CBTC를 위한 상용 WCDMA망의 적용 가능성 연구

Study on the Feasibility of the Use of the Commercial WCDMA Network for CBTC

김용상* 고동환** 은창수† 김백현*** 윤용기****

Kim, Yong-Sang Ko, Dong-Hwan Eun, Chang-Soo Kim, back-hyun Yoon, Yong-Ki

---

ABSTRACT

To study the feasibility of applying wireless communication technology to the control of train for the effective control of train and for the reduction of cost and time to construct the necessary infra structure, we investigate into the application of the existing commercial WCDMA network to CBTC (communication-based train control) to grasp the obstacles and propose the solutions to circumvent them. The obstacles can be categorized into the hand-off problem, the interference problem near the stations, and the problem of radio shadow areas. We propose, as solutions, the cell overlap method and multi-terminal approach for the hand-off problem, the cell sectoring method for the interference problem, and establishment of new base stations along the railroad both to provide the wireless train control and communication service to the customers on the train which was otherwise impossible because of the shadowing effect.

---

1. 서 론

도로를 이용하는 교통량에 비해 도로망의 확충이 이를 따라가지 못함에 따라, 효율적인 물류나 인적 수송을 위한 철도의 중요성이 날로 부각되고 있다. 따라서 효율적인 열차 제어를 통해 철도의 효율성을 제고하기 위한 노력도 함께 요구되고 있고, 기존의 열차 제어에서 탈피하여 새로운 기술을 접목하여 그 효율을 높이는 방안들도 검토되고 있다.

이러한 철도 효율성 제고를 위한 노력의 일환으로 철도 선진국들에서는 정보 통신 기술과 철도 제어 기술의 접목을 시도하고 있으며, 이미 많은 성과를 거두고 있다. 우리나라에서도 철도의 중요성이 날로 증대 되고 있는 만큼 보다 효율적인 철도의 운영을 위한 방안 마련이 필요 하게 되었다. 이에 따라 이전에는 유선 통신에 의존하던 열차 제어 기술에 무선통신 기술을 적용하여 기반 구축과 유지 보수 및 관리 등의 비용을 절감하는 방안을 검토 하게 되었다.

본 논문에서는 현재 사용되고 있는 WCDMA 망의 CBTC에의 적용 가능성을 검토하고, CBTC 적용 시의 발생할 수 있는 문제점과 그 해결 방안을 소개한다. 열차 제어에 사용되는 무선 통신 기술을 이용하는 것은 필요한 제반 시설을 적은 비용으로 구축하면서도 최신의 정보 통신 기술을 이용하여 안

† 책임저자 : 충남대학교, 전기정보통신공학부, 교수
E-mail : eun@ieee.org
TEL : 042) 821-6864
* 비회원, 충남대학교, 전자정보통신공학부,학사4년
** 비회원, 충남대학교, 정보통신공학, 석사2년
*** 정회원, 철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 선임연구원
****정회원, 철도기술연구원, 열차제어통신연구실, 선임연구원

전성과 신뢰성을 확보하기 위함이다. 이 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 CBTC의 정의에 대해 설명 하고, 3 장에서는 CBTC의 구조와 CBTC 용 통신 시스템의 성능 조건에 대해 설명 한다. 그리고 상용 WCDMA를 CBTC에 적용 하는 체계에 대해 설명 한다. 4 장에서는 상용 WCDMA를 CBTC에 적용 할 때 발생할 수 있는 문제점과 그 해결책을 제시 한다. 5 장에서는 결론을 맺는다.

2. CBTC의 정의

CBTC(communication based train control)시스템이란 차량과 지상 컴퓨터간의 연속적인 양방향 데이터 링크를 이용하여 열차를 제어하는 시스템을 말한다. CBTC에서는 각 열차가 열차 속도 검지기(열차 자체의 속도 및 위치 검지), 비이콘(열차의 절대 위치 보정) 등을 이용하여 열차의 속도 및 위치를 검출하여 무선을 통해 지상의 컴퓨터로 전송하고 컴퓨터에 의해 열차의 간격을 제어한다. 즉 기존의 열차 검지 방식은 열차의 위치를 불연속적으로 검지하지만 CBTC에서는 연속적으로 검지한다. 궤도 회로 및 신호기 등 지상 설비가 필요없기 때문에 선로변 신호 시스템 구축 비용 및 유지 보수 비용을 대폭으로 줄일 수 있다. 또한 CBTC는 ETCS의 GSM-R과 같은 무선 통신망에 대한 표준화 작업 없이 ISM 밴드를 사용하는 무선 장치를 선정하여 사용하고 있다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 주파수 대역은 2.4 GHz 대역이다[1][2].

