

# HomePlug AV 네트워크에서의 성능 향상을 위한 적응적 Contention Window 조절 방식

준회원 윤성국\*, 정회원 윤정균\*, 김병승\*, 종신회원 박세웅\*

## Adaptive Contention Window Mechanism for Enhancing Throughput in HomePlug AV Networks

Sung-Guk Yoon\* *Associate Member*, Jeongkyun Yun\*, Byungseung Kim\* *Regular Members*,  
Saewoong Bahk\* *Lifelong Member*

### 요 약

HomePlug AV (HPAV)는 태내에 깔려있는 전력선을 이용하여 데이터 전송뿐만 아니라 음향과 영상까지 전송을 목표로 HomePlug Alliance에서 제정한 표준이다. 이 표준은 TDMA와 CSMA/CA 기술을 혼합하여 사용하는 MAC 기술을 사용한다. HPAV의 CSMA/CA 프로토콜은 Contention Window (CW)와 Deferral Counter (DC)라는 두 가지 주요한 변수를 가지고 HPAV 네트워크를 제어한다. 본 논문에서는 CW와 DC가 성능에 미치는 영향을 여러 각도에서 조명하였고 이를 기반으로 HPAV MAC의 수율을 높이기 위한 적응적 CW 조절 방식을 제안한다. 여러 실험을 통해 얻은 결과 CW가 DC 보다 수율에 더 민감한 성질을 가지고 있어서 제안하는 방식은 DC는 표준에 정의된 기본값을 사용하고 CW만을 조정한다. 제안하는 방식은 네트워크가 과부하가 걸려있다면 CW를 두 배로 늘려주고 네트워크의 부하가 적으면 CW를 반으로 줄여주는 단순한 방식을 이용함으로써 복잡도를 낮추기 위한 것이 가능하다는 장점이 있다. 모의실험과 수리분석을 통해 제안하는 방식이 여러 다양한 환경에서 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

**Key Words** : Contention, CSMA/CA, HPAV, MAC, CW, DC

### ABSTRACT

HomePlug AV (HPAV) is the standard for distribution of Audio/Video content as well as data within the home by using the power line. It uses a hybrid access mechanism that combines TDMA with CSMA/CA for MAC technology. The CSMA/CA protocol in HPAV has two main control knobs that can be used for access control: contention window (CW) size and deferral counter (DC). In this paper, we extensively investigate the impacts of CW and DC on performance through simulations, and propose an adaptive mechanism that adjusts the CW size to enhance the throughput in HPAV MAC. We find that the CW size is more influential on performance than the DC. Therefore, to make controlling the network easier, our proposal uses a default value of DC and adjusts the CW size. Our scheme simply increases or decreases the CW size if the network is too busy or too idle, respectively. We compare the performance of our proposal with those of the standard and other competitive schemes in terms of throughput and fairness. Our simulation and analysis results show that our adaptive CW mechanism performs very well under various scenarios.

※ 본 연구는 국토해양부의 지원과제 (차세대 항공 데이터통신시스템 개발)로 수행되었습니다.

\* 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소 ({sgyoon, jyun, kbs}@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr),  
논문번호 : KICS2007-11-502, 접수일자 : 2007년 11월 9일, 최종논문접수일자 : 2008년 4월 25일

## I. 서 론

최근 디지털 가전 및 통신기술의 발달로 인해 홈 네트워크에 대한 관심이 증가하고 있다. 최근의 홈 네트워크는 가정에서의 끊임없는 서비스를 제공함으로써 유비쿼터스의 시작이 되는 기술이 되고 있다.

HomePlug Alliance에서 표준화한 HomePlug AV (HPAV) 기술<sup>1)</sup>은 2005년에 표준화가 완료된 전력선 기반 통신으로서 기존의 제어 데이터 위주의 전력선 통신과는 달리 최대 150 Mbps로 통신이 가능한 최신 전력선 통신 기술이다. HomePlug 이외의 전력선 기반 통신은 High-Definition Power Line Communication (HD-PLC)<sup>2)</sup>와 Universal Powerline Alliance (UPA)<sup>3)</sup> 등이 더 있지만 표준을 완료하고 현재 제품이 활발하게 나오고 있는 측면에서 HPAV가 가장 앞선 기술이라고 볼 수 있다.

HomePlug에 대한 연구는 HPAV의 출현 전 HomePlug 1.0 기반으로 연구되어 왔다. HomePlug 1.0은 HPAV와 동일한 CSMA/CA 프로토콜을 사용한다. 정민영의 논문<sup>4)</sup>은 마르코프 체인을 기반으로 HomePlug CSMA/CA의 성능을 분석하였고 Campista 등<sup>5)</sup>은 HomePlug 1.0 CSMA/CA 성능 향상 기법을 제안하였다. Tripathi 등은<sup>7)</sup>에서 모든 노드가 항상 경쟁 노드 수를 알고 있다는 가정 하에서 HomePlug CSMA/CA의 최적의 수율을 얻을 수 있는 기법을 제안하였다.

