

ECMA UWB AAS 시스템의 전송률 향상을 위한 보완 빔 방법

준회원 김 석 현*, 지 영 근*, 이 흥 원*, 종신회원 정 재 학*

Complementary Beamforming Method Increasing Throughput in ECMA UWB AAS Systems

Seokhyeon Kim*, Younggun Ji*, Hongwon Lee* *Associate Members*,
Jaehak Chung* *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 ECMA(European Computer Manufacturers Association) 표준의 MB-OFDM(MultiBand-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) UWB 시스템에 AAS(Adaptive Antenna Systems)를 적용함으로써 데이터 전송 범위를 확장하는 방법을 제안하고, ECMA UWB 시스템의 다중 접속 방법으로 사용되는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 환경에서 AAS를 적용할 때 발생하는 음영 빔 문제를 해결하기 위해 보완 빔 형성 방법을 제안한다. 제안된 보완 빔은 그람-슈미츠(Gram-Schmidt) 직교화 방법을 이용하여 주 빔에 간섭을 주지 않고 빔 음영 지역의 노드들이 채널의 사용 유무를 감지할 수 있도록 하였으며, 주 빔을 형성할 때 다양한 빔 형성 알고리즘의 적용이 가능한 장점이 있다. 전산 모의실험을 통하여 제안된 AAS 및 보완 빔 방법이 480Mbps 데이터 전송 속도의 데이터 전송 범위를 2m에서 3.95m로 증가시키고, 일반적인 ECMA UWB AAS 시스템에 비해 시스템 전송률을 약 20%정도 향상시키는 것을 확인하였다.

Key Words : Complementary beamforming (CBF), UWB, AAS, CSMA/CA, MB-OFDM

ABSTRACT

In this paper, the extension method of data transmission range as adapting AAS (Adaptive Antenna Systems) in ECMA (European Computer Manufacturers Association) standard MB-OFDM (MultiBand-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) UWB systems is proposed, and the complementary beamforming method which can solve hidden beam problem when we adapt AAS in CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) systems is proposed. To design the complementary beamforming, Gram-Schmidt orthogonalization is utilized, whose beam pattern exhibits perfect nulling at the main beam angles and provides uniform power for detection of channel utilization out of main beam. The proposed method can be utilized with any arbitrary beamforming when we make main beamforming. Through computer simulation, it can be shown that proposed AAS and complementary beamforming increase data transmission range from 2m to 3.95m in 480Mbps data transmission system and increase throughput about 20% as compared with general UWB AAS systems.

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2006-C1090-0603-0019).

* 인하대학교 전자공학과 ({justinksh, ygji, yeusun}@inhaianet, jchung@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-02-070, 접수일자 : 2007년 6월 12일, 최종논문접수일자 : 2007년 7월 18일

I. 서론

차세대 WPAN(Wireless Personal Area Networks) 환경에서의 무선 통신 시스템은 더욱 높은 데이터 전송률과 서비스 품질을 요구하고 있다. UWB(Ultra WideBand)는 -41.3dBm/MHz 이하의 낮은 송신 전력으로 3.1~10.6GHz의 넓은 비인가 대역을 이용하여 근거리에서 높은 데이터 전송률로 통신을 가능하게 하는 기술이다. 유럽 ECMA 표준의 MB-OFDM (MultiBand-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) UWB 기술은 OFDM을 기반으로 2m 전송 범위 내에서 480Mbps의 높은 데이터 전송률을 제공한다^{[1][2]}. 그러나 UWB 시스템의 대용량 다중 멀티미디어에 대한 안정적인 전송과 보다 넓은 전송 범위에 대한 요구는 계속 증가하였고, 이를 위해 UWB 시스템에 AAS를 이용한 빔 형성 기술을 적용하는 연구가 되어왔다^[3].

ECMA UWB는 다중 접속을 위하여 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)^[4]를 사용한다. CSMA/CA는 전 방향 방사에 의해 포함된 제어 정보를 통해 주변의 노드들이 채널의 사용 여부를 감지하는 방식이다. 그러나 일반적인 ECMA UWB에 AAS의 지향성 빔을 사용할 경우 빔의 음영 지역에 있는 노드는 반송과 측정을 못하여 채널이 비어 있다고 판단하고 전송을 시도함으로써 기존의 데이터를 전송하고 있는 노드에 간섭을 일으키게 된다. 이러한 문제를 음영 빔 문제(hidden beam problem)라고 한다^[5]. 음영 빔 문제를 해결하기 위해 음영 지역 노드들에게 일정한 수신 전력을 보장하는 SCBF(Subspace Complementary BeamForming)와 같은 보완 빔 방법들이 제안되었다^{[5][6]}.

본 논문은 ECMA UWB시스템에 AAS와 보완 빔 기술을 적용하였으며, AAS의 주 빔에 임의의 빔 형성 방식을 사용할 수 있도록 그람-슈미츠(Gram-Schmidt) 방법을 적용한 보완 빔 형성 방법을 제안한다. 전산 모의실험을 통해 제안한 AAS 및 보완 빔이 ECMA UWB 시스템의 전송률을 향상시키고 전송 범위를 확장하는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 UWB에 AAS를 적용하기 위한 운용 방법을 설명하고, III장에서는 음영 빔 문제를 해결하기 위해 그람-슈미츠 직교화를 통한 보완 빔 형성 방법을 설명한다. IV장에서는 보완 빔의 형성과 이를 통한 시스템 전송률 향상에 관한 전산 모의실험을 수행하고 그에 따른 결론을 V장에서 맺는다.

