

---

# 차세대 무선망에서 패킷 데이터 서비스를 위한 MAC 프로토콜 연구

임인택\*

## A Study on MAC Protocol for Packet Data Services in Next-Generation Wireless Networks

In-Taek Lim\*

---

이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-041-D00502)

---

### 요 약

본 논문에서는 패킷 CDMA 망에서 데이터 서비스를 위한 CSSMA/AI MAC 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 임의 접속에 의한 패킷 충돌을 줄이기 위하여 코드 상태 감지 및 예약 기법을 사용한다. 이를 위하여 단말기가 코드 예약을 위한 프리앰블을 전송하기 전에 기지국에서는 매 프레임마다 예약된 코드의 상태를 방송하고, 단말기는 이를 기반으로 임의의 예약되지 않은 코드를 선택하여 프리앰블을 전송한다. 프리앰블을 전송한 단말기는 선택한 코드의 하향링크를 통하여 기지국으로부터 응답을 기다린다. 기지국으로부터 코드 예약에 대한 응답을 수신한 단말기는 남은 프레임 동안 패킷을 전송한다. 한편 전송할 패킷이 단말기 버퍼에 남아있는 경우, 기지국에서는 코드의 상태를 예약상태로 방송하고, 단말기에서는 다음 프레임에서 예약한 코드를 통하여 남은 패킷을 전송한다.

### ABSTRACT

In this paper, a CSSMA/AI MAC protocol for data services in packet CDMA network is presented. The main features of this protocol are the code status sensing and code reservation for reducing the packet collision. The base station broadcasts the code status on a frame-by-frame basis just before the beginning of each preamble transmission, and the mobile station transmits a preamble for reserving a randomly selected code based on the received code status. After having transmitted the preamble, the mobile station listens to the downlink of the selected code and waits for the base station reply. If this reply indicates that the code has been correctly acquired, it continues the packet transmission for the rest of the frame. If there are other packets waiting for transmission, the base station broadcasts the status of the code as reserved, and the mobile station transmits a packet on a reserved code for the successive frames.

### 키워드

MAC 프로토콜, 슬롯 CDMA, 확산코드 프로토콜

### 1. 서 론

IMT-2000 등과 같은 차세대 무선 통신망은 기존  
의 이동통신 시스템에서 지원하는 음성 서비스뿐

만 아니라, 향후 더욱 확대될 인터넷 등과 같은 패킷 데이터 서비스를 지원하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서, 종래 이동통신 방식에서 음성 신호를 연결하기 위한 액세스 방법만으로는 효율적인 데이터 서비스를 지원하기 곤란하기 때문에 효율적인 패킷 데이터 서비스를 위한 MAC 프로토콜의 설계가 필수적이다.

패킷 CDMA 망에서는 단말기들이 패킷을 전송할 때 사용할 확산코드를 선택하는 규칙인 확산코드 프로토콜이 중요하며 이에 대한 많은 연구가 있어왔다[1][2][3]. CDMA 기반 시스템의 확산코드 프로토콜은 크게 공통코드 방식과 전용코드 방식으로 구분된다. 공통코드 방식인 경우, 패킷을 전송하고자 하는 단말기는 시스템 내의 여러 단말기들이 공유하는 코드 중에서 하나를 선택하여 패킷을 전송한다. 따라서 둘 이상의 단말기들이 동일한 코드를 선택하여 동일한 슬롯에 패킷을 전송하면 패킷 충돌로 인하여 전송에 실패한다[4][5]. 반면, 전용코드 방식인 경우, 단말기들은 자신에게 할당된 고유의 코드를 이용하여 패킷을 전송한다[6][9].

