

---

# OFCDM 시스템의 이동국에서의 복잡도 감소 셀 탐색

김대용\* · 박용완\*

A Cell Search with Reduced Complexity in a Mobile Station of OFCDM Systems

Dae-yong Kim\* · Yong-wan Park\*

---

본 연구는 대학 IT연구센터 육성지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

---

## 요 약

비동기 OFCDM 시스템은 동기 시스템과 달리 반드시 셀 탐색과정을 가져야 한다. 이 과정을 초기 동기라고 하며 초기 동기를 위한 셀 탐색 방법이 다음과 같이 3단계 방법으로 수행된다. 셀 탐색 1 단계에서 보호구간의 상관관을 이용한 OFCDM 심볼 동기 즉, FFT 윈도우 타이밍 추정과 탐색 2 단계에서는 주파수영역에서 CSSC(Cell Specific Scrambling Code) 위상 전이성질을 이용한 CPICH(Common Pilot Channel)의 상관관을 획득함으로써 프레임 타이밍 및 CSSC그룹을 검출하고 마지막으로 탐색 3 단계에서 그룹 안에 속한 CSSC 위상 즉, 최적의 CSSC를 얻게 된다. 본 논문에서는 기존의 CPICH를 기반으로 하는 3단계 셀 탐색과정 중 2단계에서 그룹을 나타내는 그룹코드를 블록형태로 변형하여 이동국의 복잡도를 줄인다. 그러나 복잡도를 줄이면 성능에 영향을 주지만 블록형태로 구성했을 때 최소의 성능열화를 가지는 조합을 찾는다. 제안된 적절한 조합을 가지는 블록형태의 그룹코드는 모의실험을 통하여 기존의 그룹코드와 거의 동일한 성능을 유지하면서 복잡도를 줄일 수 있음을 비교 검증하였다.

## ABSTRACT

Asynchronous OFCDM(Orthogonal Frequency and Code Division Multiplexing) systems must have a cell search process necessarily unlike synchronous systems. this process is known initial synchronization and a three-step cell search algorithm is performed for the initial synchronization in the following three steps: OFCDM symbol timing, i.e., Fast Fourier Transform(FFT) window timing is estimated employing guard interval (GI) correlation in the first step, then the frame timing and CSSC (Cell Specific Scrambling Code) group is detected by taking the correlation of the CPICH(Common Pilot Channel) based on the property yielded by shifting the CSSC phase in the frequency domain. Finally, the CSSC phase within the group is identified in the third step. This paper proposes a modification group code with two or three block of the conventional CPICH based cell search algorithm in the second step which offers MS(Mobile Station) complexity reductions. however, the effect of the reduction complexity leads to degradation of the performance therefore, look for combination to have the most minimum degradation. the proposed block type group code with suitable combinations is the nearly same performance as conventional group code and has a complexity reduction that is to be compared and verified through the computer simulation.

## 키워드

셀 탐색, 초기동기, OFCDM, 동기, 복잡도

## I. 서론

현재 상용화 되고 있는 3세대 이동통신 시스템이 여

러 가지 서비스와 응용들로 이루어지고 있으나, 더욱더 다양한 멀티미디어 서비스와 유비쿼터스에 대한 강한 요구는 차세대 이동통신 시스템(4G)의 개발을 빠르게

이끌고 있다. 그러나 차세대 이동통신 시스템들의 정확한 정의는 아직 이루어져 있지 않다. 다만 유비쿼터스의 발달, 디지털 컨버전스, 사용자 중심환경을 충족시키는 방향으로 가고 있다. 이러한 요구들을 만족시키기 위해서는 고속전송, 높은 대역폭 효율, 그리고 높은 이동성이 지원되어야만 한다. 특히 ITU-R (International Telecommunication Union - Radio communication standardization sector)은 2010년을 목표로 고정 (fixed) 또는 이동 (mobile) 환경에서 각각 1Gbps, 100Mbps의 최대 전송률을 지원하도록 하고 있다[1]. 이 요구를 충족시키기 위해서 차세대 이동통신 시스템들은 여러 가지 형태들로 연구 되어져 왔으며 그중에서 가장 신뢰를 가지는 전송 기법이 다중반송파(multi-carriers)를 이용하는 것이다[2]. 특히 다중반송파 시스템은 주로 디지털 방송과 무선 LAN(WLAN)에 대하여 연구 되어져 왔다. 그러나 최근에는 IEEE 802.16과 802.20에서 표준으로 채택 되면서 통신 산업에 큰 변화를 가지고 왔다[3][4]. 현재는 직교 주파수 분할 다중(OFDMA)에 기반을 둔 직교 주파수 분할 다중 접속(OFDMA)과 다중 셀 환경에서 간섭 완화 특성을 가지고 있는 다중 반송 코드 분할 다중 접속(MC-CDMA)등이 많은 관심을 모으고 있다. 특히 MC-CDMA 시스템은 OFDMA와 CDMA의 이점들을 결합한 형태이며[5], 이러한 형태들 중에서 대표적인 것 중에 하나가 직교 주파수 코드 분할 다중(OFCDM)[6]이다. 그리고 OFCDM은 비동기 방식이며 반드시 셀 탐색과정이 필요하다. 그래서 3단계 셀 탐색 방법을 이용하여 최적의 셀을 찾는다. 현재 상용화 되고 있는 IMT-2000의 동기 방식인 cdma2000은 글로벌 위치 시스템(GPS) 타이밍을 요구하여 기지국마다 동일한 시간을 참조하여 각각 상대적인 시간 오프셋(offset)을 가지고 기지국을 구분하지만 비동기 방식의 OFCDM 시스템은 기지국마다 각각 다른 CSSC (Cell Specific Scrambling Code)를 가지고 있어서 단말기가 많은 양의 CSSC들 중에 최적의 셀의 CSSC를 선택해야 하는 단점을 가지고 있으며, 이러한 검색과정이 가장 강한 수신 전력을 가지는 최적의 셀을 찾기 위한 초기동기 과정이다. 특히, FFT 윈도우 타이밍, 프레임 타이밍, 셀 구분 스크램블링 코드 그룹과 최적의 셀 구분 스크램블링 코드를 구분하기 위하여 동기를 맞추는 과정을 셀 탐색이라고 하며 여기서 최적의 셀이라는 것은 단말기의 송신전력은 최소로 하고 시스템 용량은 최대로 하는 관점에서 기지국과 단말기 사이의 최소경로손실을 가지는

것을 말한다. 이러한 초기동기 과정은 동기 방식에 비해서 상당히 많은 복잡도를 초래하게 된다.

