

여러 개의 문턱값을 이용한 Optical CDMA 부호 획득 알고리즘

준회원 정 다 해*, 이 영 윤*, 안 상 호*, 정회원 이 성 로**, 종신회원 윤 석 호*

An Optical CDMA Code Acquisition Algorithm Using Multiple Thresholds

Dahae Chong*, Youngyoon Lee*, Sangho Ahn* *Associate Members*,
Seong Ro Lee** *Regular Member*, Seokho Yoon* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 optical orthogonal code를 (OOC) 사용하는 optical 부호 분할 다중 접속 (code division multiple access: CDMA) 시스템에 알맞은 부호 획득 알고리즘을 제안한다. 일반적으로 부호 획득 알고리즘의 평균 부호 획득 시간이 (mean acquisition time: MAT) 짧을수록 알고리즘의 성능이 뛰어나다고 말할 수 있다. 기존의 Multiple-shift (MS) 알고리즘은 부호 획득을 두 단계로 나누어 수행함으로써, serial-search (SS) 알고리즘에 비해 빠른 부호 획득이 가능하였다. 본 논문에서 제안한 enhanced multiple-shift (EMS) 알고리즘은 기존의 MS 알고리즘과는 달리 여러 개의 문턱값을 씌으로써 MS 알고리즘에 비해 더 짧은 MAT를 갖는다. 모의실험을 통해 제안한 EMS 알고리즘의 MAT 성능을 MS 알고리즘의 MAT 성능과 비교해 본 결과, 단일 사용자 환경 및 다중 사용자 환경 모두에서 EMS 알고리즘이 MS 알고리즘에 비해 더 짧은 MAT를 갖는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : optical CDMA, optical orthogonal code (OOC), code acquisition, mean acquisition time (MAT), multiple access interference (MAI)

ABSTRACT

In this paper, we propose a code acquisition algorithm using optical orthogonal code (OOC) for optical code division multiple access (CDMA) systems. Generally, a good code acquisition algorithm offers short mean acquisition time (MAT). The conventional multiple-shift (MS) algorithm consists of two stages and has shorter MAT than that of well-known serial-search (SS) algorithm. This paper proposes a novel code acquisition algorithm called enhanced multiple-shift (EMS) algorithm. By using multiple thresholds, the proposed EMS algorithm provides shorter MAT compared with that of the MS algorithm. The simulation results show that the EMS algorithm presents shorter MAT compared with the MS algorithm in both single-user and multi-user environments.

I. 서 론

Optical 부호 분할 다중 접속 (code division

multiple access: CDMA) 시스템에서 신호의 복조는 동기화 과정이 완료된 후에 가능하다. 따라서 동기화 과정은 optical CDMA 시스템에서 중요한 신호처리

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-C1090-0804-0007)

* 성균관대학교 정보통신공학부 (syoon@skku.edu), ** 목포대학교 정보공학부

논문번호 : KICS2008-09-417, 접수일자 : 2008년 9월 23일, 최종논문접수일자 : 2008년 11월 6일

과정 중 하나라 할 수 있다.

CDMA 기반 시스템에서, 동기화는 일반적으로 부호 획득, 부호 추적의 두 과정으로 나누어진다^{[11],[12]}. 부호 획득이란 수신 신호의 시간 위상과 수신기에서 발생하는 템플릿 신호의 위상을 일정 간격 내로 맞추는 과정이며, 부호 추적이란 부호 획득에서 얻은 결과를 바탕으로 정확한 동기화를 수행하는 과정이다. 본 논문은 동기화의 두 과정 중 부호 획득에 초점을 맞추고 진행한다.

부호 획득 과정에서, 가장 중요한 성능 지표는 평균 부호 획득 시간이며 (mean acquisition time: MAT), MAT가 짧을수록 부호 획득 시스템의 성능이 좋다고 말할 수 있다. 그러나 optical CDMA 시스템에서는 잡음, 다른 사용자의 신호 간섭 (multiple access interference: MAI) 등 빠른 부호 획득을 방해하는 요소들이 존재한다. 잡음 및 누화에 강인한 특성을 갖는 fiber-optic이 통신 매체로 사용되면서부터 잡음의 영향은 많이 감소되었으나, MAI는 여전히 빠른 부호 획득을 방해하는 요소이며^{[13],[14]}, 이를 극복하기 위해 MAI가 존재하는 환경에서의 빠른 부호 획득에 관한 많은 연구들이 이루어졌다.

