

論文99-36S-9-2

## 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대한 수학적 모델링 및 성능분석

(Mathematical modeling and performance analysis for the  
double-dwell serial search algorithm with a search  
window)

李 聲 柱 \* , 金 在 錫 \*\*

(Seongjoo Lee and Jaeseok Kim)

### 요 약

본 논문에서는 파일럿 채널(pilot chanel)이 존재하는 직접확산 코드분할 다중접속 방식(DS-CDMA)에서 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대한 수학적 모델을 제시하였고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해 유도된 수학적 모델들은 부호 검출 함수, 오보 함수, 부호 miss 함수, 그리고 평균 동기획득 시간 등이었다. 또한 유도된 식을 IS-95 순방향 링크에 적용하여 수학적 모델에 의한 평균 동기획득 시간을 계산하였고, 이것을 기존의 동기획득 알고리즘과 비교하였다. 그리고 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대하여, 적분 시간과 탐색 창의 크기가 평균 동기획득 시간에 미치는 영향도 분석하였다. 성능 분석을 위해 사용된 채널 모델은 북미의 PCS 채널 모델인 JTC 채널로 설정하였다. 성능 분석 결과, 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식이 평균 동기획득 시간에서 기존의 동기획득 알고리즘보다 약 17% ~ 25% 정도 단축됨을 보였다.

### Abstract

In this paper, we present a mathematical modeling and perform a performance analysis of double-dwell serial search algorithm, which has a search window concept, for pilot channel in DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access). We derive a code detection function, a false alarm function, a code miss function, and a mean code acquisition time for the performance analysis. We calculate the mean code acquisition time of the mathematical model in IS-95 forward link and compare it with that of the conventional search methods. The performance of the code acquisition system is also evaluated to investigate the effect of dwell times and search window size. The JTC channel model, which is a PCS channel model in North America, is used for the analysis. The numerical result shows that the mean code acquisition time of the double-dwell serial search algorithm with a search window is reduced by about 17% ~ 25% than those of the conventional ones.

### I. 서 론

\* 學生會員, \*\* 正會員, 延世大學校 電氣·컴퓨터工學科

(Dept. of Electric & Computer Eng., Yonsei University)

※ 본 논문은 삼성전자에서 산학기초 연구과제 수행을 위하여 지원한 연구비로 수행되었음.

接受日字:1999年1月23日, 수정완료일:1999年7月23日

CDMA 방식은 간섭제거를 통해 용량을 증가시킬 수 있고, 다경로 페이딩에 강하며 가입자들이 서로 다른 PN 부호를 사용함으로써 통화 내용이 누설되지 않는 장점을 가지고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나, 시스템의 성능이 제대로

실현되기 위해서는 수신되는 PN 부호와 수신기 자체에서 발생시키는 PN 부호 사이의 동기를 맞추는 과정이 매우 중요한 문제로 떠오르게 된다.

전반적인 동기과정은 수신기의 PN 부호와 송신기로부터 수신되는 PN 부호의 위상 차를 1/2 칩이내로 만드는 동기획득 과정과 PN 부호의 1/8 칩이내로 미세 동기를 유지하는 동기추적 과정의 두 단계로 구분된다. 본 논문에서는 동기획득 과정에 중점을 두기로 한다.

동기획득 방식은 직렬 동기획득<sup>[2-6]</sup>, 병렬 동기획득<sup>[7]</sup>, 하이브리드 동기획득<sup>[8-9]</sup> 등이 있다. 직렬 동기획득은 다시 적분 구간의 형태에 따라 단일드웰 방식<sup>[2]</sup>과 다중드웰 방식<sup>[3-6]</sup>으로 구분이 된다. 단일드웰 방식은 하드웨어로 구현하기에 가장 간단한 방식이지만 동기획득 시간이 매우 긴 단점을 가지 있다. 다중드웰 방식은 가능성이 없는 부호 위상(code phase)에 대한 빠른 제거를 통해 동기획득 시간을 감소시키는 방식으로 하드웨어를 크게 증가시키지 않고 동기획득 시간을 감소시킬 수 있는 장점을 가진다. 병렬 동기획득은 작은 탐색 구간(uncertainty region)에서 고속의 동기를 실현할 수 있지만 순방향 링크에서와 같이 큰 탐색 구간에서는 다수의 상관기가 필요하게되므로 하드웨어 복잡도 등을 고려할 때 비효율적이다. 그러므로, 이동국의 부호 탐색 방식으로는 잘 고려되지 않는다. 하이브리드 동기획득은 큰 탐색 구간에서 하드웨어 복잡도와 동기획득 시간을 상호 보완하는 장점을 갖는 방식으로 직렬 동기획득과 병렬 동기획득을 결합한 형태이다.

