

레이리 페이딩 채널에서 WCDMA의 단계별 병렬 처리 셀 탐색의 성능 해석

종신회원 송 문 규*

Performance Analysis of Stepwise Parallel Processing for Cell Search in WCDMA over Rayleigh Fading Channels

Moon Kyou Song* *Lifetime Member*

요 약

셀간 비동기 방식의 WCDMA 시스템에서 셀간 동기를 맞추는 일은 매우 중요하며, 3 단계 셀탐색 과정에 의해 수행된다. 셀 탐색은 셀 탐색 시간을 줄이기 위해 각 단계가 파이프라인으로 동작하는 단계별 병렬 처리 방식으로 동작할 수 있다. 각 단계에서 실행 시간을 동일하게 설정할 경우 2단계는 최소한 1프레임의 처리시간을 소요하므로 1단계와 3단계에서 과도한 누적이 야기된다. 일반적으로 누적의 횟수가 증가할수록 사후적분 검파의 잇점은 감소한다. 따라서 단계별 병렬 처리로 인한 성능 개선은 그다지 크지 않다. 본 논문에서는 레이리 페이딩 채널에서 WCDMA 시스템에 대한 셀 탐색의 단계별 병렬 처리의 성능을 해석한다. 본 해석을 통해 각 단계에서 사후 검파적분의 횟수와 채널간 전력 할당비 등 셀 탐색 파라미터에 대한 영향을 조사한다. 또한 각 단계의 처리 시간을 적절히 조절함으로써 단계별 병렬 처리 셀 탐색의 성능을 개선하고, 관례적인 단계별 직렬 처리 방식과 성능을 비교한다.

ABSTRACT

It is very important to acquire the synchronization in a intercell asynchronous WCDMA system, and it is carried out through the three-step cell search process. The cell search can operate in a stepwise parallel manner, where each step works in pipelined operation, to reduce the cell search time. In case that the execution time is set to be the same in each step, excessive accumulations will be caused in both step 1 and step 3, because step 2 should take at least one frame for its processing. In general, the effect of post-detection integration becomes saturated as the number of the accumulations increases. Therefore, the stepwise parallel scheme does not give much enhancement. In this paper, the performance of the stepwise parallel processing for cell search in WCDMA system is analyzed over Rayleigh fading channels. Through the analysis, the effect of cell search parameters such as the number of accumulations in each step and the power ratio allocated among channels is investigated. In addition, the performance of the stepwise parallel cell search is improved by adjusting the execution time appropriately for each step and is compared with that of the conventional stepwise serial processing.

1. 서 론

3세대 이동통신 시스템은 현재 세계 여러 국가에서 개발 중이다. 3세대 이동 통신 시스템은 2세대

이동통신 시스템보다 개선된 서비스 질과 증가한 용량을 가지고 고속의 데이터 전송을 제공한다. 개발 중인 3세대 이동 통신 시스템은 북미 지역을 기반으로 3GPP2에서 개발 중인 IS-2000방식과 일본 및

* 원광대학교 전기전자및정보공학부 무선통신연구실 (mksong@wonkwang.ac.kr)

논문번호 : 010277-1011, 접수일자 : 2001년 10월 11일

※ 이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-1999-00309)와 2001년도 원광대학교 교비의 일부지원에 의해서 연구됨.

유럽을 중심으로 3GPP에서 개발 중인 WCDMA는 모두 DS-SS-SSS 기술을 근거하고 있다. IS-2000은 IS-95를 기반으로 진화된 기지국 시간을 공통의 절대 시간 기준에 맞추어 정렬함으로써 이동국으로 하여금 시스템 시간 획득 및 핸드오프를 수월하게 한다. 반면에 모든 기지국이 기준 시간을 GPS와 같은 별도의 시스템으로부터 제공받아야 하므로 다양한 형태의 기지국 설치가 어렵다는 단점을 갖고 있다. 기지국 비동기식 WCDMA 시스템은 모든 기지국의 프레임 시간이 독립적으로 시스템 기준 시간이 필요하지 않기 때문에 실내의 소형 셀 등 다양한 형태의 기지국 설치가 용이한 반면, 이동국이 초기 셀 탐색을 하기 위해 많은 시간을 필요로 한다^[1].

CDMA 시스템에서 셀 탐색이란 코드를 획득하고 순방향 스크램블링 코드에 시간 동기를 맞추는 이동국의 동작을 말한다. WCDMA에서는 고속의 셀 탐색을 위해 3단계 셀 탐색 방법^[2]을 사용하며, 스크램블링 코드에 대한 그룹화 및 CP(cyclically permutable) 코드^[3] 개념을 사용한다. 즉, 그룹 코드를 전송함으로써 이동국이 시스템의 전체 스크램블링 코드를 탐색하는 것을 피한다. 또한 그룹 식별을 위해서 CP 코드를 사용함으로써 코드의 그룹뿐만 아니라 프레임 동기도 동시에 결정할 수 있다.

3 단계 셀 탐색에서 각 단계는 순차적으로 처리될 수도 있고^[1,4], 파이프라인으로 동작할 수도 있다^[5,6]. 본 논문에서는 전자를 단계별 직렬 처리(stepwise serial processing; SSP) 방식, 후자를 단계별 병렬 처리(stepwise parallel processing; SPP) 방식이라 하기로 한다. 전통적으로 WCDMA 시스템을 위한 셀 탐색은 SSP 방식으로 처리되어 왔으며, 문헌 [1][2][3]에서 이러한 시스템의 제안과 시뮬레이션이 이루어져 왔으며, SSP 방식의 성능 해석은 문헌 [4]에서 이루어진 바 있다. 각 단계의 파이프라인 동작에 의한 SPP 방식은 문헌 [5]와 [6]에서 고려된 바 있다.

특히 문헌 [6]에서는 SPP 방식에서 모든 단계의 실행 시간을 동일하게 설정하고, 문헌 [1]과 같은 파라미터로 설정한 SSP 방식과 성능을 시뮬레이션에 의해 비교하였다. 시뮬레이션을 통하여 셀 탐색의 성능을 조사하기 위해서는 엄청난 시간이 소요되고, 파라미터의 최적 값 근처에서는 파라미터에 의한 성능의 변화가 미세하므로 시뮬레이션을 통해 셀 탐색 성능을 비교하는 것은 현실적인 어려움이 따르며, 실제적으로 오직 단편적인 비교만이 가능할 뿐이다. 특히 문헌 [6]에서 비교 대상으로 한 SSP

방식의 경우 각 단계의 실행 시간 등에 대한 섬세한 고찰없이 단지 문헌 [1]과 동일한 파라미터를 채택함으로써 두 방식에 대한 엄밀한 비교가 이루어졌다고 보기 힘들다.

SPP 방식은 셀 탐색의 각 단계가 항상 병렬적 동작해야 하므로 SSP 방식에 비해 소모 전력의 측면에서 단점을 가진다. 따라서 SSP 방식의 성능이 소모 전력의 댓가를 상회할 수 있는지 파악하기 위해 두 방식간의 엄밀한 성능 비교는 매우 중요하다.

셀 탐색은 사후 검파 적분의 수와 같은 수신기의 설계 파라미터와 채널 전력 할당과 같은 시스템 파라미터에 대해서 상당한 영향을 받기 때문에 여러 파라미터에 대한 성능을 해석하는 것은 개선된 셀 탐색 성능을 가지는 수신기를 설계하는데 도움이 된다. 문헌 [4]에서 SSP 방식에 대한 성능 해석이 주어진 바 있으나, 아직 SPP 방식의 셀 탐색에 대한 성능이 해석적으로 다루어진 바는 없다. 본 논문에서는 Rayleigh 페이딩 채널에서 문헌 [4]에서 유도된 확률 표현식을 이용하여 SPP 방식의 셀 탐색 성능을 해석한다. 또한 이 해석 결과를 이용하여 셀 탐색 파라미터를 여러가지 값으로 변화시켜 가면서 성능을 분석하고, SSP 방식의 성능 해석의 결과와 비교한다. 이러한 해석을 바탕으로 각 파라미터의 조절을 통해 SSP 방식과 SPP 방식의 셀 탐색 성능 개선을 시도한다.