지금까지 OFCDM에 관련하여 연구 된 셀 탐색 방법은 동기채널(SCH)을 이용한 셀 탐색 방법[7]과 이 논문에서 다루게 될 공통파일럿채널(CPICH: common pilot channel)을 이용한 셀 탐색 방법[8][9]이 제안 되었고 기본적인 3단계 셀 탐색 방법을 이용하고 있으며 주로 일본의 NTT DoCoMo에서 연구 되어져 왔으며 W-CDMA와 같이, 스크램블링 코드들을 그룹화 하여 복잡도를 줄였다. 본 논문에서는 SCH를 이용한 방법보다 성능이 우수한 CPICH를 이용한 셀 탐색 방법을 적용하였고 이 방법의 그룹코드를 변형하여 복잡도를 더욱더 개선시켰다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 따른다. 제 2장에서는 기존의 3단계 셀 탐색 방법에 대하여 설명하며 제 3장에서는 제안된 블록타입의 그룹코드와 기존의 그룹코드를 비교 설명 하며 제 4장에서는 모의실험 모델과 결과를 나타내며 제 5장에서 결론을 맺는다.

## II. OFCDM에서의 셀 탐색 알고리즘

본 장에서는 3단계 셀 탐색 알고리즘과 OFCDM 프레임 구조에 대해서 설명한다.

### 2.1. OFCDM 프레임 구조 및 특징

그림 1은 OFCDM의 순방향 프레임 구조를 나타내고 있으며 프레임의 시작부분과 마지막 부분에 CPICH 심볼이 붙어 있는 구조를 띄고 있다. 한 프레임에 총 54개의 심볼구조를 가지고 있으며 52개의 데이터 심볼과 2개의 CPICH심볼을 가지며 그림 2와 같은 곱방법(multiplication method)[7]이 사용되었다. 기본적인 CSSC는 주파수축을 따라서 스크램블링 되어 있으며 그 길이는 부반송파의 수,  $N_c$  와 동일하다. 모든 OFCDM 심볼은 CSSC에 의해서 스크램블링 되고 심볼당  $L$  칩만큼 천이된다. 이러한 방법으로 시간영역과 주파수영역에서 2차원 스크램블링이 가능해진다. CSSC를 사용함으로써 채널 구분 직교 코드(CSOC: channel specific orthogonal code)가 하나의 셀 주파수 재사용의 유연성을 유지하면서 모든 셀에서 사용될 수 있다.

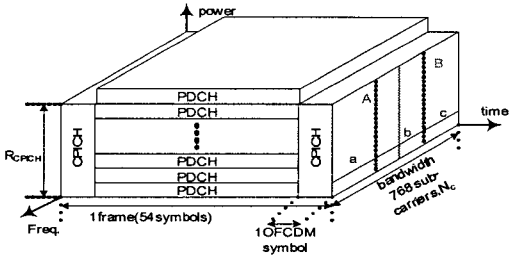


그림 1. OFCDM 프레임 포맷[9]  
Fig. 1 OFCDM frame format[9]

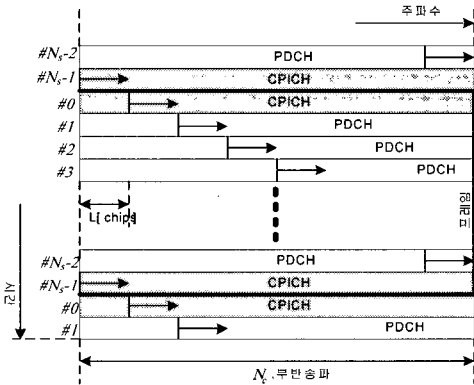


그림 2. 곱방법[7]  
Fig. 2 Multiplication method[7]

2.2. 기본 3단계 셀 탐색 알고리즘

기본 3단계 셀 탐색 알고리즘은 최고 수신 전력을 가지는 셀을 검출하여 최적의 셀을 찾아내는 방법이다. 여기서는 CPICH를 이용한 셀 탐색 방법[9]으로 그림 3 과 같은 셀 탐색 과정을 가진다.

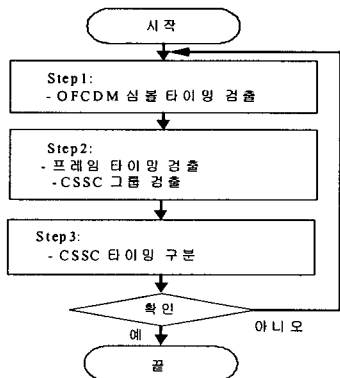


그림 3. 기본 3단계 셀 탐색  
Fig. 3 Basic 3 steps cell search

우선, 송신신호를 식 (1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_x(t) = & \sum_{n=0}^{N_c-1} \sqrt{2S_{CPICH}} \cdot C_{c,(n-L+N_c) \bmod N_c} \cdot x_n \\
 & \cdot e^{j2\pi n(t-T_{GI}-vN_{frame}T_s)/T_e} \cdot p(t-vN_{frame}T_s) \\
 & + \sum_{n=0}^{N_c-1} \sum_{u=1}^{N_{frame}-2} \sum_{l=0}^{N_{PDCH}-1} \sqrt{2S_{PDCH}} \cdot C_{c,(n-(u+1)L+N_c) \bmod N_c} \\
 & \cdot \varphi_{i,n}(u,v) \cdot e^{j2\pi n(t-T_{GI}-(vN_{frame}+u)T_s)/T_e} \\
 & \cdot p(t-(vN_{frame}+u)T_s) \\
 & + \sum_{n=0}^{N_c-1} \sqrt{2S_{CPICH}} \cdot C_{c,n} \cdot y_{i,n} \cdot e^{j2\pi n(t-T_{GI}-((v+1)N_{frame}-1)T_s)/T_e} \\
 & \cdot p(t-((v+1)N_{frame}-1)T_s) \tag{1}
 \end{aligned}$$

