

적응 배열 안테나를 이용한 DSRC와 ETC 상호간 간섭 제거에 관한 연구

The Study of Interference Cancellation between DSRC and ETC with Adaptive Array Antenna

정재승 · 이병섭

Jae-Seung Jeong · Byung-Seub Lee

요 약

ITS의 다양한 서비스를 위한 5.8 GHz 주파수 대역에서의 무선 통신 시스템의 설치에 상호간의 간섭을 발생시키며, 그 대표적인 경우로서 이중 통신 시스템인 DSRC 시스템과 ETC 시스템의 주파수 공유는 상호간의 간섭으로 인하여 양쪽 또는 한쪽 시스템이 통신 오류나 통신 방해를 받게 된다. 이에 대한 해결책으로 차단벽(Shield Plate), 안테나 지향성(Antenna Directionality), 전력 제어(Power Control)의 이용 등이 제안되고 있으나, 이것은 원하는 사용자와 간섭원의 위치에 대한 정보를 RSU에서 가지고 있지 않으므로, 완전한 해결책이 될 수 없다. 그러므로, 본 논문에서는 원하는 사용자에 대해서는 상대적으로 높은 이득을 취하고, 간섭원의 방향으로 null을 형성하는 적응 배열 안테나를 DSRC, ETC 시스템의 상, 하향 링크에 적용함으로써, 두 시스템에 미치는 간섭의 영향이 약 20 dB 감쇄된 것을 BER 성능을 통해 보인다.

Abstract

The installation of wireless communication system for various services of ITS at 5.8 GHz generates mutual interference. The representative example, the sharing of frequency between DSRC system and ETC system is a cause of communication error or disturbance both sides or one side owing to mutual interference. As a solution, a Shield Plate, Antenna Directionality, Power Control is proposed, but these are not perfect solution, because a RSU doesn't have the information of position of interferer.

This paper applies an adaptive array antenna which makes a gain for desired users, makes a null for interferer, to up-link, down-link of DSRC and ETC system. the analysis of BER performance shows the effect of reduced interference about 20 dB.

I. 서 론

ITS(Intelligent Transport Systems)란 도로와 차량을 최첨단의 정보통신 기술을 이용, 결합함으로써 도로 이용을 최적으로 하여 안전하고 쾌적하고 효율적인 교통을 실현 가능하게 하는 정보통신 네트워크와 교통 네트워크의 통합 시스템이다. 미래에

ITS의 많은 새로운 서비스는 도로 교통 문제를 해결하는데 도움을 줄 것이며, 새로운 서비스로는 교통 정보, 여행자 길 안내, 주차 관리, 요금 징수 등이 있다. 새로운 서비스를 위한 5.8 GHz 주파수 대역에서의 이중 통신 시스템의 설치에 상호간의 간섭을 발생시키며, 그 대표적인 경우로 본 논문에서 다루는 DSRC(Dedicated Short Range Commun-

한국항공대학교 항공통신정보공학과(Dept. of Telecomm. & Inform. Eng., Hankuk Aviation University)

· 논문 번호 : 20000316-035

· 수정완료일자 : 2000년 8월 31일

ications)와 ETC(Electronic Toll Collection) 시스템 상호간의 간섭이다.

이중 통신 시스템인 DSRC와 ETC의 주파수 공유는 상호간의 간섭으로 양쪽 또는 한쪽 시스템이 통신 오류나 통신 방해를 받게 되어, 이에 대한 대책이 요구된다. 두 시스템의 간섭을 경감시키는 기법으로 전력 제어(Power Control), 안테나 지향성(Antenna Directionality), 차단벽(Shield Plate) 등을 두 시스템의 RSU(Roadside Unit)에 적용하는 것이 제안되어 왔다^[1]. 하지만 전력 제어와 안테나 지향성은 OBU(On Board Unit)의 위치를 RSU에서 알 수 없으므로 완전한 두 시스템간의 간섭을 제거하는 역할은 하지 못하고, 차단벽은 LOS(Line Of Sight) 성분의 간섭은 감쇠시킬 수 있으나, 다중 경로(Multi-Path) 성분으로 인한 간섭은 제거할 수 없다.