II. 단계별 병렬 처리 셀 탐색

셀 탐색 과정에서 이동국은 최상의 셀을 선택하여 그 셀의 순방향 링크 스크램블링 코드와 프레임 동기를 결정한다. WCDMA에서 셀 탐색은 그림 1에 보인 것처럼 슬롯 동기, 코드의 그룹 식별 및 프레임 동기, 그리고 스크램블링 코드의 식별 등의 3 단계로 이루어진다^[2].

셀 탐색의 첫 번째 단계에서 이동국은 P-SCH(primary synchronization channel)의 PSC(primary synchronization code)를 사용하여 가장 큰 전력으로 수신된 셀에 대해 슬롯 동기를 획득한다. 두 번째 단계에서 이동국은 S-SCH(secondary synchronization channel) 시퀀스를 사용하여 첫 번째 단계에서 찾은 셀에 대한 스크램블링 코드의 그룹과 프레임 동기를 구한다. S-SCH 시퀀스로 사용되는 CP 코드는 순회 전이가 고유한 성질을 가지므로 프레임 동기화 코드와 코드의 그룹을 동시에 결정할 수 있다. 세 번째 단계에서 이동국은 시스템의 각 셀에

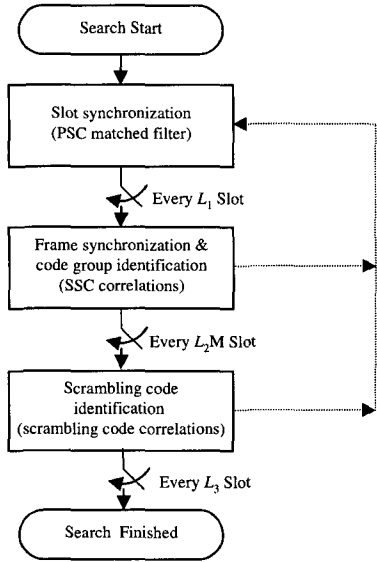


그림 1. 3단계 셀 탐색 과정

유일하게 할당된 스크램블링 코드를 결정한다. 스크램블링 코드는 두 번째 단계에서 구한 부호 그룹에 속한 모든 스크램블링 부호들과 P-CPICH (primary common pilot channel)^[7]의 심볼간 상관을 통해서 확인된다. 스크램블링 코드가 확인되면 P-CCPCH (primary common control physical channel)^[7]를 검파할 수 있고 셀 탐색이 완성된다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 각 단계에서 실패(miss)가 발생할 경우의 경로에 해당한다. ML(maximum likelihood) 판정에서 임계치를 0으로 하면 실패(miss) 확률이 0이 되어 이 경로는 사라진다^[4].

셀 탐색 과정에서 단계 1, 단계 2, 단계 3의 실행 시간을 각각 N_1 , N_2 , N_3 라 하면, $N_1=L_1$ 슬롯 시간, $N_2=L_2M$ 슬롯 시간, $N_3=L_3$ 슬롯 시간의 관계가 성립한다. 여기서 L_i 는 i 번째 단계의 사후검파적분의 횟수이고, $M=15$ 은 프레임당 슬롯의 수로서 S-SCH 시퀀스의 길이와 같다.

3 단계 셀 탐색은 각 단계의 처리 방식에 따라서 단계별 직렬 처리 (SSP)와 단계별 병렬 처리 (SPP) 방식으로 수행될 수 있다.

그림 2에 보인 SSP 방식에서는 각 단계에서 셀 탐색 실패했을 경우 모두 1단계부터 다시 셀 탐색을 시작하게 된다. 물론 각 단계의 실패(miss) 확률을 0으로 설정한 경우에는 각 단계의 판정에서 실패(miss)가 발생하지 않으며, 이 경우 최종 단계에서 오경보(false alarm)가 발생하는 경우 오경보 벌

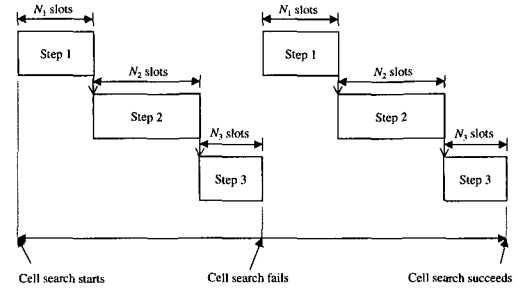


그림 2. 단계별 직렬 처리(SSP) 과정

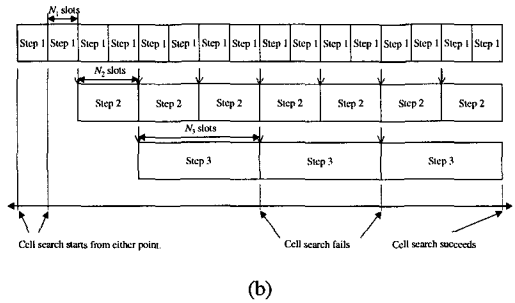
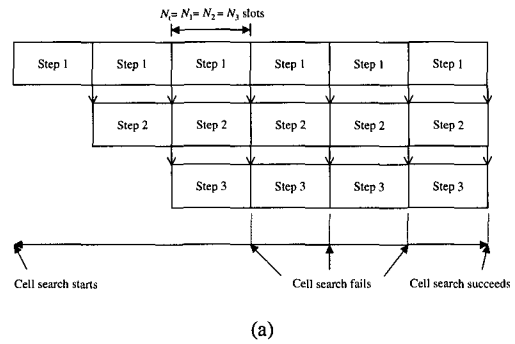


그림 3. 단계별 병렬 처리(SPP) 과정

칙(false alarm penalty) 시간이 경과한 후 다시 처음으로 돌아가서 단계 1부터 셀 탐색 과정을 재시작하게 된다. 그림 3에 보인 SPP 방식에서는 각 단계가 항상 병렬적으로 동작하므로 각 단계의 시험 절차가 종료된 시점에서 항상 새로운 가설(hypothesis)에 근거한 판정 결과가 유효할 경우 각 단계의 시험 결과로서 실패 또는 오경보가 발생한다면 오직 실패 또는 오경보된 현 단계만을 반복하면 된다. 이상을 만족하기 위해서는 뒷 단계의 실행 시간이 앞 단계의 실행시간보다 같거나 커야 한다. 즉, $N_1 \leq N_2 \leq N_3$ 가 만족되어야 한다. 그림 3(a)는 $N_1=N_2=N_3$ 의 경우를 보인 것이며, 그림 3(b)는 $N_1 < N_2 < N_3$ 의 경우를 보인 것이다.

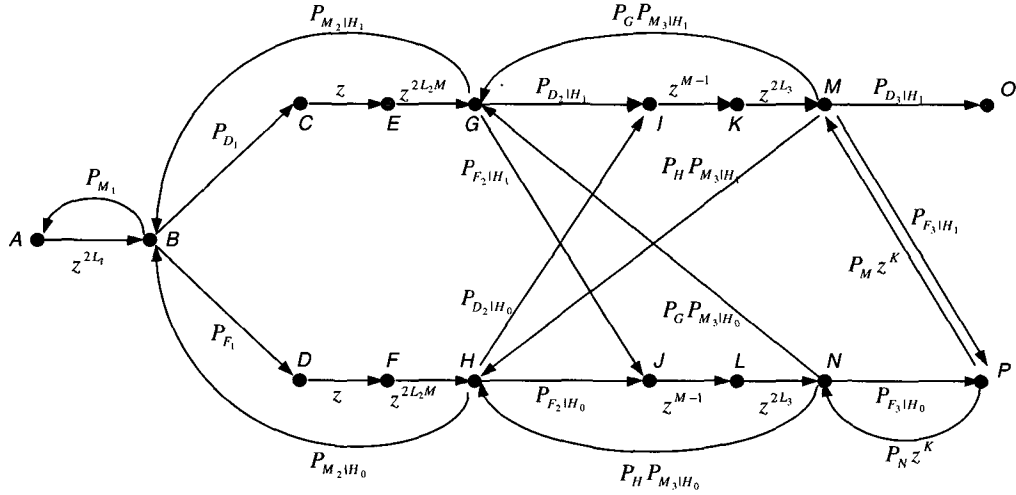


그림 4. 단계별 병렬 처리 셀 탐색의 신호 흐름도

III. 셀 탐색 성능 해석

이 절에서는 단일경로 레일리 페이딩 채널에서 셀 탐색의 성능을 해석한다. 셀 탐색 과정은 일련의 확산 코드에 대한 획득과정이다. 레일리 페이딩의 진폭과 위상은 각 단계의 적분 구간동안 일정할 정도로 느리지만, 연속적인 적분은 서로 독립적인 정도로 빠르다고 가정하면, 셀 탐색 획득 과정은 Markovian이므로 획득 성능을 결정하기 위해 흐름도 모델이 사용될 수 있다^{[8][9]}. 그림 4는 SPP 방식의 셀 탐색 과정에 대한 신호 흐름도를 보인 것이다. 신호흐름도에서 각 경로에는 해당 경로의 발생 확률과 소요 시간이 표시되어 있다.