II. UWB를 위한 AAS 방법

2.1 적응형 안테나 시스템(AAS)

추가적인 전송 전력 없이 데이터 전송 범위를 확장할 수 있는 송신 AAS기술은 그림 1에서와 같이 송신 신호에 가중치를 줌으로써 빔을 형성하는 방법이다^[7]. 빔 형성을 위한 가중치 벡터는 Conventional (지연-합), Null Steering, MVDR(Minimum Variance Distortionless Response) 빔 형성 알고리즘과 같이 신호의 DOA(Direction Of Arrival)를 이용하는 SRB (Spatial Reference Beamforming) 방법과 기준 신호를 이용하여 MMSE(Minimum Mean Square Error), LMS (Least Mean Square), RLS(Recursive Least Square)등의 적응 처리 알고리즘을 사용하는 TRB(Temporal Reference Beamforming) 방법으로 구할 수 있다^{[8][9][10]}.

본 논문에서는 UWB 시스템에 AAS를 적용할 때 이 중 간단한 지연-합 빔 형성 방법을 사용하기로 한다. 그러나 상기에 언급된 모든 빔 형성 방법이 적용 가능하다.

UWB 시스템은 TDD(Time Division Duplexing) 방식을 사용함으로써 송신단에서 사용하는 가중치 벡터를 수신된 신호를 이용하여 구할 수 있다. N 개의 선형 배열 안테나를 가진 노드의 수신 신호를 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$y(m) = \sum_{l=0}^L \mathbf{h}_{k,l} s_k(m-l) + \mathbf{n}(m), \quad (1)$$

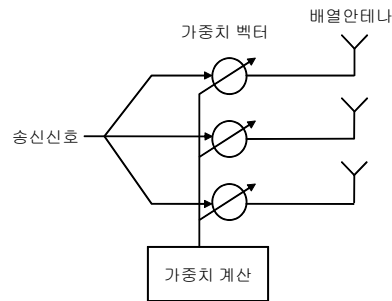


그림 1. 일반적인 송신 빔 형성 구조

$y(m)$ 은 $N \times 1$ 의 크기를 갖는 m 번째 시간에 수신된 신호의 벡터를 의미하고, $\mathbf{h}_{k,l}$ 는 l 번째 시간 지연에서 $N \times 1$ 의 크기를 갖는 송신 노드 k 와 수신 노드 간의 채널 공간 특성을 의미한다. s_k 는 노드 k 에 의해 송신된 신호를 의미하고, $\mathbf{n}(m)$ 은 시간 m

에서 독립적이며 같은 분포를 갖는 평균이 0이고 전력이 1인 $N \times 1$ 크기의 백색 가우시안 잡음 벡터를 의미한다. 본 논문에서는 표기의 편의를 위하여 자유공간 ($L=0$)을 가정하고 L 값을 식에서 사용하지 않는다. 이에 따른 채널 벡터 \mathbf{h}_k 는 다음과 같이 채널의 이득 g 와 안테나 배열 구조 및 신호의 도달 각도에 따른 배열 응답 벡터 $\mathbf{a}(\theta)$ 로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{h}_k = g\mathbf{a}(\theta). \quad (2)$$

반 파장의 간격을 가진 균일한 선형 배열 안테나인 경우 배열 응답 벡터 $\mathbf{a}(\theta)$ 는 다음 식 (3)과 같다.

$$\mathbf{a}(\theta) = [1 \ e^{j\pi \sin(\theta)} \ e^{j2\pi \sin(\theta)} \ \dots \ e^{j(N-1)\pi \sin(\theta)}]. \quad (3)$$

수신된 채널의 배열 응답 벡터 $\mathbf{a}(\theta)$ 를 이용해 가중치 벡터 \mathbf{w} 를 구한 후 신호를 전송하기 전에 곱해줌으로써 빔을 형성할 수 있다. 가중치 벡터 \mathbf{w} 는 다음과 같이 배열 응답 벡터의 Hermitian $(\cdot)^H$ 연산을 통해 구할 수 있다.

$$\mathbf{w} = \mathbf{a}^H(\theta). \quad (4)$$

그러므로 송신신호에 곱하는 각 배열 안테나의 가중치 벡터 \mathbf{w} 는 식 (5)와 같다.

$$\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_n, \dots, w_N]^T, 1 \leq n \leq N. \quad (5)$$

w_n 은 n 번째 안테나의 가중치 값을 의미한다. N 개의 송신 안테나를 가진 노드는 전체 송신 전력이 단일 안테나의 송신 전력과 같도록 각 안테나 전송 신호를 $1/\sqrt{N}$ 크기로 정규화해야 한다.