본 논문에서는 경쟁 노드 수에 상관없이 항상 고속의 수율을 얻을 수 있는 방식을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 기존<sup>5)</sup> 연구와 달리 공평성의 손실 없이 수율을 향상시키고 CSMA/CA 환경에서 모든 노드가 언제나 경쟁노드 수를 알아야 한다는 비현실적인 가정을 없애<sup>7)</sup> 현실적으로 사용 가능하다. 본문에서 보일 휴리스틱 알고리즘의 성능은 계산 복잡도를 낮출 뿐 아니라 완전한 네트워크정보 없이 구동할 수 있게 디자인하였다. 홈 네트워크에서 과부하를 고려한다는 가정이 무리가 있을 수 있지만 차후 홈 네트워크 기술이 대중화 되고 보편화 되었을 경우와 HPAV 표준은 CSMA/CA 부분을 이웃한 집들과 공유하는 것을 정의하고 있다는 것을 고려한다면 홈 네트워크에서도 경쟁 노드 수에 관계없이 고속의 수율을 얻는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

이후 본 논문은 다음과 같은 구성을 따른다. II에서는 HPAV MAC에 대한 간략한 설명을 담고 III에서는 시스템 모델 및 분석을 한다. IV에서는 여

러 가지 결과를 도출할 것이며 V에서는 결론을 맺음으로써 본 논문을 정리할 것이다.

## II. HomePlug AV MAC

### 2.1 혼합 방식의 접근 제어

HPAV에서는 다양한 요구사항을 유연하게 대처할 수 있게 그림 1에서 보여주는 것과 같이 TDMA와 CSMA/CA가 혼합된 형식의 접근 방식을 제공한다. 이 중 TDMA는 주기적인 시간할당을 보장함으로써 엄격한 QoS 레벨을 맞추기 위해 사용할 수 있고 CSMA/CA는 위급한 데이터의 전송이나 제어 메시지, 최선 노력 등의 데이터 전송에 적합하다. 또한 HPAV의 CSMA/CA는 구 버전인 HomePlug 1.0과 동일한 프로토콜을 사용함으로써 두 버전이 혼재한 네트워크에서 구 버전이 통신할 수 있는 수단으로 사용된다.

이런 혼합 접근 방식을 제어하기 위해 HPAV MAC 프로토콜은 각 논리 네트워크마다 Central Coordinator (CCo)를 하나씩 두어 네트워크 관리를 담당한다. CCo는 주기적으로 오는 비콘 영역에서 비콘을 발송함으로써 네트워크 내에 있는 노드들을 제어한다. 비콘은 마치 지도와 같은 기능을 담당하여 그 안에는 CSMA/CA 영역이 어디인지 TDMA 영역이 어디인지 등에 대한 정보가 들어있다. 따라서 비콘을 수신한 같은 네트워크에 있는 노드들이 비콘에 있는 지도 정보를 통해 자신이 언제 미디어에 접근해야 하는지를 알 수 있다.

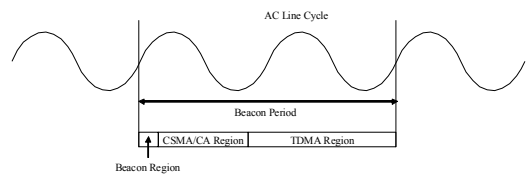


그림 1. 비콘 주기의 예

### 2.2 HomePlug CSMA/CA

HomePlug CSMA/CA<sup>1)</sup>는 바이너리 랜덤 백오프 알고리즘을 사용한다는 점에서 IEEE 802.11 CSMA/CA와 유사하다. 하지만 두 프로토콜 사이에는 2가지의 큰 차이점이 존재한다. 첫째는 Priority

1) HomePlug 1.0과 HPAV는 동일한 CSMA/CA를 사용하므로 HomePlug CSMA/CA라는 용어를 사용한다.

Resolution Period (PRP) 이고 둘째는 Deferral Counter (DC) 이다.

2.2.1 PRP

PRP는 각 데이터 플로우들의 우선권을 부여하기 위해 정의한 기법이다. PRP는 두 개의 Priority Resolution Slot (PRS)로 이루어져 있는데 각 PRS 는 비지 또는 아이들을 구분할 수 있을 정도의 길이 이다. 따라서 두 PRS를 이용하면 4개의 우선순위를 표현할 수 있다. 각 노드들은 자신의 우선순위를 표현해야 하는 슬롯에 비지 신호를 전송하고 아니면 미디엄 상태를 파악한다. 자신이 듣는 중 미디엄이 비지 했다면 현재 네트워크에 자신보다 높은 우선순위를 가진 플로우가 있다는 의미이므로 해당 노드는 경쟁에 참여하지 않는다. 즉, 우선순위 경쟁에서 이긴 노드들은 IEEE 802.11 CSMA/CA와 유사한 알고리즘으로 경쟁에 들어가고 우선순위 경쟁에서 진 노드들은 높은 순위의 플로우가 전송을 마치고 다시 PRP가 될 때까지 경쟁에 참여하지 않는다.