[5]에서, Keshavarzian과 Salehi는 optical orthogonal code를 (OOC) 사용하는 optical CDMA 시스템에서 serial-search (SS) 알고리즘에 대해 연구하였다. SS 알고리즘은 CDMA 기반 시스템에서 널리 사용되는 알고리즘으로써, 성능은 우수하나 사용하는 부호의 길이에 비례하여 MAT가 증가한다는 단점을 갖는다. SS 알고리즘의 단점을 해결하기 위해, [6]에서 Keshavarzian과 Salehi는 multiple-shift (MS) 알고리즘을 제안하였다. MS 알고리즘 또한 OOC를 사용하는 optical CDMA 시스템을 위한 알고리즘으로, 부호 획득 과정을 두 단계로 나누어 수행하며 SS 알고리즘에 비해 짧은 MAT를 제공한다.

본 논문에서는, MS 알고리즘에 비해 더 나은 MAT 성능을 갖는 enhanced multiple-shift (EMS) 알고리즘을 제안한다. EMS 알고리즘은 MS 알고리즘과 비슷하게 두 단계로 나누어서 부호 획득 과정을 수행하나, 여러 개의 문턱값을 씌으로써 MS 알고리즘에 비해 더 짧은 MAT를 제공한다. [6]에서, MAT는 부호 획득 과정이 종료될 때까지 템플릿 신호를 업데이트한 횟수로 정의되며, 본 논문에서도 [6]에서의 MAT 정의를 이용하여, MS 알고리즘과 EMS 알고리즘의 성능을 비교한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 서론에 이어, II장에서는 시스템 모형에 대해 설명하며, III장

에서는 기존 MS 알고리즘과 제안한 EMS 알고리즘에 대해 설명한다. IV장에서 모의실험을 통해 두 알고리즘의 성능을 비교, 분석하며 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

서론에서 언급한 것과 같이, MAI는 빠른 부호 획득을 방해하는 가장 심각한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 다중 사용자 환경을 고려하며, 잡음의 영향은 없다고 가정한다.

수신 신호 $r(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{n=1}^N s^{(n)}(t - \tau^{(n)}), \quad (1)$$

여기에서 $s^{(n)}(t)$ 는 n 번째 사용자의 전송 신호, $\tau^{(n)} \in [0, T_b)$ 는 n 번째 사용자의 전송 신호의 시간 지연, T_b 는 한 데이터 비트의 주기, N 은 전체 사용자의 수를 의미한다. 모든 사용자의 데이터 전송률은 동일하다고 가정하며, 데이터 변조 기법으로는 on-off-keying (OOK) 기법을 사용한다. 식 (1)의 $s^{(n)}(t)$ 는 전송 신호를 나타내며, 다음과 같이 정의된다.

$$s^{(n)}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i^{(n)} c^{(n)}(t - iT_b), \quad (2)$$

여기에서 $b_i^{(n)} \in \{0, 1\}$ 은 n 번째 사용자의 i 번째 데이터 비트를 의미하며, $c^{(n)}(t)$ 는 n 번째 사용자의 OOC를 의미한다. $c^{(n)}(t)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$c^{(n)}(t) = \sum_{j=0}^{F-1} a_j^{(n)} p(t - jT_c), \quad (3)$$

여기에서 T_c 는 OOC 한 칩의 주기이며, $a_j^{(n)} \in \{0, 1\}$ 은 $\sum_{j=0}^{F-1} a_j^{(n)} = K$ 의 특징을 (부호 주기: F , 부호 가치: K) 갖는 이진 수열로 구성된 n 번째 사용자의 OOC이다. $p(t)$ 는 주기 T_c 를 갖는 사각 펄스로 다음과 같이 정의된다.

$$p(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_c \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (4)$$

일반적으로, OOC는 $(F, K, \lambda_a, \lambda_c)$ 로 표기하며, λ_a 와 λ_c 는 각각 autocorrelation constraint, crosscorrelation constraint를 나타낸다^[7]. OOC의 엄밀한 직교성을 위해서는, λ_a 와 λ_c 는 0이어야 한다. 그러나 OOC는 '0' 칩과 '1' 칩으로 구성되기 때문에, λ_a 와 λ_c 는 0이 될 수는 없으며 본 논문에서는 λ_a 와 λ_c 를 각각 1로 설정한다.

