

DS-CDMA 시스템을 위한 적응 혼합 검색형 동기획득 알고리즘의 성능 분석

정회원 박형래*, 준회원 양연실**

Performance Analysis of an Adaptive Hybrid Search Code Acquisition Algorithm for DS-CDMA Systems

Hyung rae Park* *Regular Member*, Yeon sil Yang** *Associate Member*

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템을 위한 적응 혼합 검색형 동기획득 알고리즘의 성능을 저속 페이딩 환경에서 해석한다. 먼저, CDMA 순방향 링크에서의 간섭의 불안정성 (nonstationarity)에 효율적으로 대처하기 위해 CFAR (constant false alarm rate) 특성을 갖도록 동기획득 알고리즘을 설계한다. 설계된 알고리즘의 평균 동기획득 시간 (mean acquisition time)을 이론적으로 해석하고 주파수 선택성 레일리 페이딩 환경에서 신호탐지 확률, 탐지실패 확률, 및 오경보율을 유도한다. 성능 해석 시 저속 페이딩 환경을 고려해, 수신 신호의 포락선이 PDI (post-detection integration) 구간 동안 일정하다고 가정한다. 끝으로, 설계된 동기획득 알고리즘에 대하여 부 윈도우 (sub-window)의 크기, PDI 크기, 판정 임계치 등에 따른 동기획득 성능의 변화를 cdma2000 환경을 고려하여 분석한다.

Key Words : DS-CDMA, Code acquisition, Hybrid search, Mean acquisition time, CFAR

ABSTRACT

We analyze the performance of an adaptive hybrid search code acquisition algorithm for direct-sequence code division multiple access (DS-CDMA) systems under slowly-moving mobile environments. The code acquisition algorithm is designed to provide the desired feature of constant false alarm rate (CFAR) to cope with nonstationarity of the interference in CDMA forward links. An analytical expression for the mean acquisition time is first derived and the probabilities of detection, miss, and false alarm are then obtained for frequency-selective Rayleigh fading environments. The fading envelope of a received signal is assumed to be constant over the duration of post-detection integration (PDI), considering slow fading environments. Finally, the performance of the designed code acquisition algorithm shall be evaluated numerically to examine the effect of some design parameters such as the sub-window size, size of the PDI, decision threshold, and so on, considering cdma2000 environments.

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 (hrpark@mail.hankong.ac.kr)

** 삼성전자 네트워크 사업부

논문번호 : KICS2004-08-146 접수일자 : 2004년 8월 11일

※ 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-003-D00213)

I. 서론

코드분할 다중 접속 (CDMA) 기술은 채널용량, 링크 품질, 시스템 설치의 용이성 등 여러 측면에서 다른 전송기술 보다 우수하므로 무선통신 분야에서 가장 각광 받고 있는 전송기술 중의 하나이다^{[1]-[3]}. 그러나 이와 같은 CDMA 기술의 장점도 송, 수신기 사이의 동기가 정확히 일치할 경우에만 활용이 가능하며 따라서 CDMA 모델의 설계에 있어서 동기 블록이 가장 중요한 블록 중의 하나라고 할 수 있다. CDMA 시스템에서 동기 과정은 동기획득 (code acquisition)과 동기추적 (code tracking) 과정으로 대별할 수 있다. 동기획득은 송, 수신기 사이의 동기오차를 1 PN 칩 이내로 대략적으로 조정하는 과정이며 동기추적은 동기획득 후 보다 정확하게 동기를 맞추고 지속적으로 동기를 유지하기 위한 과정으로서 본 논문에서는 전자의 경우를 다룬다.

DS-SS-CDMA 시스템을 위한 동기획득 알고리즘은 검색 방식 (search strategy)에 따라 직렬 검색 (serial search)^{[4]-[7]}, 병렬 검색 (parallel search)^{[8]-[11]}, 순차 검색 (sequential search) 방식^[12] 등으로 분류할 수 있으며 응용 분야에 따라 적절한 검색 방식이 선택되어야 한다. 직렬 검색 방식은 검색 윈도우 (search window)가 매우 큰 CDMA 순방향 링크에서 널리 사용되고 있으며^{[4]-[7]}, 반면 병렬 검색 방식은 검색 윈도우의 크기가 비교적 작은 CDMA 역방향 링크에서 주로 사용된다^{[8]-[11]}. 일반적으로 CDMA 역방향 링크에서 검색 윈도우의 크기는기지국의 셀 반경 (혹은 서비스 반경)에 의해 결정된다^[8].

위에 언급한 알고리즘들 외에, 직렬 검색과 병렬 검색 방식을 조합한 혼합 검색 알고리즘 (hybrid search algorithm)이 CDMA 순방향 링크에 최근 들어 많이 사용되고 있다^{[13]-[16]}. 혼합 검색 알고리즘은 여러 개의 능동 코릴레이터 (active correlators)를 효율적으로 사용함으로써 동기획득 시간을 줄일 수 있다. 지금까지 혼합 검색 알고리즘의 성능은 H_1 셀이 하나인 경우에 대해서 주로 해석이 이루어졌다^{[13]-[15]}. 여기서 H_1 셀이란 동기오차가 1 PN 칩 (혹은 0.5 PN 칩) 보다 작은 테스트 셀을 의미하며 동기오차가 1 PN 칩 (혹은 0.5 PN 칩) 보다 클 경우의 테스트 셀을 H_0 셀이라고 정의한다. Zhuang은 다중 간섭 신호 (multiple access interference)의 영향을 고려하여 혼합 검색 알고리즘의 성능을 해석하였으나 PDI의 영향을 고려하지 않았다^[13]. CDMA 시스템에서 원하는 동기획득 성능을 얻기 위해서는

적분 구간을 적절히 증가시켜야 하나 수신신호와 국부발진기의 주파수 편차에 의해 코히어런트 적분 구간을 증가시키는 데는 한계가 있다. 이 경우, PDI 구간을 증가시켜 판정변수 (decision variable)를 구성함으로써 신호탐지 성능을 향상시킬 수 있다. 참고 문헌^[15]에서는 PDI의 영향을 고려하여 혼합 검색 알고리즘의 성능을 해석하였으나, PDI 구간 동안 적분 샘플들이 서로 독립적이라고 가정하였다.