3. CBTC와 WCDMA의 체계 구성

3.1 WCDMA 시스템을 이용한 CBTC

그림 1은 기존 CBTC의 통신 시스템의 기능 블록도를 나타낸 것이다[3]. CBTC 시스템을 이용한 열차 제어의 순서를 요약하면 다음과 같다.

① 궤도 회로와 무관하게 선로변 트랜스폰더로부터 열차의 위치 정보를 입수 한다.

② 열차의 위치 정보는 차상 컴퓨터에서 처리되어 양방향 차상-지상간 무선 데이터 통신망을 통해 지상 컴퓨터로 전송된다.

③ 중앙 컴퓨터에서는 각 열차의 위치 정보를 종합적으로 분석하여 지상 네트워크를 통해 영역 제어기와 연동장치에 전달된다.

④ 영역 제어기는 무선 데이터 통신망을 통해 열차 제어 명령을 차상으로 전송한다.

현재 시범 운행 중인 CBTC는 무선 LAN을 이용하여 무선 데이터 통신을 하고 있지만, 이 논문에서는 상용 WCDMA를 이용한 CBTC 체계를 설명 한다.

CBTC용 통신 시스템은 기본적으로 다음의 성능 조건에 맞게 설계 되어야 한다.[3]

① 모든 구간에 걸쳐 지상과 차상간의 무선 링크는 지리적으로나 시간적으로 끊임없이 안정적이어야 한다.

② 무선 링크에 의한 데이터 처리 용량은 해당 CBTC 시스템 운영에 필요하다고 파악되는 통신 소요량보다 충분한 여유가 있어야 한다.

③ 고속 운행 조건에도 안정적인 핸드오버를 통해 지속적인 로밍(seamless roaming)을 구현할 수 있어야 한다.