III. 부호 획득 알고리즘

3.1 Multiple-shift 알고리즘

기존의 MS 알고리즘에서는, 우선 전체 F 셀을 M 개의 셀을 갖는 Q 개의 그룹으로 분할한다. Q 와 M 은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$Q = \left\lceil \frac{F}{M} \right\rceil, \quad (5)$$

여기에서 $\lceil \cdot \rceil$ 는 올림 연산자이다. F 가 M 으로 나누어지지 않을 때, Q 는 F/M 보다 큰 수 중 가장 작은 정수 값을 갖는다.

MS 알고리즘은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서, 그룹 단위로 상관값 검사가 이뤄지며, 매 검사는 그룹 단위로 업데이트 된다. 특정 그룹에서의 상관값이 주어진 문턱값 $TH_{MS, first}$ 를 넘게 되면, 그 그룹을 올바른 그룹이라 판단하고 첫 번째 단계가 종료된다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 찾은 올바른 그룹 내의 셀들에 대해 상관값 검사가 이뤄진다. 두 번째 단계에서는 셀 단위로 상관값 검사가 진행되며, 특정 셀에서 상관값이 주어진 문턱값 $TH_{MS, second}$ 를 넘게 되면, 그 셀에서 부호 획득이 되었다고 판단하고 부호 획득 과정은 종료된다. 그림 1은 F 가 16, Q 및 M 이 4일 경우의 예시이다. 부호 획득이 셀 8에서 이뤄지고 검사의 시작이 셀 1일 때, 첫 번째 단계에서는 셀 1-4를 한 번에 검사 및 $TH_{MS, first}$ 과 비교하며, 상관값이 $TH_{MS, first}$ 를 넘지 않을 경우 검사 윈도우는 셀 5-8로 이동하여 셀 5-8에 대해 검사가 진행된다. 셀 5-8에서의 상관값이 $TH_{MS, first}$ 을 넘게 되면, 첫 번째 단계는 종료되고 두 번째 단계가 시작된다. 두 번째 단계에서는 셀 5-8에 대해 차례로 상관값 검사가 이뤄진다. MAI가 없을 경우, SS 알고리즘으로는 셀 8까지 도달하여 부호 획득을 하는데 총 8회의 검사가 필요한 반면, MS 알고리즘은 6회의 검사만으로 부호 획득이 가능하다.

수신기에서는 MS 알고리즘의 동작을 위해 그림 2의 템플릿 신호가 생성된다. 첫 번째 단계에서 수신 신호 $r(t)$ 와 그림 2.(a) 또는 2.(b)의 템플릿 신호와의 상관값 검사가 이뤄지며, 두 번째 단계에서는 수신 신호 $r(t)$ 와 그림 2.(c)의 템플릿 신호와의 상관값 검사가 이뤄진다. 그림 2.(a)와 2.(b)는 각각 M 이 2, 3일 때 템플릿 신호의 예이며, 템플릿 신호의 업데이트는 칩 단위로 이뤄진다. 그림 2.(a) 또는 2.(b)의 템플릿 신호를 사용함으로써 한 번에 M 개의 셀을 검사할 수 있다.