본 논문에서는 DS-SS-CDMA 시스템의 순방향 링크에 적용하기 위한 적응 혼합 검색형 동기획득 알고리즘을 설계하고 주파수 선택성 레일라이 페이딩 환경에서 성능을 해석한다. 동기획득 알고리즘은 검색 모드 (search mode)와 확인 모드 (verification mode)를 갖도록 설계하며 순방향 링크에서의 간섭 성분의 불안정성 (non-stationarity)에 효율적으로 대처하기 위해 CFAR 특성을 갖도록 설계하였다^[14]. 설계된 동기획득 알고리즘의 평균 동기획득 시간 (mean acquisition time: MAT)을 이론적으로 유도하고 주파수 선택성 레일라이 페이딩 환경에서 신호탐지 확률 (probability of detection), 탐지실패 확률 (probability of miss), 및 오경보 율 (false alarm rate)을 유도한다. 동기획득 성능을 해석하기 위해 수신신호의 포락선은 PDI 구간 동안 일정하다고 가정하였으며 이러한 가정은 특히 저속 페이딩 환경에 적합하다. 또한, 이론적인 해석을 위해 검색 모드에서 H_1 셀들이 서로 독립적이며 H_1 셀들은 모두 하나의 부 윈도우 (sub-window) 내에 존재한다고 가정한다.

끝으로, cdma2000 환경을 고려하여 부 윈도우 크기, PDI 크기, 판정 임계치 등에 따른 동기획득 성능을 이론적으로 해석한다.

II. 동기획득 알고리즘 및 평균 동기획득 시간

2.1 적응 혼합 검색형 동기획득 알고리즘

혼합 검색형 동기획득 알고리즘이란 직렬 검색 알고리즘과 병렬 검색 알고리즘의 조합형으로써 먼저, 전체 검색 윈도우를 여러 개의 작은 부 윈도우 (sub-window)로 분할한 후 특정 부 윈도우에 대해 병렬 검색 알고리즘을 적용하고 동기획득에 성공할 때까지 인접한 부 윈도우에 대해 연속적으로 병렬 검색 알고리즘을 적용하는 알고리즘이다. 그림 1은 본 논문에서 고려하는 적응 혼합 검색형 동기획득 시스템을 나타낸다. 그림과 같이, 설계된 동기획득 시스템은 두 개의 동작 모드 즉, 검색 모드와 확인 모드를 갖는다. 동기획득 시간을 줄이기 위해 검색

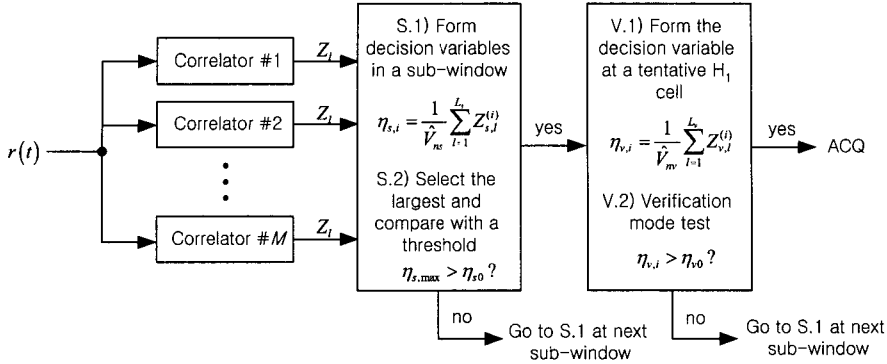


그림 1. 설계된 혼합 검색형 동기 획득 알고리즘

모드에서는 M 개의 코릴레이터가 사용되며 특정 부 윈도우를 다시 균등하게 나눈 M 개의 영역을 각각의 코릴레이터가 동시에 검색함으로써 동기획득 시간을 단축시킨다. 이 때, 코릴레이터의 수는 동기획득 시간과 시스템 H/W 의 복잡도를 고려하여 선택하여야 한다. 검색 모드에서는, 부 윈도우 내의 모든 테스트 셀 중에서 가장 큰 판정변수 (decision variable)를 갖는 테스트 셀을 잠정적으로 H_1 셀이라고 가정한다. 한편, 판정변수는 동기획득 시스템이 CFAR 특성을 갖도록 추정된 간섭 레벨 \hat{v}_m 로 정규화 한다. 이 때 간섭 레벨은 그림 1과 같이 특정 부 윈도우 내의 셀들의 에너지를 평균함으로써 얻을 수 있다. 검색 모드에서 판정변수를 구하는데 소요되는 시간을 1차 dwell-time, τ_{Ds} 라고 한다. 만일, 가장 큰 판정변수가 검색 모드의 판정 임계치 (decision threshold) 보다 크면 이에 해당하는 테스트 셀을 잠정적으로 H_1 셀로 결정하며 잠정적으로 결정된 H_1 셀이 실제 H_1 셀인지를 검증하기 위해 확인 모드가 동작하게 된다. 확인 모드에서의 판정변수를 구하는데 소요되는 시간을 2차 dwell-time이라고 하며 $\tau_{Dv}(K, \tau_{Ds})$ 라고 표기한다. 일반적으로 확인 모드에서는 신뢰성이 높게 판정하기 위해 2차 dwell-time을 1차dwell-time 보다 훨씬 크게 설정한다. 만일, 확인 모드에서의 판정변수가 다시 판정 임계치보다 크게 되면 잠정적으로 결정된 H_1 셀은 최종적으로 H_1 셀로 판정되며 이때부터 동기추적 회로가 동작하게 된다. 만일, 확인 모드에서의 판정변수가 판정 임계치보다 작을 경우 동기획득 시스템은 테스트 셀과 테스트 중인 부 윈도우를 포기하고 동일한 검색 과정을 다음 부 윈도우에 대해 수행하게 된다. 만일, H_0 셀 중의 어느 한 셀이 확인 모드를 통과하게 될 경우 오경보가 발생했다고 한다. 오경보는 동기추적