현재까지 위의 알고리즘들 중에서 이중드웰 직렬 동기획득 방식이 이동국용 탐색기의 알고리즘으로 가장 적합한 것으로 여겨져 왔다. 그러나, 이동 통신 채널 환경은 페이딩이 심하기 때문에 단순하게 한가지 알고리즘만을 사용해서는 원하는 시간 내에 동기획득을 이루는 것이 쉽지 않다. 따라서, 성능을 향상시키기 위해 기존의 알고리즘들을 서로 결합하거나 또는 기존에 제시된 알고리즘을 보완할 필요성이 크게 증가하고 있다. 이중에서 탐색 창(search window)을 이용하는 알고리즘은 낮은 SNR의 경우에 평균 동기획득 시간을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되고 있는데<sup>[10]</sup>, 기존에 분석된 논문에서는 탐색 창을 이용한 성능 분석을 단일드웰 방식에 적용시켰기 때문에 실제적인 동기획득 알고리즘에 적용시키기에는 부족하다고 볼 수 있다. 그러므로, 본 논문에서는 이 탐색 창의 개념을 이중드웰 직렬

동기획득 방식에 적용시켰을 때의 수학적 모델을 제시하고, 유도된 수학적 모델에 대한 동기획득 성능을 IS-95<sup>[11]</sup> 순방향 링크에서 분석하고자 한다.

본 논문에서는 이동국용 탐색기의 특성을 고려하여 하드웨어 복잡도가 적은 능동 상관기를 사용하고, 동기획득 성능 중에서도 평균 동기획득 시간에 중점을 두기로 한다. 평균 동기획득 시간은 부호 검출 함수, 오보 함수, 부호 miss 함수, 그리고 탐색 전략에 따라 결정되기 때문에, 본 논문에서는 부호 검출 함수, 오보 함수, 부호 miss 함수, 그리고 탐색 전략에 따른 상태 함수를 수학적으로 유도한다. 또한, 유도된 수식을 이용하여 복미의 PCS 채널 모델인 JTC 채널<sup>[12]</sup>에서 평균 동기획득 시간을 기존의 탐색 알고리즘과 비교한다. 그리고, 탐색 창의 크기와 적분 시간이 평균 동기획득 시간에 미치는 영향을 분석하기 위해 탐색 창과 적분 시간에 따른 성능도 분석한다.

본문의 구성은 II장에서 탐색 창의 개념을 도입한 이중드웰 직렬 동기획득 시스템 모델을 설명하고, 시스템 모델을 이용하여 평균 동기획득 시간을 구한다. III장에서는 평균 동기획득 시간을 결정짓는 부호 검출 함수, 오보 함수, 부호 miss 함수, 그리고 기타 필요한 확률 등을 유도하고, IV장에서는 유도된 수식을 이용하여 계산된 결과를 제시 및 분석한다. 그리고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺도록 한다.

## II. 탐색 창을 갖는 동기획득 시스템 모델

탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식은 탐색 모드와 확인 모드의 두 가지 모드로 구분된다. 탐색 모드는 전체 탐색 영역을 탐색 창의 크기로 나눈 다음, 각 탐색 창에서 이중드웰 방식으로 탐색을 수행하게 된다. 각 탐색 창에서는 먼저 탐색 창의 첫 번째 부호 위상에서부터 짧은 기간 동안의 적분을 수행하여 상관 에너지 값을 구하고, 이것이 탐색 모드의 첫 번째 임계치를 넘으면, 충분히 긴 기간동안 다시 적분을 수행하여 상관 에너지 값을 계산 및 저장하고 다음 부호 위상으로 진행하게 된다. 그러나, 만약 첫 번째 임계치를 넘지 못하면 그 부호 위상에 대한 에너지 값은 버리고 다음 부호 위상으로 바로 진행하게 된다. 이렇게 탐색 창에 대한 탐색이 끝나면 그 탐색 창에서 최대 값을 구하여 그 값을 탐색 모드의 두 번째 임계치와 비교하

게 되고, 이 값이 탐색 모드의 두 번째 임계치를 넘게 되면 확인 모드로 넘어가게 된다. 그러나, 탐색된 창의 최대 값이 임계치를 넘지 못하면 다음 탐색 창으로 탐색을 진행하게 된다. 따라서, 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식은 탐색 창을 단일드웰 방식으로 수행하는 기존의 하이브리드 방식과 달리 탐색 창을 이중드웰 방식으로 수행한다는 것이 다르다고 볼 수 있다. 확인 모드에서는 기존의 탐색 알고리즘과 동일하게 CD(coincidence detection) 방식을 사용하여 A번의 테스트중 B번이 임계치를 넘으면 동기획득이 이루어진 것으로 판단한다. 그림 1은 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 시스템의 상태를 보여준다.