여기서 식 (1)의 첫 번째 항의  $x_n$  은 CPICH의 n번째 부반송파에서 데이터 변조된 반송파 위상을 나타내고 그 값은  $|x_n| = 1$  ( $n = 0, 1, 2, \dots, N_c - 1$ )로 나타낼 수 있으며 프레임의 시작지점을 나타낸다. 그리고  $N_c$ 는 부반송파의 수를 의미하고  $S_{CPICH}$ 와  $S_{PDCH}$ 는 각각 CPICH의 전송전력과 PDCH의 한 개의 코드채널에 대한 전력을 의미한다. 여기서  $C_{c,n}$  ( $|C_{c,n}| = 1$ )은 c번째 CSSC 위상이 프레임 끝에서 n 번째 부반송파에 있는 CPICH와 곱해짐을 나타낸다.  $N_{frame}$ 은 프레임당 OFCDM 심볼 수를 나타낸다. 둘째 항은 패킷 데이터 채널 (PDCH: packet data channel)을 나타내며  $\varphi_{i,n}(u,v)$  ( $|\varphi_{i,n}(u,v)| = 1$ )은 v 번째 프레임의 u 번째 OFCDM 심볼에서 PDCH의 1 번째 코드를 가지는 CSOC (channel specific orthogonal code)에 의해서 확산된 데이터 변조된 반송파 위상을 의미한다.  $T_s (= T_e + T_{GI})$ 는 보호구간을 포함한 심볼 구간을 나타내며  $p(t)$ 는  $[0, T_s)$ 인 펄스 함수를 정의한다. 세 번째 항의  $y_{i,n}$ 은  $y_{i,n} = g_{i,(n+L) \bmod N_c} \cdot x_{(n+L) \bmod N_c}$  ( $|g_{i,n}| = 1, i = 0, 1, \dots, N_{grp} - 1$ )으로 정의되며 프레임의 끝에 있는 n번째 부반송파의 CPICH 데이터 변조 반송파 위상을 의미하고 i는 CSSC 그룹을 나타

낸다. 이 신호가 채널을 통해서 수신된 신호를  $R_x(t)$  라고 하고 식(2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$R_x(t) = \sum_{m=1}^{L_p} f_m(t) S_x(t - \tau_m) + n(t), \quad (1 \leq m \leq L_p) \quad (2)$$

여기서  $f_m(t)$  와  $\tau_m$  은 복소채널이득과 m번째 경로의 시간 지연을 나타내며  $n(t)$  는 부가가우시안 잡음을 나타낸다. 수신된 신호  $R_x(t)$  와 FFT 윈도우(=  $T_e$ )만큼 지연된 복사본과 상관되어 식 (3)과 같이 된다.

$$\Lambda_1(t) = \frac{1}{T_{GI}} \int_0^{T_{GI}} \text{Re}\{R_x(t+\tau) \cdot R_x^*(t+\tau+T_e)\} d\tau \quad (3)$$

식 (3)에서  $\Lambda_1(t)$  를  $\Lambda_1(s, u, v)$  로 나타낸다면  $t = s \cdot T_{FFT} + u \cdot T_s + v \cdot T_{frame}$  ( $0 \leq s \leq N_e + N_{GI}$ ,  $0 \leq u < N_{frame}$ ) 으로 나타낼 수 있으며  $T_{FFT}$  와  $T_{frame}$  은 각각 FFT 샘플 구간과 패킷 프레임 구간을 의미한다. 그리고 외부 노이즈와 간섭의 영향을 줄이기 위해서 매  $N_e (= T_e / T_{FFT}) + N_{GI} (= T_{GI} / T_{FFT})$  의 샘플구간마다  $N_{avg\_t}^{Step1}$  에서 OFCDM 심볼구간에 대해서 동기 평균 (coherent average) 되며 (여기서,  $N_{avg\_t}^{Step1}$  는 각 OFCDM 심볼이 상관되어지는 동안의 OFCDM 심볼의 수를 나타냄) 식 (4) 로 표현된다.

$$\hat{\Lambda}_1(s, u, v) = \left\{ \sum_{k=u}^{u+N_{avg\_t}^{Step1}-1} \Lambda_1 \right\} / N_{avg\_t}^{Step1} (s, k \bmod N_{frame}, v + \lfloor k / N_{frame} \rfloor) \quad (4)$$

여기서  $\lfloor x \rfloor$  는  $x$  이하의 가장 큰 정수를 의미하고  $\hat{\Lambda}_1(s, u, v)$  에서  $s, u, v$  는 각각 샘플, 심볼, 프레임의 의미하며, 식 (5)에서 최대 상관 값의 샘플 타이밍을 찾고 보호구

간 타이밍  $s_{GI}^{max}$  를 찾으므로, 심볼 동기기를 추정하게 된다.

$$s_{samp}^{max} = \arg \max_s \hat{\Lambda}_1(s, u, v),$$

$$(s_{GI}^{max} = (s_{samp}^{max} + N_{GI}) \bmod N_s \quad (N_s = T_s / T_{FFT})) \quad (5)$$

2단계에서는 프레임 타이밍과 CSSC그룹을 검출하기 위한 단계이다. 이동국은 CSSC의 위상천이를 고려하여 주파수축을 따라서 CPICH의 상관을 계산한다. 그리고 1 단계에서 검출한 OFCDM 심볼 타이밍을 이용하여 FFT 후의 결과를 얻을 수 있다. 이때 FFT 결과를 시간  $t = s_{GI}^{max} T_{FFT} + u T_s + v T_{frame}$  이고  $n$  번째 부반송파라면 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$r_n(u, v) = \sum_{k=0}^{N_c-1} R(t + k T_{FFT}) (W_{N_c})^{kn},$$

$$(W_{N_c} = e^{-j(2\pi / N_c)}). \quad (6)$$

한 프레임 안에서 두개의 연속된 OFCDM 심볼을 주파수 축을 따라 상관을 취한다. 이때 그룹을 나타내는 열을  $g_i (i = 0, 1, \dots, N_{grp} - 1)$  이라 한다면 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Lambda_2(u, v, i) = \frac{1}{N_c - L} \sum_{n=L}^{N_c-1} r_{n-L}(u, v) \cdot r_n^*((u+1) \bmod N_{frame}, v + \lfloor (u+1) / N_{frame} \rfloor) \cdot g_{i,n}^* \quad (7)$$