회로에 의해 인식되며 이 경우 다음 부 윈도우에서 검색 과정이 다시 시작되는데 까지 소요되는 시간을 penalty time, $T_p(K, \tau_{Ds})$ 이라고 한다.

2.2 평균 동기획득 시간의 유도

일반적으로 동기획득 알고리즘의 평균 동기획득 시간 (MAT)은 상태 다이어그램 (state diagram)으로 유도할 수 있다. 먼저, 전체 검색 윈도우를 N_w 개의 부 윈도우로 분할한다. 전체검색 윈도우 내에 N_t 개의 테스트 셀이 있다고 가정하면 각각의 부 윈도우에는 $N_c = N_t / N_w$ 개의 테스트 셀이 존재하게 된다. 한편, 검색 모드에서 M 개의 코릴레이터가 사용된다 고 하면 부 윈도우에 속한 모든 테스트 셀의 판정변수를 얻는데 소요되는 시간은 $N_c \tau_{Ds} = N_c / M \tau_{Ds}$ 가 된다. 그림 2는 H_1 부 윈도우와 H_0 부 윈도우 사이의 상태 천이를 나타낸 것이며 그림 3은 H_0 부 윈도우 사이의 상태 천이를 나타낸 것이다. 여기서 H_1 부 윈도우는 적어도 한 개의 H_1 셀을 포함하는 부 윈도우로 정의되며 H_0 부 윈도우는 H_0 셀만을 포함하는 부 윈도우를 나타낸다. 해석의 편의상 H_1 셀들은 모두 한 개의 H_1 부 윈도우 내에 존재한다고 가정한다. 그림 2에서 H_1 셀은 p 개가 존재한다고 가정하였다. 그림에서 상층부의 노드 (node)는 검색 모드에서의 테스트를, 하층부의 노드는 확인 모드에서의 테스트를 나타낸다. 그림 2와 3에서 $P_{Ds}^{(i)}$ 와 $P_{Dv}^{(i)}$ 는 각각 i 번째 테스트 셀의 검색 모드와 확인 모드에서의 신호탐지 확률을 나타내며, $P_{F3|H_0}$ 와 $P_{F3|H_1}$ 은 각각 H_0 부 윈도우와 H_1 부 윈도우의 검색 모드에서 오경보 율을 나타낸다. 또한, P_{Fv} 는 확인 모드에서의 오경보 율, P_{Ms} 와 $P_{Mv}^{(i)}$ 는 각각 검색 모드와 확인 모드에서의 탐지 실패 확률을 나타낸다. 제안된 동기획득 알고리즘은 그림 4와 같이 간략하게 표현

할 수 있으며 그림에서 $H_0(z)$, $H_D(z)$, $H_M(z)$ 는 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 H_0(z) &= (1 - P_{F_S|H_0})z^{N_c} + P_{F_S|H_0}(1 - P_{F_V})z^{N_c+K_v} + P_{F_S|H_0}P_{F_V}z^{N_c+K_v+K_p} \\
 H_D(z) &= \sum_{i=1}^P P_{D_S}^{(i)}P_{D_V}^{(i)}z^{N_c+K_v} \\
 H_M(z) &= P_{M_S}z^{N_c} + \left\{ \sum_{i=1}^P P_{D_S}^{(i)}P_{M_V}^{(i)} + P_{F_S|H_1}(1 - P_{F_V}) \right\} z^{N_c+K_v} \\
 &\quad + P_{F_S|H_1}P_{F_V}z^{N_c+K_v+K_p}. \tag{1}
 \end{aligned}$$

그림 4를 이용하여 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$U(z) = \frac{1}{N_w} \frac{H_D(z)}{1 - H_M(z)} \{H_0(z)\}^{N_w-1} \sum_{i=0}^{N_w-1} \{H_0(z)\}^i \tag{2}$$

이 때 평균 동기획득 시간은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 E[T_{\text{acq}}] &= \left. \frac{d}{dz} U(z) \right|_{z=1} \times \tau_{D_S} \\
 &= \left[\frac{(N_w - 1)H_0'(1)\{1 + H_M(1)\} + 2\{H_D'(1) + H_M'(1)\}}{2\{1 - H_M(1)\}} \right] \times \tau_{D_S}. \tag{3}
 \end{aligned}$$

