

# HomePNA 3.0 비동기 MAC 모드의 Collision Management Protocol 성능 분석

준회원 김희천\*, 종신회원 정민영\*, 이대진\*\*

## Performance Evaluation of the HomePNA 3.0 Asynchronous MAC Mode with Collision Management Protocol

Hee Chon Kim\* Associate Member, Min Young Chung\* · Tae-Jin Lee\* Life Members

### 요 약

Collision Management Protocol (CMP)은 매체 접근 제어 (MAC) 방식이 랜덤 접근 (Random Access)인 HomePNA 3.0 비동기 MAC 모드 시스템으로 구성된 네트워크에서 데이터 프레임 전송 시에 발생하는 충돌을 해결하기 위한 프로토콜이다. 이 프로토콜의 특징은 기존 HomePNA 2.0 시스템의 Distributed Fair Priority Queueing (DFPQ) 알고리즘이나 802.11 시스템의 Binary Exponential Backoff (BEB) 알고리즘과는 달리 충돌이 발생한 시스템들의 재 전송 순서를 랜덤 확률로서 결정하지 않고, 각 시스템별로 주어진 Collision Signaling Sequence (CSS) 값을 사용하여 순서를 결정한다. 즉, 재 전송 순서를 사전에 정의된 순서로 결정함으로써 평균적인 충돌 횟수를 최소화 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 유선 홈 네트워킹 기술인 HomePNA 3.0의 CMP에 대하여 포화(Saturation) 상태에서의 성능을 분석한다.

Key Words : Collision Management Protocol (CMP), HomePNA 3.0 Asynchronous MAC Mode, Collision Signaling Sequence (CSS), Saturation Throughput.

### ABSTRACT

Collision Management Protocol (CMP) efficiently resolves collisions when data frames are transmitted in networks consisting of HomePNA 3.0 asynchronous MAC mode device with random access. Unlike Distributed Fair Priority Queueing (DFPQ) algorithm in HomePNA 2.0 or Binary Exponential Backoff (BEB) algorithm in IEEE 802.11, order of retransmission is decided according to Collision Signaling Sequence (CSS) values allocated to each device. Thus, CMP can minimize the number of mean collisions because order of retransmission is decided in a deterministic way. In this paper, we evaluate the saturation performance of CMP in HomePNA 3.0 using an analytic method.

### 1. 서론

IT기술의 급속한 발달과 가정 내 PC 보급률의 증가에 힘입어 기업이나 공공기관의 사무실 중심으로 구축되던 네트워크 환경이 가정 내의 정보화로

이어져 홈 네트워킹 기술에 대한 연구와 관심이 높아지고 있다. 즉, 1 가구 1 PC 시대에서 1 인 1 PC 시대로의 변화와 PC 용도의 변화 등은 대내 정보화를 추구하는 중요한 요인이 되고 있다. 홈 네트워킹은 기업들이 종래의 개별화된 제품에서 벗어나

\* 성균관대학교 정보통신공학부 네트워크 기술 연구실(hckim@mail.skku.ac.kr, mychung@ece.skku.ac.kr)

\*\* 성균관대학교 정보통신공학부 네트워크 시스템 연구실(tjlee@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : 040066-0209, 접수일자 : 2004년 2월 9일

\*이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-003-D00253).

복합 다기능화 된 새로운 형태의 제품으로 각종 정보기기, AV 시스템, 가전제품들을 제시하고 이를 인터넷 정보화 가전으로 진화시켜, 가정 내 모든 전자제품이 네트워크로 연결되어 집 안팎 어디서나 조절 가능한 시대를 현실화 시키고 있다.

홈 네트워킹 기술은 크게 유선과 무선의 형태로 구분된다. 최근 폭발적 성장을 보이고 있는 무선 형태의 홈 네트워킹 기술은 이동성 (Mobility) 제공이라는 탁월한 장점을 갖고 있지만 여러 보완해야 할 문제점이 있다. 유선 형태의 홈 네트워킹 기술에 비해 초기 설비 투자비용이 크고, 보안 (Security) 및 인증 (Authentication)에 취약하다는 문제점과 동일한 ISM (Industrial, Scientific, Medical : 2.4GHz) 대역을 무선 랜 (IEEE 802.11b), HomeRF 그리고 블루투스 (Bluetooth)가 공유하여 사용함으로써 상호 간섭 (Interference)을 유발 할 수 있다. 유선 형태의 홈 네트워킹 기술은 이동성 서비스 제공에는 제한적이나 무선에 비해 초기 설비 투자비용이 적고 설치가 용이하며, 보안 및 인증에 대해 안전하다는 장점이 있으며, 대표적으로 전화선을 이용하는 HomePNA 기술과 전력선을 이용하는 HomePlug 기술이 있다<sup>11)</sup>.