한편 3GPP UTRA에서는 데이터 서비스를 위하여 공통코드 방식의 S-ALOHA CDMA 프로토콜을 MAC 프로토콜로 제안하였다[7]. S-ALOHA CDMA 프로토콜인 경우, 전송할 패킷이 있는 단말기는 매 패킷을 전송할 때마다 공유하는 코드 중에서 임의의 하나를 선택하여 슬롯의 시작점에서 다른 단말기와 경쟁하여 패킷을 전송한다. 따라서 메시지가 비교적 짧은 경우, 즉 하나의 메시지가 단일 패킷으로 구성되는 경우에는 알고리즘이 단순하여 비교적 효율적이다. 반면, 하나의 메시지가 여러 개의 패킷으로 구성되는 트래픽인 경우에는 매 패킷마다 다른 단말기와 경쟁하여 전송해야하므로 높은 패킷 충돌확률로 인하여 성능이 저하되는 단점이 있다.

본 논문에서는 공통코드 방식의 패킷 CDMA 망에서 전송하고자 하는 메시지가 여러 패킷으로 구성되는 트래픽을 효율적으로 지원하기 위한 MAC 프로토콜인 CSSMA/AI(Code Status Sensing Multiple Access with Acquisition Indication) 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 제안한 프로토콜에서는 매 패킷을 전송할 때마다 발생하는 패킷 충돌확률을 줄이기 위하여 코드 상태 감지 및 예약 기법을 사용한다. 이를 위하여 기지국에서는 매 프레임마다 예약된 코드의 상태를 방송하고, 단말기에서는 수신한 코드의 상태를 기반

으로 코드 예약을 위한 프리앰블을 전송한다. 한편 프리앰블을 성공적으로 수신한 경우, 기지국에서는 이에 대한 응답을 해당 단말기로 방송한다. 코드 예약에 성공한 단말기는 버퍼에 있는 모든 패킷을 전송 완료할 때까지 예약한 코드를 통하여 매 프레임마다 남은 패킷을 전송한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 프로토콜이 적용되는 프레임 구조와 프로토콜의 동작을 기술한다. III장에서는 제안한 프로토콜에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

## II. CSSMA/AI 프로토콜

### 1. 프레임 구조

본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용되는 시스템은 하나의 기지국과 단말기들로 구성된 중앙 집중형 패킷 CDMA 망으로 가정한다. 하나의 셀 내에는 N개의 단말기가 있고, 모든 단말기들과 기지국간의 동기는 항상 유지되는 것으로 가정한다. 또한 셀 내의 모든 단말기들은 K개의 공유하는 확산코드를 이용하여 기지국으로 패킷을 전송한다.

본 논문에서 제안하는 CSSMA/AI 프로토콜을 위한 상·하향 링크의 각 코드 채널에 대한 프레임 구조와 코드의 상태를 방송하기 위한 방송용 채널의 프레임 구조는 그림 1과 같다. 그림에서 나타낸 바와 같이 하나의 프레임은  $N_s$ 개의 타임 슬롯으로 구성되며, 프레임 길이는  $T_f$  ms이다. 상향링크 코드  $C_i$ 의 두 번째 슬롯(P)은 전송하고자 하는 메시지를 갖고 있는 단말기들이 하향 방송용 채널의 코드 상태 정보를 기반으로 임의로 선택한 예약되지 않은 코드  $C_i$ 를 예약하기 위하여 프리앰블을 전송하는데 사용된다. 따라서 둘 이상의 단말기들이 동일한 코드를 선택하여 프리앰블을 전송하면 프리앰블 충돌로 인하여 코드 예약에 실패하게 된다. 하향링크 코드  $C_i$ 의 두 번째 슬롯(R)은 현재 프레임에서 코드  $C_i$ 를 성공적으로 예약한 단말기에게 AI(Acquisition Indication) 응답을 전송하는데 사용되고, 첫 번째 슬롯(A)은 코드  $C_i$ 를 예약한 단말기가 이전 프레임에서 전송한 패킷의 응답을 전송하는데 사용된다. 한편 방송용 채널의 첫 번째 슬롯(S)은 기지국에서 매 프레임마다 코드의 상태를 방송하는데 사용된다.