2.2.2 DC

PRP가 경쟁하기 전 각 프레임들의 우선순위에 관련한 기법이라면 DC는 실제 경쟁할 때 사용하는 기법이다. DC는 HomePlug에서 새롭게 추가된 매개변수이다. 따라서 HomePlug에서는 BPC, CW, DC 세 개의 매개변수를 가지고 동작한다. DC는 충돌로 인한 손실을 줄이기 위해 도입한 매개변수이다. DC를 사용하면 각 노드는 충돌이 일어나지 않고도 바이너리 랜덤 백오프를 수행한다. DC의 구체적인 사용은 다음과 같다. 각 BPC가 시작될 때에 노드는 DC 값을 표 1에 정의된 값으로 설정된다. 미디엄이 아이들하면 앞서 언급한 것과 같이 BC를 하나 줄이고 비지하고 DC가 0이 아닌 경우 BC와 DC를 하나씩 감소시킨다. 비지하고 DC가 0인 경우 노드는 패킷 전송을 시도하지 않았음에도 바이너리 랜덤 백오프를 수행한다. 그림 2에서 STA2는 전송

표 1. 우선순위와 BPC에 따른 CW와 DC

	High Priority		Low Priority	
	CW	DC	CW	DC
BPC = 0	7	0	7	0
BPC = 1	15	1	15	1
BPC = 2	15	3	31	3
BPC ≥ 3	31	15	63	15

을 시도하지 않았음에도 불구하고 자신의 DC가 0 이고 미디엄이 비지하므로 백오프를 수행하는 것을 확인할 수 있다. 즉, DC로 인해 HomePlug CSMA/CA에서는 충돌 없이 백오프를 수행하므로 이는 IEEE 802.11과 비교하여 상대적으로 적은 CW 값으로도 비슷한 충돌 확률을 얻을 수 있다.

III. 수리분석 정리와 적응적 CW 조절 방식

IEEE 802.11 CSMA/CA는 [8]에서 마르코프 체인과 포화 조건을 가정하여 분석이 되었고 HomePlug CSMA/CA는 비슷한 조건 하에서 [4]에서 분석되었다. 이 장에서는 그 분석 방법들을 간단히 살펴보고 적응적 CW 조절 방식을 소개한다.

3.1 수율 분석

$p_b$ 는 임의의 노드 관점에서 본 미디엄이 비지할 확률이고  $p$ 는 임의의 노드가 패킷을 전송했을 때 충돌이 일어날 확률이다.  $\tau$ 를 임의의 노드가 패킷을 전송할 확률로 나타낸다면  $p_b$ 와  $p$ 를 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$p_b = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \tag{1}$$

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \tag{2}$$

$n$ 은 경쟁 노드의 수이다. 한 노드 입장에서 본 마르코프 체인 모델은 IEEE 802.11의 경우 BPC와 CW의 두 매개변수로 분석하였으므로 2차원 마르코프 체인이 되었지만 HomePlug의 경우 새로운 매개변수인 DC의 추가로 3차원 마르코프 체인의 형태를 가지게 된다. 3차원 마르코프 체인 모델을 바탕으로  $\tau$ 를 계산하면

$$\tau = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^{M_i-1} P_{i,j,0} \tag{3}$$

와 같이 나타낼 수 있다.  $m$ 은 최대 BPC 스테이지 값을 의미하고  $M_{i-1}$ 은 BPC 스테이지  $i$ 에서의

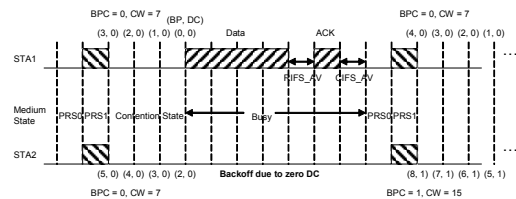


그림 2. HomePlug AV CSMA/CA 타이밍 다이어그램

DC 값이다.  $P_{i,j,k}$ 는 임의의 노드가 BPC i 스테이지, DC 값 j, BC 값 k 상태에 존재할 확률을 의미한다. 데이터 패킷의 전송은 BC가 0인 경우에만 일어나므로 수식 (3)에서의  $\tau$ 는 임의의 노드가 BPC 스테이지와 DC 값에 관계없이 BC가 0이 되는 상태에 존재할 확률을 더한 것이다.  $P_{i,j,k}$ 는 수치적 방법으로 구할 수 있다.