HomePNA 기술은 태내 설치된 전화선로를 이용하여 고속의 홈 네트워크 구축을 목표로 이미 관련 기술 분야에서 사용 중인 de facto 기술을 채택하고 있다. 표준화 활동으로 1998년 1Mbps급 HomePNA 1.0과 1999년 10Mbps급 HomePNA 2.0 규격을 제정하였으며, 현재 100Mbps급 HomePNA 3.0 규격의 제정이 마무리 단계에 있다. 주파수 대역은 기본적으로 4 - 10 MHz 대역을 사용하며, 추가적으로 HomePNA 3.0에서는 24 MHz까지 대역을 선택적으로 사용할 수 있다. 유효 반경은 150 m 이며, 25 대 정도의 노드 수의 접속을 제공한다<sup>24)</sup>.

HomePNA 프로토콜은 물리 계층 (PHY Layer), MAC 그리고 링크 계층 프로토콜로 크게 분류된다. 기본적인 동작원리를 살펴보면, HomePNA 2.0에서 물리 계층은 프레임 제어부와 모뎀 송/수신부로 구성되는데 모뎀 수신부가 전화선의 상태를 감시하여 반송파 감지신호 (CS : Carrier Sense) 를 MAC으로 보내면 MAC은 이를 이용하여 Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)를 수행하며, 우선순위 슬롯 (Priority Slot)을 생성하여 우선순위 접근 기능을 제공한다<sup>3),5),7)</sup>. 또한, 프레임 충돌을 해결하는 방법으로 Q-ary Splitting 알고리즘에<sup>8),9)</sup> 기반 한 DFPQ 알고리즘을<sup>3),5)</sup> 사용한

다. 포화상태에서 이 알고리즘의 평균 충돌 횟수는 프레임 전송 시에 충돌이 발생한 시스템 수에 비례하여 증가한다<sup>5),10),11)</sup>. HomePNA 3.0 MAC은 두 가지 동작 모드를 지원하는데, 각 시스템을 제어하는 마스터 (Master) 시스템이 존재하면 동기 모드로 동작하며, 마스터 시스템이 존재하지 않으면 비동기 모드로 동작한다. 동기 모드에서는 각 시스템이 채널을 할당받아 채널에 접근하게 되고, 이렇게 함으로서 각 시스템들은 패킷 전송 간에 충돌을 피할 수 (CA : Collision Avoidance) 있게 된다. 비동기 모드의 동작원리는 HomePNA 2.0의 기본 동작원리와 같지만, HomePNA 2.0에서는 제공 되지 않았던 CMP기<sup>4)</sup> 링크 계층 프로토콜로 추가되었다. 이 프로토콜을 적용하면, 기본적인 DFPQ 방식에 비해 낮은 평균 충돌 횟수를 예상 할 수 있어 시스템 성능을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대 된다. 그러나 현재까지 CMP의 성능 분석에 대한 연구가 수행 되지 않고 있다.

본 논문은 유선 홈 네트워킹 기술인 HomePNA 3.0 비동기 MAC 모드에서의 CMP를 분석하고, 기존의 DFPQ 알고리즘에 대한 연구결과와 비교함으로써 HomePNA를 이용한 홈 네트워크 구성의 가장 적합한 방법을 찾을 수 있는 평가모델을 제안하고자 한다. 논문의 구성은 서론에 이어, 본론의 1절에서는 HomePNA 3.0 시스템의 전반적인 내용에 대해 언급하며, 2절에서는 기존의 DFPQ 알고리즘과 새로운 CMP에 대해 분석하겠다. 3절에서는 분석된 CMP에 대한 해석적 모델을 제시하여 포화 상태에서의 시스템 성능을 지연 및 수율 관점에서 분석하고 결론을 맺는다.

## II. 본론

### 1. HomePNA 3.0 시스템

#### 1.1 물리 계층

물리 계층은 2 - 10 bits per Baud Constellation 인코딩 및 변조 방법에 따라 2 - 24 Mbaud를 지원하므로 4 - 240 Mbps 전송 속도를 제공한다. 물리 계층의 프레임 (Frame) 구조는 그림 1과 같이 4 Mbps 전송 속도를 갖는 헤더 (Header) 와 트레일러 (Trailer), 4 - 240 Mbps의 가변 전송 속도를 갖는 페이로드 (Payload)로 구성된다. 전송 속도는 Frame Control 내의 페이로드 인코딩 필드 (PE)에서 인코딩 방식을 결정함으로써 결정된다. 또한,