가중치 벡터 \mathbf{w} 가 곱해진 전송신호가 채널 $\mathbf{h} = [h_1, h_2, \dots, h_N]$ 를 통해 한 개의 안테나를 가진 노드에게 수신 되었을 때, 시간 m' 에서의 수신신호는 다음의 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} y(m') &= \mathbf{h} \frac{\mathbf{w}}{\sqrt{N}} s(m') + n(m') \\ &= g\mathbf{a}(\theta) \frac{\mathbf{a}^H(\theta)}{\sqrt{N}} s(m') + n(m') \\ &= \sqrt{N}gs(m') + n(m'). \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 빔 형성을 통해 수신된 신호는 $N\|g\|^2$ 만큼의 이득을 얻게 되어 수신단 SNR이 증가하게

된다. 그리고 수신 노드가 여러 개의 수신 안테나를 가지고 수신 빔 형성 기술을 사용하면 추가적인 배열 이득을 얻을 수 있다. 빔 형성을 통한 SNR 이득은 송신 전력이 증대하는 것과 같은 효과를 얻게 되어 더 먼 거리에서도 목표 비트 에러율을 만족하게 된다. 즉, AAS를 통해 UWB 시스템의 데이터 전송 범위를 증가시킬 수 있다.

2.2 UWB 시스템을 위한 AAS 적용 기법

본 절에서는 제안된 AAS 기술을 ECMA UWB 시스템에 적용하기 위한 채널 상태 정보 획득 방법에 대해서 설명한다. ECMA UWB 시스템의 데이터 전송 방식은 CSMA/CA 랜덤 접근 프로토콜을 사용한다.

CSMA/CA 방식에서 AAS를 적용하기 위해 본 논문에서는 그림 2와 같이 데이터를 전송하려는 노드 A가 단일 안테나로 RTS를 전송한다. 그리고 RTS를 수신한 노드 중 노드 A의 데이터를 수신하려는 노드 B는 RTS 신호를 통해 채널 정보를 얻고 이를 이용하여 노드 A에게 빔을 형성하여 CTS를 보낸다. 노드 A는 CTS를 통해 얻은 채널 상태 정보를 이용하여 노드 B에게 빔 형성을 통한 데이터 전송을 할 수 있다.

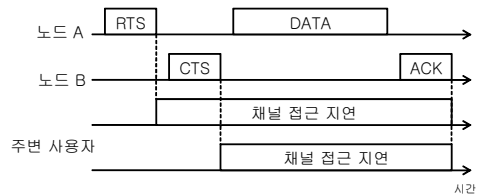


그림 2. CSMA/CA 랜덤 접근 프로토콜

본 절에서는 AAS를 통한 노드 간의 전송거리를 구하기 위해 ECMA UWB와 같은 MB-OFDM 물리 계층을 사용하는 UWB 제안을 참조 하였다^[11]. Link budget 규격에 의해 110Mbps 데이터 전송의 경우는 10m의 전송 범위를 갖고 480Mbps 데이터 전송의 경우는 2m의 전송 범위를 갖는다. AAS를 사용함으로써 발생하는 추가적인 이득에 의한 전송 거리 확대의 범위를 이론적으로 계산하려면 두 개의 노드 간에 전송 경로 손실을 계산해야 한다. 참고문헌 [11]에서 사용하는 거리에 따른 경로 손실 모델은 식 (7)과 같다.

$$PL(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi df_c}{c} \right). \quad (7)$$

여기서 c 는 빛의 속도, f_c 는 전송 반송파 주파수, d

는 송신단과 수신단 사이의 거리를 의미한다. 또한, AAS에 의한 이득을 고려한 두 노드 간의 경로 손실 $PL'(dB)$ 은 식 (8)을 통해 계산할 수 있다.

$$P_r = P_t + G - PL'(dB). \quad (8)$$

P_t 는 송신단의 전력이고, P_r 는 수신단의 전력, G 는 SNR 이득이다. 그러므로 식 (8)에서 구한 $PL'(dB)$ 을 식 (7)에 대입하면 다음과 같이 식 (9)에서 전송 거리를 구할 수 있다.

$$d = \frac{c}{4\pi f_c} 10^{\frac{PL'}{20}}. \quad (9)$$

참고문헌 [11]을 참조하면 480Mbps 데이터 전송의 경우 송신단의 전력은 -10.3dBm이고, 3.88GHz의 반송파 주파수 f_c 와 빛의 속도 c 를 고려한 2m 전송 범위에서 경로 손실 $PL(dB)$ 은 식 (7)에서 50.2dB임을 알 수 있다. 그러므로 480Mbps 데이터를 복호하기 위한 수신단 전력은 송신단의 전력에서 2m의 경로 손실을 뺀 -60.5dBm이다. 만일 송신 노드가 4개의 안테나를 가지고 AAS를 통해 빔을 형성할 경우 단일 안테나를 가진 수신 노드는 식 (6)으로부터 최대 6dB의 추가적인 SNR 이득을 얻을 수 있다. 이 경우 식 (8)에서 G 가 6dB 증가하므로 $PL'(dB)$ 에서 6dB의 추가 적인 경로 손실이 발생하여도 2m 전송 범위에서 데이터 복호가 가능한 수신 전력 P_r 은 -60.5dBm을 유지하게 된다. 이때의 경로 손실 $PL'(dB)$ 은 56.2dB가 되고, 이 값을 식 (9)에 대입하면 480Mbps의 데이터 전송 범위가 기존의 2m에서 약 4m로 증가됨을 알 수 있다.