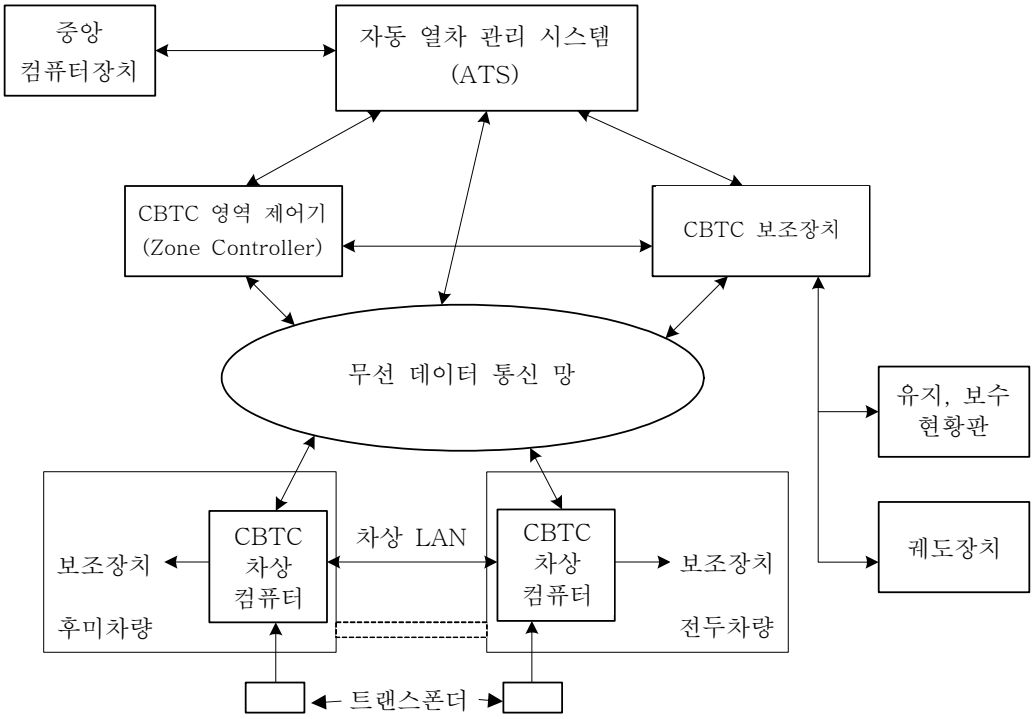

그림 1. CBTC 통신시스템의 기능 블록도

표 1. WCDMA 기본 사양

구 분	Specification
Mobility	Up to 500 km/h
Handoff	Soft Handoff, Softer Handoff
Bandwidth	UL : 1920~1980 MHz DL : 2110 MHz~2170 MHz
Carrier spacing	5 MHz
Data rate vs Mobility	2 Mbps at 0 km/h 384 kbps at 60 km/h 144 kbps at 100 km/h 64 kbps at 120 km/h 16 kbps at 160 km/h
Data modulation	QPSK
Spread modulation	UL: QPSK, DL: BPSK
Frame duration	10 ms
coverage	2~2.5 km for vehicle(best 8.5dB)

표 1은 WCDMA의 기본 사양을 나타낸 것이다. CBTC 용 통신 시스템 기본 조건과 WCDMA의 기본 사양을 비교하면 WCDMA는 CBTC 용 통신 시스템 기본 조건을 충분히 만족함을 알 수 있다. 상용 WCDMA를 CBTC에 적용할 경우, WCDMA의 이동도가 최대 500km/h이므로 기존 도시 경량 전철에만 국한되어있던 무선 열차 제어 시스템을 KTX를 포함하여 일반 열차에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 WCDMA는 기존의 CDMA에 비해 넓은 대역폭의 높은 데이터 전송률을 갖고 있어 고속으로 많은 데이터를 전송할 수 있고, 데이터의 패킷화가 가능하므로 여러 통신망과의 호환성이 매우 높다[6]. 따라서 WCDMA 망과 CBTC 영역 제어기와 보조 장치 간 연결에 사용 할 수 있는 통신 기술의 선택 폭이 넓어지는 것도 장점이 된다. 현재 국내 셀룰러 통신 시스템이

WCDMA방식으로 바뀌고 있으므로 CBTC를 위하여 새로운 기술을 개발하는 것보다 상용 WCDMA기술을 이용하는 것이 기지국 설치 및 단말기의 개발 등에서 비용이 훨씬 절감 될 것이다.

