รายงานผลการประดิษฐ์
เงินอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์

เรื่อง

โทรศัพท์ ISDN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จฬ
วท 15
007976

โดย

วาทิต เบญจพลกุล

ทับทิม อ่างแก้ว

ชัยยุทธ สุขศิริ

2539

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์

รายงาน

โทรศัพท์ ISDN

โดย

อ.ดร.วาทิต เบญจพลกุล
อ.ดร.ทับทิม อ่างแก้ว
นายชัยยุทธ สุขศิริ

พฤษภาคม พ.ศ. 2539

I17678456 22 ก.ค. 2541

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนโครงการสิ่งประดิษฐ์ ประเภทฮาร์ดแวร์ ประจำปี 2537 จนโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยโครงข่าย กองวิจัยอุปกรณ์โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนา องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี ที่ให้ใช้โครงข่าย ISDN ในการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่านเจ้าหน้าที่นักวิจัยของหน่วย ฯ ซึ่งได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงส่วนหนึ่งเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัยต่อไป

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณคุณธนัญ จารุวิทยโกวิท ซึ่งเป็นผู้ช่วยวิจัย ที่ช่วยในการวิจัยจนโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้สำเร็จลุล่วงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ โทรศัพท์ ISDN
ชื่อผู้ดำเนินงาน อ.ดร.วาทิต เบญจพลกุล, อ.ดร.ทับทิม อ่างแก้ว, นายชัยยุทธ สุขศิริ
เดือนและปีที่ทำการวิจัยเสร็จ เมษายน 2539

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการสิ่งประดิษฐ์นี้คือการออกแบบและประดิษฐ์โทรศัพท์ ISDN (อุปกรณ์ปลายทาง) เพื่อเป็นต้นแบบของการพัฒนาต่อไปในอนาคต

จากการทดสอบการทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์แอสเซมบลีสำหรับหน่วยประมวลผล 8051 พบว่าโทรศัพท์ ISDN สามารถติดต่อสื่อสารกับแบบจำลองโครงข่าย ISDN ที่จุดอ้างอิงมาตรฐาน S (LT-S) ที่ประดิษฐ์ขึ้นในส่วน Layer 1, 2 และ 3 ของแบบจำลองอ้างอิงมาตรฐาน OSI ได้ตาม ITU Recommendation I.430-431, Q.920-921 และ Q.930-931 ตามลำดับ

การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย ISDN และอุปกรณ์ปลายทางสามารถสร้างได้โดยการร้องขอการแอคตีเวตจากด้านโครงข่าย ISDN หรือจากด้านอุปกรณ์ปลายทางก็ได้ หลังจากระบบแอคตีเวตแล้วโทรศัพท์ ISDN สามารถส่งเฟรมโต้ตอบกับ LT-S เพื่อขอกำหนดหมายเลขอุปกรณ์ปลายทาง (TEI), ขอเริ่มต้นการเชื่อมต่อ, ส่งข้อมูล และขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D

นอกจากนี้โทรศัพท์ ISDN สามารถส่งเฟรมเพื่อขอเริ่มต้นการเชื่อมต่อ, ส่งข้อมูล และขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B จาก LT-S ได้ด้วย

จากการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN กับ LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้น พบข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และ B คือถ้าส่งข้อมูลที่มีความยาวเฟรมข้อมูลละ 28 ถึง 32 ไบต์ เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลจะมีค่าในช่วง 80 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์

Project title ISDN Telephone

Name of the Investigators Dr. Watit Benjapolakul, Dr. Tuptim Angkaew ,
Mr. Chaiyuth Suksiri

Year April 1996

Abstract

The objective of this project is to design and build an ISDN telephone (TE), as a model for future development.

Testing by an Assembly language for microcontroller 8051, the ISDN telephone can communicate with LT-S, which is a simulator of ISDN network at S reference point, in Layer 1, 2 and 3 of OSI model according to ITU-Recommendation I.430-431, Q.920-921 and Q.930-931, respectively.

Interfacing between ISDN network and Terminal Equipment can be established by activation request either from LT-S or from the TE. After the system was activated, the ISDN telephone then can communicate with LT-S in order to request terminal equipment identifier (TEI), to establish communication link, send data and release communication link on D channel.

In addition, the ISDN telephone can also establish communication link, send data and release communication link on B channel.

By testing, an error occurs in sending data in D and B channel process. If TE sends a data frame which has lengths of 28 to 32 bytes, the percentage of accuracy is in the range of 80 to 95 percent.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	II
บทคัดย่อ ไทย	III
อังกฤษ	IV
สารบัญ	V
รายการตารางประกอบ	VII
รายการภาพประกอบ	VIII
บทที่ 1 บทนำ และแนวความคิดของการประดิษฐ์	1
บทนำ	1
จุดอ้างอิงมาตรฐาน	1
ช่องสัญญาณและลักษณะการเชื่อมต่อในโครงข่าย ISDN	2
รายละเอียดในส่วน Layer 1	2
รายละเอียดในส่วน Layer 2	4
รายละเอียดในส่วน Layer 3	10
บทที่ 2 วิธีการประดิษฐ์ และการทดสอบการใช้งาน	14
ขั้นตอนในการประดิษฐ์โทรศัพท์ ISDN	14
การทดสอบการใช้งาน	15
ผลการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 1	19
ผลการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 2	19
ผลการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 3	22
บทที่ 3 ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ	26
ข้อสรุป	26
ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง	28
รายการอ้างอิง	29
ภาคผนวก	30
ภาคผนวก ก. รีจิสเตอร์ต่าง ๆ ภายในไอซี PEB-2085 และตำแหน่ง (Address)	31
ภาคผนวก ข. คำสั่งและคำชี้บอก (Command/Indication) ในส่วน Layer 1 สำหรับ TE และ LT-S	35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค. คำสั่งและคำตอบรับ (Command/Response) ของโปรโตคอลใน ชั้นที่ 2 39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1.1	หมายเลข SAPI ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.921	5
1.2	หมายเลข TEI ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.921	5
3.1	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งในช่องสัญญาณ D	27
3.2	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งในช่องสัญญาณ B	27
ข.1	คำสั่งที่โปรแกรมลงในรีจิสเตอร์ CIXR ของ TE เพื่อส่งสัญญาณออกไปใน S-bus	36
ข.2	คำชี้บอกต่าง ๆ ที่ได้จากรีจิสเตอร์ CIRR ของ TE เพื่อให้รับรู้ถึงสัญญาณที่ส่งมาจาก LT-S	37
ข.3	คำสั่งที่โปรแกรมลงในรีจิสเตอร์ CIXR ของ LT-S เพื่อส่งสัญญาณออกไปใน S-bus	38
ข.4	คำชี้บอกต่าง ๆ ที่ได้จากรีจิสเตอร์ CIRR ของ LT-S เพื่อให้รับรู้ถึงสัญญาณที่ส่งมาจาก TE	38
ค.1	คำสั่งและคำตอบรับในส่วนของ Layer 2	40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการภาพประกอบ

ภาพ		หน้า
1.1	ชนิดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโครงข่าย ISDN และจุดอ้างอิงมาตรฐาน	1
1.2	ขั้นตอนการขอแอคตีเวตและดีแอคตีเวตของโทรศัพท์ ISDN	3
1.3	ส่วนบอกตำแหน่งของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน LAPD	4
1.4	แผนภาพสภาวะของ Data Link Layer	7
1.5	แผนภาพสภาวะของการเชื่อมต่อใน Data Link Layer ที่มองจาก Network Layer	8
1.6	ตัวอย่างกระบวนการร้องขอหมายเลข TEI และเริ่มสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D	8
1.7	ตัวอย่างกระบวนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D	9
1.8	ตัวอย่างกระบวนการร้องขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D	10
1.9	ขั้นตอนการขอเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทางในช่องสัญญาณ B	11
1.10	ขั้นตอนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B	12
1.11	ขั้นตอนการขอยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทางในช่องสัญญาณ B	12
2.1	ลักษณะการต่อ Telecom Protocol Analyzer เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบ	15
2.2	วงจรโทรศัพท์ ISDN	16
2.3	วงจร LT-S	17
2.4	แผงวงจรโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น	18
2.5	แผงวงจร LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้น	18
2.6	ผลการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ในส่วน Layer 1	19
2.7	การขอหมายเลข TEI ของโทรศัพท์ ISDN	20
2.8	การขอเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D ของโทรศัพท์ ISDN	20
2.9	การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D ของโทรศัพท์ ISDN	21
2.10	การขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D ของโทรศัพท์ ISDN	21
2.11	การขอเริ่มเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B	23
2.12	การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B	24
2.13	การขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B	24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

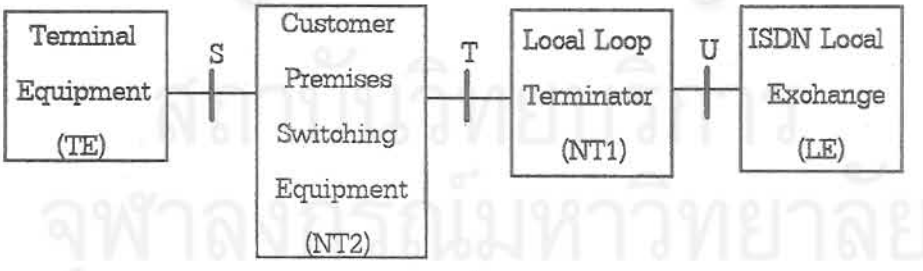
บทนำ และแนวความคิดของการประดิษฐ์

เพื่อให้เข้าใจถึงส่วนต่าง ๆ ของโครงการนี้ จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของโครงข่าย ISDN โดยคร่าว ๆ ดังนี้

โครงข่ายบริการสื่อสารร่วมระบบดิจิตอล (ISDN) เป็นโครงข่ายซึ่งพัฒนามาจากโครงข่ายโทรศัพท์ระบบ ดิจิตอล (Telephony Integrated Digital Network - IDN) ทำให้สามารถใช้อุปกรณ์ปลายทางหลาย ๆ ชนิดร่วมกันได้ โดยข้อมูลที่ส่งในสายส่งจะเป็นข้อมูลดิจิตอลแทนที่จะเป็นแบบอะนาล็อกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งการส่งข้อมูลแบบดิจิตอลมีข้อดีที่เหนือกว่าการส่งข้อมูลแบบอะนาล็อกหลายประการ ตัวอย่างเช่น สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า, มีความเร็วในการส่งข้อมูลได้ดีกว่า เป็นต้น

จุดอ้างอิงมาตรฐาน (Reference Point)

ITU-Recommendation แบ่งอุปกรณ์ในโครงข่าย ISDN ออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีมาตรฐานสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้เข้าด้วยกัน โดยจุดที่อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน มีชื่อเรียกว่า "จุดอ้างอิงมาตรฐาน" (Reference point) ดังที่แสดงไว้ในรูป 1.1



รูป 1.1 ชนิดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในโครงข่าย ISDN และจุดอ้างอิงมาตรฐาน

โดยโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้นจะทำหน้าที่เป็น Terminal Equipment (TE) ดังแสดงในรูป 1.1 และเพื่อที่จะทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น จึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองโครงข่าย ISDN ที่จุดอ้างอิงมาตรฐาน S (Line Terminal at S-interface - LT-S) มาทดสอบการส่งเฟรม

ข้อมูลโต้ตอบกับโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น เนื่องจากไม่สามารถจัดหาโครงข่าย ISDN มาทดสอบการทำงานได้

ช่องสัญญาณและลักษณะการเชื่อมต่อในโครงข่าย ISDN

ช่องสัญญาณในโครงข่าย ISDN แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ด้วยกัน คือ