그러나 UWB 시스템의 데이터 전송 범위 증가를 위해 단순 AAS를 적용하면 그림 3(a)와 같이 노드 C와 D는 노드 B가 노드 A에게 전송하는 신호의 음영 지역에 있게 된다. 그러므로 노드 C와 노드 D는 채널이 비어있다고 판단하고 RTS를 전송할 수 있다. 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 노드 C와 D가 전송 시도를 위해 노드 A와 B의 전송시간 중에 RTS 신호를 보내게 되면 이는 노드 A와 B의 간섭 신호로 작용을 하게 된다. 이를 음영 빔 문제 (hidden beam problem)라고 한다^[5].

III. 음영 빔 문제 해결을 위한 제안된 보완 빔 방법

CSMA/CA환경의 UWB 시스템에 AAS를 적용할

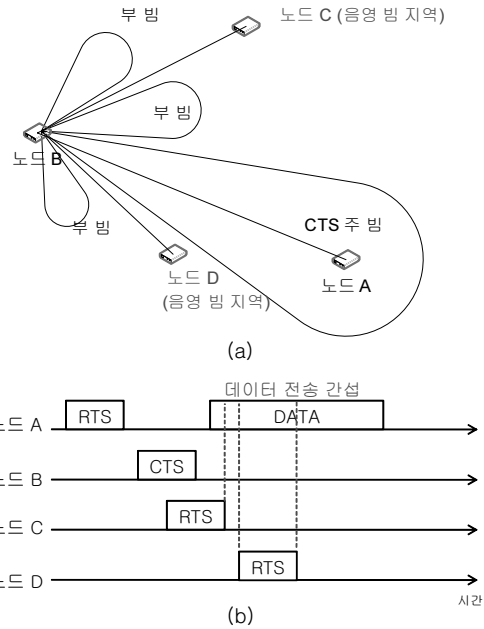


그림 3. 음영 빔 문제

때 발생하는 음영 빔 문제를 해결하기 위해서는 빔의 음영 지역 노드들이 채널의 사용 여부를 감지할 수 있을 만큼의 전력을 가진 신호 전송이 필요하다. 이러한 방법을 보완 빔이라 하는데^[5] 이와 같이 주빔에 간섭을 주지 않고 일정한 준위의 전력을 고른 지역에 전송하는 조건을 만족하는 보완 빔을 형성하는 것은 어렵다. 참고문헌 [6]에서는 채널 배열 응답 벡터를 통해 형성된 주 빔의 가중치 벡터에 직교하는 보완 빔의 가중치 벡터를 구하기 위해 채널 행렬의 특이 값 분해를 이용한 부분 공간 방법이 연구되었다. 그러나 특이 값 분해 방법은 연산량이 많고 주빔 형성을 위해 다양한 빔 형성 알고리즘의 사용이 어렵다. 본 논문에서는 임의의 AAS 알고리즘을 이용하여 생성된 주 빔에 그람-슈미츠 직교화 방법을 적용하여 직교 벡터를 구함으로써 보완 빔을 생성하는 방법을 제안한다.

그림 4는 그람-슈미츠 직교화를 설명하기 위한 프로젝션 방법을 나타낸다. N 개의 배열 안테나를 가진 송신단은 N 차원 공간으로 모델링되고 서로 직교하는 N 개의 기저 벡터를 가지게 된다. 만일 주빔의 개수가 K 라고 하면 K 개의 가중치 벡터를 기준으로 $N - K$ 개의 선형 독립 벡터를 직교화함으로써 보완 빔을 구할 수 있다. 그림 4에서 형성하고자 하는 주빔의 가중치 벡터를 기본 벡터라 하고 그와 선형독립인 다른 벡터를 기본 벡터에 투영한 후 선

형 독립 벡터에서 투영된 벡터를 빼주면 주 빔에 직교하는 보완 빔의 가중치 벡터를 구할 수 있다.

자연-합 빔 형성 알고리즘을 이용하여 식 (4)에서 구한 주 빔의 가중치 벡터 \mathbf{w} 를 \mathbf{w}_{main} 이라 설정하고 식 (10)과 같이 기본 벡터 \mathbf{u}_1 에 대입해 준다.

$$\mathbf{u}_1 = \mathbf{w}_{main}. \quad (10)$$

선형독립 벡터 \mathbf{v}_i 는 식 (11)과 같이 주 빔의 가중치 벡터에 임의의 값 α 를 더해져 쉽게 구할 수 있다.

$$\mathbf{v}_i = [w_1(\theta_1) \dots w_i(\theta_1) + \alpha \dots w_N(\theta_1)]^T$$

$$i = 2, 3, \dots, N. \quad (11)$$

선형독립 벡터 \mathbf{v}_i 를 기본 벡터에 투영하고 빼주는 방법을 이용하여 기본 벡터 \mathbf{u}_1 에 직교하는 가중치 벡터를 순차적으로 구할 수 있으며 이는 식 (12)와 같다.

$$\mathbf{u}_i = \mathbf{v}_i - \sum_{j=1}^{i-1} \frac{\mathbf{w}_j^H \mathbf{v}_i}{\mathbf{w}_j^H \mathbf{w}_j} \cdot \mathbf{v}_j \quad i = 2, 3, \dots, N. \quad (12)$$

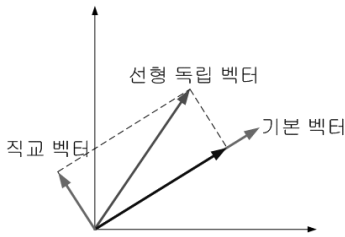


그림 4. 그람-슈미츠 직교화 방법

위의 과정을 통해 i 는 N 까지 순차적으로 구해진 직교 가중치 벡터들은 아래 식 (13)과 같이 정규화를 통해 보완 빔 형성을 위한 가중치 벡터가 된다.