여기서  $g_{i,n}^*$  은 식(1)의 3번째 항의  $y_{i,n}^*$  에서  $x_{(n+L) \bmod N_c}$  에 곱해지는 그룹코드를 의미하며 \* 는 켈레복소수를 의미한다.  $L > 0$  이고  $L$  과  $T_s$  가 충분히 작다면  $L$  개의 부반송파와 두개의 연속된 OFCDM 심볼 사이의 채널 임펄스 응답은 일정하게 된다. 상관 값  $\Lambda_2$  는  $N_{cohavg\_t}^{Step2}$  (각 프레임이 상관되어지는 동안의 프레임

수)프레임들 사이에서 배경잡음과 간섭의 영향을 줄이기 위하여 동기평균 된다. 그리고 프레임 타이밍과 CSSC그룹이 정확하다면 최대상관을 가진다. 이때 PDCH의 상관 값이 영향을 준다고 생각할 수 있으나 PDCH의 데이터 변조 위상은 랜덤하며 이때  $N_c$  개의 부반송파에 대해서 평균되므로 그 영향이 충분히 줄어든다. 이때의 최대 상관 값은 식 (8)로 나타내어진다.

$$u'_{N_{frame}-1}, i' = \arg \max_{u, i} \Lambda_2(u, v, i) \quad (8)$$

위 식에서  $u'_0 = (u'_{N_{frame}-1} + 1) \bmod N_{frame}$  에서 프레임 타이밍이 얻어진다. 3단계에서는 1단계에서 얻은 심볼 타이밍과 2단계에서 얻은 프레임 타이밍 및 그룹 id를 통해서 FFT결과와 2차원 CSSC 복사본 사이의 상관관계가 계산된다. 여기서 식(8)에서 얻은 프레임 끝의  $u'_{N_{frame}-1}$ 의 타이밍을 이용하여 식(9)에서 CSSC의  $c$ (여기서,  $c$ 는 CSSC 인덱스  $(N_{CSSC} / N_{grp})i' \leq c \leq (N_{CSSC} / N_{grp})(i' + 1)$ ,  $N_{CSSC}$ 는 CSSC의 개수를 의미한다.)를 구하기 위해서 FFT 결과와 CSSC 복사본을 상관시킨다. 이때 상관된 값은 시간 축에서 2개의 OFCDM 심볼 구간과 주파수 영역에서  $N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}$  개의 부반송파에 대해서 동기평균 되며 식(9)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \Lambda_3(u'_{N_{frame}-1}, z, c) = & \frac{1}{N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}} \sum_{n=zN_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}}^{(z+1)N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}-1} r_n(u'_{N_{frame}-1} + 1, v) \cdot C_{c,n}^* \cdot y_{i',n}^* \\ & + \frac{1}{N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}} \sum_{n=zN_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}}^{(z+1)N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}-1} r_n((u'_{N_{frame}-1} + 1) \bmod N_{frame}, v) \\ & + \left[ (u'_{N_{frame}-1} + 1) / N_{frame} \right] \cdot C_{c,(n+L) \bmod N_c}^* \cdot x_n^* \quad (9) \end{aligned}$$

식(9)에서  $z(0 \leq z < N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich} / N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich})$ 는 부반송파 그룹 인덱스를 나타낸다. 마지막으로  $N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich} = N_c / N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}$  성분은 다음 식(10)과 같이 주파수 축을 따라서  $N_c$  개의 부반송파에 대하여 제곱형태로 평균된다.

$$\begin{aligned} \hat{\Lambda}'_3(u'_{N_{frame}-1}, c) = & \frac{1}{N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}} \sum_{z=0}^{N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}-1} \left| \Lambda_3(u'_{N_{frame}-1}, z, c) \right|^2 \quad (10) \end{aligned}$$

그리고 식(10)에서 얻은 상관 값은 배경잡음과 간섭을 제거하기 위해  $N_{Step3\_cpich}^{Step3\_cpich}$  동안 한 번 더 평균하여 식 (10)에서 상관 값  $\hat{\Lambda}'_3(u'_{N_{frame}-1}, c)$  을 얻는다. 여기서 우리가 원하는 CSSC를 식 (11)의 최대 상관 값에서 얻을 수 있다.

$$c' = \arg \max_c \hat{\Lambda}'_3(u'_{N_{frame}-1}, c) \quad (11)$$

검출된 CSSC는 확인 과정을 거쳐서 확인 되면 셀 탐색과정이 완료되고 그렇지 않으면 다시 새로운 값으로 정해져서 다시 반복 된다

### III. 기존의 방법과 제안된 방법의 비교

OFCDM 시스템의 셀 탐색은 이동국이 최적의 셀을 찾고 구분하며 동기화 시키는 것이다. 우리는 1단계의 심볼동기 즉, FFT 윈도우 사이즈는 기존의 방법과 같이 식(5)에서  $S_{samp}^{max}$  를 구해서 심볼 동기를 찾았다. 그리고 제 2단계에서 CSSC그룹을 찾기 위해서 식(7)에서  $g_{i,n}$  를 이용해서 두 심볼간의 상관 값을 이용하여 프레임 동기과 CSSC그룹을 검출하였다. 여기서 제시된  $g_{i,n}$  을 CSSC 그룹 코드 벡터라고 하면 식 (12)로 나타낸다.

$$G_i = (g_{i,1}, g_{i,2}, \dots, g_{i,N_c}) \quad (12)$$

식(12)에서 벡터들은 전체 그룹 개수  $N_{grp}$  개로서 식 (13)으로 나타낸다.