본 논문에서는 이에 대한 해결책으로 적응 배열 안테나(Adaptive Array Antenna)를 두 시스템의 상향 링크(UP-Link)와 하향 링크(Down-Link)에 적용함으로써, 두 시스템에 미치는 감쇄된 간섭의 영향을 BER(Bit Error Rate) 성능을 통해 보인다.

II. DSRC 시스템과 ETC 시스템의 주파수 공유시 시스템 모델

2-1 수신 전력 채널 모델 (Channel Model for Received Power)과 오율 특성

DSRC와 ETC는 LOS가 존재하는 무선 통신 시스템이므로, 자유 공간 전송모델로 수신 신호 전력을 예측할 수 있다. 송수신 안테나가 거리, d 만큼 떨어져 있다고 가정하면, 다음의 Friis 전달 공식을 통해 수신 전력을 나타낼 수 있다^[2].

$$P_r(d) = \frac{EIRPG_s \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (1)$$

여기서, $EIRP = P_t G_t$

G_t, G_r : 송, 수신 안테나 이득

L : 시스템 손실

$\lambda = \frac{c}{f}$: 파장 (Wave Length)

AWGN의 잡음 전력은 아래의 식에 의해 계산되 어 진다.

$$N = E[n^2(t)] = kTB \\ = -137 \text{ dBW} \quad (2)$$

여기서, k : Boltzman's constant

$(1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K})$

T : Antenna noise temperature

B : Noise bandwidth

수신되는 전체 평균 전력을 수식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

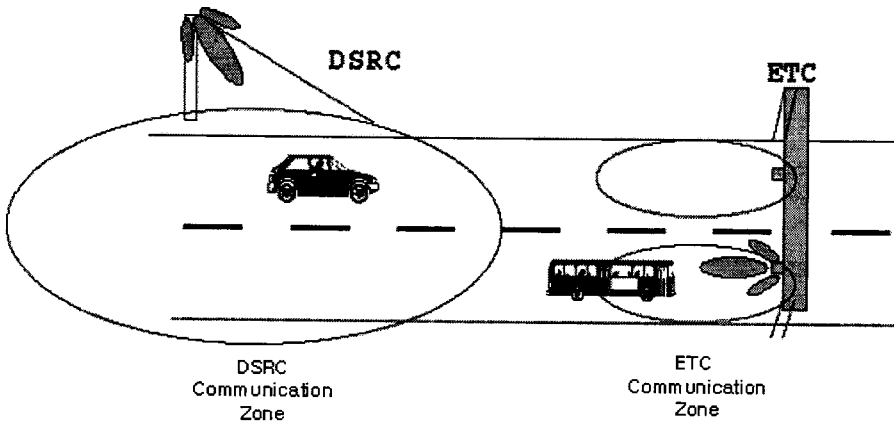


그림 1. DSRC와 ETC 시스템의 적응배열안테나 적용

Fig. 1. DSRC and ETC System with Adaptive Array Antenna.

$$P_{total} = P_{LOS} + P_m + P_i \quad (3)$$

여기서, P_{LOS} 는 LOS(Line of Sight)로 인한 수신 전력, P_m 은 다중 경로(Multi-path)로 인한 평균 수신 전력, P_i 는 이중 통신 시스템에서의 간섭 전력이다.

그러므로, 라이시안 지수(Rician Factor) K 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다^[3].

$$K = \frac{P_{LOS}}{P_m + P_i} \quad (4)$$

그러므로, 식 (4)의 라이시안 지수를 이용한 라이시안(Rician) 페이딩 채널 환경에서의 ASK, DPSK 시스템의 오율식은 각각 다음과 같다^[4].

$$P_b = \frac{1}{2} \left[Q \left(\frac{\alpha}{\sigma_2} \right) + Q \left(\frac{\sqrt{4P} T_b - \alpha}{\sigma_1} \right) \right] \quad (5)$$

여기서, ASK 시스템 오율식의 잡음전력은 $s_1(t)$ 가 전송되었을 때, $\alpha_1^2 = N_0 T_b + 4PT_b^2 \sigma^2$ 이고, $\sigma_2^2 = N_0 T_b$ 이다.