위 신호 흐름도에서 변수 z 의 지수는 $T_{slot}/2$ 의 시간 단위를 가지며, 처리에 소요된 시간을 의미한다. K 는 오경보 벌칙시간을 나타낸다. H_1 는 시험 출력에서 옳은 신호가 존재할 가설이며, H_0 는 H_1 와 반대되는 가설이다. 따라서 H_1 는 첫 번째 단계에서 수신된 신호가 한 칩 이내로 정렬되었을 경우이며, 나머지 단계에서는 이전 단계가 성공적으로 수행되었을 경우에 해당한다. 즉, 2단계에서 H_1 는 1단계에서 옳은 슬롯 동기가 얻어졌을 경우이며, 3단계에서 H_1 는 2단계에서 옳은 부호 그룹이 찾아졌을 경우에 해당한다. 셀 탐색의 각 단계는 ML 판정을 수행하며, P_D , P_M , P_F 는 각각 단계 i ($i=1, 2, 3$)에서의 검파, 실패, 오경보 확률로서 다음과 같이 정의된다^[10].

- P_D = 옳은 셀의 가설 시험 출력 중 하나가 가장 크고 임계값을 초과할 확률
- P_M = 임계값을 초과하는 가설 시험 출력이 존재하지 않을 확률
- P_F = 옳지 않은 셀의 가설 시험 출력 중 하나가 가장 크고 임계값을 초과할 확률

$P_{D_i|H_i}$, $P_{M_i|H_i}$, $P_{F_i|H_i}$ 은 i 번째 단계에서 H_j ($j=0,1$) 가설에 대한 조건부 검파 확률, 실패 확률, 오경보 확률들을 나타낸다. 이들 확률에 대한 closed form의 표현식은 문헌 [4]에서 유도된 바 있다.

이제 그림 4에 보인 신호흐름도를 고찰한다. 전체 셀 탐색 과정은 총 3 단계로 구성되며, 각 단계는 시작점, 판정점, 종료점으로 구성된다. 시작점부터 판정점 사이에는 상관 및 사후적분이 이루어지며, 판정점에서는 상관 결과를 가지고 ML 판정을 수행한다. 판정 결과에 따라서 옳은 동기가 검출된 경우와 잘못된 동기가 검출된 오경보의 경우에는 다음 단계로 진행될 것이며, 동기 검출에 실패하면, 이전 단계를 반복하게 될 것이다. 이후 설명의 편의를 위해 그림에서 점 A에서 점 B까지의 경로를 A→B와 같이 표시하기로 한다.

셀 탐색 과정의 단계 1에서 슬롯 동기는 모든 셀에 공통적인 PSC에 정합된 정합 필터나 이와 유사한 장치에 의해 얻어진다. PSC는 매 슬롯마다 한번씩 반복되므로, 슬롯 동기를 찾기 위해 L_1 회의 사후 검파 적분을 수행할 경우 단계 1에서 총 L_1 슬롯이 소요되며, 그림에서 단계 1의 시작점 A에서

단계 1의 판정점 B 사이의 A→B에 해당한다. 한 슬롯내 샘플의 수를 q_1 이라 하면, 적분을 마친 후 단계 1의 판정점 B에서는 q_1 개의 상관 출력 중 최고 값을 검출하여 임계값 θ_1 과 비교함으로써 ML 슬롯 동기를 얻는다. 판정 결과 성공적으로 검파(detection)되거나 오경보(false alarm)되면 단계 2로 전이(B→C 또는 B→D)되고, 판정이 실패(miss)이면 단계 1로 돌아가서 셀 탐색 과정을 재시작하게 된다(B→A). 단계 1에서 옳게 검출되거나 오경보된 슬롯 동기점이 단계 2의 시작점 E 또는 F이 된다. 특별한 사전 정보가 없을 경우 단계 1에서 모든 q_1 개 출력이 적중(hit)될 확률은 모두 동일하므로 단계 1의 종료점 C 또는 D에서 단계 2의 시작점 E 또는 F로 전이(C→E 또는 D→F)하는데 소요되는 평균 시간은 $T_{slot}/2$ 가 된다.

옳은 슬롯 동기가 검파된 경우 단계 2의 시작점 E는 H_1 셀이 되며, 오경보된 슬롯 동기의 경우 단계 2의 시작점 F는 H_0 셀에 해당된다. 단계 2에서 이동국은 수신한 신호를 모든 17개의 가능한 SSC와 병렬로 상관을 취한다. M 개의 SSC로 구성되는 S-SCH 시퀀스에 대해 L_2 회의 사후 검파 적분을 수행할 경우 이 과정은 L_2M 회 반복된다. S-SCH 시퀀스의 길이 $M=15$ 은 프레임 당 슬롯의 수와 같고 매 슬롯마다 하나의 SSC가 전송되므로, 단계 2의 상관(E→G 또는 F→H)을 위해 총 L_2M 슬롯이 소요된다. 결국 단계 2에서 부호 그룹의 확인과 프레임의 동기는 상관을 마친 후 판정점 G 또는 H에서 S-SCH 시퀀스의 ML 판정을 통해 결정하게 된다. 단계 1에서 옳은 슬롯 동기가 구해진 경우를 고찰하면, 단계 2의 판정점 G에서 송신된 S-SCH 시퀀스가 성공적으로 검파되거나 오경보되면 셀 탐색은 단계 3으로 전이된다(G→I 또는 G→J). 단계 1에서 잘못된 슬롯 동기가 결정된 오경보된 경우에도 여전히 S-SCH를 결정하는 과정을 수행한다. 그 결과 판정점 H에서 P_{D,H_0} 의 확률로 옳은 S-SCH가 선정되거나 P_{F,H_0} 의 확률로 옳지 않은 S-SCH가 선정되면 단계 3으로 전이하게 된다(H→I 또는 H→J). SPP 셀 탐색에서는 각 단계의 파이프라인 동작에 의해 2단계가 실행하는 동안 1단계도 동시에 병렬적으로 실행되므로 단계 2의 판정이 이루어지는 시점에서 이미 단계 1의 새로운 결과가 유효하다. 따라서 단계 2의 판정점 G 또는 H에서 판정 결과가 실패하면 처음으로 돌아가서 단계 1을 반복할

필요가 없으며, 단지 단계 1의 종료점 B로 돌아가서 이미 유효한 단계 1의 새로운 판정 결과를 이용할 수 있다(G→B 또는 H→B). 단계 2에서 옳은 S-SCH 시퀀스가 검출되면, 정확한 스크램블링 부호 그룹과 프레임 동기를 얻을 수 있으며, 옳지 않은 시퀀스가 오경보되면, 옳지않은 스크램블링 부호 그룹과 프레임동기가 얻어진다. 단계 2에서 옳게 검출되거나 오경보된 S-SCH 시퀀스에 의해 얻어진 프레임 동기점이 단계 3의 시작점 K 또는 L이 된다. 따라서 단계 3을 시작하기 위해 단계 2의 종료점 I 또는 J에서 단계 3의 시작점 K 또는 L까지 기다릴 필요가 있으며, 이 구간 I→K 또는 J→L에는 $0 \sim (M-1)$ 배의 슬롯 시간 범위의 지연이 소요될 수 있다. 각 슬롯이 프레임의 시작 슬롯일 확률은 동일하므로 3단계로의 평균 전이 시간은 $(M-1)T_{slot}/2$ 가 된다.