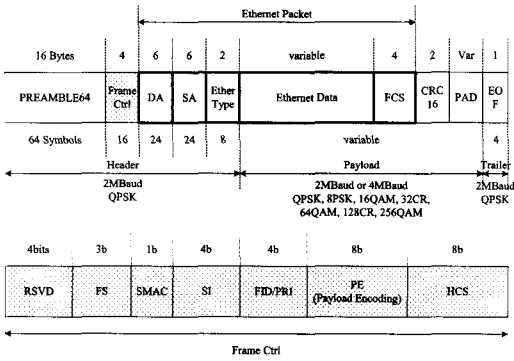


그림 1. 물리 계층의 프레임 구조

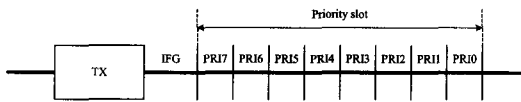


그림 2. 우선순위 슬롯 구조

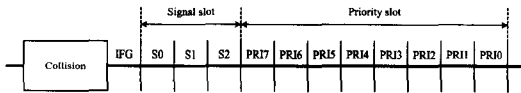


그림 3. 신호 슬롯 구조

Frame Control 내의 우선순위 필드 (PRI)는 프레임의 우선순위 값을 나타내며, SMAC 필드는 MAC 모드 방식을 나타낸다<sup>[4]</sup>.

### 1.2 비동기 MAC 계층

HomePNA 3.0 비동기 MAC에서는 IEEE 802.3 CSMA/CD 및 시간 슬롯을 이용한 우선순위 접근 기능을 수행한다. 우선순위 슬롯 구조는 그림 2와 같으며, 우선순위 슬롯 (PRI7-PRI0)은 앞선 데이터 프레임의 전송이 끝난 다음 Inter Frame Gap (IFG) 을 거쳐 생성된다. 우선순위 값은 0 - 7로서 높은 값의 우선순위를 갖는 프레임이 낮은 값의 우선순위를 갖는 프레임보다 빠른 전송 순서를 갖는다.

### 1.3 링크 계층

HomePNA 3.0 링크 계층에서는 다양한 링크 제어 기능을 수행한다. 프로토콜에는 최적의 전송 대역 선택을 돕는 Rate Negotiation과 네트워크상의 다른 시스템으로부터 프레임 수신 여부를 결정하는 Link Integrity, 네트워크에 참여하고 있는 시스템들 사이의 협상 및 정보 전달을 위한 Capability and

Status Announcement (CSA)가 있다. 또한, 에러를 효율적으로 감소시키기 위한 Limited Automatic Repeat reQuest (LARQ) 그리고 CMP 등이 있다<sup>[4]</sup>. CMP는 2절에서 자세히 알아보도록 하겠다.

## 2. 충돌 해결 알고리즘

### 2.1 DFPQK

네트워크를 구성하고 있는 여러 시스템이 동일한 우선순위로 데이터 프레임을 전송하게 되면 충돌이 발생하게 되고, 충돌이후 슬롯 구조는 그림 3과 같이 IFG 이후 신호 슬롯 (Signal Slot)들이 우선순위 슬롯 앞에 존재하게 된다. 신호 슬롯 구간은 3 개의 신호 슬롯 (S0, S1, S2)으로 구성되어 있으며, 이러한 신호 슬롯은 충돌이 일어날 때에만 발생하게 된다. 충돌이 발생한 시스템들은 3 개의 신호 슬롯 중에서 랜덤하게 하나의 신호 슬롯을 선택한 후, 선택된 신호 슬롯에서 백 오프 신호 (Backoff Signal)를 전송한다. 각 신호 슬롯에서 전송이 되는 백 오프 신호를 통해서 충돌이 발생한 시스템들은 재 전송 순서를 결정하게 되는데, S0 신호 슬롯에서 백 오프 신호를 전송한 시스템이 가장 먼저 재 전송을 하게 되며, S2를 선택한 시스템이 마지막에 재 전송을 하게 된다. 2대 이상의 시스템이 동일한 신호 슬롯을 선택하게 되면, 종속 충돌이 발생하게 되고, 일정구간의 시간 지연 후 신호 슬롯을 다시 선택하여 백 오프 신호를 전송하게 된다.

이 알고리즘은 충돌이 발생하는 시스템 수가 증가함에 따라 평균 충돌 횟수가 선형적으로 증가하게 되어, 평균 지연 시간이 충돌이 발생하는 시스템 수에 비례하는 특징이 있다<sup>[5],[10]</sup>.

### 2.2 CMP

CMP는 무제한 지연 특성을 갖는 CSMA/CD 알고리즘과는 달리 충돌 해결에 필요한 지연 시간이 제한된 특성을 갖는다. 또한, CMP에서는 최대 27 대의 시스템 충돌에 대한 충돌 해결을 정의하며, CMP의 동작원리는 다음과 같다.