$P_{tr}$ 을 적어도 하나의 노드가 패킷을 전송할 확률로 정하고  $P_s$ 을 패킷 전송이 성공할 확률로 두면 두 확률을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (4)$$

$$P_s = \frac{n\tau(1 - \tau)^{n-1}}{P_{tr}} \quad (5)$$

위 수식들을 바탕으로 수율 식을 구해보면

$$S_{sat} = \frac{P_{tr}P_sE[N_{payload}]}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr}(P_sT_s + (1 - P_s)T_c)} \quad (6)$$

로 수율 식을 정리할 수 있다.  $\sigma$ 는 아이들 슬롯 시간을 나타내고  $T_s$ 는 패킷 전송이 성공하였을 때 걸리는 시간,  $T_c$ 는 패킷 전송이 충돌이 되었을 때 낭비되는 시간이다.

### 3.2 최적 CW 분석

HPAV는 802.11과 비교하여 상대적으로 작은 CW값을 가진다. 이런 작은 CW는 노드의 수가 적을 때 효과를 볼 수 있지만 경쟁 노드 수가 커짐에 따라 수율 손실을 입게 되는 단점을 가지고 있다. 이런 문제점을 극복하기 위해 본 장에서는 경쟁 노드 수에 따른 최적 CW 값을 분석한다. IEEE 802.11에서의 최적 CW 값은 Bianchi의 논문<sup>[8]</sup>에서 제안되었다. 먼저 최적  $\tau$ 의 값을 구해보면 수율 수식 (6)으로부터 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\tau \approx \frac{1}{n\sqrt{T_c^*/2}} \quad (7)$$

$T_c^*$ 는 슬롯 시간으로 정규화한 충돌 시간이다. IEEE 802.11에서  $\tau$ 는 CW에 대한 식으로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = \frac{2}{W+1} \quad (8)$$

즉, 최적 CW 값은

$$W_{opt} \approx n\sqrt{2T_c^*} \quad (9)$$

로 나타낼 수 있다. IEEE 802.11에서는 CW와  $\tau$ 와의 관계를 식으로 표현할 수 있어  $\tau$  값으로부터 최적 CW를 구했다. 하지만 같은 문제를 HomePlug에 대해서 적용시켜 보면 최적  $\tau$  식 (7)은 동일하게 적용시킬 수 있으나 HPAV에서는  $\tau$ 를 CW에 대한 식으로 일반화 하지 못하였으므로 직접적인 최적 CW 값을 도출해낼 수 없다. 결국, 휴리스틱한 접근 방식으로 각 CW에 대한  $\tau$ 의 값을 구한 다음 각 CW의 크기가 최적  $\tau$ 의 값과 가장 근접한지 찾는 방식으로 휴리스틱하게 최적 CW를 찾아갈 수 있다. 이에 대한 자세한 결과는 IV-3에서 설명한다.

### 3.3 적응적 CW 조절 방식

수식 (7, 9)에서 볼 수 있듯 최적  $\tau$ 와 CW를 구하기 위해서는 현재 네트워크에서 경쟁에 참여하고 있는 노드의 수(n)를 정확히 알아야 한다. 그러나 실제 상황에서 모든 노드가 그 수를 정확히 알고 있다는 것은 그다지 현실적인 가정이 아니다. 따라서 본 논문에서는 HPAV 네트워크에 있는 모든 노드들이 최적 CW를 찾아가는 휴리스틱 알고리즘을 제안한다.

HPAV 네트워크에 있는 모든 노드들이 개별적으로 최적 CW 추정 알고리즘을 수행한다면 각각의 노드별로 CW 값의 차이가 있을 수도 있고 노드에게 많은 부담을 줄 것이므로 적합하지 않다. 즉, 그 기능을 담당하는 한 노드를 설정하고 그 노드가 주기적으로 최적 CW 값을 브로드캐스트하는 것이 더 현실적인 해결책일 것이다. 제안하는 알고리즘에서 이 기능을 담당하는 노드로 II-1에서 설명한 CCo를 설정한다. 이 CCo의 역할 중 하나는 주기적으로 비콘을 발송하는 것이다. 이 비콘에 최적 CW 값을 실는다면 CCo가 이 기능을 담당하는 데에 적합하다고 볼 수 있다. 또한 CCo가 모든 노드의 전송을 들을 수 있다고 가정한다면<sup>2)</sup> CCo는 매 비콘 주기에 이번 CSMA/CA 영역에서 몇 번의 성공적인 전송이 있었고 몇 번의 아이들 슬롯이 있었으며 몇 번의 충돌이 있었는지를 알 수 있다. 이와 같은 정보로부터 CCo는 현재 CW 값이 적절한 지 여부를 파악할 수 있고 만약 적절하지 않다면 CW 값을 늘

2) HPAV에서 CCo는 모든 노드들에 대해 가장 접근성이 좋은 노드가 맡는 경향이 있고 모든 노드가 비콘을 수신할 수 있어야 HPAV 네트워크가 형성되므로 이 가정은 무리한 가정이 아니다.

