

CDMA 통신망의 하드핸드오프 지원을 위한 적응형 파일럿 비콘에 관한 연구

정회원 정 기 혁*, 홍 동 호**, 홍 완 표***, 종신회원 나 극 환*

A Study on Adaptive Pilot Beacon for Hard Handoff at CDMA Communication Network

Ki Hyeok Jeong*, Dong Ho Hong**, Wan Pyo Hong *Regular Members*
Keuk Hwan Ra* *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 직접대역 확산 통신 기법을 사용하는 이동통신 시스템에서 하향링크상의 무선신호를 이용하여 오버헤드 채널상의 정보를 취득하고 이 정보를 이용하여 파일럿 채널을 생성함으로써 기지국 간 하드핸드오프를 가능하게 하는 적응형 파일럿 비콘 장치를 제안한다. 본 적응형 파일럿 비콘 장치는 무선 신호 중에서 파일럿 채널만을 선별하여 생성 및 전송하므로 상대적으로 낮은 전력으로 서비스가 가능하며, CDMA 수신부에서 하향링크상의 파일럿 채널로부터 기지국의 시간동기 및 주파수 동기를 획득하여 장치의 오프셋을 보정하므로 GPS에 의한 시간동기가 필요하지 않으며 기지국 순방향 신호의 수신에 가능한 임의의 장소에 설치가 가능한 장점이 있다. CDMA 수신기에서 하향링크 파일럿 신호를 탐색하는 파일럿 서치는 FPGA와 DSP를 이용하며, FPGA에서 구현된 파일럿 서치는 동기동기 획득용으로 사용되고, DSP에서 구현되는 파일럿 서치는 비콘장치의 클럭과 기지국 장치의 클럭사이에서 발생하는 오프셋 오차를 보정하는 역할을 수행한다. 적응형 파일럿 비콘 장치의 CDMA 송신부는 CDMA 수신부에서 취득한 파일럿 채널의 시간정보인 타임오프셋을 이용하여, 기지국에 동기된 하향링크 파일럿 신호를 생성한다. FIR필터를 통하여 출력된 1차 중간주파신호는 RF모듈에서 상향변환된 후 고출력증폭기와 안테나를 통하여 방사하게 된다.

Key Words : Pilot Channel, CDMA, Searcher, Time Offset

ABSTRACT

This paper proposes an adaptive pilot beacon equipment for mobile communication systems based on direct spread spectrum technology which generates the pilot channel for handoff between base stations by using the information acquired from the downstream wireless signal regarding the overhead channel information. Such an adaptive pilot beacon equipment will enable low power operation since among the wireless signals, only the pilot channel will be generated and transmitted. The pilot channel in the downstream link of the CDMA receiver is used to acquire time and frequency synchronization and this is used to calibrate the offset for the beacon, which implies that time synchronization using GPS is not required and any location where forward receive signal can

* 광운대학교 전자공학과 이동 및 위성통신 연구실 (kjeong@kw.ac.kr), ** 디에스피원 주식회사, *** 한세대학교 IT학부
논문번호 : KICS2005-08-329, 접수일자 : 2005년 8월 8일

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2005-(C1090-0502-0034))

be received can be used as the installation site. The downstream link pilot signal searching within the CDMA receiver is performed by FPGA and DSP. The FPGA is used to perform the initial synchronization for the pilot searcher and DSP is used to perform the offset correction between beacon clock and base station clock. The CDMA transmitter the adaptive pilot beacon equipment will use the timing offset information in the pilot channel acquired from the CDMA receiver and generate the downstream link pilot signal synchronized to the base station. The intermediate frequency signal is passed through the FIR filter and subsequently upconverted and amplified before being radiated through the antenna.