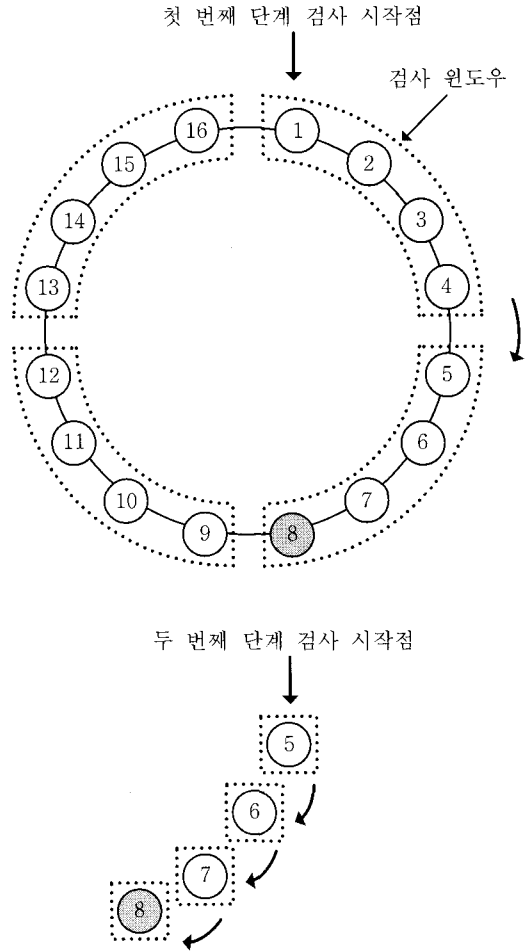


그림 1. MS 알고리즘 동작 예시

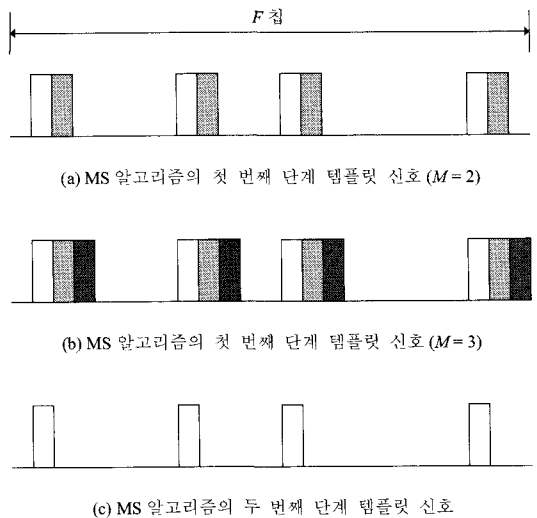


그림 2. (32,4,1,1) OOC를 사용하였을 경우, MS 알고리즘의 템플릿 신호

부호 획득 과정에 걸린 시간은 1단계, 2단계에서의 검사 횟수로 정의하며, 따라서 단일 사용자 환경에서 MS 알고리즘을 사용하였을 때 걸리는 평균 부호 획득 시간 T_{MS} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{MS} = \frac{Q+1}{2} + \frac{M+1}{2}. \quad (6)$$

식 (5)와 (6)으로부터, $F \gg 1$ 이고 $M = \sqrt{F}$ 일 때, 최소 T_{MS} 값 $\sqrt{F}+1$ 을 얻을 수 있다.

3.2 Enhanced Multiple-shift 알고리즘

본 논문에서 제안한 EMS 알고리즘은 MS 알고리즘과 마찬가지로 두 단계로 나누어지며 비슷한 과정을 통해 부호 획득을 수행한다. 그러나 EMS 알고리즘은 두 개의 문턱값을 사용함으로써 MS 알고리즘에 비해 더 작은 평균 부호 획득 시간을 갖는다.

EMS 알고리즘에서는 MS 알고리즘과 마찬가지로 우선 전체 F 셀을 M 개의 셀을 갖는 Q 개의 그룹으로 분할한다. Q 와 M 의 관계 및 셀과 칩의 크기는 MS 알고리즘에서의 설정과 같다. 단 EMS 알고리즘에서는 MS 알고리즘에서와 달리 그림 3의 템플릿 신호가 사용된다. 그림 3.(a)와 3.(b)는 M 이 2, 3일 때 EMS 알고리즘에서 사용되는 템플릿 신호의 예이다. 그림 3.(a) 및 3.(b)에서 보는 바와 같이 EMS 알고리즘의 템플릿 신호는 MS 알고리즘의 템플릿 신호와는 달리, M 개의 칩 묶음 중 앞 쪽 절반은 큰 전력을 가지며, 나머지 절반은 작은 전력을 갖는다. M 이 홀수일 때는, 큰 전력을 갖는 칩의 개수가 작은 전력을 갖는 칩의 개수보다 하나 더 많도록 설정한다. 칩의 작은 전력은 다음과 같은 조건에 따라 설정한다.

$$\begin{aligned} \text{조건 1. } & \alpha < 1, \\ \text{조건 2. } & \alpha > \frac{\lambda_a}{K}, \\ \text{조건 3. } & \alpha > \frac{\lambda_c}{K}, \end{aligned} \quad (7)$$

여기에서 α 는 작은 칩의 전력을 의미하며, 큰 칩의 전력은 '1'이다.

EMS 알고리즘의 첫 번째 단계에서는 큰 칩, 작은 칩에 크기에 기반하여 결정된 두 개의 문턱값 $TH_{EMS,first}$, $th_{EMS,first}$ 이 사용되며, 이를 이용하여 MS 알고리즘에 비해 빠른 부호 획득이 가능하다.