셀 탐색 과정의 단계 3 (K→M 또는 L→N)에서는 전형적으로 단계 2에서 식별된 부호 그룹 내의 모든 $C_3=8$ 개의 스크램블링 코드와 P-CCPCH 간에 심볼간 상관을 취하고, 최대 상관값을 L_3 회 사후 검파 적분한 후 임계값 θ_3 과 비교하여 그 결과로 스크램블링 코드를 식별한다. 이 과정에는 L_3 슬롯 시간이 소요된다. 새로운 단계 3의 판정점도 단계 2에서 정확한 결과가 얻어졌을 경우에 해당하는 점 M과 이전 단계에서 옳지 않은 결과가 얻어졌을 경우에 해당하는 점 N의 두 가지 경우가 존재함을 유의할 필요가 있다. 단계 3의 판정점 M에서 판정 결과가 제대로 검파되면 셀 탐색을 성공적으로 마치게 된다(M→O). 그러나 단계 2에서 오경보가 발생한 경우에는 스크램블링 부호 그룹 자체가 잘못 선택되므로 단계 3의 판정점 N에서 제대로된 스크램블링 부호가 선정될 가능성은 전혀 없다. 이것이 그림에서 경로 N→O이 존재하지 않는 이유이다. 단계 3의 판정점 M 또는 N에서 잘못된 스크램블링 부호가 선택되는 오경보가 발생(M→P 또는 N→P)하면 오류벌칙 시간이 경과된 후 역시 새로운 단계 3의 결과를 이용하기 위해 단계 3의 2가지 종료점(점 M 또는 N) 중 하나로 가게 된다(P→M 또는 P→N). 단계 3의 판정점 M 또는 N에서 판정 결과가 실패인 경우에는 역시 파이프라인 동작에 의해 이미 유효한 새로운 단계 2의 판정 결과를 이용하기 위해 단계 2의 판정점 G 또는 H 중 한 가지 상태로 돌아간다(M→G, M→H, N→G 또는 N→H).

이미 언급한 바와 같이 단계 2의 실행이 끝난 판정점은 단계 1에서 정확한 슬롯 동기가 결정된 경우(점 G)와 옳지 않은 슬롯 동기가 결정된 경우(점 H)의 두 가지가 있다. 각 점으로 돌아갈 확률을 각각 P_G 와 P_H 라 하면, P_G 는 셀 탐색 초기 점 A부터 G까지의 전달 확률과 같고, P_H 는 점 A부터 점 H까지의 전달 확률로서

$$P_G = \frac{P_{D_1}}{1 - P_{M_1} - P_{D_1}P_{M_3|H_1} - P_{F_1}P_{M_3|H_0}} \quad (1)$$

$$P_H = \frac{P_{F_1}}{1 - P_{M_1} - P_{D_1}P_{M_3|H_1} - P_{F_1}P_{M_3|H_0}} \quad (2)$$

과 같다.

한편 단계 3에서 오경보된 스크램블링 코드가 검출되었을 경우(점 P)에도 오경보 벌칙 시간을 경과한 후 새로운 스크램블링 코드 획득이 끝난 단계 3의 판정점으로 돌아간다. 이미 언급한 바와 같이 단계 3이 끝난 시점도 단계 2에서 제대로된 부호 그룹이 선택되었을 경우의 판정점 M과 옳지않은 부호 그룹이 선택된 경우의 판정점 N의 두 가지가 있다. 각 경우의 발생확률을 P_M 과 P_N 이라 하면, P_M 과 P_N 은 1단계의 시작점 A에서 각각 점 M과 점 N까지의 전달확률이며, 다음과 같다.

$$P_M = \frac{N_M}{A_D} \quad (3)$$

$$P_N = \frac{N_N}{A_D} \quad (4)$$

여기서 N_M , N_N , A_D 는 각각 식 (5),(6),(7)과 같다.

이와 같은 신호흐름도의 전달 함수를 이용하면 셀 탐색에 소요된 평균 시간을 구할 수 있다^{[8][9]}.

그럼 4에 보인 SPP 방식에 대한 신호 흐름도의 전달함수를

$$U_p(z) = \frac{P_p(z)}{\Delta_p(z)} \quad (8)$$

라 하면, $p_p(z)$, $\Delta_p(z)$ 는 각각 식 (9)와 (10)과 같이 구해진다. 여기서

$$\alpha = 2L_1, \beta = 2L_2M + 1, \gamma = 2L_3 + M - 1 \quad (11)$$

이다.

평균 셀 탐색 시간 $\overline{T_{ACQ}}$ 은 $U(z)$ 의 1계 도함수에 $z=1$ 을 대입함으로써 얻어진다^{[7][8]}.

$$\overline{T_{ACQ}} = \left. \frac{dU(z)}{dz} \right|_{z=1} \quad (12)$$

n 단위시간 이전에 셀 탐색 획득이 이루어질 확

$$N_M = (P_{D_1}P_{D_3|H_0}(1 - P_{F_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_0}) + P_{F_1}P_{D_3|H_0}(1 - P_{F_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_0})) + (P_{D_1}P_{F_3|H_1}P_{H_3}P_{M_3|H_0}P_{D_3|H_0} + P_{F_1}P_{F_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_0}P_{D_3|H_1}) \quad (5)$$

$$N_N = (P_{D_1}P_{F_3|H_1}(1 - P_{D_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_1})) + P_{F_1}P_{F_3|H_0}(1 - P_{D_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_1})) + (P_{D_1}P_{D_3|H_1}P_{H_3}P_{M_3|H_1}P_{F_3|H_0} + P_{F_1}P_{D_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_1}P_{F_3|H_1}) \quad (6)$$

