

# OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 핸드오버 기법의 성능 Trade-Off 분석

## Performance Trade-Off Analysis of Handover Schemes in OFDMA-based Cellular Systems

왕 한 호<sup>†</sup>  
(Hanho Wang)

**Abstract** - Handover is a technical methodology to support mobility of wireless communication users, which mainly affects the capacity of wireless communication systems and the quality of service (QoS) of link level signal. However, in OFDMA-based cellular systems, there are few published technical reports investigating handovers with respect to diversity gains and resource consumption depending on what handover technique is adopted. In this paper, we propose handover schemes exploiting transmit diversity and macro-diversity in order to increase capacity of OFDMA-based wireless communication systems, and analyze their performance. In cellular environments, depending on what handover scheme is selected, average signal-to-interference-and-noise ratio is calculated first for a handover user in order to evaluate the link level QoS. Through this technical evaluation for handover schemes, we conclude what handover scheme is suitable for OFDMA-based cellular systems.

**Key Words** : Handover, OFDMA, Diversity

### 1. 서 론

CDMA 기반의 셀룰러 이동통신 시스템은 다중 접속 기법의 단점을 보완하는 최적의 핸드오버 기법을 구현함으로써 성공하게 된 대표적인 통신 시스템으로, 이동 중인 사용자는 소프트 핸드오버 기술을 통하여 동시에 두 개 이상의 기지국과 동시에 통신함으로써 간섭을 감소시키면서 수신 신호의 품질을 향상시키는 신뢰도 있는 통신(reliable communication)이 가능하도록 하였다[1]. 이 때 순방향 링크(down-link)에서 인접 기지국으로부터 동일한 데이터가 송신되므로 이동 단말은 이를 수신 신호 강도가 최대가 되도록 결합(combining)함으로써 얻을 수 있는 매크로 다이버시티(macro diversity)를 활용할 수 있다. 뿐만 아니라 역방향 링크(up-link)에서 여러 기지국에 수신된 데이터 중 가장 에러(error)가 적은 데이터를 선별하는 선택 다이버시티(selection diversity)를 사용하게 되므로 신호 대 간섭 및 잡음 비(signal-to-interference-and-noise ratio, SIR) 측면에서 이득을 얻게 된다. 소프트 핸드오버는 쉐도우 페이딩(shadow fading)에 의한 핑퐁효과(ping-pong effect)를 방지함으로써 핸드오버를 처리하기 위한 제어 부담을 감소시켰다. 이러한 장점 때문에 소프트 핸드오버는 순방향 링크에서 여러 기지국에 동시 접속하고 있음으로써 발생하는 채널

자원의 낭비를 감수하고 CDMA 기반 이동통신 시스템에 도입 되었다[2].

OFDMA를 다중 접속 기법으로 채택하여 대용량 데이터 송수신이 가능한 셀룰러 이동통신 시스템은 3GPP와 IEEE 802.16를 중심으로 표준화가 진행 중이다[3][4]. 특히 3GPP Release 11, 12에서 협력 다중 지점 전송(Coordinate Multi-Point, CoMP) 기법이 도입됨에 따라 셀 경계 지역에서 CDMA 시스템의 소프트 핸드오버와 같이 복수의 기지국에 의한 데이터 전송이 가능해졌다[5]. CoMP 기법은 크게 세 가지 기법, 협력 전송(joint transmission, JT), 전송 지점 선택(transmission point selection, TPS) 그리고 협력 스케줄링과 빔성형(coordinate scheduling and beamforming, CS/CB)으로 구성되어 있다[6]. 특히 JT의 경우 두 개 이상의 전송 지점 즉 기지국들로부터 동일한 데이터를 수신하는 것이 소프트 핸드오버와 매우 유사하며, TPS의 경우 하나의 전송 지점을 선택하는 것이 이전 이동 통신 시스템에서 선택 다이버시티를 추구하는 것과 기술적 특징이 동일하다. 그러나 이러한 핸드오버 기법들의 SIR 품질과 무선 자원 소비를 고려한 공정한 성능 비교가 제시되어 있지 않다.

본 논문에서는 OFDMA 기반의 무선 통신 시스템에서 사용이 고려될 수 있는 두 가지 핸드오버 기법들이 제시된다. 일반적인 결론을 얻기 위하여 특정 시스템에 특화된 가정을 사용하지 않고, 핸드오버 기법은 부반송파로 정량화된 무선 자원 소비에 따른 통상적인 핸드오버 성능 평가 기법에 의하여 검증된다. 두 가지 핸드오버 기법 중 하나는 매크로 다이버시티 핸드오버(macro diversity handover, MDHO)이며 다른 하나는 전송 다이버시티 핸드오버(transmit diversity handover, TDHO)이다. MDHO에서는 두 개의 기

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 상명대학교 정보통신공학과 조교수

E-mail : hhwang@smu.ac.kr

접수일자 : 2013년 8월 5일

수정일자 : 2013년 8월 27일

최종완료 : 2013년 8월 29일

지국에서 동일한 데이터를 송신하면서 수신기에서 신호를 결합하는 기법에 의한 성능 이득이 계산된다. TDHO에서는 두 개의 기지국에서 다중 안테나 전송 기법을 사용하는 핸드오버 기법이 제안된다. 두 핸드오버 기법에 대하여 단말의 SIR 성능 이득이 계산되며, 핸드오버 기법의 특성을 반영한 주파수 자원의 추가적인 소비를 성능 분석에 반영함으로써 실질적이고 공정한 성능 평가가 되도록 하였다. 구체적으로 살펴보면 셀 경계 지역에서 SIR의 오수신 확률(outage probability)이 높아짐을 가정하여, 핸드오버 시 핸드오버에 관여하는 두 기지국(the serving and target base station)에서 동일한 데이터를 수신하여 다이버시티 기법을 사용하였고 결과는 핸드오버 단말의 SIR과 핸드오버에 사용되는 채널의 활용도에 따른 새로운 콜의 실패 확률과 핸드오버 콜의 실패 확률로 평가하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 핸드오버 시나리오

