

기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 성능

정회원 김 광순*, 박 소령*, 윤 석 호*, 송 익 호*, 이 용 업**

Performance of the Decorrelating Detector Using Base Station Antenna Arrays

Kwang Soon Kim*, So Ryoung Park*, Seokho Yoon*, Ickho Song*,
Yong Up Lee*** *Regular Members*

요 약

이 논문에서는, 벡터 채널 모형을 제안하고 그 모형에서 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 점근효율을 통계학적으로 분석한다. 퍼진 각 채널이 아닐 때, 안테나를 무한히 많이 쓰면 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 점근효율을 1까지 높일 수 있음을 보인다. 퍼진 각 채널에서도 안테나 배열을 써서 역상관 검파기의 점근효율을 높일 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, a vector channel model is proposed, and some statistical properties of the asymptotic efficiency of the decorrelating detector using base-station antenna arrays are investigated. It is shown that we can increase the asymptotic efficiency of the decorrelating detector using base-station antenna arrays up to unity if we use infinitely many antennas when the channel is angle-nondispersive. For angle-dispersive channels, it is shown that we can enhance the asymptotic efficiency of the decorrelating detector by employing antenna arrays.

1. 서 론

부호분할 다중접속 방식이 다른 방식들보다 스펙트럼 효율이 높고^[1], 여러 쓰는이 검파를 [2][3] 써서 부호분할 다중접속 방식의 주 단점인 쓰는이 사이 간섭과 원근 문제를 줄일 수 있다는 연구가 요즘 많이 나오고 있다. 보기를 들면, 여러 쓰는이 검파를 다룬 연구들 가운데, 최적 여러 쓰는이 검파기와 그 점근효율을 [2]에서 연구하였다. 최적 여러 쓰는이 검파기는 오류율이 낮아서 성능은 좋지만, 쓰는이가 많아지면 판단 알고리즘이 지수적으로 복잡해진다. 한편, 역상관 검파기는^{[3][5]} 원근 저항성을 띤 간단한 준최적 여러 쓰는이 검파기이고, 그 점근효율이 최적 여러 쓰는이 검파기보다 조금 떨어지지만 상대적으로 열개가 간단하며 이제까지의 한

쓰는이 검파기보다 성능이 뛰어나다.

한편, [4][5]에서 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 여러 쓰는이 검파기를 연구하였다. 기지국 안테나 배열을 쓰면, 안테나 다양성을 써서 결합 이득을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 공간 다양성으로 점근효율도 높일 수 있다. 이는 서명 파형의 교차상관과 함께 채널 벡터의 교차상관도 점근효율에 영향을 미치기 때문이다. 일반적으로 채널 벡터가 전파 환경을 따라 바뀌므로, 계통의 성능을 더 잘 이해하려면 채널 벡터의 통계학적 모형과 그 모형에서 역상관 여러 쓰는이 검파기의 점근효율을 통계학적으로 살펴 볼 필요가 있다. 이동통신 계통에서, 기지국 안테나 배열의 수신 신호는 곧은 길 신호뿐만 아니라 그 곧은 길 신호와 동기되어 있으면서 위상이 늦고 크기가 바뀐 퍼진 각 신호들을 포함하고

* 한국과학기술원 전기및전자공학과(isong@Sejong.kaist.ac.kr)

** 한림대학교 전자공학부(yulee@hee.ee.hallym.ac.kr)

논문번호 : 98105-0312, 접수일자 : 1998년 3월 12일

있을 때가 매우 많다^{[6]-[8]}.

이 논문에서는, 부호분할 다중접속 방식의 벡터 채널 모형을 제안하고, 제안한 모형에서 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 접근효율을 통계학적으로 분석한다.