$$A_D = 1 - (P_{M_1} + P_{D_1}P_{M_3|H_1} + P_{D_1}P_{D_3|H_1}P_{M_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_1} + P_{D_1}P_{F_3|H_1}P_{H_3}P_{M_3|H_0}P_{M_3|H_0}) + P_{F_1}P_{M_3|H_0} + P_{F_1}P_{F_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_0}P_{M_3|H_1} + P_{F_1}P_{D_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_1}P_{M_3|H_1}) + P_{D_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_1} + P_{D_3|H_1}P_{H_3}P_{M_3|H_1}P_{F_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_0} + P_{F_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_0}) + P_{H_3}P_{M_3|H_0}P_{D_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_1} + P_{F_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_0} + P_{D_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_1}) + P_{M_1}[P_{D_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_1} + P_{D_3|H_1}P_{H_3}P_{M_3|H_1}P_{F_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_0} + P_{F_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_0}) + P_{H_3}P_{M_3|H_0}P_{D_3|H_0}P_{G_3}P_{M_3|H_1} + P_{F_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_0} + P_{D_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_1}] + P_{D_1}P_{M_3|H_1}(P_{F_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_0} + P_{D_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_1}) + P_{F_1}P_{M_3|H_0}(P_{D_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_1} + P_{F_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_0}) + P_{D_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_1}P_{F_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_0}) - P_{M_1}(P_{D_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_1}P_{F_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_0} + P_{F_3|H_1}P_{G_3}P_{M_3|H_0}P_{D_3|H_0}P_{H_3}P_{M_3|H_1}) \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 P_p(z) = & \{P_{D_1}P_{D_2H_1}P_{D_3H_1}(1-P_{F_2H_0}P_H P_{M_3H_0}-P_{F_3H_0}P_N) \\
 & + P_{F_1}P_{D_2H_0}P_{D_3H_1}(1-P_{F_2H_1}P_G P_{M_3H_0}-P_{F_3H_0}P_N)\}z^{\alpha+\beta+\gamma} \\
 & + P_{M_3H_0}P_{D_3H_1}(P_{D_1}P_{F_2H_1}P_{D_2H_0}P_H + P_{F_1}P_{F_2H_0}P_{D_2H_1}P_G)z^{\alpha+\beta+2\gamma} \\
 & + P_M P_{F_3H_0}P_{D_3H_1}(P_{D_1}P_{F_2H_1} + P_{F_1}P_{F_2H_0})z^{\alpha+\beta+\gamma+K}
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_p(z) = & 1 - P_{M_1}z^\alpha - (P_{D_1}P_{M_2H_1} + P_{F_1}P_{M_2H_0})z^\beta \\
 & - \{P_G(P_{D_2H_1}P_{M_3H_1} + P_{F_2H_1}P_{M_3H_0}) + P_H(P_{F_2H_0}P_{M_3H_0} + P_{D_2H_0}P_{M_3H_1})\}z^\gamma \\
 & - P_{M_1}\{P_G(P_{D_2H_1}P_{M_3H_1} + P_{F_2H_1}P_{M_3H_0}) + P_H(P_{F_2H_0}P_{M_3H_0} + P_{D_2H_0}P_{M_3H_1})\}z^{\alpha+\gamma} \\
 & - \{(P_{D_1}P_{M_2H_0}P_H - P_{F_1}P_{M_2H_0}P_G)(P_{D_2H_1}P_{M_3H_1} + P_{F_2H_1}P_{M_3H_0}) \\
 & + (P_{F_1}P_{M_2H_1}P_G - P_{D_1}P_{M_2H_1}P_H)(P_{F_2H_0}P_{M_3H_0} + P_{D_2H_0}P_{M_3H_1})\}z^{\beta+\gamma} \\
 & - P_H P_{M_3H_0}P_{D_2H_0}P_G P_{M_3H_1}z^{2\gamma} + \{P_{M_3H_0}P_{D_2H_0}P_{M_3H_1}P_G P_H(1-P_{F_2H_1})\}z^{\alpha+2\gamma} \\
 & - \{P_{F_3H_0}P_N + P_{F_3H_1}P_M\}z^K + \{P_{M_1}(P_{F_3H_0}P_N + P_{F_3H_1}P_M)\}z^{\alpha+K} \\
 & + \{(P_{D_1}P_{M_2H_1} + P_{F_1}P_{M_2H_0})(P_{F_3H_0}P_N + P_{F_3H_1}P_M)\}z^{\beta+K} \\
 & + \{P_{F_3H_1}P_{M_3H_0}P_N(P_{D_2H_1}P_G + P_{D_2H_0}P_H) \\
 & + P_{F_2H_1}P_{M_3H_1}P_M(P_{F_2H_1}P_G + P_{F_2H_0}P_H) \\
 & - P_G P_{F_3H_1}P_M(P_{D_2H_1}P_{M_3H_1} + P_{F_2H_1}P_{M_3H_0}) \\
 & - P_H P_N(P_{F_3H_0}P_{M_3H_0}P_{F_3H_1} + P_{D_2H_1}P_{M_3H_1}P_{F_3H_0})\}z^{\gamma+K} \\
 & + P_{M_1}\{P_{F_3H_1}P_{M_3H_0}P_N(P_{D_2H_1}P_G + P_{D_2H_0}P_H) \\
 & + P_{F_2H_1}P_{M_3H_1}P_M(P_{F_2H_1}P_G + P_{F_2H_0}P_H) \\
 & - P_G P_{F_3H_1}P_M(P_{D_2H_1}P_{M_3H_1} + P_{F_2H_1}P_{M_3H_0}) \\
 & - P_H P_N(P_{F_3H_0}P_{M_3H_0}P_{F_3H_1} + P_{D_2H_1}P_{M_3H_1}P_{F_3H_0})\}z^{\alpha+\gamma+K} \\
 & - \{(P_{D_1}P_H - P_{F_1}P_G)(P_{D_2H_1}P_{M_2H_0}P_{F_3H_1}P_{M_3H_0}P_N + P_{M_2H_1}P_{F_2H_0}P_{M_3H_0}P_{F_2H_1}P_M) \\
 & - (P_{D_2H_0}P_{M_2H_1}P_N + P_{M_2H_0}P_{F_2H_1}P_M)(P_{D_1}P_{F_3H_1}P_H P_{M_3H_0} + P_{F_1}P_{F_3H_0}P_G P_{M_3H_1}) \\
 & + P_{D_1}P_{M_2H_1}P_{F_3H_0}P_H(P_{M_1}(P_{F_3H_1}P_{M_3H_0} - P_{M_2H_1}P_{F_3H_0}) + P_{D_2H_1}P_{M_2H_0}P_N + P_{D_2H_0}P_H) \\
 & + P_{F_1}P_{F_3H_1}P_G(P_{M_2H_0}P_{M_3H_0}(P_{F_2H_1}P_M - P_{D_2H_1}P_N) + P_{D_2H_0}P_{M_2H_1}P_N) \\
 & + P_{F_1}P_G P_{M_3H_1}P_{F_3H_0}(P_{F_3H_0}P_{M_2H_1} + P_{M_2H_0}P_{D_2H_1}P_N)\}z^{\beta+\gamma+K}
 \end{aligned} \tag{10}$$

를 $P_{ACQ}(n)$ 은 역 z 변환과 유사한 contour 적분으로 계산될 수 있다^[8].

$$P_{ACQ}(n) = \frac{1}{2\pi j} \oint_{\Gamma} \frac{U(z)}{(1-z)z^{(n+1)}} dz \tag{13}$$

위의 두 식 (12)와 (13)의 시간 단위는 슬롯 시간 $T_{slot}/2$ 이다.

IV. 수치 결과와 성능 비교

이 절에서는 셀 탐색 과정의 성능을 레일리 페이딩 채널에서 수치적으로 계산한다. 다음의 해석에서 \bar{E}_c/I_0 은 특별한 언급이 없으면 P-CPICH의 값을 기준으로 한다. 수치 계산에서 칩 당 샘플의 수는 1로 하였으며, 타이밍 오차는 0으로 설정한다. 오경 보 벌칙 시간은 250ms라 가정한다. ML 판정에서 임계값은 단지 판정의 유효성에 대한 부가적인 기준이며, 최대 출력을 선정하는 것이 보다 결정적인 판정 근거가 된다. 다음의 수치 평가에서는 각 단계

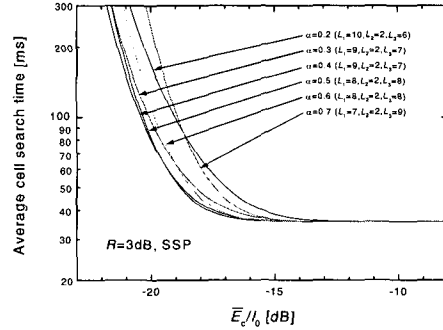
의 실패 확률이 0인 경우를 고찰하기 위해 ML 판정의 임계값을 0으로 한다. 이렇게 하면 그림 1에서 각 단계에서 실패로 인한 재환경로가 없어진다.

셀 탐색 성능은 각 단계의 사후검파 적분의 횟수와 채널간 전력비에 의존한다. 각 단계에 대한 사후검파 적분의 수는 수신기에 대한 설계 매개 변수이다. 각 단계의 실행에 소요되는 시간은 사후검파 적분의 수에 의존하며, 앞에서 언급한 바와 같이 단계 1의 실행에는 L_1 슬롯시간, 단계 2는 L_2M 슬롯시간이, 단계 3의 경우에는 L_3 슬롯시간이 소요된다.

다시 말해서 단계 1과 단계 3의 경우 실행시간은 사후검파 적분의 횟수에 대해 슬롯 시간의 단위로 영향을 받는데 비해, 단계 2의 실행시간은 M 개 슬롯, 즉 프레임의 L_2 배이므로 다른 단계의 경우에 비해 사후검파 적분의 횟수에 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 우선 L_2 의 값을 결정하는 것이 초기 시간을 단축하는데 있어 매우 중요하다.

SSP 방식의 경우 단계 2에서 사후검파 적분을 수행하는 것이 그렇지 않는 경우보다 훨씬 나은 성능을 보이므로 $L_2=2$ 가 합리적인 선택이며, 이를 위해 30 슬롯시간이 소요된다. 이제 L_1 과 L_3 의 최적의 조합을 찾으면 된다. 클럭의 시간 표류(drift) 현상으로 인해 셀 탐색에 대한 최소 처리 시간은 48개 슬롯 시간보다 훨씬 길어서는 안 된다. 이것은 초기 획득하는 동안 2ppm의 수신기 클럭 정확도에 대한 1/4 칩 표류에 대응한다^[3]. 따라서 본 논문에서는 SSP 방식의 경우 L_1 과 L_3 의 합을 16개 슬롯으로 일정하게 고정하여 최소의 셀 탐색 시간이 46 슬롯이 되는 경우를 고찰한다.

문헌 [6]에서 보인 SPP 방식의 경우는 각 단계의 처리 시간을 모두 N_i 개의 슬롯 시간으로 동일하게 설정하였다. $L_2=2$ 로 할 경우 단계 2의 실행시간은



(b)

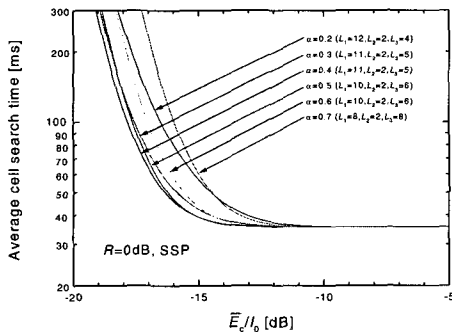
그림 5. SSP 방식의 평균 셀 탐색 시간

30 슬롯시간이 되고 SPP의 경우 모든 단계의 실행 시간이 모두 동일하므로 한번의 시도에도 셀 탐색이 성공하더라도 최소의 셀 탐색 시간은 총 90 슬롯시간이 소요된다. 따라서 $L_2=1$ 으로 설정하면 단계 2의 실행시간은 30 슬롯시간이 되고, 각 단계의 실행 시간을 동일하게 할 경우 $L_1=L_3=15$ 가 되어 최소 셀 탐색 시간은 45 슬롯이 된다.

각 단계별 사후적분 검파의 횟수 외에도 본 논문에서 셀 탐색 성능에 영향을 주는 파라미터로서 P-SCH loading factor, α 과 P-CPICH와 동기채널간의 신호전력 비 R 의 영향을 조사한다. 두가지 방식의 셀 탐색 성능에 대한 α 의 영향을 고찰하기 위해 α 의 값을 0에서 1까지 0.1 단계로 증가시켜 가면서 각각의 α 에 대해 앞에서 언급한 조건을 만족하는 L_1, L_2, L_3 의 조합 중에서 가장 우수한 성능을 보이는 조합을 결정하였다. 여기서 R 은 0dB와 3dB의 두 가지 경우를 고찰하였으며, SSP 방식에 대한 평균 셀 탐색 시간을 그림 5에 보인다. 그림 5(a)에서 R 은 0dB에 대한 값이며, 그림 5(b)는 3dB에 대한 값이다.

초기 셀 탐색에 소요되는 시간의 한계가 100ms 임을 주목하면, 이 그림으로부터 $R=0$ dB의 경우 $\alpha=0.4$ 에서 $L_1=11, L_2=2, L_3=5$ 일 때 가장 우수한 성능을 보이며, $R=3$ dB의 경우 $\alpha=0.4$ 에서 $L_1=9, L_2=2, L_3=7$ 일 때 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 그러나 최적값의 근처에서는 파라미터 값들의 작은 변화가 성능에 미치는 영향은 미약하여 결과적인 성능의 차이는 크지 않다.

SPP 방식에서 대해서 우선 문헌 [6]에서처럼 각 단계의 실행시간을 동일하게 설정한 경우를 고찰한다. 앞에서와 마찬가지로 α 의 값을 0.1 단계로 변



(a)

화시키면서 성능을 구하였다. 그 결과 $L_1=15, L_2=1, L_3=15$ 및 $L_1=30, L_2=2, L_3=30$ 의 두 가지 경우 모두 $\alpha=0.3$ 에 대해 가장 우수한 성능을 보였다. 이러한 두 가지 파라미터에 대한 SPP 방식의 성능은 $R=0\text{dB}$ 및 3dB 에 대해 각각 그림 6(a)와 그림 6(b)에서 실선으로 나타냈다.

이 그림으로부터 SPP 방식의 경우 1단계와 3단계의 셀 탐색 시간이 2단계와 동일해야 하므로 2단계에서 누적을 하게 되면 셀 탐색을 위해 요구되는 최소 시간이 크게 증가하게 됨을 알 수 있다. SPP 방식에서 $L_1=30, L_2=2, L_3=30$ 의 경우는 비록 낮은 \bar{E}_c/I_0 에서 우수한 성능을 보이지만, 셀 탐색 시간의 최소값이 크고 클러크의 포류 현상으로 인해 실제 적용에는 문제가 있다.

그림 5(a)로부터 $R=0\text{dB}$ 에 대해 SSP 방식의 경우 $\alpha=0.4, L_1=11, L_2=2, L_3=7$ 일 때 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다. SPP 방식과 비교하기 위해 이러한 SSP 방식의 성능을 그림 6(a)에서 점선으로 나타냈다. 그림 6(a)로부터 $R=0\text{dB}$ 의 경우 $\bar{E}_c/I_0 > -13\text{dB}$ 에서는 SPP 방식이 유리하지만

\bar{E}_c/I_0 가 -13dB 이하로 낮아지면, SPP 방식의 성능이 SSP 방식보다 나빠질 수 있음을 알 수 있다. 한편, $R=3\text{dB}$ 의 경우에 SSP 방식은 그림 5(b)로부터 $\alpha=0.4, L_1=9, L_2=2, L_3=7$ 가 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있었으며, 이를 역시 그림 6(b)에서 점선으로 나타내었다. $R=3\text{dB}$ 로 하였을 때 셀 탐색 성능은 $R=0\text{dB}$ 의 경우보다 개선되며, SPP 방식이 SSP 방식보다 우수함을 알 수 있다.

V. SPP 방식의 파라미터 조정

앞 절의 결과에서 SPP 방식의 성능이 SSP보다 우수하다고 할 수 있으나, 각 단계의 실행시간을 동일하게 설정한 경우에는 SPP 방식의 잇점을 충분히 활용할 수 없으므로 그 성능의 우수성이 그리 크지는 않다. 더욱이 어떤 경우 ($R=0\text{dB}$ 에서 -13dB 이하로 \bar{E}_c/I_0 가 낮은 경우)에는 적절하게 설계된 SSP 방식에 비해 오히려 큰 잇점을 나타내지 못할 수도 있음을 보였다. 따라서 SPP 방식의 경우 각 단계가 항상 동작해야 하므로 SSP 방식보다 많은 전력을 소모하는 점을 고려할 경우 이러한 방식을 채택하는 것이 큰 잇점을 주지 못할 수 있다.

이러한 까닭은 사후검파 적분의 수가 증가할수록 그로 인한 성능의 개선 효과가 포화되므로, 각 단계의 실행시간을 동일하게 설정한 경우 단계 1과 단계 3에서 과도한 사후검파 적분이 성능 향상에 크게 도움이 되지 않기 때문이다. 그럼에도 문헌 [6]에서 SPP 방식의 성능이 SSP 방식보다 우수하다고 한 것은 비교 대상으로 한 SSP 방식의 파라미터를 문헌 [1]에서 처럼 $L_1=45, L_2=2, L_3=15$ 로 설정하는 등 전혀 최적화되지 않은 결과와 비교했기 때문이다.