식 (6)은 DPSK 시스템의 오율식을 나타내며, ETC 시스템은 아주 가까운 거리에서 통신이 이루어지는 채널 특성으로 Slow fading 채널 모델의 오율식을 적용하였다^[4].

$$P_b = \frac{K}{2(K + E_b/N_0)} \exp \left[-\frac{K(E_b/N_0)}{K + E_b/N_0} \right] \quad (6)$$

여기서, K 는 라이시안 지수이고, E_b/N_0 는 비트 에너지대 잡음 전력 스택트럼 밀도비이다.

2-2 시스템 모델 (System Model)

2-2-1 ETC가 DSRC의 간섭원이 되는 경우

ETC 시스템이 DSRC 시스템에 영향을 주는 경우는 그림 2와 같이 3가지 경우로 나눌 수 있다. 먼저 Case 1의 경우는 DSRC 시스템이 Down Link 통신 중에 ETC (RSU)로부터 영향을 받는 경우이고, Case 2의 경우는 DSRC 시스템이 Up Link 통신 중에 ETC RSU의 간섭을 받는 경우이다. Case 3의 경우는 DSRC 시스템이 Up Link 통신 중에 ETC OBU의 간섭을 받는 경우이다. 각각의 가정된 상황은 각 시스템의 전송 전력세기와 두 시스템간의 거리에 따라 간섭의 정도가 다르다. 그리고 각 상황을 단순화 하기 위해 DSRC 시스템 Cell 내에서 OBU는 RSU로부터 약 50m 지점에서의 통신을 하고 있는 것으로 가정하였다. DSRC(RSU)의 지향성 안테나에 수신되는 ETC 시스템 간섭 신호의 안테나 이득은 DSRC 시스템 전송 신호의 안테나 이득에 비해 3[dB] 낮게 고려하였다.

2-2-2 DSRC가 ETC의 간섭원이 되는 경우

DSRC 시스템이 ETC 시스템에 간섭을 주는 경우는 ETC가 간섭원이 되는 경우와 마찬가지로 그림 3에서 3가지 경우로 나누어 나타내었다. 먼저 ETC (OBU)는 ETC (RSU)로부터 5 m 되는 지점에서의 채널 환경을 가지는 것으로 가정하였고, ETC (RSU)의 지향성 안테나에 수신되는 DSRC로부터의 간섭 성분은 ETC(OBU)의 신호에 비해 안테나 이득을 3 dB 낮게 수신하는 것으로 하였다.

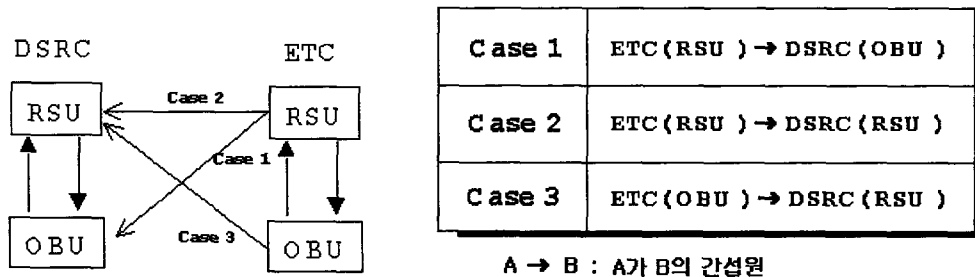


그림 2. ETC가 DSRC의 간섭원이 되는 경우
Fig. 2. In case ETC is the interference of DSRC.

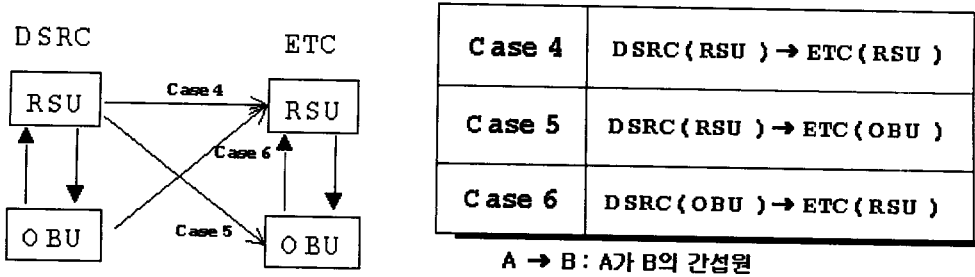


그림 3. DSRC가 ETC의 간섭원이 되는 각 상황
Fig. 3. In case DSRC is the interference of ETC.

