

主 題

# 역방향 동기식 전송 방법

## (Reverse link Synchronous Transmission Scheme)

SK텔레콤 중앙연구원 이동도, 김병무

차 례

Abstract

I. 서론

II. 다단계 셀 탐색 및 역방향 동기 전송

III. 역방향 동기 전송 알고리즘

IV. 시뮬레이션 결과

V. 결론

### Abstract

본 논문에서는 최근 IMT-2000을 위한 무선 전송 규격에 반영된 SK 텔레콤의 기술을 설명한다. SK 텔레콤에서는 역방향 다중 접속에 의한 간섭량을 줄이기 위한 기술로서 기지국에서 이동국의 송신 타이밍을 조절하는 “역방향 동기식 전송방식(RSTS : Reverse link Synchronous Transmission Scheme)”을 ITU에 제안하여 현재 W-CDMA의 표준으로 채택되었다. 또한 기지국간 비동기 방식에서 셀 탐색을 위한 방법으로 “클러스터 파일럿과 셀 파일럿을 이용한 다단계 셀 탐색 방법”을 제안하여 W-CDMA의 다단계 셀 탐색 방법의 기본 개념을 제시한 바 있다. 본 논문에서는 국제 표준에 반영된 이 두가지 방법에 대한 알고리즘을 설명하고 동기식 전송 방식으로 얻게 되는 역방향 다중 접속 간섭량

의 감소를 시뮬레이션을 통해 보인다.

### I. 서론

최근 IMT-2000을 위한 이동통신 시스템의 표준화 동향을 살펴보면 CDMA 기술을 기반으로 하는 무선 전송 기술이 국제 표준으로 채택되는 것이 유력하다[1]. 이러한 CDMA를 기반으로 하는 표준에는 북미 지역에서 지원하는 동기 방식인 ‘cdma2000’과 유럽 및 일본에서 제안하는 비동기 방식인 ‘W-CDMA’가 있다.

SK 텔레콤은 국내 제일의 이동통신 사업자로서 멀티 미디어 환경에서 다양한 이동 통신 서비스를 제공하기 위하여 IMT-2000의 주요 기술을 개발하

여 왔다. 그리고 자체 개발된 기술을 국제 표준에 반영하기 위한 노력을 지속적으로 전개하여 현재 역방향 동기 전송 방식이 W-CDMA의 표준으로 채택되는 성과를 얻었으며 비동기 방식의 시스템에서 가장 중요하다고 할 수 있는 다단계 기지국 검색 방법을 제안하여 기본 개념이 W-CDMA 표준에 반영되었다.

II절에서는 클러스터 파일럿과 셀 파일럿을 이용한 다단계 셀 탐색 방법과 역방향 다중 접속 간섭량을 줄이기 위한 동기식 전송 방식에 대한 기본 개념을 기술한다. III절에서는 역방향 동기 전송 알고리즘을 정량적으로 기술하며 시뮬레이션 결과를 얻기 위하여 이용된 수신 타이밍 변화에 대해서 설명하고, IV절에서 시뮬레이션 결과를 제시한다.

## II. 다단계 셀 탐색 및 역방향 동기 전송

W-CDMA 방식과 같은 비동기 시스템에서 기지국은 고유의 확산 코드에 의하여 구분되며 이동국은 최초 셀 탐색 시 모든 파일럿 코드의 모든 위상에 대한 검색을 수행해야 한다.