4. WCDMA의 CBTC적용 시 발생할 수 있는 문제점 및 해결책

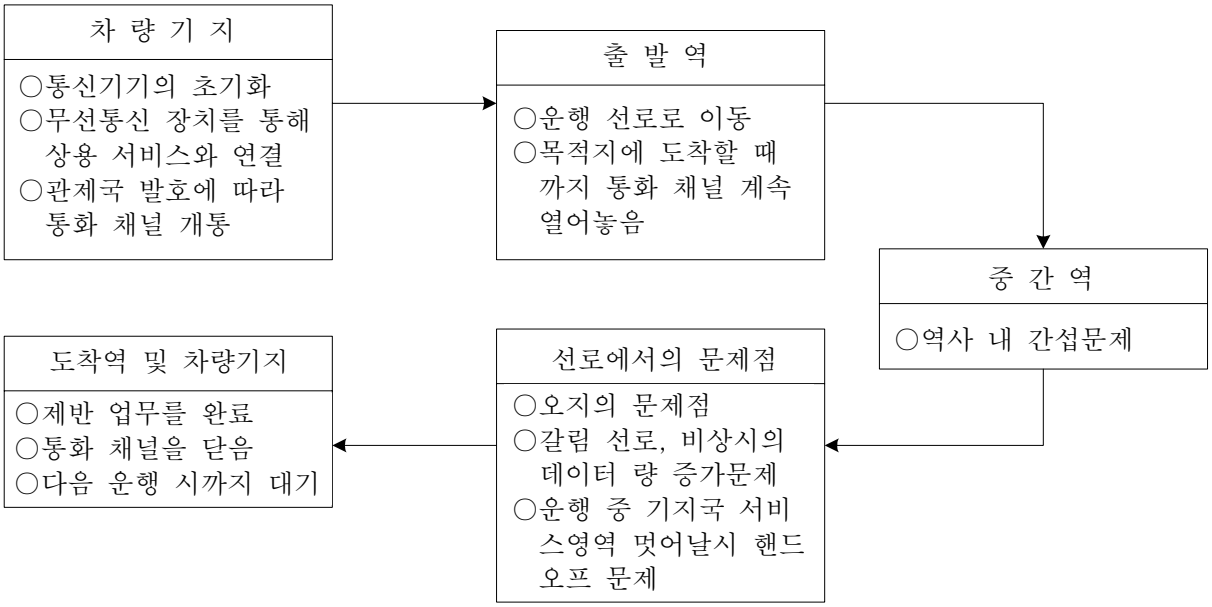

그림 2. 시나리오에 따라 발생할 수 있는 문제점

그림 2는 열차의 운행에 따른 WCDMA 선로의 상태 및 문제점을 나타낸 것이다. 먼저 열차가 운행 시간이 되면 기관의 시동 및 통신 기기의 초기화를 실시한다. 무선 통신 장치를 통해 상용서비스와 연결이 되면 상용 네트워크를 이용하여 관제국과 연결된다. 초기화가 완료되면 관제국의 발호에 따라 통화 채널을 개통한다. 통화 채널이 개통이 되고 운행 시간이 되면 열차는 차량기지에서 운행 선로로 이동할 것이다. 이때부터 열차는 목적지에 도착할 때까지 기지국 그리고 관제국과 통화 채널을 계속 열어 놓은 상태에서 운행 한다. 목적지에 도착한 열차는 필요한 제반업무를 모두 완료한 후 통화 채널을 닫고 다음 운행이 있을 때까지 대기 한다.

열차 시나리오에서 발생할 수 있는 문제점을 살펴보면 중간 역에서의 역사 내 문제와 운행 중의 핸드오프문제, 장애지형의 문제, 데이터 량 증가의 문제 등으로 요약 할 수 있다. 여기서 데이터 량 증가 문제는 WCDMA의 Emergency call기능으로 해결할 수 있다. 아래에 문제점 및 해결책을 자세히 설명한다.

4.1 역사 내에서의 간섭 문제

일반 철로 위에서보다 역사 내에서는 더욱 많은 일반 사용자와 열차가 존재 한다. 이는 곧 일반 사용자가 사용할 수 있는 채널의 수가 줄어든다는 것을 의미하므로 일반 사용자가 통화 채널을 개통하는데 어려움이 있을 수 있다. 열차의 수가 많으면 열차는 지속적으로 통화 채널을 열어 놓아야 하므로 일반 사용자들의 용량이 문제가 될 수 있다.

이러한 문제를 줄이기 위해 역사 내 기지국의 셀을 더욱 많은 섹터로 나누는 등의 개선이 필요하게 된다. 셀을 더욱 많은 섹터로 나눌 경우 또는 셀 내의 섹터에서도 주파수 재사용을 고려할 경

우 셀 내에서 섹터 간의 이동에 따른 소프터 핸드오프가 또 다시 문제가 될 수 있다. 이는 셀 간의 소프트 핸드오프와 범위의 개념만 다를 뿐 동작 과정 및 점유 채널이 또한 동일하기 때문이다.

4.2 핸드오프의 문제점

이동 통신 환경에서 이동국이 한 기지국 통화 영역에서 다른 기지국의 통화 영역으로 이동할 때 연속적인 통화 채널을 유지하기 위해서 핸드오프가 발생한다. 열차가 운행 될 때 역시 핸드오프가 발생한다. 하지만 열차는 일반적인 이동국과는 달리 최대 300 km/h의 높은 속도로 운행한다. 현재 설치되고 있는 WCDMA의 셀 반경이 2~2.5 km이므로 감안하면 열차의 높은 운행 속도 때문에 기지국 사이를 지나는 시간이 매우 짧다. 따라서 핸드오프가 빈번히 발생하게 된다. 이 때 가장 큰 문제점은 바로 핸드오프 실패 확률이 존재한다는 것이다. 만약 열차의 높은 이동 속도 때문에 핸드오프가 실패하게 된다면 짧은 시간이지만 열차는 아무런 제어없이 달리게 되는데 이는 큰 위험 요인이 될 수 있다.