충돌이 발생한 시스템들은 재 전송 순서를 표 1과 같이 CSS 값에 의해 결정한다. CSS 값은 네트워크에 참여하고 있는 각 시스템들이 서로 간에 주기적인 방송 통보를 기반으로 협상한 값으로서 각 시스템들의 CSS 값은 중복되지 않으며, 프레임 전송에 있어서 더 이상의 정보 교환이 없이도 사용이 가능하다. 재 전송이 사전에 정의 되어 있다는 것은

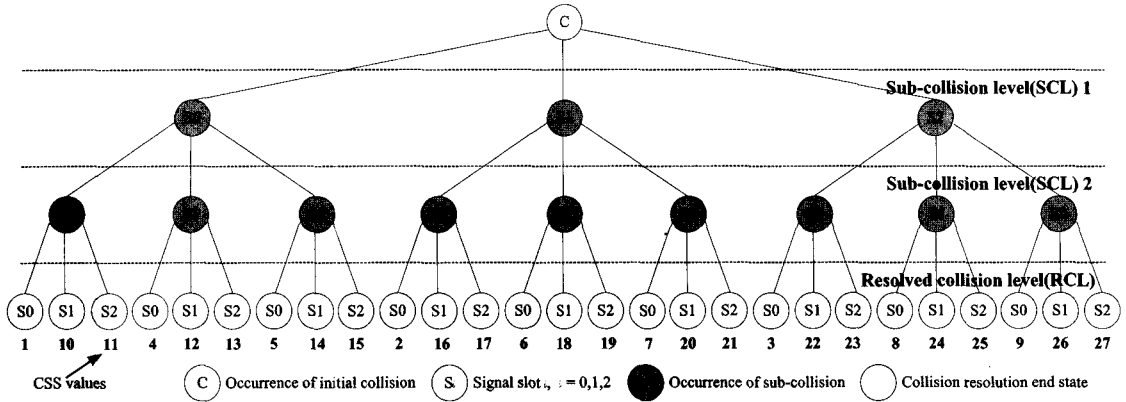


그림 4. 27 대의 시스템이 충돌하였을 경우

충돌이 발생한 시스템이 백 오프 신호를 전송할 신호 슬롯의 선택을 랜덤 확률로서 결정하지 않고, 사전에 약속된 신호 슬롯으로 할당 받게 되는 것과 같다.

그림 4는 27 대의 시스템이 동일한 우선순위로 프레임 전송하여 충돌하였을 경우, 이에 대한 CSS값과 신호 슬롯 할당의 관계를 삼진 트리(Ternary Tree) 구조로 나타내고 있다. 표 1의 CL1과 CL2는 그림 4의 Sub-collision level (SCL) 1과 2에서의 신호 슬롯 번호이며, RL은 Resolve collision level (RCL)에서의 신호 슬롯 번호이다. 그림 4에서 CSS값이 13인 시스템은 동일한 우선순위로 인해 처음 충돌(C)이 발생하게 되면 신호 슬롯 S0를 선택하고, 첫 번째 (SCL 1)와 두 번째 종속 충돌 (SCL 2)이 발생하면 각각 신호슬롯 S1과 S2를 차례로 선택하게 되어 충돌을 해결하게 된다. 충돌을 해결하게 되면, 이 시스템은 27 대의 시스템 중 6번째로 프레임 전송에 성공하게 된다.

### 3. 해석적 모델 제안 및 성능 평가

#### 3.1 해석적 CMP 모델

본 논문에서는 포화 상태에서의 CMP 모델을 분석하기 위해 HomePNA 3.0 비동기 MAC으로 동작하는 27 대의 시스템으로 구성된 네트워크를 고려하고, 동일한 우선순위를 갖는 n 대의 시스템이 데이터 프레임을 전송하며, 각 시스템의 데이터 프레임은 동일한 크기로 가정 한다. 또한, 프레임 전송이 성공한 후 항상 전송할 프레임을 가지고 있다고 가정 한다. 그림 5에서는 그림 4의 RCL에 있는 27 개의 CSS 값에 해당되는 각 신호 슬롯을 2진 bit sequence로 사상시켰으며, 표 1의 CL1 = CL2 =

RL = 0인 시간 슬롯이 LSB가 되고 CL1 = CL2 = RL = 2인 시간 슬롯이 MSB가 된다. 그리고 파라미터 s는 충돌이 발생한 임의의 시스템이 s번째 비트에 위치할 경우를 나타내며, s = 0, 1, 2, ..., 26이 된다.