$$\mathbf{w}_i^c = \mathbf{u}_i / \|\mathbf{u}_i\| \quad i = 2, 3, \dots, N. \quad (13)$$

그러므로 K 개의 주 빔을 사용하는 경우, 주 빔과 보완 빔을 포함한 송신 AAS 가중치 행렬은 식 (14)와 같다.

$$\mathbf{W} = \mathbf{W}_{main} + \mathbf{W}^c$$

$$= [\mathbf{w}_1, \dots, \mathbf{w}_k, \mathbf{w}_{k+1}^c, \dots, \mathbf{w}_N^c]. \quad (14)$$

제안된 보완 빔 형성 방법은 음영 지역 노드들이 채널의 사용 여부를 감지 할 수 있도록 주 빔의 일부 전력을 이용하여 보완 빔을 전송한다. 이러한 조건 아래서 주 빔이 최대의 이득을 얻기 위해 보완 빔의 전력은 주 빔의 음영지역 노드들이 반송파 측정이 가능한 최소값을 갖도록 해야 한다. 이를 위해 식 (15)와 같이 주 빔과 보완 빔 사이의 전력제어를 한다.

$$P_{total} = P_{main} \mathbf{W}_{main} + P^c \mathbf{W}^c$$

$$= P_{total} (1 - \varepsilon) \mathbf{W}_{main} + P_{total} \varepsilon \mathbf{W}^c. \quad (15)$$

P_{total} 은 전체 송신전력, P_{main} 은 주 빔의 송신 전력, 그리고 P^c 는 보완 빔의 송신 전력을 의미한다. 전체 송신 전력을 1로 정규화 했을 때 보완 빔의 전력을 P^c 라 하면 주 빔의 전력은 $1 - P^c$ 가 된다. 식 (15)에서 적절한 보완 빔의 전력 P^c 는 주 빔과 보완 빔의 전송거리가 같도록 ε 를 정하는 것이 좋다. 즉, 주 빔은 데이터 복호가 가능한 신호 크기를 갖고, 보완 빔은 신호 존재 유무를 감지할 수 있는 신호 크기를 갖도록 하면 전송 전력이 다르더라도 두 가지의 다른 수신방법에 의한 전송 거리가 같게 된다. 480Mbps 데이터 전송의 경우 주 빔을 통해 전송된 데이터를 복호하기 위한 수신단 전력은 2.2절에서 보인바와 같이 -60.5dBm이고, 보완 빔을 통해 채널의 사용 여부를 감지하기 위한 수신단 전력은 -80.8dBm이다. 주 빔의 전송거리와 같은 거리에 있는 노드들이 채널의 사용 여부를 감지하기 위한 보완 빔의 전력은 식 (8)과 (9)를 통해 계산하였을 때 주 빔 전력의 -20.3dB($\varepsilon = 0.0092$)가 된다.

IV. 제안된 보완 빔 전산 모의실험

본 절에서는 제안된 그람-슈미츠 직교화를 사용한 보완 빔의 빔 형성 패턴을 알아보고, 이를 ECMA UWB AAS시스템에 적용했을 때 시스템 전송률이 향상되는 정도를 알아보는 전산 모의실험을 하였다.

4.1 보완 빔 형성 패턴 모의실험

보완 빔의 빔 형성 패턴을 알아보기 위한 실험 환경은 ECMA UWB 규격을 사용하였다. 부반송파는 128개를 사용하였고 대역 그룹 1 (3.1GHz ~ 4.8GHz)의 채널을 이용한다. 대역 그룹 1 내 3개 부 대역의 주파수를 사용하는 UWB 시스템에 배열 안테나를 적용하기 위해서는 광대역 채널에 따른 정

확한 DOA 및 배열 응답 벡터의 측정이 필요하다. 본 논문에서는 UWB 시스템에 배열 안테나를 적용하기 위한 안테나 간격을 참고문헌 [12]를 이용하여 대역 그룹 1의 기하평균 반송파 주파수 (3.88GHz)에 해당하는 반파장 간격을 가진 균일한 선형 배열 안테나를 가정했다.

UWB의 3.1GHz-4.8GHz의 광대역 주파수로 인하여 배열 안테나에 수신된 신호를 통해 측정된 배열 응답 벡터를 각 밴드에 적용 시킬 경우에 빔 형성이 된 각도의 오차가 발생하고 AAS 시스템의 성능 열화를 시킨다. 배열 응답 벡터의 최대 오차는 중심 주파수 3.88GHz의 주파수와 대역의 시작 주파수 3.1GHz과 대역의 끝 주파수 4.8GHz에서 발생한다. 이 경우 배열 응답 벡터를 통해 계산된 가중치 벡터로 형성한 주 빔의 방향은 최대 2.4°의 오차를 나타낸다. 이 오차로 발생하는 성능 열화는 적으며 이 절의 뒤에 설명을 한다.