I. 서론

일반적으로 CDMA 이동 통신 시스템은 TDMA 등 타 시스템에 비하여 주파수 재사용률이 상대적으로 높은 것으로 알려져 있지만, 가입자의 증가에 따라 섹터 및 FA의 증설이 이루어짐으로 인하여 임의의 기지국과 인접 기지국 사이는 서로 다른 여러개의 채널이 혼재하여 서비스가 이루어 질 수 있다. 이와 같이 한 기지국과 인접 기지국이 서로 다른 주파수를 사용하여 서비스를 하고 있을 때 이동 중인 단말국이 기존 서비스 중이던 기지국의 주파수(채널)와 다른 주파수를 사용하고 있는 인접 기지국의 서비스 영역으로 진입할 경우, 주파수 및 기지국을 변경하거나 동일 기지국내 서로 다른 Sector간의 Frame offset을 변경하는 것을 하드 핸드오프라고 한다. 서로 다른 주파수를 사용하는 기지국 사이에서 원활한 하드핸드오프를 수행하기 위해서 단말국은 다른 셀 영역으로 이동하기 전에 이동하고자 하는 셀의 주파수 및 시간정보를 정확하게 인지해야만 빠른 핸드오프를 수행하여 통화단절을 방지할 수 있다.

파일럿 채널의 신호를 현재 기지국이 서비스하고 있지 않은 다른 주파수로 의사 채널 (Dummy FA)를 발생하여 송출함으로써 서로 다른 주파수를 사용하는 두 셀 간의 하드핸드오프를 가능하게 해주는 장치를 파일럿 비콘이라 한다.^[1]

파일럿 비콘은 그 구현방식에 따라 다음과 같이 크게 두가지 방식으로 구분할 수 있다. 첫 번째 방식으로는 기지국에 실장되어 기지국장치로부터 CDMA 시스템의 기지국 간 동기신호인 EVEN_SEC 신호와 기지국내의 기준 클럭인 SYS_CLK를 제공받아 기지국 상위 관리 프로그램으로부터 명령을 받아 파일럿 채널신호를 생성하는 방식을 들 수 있는데, 이 방식은 생성된 파일럿 채널의 신호 품질이 우수하고 기준시간과의 오프셋(offset)이 매우 작아 뛰어난 성능을 갖지만 기지국에 실장 되거나 기지국으로 연결되어야 하므로 공간적인 제약을 받을 수 있다.

반면 두번째 방식으로는 현재 기지국에서 서비스하고 있는 FA 신호를 유선 또는 무선으로 수신하여 의사채널을 전송하고자 하는 주파수로 단지 주파수만 천이시키는 방식이 있는데 이 방식은 첫번째 방식에서 단점으로 지적된 기지국과의 연동에 대한 문제점은 극복할 수 있으나 RF 채널에 있는 모든 채널의 신호를 천이하기 때문에 파일럿 채널의 전력밀도가 상대적으로 낮아져 높은 출력이 요구된다.

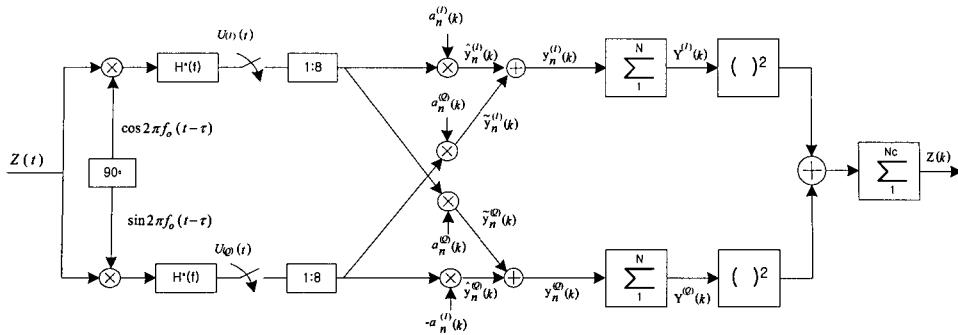
따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여, 파일럿 채널의 신호를 재생하는데 있어 무선 또는 유선으로 수신된 상기 기지국의 파일럿 채널을 분석하여 코드정보와 시간정보를 획득하고, 여기서 얻어진 시간정보를 이용하여 송신기의 시간오차(time offset)를 최소화 시켜 양질의 파일럿 신호를 생성함으로써 파일럿 채널에 대한 전력밀도를 높여 상대적으로 낮은 출력의 증폭기의 사용하여 넓은 지역의 서비스를 가능하게 하는 새로운 방식의 파일럿 비콘을 제시하고자 한다. 여기서 기지국 순방향 신호는 디지털 하향변환기(Digital Down Converter)를 이용하여 기저대역 신호로 변환되며, 파일럿 탐색기를 이용하여 하향링크 신호 중 파일럿 채널에 대한 코드 및 시간동기를 획득하고, 파일럿 채널 송신기의 코드정보와 시간정보를 조정하여 파일럿 채널 신호를 발생시켜 하드핸드오프를 가능하게 한다.