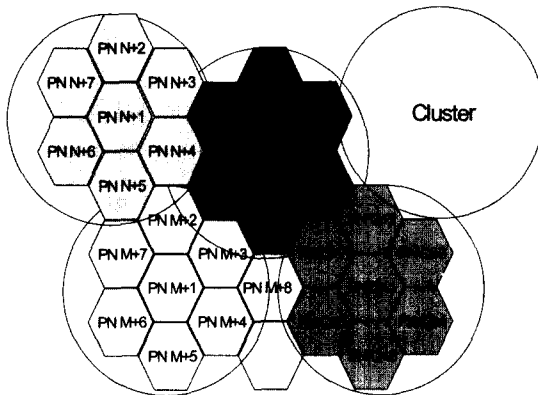


그림 1. 다단계 셀 탐색을 위한 셀 묶음

SK 텔레콤은 다단계 셀 탐색을 위한 방법으로 그

림 1과 같이 셀들을 그룹화하여, 각 기지국이 그룹을 구분하는 클러스터 파일럿 채널(cluster pilot)과 셀을 구분하는 셀 파일럿 채널(cell pilot)을 송신하는 방식을 제안하였다. 이동국은 먼저 클러스터 파일럿 채널을 검색하며, 클러스터 파일럿 채널 동기를 획득한 후 이 클러스터 파일럿 코드로 구분되는 그룹에 속하는 셀만을 탐색하게 된다. 이러한 방식을 이용하면 모든 파일럿 채널을 검색하는 경우에 비하여 셀 탐색 시간을 줄일 수 있다.

동일 셀 내의 여러 이동국이 같은 주파수 대역을 사용하고 확산 코드에 의하여 이동국 간의 구분이 가능한 DS-CDMA 시스템에서 특정 이동국에 의하여 전송된 신호를 복조할 때 다른 이동국의 신호는 간섭으로 작용하며 이러한 채널간 간섭량이 시스템의 용량을 제한하게 된다. 이러한 종류의 간섭은 동일 셀 내의 이동국들에 의한 간섭과 인접 셀의 이동국들에 의한 간섭으로 나뉘어진다. 본 논문에서는 역방향 링크의 용량에 큰 영향을 주는 동일 셀 내의 이동국들간 간섭만이 고려된다. 순방향 링크에서는 모든 채널간의 동기가 일치하고 직교 코드를 사용하여 채널을 구분함으로써 채널간의 간섭을 막을 수 있다. 그러나 역방향 링크에서는 이동국 신호의 수신 지연이 셀 내 위치에 따라 다양하므로 역방향 채널간에는 비동기 전송이 이루어진다. 따라서 직교 코드를 이용하여 확산하여도 각 채널의 한 심벌 주기가 어긋나 있으므로 사용한 코드의 직교성을 이용하여 채널간 간섭량을 감소시키는 효과를 기대할 수 없다.

SK 텔레콤은 이동국의 전송 타이밍을 조절하여 이러한 문제를 해결하는 방법을 제안하였다. 즉, 역방향 각 채널은 고유의 직교 코드를 사용하여 확산되고 기지국에 도달하는 채널간의 동기를 유지하기 위하여 페루프 전력 제어와 유사한 송신 타이밍 제어 방법을 사용한다. 기지국은 기준 타이밍과 이동

국으로부터 수신된 신호의 지연값으로부터 이동국의 확산 코드 위상을 빠르게 하거나 느리게 하기 위한 제어 정보를 전송한다. 각 이동국은 기지국에서 송신된 제어 정보에 따라서 송신 타이밍 제어 단위(1/4 chip)씩 코드 위상을 조절한다. 이동국의 다중 경로 신호 중 주 경로(main path)에 대하여 동기화가 이루어지더라도 주 경로를 제외한 다중 경로에 의한 간섭은 여전히 해결할 수 없다. 그러나 주 경로가 전체 수신 전력의 절반 이상을 차지(2)하므로 주 경로에 대한 간섭을 제거함으로써 상당한 성능 향상을 얻을 수 있다.

역방향 채널의 심벌 동기가 이루어진 경우와 기존의 방법에 대한 비교 결과를 실험에 의해서 얻었고, 이에 따르면 RSTS에 의하여 역방향 채널간 심벌 동기가 1/4 칩 이하로 유지되면 비동기식 전송 방법에 비하여 3dB의 이득이 발생한다는 것을 보였다(3). 그러나 채널 환경은 이동국의 움직임에 따라 변화하며 심지어 음영 효과(shadowing effect)에 의하여 경로가 사라지기도 하므로, 본 논문에서는 추가로 각 이동국의 수신 신호 지연이 시간에 따라 변화하는 채널 환경을 가정하여 이러한 채널 환경 하에서도 페루프 송신 타이밍 제어에 의하여 다중 접속 간섭량이 감소함을 실험을 통하여 검증하였다.