핸드오프의 문제점은 망 중첩 기술을 이용하거나 복수 단말기를 채용함으로써 문제점을 해결 할 수 있다.

망 중첩 기술은 기지국의 셀 영역을 중첩시킴으로써 기지국의 고장이나 핸드오프 지연 등의 상황에서는 중첩되는 인접 기지국을 이용하여 열차와 관제실의 정보 전달에 끊임이 없도록 하는 기술이다. 즉 한 개의 기지국 셀 영역을 인접한 두 개의 기지국이 동시에 커버한다. 하나의 기지국은 180°로 나누어진 두 개의 섹터로 구성되어 있고 인접 기지국과 체인 구조로 맞물려 있기 때문에 기지국 간의 거리를 하나의 섹터로 유지한다면 인접 기지국의 셀 영역의 가운데 위치하는 기지국의 셀 영역으로 커버할 수 있다. 그림 3은 망 중첩 기술을 나타낸 것이다. 셀 영역이 그림 3과 같을 경우 열차는 핸드오프를 기존 보다 일찍 시도하게 된다. 따라서 만약에 1차 핸드오프에 실패를 하더라도 2차 핸드오프 시까지의 시간을 벌 수 있다.

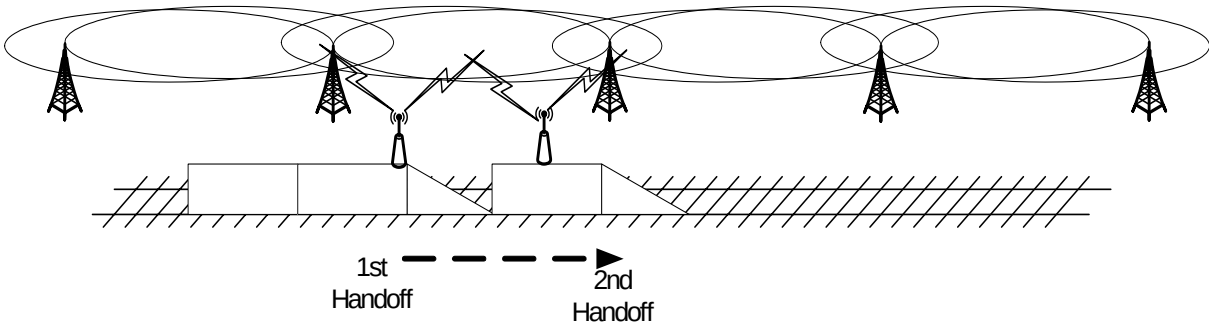

그림 3. 망 중첩 기술.

다음은 복수 단말기 기술이다. 그림 4는 복수 단말기 기술을 위의 그림 3의 망 중첩 기술과 병합하여 나타낸 것이다. 이 방법은 열차에 여러 개의 단말기를 설치하여 확보 채널의 수를 늘리는 방법이다. 열차는 수백 미터에 이를 정도로 길이가 길다. 이를 이용하여 열차의 앞과 뒤에 서로 다른 월쉬 코드를 갖는 ID가 다른 단말기를 복수로 설치한다. 복수 단말기 기술을 사용하면 하나의 단말기를 이용할 때보다 적어도 2 배 이상의 채널을 안정적으로 확보할 수 있고 단말기의 월쉬 코드가 다르기 때문에 핸드오프가 아니더라도 기본적으로 동시에 여러 채널을 확보할 수 있게 된다. 어느 하나의 단말기에 이상이 생긴다고 하더라도 다른 하나는 나머지 기지국과 데이터 전송이 가능하기 때문에 통신 신뢰성을 높일 수 있는 장점이 있다. 또한 앞의 단말기에서 핸드오프를 실패

하여도 다른 단말기에서 핸드오프를 하기 때문에 핸드오프 실패 확률을 줄일 수 있다.