#### 3.1.1 SCL 1의 충돌 횟수

표 2-1은 SCL 1의 충돌 횟수를 구하기 위해 파라미터 s를 세 개의 그룹으로 정의한다. 여기서 파라미터 u는 SCL 1에서의 u번째 그룹을 나타내며, u = 0, 1, 2가 된다. SCL 1에서의 충돌은 각 그룹에 2 대 이상의 시스템이 존재할 경우 발생하게 되며, 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1(D_u) = \begin{cases} 1, & 2^{9u} \leq D_u < 2^{9(u+1)} \text{ and } \\ & D_u \neq 2^{9u+r}, \\ & (u = 0, 1, 2 \text{ and } \\ & \text{all } r = (0, 1, 2, \dots, 8)), \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 함수 C<sub>1</sub>( )은 SCL 1에서의 충돌 여부를 판단하는 함수로서 충돌일 경우 1의 값을 갖는다. 파라미터 D<sub>u</sub>는 u번째 그룹의 s들을 십진수로 변환하였을 때 변환된 값들의 합으로서 식 (2)와 같다.

$$D_u = \sum_{s=9u}^{9u+8} 2^s, \quad u = 0, 1, 2. \quad (2)$$

표 1. CSS값에 의한 재 전송 순서.

CSS 값	CL1,CL2,RL 번호	재 전송 순서	CSS 값	CL1,CL2,RL 번호	재 전송 순서
1	0, 0, 0	1	15	0, 2, 2	9
2	1, 0, 0	10	16	1, 0, 1	11
3	2, 0, 0	19	17	1, 0, 2	12
4	0, 1, 0	4	18	1, 1, 1	14
5	0, 2, 0	7	19	1, 1, 2	15
6	1, 1, 0	13	20	1, 2, 1	17
7	1, 2, 0	16	21	1, 2, 2	18
8	2, 1, 0	22	22	2, 0, 1	20
9	2, 2, 0	25	23	2, 0, 2	21
10	0, 0, 1	2	24	2, 1, 1	23
11	0, 0, 2	3	25	2, 1, 2	24
12	0, 1, 1	5	26	2, 2, 1	26
13	0, 1, 2	6	27	2, 2, 2	27
14	0, 2, 1	8			

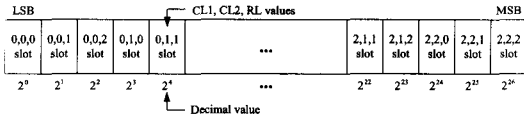


그림 5. RCL의 신호 슬롯을 2진 bit sequence로 사상.

3.1.2 SCL 2의 충돌 횟수

표 2-1과 같이 SCL 2에 대한 표 2-2를 정의한다. 파라미터  $v$ 는 SCL 2에서의  $v$ 번째 그룹을 나타내며,  $v=0, 1, \dots, 8$ 이 된다. SCL 2에서의 충돌은 SCL 1에서의 충돌과 같이 각 그룹에 2대 이상의 시스템이 존재할 경우 발생하며, 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_2(D_v) = \begin{cases} 1, & 2^{3v} \leq D_v < 2^{3(v+1)} \text{ and } \\ & D_v \neq 2^{3v+l}, \\ & (v=0, 1, 2, \dots, 8 \text{ and } \\ & \text{all } l=(0, 1, 2)), \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

여기서 SCL 2의 충돌 여부를 판단하는 함수  $C_2()$ 에 대한 파라미터  $D_v$ 는 다음과 같다.

$$D_v = \sum_{s=3v}^{3v+2} 2^s, \quad v=0, 1, 2, \dots, 8. \quad (4)$$

3.1.3 평균 충돌 횟수

식(1)과 식(3)으로부터, 본 논문에서 정의된

표 2-1. SCL 1의 그룹 정의

$u$	$s$
0	0, 1, 2, ..., 8
1	9, 10, 11, ..., 17
2	18, 19, 20, ..., 26

표 2-2. SCL 2의 그룹 정의

$v$	$s$	$v$	$s$
0	0, 1, 2	5	15, 16, 17
1	3, 4, 5	6	18, 19, 20
2	6, 7, 8	7	21, 22, 23
3	9, 10, 11	8	24, 25, 26
4	12, 13, 14		

네트워크 환경에서  $n$  대의 시스템이 충돌하였을 경우,  $n$  대 시스템의 CSS 값에 따른 모든 경우의 충돌 횟수  $C_s(n)$ 는 식(5)와 같다.

$$C_s(n) = \sum_{i_1=0}^{26} \sum_{i_2=0}^{26} \dots \sum_{\substack{i_k=0, \\ i_2 \neq i_{k-1}, \\ \dots \\ i_n \neq i_1}}^{26} (C_1(D_{u_i}) + C_2(D_{v_i})), \quad (5)$$

$$n \geq 2.$$

식(5)를 사용하여 동일한 우선순위로 인해 일어나는 초기 충돌로부터 충돌 해결 과정에서 일어나는 중속 충돌에 대한 평균 충돌 횟수는 식(6)과 같이 해석된다.