### III. 역방향 동기 전송 알고리즘

이미 기술한 바와 같이 기지국은 역방향 채널간의 심벌 동기를 일치시키기 위하여 이동국 송신 타이밍을 지속적으로 제어한다.

역방향 동기 제어 과정을 그림 2에 표시하였고 상세한 과정은 다음과 같다.

- (1) 이동국은 기지국 신호의 동기를 획득한다.
- (2) 이동국은 수신 신호 동기에 맞추어 기지국으로 신호를 송신한다.

(3) 기지국은 기지국의 기준 타이밍과 이동국의 수신 타이밍을 비교하여 이동국의 코드 위상이 빠르게 되어야 할지 느리게 되어야 할지를 결정한다.

(4) 이동국의 코드위상, 즉 송신 타이밍을 빠르게 혹은 느리게 하기 위한 타이밍 제어 정보를 이동국으로 전송한다.

(5) 이동국은 수신된 제어 정보에 따라서 코드위상을 1/4 칩 빠르게 혹은 느리게 조절한다.

(6) 기지국에서 수신된 이동국 신호 수신 타이밍이 기준 타이밍에 일치할 때까지 (3)~(5)의 과정을 반복한다.

이상과 같은 알고리즘을 정량적으로 설명하기 위하여 BPSK 확산을 고려하여 수신 신호를 표현하면 식 (1)과 같다.

$$r(t) = \sum_{n=1}^M \sum_{k=1}^L x_n(t - \tau_{n,k}) + N(t) \quad (1)$$

식 (1)에서 M, L은 M명의 사용자 L개의 다중 경로를 나타내고  $x_n(t - \tau_{n,k})$ 은 n번째 이동국에서 수신된 k번째 다중경로 수신신호를 나타내며 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$a_{n,k} d_n(t - \tau_{n,k}) p(t - \tau_{n,k}) W_n(t - \tau_{n,k}) \quad (2)$$

식 (2)에서 각 변수의 의미는 다음과 같다.

$a_{n,k}$  : n번째 이동국, k번째 경로의 채널 이득

$d_n(t)$  : n번째 이동국에서 전송한 이진 데이터

$p(t)$  : 확산 PN(Pseudo Noise) 부호

$W_n(t)$  : n번째 이동국에 할당된 직교 부호

$\tau_{n,k}$  : n번째 이동국, k번째 경로의 지연값

n번째 이동국의 l번째 경로를 주 경로로 가정하고, 기지국의 기준 타이밍과 동기가 이루어졌을 때,

이동국의 수신 지연값을  $\tau_{refer}$ 라고 하면  $\tau_{n,l}$ 값은  $\overline{\tau_{n,l}} + \tau_{refer}$ 값으로 표시할 수 있고 역방향 동기가 확립되면, 이동국의 지연 오프셋값  $\overline{\tau_{n,l}}$ 이 0으로 된다. m번째 이동국의 l번째 경로를 복조할 때,  $r(t)$ 는 확산코드  $p(t - \tau_{m,l})$ 과 직교부호  $W_m(t - \tau_{m,l})$ 에 의하여 역확산되며 한 심벌 주기 T 동안 적분된다. 이때 수신 값을 결정하는 변수  $d_m$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$d_m = \pm a_{m,l}T + I^{self} + I^{other} + I^{noise}$$

$$I^{self} = \int_T \sum_{k=1, \neq l}^L a_{m,k} d_m(t - \tau_{m,k}) p(t - \tau_{m,k}) \times p(t - \tau_{m,l}) W_m(t - \tau_{m,k}) W_m(t - \tau_{m,l}) dt$$

$$I^{other} = \int_T \sum_{n=1, \neq m}^M \sum_{k=1}^L a_{n,k} d_n(t - \tau_{n,k}) p(t - \tau_{n,k}) \times p(t - \tau_{m,l}) W_n(t - \tau_{n,k}) W_m(t - \tau_{m,l}) dt$$

