

Inter-RAT 핸드오버 및 로밍 성능평가

이성진^o, 김재현, 오성근
아주대학교 전자공학부

김원익, 송평중
한국전자통신연구원

Performance Evaluation of Inter-RAT Handover and Roaming

Seong-Jin Lee^o, Jae-Hyun Kim, Seong-Keun Oh
School of Electrical and computer Engineering, Ajou Univ.
{sjinny, jkim, oskn}@ajou.ac.kr

Won-Ik Kim, and Pyeong-Jung Song
Group of Mobile Telecommunication, ETRI
{woniks, pjsong}@etri.re.kr

요 약

국내의 이동통신 사업자는 기존의 전국망인 CDMA2000의 통화용량의 부족 문제를 해결하기 위하여 2004년부터 WCDMA 서비스를 시작하였다. 초기 WCDMA 서비스는 가입자의 밀도가 높은 도심지에서 수행된다. 따라서 끊임없는 서비스를 제공하기 위해 WCDMA로부터 CDMA2000으로의 효율적인 Inter-RAT 핸드오버와 WCDMA와 CDMA2000 간의 로밍이 필수적이다. 본 논문에서는 Dummy-pilot을 사용하는 경우의 WCDMA로부터 CDMA2000으로의 핸드오버 성능평가 및 WCDMA와 CDMA2000 간의 로밍 성능평가를 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 기존의 WCDMA 경계셀 Pilot 신호만을 이용하는 Inter-RAT 핸드오버와 Dummy-pilot을 사용하는 경우의 Inter-RAT 핸드오버 성능을 비교하였으며, 최적의 로밍 파라미터를 제시하였다.

1. 서론

국내 이동통신 시장에서는 2001년부터 기존의 2nd Generation (2G)인 IS-95에서 진보한 Code Division Multiple Access 2000 (CDMA2000)의 상용화를 시작하였다. 그러나 가입자의 급격한 증가로 인하여 서울 등의 도심지 지역에서는 CDMA2000의 통화용량의 부족 문제가 발생하기 시작하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 정부는 3rd generation partnership project (3GPP)에서 표준화되고 있는 Wideband CDMA (WCDMA) 상용화를 결정하였다. 이에 따라, 이동통신 사업자는 설치상의 편의와 비용 감소를 위해 기존의 CDMA2000 Base Transmission System (BTS)에 WCDMA 시스템의 Node_B를 공동설치하여, 2004년부터 WCDMA 서비스를 시작하였다. CDMA2000의 통화용량 부족 문제를 해결하기 위하여 초기의 WCDMA 서비스는 가입자의 밀도가 높은 도심지역부터 수행된다. 따라서 사용자가 WCDMA 지역에서 CDMA2000 단일 지역으로 이동할 시에 통화 단절과 통화 품질 저하를 방지하기 위하여 WCDMA로부터 CDMA2000으로의 Inter-Radio Access Technology (RAT) 핸드오버가 필수적이다[1]. 또한, CDMA2000의 자원관리 및 끊임없는 서비스를 제공하기 위하여 WCDMA와 CDMA2000 간의 로밍이 요구된다. 그러나 3GPP 표준에는 UMTS

로부터 GSM으로의 핸드오버 Signaling 및 핸드오버 파라미터 범위만 규정되어있는 상태이다[2]. 더욱이, 적절한 Inter-RAT 핸드오버 시나리오와 파라미터의 선택은 시스템 성능에 큰 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 Dummy-pilot을 사용하는 경우의 WCDMA로부터 CDMA2000으로의 핸드오버 동작 절차 및 WCDMA와 CDMA2000 간의 로밍 동작 절차를 설명하고, 성능평가를 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Inter-RAT 핸드오버와 로밍의 문제점을 설명하고, 3장에서 Dummy-pilot을 사용하는 경우의 Inter-RAT 핸드오버 시나리오 및 로밍 시나리오를 설명한다. 4장에서는 각 시나리오의 성능평가를 위한 시뮬레이터 모델과 파라미터를 기술하였다. 5장에서는 시뮬레이션 결과를 기존 시나리오와의 비교 및 분석하고, 6장에서 결론을 맺는다.