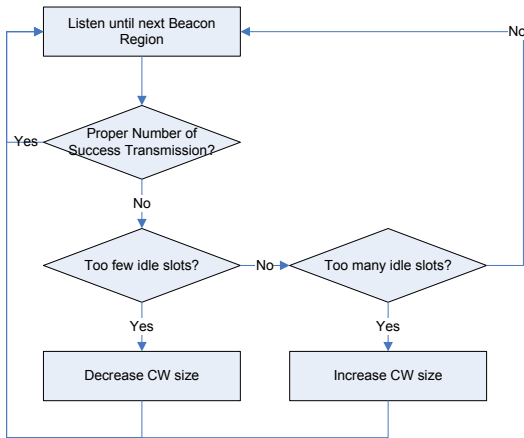


그림 3. 적응적 CW 조절 방식의 순서도

릴 것인지 줄일 것인지 아이들 슬랏과 충돌의 수로부터 찾을 수 있다. CCo는 다음 비콘 주기 적합한 CW 값을 결정한 후 이번 주기의 비콘에 그 값을 담아 브로드캐스트하고 HPAV 네트워크에 있는 모든 노드들은 해당 값으로 CW 값을 조정한다. 그림 3은 제안한 적응적 CW 조절 방식의 순서도이다. 'Proper number of success transmission'의 기준값은 10으로 설정하였고 'too few idle slots'은 40 'too many idle slot'은 80으로 설정하였다. IV-2에서 제안한 알고리즘의 성능 결과를 보일 것이다.

### 3.4 DC 효과 분석

DC에 대한 분석은 2단계로 나누어 진행한다. 먼저 DC가 변함에 따라  $\tau$ 가 어떻게 변하는지를 살펴보고 다음으로  $\tau$ 가 변함에 따라 수율이 어떻게 변하는지 살펴본다.

첫째 DC의 변화에 따른  $\tau$ 의 변화를 직관적으로 살펴보면, HPAV 프로토콜은 DC가 0이고 미디엄이 비지할 때 백오프하는 알고리즘을 가지고 있으므로 DC가 1 줄어들면 마르코프 체인에서 한 행이 사라지는 것과 같다. 즉, 수식 (3)의  $M_{i-1}$ 이 1 줄어드는 것과 같고 없어진 확률은 다음 BPC로 균일하게 분산된다. 일반적으로 다음 BPC의 CW 크기는 현재 BPC의 CW 크기보다 2배 크므로 분산되어 다음 BPC로 들어가 늘어난  $\tau$ 의 값보다 현재 BPC에서 행가 없어짐으로 줄어드는  $\tau$ 의 크기가 더 큰 것을 직관적으로 알 수 있다. 결과적으로 DC를 감소시키면  $\tau$ 가 감소하게 된다.

둘째로  $\tau$ 에 변화에 따른 수율의 변화를 살펴보자. 수식 (6) 수율 식을  $\tau$ 에 대하여 정리하면

표 2. 수리 분석 및 모의실험에 사용된 HPAV 시스템 매개변수

평균 페이로드 크기 $E[N_{payload}]$	46280 bytes
PHY + MAC Header 시간	110.48 $\mu$ sec
PHY 전송 속도	150.19 Mbps
비콘 주기	33.33 msec
CIFS_AV	100 $\mu$ sec
RIFS_AV	30.72 $\mu$ sec
PRS0	35.84 $\mu$ sec
PRS1	35.84 $\mu$ sec
$\sigma$	35.84 $\mu$ sec
응답 대기 시간	140.48 $\mu$ sec

$$\frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{\sigma(1-\tau)^n + nT_s\tau(1-\tau)^{n-1} + T_c(1-(1-\tau)^n) - nT_c\tau(1-\tau)^n} \quad (10)$$

수식 (10)의 분모는 0-1사이에 위로 볼록한 함수의 모양이고 분자는 0-1사이에 단조 증가하는 함수임을 확인할 수 있다. 즉, 수율은 0-1사이의  $\tau$ 에 대하여 위로 볼록한 함수이므로 이는 단순히  $\tau$ 의 증감만으로 수율이 증가 또는 감소한다는 것을 말할 수 없다. 결과적으로, 현재  $\tau$ 가 위치한 곳에 따라서  $\tau$ 를 증가시키므로써 수율의 증가를 야기할 수도 있고 감소를 야기할 수도 있다. 이 결과에 대해서는 IV-3에서 살펴보기로 한다.

## IV. 수리 분석 및 모의실험 결과

본 장에서는 여러 수리분석 및 모의실험에 대한 결과를 기술할 것이다. 수리분석에는 앞 장에서 기술한 수식으로 결과를 도출하였으며 모의실험은 C++로 작성한 이벤트-드리븐 프로그램을 사용하였다. 표 2에 있는 매개변수 들을 분석과 모의실험에 사용하였다. 모든 데이터는 같은 우선순위를 가진다고 가정하였다.