II. 계통과 채널 모형

비동기 채널에서 이동국으로부터 안테나 배열을 쓰는 기지국으로의 역방향 연결을 생각하자. 사이가 d 인 M 안테나로 이루어진 균일 선형 배열을 쓴다고 두고, m 째 안테나의 총격 응답을

$$h_m(t) = \sum_{i=1}^N h_i \delta\left(t - \frac{l_{i,m}}{c}\right) \quad (1)$$

이라 하자. 여기서, N 은 길 수, h_i 는 i 째 감쇠 성분, $l_{i,m}$ 은 이동국으로부터 m 째 안테나까지의 길 가운데 i 째 길의 길이, c 는 빛의 속력이다. 이 때, m 째 안테나의 주파수 응답은

$$H_m(f) = \sum_{i=1}^N h_i e^{-j2\pi f \frac{l_{i,m}}{c}} \quad (2)$$

이다. $l_{i,m}$ 을 다음과 같이 나타내자.

$$l_{i,m} = l_{i,1} + (m-1)d \sin \theta_i. \quad (3)$$

여기서, θ_i 는 i 째 파형의 도착각이다. 이제, 다음과 같이 정의하자.

$$H(f) = [H_1(f) \ H_2(f) \ \dots \ H_M(f)]^T, \quad (4)$$

$$v(\theta_i) = [1 \ e^{-j2\pi \Delta \sin \theta_i} \ \dots \ e^{-j2\pi(M-1)\Delta \sin \theta_i}]^T. \quad (5)$$

여기서, $\Delta = \frac{2\pi d}{\lambda}$ 이고 λ 는 파장이다. 그러면, 기지국 안테나 배열의 주파수 응답은

$$H(f) = e^{-\frac{j2\pi f l_c}{\lambda}} \sum_{i=1}^N h_i e^{j\phi_i} v(\theta_i) \quad (6)$$

이고, 여기서 $\phi_i = \frac{-2\pi(l_{i,1} - l_c)}{\lambda}$ 이며, l_c 는 이동국과 첫째 안테나 사이의 거리이다. 그러므로, 채널 벡터는

$$\tilde{a} = \sum_{i=1}^N h_i e^{j\phi_i} v(\theta_i) \quad (7)$$

이고, 기지국 안테나 배열의 수신 신호는

$$r(t) = \tilde{a} u(t-\tau) \quad (8)$$

이다. 여기서, $u(t)$ 는 이동국의 송신 신호이다.

이제, \tilde{a} 의 통계학적 모형을 생각해 보자. 먼저, 다음과 같이 두자.

가정 1 확률변수 h_i , ϕ_i , θ_i 는 서로 독립이다.

가정 2 확률수열 $\{h_i\}_{i=1}^N$, $\{\phi_i\}_{i=1}^N$, $\{\theta_i\}_{i=1}^N$ 은 각각 분포가 같고 서로 독립이며, $E(\theta_i) = \theta_c$ 이고 $E(e^{j\phi_i}) = 0$ 이다.

가정 3 임의의 N 에서 $E(Nh_i) < \infty$ 이다.

그러면, 다음의 도음정리와 정리를 보일 수 있다.

도음정리 1 $\bar{a} = E\{v(\theta)|\theta_c\} \sum_{i=1}^N h_i e^{j\phi_i}$ 라 할 때, N 이 무한히 커지면 확률적 뜻에서 \tilde{a} 는 \bar{a} 로 수렴한다.

정리 1 $a = E\{v(\theta)|\theta_c\}$, $ae^{j\phi} = \sum_{i=1}^N h_i e^{j\phi_i}$ 라 할 때, N 이 무한히 커지면 확률적 뜻에서 \tilde{a} 는 $ae^{j\phi} a$ 로 수렴한다. 여기서, a 는 레일리 확률 변수이고 ϕ 는 $[0, 2\pi]$ 에 걸쳐 고르게 퍼져있는 확률 변수이다.