본 실험에서는 간단한 결과를 보이기 위해 안테나를 통해 수신된 DOA 정보는 정확히 알고 있다고 가정하고, 음영 지역의 노드들이 채널의 사용 여부를 감지할 수 있는 보완 빔의 전력은 정규화된 주 빔 송신 전력의 0.92% ($\epsilon=0.0092$) 즉, 주 빔의 -20.3dB로 하였다. 그리고 제한된 수의 안테나로 인한 주 빔과 보완 빔 패턴의 물결 현상을 줄이기 위해 Hamming 윈도우를 사용하였다.

그림 5는 안테나의 개수가 4개이고 주 빔의 개수는 1개인 경우, DOA가 10°일 때 보완 빔의 패턴을 나타낸 것이다. 실선은 AAS 주 빔과 보완 빔의 합을 나타낸 그래프이고 점선은 보완 빔, 일점쇄선은 AAS 주 빔을 나타낸다. 그림 5에서 보완 빔 없이 AAS의

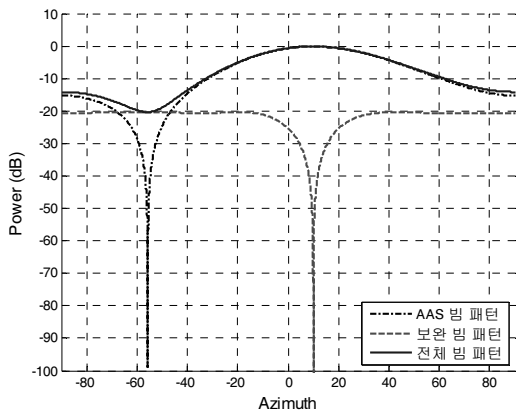


그림 5. 그람-슈미츠 직교화를 이용한 보완 빔 형성 방법의 빔 패턴 DOA=10°, 안테나수=4, 주빔의개수=1

주 빔만을 형성하던 때에 -55°에서 빔 음영지역이 발생하는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 보완 빔은 주 빔을 제외한 모든 방향으로 최소 -20.3dB의 전력이 형성됨을 알 수 있다. 그리고 주 빔의 전송 신호에 간섭을 주지 않기 위해 주 빔의 방향인 10°에서는 보완 빔의 신호가 전송되지 않음을 알 수 있다. 즉, 제안된 보완 빔이 주 빔에 간섭을 주지 않으면서 음영 지역의 노드들이 채널의 사용 여부를 감지할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 보완 빔을 이용한 UWB AAS 시스템 전송률 향상 실험

본 절에서는 ECMA UWB의 CSMA/CA에 본 논문에서 제안한 보완 빔 형성 방법을 적용하였을 때 시스템 전송률이 향상되는 정도를 알아보기 위한 모의 실험을 하였다.

보완 빔에 의한 시스템 전송률의 성능을 보기 위해 몇 가지 실험 조건을 표 1에 나타내었다. ECMA UWB에서 10m의 반경 안에서 균일하게 분포된 노드들로 구성된 애드-혹 네트워크를 가정한다. 각 노드는 4개의 안테나를 가지고 있고, 포아송 분포를 가지고 데이터 전송을 시도한다. 시스템 전송률은 각 노드가 포아송 분포를 통해 생성한 데이터 중 성공적으로 전송된 데이터 패킷의 합으로 구했다. CTS 제어 프레임을 통한 채널 정보는 알고 있다고 가정하고 AAS는 지연-합 빔 형성 알고리즘을 사용했다.

송신 전력은 -41.3dBm/MHz의 유효 등방성 복사전력에서 대역폭과 TDD 시스템에서의 송신 비율을 고려한 -10.3dBm이다. 그리고 480Mbps 데이터 전송의 경우 데이터를 복호하기 위한 수신단 전력은 -60.5dBm이다. 빔 음영 지역에 있는 노드들이 채널의 사용 여부를 감지할 수 있도록 하는 전력은 잡음 전력에서 구현 손실과 마진을 고려한 수신단 감

표 1. 시뮬레이션 파라미터

변수	값
노드 수	10 (균일한 임의 분포)
데이터율	480 Mbps
데이터 페이로드	2048 Byte
UWB 채널	CM1 (528MHz)
안테나 수	4
패킷 생성	포아송 분포
수신 단 채널 감지 전력	-80.8 dBm
보완 빔 전력	주 빔 전력의 -20.3 dB
빔 형성 알고리즘	지연-합 빔 형성
임의 지연 슬롯 시간	9 us
경쟁 구간	최소 3, 최대 255

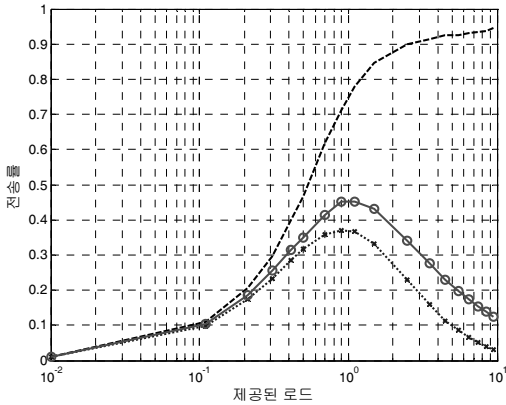


그림 6. 보완 빔을 적용한 시스템 전송률 그래프

도 전력인 -80.8dBm 으로 정했다. 보완 빔을 통해 채널의 사용 여부를 감지한 노드가 일정시간동안 데이터 전송을 지연한 후 다시 채널에 접근하기 위해서는 CSMA/CA에서 사용하는 임의 지연(random back-off) 방식을 사용한다^[13]. 시스템 전송률을 계산할 때 음영 빔 문제의 영향만을 고려하기 위해 전달 지연은 0이라고 가정하고, 프레임 내에서 채널 사용을 감지하지 못하고 음영지역의 노드들이 전송을 시도한 경우를 프레임 전송 에러로 간주한다.