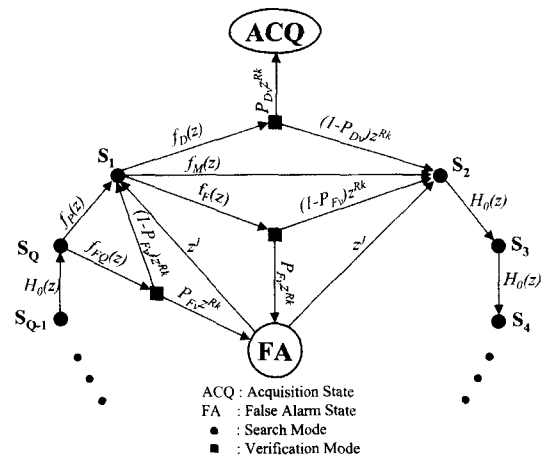


그림 1. 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 시스템의 상태도

Fig. 1. State diagram of double-dwell serial code acquisition system with a search window.

그림 1에서  $S_i(i=1,2,\dots,Q)$ 는 탐색기가 탐색을 해야 할 탐색 창들을 의미하고 여기서  $Q$ 는 탐색 창의 총 수를 의미한다.  $Q$ 는 전체 탐색 영역( $V$ )을 탐색 창의 크기( $D$ )으로 나눈 값이다.  $J$ 는 오보에 의해 추가적으로 소요되는 시간에 대한 파라미터 값이고,  $k$ 는 CD 테스트 총 회수를 의미한다.  $R$ 은 탐색 모드의 첫 번째 적분 시간과 확인 모드의 적분 시간 사이의 비를 의미한다. 본 논문에서는  $H_1$  셀을 하나로 설정하고, 이  $H_1$  셀이 탐색 창  $S_1$ 에 있는 것으로 가정한다.

$f_D(z)$ 는 탐색 모드에서  $H_1$  셀을 검출(detect)하는 경우를 나타내는 함수이고,  $f_M(z)$ 는 탐색 모드에서  $H_1$  셀을 놓치는 경우를 나타내는 함수이다.  $f_F(z)$ 는  $H_1$

셀을 포함하는 탐색 창에서 오보가 일어나는 경우를 나타내는 함수이고,  $f_{FQ}(z)$ 는  $H_0$  셀로만 구성된 탐색 창에서 오보가 일어나는 경우를,  $f_F(z)$ 는 오보가 일어나지 않는 경우를 의미하는 함수 값이다.  $P_{Dv}$ 는 확인 모드에서 부호를 검출할 확률이고,  $P_{Fv}$ 는 확인 모드에서 오보가 일어날 확률이다. 이들 값은, III장에서 유도하기로 한다.

그림 1의 상태를 보면, 탐색 모드에서 떠나는 상태 가지의 값들이 확인 모드를 떠나는 상태 가지의 값들과 달리 단순하게 확률과 시간의 곱으로 표현되지 않고, 함수 값으로 표현되고 있음을 알 수 있다. 이것은 기존의 탐색 알고리즘<sup>[5][8]</sup>과 달리 탐색 창을 갖는 이중드웰 알고리즘은 탐색 모드를 이중드웰 방식으로 탐색하므로 하나의 탐색 창을 탐색하는데 걸리는 시간이 일정하지 않기 때문이다. 그러므로, 탐색 창을 갖는 이중드웰 알고리즘의 탐색 모드는 단순하게 확률과 시간의 곱으로 표현할 수 없고, 두 번째 적분으로 진행하게 되는 모든 경우를 고려한 확률과 시간의 곱들에 대한 합으로 표현해야 한다. 그러나, 확인 모드의 경우에는 기존의 알고리즘처럼 CD 방식을 사용하였기 때문에, 확률과 시간의 곱으로 표현된다.

평균 동기획득 시간을 구하기 위해 그림 1을 간략화시키면 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

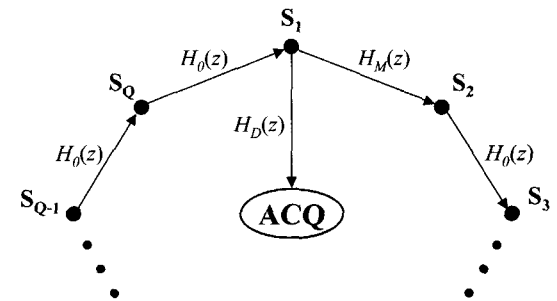


그림 2. 간략화된 상태도

Fig. 2. Simplified state diagram.

그림 1을 참조하여 그림 2의  $H_D(z)$ ,  $H_M(z)$ , 그리고  $H_0(z)$ 를 구하면,

$$H_D(z) = f_D(z) P_{Dv} z^{Rk} \tag{1}$$

$$H_M(z) = f_M(z) + f_F(z)(1 - P_{Fv})z^{Rk} + f_F(z)P_{Fv}z^{Rk} + f_D(z)(1 - P_{Dv})z^{Rk} \tag{2}$$

$$H_0(z) = f_P(z) + f_{FQ}(z)(1 - P_{Fv})z^{k_k} + f_{FQ}(z)P_{Fv}z^{k_k+1} \quad (3)$$

으로 주어진다.