II. 적응형 파일럿 비콘의 알고리즘 분석

2.1 서처 분석

적응형 파일럿 비콘 Searcher의 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 그림 1에서 QPSK Spreading의 효과를 고려하기 위해 direct arm 성분은 \wedge 로 표시되고 cross-arm 성분은 \sim 로 표시하면 Direct arm 및 cross-arm은 식(1), 식(2), 식(3) 및 식(4)와 같이 표현된다.^[2]

$$\hat{y}_n^{(D)} = \sqrt{E} \int_a [R(\tau)/2] (\cos \Phi + a_n^{(Q)} a_n^{(I)} \sin \Phi) + \tilde{v}_n^{(D)} \quad (1)$$



$$Z(t) = \sqrt{E_c}(k)x_n(k)h(t-nT_c) \cdot [a_n^{(I)}(k) \cos(2\pi f_o t + \phi_k) + a_n^{(Q)}(k) \sin(2\pi f_o t + \phi_k)]$$

그림 1. 적응형 파일럿 비콘의 Searcher 블록도

$$\tilde{y}_n^{(I)} = \sqrt{E_c} [R(\tau)/2] (\cos \phi - a_n^{(I)} a_n^{(Q)} \sin \phi) + \tilde{v}_n^{(I)} \quad (2)$$

$$\hat{y}_n^{(Q)} = \sqrt{E_c} [R(\tau)/2] (\sin \phi - a_n^{(Q)} a_n^{(I)} \cos \phi) + \tilde{v}_n^{(Q)} \quad (3)$$

$$\hat{y}_n^{(I)} = \sqrt{E_c} [R(\tau)/2] (\sin \phi + a_n^{(I)} a_n^{(Q)} \cos \phi) + \tilde{v}_n^{(Q)} \quad (4)$$

여기서, v 는 시스템에서 배경잡음 등 잡음 간섭성분을 나타낸다. I와 Q 채널 각각에서 더해진 arm 성분의 결과로부터 식(5) 및 식(6)을 얻을 수 있다.

$$y_n^{(I)} = \hat{y}_n^{(I)} + \tilde{y}_n^{(I)} = \sqrt{E_c} \cos \phi + v_n^{(I)} \quad (5)$$

$$y_n^{(Q)} = \hat{y}_n^{(Q)} + \tilde{y}_n^{(Q)} = \sqrt{E_c} \sin \phi + v_n^{(Q)} \quad (6)$$

위의 식에서 잡음이 없는 경우는 다시 식(7) 및 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_n^{(I)} = \hat{y}_n^{(I)} + \tilde{y}_n^{(I)} = \sqrt{E_c} \cos \phi \quad (7)$$

$$y_n^{(Q)} = \hat{y}_n^{(Q)} + \tilde{y}_n^{(Q)} = \sqrt{E_c} \sin \phi \quad (8)$$

I와 Q arm의 출력은 Un-modulated 구간인 N chips 동안 accumulation(Correlation)되고, Searcher의 이득 G는 식(9) 및 (10)과 같이 표현된다.

$$E[Y^{(I)}] = NG\sqrt{E_c}R(\tau)\cos \phi \quad (9)$$

$$E[Y^{(Q)}] = NG\sqrt{E_c}R(\tau)\sin \phi \quad (10)$$

위의 식들에서 Phase error가 없는 경우 그림 1에 대한 최종결과는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$Z = N_c [Y^{(I)}]^2 + [Y^{(Q)}]^2 = N_c G^2 N^2 E_c R^2(\tau) \quad (11)$$

여기서, N_c 는 Non-coherent integration 횟수를 나타낸다.

Searcher의 에너지를 계산하기 위해서는 몇가지 가설이 필요하며 그들을 열거하면 다음과 같다.