$I^{noise}$ 는 가우시안 노이즈 항이다. 즉 역방향 동기 전송 방식은 타이밍 오프셋  $\overline{\tau_{n,k}}$ 가 0이 되도록 모든 이동국의 송신 타이밍을 제어하여  $I^{other}$ 항의 주 경로 신호의 간섭을 줄이는 과정으로 설명할 수 있다. II 절에서 설명한 바와 같이 이동국의 수신 타이밍이 동적으로 변화하는 채널 환경을 가정하기 위하여 각 이동국의 지연 변수 변화폭  $\Delta\tau_{n,l}$ 이 그림 3과 같이 랜덤하게 변화한다고 가정하였다. 즉, 지연 변수 변화폭  $\Delta\tau_{n,l}$ 와 변화 주기  $\Delta t$ 는 랜덤 변수이며 각각 식 (3), 식 (4)와 같은 확률 분포를 갖는 것으로 가정하였다.

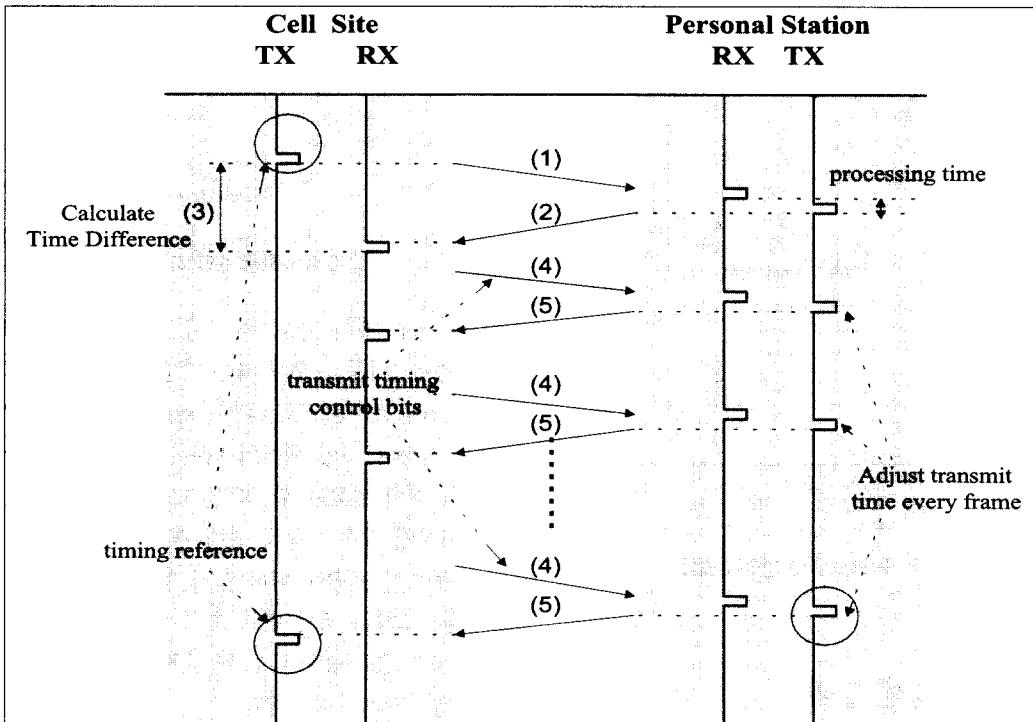


그림 2. 역방향 동기 제어 과정

$$p(\Delta\tau_{n,l}) = \frac{1}{2mT_c}, \quad -mT_c < \Delta\tau_{n,l} < mT_c \quad (3)$$

$$= 0, \quad \text{otherwise}$$

$$p(\Delta t) = \frac{1}{\Delta t_{avg}}, \quad \Delta t_{avg} < \Delta t < \frac{3\Delta t_{avg}}{2} \quad (4)$$