첫 번째 단계에서 그룹 단위로 상관값 검사가 이뤄지며, 매 검사는 그룹 단위로 업데이트 된다. 만약, 특정 그룹에서의 상관값이 주어진 문턱값 $TH_{EMS,first}$ 을

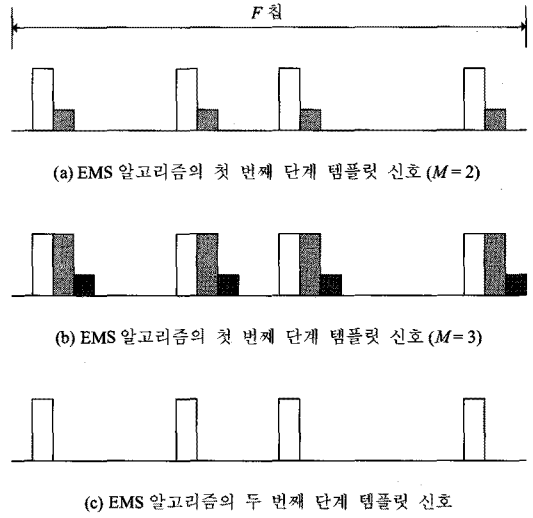


그림 3. (32,4,1,1) OOC를 사용하였을 경우, EMS 알고리즘의 템플릿 신호

넘게 되면, 그 그룹을 올바른 그룹이라 판단하고 두 번째 단계가 진행된다. 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 찾은 올바른 그룹 내의 M 개의 셀 중 앞 쪽 절반에 대해 상관값 검사가 이뤄진다. 반면, 특정 그룹에서의 상관값이 $th_{EMS,first}$ 보다 크고, $TH_{EMS,first}$ 보다 작다면, 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 찾은 올바른 그룹 내의 M 개의 셀 중 뒤 쪽 절반에 대해 상관값 검사가 이뤄진다. 두 번째 단계에서는 MS 알고리즘과 마찬가지로, 셀 단위로 상관값 검사가 이뤄지나 첫 번째 단계에서의 결과에 따라 약 $M/2$ 개의 셀만 검사하면 되므로, 두 번째 단계에서 걸리는 검사 횟수는 MS 알고리즘의 두 번째 단계에 비해 절반 가량 줄어들게 된다. 단, 그림 3에서와 보는 바와 같이 두 종류의 크기를 갖는 템플릿을 생성해야 하며, 문턱값 개수에 따른 판별기가 추가적으로 필요하므로 MS 알고리즘에 비해 하드웨어 복잡도는 약간 증가하게 된다.

그림 4는 그림 2와 같은 상황에서 EMS 알고리즘을 적용한 경우의 예시이다. 첫 번째 단계에서 셀 1-4를 한 번에 검사 및 $TH_{EMS,first}$, $th_{EMS,first}$ 와 비교하며, 상관값이 두 문턱값 모두 보다 작을 경우 검사 윈도우는 셀 5-8로 이동하며 셀 5-8에 대해 검사가 진행된다. 셀 5-8에서의 상관값이 $TH_{EMS,first}$ 보다 작고 $th_{EMS,first}$ 을 넘게 되면, 첫 번째 단계는 종료되고 두 번째 단계가 시작된다. 두 번째 단계에서는 그룹 내의 뒤 쪽 절반인 셀 7-8에 대해 차례로 상관값 검사가 이뤄진다. MAI가 없을 경우, MS 알

