DBpia

HR-WPAN에서 링크 상태에 따른 동적 채널 타임 할당 기법

정회원 강 재 은*, 변 성 원**, 종신회원 이 정 규*

Dynamic Allocation of Channel Times based on Link Quality of HR-WPAN

Jae-Eun Kang*, Sung-Won Byun** *Regular Members*, Jong-Kyu Lee* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.3 HR-WPAN(High Rate Wireless Personal Area Network)의 PNC(PincoNet Coordinator)에서 DEV(DEVice)의 링크 상태에 따라 동적으로 채널 시간을 할당하는 DABL(Dynamic Allocation of channel times Based on Link quality of the DEV) 알고리즘을 이용하여 시스템에서의 평균 트래픽 전송률을 향상시키고 지연시간을 감소시키는 방법을 제안한다. 좀 더 구체적으로, DABL 알고리즘은 DEV의 링크 상태에 따라 다중 변조 기법을 제공할 뿐만 아니라, 슈퍼프레임에서의 각 DEV를 위한 채널 타임도 동적으로 스케줄링 하는 방법을 제공한다. 또한 트래픽의 QoS(Quality of Services)를 고려하여, 본 논문에서는 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽으로 구분하여 DABL 알고리즘을 제안하였다. 마지막으로, 본 논문에서는 기존 균등 분할 방식과 DABL 방식의 성능 비교를 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

Key Words : HR-WPAN, MAC protocol, Dynamic CTA, Scheduling, Link status

ABSTRACT

For IEEE 802.15.3 HR-WPAN, we propose the DABL algorithm that PNC can allocate the channel times to the DEV in super frame in order that system frame throughput is increased and the delay is decreased. In detail, the DABL algorithm allows to dynamically allocate channel time as well as to adaptively apply the modulation and coding scheme based on the link quality of the DEV. In addition, due to the facts that QoS is quite different depending on service types, we provide the DABL algorithm taking into account RT(Real Time) traffic and Non-RT traffic respectively. Finally, we show simulation results of the DABL algorithm compared to the conventional algorithm that the PNC equally allocates channel times to the DEV regardless of the link quality of the DEV.

Ⅰ. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 무선 통신 분야에서는 WLAN(Wireless Local Area Network), WPAN(Wireless Personal Area Network) 등의 근거리 무선 통신망에 대한 연구 및 개발 경쟁이 가속화 되고 있다. 특히 개인 무선 단말기의 보급과 멀티미디어 서비스에 대한 요구의 증가로 데이터 전송의 고속화 및

* 한양대학교 컴퓨터공학과 정보통신 연구실 (jekang@cse.hanyang.ac.kr, jklee@cse.hanyang.ac.kr)
** LG전자 HE(Home Entertainment) 사업부 LCD TV 연구소 (neorevno9@hotmail.com)
논문번호 : KICS2008-08-342, 접수일자 : 2008년 8월 12일, 최종논문접수일자 : 2009년 2월 16일

www.dbpia.co.kr

고품질화를 기반으로 하는 자동화된 소규모 네트워크 구축에 많은 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 IEEE 802 위원회에서는 근거리 무선 환경에서 자율적으로 네트워크를 형성하고 데이터를 고속으로 전송하기 위한 규격으로 802.15.3을 제정하고 HR-WPAN(High Rate-Wireless Personal Area Network)이라 명명하였으며 2003년 8월에 표준 승인을 완료하였다[1].

IEEE 802.15.3 HR-WPAN은 IEEE 802.11b보다 좁은 약 50미터의 통신 반경을 가지며 2.4~2.4835 GHz ISM 대역에서 최대 55 Mbps의 고속 전송을 지원한다[2]. HR-WPAN은 여러 개의 DEV(Device)들로 구성되며, 그 중 하나의 DEV가 피코넷 중재자인 PNC(PicoNet Coordinator) 역할을 수행한다. 만약 DEV가 대용량의 실시간 또는 비실시간 트래픽을 전송하고자 한다면 PNC에게 의사-정적(Pseudo-static) 채널 타임 또는 동적 채널 타임을 요청한다[1]. 현재 표준에서는 네트워크 내에 충분한 채널 타임만 있다면, PNC는 DEV가 요청한 양만큼의 채널 타임을 제한 조건없이 할당해 준다[4,5,6]. 이러한 방식은 다수의 DEV들에게 채널 타임을 비효율적으로 할당하게 되어 전체 시스템 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 또한 할당 받은 채널 타임 구간에서 DEV가 다른 DEV들의 간섭 없이 점대점 통신을 할 때, MAC 계층에서는 아직까지 채널 타임을 할당하는데 있어서 링크 상태를 고려하고 있지 않다[1]. 따라서 각 DEV에게 적절한 채널 타임을 할당해 주기 위해 물리계층에서 제공하는 5가지 다중 변조 방식을 이용하여 네트워크의 성능 향상을 꾀할 수 있다.

무선 통신에서 무선 채널 환경은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요인으로 채널 환경에 따라 적절한 전송 속도를 선택함으로써 네트워크의 성능을 향상 시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 논문 가운데 [7]은 IEEE 802.11에서 지원하는 다중 변조 방식을 효율적으로 적용하기 위한 방법에 대해 제안하고 패킷 평균 전송률을 분석하였으며 [8]에서는 셀룰러 망에서 링크 상태를 측정하고 적절한 전송 속도를 선택하기 위한 방법에 대해 연구하였다. 또한 HR-WPAN과 관련해서, [4]는 포화 상태의 망에서 우선 순위 기반의 채널 액세스를 통해 평균 지연시간을 감소시키는 방법에 대해 제안하였고, [5]는 통신하는 송수신 노드들이 위치를 인식하여 여러 링크가 동시에 같은 채널 타임을 사용할 수 있도록 함으로써 시스템 성능을 향상시켰다. [6]은 MPEG-4 응용의 프레임 특성을 분석하여 최적화된 채널 타임 패턴을 계산함으로써 패킷 평균 전송률과 지연율을 향상시켰다. 그러나 HR-WPAN에서는 아직까지 물리계층에서 제공하는 다중 변조 방식을 적절히 적용하고, 이에 대한 링크 상태를 고려한 동적 채널 할당에 관한 연구는 미비하다.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.3 HR-WPAN에서의 링크 상태에 따른 다중 변조 방식을 효율적으로 적용 가능한 MAC 계층에서의 슈퍼프레임 스케쥴링 기법인 DABL 알고리즘을 제안한다. 또한 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해 HR-WPAN의 주요 서비스 트래픽인 대용량의 멀티미디어 트래픽을 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽으로 분류하고 각각에 대한 평균 트래픽 전송률과 지연시간에 대해 평가하였다.

Ⅱ. IEEE 802.15.3 HR-WPAN

IEEE 802.15 WPAN WG(Working Group)에는 총 6개의 TGs(Task Groups)이 있는데, WPAN 표준화 작업에 가장 앞장섰던 TG 1의 블루투스는 2005년 표준화가 완료 되었으며, 현재 TG 3의 HR-WPAN을 비롯한 TG 4, 5, 6의 표준화 활동이 진행 중에 있다. 여기서 TG 3의 HR-WPAN은 블루투스의 허용 단말수와 데이터 전송 속도 등의 문제를 해결하고 대용량의 멀티미디어 트래픽을 고속으로 서비스하기 위한 표준이며, TG 4의 ZigBee는 반대로 낮은 데이터 전송률을 지원하며 적은 양의 배터리를 갖는 단말이 전력 소모를 최소화 하도록 설계되었다.

IEEE 802.15.3 HR-WPAN에서 802.15.3a와 802.15.3b는 각각 PHY와 MAC 계층에 대한 표준으로서, 2006년 초 중단된 이후 현재 2005년 3월에 시작된 802.15.3c의 milimeter-wave에 기반한 물리 계층에 대한 표준화 작업만 이뤄지고 있다.

따라서 중단된 시점에서의 HR-WPAN 표준을 살펴보면, IEEE 802.15.3a TG에서는 HR-WPAN의 물리 계층에 UWB(Ultra Wide Band) 기술을 적용함으로써 최대 400Mbps의 전송 속도를 지원하며, 완성된 표준에서는 5가지 다중 변조 방식을 사용하여 11Mbps에서 55Mbps까지의 전송속도를 지원하고 있다. 또한 PNC를 중심으로 최대 255개의 DEV를 연결시켜 피코넷 이라는 10m 이내의 개인화된 네트워크 환경을 자발적으로 형성하도록 한다. 따라서 HR-WPAN은 대용량의 멀티미디어를 서비스 할 수 있는 애드 혹 기반의 고속 무선 통신 시스템으로써 차세대 홈 네트워크에 적용될 수 있는 고속 홈네트워킹 기술이다.

www.dbpia.co.kr

2.1 MAC 프로토콜

HR-WPAN의 MAC(Medium Access Control)은 TDMA 방식을 기반으로 동작하며, PNC가 주기적으로 발생하는 슈퍼프레임에 의해 동작 타이밍이 결정된다. 슈퍼프레임 구조는 그림 1과 같다.

슈퍼프레임은 Beacon, CAP(Contention Access Period), CTAP(Channel Time Allocation Period)로 구성되며, CTAP는 다시 여러 개의 CTA로 나뉜다.

Beacon은 피코넷의 기본 타이밍 정보와 단말 및 네트워크 관리 정보를 전송하기 위한 구간으로 PNC에 의해 생성되는 커맨드 메시지가 전송된다. 또한 CAP는 커맨드 메시지나 저용량의 데이터를 전송하기 위한 구간으로 Beacon에서 허용하는 종류의 메시지만을 전송할 수 있다. 이 구간은 충돌 위험이 있는 CSMA/CA 방식을 사용하면서 충돌 확률을 줄이기 위해 backoff 기법을 같이 사용한다. 이 시간 동안 DEV들은 채널 타임 요청 커맨드를 비롯하여 피코넷 가입 및 탈퇴, PNC 핸드오버, PNC 정보, DEV 정보 등의 요청 커맨드를 전송하고 PNC는 각 커맨드에 대한 응답 메시지를 전송한다.

CTAP는 TDMA 방식을 기반으로 동작하며 여러 개의 CTA로 구성되어 있다. 각 CTA는 PNC가 DEV들에게 할당해 준 채널 타임 구간으로 이 구간 동안 통신을 원하는 DEV는 수신 DEV와의 링크를 형성하여 다른 DEV들과 간섭을 받지 않고 점대점 방식으로 실시간 트래픽과 대용량의 비실시간 트래픽을 전송할 수 있다.

2.2 채널 타임 할당 기법

HR-WPAN의 DEV는 측정된 채널 상태를 바탕으로 자신이 필요한 양의 CTA 크기를 계산하여 PNC에게 요청한다. 이 때, 실시간 트래픽을 가진 DEV의 경우, 스트림 비트율 등을 고려하여 매 슈퍼프레임 마다 필요한 CTA 크기를 요청하는 반면, 비실시간 트래픽을 가진 DEV의 경우, 데이터의 전체 용량을 전송하기 위해 필요한 CTA 크기를 요청한다. CTA 크기는 한 프레임을 전송하는데 필요한 단위인 CTRq TU(Channel Time Request Time Unit)의 개수로 나타낸다.

그림 2는 채널 타임 요청 커맨드의 채널 타임 요청 블록(CTRq Block) 필드의 포맷이다. 채널을 요청하는 DEV는 이 메시지를 통해 실시간 트래픽을 위한 CTRq의 최소/적정량을 표시하거나 비실시간 트래픽의 전체 전송량을 표시한다.

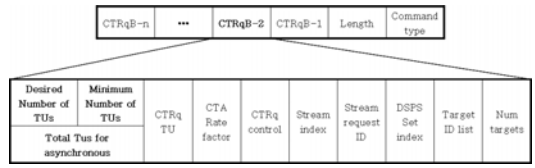

그림 2. Channel Time Request 커맨드 포맷

PNC는 DEV의 요청에 대해 이용 가능한 채널 타임이 존재하면 아무런 여과없이 성공 응답을 전송하고 다음 Beacon 프레임을 통해 할당된 CTA의 시작 시간과 길이를 알려준다. 실시간 트래픽의 경우, QoS를 보장하기 위해 매 슈퍼프레임 마다 최소 개의 TU를 보장해야 하지만 비실시간 트래픽의 경우 현재 사용할 수 있는 채널 타임 내에서 PNC가 적절히 스케쥴링 하여 할당 할 수 있다. 실시간 트래픽에 대해 매 슈퍼프레임 마다 정해진 개수의 TU를 보장해 주는 것을 의사-정적 CTA(Pseudo-static CTA)라고 하고 매 슈퍼프레임 마다 스케쥴링에 의해 다른 개수의 TU를 할당하는 것을 동적 CTA (Dynamic CTA)라고 한다. 이렇게 할당된 채널 타임 정보는 DEV의 요청이나 PNC에 의해서만 강제로 변경 또는 종료될 수 있다.

2.3 다중 변조 기법

HR-WPAN의 PHY 계층에서는 기본 변조 방식으로 DQPSK를 사용하여 22 Mbps를 지원하고 11, 33, 44, 55 Mbps의 전송 속도를 지원하기 위해 각각 QPSK-TCM(Quadrature Phase Shift Keying - Trellis Coded Modulation)과 16 / 32 / 64 - QAM - TCM(Quadrature Amplitude Modulation - TCM) 모드를 사용하는 다중 변조 방식을 지원한다. 이 다중 변조 기법은 HR-WPAN의 모든 데이터 전송이 점대점 방식으로 이루어지기 때문에 각 링크마다 독립적으로 적용된다.

HR-WPAN은 각 링크에 적절한 전송 속도를 선

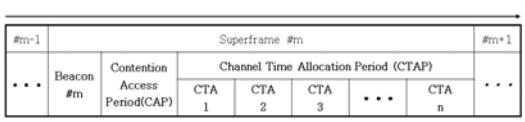

그림 1. HR-WPAN의 슈퍼프레임과 Beacon 프레임 구조

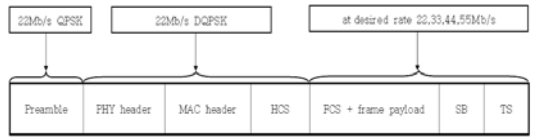

그림 3. 22, 33, 44, 55 Mbps에서 PHY 프레임 포맷

www.dbpia.co.kr

택하기 위해 채널 상태 커맨드를 통해 다른 노드와의 채널 상태를 파악한다. 채널 상태를 요청하는 DEV가 특정 DEV에게 Channel Status Request를 전송하면 수신 DEV는 그 동안 측정한 송신 DEV에 대한 채널 상태를 Channel Status Response를 통해 응답한다. 요청 DEV는 Channel Status Response 메시지 내의 요청 DEV가 응답 DEV에게 지금까지 전송한 프레임 수를 나타내는 TX frame count 값과 응답 DEV가 요청 DEV로부터 수신한 프레임 수를 나타내는 RX frame count 값, 그리고 RX frame count 값 중에서 에러가 발생한 프레임 수를 나타내는 RX frame error count 필드를 통해 응답 DEV와의 링크 상태를 결정할 수 있다.

따라서 두 DEV 간의 링크 상태는 채널 요청 전이나 이미 형성된 링크 상에 에러가 증가하여 새로운 변조 기법을 적용해야 하는 경우에 적용될 수 있다. 하지만 이 방법은 CAP 구간에서 부가적인 요청 메시지를 전송해야 하기 때문에 링크 상에 DEV들의 이동 등에 의해 채널 상태의 변화율이 증가하게 되면 이 방법을 적용하기 위한 오버헤드가 증가하는 문제점이 있다.

이렇게 결정된 전송 속도는 FCS와 프레임 페이로드에만 적용되며 프리앰블과 PHY/MAC 헤더, HCS는 전송 에러율을 낮추기 위해 22 Mbps의 고정된 전송속도를 갖는다.

Ⅲ. 링크 상태에 따른 동적 채널 타임 할당

HR-WPAN 표준에서 PNC는 DEV의 채널 요청에 대해 네트워크 상에 이용 가능한 자원의 양이 충분하다면 별다른 제한 조건 없이 채널을 할당해 준다. DEV가 전송하는 트래픽의 QoS나 링크 상태 등을 전혀 고려하지 않는 이와 같은 채널 할당 기법은 PNC가 채널을 효율적으로 할당할 수 없으므로 전체적으로 시스템 성능 저하를 야기 시킬 수 있다.

DEV 간의 각 링크는 매 슈퍼프레임마다 서로 다른 링크 상태를 가질 수 있다. 링크 상태가 나쁜 경우, 동일한 양의 데이터를 전송하는데 있어서 더 오랜 시간이 걸리게 된다. 실제로 표준에서와 같이 PNC가 모든 링크에 같은 가중치로 채널을 균등하게 할당하게 되면, 링크 상태가 나쁜 DEV가 상대적으로 많은 양의 CTA를 할당받게 되고 할당 받은 채널 타임 동안 트래픽 전송률이 낮으므로 전체 시스템의 성능은 저하된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 링크 상태를 고려하여 각 DEV에 동적으로 채널 타임을 할당하는 기법인 DABL(Dynamic Allocation of channel times Based on Link quality of the DEV)을 제안한다.

DABL은 우선 전송 속도를 선택하기 위해 링크 상태를 측정한다. 본 논문에서는 SNR을 측정 파라미터로 사용하여 현재 링크에서 사용 가능한 전송 속도를 선택한다. 이러한 접근 방법은 기존의 WLAN에서 연구되었던 ARF(Auto Rate Fallback)이나 RBAR (Receiver Based Auto Rate) 방식과 유사하다. 선택한 전송 속도는 매 프레임에 즉시 적용되기 때문에 각 DEV는 현재 링크 상태에서 최적의 전송률을 사용할 수 있다. 그러므로 PNC는 이전 슈퍼프레임의 각 링크에서 사용한 전송 속도들을 비교해 상대적인 링크 상태를 파악하고, CTA 크기를 동적으로 할당한다. 따라서 PNC는 다음 Beacon 프레임을 통해, 새롭게 갱신된 채널 타임 할당 정보를 DEV들에게 알린다.

3.1 전송 속도 선택

전송 속도는 수신 DEV가 물리 계층에서 측정한 링크 상태를 기반으로 선택된다. DABL에서는 각 링크의 링크 상태를 측정하기 위해 표준에서 제공하는 링크 상태 커맨드를 사용하는 것이 아니라 데이터 프레임과 Imm-ACK를 사용한다. HR-WPAN은 한 주기의 슈퍼프레임에서 할당받은 CTA 동안 여러 개의 프레임을 전송한다. 이 때 전송되는 Imm-ACK는 전송속도 정보를 포함하고 있기 때문에 수신 DEV는 데이터 프레임을 받을 때 링크 상태를 측정하고 전송 속도를 선택 할 수 있다. 수신 DEV는 수신 프레임을 실은 반송파의 SNR를 이용해 링크 상태를 측정하기 위해 기존에 디지털 변조 기법에서 연구된 이론을 사용한다[9,10]. 다음 수식 (1)에 있는 식들은 각 변조기법에 대해서 BER(Bit Error Rate)을 계산하기 위한 식을 간단히 요약한 것이다.

$$BER_{QPSK} = \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

$$BER_{DQPSK} = \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{8E_b}{3N_0}}\right) \times \sin\left(\frac{\pi}{4\sqrt{2}}\right)$$

$$BER_{16QAM} = \frac{3}{8} erfc\left(\sqrt{\frac{2E_b}{5N_0}}\right) - \frac{9}{64} erfc^2\left(\sqrt{\frac{2E_b}{5N_0}}\right)$$

$$BER_{32QAM} = \frac{4\sqrt{2}-1}{10\sqrt{2}} erfc\left(\sqrt{\frac{15E_b}{62N_0}}\right) - \left(\frac{4\sqrt{2}-1}{10\sqrt{2}}\right)^2 erfc^2\left(\sqrt{\frac{15E_b}{62N_0}}\right)$$

www.dbpia.co.kr

$$BER_{64QAM} = \frac{7}{24} erfc\left(\sqrt{\frac{E_b}{7N_0}}\right) - \frac{49}{384} erfc^2\left(\sqrt{\frac{E_b}{7N_0}}\right) \quad (1)$$

여기서 $erfc(X)$는 Complementary error function으로 $\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$이고, E_b/N_0는 SNR을 의미한다. 위의 식과 같이 각 변조 기법에 대한 BER 값이 다르게 측정된다. 따라서 위에서 측정된 BER을 바탕으로 수신 DEV는 현재 링크의 FER(Frame Error Rate)를 예측하고, 아래 수식을 사용하여 HR-WPAN에서 허용하는 타겟 FER은 8%를 만족하는 적절한 변조 기법을 선택한다[11].

$$FER = 1 - (1 - BER_{\mathrm{mod}})^{N_{frame}} \quad (2)$$

- N_{frame} : 한 프레임 당 비트 수
- BER_{mod} : 현재 변조기법에서의 BER 값

전송 속도가 선택되면 수신 DEV는 선택한 전송 속도가 수신된 데이터 프레임의 전송 속도와 비교하여 일치하지 않으면 Imm-ACK에 선택된 전송 속도 정보를 포함시켜 송신 DEV에게 전송한다. 이 Imm-ACK를 받은 송신 DEV는 다음 데이터 프레임 전송 시 새롭게 갱신된 전송 속도를 사용하게 된다.

3.2 동적 채널 타임 할당 기법

CTAP 구간에서 PNC가 동적으로 채널 할당을 하기 위해서는 각 DEV끼리의 링크 상태를 파악하고 있어야 한다. 여기서 PNC는 각 링크 상에서 전송되는 Imm-ACK를 엿들을 수 있다고 가정한다. 이 가정은 전송 속도 갱신 정보를 담은 Imm-ACK 전송 시 전송파워를 PNC가 들을 수 있도록 조정함으로써 가능하다.

PNC는 Imm-ACK로부터 수집한 각 CTA의 링크 상태 정보를 바탕으로 매 슈퍼프레임마다 각 링크를 위해 적절한 CTA의 크기를 계산한다. 이 때, PNC는 각 CTA에서 서비스 되고 있는 트래픽의 QoS를 만족시키기 위해서, 트래픽을 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽으로 나누어서 각기 다른 채널 할당 기법을 적용시킨다.

3.2.1 실시간 트래픽

실시간 트래픽을 위한 채널 할당의 경우, PNC는 각 링크의 마지막 전송 속도를 참조하여 할당할 CTA의 크기를 결정한다. PNC는 지연시간에 민감한 특성을 가지고 있는 실시간 트래픽을 서비스하는 DEV에게 의사-정적 CTA를 할당하여 매 슈퍼프레임 마다 최소 요구량 이상의 CTR_q를 전송할 수 있도록 최소한의 CTA 크기를 보장해야 한다.

실시간 트래픽을 위한 CTA 크기는 트래픽 전송 속도와 매 슈퍼프레임마다 전송해야 하는 트래픽 크기로 간단하게 계산할 수 있다. 먼저 현재 전송 속도에서 하나의 데이터 프레임을 보내는데 필요한 시간을 의미하는 CTR_q은 다음 수식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} CTRq_i = {} & [\mathrm{Preamble} + H_{PHY} + H_{MAC} + HCS]/Rate \\ & + [FCS + Frame\ payload + SB + TB]/Rate_i \\ & + 2 \times SIFS + ACK/Rate \end{aligned} \quad (3)$$

다음은 수식 (3)에 각 채널 타임 요청 시 요구된 최소 TU의 개수를 곱함으로써 다음 슈퍼프레임에서 할당할 CTA 크기를 구할 수 있다.

$$nextCTA_i = CTRq_i \times N_{CTRq-i} \quad (4)$$

- $CTRq_i$: i 번째 CTA의 Channel Time Request Time Unit 크기
- $Rate_i$: i 번째 CTA에서 가장 최근에 선택한 전송속도
- $Rate$: 시스템의 기본 전송 속도로서 22Mbps
- H_{MAC} MAC 헤더
- H_{PHY} : PHY 헤더
- N_{CTRq-i} : 현재 CTA에서 요구되는 $CTRq$의 개수
- $nextCTA_i$: 다음 슈퍼프레임에서 i번째 CTA의 크기

PNC는 실시간 트래픽을 전송하고자 하는 모든 DEV들에게 위의 식 (3), (4)을 적용하여 매 슈퍼프레임 마다 적절한 크기의 CTA를 할당한다. 기존의 표준 기법은 전송 초기에 정해진 전송률을 전송이 끝날 때까지 유지하므로, 전송 도중 링크 상태가 급격히 나빠지게 되면 실시간 트래픽의 QoS를 보장할 수 없게 된다. 그러나 제안하는 DABL 기법에서는 링크 상태가 변화함에 따라 즉각적으로 실시간 트래픽이 안정적으로 전송될 수 있는 크기의 CTA를 동적으로 할당함으로써, 시스템의 성능을 향상시킨다.

이 경우, 계산된 CTA 크기의 합이 CTAP의 최대 길이를 넘지 않는 경우는 그대로 적용되어도 무관하지만 CTAP의 최대 길이를 초과하는 경우 $nextCTA_i$의 값을 조정할 필요가 있다. 따라서 이 경우에는, 링크 상태가 가장 나쁜 CTA부터 N_{CTRq-i}의 값을 하나씩 줄여 나간다.

www.dbpia.co.kr

3.2.2 비실시간 트래픽

비실시간 트래픽을 위한 채널 할당의 경우, 실시간 트래픽과 마찬가지로 PNC는 각 링크의 마지막 전송 속도를 참조하여 전체 링크 상태에 대한 각 링크의 상대적인 링크 상태를 파악 할 수 있다. 하지만 비실시간 트래픽은 실시간 트래픽과 달리 지연시간에 민감하지 않기 때문에 PNC는 각 DEV의 상대적인 링크 상태에 따라 동적으로 채널 타임을 할당하는 동적 CTA를 할당한다. DABL에서는 비실시간 트래픽을 위한 링크에 동적 CTA를 할당하기 위해 다음과 같은 계산 과정을 거친다.

우선 각 CTA에 할당할 수 있는 크기를 계산한다. 이 때, 실제로 네트워크 내에 전송되는 트래픽이 실시간과 비실시간 트래픽이 혼재된 경우가 대부분이다. 따라서 제안하는 기법에서는 슈퍼프레임의 채널 타임 내에서 우선적으로 실시간 트래픽의 전송을 보장하고 나머지 CTAP의 나머지 채널 타임동안에 비실시간 트래픽을 전송할 수 있도록 할당한다. 비실시간 트래픽을 전송하는 링크에 대하여 채널 타임을 균등분배하면 각 CTA 크기는 다음과 같다.

$$CTAP_{nrt} = CTAP - \sum_{j=1}^{N_{rtCTA}} nextCTA_j \quad (5)$$

$$CTA_i = \frac{CTAP_{nrt}}{N_{nrtCTA}} \quad (6)$$

- $CTAP_{nrt}$: 슈퍼프레임상의 비실시간 트래픽 전송을 위한 CTAP 구간
- N_{nrtCTA} : 비실시간 트래픽을 전송하는 링크의 수

표준 방식에서는 단순히 비실시간 트래픽을 위한 CTAP 구간을 비실시간 트래픽을 전송하는 링크 수로 나누어서 모든 DEV에게 균등한 크기의 CTA를 할당한다. 하지만 DABL에서는 위의 식 (6)에서 구한 CTA에 아래와 같이 각 링크 상태를 고려하여 각기 다른 크기의 CTA를 할당한다.

$$Rate_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{rtCTA}} Rate_i}{N_{nrtCTA}} \quad (7)$$

$$nextCTA_i = \frac{Rate_i}{Rate_{avg}} \times CTA_i \quad (8)$$

평균 데이터 전송률에 대한 각 CTA의 평균 전송 속도 비를 계산하여 상대적으로 전송 속도가 높은 링크에 더 많은 CTA를 할당함으로써 전체 네트워크의 처리율을 높인다. 이렇게 구해진 각 링크에 제공되는 CTA의 크기와 트래픽 전송 시점 등의 정보는 슈퍼프레임의 Beacon 프레임에 포함되어 모든 DEV들에게 전달된다. 이 정보를 받은 DEV는 CTAP 구간에서 새로운 CTA 시작타이밍에 맞춰 트래픽을 전송한다.

제안하는 기법에서는 전송 속도가 높은 링크를 갖는 DEV에게 더 많은 자원을 할당해 주게 되면, 상대적으로 링크 상태가 좋지 못한 DEV들은 자원을 적게 할당 받게 되므로 자원을 공유하는데 있어서 형평성에 문제가 생길 수 있다. 그러나 링크 상태가 가변적이므로, 특정 DEV가 자원을 할당 받는데 있어서 항상 낮은 전송률로 적은 수의 채널 타임을 할당 받지는 않는다. 링크 상태가 지속적으로 변화하는 다수의 슈퍼프레임에 걸쳐 데이터 전송을 하는 동안, 각 DEV는 비교적 다양한 링크 상태를 갖게 될 것이다. 따라서 매 슈퍼프레임마다 전송률의 변화는 크더라도, 결과적으로 모든 DEV는 유사한 전송률을 지원 받는다. 또한 링크 상의 데이터 전송 속도가 빠르면 같은 채널 타임 동안에 더 많은 프레임을 전송할 수 있으므로 여기에 채널 타임 또한 더 많이 할당하게 되면, 빠른 전송률로 상대적으로 긴 채널 타임 동안 많은 양의 프레임을 전송하게 되므로 비실시간 트래픽의 전송을 짧은 시간 내에 마칠 수 있게 된다.

Ⅳ. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 DABL 기법의 성능을 평가하기 위해 실시간 트래픽에 대한 평균 지연시간 및 평균 전송률 비실시간 트래픽에 대한 평균 전송률을 시뮬레이션 하고, 그 결과를 기존의 채널 타임을 요청하는 모든 단말에게 채널 타임을 균등하게 할당하

표 1.시뮬레이션 파라미터.

Item	Value
Beacon Length	0.1 msec
CAP Length	1 msec
CTAP Length	60 msec
SIFS	0.01 msec
Guard Band	0.003 msec
Frame size	1024 Bytes
Acknowledge size	2 Bytes

www.dbpia.co.kr

는 경우와 비교하였다. 시뮬레이션을 간단히 하기 위해 슈퍼프레임의 각 구간을 적절한 값으로 고정시키고, 그 외에 사용된 파라미터는 IEEE 802.15.3 표준을 참조하여 선택하였다.

성능 평가를 위한 피코넷은 중앙의 PNC와 최대 100개의 DEV들로 구성되어 있으며, 모든 DEV들은 PNC가 보내는 제어 메시지와 스케쥴링 정보를 들을 수 있고 모든 DEV 간에는 직접적으로 통신이 가능하다. PNC 스케쥴러는 CAP 구간을 통해 수신한 각 DEV의 자원 요청 메시지에 따라 DEV를 실시간 트래픽을 전송하는 DEV와 비실시간 트래픽을 전송하는 DEV로 분류할 수 있다. 따라서 하나의 DEV는 실시간과 비실시간 트래픽을 모두 전송할 수 있으나, 임의의 한 순간에 대해서는 실시간 또는 비실시간 트래픽을 전송하는 DEV로 분류된다. 또한 모든 DEV들은 채널 타임을 할당 받는데 있어서 링크 상태를 제외하고 다른 요소는 동일하다고 가정한다. 여기에서 링크 상태는 HR-WPAN과 같은 소규모 네트워크에 대한 정확한 SNR 특정 모델이 응용분야에 따라 다를 것이라고 예상되어, 임의로 변한다고 가정한다. 마지막으로 DEV들은 모두 고정된 것으로 본다.

비실시간 트래픽의 경우, 각 링크는 모두 10 Mbytes 크기의 트래픽을 가지고 있고 실시간 트래픽의 경우, 모두 동일한 프레임 생성률의 CBR(Constant Bit Rate) 스트림으로 서비스한다고 가정한다.

PNC 스케쥴러는 최초 각 링크에 할당되는 채널 타임을 다음 식 (9), (10)와 같이 계산한다.

실시간 트래픽의 경우 :

$$L_{rtCTA} = L_{CTAq} \times requested N_{CTRq} \quad (9)$$

비실시간 트래픽의 경우 :

$$L_{nrtCTA} = \frac{L_{CTAP}}{N_{DEV}} \quad (10)$$

여기서 L_{rtCTA}와 L_{nrtCTA}는 각각 최초에 실시간과 비실시간 트래픽을 위해 할당되는 CTA의 크기를 의미한다. L_{CTRq}는 한 프레임의 전송하기 위한 시간으로 ACK와 SIFS를 모두 포함하는 길이이며, $requested N_{CTRq}$는 DEV가 요청한 한 슈퍼프레임 당 보장되어야 하는 $CTRq$의 적정수를 나타낸다. 또한 L_{CTAP}는 한 슈퍼프레임의 CTAP 길이에서 L_{rtCTA}를 제외한 길이를 의미하며, N_{DEV}는 비실시간 트래픽을 전송하고자 하는 DEV의 개수를 나타낸다.

피코넷 내의 각 DEV들은 균일하게 분포되어 있고, 모든 DEV의 물리계층에서는 다중 변조 방식으로 QPSK, DQPSK, 16/32/64-QAM을 지원한다. 각 링크 상태는 SNR 값을 랜덤하게 변경함으로써 표현하며, 변조 기법은 현재 링크의 SNR 수준이 IEEE 802.15.3에서 허용하는 FER을 만족시킬 수 있는가를 기준으로 선택한다. 앞에서 언급한 바와 같이 FER은 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

IEEE 802.15.3의 표준에 따르면 이 시뮬레이션에서 사용하는 1024 바이트의 프레임인 경우, HR-WPAN에서 요구하는 타켓 FER는 8%이다[11]. 그러므로 최소한 8%이하의 FER 값을 갖는 BER 값을 갖도록 전송 속도를 선택해야 한다. 각 변조 기법에는 SNR에 대한 BER 값은 기존에 채널 상태를 측정하기 위해 기존에 연구된 자료들을 바탕으로 계산하였다.

그림 4와 5는 각각 송신과 수신 단말의 동작 프로세스를 나타낸다.

단말 프로세스에서 프레임의 송신 또는 수신 과정에서 에러가 발생하면 재전송 또는 NACK 메시지를 전송하지만 그림 4에서는 이와 같은 재전송의 경우를 생략하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

그림 6와 7은 앞에서 정의한 IEEE 802.15.3 HR-WPAN 시스템을 바탕으로 실시간 트래픽에 대한 시뮬레이션 한 결과를 나타내는 그래프이다. 실시간 트래픽의 경우, 프레임의 생성률이 증가함에 따라 트래픽의 평균 지연시간과 평균 전송률을 측정한다.

그림 6에서 볼 때, 표준 기법과 DABL 기법 모두 한정된 자원을 할당 받아서 사용하기 때문에, 프

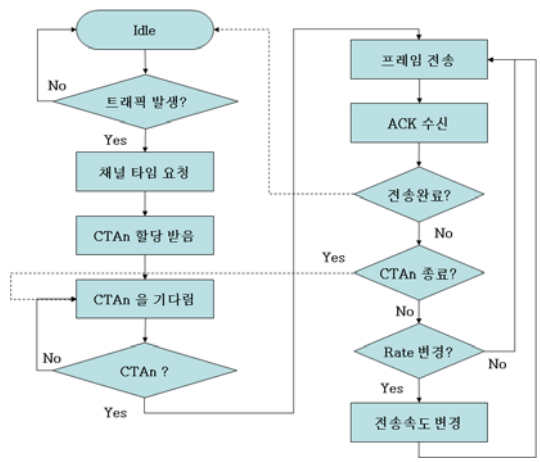

그림 4. 송신 단말의 동작 프로세스

www.dbpia.co.kr

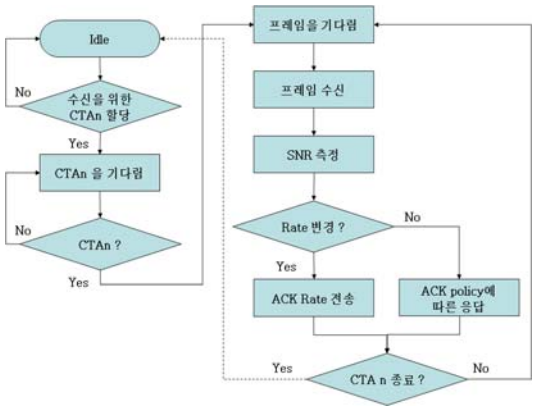

그림 5. 수신 단말의 동작 프로세스

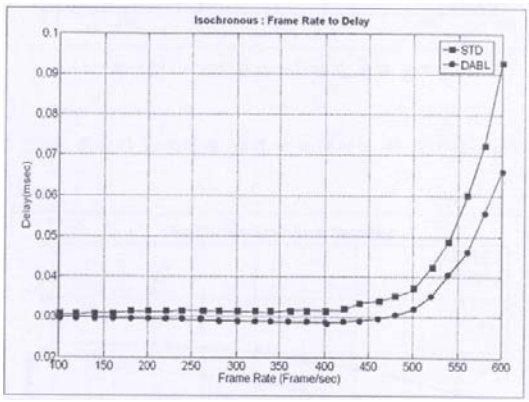

그림 6. 실시간 트래픽의 평균 지연시간

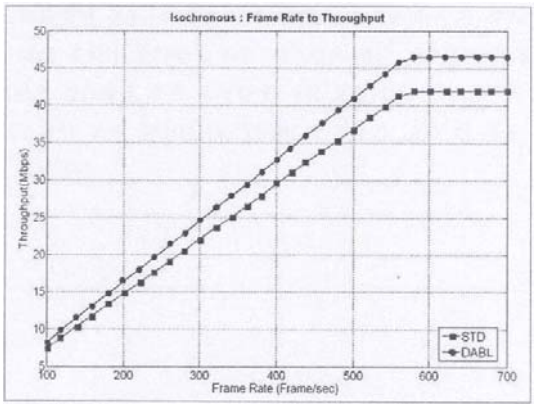

그림 7. 실시간 트래픽의 평균 전송률

레임 생성률이 증가함에 따라 평균 지연시간이 증가하는 것은 당연하다. 그러나 시뮬레이션 결과, IEEE 802.15.3 HR-WPAN 시스템은 프레임 생성률이 일정량 증가해도 지연시간이 크게 늘어나지 않는다. 이 경우에는 생성되는 프레임을 위한 자원을 슈퍼프레임에서 충분히 제공하는 것이 가능하기 때문이다. 그러나 프레임 생성률이 어느 한계 이상으로 늘어나게 되면 슈퍼프레임 내의 채널 타임 동안에 모든 생성된 프레임을 전송 할 수 없으므로 프레임 생성률이 증가함에 따라 지연시간이 급격히 늘어나게 된다. 이 때, 제안하는 DABL은 기존의 표준에서 제안하는 방식에 비해 평균 지연시간의 증가속도 면에서 더 좋은 성능을 갖는다. 따라서 IEEE 802.15.3 HR-WPAN의 특성 상 특정 시간에 트래픽이 집중 될 수 있는데 이러한 경우, 링크 상태를 고려해서 동적으로 채널 타임을 할당해 주는 DABL 기법이 보다 안정적으로 시스템을 운용할 수 있다.

그림 7에서는 실시간 트래픽에 대한 프레임 생성률이 증가함에 따라 시스템 내에서의 트래픽의 평균 전송률을 보여준다. 실시간 트래픽의 경우, QoS를 보장하기 위해 일정한 양의 트래픽을 전송하기 위해 링크 상태에 맞추어 적절량의 CTA 크기 만을 할당해주기 때문에, 시스템 상의 트래픽이 증가함에 따라 평균 전송률이 계속 늘어나게 된다. 그러다가 프레임 생성률 일정한 값 이상에 도달하게 되면, 시스템이 안정적으로 운용되어 일정한 평균 트래픽 전송률을 갖게 된다. 이 때, 전송 초기에 두 DEV 간에 정해진 다중 변조 방식을 트래픽 전송이 끝날 때까지 사용하는 기존의 표준 방식에 비해, 제안하는 DABL 기법은 트래픽 전송 도중 링크 상태가 변하게 되면, 즉시 링크 상태를 반영하여 알맞은 크기의 CTA를 할당해 줌으로써 트래픽의 양이 많을 때 다수의 DEV들이 효율적으로 채널 타임을 공유하게 된다. 따라서 제안하는 기법이 평균 전송량 측면에서 약 5 Mbps 정도의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 8은 시스템 내에 비실시간 트래픽이 증가함에 따라, 비실시간 트래픽의 평균 전송률을 나타낸다. 비실시간 트래픽의 경우, 하나의 피코넷 내에 형성되는 링크들의 수를 증가시켜 네트워크 내의 트래픽 부하가 증가함에 따른 시스템의 평균 전송률을 측정하였다. 실제로 하나의 슈퍼프레임 동안에 실시간과 비실시간 트래픽이 모두 전송되는데, 본 시뮬레이션에서는 실시간 트래픽을 CBR로 가정하였으며, 실시간 트래픽 전송을 우선적으로 보장하고 나머지 CTAP 구간을 비실시간 트래픽이 링크 상태에 따라 채널 타임을 할당받는다. 따라서 비실시간 트래픽 증가에 따른 처리율을 평가하기 위해, 실시

www.dbpia.co.kr

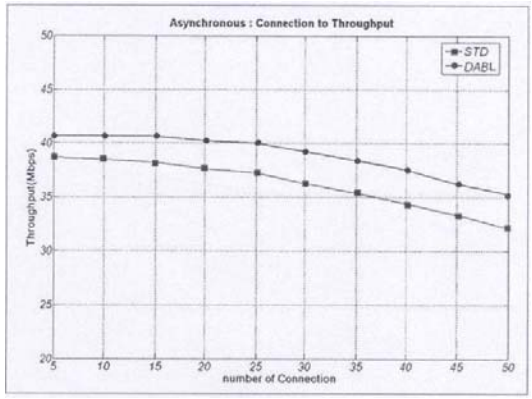

그림 8. 비실시간 트래픽의 평균 전송률

간 트래픽을 위해 할당된 CTAP 구간의 길이는 일정하다고 가정한다. 시뮬레이션 결과, 트래픽이 증가함에 따라 표준기법과 DABL 기법 모두 평균 전송률이 조금 감소한다. 한정된 자원을 다수의 링크가 공유하므로 같은 양의 트래픽을 보내기 위해 더 오랜 시간이 소요되기 때문이다. 그러나 DABL 기법이 링크 상태가 좋은 DEV에게 상대적으로 많은 채널 타임을 할당하기 때문에, 표준기법에 비해 링크 수에 관계없이 같은 시간동안에 더 많은 양의 트래픽을 전송할 수 있다.

제안하는 기법은 링크 상태가 좋은 DEV에게 더 많은 채널 타임을 할당하므로, 특정 프레임에서 각 DEV의 처리율은 기존의 표준에서의 기법에 비해 편차가 크게 발생한다. 그러나 링크 상태가 지속적으로 변화하는 환경에서 비실시간 트래픽이 다수의 슈퍼프레임을 거쳐 전송이 되므로, 데이터 전송을 마친 후, 각 DEV의 평균 전송률은 비슷하게 나타남을 확인 할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.3 HR-WPAN에서 트래픽의 평균 전송률을 향상시키고 지연시간을 감소시키기 위해, 링크 상태에 따라 물리 계층에서 다양한 다중 변조 방식을 적용시키며 MAC 계층에서 채널 타임을 동적으로 할당하는 DABL 알고리즘을 제안하였다.

DABL 기법에서 채널 타임을 요청하는 DEV는 수신 DEV로 부터의 Imm-ACK 메시지를 통해 두 DEV 간의 현재 링크 상태를 측정하고, FER에 따라 물리계층에서 다중 변조 기법을 적용할 수 있다. 또한 PNC는 이러한 Imm-ACK 메시지들을 통해 전체 네트워크 내의 모든 링크 상태를 파악함으로써, 매 슈퍼프레임 마다 통신을 하는 모든 DEV들의 채널 타임을 동적으로 할당 할 수 있다. 이 때, PNC가 할당한 CTA에서 서비스하는 트래픽은 크게 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽으로 나눌 수 있다. 지연시간에 민감한 실시간 트래픽의 경우, QoS를 만족시키기 위해 매 슈퍼프레임마다 최소한의 CTA 크기를 보장한다. 반면에 비실시간 트래픽은 시스템 전체의 성능을 향상시키기 위해, FER이 낮아서 높은 변조율을 갖는 링크 상태가 좋은 DEV에게 상대적으로 더 많은 채널 타임을 갖도록 CTA를 할당한다. 시뮬레이션 결과, 제안하는 DABL 기법이 기존의 기법에 비해, 트래픽의 평균 전송률이 향상되었으며, 트래픽양이 갑자기 늘어나도 시스템을 보다 안정적으로 운용 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] IEEE 802.15 TG3, "IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 1: MAC Sublayer," pp. 1-146, May 2006.

[2] J. Karaoguz, "High-rate wireless personal area network," IEEE Communications Magazine, Vol. 39, Issue 12, pp. 96-102, Dec. 2001.

[3] H. Shinde and M. Borse, "High-rate wireless personal area network[multimedia capable]," IEEE ICPWC 2005, pp. 19-23, Jan. 2005.

[4] Ranran Zen and, Geng-Sheng Kuo, "A novel scheduling scheme and MAC enhancements for IEEE 802.15.3 high-rate WPAN," IEEE WCNC 2005, Vol. 4, pp. 2478-2483, Mar. 2005.

[5] Yi-Hsien Tseng, Eric Hsiao-kuang Wu and Gen-Huey Chen, "Maximum traffic scheduling and capacity analysis for IEEE 802.15.3 high data rate MAC protocol," IEEE VTC 2003-Fall, Vol. 3, pp. 1678-1682, Oct. 2003.

[6] Seung Hyoung Rhee, Kwansue Chung, Yougsuk Kim, Wonyong Yoon and Ki Soo Chang, "An

www.dbpia.co.kr

application-aware MAC scheme for IEEE 802.15.3 high-rate WPAN," IEEE WCNC 2004, Vol. 2, pp. 1018-1023, Mar. 2004.

[7] Gavin Holland, Nitin Vaidy and Paramvir Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," ACM Proc. of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 236-250, July 2001.

[8] K. Balachandran, S. R. Kadaba and S. Nanda, "Channel quality estimation and rate adaptation for cellular mobile radio," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, Issue 7, pp. 1244-1256, Jul. 1999.

[9] Rroakis, John G, Digital Communications, 4th Ed. McGraw Hill, 2001.

[10] Xiong, Fuqin, "Digital modulation techniques," Artech House, 2000.

[11] Byung-Seo Kim, Yuguang Fang and Tan F. Wong, "Rate-Adaptive MAC Protocol in High-Rate Personal Area Networks," IEEE WCNC 2004, pp. 1394-1399, Mar. 2004.

강 재 은 (Jae-Eun Kang) 정회원

2001년 2월 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 졸업
2003년 2월 포항공과대학교 전자전기공학부 석사
2004년 3월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정
<관심분야> 차세대 이동통신, 광대역 무선 통신망

변 성 원 (Sung-won Byun) 정회원

2004년 2월 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 졸업
2006년 2월 한양대학교 컴퓨터공학과 석사
2006년 8월~현재 LG전자 HE사업부 LCD TV 연구소
<관심분야> 차세대 이동통신, 광대역 무선 통신망

이 정 규 (Jong-Kyu Lee) 종신회원

1979년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업
1986년 5월 미국 UCLA 전자공학과 석사
1989년 2월 미국 UCLA 전자공학과 공학박사
1990년 2월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 교수
1979년 3월~1984년 8월 국방과학 연구소 연구원
1989년 3월~1990년 2월 삼성전자 정보통신 연구소 수석 연구원
<관심분야> 차세대 이동통신, 광대역 무선 통신망

www.dbpia.co.kr