$$= 0, \quad \text{otherwise}$$

식 (3), (4)에서  $T_c$ 는 칩 주기를,  $\Delta t_{avg}$ 는 지연 변수  $\tau_{n,l}$ 가 변화하는 평균 시간 간격을 의미하며 이 시간동안 최대  $m \cdot T_c$  만큼 수신 신호 지연값이 커지거나 작아지게 된다. IV 절의 시뮬레이션에서는 지연 변수 변화폭을  $T_c$ 와  $2T_c$  내로 제한하고 결과를 얻었다. 기지국은 기준 타이밍에 대한 이동국의 수신 신호 지연을 계산하고 식 (5)와 같이 지연 변수가 조절 되도록 송신 타이밍 제어 정보를 이동국에 전송한다.

$$\begin{aligned} &\text{if } \tau_{n,l} \geq \tau_{refer} \\ &\quad \tau_{n,l} = \tau_{n,l} - T_c/4 \\ &\text{else} \\ &\quad \tau_{n,l} = \tau_{n,l} + T_c/4 \end{aligned} \quad (5)$$

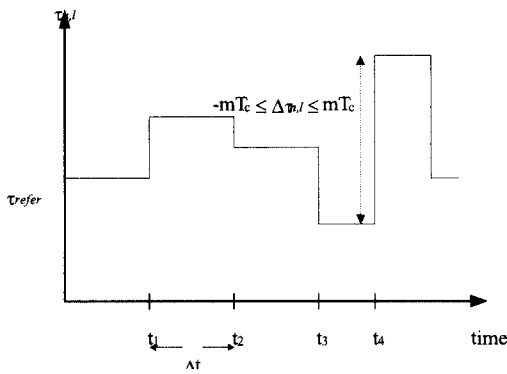


그림 3. 주 경로 지연 변수의 변화

#### IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위하여 ITU-R TG 8/1 채널 모델

중 vehicular B 모델이 사용되었다. 송신 주파수는 1.9GHz, 이동국의 속도는 20km/h로 가정하고 데이터 전송률이 32kbps인 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 역방향 동기 전송 방식의 경우 월쉬 직교 코드가 각 이동국을 구분하기 위하여 사용되었으며 확산을 위하여 PN(Pseudo Noise) 코드가 사용되었다. 시뮬레이션 결과를 비교하기 위한 비동기 전송 방식의 경우는 각 이동국이 PN 코드의 위상에 의하여 구분된다. 수신 신호 지연 변수의 변화 속도에 대한 제어 속도 비를 나타내는 변수로서 N을 도입하였다. 예를 들어  $\Delta t_{avg}$ 가 100ms 이고 N이 4이면 제어 속도는 40Hz가 된다.

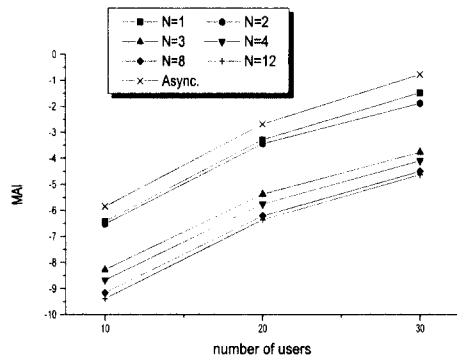


그림 4. 이동국 수에 따른 MAI

그림 4는 제어 속도 비 N이 1부터 12까지 변화하는 경우, 이동국 수에 따른 다중 접속 간섭(MAI : Multiple Access Interference)량을 보여 주고 있다. 전송 타이밍 제어의 단위는 1/4 칩이며 지연 변수의 최대 변화는 한 칩 간격으로 제한되었다. N이 3이상인 경우 이동국 수에 관계없이 동기식 전송이 비동기식 전송에 비하여 약 3dB의 성능 향상을 보인다. 그러나 채널 변화 속도에 대한 제어 속도비가 1 또는 2로 충분치 않은 경우 동기식 전송 방식의 성능 향상은 미미하다.