- AGC에 의해 수신신호가 디지털레벨 +/- 16으로 유지된다.
- UI(t)와 UQ(t)에는 잡음 및 위상오차가 존재하지 않는다.
- Searcher구조에서 Searcher Gain $G = 1/32$ 이다.
- Non Coherent Combine은 그 횟수에 따라 normalization되므로 어떤 경우든 $N_c = 1$ 로 계산된다.

Correlation Length는 항상 64Chips값을 갖는다.

AGC에 의한 $U_c(t)$ 는

$$|U_c(t)| = \frac{1}{2} \sqrt{E_c} = 16 \quad (12)$$

과 같은 관계를 가지므로 $E_c = 1024$ 가 되며 $N = 64$ CHIPS, 현재의 Searcher 구조에서 $G = 1/32 = 0.03125$ 가 된다.

잡음이 전혀 없는 상황에서 식(11)을 적용하면

$$\begin{aligned} Z &= N_c [Y^{(I)}]^2 + [Y^{(Q)}]^2 \\ &= N_c G^2 N^2 E_c R^2(\tau) \\ &= 0.03125^2 \times 64^2 \times 1024 = 4096 \end{aligned} \quad (13)$$

이 경우 Chip SNR E_c/I_0 가 무한대가 되는 값으로 Searcher Energy 중 가장 큰 값이 된다. 이와 같이

무한대가 되는 SNR을 기준으로 신호와 Noise가 각각 반반씩 있는 경우의 SNR OdB에서 Searcher Energy값은 2048을 얻을 수 있다. 식(11)에서 Correlation Length, Searcher Gain 및 Ec등의 Constant 성분을 이용하여 Searcher의 이론적인 Chip SNR Ec/Io 계산식을 구하면 식(14)와 같다.

$$Xp SNRE_c/I_o [dB] = 10 \log_{10}(E_s) - 33.11 \quad (14)$$

여기서, $E_s = \text{Searcher Energy}$

Searcher의 이론적인 Chip SNR Ec/Io은 하향 링크에서 파일릿 신호를 검출할 때 검출 판정의 기준으로 사용되며 무선환경에 따라 최적화된 값이 적용된다.

2.2 Phase Equalizer

Phase Equalizer는 단말기에서 수신된 신호의 phase distortion특성을 보상하기 위한 것으로써 기지국 송신부에서 Equalization을 수행하여 단말국의 HW복잡도를 줄여주는 목적으로 사용된다. IS95규격에서 Phase Equalization에 대한 규격은 $1\text{KHz} < f < 630\text{KHz}$ 범위에서 Mean Square Error값이 0.0033rad^2 이하가 되도록 규정되어 있다.^[3]

단말수신부의 Phase distortion특성은 2차의 transfer function으로써 다음 식과 같다.

$$H_{mo}(S) = \frac{S^2 + \delta_{mo}\omega_{mo}S + \omega_{mo}^2}{S^2 - \delta_{mo}\omega_{mo}S + \omega_{mo}^2} \quad (15)$$

여기서, $\delta_{mo} = 1.36$ (damping factor),

$\omega_{mo} = 2 \times 315000$ (응답주파수)

Phase Equalizer는 damping factor δ_{pea} 와 응답주파수 ω_{pea} 를 갖는 bi-quadratic second order all pass network이다.

$$H_{pea}(S) = \frac{S^2 - \delta_{pea}\omega_{pea}S + \omega_{pea}^2}{S^2 + \delta_{pea}\omega_{pea}S + \omega_{pea}^2} \quad (16)$$

여기서, $\delta_{pea} = 1.3$ (damping factor),

$\omega_{pea} = 2 \times 314159$ (응답주파수)

그림 3은 식(15)와 식(16)을 이용하여 구현된 디지털 Phase Equalizer의 Phase특성을 나타내며 그림 4는 이와 같은 디지털 Phase Equalizer를 이용하여 보상된 단말국 수신단에서의 Phase특성을 나타낸다.