식(3)에 포함된 변수는 아래와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 H_D(1) &= \sum_{i=1}^P P_{D_S}^{(i)}P_{D_V}^{(i)} \\
 H_M(1) &= 1 - H_D(1) \\
 H_0'(1) &= N_c'(1 - P_{F_S|H_0}) + (N_c' + K_v)P_{F_S|H_0}(1 - P_{F_V}) \\
 &\quad + (N_c' + K_v + K_p)P_{F_S|H_0}P_{F_V} \\
 H_D'(1) &= (N_c' + K_v) \sum_{i=1}^P P_{D_S}^{(i)}P_{D_V}^{(i)} \\
 H_M'(1) &= N_c'P_{M_S} + (N_c' + K_v) \left\{ \sum_{i=1}^P P_{D_S}^{(i)}P_{M_V}^{(i)} + P_{F_S|H_1}(1 - P_{F_V}) \right\} \\
 &\quad + (N_c' + K_v + K_p)P_{F_S|H_1}P_{F_V}. \tag{4}
 \end{aligned}$$

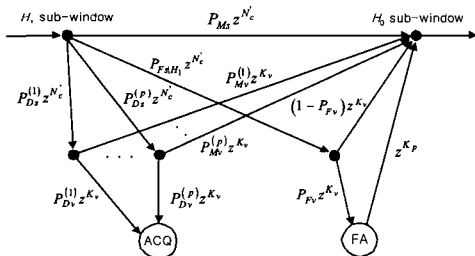


그림 2. H_1 부 윈도우와 H_0 부 윈도우 사이의 상태 천이

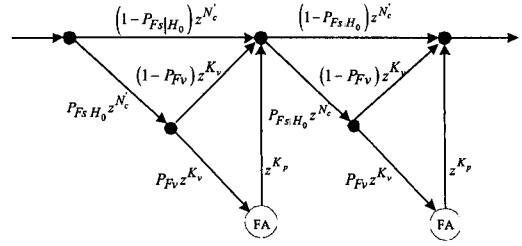


그림 3. H_0 부 윈도우 사이의 상태 천이

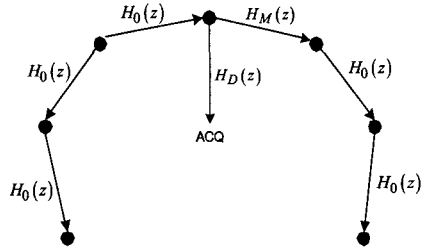


그림 4. 간략화된 원형 상태 다이어그램

III. 신호 검출 성능 해석

3.1 코릴레이터 출력의 통계적 특성

동기 오차가 1PN 칩 이내인 H_1 셀에서, I/Q 채널 코릴레이터의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다. [3],[4]

$$\begin{aligned}
 Y_I &= \alpha N \sqrt{E_{c,p}} R(\tau) \cos \varphi + n_I \\
 Y_Q &= \alpha N \sqrt{E_{c,p}} R(\tau) \sin \varphi + n_Q. \tag{5}
 \end{aligned}$$

이 때, $R(\tau)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} |H(f)|^2 \cos(2\pi f\tau) df \approx \text{sinc}(\pi T_c \tau). \tag{6}$$

식(5)에서 α 는 수신신호의 포락선을 나타내고, $E_{c,p}$ 와 φ 는 각각 파일럿 신호의 칩 에너지와 위상을 각각 나타낸다. n_I 와 n_Q 는 분산이 $N I_0/2$ 인 I/Q 채널 간섭 성분을 각각 나타내며 여기서 N 은 코히어런트 적분에 사용된 PN 칩의 수, I_0 은 간섭 스펙트럼 밀도를 나타낸다. 식(6)에서 τ 는 타이밍 오차를 나타내며 간섭성분 n_I 와 n_Q 는 서로 독립인 가우시안 변수로 모델링한다. H_1 셀에서 에너지의 평균치는 다음과 같으며

$$E[Z] = E[Y_I^2 + Y_Q^2] = N^2 E_{c,p} E[\alpha^2] R^2(\tau) + V_n \tag{7}$$

위 식에서 V_n 은 $N I_0$ 으로 주어진다. 또한, H_0 셀에서의 출력 에너지는 다음과 같다.

$$E[Z] = V_n. \quad (8)$$

3.2 검색 모드에서의 신호탐지 성능

검색 모드에서의 판정변수는 다음과 같이 주어진다.

$$\eta_{s,k} = \frac{1}{\hat{V}_{ns}} \sum_{l=1}^{L_s} Z_{s,l}^{(k)}. \quad (9)$$

위 식에서 k 는 테스트 셀의 인덱스, s 는 검색 모드를 나타내며 L_s 는 검색 모드에서의 PDI 크기를 나타낸다. \hat{V}_{ns} 은 간섭 레벨 V_{ns} 의 추정치이며 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{V}_{ns} = \frac{1}{N_c L_s} \sum_{k=1}^{N_c} \sum_{l=1}^{L_s} Z_{s,l}^{(k)}. \quad (10)$$

위 식에서 N_c 는 부 윈도우 내의 테스트 셀의 수를 나타내며 $Z_{s,l}^{(k)}$ 는 식(5), (7), (8)의 N 을 N_s 로 대체함으로써 얻을 수 있다. 일반적으로 N_c 는 매우 크므로 \hat{V}_{ns} 를 V_{ns} 로 가정할 수 있으며 해석의 편의상 V_{ns} 는 시 불변이라고 가정한다. 또한, 저속의 페이딩 환경을 고려하여 신호의 포락선은 PDI 구간 동안 일정하다고 가정한다. 먼저, H_1 부 윈도우에서 i 번째 H_1 셀의 판정변수가 가장 클 확률은 다음과 같다.