그림 2에서 동기획득 상태(ACQ)로부터 시계 바늘 반대 방향으로  $i$ 번째 떨어진 탐색 창에서의 전달 함수 (transfer function)를 Mason 이득 공식<sup>[13]</sup>을 이용하여 구하면,

$$T_i(z) = \frac{H_0^i(z)H_D(z)}{1 - H_M(z)H_0^{Q-1}(z)} \quad (4)$$

로 주어지고, 모든 탐색 창에서 탐색이 시작될 확률은 동일하므로 전체  $Q$ 개의 탐색 창에 대한 평균 전달 함수는

$$T(z) = \frac{1}{Q} \sum_{i=0}^{Q-1} \frac{H_0^i(z)H_D(z)}{1 - H_M(z)H_0^{Q-1}(z)} \quad (5)$$

이다. 따라서, 탐색 창을 가지는 이중드웰 직렬 동기획득 알고리즘의 평균 동기획득 시간은

$$E(T_{ACQ}) = \left. \frac{d}{dz} \ln T(z) \right|_{z=1} \tau_D = \left[ \frac{QH_D(1) + \frac{1}{2}Q(Q-1)H_0(1)H_D(1)}{QH_D(1)} + \frac{H_M(1) + (Q-1)H_M(1)H_0(1)}{1 - H_M(1)} \right] \tau_D \quad (6)$$

와 같이 쓸 수 있다. 여기서  $\tau_D$ 는 탐색 모드의 첫 번째 적분 시간이다.

### III. 탐색 모드와 확인 모드에서의 함수 및 확률 유도

탐색 모드와 확인 모드에서 각 함수 및 확률을 구하기 위해서는  $H_0$  셀과  $H_1$  셀에 대한 확률 밀도 함수를 구해야 한다. 그런데, 본 논문에서는 기존의 알고리즘<sup>[5][8]</sup>과 같이 능동 상관기를 사용하였기 때문에 다음과 같이 기존의 알고리즘과 동일한 확률 밀도 함수를 가지게 된다.

$$f_i(\eta | H_0) = \frac{1}{(L-1)! V_{Fv}} \eta^{L-1} e^{-\frac{\eta}{V_{Fv}}} \quad (7)$$

$$f_i(\eta | H_1) = \frac{1}{(L-1)! V_{Fv}} \eta^{L-1} e^{-\frac{\eta}{V_{Fv}}} \quad (8)$$

여기서,  $i$ 는 탐색 모드에서  $i$ 번째 적분 시간을 의미하고,  $V_{Nv}$ 와  $V_{Fv}$ 는 각각  $i$ 번째 적분 시간에 따른  $H_0$ 와  $H_1$ 의 부호 위상에 대한 상관기 출력 값이다. 이 값들은 본 논문에서 사용하는 상관기의 구조가 기존의 알고리즘의 구조와 동일하기 때문에 기존 알고리즘의 값과 동일하게 구할 수 있다.  $L$ 은 도플러에 의한 성능 저하를 보상하기 위한 후치 적분(post integration)<sup>[14]</sup> 회수를 의미한다. 본 논문에서는 탐색 전략에 따른 평균 동기획득 시간의 성능을 비교하는 것이 목적이기 때문에 후치 적분을 고려하지 않고,  $L$ 을 1로 설정한다.

#### 1. 탐색 모드에서의 함수 유도

탐색 모드에서는 각 탐색 창의 탐색 시간이 일정한 것이 아니기 때문에, 기존의 알고리즘과 같이 단순하게 확률과 시간의 곱으로 상태도의 각 상태 가지에 대한 값을 구할 수가 없다. 예를 들어,  $D$ 의 크기를 갖는 탐색 창에서 이 탐색 창에 있는  $D$ 개의 모든 부호 위상이 첫 번째 임계치를 넘지 못하는 경우, 탐색 시간은 첫 번째 적분 시간을 기본 단위로 했을 때  $z^D$ 이 된다. 그러나, 만약  $D$ 개의 부호 위상 중에서  $i$ 개가 첫 번째 임계치를 넘어서 2번째 적분을 수행하게 되면, 탐색 시간은  $i \times g$ 의 시간이 늘어나서  $z^{D+ig}$ 가 된다. 여기서,  $g$ 는 두 번째 적분 시간과 첫 번째 적분 시간 사이의 비율을 의미한다.

따라서, 그림 1에서와 같이 탐색 모드에서 각 상태 가지에 대한 값은 함수로 표현해야 한다. 탐색 모드에서의 함수들을 구해보면, 먼저 부호를 검출하기 위한 부호 검출 함수  $f_D(z)$ 는  $S_1$  탐색 창에서  $H_1$  셀의 첫 번째 상관 에너지 값이 탐색 모드의 첫 번째 임계치를 넘고, 다시  $H_1$  셀의 두 번째 상관 에너지 값이 다른 나머지  $D-1$ 개  $H_0$  셀의 상관 에너지 보다 크면서 탐색 모드의 두 번째 임계치를 넘는 경우에 해당되므로,

$$f_D(z) = \sum_{i=0}^{D-1} \left[ \int_{\theta_2}^{\infty} f_2(x | H_1) P_1 \times \left( \frac{D-1}{i} \right) P(x)^i (1 - P_0)^{D-1-i} dx \right] z^{D+(i+1)g} \quad (9)$$