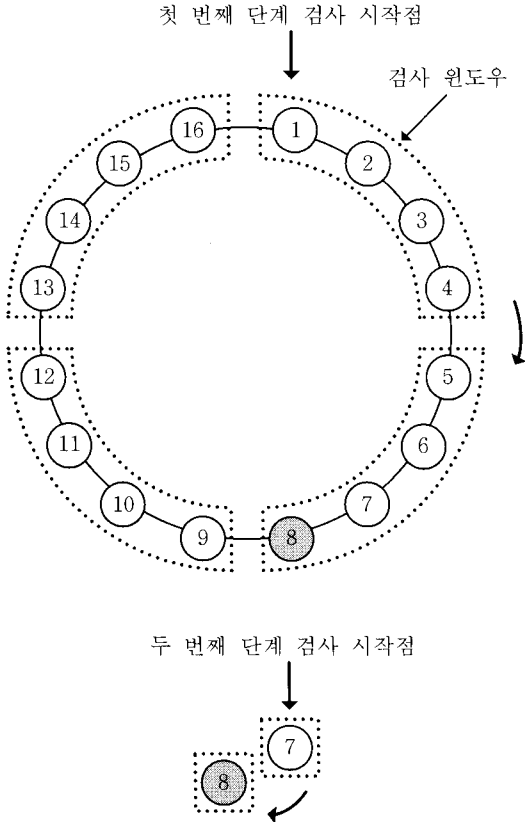


그림 4. EMS 알고리즘 동작 예시

고리즘으로는 부호 획득을 하는데 총 6회의 검사가 필요한 반면, EMS 알고리즘은 4회의 검사만으로 부호 획득이 가능하다.

부호 획득 과정에 사용된 시간은 MS 알고리즘과 마찬가지로 1단계, 2단계에서 템플릿 신호를 업데이트한 횟수로 정의하며, 따라서 단일 사용자 환경에서 EMS 알고리즘을 사용하였을 때 걸리는 평균 부호 획득 시간 T_{EMS} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_{EMS} = \frac{Q+1}{2} + \frac{M+2}{4} \quad (8)$$

식 (8)에서 보는 것과 같이, 두 번째 단계에 걸리는 부호 획득 시간은 약 절반 가량 줄어든 것을 알 수 있으며, 식 (5)와 (8)으로부터, $F \gg 1$ 이고 $M = \sqrt{2F}$ 일 때, 최소 T_{EMS} 값 $\sqrt{F/2} + 1$ 을 얻을 수 있다.

EMS 알고리즘의 올바른 작동을 위해서는 $M \leq t_{min}$ 을 (t_{min} : OOC의 '1' 칩과 '1' 칩 간의 최소 간격) 만족해야 하며 이는 MS 알고리즘에서도 마찬가지이다. 그렇지 않을 경우, M 이 증가함에 따

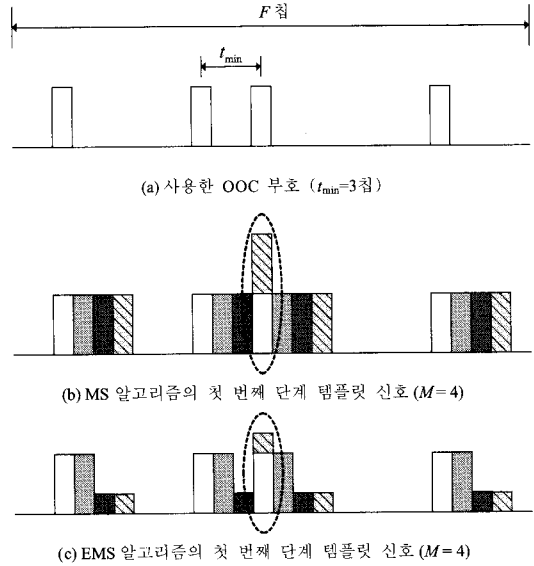


그림 5. $M > t_{min}$ 일 때, MS 및 EMS 알고리즘의 템플릿 신호

라 앞의 '1' 칩에서 생성된 칩들이 뒤의 '1' 칩의 위치와 겹치는 경우가 발생하게 된다. 그림 5는 이러한 경우를 묘사해놓은 그림으로 t_{min} 이 3, M 이 4의 경우를 나타내었다. 그림 5.(a), 5.(b), 5.(c)는 각각 사용한 OOC, MS 알고리즘의 템플릿 신호, EMS 알고리즘의 템플릿 신호를 나타낸 것이며, 그림 5.(b), 5.(c)에서 타원으로 표시한 부분이 앞의 '1' 칩에서 생성된 칩이 뒤의 '1' 칩의 위치와 겹치는 것을 표현한 것이다. 이런 경우, 알고리즘의 올바른 작동 여부를 보장할 수 없으며 성능 또한 예측하기 어려워진다.

IV. 모의실험 결과

이 장에서는, 몬테카를로 시뮬레이션을 통해서 MS 알고리즘과 EMS 알고리즘의 MAT 성능을 구하고 이를 비교, 분석한다. 단일 사용자 환경, 다중 사용자 환경 모두에서 모의실험을 수행하였으며, 모의실험에 사용한 매개변수들은 표 1에 명시되어 있다. 표 1에서, L 은 페널티 타임이며, $TH_{EMS, second}$ 는 EMS 알고리즘의 두 번째 단계에서 사용되는 문턱값이다. 모의실험에서 각 사용자들은 동일한 확률로 0 또는 1 신호를 보낸다고 설정하였으며, 칩 동기화를 가정하였다.

그림 6은 단일 사용자 환경에서, M 의 변화에 따른 MS, EMS 알고리즘의 MAT 성능을 보여준다.

표 1. 모의실험 매개변수

매개변수	값	매개변수	값
F	200	α	0.75
K	5	$TH_{MS,first}$	K
λ_a	1	$TH_{MS,second}$	K
λ_c	1	$TH_{EMS,first}$	K
N	1-4	$th_{EMS,first}$	αK
L	5	$TH_{EMS,second}$	K

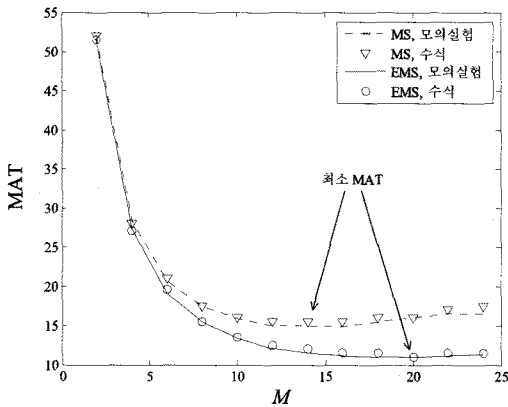


그림 6. 단일 사용자 환경에서 MS 및 EMS 알고리즘의 MAT

점선과 실선은 각각 모의실험을 통해 구한 MS 알고리즘과 EMS 알고리즘의 MAT이며, ∇ 와 \circ 표시는 각각 수식 (6), (8)을 통해 얻은 MS 알고리즘과 EMS 알고리즘의 MAT이다. 그림 6에서 보는 바와 같이, 수식을 통해 얻은 성능과 모의실험을 통해 얻은 성능이 일치함을 확인할 수 있으며, 또한, MS 알고리즘, EMS 알고리즘은 각각 $M=14$, $M=20$ 부근에서 최소 MAT를 갖는 것을 확인할 수 있다. 전체적으로 EMS 알고리즘의 MAT 성능이 MS 알고리즘의 MAT 성능보다 뛰어난 것을 확인할 수 있으며, M 이 커질수록 두 알고리즘의 MAT 성능차이는 더욱 커진다.

그림 7은 다중 사용자 환경에서, M 의 변화에 따른 MS, EMS 알고리즘의 MAT 성능을 보여준다. 그림 5에서, 점선 및 실선은 각각 MS 및 EMS 알고리즘의 MAT 성능을 나타내며, *, O, ∇ 표시는 각각 사용자가 두 명, 세 명, 네 명 존재하는 환경에서 모의실험을 통해 구한 MAT 성능이다. 그림 7에서 보는 바와 같이, EMS 알고리즘은 MS 알고리즘에 비해 뛰어난 MAT 성능을 가지며, M 이 커질수록 두 알고리즘의 MAT 성능 차이는 더욱 커진다. 또

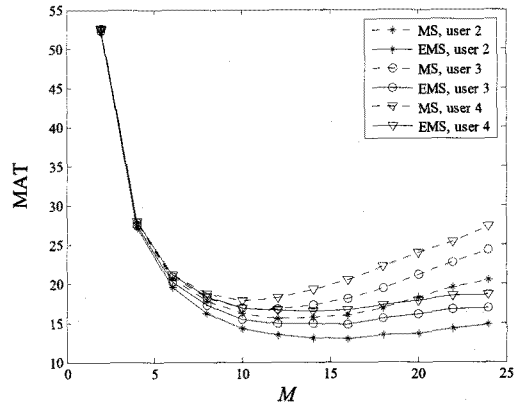


그림 7. 다중 사용자 환경에서 MS 및 EMS 알고리즘의 MAT

한, 두 알고리즘의 MAT는 사용자의 수가 늘어날수록 증가하나, MAT 차이는 사용자의 수에 관계없이 전체적으로 비슷한 양상을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 optical CDMA 시스템에서 사용되는 MS 알고리즘에 대해 소개하였으며, 이보다 더 나은 성능을 갖는 EMS 알고리즘을 제안하였다. EMS 알고리즘은 MS 알고리즘과 비슷한 부호 획득 과정을 가지나, 부호 획득 시 첫 번째 단계에서 사용되는 템플릿 신호를 바꿔줌으로써 MS 알고리즘에 비해 뛰어난 MAT 성능을 갖게 된다. 또한, 모의실험을 통해 두 알고리즘의 성능을 비교한 결과, 단일 사용자 환경, 다중 사용자 환경 모두에서 EMS 알고리즘이 MS 알고리즘보다 뛰어난 MAT 성능을 갖는 것을 확인하였으며, M 이 커질수록 두 알고리즘의 MAT 성능 차이는 더욱 커지는 것을 확인할 수 있었다.

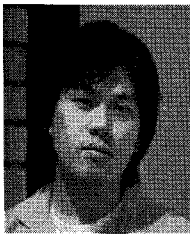
참고 문헌

- [1] A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread spectrum code acquisition-Part I: General theory," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.32, No.5, pp.542-549, May 1984.
- [2] 정다혜, 이병운, 김상훈, 정영빈, 송익호, 윤석호, "CDMA 시스템에서 부호 획득을 위한 위상 변이 네트워크 기반의 차동 순차 추정 기법," *한국통신학회논문지*, 32권, 3호, 281-289 쪽, 2007년 3월.

- [3] J. A. Salehi and C. A. Brackett, "Code division multiple-access techniques in optical fiber networks - Part II: Systems performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.37, No.8, pp.834-842, Aug. 1989.
- [4] A. Stok and E. H. Sargent, "Lighting the local area: Optical code-division multiple access and quality of service provisioning," *IEEE Network*, Vol.14, No.6, pp.42-46, Dec. 2000.
- [5] A. Keshavarzian and J. A. Salehi, "Optical orthogonal code acquisition in fiber-optic CDMA systems via the simple serial-search method," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.50, No.3, pp.473-483, Mar. 2002.
- [6] A. Keshavarzian and J. A. Salehi, "Multiple-shift code acquisition of optical orthogonal codes in optical CDMA systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.53, No.3, pp.687-697, Apr. 2005.
- [7] J. A. Salehi, "Code division multiple-access techniques in optical fiber networks - Part I: Fundamental principles," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.37, No.8, pp.824-833, Aug. 1989.

정 다 해 (Dahae Chong)

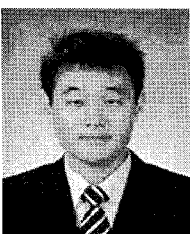
준회원



2006년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2008년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 공학석사
 2008년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정
 <관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호 처리

이 영 윤 (Youngyoon Lee)

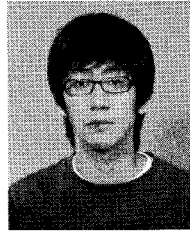
준회원



2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2007년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 석사 과정
 2008년 7월 성균관대학교 우수 논문상 받음
 <관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호 처리

안 상 호 (Sangho Ahn)

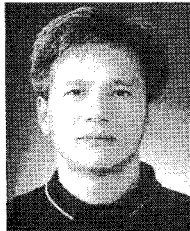
준회원



2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사
 2007년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
 2007년 2월 성균관대학교 우수 논문상 받음
 <관심분야> 통계학적 신호 처리, 추정 및 검파

이 성 로 (Seong Ro Lee)

정회원

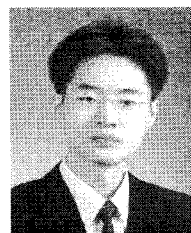


1987년 2월 고려대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
 1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
 1996년 9월~1997년 8월 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원

1996년 7월~현재 목포대학교 정보공학과 전임강사, 조교수, 부교수
 2001년 1월~2001년 11월 정보통신연구진흥원 기술평가위원
 2001년 9월 한국통신학회 논문심사위원
 <관심분야> 배열신호처리, 통계학적 신호 처리

윤 석 호 (Seokho Yoon)

중심회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학사 (최우등)
 1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사
 2002년 4월~2002년 6월 MIT

박사후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 히버드대학교 박사후 연구원
 2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수
 2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음
 2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재
 2007년 IEEE 선임회원
 2008년 Marquis Who's Who in World에 등재
 <관심분야> 통신 이론, 이동 통신, 통계학적 신호 처리