

DECT 이동통신 시스템의 데이터 링크제어 프로토콜의 구현 및 성능평가

정희원 최재원*

Implementation and Performance Evaluation of Data Link Control Protocols in the DECT Mobile Communication System

Jae-Weon Choe* *Regular Member*

요 약

DECT(Digital Enhanced Cordless Telecommunications)는 사설교환기에 이동서비스를 제공하기 위한 통신 규약으로 셀 반경이 100~200 m 정도인 협역상의 이동서비스를 제공하는 초소형 셀룰라(pico-cellular) 방식이고, PSTN을 이용한 저가형 통신서비스를 제공함으로써 빌딩의 옥내형 이동통신을 위한 GSM의 이상적인 보완책으로 각광을 받고 있다. 본 논문에서는 DECT 시스템의 구현을 위한 DECT 프로토콜의 구조와 동작을 제안하고, 링크 제어, 오류제어, 시퀀스제어, 흐름제어 기능의 수행으로 상위 네트워크 계층에게 신뢰성 있는 통신 링크를 제공하는 DECT 시스템의 데이터 링크제어 계층의 구현방법과 기술에 관해 논하였다.

ABSTRACT

DECT(Digital Enhanced Cordless Telecommunications) is the communication protocol and the pico-cellular network that provides a PABX with mobile services on the local area within its cell radius of about 100 to 200m. Compared with GSM, DECT provides low-cost communication services based on the PSTN and it is an ideal supplementary method for the type of in-building mobile communication. In this paper we proposed protocol structures and operations for implementing a DECT system, and also we presented the implementation methods and techniques of the DECT data link communication layer that provided reliable communication services to the upper network layer by performing the functions of link controls, error controls, sequence controls, and flow controls.

I. 서론

DECT(Digital Enhanced Cordless Telecommunications)는 기존의 사설 교환시스템(PABX)에 이동통신 서비스를 제공하기 위한 디지털 방식의 무선 통신 규약으로 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)에 의해 표준화되었다^[1]. DECT는 기존의 발신전용 무선전화 기술인 CT2의 기능과 수용능력 상의 제약을 극복하여 착발신 기능, 데이터통신 기능, 다중 셀에 기반을 둔 향상된

핸드오버 기능, ISDN 혹은 무선 LAN과의 연동기능, 대폭 증가된 가입자 수용능력 등의 특징을 가지는 무선통신을 위한 유럽 표준으로 각광을 받고 있다. 또한 DECT는 셀 반경이 수십 km에 달하는 광역상의 이동서비스를 제공하는 유럽형 셀룰라(cellular) 방식인 GSM에 비해 셀 반경이 100~200 m 정도인 협역상의 이동서비스를 제공하는 초소형 셀룰라(pico-cellular) 방식이고, 기존의 PSTN을 이용한 저가형 통신서비스를 제공함으로써 빌딩의 옥내형 이동통신을 위한 GSM의 이상적인 보완책이라 할 수 있다.

* 경성대학교 전기전자·컴퓨터공학부 조교수
논문번호: 99207-0528, 접수일자: 1999년 5월 28일

DECT 프로토콜 역시 OSI 참조모델에 기반을 둔 계층구조를 갖는 통신 프로토콜의 일종으로 각 계층은 상위계층이 요구한 서비스를 제공하기 위해 다시 하위계층에 관련 서비스들 요청하여 제공받는 복잡한 구조로 되어 있어 통신 프로토콜의 실행을 파악하기란 결코 쉬운 작업이 아니며, 이의 구현과정에선 또 다른 차원의 많은 문제가 발생한다^[2]. 그래서 기존의 사설 교환시스템에 이동통신 서비스들 제공하기 위한 DECT 시스템의 구조를 제안하고, 네트워크 계층에게 신뢰성 있는 통신 링크를 제공하기 위한 데이터 링크제어 계층의 구현방법과 기술에 대한 연구는 그 자체로서도 의미가 있고, OSI 참조모델에 기반을 둔 다른 통신 프로토콜의 구현에도 많은 도움이 되리라 여겨진다.

DECT 시스템의 데이터 링크제어 프로토콜은 상위 네트워크 계층에게 신뢰성 있는 데이터 송수신을 보장하기 위해 링크제어, 오류제어, 시퀀스제어, 흐름제어 등의 기능을 수행해야 한다. 전 연구를 통해 네트워크 계층에게 신뢰성 있는 통신 링크를 제공하는 데이터 링크제어 계층의 기능 요구사항을 도출해 내고, 링크제어 계층의 구조와 기능을 설계하였다^[3]. 본 연구에서는 DECT 시스템의 구현을 위한 DECT 프로토콜의 구조와 동작을 제안하고 이를 기초로 데이터 링크제어 계층을 구현하였으며, 데이터 링크제어 계층의 구현을 위한 데이터베이스의 구조와 상태천이도플 도식하고, 구현시 고려되어야 할 인스턴스의 생성과 삭제, 링크의 설정과 해제, 데이터의 송신과 수신에 관한 절차들 상태천이도플 기초하여 상세히 기술하였다.

II. DECT 시스템 구조

1. DECT 시스템 구성

구현한 DECT 시스템은 DECT 교환국과 다수의 DECT 기지국으로 구성되어 있고, 이의 기본구성은 그림 1과 같다^[4]. DECT 기지국(DEC Base Station: DBS)은 무선채널을 통해 다수의 DECT 단말과 통신하고, DECT 교환국은 호제어, 이동성 제어, 기지국의 제어와 교환기 주장치와의 인터페이싱 기능을 수행하는 DECT 기지국 접속장치(DEC Base Station Interface: DBI)와 호의 접속 및 처리 기능을 수행하는 DECT 호처리 타스크로 구성된다. ETSI의 정의에 의하면 DECT 단말은 PP(Portable Part)에 해당되고, DECT 교환국과 기지국을 통칭하여 FP(Fixed Part)라 한다^[1].

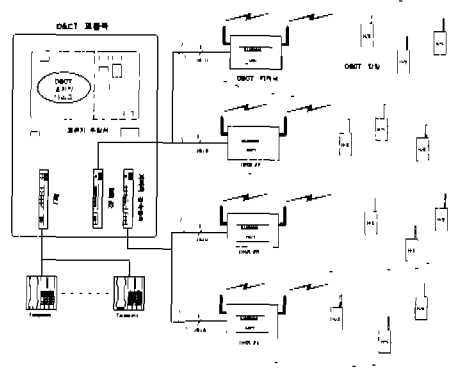


그림 1. 구현한 DECT 시스템의 시스템 구성

2. DBI의 하드웨어와 소프트웨어 구성

호 제어와 이동성 제어 등의 주요기능을 수행하는 DECT 기지국 접속장치(DEC Base Station Interface: DBI)의 하드웨어와 소프트웨어의 구성은 각각 그림 2와 그림 3과 같고, DBI는 수행능력과 역할에 따라 Master와 Slaver로 나뉜다^[3].