가 된다. 여기서,  $\theta_2$ 는 탐색 모드에서의 두 번째 임계치이고,  $P_1$ 과  $P_0$ 은 각각  $H_1$  셀과  $H_0$  셀에서 두 번째

적분으로 진입할 확률이다.  $\binom{D-1}{i}$ 는  $D-1$ 중  $i$ 개가 선택될 경우의 수이다.  $P(x)$ 는  $H_0$  셀에서 첫 번째 상관 에너지가 탐색 모드의 첫 번째 임계치를 넘고, 두 번째 상관 에너지가  $x$ 보다 작을 확률을 의미한다.  $P_i(i=0,1)$ 과  $P(x)$ 는

$$P_i = \int_{\theta_i}^{\infty} f_1(\eta | H_0) d\eta \quad (10)$$

$$P(x) = \int_0^x f_2(\eta | H_0) P_0 d\eta \quad (11)$$

이다. 식(10)에서  $\theta_1$ 은 탐색 모드의 첫 번째 임계치이다.

부호 miss 함수  $f_M(z)$ 는  $S_1$  탐색 창에 있는 1개의  $H_1$  셀과  $D-1$ 개의  $H_0$  셀 모두에서 임계치를 넘지 못하는 경우에 발생하므로, 부호 miss 함수는

$$f_M(z) = \sum_{i=0}^{D-1} \left\{ \int_0^{\theta_i} f_2(\eta | H_1) P_1 d\eta z^{\eta} + (1 - P_1) \right\} \binom{D-1}{i} P(\theta_2)^i (1 - P_0)^{D-1-i} z^{D+ig} \quad (12)$$

와 같이 표현된다.

오보가 일어나는 경우는 2가지가 있는데, 하나는  $H_1$  셀이 있는  $S_1$  탐색 창에서 발생하는 것이고, 다른 하나는  $S_1$  탐색 창이 아닌 탐색 창에서 발생하는 경우이다. 먼저  $S_1$  탐색 창에서 발생하는 오보 함수  $f_F(z)$ 는  $H_1$  셀이 아닌  $D-1$ 개의  $H_0$  셀 중에서 최대 값이 출력되고 이 값이 탐색 모드의 두 번째 임계치를 넘길 경우이므로,  $S_1$  탐색 창에서 발생하는 오보함수는

$$f_F(z) = \sum_{i=0}^{D-2} \int_{\theta_i}^{\infty} \left\{ \binom{D-1}{i} f_2(x | H_0) P_0 \times \left\{ \binom{D-2}{i} P(x)^i (1 - P_0)^{D-2-i} \right\} \right\} dx z^{D+(i+1)g} \times \left\{ \int_0^x f_2(\eta | H_1) P_1 d\eta z^{\eta} + (1 - P_1) \right\} \quad (13)$$

로 구할 수 있다. 그리고  $S_1$  탐색 창이 아닌 탐색 창에서 발생하는 오보 함수  $f_{FQ}(z)$ 는  $D$ 개의  $H_0$  셀 중에서 최소한 1개라도 탐색 모드의 두 번째 임계치를 넘길 경우에 발생하게 되므로,  $H_0$  셀로만 구성된 탐색 창에서 발생하는 오보 함수는

$$f_{FQ}(z) = \sum_{i=0}^D \left\{ \binom{D}{i} \left[ \int_{\theta_i}^{\infty} f_2(\eta | H_0) P_0 d\eta \right]^i \times \left\{ \sum_{j=0}^i \binom{D-1}{j} P(\theta_2)^j (1 - P_0)^{D-1-j} \right\} \right\} z^{D+(i+1)g} \quad (14)$$

가 된다.

$H_0$  셀로만 이루어진 탐색 창에서 오보가 일어나지 않고 다음 탐색 창으로 넘어가는 경우에 발생하는 통과 함수  $f_P(z)$ 는  $D$ 개의  $H_0$  셀에서 어느 하나도 탐색 모드의 두 번째 임계치를 넘기지 않으면 되므로, 통과 함수는

$$f_P = \sum_{i=0}^D \binom{D}{i} P(\theta_2)^i (1 - P_0)^{D-i} z^{D+ig} \quad (15)$$

로 구할 수 있다.