$$MC(n) = \frac{C_s(n) + 1}{\binom{27}{n}}, \quad n \geq 2. \quad (6)$$

그림 6은 식(6)으로 해석된 CMP의 평균 충돌 횟수와 기존 알고리즘인 DFPQ의 평균 충돌 횟수를 나타낸다. 충돌이 발생하는 시스템 수가 증가함에 따라 DFPQ의 평균 충돌 횟수는 선형적으로 증가하지만, CMP의 평균 충돌 횟수는 로그 곡선 형태로 증가한다. 포화상태에서 DFPQ는 충돌이 발생할 경우 세 개의 신호 슬롯을 평균 1/3의 확률로서 선택하게 되므로 시스템 수에 따라 평균 충돌 횟수가 선형적으로 증가하게 된다. 그러나 CMP에서는 처음 충돌이 발생하는 시스템의 수를 2 - 27 대만을 고려했을 때, 충돌 횟수는 시스템의 수가 14 대일 경

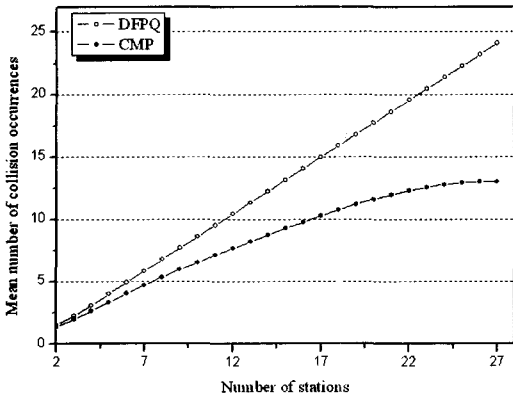


그림 6. 평균 충돌 횟수

우까지 선형적으로 증가하다가 시스템의 수가 15 대일 경우부터는 증가폭이 감소하게 된다. 따라서 평균 충돌 횟수는 시스템 수에 따라 로 그 곡선 형태로 증가하게 된다.

3.2 시스템 성능 분석

성능 분석을 위해 표 3과 같이 HomePNA 3.0 비동기 MAC 시스템의 물리 계층 변수를 정의 하며, 각 변수의 의미는 다음과 같다.

- $F_h$  : 헤더 필드 길이
- $F_p$  : 페이로드 필드의 최대 길이
- $F_t$  : 트레일러 필드 길이
- $TR_{h-t}$  : 헤더와 트레일러 필드 전송 속도
- $TR_p$  : 페이로드 필드 전송 속도
- $S_{ifg}$  : IFG 슬롯 길이
- $S_{min-cd}$  : 충돌을 감지 할 수 있는 최소 시간 슬롯 길이
- $S_{min-cd}$  : 충돌을 감지 할 수 있는 최소 시간 슬롯 길이
- $S_{sig}$  : 신호 슬롯 길이
- $S_{pri}$  : 우선순위 슬롯 길이
- $P$  : 우선순위 값

표 3의 변수를 사용하여 프레임 전송 간에 고려 되는 지연 시간 및 전송 시간을 다음과 같이 정의 할 수 있다. 식 (7)은 시스템이 프레임의 첫 전송을 시작하기 전에 필요한 시간 지연이며, 식 (8)은 프레임 전송 시간 이다. 충돌 해결에 필요한 평균 시간은 식 (9)와 같다.

표 3. 물리 계층 변수

변수	값	변수	값
$F_h$	32 [Bytes]	$S_{ifg}$	29 [us]
$F_p$	1514 [Bytes]	$S_{min-cd}$	32 [us]
$F_t$	1 [Byte]	$S_{sig}$	32 [us]
$TR_{h-t}$	4 [Mbps]	$S_{pri}$	21 [us]
$TR_p$	4-240 [Mbps]	$P$	0 - 7

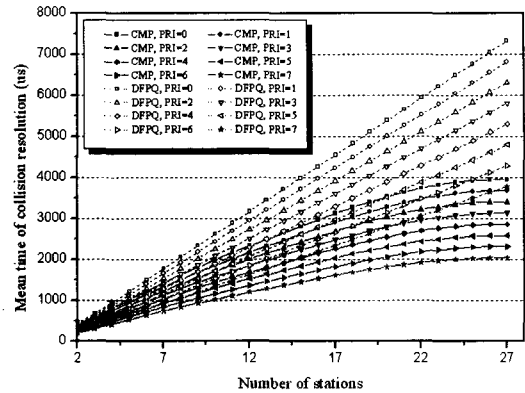


그림 7. 평균 충돌 해결 시간

$$T_{pre-tx} = S_{ifg} + (7 - P) \cdot S_{pri} \tag{7}$$

$$T_{f-tx} = \left( \frac{8(F_h + F_t)}{TR_{h-t}} + \frac{8F_p}{TR_p} \right) n + (n - 1) \cdot S_{ifg} \tag{8}$$

$$T_{c-r} = MC(n) \cdot (S_{min-cd} + S_{ifg} - 3S_{sig} - (7 - P) \cdot S_{pri}) \tag{9}$$