Case 4, 5는 DSRC(RSU)가 ETC (RSU), ETC (OBU)에 각각 간섭원이 되는 경우이고, Case 6은 DSRC (OBU)가 ETC(RSU)의 간섭원이 되는 경우이다.

III. 적응 배열 안테나 (Adaptive Array Antenna)를 이용한 시스템 모델

3-1 상향 링크에서의 적응 배열 안테나 동작 원리

적응 배열 안테나는 다른 각도에서 들어오는 동일 채널(Cochannel) 신호의 간섭을 적응 알고리즘(Adaptive Algorithm)을 이용하여 널(Null)을 형성하여 분리할 수 있다. 그러므로, 이러한 적응 배열 안테나를 DSRC 시스템의 상,하향 링크에 적용함으로써, DSRC 시스템의 상향 링크(Up-Link)에서 적용된 가중치 벡터(Weight Vector)를 하향 링크(Down-Link)에 그대로 적용함으로써 전송 빔 형성(Transmission beam forming)을 할 수 있다. 그리고, 본 논문에서 적용하려는 시스템의 통신 방식은 상,하향 링크에 동일한 주파수를 할당하고 송수신 동작을 시간적으로 분리하는 시분할 이중모드(TDD : Time Division Duplex)이므로, 상향 링크에 적용된 가중치 벡터를 하향 링크에 그대로 적용해도 충분한 성능 향상을 기대할 수 있다.

그림 4는 DSRC, ETC 시스템의 RSU에 적용된 적응 배열 안테나 구조를 보인 것이다. 각 배열 안테나 소자에 수신된 신호는 기저 대역 신호(Base-band Signal)로 변환 뒤 A/D 컨버터를 통과한 후 적

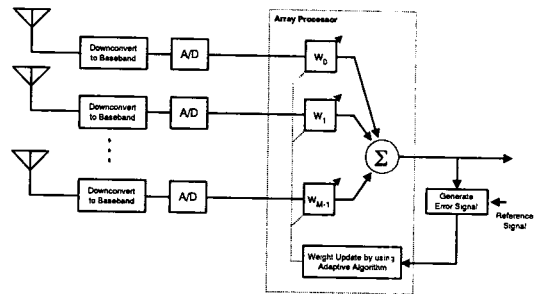


그림 4. 적응 배열 안테나 구조
Fig. 4. The structure of Adaptive Array Antenna.

용 배열 안테나 신호 처리부(Adaptive Array Signal Processor)로 들어 가게 된다. 적응 배열 안테나 신호 처리부를 수식을 통해 살펴보면 다음과 같다.

A/D 컨버터를 통과한 신호는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(i) = [y_1(i) y_2(i) \dots y_M(i)]^T \quad (7)$$

그리고 적응 배열 안테나의 복소 가중치 벡터는 식 (8)과 같다.

$$w(i) = [w_1(i) w_2(i) \dots w_M(i)]^T \quad (8)$$

본 논문에서 사용한 LMS(Least Mean Square) 알고리즘은 ESPRIT(Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Technique)나 MUSIC(Multiple Signal Classification) 알고리즘과 같이 AOA(Angle Of Arrival)를 구하여서 신호의 방향으로 빔을 형성하는 방식과는 달리 최대 출력 SIR(Signal to Interference Ratio)값을 제공해 주도록 동작하는 최적 합성(Optimum Combining)방식의 알고

리즘이다. LMS 알고리즘은 다음의 과정을 반복함으로써 원하는 복소 가중치 값을 구할 수 있다^[6].

$$e(i) = \hat{z}(i) - z(i) = \hat{z}(i) - \mathbf{w}^H \mathbf{y}(i) \quad (9)$$

$$w(i+1) = w(i) + \mu \mathbf{y}(i) e^*(i) \quad (10)$$

여기서, μ 는 step size, $e(i)$ 는 i 번째 에러 신호이고, $[\]^H$ 는 Hermitian Transpose이다.