$$P_{Ds}^{(i)} = \int_{\eta_{s0}}^{\infty} \int_0^{\eta_{s,j}} f(x_s) dx_s \prod_{k=1, k \neq i}^{N_c-p} \left[\int_0^{\eta_{s,j}} f(y_{s,k}) dy_{s,k} \right] f(y_{s,i}) dy_{s,i}. \quad (11)$$

위 식에서 x_s 와 $y_{s,k}$ 는 각각 H_0 셀과 k 번째 H_1 셀에서 얻어진 판정 변수를 나타내며 η_{s0} 는 검색 모드에서의 판정 임계치를 나타낸다. 함수 $f(x_s)$ 와 $f(y_{s,k})$ 는 각각 x_s 와 $y_{s,k}$ 의 확률밀도함수를 나타낸다. 간섭성분이 가우시안 랜덤변수라고 가정하면, 랜덤변수 x_s 는 자유도 (degree of freedom)가 $2L_s$ 인 central- χ^2 분포를 가지며 x_s 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(x_s) = \frac{x_s^{L_s-1}}{(L_s-1)!} \exp(-x_s). \quad (12)$$

또한, H_1 셀에서 α_k 가 상수라고 가정할 경우, 랜덤변수 $y_{s,k}$ 는 자유도가 $2L_s$ 인 non-central χ^2 분포

를 가지며 이 때 $y_{s,k}$ 의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(y_{s,k} | \alpha_k) = (y_{s,k})^{L_s-1} \exp[-(y_{s,k} + \mu_{s,k})] \times \sum_{j=0}^{\infty} (\mu_{s,k} y_{s,k})^j \frac{1}{j!(L_s + j - 1)!}. \quad (13)$$

위 식에서 $\mu_{s,k}$ 는 non-centrality 계수이며 다음과 같이 주어진다.

$$\mu_{s,k} = L_s N_s^2 E_{c,p} \alpha_k^2 R^2(\tau_k) / V_{ns}. \quad (14)$$

따라서 변수 $y_{s,k}$ 의 확률밀도함수는 다음의 식과 같으며

$$f(y_{s,k}) = \int_0^{\infty} f(y_{s,k} | \alpha_k) f(\alpha_k) d\alpha_k = \frac{1}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \exp(-y_{s,k}) \left(\frac{\bar{\mu}_{s,k}}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \right)^{1-L_s} \times \left[\exp\left(\frac{\bar{\mu}_{s,k} y_{s,k}}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \right) - \sum_{j=0}^{L_s-2} \frac{1}{j!} \left(\frac{\bar{\mu}_{s,k} y_{s,k}}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \right)^j \right] \quad (15)$$

이 때 $\bar{\mu}_{s,k}$ 는 아래와 같다.

$$\bar{\mu}_{s,k} = L_s N_s^2 E_{c,p} E[\alpha_k^2] R^2(\tau_k) / V_{ns}. \quad (16)$$

식(12)와 (15)를 이용하여 다음의 결과를 얻을 수 있다. 즉,

$$\int_0^{\eta_{s,j}} f(x_s) dx_s = 1 - \exp(-y_{s,j}) \sum_{k=0}^{L_s-1} \frac{1}{k!} (y_{s,j})^k \quad (17)$$

$$\int_0^{\eta_{s,j}} f(y_{s,k}) dy_{s,k} = 1 - \exp(-y_{s,j}) \sum_{m=0}^{L_s-1} \frac{1}{m!} (y_{s,j})^m \left[1 - \left(\frac{\bar{\mu}_{s,k}}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \right)^{m-L_s+1} - \left(\frac{\bar{\mu}_{s,k}}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \right)^{-L_s+1} \exp\left(-\frac{y_{s,j}}{1 + \bar{\mu}_{s,k}} \right) \right]. \quad (18)$$

검색 모드에서의 탐지실패 및 오경보율은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{Ms} = \left\{ \int_0^{\eta_{s0}} f(x_s) dx_s \right\}^{N_c-p} \prod_{k=1}^p \left\{ \int_0^{\eta_{s0}} f(y_{s,k}) dy_{s,k} \right\}, \quad (19)$$

$$P_{F_s|H_1} = 1 - \sum_{i=1}^p P_{Ds}^{(i)} - P_{Ms}. \quad (20)$$

또한, H_0 부 윈도우에서의 오경보율은 다음과 같

이 주어진다.

$$P_{F_d|H_0} = 1 - \left[1 - \exp(-\eta_{s0}) \sum_{k=0}^{L_s-1} \frac{1}{k!} (\eta_{s0})^k \right]^{N_s} \quad (21)$$

3.3 확인 모드에서의 신호탐지 성능

확인 모드에서의 판정변수는 다음과 같이 주어진다.

$$\eta_{v,k} = \frac{1}{\hat{V}_{nv}} \sum_{l=1}^{L_s} Z_{v,l}^{(k)} \underset{H_0}{\overset{H_1}{>}} \eta_{v0} \quad (22)$$

위 식에서 v 는 확인 모드, η_{v0} 는 확인 모드에서의 판정 임계치, L_s 는 확인 모드에서의 PDI 크기를 각각 나타낸다. 또한, $Z_{v,l}^{(k)}$ 은 식(5), (7), (8)의 N 을 N_v 로 대체하여 얻을 수 있다. \hat{V}_{nv} 은 간섭 레벨 V_{nv} 의 추정치이며 $N_v \hat{V}_{nv} / N_s$ 로 주어진다. 검색 모드에서 오경보가 발생하였다고 가정할 경우, η_v 의 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어지며

$$f(x_v) = \frac{x_v^{L_s-1}}{(L_s-1)!} \exp(-x_v) \quad (23)$$

따라서 오보 확률은 아래와 같다.