SPP 방식에서 각 단계가 파이프라인으로 동작하려면, 각 단계의 실행시간이 동일하거나 최소한 이전 단계보다 길어야 판정에 실패했을 때 이전 단계의 새로운 결과를 이용할 수 있을 것이다. 그러나 단계 2의 실행을 위한 최소 요구 시간이 다른 단계에 비해 상당히 크므로 이러한 원칙을 지키기 위하여 각 단계의 실행시간을 동일하게 하는 것은 성능 향상에 큰 도움이 되지 않는 과도한 사후적분과 최소 셀 탐색 시간의 증가를 가져오므로 그다지 바람직하지 않다고 할 수 있다.

SPP 방식에서 각 단계가 모두 한 번에 성공할 경우 각 단계가 병렬적으로 계속 동작한다는 점을

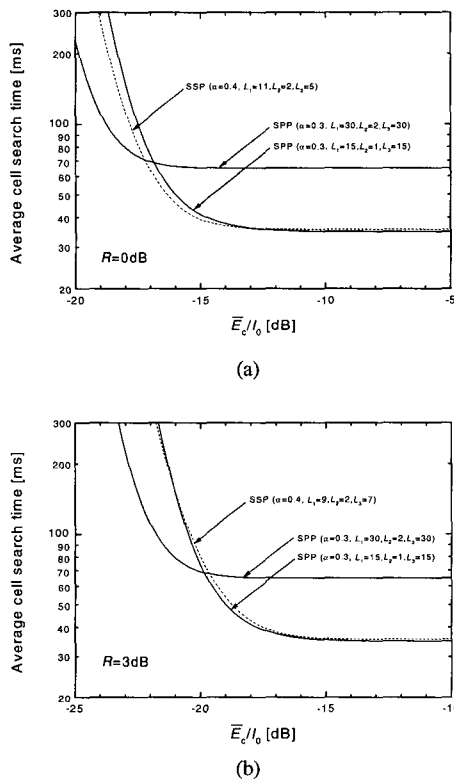
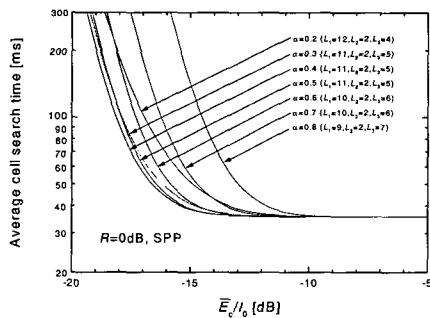
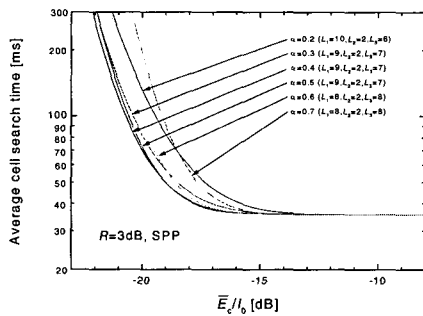


그림 6. SPP 방식의 성능

제외하면 이는 SSP 방식과 동일하다고 볼 수 있으므로, 본 논문에서는 SPP 방식의 경우에도 각 단계의 실행시간을 달리하여 성능 향상을 시도하고자 한다. 이때 뒤에 오는 단계의 실행시간이 이전 단계의 실행시간보다 길기만 하면, 뒤 단계가 종료한 후에 앞 단계로부터 항상 새로운 가설이 보장되므로, 본 논문의 해석을 적용하는데 큰 문제가 없다. 즉, 일반적인 경우에서 단계 2의 실행시간이 단계 1의 실행시간보다 크므로, 본 논문의 해석을 적용하는데 큰 문제가 없다. 그러나 단계 2의 실행시간은 단계 3의 실행 시간 보다 길 수 있으므로, 단계 3이 실패할 경우 취하게 될 단계 2의 결과는 단계 2의 긴 실행시간 동안에는 여전히 이전 결과가 반복될 것이다. 따라서 본 논문의 해석에서 가정한 각 판정의 독립성에 위배되므로 이 해석을 직접 적용할 수는 없다. 그러나, miss 확률이 0으로 설정된 일반적인 경우에 대해 이러한 문제가 발생하지 않는다. 또한 단계 3에서 오경보가 발생한 경우에는 오경보 벌칙 시간 이후 단계 2의 새로운 결과가 유용할 만큼 오경보 시간이 충분히 크므로 본 논문의 해석을 그대로 적용할 수 있다.



(a)



(b)

그림 7. 각 단계가 서로다른 실행시간을 갖는 SPP 방식의 셀탐색 성능

이상을 고려하여 단계마다 실행 시간을 달리한 SPP 방식의 성능을 고찰한다. 셀 탐색 성능에 대한 α 의 영향을 고찰하기 위해 α 의 값을 0에서 1까지 0.1 단계로 증가시켜 가면서 각각의 α 에 대해 SSP에 적용하였던 조건을 만족하는 L_1, L_2, L_3 의 조합 중에서 가장 우수한 성능을 보이는 조합을 결정하였다. 여기서 R 은 0dB와 3dB의 두 가지 경우를 고찰하였으며, 그 결과를 각각 그림 7(a)와 그림 7(b)에 보인다.

초기 셀 탐색에 소요되는 시간의 한계가 100ms임을 고려하면, SPP 방식에 대하여 $R=0dB$ 의 경우 $\alpha=0.4$ 에서 $L_1=11, L_2=2, L_3=5$ 일 때 가장 우수한 성능을 보이며, $R=3dB$ 의 경우 $\alpha=0.4$ 에서 $L_1=9, L_2=2, L_3=7$ 가 가장 적절한 선택임을 알 수 있다.

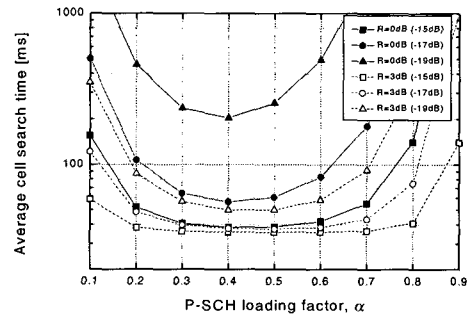


그림 8. α 에 따른 성능

그림 8은 셀 탐색 성능에 대한 P-SCH loading factor α 의 영향을 보인 것으로 실선은 $R=0dB$ 에서 $L_1=11, L_2=2, L_3=5$ 에 대해 구한 결과이며, 점선은 $R=3dB$ 에서 $L_1=9, L_2=2, L_3=7$ 로 설정하여 구한 결과이다. α 는 0.1 간격으로 구하였다. 바람직한 α 의 값은 당연히 기준 \overline{E}_c/I_0 의 값과 기준 셀 탐색 시간에 따라서 달라질 뿐 아니라 특히 셀 탐색의 각 단계에 적용된 기술 등에 따라 상당히 달라질 수 있다. \overline{E}_c/I_0 의 값이 낮아질수록 α 에 대한 영향이 민감해짐을 알 수 있으며, 상대적으로 높은 \overline{E}_c/I_0 에 대해서는 α 가 성능에 미치는 영향이 그리 크지 않다. 최적의 α 의 값은 단계 1과 단계 2사이의 상대적 성능에 의해 크게 좌우되며, 단계 2의 성능이 단계 1에 비해 상대적으로 우수할 경우 최적의 α 값은 증가하며, 반대의 경우 최적의 α 값은 감소한다.

실제로 문헌 [6]에서는 본 논문의 기준 \overline{E}_c/I_0 의

값과 기준 셀 탐색 시간에 해당하는 기하학적 인자 (geometry factor) G 를 정의하고, $G=-3\text{dB}$ 에 대하여 바람직한 α 값은 0.6 - 0.7이라 결정하였다. 이와 같이 문헌 [6]에서 바람직한 α 값이 상대적으로 큰 이유는 α 값을 결정한 기준 파라미터의 차이와 함께 단계 2에서 코히어런트 검출을 적용한 경우를 고찰 하여 단계 2의 성능이 향상됨에 따라서 S-SCH의 전력이 상대적으로 작아져도 되기 때문으로 사료된다.