식 (10)에서 구한 복소 가중치 벡터는 아래의 식에 의해 출력 신호를 생성한다^[5].

$$z(i) = \mathbf{w}(i)^H \mathbf{y}(i) \quad (11)$$

3-2 하향 링크에서의 적응 배열 안테나 동작 원리

상향 링크에서 구한 적응 배열 안테나의 복소 가중치를 TDD통신 방식을 가진 통신 시스템의 하향 링크에 적용하였을 때, 상향 링크와 하향 링크의 채널 환경은 다르지만, 일반적으로 평균치로 근사한 값을 가진다. 그리고 상향 링크 빔 형성시 다른 통신 시스템에서 오는 간섭의 방향으로 null을 형성하므로 하향 링크에서 다른 시스템으로의 간섭을 최소화 할 수 있다.

배열 소자(array element)에서 K 번째 사용자까지의 채널 환경을 나타내면, 식 (12)와 같다.

$$\mathbf{h}_k = [h_{1,k} \cdots h_{m,k}] \quad (12)$$

적응 배열 안테나에서 k 번째 사용자에 대한 상향 링크에서 형성된 복소 가중치 벡터를 적용하여 전송하였을 때, k 번째 사용자의 수신 신호를 수식으로 나타내면 식 (13)과 같다^[9].

$$r_k = s(t) \mathbf{w}_k^H \mathbf{h}_k + n_k \quad (13)$$

여기서, 채널 벡터 \mathbf{h}_k 는 송, 수신기의 전기적인 손실, 무선 통신 채널 환경의 손실 등을 포함한 모든 채널 상황이고, n_k 는 평균이 0이고, 분산값으로 σ^2 을 가지는 AWGN을 나타낸다.

IV. 시뮬레이션 결과 (Simulated Results)

동일 주파수를 공유하는 DSRC, ETC 시스템의 RF 파라미터는 표 1에서 나타내었다. DSRC 시스템은 상, 하향 링크 모두에 ASK 변조 방식을 적용하는 능동 방식이고, ETC 시스템의 상향 링크에는 DPSK 변조 방식, 하향 링크에는 ASK 변조 방식을 사용하는 수동 방식이다^[10].

표 1. DSRC, ETC 시스템 RF 파라미터

Table 1. RF parameter of DSRC and ETC.

	DSRC	ETC(Privately-Owned)
Carrier Frequency	5.8 GHz	5.8 GHz
Modulation	Up, Down Link : ASK	Up Link : DPSK Down Link : ASK
Data Rate	1.024 Mbps	1.024 Mbps
RSU	EIRP : 30 dBm Received Antenna gain : 6 dBi (without adaptive array) Adaptive Array Antenna element 수 : 6 Adaptive Algorithm : LMS ($\mu=0.01$)	EIRP : 33 dBm Received Antenna gain : 20 dBi (without adaptive array) Adaptive Array Antenna element 수 : 6 Adaptive Algorithm : LMS ($\mu=0.01$)
OBU	EIRP : 10 dBm Omni Antenna	EIRP : -24 dBm Omni Antenna
Channel Environment	Rician Fading Channel (Rician Factor K=20 dB)	Rician Fading Channel (Rician Factor K=20 dB)

표 1에서 안테나 이득(Antenna gain)은 적응 배열 안테나를 적용하지 않고, 기존 시스템에서 지향성 안테나를 적용하였을 때의 이득이며, OBU에서는 옴니 안테나를 적용하였다. 그림 5는 두 통신 시스템의 상호 간섭이 존재할 경우의 RSU에서의 빔 패턴을 나타낸 것이며, 그림 5의 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 사용된 적응 배열 안테나 파라미터는 배열 소자는 6개, 소자간의 간격은 $\lambda/2$ (λ :파장), LMS 알고리즘의 step size는 0.01로 두었다.

그림 5는 상향 링크에서 적응 배열 안테나를 이용하여 얻어진 빔 패턴이고, 원하는 사용자로의 이득(Gain)은 0 dB, 다른 통신 시스템으로부터의 간섭은 약 -38 dB로 null이 형성되었다. 하지만, 상향 링크에서 구한 가중치를 하향 링크에 적용시에는 약 10°의 빔 폭을 가지고 전송하는 것으로 가정하여 간섭원의 방향으로 -20 dB 감쇄를 주었다.