정리 1에서는 안테나 배열의 수신 신호가 복소값 확률변수 $ae^{j\phi}$ 와 평균 배열응답벡터 a 가 곱해진 꼴로 나타난다는 것을 보였다. 이 때, 평균 배열 응답벡터는 신호도착각의 분포로부터 얻을 수 있다. 무선환경에서 신호도착각의 분포는 퍼진 꼴로 나타나게 되며, 정규분포로 꽤 잘 모형화 할 수 있다^{[9][10]}. 이 논문에서는, $(\Delta \sin \theta_i) \bmod 2\pi$ 가 평균이 $(\Delta \sin \theta_c) \bmod 2\pi$ 이고 분산이 η^2 인 정규 확률 변수라고 둔다. 이때, 매개변수 η 를 퍼짐이라 부르자. 그러면, 채널 벡터 a 를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a = \frac{1}{\sqrt{2\pi\eta^2}} \int_{-\infty}^{\infty} v(\theta) \cdot e^{-\frac{((\Delta \sin \theta) \bmod 2\pi - (\Delta \sin \theta_c) \bmod 2\pi)^2}{2\eta^2}} d\theta \quad (9)$$

$$= \left[1 \ e^{-\frac{1}{2}\eta^2 - j\Delta \sin \theta_c} \ \dots \ e^{-\frac{1}{2}(M-1)^2\eta^2 - j(M-1)\Delta \sin \theta_c} \right]^T.$$

그림 1은 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 여러 쓰는 검파기이다. 안테나 배열의 수신 신호 벡

터는 먼저 정합여파기를 지나 빔형성과 채널 추정기로 들어간다. 정합여파기와 채널 추정기의 출력으로부터 빔형성된 신호 벡터 $y_a(n)$ 을 얻고, 역상관과 판단을 거친 뒤, 쓰느이 정보 신호를 얻을 수 있다.

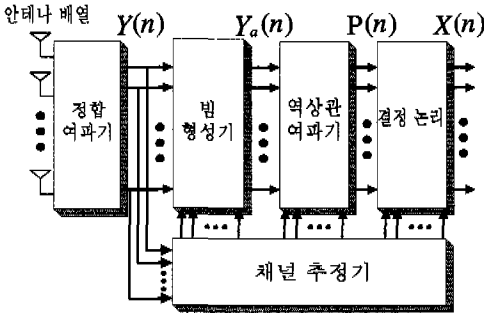


그림 1. 수신기 열계

빔형성과 역상관을 거친 뒤, 검파기의 출력은 다음과 같다^{[4][5]}.

$$\begin{aligned} P(n) &= \Lambda^{-1} Y_a(n) \\ &= WX(n) + \Lambda^{-1}N(n) \\ &= WX(n) + N_d(n). \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $X(n)$ 은 쓰느이 정보 벡터, Λ 는 ij 제 원소가 $\gamma_{i,j}(a_i^H a_j) / (\|a_i\| \|a_j\|)$ 인 역상관 행렬, $\gamma_{i,j}$ 는 i 제와 j 제 쓰느이 서명 파형 사이의 교차상관, a_k 는 k 제 쓰느이의 채널 벡터, $y_i(n)$ 은 정합여파기 출력 벡터 $Y(n)$ 의 i 제 원소, $Y_a(n)$ 은 i 제 원소가 $a_i^H y_i(n) / \|a_i\|$ 인 빔형성기의 출력 열 벡터, W 는 k 제 원소가 $\sqrt{P_k} a_k e^{j\theta_k} \|a_k\|$ 인 대각 행렬, a_k 는 k 제 쓰느이의 감쇄 과정이고, $N(n)$ 과 $N_d(n)$ 는 공분산 행렬이 각각 $(\sigma_n^2/T)\Lambda$ 와 $(\sigma_n^2/T)\Lambda^{-1}$ 인 잡음 벡터이며, 여기서 T_s 는 심볼 주기이다.

이제, k 제 쓰느이의 검파기 출력이 $\rho_k = \sqrt{P_k} a_k e^{j\theta_k} \|a_k\| x(n) + n_{d,k}(n)$ 임을 알 수 있다. 여기서, $n_{d,k}(n)$ 은 $n_d(n)$ 의 k 제 원소이다. 다른 쓰느이로 말미암은 간섭이 없어졌고, 잡음의 분산이 $[\Lambda^{-1}]_{k,k}$ 만큼 커진 것을 볼 수 있다. [2]에는 여러 쓰느이 검파기를 쓴 시스템의 성능을 나타내는 방법으로, 쓰느이가 한 사람일 때 같은 비트 오류율