1.ช่องสัญญาณ B (Bearer Channel) เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูล, เสียง และภาพ ช่องสัญญาณ B มีความเร็วในการส่งข้อมูล 64 กิโลบิตต่อวินาที

2.ช่องสัญญาณ D (Demand Channel) เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณควบคุมในการเชื่อมต่อ (Call Signaling) หรือสัญญาณข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่ง ช่องสัญญาณ D มีความเร็วในการส่งข้อมูล 16 กิโลบิตต่อวินาที

โครงข่าย ISDN แบ่งตามลักษณะการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ ด้วยกัน [3], [4] คือ

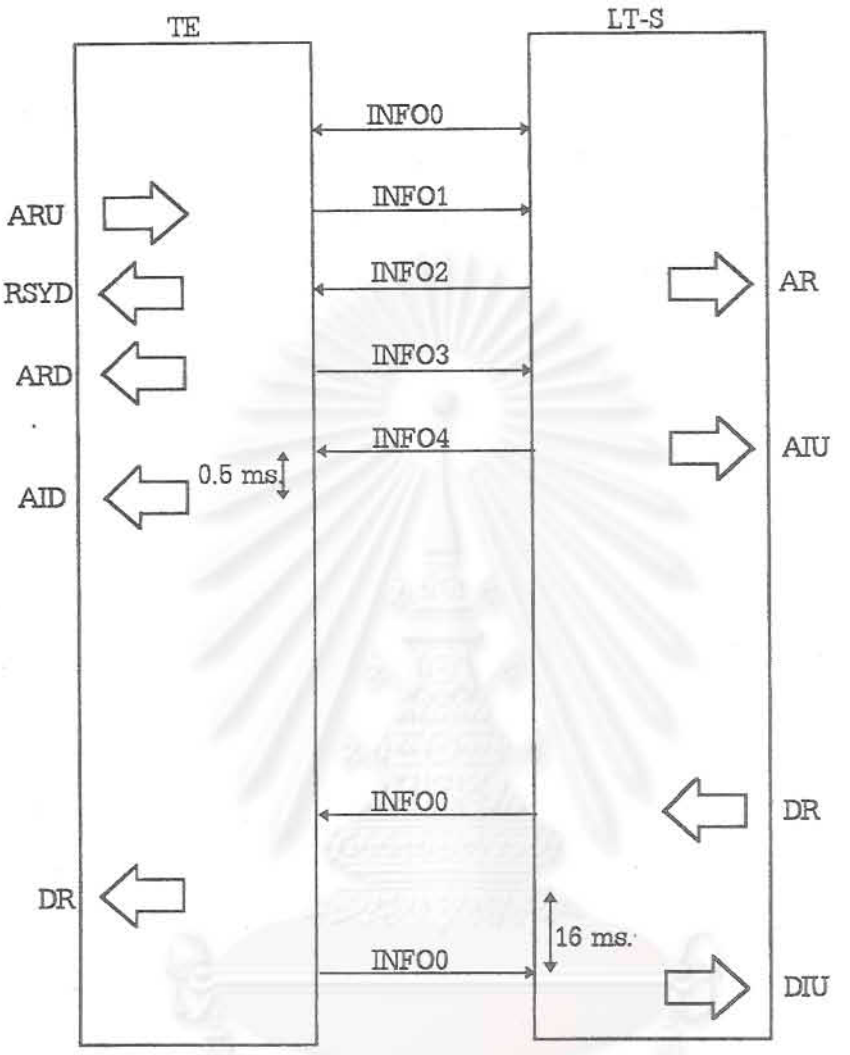
1. Basic Rate Interface (BRI) เป็นระบบ ISDN ซึ่งมีการเชื่อมต่อที่ประกอบไปด้วยช่องสัญญาณ B จำนวน 2 ช่องสัญญาณ และช่องสัญญาณ D จำนวน 1 ช่องสัญญาณ (2B+D) ทำให้มีความเร็วในการส่งข้อมูลสำหรับผู้ใช้ 144 กิโลบิตต่อวินาที แต่ตามโปรโตคอลในชั้นที่ 1 (Physical Layer) จะเพิ่มบิตข้อมูลที่ทำหน้าที่เฟรมมิ่งบาลานซ์สัญญาณ DC (DC balancing bit) การรับ-ส่งแบบมัลติเฟรม และการเข้าจังหวะของสัญญาณ จึงทำให้อัตราเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลรวมของการเชื่อมต่อแบบ BRI เป็น 192 กิโลบิตต่อวินาที

2. Primary Rate Interface (PRI) เป็นระบบ ISDN ซึ่งมีการเชื่อมต่อที่ประกอบไปด้วยช่องสัญญาณ B จำนวน 23 ช่องสัญญาณ และช่องสัญญาณ D จำนวน 1 ช่องสัญญาณ (23B+D) สำหรับทวีปอเมริกา (Bell Standard) หรืออาจจะประกอบไปด้วยช่องสัญญาณ B จำนวน 30 ช่องสัญญาณและช่องสัญญาณ D จำนวน 1 ช่องสัญญาณ (30B+D) สำหรับทวีปยุโรปและเอเชีย (CEPT Standard)

งานวิจัยนี้ทำการประดิษฐ์โทรศัพท์ ISDN เพื่อใช้งานกับโครงข่าย ISDN แบบ BRI ซึ่งเป็นระบบที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยให้บริการอยู่ในปัจจุบัน

รายละเอียดในส่วน Layer 1 [5], [6], [7]

การทำงานในส่วน Layer 1 ของโทรศัพท์ ISDN ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation เกี่ยวข้องกับการขอแอคติเวต (Activate) และดีแอคติเวต (Deactivate) ตามขั้นตอนการขอแอคติเวตและดีแอคติเวตที่แสดงในรูป 1.2



รูป 1.2 ขั้นตอนการขอแอคตีเวตและดีแอคตีเวตของโทรศัพท์ ISDN

เราสามารถแบ่งขั้นตอนในการขอแอคตีเวตของโทรศัพท์ ISDN ออกเป็นขั้น ๆ ได้ดังนี้

1. ในช่วงที่ไม่มีการติดต่อสื่อสารระหว่าง TE และ LT-S โดย TE อยู่ในสถานะ Power Up และ LT-S อยู่ในสถานะดีแอคตีเวตนั้นสัญญาณที่รับ-ส่ง ภายใน S-bus จะเป็นสัญญาณ INFO0

2. ถ้าฝาย TE เป็นผู้ต้องการเริ่มการติดต่อ TE จะต้องส่งคำสั่ง ARU (Activate Request Upstream) ในรีจิสเตอร์ CIXR ซึ่งจะส่งผลให้ตัวไอซี PEB-2085 ส่งสัญญาณ INFO1 ออกไปทาง S-bus โดย LT-S จะได้รับคำสั่งนี้ในรูปของคำชี้บอก AR (Activate Request) แล้วตัว LT-S จะเข้าไปอยู่ในสถานะ G2-Synchronized และตอบกลับไปด้วยสัญญาณ INFO2 ซึ่งถ้าทางฝาย TE ตอบกลับด้วย

สัญญาณ INFO0 ตัว TE จะได้รับคำชี้บอก RSYD (Level Detect) และ TE จะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ Unsynchronized แต่ถ้าทางฝ่าย TE ตอบกลับด้วยสัญญาณ INFO3 ตัว TE จะได้รับคำชี้บอก ARD (Activate Request Downstream) ซึ่งจะทำให้ตัว TE เข้าไปอยู่ในสถานะ Synchronized

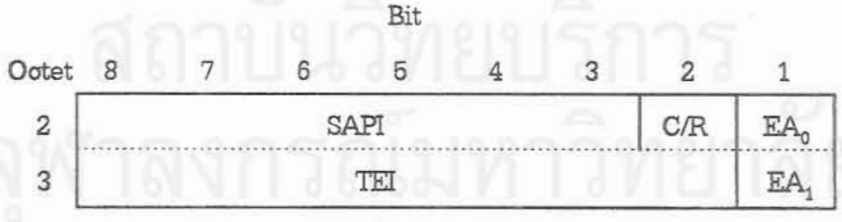
3. เมื่อ TE เข้าไปอยู่ในสถานะ Synchronized แล้วจะส่งสัญญาณ INFO3 ไปให้ LT-S ซึ่งฝ่าย LT -S จะได้รับในรูปของคำชี้บอก AIU (Activate Indication Upstream) ซึ่งจะส่งผลให้ตัว LT-S เข้าไปอยู่ในสถานะ G3-Activated หลังจากนั้น LT-S จะส่งสัญญาณ INFO4 กลับไปยัง TE ซึ่งตัว TE จะได้รับในรูปของคำชี้บอก AID (Activated Indication) ซึ่งจะส่งผลให้ TE เข้าไปอยู่ในสถานะแอคตีเวต

<u>รายละเอียดในส่วน Layer 2</u> [8]

การทำงานในส่วน Layer 2 ของโทรศัพท์ ISDN (ต่อไปเรียกว่า TE) ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation เกี่ยวข้องกับการขอหมายเลข TEI (Terminal Equipment Identifier), การขอเริ่มต้นเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D, การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และการขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้

<u>การกำหนดตำแหน่ง (Address) ตามมาตรฐาน LAPD</u>

ส่วนบอกตำแหน่ง (Address field) ในเฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน LAPD มีชื่อเรียกว่า Data Link Connection Identifier (DLCI) ซึ่งมีความยาว 13 บิต โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Terminal Endpoint Identifier (TEI) และ Service Access Point Identifier (SAPI) ดังแสดงในรูป 1.3



รูป 1.3 ส่วนบอกตำแหน่งของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐาน LAPD

บิต C/R (Command/Response) ซึ่งเป็นบิตที่ 2 ในอ็อกเต็ดแรกของส่วนบอกตำแหน่งของเฟรม-ข้อมูลที่ส่งจากผู้ใช้ไปยังโครงข่ายจะถูกเซตเป็น 0 หรือ 1 เพื่อให้เฟรมข้อมูลเป็นคำสั่งและคำตอบรับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตามลำดับ ส่วนเฟรมข้อมูลที่ส่งจากโครงข่ายไปยังผู้ใช้บิต C/R จะถูกเซตให้เป็น 0 หรือ 1 เพื่อให้เฟรมข้อมูลเป็นคำตอบรับและคำสั่งตามลำดับ

บิต EA มีชื่อเรียกว่า Address field extension โดยบิต EA_0 จะถูกเซตเป็น 0 เพื่อให้ผู้รับทราบว่าอ็อกเต็ดนี้เป็นอ็อกเต็ดแรกของส่วนบอกตำแหน่ง (ในกรณีที่ตำแหน่งประกอบด้วย 2 อ็อกเต็ด) และบิต EA_1 จะถูกเซตเป็น 1 เพื่อให้ผู้รับทราบว่าอ็อกเต็ดนี้เป็นอ็อกเต็ดสุดท้ายของส่วนบอกตำแหน่ง

การเชื่อมต่อแบบ BRI สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ปลายทางเข้ากับโครงข่าย ISDN ได้พร้อมกันถึงครั้งละ 8 อุปกรณ์ และเนื่องจาก LAPD เป็นโปรโตคอลสำหรับการติดต่อแบบจุดต่อจุด จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดตำแหน่งที่ทำให้สามารถมีเส้นทางติดต่อสื่อสารหลายเส้นทางในช่องสัญญาณ D ช่องเดียวกันได้ จึงทำให้ส่วนบอกตำแหน่งตามมาตรฐาน LAPD แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- Service Access Point Identifier (SAPI) เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างโปรโตคอล 2 ชั้นที่อยู่ติดกัน โดยเป็นจุดที่ Layer ที่อยู่สูงกว่ามาขอรับบริการจาก Layer ที่อยู่ต่ำกว่า
- Terminal Endpoint Identifier (TEI) เป็นตัวบอกจุดเชื่อมต่อปลายทางภายใน Service Access Point โดยหมายเลข TEI ของอุปกรณ์ปลายทางที่ต่ออยู่ในโครงข่ายจะถูกกำหนดโดยโครงข่าย ISDN