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_{N_{grp}}\} \quad (13)$$

이들의 그룹코드벡터들은 서로 직교한다. 이 그룹들은 한 프레임에 대해서 54개의 심볼과 상관된다. 셀 탐색 1단계에서 FFT 타이밍을 검출하여 FFT를 한 후의 신호

는 식(6)의  $r_n(u, v)$  이 되는데 이것을  $R$  로 두면  $R$  은 하나의 심볼에 대해서 주파수축으로 부반송파 수만큼을 가지게 됨으로 식(14)로 나타낼 수 있다.

$$R_s = (r_1, r_2, \dots, r_{N_c-1}, r_{N_c}) \quad (1 \leq s \leq N_{frame}) \quad (14)$$

2단계에서 심볼들(여기서는 54개)은 그룹 코드와 순환 이동(cyclic shift) 되면서 곱해짐으로 크기는  $N_{frame} \times N_{grp}$  인 행렬  $A$  가 된다.

$$A = \begin{bmatrix} R_1 G_1^H & \dots & R_1 G_{N_{grp}}^H \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_s G_1^H & \dots & R_s G_{N_{grp}}^H \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서  $H$ 는 복소공액전치(Hermitian trans- pose)를 나타내고  $G_i$ 는 논문[8]에서 제안한  $N_c$  길이의 특수 코드(Special code)를 사용한다. 우리는 이 특수코드를 변형하여 성능은 유지하면서 복잡도를 줄이는 코드 형태를 찾는다. 제안된 변형 그룹코드벡터는  $X_i$  로 나타내며  $X$ 의 길이는  $N_c (= a+b+c$  또는  $A+B)$ 와 같고 그룹 코드의 개수는 32그룹( $= d \times e \times f$  또는  $D \times E$ )으로 설정하며 식(16)으로 나타내어진다.

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g'_{i,1} & g'_{i,2} & \dots & g'_{i,A} & g'_{i,A+1} & \dots & g'_{i,A+B} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g'_{i,d,1} & g'_{i,d,2} & \dots & g'_{i,d,A} & g'_{i,d,A+1} & \dots & g'_{i,d,A+B} \end{bmatrix}$$

(두 블록인 경우)

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g'_{i,1} & g'_{i,2} & \dots & g'_{i,a} & g'_{i,a+1} & \dots & g'_{i,a+b} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g'_{i,d,1} & g'_{i,d,2} & \dots & g'_{i,d,a} & g'_{i,d,a+1} & \dots & g'_{i,d,a+b} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} g'_{i,a+b+1} & \dots & g'_{i,a+b+c} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ g'_{i,f,a+b+1} & \dots & g'_{i,f,a+b+c} \end{bmatrix} \quad (1 \leq i \leq N_{grp}).$$

(16)

(세 블록인 경우)

식(15)와 같은 방법으로 벡터  $X$  를 사용하여 제안된 그룹코드  $N_{frame}$  개의 심볼과 순환 이동 되면서 곱해지며 행렬  $B$  와 같이 된다.

$$B = \begin{bmatrix} R_1 X_1^H & \dots & R_1 X_{N_{grp}}^H \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_s X_1^H & \dots & R_s X_{N_{grp}}^H \end{bmatrix}. \quad (17)$$

식(15)(17)에서 최고의 상관 값을 가진 그룹코드를 식(7)에서 찾게 된다. 식(16)에서의  $A, B$  또는  $a, b, c$ , 그리고  $D, E$  또는  $d, e, f$  는 표 1과 표 2에서 주어지는 부반송파의 수와 같은 길이 대 그룹의 조합 값이고 그룹 코드는 두 블록 또는 세 블록형태로 변형되어진다. 그룹코드는 모두  $N_{grp}$  (여기서는, 32개) 개이며 각각의 그룹코드에는 16개의 CSSC가 할당 되어 있다. 그래서 총 512개의 CSSC를 가지게 된다. 그리고 표1과 표2에서의 복잡도는 찾을 코드그룹 id가 가장 마지막에 있을 경우(가장 복잡도가 높을 경우)를 가정하여 계산하였다. 기존의 그룹코드의 복잡도는  $32(\text{groups}) \times 768(N_c) \times 16(\text{code/group}) = 393216$ 이며 두 블록 형태의 제안된 그룹코드는 주파수축으로 두 개의 블록 즉,  $640+128, 512+256, 384+384$  (총 768)로 구성 되어 있으며 그룹의 조합은  $16 \times 2, 4 \times 8, 8 \times 4, 2 \times 16$  (총 32)로 구성 되어 있다. (여기서부터 두 블록 그룹코드  $640+128$ 이면서 그룹의 조합  $16 \times 2$ 인 경우는 줄여서  $640+128(16 \times 2)$ 로 씀). 세 블록 형태의 제안된 그룹코드는  $512+128+128$  (총 768)로 구성 되며 그룹의 조합은  $8 \times 2 \times 2, 4 \times 4 \times 2, 2 \times 4 \times 2, 4 \times 2 \times 4$  (총 32)로 구성 되어 있다. 이러한 형태를 그림 4에 도시하였다. 이 그림의 상위에는 주파수 축으로 두 개 또는 세 개의 블록으로 그룹코드가 이루어져 있으며 하위에는 그룹조합의 한 예로써  $2 \times 16$ 과  $2 \times 4 \times 4$ 의 그룹조합을 나타낸다.

만약 핫스팟(hot-spot) 셀과 같이 공존 할 경우[10][11]에는 그룹코드가 증가 하게 된다. 예를 들어, 그룹이 64 그룹이 된다면 기존의 그룹코드의 복잡도는  $64(\text{groups}) \times 768(N_c) \times 16(\text{code/group}) = 786432$ 로 되며 제안된 그룹코드들의 복잡도는 상대적으로 더욱더 줄어드는 결과를 가져온다.

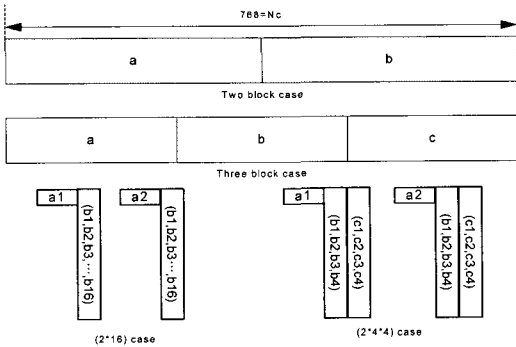


그림 4. 블록 타입의 그룹코드들  
Fig. 4 Block type group codes

표 1. 그룹코드의 복잡도 비교(두 블록인 경우)  
Table. 1 Comparison of group codes complexity (two block case)

그룹	길이							
	A=640	B=128	A=512	B=256	A=384	B=384	768	
D=2	3328×16		5120×16		6912×16		24576 ×16	
E=16								
D=4	3584×16		4096×16		4608×16			
E=8								
D=8	5632×16		5120×16		4608×16			
E=4								
D=16	10496×16		8704×16		6912×16			
E=2								
32								24576 ×16