$$P_{F_v} = \int_{\eta_{v0}}^{\infty} f(x_v) dx_v = \exp(-\eta_{v0}) \sum_{k=0}^{L_s-1} \frac{(\eta_{v0})^k}{k!} \quad (24)$$

또한, 확인 모드에서의 PDI 구간 동안 신호의 포락선이 일정하다고 가정할 때 i 번째 H_1 셀이 판정 임계치 η_{v0} 보다 클 확률은 다음과 같으며

$$P_{D_v}^{(i)} = \exp(-\eta_{v0}) \sum_{m=0}^{L_s-1} \frac{1}{m!} (\eta_{v0})^m \left[1 - \left(\frac{\bar{\mu}_{v,i}}{1 + \bar{\mu}_{v,i}} \right)^{m-L_s+1} \right] + \left(\frac{\bar{\mu}_{v,i}}{1 + \bar{\mu}_{v,i}} \right)^{-L_s+1} \exp\left(-\frac{\eta_{v0}}{1 + \bar{\mu}_{v,i}}\right) \quad (25)$$

이 때 $\bar{\mu}_{v,i}$ 는 아래와 같다.

$$\bar{\mu}_{v,i} = L_s N_v^2 E_{c,p} E[\alpha_i^2] R^2(\tau_i) / V_{nv} \quad (26)$$

IV. 성능 평가 및 분석

IV 장에서는 II장과 III장에서의 해석을 바탕으로 혼합 검색형 동기획득 알고리즘의 성능을 cdma2000

환경을 고려하여 분석한다. PN 시퀀스의 주기는 $2^{15}T_c$ 로 설정하였으며 여기서 T_c 는 cdma2000 시스템에서와 같이 $0.814\mu s$ 이 된다. 검색 스템은 $0.5T_c$ 로 설정하였으며 이 경우 전체 테스트 셀의 수 N_s 는 2^{16} 이 된다. 또한, 단말기의 최대 허용 주파수 편차를 $\pm 2ppm$, 중심 주파수를 2.2GHz라고 가정하여 코히어런트 적분구간을 검색 모드와 확인 모드에서 모두 $64T_c$ 로 설정한다. 즉, $N_s = N_v = 64$ 로 설정한다. 기지국으로부터 두 개의 다중경로 신호가 2 PN 칩의 시간차로 수신되며 각 신호의 상대적인 세기는 0.6, 0.4, 신호의 포락선은 레일리 분포를 갖는다고 가정한다. 성능 평가 시 H_1 셀은 타이밍 오차가 $0.5T_c$ 보다 작은 셀로 정의하며 따라서 H_1 부 윈도우 내에 4개의 H_1 셀이 존재하게 된다. 별도의 기술이 없을 경우, cdma2000 환경을 고려하여 파일럿 신호대 간섭비 $E_{c,p}/I_o$ 은 $-13dB$ 로 설정한다. 주파수 편차는 존재하지 않으며 H_1 셀들의 타이밍 오차는 모두 $0.25T_c$ 로 가정한다. 또한, penalty time은 1차 dwell-time의 1000배 즉, $K_p = 1000$ 로, 검색 모드에서의 코릴레이터의 수는 $M = 32$ 로 설정한다.

그림 5는 $L_s = 2$ 이고 $L_v = 16$ 일 때, η_{v0} 에 따른 평균 동기획득 시간 (MAT)을 나타낸 것이다. 이 경우, 확인 모드 임계치 η_{v0} 는 각각 최소 MAT에 해당하는 값으로 설정하였다. 그림에서 최소 MAT이 부 윈도우의 크기에 거의 영향을 받지 않으나 부 윈도우의 크기가 증가함에 따라 MAT이 η_{v0} 에 덜 민감함을 알 수 있다. 이러한 이유는 N_c 가 커질수록 부 윈도우의 수가 감소하게 되고 이에 따라 검색 모드에서의 오경보에 의한 영향도 감소하기 때문이다. 이 경우 동기획득 시스템은 single-dwell 시스템처럼 동작하게 되며 $\eta_{s0} \approx 0$ 으로 설정함으로써 최적의 성능을 얻을 수 있다. 반면, 부 윈도우의 크기가 작을 경

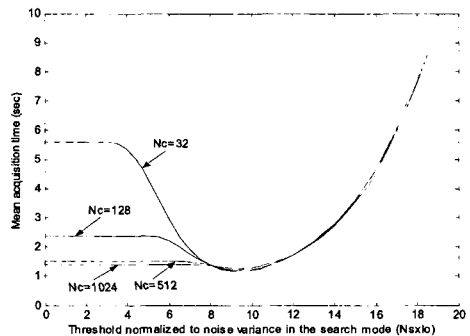


그림 5. 여러 부 윈도우 크기에 대하여 η_{v0} 에 따른 평균 동기 획득 시간

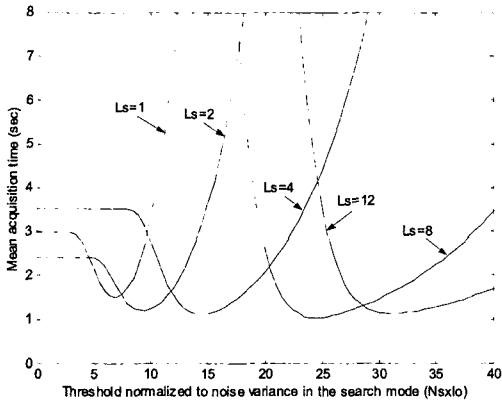


그림 6. 여러 L_s 에 대하여 η_{s0} 에 따른 평균 동기획득 시간

우선 η_{s0} 를 적절하게 설정하여야 함을 알 수 있다.