을 얻을 수 있는 상대적인 심볼 에너지를 점근효율로 정의하였다. 역상관 검파기를 거치면, 잡음의 분산이 $[\Lambda^{-1}]_{k,k}$ 만큼 커지므로, 쓰느이가 한 사람일 때와 같은 성능을 가지려면 심볼 에너지도 $[\Lambda^{-1}]_{k,k}$ 만큼 커져야 할 것이다. 그러므로, k 제 쓰느이의 점근효율 AE 는 다음과 같다.

$$AE_k = [\Lambda^{-1}]_{k,k}^{-1} = \frac{Det(\Lambda)}{[Adj(\Lambda)]_{k,k}}. \quad (11)$$

여기서, $[R]_{i,j}$ 는 R 의 ij 제 원소를 나타낸다. 위 식에서 쓰느이의 채널 벡터가 점근효율에 영향을 준다는 것을 쉽게 알 수 있다.

III. 두 가지 채널에서의 점근효율

먼저, 쓰느이가 둘일 때의 점근효율은

$$AE = 1 - \gamma_{1,2} \gamma_{2,1} d_{1,2} d_{2,1} = 1 - \gamma_{1,2}^2 \|d_{1,2}\|^2 \quad (12)$$

이다. 여기서, $d_{p,k} = (a_p^H a_k) / \|a_p\| \|a_k\|$ 는 채널 벡터 a_p 와 a_k 사이의 교차상관이고, $\|d_{1,2}\|$ 의 평균 EAE 와 분산 VAE 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$EAE = 1 - \gamma_{1,2}^2 E\{\|d_{1,2}\|^2\}, \quad (13)$$

$$VAE = \gamma_{1,2}^4 Var\{\|d_{1,2}\|^2\}. \quad (14)$$

1. 퍼진 각 채널이 아닐 때

수신 신호에 도착각 θ 인 길이 하나만 있다면, 곧, $\eta \rightarrow 0$ 이면, k 제 쓰느이의 채널 벡터 a_k 는 다음과 같다.

$$a_k = [1 e^{-j d \sin \theta_k} \dots e^{-j(M-1)d \sin \theta_k}]^T. \quad (15)$$

여기서, θ_k 는 k 제 쓰느이의 도착각이다. 이 때, 채널 벡터는 다른 배열 신호처리 기법에서 쓰는 조종 벡터와 같다는 것을 눈여겨보자.

그러면, $\|d_{1,2}\|^2$ 을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \|d_{1,2}\|^2 &= \frac{\|a_1\|^H a_2\|^2}{\|a_1\|^2 \|a_2\|^2} \\ &= \frac{1}{M^2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \cos[p d (\sin \theta_1 - \sin \theta_2)]. \end{aligned} \quad (16)$$

여기서,

$$\beta_{1,2}(p) = \begin{cases} M & p=0, \\ 2(M-p) & p > 0. \end{cases} \quad (17)$$

그러므로, θ_1 과 θ_2 의 분포가 주어지면 EAE와 VAE를 계산할 수 있다. θ_1 과 θ_2 를 $[-\pi, \pi]$ 에 걸쳐 고르게 퍼져있는 독립 확률 변수라고 두자. 그러면, 다음 두 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} E(\|d_{1,2}\|^2) &= \frac{1}{4\pi^2 M^2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \\ &\int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos[p\Delta(\sin \theta_1 - \sin \theta_2)] d\theta_1 d\theta_2 \\ &= \frac{1}{M^2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) J_0^2(p\Delta), \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} E(\|d_{1,2}\|^4) &= \frac{1}{2M^4} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) \\ &\cdot [J_0^2((p+l)\Delta) + J_0^2((p-l)\Delta)]. \end{aligned} \quad (19)$$

여기서, J_0 는 1종 0차 베셀 함수이다.