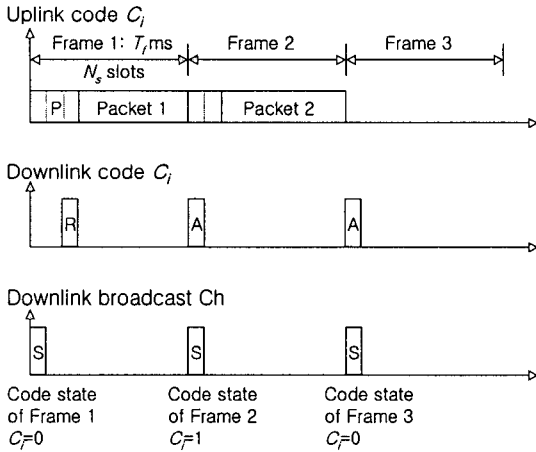


그림 1. 프레임 구조  
Fig.1. Frame structure.

2. 프로토콜 동작

본 논문에서 제안하는 CSSMA/AI 프로토콜을 위한 단말기의 동작 모델은 그림 2와 같다. 전송할 패킷이 없는 단말기는 휴지 상태(IDLE)에 있게 된다. 휴지 상태에 있는 단말기에서 새로운 메시지가 발생하면 경쟁 상태(CON)로 천이하고, 다음 프레임에서 코드 예약을 시도한다. 새로 발생된 메시지는 L 비트의 고정 길이를 갖는 여러 개의 패킷으로 분할되어 단말기의 버퍼에 저장된다.

경쟁 상태로 천이한 단말기는 현재 프레임에서 예약되지 않은 임의의 코드를 선택하여 두 번째 슬롯을 통하여 코드를 예약하기 위한 프리앰블을 전송한다. 한편 현재 프레임에서 예약되지 않은 코드에 대한 정보는 그림 1에 나타난 바와 같이 하향 링크 방송용 채널의 첫 번째 슬롯을 통하여 기지국에서 방송한다. 둘 이상의 단말기들이 동일한 코드를 선택하여 프리앰블을 전송하면 프리앰블의 충돌이 발생한다. 프리앰블을 성공적으로 전송하여 기지국으로부터 AI 응답을 수신한 단말기는 전송 상태(TX)로 천이하여 현재 프레임의 나머지 기간 동안 예약한 코드를 통하여 첫 번째 패킷을 전송한다. 프리앰블의 충돌 또는 다원접속간섭에 의한 오류로 인하여 코드 예약에 실패한 단말기는 재시도 상태(BACKLOG)로 천이하여, 다음 프레임에서 P<sub>b</sub>의 확률로 코드 예약을 위한 프리앰블 전송을 다시 시도한다.

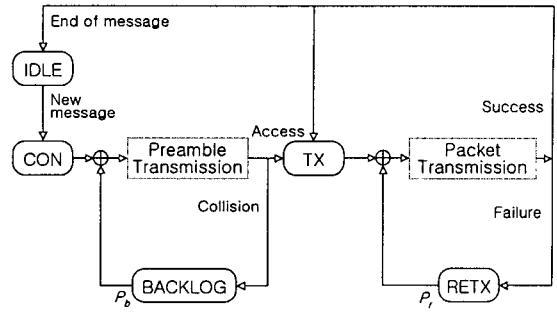


그림 2. 프로토콜 동작  
Fig.2. Protocol operation.