그림 6은 $L_v=16$, $N_c=128$ 일 때, η_{s0} 에 따른 동기획득 성능을 여러 L_s (검색 모드에서의 PDI 크기) 값에 대하여 나타낸 것이다. 각각의 성능곡선에 대해 η_{s0} 는 최소 MAT에 해당하는 값으로 설정하였다. 그림으로부터 최소 MAT는 L_s 에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있으며 이러한 현상은 검색 모드에서의 두 개의 중요한 파라메타 즉, 검색모드에서의 신호탐지 확률과 1차 dwell-time이 서로 효과를 상쇄하는 방향으로 작용하기 때문이다. 즉, L_s 가 증가함에 따라 신호탐지 확률이 증가하는 반면, 1차 dwell-time이 증가함으로써 동기획득 시간도 증가하기 때문이다. 일반적으로 신호대 간섭비 (signal-to-interference ratio)가 낮을수록 L_s 를 크게 설정하여야 하며 주어진 환경에서는 $L_s=2\sim 12$ 일 때 성능이 가장 우수함을 알 수 있다.

표 1은 최소 MAT에 관련된 파라메타들을 나타낸다. 표 1에서 L_s 가 증가함에 따라, η_{s0} 의 최적 값은 신호탐지 확률을 증가시키는 반면 검색 모드에서의 오경보율은 감소시킴을 알 수 있다. 표 1에서 L_s 가 8 보다 클 경우는 동기추적 시스템은 single-dwell

표 1. 최소 MAT에 관련된 파라메타

L_s	1	2	4	8	12
$(MAT)_{min}$	1.516	1.186	1.105	1.035	1.143
P_{Ds}	0.185	0.367	0.533	0.638	0.769
P_{Ft-H_0}	0.110	0.119	0.048	0.0042	0.0042
P_{Fv}	0.0054	0.0099	0.0470	0.996	1.0

시스템과 같이 동작함을 알 수 있으며 이는 L_s 가 증가함에 따라 검색모드에서의 신호탐지 성능이 향상됨으로써 확인 모드의 영향을 거의 무시할 수 있기 때문이다.

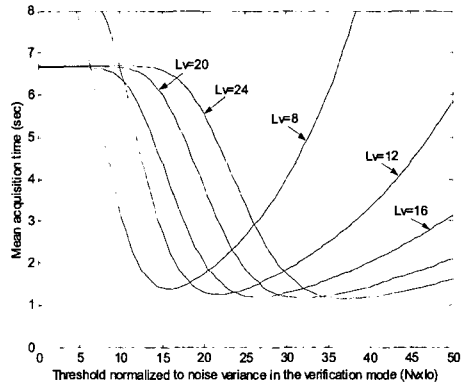


그림 7. 여러 L_v 에 대하여 η_{v0} 에 따른 평균 동기획득 시간

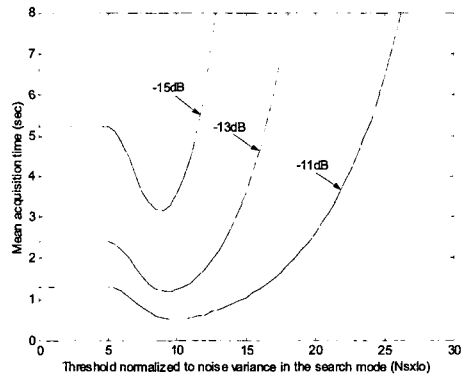


그림 8. 여러 신호대 간섭비에 대하여 η_{s0} 에 따른 평균 동기획득 시간

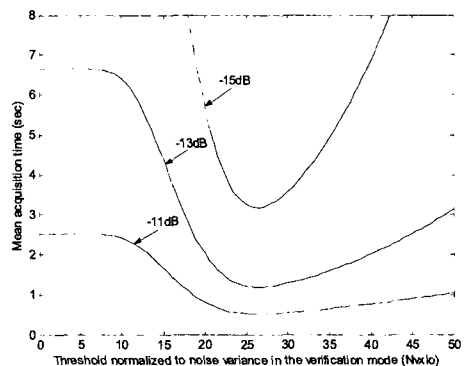


그림 9. 신호대 간섭비에 대하여 η_{v0} 에 따른 평균 동기획득 시간

그림 7은 $L_s=2$, $N_c=128$ 일 때, η_{s0} 에 따른 동기획득 성능을 여러 L_v (확인 모드에서의 PDI크기) 값에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 검색 모드에서와 마찬가지로 최소 MAT이 L_v 가 2 보다 클 경우는 L_v 에 거의 영향을 받지 않으나 L_v 가 증가할수록 MAT이 η_{s0} 에 덜 민감해짐을 알 수 있다. 따라서 L_v 를 크게 설정할수록 η_{s0} 를 결정하기가 용이해짐을 알 수 있으며 주어진 환경에서는 L_v 를 12이상 설정하는 것이 유리함을 알 수 있다.