본 실험에서는 시스템 전송률의 향상 정도를 측정하기 위해 제공된 로드에서 정규화된 전송률을 구했다. 제공된 로드는 패킷이 새롭게 생성된 것과 충돌에 의하여 다시 생성되는 패킷을 모두 포함하고, 정규화된 전송률은 패킷이 전송된 시간 중에 충돌 없이 성공적으로 전송된 패킷의 수를 이용해 구한다. 제공된 로드가 클수록 채널이 비어 있을 시간이 줄어들기 때문에 제공된 로드가 무한히 클수록 전송률은 0에 근접하게 된다^[14].

그림 6은 UWB AAS 시스템에 제안된 보완 빔을 적용하기 전과 후의 제공된 로드에서 정규화된 전송률을 나타낸 것이다. 일점쇄선은 네트워크상의 모든 노드가 채널의 사용 여부를 감지할 수 있는 이상적인 경우이고, 'x' 표시의 점선은 AAS를 적용하여 주 빔을 형성 한 경우, 그리고 'o' 표시의 실선은 제안된 그람-슈미츠 직교화를 이용하여 정규화된 주 빔 전력의 -20.3dB 만큼의 상대적인 전력으로 보완 빔을 적용한 경우의 시스템 전송률을 나타낸 것이다. 단순 AAS를 적용하였을 경우 주 빔 형성에 따른 음영 빔 문제가 발생하여 시스템 전송률이 제공된 로드가 1인 경우 약 0.37로 나타나는 것을 알 수 있다. 음영 빔 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안한

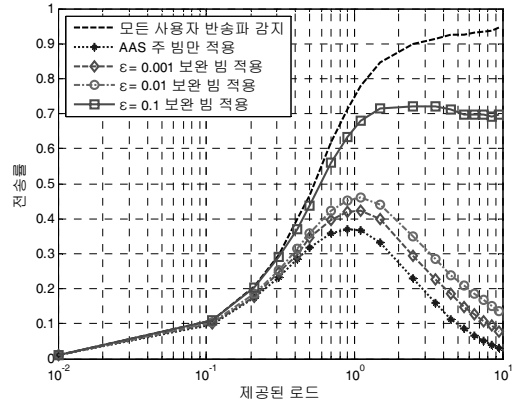


그림 7. 보완 빔의 전력에 따른 시스템 전송률 그래프

그람-슈미츠 직교화 방법의 보완 빔을 적용했을 때는 시스템의 전송률이 약 0.45로 20%정도 향상되는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 제안된 보완 빔이 음영 빔 문제를 줄이고 시스템의 전송률을 증가시킴을 알 수 있다. 광대역에 의한 배열 벡터의 불일치로 인한 시스템 전송률은 약 0.42로서 오차가 없는 0.45에 비해 최대 약 6%의 전송률 성능 열화를 보인다.

본 실험에서 10m 내에 균일하게 분포된 노드들을 가정하였을 때, 보완 빔의 전력이 커짐에 따라 채널의 사용 유무를 감지할 수 있는 노드는 더욱 증가하여 시스템의 전송률은 증가하게 된다. 그림 7은 보완 빔의 전력에 따른 시스템 전송률 변화를 알아보기 위하여 식 (15)에서 보완 빔의 전력을 주 빔의 전력으로부터 -10dB , -20dB , -30dB ($\epsilon = 0.1, 0.01, 0.001$)로 각각 다르게 설정하였을 경우 시스템 전송률의 영향을 나타낸 결과이다. 그림 7에서 주 빔 전력으로부터 보다 많은 전력을 보완 빔에 할당할수록 전송률이 높음을 확인하였다. 즉, 보다 많은 전력을 보완 빔에 할당함으로써 먼 거리의 노드들까지 채널의 사용 여부를 감지할 확률이 높아진다는 것을 의미한다. 그러나 보완 빔의 전력이 클수록 주 빔의 전력이 감소하기 때문에 전송 범위는 그만큼 감소하게 된다. 보완 빔과 주 빔의 전력이 같은 경우 ($\epsilon = 0.5$)는 단일 안테나에서의 조건과 같아지게 된다.

그림 8은 480Mbps 데이터 전송의 경우 주 빔 전력에서 할당한 보완 빔의 전력에 따른 AAS 전송 범위에 대한 실험 결과이다. 시스템 전송률을 증가시키기 위해 주 빔에서 보다 많은 전력을 보완 빔에 할당할수록 주 빔의 전송거리가 짧아짐을 나타낸다. 본 논문에서는 주 빔 전송 범위만큼 분포한 노드들이 채널 사용 여부를 감지 할 수 있도록 하는 보완 빔