หมายเลขของ SAPI และ TEI ที่กำหนดในมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.921 แสดงอยู่ในตาราง 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ

ตาราง 1.1 หมายเลข SAPI ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.921

หมายเลข SAPI	กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอลในส่วน Layer 3
0	สำหรับกระบวนการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ
1	สงวนไว้สำหรับการสื่อสารแบบแพกเก็ตโดยใช้กระบวนการเริ่มต้นการเชื่อมต่อแบบ I.451
16	การสื่อสารแบบแพกเก็ต โดยใช้ X.25 PLP
63	ฟังก์ชันที่เกี่ยวกับการจัดการต่าง ๆ ในส่วน Layer 2

ตาราง 1.2 หมายเลข TEI ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.921

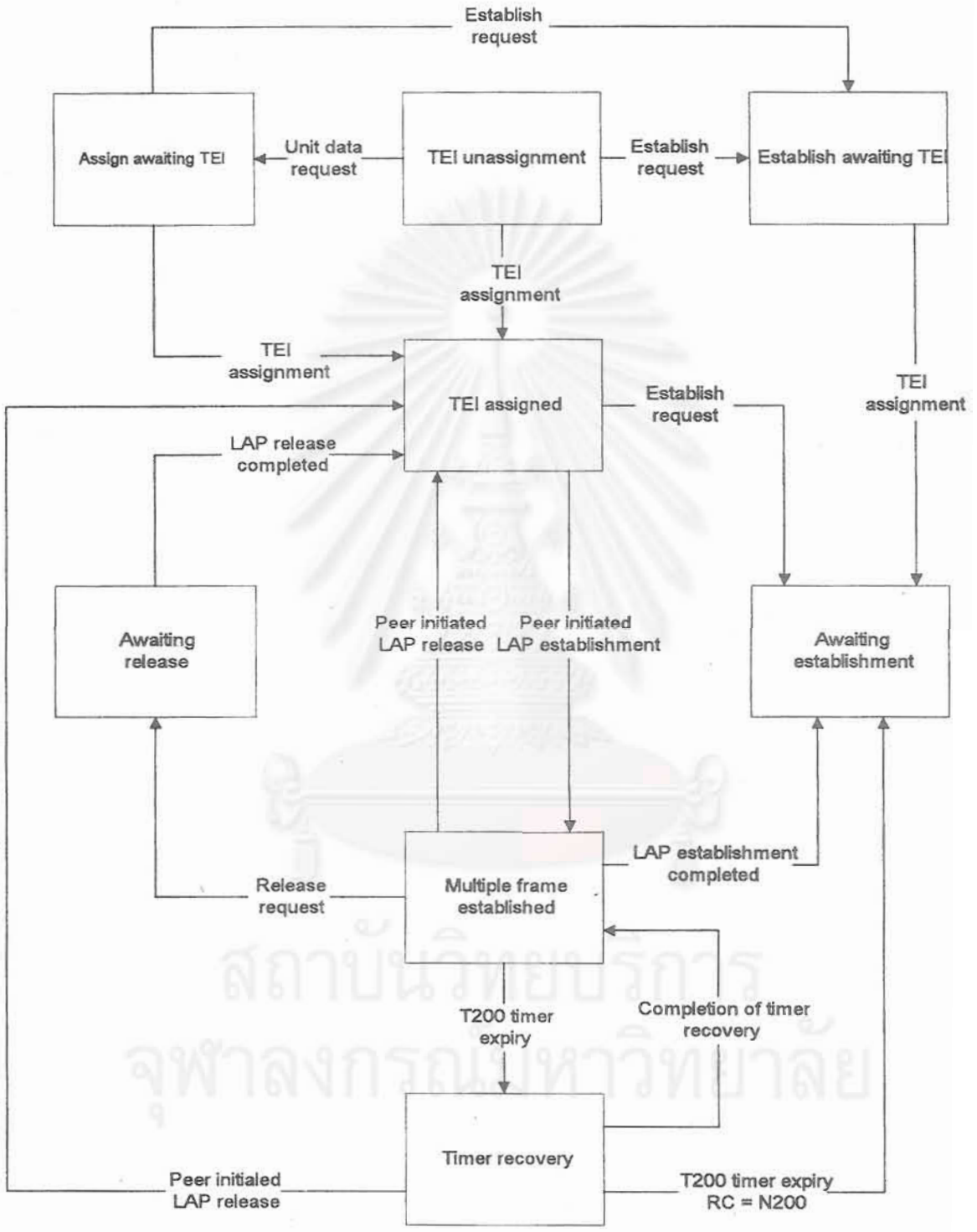
หมายเลข TEI	ชนิดของผู้ใช้
0-63	อุปกรณ์ปลายทางชนิดที่ไม่มีการกำหนดค่า TEI โดยอัตโนมัติ
64-126	อุปกรณ์ปลายทางชนิดที่มีการกำหนดค่า TEI โดยอัตโนมัติ
127	กำหนดหมายเลข TEI แบบกระจายข้อมูล (broadcast)

ขั้นตอนการร้องขอหมายเลข TEI (Terminal Endpoint Identifier) และเริ่มสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D

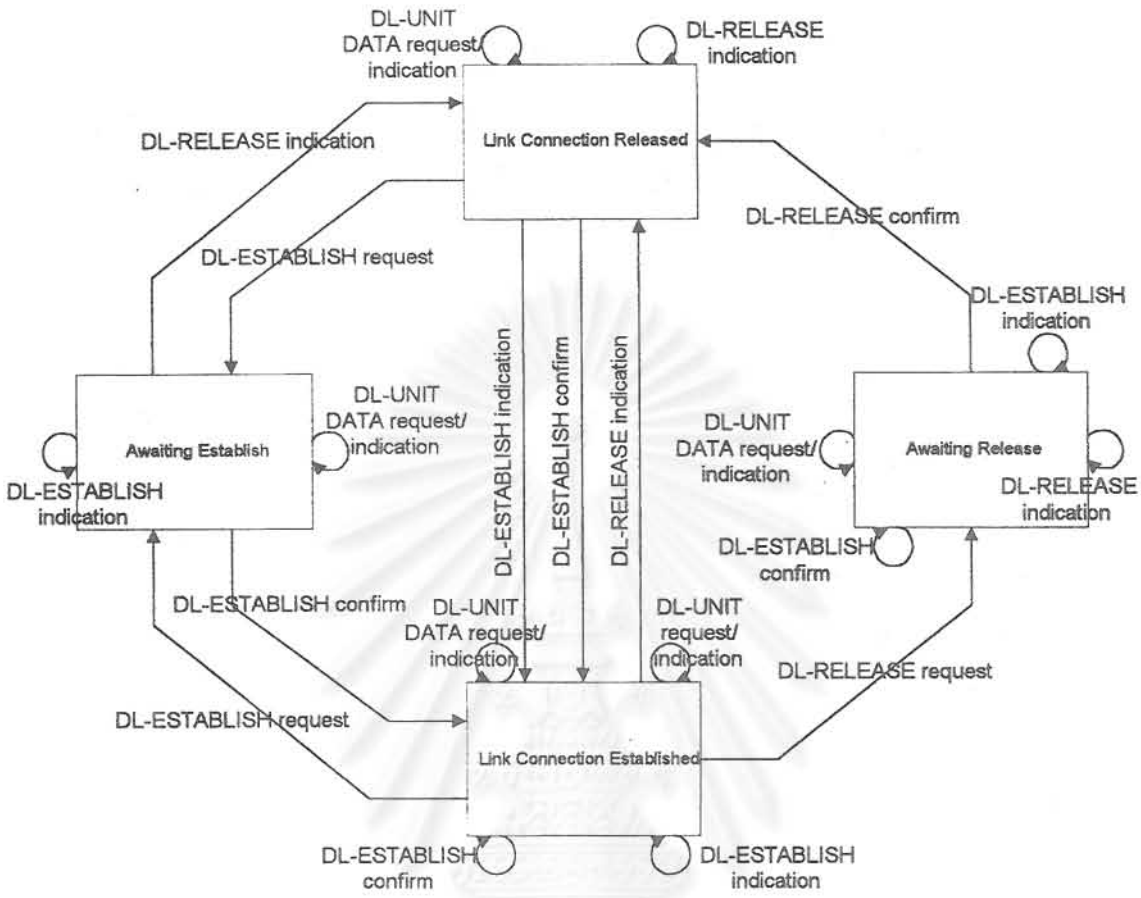
ภายหลังจากเสร็จสิ้นตามกระบวนการ Activation ในส่วน Layer 1 โดย TE และ LT-S อยู่ในสถานะ Activated ต่อจากนั้น TE และ LT-S จะดำเนินการติดต่อสื่อสารตามแผนภาพสภาวะในส่วน Layer 2 ที่กำหนดโดย ITU-Recommendation Q.920-921 ดังที่แสดงอยู่ในรูป 1.4 และ 1.5 ตามขั้นตอนดังนี้

1. TE อยู่ในสถานะ TEI Unassigned นั่นคือ TE ยังไม่ได้ถูกกำหนดหมายเลข TEI โดย LT-S ดังนั้น TE จะร้องขอหมายเลข TEI ไปยัง LT-S โดยการส่ง TEI Identity Request message ซึ่งส่วนบอกตำแหน่งของ UI-frame ประกอบด้วย SAPI หมายเลข 63 และ TEI หมายเลข 127 ดังที่ได้กล่าวไว้ในตารางที่ 1 และ 2
2. เมื่อ LT-S ได้รับคำร้องขอหมายเลข TEI จาก TE ก็จะตอบกลับไปด้วย UI-frame ซึ่งบรรจุ TEI Identity Assignment message และหมายเลขของ TEI โดยในซอฟต์แวร์ที่เขียนจะกำหนดให้ LT-S กำหนดหมายเลขของ TEI อยู่ในช่วง 64-126 หรือ 127 ดังตารางที่ 2 ทำให้ TE เปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ TEI Assigned
3. TE จะเริ่มสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลใด ๆ ด้วยการส่งเฟรม Set Asynchronous Balanced Mode Extended (SABME) ซึ่งมีหมายเลขของ SAPI เป็น 0 (สำหรับเริ่มต้นการเชื่อมต่อ) และหมายเลขของ TEI ตามที่ LT-S กำหนดให้ในข้อที่ 2. โดยบิต P ในเฟรม SABME ถูกเซตให้เป็น 1 เพื่อให้ฝาย LT-S ตอบรับการได้รับเฟรม SABME
4. LT-S เมื่อได้รับเฟรม SABME จาก TE จะตอบกลับด้วย UA-frame (เฟรมตอบกลับการได้รับเฟรมจากอีกฝายหนึ่ง โดยเฟรมที่ส่งตอบกลับไปนั้นไม่มีหมายเลขเฟรมกำกับ) ซึ่งหมายเลขของ SAPI และ TEI จะเป็นไปตามที่รับได้จาก TE ในข้อ 3. โดยบิต F ใน UA-frame ถูกเซตเป็น 1 เพื่อให้ฝาย TE ทราบว่าเป็นเฟรมตอบรับการได้รับเฟรม SABME
5. หลังจากที่ TE ได้รับ UA-frame จาก LT-S แล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ Multiple frame Established

