

W-CDMA 시스템에서 광중계기를 이용한 secondary-스크램블 코드의 효율적 활용방안에 대한 연구

정회원 전은성*, 준회원 박준효*, 정회원 양장훈*, 종신회원 김동구*

Efficient Usage of Secondary Scramble Code via Optical Repeater in W-CDMA System

Eun Sung Jeon* *Regular Member*, Jun Hyo Park* *Associate Member*,
Jang Hoon Yang* *Regular Member*, Dong Ku Kim* *Lifelong Member*

요 약

최근 셀 커버리지 증대와 음영지역 및 핫스팟(hot spot) 지역의 서비스 공급을 위해 추가적인 기지국 설치를 하지 않고 중계기를 활용하고 있다. 중계기는 기지국과 지형적으로 떨어져 있기 때문에 중계기와 기지국이 서로 다른 스크램블 코드를 사용할 때, 코드간 간섭이 줄어들 수 있다. 본 논문은 이와 같은 사실을 이용하여 중계기를 활용한 primary-secondary 스크램블 코드 활용 방안을 연구한다. 이를 위해서 다섯 가지의 시나리오를 제시하고 각 시나리오 별 성능을 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 비교한다. 이에 더하여, secondary 스크램블 코드의 미치느 간섭을 줄이고, 아웃티지(outage) 성능을 향상시키기 위해서 기지국-중계기간 스위칭(switching) 기법과 primary-secondary 스크램블 코드간 리플레이싱(replacing) 기법을 제안한다.

Key Words : W-CDMA, Secondary Scramble Code, Primary Scramble Code, OVFS, Repeater

ABSTRACT

Optical repeater is often installed at the isolated area. Spatial separation makes it possible to reduce the inter-code interference when secondary scrambling codes are used for traffic connected through repeater. In this paper, we propose five secondary scrambling code usage scenarios with the aids of optical repeater to maximize the user capacity. In order to evaluate the performance, dynamic system level simulation is performed. We also propose a base station-repeater switching where each active users can change access points by comparing the channel condition from base station and repeater through secondary common pilot channel (S-CPICH) signal to noise-interference ratio (SINR). Moreover, primary-secondary scramble code replacing scheme is proposed which replaces secondary scramble code with primary scramble code when a call using primary scramble code is ended and its corresponding OVFS code is available to users using the secondary scramble code

I. 서 론

현재 3세대 이동통신 시스템으로 W-CDMA 시스템이 널리 상용화되어 있다. W-CDMA 순방향에는

다중 사용자간의 신호들이 사용자를 구분하는 OVFS 코드와 셀(섹터)을 구분하는 스크램블 코드로 멀티플렉싱이 구현되고 있다. 그림 1 OVFS 코드는 이진 트리 구조로 채널 코드를 발생시키는데, 구조적

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행한 연구임(No.R01-2008-000-10687-0)

* 연세대학교 전기전자공학과 이동통신 연구실(youngmil2@yonsei.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-04-173, 접수일자 : 2009년 4월 24일, 최종논문접수일자 : 2009년 8월 12일

특성상 상위 트리에 있는 SF(Spreading Factor)가 낮은 코드를 선택해서 높은 전송률의 정보를 전송하는 경우, 상대적으로 낮은 전송률의 정보를 보내기 위한 그 하위에 있는 높은 SF를 갖는 코드수가 부족해 지게 되어서, 코드의 낭비에 대한 단점을 갖고 있다. 그러나 최근 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 W-CDMA 시스템에서 고속의 데이터 전송률, 즉 낮은 SF 코드를 가진 데이터 전송이 증가함에 따라 제공할 수 있는 직교한(orthogonal) OVSF 코드가 부족문제가 대두되기 시작하였다. 이러한 문제는 기존의 CDMA에서와는 다르다. 기존의 CDMA (동기식 CDMA)에서는, 코드 수는 충분하지만, 송신전력의 부족 현상, 즉 채널의 간의 간섭의 증가로 인해서, 더 이상의 사용자에 대해서 서비스를 못하게 되므로, 용량의 제한을 받게 된다. 그러나, 현재의 W-CDMA의 경우는 이와 같이 코드수의 부족으로 인해서, 서비스 용량에 대해서 제한을 받게 되는 것이다.

이런 다중 전송률의 지원함으로 발생되는, OVSF의 코드 부족으로 인한 문제를 해결하기 위한 방법으로 주파수 할당(frequency assignment)의 수를 증가시키거나, 섹터화(sectorization)을 높여서 채널 수를 높일 수 있다. 이밖에, secondary 스크램블 코드를 사용하는 방식[6],[7]과 OVSF 코드 트리 상에서 code placement-replacement 방식[8]이 있다. 본 연구에서는 primary 스크램블 코드수가 부족한 경우, secondary 스크램블 코드를 사용하여, 사용자 용량을 증가 시키는 방법을 고려한다. Secondary-스크램블 코드는 코드의 특성상 primary 스크램블 코드와 직교성을 보장할 수가 없어서, 두 코드간의 간섭으로 인해, 타겟 SNR을 획득하기 위한 송신 전력이 기존의 W-CDMA 보다 많아지게 되었다. 따라서, Secondary 코드의 사용을 통해서, 코드의 부족문제를 해결할 수는 있지만, 간섭의 증가로 인해서, Primary 및 Secondary의 코드를 이용하는 W-CDMA 시스템은, 간섭 량의 증가 때문에 송신 전력의 부족으로 현상이 주로 용량을 제한하게 되는 원인이 되고, 기존의 CDMA의 근본적인 용량 제한 문제와 같게 된다.

Secondary 코드 활용방안에 대해서, 좀더 자세히 설명하기 전에, 아래 그림을 통해서 기존의 W-CDMA의 코드 할당방식에 대해서 조금 더 자세히 설명한다. 그림 2에서 한 사용자가 $C_{ch,2,0}$ 를 할당 받으면, 다른 사용자는 $C_{ch,2,0}$ 에서 퍼져 나가는 $C_{ch,4,0}$ 또는 $C_{ch,4,1}$ 등은 직교성이 보장되지 못하여 사용하지 못

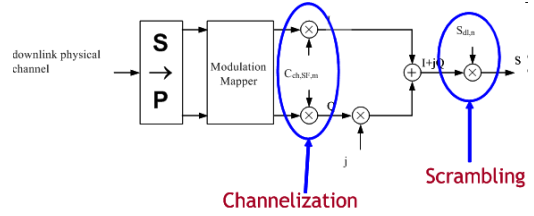


그림 1. 채널 구분 및 셀(섹터) 구분

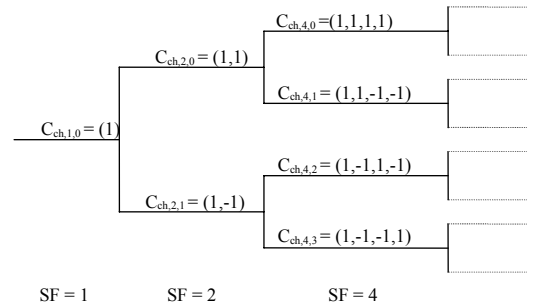


그림 2. OVSF 코드: 트리 구조

하고 대신 $C_{ch,2,1}$ 에서 퍼져 나가는 코드를 선택해야 한다. 이러한 구조적인 문제로 인해 고속의 데이터 전송률(즉 낮은 SF)을 요구하는 사용자가 많을 경우 코드가 부족하게 된다. 이러한 OVSF의 구조적인 한계로 인해 고속의 데이터 전송률을 요구하는 사용자가 많을 경우 코드가 부족하게 된다. 따라서 기존에 사용하던 primary 스크램블 코드 이외에 secondary 스크램블 코드를 이용하여 사용 가능한 OVSF 코드를 증가시키는 연구가 필요하게 되었다. 그러나 두 스크램블 코드간의 간섭으로 인하여, 추가적인 스크램블 코드를 사용할 때, 두 스크램블 코드와 채널코드를 사용자에 할당하는 방식에 대한 기초적인 연구들이 제시되고 있다.

II. 기존의 연구 결과

지금까지 W-CDMA 시스템에서 primary-스크램블 코드의 부족 문제를 해결하기 위해서 제안된 secondary-스크램블 코드를 사용하는 방식과 OVSF 코드의 replacement 방식을 정리하면 다음과 같다.

2.1 Secondary-스크램블 코드를 활용하는 방식^{[6],[7]}

[6]에서 secondary-스크램블 코드와 primary-스크램블 코드가 동시에 같은 지역에서 할당되는 셀룰라 망에서 secondary-스크램블 코드를 사용하여 얻을 수 있는 이득이 채널 환경에 따라 달라지지만,

이동통신 다중 채널에 의한 직교성(orthogonality factor)이 0.2 이내로 보존되는 경우에는, 30-40% 정도의 용량 이득이 있는 것으로 발표되었다. 하지만, 이 논문에서는 secondary-스크램블 코드를 사용했을 때, 수신단의 타겟 SINR를 만족 시키는 송신 전력을 계산할 때, 사용자들의 지형적 분포에 대해서 모두 평균한 간섭신호를 모델링 했기 때문에, secondary-스크램블 코드의 활용방안이 매우 간단해진다. 즉 primary-스크램블 코드의 채널코드를 무조건 다 사용하고 나서, 이를 초과 하는 사용자는 간단히 secondary-스크램블 코드를 할당하는 매우 간단한 secondary-스크램블 코드에 대한 활용방안을 제시하고 있다. 따라서, secondary-스크램블 코드를 사용하여 얻을 수 있는 이득이 코드간의 간섭으로 인해 사용 전력에 비해 크게 향상되지 않으며, 관련 연구논문에서는 secondary-스크램블 코드의 사용을 가급적 줄이고, OVFS 코드의 재배치하여 하여 primary-스크램블 코드를 효과적으로 사용하는 것이 시스템 용량을 향상시키는데 도움이 된다고 결론을 내리고 있다. 물론 [6]의 장점은 사용자들의 채널정보를 전혀 요구하지 않는 시스템으로, 매우 간단히 구현 할 수 있다는 것이다. [7]에서는 secondary-스크램블 코드의 사용이 채널 환경에 따라 그 용량 증가가 영향을 받음을 말해 주고 있다. 즉 채널 상태가 좋아서 코드 간의 직교성이 유지되는 환경이나, GRAKE(generalized Rake receiver)와 같은 고급 수신기를 사용할 때만 secondary-스크램블 코드를 사용을 통한 이득을 얻을 수 있음을 밝혔다. 그러나, GRAKE 은 단말기의 수신기를 교체해야 하는 문제가 있다.

2.2 OVFS 코드의 재배치하여 이용하는 방식^[8]

OVFS 코드의 재배치 기법을 이용해서, 초과 사용자의 요청이 있을 경우 primary-스크램블 코드를 효과적으로 사용하는 방법에 대해서 [8]에 언급하고 있다. 코드 reassignment는 secondary-스크램블 코드를 사용하지 않고 최대한 primary-스크램블 코드를 사용하는 방안에서 제안되고 있지만, 초과 사용자에게 코드를 공급하기 위해서 OVFS 코드의 reassign 하는 과정에서 기존의 서비스를 받고 있는 사용자에게 제공되는 서비스가 품질이 나빠지는 문제가 있다.

Ⅲ. 스크램블 코드 운용 시나리오

중계기를 위한 코드 할당 방안에 대해서 5가지

표 1. 스크램블 코드 운용 시나리오

시나리오	기지국	중계기	장점	단점
1	P-SC* P-CPICH	P-SC P-CPICH	· 코드간 간섭이 없음	· 코드 부족으로 인한 사용자 수 제약
2	P-SC P-CPICH S-CPICH	S-SC** P-CPICH S-CPICH	· 중계기로부터 전력 및 코드 부족 지원 · 호 차단 확률이 낮음	· S-CPICH 사용에 따른 추가 전력 필요 · 아웃티지가 높음
3	P-SC S-SC P-CPICH S-CPICH	P-SC P-CPICH	· S-SC 간섭을 줄임	· S-CPICH 사용에 따른 추가 전력 필요 · S-SC 아웃티지가 높음
4	P-SC P-CPICH	P-SC S-SC P-CPICH S-CPICH	· S-SC 간섭을 줄임	· S-CPICH 사용에 따른 추가 전력 필요 · S-SC 아웃티지가 높음
5	P-SC S-SC P-CPICH	P-SC S-SC P-CPICH	· S-SC 아웃티지가 낮음	· 코드간 간섭이 크다.

* P-SC : Primary scramble code
** S-SC : Secondary scramble code

시나리오를 아래 표 1에 제안하였다.

3.1 시나리오 I

시나리오 I 은 현재 상용되는 경우로, 기지국과 중계기가 기지국의 신호를 동일하게 전송한다. 스크램블 코드는 primary-스크램블 코드만 사용한다. 기지국과 중계기가 같은 코드를 사용하므로 코드간 간섭이 없다. 하지만 데이터 사용자가 많아질 경우, 코드 부족의 문제가 발생한다.