그림 6(a), (b)는 ETC 시스템으로부터 간섭이 있을 경우(그림 2)에 적응 배열 안테나를 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 BER 성능을 보인 것이다. 그림 6 (c), (d)는 DSRC 시스템이 ETC 시스템에 간섭을 주는 경우이다. 그림 6의 DSRC와 ETC 시스템 CELL내의 무선 통신 채널 환경은 K가 20 dB로 거의 AWGN 환경으로 두고, DSRC와 ETC 시스템의 거리에 따른 BER 특성을 나타낸 것이다. 그림 6 (a) Case 1은 ETC RSU가 DSRC OBU에 간섭을 주는 경우로 두 시스템간 거리를 약 510 m 이상을 두어

야 신뢰성 있는 데이터 통신을 위한 BER인 10^{-6} 을 확보할 수 있다. Case 2는 ETC RSU가 DSRC RSU에 간섭을 주는 경우로 DSRC OBU에 비하여 ETC RSU의 전송 전력이 세기 때문에 두 시스템간의 거리가 1 km 이내에 있을 때에는 ETC RSU의 간섭으로 인하여 안정된 데이터 통신을 할 수 없다. 하지만 Case 3은 ETC OBU의 전송 전력의 세기가 DSRC OBU에 비하여 상대적으로 매우 작기 때문에 거의 간섭의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

Case 1, 2에 적응 배열 안테나를 적용하였을 때에는 Case 1의 경우는 약 50 m 이상, Case 2의 경우는 약 7 m 이상의 거리를 두면, 10^{-6} 의 BER을 얻을 수 있다.

그림 6(c)에서 Case 5의 경우는 ETC 시스템이 하향 링크 상에 있으며, ETC RSU의 전송 전력이 DSRC RSU의 전송 전력보다 상대적으로 세기 때문에 30 m 이상 거리를 두면 ETC 시스템의 하향 링크는 안정된 데이터 통신을 할 수 있다. Case 4, 6의 경우는 ETC OBU의 전송 전력이 DSRC 시스템 전송 전력보다 상대적으로 매우 작기 때문에 두 시스템간의 거리가 1 km 이내에서는 안정된 데이터 통신을 할 수 없다. 하지만 적응 배열 안테나를 적용하였을 때, Case 4, 6의 경우는 약 18 m, Case 5의 경우는 약 3 m 이상의 거리를 두면, 신뢰성 있는 데이터 통신을 할 수 있다.

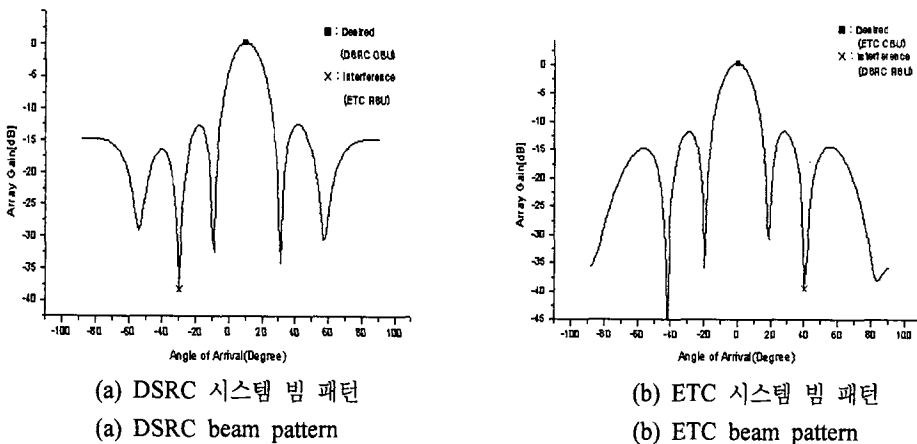
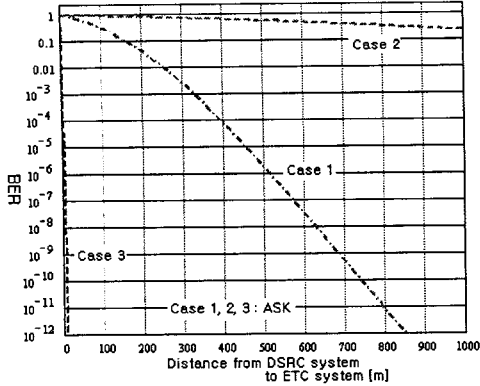
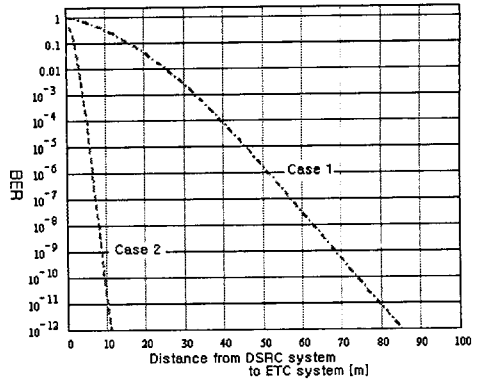