그러므로, EAE와 VAE를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$EAE = 1 - \frac{\gamma_{1,2}^2}{M} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) J_0^2(p\Delta), \quad (20)$$

$$\begin{aligned} VAE &= \frac{\gamma_{1,2}^4}{2M^4} \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{l=1}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) \\ &[J_0^2((p+l)\Delta) + J_0^2((p-l)\Delta) - 2J_0^2(p\Delta)J_0^2(l\Delta)] \end{aligned} \quad (21)$$

그림 2와 3은, 쓰느이가 둘이고 서명 수열로 골드 수열을 쓸 때, 안테나 사이의 거리에 따른 안테나 수와 EAE와 VAE의 관계를 보여준다. 안테나 사이의 거리가 커지거나 안테나 수가 늘어나면 EAE는 커지는 것을 볼 수 있다. 또, 안테나 사이의 거리를 $\lambda/2$ 이상으로 늘일 때는 얻을 수 있는 이득이 크지 않음을 볼 수 있다. 안테나가 하나일 때

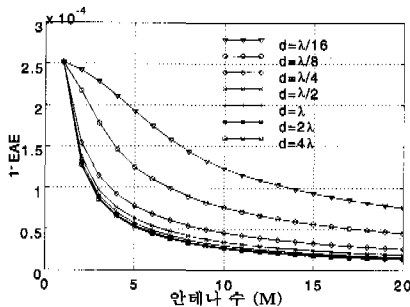


그림 2. 쓰느이가 둘이고 주기 63인 골드 수열을 쓸때의 EAE

VAE는 0이다. 안테나 수가 늘어나면 VAE는 처음에는 커지다가 다시 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이 때, 안테나 사이의 거리가 커질수록 VAE가 더 빨리 줄어드는 것을 볼 수 있다.

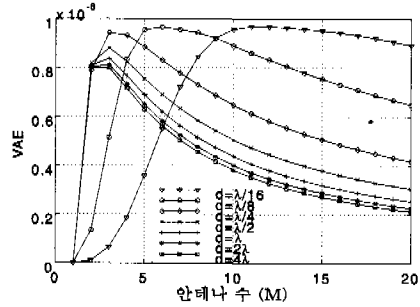


그림 3. 쓰느이가 둘이고 주기 63인 골드 수열을 쓸때의 VAE

이제, 안테나를 무한히 많이 쓸 때를 생각해 보자. 부등식 $J_0(x) \leq \frac{1}{|x|}$ 과 $\lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M} \sum_{p=1}^M \frac{1}{p} = 0$ 을 쓰면, 다음 두 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \lim_{M \rightarrow \infty} E(\|d_{1,2}\|^2) &= \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{M^2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) J_0^2(p\Delta) \\ &\leq \lim_{M \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{M} + \frac{2}{M\Delta} \sum_{p=1}^{M-1} \frac{1}{p} \right) \\ &= 0, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \lim_{M \rightarrow \infty} E(\|d_{1,2}\|^4) &= \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{1}{2M^4} \left(\sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) + \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) J_0^2(2p\Delta) \right. \\ &+ \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{l=1, l \neq p}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) J_0^2((p+l)\Delta) \\ &+ \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{l=1, l \neq p}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) J_0^2((p-l)\Delta) \left. \right) \\ &\leq \lim_{M \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{2M^4} \sum_{p=0}^{M-1} 4M^2 + \frac{1}{4\Delta M^4} \sum_{p=0}^{M-1} \frac{4M^2}{p} \right. \\ &+ \frac{1}{2\Delta M^4} \sum_{p=1}^{2M-3} \frac{4M^3}{p} + \left. \frac{1}{2\Delta M^4} \sum_{p=1}^{M-2} \frac{4M^3}{p} \right) \\ &= 0. \end{aligned} \quad (23)$$

그러므로,

$$\lim_{M \rightarrow \infty} EAE = 1, \quad (24)$$

$$\lim_{M \rightarrow \infty} VAE = 0 \quad (25)$$

가 된다. 이 결과는, 퍼진 각 채널이 아닐 때 안테나를 무한히 많이 쓰면, 쓰느이가 하나일 때와 같은 성능을 얻을 수 있다는 것을 뜻한다.