전송한 패킷에 대한 응답을 수신한 단말기의 버퍼에 남은 패킷이 있으면 전송 상태를 유지하고, 남은 패킷이 없으면 휴지 상태로 천이한다. 전송한 패킷이 다원접속간섭으로 인하여 전송에 실패하면 해당 단말기는 예약한 코드를 유지하면서 재전송 상태(RETX)로 천이한다. 재전송 상태에 있는 단말기는 예약한 코드를 통하여 다음 프레임에서 P<sub>r</sub>의 확률로 패킷을 전송한다. 한편 전송한 패킷이 메시지의 마지막 패킷인 경우, 단말기에서는 이를 패킷에 피기백하여 기지국에 알린다. 마지막 패킷을 성공적으로 수신한 기지국에서는 다음 프레임에서 해당 코드 채널의 첫 번째 슬롯을 통하여 응답을 전송함과 동시에 방송용 채널의 첫 번째 슬롯을 통하여 해당 코드가 예약되지 않음을 방송한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 논문에서 제안한 프로토콜은 전송 상태 또는 재전송 상태의 단말기는 예약한 코드를 통하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌은 전혀 발생하지 않는다. 한편 공통코드 방식을 사용하더라도 동일한 코드를 선택하여 전송함으로써 발생하는 충돌은 코드를 예약하기 위한 프리앰블 전송 시에만 발생한다.

III. 성능 평가

본 논문에서는 제안한 CSSMA/AI 프로토콜의 처리율 및 지연 성능을 PRACH을 통하여 비교적 짧은 패킷을 전송하기 위하여 3GPP UTRA에서 정의한 S-ALOHA CDMA 프로토콜과 각각 비교하였다. 성능 분석은 SMPL C언어 라이브러리[8]를 이용한 시뮬레이션을 통하여 이루어졌으며, 시뮬레이션을 위한 매개변수들은 표 1과 같이 가정하

였다.

표 1. 시뮬레이션 매개변수  
Table 1. Simulation parameters.

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| Number of mobile stations ( $N$ ) | 200        |
| Packet length ( $L$ )             | 320 bits   |
| Mean message length ( $L_p$ )     | 10 packets |
| Number of codes ( $K$ )           | 70         |
| Spreading factor ( $S_f$ )        | 128        |
| Frame length ( $T_f$ )            | 10ms       |
| Number of slots ( $N_s$ )         | 8          |

시스템에 있는 단말기 수는 200개로 가정하였고, 휴지 상태에 있는 단말기들은 평균 메시지 발생률이  $\lambda$ 인 포아송 분포로 메시지를 발생시키는 것으로 가정하였다. 하나의 메시지는 평균 10개의 패킷으로 구성되고, 하나의 패킷은 320비트로 가정하였다. 또한 시스템에는 70개의 코드가 있으며, DS/CDMA 채널의 처리이득은 128로 가정하였다.

UTRA의 S-ALOHA CDMA 프로토콜인 경우, 패킷 전송을 위한 접속은 하나의 프레임에 있는 8개의 슬롯 각각을 통하여 이루어진다. 따라서 여러 단말기들은 서로 다른 시간 오프셋으로 접속을 시도할 수 있으므로 동일한 코드를 공유해서 사용할 수 있다. 반면, 본 논문에서 제안한 CSSMA/AI 프로토콜인 경우, 모든 단말기들은 매 프레임의 두 번째 슬롯을 통해서만 접속을 시도하므로 하나의 코드는 여러 단말기들이 공유할 수 없다.

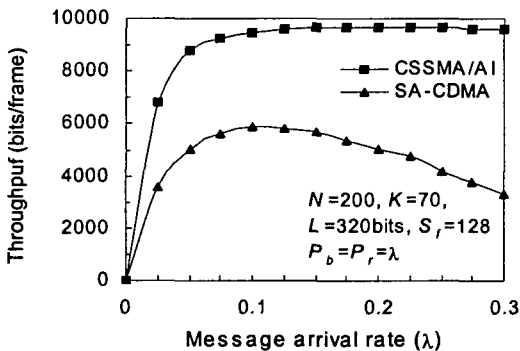


그림 3. 처리율 성능  
Fig.3. Throughput performance.