### 4.1 CW 변화에 따른 수율

그림 4는 CW 값 변화에 따른 수율을 도시한다. 여기서는 모의실험에 대한 결과와 수리분석에 대한 결과 모두 도시되어 있는데 두 결과의 차이가 별로 없음을 확인할 수 있다. 앞에서 언급한 것과 같이 표준 CW는 경쟁 노드의 수가 늘어남에 따라 수율이 현격히 줄어들음을 확인할 수 있다. 이에 CW 크기를 두 배, 4배 8배로 늘리면서 수율의 변화를 확인하였고 그 결과 큰 CW 값이 경쟁이 심한 상황에서 효과적임을 확인할 수 있었다. 위 4가지의 CW

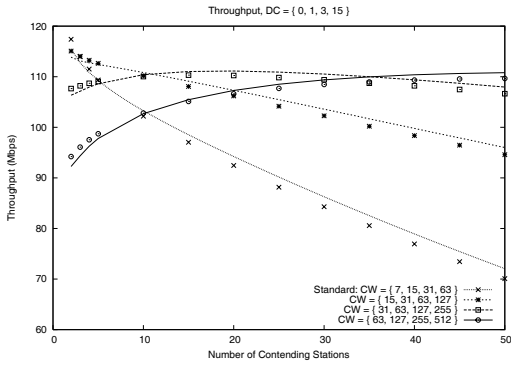


그림 4. CW에 따른 수율 그래프

값을 변화시키면 1-50 사이의 어느 경쟁 노드 상황에서도 약 110 Mbps의 수율 이상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. CW와 DC를 같이 변화시키면 조금 더 좋은 수율 성능을 낼 수 있으나 그 수율 증가가 1% 내외로 큰 차이가 없어 오히려 시스템 복잡도만 증가시킬 것이라 생각하여 CW의 변화로만 III-3 알고리즘을 제안하였다. 또한 CW = {31, 63, 127, 255}의 경우 수율 그래프가 위로 불룩한 모습을 보여 다른 CW 경우와 비교되는 결과를 확인할 수 있었다. 여기에 대한 고찰은 IV-3에서 자세히 다루도록 한다.

4.2 적응적 CW 조절 방식

그림 5는 III-3에서 제안한 휴리스틱 알고리즘의 성능을 보여준다. ‘Exact Estimation’ 수율은 모든 노드들이 네트워크에 참여한 노드 수를 알고 있다는 가정 하에 최적 CW 값을 사용한 결과이고 휴리스틱 수율은 III-3에서 제안한 알고리즘으로 동작시켰을 때 얻는 수율이다. 위 두 수율의 단위는 Mbps

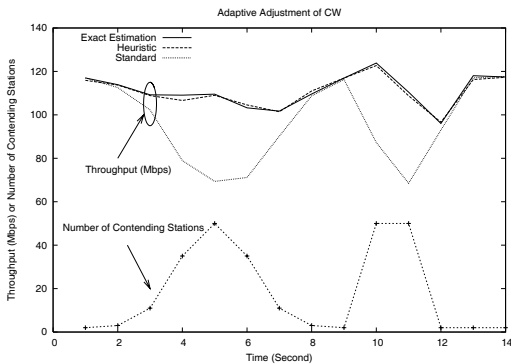


그림 5. 적응적 CW 조절 방식과 HPAV 표준 방식의 수율 비교

이다. ‘Number of contending nodes’는 해당 시간에 참여한 노드의 수를 나타낸다. 이 실험에서는 노드의 수를 2개에서 50개까지 변화시키며 실험해 보았다. 전반적인 결과로 휴리스틱 알고리즘이 최적 알고리즘과 별 차이가 없고 적응적 알고리즘을 사용하지 않은 경우는 경쟁이 심한 상황에서 성능이 현격히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 9초에서 13초 사이는 참여 노드의 수를 급격히 변화시켜 보았다. 그 결과 갑작스런 증가(10초)는 수율에 큰 영향이 없었으나 갑작스런 감소(12초)는 수율에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 노드들이 CW 사이즈를 바꾸어도 이미 그 순간 가지고 있는 BC의 수가 매우 크기 때문에 아이들 슬랏으로 낭비되는 시간이 많기 때문이다. 따라서 BC값이 원래로 돌아온 1초 후에(13초) 수율은 다시 원래 수준으로 회복하는 것을 확인할 수 있다. ‘Exact Estimation’ 경우보다 휴리스틱 경우가 더 성능이 좋은 경우가 있는 것은 정확히 추정할 경우라도 시간 간격이 작은 기간(1초) 동안에는 휴리스틱보다 충돌이 더 많이 일어나는 경우도 있기 때문이다.