표 2. 그룹코드의 복잡도 비교(세 블록인 경우)  
Table. 2 Comparison of group codes complexity (three block case)

그룹	길이				
	a=512	b=128	c=128	a+b+c=768	
e=8	4608×16			24576×16	
f=2					
g=2					
e=4	2816×16				
f=4					
g=2					
e=4	2816×16				
f=2					
g=4					
e+f+g=32					24576×16

#### IV. 모의실험 모델과 결과

##### 4.1. 모의실험 모델

제안된 셀 탐색 방법은 컴퓨터 모의실험을 통해 평가 된다. 이 모의실험에서 사용된 파라미터들과 전파 모델 파라미터들을 표 3에 나타내었다. 그림 1과 같은 OFCDM 프레임 포맷과 여러 파라미터들은 논문 [7]과 [8]을 참조하여 사용하였다. 부 반송파 개수는 768개이며 총 대역폭은 101.5MHz이다. 또 OFCDM 프레임은 총 54개의 OFCDM 심볼로 이루어져 있으며 각 심볼은 실효데이터 1024개 샘플과 보호구간 226개 샘플로 이루어져 있다. 프레임의 시작과 끝에는 CPICH의 각각 1개의 심볼과 52개의 OFCDM 심볼이 PDCH에 할당 되어 있다. 데이터 변조와 확산변조는 QPSK이다. 확산계수는  $SF=16(SF\_시간 = 1 \times SF\_주파수 = 16)$ 이고 주파수 영역의 PDCH에는 CSOC(channel specific orthogonal code)인 왈쉬-하다마드 시퀀스가 사용되었다. 주파수 축에 따라서는 CPICH는  $N_c$  개의 길이를 가진다. PDCH의 한 개 코드 채널에 대한 CPICH의 전송전력비는  $R_{CPICH}$  로 나타내며 그림 1에 나타내었다. CSSC는 32개의 그룹과 각 그룹당 16개씩 나누어지고 제안된 방법은 그룹의 형태가 여러 조합의 형태로 변형된다. CSSC 패턴은 매 심볼의 위상을 천이 시킨 잘려진(truncated) 골드 시퀀스를 이용한다. 실험을 위한 셀 배치는 19개의 육각형의 셀룰러 셀로 구성된다. 모의실험에서 사용된 전파 모델은 거리에 따른 경로손실 decay factor가 4.0이고 로그노말 분포의 랜덤 경로손실은 8dB의 표준 편차를 가지고 셀 사이의 웨도잉 상관 계수는 0.5이다. 다경로채널은 9개의 전파 경로를 가지고 각 경로들은 그림 5에 나타난 것과 같이 다른 평균 전력에서 독립 레일리 페이딩을 겪는다. 셀 가장자리에서 PDCH의 한 개 코드 채널에서 중간값(median) 신호 대 배경잡음 전력비는 -6dB로 정했다. 또 이 논문에서는 12개의 코드 채널은 PDCH안에서 코드 다중화 되고 그 값을 12개로 고정된 값으로 가정하였다. 매번 셀 탐색과정 동안 레일리 페이딩 채널의 이득은 다양하고 거리에 의존적이며 매시도 때마다 랜덤하게 결정된다. 평균시간은 1단계에서는 54개 심볼을 2단계에서는 1개의 프레임 그리고 3단계에서는 2개의 OFCDM 심볼에서 구했다. 특히 2단계에서의 블록 타입의 그룹코드를 적용하여 모의실험 할 때에는 기존의 그룹 코드와

제안된 그룹 코드를 비교 하였다. 그 이유는 2단계에서의 그룹코드의 성능이 셀 탐색 속도에 많은 영향을 주는 요소이므로 아무리 복잡도를 줄일 수 있다 할지라도 성능의 열화는 곧 셀 탐색 속도를 저하시키는 주요한 원인이 되기 때문이다. 2단계에서의 실험은 1단계에서 완전 채널보상(perfect channel compensation)이 되었다고 가정 하였다. 결과적으로 프레임 타이밍과 우리가 원하는 최적의 셀 중 하나의 CSSC가 검출 되었다면, 셀 탐색은 성공적으로 이루어지며 그렇지 않은 경우에는 셀 탐색이 실패 되어서 다시 셀 탐색 과정을 수행한다.

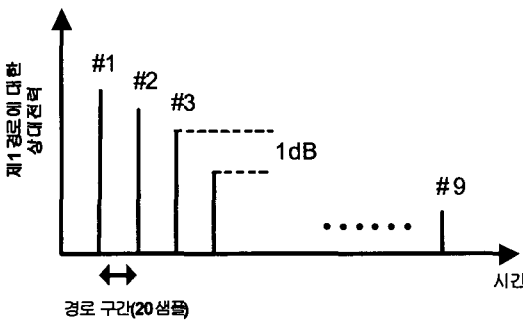


그림 5. 다중경로모델정보통신망 흐름도  
Fig. 5 Multipath model

4.2. 시뮬레이션 결과

우리는 셀 탐색의 1단계가 완료 된 후 2단계에서 제안 된 블록 타입의 그룹코드를 이용하여서 기존의 그룹 코드와 비교하였다. 그림 6은 단일 경로 환경에서의 블록 타입의 그룹코드를 모의실험 하였다. 이들의 주파수 축에서의 블록 길이 조합이 각각 640+128, 512+256, 384+384, 512+128+128 형태를 가지는 그룹 코드(여기서는 32그룹으로 설정)들이다. 그리고 그룹 개수의 조합은 두 블록인 경우에는 16x2, 8x4, 4x8, 2x16이고 세 블록인 경우에는 8x2x2, 4x2x4, 4x4x2, 2x4x4, 2x2x8, 2x8x2으로 만들어져 총 32개의 그룹으로 기존의 그룹 코드와 비교 하였다. 그림 6에서  $E_c/N_0$ (여기서는 768개의 부반송파 중 한 개를 1 chip으로 가정)가 약 -10dB에서 640+128 (16x2) 또는 512+ 256(16x2)와 기존의 그룹코드들은 모두 검출 실패 확률이 5% 이하의 성능을 보인다. 그리고  $E_c/N_0$ 가 약-5dB~-4dB에서 거의 같은 성능을 보인다.