2. WCDMA와 CDMA2000 간의 Inter-RAT 핸드오버 및 로밍의 문제점

WCDMA로부터 CDMA2000으로의 효율적인 핸드오버를 수행하기 위해 단말이 Dual Radio Frequency (RF)를 지원하는 경우 단말기의 크기가 커지며 구현비용도 상승하므로, 하나의 안테나를 공유하여 사용해야 한다. 따라서 핸드오버를 결정하기 위한 신

호의 모니터링은 WCDMA 신호로 제한된다. 또한 하나의 단말이 WCDMA와 CDMA2000를 동시에 서비스하기 위해서는 각각의 모뎀을 탑재하여야 하므로 CDMA2000 모뎀 활성화에는 일정 시간 지연 발생이 불가피하다. 따라서 CDMA2000 모뎀 활성화 시간을 감안하여 핸드오버 전 미리 모뎀을 활성화시켜 핸드오버에 대비하는 과정이 필요하다.

Dummy 안테나는 데이터 채널이 없으며, Pilot 채널과 같은 제어 채널만 존재한다. 일반적으로 WCDMA 경계셀의 Pilot 신호만을 사용하여 핸드오버를 수행하는 경우, 단말은 경계셀 전 지역에서 핸드오버를 수행한다. 그러나 Dummy-pilot을 이용하는 경우, 단말은 그림 1에서의 경계셀의 오른쪽 반쪽 지역에서 핸드오버를 수행하여 불필요한 핸드오버를 최소화할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 Dummy-pilot을 사용하는 경우, 사업자는 추가적인 비용부담을 감수해야 하는 문제점이 있다. 따라서 Dummy-pilot을 사용하는 경우의 Inter-RAT 핸드오버에 대한 정확한 성능평가가 필요하다.

통화대기 상태의 단말은 Ping-pong 효과의 영향으로 WCDMA와 CDMA2000 공동설치 지역에서 계속하여 서비스 받는 시스템을 변경하는 현상이 나타난다. 이러한 경우 Dual 모뎀을 탑재한 단말은 지속적으로 모뎀의 활성화/비활성화 과정을 반복하여 전력 소비가 증가한다. 단말의 배터리는 제한된 전력량을 보유하므로 Ping-pong 효과를 최소화하기 위한 로밍 파라미터 선정이 요구된다.

3. Inter-RAT 핸드오버 및 로밍 시나리오

WCDMA로부터 CDMA2000으로의 핸드오버의 문제점을 고려하여, WCDMA 지역에서 통화 중인 단말은 CDMA2000 단일 지역으로 이동하기 위해 4단계의 절차를 수행한다. 첫 번째 단계는 단말이 WCDMA 경계셀 Pilot 신호를 수신하여 WCDMA 경계셀에 도달하였음을 인지하는 단계이다. 두 번째 단계는 CDMA2000 모뎀을 활성화하여 CDMA2000 단일 지역으로 핸드오버를 준비하는 모뎀 활성화 단계이고, 세 번째 단계는 핸드오버 수행 전에 단말이 WCDMA 내부셀로 이동하는 경우 CDMA2000 모뎀을 비활성화 하는 단계이다. 마지막 단계는 모뎀 활성화 시간이 모두 경과하여 모뎀 활성화가 완료되면 특정 조건에 따라 핸드오버 여부를 판단하여 핸드오버 수행이 결정되는 'Handover Triggering' 단계이다. Handover Triggering 단계 이후 단말은 Signaling 절차를 통하여 CDMA2000 지역으로 핸드오버를 수행한다. 그림 1은 Inter-RAT 핸드오버 동작 절차를 나타낸다. 화살표는 각각 단말의 이동 방향을 나타낸다.

본 논문의 목적은 핸드오버 결정 단계의 최적 동작 절차 및 파라미터 선정이므로 핸드오버 동작 절차의 CDMA2000 모뎀 활성화 단계와 Handover Triggering 단계를 고려하여 핸드오버 시나리오를 구성하였다.

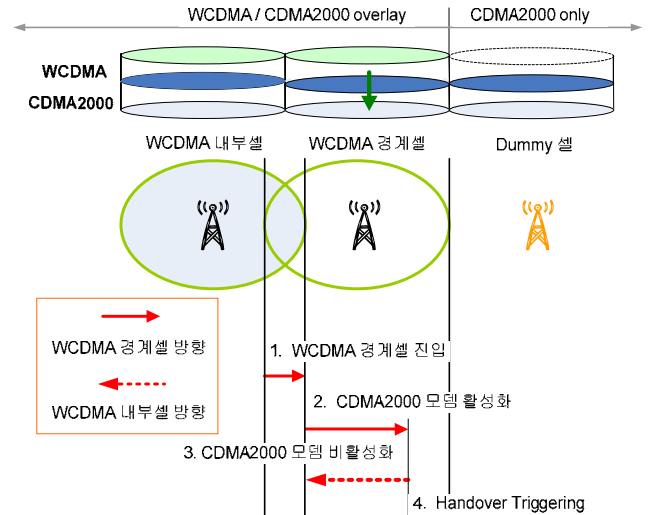


그림 1. WCDMA로부터 CDMA2000으로의 핸드오버 동작절차

[3] 논문에서는 WTPC 표준 [1]과 3GPP 표준의 Inter-System Handover reporting event 2d [2]를 참조하여 WCDMA 경계셀 pilot만을 사용하는 경우의 핸드오버 시나리오를 구성하였다. 구성한 시나리오는 다음과 같다.

- 시나리오 1: 단말은 WCDMA 경계셀에 진입함과 동시에 CDMA2000 모뎀을 활성화시키고, 즉시 핸드오버를 수행한다.
- 시나리오 2: 단말은 WCDMA 경계셀에 진입함과 동시에 CDMA2000 모뎀을 활성화시키고, WCDMA Pilot 신호의 Signal-to-Interference Ratio (SIR)가 특정 threshold (Th_{tr}) 이하인 경우 핸드오버를 수행한다.
- 시나리오 3: 단말은 WCDMA 경계셀에 진입하여 WCDMA Pilot 신호의 SIR이 특정 threshold (Th_m) 이상인 경우 CDMA2000 모뎀을 활성화시키고, 즉시 핸드오버를 수행한다.
- 시나리오 4: 단말은 WCDMA 경계셀에 진입하여 WCDMA Pilot 신호의 SIR이 특정 threshold 이상인 경우 CDMA2000 모뎀을 활성화시킨다. CDMA2000 모뎀이 활성화된 후 WCDMA Pilot 신호의 SIR이 특정 threshold 이하인 경우 핸드오버를 수행한다.

각 시나리오에서 Th_m 은 CDMA2000 모뎀 활성화 threshold이며, Th_{tr} 은 Handover Triggering Threshold이다.

Dummy-Pilot을 사용하는 경우, WCDMA 경계셀에 위치한 단말 WCDMA 경계셀 Pilot 신호와 Dummy-Pilot 신호를 동시에 수신한다. Dummy 셀은 그림 1과 같이 WCDMA 경계셀 외곽의 CDMA2000 단일 지역에 위치한다. WTPC 표준 [1]을 참조하여 본 논문에서 구성한 Dummy-pilot을 사용할 경우의 Inter-RAT 핸드오버 시나리오는 다음과 같다.

표 1. WCDMA 채널 모델 시뮬레이션 파라미터

| Parameter | Value |
|---------------------------------|--------------------------|
| Path loss exponent | 4-6 |
| Lognormal standard deviation | 8-12 dB |
| Cell radius | 1000 m |
| Number of rings of interference | 3 |
| Number of users in each cell | 20 |
| Power control range | 40 dB |
| Target SIR at RAKE output | 4 dB |
| Multi-path channel amplitude | [0, -3 dB, -6 dB, -9 dB] |
| Multi-path channel delay | [0, 260, 521, 780] |
| Processing gain | 256 |
| Maximum BTS Power | 43 dBm |

- 시나리오 5: 단말은 WCDMA 경계셀에 진입하여 Dummy-pilot 신호의 SIR 이 특정 Threshold (Th_m) 이상인 경우 CDMA2000 모델을 활성화 시킨 후 Dummy-pilot 신호의 SIR 이 WCDMA 경계셀 Pilot 신호의 SIR 이상인 경우 핸드오버를 수행한다. 또한, 단말이 모델을 활성화한 상태로 경계셀에 일정 시간 동안 (T_{tr}) 유지하는 경우 핸드오버를 수행한다.

시나리오에서 T_{tr} 은 Handover Triggering Timer 이다. WCDMA 로부터 CDMA2000 으로의 로밍은 WCDMA 경계셀 Pilot 신호의 SIR 를 모니터링하여 수행된다. 그러나, CDMA2000 으로부터 WCDMA 로의 로밍은 WCDMA 경계셀과 겹쳐져있는 CDMA2000 셀의 로밍 정보를 수신하여 이루어져야 한다. WTPC 표준 [1]을 참조하여 구성한 로밍 시나리오는 다음과 같다.

- 단말은 WCDMA 경계셀에 진입하여 WCDMA Pilot 신호의 SIR 이 특정 threshold 이하인 경우 CDMA2000 모델을 활성화시키고, 즉시 로밍을 수행한다.
- 단말은 WCDMA 경계셀과 겹쳐진 CDMA2000 셀에 진입하여 Pilot 신호의 로밍 정보를 수신하여 활성화시키고, 즉시 로밍을 수행한다.

4. 시뮬레이션 모델

A. 채널 모델 및 Mobility 모델

WCDMA 시스템과 CDMA2000 시스템 간의 Inter-RAT 핸드오버를 위해서는 단말의 수신기에서 WCDMA Pilot 신호 및 Dummy-pilot 신호의 SIR 값을 구하는 것은 필수적이다. 따라서 실제 채널 환경과 유사한 SIR 분포의 채널을 얻기 위하여 일반적인 무선 채널 모델과 WCDMA 전력제어 모델을 적용하였다. 무선 채널 모델링은 경로 감쇄, Multi-path 페이딩, Shadowing, 도플러 효과 등의 일반적인 무선 채널 환경을 고려하였다. WCDMA 신호 생성과 사용되는 파라미터들은 [4]와 [5]에 따라 구성하였고, 간섭 신호 생성은 Intra-cell 간섭과 Inter-cell 간섭으로 구성하였다. Intra-cell 간섭의 측정을 위해 Multi-path 페이딩과, 타 사용자의 간섭을 고려하였고, Inter-cell 간섭의 측정은 36 개 셀로 구성된 3-tier 셀

모델을 적용하였다. WCDMA Pilot 신호의 SIR 을 측정하기 위한 시뮬레이션 파라미터는 표 1 과 같다. 단말의 Mobility 패턴은 단말의 핸드오버를 결정하는 주요한 요인이 된다. 실제와 유사한 단말의 Mobility 패턴을 구현하기 위하여 시뮬레이션에 사용된 Mobility 모델은 Random Waypoint Model [6]과 Random Walk Model [7]을 혼합한 Mixed Random Waypoint 방식을 제안하고 사용하였다 [1].

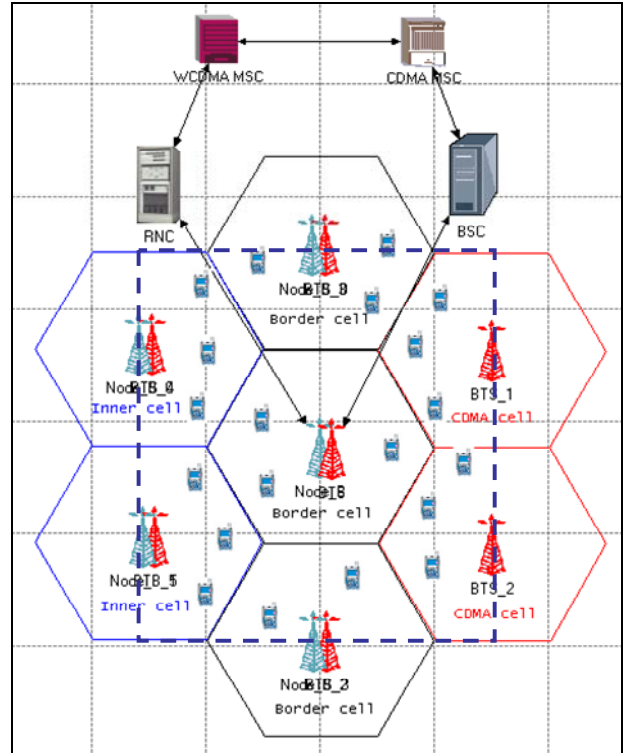


그림 2. 네트워크 모델

B. 네트워크 모델 및 시뮬레이션 파라미터

그림 2 는 본 논문에서 사용한 참조 네트워크 모델이다. 네트워크는 Mobile Switching Center (MSC), Radio Network Controller (RNC), Base Station Controller (BSC), Node_B, BTS, User Equipment (UE)로 구성된다. UE 는 SIR 을 측정하고, Handover 를 수행하며, RNC (BSC)는 UE 에게 핸드오버 조건을 알리고, 핸드오버 수행을 지시한다. MSC 는 WCDMA 와 CDMA2000 간의 Inter-working 절차를 포함하는 Signaling 과정을 수행한다.

시뮬레이션 필드는 동일 크기의 6 개 셀로 구성되어 있으며, WCDMA Node_B 와 CDMA2000 BTS 는 동일하게 위치하였다. 중심의 3 개 WCDMA 경계셀을 중심으로 하여 2 개의 WCDMA 내부셀로 구성하였고, CDMA2000 단일 셀인 2 개의 Dummy-pilot 셀로 구성하였다. 단말은 20 개로 설정하였으며, 각 단말은 그림 2 의 중앙 BS 로부터 인접 BS 사이의 점선 사각형 범위를 이동하도록 설정하였다. 음성 통화 시간은 Exponential 분포를 따르며, CDMA2000 모델 활성화 시간은 Gaussian 분포로 설정하였다. 본 논문에서 사용된 시뮬레이션 파라미터는 표 2 와 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

| Parameter | Setting |
|--------------------------------------------|--------------|
| Number of simulations | 4 |
| Simulation run time | 4 hours |
| Minimum mobile speed (V_{min}) | 10 Km/h |
| Maximum mobile speed (V_{max}) | 100 Km/h |
| Minimum direction angle (θ_{min}) | 0° |
| Maximum direction angle (θ_{max}) | 10° |
| Approval region radius | 50 m |
| Mean of modem activation time | 12 sec |
| Deviation of modem activation time | 1 sec |
| Mean of call duration | 180 sec |
| Call activity | 0.5 |
| Power consumption during idle mode | 0.0037 (J/s) |
| Power consumption during modem activation | 1.665 (J/s) |
| Holding time in roaming | 2 sec |

5. 성능분석

A. 핸드오버 Failure Rate

일반적인 핸드오버에서 핸드오버 Failure 는 사용자의 통화 품질과 큰 관련이 있다. 따라서 본 논문에서는 Dummy-pilot 을 사용하는 핸드오버 시나리오의 성능평가를 위해 핸드오버 Failure Rate 를 측정하였다. 본 논문에서의 핸드오버 Failure Rate 는 통화 중인 상태로 경계셀에 위치한 전체 단말 중 정상적인 핸드오버를 수행하지 않고 CDMA2000 단일 지역으로 이동한 단말의 비를 나타낸다.

WCDMA 경계셀 Pilot 신호만을 사용하는 핸드오버 시나리오 1 에서 단말의 핸드오버 Failure Rate 는 0.045 의 최소값을 나타낸다. 그림 3 의 a)에서부터 c)는 WCDMA 경계셀 pilot 신호만을 사용하는 핸드오버 시나리오의 핸드오버 Failure Rate 이다. 각 시나리오의 Handover Failure Rate 은 모뎀 활성화 Threshold 에만 영향을 받는 것을 확인 할 수 있다.

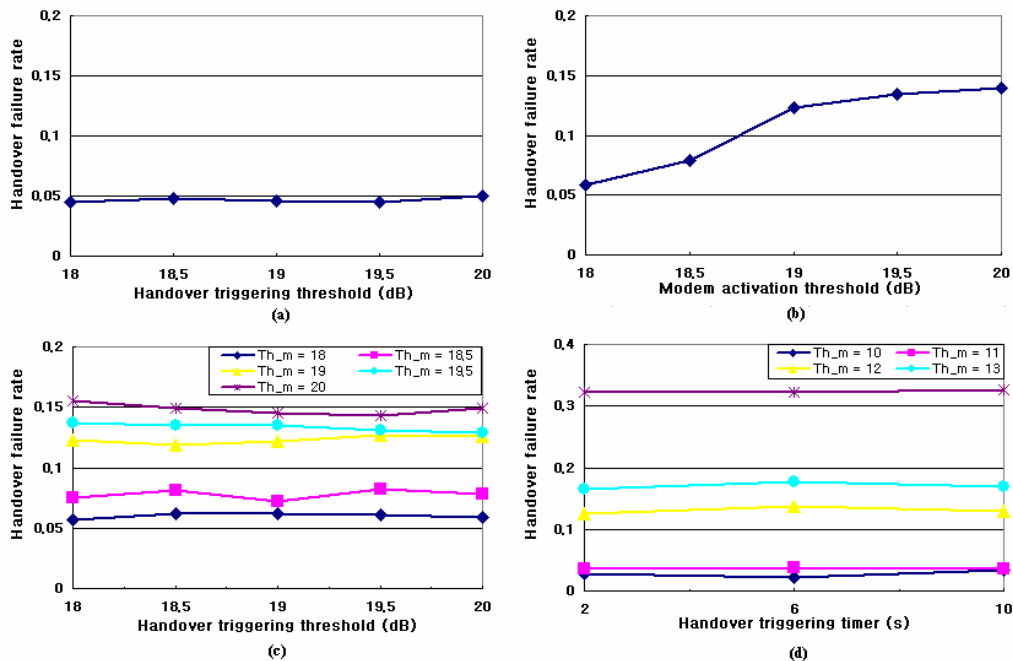


그림 3. 핸드오버 Failure Rate: a) 시나리오 2; b) 시나리오 3; c) 시나리오 4; d) 시나리오 5

그림 3 의 d)는 본 논문에서 구성한 Dummy-pilot 의 Handover Failure Rate 를 나타내었다. 그림 3 의 d)로부터 Dummy-pilot 을 이용한 핸드오버 역시 모뎀 활성화 Threshold 에만 영향을 받는 것을 알 수 있다. 그러나 타 시나리오와 비교할 때, 특정 Handover Triggering Threshold 에서 Dummy-pilot 을 사용하는 경우 가장 좋은 성능이 나타남을 확인할 수 있다. 이는 단말이 그림 1 에서 경계셀의 오른쪽 반쪽 지역에서 핸드오버를 수행하여 불필요한 핸드오버를 최소화할 수 있기 때문이다.

B. 경계셀 활용도 (Border Cell Utilization)

WCDMA 로부터 CDMA2000 으로의 특수한 상황의 핸드오버를 고려할 때, WCDMA 의 경계셀 활용도는 사업자 측면에서 경계셀의 설치 및 유지 비용과 밀접한 관계를 갖는다. 본 논문에서는 경계셀 활용도를 통화 중인 상태의 단말이 경계셀에 머문 평균시간으로 정의하였다.

WCDMA 경계셀 Pilot 신호만을 사용하는 핸드오버 시나리오 1 의 경계셀 활용도는 CDMA2000 모뎀 활성화 시간에 근접한 11.7 sec 의 값을 나타내었다. 그림 4 의 a)에서 c)는 시나리오 2 부터 시나리오 4 의 경계셀 활용도를 나타낸 것으로서, 경계셀 활용도는 Handover Triggering Threshold 가 증가하고, 모뎀 활성화 Threshold 가 감소 할수록 감소함을 확인 할 수 있다. 그림 4 의 d)는 본 논문에서 구성한 Dummy-pilot 의 경계셀 활용도를 나타내었다. Dummy-pilot 을 이용하는 경우, 단말은 그림 1 에서의 경계셀 오른쪽의 반쪽 지역에서 핸드오버를 수행하기 때문에 타 시나리오와 비교할 때 높은 경계셀 활용도 값을 나타낸다.

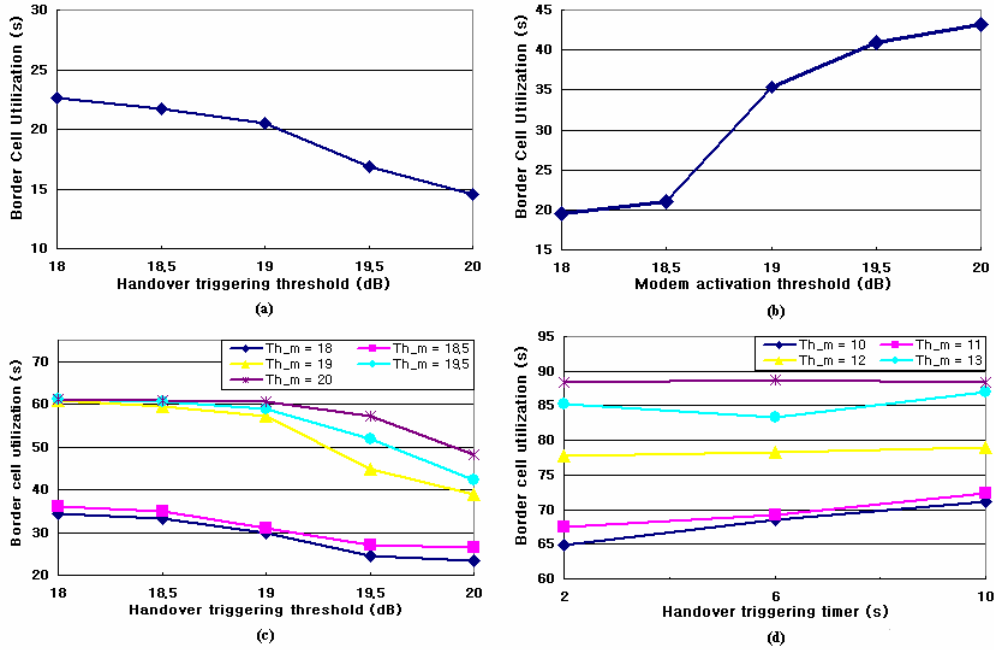


그림 4. 경계셀 활용도: a) 시나리오 2; b) 시나리오 3; c) 시나리오 4; d) 시나리오 5

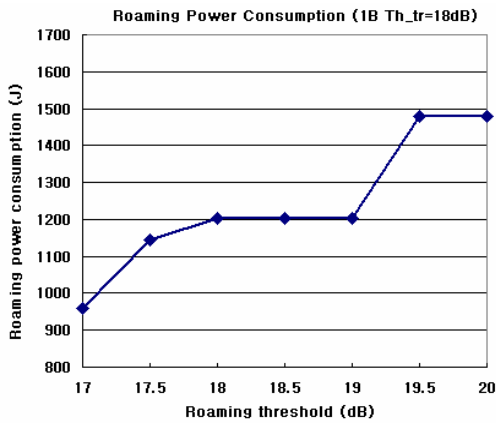


그림 5. 로밍 시 단말의 전력 소비

C. 로밍 시 단말의 전력 소비

그림 5 는 본 논문에서 구성한 로밍 시나리오의 성능평가를 위하여 핸드오버 시나리오 2 에서의 로밍 시 단말의 시간 당 전력 소모를 나타낸다. 로밍 Threshold 의 감소는 핸드오버 Failure Rate 과 경계셀 활용도의 시뮬레이션 결과값에 영향을 줄 수 있으므로, 로밍 Threshold 의 파라미터 범위는 다른 시뮬레이션 결과값에 영향을 주지 않은 범위까지 로밍 시 단말의 전력 소비를 측정하였다. 그림 5 에서 보는 바와 같이, 로밍 Threshold 가 증가함에 따라 Ping-ping 효과가 증가하여 로밍 전력 소비가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 로밍 Threshold 가 17dB 인 경우, 단말의 로밍 전력 소비를 최소화할 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 Dummy-pilot 을 사용할 경우의

WCDMA 로부터 CDMA2000 으로의 Inter-RAT 핸드오버 및 로밍의 성능평가를 수행하였다. Inter-RAT 핸드오버 성능평가를 위해 Inter-RAT 핸드오버의 문제점을 제기하고, 문제점을 고려한 시나리오를 제안하였다. 각 시나리오의 성능평가를 위해 Inter-RAT 핸드오버 성능평가 시뮬레이터를 개발하였고, 사용자 측면의 핸드오버 Failure Rate 과 사업자 측면의 경계셀 활용도를 측정하였다. 설치 및 유지에 추가적인 비용이 요구되는 Dummy-pilot 을 사용하는 핸드오버 시나리오는 각각의 측면에서 가장 좋은 성능을 나타내었다. 또한 로밍 시 Ping-pong 효과를 단말의 전력 소비 면에서 알아보았으며, 최적의 파라미터를 제시하였다. 이러한 성능분석은 사업자나 시스템 디자이너에게 유용한 정보가 될 수 있을 것이다. 또한 본 논문에서 개발한 시뮬레이터는 3rd Generation (3G)로부터 WLAN 또는 3G 로부터 WiBro 으로의 Inter-RAT 핸드오버 등의 성능분석에도 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

6. 참고 문헌

- [1] WIPCT S V2.0.0(2004-06) "Inter-RAT Handover"
- [2] 3GPP TS 25.331 V3.8.0(2001-09), "RRC Protocol Specification" (Release '99).
- [3] 이성진, 김재현, 오성근, 권기범, 김원익, 송평준, "WCDMA 로부터 CDMA2000 으로의 Handover 성능평가," in Proc. 통신학회 추계 학술대회, p. 105, 2005년 11월.
- [4] 3GPP TS 25.211 V3.12.0(2002-09) "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)" (Release '99).
- [5] 3GPP TS 25.213 V3.9.0 (2003-12) "Spreading and modulation (FDD)" (Release 1999).
- [6] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols", ACM/IEEE Mobicom, October 1998.
- [7] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A Survey of Mobility Models for Ad Hoc Network Research", in WCMC: Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.