### 2. 확인 모드에서의 확률 유도

확인 모드에서는 탐색 모드와 달리 기존의 탐색 알고리즘과 동일하게 CD 방식을 사용하므로 확인 모드에서의 각 확률들은 기존의 탐색 알고리즘에서의 확률과 동일하게 구할 수 있다. 따라서, 확인 모드에서의 부호를 검출할 확률  $P_{Dv}$ 와 오보할 확률  $P_{Fv}$ 는 각각  $H_1$  셀과  $H_0$  셀의 상관 에너지 값이  $k$ 번의 CD 테스트중  $n$  번이 확인 모드의 임계치를 넘는 경우에 구할 수 있으므로, 식 (16), (17)과 같이 표현된다.

$$P_{Dv} = \sum_{m=n}^k \binom{k}{m} (P_D)^m (1 - P_D)^{k-m} \quad (16)$$

$$P_{Fv} = \sum_{m=n}^k \binom{k}{m} (P_F)^m (1 - P_F)^{k-m} \quad (17)$$

여기서,  $P_D$ 와  $P_F$ 는

$$P_D = \int_{\theta_1}^{\infty} f_v(\eta | H_1) d\eta \quad (18)$$

$$P_F = \int_{\theta_1}^{\infty} f_v(\eta | H_0) d\eta \quad (19)$$

이고,  $\theta_3$ 는 확인 모드에서의 임계치를 의미하고,  $f_v(\eta | H_i)$ 는 식 (7)과 (8)에서  $V_{Ni}$ 와  $V_{Fi}$ 를 확인 모드의 적분 시간으로 대체하면 구할 수 있다.

## IV. 수치 해석 결과

IS-95 순방향 링크에서 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대한 성능을 분석하기 위한 채널

환경으로 본 논문에서는 복미의 PCS 채널 모델인 JTC 채널을 선택했다. JTC 채널은 27개의 채널 모델로 구성되어있기 때문에, 모든 채널에 대해 성능 분석을 하는 것이 어려우므로 이중에서 실내 환경 모델 1개와 실외 환경 모델 1개를 선정했다. 선정된 채널 모델은 Indoor/Office/Channel A와 Outdoor-High Ant./Residential/Channel C이다.

성능 분석을 위해 사용된 기존 탐색 알고리즘<sup>[5][8]</sup>의 시스템 파라미터와 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 시스템의 파라미터는 표 1과 같이 설정되었다.

표 1. 각 탐색 알고리즘의 시스템 파라미터  
Table 1. System parameters for each search algorithm.

알고리즘		이중드웰	하이브리드	탐색 창 이중드웰	
시스템 파라미터					
탐색 영역(V)		215 = 32768 PN 칩			
탐색 간격(Δ)		1 PN 칩			
적분 시간	탐색 모드	64 PN 칩	64 PN 칩	첫 번째	64 PN 칩
	확인 모드	256 PN 칩			
CD 방식(k)		4번중 2번 이상			
탐색 창(subset) 크기(D)		없음	64 PN 칩	64 PN 칩	
오보 파라미터(J)		106			

표 2.  $E_c/I_o = -11\text{dB}$ 에서 각 탐색 알고리즘별 최적 임계치

Table 2. Optimum threshold of each search algorithm at  $E_c/I_o = -11\text{dB}$ .

	Indoor/Office /Channel A		Outdoor-High Ant./ Residential/Channel C			
이중드웰	탐색 모드	3430	탐색 모드	3200		
	확인 모드	24830	확인 모드	24030		
하이브리드	탐색 모드	3450	탐색 모드	3220		
	확인 모드	24310	확인 모드	23410		
탐색 창 이중드웰	탐색 모드	첫 번째	2500	탐색 모드	첫 번째	2240
		두 번째	8370		두 번째	8850
	확인 모드	22480	확인모드	21480		

평균 동기획득 시간을 구하기 위해서는 먼저 임계치를 설정해야 한다. 그런데, 임계치 값은 들어오는 신호의 SNR에 따라 최적의 값이 변하고 수신기는 들어오는 신호 정보를 모르기 때문에, 수신기가 동작할 수 있는 최저 SNR을 설정하여 그 때의 최적 값을 임계치 값으로 설정하게 된다. 본 논문에서는 수신기가 동작할 수 있는 최저 SNR을  $E_c/I_o = -11\text{dB}$ 로 설정하였고, 이 SNR에서 최적의 성능을 가질 수 있는 임계치를 구하였다. 표 2는 기지국에서 전송하는 칩 에너지( $E_c$ )를 1로 정규화 시켰을 때, 계산된 임계치 값을 보여준다.

그림 3은 표 2에서 산출된 임계치를 각 탐색 알고리즘의 임계치로 설정했을 때, JTC 환경에서 SNR별로 계산된 각 탐색 알고리즘의 평균 동기획득 시간을 보여준다. 그림 3에서 기존의 알고리즘을 보면, SNR이 높은 경우에는 이중드웰 방식(1번 커브)과 하이브리드 방식(2번 커브)의 성능이 거의 유사하지만, SNR이 낮은 경우에는 하이브리드 방식이 우수한 성능을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 탐색 창을 기준으로 최대 값만을 사용하여 탐색을 수행하는 하이브리드 방식에서는 오보가 발생할 수 있는 셀의 수에 상관없이 하나의 탐색 창에서 일어나는 오보의 회수가 1번으로 고