4.3 DC 변화에 따른 수율

그림 6은 CW = {31, 63, 127, 255}로 고정하고 DC 값을 변화시키며 측정된 수율 그래프이다. 실선이 기본 DC 값이며 그 그래프를 기준으로 최대 값이 오른쪽에 있는 것이 DC를 감소시킨 것이며 왼쪽에 있는 것이 DC를 증가시킨 것이다. 수식 (7)에 의한 결과와 CW에 따른  $\tau$ 의 값을 그림 7에 나타내었다. 그림에서 실선이 경쟁 노드 수에 따른 최적  $\tau$ 의 값을 보여준다. CW = {31, 63, 127, 255}인 경우는 20 근처에서 최적  $\tau$ 와 교차점을 갖는다. 즉, 그림 6에서 기본 DC 값인 실선은 20 근

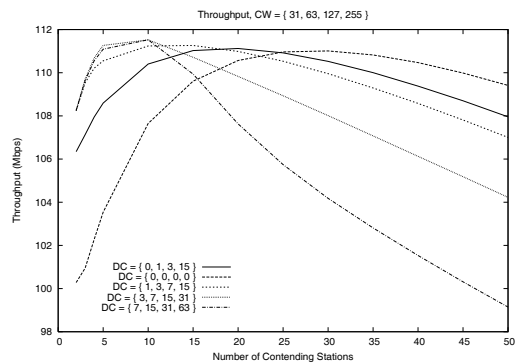


그림 6. 다양한 DC 값에 따른 수율 그래프

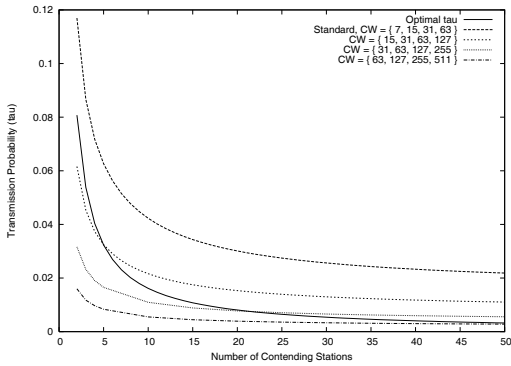


그림 7. CW에 따른 최적의  $\tau$

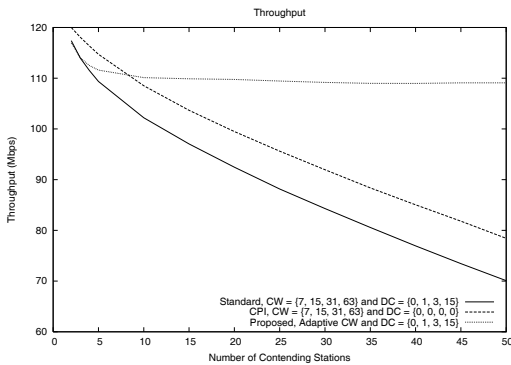


그림 8. 수율 비교

처에서 수율 최대 값을 갖는다. 또한 그림 7에서 교차점을 전후하여 교차점에 멀어질수록 점점 그 차이가 늘어남을 확인할 수 있다. 이는 그림 6에서 실선이 최대치를 중심으로 위로 볼록 모양의 그래프를 가지는 것과 동일한 결과이다. 그림 4의 다른 CW 그래프들은 그림 7에서 접점이 없고 계속 최적 값에 접근하기만 하므로 수율 그래프가 위로 볼록하지 않고 오직 CW={31, 63, 127, 255}의 경우만 위로 볼록한 것이다. III-4에서 분석한 바와 같이 DC를 줄이면  $\tau$ 가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 즉, 그림 7의 원래의 위치에서 그래프가 아래로 내려갈 것이고 최적 곡선과의 교차점은 오른쪽으로 움직일 것이다. 즉, 그림 6의 그래프에서 DC = {0, 0, 0, 0}의 경우 원래의 그래프 보다 오른쪽으로 평행 이동한 결과와 동일한 것을 확인할 수 있다. 반대의 경우도 마찬가지로 분석하면 그림 6에서 원래의 그래프보다 왼쪽으로 움직이는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.4 다른 방식들과의 비교 분석

HomePlug를 기반으로 수행한 연구 가운데 성능

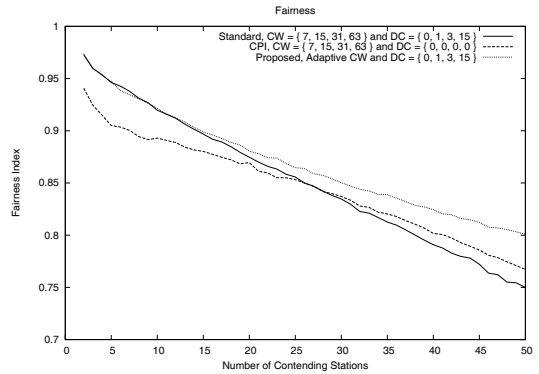


그림 9. 공평성 비교

향상 기법을 제시하는 논문은 크게 2가지를 찾을 수 있다. Campista 등은 [5]에서 HomePlug CSMA/CA 수율 향상 방식을 제안하였다. 제안하는 방식은 DC = {0, 0, 0, 0}으로 설정하는 것이고 이를 Contention window Proactive Increase (CPI)라고 명명하였다. CPI는 백오프를 자주하여 충돌을 방지하는 방식이다. 이 방식은 표준보다 수율을 향상시킨 하였지만 경쟁 노드가 많아짐에 따라 수율이 떨어지는 문제점을 그대로 가지고 있다. Tripathi 등은 [7]에서 최적의 수율을 얻을 수 있는 방식을 제한했으나 모든 노드가 언제나 경쟁 노드를 정확히 알고 있다는 가정을 하였기 때문에 현실적이지 못하다. 따라서 본 장에서는 CPI와 성능 비교를 하는 것을 주된 목적으로 한다.