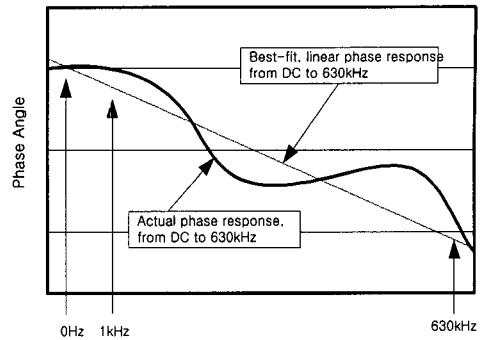


그림 2. Mean Square Error

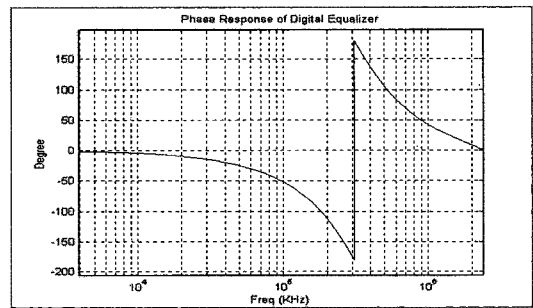


그림 3. 구현된 디지털 Phase Equalizer의 Phase특성

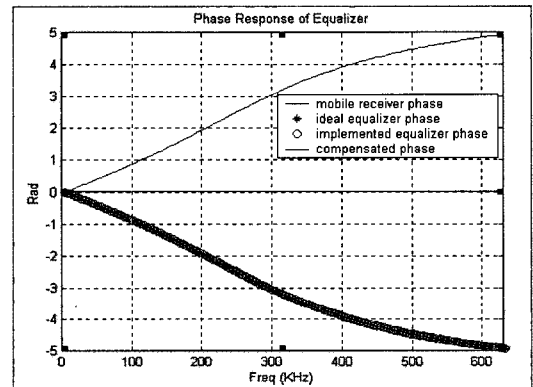


그림 4. Digital Phase Equalizer에 의한 Phase Distortion 보상

그림 4에서 알 수 있는바와 같이 단말국의 Phase Distortion은 디지털 Phase Equalizer에 의하여 보상되어 Best Fit특성을 갖게 되는 것을 볼 수 있다.

2.3 Mean Square Error(MSE)

Phase Response는 단말기의 수신경로의 품질을 결정짓는 중요한 항목이다. CDMA 수신경로의 composite phase response는 MSE(Mean Square Phase Error)로 규정된다. MSE는 그림 2에서 보는 바와 같이 actual phase response와 best fit linear phase response 사이의 차이를 측정하는 것이다.

$$\begin{aligned}
 MSE &= \frac{1}{629kHz} \int_{1kHz}^{630kHz} (\phi_{actual} - \phi_{best-fit})^2 df \\
 &= \frac{1}{629kHz} \int_{2\pi \times 1kHz}^{2\pi \times 630kHz} (\phi_{ped} + \phi_{mo} - \alpha\omega - \beta)^2 d\omega
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

여기서, ϕ_{actual} 은 actual phase의 기울기이다.

2.4 Time Offset의 최소화

파일럿 비콘에서 원활한 하드핸드오프를 지원하기 위해서 요구되는 time offset은 일반적으로 +/- 1 μ sec 정도의 규격을 갖는다. 본 논문에서는 time offset을 최소화하기 위하여 DSP Algorithm을 사용하였으며 그림 5에 이를 위한 구성도를 나타내었다.