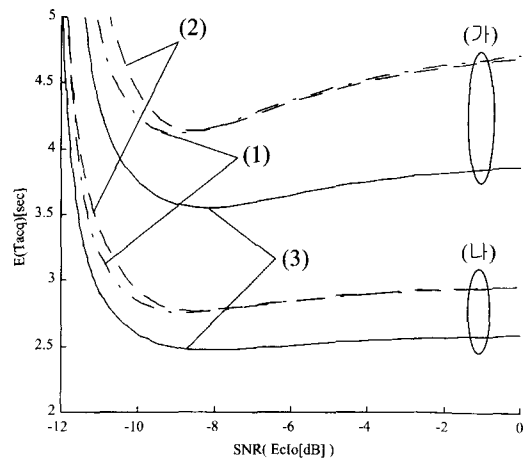


그림 3. JTC 채널에서 각 탐색 알고리즘별 평균 동기획득 시간

(1) 이중드웰 직렬 동기

(2) 하이브리드 동기

(3) 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기

(가) Outdoor-High Ant./Residential/Channel C

(나) Indoor/Office/Channel A

Fig. 3. Mean code acquisition time of each search algorithm in JTC channel.

정되므로(최대 값만 고려하므로), SNR이 낮아 오보가 빈번히 발생하는 경우 이중드웰보다 오보의 회수가 줄어들게 되기 때문이다<sup>10)</sup>.

탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬동기 획득 방식(3번 커브)은 이중드웰과 하이브리드의 장점을 모두 사용하기 때문에 그림 3에서 보여 주듯이 실내(가 채널모델)와 실외 환경(나 채널모델) 모두에서 다른 기존의 탐색 알고리즘보다 전 SNR에서 약 0.5초 내지 1초 정도 평균 동기획득 시간이 감소한 것을 알 수 있다.

이것은 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬동기 획득 방식이 탐색 모드에 2가지 적분 시간(64와 256 PN 칩)을 가짐으로써 1가지의 적분 시간만을 가지는 기존의 알고리즘에서 생길 수 있는 오보나 miss의 확률을 감소시켰기 때문이다. 그러나, 매우 낮은 SNR에서는( $E_c/I_0 < -12\text{dB}$ ) 오보나 miss가 일어날 확률이 매우 커지므로 탐색 모드의 전략에 대한 차이보다는 확인 모드의 전략이 성능을 결정짓게 되어 성능에 별다른 차이를 보이지 못하게 된다.

그림 4는 탐색 창을 갖는 이중드웰 알고리즘에서 탐색 모드의 첫 번째 적분 시간을 64 PN 칩으로, 확인 모드의 적분 시간을 256 PN 칩으로 고정시켰을 때, 탐색 모드의 첫 번째 적분 시간과 두 번째 적분 시간의 비에 따른 평균 동기획득 시간을 보여준다. 그림 4에서

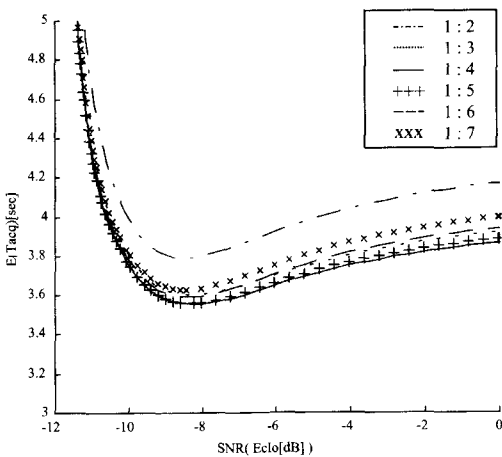


그림 4. 탐색 모드의 적분 시간 비(첫 번째 적분시간 : 두 번째 적분시간)에 따른 평균 동기획득 시간  
Fig. 4. Mean code acquisition time respect to ratio of dwell times(first dwell time : second dwell time) in the search mode.

알 수 있듯이, 1:2를 제외하고는 성능 차이가 크게 나타나지 않는다. 따라서, 두 번째 적분 시간은 확인 모드의 적분 시간과 비슷하게 설정하면 성능에 크게 민감하지 않을 것으로 판단된다.

그림 5는 탐색 창 크기의 크기가 평균 동기획득 시간에 미치는 영향을 보여준다. 그림 5에서 알 수 있듯이, 탐색 창 크기에 따른 평균 동기획득 시간의 차가 0.1초 이하이기 때문에 탐색 창 크기는 평균 동기획득 시간에 그다지 큰 영향을 주지 않는다.

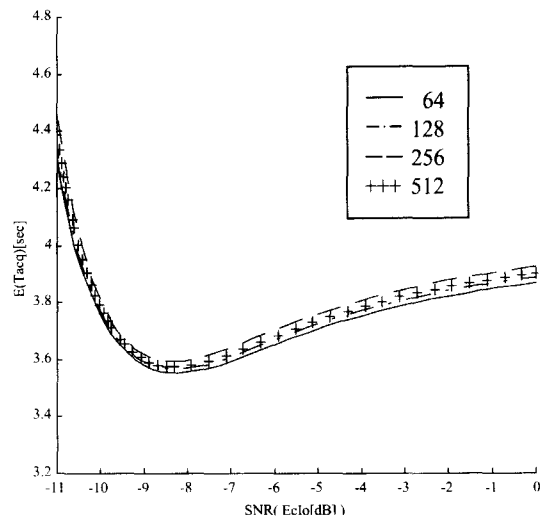


그림 5. 탐색 창 크기의 크기에 따른 평균 동기획득 시간  
Fig. 5. Mean code acquisition time with respect to search window size(D).