그림 7은 식(9)로 해석된 CMP의 충돌 해결에 필요한 평균 시간과 DFPQ의 충돌 해결에 필요한 평균 시간을 나타낸다. 충돌이 발생하는 시스템 수가 증가함에 따라 그림 6의 결과와 동일한 분포를 나타내며, 하나의 시스템을 고려할 때, 우선순위 값에 따른 충돌 해결에 필요한 평균 시간의 차이는 DFPQ보다 CMP에서 더 작게 나타난다.

식(7) - (9)로부터 평균 포화 수율을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{throughput} = \frac{\frac{8F_p}{TR_p} n}{T_{pre-tx} + T_{f-tx} + T_{c-r}} \tag{10}$$

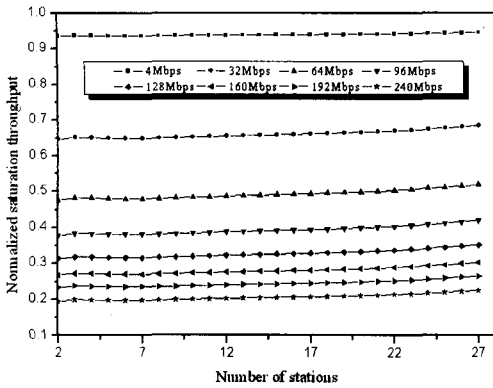


그림 8-1. CMP의 포화 수율 (우선순위 = 7)

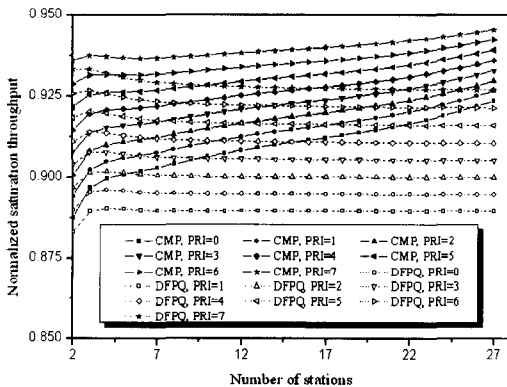


그림 8-2. 포화 수율 (페이로드 전송 속도 = 4Mbps)

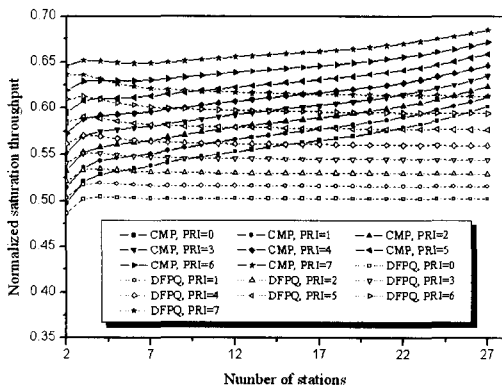


그림 8-3. 포화 수율 (페이로드 전송 속도 = 32Mbps)

그림 8-1은 충돌이 발생한 시스템의 우선순위 값이 7일 경우, 식(10)으로 해석된 CMP의 평균 포화 수율이다. 충돌이 발생하는 시스템 수가 증가함에 따라 페이로드 전송 속도와 평균 포화 수율은 반비례함을 볼 수 있다. 그림 8-2와 8-3에서는 페이로드 전송 속도가 각각 4Mbps와 32Mbps인 경우 CMP와 DFPQ의 평균 포화 수율의 분포를 우선순위에

따라 비교하였다. 두 알고리즘의 포화 수율은 우선순위에 비례하지만, 충돌이 발생하는 시스템 수가 증가함에 따라 CMP는 조금씩 증가하며, DFPQ는 조금씩 감소함을 볼 수 있다. 이러한 결과는 CMP와 DFPQ의 평균 충돌 횟수가 시스템 수에 따라 각각 로그 곡선 형태와 선형적으로 증가하기 때문에 나타난다.