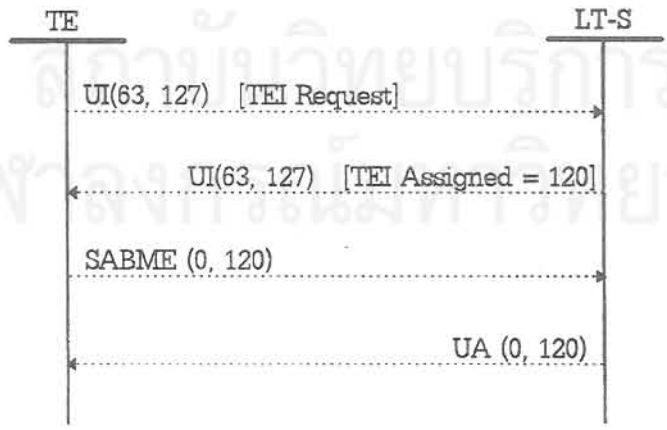
ขั้นตอนการร้องขอหมายเลข TEI และเริ่มสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อแสดงอยู่ในรูป 1.6 โดยในตัวอย่างกำหนดให้หมายเลขของ TEI ที่ LT-S กำหนดให้กับ TE คือ หมายเลข 120



รูป 1.4 แผนภาพสภาวะของ Data Link Layer



รูป 1.5 แผนภาพสภาวะของการเชื่อมต่อใน Data Link Layer ที่มองจาก Network Layer

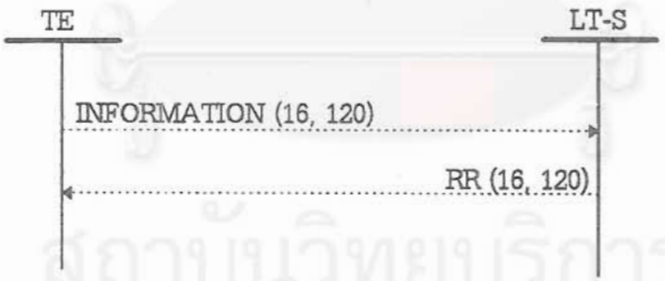


รูป 1.6 ตัวอย่างกระบวนการร้องขอหมายเลข TEI และเริ่มสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D

ถ้า TE ส่งเฟรม SABME ไปให้ LT-S แต่ LT-S ไม่ตอบ UA-Frame กลับมาภายใน 1 วินาที[1] ตัว TE จะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ Timer Recovery และส่งเฟรม SABME ไปให้ LT-S ใหม่ ถ้า LT-S ยังไม่ตอบกลับด้วย UA-Frame ตัว TE จะส่งเฟรม SABME ไปให้ใหม่เช่นนี้เรื่อยไปจนครบ 3 ครั้ง[2] ถ้า LT-S ยังไม่ตอบกลับด้วย UA-Frame ตัว TE จะเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะ Awaiting Establishment

ขั้นตอนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D

ภายหลังจากที่ TE ส่งเฟรม SABME ไปให้ LT-S และ LT-S ตอบกลับด้วยเฟรม UA แสดงว่าสามารถสร้างเส้นทางเชื่อมต่อระหว่าง TE และ LT-S ได้แล้ว ทำให้สามารถส่งข้อมูลของผู้ใช้ระหว่าง TE และ LT-S ได้ โดยเฟรมข้อมูลมีลักษณะดังแสดงในรูป 4.5 เมื่อ LT-S ได้รับเฟรมข้อมูลแล้ว LT-S จะตอบกลับด้วยเฟรม RR (Receive Ready) ในกรณีที่ LT-S ได้รับเฟรมข้อมูลที่ส่งไปอย่างถูกต้อง (ตรวจสอบได้จากบิต CRC) ถ้า LT-S ตอบกลับด้วยเฟรม RNR (Receive Not Ready) แสดงว่า LT-S อยู่ในสถานะที่ไม่พร้อมที่จะรับเฟรมข้อมูล (Busy condition) ฝ่าย TE จะหยุดส่งข้อมูลชั่วคราวจนกระทั่งได้รับเฟรม RR จาก LT-S จึงเริ่มส่งข้อมูลนั้นใหม่ แต่ถ้า LT-S ตอบกลับด้วยเฟรม REJ (REJect) แสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ฝ่าย TE จะส่งข้อมูลเฟรมนั้นมาให้ LT-S ใหม่ รายละเอียดของขั้นตอนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D แสดงอยู่ในรูป 1.7



รูป 1.7 ตัวอย่างกระบวนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D

[1] ค่า T200 ตาม ITU Recommendation Q.921

[2] ค่า N200 ตาม ITU Recommendation Q.921

ขั้นตอนการร้องขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D

เมื่อการส่งข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วหากฝาย TE ต้องการยกเลิกเส้นทางการเชื่อมต่อกับ LT-S ก็สามารถทำได้โดยการส่งเฟรม DISC (Disconnect) ไปให้ LT-S โดยภายในเฟรมจะประกอบด้วยหมายเลขของ SAPI เป็น 0 และ TEI ตามที่ LT-S กำหนดให้ในตอนแรก ซึ่งเมื่อฝาย LT-S ได้รับเฟรม DISC แล้ว LT-S จะตอบกลับด้วย UA-frame ภายหลังจากได้รับ UA-frame แสดงว่าสามารถสิ้นสุดการเชื่อมต่อระหว่าง TE และ LT-S ตัวอย่างของกระบวนการร้องขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D แสดงอยู่ในรูป 1.8

รูป 1.8 ตัวอย่างกระบวนการร้องขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D

รายละเอียดในส่วน Layer 3 [9]

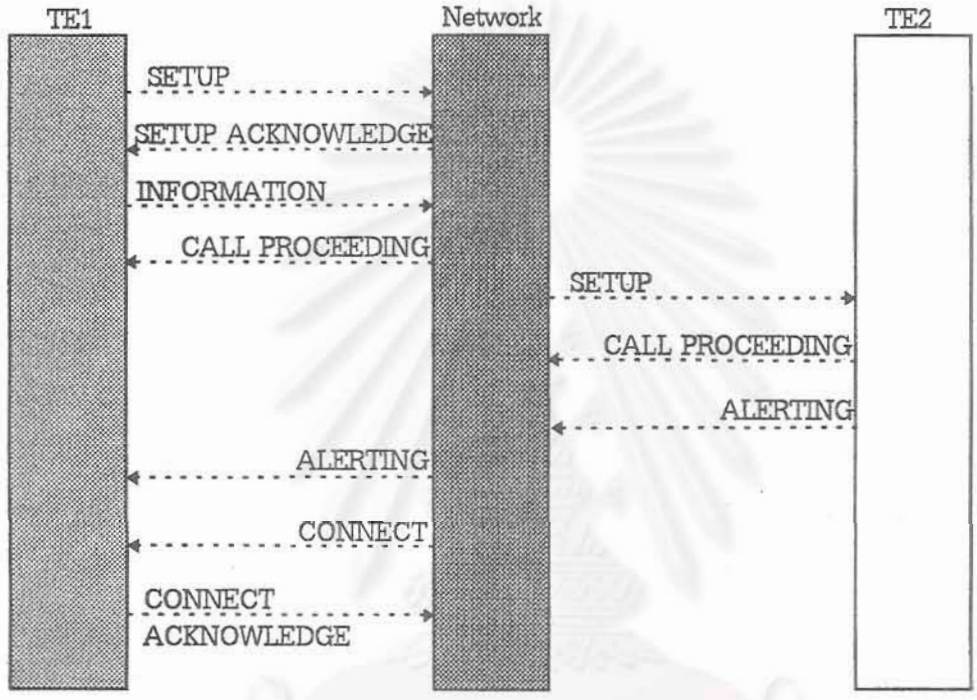
การทำงานในส่วน Layer 3 ของโทรศัพท์ ISDN (ต่อไปเรียกว่า TE) ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation เกี่ยวข้องกับการขอเริ่มต้นเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B, การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B และการขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้

ขั้นตอนการขอเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B

TE1 ส่งเฟรม SETUP ไปให้ LT-S ซึ่งถ้าภายในเฟรม SETUP ไม่มีหมายเลขของ TE2 ซึ่ง TE1 ต้องการเชื่อมต่อด้วย LT-S จะส่งเฟรม SETUP ACKNOWLEDGE ไปให้ TE1 เพื่อร้องขอหมายเลขของ TE2 เมื่อ TE1 ได้รับเฟรม SETUP ACKNOWLEDGE แล้วจะส่งเฟรม INFORMATION ซึ่งภายในบรรจุหมายเลขของ TE2 ไปให้ LT-S เมื่อ LT-S ได้รับเฟรม INFORMATION แล้วจะเริ่มสร้างเส้นทางเชื่อมต่อกับ TE2 และมีเฟรม CALL PROCEEDING แจ้งไปให้ TE1 ทราบว่าขณะนี้กำลังสร้างเส้นทางเชื่อมต่อ เมื่อสามารถสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อกับ TE2 ได้แล้วจะมีเฟรม ALERTING และ CONNECT แจ้งไปให้ TE1 ทราบ ต่อจากนั้น TE1 จะตอบกลับด้วยเฟรม CONNECT ACKNOWLEDGE นั่นคือสามารถสร้างเส้นทาง

เชื่อมต่อระหว่าง TE1 และ TE2 ในช่องสัญญาณ B ได้ ขั้นตอนการขอเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B แสดงอยู่ในรูป 1.9

TE1 อาจจะส่งหมายเลขของ TE2 ไปให้ LT-S โดยบรรจุหมายเลขของ TE2 ลงในเฟรม SETUP โดยหลังจาก LT-S ได้รับเฟรม SETUP แล้วจะตอบกลับด้วยเฟรม CALL PROCEEDING

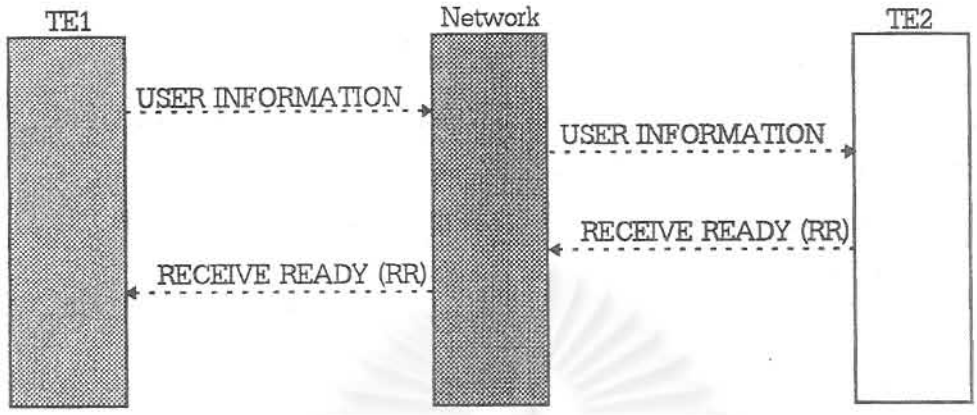


รูป 1.9 ขั้นตอนการขอเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทางในช่องสัญญาณ B

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B

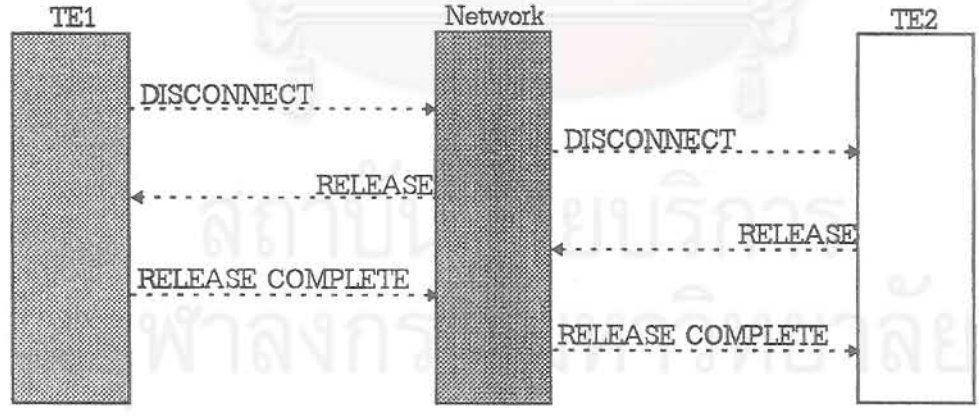
หลังจากการสร้างเส้นทางเชื่อมต่อระหว่าง TE1 และ TE2 ในช่องสัญญาณ B แล้ว TE1 จึงสามารถส่งเฟรมข้อมูลให้กับ TE2 ได้ เมื่อ TE2 ได้รับเฟรมข้อมูลของ TE1 แล้วจะตอบกลับด้วยเฟรม RR (Receive Ready) ดังแสดงในรูป 1.10



รูปที่ 1.10 ขั้นตอนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B

ขั้นตอนการขอยกเลิกการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B

TE1 ส่งเฟรม DISCONNECT ไปให้ LT-S ต่อจากนั้น LT-S จะส่งเฟรม DISCONNECT ไปให้ TE2 และจะส่งเฟรม RELEASE แจ้งไปให้ TE1 ทราบ เมื่อ TE1 ได้รับเฟรม RELEASE แล้วจะตอบกลับด้วยเฟรม RELEASE COMPLETE นั่นคือสามารถยกเลิกเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่าง TE1 และ TE2 ในช่องสัญญาณ B ได้ ขั้นตอนการขอยกเลิกการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B แสดงอยู่ในรูป 1.11



รูปที่ 1.11 ขั้นตอนการขอยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ปลายทางในช่องสัญญาณ B

แนวความคิดของการประดิษฐ์

วัตถุประสงค์ของการคิดประดิษฐ์โทรศัพท์ ISDN เนื่องจากปัจจุบันโทรศัพท์ ISDN ที่ใช้งานอยู่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงเป็นสาเหตุให้โทรศัพท์ ISDN มีราคาสูงมาก จึงมีแนวความคิดที่จะทำการวิจัยเพื่อประดิษฐ์โทรศัพท์ ISDN ขึ้นมา ซึ่งต้นทุนของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาต่ำกว่าเครื่องโทรศัพท์ ISDN ที่ขายอยู่ในท้องตลาดมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วิธีการประดิษฐ์ และการทดสอบการใช้งาน

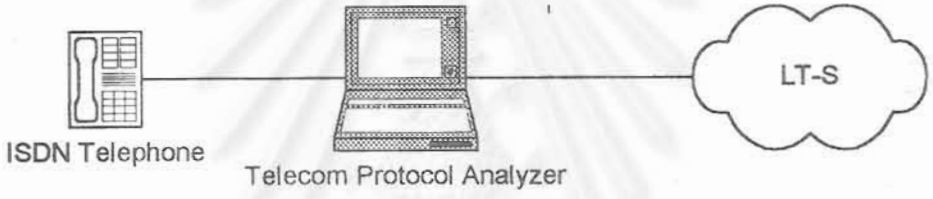
ขั้นตอนในการประดิษฐ์โทรศัพท์ ISDN แบ่งได้ดังนี้

1. ศึกษาคู่มือไอซีที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย ISDN ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ PEB-2085 ของบริษัท SIEMENS เนื่องจากเป็นไอซีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และจัดหาได้ง่ายกว่าไอซีตัวอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย ISDN
2. ศึกษาคู่มือไมโครคอนโทรเลอร์ [1], [10] ซึ่งใช้เป็นหน่วยประมวลผลในวงจรของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ 8031 (เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่อยู่ในตระกูล 8051 แต่จะไม่มี RAM ภายใน) เนื่องจากเป็นหน่วยประมวลผลที่มีราคาถูก ใช้กันอย่างแพร่หลาย และจัดหาได้ง่าย
3. ทำการออกแบบฮาร์ดแวร์ของโทรศัพท์ ISDN โดยแต่เดิมวงจรโทรศัพท์ ISDN ได้มาจากบริษัท FUJI ELECTRONICS ประเทศญี่ปุ่น แต่เมื่อลองนำมาทดสอบการทำงาน ปรากฏว่าวงจรไม่ทำงานตามที่ต้องการ จึงทำการแก้ไขปรับปรุงวงจรโดยอาศัยคู่มือไอซีเบอร์ PEB-2085 และคู่มือไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ 8031
4. จัดทำแผ่นวงจร PCB (Printed Circuit Board) ของวงจรโทรศัพท์ ISDN ที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม Protel [2] แล้วทำการบัดกรีส่วนประกอบต่าง ๆ
5. ศึกษาคู่มือของ ITU Recommendation I.430-431, Q.920-921 และ Q.930-931 เพื่อใช้เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น
6. เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยโปรแกรมที่เขียนนั้นเป็นซอฟต์แวร์ภาษาแอสเซมบลีสำหรับหน่วยประมวลผลเบอร์ 8031
7. ทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น และใช้ Telecom Protocol Analyzer [11] เป็นตัวตรวจจับสัญญาณที่รับ-ส่งในสาย S-bus โดยตัว Telecom Protocol Analyzer จะทำหน้าที่แสดงสัญญาณที่รับ-ส่งในสาย S-bus ในขณะนั้น ๆ แล้วนำมาแสดงผลบนหน้าจอ ทำให้เราสามารถรู้ได้ว่าในขณะนี้สัญญาณที่รับ-ส่งอยู่ในสาย S-bus เป็นสัญญาณอะไร
8. ทำการแก้ไข ปรับปรุง ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่เขียนขึ้น เพื่อให้โทรศัพท์ ISDN ทำงานตามมาตรฐาน ITU Recommendation และทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ

การทดสอบการใช้งาน

การทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น ทำได้โดยการต่อโทรศัพท์ ISDN กับแบบจำลองโครงข่าย ISDN ที่จุดอ้างอิงมาตรฐาน S (LT-S) โดยใช้ Telecom Protocol Analyzer เป็นตัวตรวจจับสัญญาณที่รับ-ส่งในสาย S-bus โดยตัว Telecom Protocol Analyzer จะทำหน้าที่แสดงสัญญาณที่รับ-ส่งในสาย S-bus ในขณะนั้น ๆ แล้วนำมาแสดงผลบนหน้าจอ ทำให้เราสามารถรู้ได้ว่าในขณะนี้สัญญาณที่รับ-ส่งอยู่ในสาย S-bus เป็นสัญญาณอะไร โดย Telecom Protocol Analyzer ที่ใช้เป็น Telecom Protocol Analyzer รุ่น 9440 ของบริษัท Navtel

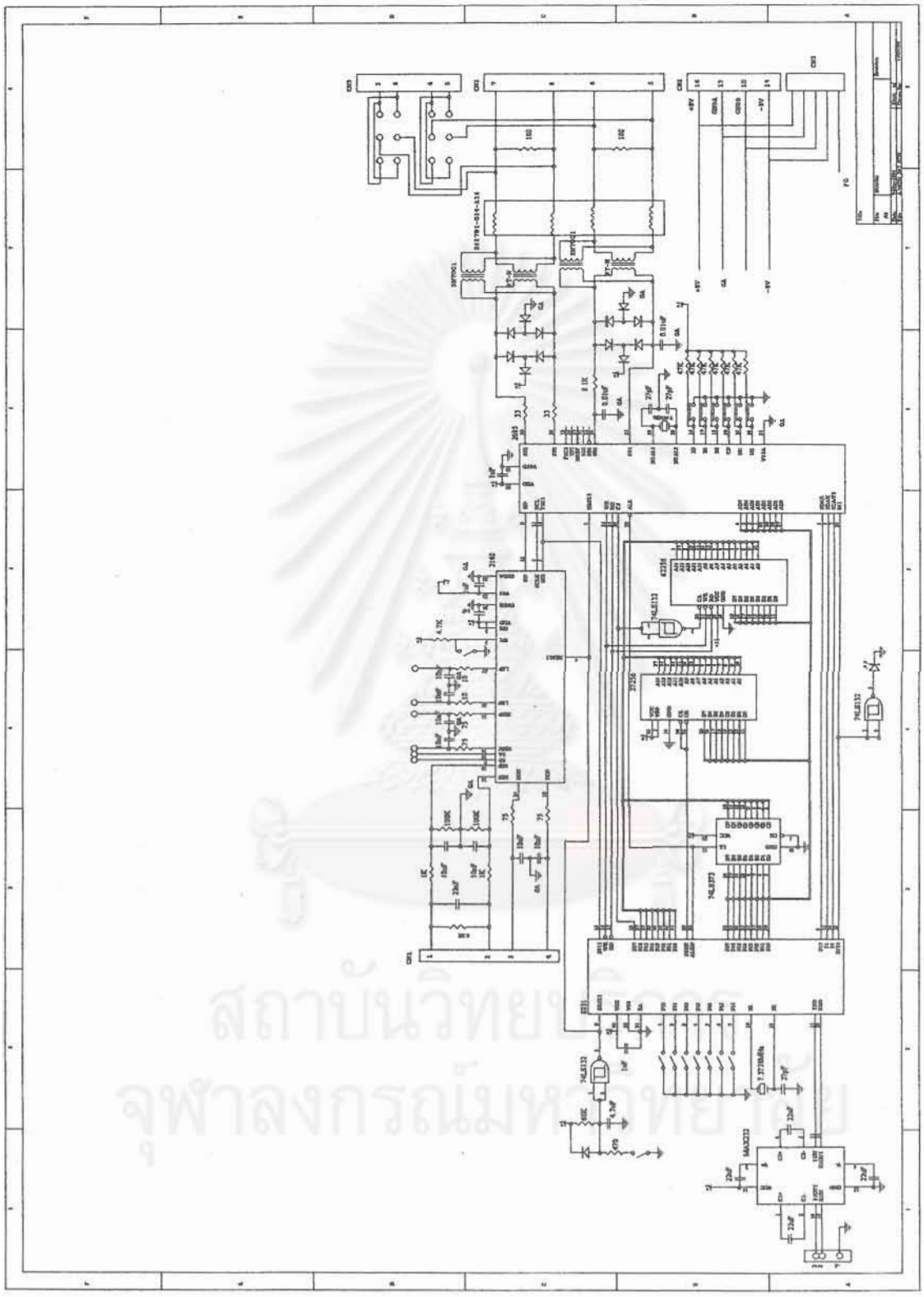
ลักษณะการต่อ Telecom Protocol Analyzer เพื่อทดสอบการทำงานของระบบเป็นดังรูป 2.1



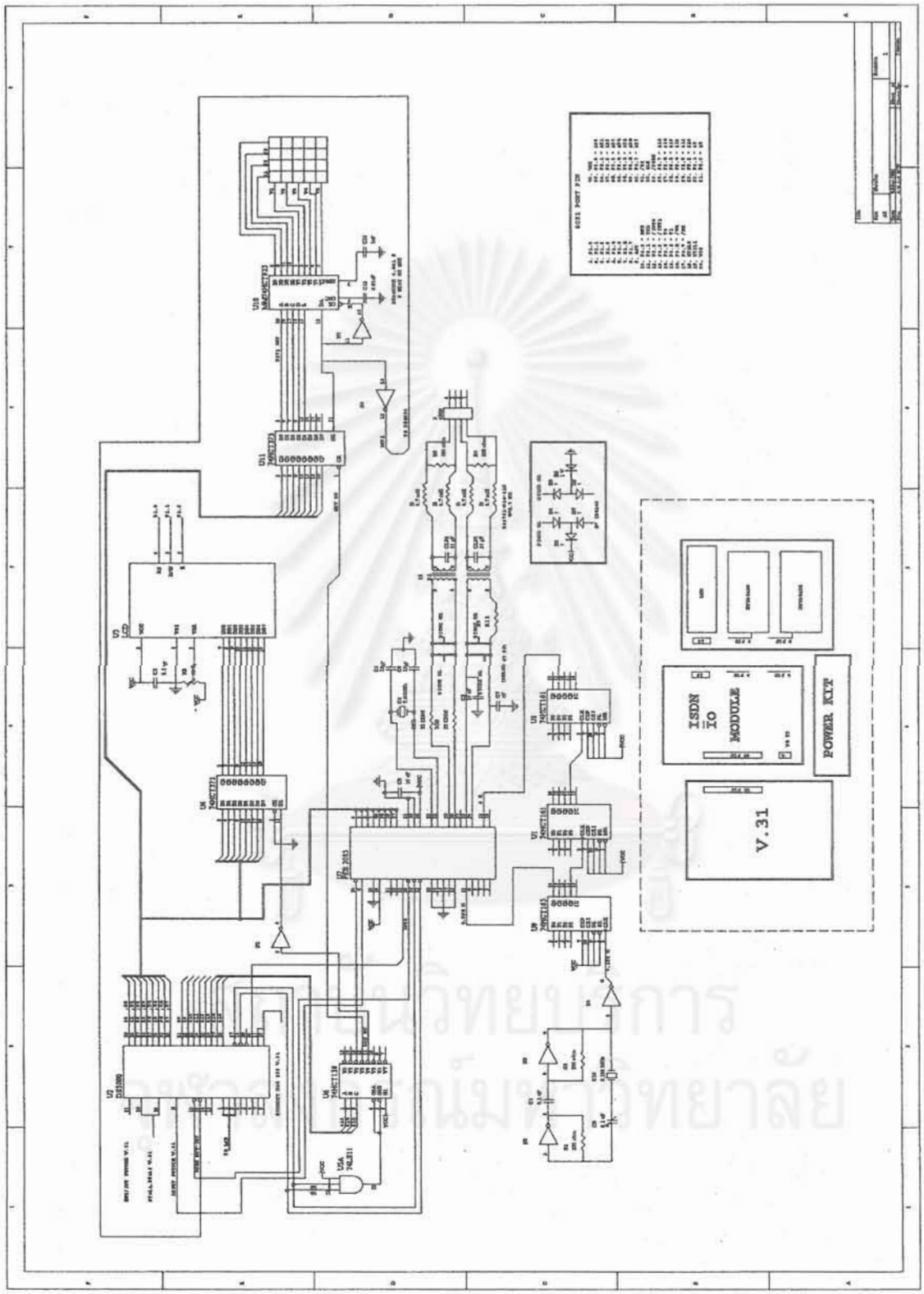
รูป 2.1 ลักษณะการต่อ Telecom Protocol Analyzer เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบ

รูปวงจรของโทรศัพท์ ISDN และแบบจำลองโครงข่าย ISDN ที่จุดอ้างอิงมาตรฐาน S (LT-S) ที่ออกแบบขึ้นแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

หลักการทำงานของโทรศัพท์ ISDN และแบบจำลองโครงข่าย ISDN ที่จุดอ้างอิงมาตรฐาน S คล้ายคลึงกันกล่าวคือไอซี PEB2160 ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วส่งให้ไอซี PEB2085 ทำหน้าที่ดัดแปลงสัญญาณดิจิตอลที่ได้ให้เป็นสัญญาณในรูปแบบซึ่งสามารถติดต่อกับโครงข่าย ISDN ได้ โดยจะมีไมโครคอนโทรเลอร์เบอร์ 8031 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไอซี PEB2085 นอกจากนั้นในวงจรจะมีหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลและรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจร



รูป 2.2 วงจรโทรศัพท์ ISDN



รูป 2.3 วงจร LT-S

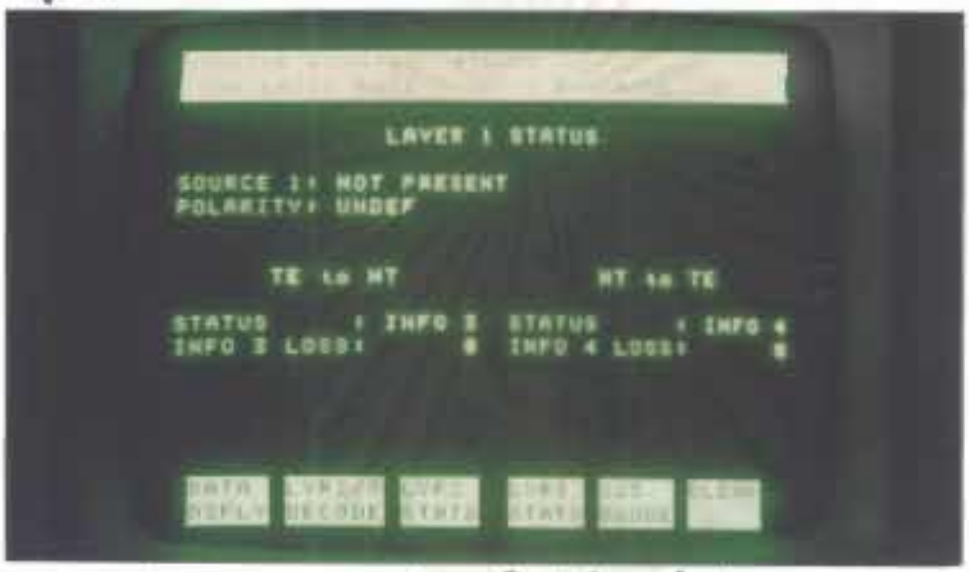
แผงวงจรโทรศัพท์ ISDN และ LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้น แสดงอยู่ในรูป 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

รูป 2.4 แผงวงจรโทรศัพท์ ISDN ที่ประดิษฐ์ขึ้น

รูป 2.5 แผงวงจร LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้น

ผลการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 1

จากการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN และ LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้นในส่วน Layer 1 ของ ITU Recommendation ปรากฏว่าระบบสามารถทำงานได้ตามมาตรฐาน กล่าวคือสัญญาณที่โทรศัพท์ ISDN ส่งให้ LT-S คือ INFO3 และสัญญาณที่ LT-S ตอบกลับให้ TE คือ INFO4 โดยไม่มีสัญญาณสูญเสีย ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 ผลการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ในส่วน Layer 1

ผลการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ในส่วน Layer 1 เป็นไปตามมาตรฐาน ITU ดังที่ได้แสดงในรูป 1.2

ผลการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 2

จากการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN และ LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้นในส่วน Layer 2 ของ ITU Recommendation ปรากฏว่าระบบสามารถทำงานได้ตามมาตรฐาน กล่าวคือโทรศัพท์ ISDN สามารถร้องขอหมายเลข TEI, ขอเริ่มต้นการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D, ส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D ได้ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.920-921 ดังแสดงในรูป 2.7, 2.8, 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ

รูปที่ 2.7 การขอหมายเลข TEI ของโทรศัพท์ ISDN

รูปที่ 2.8 การขอเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D ของโทรศัพท์ ISDN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.9 การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D ของโทรศัพท์ ISDN

รูปที่ 2.10 การขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D ของโทรศัพท์ ISDN

ผลการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ในส่วน Layer 2 ในส่วนการขอหมายเลข TEI และการขอเริ่มต้นเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D เป็นไปตามมาตรฐาน ITU ดังที่ได้แสดงในรูป 1.6 ในส่วนของการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และการขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D เป็นไปตามรูป 1.7 และ 1.8 ตามลำดับ

โดยในรูป 2.7 เนื่องจากว่าตัว TE ยังไม่มีหมายเลข TEI ดังนั้นในการติดต่อกับ LT-S จึงจำเป็นต้องทำการส่งข้อมูลแบบกระจาย (Broadcast) ด้วยการกำหนดค่า TEI และ SAPI เป็น 127 และ 63 ตามลำดับ โดยในขั้นแรก TE จะส่งเฟรม ID Request โดยมีหมายเลข R10050 กำกับอยู่ (เป็นการอ้างอิงถึงกลุ่มของ TE ซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับเครือข่าย ISDN ในกรณีที่มี TE หลายตัวทำการขอหมายเลข TEI จากเครือข่าย ISDN ในเวลาพร้อม ๆ กัน) หลังจากนั้น LT-S จะส่งเฟรม TEI Assign กลับมา โดยในตัวอย่างได้สมมุติให้ LT-S กำหนดหมายเลข 120 ให้กับ TE ในส่วนของตัวอักษร G ที่ปรากฏอยู่ด้านท้ายของเฟรมทั้งสองแสดงให้เห็นว่าเฟรมข้อมูลที่รับ-ส่งกันถูกต้อง (Good) เป็นไปตามมาตรฐาน ITU

ในรูป 2.8 ตัว TE ส่งเฟรม SABME ให้กับ LT-S โดยเฟรม SABME จัดเป็นเฟรมที่ต้องการการตอบรับ (C-Command) หลังจากนั้น LT-S ตอบกลับด้วยเฟรม UA ซึ่งเป็นเฟรมตอบรับการได้เฟรม (R-Response) โดยทั้งเฟรม SABME และ UA ต่างก็ใช้หมายเลข TEI เป็น 120 (หมายเลขของ TEI ที่ได้จากกระบวนการ TEI Assign) และหมายเลข SAPI เป็น 0 (ตามมาตรฐาน ITU ของเฟรมเพื่อเริ่มต้นการเชื่อมต่อและการสิ้นสุดการเชื่อมต่อ)

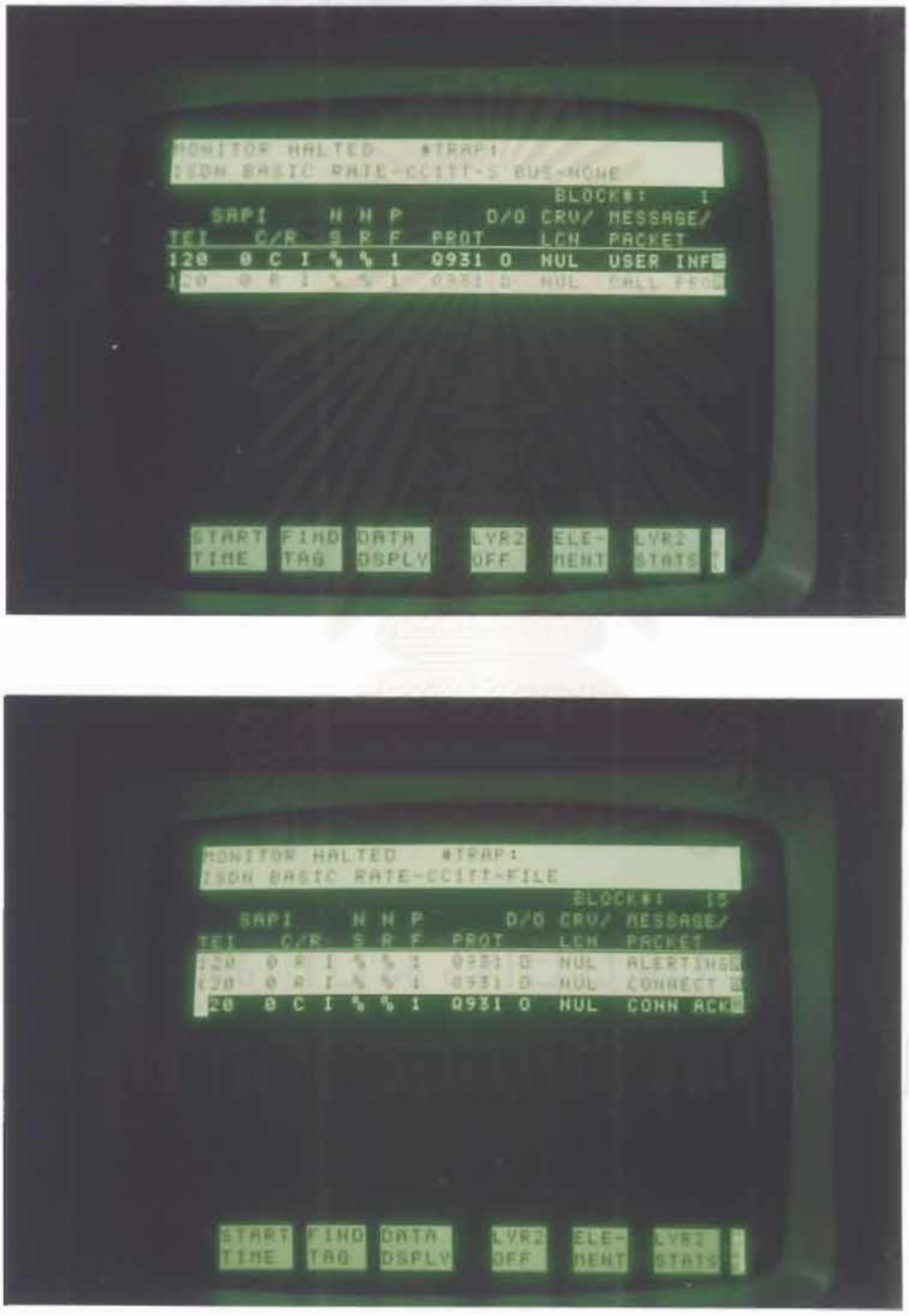
ในรูป 2.9 ตัว TE ส่งเฟรมข้อมูล ซึ่งในตัวอย่างกำหนดให้ตัว TE ส่งเฟรมข้อมูลที่มีรูปแบบของเฟรมเป็นแบบ X.25 ให้กับ LT-S หลังจากได้รับเฟรมข้อมูลและ LT-S ตรวจสอบว่าเฟรมข้อมูลนั้นถูกต้อง LT-S จะตอบกลับด้วยเฟรม Receive Ready (RR) โดยหมายเลขของ SAPI ของเฟรมทั้งสองเป็น 16 (ตามมาตรฐาน ITU ของเฟรมข้อมูลที่มีรูปแบบของเฟรมข้อมูลเป็นแบบ X.25) นอกจากนั้นในเฟรมข้อมูลที่ TE ส่งให้ LT-S ค่าของ N(S) และ N(R) มีค่าเป็น 0 เนื่องจากเป็นเฟรมข้อมูลเฟรมแรกที่ TE ส่งให้ LT-S ส่วนค่าของ P/F บิตถูกเซ็ตเป็น 1 เนื่องจากเป็นตัวกำหนดว่าเป็นข้อมูลที่ต้องการการตอบรับจาก LT-S ในขณะที่บิต P/F ของเฟรม RR ถูกเซ็ตเป็น 1 เนื่องจากเป็นตัวกำหนดว่าเป็นเฟรมที่ตอบรับการได้รับเฟรมข้อมูล

ในรูป 2.10 ตัว TE ส่งเฟรมยกเลิกการเชื่อมต่อ (DISC) ให้กับ LT-S หลังจากนั้น LT-S ตอบกลับด้วยเฟรม UA โดยหมายเลขของ TEI และ SAPI ของเฟรมทั้งสองเหมือนกับในรูปที่ 2.8

<u>ผลการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 3</u>

จากการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN และ LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้นในส่วน Layer 3 ของ ITU Recommendation ปรากฏว่าระบบสามารถทำงานได้ตามมาตรฐาน กล่าวคือโทรศัพท์ ISDN สามารถ

ร้องขอการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B, ส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B และขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B ได้ตามมาตรฐาน ITU-Recommendation Q.930-931 ดังแสดงในรูป 2.11, 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ



รูป 2.11 การขอเริ่มเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B

รูป 2.12 การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ B

รูป 2.13 การขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ B

ผลการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN ในส่วน Layer 3 ในส่วนของการขอเริ่มต้นเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D, การส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และการขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อในช่องสัญญาณ D เป็นไปตามมาตรฐาน ITU **ดังที่ได้แสดงในรูป** 1.9 ตามรูป 1.10 และ 1.11 ตามลำดับ

ในรูป 2.11 ตัว TE ส่งเฟรม SETUP ให้กับ LT-S หลังจากนั้น LT-S ตอบกลับด้วยเฟรม CALL PROCEEDING และส่งเฟรม ALERTING และ CONNECT ให้กับ TE ตามลำดับ เมื่อ TE ได้รับเฟรม CONNECT แล้วจะตอบกลับด้วยเฟรม CONNECT ACKNOWLEDGE โดยทุกเฟรมที่กล่าวถึงข้างต้นจะมีหมายเลขของ TEI เป็น 120 (หมายเลขของ TEI ที่ได้จากกระบวนการ TEI Assign ใน Layer 2) และหมายเลขของ SAPI เป็น 0 (ตามมาตรฐาน ITU ของเฟรมเพื่อเริ่มต้นการเชื่อมต่อและการสิ้นสุดการเชื่อมต่อ) ในส่วนของหมายเลขของ N(S), N(R) และบิต P/F จะเหมือนกับในส่วน Layer 2

ในรูป 2.12 ตัว TE ส่งเฟรมข้อมูล (Information) ที่มีรูปแบบของเฟรมแบบ ISDN ดังนั้นหมายเลขของ SAPI จึงมีค่าเป็น 0 (ตามมาตรฐาน ITU) หลังจากได้รับเฟรมข้อมูลแล้ว LT-S จะตอบกลับด้วยเฟรม RR

ในรูป 2.13 ตัว TE ส่งเฟรม DISC เพื่อขอยกเลิกการเชื่อมต่อ หลังจากนั้น LT-S จะตอบกลับด้วยเฟรม RELEASE เมื่อ TE ได้รับเฟรม RELEASE จะตอบกลับด้วยเฟรม RELEASE COMPLETE โดยทุกเฟรมที่กล่าวถึงข้างต้นจะมีหมายเลขของ TEI และ SAPI เป็น 120 และ 0 ตามลำดับ (ตามมาตรฐานการขอเริ่มต้นการเชื่อมต่อและการขอยกเลิกการเชื่อมต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17626454

บทที่ 3

ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

ข้อสรุป

โทรศัพท์ ISDN และแบบจำลองโครงข่าย ISDN ที่จุดอ้างอิงมาตรฐาน S (LT-S) ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในส่วนของ Layer 1, 2 และ 3 ตามมาตรฐาน ITU Recommendation I.430-431, Q.920-921 และ Q.930-931 ตามลำดับ แต่ในกระบวนการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และ B ในส่วนของ Layer 2 และ 3 ตามลำดับนั้น เมื่อลองทำการส่งข้อมูล[3] ที่มีความยาวมากกว่า 28 ไบต์ต่อการส่ง เฟรมข้อมูล 1 เฟรม จะพบข้อผิดพลาดในการส่ง (ข้อมูลที่ฝ่ายรับรับได้จะมีผิดไปจากข้อมูลที่ฝ่ายส่งส่งให้) ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากปัญหาการ matching ของความต้านทานในสายส่ง (S-bus) โดยในช่วงแรกของงานวิจัย ข้อมูลที่ส่งได้โดยไม่มีความผิดพลาดมีค่าต่ำกว่า 28 ไบต์ ซึ่งผู้วิจัยได้แก้ไขปัญหาโดยให้ฝ่ายส่งทำการส่งข้อมูลมาแล้วปรับค่าความต้านทานของฝ่ายรับจนกระทั่งได้ผลดีที่สุด

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบอีกว่าสัญญาณนาฬิกาภายในสายส่ง ซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาจากตัว LT-S จะเกิดความผิดเพี้ยนไปจากเดิมเมื่อเรานำโทรศัพท์ ISDN มาต่อเข้ากับ LT-S ซึ่งส่วนนี้น่าจะเป็นต้นเหตุที่ทำให้ข้อมูลที่รับได้เกิดความผิดพลาดขึ้น (เกิดปัญหาโหลดดิ้ง) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ด้วยการต่อ Buffer เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะเข้าไปในสายส่ง, การใช้ฟิลเตอร์เพื่อกรองความถี่ที่ไม่ต้องการออกจากสายส่ง ซึ่งสัญญาณนาฬิกาที่ได้จะผิดเพี้ยนน้อยลงจากเดิม

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D และ B ซึ่งมีความยาวของไบต์ข้อมูลต่าง ๆ กัน แล้วจดสถิติบันทึกได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

---

[3] ข้อมูลในที่นี้หมายถึงเสียงจากเครื่องโทรศัพท์ซึ่งผ่านการทำให้เป็นข้อมูลดิจิตอลโดยไอซีภายในวงจรที่ออกแบบ

ตาราง 3.1 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งในช่องสัญญาณ D

ความยาวข้อมูลที่ส่ง (ไบต์)	จำนวนครั้งที่ส่ง	จำนวนครั้งที่รับได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
น้อยกว่า 28	20	20	100%
28	20	19	95%
29	20	19	95%
30	20	18	90%
31	20	16	80%
32	20	16	80%

ตาราง 3.2 เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งในช่องสัญญาณ B

ความยาวข้อมูลที่ส่ง (ไบต์)	จำนวนครั้งที่ส่ง	จำนวนครั้งที่รับได้ถูกต้อง	เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง
น้อยกว่า 30	20	20	100%
30	20	19	95%
31	20	19	95%
32	20	17	85%

จากการนำโทรศัพท์ ISDN ไปทดสอบการทำงานกับ Protocol Analyzer ของหน่วยวิจัยโครงข่าย-กองวิจัยอุปกรณ์โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนา องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี ซึ่งเป็น Protocol Analyzer ของบริษัท NTT ซึ่งมีข้อดีคือสามารถจำลองเป็นโครงข่าย ISDN ทำให้สามารถใช้ติดต่อสื่อสารกับหน่วยเชื่อมต่อโครงข่าย ISDN สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลผ่านทางพอร์ต RS232 ได้โดยที่ไม่ต้องใช้ LT-S โดยทำการทดสอบการทำงานในส่วน Layer 1 และ 2 ตาม ITU Recommendation ผลปรากฏว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐาน กล่าวคือสามารถร้องขอการแอคตีเวตและดีแอคตีเวตจากโครงข่าย ISDN ในส่วนของ Layer 1 และร้องขอการเริ่มต้นการเชื่อมต่อ, การส่งข้อมูล และการขอสิ้นสุดการเชื่อมต่อการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D ในส่วนของ Layer 2

ในส่วนของการส่งข้อมูลในช่องสัญญาณ D จากการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN กับโครงข่าย ISDN พบว่าปัญหาโหลดดิ้งที่พบในการทดสอบการทำงานของโทรศัพท์ ISDN กับ LT-S ที่ประดิษฐ์ขึ้นจะหมดไป (สัญญาณนาฬิกาในสายส่งไม่มีความผิดเพี้ยนไปจากเดิม) นั่นคือข้อมูลที่โทรศัพท์รับได้จากโครงข่าย ISDN มีความถูกต้องทั้งหมด

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยต่อไปที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ส่วนหนึ่งได้มาจากการอภิปรายกับเจ้าหน้าที่นักวิจัยที่หน่วยวิจัยโครงข่าย กองวิจัยอุปกรณ์โทรคมนาคม ฝ่ายวิจัยและพัฒนา องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุงสามารถทำได้ดังนี้

1. ควรใช้ภาษา C แทนภาษา Assembly เนื่องจากภาษา Assembly ยังขาดความคล่องตัวในการนำมาใช้งาน และภาษา C ยังมีข้อดีที่สำคัญประการหนึ่งที่เหนือกว่าภาษา Assembly คือ สามารถเพิ่ม Application ใหม่ ๆ หรือ Feature ใหม่ ๆ ให้กับโทรศัพท์ ISDN ได้โดยง่าย
2. ควรพัฒนาให้มีการแบ่งโหลดการทำงานของ CPU ออกไป โดยในงานวิจัยนี้ยังใช้ CPU เพียงตัวเดียวในการควบคุมการทำงานทั้ง 3 layer คือ Physical Layer, Data Link Layer และ Network Layer ในอนาคตอาจออกแบบให้มี CPU 3 ตัว โดยแต่ละตัวควบคุมการทำงานในแต่ละ Layer เพื่อเป็นการแบ่งโหลดการทำงานออกไป
3. เพิ่มความสามารถในการจัดการข้อผิดพลาดในการทำงาน (Error Management Feature) ให้กับวงจรโทรศัพท์ ISDN เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) สูงขึ้น
4. โดยปกติก่อนที่จะนำอุปกรณ์ใหม่ ๆ เข้าไปใช้กับโครงข่ายเดิมที่มีอยู่แล้วจะต้องผ่านการทดสอบดังนี้

    1. การทดสอบความสามารถในการทำงานร่วมกันได้ (Interoperability test) ระหว่างอุปกรณ์นั้น ๆ กับโครงข่าย
    2. การทดสอบความเข้ากันได้หรือความตรงกัน (Conformance test หรือ Compliance test) ซึ่งเป็นการตรวจสอบว่าอุปกรณ์นั้นมีรายละเอียดทางเทคนิคที่ตรงกับโครงข่ายอย่างไร
    3. การทดสอบสมรรถนะ (Performance test)

สำหรับงานวิจัยนี้ยังอยู่ในขั้นที่ผ่านการทดสอบในขั้นที่ 1 คือ Interoperability test เท่านั้น ยังไม่สามารถทดสอบในขั้นที่ 2 และขั้นที่ 3 ได้ เนื่องจากยังขาด ISDN Emulator ที่มีความสามารถดังกล่าวที่จะนำมาทดสอบ

ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานเป็นโทรศัพท์ ISDN กับโครงข่าย ISDN จริง ๆ ควรทำการทดสอบในขั้นที่ 2 และ 3 ด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

[1] ปรเมษฐ์ ประนยานันทน์, ปิยพงศ์ เผ่าวณิช. "ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51." ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

[2] บัณฑิต จามรภูติ. "คู่มือการใช้โปรแกรม OrCAD/SDT & PROTEL." ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

ภาษาอังกฤษ

[3] Gary C. Kessler. "ISDN." McGRAW-HILL, 1995.

[4] William Stallings. "ISDN and Broadband ISDN." Maxwell Macmillan, 1992.

[5] ITU (CCITT) Recommendation I.430-431 "Basic User-Network Interface Layer 1 Specification." 1993.

[6] SIEMENS. "ISDN Subscriber Access Controller ISAC-S PEB-2085 User's Manual." 1989.

[7] SIEMENS. "S/T Interface Circuitry using the PEB 2080 SBC or PEB 2085 ISAC-S Application Note." 1989.

[8] ITU (CCITT) Recommendation Q.920-921. "ISDN User-Network Interface Data Link Layer General Aspects and Specification." 1993.

[9] ITU (CCITT) Recommendation Q.930-931 "ISDN User-Network Interface layer 3-General Aspects and Specification for Basic Call control" 1993.

[10] Kenneth J. Ayala. "The 8051 Microcontroller." West Publishing Company, 1991.

[11] Navtel Canada Inc. "Protocol Analyzer Operating Guide.", 1989.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

รีจิสเตอร์ต่าง ๆ ภายในไอซี PEB-2085 และตำแหน่ง (Address)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รีจิสเตอร์ต่าง ๆ ภายในไอซี PEB-2085 และตำแหน่ง (Address) มีดังนี้

20H	RME	RPF	RSC	XPR	TIN	CISQ	SIN	EXI	ISTA	R
20H	RME	RPF	RSC	XPR	TIN	CISQ	SIN	EXI	MASK	W
21H	XDOV	XFW	XRNR	RRNR	MBR	MAC1	BVS	MAC0	STAR	R
21H	RMC	RRES	RNR	STI	XTF	XIF	XME	XRES	CMDR	R
22H	MDS2	MDS1	MDS0	TMD	RAC	DIM2	DIM1	DIM0	MODE	R/W
23H	CONT			VALUE					TIMR	R/W
24H	XMR	XDU	PCE	RFO	SOV	MOS	SAW	WOV	EXIR	R
24H									XAD1	W
25H	RBC7	RBC6	RBC5	RBC4	RBC3	RBC2	RBC1	RBC0	RBCL	R
25H									XAD2	W
26H									SAPR	R
26H	SAPI1						CRI	0	SAP1	W
27H	RDA	RDO	CRC	RAB	SA1	SA0	C/R	TA	RSTA	R

27H	SAPI2						MCS	0	SAP2 W
28H	TEI1							EA	TEI1 W
29H									RHCR R
29H	TEI2							EA	TEI2 W
2AH	XAC	VN1	VN0	OV	RBC11	RBC10	RBC9	RBC8	RBCHS R
2BH	0	0	0	0	WFA	MULT	TREC	SDET	STAR2 R
2BH	0	0	0	0	0	MULT	0	0	STAR2 W
30H	SPU	SAC	SPM	TLP	C1C1	C1C0	C2C1	C2C0	SPCR R/W
31H	SQC	BAS	CODR				CIC0	0	CIRR R
31H	RSS	BAC	CODX				TCX	ECX	CIXR W
32H									MOR R
32H									MOX W
33H									SSCR R
33H									SSCX W

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

34H									SFCR	R
34H									SFCW	W
35H									C1R	R/W
36H									C2R	R/W
37H									B2CR	R
37H	TSF	TBA2	TBA1	TBA0	ST1	ST0	SC1	SC0	STCR	W
38H									B2CR	R
38H	WTC1	WTC2	TEM	PFS	CFS	FC2	FC1	ITF	ADF1	R
39H	IMS	0	0	0	0	0	0	0	ADF2	R/W
3BH	0	0	0	SYN	SQR1	SQR2	SQR3	SQR4	SQRR	R
3BH	0	0	0	SQIE	SQX1	SQX2	SQX3	SQX4	SQXR	W

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

คำสั่งและคำชี้บอก (Command/Indication) ในส่วน Layer 1 สำหรับ TE และ LT-S

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.1 คำสั่งที่โปรแกรมลงในรีจิสเตอร์ CIXR ของ TE เพื่อส่งสัญญาณออกไปใน S-bus

Command (Upstream)	Abbr.	Code	Remarks
Timing	TIM	0000	Activation of all output clocks is requested
Reset	RS	0001	(x)
Send continuous zeros	SCZ	0100	Transmission of pseudo-ternary pulses at 96 kHz
Send single zeros	SSZ	0010	Transmission of pseudo-ternary pulses at 2 kHz
Activate request,set priority 8	AR8	1000	Activation command. Set D-channel priority to 8
Activate request,set priority 10	AR10	1001	Activation command. Set D-channel priority to 10
Activate request loop	ARL	1010	Activation of test loop 3
Deactivate indication upstream	DIU	1111	IOM interface clocks can be disabled

(x) unconditional commands

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.2 คำชี้บอกต่าง ๆ ที่ได้จากรีจิสเตอร์ CIRR ของ TE เพื่อให้รับรู้ถึงสัญญาณที่ส่งมาจาก LT-S

Indication (downstream)	Abbr.	Code	Remarks
Power up	PU	0111	IOM clocking is provided
Deactivate request	DR	0000	Deactivation request by S interface
Slip detected	SD	0010	Wander is larger than 24 us peak-to-peak (LT-T only)
Disconnected	DIS	0011	Pin CON connected to GND
Error indication	EI	0110	Either: (pin RST = 1 and bit CFS = 0) or RS
Level detected	RSY	0100	Signal received, receiver not synchronous
Activate request downstream	ARD	1000	INFO2 received
Test indication	TI	1010	Test loop 3 activated or continuous zeros transmit
Awake test indication	ATI	1011	Level detected during test loop
Activate indication with priority 8	AI8	1100	INFO4 received, D-channel priority is 8 or 9
Activate indication with priority 10	AI10	1101	INFO4 received, D-channel priority is 10 or 11
Deactivate indication downstream	DID	1111	Clocks will be disabled in TE, quiescent state

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.3 คำสั่งที่โปรแกรมลงในรีจิสเตอร์ CIXR ของ LT-S เพื่อส่งสัญญาณออกไปใน S-bus

Command (Upstream)	Abbr.	Code	Remarks
Deactivate request	DR	0000	(x)
Send continuous zeros	SCZ	0001	Transmission of pseudo-ternary pulses at 96 kHz
Send single zeros	SSZ	0010	Transmission of pseudo-ternary pulses at 2 kHz
Activate request downstream	ARD	1000	
Activate request loop	ARL	1010	Activation request for loop 2
Deactivate indication downstream	DID	1111	Deactivate acknowledgement, quiescent state

(x) unconditional commands

ตาราง ข.4 คำชี้บอกต่าง ๆ ที่ได้จากรีจิสเตอร์ CIRR ของ LT-S เพื่อให้รับรู้ถึงสัญญาณที่ส่งมาจาก TE

Indication (downstream)	Abbr.	Code	Remarks
Lost signal level	LSL	0001	No receive signal
Lost framing upstream	RSYU	0100	Receiver is not synchronous
Activate request upstream	ARU	1000	INFO1 received
Activate indication upstream	AIU	1100	Synchronous receiver
Deactivate indication upstream	DIU	1111	Timer (32 ms.) expired or INFO1 received (during 16 ms.) after deactivation request

ภาคผนวก ค.

คำสั่งและคำตอบรับ (Command/Response) ของโปรโตคอลในชั้นที่2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 คำสั่งและคำตอบรับในส่วนของ Layer 2

Application	Format	Commands	Responses	Encoding 8 7 6 5 4 3 2 1
Unacknowledged and Multiple Frame Acknowledged Information Transfer	Information transfer	I		N (S) 0
				N (R) P
	Supervisory	RR	RR	0 0 0 0 0 0 0 1
				N (R)
		RNR	RNR	0 0 0 0 0 1 0 1
				N (R)
		REJ	REJ	0 0 0 0 1 0 0 1
				N (R)
	Unnumbered	SABME		0 1 1 P 1 1 1 1
			DM	0 0 0 F 1 1 1 1
		UI		0 0 0 P 0 0 1 1
		DISC		0 1 0 P 0 0 1 1
			UA	0 1 1 F 0 0 1 1
			FRMR	1 0 0 F 0 1 1 1
Connection Management		XID	XID	1 0 1 P/F 1 1 1 1

หมายเหตุ ตัวย่อที่แสดงในตารางมีความหมายดังนี้

I - Information

RR - Receive Ready

RNR - Receive Not Ready

REJ - REJect

SABME - Set Asynchronous Balanced Mode Extended

DM - Disconnected Mode

UI - Unnumbered Information

DISC - DISConnect

UA - Unnumbered Acknowledgment

FRMR - FRaMe Reject

XID - eXchange IDentification

บิต P/F (Poll/Final) ในเฟรมคำสั่ง (Command) และเฟรมตอบรับ (Response) ทำหน้าที่เป็นบิต P และ F ตามลำดับ โดยบิต P ถูกเซตให้เป็น 1 เมื่อทางฝ่ายส่งต้องการให้ฝ่ายรับส่งเฟรมตอบรับการได้รับเฟรม ส่วนบิต F ถูกเซตให้เป็น 1 เพื่อบอกให้ฝ่ายส่งทราบว่าเป็นเฟรมตอบรับการได้รับเฟรมคำสั่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย