

# 3세대 W-CDMA 시스템에 적용 가능한 적응형 어레이 안테나 시스템을 위한 공-시간 탐색기 구조

정회원 김 정 호\*

## Spatio-Temporal Searcher Structure of Adaptive Array Antenna System for 3rd Generation W-CDMA Systems

Jeong-Ho Kim\* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 무선 다중경로 채널 환경에서 관심 있는 신호를 효과적으로 탐색하기 위해서 다중 경로 탐색기의 검출 능력을 향상시키기 위한 공-시간 탐색기 구조를 제안한다. 이러한 탐색기는 새롭게 발생한 신호 경로를 탐색하기 위해 공시간 신호 구조를 사용한다. 제안된 다중경로 탐색기는 기존의 탐색기에 비해 보다 나은 검출 능력을 제공하고 다중 경로 신호의 평균 획득 시간(Mean Acquisition Time)을 감소시킨다. 새로운 방식과 기존의 방식의 검출 확률(Detection Probability)과 오경보 확률(False Alarm Probability)을 계산하고 평균 획득 시간의 수학적인 예를 들어서 제안된 방법의 성능을 비교 분석한다.

Key Words : searcher, adaptive array, W-CDMA

### ABSTRACT

A spatio-temporal searcher structure for 3rd generation W-CDMA systems is proposed to enhance the detection capability of the multi-path searcher for the desired signal. This searcher employs the spatio-temporal signal structure to search for newly emerging multipath signals. The proposed multi-path searcher provides better detection capability and thus reduces the mean acquisition time. The detection and false alarm probabilities of new and conventional schemes are calculated and numerical examples of mean acquisition time are given thereafter.

### I. 서 론

적응 안테나 시스템은 스펙트럼의 효율적인 사용과 무선 채널의 품질을 향상시키기 위해서 기지국 (Base Station)[1]과 이동국(Mobile Station)[2]에 대해 적용이 고려되고 있다. 높은 비트율의 통화량은 불가피하게 많은 양의 용량(Capacity)을 소모하고 낮은 데이터율의 사

용자에게 매우 큰 간섭의 원인이 된다. 이러한 상황 하에서, 적응 어레이 안테나 시스템은 타 사용자의 간섭을 완화시키고 적절한 수준의 무선 링크 품질을 유지하는 좋은 방법이다. 이를 실현하기 위한 중요한 요소중 하나는 변화하는 무선 채널 환경 하에서 새로이 출현하는 다중 경로 신호를 연속적으로 끊임없이 탐색하는 탐색기이다. 기존의 탐색기와 같은 단일 안테나

\* 이화여자대학교 공과대학 정보통신학과 (jho@ewha.ac.kr)  
논문번호 : 030399-0915, 접수일자 : 2003년 9월 15일

성분을 사용하는 다경로 탐색기는 신호 간섭 잡음비 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)의 상당한 감소를 겪게 된다. 왜냐하면 이동국과 기지국간에는 열악한 무선 채널 환경 하에서 타 사용자에게 최소의 간섭을 발생시키고 적절한 링크의 품질을 유지하기 위해서 요구되는 최소한의 수준에서 전력을 전송하도록 하는 전력 제어 메카니즘에 따라 이동국의 전송 전력을 기지국이 조절하기 때문이다. 따라서 하나의 안테나를 사용할 경우 다수의 안테나를 사용하여 결합한 신호품질의 향상이 이동국에서 송출되는 전력을 필요한 만큼의 최소한으로 낮추게 하므로 각각 안테나에서의 신호 전력은 기지국 탐색기에 의해 신속하게 검출될 수 있을 정도로 충분히 강한 신호가 수신되지 않는다. 따라서 이러한 미약한 신호를 공시간 신호 처리를 사용하여 검출하면 보다 나은 성능을 얻을 수 있다. 수신된 신호의 공간 처리는 관심 있는 신호를 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라, 부가적으로 다른 사용자로부터 간섭의 영향을 완화시킬 수 있어 다중 경로 신호의 경로 탐색에 있어 더욱 개선된 성능을 얻을 수 있다. 특히 W-CDMA 시스템 [3]의 경우 핸드 오프 영역에서 비동기 방식으로 새로운 경로를 신속히 탐색하여야만 요구되는 링크 품질을 유지할 수 있으므로 적응 어레이 안테나 시스템 수신단 구성시 반드시 적용하여야 할 탐색기 구조라고 할 수 있다.