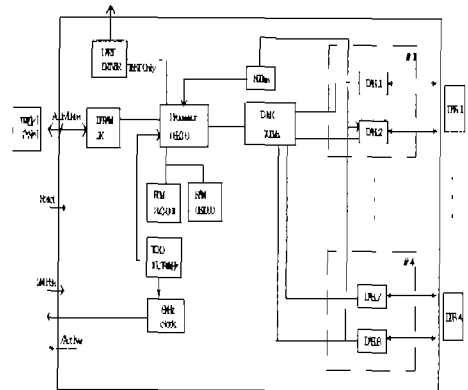


그림 2. DECT 기지국 접속장치의 하드웨어 구성

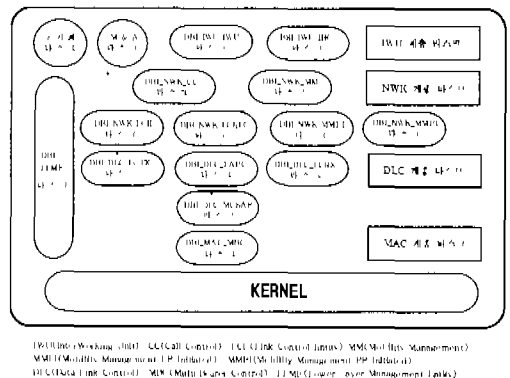


그림 3. DECT 기지국 접속장치의 소프트웨어 구성

3. DECT 프로토콜 구조

DECT 프로토콜은 OSI 참조모델에 기초한 계층 구조로 되어 있고 인접한 두 계층간의 관계는 서비스 사용자와 서비스 제공자의 관계로 해석되어질 수 있으며, 이의 구조를 그림 4에 나타내었다. 상하위 계층은 서비스 접근창구(Service Access Point: SAP)를 통해 서비스 프리미티브를 이용하여 서비스를 요구하거나 서비스를 제공한다. 이때 제공받으려는 서비스의 종류(회선교환, 패킷교환)에 따라 해당 서비스 창구를 접근해야 하고 이외 식별은 서비스 식별자(SID)로 한다. 엔티티는 해당 계층 고유의 기능을 수행하는 독립된 타스크로서 다수의 통신 링크를 설정하고 관리하며 각 링크는 엔티티 내의 인스턴스에 해당한다. 실제 구현시는 엔티티가 하나의 독립된 링크를 설정하기 위해 하나의 인스턴스 제어버퍼(ICB)를 할당하고, 이를 관리함으로써 링크 제어가 이루어진다.

각 계층은 상위계층이 요구한 서비스를 제공하기 위해 다시 하위계층에 관련 서비스를 요청하여 제공받는 복잡한 구조로 되어 있으나 이는 각 계층별 동위(peer-to-peer) 프로토콜에 의해 추상화(abstraction)되어질 수 있다. 다시 말해 상위계층이 서비스를 요구하면 동위 프로토콜에 기초한 상호협조에 의해 요구된 서비스를 제공하도록 그림 4와 같이 모델링할 수 있다. 동위의 (N+1)-엔티티간 통신은 결국 (N+1)-엔티티와 (N)-엔티티간의 커넥션과 (N)-엔티티의 프로토콜에 의해 성립된 (N)-엔티티간의 양방향 논리적 링크(link)를 통해 이루어진다. 이때 (N+1)-엔티티가 (N)-엔티티의 구현된 상세내역을 몰라도 동작할 수 있도록 계층구조의 요건을 충족시키기 위해선 (N+1)-엔티티와 (N)-엔티티간의 커넥션과 동위의 (N)-엔티티간 링크는 별도 관리되어야 하며 이들간의 접속(mapping)이 이루어져야 한다.

상하위 엔티티간의 커넥션과 동위의 엔티티간 링크는 동시에 여러개 존재할 수 있으므로 이의 구별이 요구되고, 전자의 구별을 위한 식별자를 커넥션 식별자(CID) 후자의 구별을 위한 식별자를 링크 식별자(LID)라 한다. 또한 상하위 엔티티의 커넥션에 의해 서비스 접근창구 내에 연결점이 형성되고 이의 구별을 위한 식별자를 연결점 구분자(CES)라 한다. DECT의 경우 계층 3은 단말기 식별자(International Portable User Identity: IPUI), 계층 2는 논리 링크번호(Logical Link Number: LLN), 계층 1에선 BSI-DBS 유선구간은 B-채널 번호, DBS-단말 무선구간은 프레임내 슬롯번호(Slot Number:

SN)를 링크 식별자로 이용한다.

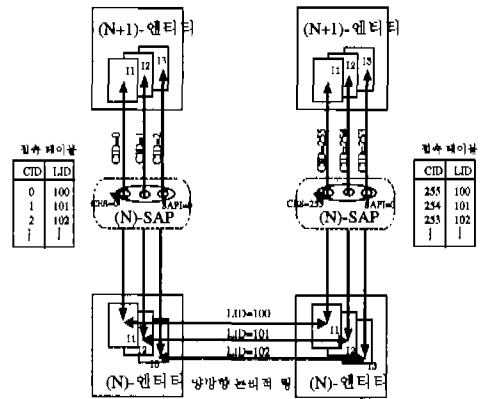


그림 4. DECT 시스템의 프로토콜 구조

II. DLC 계층의 데이터베이스와 운영체제 커널

DECT 시스템의 데이터 링크제어(Data Link Control: DLC) 프로토콜^[5]은 ISDN의 LAPD 프로토콜^[6]로부터 파생되었으므로 이와 유사하다. DLC 프레임의 구조를 LAPD 프레임의 구조와 비교하여 기술하였으며, DLC 계층과 연관된 데이터베이스의 구조와 기능을 기술하였다. 그리고 시스템 내 다중 타스크의 실시간 병렬처리와 타스크 간의 통신 기능을 지원하는 운영체제 커널에 관해 개략적으로 기술하였다.

1. DLC 프레임의 구조

DECT의 LAPC 프레임은 그림 5와 같으며 ISDN의 LAPD 프레임의 구조와 유사하나 프레임의 구분 방식이 다르다. LAPD는 프레임의 구분을 위한 플래그(01111110)를 프레임의 시작과 끝에 첨부하고, 데이터 영역과의 구분을 위해 비트삽입(bit stuffing) 방식을 이용한다. 그런데 비트삽입 방식은 프레임의 송수신시 마다 프레임내 모든 비트 스트림을 감시하여 제로 삽입과 제거 여부를 결정하여야 하므로 비효율적이다. 그리고 DECT의 경우 다양한 시그널링 정보와 사용자 정보를 다중화하여 여러개의 논리적 채널을 통해 정보 전송이 동시에 이루어지므로 송수신을 위한 시간제약이 엄격히 지켜져야 하는 특성을 갖는다. 그러므로 송수신 효율을 위해 프레임의 구분을 비트삽입 방식에 의하지 않고, 수신된 임의의 바이트를 프레임의 시작인 주소 필드로 간주하고 SAPI와 RES가 플러저나 LI가 63 보다

크면 다음 바이트를 프레임의 시작으로 한다. 만약 SAPI, RES, LI가 적합하면 프레임의 CRC 점검을 수행하여 틀리면 전체를 버리고 맞으면 Fill과 CRC 필드를 제거하여 프레임을 만든다. 비록 프레임의 시작을 잘못 지정하여 CRC 점검에 의해 프레임이 버려지더라도 재 전송이 이루어지므로 문제가 없으며 비트삽입 방식에 비해 통신 효율을 높일 수 있다.

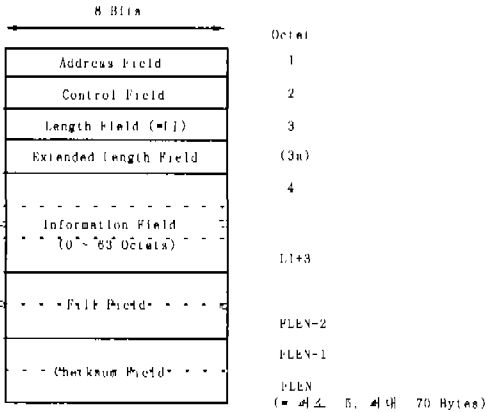
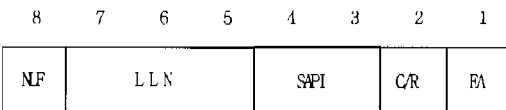


그림 5. LAPC 프레임의 구조

LAPC 프레임의 주소 필드의 형식은 그림 6과 같다. C/R 비트는 명령과 응답을 구별을 위해 사용되며 FP에서 PP로의 명령은 C/R=1 이고, 응답은 C/R=0 이고, PP에서 FP로의 명령과 응답은 이와 반대이다. ISDN LAPD 프레임의 주소 필드와 비교할 경우 ISDN의 경우 망과 단말간의 통신에 있어 Point-to-Multipoint 방식을 지원하기 때문에 계층 2 프로토콜에 있어 TEI 할당 및 관리를 위한 절차가 중요시되나, DECT의 Class A는 망과 단말간에 Point-to-Point 방식만을 지원하므로 ISDN과 같은 TEI 할당 및 관리를 위한 절차가 불필요하고, 망과 단말간의 논리적 링크의 구분을 위한 LLN은 1만을 사용한다.

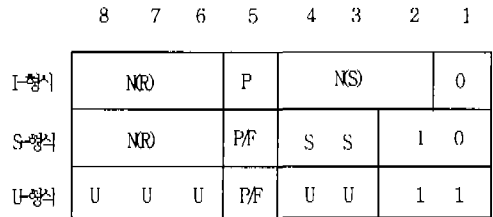


C/R: Command/Response Bit, SAPI: Service Access Point Identifier
 NF: New Link Flag, LLN: Logical Link Number
 EA: Address Field Extension Bit

그림 6. LAPC 프레임의 주소필드 형식

LAPC 프레임의 제어 필드의 형식은 그림 7과 같다. I-프레임은 NWK 계층의 정보 전송에 이용되

고 I-형식을 따른다. RR-프레임은 흐름제어와 오류 제어에 이용되고 S-형식을 따른다. N(S)는 시퀀스제어를 위한 정보로 이용되고, N(R)은 오류제어를 위한 ACK 정보로 이용되며 I-프레임의 경우 Piggy-back ACK가 가능하다. P/F는 명령 프레임에서는 P로 응답 프레임에서는 F로 사용되고, P가 1이면 명령에 대한 상대의 응답을 요구하는 것이고, 상대는 반드시 F를 1로 한 응답을 하여야 한다. P가 0이면 명령에 대한 상대의 응답을 요구하지 않는 것이고 F를 0인 응답 역시 상대에게 단순히 정보 제공을 위한 것이다.



NS: Send sequence number NR: Received sequence number
 S: Supervisory function bits U: Unnumbered function bits
 P/F: Roll/Final bit

그림 7. LAPC 프레임의 제어필드 형식

2. DLC 인스턴스 제어버퍼의 구조

DLC는 다수의 통신 링크를 설정 가능하며 하나의 독립된 링크를 설정하기 위해선 이에 대응하는 인스턴스 제어버퍼(ICB)를 할당한다. DLC 인스턴스 제어버퍼의 구조는 그림 8과 같고, 링크제어는 이를 관리함으로써 이루어진다.

3. DLC 인스턴스 접속테이블의 구조

DLC 계층은 커넥션의 구분을 위해 DLCI(Data Link Connection Identifier)를 사용하고, MAC 계층은 MCEI(MAC Connection Endpoint Identifier)를 커넥션의 구분을 위해 사용한다. DLC 계층은 master DBI에만 존재하므로 DLCI는 DBI에 따른 구분 없이 DLC 커넥션이 설정되는 순서대로 0 ~ 71이 할당되나, MAC 계층은 각 DBI에 존재하므로 MCEI는 각 DBI 별로 0 ~ 23이 MAC 커넥션이 설정되는 순서대로 할당된다. 그리고 각 DBS는 물리적 타임 슬롯의 순서에 따라 지정된 0 ~ 5의 베어러(bearer)를 가진다.

DLC 계층은 DLC 커넥션과 MAC 커넥션 간의 접속 및 변환을 위한 테이블을 가지고, MAC 계층

은 MAC 커넥션과 베어러 간의 접속 및 변환을 위한 테이블을 가진다. 즉, DLC 계층은 MCEI를 DLCI로 변환하기 위한 abMECItoDLCI[MAX_DBI][MAX_MCEI] 테이블과, DLCI를 MCEI로 변환하기 위한 abDLCItoMCEI[MAX_DLCI] 테이블을 가진다. 시스템에 3개의 DBI를 설치할 경우 MAX_DBI는 3이 되고, 각 DBI 당 4개의 DBS를 가지고 각 DBS는 6개의 베어러를 가지므로 MAX_MCEI는 24가 되고, 이에 MAX_DBI를 곱한 MAX_DLCI는 72가 된다.

```

struct STRUCT_LAPC_ICB
{
    byte bState;
    // 링크의 상태
    byte bLceInstance;
    // 상위 LCE 인스턴스의 식별자
    byte bMCEI;
    // MAC 커넥션 식별자
    byte bDBI;
    // 단말의 현 위치: DBI 식별자
    byte bDBS;
    // 단말이 현 위치: DBS 식별자
    byte bVr;
    // 오류, 흐름, 시퀀스 제어를 위한 변수
    byte bVs;
    // 오류, 흐름, 시퀀스 제어를 위한 변수
    byte bVa;
    // 오류, 흐름, 시퀀스 제어를 위한 변수
    byte bN250;
    // 재전송 횟수
    byte bDownRelType;
    // 하향해제의 형식: 정상, 비정상, 핸드오버
    bool boAckToReceive;
    // 받아야할 ACK의 여부: TRUE, FALSE
    bool boAckToSend;
    // 보내어야할 ACK의 여부: TRUE, FALSE
    byte abPMID[3];
    // CRC 생성 및 핸드오버에 이용
    K_MSG *psCurrentMSG;
    // ACK를 받아야 할 전송중인 NWK 메시지를

```

그림 8. LAPC 인스턴스 제어버퍼의 구조

4. 운영체제 커널의 다중 태스크 기능

DECT 시스템에는 각 계층별로 여러 태스크가 존재하므로 실시간 처리를 위해 우선순위가 높은

태스크가 우선순위가 낮은 태스크를 선점할 수 있도록 하였고, 우선순위가 동일하면 Round-robin 방식으로 수행되도록 하였다. 또한 특정 태스크의 제어 독점을 막기 위해 실행중인 태스크에 대기조건이 발생하거나 10msec 주기로 스케줄링이 이루어지도록 하였다. 그리고 태스크간에 정보교환을 위한 메시지 통신기능과 공통메모리를 이용한 프로세서간 통신이 가능하도록 하였으며, 실시간 처리를 위한 각종 타이머와 인터럽트 처리 기능 등을 구현하였다^[8].

IV. DLC 계층의 상태천이도

LAPC 인스턴스의 상태천이도는 그림 9와 같고, 점선 안은 slave DBI 내 LAPC 인스턴스의 상태천이도이다. KNL_NULL 상태는 초기화 태스크에 의한 초기상태로서 인스턴스 생성전의 상태이다. KNL_IDLE 상태는 MCSAP 태스크에 의해 인스턴스가 생성시의 초기상태 혹은 링크해제 상태이다.

LINK_ESTABLISHING 상태는 단말측 LAPC 태스크로 링크설정 요구메세지를 전송한 후, 이의 응답메세지를 기다리는 상태이고, 응답메세지를 받아 링크가 설정되면 LINK_ESTABLISHED 상태가 된다.

LINK_ESTABLISHED 상태에서는 설정된 링크를 통해 NWK 메시지의 송수신이 가능하다. RELEASE_PREPARING 상태는 NWK 계층으로부터 하향해제가 요구되었지만 신뢰성 있는 통신을 보장하기 위해 기 요구된 NWK 메시지의 전송을

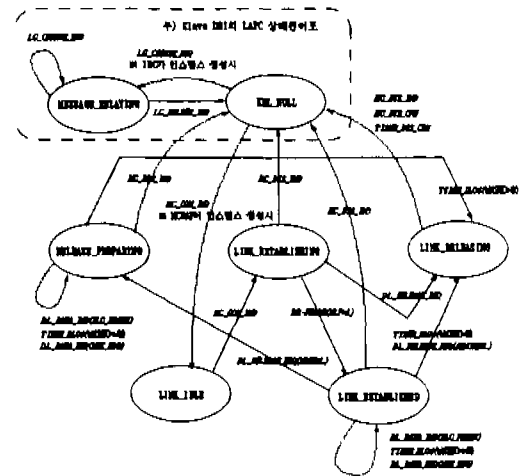


그림 9. LAPC 인스턴스의 상태천이도

실행중인 상태이고, 요구된 모든 NWK 메시지의 전송이 완료되면 MAC 계층으로 하향해제 요구메시지를 내리고 확인메시지를 기다리는 LINK_RELEASED 상태로 천이한다.

MAC 계층으로부터 하향해제 확인메시지를 받으면 링크 해제작업과 인스턴스를 삭제한 후, LINK_IDLE 상태로 천이한다.

Slave DBI의 LAPC 인스턴스는 IBC TASK에 의해 생성되고, DLC 계층의 모든 제어는 master LPAC에 의해 수행되고, slave LAPC는 LCTX/RX의 인스턴스 생성과 삭제기능만을 수행한다.

V. DLC 계층의 구현

DLC 계층의 구현시 고려되어야 할 인스턴스의 생성과 삭제, 링크의 설정과 해제, 데이터의 송신과 수신은 위한 절차들 상태천이도들 기초하여 상세히 기술하였다. DLC 계층은 비확인형 서비스(Class U), 단일프레임 확인형 서비스(Class A), 멀티프레임 확인형 서비스(Class B)를 지원할 수 있으나, DECT의 GAP(Generic Access Profile)^[7] 은 단일프레임 확인형 서비스를 제공하도록 규정하고 있다.

1. DLC 계층의 인스턴스 생성 절차

Master의 MCSAP TASK가 MAC 링크의 설정통지(MC_CON_IND)를 수신하면 LAPC 인스턴스를 생성하고, 이의 상태를 KNL_NULL에서 LINK_IDLE로 천이시키고, DLC 인스턴스 접속테이블에 MAC 커넥션과 DLC 커넥션 간의 접속을 유지시킨 후, LAPC TASK로 MAC 링크의 설정통지를 올린다. LAPC TASK가 MAC 링크의 설정통지를 수신하면 PMID를 해당 ICB에 저장하고, LCTX/RX의 인스턴스를 생성한 후, LINK_ESTABLISHING 상태로 천이한다.

만약 새로운 MAC 링크의 설정이 Slave에서 이루어졌다면 Slave LAPC로 LCTX/RX의 인스턴스 생성을 요청하는 LC_CREATE_REQ를 전송한다. Slave의 IBC TASK가 이를 수신하면 LAPC 인스턴스를 생성하고, 이의 상태를 KNL_NULL에서 MESSAGE_RELAYING으로 천이시키고, LAPC TASK로 LC_CREATE_IND를 내린다. Slave LAPC TASK가 이를 수신하면 PMID를 해당 ICB에 저장하고, LCTX/RX의 인스턴스를 생성한다. ICB에 저장된 PMID는 MAC 계층에서의 단말식별자이며, LC 계층의 CRC 생성과 검증시 이용되

고, 커넥션 핸드오버의 수행여부 결정 시에 이용된다.

2. DLC 계층의 링크설정 절차

DLC 계층의 Class A 서비스는 I-프레임과 RR-프레임만으로 DLC 계층의 모든 제어가 이루어지도록 규정하고 있으므로 DLC의 링크 설정은 NLF를 세트한 I-프레임과 RR-프레임을 주고받음으로서 이루어지고, 이는 B의 SABME와 UA 프레임과 동일한 기능을 수행한다. 즉, LINK_ESTABLISHING 상태에서 수신한 프레임이 NLF가 Set된 I-Frame이면 시퀀스 번호를 확인하여 맞으면 PP로 NLF가 Set된 I-Frame으로 응답하고 LCE TASK로 DL_ESTABLISH_IND를 올린 후, LINK_ESTABLISHED 상태로 천이한다. 만약 수신한 프레임이 NLF가 Set된 I-Frame이 아니면 무시한다. 그런데 PP가 DLC 링크 설정을 위해 Class B의 SABME를 보내올 경우 버리지 말고 Class A의 UA로 응답하도록 하고, PP가 통신효율을 위해 링크 설정을 위한 I-프레임에 NWK 메시지를 실어 보내는 경우 DL_ESTABLISH_IND의 정보필드에 이를 실어 올리도록 한다. FP가 링크 재설정시 Class A의 링크설정 I-Frame을 보내었는데도 불구하고 PP가 Class B의 UA로 응답하는 경우에는 링크 설정을 하지 않도록 한다.

DECT는 단말의 이동성으로 인해 발호는 PP 직접방식으로 착호는 FP 유도방식으로 호 설정이 이루어진다. 즉, LCE TASK가 위치등록 데이터베이스를 조회하여 착신 단말의 현재 위치(DBI와 DBS 식별자)를 확인한 후, 해당 DBI의 DBS로 LCE-PAGE-REQ 메시지를 DL_BROADCAST_REQ에 실어 내리면 MAC의 MASAP이 이를 MC_PAGE_REQ에 실어 BMC TASK로 내린다. 그러면 BMC TASK가 이를 공지(broadcast)하게 되고 해당 단말은 DL_ESTABLISH_REQ에 LCE-PAGE-RES 메시지를 실어 응답하는 과정에서 착호를 위한 DLC 링크의 설정이 이루어진다. 그런데 단말의 이동으로 인해 단말의 위치정보와 실제 위치가 불일치하는 경우 착신 단말로부터 응답이 없을 수 있으므로 LCE-PAGE-REQ 메시지를 전송시 타이머(= 3초)를 구동하고 종료 시마다 최대 3회 이를 재 전송한다. 일시적으로 위치정보와 실제 위치간에 불일치가 발생할 수도 있지만 이의 반복과정에서 새로이 위치등록과 데이터베이스의 변경이 이루어져, 착신 단말이 위치한 DBI의 DBS가 LCE-PAGE-REQ를 공지함으로써 DLC 링크가 설정되게 된다.

DLC 링크의 설정 중에 PP DLC의 해제 요구나 하위 MAC의 해제 요구로 인해 MAC 계층으로부터 MC_DIS_IND를 수신하면 DLC 계층의 해당 인스턴스를 삭제하여 KNL_NULL 상태로 만들고 ICB를 초기화한다. 그리고 상향해제로 인해 기 요구된 NWK 메시지가 소실되는지를 확인하여 소실 시는 NWK 계층으로 DL_RELEASE_IND(비정상)을 올려 상위 NWK 계층에서 오류 제어를 할 수 있도록 한다.

DLC 링크의 설정 중에 NWK 계층으로부터 DL_RELEASE_REQ를 수신하면 MAC 계층으로 MC_DIS_REQ를 내리고 LINK_RELEASING 상태로 천이한다. 이는 NWK 계층이 DL_ESTABLISH_IND 혹은 CFM을 받지 못한 상태에서 DL_RELEASE_REQ를 내린 것이므로, NWK 계층은 아직 DLC 링크가 설정되지 않았고 당연히 기 요구한 NWK 메시지도 전송되지 않았음을 알고 있으므로, 기 요구한 전송 요구의 철회를 의미하는 것이기에 DLC는 바로 하향해제를 수행하는 것이다.

3. DLC 계층의 데이터 송수신 절차

DLC 계층의 Class B 서비스는 멀티프레임의 송수신을 지원하나 Class A 서비스는 송신한 DLC 프레임에 대한 ACK를 받아야 다음 프레임용 전송 하도록 하는 Send-and-Wait 방식의 프로토콜을 규정하고 있다. 이때 DLC 계층은 상위 NWK 계층에게 신뢰성 있는 통신 링크를 제공해야 한다. 즉, NWK 계층에서 내려보낸 모든 NWK 메시지를 오류없이 상대방 NWK 계층에게 전달될 수 있도록 DLC 계층 내에서 오류제어, 흐름제어, 시퀀스제어를 수행해야 하며 기 요청된 NWK 메시지 중 전달되지 못한 메시지가 있으면 반드시 이를 방지하여 NWK 계층에서 추가적인 오류제어가 이루어 질 수 있도록 하여야 한다. 그래서 NWK 계층에선 일단 DLC 계층으로 내려보낸 메시지에 대한 상대방 NWK 계층으로 제대로 전달되었는지 대한 확인이나 오류제어가 불필요하도록 DLC 계층의 데이터 송수신의 신뢰성을 보장해야 한다.

I-프레임은 NWK 메시지의 송수신에 이용되고, RR-프레임은 흐름제어와 오류제어에 이용된다. N(S)는 시퀀스제어를 위한 정보로 이용되고, N(R)은 오류제어를 위한 ACK 정보로 이용되며 I-프레임의 경우 Piggyback ACK가 가능하다. 제어 필드의 P/F 비트는 주소 필드의 C/R 비트와 결합하여 오류제어와 흐름제어에 있어 특별한 의미를 가진다.

I-프레임은 항상 명령 프레임의 형식을 가지며 P 비트가 0인 경우 흐름제어를 위한 수신측의 상태정보가 불필요하다는 것이지 송신한 I-프레임에 대해 ACK를 보내지 않아도 좋다는 의미는 아니다. 즉, 수신측에 송신할 I-프레임이 있고 송신측이 Busy 상태가 아닌 경우 I-프레임으로 응답해도 좋다는 의미이지, I-프레임이나 RR-프레임으로 수신여부에 대한 수신측의 응답은 반드시 이루어져야 한다. I-프레임의 P 비트가 1인 경우는 흐름제어를 위한 수신측의 상태정보를 요구하는 것이므로 RR-프레임을 이용한 수신측의 즉각적인 응답이 이루어져야 한다. RR-프레임은 명령 혹은 응답 프레임의 형식을 가질 수 있으며, 오류제어와 송신측이 Busy 상태 해제될 알릴 때 이용된다. 명령 RR-프레임의 P 비트가 0이면 오류제어를 위한 ACK 기능만을 가지나 P 비트가 1이면 상대측의 상태를 묻는 흐름제어 기능까지 가진다. 응답 RR-프레임의 F 비트가 0이면 오류제어를 위한 ACK 기능만을 가지나 F 비트가 1이면 상대측의 물음에 응답하는 흐름제어의 기능까지 가진다.

DLC 프레임의 송수신은 LINK_ESTABLISHED 상태에서 이루어지며 오류없이 송수신하기 위해선 bVr, bVs, bVa의 제어변수 외에 송신해야 할 ACK 여부(boAckToSend)와 수신되어야 할 ACK 여부(boAckToReceive)를 나타내는 플래그, 전송 요청된 NWK 메시지의 저장을 위한 메시지 큐(sMsgFifo), 전송한 NWK 메시지를 ACK 수신시까지 보관하는 메시지 버퍼(psCurrentMsg)가 필요하다. 이들간의 관계물 발생 조건에 따른 처리의 형식으로 제어변수의 종류별로 표 1 ~ 표 4에 정리하였다.

표 1. 송신해야할 ACK 여부를 나타내는 제어 플래그의 처리

제어변수의 종류	처리	발생 조건
송신 ACK 플래그 (boAckToSend)	FALSE	인스턴스 생성시
	TRUE	I-프레임의 수신시
	FALSE	수신한 I-프레임에 대한 ACK 전송시

표 2. 수신해야할 ACK 여부를 나타내는 제어 플래그의 처리

제어변수의 종류	처리	발생 조건
수신 ACK 플래그 (boAckToReceive)	FALSE	인스턴스 생성시
	TRUE	I-프레임의 송신시
	FALSE	송신한 I-프레임에 대한 ACK수신시

표 3. 송신중인 메시지 보관을 위한 버퍼의 처리

세이버퍼의 종류	처리 및 상태	발생 조건
메세지 버퍼 (psCurrentMsg)	NULL	인스턴스 생성시, 링크 해제시
	Attach message	NWK 메세지 송신요청 & boAckToReceive = F
	Detach message	송신한 I-프레임에 대한 ACK 수신시
	NULL 상태	송신한 I-프레임에 대한 ACK 수신시 & sMsgFifo 내에 메세지가 없을 때
	NOT_NULL 상태	ACK를 받지 못한 NWK 메세지가 있을때

표 4. 송신중인 메시지 보관을 위한 비퍼의 처리

제어버퍼의 종류	처리 및 상태	발생 조건
메세지 큐 (sMsgFifo)	Clear	인스턴스 생성시, 링크 해제시
	Get message	송신한 I-프레임에 대한 ACK 수신시
	Put message	NWK 메세지 송신요청 & boAckToReceive = TRUE

NWK 계층이 DL_DATA_REQ를 이용하여 메세지 전송을 요청하면, LAPC 타스크는 우선 boAckToReceive의 진위를 보고 메세지 버퍼가 비어 있는지를 확인하여 비어 있는 경우에는 메세지 버퍼에 보관하고 이를 I-프레임에 실어 단말측 LAPC로 전송함과 동시에 boAckToReceive를 TRUE로 만든다. 메세지 버퍼에 메세지가 있는 경우에는 메세지 큐에 저장한다. 송신한 메세지에 대한 ACK를 받으면 boAckToReceive를 FALSE로 만들고, 메세지 큐에서 하나의 메세지를 메세지 버퍼로 이동시킨 후 이를 송신하고 boAckToReceive를 TRUE로 만든다. 메세지 버퍼 내의 메세지는 단말로부터 ACK를 받을 때까지 보관하고, 전송 프레임의 소실이나 오류로 인해 제한된 시간(= 2초) 내에 ACK를 받지 못하면 최대 3회까지 재전송을 수행한다. 만약 그래도 ACK가 없으면 하위 링크 상에 문제가 있는 것으로 간주하여 bDownRelMode를 비정상으로 하고 비정상 하향해제를 수행한다. 정상 하향해제의 경우 버퍼링되어 있던 상위 메세지들 모두 전송한 후 해제 작업을 수행하지만 비정상 하향해제는 하위 링크상의 문제로 더 이상 전송이 불가능한 상태이므로 버퍼링되어 있던 NWK 메세지들 버리고 이를 상위 NWK 계층으로 뭉치한다.

단말로부터 I-프레임 혹은 RR-프레임을 수신하면

우선 이의 일련번호를 확인하여 맞으면 V(R)을 수정한 후, I-프레임인 경우 이를 DL_DATA_IND에 실어 NWK 계층으로 올리고, ACK 정보를 RR-프레임에 실어 단말로 보내고, boAckToSend를 TRUE로 한다. 수신 프레임이 RR-프레임인 경우 boAckToSend가 TRUE이면 버퍼링된 NWK 메세지가 없는 경우에만 ACK 정보를 RR-프레임에 실어 전송하고, 버퍼링된 NWK 메세지가 있으면 효율적 통신을 위해 I-프레임에 ACK 정보를 실어 전송하는 Piggybacked ACK 방식을 이용한다.

4. DLC 계층의 링크해제 절차

임의의 (N)-계층에서의 링크해제는 크게 (N)-계층이 (N-1)-계층에게 링크해제를 요구하는 하향해제(downward release)와 (N-1)-계층으로부터 링크해제를 통지받는 상향해제(upward release)로 나눌 수 있다. 하향해제는 다시 (N+1)-계층의 해제요구에 기인한 정상해제와 동위의 (N)-계층간 통신시 오류의 발생횟수가 규정된 범위를 초과하여 (N-1)-계층으로 해제요구를 내리는 비정상해제로 나뉜다. 상향해제 역시 동위 (N)-계층의 해제요구로 인한 정상해제와 하위계층의 이상에 의해 (N-1)-계층으로부터 링크해제를 통지받는 비정상해제로 나뉜다.

DLC 계층은 상위 NWK 계층이 송신 요청한 메세지의 신뢰성을 보장하여야 하므로 LINK_ESTABLISHED 상태에서 NWK 계층으로부터 정상 하향해제 DL_RELEASE_REQ(NORMAL)을 요청 받으면 링크해제 작업을 바로 수행하는 것이 아니라 RELEASE_PREPARING 상태로 천이하여 우선 기요청된 NWK 메세지들 오류없이 모두 송신한 후에 해제작업을 수행해야 한다. 즉, NWK 계층이 하향해제를 요구하면 받아야 할 ACK와 전송되어야 할 NWK 메세지가 없는 경우에만 MAC 계층으로 MC_DIS_REQ를 내리고 LINK_RELEASING 상태로 천이한다.

그렇지 않으면 RELEASE_PREPARING 상태로 천이하여 링크해제 작업을 수행하기 전에 기요청된 NWK 메세지들 먼저 처리한다. 이는 LINK_ESTABLISHED 상태에서의 수행과 동일하다. 그러나 NWK 계층으로부터 비정상 하향해제 DL_RELEASE_REQ(ABNORMAL)을 받으면 버퍼링된 NWK 메세지가 있다하더라도 무시하고 MAC 계층으로 MC_DIS_REQ를 내리고 바로 LINK_RELEASING 상태로 천이한다. 상향해제는 PP측 DLC의 해제요구나 하위 MAC의 해제통지에 의해 발생하

며, 이로 인해 MC_DIS_IND를 수신하면 NWK 계층으로 DL_RELEASE_IND를 올리고, 해당 ICB의 초기화와 인스턴스 접속 테이블의 해당 접속 삭제 등의 링크해제 작업을 수행한 후 KNL_NULL 상태로 천이한다. 이때 버퍼링된 NWK 메시지가 있어 소실이 되는 경우에는 비정상율, 송신 요청된 모든 NWK 메시지가 오류없이 송신된 경우에는 정상율 해제모드 정보로 주어 NWK 계층의 오류제어가 가능하도록 해준다.

기 요청된 NWK 메시지를 오류없이 모두 송신하면 MAC 계층으로 MC_DIS_REQ를 내리고, 인스턴스 제어버퍼의 하향해제의 형식을 정상으로 하고, LINK_RELEASING 상태로 천이한 후 MC_DIS_CFM을 기다리게 된다. FP와 MAC 링크 해제요청시에 PP 측의 MAC 링크 해제요청이 동시에 발생할 수 있으므로 LINK_RELEASING 상태에서는 MC_DIS_CFM 혹은 MC_DIS_IND를 수신하게 된다. MC_DIS_CFM을 수신하면 앞서 ICB에 저장한 하향해제의 형식에 따라 정상 하향해제이면 DL_RELEASE_CFM을, 비정상 하향해제이면 DL_RELEASE_IND를 NWK 계층으로 올린다. MC_DIS_IND를 수신하면 우선 ICB의 하향해제 형식을 확인하여 정상 하향해제이면 DL_RELEASE_CFM 을, 비정상 하향해제이거나 해제형식 정보가 없으면 DL_RELEASE_IND를 NWK 계층으로 올린다. 그리고 NWK 계층으로 DL_RELEASE_CFM이나 DL_RELEASE_IND를 올릴 시에는 버퍼링되어 있는 NWK 메시지나 받아야 할 ACK가 있는지를 확인하여 있으면 해제 모드를 비정상으로 하고, 없으면 정상으로 하여 NWK 계층으로 통지한다. 기 요청된 NWK 메시지에 대한 처리가 종료되면 해당 ICB의 초기화와 인스턴스 접속 테이블의 해당 접속 삭제 등의 링크해제 작업을 수행한 후 KNL_NULL 상태로 천이한다. 그러므로 FP와 PP가 MAC 링크를 동시에 해제 요청함으로써 인한 링크 해제의 경합 문제는 MC_DIS_CFM 과 MC_DIS_IND 중에 하나를 수신하면 링크 해제작업을 수행하고 KNL_NULL 상태로 천이하여 뒤이어 도착한 메시지는 운영체제의 스케줄러에 의해 버려지도록 함으로써 해결할 수 있다.

DLC 계층이 링크 해제를 진행하는 중에 NWK 계층으로부터 데이터 전송이나 링크 설정 요청이 있을 수 있으며 이에 대한 처리는 통신의 효율성과 프로토콜의 안정성 중에 무엇을 중시할 것인가에 따라 처리 방안이 달라질 수 있다. DLC 계층이

MC_DIS_REQ를 내린 후 MC_DIS_CFM을 받지 못한 상태에서 DL_DATA_REQ를 받으면, 아직 MAC 링크가 살아있으므로 효율성을 증시하여 DL_DATA_REQ를 정상 처리하여 NWK 메시지를 전달할 수 있는 한 최대한으로 전송하도록 할 수 있다. 그러나 이의 경우 링크 해제요구에 따른 해제작업이 이미 진행중이면 문제가 발생할 수 있고, DL_RELEASE_REQ 후의 DL_DATA_REQ는 비정상적인 경우이므로 안정성을 증시하여 DL_DATA_REQ를 무시할 수도 있다. 만약 DLC 계층이 링크 해제 중에 DL_ESTABLISH_REQ를 받으면 기 요구된 NWK 메시지를 우선 처리하고, 해제 요청은 무시하여 링크를 그대로 유지시키고 DL_ESTABLISH_CFM을 올려 효율성을 기할 수 있다. 그러나 안정성을 증시하여 링크 설정 요청을 받은 시점에 링크 해제작업이 이미 진행중이면 해제작업을 종료한 후에 링크를 재 설정하거나 링크 해제 중의 DL_ESTABLISH_REQ는 무시할 수도 있다.

VI. 성능평가

구현한 DECT 시스템은 사용자 측면에서 볼 때 하나의 블랙박스로 보여지며 이의 프로토콜 구조나 동작의 상세내역보다는 실제 요구한 서비스가 얼마나 정확히 빨리 제공되는지가 더 중요하므로 요구한 서비스의 응답시간을 측정함으로써 이의 성능을 평가하였다.

1. 성능평가 방법

사용자의 호 설정요구에 대한 응답시간은 사용자가 Hook-Off한 후 통화하고자 하는 상대방 전화번호의 최종 디지트를 누른 시점부터 상대 단말에 착신 링이 울려 상대방 사용자가 Hook-Off함으로써 착발신 단말간에 호 접속이 이루어져 통화가 가능한 시점까지 소요되는 시간이 된다. 그리고 사용자의 호 해제요구에 대한 응답시간은 사용자가 통화종료물 위해 Hook-On을 한 시점부터 호 해제작업의 수행으로 착발신 단말간의 호 접속을 위해 사용되었던 B-채널과 각종 자원이 반환되어 재사용이 가능한 시점까지 소요되는 시간이 된다. 사용자가 상대 호출을 위해 최종 디지트를 누른 시점부터 그리고 사용자가 호 해제를 위해 Hook-Off를 한 시점부터 이를 DECT 시스템이 인식하기까지는 시간차가 있으나 이는 밀리초 단위이고, 요구된 사용자 서비스의 실시간 제공여부는 통상 초단위로 이루어지므로 호 설

정 및 해제의 응답시간 측정에 있어선 이를 무시하였고, 착신 링에 의한 착신단말의 Hook -Off는 최소한의 시간 내에 이루어 질 수 있도록 하였다.

사용자의 호 설정과 해제요구에 대한 DECT 시스템의 응답시간은 착발신 단말의 위치등록이 Master DBI의 제어하에 있는 기지국에 되어 있는지 Slaver DBI 하의 기지국에 되어 있는지에 따라 달라질 수 있고, 동시호(simultaneous call)에 의한 시스템내 통신트래픽의 강도에 따라 달라질 수 있으므로 이에 따른 응답시간을 측정하였다. 구현한 DECT 시스템의 성능평가를 위해 호 설정 응답시간을 100회 반복 측정하여 구한 표준편차 428msec를 σ 로 하고, 교환기 주장치의 DPRAM 폴링주기가 100msec이므로 읽고 쓰는 것을 고려하여 오차한계 E를 200msec로 할 때 95%의 신뢰도를 만족시키기 위해선 표본크기 $n \geq (Z\alpha/2 \cdot \sigma)^2/E^2 = (1.96 \cdot 428)^2/200^2$ 이 18 이상이면 되므로 각 경우에 대해 20회 반복 측정한 평균치를 해당 경우의 응답시간으로 하여 표에 나타내었으며 사용한 DECT 단말은 Siemens의 Gigaset 1000C 이다.

2. 성능평가

사용자의 호 설정과 해제요구에 대한 DECT 시스템의 응답시간은 동시호에 의한 시스템내 통신트래픽의 강도와 단말위치의 Master/Slaver 여부에 따른 응답시간을 측정하였다.

1) 동시호 발생시 호설정 응답시간

DECT 시스템내 하나의 기지국은 최대 4개의 동시통화를 지원하므로 동시호 발생에 따른 호설정 응답시간을 측정하여 표 5에 나타내었고, 표 내의 M→M은 Master에 위치한 발신단말이 Master에 위치한 착신단말을 호출한다는 의미로 사용하였다.

표 5 동시호 발생시 호설정 응답시간

서비스 종류	응답 시간			
	단일호	2개의 동시호	3개의 동시호	4개의 동시호
호 설정 (M→M)	2811	3518	3885	4695
호 설정 (S→S)	3208	3545	4002	4834

2) 착발신 단말의 위치에 따른 호설정 및 해제의 응답 시간

DECT 단말의 위치에 따른 호설정 및 해제의 응답시간을 측정하여 표 6에 나타내었고, 표 내의 M→S는 Master에 위치한 발신단말이 Slaver에 위치

한 착신단말을 호출한다는 의미로 사용하였다.

표 6. 착발신 단말의 위치에 따른 호설정 및 해제의 응답 시간

(단위: msec)

서비스 종류	응답 시간			
	M→M	M→S	S→M	S→S
호 설정	2811	3260	2909	3208
호 해제	2780	2960	2860	2962

VII. 결론

DECT는 사실교환기에 이동서비스를 제공하기 위한 통신 규약으로 PSTN을 이용한 저가형 통신서비스를 제공함으로써 빌딩의 육내형 이동통신을 위한 GSM의 이상적인 보완책으로 각광을 받고 있다.

본 논문에서는 사실교환기에 이동통신 서비스를 제공하기 위한 DECT 시스템의 프로토콜 구조와 동작을 세안하고, 상위 네트워크 계층에게 신뢰성 있는 통신 링크를 제공하기 위해 링크제어, 오류제어, 시퀀스제어, 흐름제어의 기능을 수행하는 데이터 링크제어 계층의 구현방법과 기술에 관해 상세히 기술하였다. 이의 구현을 위해 우선 데이터베이스의 구조와 상태천이도를 설계하여 도시하였고, 구현시 고려되어야 할 인스턴스의 생성과 삭제, 링크의 설정과 해제, 데이터의 송신과 수신에 관한 절차와 방법을 상태천이도를 기초하여 상세히 기술하였다. 또한 구현한 DECT 시스템의 성능평가를 위해 사용자의 호 설정과 해제요구에 대한 DECT 시스템의 응답시간을 동시호에 의한 시스템내 통신트래픽의 강도와 단말의 위치를 Master와 Slaver로 달리하여 측정한 결과 착발신 단말의 위치에 따라 약간의 차이는 있을 수 있으나 대략 3초 내외임을 알 수 있었다.

본 논문에서 제시한 통신 프로토콜의 구현방법과 기술은 OSI 참조모델에 기반을 둔 다른 통신 프로토콜이나 다른 계층의 구현에 많은 도움이 되리라 생각되어 진다. 그리고 ETSI 권고안을 따라 구현한 DECT 시스템은 단말기 등록과 해제, 인증키 할당과 변경, 기지국 및 단말기 인증, 위치등록과 위치갱신, 셀내 베어러/커넥션 핸드오버, 셀간 베어러/커넥션 핸드오버, 착발신 기본통화, 기지국 및 기지국 접속장치의 관리를 위한 기능을 가지며, CTR6과 CTR22 형식승인 시험을 거쳐 현재 유럽과 호주 등지에 수출 중에 있다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI, *Radio Equipment and Systems(RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface(CI); Part 1 Overview*, DRAFT pr ETS 300 175-1, August 1995.
- [2] 최 재원, 박 인갑, "ISDN 공중망 접속을 위한 시설교환기의 ISDN BRI 트렁크 카드의 구현", 대한전자공학회 논문지, 제 33권 A편, 제 9호, 1996년 9월.
- [3] 최 재원, "DECT 이동통신 시스템의 데이터 링크 제어 프로토콜의 분석 및 설계", 한국해양정보통신학회 논문지, 제 3권, 제 1호, 1999년 3월.
- [4] 최 재원, "DECT 이동통신 시스템의 착발호 충돌 문제 해결을 위한 호제어의 구현 및 성능평가", 한국통신학회 논문지, 제 23권, 제 2호, 1998년 2월.
- [5] ETSI, *Radio Equipment and Systems(RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface(CI); Part 4 Data Link Control Layer*, DRAFT pr ETS 300 175-4, August 1995.
- [6] ETSI, *Integrated Service Digital Network (ISDN); User-network interface data link layer specification, Application of CCITT Recommendation Q.920 I.440 and Q.921/I.441*, ETS 300 125, September 1991.
- [7] ETSI, *Radio Equipment and Systems(RES); Digital European Cordless Telecommunications (DECT) Generic Access Profile (GAP)*, ETS 300 444, August 1994.
- [8] 최 재원, 박 인갑, "ISDN 시설교환기용 실시간 운영체제의 구현 및 성능평가", 대한전자공학회 논문지, 제 33권, A편 제 12호, 1996년 12월.

최 재 원(Jae Weon Choe)

정회원



1988년 2월 : 고려대학교 컴퓨터
공학과(학사)
1990년 8월 : 미시간주립대학교
컴퓨터공학과(석사)
1995년 8월 : 건국대학교 전자공
학과 (박사)

1990년 10월~1997년 8월 : 삼성전자 정보통신연구소 선임연구원

1997년 9월~현재 : 경성대학교 전기전자·컴퓨터공학부 조교수

<주관심 분야> 정보통신망, 이동통신, 네트워크 운영체제