรมการแข่งขันหุ่นยนต์ระดับประเทศหลายครั้ง และทำหน้าที่ประธานชมรมนักประดิษฐ์วิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระหว่างปีการศึกษา 2542 – 2543

ต่อมาได้เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (แขนงวิชา ระบบเชิงเลข) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย