

# HomePNA 2.0에서의 새로운 충돌해결 알고리즘

윤원진, 김희천, 정민영  
성균관대학교 정보통신공학부  
gairun79@unitel.co.kr, heechon2@empal.com,  
mychung@ece.skku.ac.kr

## A Novel collision resolution algorithm in HomePNA 2.0

Won Jin Yoon, Hee Chon Kim, Min Young Chung  
School of Information and Communication Engineering  
Sungkyunkwan University

### 요 약

HomePNA(Home Phoneline Networking Alliance)는 가정에서 전화선을 이용하여 2대 이상의 통신기기를 서로 공유할 수 있도록 하는 네트워크 솔루션으로, HomePNA2.0은 기존의 HomePNA1.0과 호환성을 유지하면서도 10Mbps로 전송 가능한 새로운 규격이다. 1999년에 규격이 발표되었으며, CSMA/CD를 기반으로 한 DFPQ (Distribute Fair Priority Queueing) 방식의 충돌해결 방법을 사용하고 있다. 본 논문에서는 기존 DFPQ에 기반을 둔 새로운 알고리즘을 제안하고, 기존 DFPQ와 비교 및 분석한다.

### 1. 서론

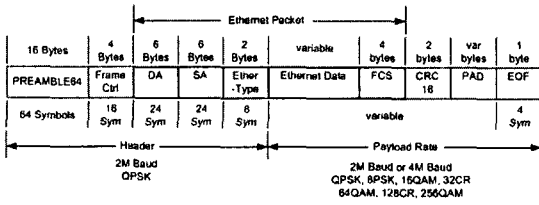
국내 인터넷 사용 인구가 3천만명을 넘어서면서 그와 더불어 인터넷 접속 및 데이터 공유를 위해 PC를 비롯한 가정용 멀티미디어 단말기(CE: Consumer Electronics)를 하나로 연결하는 홈 네트워크 시장의 규모가 점차적으로 증가하고 있는 추세이다. 홈 네트워킹 기술은 맥내의 PC와 프린터 같은 PC 관련 기기를 비롯, TV·냉장고·세탁기 등 가정 내의 모든 가전기기 와 이동용 단말기들을 하나의 네트워크로 연결해 기기 제어 및 정보공유는 물론 각각의 기기를 통해 인터넷에 동시에 접속할 수 있게 한다. 홈 네트워킹 기술에는 HomePNA, PLC (전력선통신), IEEE1394 등 유선 홈 네트워킹을 비롯해 블루투스 (Bluetooth), UWB (Ultra Wide Band), 바이너리 (Binary) CDMA와 IEEE802.15 등과 같은 무선PAN 기술 등 다양하다.

유선 홈 네트워크 기술 중 하나인 HomePNA는 5.5Mhz~9.5Mhz의 주파수 대역을 사용하는 유선 홈 네트워크 기술로서 최고 1.1Mhz의 주파수를 사용하는

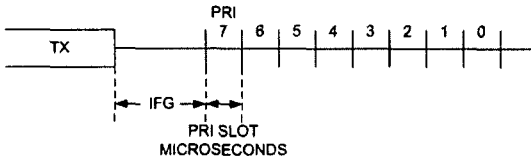
xDSL과의 상호 간섭을 일으키지 않아 외부 잡음에 강해, 신뢰성이 있으며, 기존의 전화 회선을 이용할 수 있고, Ethernet Frame을 포함하고 있기 때문에 기존의 Ethernet과 호환성이 있어 초기 투자비용이 적게 들며, 기존 장비를 계속 사용할 수 있다는 장점이 있다. Home PNA 2.0은 첫 번째 규격인 HomePNA 1.0과 마찬가지로 기존의 전화회선을 사용하지만, 속도가 최고 10 Mbps까지 제공될 수 있고, 하위 규격과의 호환성을 위해 Ethernet Frame을 포함한 동일한 Frame 구조를 가지고 1Mbps로 동작할 수 있는 옵션을 갖추고 있으며, 장래에 음성, 비디오 및 데이터 활용을 위해 적합한 더 빠른 속도의 Network를 제공하도록 설계되었다.

본 논문은 이러한 HomePNA 2.0의 DFPQ MAC protocol에 기반을 둔 Novel DFPQ MAC protocol을 제시하고 기존의 방식과의 비교, 분석을 통해 Home network구성에 있어서 최적의 방법을 찾고자 한다. 2장에서는 HomePNA 2.0 MAC protocol의 DFPQ 알고

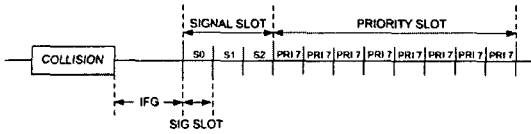
\* 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성·지원사업의 연구 결과로 수행되었음



(그림 1) PHY Frame Format



(그림 2) Priority Slot



(그림 3) Signal Slots

리즘을 분석하고 3장에서는 Novel DFPQ MAC protocol의 알고리즘을 기술하며, 4장에서 두 알고리즘의 시뮬레이션을 통한 모의실험 결과를 비교하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. HomePNA 2.0 MAC protocol 분석

HomePNA protocol은 Link Layer protocol, MAC-Media Access Control, PHY로 구성된다. PHY frame format은 그림 1과 같으며 Ethernet Frame Format을 포함하고 있기 때문에 Ethernet과 호환성이 있다. Data는 Ethernet Data Format으로 변환되어 Frame에 실리게 되고, Header 부분은 2MBaud의 전송속도를 가지며, Payload부분은 2M, 4MBaud의 가변적인 속도를 가지는 특징이 있다. Medium을 공유하는 각 단말들은 Medium의 상태를 CS (Carrier Sense) Frame을 통해 Check하는 CSMA/CD 방식으로 전송에 참여하게 된다.

HomePNA 2.0 MAC protocol은 우선순위 접근 (Priority Access)방식을 제공한다. 우선순위 접근 방식은 일정시간 (IFG : Inter Frame Gap)이후에 가상의 Time Slot이 8개 생성되고 각 Time Slot은 0~7까지의 Priority를 가진다. Priority Slot의 구조는 그림 2와 같다. 각 단말은 0~7까지 8개의 우선순위중 하나를 가지게 되며, 우선순위 7을 가진 단말이 가장 우선적으로 전송할 수 있는 권리를 가지게 된다. 같은 우선순위를

가진 단말이 Medium에 Access하게 되면 충돌이 발생하고 DFPQ (Distribute Fair Priority Queuing) 방식으로 충돌을 해결하게 된다. 충돌이 발생하게 되면 IFG를 거친 후 Priority Slot 앞쪽에 같은 길이의 3개의 Signal Slot이 그림 3과 같이 형성된다. Signal Slot은 충돌이 감지되었을 때에만 생성되며, 각 단말은 임의의 Slot을 선택한 후에 Back-off Signal을 전송하게 된다. 각 Slot의 우선순위는  $S0 > S1 > S2$  순이며, 이는  $S0$ 를 선택한 단말이 우선순위를 가진다는 의미이다.

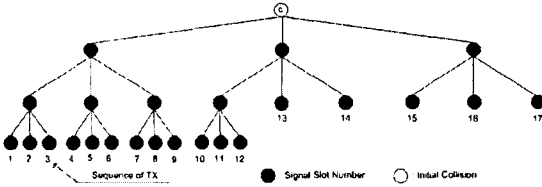
단말에는 Priority Slot당 1개, 총 8개의 MBL (Master Back-off Level)카운터가 존재하고, 이는 0으로 초기화되어 있으며 전송에 참여하는 Back-off Signal의 전체 수에 의해 결정된다. 또, 전송에 참여하는 각 단말의 버퍼에는 자신이 선택한 Back-off Signal보다 앞선 우선순위의 Signal 수가 BL (Back-off Level)값으로 저장되며, BL값이 0인 단말이 전송의 우선권을 가진다. 하나의 단말이 성공적으로 전송을 하게 되면 다른 단말의 BL값과 MBL값은 하나씩 줄어들게 되며, 같은 BL값을 가진 단말이 2대 이상 존재하면 종속충돌이 일어나게 되어 다시 Signal Slot이 생성되고 Slot을 선택한 후에 BL값이 결정된 다음 BL값이 0인 단말이 전송을 시작하게 된다. MBL은 단말이 Medium을 감시하고 있기 때문에 모든 단말이 동일한 MBL값을 가지고 있으나, BL은 전송에 참여하는 단말만이 Set하고 참여하지 않는 단말은 값을 가지지 않는다. MBL값이 0이 되면 최초 충돌을 일으킨 단말은 모두 전송을 마친 것이 되며, 충돌해결 과정 도중에 전송에 참여하려는 단말은 BL값이 MBL값과 동일하게 설정되어 최초 충돌을 일으킨 단말이 전송을 모두 마친 후에 전송에 참여할 수 있게 된다.

## 3. Novel DFPQ MAC protocol

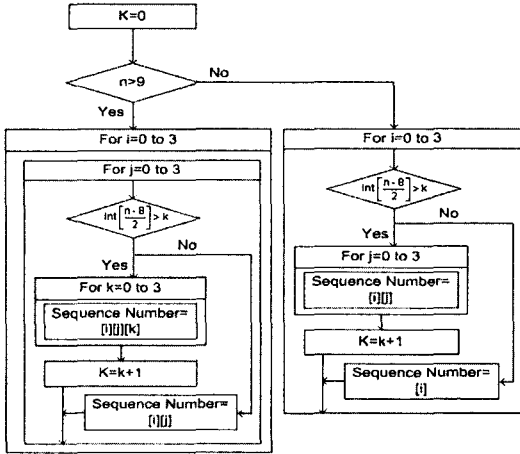
DFPQ는 충돌을 일으키는 단말수가 많아질수록 선형적으로 충돌회수가 증가하여 평균 지연시간이 충돌이 발생하는 시스템 수에 비례하는 특징이 있다.<sup>[2]</sup>

Novel DFPQ는 최대 27대의 단말이 충돌하였을 경우의 해결 방법을 제시하며, 항상 일정한 n대의 단말이 전송에 참여한다고 가정한다. 단말의 Buffer에는 전송 순서에 따른 SN (Sequence Number)이 저장돼 다음 전송시에 활용하게 된다. 각 단말은 항상 Medium을 Sensing하고 있기 때문에 자신이 몇 번째로 전송이 되는지를 알 수 있다. 전송 순서에 따라 각 단말에 SN이 할당되는 알고리즘은 그림 5와 같다.

그림 4는 17대의 단말이 전송에 참여할 경우의



(그림 4) Example of Sequence Number and Sequence of TX



(그림 5) Assignment of Sequence Number

Signal Slot 할당을 트리 형태로 보여주고 있으며 이 경우의 전송 순서에 따른 SN값은 표 1과 같다. 각 단말의 SN은 0,0,0으로 초기화 되어 있으며, 같은 SN값을 가진 단말의 충돌종들은 DFPQ로 해결한다. 다시 전송에 참여할 경우 SN은 자신이 선택하게 될 Signal Slot Number 역할을 하게 되어 임의로 선택하게 되는 경우의 충돌종들을 최소한으로 줄여주는 역할을 한다.

4. 성능평가

HomePNA 2.0 의 수율을 계산하기 위해 다음과 같은 파라미터를 정의한다.

- $H_{phy\_hdr}$ : 헤더(header) 프레임 길이(32 bytes)
- $H_{phy\_tra}$ : 트레일러(trailer) 프레임 길이(1 byte)
- $H_{max\_payload}$ : 페이로드(payload)프레임 최대길이 (1514 bytes)
- $D_{ifg}$ : IFG 슬롯 간격(29  $\mu$ sec)
- $D_{cd\_min}$ : 충돌을 감지 할 수 있는 최소 슬롯 간격 (32  $\mu$ sec)
- $D_{sig\_slot}$ : 백 오프 신호 슬롯 간격(32  $\mu$ sec)
- $D_{pri\_slot}$ : 우선 순위 슬롯 간격(21  $\mu$ sec)
- $L_{pri}$ : 우선 순위 값(0~7)
- $R_{hdr\_tra}$ : 헤더 프레임과 트레일러 프레임 전송 비

<표 1> 전송순서에 따른 Sequence Number

Sequence Number	전송순서	Sequence Number	전송순서
0,0,0	1	1,0,0	10
0,0,1	2	1,0,1	11
0,0,2	3	1,0,2	12
0,1,0	4	1,1	13
0,1,1	5	1,2	14
0,1,2	6	2,0	15
0,2,0	7	2,1	16
0,2,1	8	2,2	17
0,2,2	9		

(4 Mbps)

•  $R_{payload}$ : 페이로드 프레임 전송 비(4~32 Mbps)

$$S_{throughput} = \frac{8H_{max\_payload}}{D_{pre\_cd} + D_{frame\_trans} + D_{coll\_resol}} \quad (1)$$

$D_{pre\_cd}$ ,  $D_{frame\_trans}$  그리고  $D_{coll\_resol}$  은 다음과 같다.