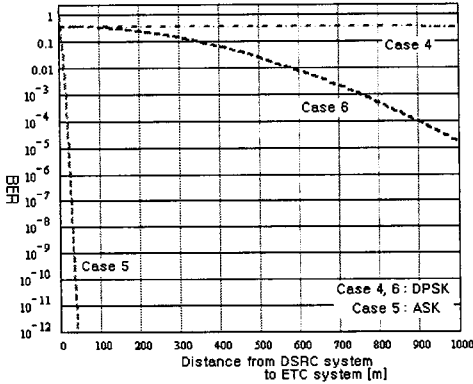
그림 5. DSRC, ETC시스템 상향 링크 빔 패턴
Fig. 5. DSRC and ETC beam pattern of Uplink.



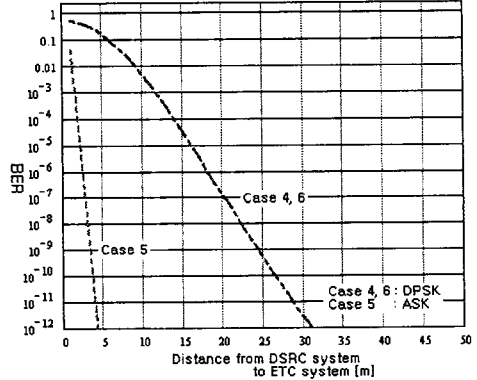
(a) 적응 배열 안테나 적용하지 않았을 때 BER (Case 1, 2, 3)
(a) BER without Adaptive Array Antenna



(b) 적응 배열 안테나 적용 시 BER (Case 1, 2)
(b) BER with Adaptive Array Antenna



(c) 적응 배열 안테나 적용하지 않았을 때 BER (Case 4, 5, 6)
(c) BER without Adaptive Array Antenna



(d) 적응 배열 안테나 적용 시 BER(Case 4, 5, 6)
(d) BER with Adaptive Array Antenna

그림 6. 적응 배열 안테나 적용시 BER 성능 비교

Fig. 6. The comparison of BER Performance with Adaptive Array Antenna.

V. 결 론

본 논문에서는 이중 통신 시스템인 DSRC와 ETC 시스템을 5.8 GHz 주파수 대역에서 공유했을 때 발생하는 간섭과 이에 대한 해결책으로 상, 하향 링크에 적응 배열 안테나를 제시하였다.

DSRC, ETC 통신 시스템의 상향 링크에서 얻어진 AOA 정보를 하향 링크에 그대로 적용하는 것은

FDD (Frequency Division Duplex) 통신 방식을 가진 통신 시스템에서는 상, 하향 링크에서의 주파수대역의 차이로 인하여 적절하지 않다. 하지만 우리나라에서 표준화 작업을 하고 있는 DSRC, ETC 시스템은 상, 하향 링크 모두 동일 주파수 대역을 사용하여 좀 더 효율적으로 주파수를 이용할 수 있는 TDD 통신 방식을 채택하고 있으므로, 상향 링크에서 얻어진 AOA의 정보를 하향 링크에 그대로 적용할 수 있다^[7].