그림 8에서 본 논문에서 제안하는 방식과 CPI 그리고 표준 방식의 수율을 비교하였다. CPI가 낮은 경쟁 상황 (n이 8이하인 상황)에서 최고의 성능을 보이지만 CPI는 표준의 수율 감소 형태를 그대로 재연한다. 하지만 본 논문에서 제안하는 방식은 경쟁 상황에 상관없이 항상 좋은 수율을 보인다.

그림 9에서는 공평성을 비교하였다. 공평성은 Jain의 공평성 지수<sup>[6]</sup>를 가지고 평가하였다. 공평성 지수는 아래 수식으로 얻을 수 있다.

$$\frac{E[X]^2}{E[X^2]} \quad (11)$$

공평성 지수가 1일 때 가장 공평한 자원할당이고  $1/n$ 인 경우가 가장 불공평한 자원할당이다. 본 논문에서 제안한 방식은 CPI에 비해 공평성을 5% 정도 향상시켰다. CPI는 표준보다 공평성이 낮아 공평성을 손해로 수율을 올리는 반면 본 논문에서 제안하는 방식은 전반적으로 수율과 공평성 모두에서 향상을 가져온다.

## V. 결 론

본 논문에서는 HPAV 네트워크에서 경쟁 노드에 수에 관계없이 고속의 수율을 얻을 수 있는 기법을 제안하였다. 위 제안은 수리 분석 및 모의실험을 통해 검증하였다. 본 논문에서의 제안하는 기법은 기존의 기법들과는 달리 공평성의 희생 없이 수율을 향상시켰으며 CSMA/CA에서 사용할 수 있는 현실적인 가정으로 실제 구동 중에도 잘 돌아갈 수 있다. 마지막으로 이 논문에서는 HPAV의 독특한 매개 변수인 DC 값에 대한 수율 변화와 공평성의 변화를 고찰하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] HomePlug AV Specification, HomePlug Powerline Alliance, Dec. 2005.
- [2] High-Definition Powerline Communication, <http://www.hd-plc.org>
- [3] Universal Powerline Alliance, <http://www.upapl.org>
- [4] Min Young Chung, Myoung-Hee Jung, Tae-Jin Lee, and Yutae Lee, "Performance Analysis of HomePlug 1.0 MAC with CSMA/CA," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 24, No.7, pp.1411 - 1420, Jul. 2006.
- [5] Miguel Elias M. Campista, Lu'is Henrique M. K. Costa, and Otto Carlos M. B. Duarte, "Improving the Data Transmission Throughput over the Home Electrical Wiring," in Proc. *LCN 2005*, Sydney, Australia, Nov. 2005, pp.318-325.
- [6] Miguel Elias M. Campista, Lu'is Henrique M. K. Costa, and Otto Carlos M. B. Duarte, "Improving the Multiple Access Method of CSMA/CA Home Networks," in Proc. *CCNC 2006*, Las Vegas, Nevada, USA, Jan. 2006, pp.645-649.
- [7] K. Tripathi, J.-D. Lee, H. Latchman, J. McNair and S. Katar, "Contention Window based Parameter Selection to Improve Powerline MAC Efficiency for Large Number of Users," in Proc. *ISPLC*, Orlando, Florida, USA, Mar. 2006, pp.189-193.
- [8] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. 18, No.3, pp.535 - 547, Mar. 2000.
- [9] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, "A Quantitative Measure of Fairness and

Discrimination for Resource Allocation in Shared Systems," DEC TR-301, Littleton, MA, 1984.

윤 성 국 (Sung-Guk Yoon)

준회원



2006년 서울대학교 전기공학부 학사  
2006년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사 통합과정  
<관심분야> 차세대 무선 네트워크

윤 정 균 (Jeongkyun Yun)

정회원



2001년 서울대학교 전기공학부 학사  
2003년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사  
2008년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정  
<관심분야> 차세대 무선 네트워크

김 병 승 (Byungseung Kim)

정회원



2002년 고려대학교 전기공학부 학사  
2002년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사 통합과정  
<관심분야> 네트워크 보안

박 세 응 (Saewoong Bahk)

종신회원



1984년 서울대학교 전기공학과 학사  
1986년 서울대학교 전기공학과 석사  
1991년 Univ. of Pennsylvania 박사  
1991년~1996년 AT&T Bell Lab.  
1994년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수  
<관심분야> 차세대 무선 네트워크, 네트워크 보안