CDMA 시스템은 직교 코드를 이용하여 사용자를 구분하고 있는 반면, OFDMA 시스템은 부반송파를 통해 사용자를 구분하므로, 기존 CDMA 시스템에서의 핸드오버 개념을 OFDMA 시스템에 맞추도록 새롭게 정의할 필요가 있다. 본 논문에서 다음과 같이 핸드오버를 정의하기로 한다.

#### 2.1.1 소프트 핸드오버(Soft Handover)

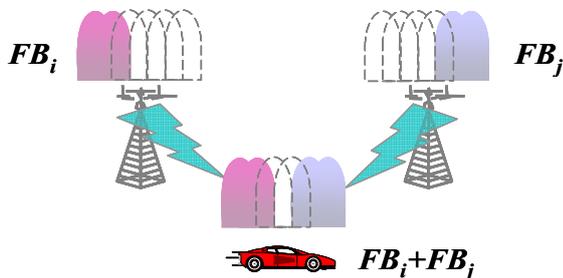


그림 1 OFDMA 시스템에서 소프트 핸드오버  
Fig. 1 Soft handover in OFDMA systems

OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서의 핸드오버는 이동 중인 단말이 셀 경계지역에서 수신 신호 강도(received signal strength)가 미리 정해진 임계값을 초과하는 인접 기지국으로부터 신호를 수신하기 위하여, 수신 신호 강도가 가장 강한 기지국의 ID를 식별하고 일련의 접속절차에 의하여 복수의 부반송파로 구성된 무선 자원을 새로 할당 받는 과정이라 정의한다. 이 때 그림 1에서와 같이 동시에 각각의 기지국으로부터 부반송파 그룹을 수신하여 SIR을 향상시키는 경우에 대하여 소프트 핸드오버로 정의한다. 표준화되고 있는 유사한 기술로 CoMP 전송 기법 중 비동기 협력 전송(non-coherent joint transmission)이 이러한 기술 범주에 속한다 [6]. 이 때 이동 단말은  $i$ 번째 기지국의 부반송파 그룹  $FB_i$ 과  $j$ 번째 기지국의 부반송파 그룹  $FB_j$ 에서 수신된 신호를 결합하여 매크로 다이버시티 또는 선택 다이버시티

를 추구하게 된다. 따라서 다이버시티에 의한 성능 이득으로 핸드오버 중인 단말의 오수신 확률이 감소하게 된다. 그러나, 소프트 핸드오버를 지원하기 위하여  $i$ 번째 기지국과  $j$ 번째 기지국이 동일한 시점에 한 이동 단말에 부반송파 자원을 사용하게 됨으로써 주파수 자원이 두 배로 사용되고, 이러한 무선 자원할당방식은 핸드오버 하지 않는 단말들에 할당할 수 있는 주파수 자원의 양을 감소시키는 결과를 초래할 수 있다. 단말이 사용하게 되는 무선 자원의 부족에 대하여 정량적으로 평가하는 성능 평가 지표로 블록 확률(blocking probability)과 핸드오버 실패 확률(handover dropping probability)가 사용될 수 있다. 블록 확률은 핸드오버 중이지 않은 단말이 무선 통신을 위하여 무선 자원 할당을 요청할 때 요청한 만큼의 무선 자원이 없을 때 발생한다. 핸드오버가 실패하는 경우 또한 이동하고자 하는 셀(target cell)에 핸드오버 단말이 요청하는 만큼의 무선 자원이 존재하지 않은 경우 발생한다. 이러한 성능 평가 지표는 핸드오버 기법의 성능 평가하기 위하여 오래전부터 활용되어 온 것이다[7].

#### 2.1.2 소프트 핸드오버(Hard Handover)

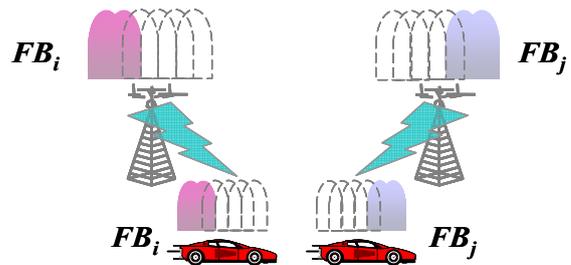


그림 2 OFDMA 시스템에서 하드 핸드오버  
Fig. 2 Hard handover in OFDMA systems

OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 하드 핸드오버는 그림 2와 같이 이동 단말이 셀 경계지역에서 기지국간 이동 시 순간적으로 부반송파 그룹을 바꾸어서 연결을 지속하는 것으로 정의한다. 이 때, 이동 단말은 핸드오버가 일어나는 동안에도 동시에 하나 이상의 부반송파 그룹을 수신하는 않는다. 따라서 하드 핸드오버는 위에서 정의한 소프트 핸드오버의 경우와는 달리 결합이나 선택에 의한 다이버시티 이득(gain)을 얻을 수 없기 때문에 소프트 핸드오버 대비 오수신 확률(outage probability)확률이 증가될 것임을 쉽게 예측해 볼 수 있다. 그러나, 순시적으로 살펴보았을 때, 하나의 핸드오버 단말은 핸드오버가 수행되는 기간에도 하나의 기지국으로부터 하나의 부반송파 그룹만을 점유하여 사용하게 되므로 핸드오버 수행에 따라 추가적으로 사용되는 무선 자원이 필요 없다. 즉, 핸드오버 단말이나 일반 단말에 할당할 수 있는 유휴 무선 자원이 증가한다 의미가 된다. 따라서 오수신 확률이 증가하게 되는 반면, 가용 무선 자원의 양이 소프트 핸드오버 대비 증가하므로 핸드오버 중단 확률이나 블록 확률은 감소하게 될 것임을 예상할 수 있다. 본 논문에서 소프트 핸드오버 기법은 매크로 다이버시티를 얻는 경우와 전송 다이버시티(transmit diversity)를 얻을 수 있는 두 가지 기법으로 나뉘어 성능 평가된다. 두 가지 기법은

동작하는 원리에 있어서 셀 간 간섭 측면과 핸드오버에서 사용하는 무선 자원의 효율적 활용도 측면에서 차이가 나타나게 되며 구체적인 설명과 성능 분석은 2.2절에서 다루도록 한다.

2.2 시스템 모델

OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오버는 동일한 정보가 동시에 두 개 이상의 기지국에서 전송되었을 때, 이동 단말이 각각의 기지국으로부터 이 정보를 수신하여 끊김 없이 연결을 유지시켜 주는 것으로 정의하였다. 주파수, 시간 또는 공간 자원을 분할하여 사용하면 동시에 두 개 이상의 기지국을 구별할 수 있고, 따라서 OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오버를 구현할 수 있다[6].

2.2.1 시스템 모델과 간섭 분석

본 논문에서 고려하는 일반적인 OFDMA 기반 셀룰러 시스템은 주파수 재사용 계수(frequency reuse factor)가 1이고 한 개의 셀은 세 개의 섹터로 구분된다고 가정한다. 주파수 재사용 계수가 1인 것은 통신을 위한 일정량의 대역폭이 각각의 셀에서 재사용되는 환경을 의미하며, 바로 옆에 인접한 셀에서 간섭이 발생되어 단말에 수신되므로 간섭이 매우 심각한 경우이다. 세 개의 섹터로 하나의 셀을 구분하여 사용하므로 시스템 전체에서 사용 가능한 부반송파의 개수가 N 개라고 할 때, N/3개의 부반송파가 각 섹터에 상호 배타적으로 할당되어 사용된다. 세 개의 섹터를 사용하는 주파수 재사용 계수가 1인 OFDMA 기반 시스템의 경우 하향링크에서 간섭을 주는 인접 기지국과의 거리가 특정 값 이상으로 유지되므로 섹터를 사용하지 않는 경우 대비 적은 간섭량을 유지할 수 있다. 그러나 OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오버를 구현할 경우 간섭량은 위와 같이 산술적으로 쉽게 계산되지 않으며, 핸드오버 기법에 따라 간섭량이 변화하게 된다. 핸드오버 기법 별 무선 자원을 점유하는 양이 다르므로, 사용되는 무선 자원량이 증가할수록 간섭 또한 증가하게 될 것이기 때문이다. 이러한 간섭의 영향을 좀더 자세하게 살펴보기 위해 각각의 섹터가 아래 그림 3과 같은 형태로 배치되어 있는 상황을 가정하도록 한다. 현재 이동 단말이 서빙(serving) 기지국의 섹터  $i_1$ 에서 타겟(target) 기지국의 섹터  $j_2$ 로 이동하고 있을 때, 이동 단말에 영향을 미치는 간섭 기지국들의 위치를 섹터별로 구별하여 표현하면 표 1과 같이 표현할 수 있다.

$P_1$ 은 기존 접속하고 있던 섹터로 들어오는 간섭을 발생시키는 기지국까지의 거리를 나타내며,  $P_2$ 과  $P_3$ 은 핸드오버 기법 별로 간섭을 줄 수 있는 기지국까지의 거리를 나타낸 것이다. 거리에 따른 감쇄 상수(path loss exponent)가  $\alpha$  이고, 전송하는 신호의 크기가 1이라 가정할 때, 섹터  $S_k$ 로부터 받는 간섭량  $I_k$ 는 다음 수식 (1)과 같이 표현할 수 있고[8], 간섭을 발생시키는 층(tier)에 따라 계산된 구체적인 간섭량 값은 표 2에 정리되어 있다.

$$I_k = \sum_{(i,j) \in P_k} (i^2 + j^2 + ij)^{-\frac{\alpha}{2}} \quad (1)$$

표 1 핸드오버 시 간섭을 주는 셀의 수

Table 1 The number of cells interfering in handover duration

$(i, j)$	$P_1$	$P_2$	$P_3$
1-tier	(2,0),(2,1), (1,2),(2,0)	(2,0)	(2,0)
2-tier	(1,3),(3,2), (4,0),(2,3),(3,1)	(2,0),(2,1), (1,2),(3,1)	(2,0),(1,2), (2,1),(1,3),
3-tier	(5,0),(2,4),(4,3), (5,1),(1,5),(3,4), (4,2),(5,0)	(1,3),(3,2), (4,0),(2,3), (4,2),(5,0)	(3,1),(2,3), (4,0),(3,2), (2,4),(5,0)

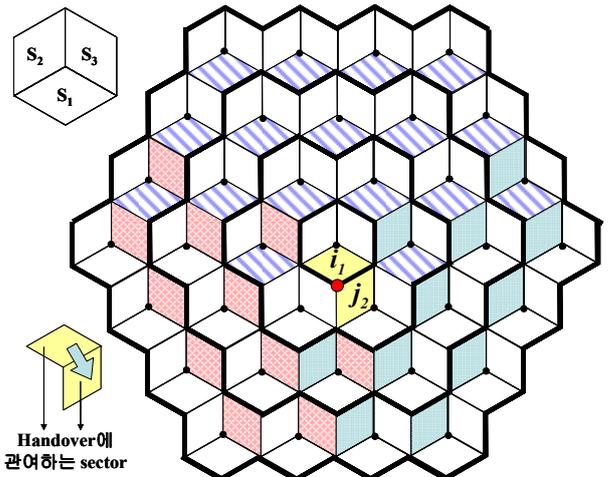


그림 3 육각형 셀 모양의 셀룰러 시스템 모델

Fig. 3 Hexagonal cell modeling for cellular systems

표 2 핸드오버 기법 별 간섭량

Table 2 Handover scheme dependent interference evaluation

간섭량	$I_1$	$I_2$	$I_3$
1-tier	0.1658	0.0625	0.0625
2-tier	0.1871	0.1717	0.1717
3-tier	0.1964	0.1900	0.1900

각 섹터에서 사용하는 부반송파 별 간섭을 간섭 기지국의 층별로 따로 제시함으로써 핸드오버 방법 별 변화하는 간섭량의 변화를 좀 더 간단히 나타낼 수 있다.

2.3 매크로 다이버시티 핸드오버

셀 경계지역에서 각각의 기지국이 서로 다른 부반송파를 전송하였을 때, 이를 동시에 수신하여 최대 비율 결합 기법(maximal ratio combining, MRC)하는 소프트 핸드오버 기법을 매크로 다이버시티 핸드오버로 이후 MDHO로 표기하도록 한다. 그림 4는 기지국  $i$ 와 기지국  $j$ 사이에서 MDHO 기법을 도시하고 있다.

OFDMA 기반 셀룰러 시스템과 같은 다중 캐리어 시스템에서는 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT) 수

신기 구조에 의해 서로 다른 기지국으로부터 전송되는 서로 다른 부반송파 그룹을 FA의 이동 없이 동시에 수신할 수 있기 때문에 손쉽게 매크로 다이버시티에 의한 수신신호의 이득을 획득할 수 있다. 따라서 MRC 기법을 사용하게 되는 경우, 단말이 두 개의 기지국에서 동일한 수신신호 강도로 신호를 수신할 수 있을 때 최대 두 배의 수산신호 강도에 대한 이득을 얻을 수 있다. 그러나 한 이동 단말의 핸드오버를 위하여 기지국  $i$ 와 기지국  $j$ 가 모두 부반송파 자원을 사용하게 되므로, 핸드오버가 일어나는 동안 주파수 자원을 두 배로 사용하게 되므로, 매크로 다이버시티에 의한 이득은 일반 단말의 블록 확률 증가 및 핸드오버 단말의 핸드오버 실패 확률로 상쇄되는 문제점을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 추가 자원의 사용은 간섭이 발생할 수 있는 부반송파의 비율이 증가함을 의미하므로 간섭량의 증가 또한 동시에 고려해 주어야 한다.

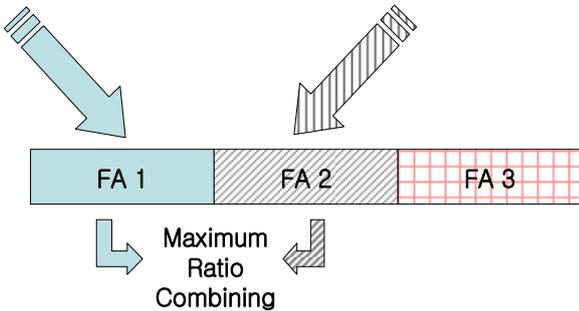


그림 4 매크로 다이버시티를 이용한 핸드오버  
Fig. 4 Handover using macro diversity

### 2.3.1 MDHO 기법 사용 시 평균 간섭량 계산

앞서 계산한 간섭량을 통하여서 MDHO를 사용하였을 경우 최악의 수신 상황(the worst case: 단말이 기지국으로부터 가장 멀리 떨어져 있을 경우)을 고려하여 평균 SIR을 계산해 보도록 한다. 전체 트래픽 양 중 핸드오버를 위한 트래픽에 대한 상대적인 트래픽 양  $v$ 를 다음 수식과 같이 계산한다.

$$v = \frac{\lambda_H}{\lambda_N + \lambda_H} \quad (2)$$

현재 이동 단말이 기지국  $i$ 의  $S_1$  섹터에서 기지국  $j$ 의  $S_2$  섹터로 이동하고 있다면, 이동 단말에 미치는 간섭량은  $S_1$  섹터로부터 받고 있던  $I_1$  과 핸드오버를 수행하면서 추가적으로 다른 부반송파 그룹을 수신함으로써  $S_2$  섹터로부터 받는  $I_2$  과의 합으로 표현되게 된다. 즉, 신호의 크기가 1로 정규화 되어 있다고 가정하였을 때, 셀 경계지역에서 두 기지국으로부터 들어오는 신호를 MRC 기법을 이용하여 결합한 이후 SIR은 다음과 같이 표현된다[8].

$$SIR_{MDHO} = \frac{1}{\beta(I_1 + vI_1)} + \frac{1}{\beta(I_2 + vI_2)} \quad (3)$$

$\beta$ 는 채널 점유 비율(channel activity factor)로써 하나의

섹터에 할당된 채널 중 사용되고 있는 채널의 비율을 나타낸다. (3)에서  $v$ 는 핸드오버 단말이 증가되는 것에 의하여 추가적으로 발생하는 간섭량을 반영하기 위한 값이다.  $\beta$ 의 경우 OFDMA 시스템은 신호가 전송되는 서브캐리어에 대해서만 간섭이 작용하게 되므로 평균적인 서브캐리어 사용 비율을 반영하여 간섭량을 계산하는 것에 포함된다.

### 2.3.2 MDHO Call Blocking and Dropping Probability

MDHO에서 하나의 셀(또는 섹터)에 할당된 채널은 일반 단말의 트래픽 수요 및 핸드오버 단말의 트래픽 수요에 의하여 공유된다. 따라서 일반 단말의 트래픽과 핸드오버 단말의 트래픽이 단위 시간 당 도착하는 비율을 각각  $\lambda_N$  과  $\lambda_H$ 라고 할 때 총  $C$  개의 논리 채널을 가진 시스템은 M/M/C queuing system으로 모델링되며 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

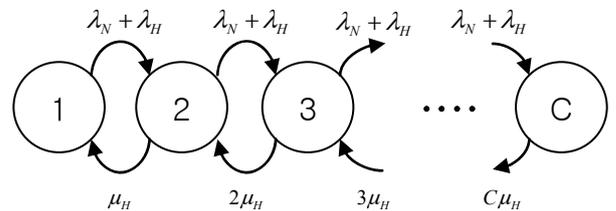


그림 5 핸드오버 성능 평가를 위한 큐잉 시스템 모델  
Fig. 5 Queueing system model for handover performance evaluation

이 때 일반 단말과 핸드오버 단말의 트래픽에 대하여 무선 자원 할당에 우선순위를 두지 않는다. 별도의 핸드오버 단말을 위한 우선순위를 부여하는 기법(prioritized handover schemes)을 사용하지 않는다면 일반 단말이 발생하는 트래픽에 대한 블록 확률과 핸드오버 단말이 무선 자원 부족으로 통신 서비스가 중단되게 될 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_k = \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^k}{\mu_H^k k!} P_0$$

$$P_0 = 1 / \sum_{k=0}^C \frac{(\lambda_N + \lambda_H)^k}{\mu_H^k k!}$$

$$P_{Block} = P_{Drop} = P_C \quad (4)$$

### 2.4 Transmit Diversity Soft Handover(TDHO)

MDHO는 OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오버를 구현한다고 하였을 때, 서로 다른 부반송파에 동일한 정보의 데이터를 수신하여 최대 비율 결합(maximum ratio combining, MRC)기법을 이용하여 수신 신호 세기에 대한 이득을 얻는 방법이다. 그러나 MDHO에 의하여 구현된 소프트 핸드오버를 수행하기 위하여, 핸드오버에 관여하는 두 개의 기지국은 주파수 자원을 두 배로 사용하기 때문에 주파수 자원인 채널의 활용도 측면에서 비효율적이다. 트래픽이 적

은 상황에서 주파수 자원이 많이 남아 있는 경우 큰 문제가 없으나, 트래픽이 증가하여 대부분의 채널이 사용되고 있는 상황에서 활용하기 힘들다는 문제가 있다. 뿐만 아니라 핸드오버 중인 단말이 많은 경우 신호가 전송되고 있는 채널이 증가하게 되므로 간섭이 발생하게 되는 부반송파의 수가 증가하게 된다.

OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서는 기지국간 신호를 구분하여 수신하기 위하여 주파수 자원뿐만 아니라, 시간 및 공간 자원을 사용할 수 있으며 복수개의 송수신 안테나를 사용하는 다중안테나 전송(multi-input multi-output, MIMO)와 OFDM이 결합된 MIMO-OFDM 기술 분야에서 이와 관련된 많은 연구가 진행되었다[9]. 공간-시간 블록 코드(space-time block code, STBC)를 사용하면 두 개의 전송 안테나와 한 개의 수신 안테나를 이용해서 MRC를 수행할 수 있는 전송 다이버시티 기법을 무선 전송에 활용할 수 있다 [10]. 두 개의 송신 안테나와 한 개의 수신 안테나는 두 개의 기지국과 한 개의 이동 단말로도 해석할 수 있으며, 따라서 위 기법을 가지고 소프트 핸드오버 기법을 구현할 수 있다.

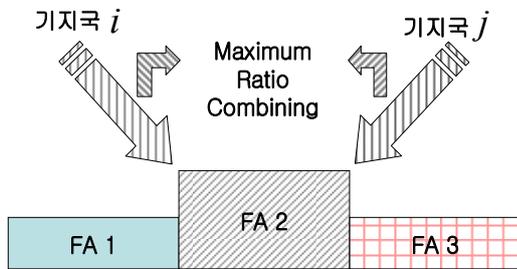


그림 6 시공간블록코드를 사용한 핸드오버  
Fig. 6 Handover scheme using STBC

STBC 전송을 위하여, 두 개의 시간 슬롯에 걸쳐 기지국이 전송하여야 하는 정보를  $x_1, x_2$ 라 하고, 각각의 기지국에서 두 개의 시간 슬롯동안 다음과 같이 신호를 전송하도록 한다.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2^* & -x_1^* \end{bmatrix} \quad (5)$$

위 행렬 수식에서 각 행(row)은 시간 슬롯을 의미하며, 각 열(column)은 서로 다른 두 개의 기지국을 나타낸다. 각 기지국과 단말 사이의 채널 응답이  $h_1, h_2$ 라고 할 때 거리에 따른 감쇄와 섀도우 페이딩 및 다중 경로 페이딩을 겪고 이동 단말에 수신되었다면, 각 시간 슬롯에서 채널을 겪은 수신 신호는 다음 행렬식으로 표현될 수 있다. 수신 시 발생하는 열잡음에 대한 표현은 생략하였다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2^* & -x_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 때, 각 시간 슬롯에서 수신한 신호는 채널의 행렬화에 의하여 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ -h_2^* & h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

식 (7)로부터, 핸드오버 시에 필요한 정보  $x_1, x_2$ 는 아래와 같이 채널 행렬 값에 대한 역행렬을 이용하여 구할 수 있다. TDHO 기법은 MDHO 기법과 달리 동일 부반송파에 서로 다른 기지국이 STBC에 의하여 신호를 전송하며, 추가적인 주파수 자원의 할당이 필요 없으며, 다이버시티 이득을 얻게 되므로 핸드오버 시 SIR에 있어 성능이 향상된다.

### 2.4.1 TDHO 기법 사용 시 평균 간섭량 계산

앞서서 계산한 간섭량을 통하여 MDHO경우와 같은 방법으로 TDHO의 평균 SIR을 계산해 보도록 한다. 현재 이동 단말이 기지국  $i$ 의  $S_1$  섹터에서 기지국  $j$ 의  $S_2$  섹터로 이동하고 있다면( $i_1 \rightarrow j_2$ ), 핸드오버를 수행하는 이동 단말은 기지국  $j$  (타겟 기지국)  $S_2$  섹터로부터 부반송파를 할당 받는다. 이 때 TDHO는 서빙기지국  $i$ 의  $S_2$  섹터에서도 타겟 기지국에서 할당해준 부반송파에 신호를 전송해주게 된다. 이 때 서빙 기지국  $i$ 의  $S_1$  섹터에서  $S_2$  섹터가 가지고 있던 채널을 핸드오버를 위해 추가적으로 사용하게 된다. 섹터에 의하여 구분되어 사용되던 채널들이 핸드오버 단말들의 전송 다이버시티를 얻기 위하여 섹터구분 없이 사용되므로 추가적인 인접 섹터에 심각한 간섭이 발생한다. 그러나 핸드오버를 위하여 사용되는 채널은 인접한 세 개의 셀에서 전송 다이버시티를 얻게 되므로 간섭이 아닌 것이 되며, 그 외의 셀로부터 TDHO 기법에 의하여 발생하는 간섭은 표 1에서  $P_2$ 와  $P_3$ 으로 나타낼 수 있다. 따라서 다중 셀 관점에서 간섭량을 분석해보면,  $S_2$  섹터에서 섹터로 구분된 상태에서 받게 되는 간섭인  $I_1$ 와 핸드오버를 위해서 주변 셀에서 발생하는 간섭인  $I_2$ 와  $I_3$ (방향에 따라 구분,  $I_2$ 와  $I_3$ 는 같은 값)을 고려하여야 한다. 신호의 크기가 1로 정규화 되었다고 가정할 때, TDHO를 이용하여서 셀 외곽지역에서 두 개의 기지국으로부터 들어오는 신호를 MRC 처리한 후 SIR은 다음과 같다[8].

(8)에서  $v/2$ 은 핸드오버를 수행하는 단말이 같은 확률로 핸드오버 하는 경우를 반영한 것이다.

$$\begin{aligned} SIR_{TDHO} &= \frac{1}{\alpha \left( \frac{v}{2} + 1 \right) I_1 + \frac{v}{2} I_2} + \frac{1}{\alpha \left( \frac{v}{2} + 1 \right) I_1 + \frac{v}{2} I_3} \\ &= \frac{2}{\alpha \left( \frac{v}{2} + 1 \right) I_1 + \frac{v}{2} I_2}, \quad \alpha > 0 \end{aligned} \quad (8)$$

### 2.4.2 TDHO Call Blocking and Dropping Probability

TDHO의 경우 핸드오버하지 않는 단말에 섹터가 가지고 있는  $C$  개의 채널을 모두 할당할 수 있다. 핸드오버 단말에 대해서는 타겟 기지국이 할당해 주는 채널을 서빙 기지국에

서 섹터로 구분하여 사용하게 되므로, 핸드오버를 위한 별도의 주파수 자원을 사용하지 않는다. 따라서, 이 경우는  $C$  개의 채널을 가지는  $M/M/C$  큐잉 시스템의 핸드오버 트래픽과 일반 트래픽에 대하여 각각 독립적으로 처리하는 것과 동일하므로 그림 7과 같이 도시할 수 있다.

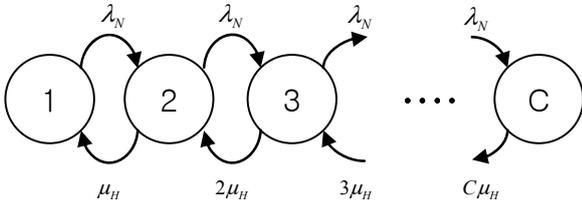


그림 7 TDHO를 위한 M/M/C 큐잉 시스템 모델  
Fig. 7 M/M/C queueing system model for TDHO

그림 7에 도시된 큐잉 시스템의 일반 트래픽에 대한 블록 확률과 핸드오버 트래픽에 대한 실패 확률은 아래 (9)와 같이 계산된다.  $P_k^N$ 과  $P_k^H$ 는 각각  $k$  번째 채널이 점유된 상태에서 일반 트래픽과 핸드오버 트래픽이 처리되고 있을 확률이다.

$$P_k^N = \frac{(\lambda_N)^k}{\mu_H^k k!} P_0^N, \quad P_k^H = \frac{(\lambda_H)^k}{\mu_H^k k!} P_0^H$$

$$P_0^N = 1 / \sum_{k=0}^C \frac{(\lambda_N)^k}{\mu_H^k k!}, \quad P_0^H = 1 / \sum_{k=0}^C \frac{(\lambda_H)^k}{\mu_H^k k!}$$

$$P_{Block} = P_C^N, \quad P_{Drop} = P_C^H \quad (9)$$

### 2.5 Numerical Results

MDHO와 TDHO의 성능을 평가하기 위하여 트래픽 양에 따른 SIR 변화와 각 기법 별 일반 단말의 블록 확률 및 핸드오버 단말의 핸드오버 실패 확률을 평가하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. (3)과 (8)를 바탕으로 트래픽 양의 변화에 따른 결과를 그림 8에 나타내었다. 핸드오버 단말의 비율이 21%일 때 TDHO와 MDHO는 거의 같은 성능을 보여준다. 간섭을 주는 기지국에 대하여 첫 번째 층의 기지국들에 의한 효과만 고려하였을 시, TDHO가 MDHO 대비 우수한 성능으로 나타나는 것은 첫 번째 층의 간섭 기지국들만 고려할 경우 간섭을 주는 셀의 수가 MDHO를 사용하는 경우보다 적기 때문이다. 그러나 두 개 이상의 층에 분포되어 있는 간섭 기지국들을 고려하는 경우 핸드오버 단말이 증가하는 것에 비례하여 섹터화하지 않은 상황에서 발생하는 간섭량이 같이 증가 증가하므로 MDHO보다 약간 열화(1dB 미만의 차이)된 SIR성능을 보인다.  $\nu$ 를 0.21로 설정한 이유는 반지름이  $r$ 인 원 내부에 접하는 정육각형이 있을 때 원의 넓이가 약 21% 넓으며, 이 부분이 cell이 겹쳐 양쪽 기지국으로 부터 동시 수신 가능한 핸드오버 지역이기 때문이다.

그림 9는  $\alpha$ 가 0.5인 상태에서  $\nu$ 를 0에서 1까지 변화시키면서 얻은 핸드오버단말들의 SIR이다.  $\nu=0$ 이면 아무 단말도

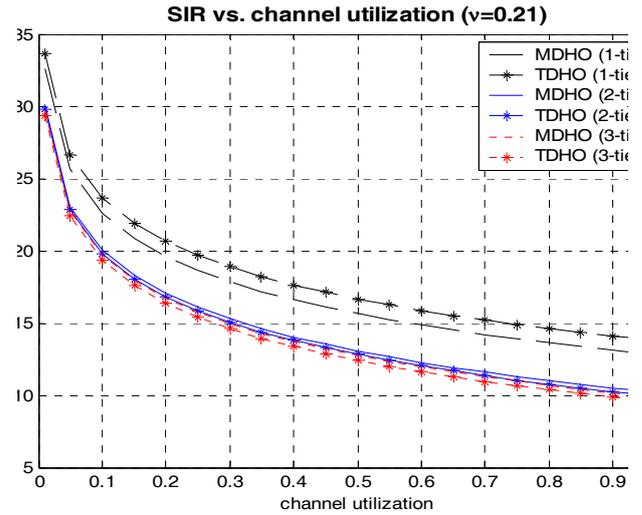


그림 8 트래픽/간섭량을 고려한 핸드오버 성능 비교  
Fig. 8 Handover performance comparison considering traffic and interference

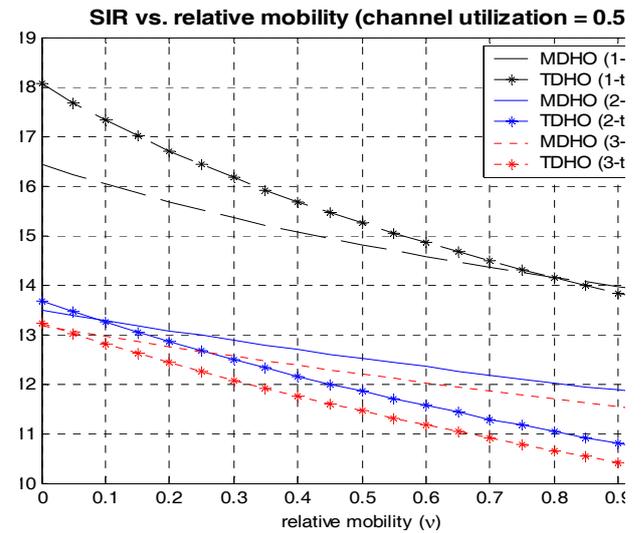


그림 9 핸드오버 단말 수 증가에 따른 SIR 성능  
Fig. 9 SIR performance depending on the number of handover terminals

핸드오버하지 않는 상황이며,  $\nu=1$ 인 경우 모든 단말이 핸드오버 하는 경우가 된다. 핸드오버가 증가함에 따라 TDHO는 섹터에 의한 효과가 사라지게 되므로 모든 단말이 핸드오버하고 있는 경우인  $\nu=1$ 에서 2dB이상의 SIR차이를 보인다. TDHO는 1 tier만 고려한 경우 섹터화(sectorization) 되지 않았을 때 간섭을 줄 수 있는 셀의 수가 MDHO의 경우보다 적어지기 때문에  $\nu=0.8$  이하에서 좋은 성능을 보이지만 핸드오버 단말의 비율이 증가함에 따라 섹터화하지 않은 경우와 동일해 지므로 성능이 역전된다.