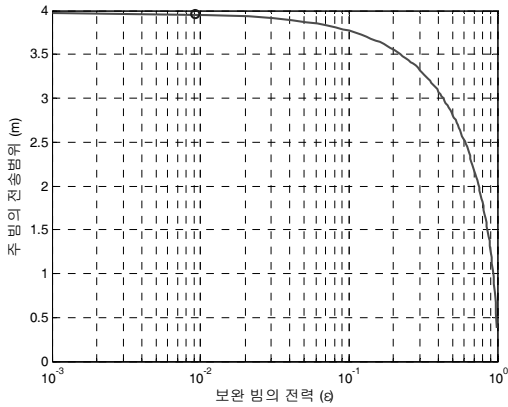


그림 8. 보완 빔 레벨에 따른 AAS 전송 범위

을 사용하고, 이에 따른 보완 빔의 전력은 주 빔의 약 -20.3dB (주 빔의 0.92%)로 할당한다. 이 경우 그림 8에서 최대 전송거리가 4m에서 3.95m로 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, 기존의 데이터 전송 범위를 AAS와 보완 빔의 적용을 통해 3.95m만큼 증가시키고 일반적인 AAS를 사용한 경우에 비해 시스템 전송률을 20% 향상시킴을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 UWB 시스템의 CSMA/CA 환경에서 AAS를 적용하여 빔을 형성하는 방법을 제안하고 AAS 빔 형성 과정에서 발생하는 음영 빔 문제를 해결하기 위해 그램-슈미츠 직교화를 이용한 보완 빔 형성 방법을 제안했다. 그램-슈미츠 직교화를 이용한 보완 빔 형성 방법은 주 빔에 다양한 빔 형성 알고리즘을 적용할 수 있는 장점이 있다. 전산 모의 실험을 통해 제안된 보완 빔이 주 빔에 간섭을 주지 않으면서 빔의 음영 지역이 발생하지 않음을 확인하였다. 그리고 AAS 주 빔의 0.92%에 해당하는 전력만 보완 빔에 이용함으로써 기존의 2m의 전송 범위를 3.95m로 증가시킬 수 있었고 AAS만 적용된 시스템 전송률을 약 20% 향상시킴을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Standard ECMA-368, "High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard", Dec. 2005.
 [2] J. Del Prado Pavon, S. Shankar N, V. Gaddam, K. Challapali and C. Chou, "The MBOA-WiMedia specification for ultra wideband distributed networks",

IEEE Communications Magazine, vol. 44, pp. 128 - 134, Jun. 2006.

[3] X. Peng, K. Png, V. Srivastava and F. Chin, "High rate UWB transmission with range extension", *Proc. of IEEE ICU 2005*, pp. 741 - 746, Sep. 2005.
 [4] M. Sánchez, T. Giles and J. Zander, "CSMA/CA With Beam Forming Antennas In Multi-Hop Packet Radio", *Proc. of the Swedish Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks*, Mar. 2001.
 [5] V. Tarokh, Y. Choi and S. Alamouti, "Complementary beamforming", *Proc. of IEEE Veh. Technol. Conf.*, Orlando, FL, pp. 3136 - 3140, Oct. 2003.
 [6] Y. Choi, S. Alamouti and V. Tarokh, "Complementary beamforming: new approaches", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 54, pp. 41 - 50, Jan. 2006.
 [7] B. Widrow, P. E. Mantey, L. J. Griffiths and B. B. Goode, "Adaptive antenna systems", *Proc. of IEEE*, vol. 55, no. 12, pp. 2143 - 2159, Dec. 1967.
 [8] S. Bellofiore, C. A. Balanis, J. Foutz and A. S. Spanias, "Smart-Antennas Systems for Mobile Communication Networks Part 1: Overview and Antenna Design", *IEEE Antenna's and Propagation Magazine*, Vol. 44, No. 4, Jun. 2002.
 [9] L. C. Godara, *Smart Antennas*, CRC PRESS, pp. 7 - 33, 101 - 147, 2004.
 [10] A. E. Zooghyby, *Smart Antenna Engineering*, ARTECH HOUSE, pp. 117 - 161, 2005.
 [11] Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a, IEEE P802.15-03/268r3, Mar. 2004.
 [12] W. Q. Malik and A. F. Molisch, "Ultrawideband antenna arrays and directional propagation channels", *Proc. of EuCAP 2006*, Nov. 2006.
 [13] Y. Zang, G. R. Hiertz, J. Habetha, B. Otal, H. Sirin and H. Reumerman, "Towards High Speed Wireless Personal Area Network - Efficiency Analysis of MBOA MAC", *Proc. of International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks 2005 (IWWAN 2005)*, London, UK, 2005.
 [14] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and software radio for mobile communications*, Artech house, pp. 271 - 317, 2002.

김 석 현 (Seokhyeon Kim)

준회원



2006년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업
2006년~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사
<관심분야> UWB, 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM

이 흥 원 (Hongwon Lee)

준회원



2006년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업
2006년~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사
<관심분야> UWB, 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM

지 영 근 (Younggun Ji)

준회원



2006년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업
2006년~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사
<관심분야> 차세대 무선 이동 통신, cooperative MIMO, UWB

정 재 학 (Jaehak Chung)

종신회원



1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
2000년 : University of Texas at Austin 전기전산 학과 박사
2000년~2001년 : post doctoral fellow, University of Texas at Austin
2001년~2005년 : 수석연구원, 삼성종합기술원
2005년~현재 : 인하대학교 조교수
<관심분야> UWB, 차세대 무선 이동 통신, MIMO-OFDM, cognitive radio, cross layer 설계