

主 題

국제표준에 제안된 OCQPSK 및 AiSMA 기술

ETRI 무선방송기술연구소 동기시스템연구부 한 기 철

차 례

I. OCQPSK

II. AiSMA(Acquisition indication Sensing Multiple Access)

제3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000(International Mobile Telecommunications 2000)은 언제 어디서나 누구에게나 통화를 가능케 하는 꿈의 통신 시스템이며 이 시스템의 전 세계 단일 표준안 개발이라는 원대한 비전을 성사시키기 위한 노력이 국제 통신연합의 조직인 ITU-R TG8/1에서 약 15년 전부터 전세계 통신 전문가들과 표준 전략가들에 의해 진행되고 있다. 1999년 3월 브라질에서 열린 제 16차 ITU-R TG8/1 회의에서는 IMT-2000 시스템의 주요 파라미터가 결정되어(IMT.RKEY) 이를 바탕으로 최종 무선 전송 규격서가 올해안에 만들어져 IMT-2000 시스템의 긴 여정이 마무리될 예정이다. 그러나 지역의 이익을 대변할 수 있는 지역 표준화 현상도 나타나게되어 북미를 중심으로한 동기 방식의 cdma2000 시스템과 유럽-일본을 중심으로 한 비동기 방식의 W-CDMA 시스템이라는 커다란 양대 축으로 나뉘어져 단일 표준이라는 비전에 대한 가능성이 희박해지고 있다. 그러나 자기 소속 기관과 조직의 이익을 최

기술 토론을 하여 주요 기술들의 각 지역 표준 반영 노력은 harmonization을 이루는 촉진제 역할을 하기도 하였다. 이러한 무선전송기술의 표준화 활동을 위하여 현재 동기식은 켈컴이 비동기식은 에릭슨과 노키아가 선두 업체들로서 전문가 회의에 각자의 기술들을 반영시키고 있고 이러한 관점에서 ETRI에서는 역방향 변조 확산 기술인 OCQPSK(Orthogonal Complex QPSK)와 역방향 패킷 전송방식 기술인 AiSMA(Acquisition indication Sensing Multiple Access)의 표준 반영을 위한 노력을하여 이 두 기술들이 필수 기술로 채택이 되었다. 이 기술들은 특히 IMT.RKEY의 주요 파라미터로도 채택되어 장래 발생될 IPR(지적 재산권) 협상에서도 유리한 고지를 점하게되는 의미를 갖는다. 본고는 이 두 기술들을 설명한다.

1. OCQPSK

1.1 OCQPSK 변조 방식의 필요성

OCQPSK는 IMT-2000의 역방향 확산과 변조 부분의 기술로 제안되었다. 현재 IMT-2000 시스템을 위하여 제안되고 있는 주요한 방식들은 (TTA Proposal 1, TTA Proposal 2, cdma 2000, W-CDMA 등, [1]~[5]) 미래의 다양한 서비스 요구조건을 맞추고 성능향상을 위하여 Coherent 변조 방식을 사용한다. 이 Coherent 변조 방식은 기본적으로 Pilot 신호를 필요로 하여 동시에 전송하는 코드의 수가 데이터 채널 포함하여 적어도 두 개 이상을 필요로 하게 된다. 이와 같이 다중 채널의 상황에서는 서비스의 형태에 따라 동위상과 직교 위상의 전력의 비율이 차이가 나게 되는데 이는 예를 들어 고속 데이터 전송 시에는 데이터와 파일럿 전력과의 차이가 매우 커서 동위상과 직교위상사이에 전력 불균형 현상이 일어나는 문제점을 야기할 수 있다.

이러한 전력 불균형 현상을 해결하는 방안으로 복소 확산 방법(Complex spreading scheme)이 제안되었다. 그러나 이 방법의 단점은 복소 확산을 함으로서 진폭 변화가 크다는 것이다. 진폭의 변화는 동시에 전송하는 채널이 증가할수록 더욱 커지며 이에 대한 측정도로 사용되는 피크 전력 대 평균 전력의 비(Peak power to Average power Ratio: PAR)의 증가를 야기시킨다. 이러한 PAR의 증가는 그만큼 고주파 성분이 많이 발생하여 대역외 방출을 증가 시키므로 전력 앰프의 back-off를 더 요구하는데 이는 전력 앰프의 효율성을 감소시키며 이는 단말기의 동작시간과 직접적인 연결관계를 갖는다. 그러므로 단말기에서 PAR를 감소시키는 방법은 필수적이라 할 수 있다.

1.2 종래의 기술

IS-95A의 역방향 변조 방법, IS95-B의 역방향 변조 방법, 그리고 IS-95C의 역방향 변조 방법의 일부분에서는 Noncoherent 방법을 사용하여

근본적으로 Pilot 신호를 필요로 하지 않는 단일 채널로서 동 위상과 직교 위상의 전력이 균형을 이루어 복소 확산 방법을 필요로 하지 않는다. 이 경우 OQPSK(Offset QPSK) 변조 방식을 사용하여 PAR을 약간 감소시키는 효과를 갖게 된다. 그러나 이러한 OQPSK 변조 방식이 다중 채널에 복소 확산을 사용하는 차세대 이동통신 시스템에서는 오히려 PAR을 약간 더 증가시킨다.

1.3 OCQPSK 개념

OCQPSK는 차세대 이동통신의 다중채널구조에서 전력 불균형 문제를 해결하는 동시에 PAR을 감소시키는 방법이다. 이를 구현하는 방법은 가능한 매 칩 사이에 위상 천이가 180도가 일어나지 않도록 한다. 만약 위상 천이가 180도가 일어나면 진폭의 변이가 커지게 되어 PAR에 문제가 발생한다. 그러나 이러한 모든 칩들에 위상 천이에 제한을 둘 경우 확산 시퀀스의 자기 상관 관계 특성에 문제가 생겨 한 칩 건너서 위상 천이에 제한을 두는 방법이 OCQPSK의 기본 아이디어이다. 이를 channelization code들과 Walsh 회전자를 사용하여 송신기와 수신기의 하드웨어 복잡도를 최소화 하였다.

OCQPSK의 주요 아이디어는 어떤 구간의 위상 천이를 제한하여 위상천이를 $\pm \pi/2$ 로 만드는 것이다. 이런 직교 회전은 1) 두개의 연속된 성상이 같은 위치에 위치하도록 짝수의 Walsh 코드를 사용하여 채널구분을 하고 2) Walsh 회전자를 이용하여 확산함으로써 이루어진다. 그림 1.1은 두개의 채널에 대한 OCQPSK 구조를 나타내는데, 보통 2보다 작지 않은 데시메이션 팩터(decimation factor)를 고려하고, $W_0=(1 \ 1)$ 와 $W_1=(1 \ -1)$ 은 각각 Walsh 0 코드와 Walsh 1 코드를 나타낸다. 그림 1.1에서 네 개의 가능한 QPSK 위상 중에 하나를 입력신호가 갖는다고 하자. Walsh 회전자 W_0+jPW_1 는 입력된 위상을 $\pm \pi/4$ 로 회전시킨

다. 만약 다음 QPSK 위상이 현재 QPSK 위상과 같다면 회전자 $W_0 + jPW_1$ 는 $\mp \pi/4$ 로 회전시킨다. 따라서 프라이머리 확산 코드 $PN(1)$ 을 사용한다고 하더라도, 두 개의 연속된 칩들의 위상차는 $\pm \pi/2$ 이 된다. 한편, 회전자 $W_0 + jPW_1$ 에서 $P=1$ 이면서 프라이머리 PN 코드만 사용될 때는, 다른 사용자에 의한 간섭은 최악으로 QPSK 혹은 평균된 BPSK 확산보다 3dB 나빠질 수 있다. 이것은 음성이나 저속데이터 서비스에서는 위상 평균 현상이 일어나기 때문에 문제가 없으나, 고속데이터 서비스에서는 사용자가 얼마되지 않기 때문에 문제가 발생한다. 세컨다리 PN 확산 코드 $PN(2)$ 의 데시메이션된 형태인 P 는 이런 위상의존도에서 발생하는 MAI(multiple access interference)문제를 해결한다[6]. 사용자들의 상대적인 위상은 간섭의 분산에 기여하기 때문에, 그 분산은 BPSK 확산 방식에서는 변화한다. 일반적으로, 이런 위상의존 문제는 PN 복소 QPSK 확산 방식을 사용하면 누그러지는데, 이 때는 PAR에서 회생이 따른다. 그러나 앞에서 언급한대로, 만약 세컨다리 PN 칩속도를 프라이머리에 비해 한 예로 반으로 하면 즉, 데시메

이션 팩터를 2로 하면, 위상의존도 문제는 PAR을 작게 유지하면서 누그러질 수 있다. 2보다 큰 다른 데시메이션 팩터로 $2n$ ($n=2, 3, 4, \dots$)고려할 수 있다. 무한대의 데시메이션 팩터는 PAR을 어느 경우에 대해서는 보다 좋게 하지만, 이 때는 MAI 관점에서 보면 BPSK 확산 형태가 된다. 또 데시메이션 팩터 1은 기존의 PN 복소 QPSK와 유사한 형태를 갖는다.

1.4 시뮬레이션 결과

성능의 우수성을 보여주기 위해 여기서는 PSD (Power Spectral Density)를 고려하였다. 시뮬레이션을 위해 그림 1.1에서 DPCCH 채널의 0.625ms 동안 7 비트의 파일럿과 3 비트의 전력제어비트를 두었다. 음성 혹은 저속데이터 서비스를 나타내기 위해 DPCCH 채널 대 데이터 채널의 비를 0.31:1로 하였고, 데이터 채널의 SF(spread-factor)는 256으로 하였다. 펄스성형필터로는 roll-off factor 0.22를 갖는 Root Raised Cosine(RRC) 필터를 사용하였다. PN 복소

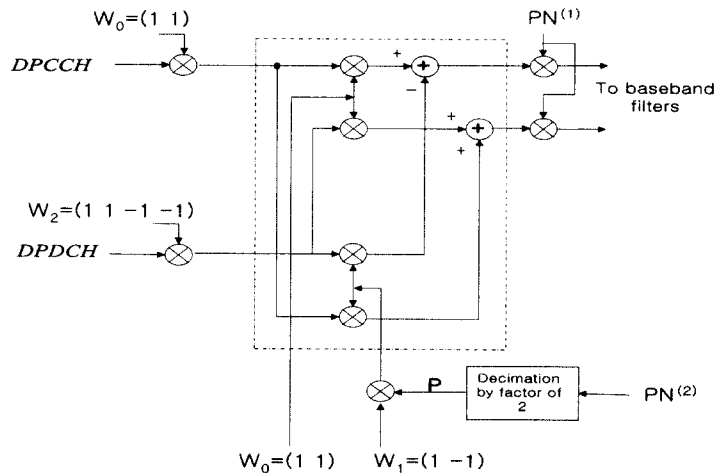


그림 1.1 두채널에 대한 OCQPSK 구조. $PN(1)$, $PN(2)$:

Pseudo Noise Sequence: P : decimated version of $PN(2)$

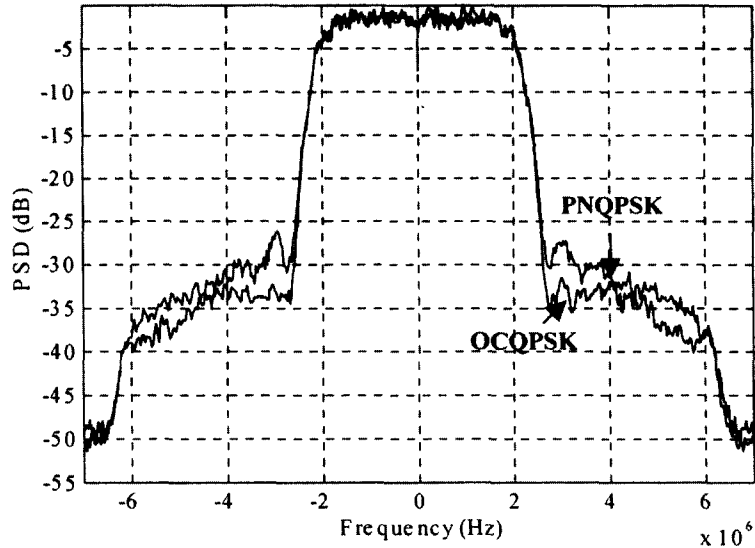


그림 1.2 Power Spectral Density 성능비교(with 3dB back-off)

QPSK에 대해서는 PN 복소 증산을 Walsh 회전자 $W_0 + jPW_1$ 대신 사용하였다. AB급으로 현재 상용 cellular 전화기에 사용되는 전력 증폭기를 사용하였다. 여기서 OCQPSK가 PN 복소QPSK보다 ACP 측면에서 약 1dB 우수하여 그만큼 단말기 전력 증폭기 설계에서 장점이 있는 것을 알 수 있다.

1.5 표준화 현황

- ✓ 유럽 UMTS(Universal Mobile Telecommunication System) 표준인 W-CDMA에 98년 7월 필수 기술로 채택됨.
- ✓ 미국 IMT-2000 표준인 cdma2000에 98년 8월 필수 기술로 채택됨.
- ✓ 미국 상용화 표준인 IS-95C에 98년 8월 필수 기술로 채택됨.
- ✓ 일본 ARIB 표준에 9월 필수 기술로 채택됨.
- ✓ 1999년 제 16차 ITU-R TG8/1 회의에서 IMT.RKEY의 Key characteristic으로 선택됨.

2. AiSMA(Acquisition indication Sensing Multiple Access)

2.1 종래기술 및 필요성

IMT-2000 시스템에서는 기존의 이동통신 방식에서 서비스하던 음성 서비스뿐만 아니라, 향후 더욱 확대될 인터넷 등과 같은 데이터 서비스를 수용하는 것을 목적으로 한다. 따라서, 종래 이동통신 방식에서 음성 신호를 연결하기 위한 액세스 방법만으로는 효율적으로 데이터 서비스를 지원하기 힘들기 때문에 임의 액세스 뿐만 아니라 패킷 액세스를 지원하기 위한 기술적 향상이 필요하게 되었다. 이를 위해 IMT-2000 시스템을 위해 ITU-R에 제안되고 있는 표준 기술에서는 다양한 형태의 프로토콜이 이용되고 있는데, 그 기본적인 방법은 모두 slotted Aloha 방법을 채택하고 있다. 즉, 전송할 데이터가 액세스 신호가 있는 경우에 모든 단말들은 정해진 슬롯을 기준으로 특별한 제한없이 전송하는 방법을 채택하고 있다. 그리고, 짧은 메시지를 역방향 공통

채널을 통해 전송하기 위해서는 시간 동기 등을 포착하기 위한 프리엠블을 메시지 전에 전송하고 이어서 메시지를 전송한다. 만약 데이터가 정확하게 전송되지 않은 경우에는 다시 프리엠블과 메시지를 전송하는 과정을 반복하게 된다.

이와 같은 방법은 음성 서비스와 같이 통화 시간이 긴 경우에는 액세스를 위한 간섭 신호 및 시간 지연이 전체적으로 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만, 인터넷과 같은 짧은 데이터 전송 시에는 작은 간섭 신호 및 시간지연으로도 큰 영향을 미치기 때문에 액세스의 효율은 전체 성능에 주요한 요인이 된다. 그리고 액세스를 위한 전송에서는 폐쇄 루프 전력 제어가 불가능하게 단지 개방 루프 전력 제어만 가능하기 때문에 전력 제어에 오차가 발생할 수 있는데, 특히 프리엠블은 처리 이득(Processing gain)이 크기 때문에 전력 제어 오차가 더욱 증대될 수 있다. 따라서, 전력 제어 오차에 따른 간섭이 매우 증가될 수 있는 문제점이 있다.

이와 같은 이유에 따라 시간 지연 및 간섭 신호의 성능에서 효율적인 액세스 방법에 대한 필요성이 부각되고 있으며, 이의 필요성에 따라 AiSMA (Acquisition indication Sensing Multiple Access)가 IMT-2000 역방향 패킷 전송방식으로

제안되었다.

2.2 AiSMA의 개념 및 동작원리

AiSMA의 기본 개념은 프리엠블 포착 여부를 단말기에 미리 알려주어, 불필요한 메시지 전송을 막아서 간섭 레벨을 줄임과 동시에 시간 지연을 축소 시킴으로써 역방향 채널에서 짧은 데이터나 액세스 신호 등을 전송함에 있어서 효율을 향상시키는 것이다. 이를 위한 동작 원리는 기지국에서는 전송된 프리엠블이 포착되었을 때 AI(Acquisition Indicator)를 전송하고, 단말들은 전송한 프리엠블에 해당되는 AI가 수신된 경우에만 메시지를 전송하고, 프리엠블이 포착되지 않는 경우에는 전력을 증가시켜 프리엠블을 재전송한다. 만약 메시지 전송이 완료된 후에 오류가 발생한 경우에는 프리엠블 전송부터 재시도한다.

이하에서는 이와 같은 동작을 그림 2.1을 참고하여 더욱 상세하게 설명하고자 한다. 하나의 프레임 길이(10ms)에 프리엠블을 전송할 수 있는 액세스 슬롯(access slot)이 8개 있으며, 프리엠블을 구분하기 위한 시그니처는 16개가 존재한다. 단, 트래픽의 양에 따라서 실제 사용하는 액세스 슬롯과 시그

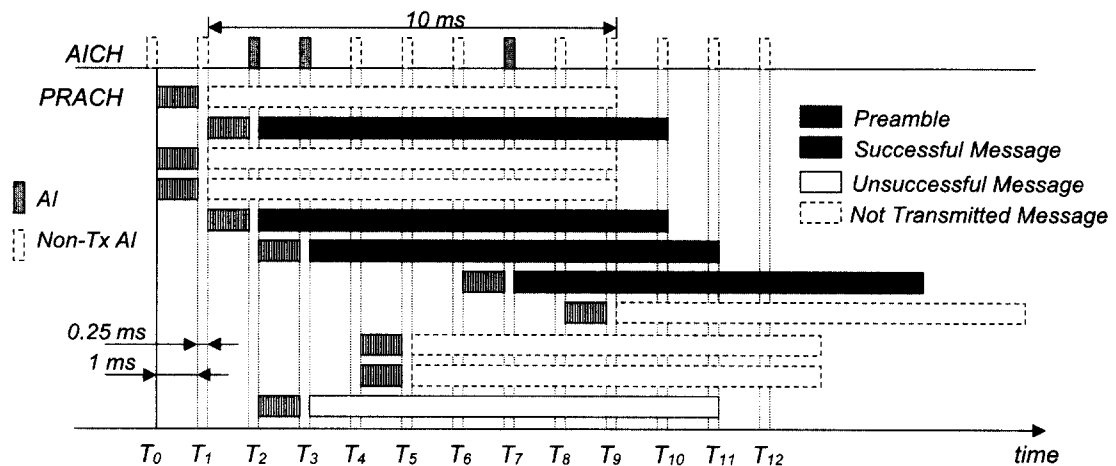


그림 2.1 AiSMA 동작의 일례

니치는 제한을 줄 수가 있다. 그림 2.1은 AiSMA의 동작의 일례를 도시하고 있다. 그림 2.1에서는 프리앰블 전송과 메시지 전송간의 비활성 시간(idle time)으로 1.5ms를 설정하고 있는데, 이 시간은 AI 전송, 수신 방식, 그리고 기지국 및 단말기의 처리 시간 등에 의해 변경될 수 있다. 그리고, 정해진 규칙에 의해서 액세스 슬롯을 선택하고, 이전 프리앰블에 사용되었던 시그니처를 사용하는 방법도 가능하지만, 본 고에서는 모든 단말들은 프리앰블이 포착되지 않으면 액세스 슬롯을 새롭게 임의로 선택하고, 시그니처도 새롭게 선택하는 것으로 가정하였다. 여기에서 AICH(Acquisition Indication Channel)는 AI를 전송하기 위해 별도로 할당된 채널이며, PRACH(Physical Random Access Channel)는 역방향 액세스를 위한 물리 계층 채널을 의미한다.

우선, T0에서는 3개의 단말기로부터(MS1, MS3, MS4) 서로 다른 시그니처(1, 2, 4)를 갖는 3개의 프리앰블이 역방향 공통 채널을 통해 기지국으로 전송되는데, 모든 프리앰블의 전력이 부족하여 기지국에서는 모든 프리앰블을 포착하지 못하게 되어 기지국에서 AI를 전송하지 않는다. 따라서 위의 3개의 단말기들은 AI를 검출하지 못하게 되어 프리앰블을 재전송하게 되며, T1에서는 2개의 단말기(MS2, MS5)은 서로 다른 시그니처(1, 3)를 이용하여 프리앰블을 전송한다. 따라서, 다음 비활성 시간에 1번 및 3번 시그니처에 해당되는 AI가 검출되어 두 단말(MS2, MS5)은 T3에서 메시지를 전송하게 된다. 한편, T2에서는 앞서 프리앰블 포착에 실패한 단말 중에서 하나의 단말(MS1)이 N번째 시그니처를 선택하여 증가된 전력으로 프리앰블을 선택하고, T3이후에서 해당 AI를 수신하게 되어 메시지를 T4에서 전송하게 된다. 앞서 프리앰블 전송에 실패한 나머지 두개의 단말(MS3, MS4)들도 T3에서 프리앰블을 재전송하게 되는데, 이때 선택된 시그니처가 동일하다. 이 경우, 기지국에서 3번

째 시그니처를 갖는 프리앰블은 포착되는데, 어떤 단말이 전송한 프리앰블인지는 구분할 수 없기 때문에 해당 AI를 검출한 단말들(MS3, MS4)은 모두 메시지를 전송하게 된다. 하지만, 실제 기지국에서 수신하는 신호는 하나의 단말이 전송한 신호이기 때문에, 하나의 메시지는 성공적으로 수신될 수 있지만 나머지 하나의 메시지는 수신될 수 없다. 메시지 성공 여부를 알려주는 재전송 메커니즘을 통해 해결하게 되는 것은 기존의 방법과 동일하다.

2.3 성능 평가

본 고에서는 기존의 slotted Aloha 방법과 제안한 AiSMA의 성능을 전송 효율, 시간 지연, 그리고 간섭 신호 레벨 등에 대해 비교 평가하였다. 우선, 성능 평가를 위한 시뮬레이션 모델은 다음과 같다. 일단 유한한 단말이 주어진 부하하에서 결정되는 확률, $p(=G/(M*k))$, G 는 부하, M 은 단말의 개수, 그리고 k 는 프레임당 액세스 슬롯 수)로 데이터를 발생시키고, 발생된 데이터가 성공적으로 전송되기 전까지는 새롭게 데이터를 발생하지 않은 것으로 가정하였다. 그리고, 단말은 메시지 전송 중에는 다른 프리앰블을 전송하지 않는다.

표 2.1은 시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 요약하였다. 표 2.1에 따르면, 개방 루프 전력 제어 오차를 가우시안 분포로 가정하였으며, 또한 평균값과 분산값을 설정하였다. 또한 프리앰블 검출 확률과 메시지 수신 확률을 설정하였으며(Ericsson), 편의를 위해 메시지 전송 실패에 다른 시간 지연을 고려하지 않았다. 그리고, 재전송시 필요한 전력 증가의 양은 3dB로 고정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그리고, 본 고에서 고려한 성능은 10ms 동안 하나의 수신기에서 성공적으로 수신된 메시지의 개수로 정의된 전송 효율, 메시지가 발생된 시점부터 성공적으로 수신된 시점까지의 시간으로 정의된 시간

항 목	AiSMA/ Slotted Aloha
트래픽 모델	Bernoulli Trial
개방 루프 전력제어 오차	평균=3.2[dB], 분산=3.2[dB]
프리앰블 검출을 위한 문턱값	7 [dB]
메시지 수신을 위한 문턱값	6 [dB]
메시지 확인을 위한 ACK 시간 지연	0
전력 증가 단계	3dB

표 2.1 시스템 레벨 시뮬레이션 파라미터

지연, 그리고 하나의 성공적인 패킷 전송에 요구되는 기저국 수신 전력의 양으로 정의된 요구 에너지를 기준으로 비교하였다.

그림 2.2에서는 AiSMA와 slotted Aloha의 전송 효율을 비교하여 보여주고 있는데, 여기에서 pr 은 단말기가 프리앰블을 재전송할 시의 확률로서 이는 슬롯마다 판단하는 것으로 가정하였다. 그림

2.2에서도 볼 수 있듯이, 부하가 작은 경우에는 slotted Aloha와 AiSMA의 전송 효율이 많은 차이가 나지 않은 반면, 부하가 증가할수록 성능의 차이가 증가함을 알 수 있다. 이는 AiSMA가 부하가 많은 경우에 더욱 효과적인 것을 확인할 수 있으며, 또한 재전송 확률이 증가할수록 더욱 우수한 성능을 나타냄을 보여주고 있으므로, 별도의 재전송 확률을

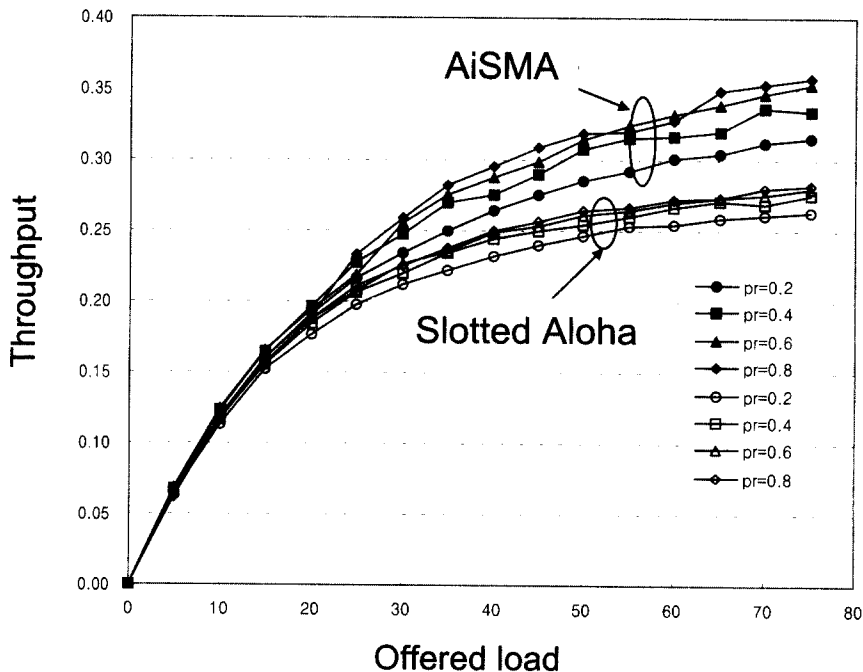


그림 2.2 AiSMA와 slotted Aloha의 전송효율 비교 [개방루프 전력제어 N(3.2dB, 3.2dB)]

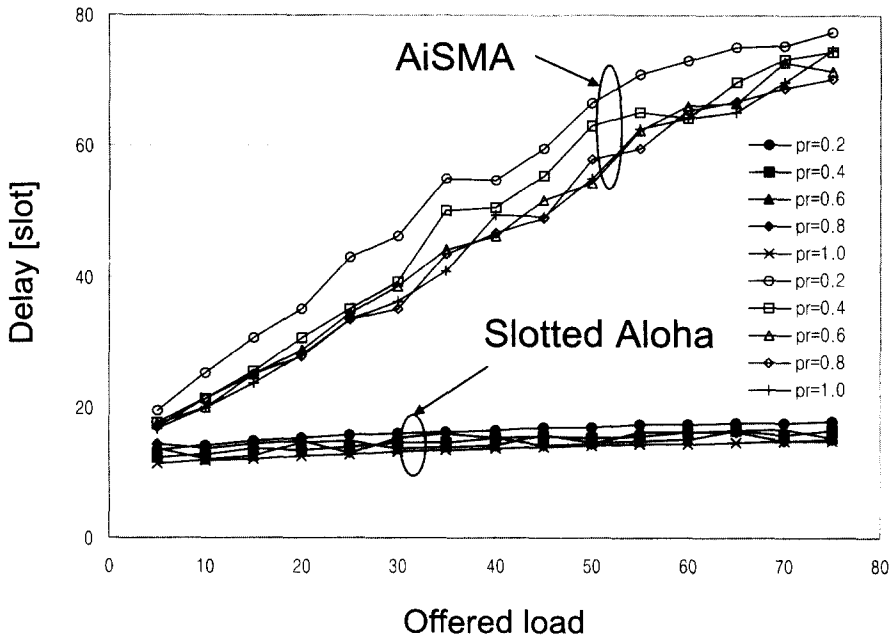


그림 2.3 AiSMA와 slotted Aloha의 시간지연 비교 (개방루프 전력제어 N(3.2dB, 3.2dB))

이용하여 트래픽 양을 조절하는 것은 효과적이지 않음을 알 수 있다. 다만, 메시지를 수신하기 위해 기지국에 할당된 자원이 제한된 경우에는 재전송확률이 효과적일 수 있다.

그림 2.3에서는 AiSMA와 slotted Aloha의 시간 지연 성능을 비교하여 보여주고 있는데, 앞의 그림 2.2와 마찬가지로 부하가 작은 경우에는 slotted Aloha와 AiSMA의 전송 효율이 많은 차이가 나지 않은 반면, 부하가 증가할수록 성능의 차이가 증가함을 알 수 있다. 이는 AiSMA가 부하가 많을 경우에 더욱 효과적인 것을 확인할 수 있으며, 또한 재전송 확률이 증가할수록 더욱 우수한 성능을 나타냄을 보여주고 있다.

그림 2.4에서는 AiSMA와 slotted Aloha의 요구 에너지 성능을 비교하여 보여주고 있는데, 전

반적으로 상대적으로 적은 에너지만으로도 메시지를 전송할 수 있으며, 이는 궁극적으로 다른 트래픽에 미치는 영향이 적음을 확인할 수 있다.

2.4 표준화 현황

- ✓ 유럽 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) 표준인 W-CDMA에 99년 1월 random access 및 packet access 필수 기술로 채택됨.
- ✓ 비동기 방식 통합 표준인 3GPP W-CDMA에 99년 2월 random access 및 packet access 필수 기술로 채택됨.
- ✓ 1999년 제 16차 ITU-R TG8/1 회의에서 IMT.RKEY의 Key characteristic으로 선택됨.

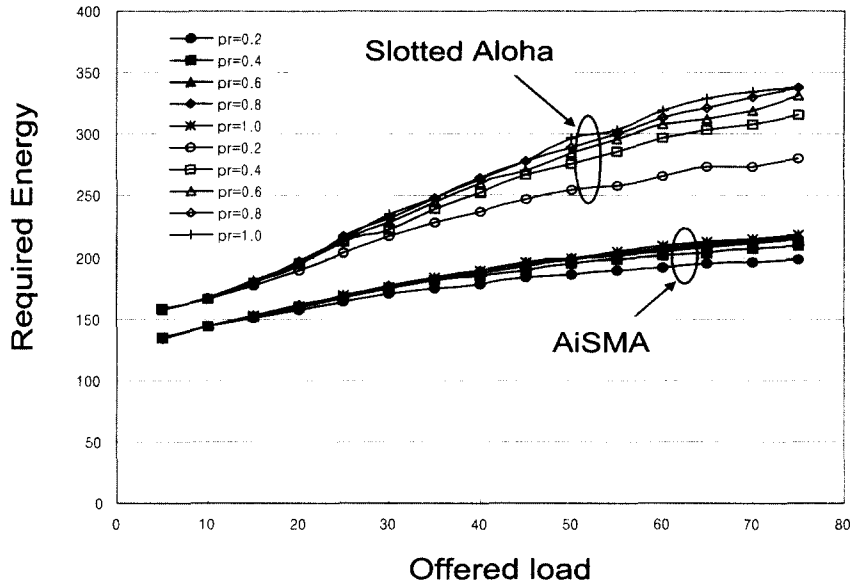


그림 2.4 AiSMA와 slotted Aloha의 요구에너지 비교 (개방루프 전력제어 $N(3.2\text{dB}, 3.2\text{dB})$)

※ 참고 문헌

- [1] The ETSI UMTS terrestrial radio access(UTRA) ITU-R RTT candidate submission, SMG2 ETSI, Jun. 1998.
- [2] Japans proposal for candidate radio transmission technology on IMT-2000: W-CDMA, ARIB IMT-2000 Study Committee, Jun. 1998.
- [3] The cdma2000 ITU-R RTT candidate submission, TR 45.5.4 TIA, Jun. 1998.
- [4] ITU-R RTT candidate submission of Global CDMA I(Multiband direct sequence CDMA system), TTA, Jun. 1998.
- [5] Global CDMA II ITU-R RTT candidate submission, TTA, Jun. 1998.
- [6] Jae Ryong Shim, and Seung Chan Bang, "Spectrally efficient modulation and spreading scheme for CDMA systems," IEE Electronic Letter, Vol. 34 No. 23, pp.2210-2211, 12th Nov. 1998.
- [7] Ericsson, Performance evaluation of different random-access power-ramping schemes, SMG2 UMTS-L1 670/98.
- [8] A. Jalali and Paul Mermelstein, Effects of diversity, power control, and bandwidth on the capacity of microcellular CDMA systems, IEEE Journal on Selected Areas in Commun., vol. 12, no. 5, pp. 952-961, Jun. 1994.
- [9] W. C. Y. Lee, Overview of cellular CDMA, IEEE Trans on Vehicular Technology, vol. 40, no. 2, pp.291-302, May 1991.

한 기 철

- 1977년~현재 한국전자통신연구원 동기시스템 연구
부장
- 1987~1989년 미국 Bell연구소 초빙연구원