본 논문을 통해서 주파수 재사용 계수가 1인 OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 핸드오버를 할 수 있는 간단한 두 가지 기법인 MDHO와 TDHO에 대하여 분석해 보았다. 위의 사실들을 종합하면, MDHO의 경우 SIR에서 우수하나 트래

픽이 증가할 경우 블록 확률과 핸드오버 실패 확률이 빠르게 증가하므로 높은 SIR을 요구하면서 핸드오버 단말의 비율이 높지 않은 환경에 적합하다. TDHO의 경우 비교적 낮은 SIR을 요구하는 낮은 전송률을 가지는 응용 분야에 활용할 수 있으며, 트래픽이 증가하는 경우 MDHO 대비 망의 안정적인 채널 수 관리에 유리하다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 활용할 수 있는 두 개의 핸드오버 MDHO와 TDHO 기법에 대하여 제안하였다. 핸드오버 기법의 성능을 검증하기 위하여 핸드오버 기법 별 SIR 및 핸드오버 단말이 사용하게 되는 주파수 자원에 따른 영향을 평가하기 위한 일반 단말의 블록 확률과 핸드오버 단말의 핸드오버 실패 확률에 대하여 수치적인 결과를 제시하였다. MDHO의 경우 일반적으로 TDHO 대비 SIR이 우수하여 핸드오버 단말의 오수신 확률은 감소시킬 수 있었지만 추가적인 주파수 자원을 소비하게 되므로 핸드오버 단말의 비율이 증가하면 간섭량 증가에 따른 SIR 성능이 TDHO 대비 열화되는 문제점과 주파수 자원 부족에 따른 블록 확률과 핸드오버 실패 확률이 증가하는 문제점이 있다. 반면 TDHO는 핸드오버 단말의 수가 많아지더라도 추가적인 주파수 자원 부족에 따른 성능 열화가 없는 반면 다이버시티 계인에 의한 성능 증가폭이 MDHO보다 적으므로 오수신 확률이 증가하는 문제점이 있다. 트래픽이 많이 발생하지 않는 시간이나 지역에서는 MDHO를 사용하여 오수신 확률을 최소화하는 것이 바람직하며, 트래픽이 많이 발생하여 간섭량이 증가하고 주파수 자원이 절대적으로 부족한 상황에는 TDHO로 전환하여 기본적인 무선 자원 확보 및 간섭량 제어가 필요하다는 결론을 얻을 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 2012학년도 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음.

#### 참 고 문 헌

[1] R. P. Narrainen, F. Takawira, "Performance analysis of soft handoff in CDMA cellular networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 50, no. 6, pp. 1507-1517, Jun. 2001

[2] X. Ma, Y. Liu, K. S. Trivedi, "Design and performance analysis of a new soft handoff scheme for CDMA cellular systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 55, no. 5, pp. 1603-1612, May, 2006

[3] 3GPP TS 36.211, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA): Physical channels and modulation (Release 9)," *Technical Specification Group Radio Access Network*, Mar. 2010

[4] IEEE P802.16m/D8, "IEEE draft amendment standard

for local and metropolitan area networks - Part 16: Air interface for broadband wireless access systems - Advanced air interface," Aug. 2010

[5] S. Sun, Q. Gao, Y. Peng, Y. Wang, L. Song, "Interference management through CoMP in 3GPP LTE-advanced networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 1, pp. 59-66, Jan. 2013

[6] X. Tao, X. Xu, Q. Cui, "An overview of cooperative communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 6, pp. 65-71, Jun. 2012

[7] R. Fantacci, "Performance evaluation of prioritized handoff schemes in mobile cellular networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 2, pp. 485-493, Feb. 2000

[8] J. Zander and S.-L. Kim, *Radio Resource Management for Wireless Networks*, Artech House Publishers, 2001

[9] V. Jungnickel, M. Schellmann, L. Thiele, T. Wirth, T. Haustein, O. Koch, W. Zirwas, E. Schulz, "Interference-aware scheduling in the multiuser MIMO-OFDM downlink," *IEEE Communications Magazine*, vol 47, no. 6, pp. 56-66, Jun. 2009

[10] A. Bansal, M. R. Bhatnagar, A. Hjørungnes, "Decoding and performance bound of demodulate-and-forward based distributed Alamouti STBC," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 12, no. 2, pp.702-713, Feb. 2013

### 저 자 소 개



#### 왕 한 호 (王 瀚 鎬)

저자는 연세대학교 전기전자공학과에서 2004년과 2010년에 각각 학사, 박사 졸업하였다. 현재 상명대학교 정보통신공학과 조교수로 근무하고 있다. 연구 관심 분야는 셀룰러 시스템, 인지 무선 통신 시스템이다.