2. 퍼진 각 채널일 때

퍼진 각 채널일 때, (9)에 주어진 채널 벡터를 생 각해 보자. $T_k = \|a_k\|^2 = \sum_{p=0}^{M-1} e^{-(\rho\eta)^2}$ 라 정의하면, $\|d_{1,2}\|^2$ 과 $\|d_{1,2}\|^4$ 을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\|d_{1,2}\|^2 = \frac{1}{T_1 T_2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \cdot \cos[p\Delta(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)], \quad (26)$$

$$\|d_{1,2}\|^4 = \frac{1}{2(T_1 T_2)^2} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) \cdot (\cos[(p+l)\Delta(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)] + \cos[(p-l)\Delta(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)]). \quad (27)$$

여기서,

$$\beta_{i,j}(p) = \begin{cases} \sum_{q=0}^{M-1} e^{-\rho^2(\eta_i^2 + \eta_j^2)} & p=0, \\ 2 \sum_{q=0}^{M-1-p} e^{-\frac{1}{2}\rho^2(\eta_i^2 + \eta_j^2)} e^{-\frac{1}{2}\rho^2(p+q)(\eta_i^2 + \eta_j^2)} & p > 0 \end{cases} \quad (28)$$

이다. 그러므로, 이들의 평균은 다음과 같다.

$$E(\|d_{1,2}\|^2) = \frac{1}{T_1 T_2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) J_0^2(p\Delta), \quad (29)$$

$$E(\|d_{1,2}\|^4) = \frac{1}{2(T_1 T_2)^2} \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) \cdot [J_0^2((p+l)\Delta) + J_0^2((p-l)\Delta)]. \quad (30)$$

그러면, EAE와 VAE는 다음과 같다.

$$EAE = 1 - \frac{\gamma_{1,2}^2}{T_1 T_2} \sum_{p=0}^{M-1} \beta_{1,2}(p) J_0^2(p\Delta), \quad (31)$$

$$VAE = \frac{\gamma_{1,2}^4}{2(T_1 T_2)^2} \sum_{p=1}^{M-1} \sum_{l=1}^{M-1} \beta_{1,2}(p) \beta_{1,2}(l) \cdot [J_0^2((p+l)\Delta) + J_0^2((p-l)\Delta) - 2J_0^2(p\Delta)J_0^2(l\Delta)] \quad (32)$$

그림 4는 쓰느이가 돌이고, 안테나 사이의 거리가 $\lambda/2$ 이며, 안테나 수가 1, 2, ..., 5일 때의 EAE이다. 여기서, θ_1 과 θ_2 는 $[0, 2\pi]$ 에 걸친 균일 확률 밀도 함수를 써서 만들었고, $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ 로 두었다. 1000번 실험하여 얻은 결과를 (31)로 얻은 결과와 같이 나타내었다. 안테나 수가 늘어나고 퍼짐이 줄어들면 EAE가 커짐을 볼 수 있다. 그림 5는 쓰는

이가 돌이고, 안테나 사이의 거리가 $\lambda/2$ 이며, 안테나 수가 1, 3, ..., 9일 때의 VAE이다. 그림 4와 마찬가지로, θ_1 과 θ_2 는 $[0, 2\pi]$ 에 걸친 균일 확률 밀도 함수를 써서 만들었고, $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ 로 두고 1000번 실험하여 얻은 결과를 (32)로 얻은 결과와 같이 나타내었다. 안테나를 많이 쓰면 그림 3에서와 같이 VAE가 작아지는 것을 볼 수 있다. 또한, 퍼짐이 클수록 VAE는 줄어들고 안테나 수의 영향을 적게 받는 것을 볼 수 있다.

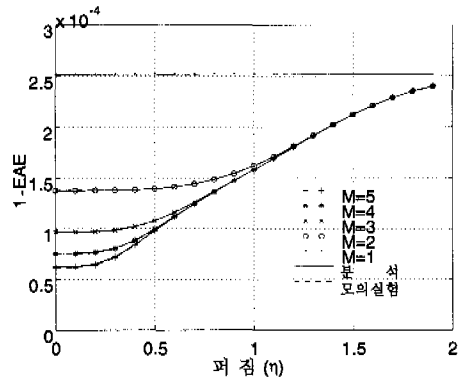


그림 4. 쓰느이가 돌, 안테나 사이의 거리가 $\lambda/2$, $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ 이고, 주기 63인 골드 수열을 쓸 때의 EAE