## II. 제안된 탐색기와 신호 모델

여기서, 우리는 새로운 다중경로 탐색기 구조를 제안하고자 한다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 적응 안테나에 입사된 신호는 down-convert되고 샘플화(sampled), 디지털화(digitized) 된다. 그 후에, 샘플된 신호는 새로운 다중경로 신호의 도착방향에 정합된 연속적으로 발생되는 공간 시그니처(signature) 벡터를 사용해서 결합된다. 각각의 타이밍가설(Timing hypothesis)에 대해서 가설 검증은 가능한 모든 시그니처 벡터에 대해서 수행된다. 이러한 신호는 새로운 다중 경로 신호가 들어오는 방향과 일치하는 공간 시그니처 벡터를 사용함으로써 공간 신호 처리가 이루어진다. 일단 가설 검증결과 새로운

다중 경로 신호가 특정 시그니처 벡터에 대해 나타난 것을 알리면, 확인 과정(Verification process)이 시작된다. 이러한 확인 과정에서, 여러 개의 연이은 부분 시간 상관값(Consecutive partial temporal correlation value)을 누적하여 계산하고 판정함으로써 새로운 신호 경로가 나타났다고 하는 가설이 옳음을 좀 더 신뢰성있게 증명할 수 있다. 이러한 과정을 완료한 이 후에, 탐색된 새로운 신호 경로는 추적 모듈(Tracking module)에 할당된다. 그리고 추적되는 여러 다중 경로 신호에 대한 최적의 결합(Optimal combining)은 finger 결합기 모듈 (Combiner module)에서 수행된다. 그림 1에서 보는 것과 같은 제안된 탐색기 구조에서 기지국에서 수신된 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^{L(i)} \mathbf{a}_{i,l}^H C_i(t) s_i(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^{L(k)} \mathbf{a}_{k,l}^H C_k(t) s_k(t) + n(t) \quad (1)$$

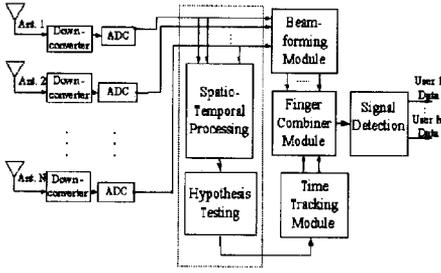
여기서,  $\mathbf{a}_{i,l}^H$ 는  $l$  번째 분해 가능한 신호의  $i$  번째 사용자의 공간 시그니처(Spatial signature) 이고,  $C_i(t)$ 는  $i$  번째 사용자의 스크램블링 코드 수열 (scrambling code sequence)을 나타내며,  $H$ 는 Hermitian Transpose를 나타낸다. 또한,  $s_i(t)$ 는  $i$  번째 사용자의 심볼,  $L(i)$ 는  $i$  번째 사용자의 분해 가능한 다중경로 신호의 수,  $n(t)$ 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise),  $K$ 는 셀 coverage 범위 내에서의 사용자의 수를 나타낸다. 그리고  $i$  번째 사용자가 원하는 사용자이다.

## III. 오경보 확률(False Alarm Probability) 과 검출 확률( (Detection Probability)

오경보 확률을 계산하기 위해서 이러한 가설 (Timing Hypothesis)이 옳지 않다는 가정을 한다. 즉, 새로운 신호 경로가 존재하지 않고 가정하면, likelihood 함수는 다음과 같이 주어진다[4].

$$p_0(z) = \exp(-z/V)/V \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 수신된 신호의 분산(Variance)이다.



\* ADC : analog-to-digital converter

그림 1. 3G W-CDMA 적응형 안테나 시스템을 위한 공-시간 탐색기

수신된 신호의 분산  $V$ 는 아래처럼 정의 될 수 있다.

$$V = N * M (N_0 + \sum_{k=1}^K E_c(t) \int |H(f)|^4 df / T_c) \quad (3)$$

여기서  $N$ 은 처리이득(Processing Gain),  $M$ 은 안테나 엘리먼트의 수,  $N_0$ 는 백색 잡음의 단위 스펙트럼 밀도,  $H(f)$ 는 펄스 shaping 필터의 임펄스 응답,  $E_c$ 는 칩 에너지,  $T_c$ 는 칩 구간 길이를 나타낸다. 이와 같이 주어지면 오경보 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_F = \int_0^{\infty} p_0(z) dz = \exp(-\theta / V) \quad (4)$$

마찬가지로, 신호 검출에 대한 likelihood 함수는 다음처럼 유도된다.

$$p_1(z) = \exp[-(z + M_D^2) / V] * [I_0(2\sqrt{M_D^2 z / V})] \quad (5)$$

여기서,  $I_0(*)$ 는 zeroth-order modified Bessel Function이고,  $M_D^2$ 는 기지국에서 1와 Q성분의 제곱의 합으로써 얻어지는 평균제곱(신호 에너지)이다. 공시간 배열 처리를 통해서 증가시킬 수 있는 신호 에너지는 다음에 의해 주어진다.

$$M_D^2 = G^2 N^2 E_c \quad (6)$$

여기서  $G$ 는 배열 처리 이득(Array Processing Gain)이다. 마지막으로, 탐색기에 대한 검출 확률은 다음처럼 표시될 수 있다.

$$P_D = \int_0^{\infty} p_1(z) dz = \int_{\theta/V}^{\infty} \exp(-(x + \mu) I_0(2\sqrt{\mu x})) dx \quad (7)$$

여기서 SNR은  $\mu = M_D^2 / V$  으로 정의한다.

#### IV. 가설 검증과 평균 획득 시간

탐색기가 이동국으로 부터 수신되는 새로운 다중 경로 신호를 찾기 위해서는 한 칩 단위 또는 반칩 단위의 신호의 위치를 추정하는 상태의 수를 정의하여야 한다. 좀 더 정밀하고 신뢰성 있는 탐색을 위해서는 반칩 단위의 신호 위치 추정을 위한 상태의 수를 정하나 본 논문에서는 간단한 예를 들기 위하여 한칩 단위의 상태의 수를 그 예로 든다. 한 개의 기지국이 서비스하는 영역에 따라서 이동국에서 기지국으로 도달하는 신호의 시간의 구간을 정할 수 있는데 이에 따라 기지국이 탐색하고자 하는 상태의 수가 결정된다. 그리고, 기지국의 병렬 처리 상관기의 개수에 따라 기지국 탐색기의 상태의 수는 다음에 의해 주어진다.

$$v = m / C \quad (8)$$

여기서  $m$ 은 검증되기 위한 가설의 수이고,  $C$ 는 부분 scrambling코드 수열을 가지고 부분 상관값을 구하는 기능을 수행하는 병렬 처리기의 수이다. 그림2는 기지국 탐색기의 상태 다이어그램(State Diagram)을 나타낸다. 그림2에서 파라미터는 다음과 같다.

$$H_0 = (1 - P_F)z + P_F z^{Q+1} \quad (9)$$

여기서  $Q$ 는 오경보가 발생했을 경우 다시 원래의 상태로 되돌아오는데 소요되는 지연 시간이다. 그림2에 나타난 각 상태(State)의 확률은 모든 상태에 균등히 분포되어 있고, 상태 1에서 증가하는 방향으로  $v$ 까지의 부분 전달함수는 위의 식  $H_0$ 로 주어진다. 그리고 상태  $v$ 이 함수는 모든  $v-1$ 상태의 출발점에 대해 전달함수를 구한 후 평균합을 구함으로써 전체 전달 함수가 유도된다. 발생 함수는 위의 식을 다항식나눗셈을 통하여 확장함으로써 얻을 수 있다. 만일 다음과 같이 표시하면

$$U(z) = \frac{P_D z H_0(z) [1 - H_0^{-1}(z)]}{(v-1)[1 - H_0(z)][1 - (1 - P_D)z H_0^{-1}(z)]} \quad (10)$$

이고, 그러면 평균 획득 시간  $\bar{T}_{ACQ}$ 는 다음과 식과 같이 주어진다.

$$\bar{T}_{ACQ} = \sum_{k=1}^{\infty} k u_k = \left. \frac{dU(z)}{dz} \right|_{z=1} \quad (11)$$

즉, 이와 같이 전체 전달함수를  $z$ 에 관해 미분하여 얻은 분수식으로부터 평균 획득시간을 구할 수 있다.

V. 수학적 예제 및 결과

제안된 공-시간 탐색기와 기존 탐색기와와의 성능을 비교 분석하기 위하여 기지국 어레이 안테나 시스템의 어레이 안테나의 개수가 4개 이고, 관심 있는 신호와 오직 잡음만이 존재한다고 가정한다. 그림3은 제안된 탐색기와 기존의 탐색기에 대해서 5dB와 10dB의 SNR하에서 탐색기의 동작 특성을 보여주고 있다.

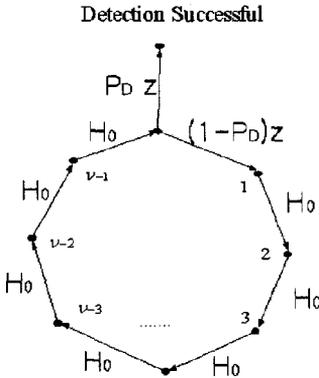
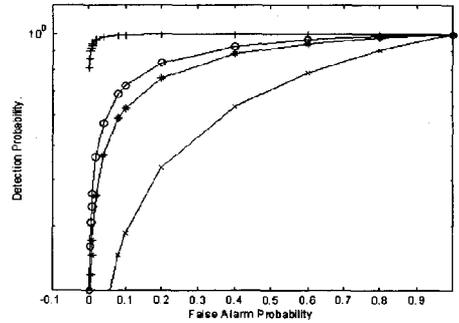


그림 2. 기지국 탐색기의 상태 다이어그램 (State Diagram)

공-시간 탐색기는 공-시간 처리가 다중 접속 간섭을 효과적으로 제거할 수 있기 때문에 기존의 탐색기와 비교해서 다중 접속 간섭이 있을 때 그림3에서 얻은 결과보다 더 나은 성능을 얻을 수 있다. 배열 처리 이득은 관심 있는 사용자의 신호가 들어오는 방향으로 빔 포밍 웨이트 벡터 (Beamforming Weight Vector)가 일치하는 빔 포밍 처리를 통해서 얻을 수 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이, 배열 처리 이득(G)

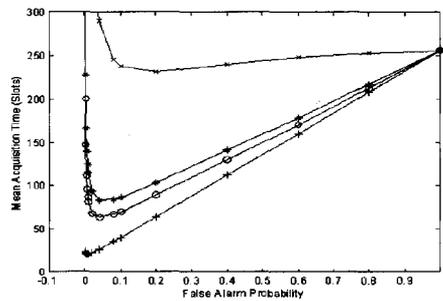
에 의해 공시간 탐색기가 탐색하는 동안에 단일 사용자 환경 하에서 동작할 때도 탐색기의 검출 능력을 상당히 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.



- +-+ : SNR=10 dB (제안된 구조)
- o- : SNR= 5 dB (제안된 구조)
- \*- : SNR= 10 dB (기존 구조)
- x- : SNR= 5dB (기존 구조)

그림 3. 탐색기의 동작 특성

평균 획득 시간측면에서 오경보 확률과 검출 확률의 영향을 조사하기 위해서 기지국 탐색기에 대한 상태의 수는 3G W-CDMA uplink [5]의 신호 검파율 고려해서 32로 하고, 오경보 발생시 지연손실은 15 타임 슬롯과 같다고 가정한다. (즉, 이것은 기지국 탐색기가 한번의 오경보가 발생하는 한 후 한개의 프레임 타임 주기 후에야 다음 시간간격(Timing hypothesis)로 진행한다는 것을 의미한다.)