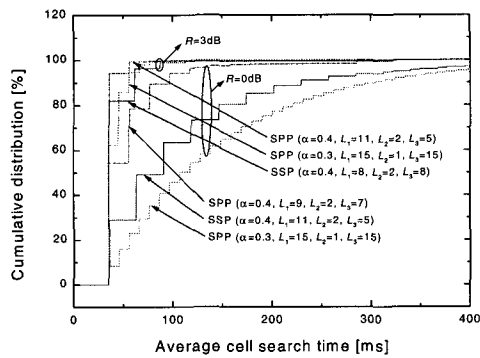


그림 9. 평균 셀 탐색 시간의 누적 확률분포

그림 9는 식 (16)을 이용하여 $\overline{E_c/I_0}=-18\text{dB}$ 에서 $R=0\text{dB}$ 와 $R=3\text{dB}$ 에 대한 평균 셀 탐색 시간의 누적 확률분포를 보인 것이다. 그림에서 실선은 SSP 방식의 결과를 나타내고, 점선은 각 단계의 실행 시간을 동일하게 한 SPP 방식의 결과, 일점쇄선은 각 단계의 실행 시간을 조정하여 SPP 방식에 대한 결과를 나타낸다. SSP 방식의 경우 $R=0\text{dB}$ 일 때 $\alpha=0.4$ 및 $L_1=11, L_2=2, L_3=5$ 로 하였으며, $R=3\text{dB}$ 의 경우 $\alpha=0.4$ 및 $L_1=8, L_2=2, L_3=8$ 에 대하여 구하였으며, 각 단계의 실행 시간을 동일하게 한 SPP 방식은 $\alpha=0.3$ 및 $L_1=15, L_2=1, L_3=15$ 에 대하여 구하였다. 각 단계의 실행 시간을 달리 한 SPP 방식의 경우 $R=0\text{dB}$ 일 때 $\alpha=0.4$ 및 $L_1=11, L_2=2, L_3=5$ 로 하였으며, $R=3\text{dB}$ 의 경우 $\alpha=0.4$ 및 $L_1=9, L_2=2, L_3=7$ 에 대하여 구하였다. 이 그림으로부터 $R=0\text{dB}$ 의 경우 각 단계의 실행 시간을 동일하게 설정한 SPP 방식의 성능이 SSP 방식의 경우보다 떨어짐을 볼 수 있으며, 각 단계의 실행 시간을 적절히 조정할 경우 SPP 방식이 우수한 성능을 보일 수 있음을 알 수 있다.

그림 10은 $\overline{E_c/I_0}=-18\text{dB}$ 에서 R 에 따른 평균 셀 탐색 시간을 보인 것이다. 그림에서 사각형은 SSP

방식의 결과($\alpha=0.4$ 및 $L_1=11, L_2=2, L_3=5$)를 나타내고, 원은 각 단계의 실행 시간을 동일하게 설정한 경우의 SPP 방식($\alpha=0.3$ 및 $L_1=15, L_2=1, L_3=15$), 삼각형은 $\alpha=0.4$ 및 $L_1=9, L_2=2, L_3=7$ 와 같이 설정한 SPP 방식에 대한 결과를 나타낸다. $R=0\text{dB}$ 에서 SSP 방식의 성능이 각 단계마다 동일한 실행 시간을 갖는 SPP 방식보다 우수함을 볼 수 있으며, 또한 각 단계의 실행 시간을 조절함으로써 SPP 방식의 성능을 개선할 수 있음을 알 수 있다.

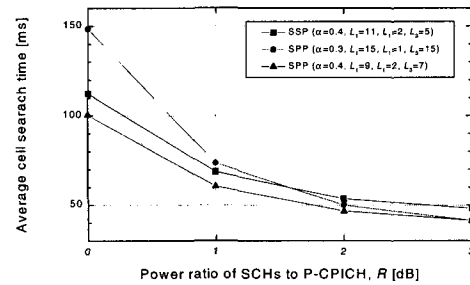


그림 10. R 에 따른 평균 셀 탐색 시간

VI. 결론

본 논문에서는 WCDMA의 셀 탐색을 위한 SPP 기법의 성능을 해석하고, 이를 관례적인 SPP 방식의 성능과 비교하였다. SPP 방식에서 각 단계의 실행 시간을 동일하게 설정할 경우 단계 1와 단계 3에서 불필요하게 과도한 사후 검파 적분을 요구하게 된다. 이것은 최소 셀 탐색 시간을 길어지게 하며, 특히 $\overline{E_c/I_0}$ 가 높은 경우 1단계와 3단계에서 사후 검파 적분의 횟수의 증가는 성능 향상에 아무런 영향을 미치지 못한다. 결과적으로 이와 같은 형태의 SPP 방식은 SSP 방식에서 셀 탐색 파라미터를 적절히 선정할 경우보다 성능 면에서 잇점을 제공하지 않을 수 있다. SPP 방식에서 현재의 셀 탐색 단계에서 실패할 경우 이전 단계로부터 항상 새로운 결과를 취득할 수 있도록 하면서 각 단계의 실행 시간을 서로 다르게 적절히 선정할 경우 개선된 셀 탐색 성능을 얻을 수 있다. 셀 탐색 파라미터에는 사후적분 검파 횟수 L_i (또는 각 단계의 실행 시간 N_i), P-SCH 전력 할당비 α , 동기채널에 대한 전력 할당비 R 등이 있으나, 이들은 상호 의존적이다. 본 논문에서의 해석을 이용하여 이들의 적절한 값을 구할 수 있으며, 이러한 값을 이용하여 셀 탐색

과정을 설계할 경우 성능이 개선되리라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] K. Higuchi, M. Sawahashi, and F. Adachi, "Fast Cell Search Algorithm in Inter-Cell Asynchronous DS-CDMA Mobile Radio," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E81-B, no. 7, Jul. 1998.

[2] 3GPP TSG-RAN WG1, "Physical layer procedure (FDD)," TS 25.214 v3.2.0, ETSI, Mar 2000.

[3] S. Sriram and S. Hosur, "Cyclically Permutable Codes for Rapid Acquisition in DS-CDMA Systems with Asynchronous Base Stations," *IEEE Trans. J. Select. Areas Commun.*, vol. 19, no. 1, pp. 83-94, Jan. 2001.

[4] M. K. Song and V. K. Bhargava, "Performance Analysis of Cell Search in W-CDMA Systems over Rayleigh Fading Channels," accepted for publication in the *IEEE Trans. Vehicular Technology*.

[5] 박용서, 정영지, 송문규, "셀간 비동기 방식을 채용하는 DS-CDMA 이동무선 시스템에 대한 개선된 고속 셀 탐색 알고리즘", *한국통신학회논문지*, 제24권, 제2호, 1999. 2.

[6] Yi-Pin Eric Wang and Tony Ottosson, "Cell Search in W-CDMA," *IEEE Trans. J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no 8, pp.1470-1481, Aug. 2000.

[7] 3GPP TSG-RAN WG1, "Spreading and Modulation (FDD)," TS 25.213 v3.2.0 ETSI Mar. 2000.

[8] A. J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley Publishing Co., ch 3, 1995.

[9] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communication*, Vol. III, ch. 1, Computer Science Press 1985.

[10] H. Park and B. Kang, "On the performance of a Maximum-Likelihood Code-Acquisition Technique for Preamble Search in a CDMA Reverse Link," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 47, no. 1, pp 65-74, Feb. 1998.

송 문 규(Moon Kyou Song)

중신회원



1988년 2월 : 고려대학교

전자공학과 졸업

1990년 2월 : 고려대학교

전자공학과 공학석사

1994년 2월 : 고려대학교

전자공학과 공학박사

1994년 3월~현재 : 원광대학교 전기전자및정보공학부 부교수

1997년 10월~1998년 12월 : 한국전자통신연구원 초빙연구원

1999년 9월~2000년 8월 : 캐나다 빅토리아 대학교 전기및컴퓨터공학과 방문교수

<주관심 분야> 무선통신, 디지털 통신시스템 설계