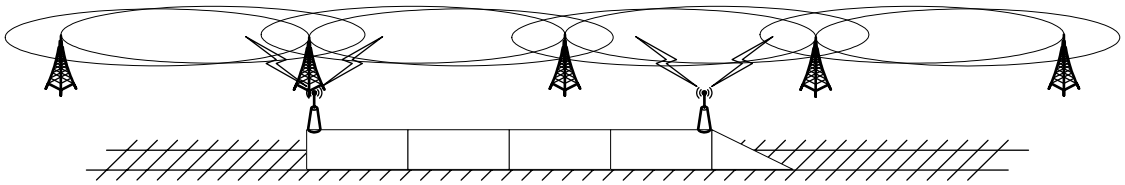

그림 4. 두 개의 단말기를 채용할 경우의 핸드오프

4.3 장애 지형에서의 문제점

열차의 선로는 역사를 제외하는 주로 도심 외곽 지역에 설치되어 있다. 경인선이나 호남선과 같은 경우는 큰 상관이 없지만 강원선이나 영동선의 경우 높은 산과 같은 장애 지형이 넓은 지역에 걸쳐 퍼져 있다. WCDMA의 상용화가 되어 많은 사람들이 사용하고 있지만 WCDMA망이 완벽히 설치되어 있는 것은 아니다. 따라서 열차의 선로가 오지를 통해 간다면 기지국의 부족으로 중간에 통신이 끊길 수 있고 또한 제어를 하지 못하여 승객들이 위험에 처할 수 있다.

이런 오지에 대한 문제점을 해결하기 위해서는 철로 주변으로 기지국을 건설하여 열차와 관제국 간의 통신이 끊임이 없어야한다. 열차제어를 위해 망을 설치할 경우 승객들에게도 통신 서비스를 제공할 수 있다는 이점이 있다.

4.4 데이터 량 증가의 문제

갈림 선로나 비상시 즉 사고 시에는 열차제어를 위한 데이터 량이 급속적으로 증가하게 된다. 특히 비상시에는 데이터 량의 증가가 매우 커지므로 일반 WCDMA통화 모드로는 전송하는데 어려움이 생긴다.

이런 데이터 량 증가의 문제를 해결하기 위해서는 GAM-R처럼 WCDMA의 Emergency call기능을 활용하여 해결할 수 있다.

5. 결 론

본 연구의 목적은 상용 WCDMA를 사용하여 CBTC의 적용이 가능한지를 조사하고 적용 시 발생 할 수 있는 여러 가지 상황을 가정하여 문제점을 찾고 그 해결책을 제시하는 것이었다. 문제점으로는 크게 역사 내의 간섭 문제점, 핸드오프의 문제점, 그리고 장애지형의 문제점 등으로 나누었다. 역사 내 간섭의 문제점은 셀을 더 작은 섹터 단위로 나누어 해결할 수 있었고, 핸드오프의 문제점은 망 중첩 기술과 복수 단말의 채용으로 해결하며, 장애지형의 문제점은 철로 주변에 기지국을 설치하여 열차제어는 물론 열차를 이용하는 승객들에게는 통신서비스를 제공할 수 있는 해결책을 제시 하였다. 이 논문에서 논의한 문제점들만 효과적으로 해결된다면 상용 WCDMA 망을 열차 제어에 효율적으로 이용할 수 있을 것으로 한다.

향후 연구 방향은 CBTC와 상용 WCDMA의 인터페이스 문제와 상용 망을 사용할 경우 열차 제어 전용 채널 확보의 문제를 풀어 나가는 것이다. 앞으로의 연구는 기술적인 연구뿐만 아니라 정책적인 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Rail Transit Vehicle Interface Standards Committee of the IEEE Vehicular Technology Society, *IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*,1999
2. 조봉관, 류상환, 백종현, 조보형, *무선을 이용한 지상과 차상간 통신방식에 관한 연구*, 한국철도 기술연구원, 2002
3. 한국 철도 기술원, *열차 제어용 통신시스템의 요구사양(안) 및 적용방안*, 충북대학교 2002
4. Sandip Sarkar, Daisuke Terasawa, Edward Tiedemann, *Handoff between Asynchronous and Synchronous Systems*, Corporate R & D Group, QUALCOMM Incorporated, 2000
5. 한국 철도 기술원, *스마트 열차제어를 위한 무선통신 장체에 관한 연구*, 충남대학교, 2006
6. B. Melis, M. Mastroforti, G. Romano, *Link Level Performance of the W-CDMA Radio Interface for UMTS* CSELT - Via. G. Reiss Romoli,1999
7. H. Holma and A. Toskala, *WCDMA for UMTS*. : John Wiley & Sons, Ltd., 1st edition, 2000, Chichester, UK