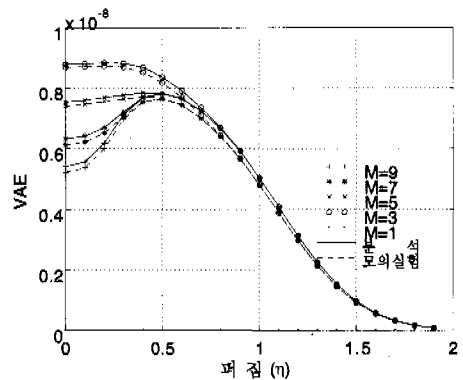


그림 5. 쓰느이가 돌, 안테나 사이의 거리가 $\lambda/2$, $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ 이고, 주기 63인 골드 수열을 쓸 때의 VAE

그림 6과 7은 안테나 수가 1, 2, 3이고 쓰느이 수가 30일 때의 EAE와 VAE를 보여준다. 여기서, θ_k , $k=1, 2, \dots, 30$ 은 $[0, 2\pi]$ 에 걸친 균일 확률 밀도 함수를 써서 만들었고, $\eta_k = \eta$, $k=1, 2, \dots, 30$ 이라고 두었다. 주기 63인 서명 수열로 골드 수열을 썼으며, 1000번씩 실험하여 평균을 얻었다. 쓰느이

가 들일 때와 마찬가지로 안테나 수가 늘어나거나 퍼짐이 줄어들면 EAE는 커지고, 안테나 수가 늘면 VAE가 줄어들고 퍼짐이 클수록 VAE는 안테나 수의 영향을 덜 받는 것을 볼 수 있다.

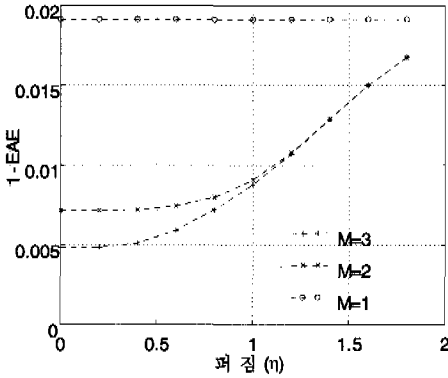


그림 6. 쓰noon이가 30명이고 안테나 수가 1, 2, 3일 때의 EAE

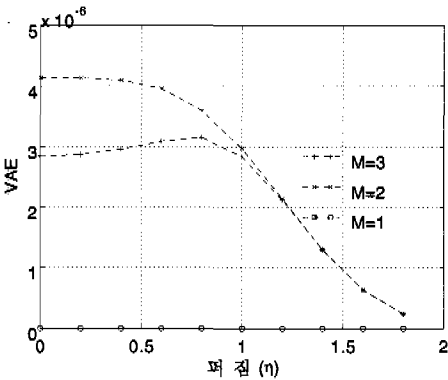


그림 7. 쓰noon이가 30명이고 안테나 수가 1, 2, 3일 때의 VAE

이제, 안테나를 무한히 많이 쓸 때를 생각해 보자. 문제를 간단히 하고자 $\eta_1 = \eta_2 = \eta$ 일 때를 생각한다. 먼저, $\eta=0$ (퍼진 각 채널이 아닐 때) 이라 두면,

$$T_1 = T_2 = M, \quad (33)$$

$$\beta_{1,2}(p) = \begin{cases} M & p=0, \\ 2(M-p) & p > 0 \end{cases} \quad (34)$$

이다. 퍼진 각 채널이 아닐 때의 EAE와 VAE에 건주어 보면, 퍼진 각 채널 모형은 퍼진 각 채널이 아닐 때의 모형을 일반화한 형태라는 것을 쉽게 알 수 있다.