### V. 결론

본 논문에서는 파일럿 채널이 존재하는 직렬확산 코드분할 다중접속 방식에서 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식에 대한 수학적 모델링은 제시하였고, 유도된 수학적 모델링에 대한 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해 부호 검출 함수, 오보 함수, 부호 miss 함수, 그리고 평균 동기 획득 시간을 수학적으로 유도하였고, 유도된 식을 IS-95 순방향 링크에 적용하여 평균 동기획득 시간을 계산하였다. 또한, 적분 시간과 탐색 창 크기가 평균 동기획득 시간에 미치는 영향도 분석하였다. 성능 분석을 위한 채널 모델은 북미의 PCS 채널 모델인 JTC 채널을 이용하였다. 수치 해석 결과에서 알 수 있듯이, 탐색 창을 갖는 이중드웰

직렬 동기획득 방식은 평균 동기획득 시간을 기존의 동기획득 알고리즘보다 약 17%~25% 정도 감소시켰다. 그러나, 탐색 창을 갖는 이중드웰 직렬 동기획득 방식은 탐색 모드에서 2가지의 적분 시간을 가져야하기 때문에 적분 시간을 제어할 수 있는 제어 블록이 추가적으로 요구된다.

### 참 고 문 헌

- [1] K. S. Gilhousen, et al., "On the capacity of a cellular CDMA system", *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. VT-40, no. 2, pp.303-312, May 1991.
- [2] David M. Dicarolo and Charles L. Weber, "Statistical performance of single dwell serial synchronization systems", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, pp1382-1388, August 1980.
- [3] David M. Dicarolo and Charles L. Weber, "Multiple Dwell Serial Search : Performance and Application to Direct Sequence Code Acquisition", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-31, no. 5, pp650-659, May 1983.
- [4] Andreas Polydors and Charles L. Weber, "A Unified Approach to Serial Search Spread-Spectrum Code Acquisition - Part I : General Theory", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no.5, pp542-549, May 1984.
- [5] Seongjoo Lee and Jaeseok Kim, "Optimum threshold for double-dwell DS-SS code acquisition system in PCS channel model", *IEE Electronics Letters*, vol. 34, no. 7, pp634-635, April 1998.
- [6] Seongjoo Lee, Sangyun Hwang, and Jaeseok Kim, "VLSI architecture of CDMA rake receiver with low hardware complexity for PCS", in *Proc. of ICCE'98*, pp160-161, June 1998.
- [7] Essam Sourour and Someshwar C. Gupta, "Direct-Sequence Spread-Spectrum Parallel Acquisition in Nonselective and Frequency-Selective Rician Fading Channels", *IEEE J. Selected Areas Commun.*, vol. 10, pp535-544, April 1992.
- [8] Bub-Joo Kang, Hyung-Rae Park, and Youngnam Han, "Hybrid acquisition in DS/ CDMA forward link", in *Proc. of VTC'97*, vol. 3-B, pp.2123-2127, 1997.
- [9] Weihua Zhuang, "An improved hybrid PN code acquisition for CDMA personal wireless communications", in *Proc. of PIMRC'95*, pp995-999, May 1995.
- [10] G. Jo, S. Chang, H. Kweon, and S. Kim, "Performance evaluation of pilot channel acquisition system in CDMA forward link", in *Proc. of VTC'98*, pp. 1244-1248, 1998.
- [11] TIA/EIA, "IS-95 : mobile station-base station compatibility for dual-mode wideband spread spectrum cellular system", July 1993.
- [12] Deployment/Testing AD HOC Group, "Technical Report on RF Channel Characterization and System Deployment Modeling", JTC(AIR) /94.09.23-065R6, 1994.
- [13] Benjamin C. Kuo, "Automatic control systems", *Prentice Hall*, 1991.
- [14] Andrew J. Viterbi, "Principles of Spread Spectrum Communication", *Addison-Wesley Pub. Company*, 1995.



저 자 소 개

李 賢 柱(學生會員)

1970년 2월 13일생. 1993년 2월 :  
연세대학교 공과대학 전자공학과 학  
사. 1998년 8월 : 연세대학교 공과대  
학 전자공학과 석사. 1998년 8월 ~  
현재 : 연세대학교 공과대학 전기·  
컴퓨터공학과 박사과정. 주관심분야

: 이동통신 시스템용 Modem ASIC 설계

金 在 錫(正會員) 第36卷 C編 第1號 參照