### III. 결론

본 논문에서는 HomePNA 3.0 비동기 MAC 모드 시스템의 CMP를 분석하였다. 또한, 이 알고리즘의 검증에 위해 해석적 모델을 제시하였으며, 포화 상태에서의 성능을 기존 알고리즘인 DFPQ와 비교 분석 하였다. 충돌 해결에 필요한 평균 시간을 살펴 보면, DFPQ는 충돌이 발생한 시스템 수가 증가함에 따라 선형적으로 증가하지만, CMP에서는 로그 곡선 형태로 증가한다. 즉, 평균 충돌 해결 시간이 경합중인 시스템 수에 비례하고, 제한적인 충돌 해결 시간을 갖는 동일한 특성이 있지만, DFPQ보다 CMP의 평균 충돌 해결 시간 분포가 낮게 나타난다. 포화 수율은 경합중인 시스템 수가 증가함에 따라 DFPQ에서는 일정한 값으로 감소하며 수렴하였지만, CMP에서는 조금씩 증가 하였다. 또한, 우선순위 값과 페이로드 전송 속도에 영향을 받아 우선순위 값이 증가함에 따라 포화 수율은 증가하였으며, 페이로드 전송 속도가 증가함에 따라 포화 수율은 감소하였다.

이상의 성능평가에서 CMP는 CSMA/CD 기반의 기존 알고리즘인 DFPQ보다 좋은 성능을 나타낸다. 따라서 이 분야에 대한 홈 네트워크 시스템 설계 시, 본 논문의 연구결과를 이용한 가장 적합한 방법을 찾을 수가 있겠다. 향후 연구 과제로는 28 대 이상의 시스템에서 충돌이 일어났을 경우, CSS값의 확장 방안에 대한 연구가 필요하겠다.

### 참고 문헌

- [1] 정해원, 김종원, 이형호, “홈 네트워킹 기술의 소개 및 국내의 동향,” *전자공학회지*, vol. 26, no. 9, pp. 904-916, 1999. 9.
- [2] 김종원, 양재우, “HomePNA 기술,” *한국통신학회지*, vol. 17, no. 11, pp. 33-44, 2000. 11.
- [3] “Interface specification for HomePNA™

- 2.0: 10M8 technology," Dec. 1999.
- [4] "Interface specification for HomePNA™ 3.0: version 0.7.0.0," Proceedings of the HomePNA™.
- [5] M. Y. Chung, H. C. Kim, T-J. Lee, "HomePNA 2.0 - Saturation Throughput Analysis," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 7, no. 11, pp. 558-560, Nov. 2003.
- [6] P. Bisaglia, R. Castle. and S. H. Baynham, "Channel Modeling and System Performance for HomePNA 2.0," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 20, no. 5, pp. 913-921, June. 2002.
- [7] E. H. Frank and J. Holloway, "Connecting the Home with a Phone Line Network Chip Set," *IEEE Micro*, vol. 20, no. 2, pp. 27-38, Mar. 2000.
- [8] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data Networks*, Prentice-Hall International, Inc., 1987.
- [9] P. Mathys and P. Flajolet, "Q-ary Collision Resolution Algorithms in Random-Access Systems with Free or Blocked Channel Access," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-31, no. 2, pp. 217-243, Mar. 1985.
- [10] L. Loh and Y. Ozturk, "Quality of Support and Priority Management in HomePNA 2.0 Link Layer," *Proceedings of the Eighth IEEE ISCC*, pp. 861-868, Jul. 2003.
- [11] S. Kangude, J. Copeland, M. Sherman, "An Analysis of the Home PNA Collision Resolution Mechanism," *Proceedings of the 28th Annual IEEE LCN*, pp. 250-259, Oct. 2003.

김 희 천(Hee Chon Kim)

준회원

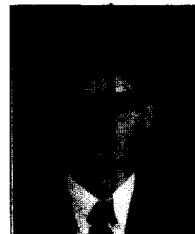


2002년 2월 : 성균관대학교  
정보통신공학부 졸업  
2002년 3월~현재 : 성균관  
대학교 전자전기공학과  
석사과정

<관심분야> 유무선 홈 네트워크, Ad-hoc 네트워크

정 민 영(Min Young Chung)

종신회원



1990년 2월 : KAIST  
전자공학과 졸업  
1994년 2월 : KAIST  
전자공학과 석사  
1999년 12월 : KAIST  
전자공학과 박사

2000년 1월~2002년 2월 : ETRI 선임 연구원

2002년 3월~현재 : 성균관대학교

정보통신공학부 조교수

<관심분야> 유무선 홈 네트워크, Mobile 통신  
네트워크, IP 라우터 시스템, Optical  
네트워크 관련 성능분석

이 태 진(Tae-Jin Lee)

종신회원



1989년 2월 : 연세대학교  
전자공학과 졸업  
1991년 2월 : 연세대학교  
전자공학과 석사  
1995년 12월 : 미국 University  
of Michigan, AnnArbor,  
ECE 석사

1999년 5월 : 미국 University of Texas EECS 박사

1999년 8월~2001년 2월 : 삼성전자 책임 연구원

2001년 3월~현재 : 성균관대학교 정보통신공학부

조교수

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계,  
무선 PAN/LAN, Ad-hoc 네트워크,  
광 네트워크