- +-+ : SNR=10 dB (제안된 구조)
- o- : SNR= 5 dB (제안된 구조)
- \*- : SNR= 10 dB (기존 구조)
- x- : SNR= 5dB (기존 구조)

그림 4. 제안된 탐색기와 기존의 탐색기에 대한 오경보 확률대비 평균획득 시간

위와 같은 가정 하에서 매열 처리 이득은 그림 4에서 보는 바와 같이 기존의 탐색기에 비하여 상당한 개선을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 기존의 탐색기에서 오정보 확률이 10dB의 SNR을 가정 시 0.01일 때 이에 상응하는 검출확률은 0.2751과 같다. 이 경우 기존의 탐색기에서 평균 획득 시간은 약 84 슬롯에 해당한다. 즉, 이 조건 하에서 56ms이다. 또한 비교를 위하여 제안된 탐색기에서의 오정보 확률은 위와 같이 검출 확률은 0.9422일 때 평균 획득 시간은 약 21 슬롯이고, 즉 14ms이다. 따라서 10dB의 SNR을 가지고 새로운 신호 경로가 나타났을 때 제안된 구조의 탐색기를 가지는 수신단은 21개의 W-CDMA 슬롯의 평균 획득 시간 내에 다른 다중 경로 신호들과 함께 결합할 수 있다. 반면에 기존의 탐색기를 가지는 수신단은 84개 W-CDMA 슬롯의 평균 획득 시간을 요구한다. 제안된 탐색기는 주어진 조건 하에서 기존의 탐색기와 비교해서 약 1/4로 평균 획득 시간을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 통화 채널을 위한 다중 경로 탐색기의 검출 능력을 향상시키기 위해서 공-시간 탐색기 구조를 제안하였다. 이 구조는 새로운 다중 경로 신호에 대한 탐색할 때 공-시간 처리를 함으로써 탐색 성능을 상당히 개선할 수 있다. 제안된 탐색기와 기존의 탐색기의 오정보 확률에 대비하여 검출 확률을 비교하였고 평균 획득 시간에 대한 수학적 예로는 제안된 구조가 기존의 구조와 비교해서 평균 획득 시간을 상당히 감소시킴을 보여 주었다. 이 제안된 구조는 예로 주어진 조건하에서 약로 평균 획득 시간을 감소시킬 수 있어서 이동국이 서비스영역의 가장자리에 존재하여 핸드오프(Handoff)를 수행할 시 신속하게 새로이 나타나는 신호경로를 획득하여 다중 경로 신호를 결합함으로써 보다 개선된 무선 링크 채널의 품질을 얻는데 기여할 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] A. F. Naguib, *Adaptive antennas for CDMA wireless networks*, Ph D

thesis, Stanford University, Aug. 1996.

- [2] S. W. Kim, D. S. Ha, and J. H. Kim, "Performance Gain of Smart Dual Antennas at Handsets in 3G CDMA System," *CDMA International Conference*, Vol. 2, pp. 223-227, Nov. 2000.
- [3] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*, Wiley, 2002.
- [4] A. J. Viterbi, *Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison Wesley, 1995.
- [5] 3G TS 25.214, "Physical layer procedures (FDD)," Tech. Rep., 3GPP, June 2000.

김 정 호 (Jeong-Ho Kim)

정회원



1991년 2월 : 한국 과학기술원  
전기 및 전자공학과 학사  
1993년 2월 : 한국 과학기술원  
전기 및 전자공학과 석사  
1999년 2월 한국 과학기술원  
전기 및 전자공학과 공학박사

1993년 1월~1995년 7월 : LG전자 멀티미디어 연구소  
1999년 3월 ~ 2000년 2월 : LG정보통신 중앙연구소  
신입연구원

2000년 3월 ~ 2001년 6월 : Virginia Tech.

MPRG(Mobile Radio Research Group)

Visiting Scholar

2001년 7월 ~ 2002년 8월 : LG전자 UMTS시스템  
연구소 책임연구원

2002년 9월 ~ 현재 : 이화여자대학교 공과대학  
정보통신학과 전임강사

<주관심분야> 스마트 안테나 시스템, 무선 디지털  
통신, 무선 네트워크, 확산 대역통신, 이동통신 네트  
워크, 3G W-CDMA 시스템