이제, 각 퍼짐의 영향을 생각해 보자. η 가 작다고 두면,

$$\begin{aligned} \lim_{M \rightarrow \infty} T_1 = \lim_{M \rightarrow \infty} T_2 &= \sum_{p=0}^{\infty} e^{-(p\eta)^2} \\ &\approx \frac{1}{\eta} \int_0^{\infty} e^{-x^2} dx, \\ &= \sqrt{\frac{\pi}{4\eta^2}}, \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \lim_{M \rightarrow \infty} \beta_{1,2}(0) &= \sum_{p=0}^{\infty} e^{-2(p\eta)^2} \\ &\approx \frac{1}{\eta} \int_0^{\infty} e^{-2x^2} dx, \\ &= \sqrt{\frac{\pi}{8\eta^2}} \end{aligned} \quad (36)$$

이다. 그러므로, 다음을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \lim_{M \rightarrow \infty} EAE &\leq 1 - \gamma_{1,2}^2 \lim_{M \rightarrow \infty} \frac{\beta_{1,2}(0)}{T_1 T_2} \\ &\approx 1 - \gamma_{1,2}^2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \eta. \end{aligned} \quad (37)$$

$\eta > 0$ 이면 안테나를 무한히 많이 써도 EAE가 1이 될 수 없지만, η 가 0으로 가까이 가면 (퍼짐이 없어지면) EAE는 1로 수렴함을 다시 확인할 수 있다.

$\eta \rightarrow \infty$ 일 때를 (퍼짐이 무한할 때) 생각해 보자. 도착각의 분포는 $[0, 2\pi]$ 에 걸친 균일 분포라고 두자. $T_1 = T_2 = 1$ 이고 $\beta_{1,2}(p) = \delta(p)$ 이므로, EAE가 $1 - \gamma_{1,2}^2$ 임을 (31)로부터 알 수 있다. 여기서, $\delta(\cdot)$ 는 크로네커 델타 함수이다. 그러므로, 각 퍼짐이 무한할 때는 기지국 안테나 배열을 써서 접근효율을 좋게 할 수 없다.

IV. 맺음말

이 논문에서는, 부호분할 다중접속 계통의 통계학적 벡터 채널 모형을 제안하고, 그 모형에서 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 접근효율을 분석하였다. 퍼진 각 채널이 아닐 때, 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 접근효율은 안테나를 무한히 많이 쓰면 1까지 높일 수 있음을 보였다. 퍼짐이 무한하지 않을 때는, 안테나 배열을 써서 접근효율을 높일 수 있으며, 안테나가 많고 각 퍼짐이 작으면 높은 이득을 얻을 수 있음을 보였다. 그러나, 퍼짐이 무한할 때는, 안테나를 무한히 많이 쓰더라도 기지국 안테나 배열을 쓰는 역상관 검파기의 접근효율을 높일 수 없었다.

등)

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1985년 8월 : 펜실베니아대학교 전기공학과 공학석사
- 1987년 5월 : 펜실베니아대학교 전기공학과 공학박사
- 1987년 3월~1988년 2월 : 벨 통신연구소 연구원
- 1988년 3월~1991년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 조교수
- 1991년 9월~1998년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수
- 1998년 9월~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수
- 1995년 1월~현재 : 한국통신학회 논문지 편집위원
- 1996년 1월~현재 : 한국음향학회 영문논문지 편집위원
- 1998년 1월~현재 : Journ. Comm., Networks 편집위원
- 1991년 11월, 1996년 11월: 한국통신학회 학술상 받음
- 1993년 11월 : 한국음향학회 우수연구상 받음
- 1998년 11월 : 한국통신학회 LG학술상 받음
- 1998년, 1999년 : 마퀴스 세계 인명록에 실림
- 대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회원; IEE 회원; IEEE 선임회원
- <주관심 분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

이 용 업(Yong Up Lee) 정회원

- 1962년 10월 5일 태어남
- 1985년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1987년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
- 1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
- 1986년 8월~1998년 2월 : (주)삼성전자, 멀티미디어 연구소 영상통신그룹 선임연구원
- 1998년 3월~현재 : 한림대학교 전자공학부 전임강사
- 1995년 2월 : 삼성 휴먼테크 논문대상 은상 수상
- <주관심 분야> 통계학적 신호처리, 배열신호처리, 이동통신 이론