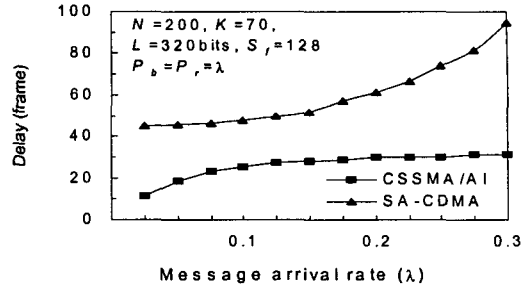


그림 4. 지연 성능  
Fig.4. Delay performance.

그림 3과 4는 CSSMA/AI 프로토콜의 처리율과 지연을 S-ALOHA CDMA 프로토콜과 비교한 것이다. S-ALOHA CDMA 프로토콜은 매 패킷마다 임의의 코드를 선택하여 다른 단말기들과 경쟁 방식으로 패킷 전송을 시도한다. 반면, CSSMA/AI 프로토콜인 경우, 코드를 예약하고자 하는 단말기는 기지국으로부터 수신한 코드의 상태 정보를 기반으로 예약되지 않은 코드를 통하여 프리앰블을 전송하므로 데이터 패킷과 충돌이 발생하지 않는다. 이로 인하여 프리앰블에서의 충돌확률이 줄어들며, 코드를 예약한 단말기들의 패킷 충돌은 전혀 발생하지 않는다. 따라서 그림에서 나타난 바와 같이 본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능이 S-ALOHA CDMA 프로토콜에 비하여 우수함을 알 수 있다. 특히 메시지 발생률이 증가할수록, 즉 시스템의 부하가 증가할수록 S-ALOHA CDMA 프로토콜인 경우 많은 패킷 충돌이 발생하여 성능이 급격히 저하되지만, CSSMA/AI 프로토콜은 비교적 안정적인 성능을 나타낸다.

그림 5는 휴지 상태 단말기의 메시지 발생률이 0.3일 때, 평균 메시지의 길이에 따른 처리율을 비교한 것이다.

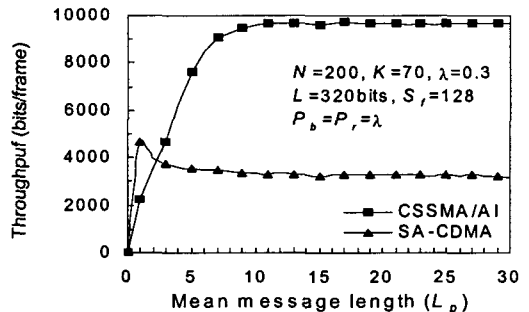


그림 5. 메시지 길이에 따른 처리율  
Fig.5. Throughput vs. message length.

그림에서 나타난 바와 같이 전송하고자 하는 하나의 메시지가 5개 이상의 패킷으로 구성된 경우, 본 논문에서 제안한 CSSMA/AI 프로토콜은 S-ALOHA CDMA 프로토콜에 비하여 약 2.8배의 처리율을 얻을 수 있다. 이는 메시지의 길이가 길면 길수록 S-ALOHA CDMA 프로토콜인 경우 매 패킷마다 임의의 코드를 선택하여 접속하므로 충돌 가능성이 높은 반면, CSSMA/AI 프로토콜은 프리앰블 전송에 성공한 단말기는 예약한 코드를 통하여 모든 패킷을 전송하기 때문이다. 하나의 패킷으로 구성된 메시지인 경우에는 S-ALOHA CDMA 프로토콜이 더 우수한 처리율을 나타낸다. 이는 S-ALOHA CDMA인 경우 한 프레임의 8개 슬롯 각각에서 K개의 코드를 공유할 수 있기 때문이다.