그림 8과 9는 $L_s=2$, $L_v=16$, $N_c=128$ 일 때, η_{s0} 와 η_{v0} 에 따른 동기획득 성능을 여러 신호 대 간섭비에 대해 나타낸 것이다. 그림에서 η_{s0} 와 η_{v0} 의 최적 값이 신호대 간섭비에 따라 급격히 변하지 않음을 알 수 있으며 따라서 동기시스템의 파라메타가 설정되면 최적의 동기획득 성능을 얻기 위해 SIR에 거의 무관하게 최적 η_{s0} 와 η_{v0} 를 설정할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 동기획득 성능은 신호대 간섭비가 낮을수록 η_{s0} 와 η_{v0} 에 더욱 민감해 짐을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템의 순방향 링크를 위한 혼합 검색형 동기획득 알고리즘을 설계하고 성능을 분석하였다. 먼저, MAT을 이론적으로 유도하고 PDI 구간 동안 신호의 포락선이 일정하다는 가정하에 신호탐지 확률, 탐지실패, 오경보율을 주파수 선택성 레일라이 페이딩 환경에서 유도하였다.

성능분석 결과 혼합 검색형 알고리즘의 동기획득 성능은 부 윈도우의 크기에 거의 영향을 받지 않으며 부 윈도우의 크기가 증가함에 따라 single-dwell 시스템과 같이 동작함을 알 수 있었다. 또한, 최소 MAT이 L_s 와 L_v 에 크게 영향을 받지 않으나 L_s 와 L_v 가 커짐에 따라 MAT이 판정 임계치 η_{s0} 와 η_{v0} 에 덜 민감함을 알 수 있었다. 주어진 환경에서는 $L_s=2\sim 8$, $L_v=12\sim 24$ 일 때 가장 우수한 동기획득 성능을 나타내었다. 또한, 동기획득 시스템의 파라메타들이 설정되면 신호대 잡음비에 거의 무관하게 최적 η_{s0} 와 η_{v0} 를 결정할 수 있음을 알 수 있었다.

참고 문헌

[1] W. C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 291-302, 1991.

[2] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C. E. Wheatly, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, 1991.

[3] A. J. Viterbi, *CDMA : Principles of spread spectrum communication*, Addison Wesley, 1995.

[4] H. R. Park, "Performance analysis of a double-dwell serial search technique for cellular CDMA networks in the case of multiple pilot signals," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, no. 6, pp. 1819-1829, 1999.

[5] A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread-spectrum code acquisition - part I and II ," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, no. 5, pp. 265-283, 1984.

[6] J. K. Holmes and C. C. Chen, "Acquisition time performance of PN spread-spectrum systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 778-784, 1977.

[7] D. M. Dicarolo and C. L. Weber, "Statistical performance of single dwell serial synchronization systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 28, no. 8, pp. 1382-1388, 1980.

[8] H. R. Park and B. J. Kang, "On the performance of a maximum-likelihood code acquisition technique for preamble search in CDMA reverse link," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, no. 1, pp. 65-74, 1998.

[9] E. Sourour and S. C. Gupta, "Direct-sequence spread-spectrum parallel acquisition in frequency-nonselective and frequency-selective Rician fading channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10, no. 3, pp. 535-544, 1992.

[10] E. Sourour and S. C. Gupta, "Direct-sequence spread-spectrum parallel acquisition in a fading mobile channel," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 38, no. 7, pp. 992-998, 1990.

[11] B. B. Ibrahim and A. H. Aghvami, "Direct sequence spread spectrum matched filter acquisition in frequency-selective Rayleigh fading channels," *IEEE Jour. Sel. Areas in*

Commun., vol 12, No. 5, pp. 885-890, 1994.

[12] Y. H. Lee and S. Tantaratana, "Sequential acquisition of PN sequences for DS/SS communications: design and performance," *IEEE Jour. Sel. Areas in Commun.*, vol 10, No. 4, pp. 750-759, 1992.

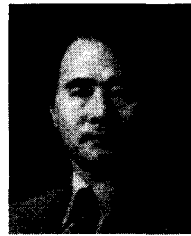
[13] W. Zhuang, "Noncoherent hybrid parallel PN code acquisition for CDMA mobile communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 4, pp. 643-656, 1996.

[14] C. J. Kim, D. D. Lee, T. W. Hwang, H. J. Lee, and H. S. Lee, "Adaptive hybrid acquisition of PN sequences for DS/SS communications," *Electr. Letters*, vol. 34, no. 10, pp. 939-940, 1998.

[15] C. J. Kim, H. J. Lee, and H. S. Lee, "Adaptive acquisition of PN sequences for DSSS communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, no. 8, pp. 993-996, 1998.

박 형 래(Hyung rae Park)

정회원

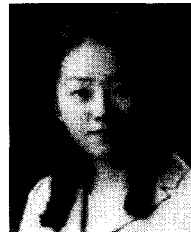


1982년 2월 한국항공대학교 전자공학과 졸업
 1985년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
 1993년 미국 Syracuse University 전기공학과 박사
 1985년~1998년 한국전자통신

연구원 책임 연구원(신호기술연구실장)
 1999년~2000년 (주)씨엔에스테크놀로지 전무이사
 2001년~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신 공학부 조교수
 <관심분야> 신호처리, CDMA 모뎀 설계, 스마트 안테나, 레이더 신호처리 등

양 연 실(Yeon sil Yang)

준회원



2002년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업
 2004년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과 석사
 2004년 2월~현재 삼성전자네트웍 사업부
 <관심분야> CDMA 동기, 신호

처리