표 3. 모의실험 파라미터

Table. 3 Simulation parameters

FFT/IFFT 포인트 수	1024
OFCDM 심볼시간(실제데이터+ 보호구간)	9.259(7.585+1.674) $\mu sec$
심볼 개수	54 OFCDM심볼/프레임
확산 계수	16( $SF_f \times SF_s = 16 \times 1$ )
확산코드	CSSC 768칩 잘려진골드시퀀스
	CSOC 왈쉬-하다마드(SF=16/심볼)
CSSC개수/CSSC 그룹	16코드/32그룹
부반송파 개수	$N_c = 768$
데이터변조/확산변조	QPSK/QPSK
총 CSSC개수	512
셀개수	19
다중경로모델	9(그룹 4)
도플러주파수	80Hz
경로손실성분	4.0
쉐도잉	로그노말( $\sigma = 8.0dB$ , 셀간 상관계수 0.5)

그리고 여기서는 나타내지 않았지만 16x2, 4x8, 8x4, 2x16들 중에서 16x2의 성능이 가장 좋은 결과를 보였다. 그 이유는 코드길이 768 중 640 또는 512 길이를 가지는 부분과 128 또는 256 길이를 가지는 부분 중에서 성능은 길이가 긴 640 또는 512인 경우가 128 또는 256인 경우보다 성능에 더 많은 영향을 주어서 더 좋은 성능을 가지게 된다. 그리고 640+128의 성능과 512+256의 성능은 거의 같은 성능을 나타내는데 640 길이와 512 길이와의 관계와 128과 256 길이의 성능 관계가 거의 비슷하기 때문이다. 그림 5에서 세 블록을 가지는 블록 타입의 그룹코드는 그룹들의 조합이 8x2x2, 4x2x4와 4x4x2를 가지는 것으로 이용하였고 2x4x4, 2x2x8, 2x8x2의 조합은 성능 열화로 제외 시켰다. 세 블록의 조합을 가지는 그룹 코드는 그림 6에서 검출 실패 할 확률 5%이하에서 기존의 그룹코드보다 약 3dB정도 열화 됨을 알 수 있었다. 그림 7은 9개의 다중경로를 가지는 환경에서 실험한 결과이다. 특히 640+128, 512+256의 형태는  $E_c/N_0$ 가 -9dB에서 검출 실패 할 확률 5%이하를 얻었으며 약 -8dB 부근에서 기존의 그룹 코드와 거의 동일한 검출 성능을 가짐을 알 수 있다. 그리고 512+128+128 형태에서는 8x2x2의 경우가 나머지 4x2x4, 4x4x2 경우와 비교 해 볼 때 길이가 긴 블록을 가진 그룹의 종류가 많아서 다른 조합보다 성능이 더 우수함을 알 수가 있다. 그리고 그림 6과 그림 7에서 두



블록 형태의 그룹코드가 세 블록 형태의 그룹코드보다 다중 경로에서 더욱 강건함을 알 수가 있다. 왜냐하면 두 블록 형태의 그룹코드의 앞 블록의 길이가 세 블록 형태의 그룹코드 앞 블록보다 더 길기 때문이다. 그림 8은 기존의 그룹코드와 제안된 그룹코드의 조합에 따른 복잡도를 그래프화해서 나타내었다. 특히 복잡도가 32그룹에서 기존의 그룹코드보다 두 블록 그룹코드 640+128(16×2)의 형태에서는 35.4% 정도의 복잡도가 감소하고 512+256(16×2)의 경우 64.6% 정도의 복잡도가 감소를 하였다. 그리고 384+384(4×8)과 512+128+128(8×2×2)의 형태는 기존의 그룹코드보다 81.25% 정도 감소함을 알 수 있었다.

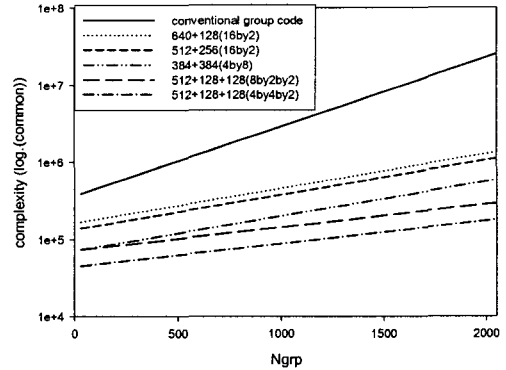


그림 8. 제안된 그룹코드와 기존의 그룹코드의 복잡도 비교

Fig. 8 Comparison of the complexity between proposed group code and conventional group code

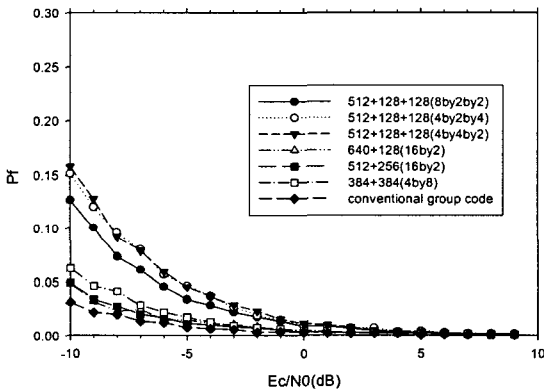


그림 6. 탐색 2단계에서 제안된 그룹코드와 기존의 그룹코드의 성능비교(단일경로)

Fig. 6 Comparison of the performance between proposed group code and conventional group code (single path)

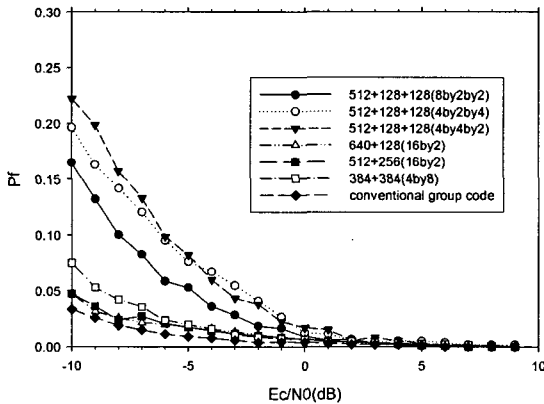


그림 7. 탐색 2단계에서 제안된 그룹코드와 기존의 그룹코드의 성능비교( 9 다중경로)