그림 5에 지연 변수 변화폭이 한 칩과 두 칩 간격으로 제한되는 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 지연 변수가 크게 변화하는 것은 수신 타이밍이 갑작스럽게 변화할 수 있음을 의미하며 지연 변수 변화 속도에 대한 타이밍 제어 속도  $N$ 을 변화시키면서 MAI 값을 계산하였다. 수신 타이밍 변화폭이 커지면 제어 속도를 증가 시켜서, 즉 시간당 두 배의 제어 정보를 송출하여 동일한 성능을 얻을 수 있었다. 이동국 신호의 수신 타이밍 변화는 보통 1000ms내에 평균 한 칩 내외로 측정되었으며[4], 따라서 시뮬레이션 결과에서 나타난 바와 같이 RSTS 제어 속도는 실제 구현이 가능한 범위에 속한다.

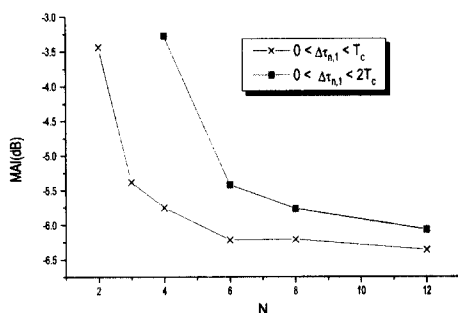


그림 5. 수신 타이밍 변화 속도에 대한 제어 속도 비에 따른 MAI

## V. 결론

본 논문에서는 SK 텔레콤에서 제안하여 비동기 방식의 다단계 셀 탐색 방법에 기본 개념이 반영된 "클러스터 파일럿과 셀 파일럿을 이용한 다단계 셀 탐색 방법"을 설명하였으며 이로 인하여 셀 탐색 시간이 줄어들음을 보였다. 또한 역방향 채널간 간섭량을 줄이기 위한 방법으로 ITU에 제안되어 W-CDMA 표준으로 채택된 "역방향 동기식 전송 방식"에 대한 알고리즘을 설명하였다. 시뮬레이션 결과에서 알 수 있는 바와 같이 역방향 동기식 전송 방

식에서 채널간 동기가 확립될 경우, 동기가 확립되지 않은 경우에 비하여 3dB 만큼 다중 접속 간섭량이 줄어들게 된다.

### ※ 참고 문헌

- [1] Tero Ojanpera, Ramjee Prasad, "An Overview of Air interface Multiple Access for IMT-2000/UMTS", IEEE Communications Magazine, Sep. 1998.
- [2] ITU-R TG 8-1 rec. M.1225.
- [3] E.K.Hong, T.Y.Lee, Y.D.Yang, B.C. Ahan, Y.W.Park, "Radio Interface Design for CDMA-Based PCS", ICUPC 96, Vol. 1, pp.365-368.
- [4] Jaemin. Ahn, "1-chip Multipath Resistant Spreading", TTA contribution, Samsung Electronics, Jan., 1998.



이 동 도

1963년 9월 9일생  
1987년 연세대학교 전기공학과 학사  
1989년 연세대학교 전기공학과 석사  
1997년 연세대학교 전기공학과 박사  
1997년~현재 SK텔레콤 중앙연구원 선임연구원  
※ 관심분야: 스펙트럼 확산통신, CDMA 시스템



김 병 무

1956년 6월 17일생  
1980년 2월 서울 공대 전자공학과(학사)  
1982년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과(석사)  
1980년 2월~1986년 9월 금성통신(주)연구소 선임  
연구원  
1991년 12월 Georgia Tech EE(박사)  
1992년 2월~1993년 4월 SUN Microsystems, Palo  
Alto, California, MTS  
1993년 5월~1997년 1월 LG전자(주) 멀티미디어(연)  
1997년 2월~현재 SK Telecom 중앙연구원,  
IMT-2000 개발 그룹장  
※ 관심분야: 유무선통신시스템/VLSI Signal Processing