그림 6은 단말기의 메시지 발생률이 0.3일 때, 본 논문에서 제안한 CSSMA/AI 프로토콜과 S-ALOHA CDMA 프로토콜의 코드 수에 따른 처리율을 비교한 것이다. 공통코드 방식의 S-ALOHA CDMA 프로토콜인 경우, 매 패킷마다 임의의 코드를 선택하여 패킷을 전송하므로 그림에서 나타난 바와 같이 코드의 수가 증가함에 따라 충돌확률이 감소하기 때문에 처리율은 일정하게 증가한다.

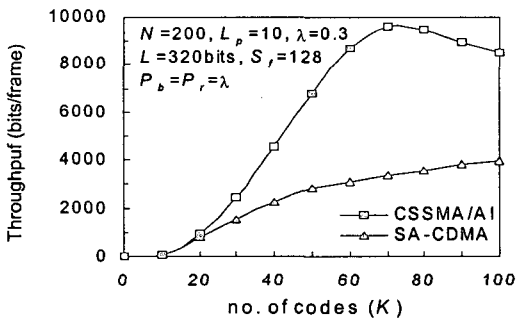


그림 6. 코드 수에 따른 처리율  
Fig.6. Throughput vs. number of codes.

한편 CSSMA/AI 프로토콜인 경우, 코드의 수가 많으면 코드를 예약한 단말기의 수가 증가하므로 많은 패킷들이 동시에 전송되게 된다. 코드를 예약한 단말기들은 예약한 코드를 통하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌은 발생하지 않지만, 높은 다원접속간섭으로 인하여 패킷 오류율이 높아진다. 그림에서 나타난 바와 같이 코드의 수가 70이상에서는 다원접속간섭에 의한 패킷 오류로 인하여 오히려 처리율이 감소함을 알 수 있다. 따라서 S-ALOHA CDMA 프로토콜의 처리율은 패킷 충돌확률에 많

은 영향을 받고, CSSMA/AI 프로토콜의 처리율은 코드의 수가 70이하에서는 코드 예약을 위한 프리앰블의 충돌확률에 많은 영향을 받고, 코드의 수가 70이상에서는 다원접속간섭에 많은 영향을 받음을 알 수 있다.

그림 7은 시스템 부하와 코드의 수가 CSSMA/AI 프로토콜의 처리율에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 코드의 수가 적은 경우(K=20), 부하가 증가함에 따라 높은 프리앰블 충돌확률로 인하여 처리율이 급격히 저하된다. 반면, 코드의 수가 많은 경우(K=200), 부하가 증가함에 따라 코드를 예약한 단말기 수가 증가하고 이에 따라 다원접속간섭의 수가 증가하여 패킷 오류가 많이 발생하므로 처리율은 급격히 저하된다. 따라서 CSSMA/AI 프로토콜인 경우, 프리앰블 충돌을 최소화할 수 있는 적절한 코드의 수를 선택하고, 코드를 예약한 단말기들이 패킷을 전송하는 단계에서 다원접속간섭을 최소화할 수 있는 패킷 전송확률을 제어하는 알고리즘이 필요할 것으로 예상된다.

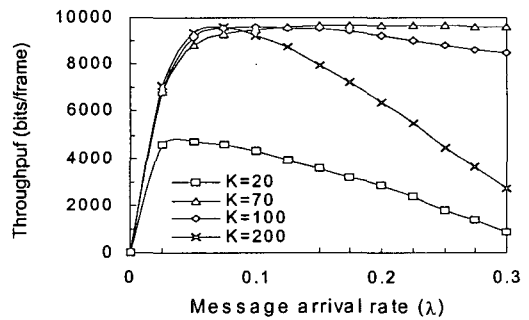


그림 7. 부하와 코드 수에 따른 처리율  
Fig.7. Throughput vs. loads and number of codes.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 패킷 CDMA 망에서 하나의 메시지가 여러 개의 패킷으로 구성되는 트래픽의 데이터 서비스를 효율적으로 지원하기 위한 CSSMA/AI MAC 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 프로토콜은 기존의 S-ALOHA CDMA 프로토콜과는 달리, 매 프레임마다 코드의 상태를 기지국이 방송하고, 이를 기반으로 단말기는 패킷을 전송하기 전에 임의의 코드를 예약하기 위하여 프리앰블을 전송한다. 프리앰블 전송에 대

한 응답을 수신한 단말기는 예약한 코드를 통하여 남은 패킷을 전송하고, 기지국에서는 단말기가 모든 패킷을 성공적으로 전송할 때까지 코드의 상태를 예약상태로 방송한다.

제안한 프로토콜에 대한 성능을 S-ALOHA CDMA 프로토콜의 성능과 비교하였다. 본 논문에서 제안한 프로토콜인 경우, 코드를 예약하고자 하는 단말기는 기지국으로부터 수신한 코드의 상태 정보를 기반으로 예약되지 않은 코드를 통하여 프리앰블을 전송하므로 데이터 패킷과 충돌이 발생하지 않는다. 이로 인하여 코드 예약을 위한 프리앰블의 충돌확률이 줄어든다. 또한 패킷 전송은 예약한 코드를 통해서만 이루어지므로 데이터 패킷의 충돌은 전혀 발생하지 않는다. 따라서 코드 상태 감지와 예약을 통한 패킷 전송으로 인하여 제안한 프로토콜의 처리율 및 지연 성능이 기존의 프로토콜에 비하여 우수함을 알 수 있었다. 특히 메시지의 길이가 5개 이상의 패킷으로 구성된 경우에는 기존의 방법에 비하여 약 2.8배의 처리율 성능을 얻을 수 있었다.

### 참고문헌

[1] E. Sousa, and J. A. Silvester, "Spreading code protocols for distributed spread-spectrum packet radio networks," IEEE Trans. on Commun., vol.36, no.3, pp.272-280, Mar. 1988.

[2] O. Sallent, and R. Agusti, "A proposal for an adaptive S-ALOHA access system for a mobile CDMA environment," IEEE Trans. on Veh. Tech., vol.47, no.3, pp.977-986, Aug. 1998.

[3] D. Raychaudhuri, "Performance analysis of random access packet switched code division multiple access systems," IEEE Trans. on Commun., vol.COM-29, no.6, pp.859-901, Jun. 1981.

[4] In-Taek Lim, "A Joint Packet Reservation and Status Sensing Multiple Access for Voice/Data Integrated CDMA Networks,"

IEICE Trans. on Commun., vol.E84-B, no.4, pp.975-983, Apr. 2001.

[5] S. Choi, and Kang G. Shin, "A unified architecture of wireless networks for real-time and non-real-time communication services," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol.8, no.1, pp.44-59, Feb. 2000.

[6] In-Taek Lim, "Centralized Transmission Probability Control Scheme for Fair Packet Data Services in CDMA S-ALOHA System," IEE Elec. Letters, vol.39, no.16, pp.1207-1209, Aug.2003.

[7] 3GPP TS 25.321, V5.4.0, "MAC Protocol Specification," March 2003.

[8] M. H. MacDougall, Simulating Computer Systems Techniques and Tools, MIT Press, 1987.

[9] 임인택, "슬롯 CDMA 환경에서 패킷 데이터 서비스를 위한 MAC 프로토콜," 한국해양정보통신학회 논문지, 제7권, 제7호, pp.1399-1405, 2003.12.

### 저자소개

#### 임인택(In-Taek Lim)



1984년 2월 울산대학교 전자계산학과(공학사)  
 1986년 2월 서울대학교 계산통계학과(이학석사)  
 1998년 2월 울산대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1986년 1월~1993년 2월 : 삼성전자(주) 특수연구소 선임연구원

1993년 3월~1998년 2월 : 동부산대학 전자계산과 조교수

1998년 3월~현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 부교수

※관심분야 : 무선 ATM망, 이동통신, MAC 프로토콜