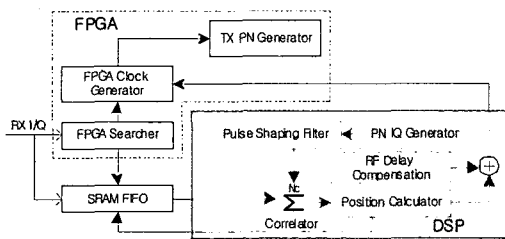


그림 5. 파일럿 비콘의 타임오프셋 보상 알고리즘

그림 5에서 Digital Down Converter를 통하여 Baseband I/Q로 천이된 CDMA수신신호는 FPGA Pilot Searcher에서 Initial Acquisition이 수행되고, 여기서 얻어진 수신 CDMA신호의 포지션정보를 이용하여 SRAM으로 구현된 FIFO에 RX IQ데이터를 저장한다. DSP는 FIFO에 저장된 IQ Sample과 DSP내부에서 발생시킨 Filtered CDMA Pilot IQ신호와 Correlation을 취하여 수신신호의 Peak Energy가 위치한 Position을 찾는다. 이때 얻어진 Position은 Pilot Beacon에서 독립적으로 사용하는 클럭과 기지국 클럭의 오차, 그리고 안테나 입력 단에서 비콘까지의 전송경로에 따른 Path Delay에 기인한 것이며, 이 값을 보상할 경우 이러한 오차와 Path Delay에 의한 시간지연 값은 보상된다. 또한 타임 오프셋은 최종 출력 단인 안테나 접속단자를 기준으로 측정하여야 하므로 파일럿 비콘의 전치부에서 안테나까지의 지연시간을 보상하게 되면 안테나 단에서 측정된 Pilot Channel에 대한 송수신 시간차이는 최소화 된다.

III. 적응형 파일럿 비콘의 구현

본 논문에서 제안하는 적응형 파일럿 비콘의 가

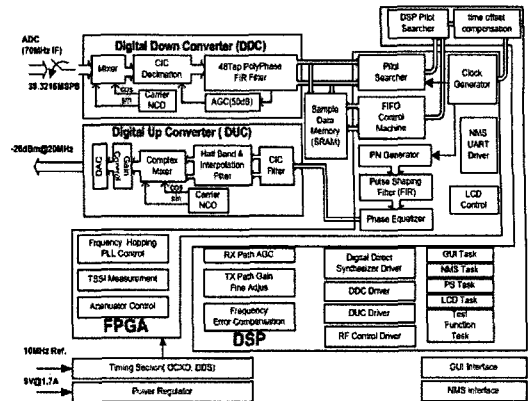


그림 6. 적응형 파일럿 비콘의 상위블록도

장 큰 특징은 수신 안테나에 입력되는 CDMA Time과 파일럿 비콘 내부에서 생성시킨 Pilot Channel을 송출할 때 송신 안테나에서의 CDMA Time을 정렬시키고, 이를 위하여 Pilot Channel을 탐색하고 그로부터 얻어진 정보를 이용하여 Pilot Channel을 생성하는 기능을 포함한다는 것이다. 그림 6은 본 논문에서 구현한 적응형 파일럿 비콘의 상위블록도를 나타내고 있으며, 각 주요 블록에 대한 기능 및 정의는 다음과 같다.

3.1 FPGA(Flexible Programmable Gate Array)

FPGA는 파일럿 비콘에서 사용하는 모든 종류의 클럭을 발생시키는 Clock Generator, 빠른 Acquisition을 지원하는 FPGA Searcher, FIFO Control Machine 및 Phase Equalizer 및 Pulse Shaping FIR Filter를 포함한 파일럿 채널 발생기 등으로 구성된다.

3.2 Digital Down Converter

RF 모듈로부터 수신한 70MHz인 IF신호를 Software Radio기술 및 Down Sampling기법을 이용하여 39.3216MSPS로 표본화하며 표본화된 샘플 데이터를 이용하여 I/Q Baseband신호로 변환시켜주는 역할을 수행한다.

3.3 수신위치 탐색용 Searcher

IS95-A, B 및 C CDMA프로토콜을 지원하는 수신 신호 탐색용 Searcher로서 4X Chip Rate(1.2288Mcps *4)로 동작한다. FPGA Searcher블록에서 얻어진 위치정보는 DSP Searcher에서 다시 한번 정교한 time offset을 계산하며, 이때 얻어진 time offset error를 TX Modulator의 PN Generator에 적용시켜 time offset을 최소화 시킨다.

신신호를 이용하여 파일럿 신호를 생성하고 그 출력을 나타낸 것으로써 최소 40dB 이상의 SN비를 유지하고 있으며, 1.23MHz CDMA 파형 외의 잡음 영역은 RF 모듈에 적용된 SAW필터에 의하여 제거되므로 실제 출력파형의 불요파 특성은 CDMA 규격에서 요구하는 방사규격을 충분히 만족할 것으로 예측된다.