Fig. 7 Comparison of the performance between proposed group code and conventional group code ( 9 multipath)

그림 6, 7, 8을 통해서 볼 때 성능과 복잡도의 트레이드 오프(Trade-off)를 가짐을 확인할 수 있었다. 특히, -10dB 부근에서 검출 실패 확률이 5%이하의 경우인데 이때의 성능 저하는 전력제어나 여러 형태의 채널코딩 게인(gain) 등으로 쉽게 보상할 수 있게 된다. 그러므로 제안된 방법은 성능을 유지 하면서 복잡도를 줄일 수 있는 방법임을 알 수 있었다. 그림 9는 성능 면에서 가장 우수하며 복잡도에서도 우수한 512+256(16×2)의 경우와 기존의 그룹코드를 전체 3단계 셀 탐색 환경에서 모의 실험한 결과이다. 두 경우 모두 3msec에서 95% 이상의 셀 탐색 능력을 가지고 셀 탐색 속도면에서는 거의 동일한 성능을 가진다.

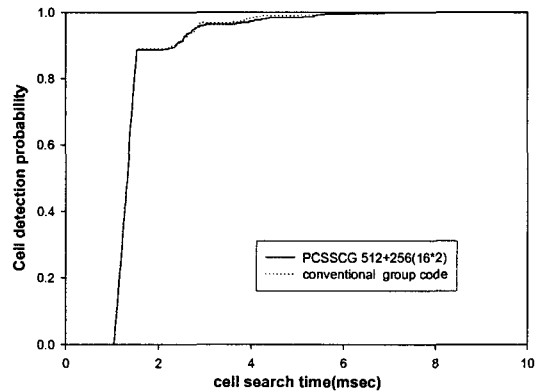


그림 9. 3단계 셀 탐색 시간 비교

Fig. 9 Comparison of cell search time performance in three steps

## V. 결론

본 논문에서는 기존의 동기방식의 단말기보다 많은 복잡도를 가지는 비동기 OFCDM시스템에서 단말기의 복잡도를 줄이고 성능은 거의 같은 수준으로 유지하는 블록 타입의 그룹코드를 제안하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 셀 탐색 2단계에서의 640+128(16×2) 또는 512+256(16×2) 형태의 제안된 그룹코드는 다중경로에서  $E_c/N_0$ 가 -10dB에서 검출 실패 확률이 5%이하를 얻으므로 기존의 그룹코드와 거의 동일한 성능을 나타내었으며 384+384(4×8)형태는 약 1~2dB 열화를 보였고 512+128+128 형태는 약 3dB 열화를 보였다. 그리고 복잡도 측면에서는 제안한 그룹코드가 기존의 그룹코드보다 32그룹에서 640+128(16×2)형태에서 35.4%, 512+256(16×2)형태에서는 64.6%, 384+384(4×8)과 512+128+128(8×2×2) 형태에서는 81.5%정도의 복잡도 감소를 보였다.

## 참고문헌

- [ 1 ] ITU-R PDNR WP8F, Vision, Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000, 2002
- [ 2 ] L.J.Cimini, Jr. and N.R.Sollenberger, "OFDM with diversity and coding for high bit-rate mobile data applications,"*Mobile Multimedia Communication*, vol.1 pp247-254, 1997
- [ 3 ] IEEE 802.16, Draft IEEE standard for local and metropolitan area networks, part 16. IEEE Standards REV-d/D1 2004.
- [ 4 ] IEEE 802.20-PD, 802.20 requirements document-ver. 13.2004
- [ 5 ] A. C. McCormick and E. A. AL-Susa, "Multicarrier CDMA for future generation mobile communication,"*Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 14, pp. 52-60, April 2002
- [ 6 ] H. Atarashi, S. Abeta, M. Sawahashi, "Variable spreading factor-orthogonal frequency and code division multiplexing (VSF-OFCDM) for broadband packet wireless access", *IEICE trans. commu.*, vol. e86-b, no. 1, Jan. 2003
- [ 7 ] Y. Ishii, K. Higuchi, M. Sawahashi, "Three-step cell search algorithm employing synchronization and common pilot channels for OFCDM broadband wireless access", *IEICE trans.* vol. e85-b, no. 12, dec. 2002
- [ 8 ] M. Tanno, H. Atarashi, K. Higuchi, and M. Sawahashi, "Three-step fast cell search algorithm utilizing common pilot channel for OFCDM broadband packet wireless access", *IEEE VTC2002-Fall*, vol. 3, 1575 - 1579, Sept. 2002
- [ 9 ] M. Tanno, H. Atarashi, K. Higuchi, M. Sawahashi, "Three-step cell search algorithm exploiting common pilot channels for OFCDM broadband wireless access", *IEICE trans.* vol. e86-b, no. 1, Jan. 2003
- [ 10 ] M. Tanno, H. Atarashi, K. Higuchi, and M. Sawahashi, "Fast cell search algorithm for system with coexisting cellular and hot-spot cells suitable for OFCDM forward link broadband wireless access" *IEEE VTC 2003-Spring*, vol. 1, 133-138, April 2003
- [ 11 ] Dae Yong Kim, Yong Wan Park, "A Suitable Cell Search Algorithm Using Separated I/Q Channel Cell Specific Scrambling Codes for systems with Coexisting Cellular and Hot-Spot Cells in Broadband OFCDM Systems", *The 9th CDMA International Conference (CIC2004)*, Seoul, Korea, Oct. 2004

저자소개



김 대 용(Dae-yong Kim)

1998. 2 영남대학교 전자공학과 학사  
2001. 2 영남대학교 정보통신공학과 석사

2002.2 ~ 영남대학교 정보통신공학과 박사과정  
※관심분야: 이동통신, OFCDM, 셀 탐색, OFDM



박 용 완(Yong-wan Park)

1982. 2 경북대학교 전자공학과 학사  
1984. 2 경북대학교 전자공학과 석사  
1989 뉴욕주립대 전기공학과 석사  
1992. 2 뉴욕주립대 전기공학과 박사

1992~1993 California institute of Technology Research Follow

1994~1996 SK Telecom PCS 기술 팀장  
1996~현 영남대학교 전자정보공학부 교수  
※관심분야: 이동통신, 4G, LBS