3.2 시나리오 II

시나리오 II는 중계기가 기지국과 동일하게 작동하지 않고, 어느 정도의 스마트한 기능을 갖는다. 즉 기지국이 primary 스크램블 코드를 사용하여 서비스를 하다가 기지국에서 전력이나 코드가 부족할 때, 중계기가 secondary 코드를 사용하여 서비스한다. 이에 따른 호 수락 (call admission) 제어 방법은 아래 그림 3에 제시하였다.

3.2.1 호 수락 제어 방법 (call admission control strategy)

[그림 3]과 같이 사용자가 서비스를 요청할 때, 먼저 기지국은 서비스할 수 있는 전력이 있는지 확인한다. 만약 전력이 있으면, primary 스크램블 코

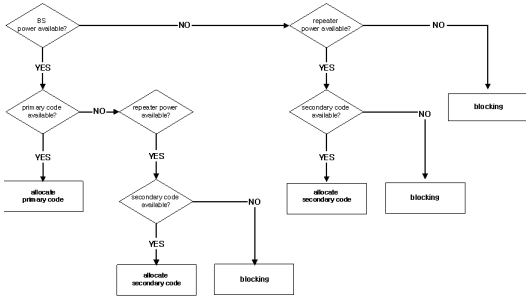


그림 3. 시나리오 II 의 호수락 제어방법

드를 할당하여 서비스한다. 만약 전력이 없으면, 중계기가 서비스할 수 있는 전력이 있는지 확인한다.

중계기가 전력이 없으면, 호 차단(call block)이 되고, 중계기의 전력이 있으면, 중계기의 사용할 수 있는 secondary 스크램블코드가 있는지 확인한다. 중계기의 secondary 스크램블 코드가 있으면, 이 코드를 사용하여 서비스를 공급한다. 그런데 중계기의 전력은 있으나 스크램블 코드가 부족할 경우, 코드 부족으로 인해 호 차단이 된다. 또 서비스를 요청한 사용자에 대해서 기지국의 전력은 있으나 primary 스크램블 코드가 부족한 경우도 있다. 이럴 경우, 중계기의 전력과 secondary 스크램블 코드가 있는지 확인하고 전력과 코드가 모두 충분할 경우, 중계기가 secondary 스크램블 코드를 사용하여 서비스를 공급한다.

3.2.2 코드 간 스위칭 기법

기지국이 먼저 primary 스크램블 코드로 서비스를 하고, 코드나 전력이 부족할 경우 중계기가 secondary 스크램블 코드를 사용하여 서비스를 하는 시나리오 II 경우, 중계기보다 기지국으로부터의 채널 환경이 더 좋을 수 있으나, 코드나 전력이 기지국에서 부족하다는 이유로 중계기에서 서비스를 받아야 하는 문제가 있다. 마찬가지로 중계기까지의 채널 환경이 기지국까지의 채널 환경 보다 더 좋으나, 기지국의 전력이나 코드가 충분하다는 이유로 기지국에서 서비스를 받아야 하는 문제가 있다. 그림 4와 같이 사용자가 중계기로부터 멀어지고 기지국으로 가까이 가는 경우, 중계기로부터 secondary 스크램블 코드 대신, 기지국으로부터 오는 primary 스크램블 코드로 받는 것이 더욱 수신 품질이 좋다. 이러한 문제를 해결하고 위해 사용자의 단말기가 기지국과 중계기의 채널 환경을 기지국과 중계기로부터 오는 서로 다른 S-CPICH 채널을 이용하여 SINR을 측정하여, 일정시간 동안 평균적인 수신

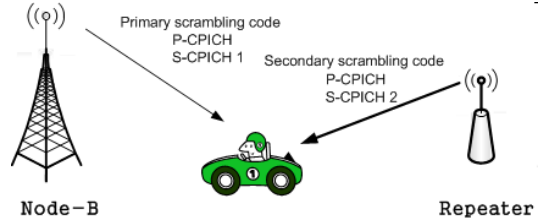


그림 4. 코드 간 스위칭의 예

SINR 이 높은 쪽으로 서비스를 받을 수 있도록 하였다. 만약 기지국으로부터 S-CPICH 가 중계기로부터 오는 것보다 수신 SINR이 좋다면 이 정보를 알리는 제어비트 1 비트를 단말기는 기지국으로 송신하고 이 제어비트를 통해서 기지국은 중계기의 해당 단말기에 대한 송신을 중지하고 기지국에서만 primary 스크램블 코드로 송신한다. 중계기의 S-CPICH가 기지국보다 더 좋은 수신 SINR을 가질 경우도 마찬가지로 방법으로 한다.

시나리오 II의 경우, 전력이나 코드의 부족분을 중계기가 지원해주므로 기지국의 전력이나 코드 부족으로 인한 호차단 확률은 매우 낮아진다. 하지만 기지국과 중계기가 서로 다른 S-CPICH를 송신해야 하므로 서로 다른 S-CPICH 사용에 따른 추가적인 전력이 필요하다.

또한 사용자는 기지국과 중계기 중에서 채널 환경이 좋은 한쪽에서만 신호를 받으므로, 기지국과 중계기에서 동시에 신호를 받는 시나리오 I 보다는 수신 SINR이 낮아서 통화 품질이 다소 떨어질 수 있다.

3.3 시나리오 III and IV

시나리오는 III는 secondary 스크램블 코드 사용을 기지국으로 국한한다. 먼저 기지국과 중계기가 primary 스크램블 코드 사용자에게 대해서 서비스를 하고, 이후 사용자에게 대해서 기지국의 할당 코드가 부족할 경우, secondary 스크램블 코드를 기지국에서만 사용하여 신호를 전송한다. 이와 같은 시나리오는 셀 또는 섹터의 중심의 사용자에게 대해서 secondary 스크램블 코드를 사용하는 방법으로, secondary 스크램블 코드 사용시 야기되는 primary-secondary 코드간 간섭을 줄이기 위해 기지국 한쪽만 사용한 시나리오이다. Secondary scrambling 코드를 통해 신호를 받는 단말기의 기지국까지의 채널 추정을 위해 S-CPICH를 사용한다. 따라서 기지국에서는 추가적인 파일럿 신호 사용에 따른 전력 소모가 있다.

시나리오IV는 시나리오III와 같은 원리로, secondary

스크램블 코드는 중계기에서만 사용한다. 이는 셀 (섹터)의 외곽에서 secondary 스크램블 코드를 사용하는 것이다. 따라서 primary 스크램블 코드 사용자는 기지국과 중계기에서 동시에 서비스를 받고, 코드 부족에 따른 추가적인 사용자는 중계기에서만 전송되는 secondary 스크램블 코드를 통해 신호를 수신한다. 단말기의 중계기까지의 secondary 스크램블 코드를 통해 전송되는 신호의 채널을 추정을 돕기 위해서 중계기는 S-CPICH를 사용한다. 따라서 중계기의 추가적인 파일럿 사용에 따른 전력 소비가 문제가 된다.

3.4 시나리오 V

시나리오 V는 primary 스크램블 코드와 secondary 스크램블 코드를 기지국과 중계기 모두 사용한다. 따라서 단말기는 기지국과 중계기를 통해 primary 스크램블 코드를 통해 전송되는 신호를 받고, 코드 부족 시, secondary 스크램블 코드를 기지국과 중계기를 통해 전송 받는다. 이와 같은 경우, secondary 스크램블 코드 사용에 따른 간섭이 시나리오 III 이나 시나리오 IV에 비해서 크다는 단점이 있다.

3.5 코드 간 리플레이싱 기법

기존의 스크램블 코드 사용방식은 그림 5와 같이 각각의 단말기 MS 1, MS 2, MS 3 에 한번 스크램블 코드가 할당이 되면 해당 단말기는 통화가 종료될 때까지 할당 받은 스크램블 코드를 통한 신호를 전송 받는다. 따라서 시간이 $0 < t < T_1$ 가 될 때까지 MS2에 사용하는 secondary 코드로 인한 간섭이 MS1과 MS3에 미치고 시간 $T_1 < t < T_2$ 에서는 MS3에게 간섭을 야기한다. 그러나 만약 그림 6과 같이 primary 스크램블 코드 사용자 MS1의 통화가 종료 시, 기지국에는 OVFSF 코드가 남게 되고, 이 OVFSF 코드를 secondary 스크램블 코드를 사용하고 있는 MS2에게 할당할 수 있다면, MS2에게 코드간 간섭을 일으키는 secondary 스크램블 코드를 사용하여 서비스하지 않고 primary 스크램블 코드로 전송한다. 만약 MS2가 시간 T_1 에서 primary 코드 전환하여 신호를 수신하게 된다면, 시간 T_1 과 T_2 사이에서 더 이상 MS3와 secondary 코드 사용에 따른 코드간 간섭은 일어나지 않는다.

이와 같이 primary 스크램블 코드를 사용자의 통화 종료 시, 사용할 수 있는 OVFSF 코드를 secondary 스크램블 코드 사용자에게 할당하는 해

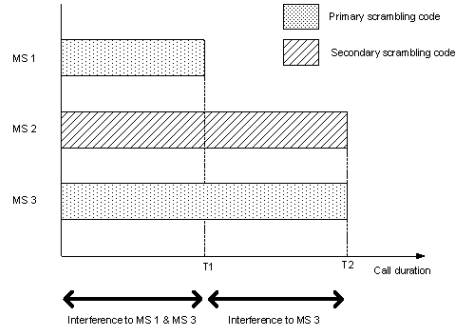


그림 5. 기존의 방법

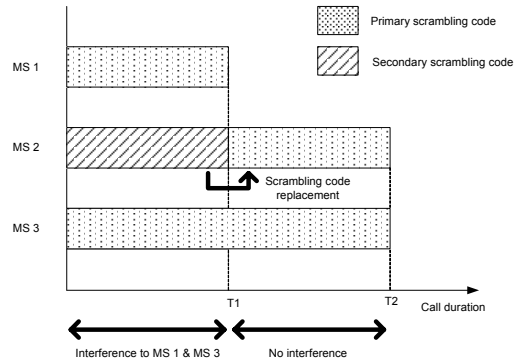


그림 6. 코드간 리플레이싱

당 사용자에게 primary 스크램블 코드로 전환하여 전송하는 코드 간 리플레이싱 기법을 제안하였다. 이를 통해 secondary 스크램블 코드의 사용을 가급적 줄임으로 코드 간 간섭을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 제안한 코드 간 리플레이싱 기법을 시나리오 III, IV 그리고 V에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다

IV. 시뮬레이션 방법

시스템은 셀 당 3개의 섹터로 구성되어 있다. 19개의 셀 즉 57개의 섹터에 대하여 시뮬레이션을 수행하였고, 사용자의 이동성을 고려하기 위해서 랩어라운드(wraparound) 기법을 적용하였다. 한 섹터당 한 개의 광-중계기가 있으며 기지국과 광-중계기까지의 거리는 셀 반경의 2/3 이다. 또한 기지국과 광-중계기까지 광케이블로 연결되어 있으며 케이블을 통과함으로써 야기되는 신호 전력의 손실은 없는 것으로 간주한다. 시뮬레이션을 위한 시스템 레벨 시뮬레이터의 구조는 그림 7과 같다. 사용자의 서비

스 요청은 포아송(Poisson) 분포를 갖는다. 서비스 요청이 이루어지면 기지국은 사용할 수 있는 전력과 코드를 통해 호 수락 또는 호 차단을 한다. 이후, 서비스를 받고 있는 사용자에게 대해서 채널의 SINR과 측정하고 이 값을 이용해서 매 슬롯마다 전력 제어(fast power control)를 수행한다. 그리고 일정 시점 이후, 사용자는 랜덤한 방향으로 이동을 하고 이동에 따른 경로손실(path loss)과 새도우잉이 재 측정된다. 새도잉은^[17]에 제안한 위치에 따른 correlation 있는 모델을 사용하였다. 또한 서비스를 공급받는 시간은 지수분포 (exponential distribution)를 가진다. 소프트 핸드오버를 수행하기 위해 단말기는 매 슬롯마다 P-CPICH 의 SINR을 측정하며, 일정 시간 이후, 평균 P-CPICH 값을 통해 핸드오버를 수행할 섹터가 결정된다. 이와 같은 과정을 시뮬레이션 기간 동안 반복하여 호 차단 확률 (call blocking probability), 아웃티지(outage) 확률, 스루풋(throughput), 평균 서비스 사용지수, 평균 전력 소비량 등을 측정하였다. 구체적인 파라미터는 표 2에 제시하였다. 그리고 시뮬레이션 구동 시 결과 값에 대한 수식적 정의는 다음과 같다.

- 호 차단 확률 (call blocking probability)

$$P_b = \frac{\lambda_b}{\lambda_a}$$

- 스루풋 (throughput)

$$Th = \frac{\sum_{t=1}^T R_v N_v^t + R_d N_d^t}{T}$$

- 아웃티지 확률 (outage probability)

$$P_o = \frac{n_o}{n_s}$$

- 평균 사용전력

$$PW = \frac{\sum_{t=1}^T p_t + \tilde{p}_t}{T}$$

여기서 λ_a 는 호 요청 사용자 수, λ_b 는 호 차단 수, R_v 는 음성 서비스 전송률, R_d 는 데이터 서비스 전송률, N_v^t 는 시간 t 시점에서 음성 서비스 사용자 수, N_d^t 는 시간 t 시점에서 데이터 서비스 사용자

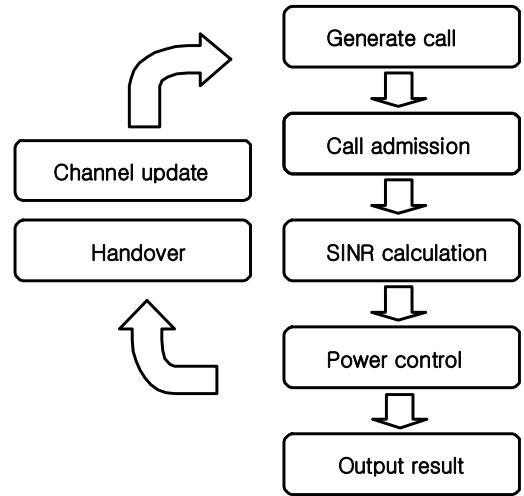


그림 7. 시스템 시뮬레이터 구조

수, n_o 는 전력 제어 시, 전력을 올려야 하나 사용자 또는 기지국 전력 제한으로 인해서 전력을 올리지 못할 경우의 수, n_s 는 전력 제어를 수행하는 모든 경우의 수, p_t 는 t 시점에서의 기지국 송신 전력, \tilde{p}_t 는 t 시점에서의 중계기 송신 전력, 그리고 T 는 총 시뮬레이션 시간이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Default value	Unit
Cell radius	1	km
Call generation	Poisson process	-
Simulation time	5	min
Call duration	30 (voice), 15 (data)	sec
Number of repeater per sector	1	-
Pathloss model	Extended Hata model	-
Correlation distance for shadowing	50	m
Multipath propagation model	ITU Vehicular A	-
Antenna gain	16 (BS, repeater)	dB
Soft handover margin	6	dB
Velocity	30	Km/h
Power limit	20 (BS, repeater)	w
Orthogonality factor	0.6	-
Call arrival distribution	Exponential distribution	-
Power limit per user	1.8 (voice), 5.5 (data)	w
Noise figure	7	dB

IV. 시뮬레이션 결과

그림 8은 음성 서비스와 데이터 서비스를 포함한 전체 서비스에 대해서 호 차단 확률을 보여 주고 있다. 그림을 통해서 시나리오 II 가 호 차단 확률이 가장 낮음을 볼 수 있다. 그 다음으로 시나리오 V가 호 차단 확률이 낮고, 시나리오 III, IV가 그 다음으로 호 차단 확률이 낮다. 시나리오 I는 가장 높은 호 차단 확률을 보이고 있다. 시나리오 II의 경우는 기지국의 전력이 부족할 경우, 중계기의 전력을 통해 서비스를 공급하므로 다른 시나리오에 비해서 전력 부족에 의한 호 차단 확률이 낮다. 또한 시나리오 V의 경우는 secondary 스크램블 코드를 기지국과 중계기 중에서 한 쪽에서만 전송하는 시나리오 III 이나 시나리오 IV 에 비해서 호 차단 확률이 낮은 이유는 시나리오 III과 IV에서 secondary 스크램블 코드를 통해 서비스를 받는 단말기의 타겟 SINR을 만족시키기 위해서 사용해야 할 전력이 시나리오 V에 비해서 많기 때문이다. 따라서 시나리오 III과 IV는 시나리오 V에 비해서 전력 부족에 따른 호 차단 확률이 높게 나타난다. 시나리오 I의 경우, secondary 스크램블 코드를 사용하지 않으므로, OVFS의 코드 부족을 시나리오 비해서 겪기 때문에 호 차단 확률이 가장 높게 나타난다.

그림 9는 시나리오 별로 스루풋 성능을 보여주고 있다. 시나리오 II가 가장 높은 스루풋 성능을 가지고 있고, 시나리오 I이 가장 낮은 스루풋을 보이고 있다. 왜냐하면 시나리오 I은 secondary 스크램블 코드를 사용하지 않기 때문에 데이터 서비스를 다른 시나리오에 비해서 적게 수용하기 때문이다. 그림 10은 시나리오 별로 아웃티지 성능을 보이고 있다. 그림을 통해 시나리오 II가 가장 높은 아웃티지를 보이고 있음을 보게 된다. 이를 통해 시나리오 II는 높은 스루풋 성능을 보이고 있는 반면에 통화의 품질은 다른 시나리오 비해서 낮음을 볼 수 있다. 왜냐하면 시나리오 II 는 중계기와 기지국 중에서 한 곳에서만 신호를 전송 받기 때문에, 기지국과 중계기에서 동시에 동일한 신호를 전송 받는 다른 시나리오 비해서 수신 SINR이 낮기 때문이다. 따라서 시나리오 II의 아웃티지 성능을 향상시키기 위한 추후 연구가 필요하다.

표 3은 시나리오 II에서 아웃티지 성능을 향상을 위한 코드간 스위칭 기법의 성능을 보여주고 있다. 즉 단말기가 기지국과 중계기 간에서 채널이 좋은

곳에서만 받을 수 있게 하는 기법을 적용했다. 표를 통해서 스위칭 기법을 적용했을때 아웃티지 성능이 약 47% 정도 향상 됨을 볼 수 있다. 또한 호 차단 확률과 스루풋 과 사용자 용량에서도 각각 2%, 8% 12% 정도 성능이 향상되었음을 볼 수 있다.

표 4는 시나리오 V에서 코드간 리플레이싱 기법을 적용하였을 경우의 성능을 보여 주고 있다. 표를 통해 리플레이싱 기법을 적용했을 때, 성능의 향상은 그렇게 높게 나타나지 않음을 볼 수 있다. 본 연구에서는 primary 스크램블 코드를 사용 가능하게 되었을 때, secondary 스크램블 코드의 사용자가 기지국으로 주기적으로 보내는 제어비트를 기지국이 수신하고 그 순간 기지국의 OVFS 코드가 해당 단말기에 사용 가능할 때 primary 스크램블 코드로 리플레이싱을 하였으나, 이 기법을 기지국이 단말기에 전송하는 전력과 같은 자원을 이용하여 리플레이싱의 기준을 정하면 그 효과가 크게 나타나리라 기대된다.

그림 11은 시나리오 별로 기지국이 사용한 전력

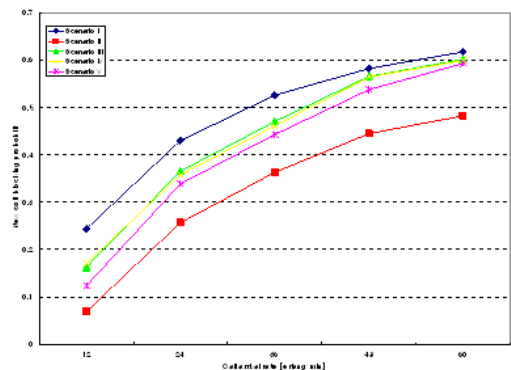


그림 8. 호 차단 확률 성능 비교

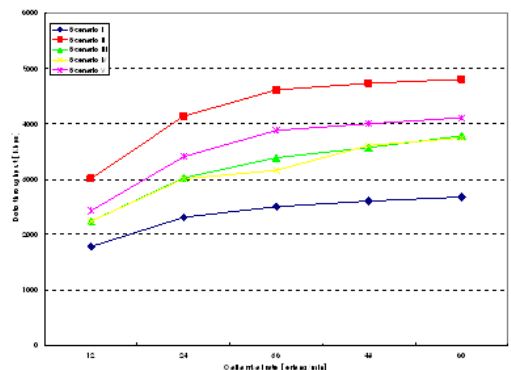


그림 9. 스루풋 성능 비교

을 비교하였다. 그림에서 시나리오 V가 가장 높은 전력을 사용하고, secondary 스크램블 코드 신호를 기지국과 중계기 중에서 한 곳 에서만 송신하는 시나리오 III과 IV는 시나리오 V에 비해서 전력을 적게 사용함을 볼 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 중계기를 사용하는 W-CDMA 시스템에서 secondary 스크램블 코드의 효율적 운용을 위해 5가지 시나리오를 제시하였고, 각 시나리오 별로 성능을 비교 하였다. 특히 시나리오 2는 중계기가 기존의 중계기가 기존과 같이 기지국과 동일하게 운용되지 않고, 기지국이 전력이나 코드가 부족할 때, secondary 스크램블 코드를 사용하여서 서비스를 한다. 또한 단말기가 기지국과 중계기에서 보다 좋은 수신 SINR이 좋은 곳에서 신호를 수신하기 위해서 S-CPICH의 수신 SINR 측정값을 비교하여 기지국과 중계기 중에서 좋은 채널 환경에서 수신하여 그 성능을 개선시켰다. 그리고 시나리오 5가 secondary 스크램블 코드가 기지국과 중계기에서 모두 사용한 반면에 시나리오 3과 시나리오 4는 각각 secondary 스크램블 코드를 기지국과 중계기에서만 사용하게 하여, primary 스크램블 코드와의 코드 간 간섭을 줄이게 하였다. 또한 시나리오 3 과 시나리오 4 그리고 시나리오 5에서는 secondary 스크램블 코드의 사용을 가급적 줄이기 위해서, 코드 간 리플레이싱 기법을 제안하였다. 이것은 primary 스크램블 코드 사용자의 서비스 종료 시, 기지국은 사용 가능한 OVSF 코드를 secondary 스크램블 코드 사용자에게 할당할 수 있을 때, 그 코드를 할당하여 그secondary 스크램블 코드 사용자에게 primary 스크램블 코드로 전환하여 서비스를 공급한다.

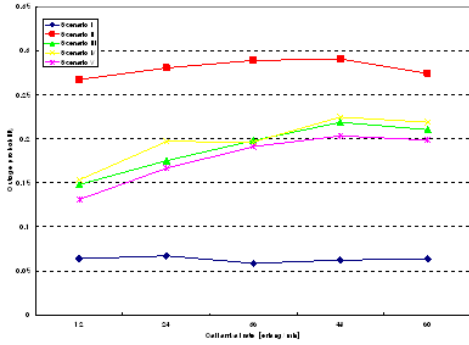


그림 10. 아웃티지 성능 비교

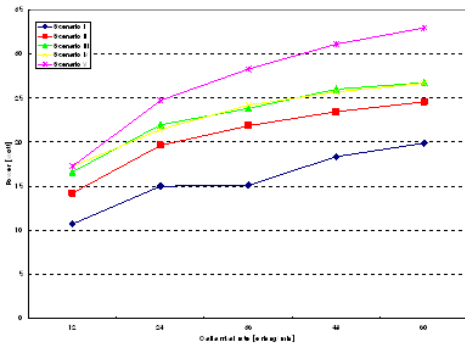


그림 11. 전력 사용량 비교

표 3. 시나리오 II 에서 코드간 스위칭 기법 성능

Implementation	Call blocking probability	Outage probability	Throughput
w/o code switching	37.17 %	52.38 %	4259 Kbps
w/ code switching	36.35 %	28.09 %	4612 Kbps
Gain compared to the case with no code replacing	2.20 %	46.37 %	8.29 %

표 4. 시나리오 V에서 코드간 리플레이싱 기법 성능

Implementation	Call blocking probability	Outage probability	Throughput
w/o code replacing	44.66 %	19.28 %	3756 Kbps
w/ code replacing	44.32 %	19.09 %	3878 Kbps
Gain compared to the case with no code replacing	0.76 %	0.98 %	3.24 %

시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 성능을 비교한 결과, 시나리오 2는 코드 스위칭과 기지국과 중계기 채널 구분을 위한 S-CPICH 사용에 따른 추가적 전력 소비에도 불구하고, 호 차단 확률이 다른 시나리오에 비해서 모두 낮은 값을 가짐을 보였다. 또한 스루풋 성능 역시 다른 시나리오에 비해서 향상된 것으로 보였다. 이는 코드의 효율적 사용에 대한 효과뿐만 아니라, 중계기를 통한 전력의 효율적 사용에 대한 효과가 크기 때문이었다. 반면에 시나리오 3과 시나리오 4는 코드간 간섭을 줄이기 위해서 secondary 코드를 기지국과 중계기에서 한쪽에서만 사용하게 되었으나, secondary 코드 사용자의 타겟 SINR을 만족하기 위한 전력 손실과 S-CPICH의 사용으로 인한 추가적 전력 소실로 인해 호 차단 확률이 도리어 높아짐을 보였다. 시나리오 1은 다른 시나리오에 비해서 가장 좋은 아웃티지 성능을 보이고 있음을 보였다. 하지만 데이터 서비스의 수용

능력이 가장 떨어졌다. 시나리오 3과 시나리오 4 그리고 시나리오 5에 스크램블 코드의 리플레이싱 기법을 적용했으나, 그 성능의 개선이 크게 나타나지는 않았다. 이의 개선을 위해서 기지국이 단말기 별로 사용한 전력을 기준으로 리플레이싱의 기준을 정하는 방법으로 수정하면 더 성능의 개선 폭이 커질 것으로 예상된다.

부 록

그리고 본 장에서 사용할 수식에 대한 기호를 먼저 아래와 같이 표시한다.

$P_{P-CPICH}$: 기지국 P-CPICH 송신 전력

$\widetilde{P}_{P-CPICH}$: 중계기 P-CPICH 송신 전력

$P_{m,s}$: s 섹터 기지국이 m 사용자에게 송신하는 데이터 채널 전력

$\widetilde{P}_{m,s}$: s 섹터 중계기가 m 사용자에게 송신하는 데이터 채널 전력

$P_{tot,s}$: s 섹터 기지국의 현재 사용하고 있는 총 전력

$\widetilde{P}_{tot,s}$: s 섹터 중계기가 현재 사용하고 있는 총 전력

$P_{tot,s}^p$: s 섹터 기지국의 현재 primary 스크램블 코드 사용 총 전력

$\widetilde{P}_{tot,s}^p$: s 섹터 중계기의 현재 primary 스크램블 코드 사용 총 전력

$P_{tot,s}^s$: s 섹터 기지국의 현재 secondary 스크램블 코드 사용 총 전력

$\widetilde{P}_{tot,s}^s$: s 섹터 중계기의 현재 secondary 스크램블 코드 사용 총 전력

$G_{m,s}$: s 섹터 기지국에서 m 사용자까지의 채널 이득 (경로손실, 음영효과, 안테나 이득)

$\widetilde{G}_{m,s}$: s 섹터 중계기에서 m 사용자까지의 채널 이득 (경로손실, 음영효과, 안테나 이득)

α_n : n 번째 다중 경로 탭 이득

N_T : 다중 경로 탭 총 개수

N_S : 기지국 수, N_R : 중계기 수, N : 열 잡음

α : 직교성 상수 (orthogonality factor)

$SINR_{m,s}$: s 섹터의 m 번째 사용자의 수신 SINR

$SINR_{m,s}^p$: s 섹터의 m 번째 primary 스크램블 코드 사용자의 수신 SINR

$SINR_{m,s}^s$: s 섹터의 m 번째 secondary 스크램블 코

드 사용자의 수신 SINR

$SINR_{m,s}^{P-CPICH}$: s 섹터의 m 번째 사용자의 P-CPICH

수신 SINR

$SINR_{m,s}^{S-CPICH}$: s 섹터의 m 번째 사용자의 S-CPICH

수신 SINR

해당하는 시나리오별로 데이터 채널의 수신 SINR을 구하면 다음과 같다.

A. 시나리오 I

$$SINR_{m,s} = \frac{(P_{m,s} G_{m,s} + \widetilde{P}_{m,s} \widetilde{G}_{m,s}) \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((P_{tot,s} + P_{P-CPICH}) G_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s} + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k} + P_{P-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r} + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.1)$$

B. 시나리오 II

$$SINR_{m,s}^{Primary} = \frac{(P_{m,s} G_{m,s}) \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((P_{tot,s}^p + P_{P-CPICH} + P_{S-CPICH}) G_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k}^p + P_{P-CPICH} + P_{S-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH} + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.2)$$

$$SINR_{m,s}^{Secondary} = \frac{(\widetilde{P}_{m,s} \widetilde{G}_{m,s}) \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((\widetilde{P}_{tot,s}^s + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} + (P_{tot,s}^s + P_{P-CPICH} + P_{S-CPICH}) G_{m,s} + \widetilde{P}_{P-CPICH} \widetilde{G}_{m,s} \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k}^s + P_{P-CPICH} + P_{S-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r}^s + \widetilde{P}_{P-CPICH} + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.3)$$

C. 시나리오 III

$$SINR_{m,s}^{Primary} = \frac{(P_{m,s}^p G_{m,s} + \widetilde{P}_{m,s}^p \widetilde{G}_{m,s}) \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((P_{tot,s}^p + P_{P-CPICH}) G_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} + (P_{tot,s}^s + P_{S-CPICH}) G_{m,s} \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k}^p + P_{P-CPICH} + P_{S-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.4)$$

$$SINR_{m,s}^{Secondary} = \frac{P_{m,s}^s G_{m,s} \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((P_{tot,s}^s + P_{S-CPICH}) G_{m,s} + ((P_{tot,s}^p + P_{P-CPICH}) G_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s}) \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k}^s + P_{P-CPICH} + P_{S-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r}^s + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.5)$$

D. 시나리오 IV

$$SINR_{m,s}^{Primary} = \frac{(P_{m,s} G_{m,s} + \widetilde{P}_{m,s}^p \widetilde{G}_{m,s}) \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((P_{tot,s}^p + P_{P-CPICH}) G_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s}^s + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k}^p + P_{P-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH} + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.6)$$

$$SINR_{m,s}^{Secondary} = \frac{\widetilde{P}_{m,s}^s \widetilde{G}_{m,s} \sum_{n=1}^{N_T} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((\widetilde{P}_{tot,s}^s + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s} + ((P_{tot,s}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) G_{m,s} + (\widetilde{P}_{tot,s}^p + \widetilde{P}_{P-CPICH}) \widetilde{G}_{m,s}) \right) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_S} (P_{tot,k}^s + P_{P-CPICH}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_R} (\widetilde{P}_{tot,r}^s + \widetilde{P}_{P-CPICH} + \widetilde{P}_{S-CPICH}) \widetilde{G}_{m,r} + N} \quad (A.7)$$

D. 시나리오 IV

$$SINR_{m,s}^{Primary} = \frac{\left(P_{m,s}^p G_{m,s} + \tilde{P}_{m,s}^p \tilde{G}_{m,s} \right) \sum_{n=1}^{N_s} |\alpha_n|^2}{\alpha \left((P_{int,s}^p + P_{p-cpich}) G_{m,s} + (\tilde{P}_{int,s}^p + \tilde{P}_{p-cpich}) \tilde{G}_{m,s} \right) + (P_{int,s}^p G_{m,s} + \tilde{P}_{int,s}^p \tilde{G}_{m,s}) + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_s} (P_{int,k} + P_{p-cpich}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_s} (\tilde{P}_{int,r} + \tilde{P}_{p-cpich}) \tilde{G}_{m,r} + N}$$

(A.8)

$$SINR_{m,s}^{Secondary} = \frac{\left(P_{m,s}^s G_{m,s} + \tilde{P}_{m,s}^s \tilde{G}_{m,s} \right) \sum_{n=1}^{N_s} |\alpha_n|^2}{\alpha \left(P_{int,s}^s G_{m,s} + \tilde{P}_{int,s}^s \tilde{G}_{m,s} \right) + (P_{int,s}^s + P_{p-cpich}) G_{m,s} + (\tilde{P}_{int,s}^s + \tilde{P}_{p-cpich}) \tilde{G}_{m,s} + \sum_{k=1, k \neq s}^{N_s} (P_{int,k} + P_{p-cpich}) G_{m,k} + \sum_{r=1, r \neq s}^{N_s} (\tilde{P}_{int,r} + \tilde{P}_{p-cpich}) \tilde{G}_{m,r} + N}$$

(A.9)

참 고 문 헌

[1] "IxEV-DV Evaluation Methodology-Addendum (V6)", 3GPP2 WG5 Evaluation Ad Hoc, July 25, 2001.

[2] (2005) Physical Channels and Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD). 3GPP TS 25.211. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org>

[3] (2005) Spreading and Modulation (FDD). 3GPP TS 25.213. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org>

[4] H. Holma and A. Toskala, WCDMA for UMTS, 2nd ed., West Sussex: John Wiley & Sons, 2002.

[5] Maciej J. Nawrocki, M. Dohler and A. H. Aghvami "Understanding UMTS Radio Network : Modeling, Planning and Automated Optimisation," John Wiley & Sons, 2006.

[6] Frank Brouwer, "Performance Analysis and Allocation Strategy for the WCDMA Second Scrambling Code," *LNCS 3260*, pp. 389-398, 2004.

[7] Hu Rong and Kimmo Hiltunen, "Performance Investigation of Secondary Scrambling Codes in WCDMA Systems," *IEEE VTC-spring*, vol 2, pp. 698-702, May 2006.

[8] Y.Tseng, C.Cha and S.Wu, "Code Placement and Replacement Strategy for Wideband CDMA OVSF Code Tree Management," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, Vol.1, No.4, Oct.-Dec. 2002, pp.293-302.

[9] Ramiro-Moreno, J, Pedersen K. I. and Morgensen P.E. "Capacity Gain of Beamforming Techniques

in a WCDMA System Under Channelization Code Constraints," *IEEE Trans. Commun.*, Vol 3, pp.1199-1208, July 2006.

[10] D.Staehle, "On the Code and Soft Capacity of the UMTS FDD Downlink and the Capacity Increase by using a Secondary Scrambling Code," *IEEE Int. Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Communication*, 2005.

[11] Mehta. N.B., Greenstein L.J., Willis. T.M. and Kostic. Z "Analysis and Results for the Orthogonality Factor in WCDMA Downlinks," *IEEE Trans. Commun.* Vol2. No. 6, Nov 2003

[12] Recommendation ITU-R M.1225, Guideline for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.

[13] R.Patachaianand and K. Sandrasegaran, "System-Level Modeling and Simulation of Uplink WCDMA," *Proc. 5th Int. Conf. on Information Technology*, pp.1071-1076, 2008.

[14] S.A.Ghorashi, E. Homayounvala, F. Said and A.H. Aghvami, "Dynamic Simulator for Studying WCDMA Based Hierarchical Cell Structures," *IEEE Int. Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Communication*, Sep. 2001.

[15] B. Goransson, B. Hagerman, S. Pertersson, "Advanced antenna systems for WCDMA: Link and system level results", *IEEE PIMRC 2000*, vol. 1, pp.A.26-A.30, Sep. 2000.

[16] Y.Li and Y.L.Guan, "Modified Jake's Model for Simulating Multiple Uncorrelated Fading Waveforms," *IEEE International Conference on Communication*, vol.1, pp46-49, 2000.

[17] M. Gudmundson, "Correlation Model for Shadow Fading in Mobile Radio Systems," *Electronics Letters*, vol. 27, pp. 2145-2146, 1991.

[18] K. Jeong, J. Cheong, T. Park, T. Kim and S. Park, "Performance analysis of DS-CDMA reverse link with fiber-optic repeaters", in *Proc. IEEE VTC-spring*, May 2000.

[19] W. Lee and D. Lee, "The impact of repeaters on CDMA system performance," in *Proc. IEEE VTC-spring*, May, 2000.

[20] K. Hiltunen, "Using RF Repeaters to Improve WCDMA HSDPA Coverage and Capacity

Inside Buildings," *IEEE Int. Symp. Personal Indoor and Mobile Radio Communication*, 2006.

전 은 성 (Eun Sung Jeon) 정회원



2005년 2월 연세대학교 전기전자공학부 (학사)

2007년 2월 연세대학교 전기전자공학과 (석사)

2007년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

<관심분야> Sphere decoder, MIMO iterative detection, OFDM based relaying system, W-CDMA.

박 준 효 (Jun Hyo Park) 준회원



2007년 2월 중앙대학교 전기전자공학부 (학사)

2007년 7월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정

<관심분야> W-CDMA, MIMO detection.

양 장 훈 (Jang Hoon Yang) 정회원



1996년 2월 연세대학교 전기공학과 (학사)

2001년 U.S.C. Dept of Electrical Engineering (석사)

2001년 U.S.C. Dept of Electrical Engineering (박사)

2001년~2006년 삼성전자 책임

연구원

2006년~현재 연세대학교 공과대학 전기전자공학부 연구 교수

<관심분야> CDMA, OFDMA, MIMO, Relay, Cross layer optimization, 간섭 채널, 정보이론, neural signal processing

김 동 구 (Dong Ku Kim) 종신회원



1983년 2월 한국항공대학교 통신공학과

1985년 U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 석사

1992년 U.S.C. Dept. of Electrical Engineering 박사

1994년~현재 연세대학교 전기

전자공학과 교수

<관심분야> CDMA 이동통신, 다중접속 기술, 변조 및 채널 부호화 기술, 스케줄링/MAC기술, 순방향링크 빔성형 기술 및 MIMO기술, UWB, Binary CDMA