V. 결론

본 연구에서 제시하는 적응형 파일럿 비콘은 기지국 신호의 모든 성분을 전송하던 기존 방식과 달리 순수한 파일럿 채널만을 전송하므로 낮은 출력으로 넓은 커버리지 확보가 가능하며, 결과적으로 종단 고출력 증폭기의 소형화를 유도하여 시스템 비용의 절감효과를 기대할 수 있다. 실제로 CDMA 시스템에서 순방향 RF 출력 중 오버헤드 채널의 비중은 약 20%에 불과하며, 나머지 80%가 모두 트래픽 채널이다.

또한 기지국으로부터 기준 클럭을 공급받지 않으면서도 GPS 신호를 수신하지 않고 단지 기지국의 순방향 신호의 수신을 통하여 시간동기 및 주파수 동기를 획득하여 장치의 오프셋을 보정 및 파일럿 채널 생성의 원천으로 사용하므로 기지국 순방향 신호가 도달하는 어느 곳이든 장소에 구애받지 않고 사용할 수 있다는 장점이 있다.

참고 문헌

- [1] 이상근, 방효창, "IMT-2000 CDMA 기술", 도서출판 세화, 2001.
- [2] Andrew J. Viterbi, "Principles of Spread Spectrum Communication", Addison Wesley, pp. 39-47, 1995
- [3] "Physical Layer Standard for cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems", TIA/EIA INTERIM STANDARD TIA/EIA/IS-2000. 2-A, pp 3-6~3-111, 2000
- [4] "CSM5000TM Forward-Link Power Settings", QUALCOMM Incorporated, August 14, 2000
- [5] Wan Choi, Jin Young Kim, "Optimal transmission parameters of hopping pilot beacon for inter-frequency handoff in CDMA mobile cellular networks", *Vehicular Technology Conference, 2001. IEEE VTS 53rd Volume 4*,

pp.2349-2353, 6-9 May 2001

- [6] Rajat Prakash and Venugopal V. Veeravalli, "Adaptive Hard Handoff Algorithms", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.18, No.11, pp.2456-2464, Nov. 2000.
- [7] K.M.Rege, S. Nanda, C.F.Weaver and W.C. Peng, "Analysis of Fade Margins for Soft and Hard Hand-offs", in *Proceedings of sixth IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.27-29, Sep 1995.

정 기 혁 (Ki-Hyeok Jeong)

정회원



1990년 2월 광운대학교 전자공학과 (학사)
 1992년 8월 광운대학교 전자공학과 (석사)
 2002년 3월~현재 광운대학교 전자공학과 박사과정
 1992년 8월~1997년 11월 대우

전자 영상연구소 주임연구원

1997년 12월~2001년 11월 (주)한화정보통신 무선연구
 구단 선임연구원

2002년 2월~현재 (주)엠티아이 책임연구원

<관심분야> 이동 및 위성통신, 휴대인터넷 시스템

홍 동 호 (Dong-Ho Hong)

정회원



1996년 2월 울산대학교 전자공학과 (학사)

1996년 1월~2000년 9월 (주)한화정보통신 선임연구원

2000년 9월~2003년 9월 월택정보통신 책임연구원

2003년 9월~현재 디에스피원

주식회사 대표이사

<관심분야> 디지털통신, 무선통신, CDMA 동기화 이론, 이동통신 모델 설계

홍 완 표 (Wan-Pyo Hong)

정회원



1991년 2월 서울산업대학교 전자공학과(학사)

1993년 8월 연세대학교 산업대학원 전자공학과(석사)

1999년 8월 광운대학교 전자공학과 (박사)

1990년 8월 전기통신기술사

1984년 4월~1997년 정보통신부 체신청 근무

1997년~1999년 삼성전자 전송영업그룹 부장

1999년~2002년 광운대학교 정보통신연구원 연구전담교수

2002년~현재 한세대학교 IT학부 교수

<관심분야> RF소자, 통신방송위성시스템, 전파통신시스템, 정보통신정책

나 극 환 (Keuk-hwan Ra)

중신회원



1973년 2월 연세대학교 전자공학과 (학사)

1977년 2월 연세대학교 전자공학과 (석사)

1981년 7월 프랑스 ENSEEIHT 국립종합공과대학 전자공학과 (박사)

1987년 1월~1988년 1월 미국 COMSAT연구소 객원 연구원

1981년 9월~현재 광운대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 마이크로파 공학, 이동 및 위성통신, 레이더