시뮬레이션 결과에 의하면, 적응 배열 안테나를 적용하지 않았을 때 ETC 시스템으로부터 간섭이 있을 경우 ETC RSU 전송 전력이 세기 때문에 1000 m 이내에서는 DSRC 시스템이 신뢰할 수 있는 데이터 통신을 할 수 없었다. 하지만, 두 시스템에 적응 배열 안테나를 적용하였을 때에 DSRC가 하향 링크일 경우(Case 1)는 약 50 m 이상, 상향 링크일 경우(Case 2)는 약 7 m 이상의 거리를 두면, 신뢰성 있는 BER인 10^{-6} 을 얻을 수 있다.

DSRC로부터의 간섭이 있는 경우는 ETC 시스템이 수동 방식이기 때문에 OBU 전송 전력이 DSRC 시스템의 전송 전력보다 상대적으로 약하기 때문에 ETC 시스템의 상향 링크에서는 낮은 BER 을 얻을 수 없다. 하지만 적응 배열 안테나를 적용하였을 때, ETC 시스템 상향 링크에서 DSRC RSU, OBU의 간섭이 있는 경우(Case 4, 6)는 약 18 m의 거리를 두면 신뢰성 있는 데이터 통신을 할 수 있다.

ETC 시스템에 적응 배열 안테나를 적용하였을 때에는 DSRC의 간섭을 제거할 수 있을 뿐만 아니라 차량에 대한 위치 정보도 ETC RSU에서 얻게 되므로 차선간 OBU에서 발생하는 간섭도 감쇄시킬 수 있다^[7].

본 논문에서는 비교적 단순하고, 적응 속도가 느린 LMS알고리즘을 사용하였으나, 수렴 속도가 빠른 DMI, RLS알고리즘을 이용하면 간섭 신호에 대한 null을 더 빨리 줄 수 있다. 하지만 계산량이 많아지는 단점이 있으며, 고속의 DSP(Digital Signal Processing) 기술의 발달과 함께 이동 통신 채널 환경에 적당한 알고리즘의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] ARINC, "Spectrum Requirements for Dedicated Short Range Communications (DSRC) Public Safety and Commercial Applications", Federal

Highway Administration, Turner Fair Research Center, July, 1996.

- [2] T. S. Rappaport, *Wireless Communications Principle & Practice*, Prentice-Hall PTR, 1996.
- [3] Roberto Verdone, "Outage Probability Analysis for Short Range Communication System at 60 GHz in ATT Urban Environments", *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, vol. 46, Nov., 1997.
- [4] Andreas Polydoros, "Vehicle to Roadside Communications", *California PATH Research Report*, Southern California Uni, June, 1993.
- [5] J. C. Liberti, Jr, T. S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communications*, Prentice Hall PTR, 1999.
- [6] B. Widrow and S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall Inc., 1995.
- [7] F. Dobias, W. Grabow, "Adaptive Array Antennas For 5.8 Ghz Vehicle To Roadside Communication", *IEEE 44 th Vehicular Technology Conference*, Stockholm, vol. 3, June, 1994.
- [8] D. Gerlach and A. Paulraj. "Adaptive Transmitting Antenna With Feedbck", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 1, pp. 150-152, October, 1994.
- [9] E. Visotsky, U. Madhow, "Optimum Beamforming Using Transmit Antenna Arrays", *IEEE 49 th Vehicular Technology Conference*, vol. 1, pp. 851-856, May, 1999.
- [10] 오현서, 임춘식, "지능형 교통시스템용 5.8 GHz 근거리 전용 고속 패킷 통신 시스템 개발", *Telecommunications Review*. 제9권 4호, 1999.

정 재 승



1999년 2월: 한국항공대학교 항공
통신정보공학과(공학사)

1999년 3월~현재: 한국항공대학
교 항공통신정보공학과 대학원
석사과정 재학중

[주 관심분야] DSRC, 다중 사용자
수신기, 스마트 안테나

이 병 섭



1979년 2월: 한국항공대학교 항공
통신정보공학과(공학사)

1981년 2월: 서울대학교 전자공학
과 대학원(공학석사)

1981년 2월~1992년 1월: 한국전
자통신연구원

1990년 5월: New Jersey Institute of
Technology(공학박사)

1992년 9월~현재: 한국항공대학교 항공통신정보공학과
부교수

[주 관심분야] 위성 통신, 신호 처리, Adaptive array