

TD-SCDMA 시스템에서의 소프트 핸드오버 적용 및 성능 분석

준회원 박재현*, 설봉*, 종신회원 김덕경*

Employing Soft Handover in TD-SCDMA systems and Its Performance Evaluation

Jae Hyun Park*, Peng Xue* Associate Members, Duk Kyung Kim* Lifelong Member

요약

TDD를 기반으로 하는 TD-SCDMA 시스템에서는 이동국이 셀과 셀 사이로 이동할 때, 통화상태를 유지하기 위해서 바톤 핸드오버(Baton Handover)를 사용한다. 하지만 바톤 핸드오버는 장비와 시스템에 더 높은 복잡도와 더 많은 계산량과 같이 많은 요구사항을 갖는다. 그래서 실제 시스템에서는 하드 핸드오버와 바톤 핸드오버를 병행하여 사용하는데 그 성공률이 95%정도로 실제 시스템에 사용하기에 부적합하다. 본 논문은 이미 WCDMA를 기반으로 성능이 증명된 소프트 핸드오버(Soft Handover)를 TD-SCDMA 시스템에 적용하는 방안을 제안한다. 또한 모의실험을 통해 기존의 바톤 핸드오버방식과 제안된 핸드오버 방식에 대한 BER성능을 측정하였다. 그 결과를 통해 제안된 핸드오버의 BER 성능이 기존의 바톤과 하드핸드오버에 비해서 좋은 성능을 가지는 것을 알 수 있다.

Key Words : TD-SCDMA, Baton Handover, Soft Handover, Multi-Cell Joint Detection

ABSTRACT

In TD-SCDMA systems based on TDD, when mobiles move to cell from cell, Baton Handover was used to maintain an ongoing call. But baton handover has a great demand for the equipment and system. Then both hard handover and baton handover are used alternativly in real systems. But ratio of handover success in real system is 95% which is too low to be used in systems. This paper proposes to employ Soft Handover in TD-SCDMA systems which has performed in WCDMA systems. Also we carry out the simulation, which get result of the BER performance between baton handover method and proposed handover method. The proposed method is forward to be better performance than those of the baton and hard handover.

I. 서론

최근 중국에서는 3G 이동통신 시스템으로 TD-SCDMA(Time Division - Synchronous Code Division Multiple Access) 방식이 정부의 주도하에

부각되고 있고, 이에 따라 3G 사업과 연관되어 중요한 이슈로 등장하였다. TD-SCDMA에서는 이동국이 서비스 중인 기지국의 영역을 벗어나 다른 기지국의 영역으로 이동을 할 때, 계속 통화를 유지하기 위해 통화로를 이동한 셀의 기지국으로 변경하는 핸드오

※ 이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었습니다.

* 인하대학교 정보공학과 무선통신 연구실(pakjjae@gmail.com)

논문번호 : KICS2008-07-328, 접수일자 : 2008년 7월 25일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 17일

버 방식으로 바톤 핸드오버를 적용하였다.^{[1][2]}

TD-SCDMA 시스템에서는 스마트 안테나를 사용한 결합 채널 추정(JCE : Joint Channel Estimation) 및 결합 검출(JD : Joint Detection) 방식의 신호처리를 수행한다. 이 방식은 인트라 셀(intra-call)과 인터 셀(inter-cell)에서의 간섭을 효과적으로 줄여주기 때문에 셀 가장자리에서 이동국들의 이동이나 발생에 의한 로드의 균형을 유지하기 위해서 셀 영역이 유동적으로 변화하는 cell breathing의 영향을 줄인다. 그리고 핸드오버 계산 범위가 모든 주위 셀을 포함하는 소프트 핸드오버경우보다 모든 셀을 포함하고 있지 않는 바톤 핸드오버의 경우가 계산량이 작다. 그래서 TD-SCDMA 시스템에서는 레이크 수신기(RAKE Receiver)를 사용하는 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 시스템과 달리 소프트 핸드오버를 적용하고 있지 않고, 바톤 핸드오버를 적용한다. 그러나 실제 시스템에서의 바톤 핸드오버는 적용하기도 어렵고, 그 성공률은 95%정도로 실제 시스템에 적용하기에 적당하지 않다^[3].

이에 핸드오버의 성능을 높이는 방안으로, 본 논문은 이미 WCDMA를 기반으로 성능이 증명된 소프트 핸드오버를 TD-SCDMA 시스템에 적용하는 방안을 제안한다. 이는 소프트 핸드오버의 특징 중 하나인 다이버시티(Diversity) 수신신호들의 MRC(Maximum Ratio Combining)에의한 이득을 TD-SCDMA 시스템에 이용하기 위함이다. 본 논문은 그 방안으로 WCDMA의 시간차를 가지고 수신되어도 서로 독립된 신호로 인식하는 레이크 수신기를 가지고 동작하는 소프트 핸드오버를 대체할 방법으로 다중 셀 결합채널추정 및 결합검출 방식과 스크램블링(scrambling) 코드 및 확산(spreading) 코드할당을 이용해서 소프트 핸드오버의 구현이 가능하도록 제안하였다.

소프트 핸드오버를 적용하기 위해서는 기존에 서비스 셀에서만 수신하던 신호를 서비스 셀과 목표 셀에서 동시에 수신해야한다. 이에 무선망 제어부(RNC : Radio Network Controller)에서 목표 셀에 핸드오버 영역안의 이동국에 서비스 셀이 할당한 코드정보를 전송하고, 이를 수신한 목표 셀은 핸드오버 영역안의 이동국에게 추가적 링크를 할당하여 하향 링크의 신호를 송신한다. 이에 소프트 핸드오버는 기존의 바톤 핸드오버보다 신호의 복잡도와 계산량이 늘어난다. 하지만 이는 핸드오버의 성능향상에 따라 발생하는 trade-off이다. 모의실험을 통해서 제안한 소프트 핸드오버 방식이 기존의 핸드오버 방식보다 평균 BER 성능이 향상되는 것을 확인하고, 소프트

핸드오버의 적용 방식에 따른 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TD-SCDMA 시스템에서 사용하는 기존의 핸드오버 방안들과 제안하는 핸드오버를 적용하기 위한 기술들을 설명하고, III장은 제안된 핸드오버 방안에 대해 기술한다. IV장은 모의 실험 환경 및 성능 분석을 고찰한다. 그리고 V장은 결론 부분이다.

II. TD-SCDMA의 핸드오버 기술

2.1 하드 핸드오버(Hard Handover)

하드 핸드오버 방식은 이동국이 서비스 중인 기지국(또는 섹터) 영역을 벗어나 다른 기지국(또는 섹터)으로 이동을 할 때, 기존의 통화하던 회선을 먼저 끊은 뒤, 새로운 기지국으로 연결하는 방식을 말한다. 이 방식은 회선을 끊고 새로운 회선을 찾는 사이에 단절이 발생한다. 하지만 이 단절은 사용자가 인지할 수 없을 정도로 짧다. 하드 핸드오버 방식은 보통 서로 다른 주파수를 사용하는 시스템으로 핸드오버를 할 때와 주파수가 같아도 각 교환기 간에 충분히 연동이 이루어지지 않을 때 사용한다.

2.2 바톤 핸드오버(Baton Handover)

스마트 안테나(smart antenna)와 상향링크 동기화(UL synchronization)는 이동국의 위치정보를 제공하고, 이를 통해서 무선망 제어부는 핸드오버 요청을 예측할 수 있다. 무선망 제어부는 예측결과를 가지고 핸드오버를 준비하고, 목표 셀의 기지국과 이동국간의 pre-synchronization을 수행한다. 이동국은 pre-synchronization을 통하여 목표 셀의 기지국으로 미리 상향링크 채널 안에 도착 시간과 전력 정보를 포함시켜서 보낸다. 이때의 도착 시간의 정보는 "timing squence"를 통해서 신호가 도착하는 시간을 계산할 수 있고, 이는 셀간의 동기를 맞추는데 사용된다. 이는 핸드오버 시간을 감축하고, 목표 셀의 가용용량이 부족해서 핸드오버가 저지되는 핸드오버 저지현상을 줄여서 핸드오버 과정을 간단하게 만든다. 그래서 핸드오버의 신뢰성이 향상된다. 이와 같은 과정의 핸드오버를 바톤 핸드오버라고 한다. ^[4]

다음의 그림 1은 바톤 핸드오버의 진행과정을 3단계로 나타낸 그림이다.

상향링크 pre-synchronization 기술을 이용하면 그림 1의 B와 같이 핸드오버 진행 중에 서비스 셀에 하향링크를 연결한 상태로 동시에 목표 셀과 상향링크를 연결할 수 있게 된다. 그리고 목표 셀의 신호

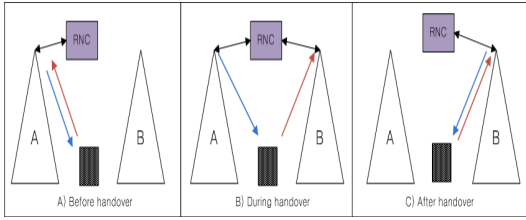


그림 1. 바톤 핸드오버 진행과정

의 세기가 기준치 이상이 되면, 서비스 셀에 연결되어 있던 하향링크를 끊고 목표 셀에 하향링크를 연결함으로써 핸드오버를 완료한다. 이를 통해서 하드 핸드오버에서 발생하는 지연(단절) 시간을 줄이고 핸드오버 성공률을 향상시키는 동시에 동작 억제율을 줄인다^[5].

하지만 바톤 핸드오버를 하기 위해서는 사용자의 위치정보, 주파수 정보 코드정보 및 하향링크의 타이밍 정보 등이 필요하기 때문에 신호의 복잡성과 이동국의 계산량이 매우 늘어난다. 이에 실제 시스템에서는 하드 핸드오버와 병행해서 사용되고 있다.

2.3 다중셀 결합 채널 추정(Multi-cell JCE)

TD-SCDMA 시스템에서 결합 채널 추정(JCE)은 각 사용자들에게 전달되는 두 데이터 파트사이에 있는 미드엠블(midamble) 부분을 이용해서 고려하는 셀 안에 활동 중인 사용자들의 채널 임펄스 응답을 추정하는 것이다. 다중 셀 결합 채널 추정은 한 개 이상의 셀에서 수신되는 미드엠블 부분을 가지고 확장한 미드엠블 행렬을 만들어 다중 셀의 사용자들의 채널 임펄스 응답을 추정하는 방법으로 제안되었다^{[6][7]}.

다음은 B개의 셀에서 수신된 미드엠블 부분 e_{mid} 의 구조를 나타내는 식이다. 다중 셀 미드엠블 행렬 G_M 은 서비스 셀의 $G^{[1]}$ 과 인접한 셀들의 $G^{[2] \sim [B]}$ 의 미드엠블 정보를 합쳐서 만든다. 이를 위해서는 기본 미드엠블 코드와 전송된 코드정보가 필요하다. 만약, 코드정보를 가지고 있지 않으면 확장된 미드엠블 행렬에 들어가지 않는다.

$$\begin{aligned}
 e_{mid} &= \sum_{a=1}^B G^{[a]}h^{[a]} + n \\
 &= [G^{[1]} \dots G^{[B]}] \begin{bmatrix} h^{[1]} \\ \vdots \\ h^{[B]} \end{bmatrix} + n \\
 &= G_M \cdot h + n
 \end{aligned} \tag{1}$$

다음은 각 셀들의 미드엠블 행렬을 가지고 확장된

미드엠블 행렬 G_M 의 예를 나타내는 수식이다.

$$\begin{aligned}
 G_M &= [G^{[1]} G^{[2]} \dots G^{[B]}] \\
 &= \begin{bmatrix} m_{128} \dots m_{113} & m_{112} \dots m_{97} & \dots & m_{16} \dots m_1 \\ m_1 \dots m_{114} & m_{113} \dots m_{98} & \dots & m_{17} \dots m_2 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ m_{127} \dots m_{112} & m_{111} \dots m_{96} & \dots & m_{15} \dots m_{128} \end{bmatrix} \\
 &\quad \begin{matrix} G^{[1]} & G^{[2]} & & G^{[B]} \end{matrix} \tag{2}
 \end{aligned}$$

다음은 식 2의 확장된 미드엠블 행렬 G_M 을 이용하여 사용자들의 채널 임펄스 응답을 추정하는데 이용한다.

$$\begin{aligned}
 \hat{h} &= (G_M^H G_M)^{-1} G_M^H e_{mid} \\
 &= (G_M^H G_M)^{-1} G_M^H (G_M \cdot h + n) \\
 &= h + (G_M^H G_M)^{-1} G_M^H n
 \end{aligned} \tag{3}$$

식 3에서 나온 채널 임펄스 응답 \hat{h} 을 가지고 다중 셀 결합 검출을 위한 결합 검출 행렬을 만드는데 사용되어진다.

2.4 다중셀 결합 검출(Multi-cell JD)

TD-SCDMA에서는 MAI(Multiple Access Interference)와 ISI(Inter-Symbol Interference)를 제거하기 위해서 결합 검출(JD)을 사용한다. 단일 셀 결합 검출의 경우, 결합 검출을 하려는 이동국이 위치하는 셀 또는 인접 셀로부터 간섭을 받게 된다. 이는 단일 셀 결합 검출은 서비스 셀 간섭은 제거하지만, 인접 셀들로부터의 간섭은 제거하지 못하기 때문이다. 하지만 다중 셀 결합 검출의 경우, 서비스 셀과 인접 셀에서 보내주는 신호의 코드 및 채널정보를 가지고 신호를 검출하기 때문에 서비스 셀과 인접 셀들로부터의 간섭을 제거할 수 있다. 그래서 다중 셀 결합 검출을 사용하는 수신 단에서는 셀 간 간섭 제거(IIC: Inter-cell Interference Cancellation)을 통해 성능 향상을 기대할 수 있다. 다중 셀 결합 검출은 성능에 영향을 미치는 인접 셀들로부터의 간섭 신호들을 선택하여 수신된 신호의 채널 정보와 스크램블링, 확산 코드의 정보를 이용하여 결합 검출행렬을 생성한다.

다음은 수신된 데이터부분을 서비스 셀과 인접 셀의 사용자 정보를 합쳐서 확장된 결합 검출 행렬 A_M 로 나타내는 과정이다. 결합 검출 행렬 A_M 을 만

듣기 위해서는 사용자 정보인 active user의 수, 사용된 코드정보 뿐만이 아니라 다중 셀 결합 채널 추정을 통해 알아낸 채널 임펄스 응답의 정보도 필요하다⁸⁾.

$$A = \begin{bmatrix} b_1^{(1)} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_q^{(1)} & b_1^{(k)} & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{q+w-1}^{(1)} & b_q^{(k)} & \vdots \\ 0 & \vdots & b_1^{(k)} \\ \vdots & b_{q+w-1}^{(k)} & b_q^{(k)} \\ \vdots & 0 & \vdots \\ 0 & \vdots & b_{q+w-1}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 4에서 $b^{(k)}$ 는 k번째 이동국의 채널 임펄스 열 $h^{(k)}$ 과 스크램블 코드와 확장코드의 곱으로 이루어진 $c^{(k)}$ 의 convolution으로 정의된다.

$$b^{(k)} = c^{(k)} * h^{(k)} = (b_1^{(k)} \ b_2^{(k)} \ \dots \ b_{q+w-1}^{(k)}) \quad (5)$$

식 5에서의 q와 w는 각각 스크램블링 코드와 확장코드의 길이를 나타내고, q+w-1는 컨볼루션후의 코드의 길이를 나타낸다.

식 4의 시스템 결합 검출행렬 A를 가지고, 다중 셀 결합 검출행렬 A_M 을 만든다. 이를 이용해서 수신된 신호 e로부터 송신된 데이터 d를 검출하는 결합 검출 과정은 다음과 같다.

$$e = \sum_{a=1}^B A^{[a]} \cdot d^{[a]} + n = [A^{[1]} \ \dots \ A^{[B]}] \begin{bmatrix} d^{[1]} \\ \vdots \\ d^{[B]} \end{bmatrix} + n = A_M \cdot d + n \quad (6)$$

$$\hat{d} = (A_M^H A_M)^{-1} A_M^H e = d + (A_M^H A_M)^{-1} A_M^H n \quad (7)$$

검출된 데이터 \hat{d} 에서 d는 송신된 데이터를 나타내고, $(A_M^H A_M)^{-1} A_M^H n$ 는 잡음성분을 나타낸다.

III. 제안된 핸드오버 방식

3.1 소프트 핸드오버

소프트 핸드오버는 레이크 수신 기능을 이용하여,

두 개의 통화로를 수용하게 된다. 그래서 소프트 핸드오버는 하드 핸드오버와는 다르게 두 개 이상의 기지국을 active set으로 가지고 있다. 이러한 이유로 소프트 핸드오버 방식은 하드 핸드오버보다 호절단률(call drop rate)이 줄어들고, 핑퐁(ping-pong)효과가 일어날 때 서비스의 연속성을 유지해주기 때문에 핸드오버의 발생을 줄일 수 있다. 그리고 소프트 핸드오버는 하향링크로 들어오는 다이버시티 신호를 finger별로 수신하고, MRC하기 때문에 BER성능의 향상까지 기대 할 수 있다. 하지만 TD-SCDMA 시스템에서는 바톤 핸드오버와 하드 핸드오버 방식을 사용한다. 이는 소프트 핸드오버는 장비와 시스템의 복잡도 문제와 타이밍 문제가 야기하는 높은 processing capability requirement 때문에 TDD 시스템에서 사용되지 않기 때문이다⁴⁾.

이에 본 절에서는 TDD에서 사용하지 않는 소프트 핸드오버를 레이크 수신을 사용하지 않고, 기존의 안테나를 이용하여 구현을 하는 방법을 제시한다. 소프트 핸드오버를 구현하기 위해서는 가장 먼저 핸드오버 영역안의 사용자를 위해서 서비스 셀과 목표 셀의 기지국에서 동일한 데이터를 송신해야 한다. 이는 소프트 핸드오버를 하기 위한 가장 기본적인 설정으로 양쪽 기지국에서 동일한 신호를 핸드오버 영역안의 이동국으로 송신하고, 이동국은 양쪽에서 송신한 신호를 모두 수신해야한다. 그리고 두 번째로 무선망 제어부는 서비스 셀에서 핸드오버 영역안의 이동국에 할당한 코드정보를 목표 셀에 전달을 하고, 목표 셀의 기지국은 이동국에게 미드엠블 코드를 제외한 스크램블링 코드와 확산 코드를 서비스 셀과 동일하게 할당해서 추가적 링크를 연결한다. 그리고 마지막으로 다중 셀 결합 추정 및 검출을 위해서 이동국은 현재 셀과 주위 셀에서 할당한 코드 정보를 모두 가지고 있어야 한다. 이는 다중 셀 결합 추정 및 검출을 통해서 기존의 소프트 핸드오버가 다이버시티 신호를 finger별로 수신하는 역할을 하기위해서다. 이와 같은 설정은 기존의 시스템에서 처리해야할 정보와 복잡도가 높아질 것이라고 예상할 수 있지만, 소프트 핸드오버를 적용함으로써 성능향상이 발생한다.

3.2 소프트 핸드오버의 진행과정과 동작

TD-SCDMA 시스템에서 소프트 핸드오버가 동작하기 위해서 소프트 핸드오버의 진행과정은 다음의 그림들에 확인할 수 있다.

다음의 그림들은 이동국 C가 이동하면서 소프트 핸드오버 알고리즘에 따라 코드의 할당이 변하는 것

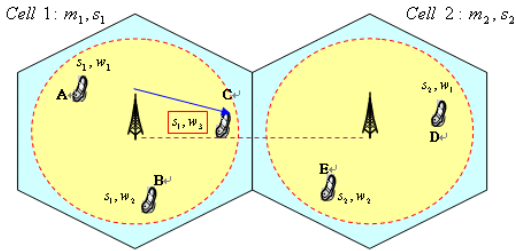


그림 2. 동국 C가 셀 1 영역에 있을 때의 코드할당

을 보여 준다. 여기서 육각형 두 개는 두 개의 셀을 나타내고, 그 셀 안의 원 안은 핸드오버 발생지역이 아닌 부분을 나타낸다. 하향링크 상황에서 각 셀의 기지국은 셀 안의 모든 이동국에게 셀 1은 m1을 셀 2는 m2의 미드엠블 코드 인덱스를 갖는 코드를 할당한다. 이는 두 기지국에서 보내온 신호들이 겪는 채널 응답을 각각 m1과 m2를 이용해서 추정하기 위함이다. 또, s는 스크램블링 코드를 나타내고, w는 확산 코드를 나타낸다. 스크램블링 코드는 셀을 구분하는 역할을 하고, 확산 코드는 이동국을 구분하는 역할을 한다. 셀 1은 셀 안의 사용자에게 s1을 할당하고, 셀 2는 셀 안의 사용자에게 s2를 할당한다.

그림 2는 이동국 C가 서비스 셀에서 핸드오버 영역 안에 들어가기 직전에 각 셀 안의 이동국들에 대한 코드 할당을 보여준다. 셀 1 안에는 이동국 A, B, C가 위치하고 있고, 셀 2 안에는 이동국 D, E가 위치하고 있다. 셀 1 안의 이동국들에게 보내는 신호에는 스크램블링 코드 1번이 할당되고, 셀 2 안의 이동국들에게 보내는 신호에는 스크램블링 코드 2번이 할당된다. 셀 1 안의 이동국 A, B, C에게는 각각 w1, w2, w3의 확산 코드가 할당되고, 셀 2 안의 이동국 D, E에게는 각각 w1, w2의 확산 코드가 할당된다.

- Cell 1안의 이동국의 코드할당 :
 A : m1, s1, w1 B : m1, s1, w2
 C : m1, s1, w3
- Cell 2안의 이동국의 코드할당 :
 D : m2, s2, w1 E : m2, s2, w2

상기와 같이 코드할당을 한 상태에서 단말은 주변 셀에서 규칙적으로 P-CCPCH RSCP(Primary - Common Control Physical Channel Received Signal Code Power)를 수신하여 주위 셀에 대한 정

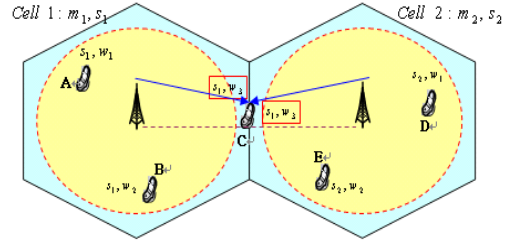


그림 3. 이동국 C가 핸드오버 영역 안에 있을 때의 코드할당

보를 계속해서 측정한다. 핸드오버가 필요한 상황이 되면 무선망 제어부는 목표 셀을 설정하고, 목표 셀의 기지국으로 서비스 셀에서 핸드오버가 필요한 이동국으로 할당한 코드정보들을 제공한다. 이는 동일한 코드의 동일한 데이터를 목표 셀과 서비스 셀 양쪽의 기지국에서 핸드오버가 필요한 이동국으로 송신하기 위함이다.

그림 3는 이동국 C가 핸드오버 영역에 위치하고 있을 때의 코드 할당을 보여준다. 즉, 이동국 C가 핸드오버가 필요한 상황이 되었음을 나타낸다. 이때는 셀 1의 기지국에서 보내는 신호는 이동국 C가 핸드오버 영역에 들어오기 직전의 코드 할당과 같지만, 목표 셀인 셀 2의 기지국에서 이동국 C로 보내는 신호에 할당된 코드는 s2, w3이 아니라 무선망 제어부로부터 수신한 정보를 바탕으로 셀 1의 기지국에서 보내는 신호와 동일한 s1, w3을 할당한다. 이를 통해서 핸드오버 영역 안의 이동국이 수신하는 신호가 같은 코드의 데이터로 이루어져 동일한 신호가 독립적인 채널을 수신되는 다이버시티 효과가 나타난다. 하지만 채널추정에 사용되는 미드엠블 코드는 각 셀에서 사용하는 코드를 그대로 사용한다. 그래야 독립적인 채널을 타고온 추가적 링크의 채널 응답을 추정할 수 있기 때문이다. 그리고 추가적 링크를 포함한 이동국 C가 수신한 신호는 다음과 같다.

- 이동국 C가 수신한 신호

1. NB 1으로부터 수신한 신호

$$e_1 = \sum_{k=1}^3 d^{(k)} c^{(k)} * h1 + n \tag{8}$$

$$= [d^{(1)} c^{(1)} + d^{(2)} c^{(2)} + d^{(3)} c^{(3)}] * h1 + n$$

2. NB 2으로부터 수신한 신호

$$e_2 = \sum_{k=3}^5 d^{(k)} c^{(k)} * h2 + n \tag{9}$$

$$= [d^{(3)} c^{(3)} + d^{(4)} c^{(4)} + d^{(5)} c^{(5)}] * h2 + n$$

식 8과 9은 이동국 C가 셀 1과 2로부터 수신한 신호를 나타낸다. 여기서 $d^{(1)} \sim (5)$ 는 각 이동국 A~D에 송신되는 데이터 열을 나타내고, $c^{(1)} \sim (5)$ 는 각 이동국에 할당된 signature 코드를 나타낸다. 이 signature 코드는 각 이동국에 할당된 스크램블링 코드와 확산코드의 곱으로 나타낸다. h_1 과 h_2 는 각 셀에서 이동국 C까지의 채널 응답을 나타낸다. 이동국 C가 수신하는 신호를 다중 셀 결합 검출을 위해서 두 신호의 합을 나타내면 다음의 식이 된다.

$$\begin{aligned}
 e &= e_1 + e_2 & (10) \\
 &= [d^{(1)}c^{(1)} + d^{(2)}c^{(2)}] * h_1 \\
 &\quad + [d^{(4)}c^{(4)} + d^{(5)}c^{(5)}] * h_2 \\
 &\quad + d^{(3)}c^{(3)} * (h_1 + h_2) + n
 \end{aligned}$$

여기서 이동국 C에 할당된 데이터 $d^{(3)}$ 을 보면 채널 응답 h_1 과 채널 응답 h_2 모두를 가지고 있게 된다. 만약 결합 추정을 통해서 정확한 채널 응답을 찾아낸다면, 이를 통해서 핸드오버 영역 안에서 $d^{(3)}c^{(3)} * h_1$ 만 수신하던 기존의 핸드오버 방식보다 $d^{(3)}c^{(3)} * h_2$ 만큼의 이득이 생긴다. 이는 독립된 경로에 의한 다이버시티 이득이라 말할 수 있다. 이동국 C가 수신한 신호는 결합검출의 방법에 따라 다르게 검출된다. 먼저 단일셀 결합검출 방법을 사용했을 경우, NB1에서 보내는 신호 $d^{(1)} \sim (3)$ 는 검출하지만 NB2에서 보내는 신호 $d^{(4)} \sim (5)$ 는 간섭으로 간주한다. 이는 단일셀 결합검출은 인접 셀의 신호에 할당된 코드정보가 없기 때문에 셀 2에서 보내준 $d^{(4)} \sim (5)$ 를 검출할 수 없어서이다. 하지만 다중 셀 결합검출방법을 사용했을 경우, NB1과 NB2에서 보내는 신호를 검출할 수 있기 때문에 간섭의 영향이 $[d^{(4)}c^{(4)} + d^{(5)}c^{(5)}] * h_2$ 만큼 줄어든다. 이를 통해서 다중 셀 결합검출방법을 사용했을 경우에 서비스 셀의 간섭제거가 효과적으로 되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 다중 셀 결합검출방법을 사용하기 위해서는 이동국이 인접 셀의 코드할당 정보를 가지고 있어야하기 때문에 신호의 복잡도가 인접 셀의 개수의 배만큼 올라간다.

마지막으로 그림 4는 이동국 C가 핸드오버 영역에서 나와서 셀 2영역으로 들어갔을 때 코드의 할당을 보여준다. 즉, 셀 2에서 수신되는 신호의 세기가 기준치(threshold) 이상이 되어 셀 2를 서비스 셀로 다시 설정하고, 셀 1과의 연결을 끊는 상황이다. 이

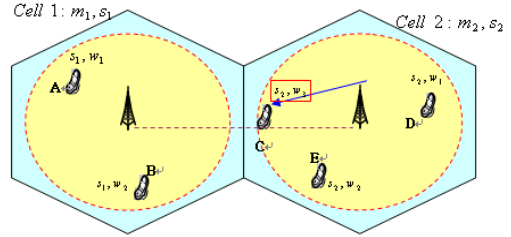


그림 4. 이동국 C가 셀 2 영역으로 들어갔을 때의 코드할당

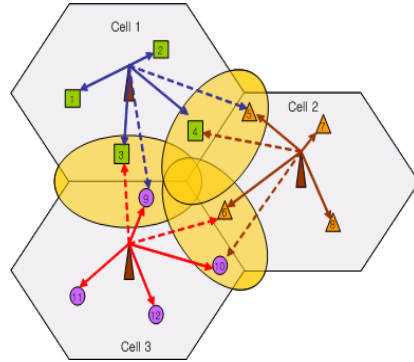


그림 5. 3셀 핸드오버 상황

때, 이동국 C 이외의 이동국들을 위한 코드 할당은 그림 3과 동일하다. 하지만 셀 2영역으로 들어간 이동국 C를 위한 셀 1의 링크에서의 코드할당은 해지되고, 셀 2는 새로이 들어온 이동국 C를 위해서 s_2, w_3 을 할당함으로써 소스 셀에서 목표 셀로의 핸드오버가 종료됨을 알 수 있다.

그림 5는 3셀의 셀룰러 상황에서 핸드오버가 필요한 상황이 발생될 때를 보여준다. 3개의 셀에는 각각 4개의 이동국이 존재하고 있고, 그 이동국들 중 2개는 핸드오버 영역 안에 위치하고 있다. 이와 같은 상황에서 3개의 셀은 서로 서비스 셀과 목표 셀로 설정된다. 목표 셀로 설정된 셀은 기존에 서비스 셀로서 연결된 링크이외에 추가적 링크를 핸드오버가 필요한 이동국으로 연결한다. 그림 5에서는 서비스 셀로서 연결된 링크는 실선으로 나타내고, 목표 셀로서 추가한 링크는 점선으로 나타낸다.

이때, 셀 1에서 송신되는 하향링크의 신호를 나타내면 다음과 같다.

그림 5와 같이 3개 이상이 셀이 겹쳐있는 상황에서는 그림 6과 같이 하향링크 신호에 추가적 링크가 늘어나게 된다. 이 신호에 할당된 모든 코드정보가 있는 이동국은 하향링크 신호에서 모든 링크들을 검출할 수 있기 때문에 간섭의 영향이 적다. 하지만

만약 추가적 링크들의 코드정보를 가지고 있지 않는 이동국의 경우 하향링크의 신호에서 추가적 링크를 검출하지 못하기 때문에 간섭의 영향이 늘어난다.

1(s1,w1)	m1	1(s1,w1)	=>이동국1을 위한 링크
2(s1,w2)		2(s1,w2)	=>이동국2을 위한 링크
3(s1,w3)		3(s1,w3)	=>이동국3을 위한 링크
4(s1,w4)		4(s1,w4)	=>이동국4을 위한 링크
5(s2,w1)		5(s2,w1)	=>이동국5을 위한 추가적 링크
9(s3,w1)		9(s3,w1)	=>이동국9을 위한 추가적 링크

그림 6. 셀 1에서의 하향링크 신호

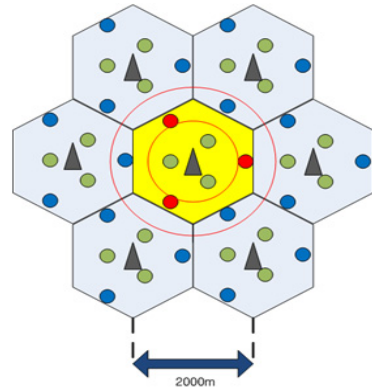


그림 7. 7 cell 셀룰러 환경 layout

IV. 제안된 핸드오버 방식 모의실험

본 절에서는 제안된 소프트 핸드오버 방식을 적용했을 때 시스템의 Raw BER(Uncoded BER) 성능이 향상되는 정도를 알아보는 모의실험을 하였다.

표 1은 모의실험의 기본적인 TD-SCDMA 시스템 환경이다. 이 파라미터를 기준으로 전송할 하향링크 데이터와 셀룰러 환경을 구성한다. 일단 셀은 다음의 그림 7과 같이 구성한다.

제안된 핸드오버 방식의 성능향상을 알아보기 위한 모의실험의 환경은 TD-SCDMA 시스템의 규격을 사용하였다. 모의실험은 표 1의 시뮬레이션 환경을 기초로 하여 1km의 셀 반지름을 갖는 총 7개의 셀 안에 6개의 이동국들을 그림 7과 같이 일정한 곳에 위치시키고, 쉐도잉과 경로손실을 적용한 상태에서

하향링크 상황을 고려하였다. 기지국은 전력제어를 사용하지 않은 상태에서 등방향 안테나를 이용해서 모든 이동국들에 동일한 전송전력으로 데이터를 전송한다. 한 셀에서 6개의 이동국들 중 3개의 이동국은 핸드오버 영역 안에 위치하고, 나머지 3개의 위치를 핸드오버 영역 밖에 위치하도록 하였고, 핸드오버 성능은 7개의 셀들 중심의 서비스 셀의 평균 BER을 통해서 측정하였다. 모의실험은 스냅샷(snapshot) 형식으로 측정하였다.

4.1 소프트 핸드오버와 하드 핸드오버 성능 비교

본 절에서는 제안된 소프트 핸드오버 방식과 기존의 하드 핸드오버 방식을 적용하였을 때 이동국들의 BER 성능의 차이를 알아보기 위한 모의실험을 하였다.

두 방식의 핸드오버의 성능의 비교를 하기 위해서 같은 셀룰러 상황의 이동국이 소프트 핸드오버를 적용했을 때와 하드 핸드오버를 적용하였을 때를 비교하였다. 표 1과 그림 7의 셀룰러 환경에서 핸드오버 영역 안의 이동국들은 측정 셀에서 3개가 존재하게 된다. 각 이동국들은 서로 다른 목표 셀을 가지고 있고, 핸드오버 방식에 따라 각 기지국에서 송신하는 하향링크의 신호가 차이를 갖는다. 그 차이는 제안된 소프트 핸드오버 방식에서 각 이동국들의 목표 셀로 정해진 곳의 기지국들이 기존의 하향링크 신호에 핸드오버 영역안의 이동국을 위한 추가적 링크를 포함하고 있고, 하드 핸드오버의 경우에는 추가적 링크가 없는 것에서 발생한다. 그리고 소프트 핸드오버 방식을 사용하는 경우에는 측정 셀 안의 모든 이동국들은 추가적 링크에 할당된 코드의 정보를 가지고 있다.

그림 8은 전송전력을 13dBm으로 고정한 상태에서 이동국들의 위치를 핸드오버 영역 내에서 변화시키면서, 두 방식을 사용한 이동국들의 평균 BER 그

표 1. 시뮬레이션 환경

Parameter	Value/Explanation
# of Cell	7
# of MS each cell	6
Cell Radius	1 km
Shadowing(σ)	10 dB
pathloss exponent	4
Tx power(dBm)	10-22
Noise power(dBm)	-104
Chip Rate	1.28 Mcps.
Total Number of Chips	704 chips
# of data Field	2
Spreading Factor	16
Scrambling Code Length	16
Modulation Level	2(QPSK)
Duration of TDMA sub-frame	5 ms

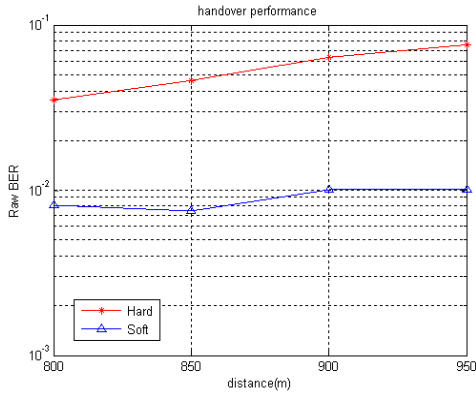


그림 8. 서비스 셀의 기지국과의 거리에 따른 BER 성능 비교

래프를 보인다. 핸드오버 영역 안의 이동국들의 위치는 측정 셀의 기지국을 기준으로 800~950m로 하였다. 이를 통하여 다양한 이동국의 위치에서 핸드오버 방식에 따른 성능의 차이를 보이기 위함이다. 기지국의 전송전력을 고정하였기 때문에 이동국의 위치가 증가할수록 서비스 셀로부터 수신하는 신호의 세기는 감소하고, 목표 셀로부터 수신하는 신호의 세기는 증가한다.

모의실험 결과, 소프트 핸드오버와 하드핸드오버를 적용했을 때의 핸드오버 영역 안의 이동국들이 수신한 신호의 BER 성능은 이동국이 셀 가장자리로 갈수록 열화를 보였다. 이는 셀 가장자리로 갈수록 이동국이 수신하는 신호의 세기의 합이 줄어들고, 간섭의 영향이 늘어나기 때문이다. 그리고 두 방식을 서로 비교하였을 때, 소프트의 경우가 하드의 경우보다 셀 가장자리로 위치할 때의 성능의 열화가 적음을 확인할 수 있다. 이는 소프트의 경우가 추가적 링크에 의해서 셀 가장자리에서 신호의 세기의 합이 감소되는 양이 상대적으로 적기 때문이다.

4.2 소프트 핸드오버 적용 방안에 대한 모의실험

이 모의실험은 소프트 핸드오버의 적용방법에 따른 성능을 비교한다. 4.1절의 모의실험은 소프트 핸드오버 방식은 모든 이동국이 인접에서 전송하는 추가적 링크에 대한 정보를 알고 있다는 전제조건하에 이루어졌다. 하지만 이 모의실험에서는 추가적 링크의 정보의 유무에 따른 핸드오버 영역 안쪽의 이동국들의 다중 셀 결합검출의 영향을 알아본다. 이때 이동국들의 위치는 고정을 하고, 기지국에서 보내는 전송전력을 변화시키면서 BER 성능을 비교한다.

실험의 결과를 확인하면, 핸드오버 영역안의 이동

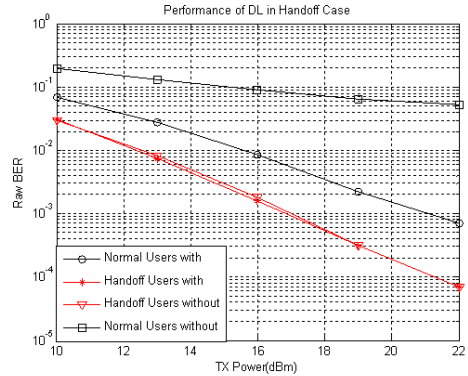


그림 9. 추가적 링크의 유무에 따른 성능 비교

국들의 BER 성능은 정보의 유무와 상관없이 일정한 성능을 보였다. 이는 핸드오버 영역안의 이동국에 할당된 코드는 목표 셀과 서비스 셀이 동일하기 때문에 코드 정보의 유무에 상관없이 검출할 수 있기 때문이다. 하지만 핸드오버 영역 밖의 이동국들의 BER 성능은 추가적 링크의 정보가 없을 때가 있을 때보다 성능이 나쁠을 확인할 수 있다. 그리고 기지국의 전송전력이 커질수록 성능의 차이가 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 추가적 링크의 정보를 모를 때의 핸드오버 영역 밖의 이동국은 추가적 링크를 간섭으로 받아들이기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서 분석된 결과 다중 셀 결합채널추정 및 결합검출 방식을 이용하는 경우 소프트 핸드오버를 구현하고 적용하여 핸드오버 성능을 향상시킬 수 있었다. 이때, 채널 재할당 및 2개 이상의 연결을 유지하기 위한 시그널링 오버헤드에 따른 복잡도의 증가가 예상되지만, 현재 시스템의 만족스럽지 못한 핸드오버 성능을 고려할 때 TD-SCDMA 시스템의 성능 개선을 위한 주요한 연구 방향으로 대두될 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] 정보통신 연구 진흥원, “러시아, 인도, 중국 이동통신 시장분석,” 2004년 10월.
 [2] B. Li, D. Xie, S. Cheng, J. Chen, P. Zhang, W. Xhu, B. Li, “Recent Advances on TD-SCDMA in China”, IEEE Comm. Magazine, Vol.43, No.1, pp.30-37, January,

- 2005
- [3] Jianjun Chen, and Xianzhong Xie, "TD-SCDMA Handover Method And Time-Delay Performance Analysis," Global Mobile Congress, October, 2005.
 - [4] M. Peng, W. Wang, "A framework for investigating radio resource management algorithms in TD-SCDMA systems", IEEE Comm. Magazine, vol 43, No.6, pp.12-18, June, 2005
 - [5] 3GPP R 25.834 v4.1.0 "Radio Protocol Aspects"
 - [6] P. Xue, D. K. Kang, D. K. Kim, "Improved Multi-Cell Joint Channel Estimation for TD-SCDMA Downlink", IEEE VTC, pp.1458-1462, Spring 2008
 - [7] P. Xue, J. H. Park, D. K. Kim, "Adaptive Channel Estimation and Data Detection for Discontinuous Transmission in TD-SCDMA System", IEEE VTC, pp.720-724, Spring 2007
 - [8] F. Yan G. Sun, and W. Wang, "Enhancing the Robustness of TD-SCDMA System by Extended Joint Detection Scheme," Journal of BUPT, Vol.28, No.5, pp.66-69, October, 2005.

박 재 현 (Jae Hyun Park)

준회원



2006년 2월 인하대학교 정보통신 공학과 졸업
2008년 2월 인하대학교 정보공학과 석사
2008년 3월~현재 인하대학교정보 공학과 박사과정
<관심분야> 무선통신공학, TD-SCDMA, Cognitive Radio, 4G

설 봉 (Peng Xue)

준회원



2004년 8월 산동대학 정보공학과 졸업
2006년 8월 인하대학교 정보통신 공학과 석사
2006년 9월~현재 인하대학교정보 공학과 박사과정
<관심분야> UWB, TD-SCDMA, 4G, Cooperative Communications, Cognitive Radio

김 덕 경 (Duk Kyung Kim)

중신회원



1992년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업
1994년 2월 KAIST 전기 및 전자 공학과 석사
1999년 2월 KAIST 전기 및 전자 공학과 박사
2002년 3월~현재 인하대학교 정보공학계열 정보통신 공학과 교수

<관심분야> UWB, CDMA, OFDM, RRM, 4G