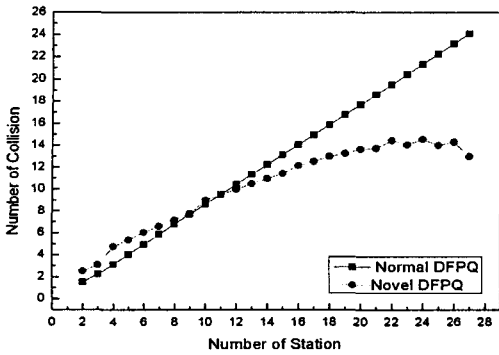
$$D_{pre\_cd} = D_{ifg} + (7 - L_{pri})D_{pri\_slot} \quad (2)$$

$$D_{frame\_trans} = \left( \frac{8(H_{phy\_hdr} + H_{phy\_tra})}{R_{hdr\_tra}} + \frac{8H_{max\_payload}}{R_{payload}} \right) n + D_{u_g}(n+1) \quad (3)$$

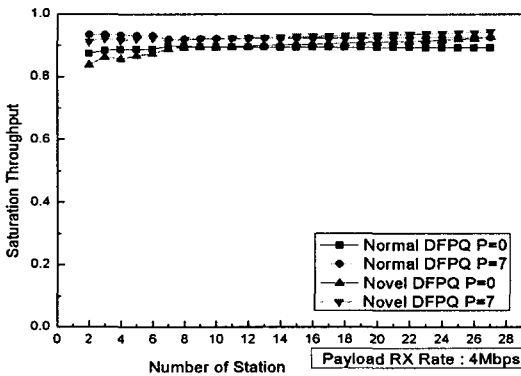
$$D_{coll\_resol} = C(n)(D_{cd\_min} + D_{ifg} + 3D_{sig\_slot} + (7 - L_{pri})D_{pri\_slot}) \quad (4)$$

2장과 3장에서 제시된 알고리즘을 바탕으로 두 가지의 비교를 위해 모의실험을 실시하였다. 시뮬레이션 환경은 하나의 Medium을 27대의 단말이 공유하고 있으며, 27대의 단말 중 전송에 참여하는 단말의 수는 2대 부터 27대까지 변화하며, 포화상태라고 가정한다.

그림 6은 Novel DFPQ와 Normal DFPQ의 단말 수의 변화에 따른 평균 충돌횟수의 모의실험 결과이다. Normal DFPQ는 최대 수율을 얻기 위하여 각 단말이 하나의 Signal Slot을 선택할 확률을 1/3로 놓고 계산했다. 초기에 전송에 참여하는 단말의 수가 많지 않을 때에는 다음 전송에 참여하는 비율이 낮아 전송에 참여하는 대다수의 단말의 SN이 초기화되어있기 때문에 Initial collision에 의해 같은 단말의 수의 Normal DFPQ보다 다소 좋지 않은 결과를 보여주고 있다. 하지만 전송에 참여하는 단말의 수가 늘어날수록 SN이 fix 되는 비율이 높아짐으로서 충돌종들의 횟수가 줄어들어 DFPQ에 의해 전송되는 단말의 수가 줄어들기 때문에 전체 충돌횟수의 증가량이 줄어들을 알 수 있다.

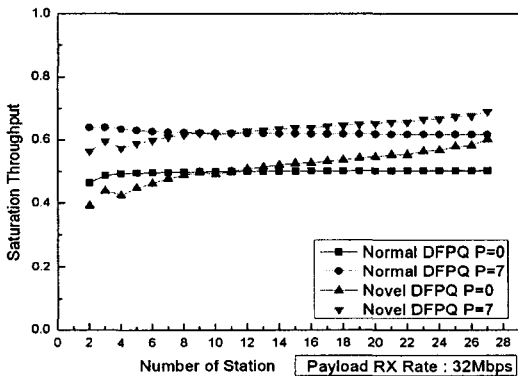


(그림 6) 충돌횟수 비교



(그림 7) Saturation Throughput(4Mbps)

그림 7과 8은 (1)에 의해 계산된 Saturation



(그림 8) Saturation Throughput(32Mbps)

Throughput을 비교한 것이다. 수율은 전체적으로 단말 수가 10대 이상일때부터 증가하기 시작하며, 20대 이상 일때부터 Normal DFPQ보다 현저하게 높은 수율을 얻을 수 있다. 전송비가 낮은 경우에 더욱 높은 수율을 얻을 수 있으며, 수율이 단말의 수가 증가할수록 줄어드는 Normal DFPQ에 비해 Novel DFPQ는 수율이 점

점 증가하여 우선순위가 0인 Novel DFPQ가 우선순위가 7인 Normal DFPQ와 비슷한 Throughput을 보여주고 있어 더욱 효율적임을 알 수가 있다. 수율의 증가치는 전송속도가 32Mbps쪽이 훨씬 커서 우선순위가 0인 경우는 약 10%, 우선순위가 7인 경우에는 약 8%의 증가를 볼 수 있다. 그리고 같은 전송비일 때는 우선순위가 높은 쪽이 높은 수율을 얻을 수 있다.

### 5. 결론

본 논문에서는 보다 개선된 HomePNA 2.0 MAC protocol에 대한 알고리즘을 제시하고 그 모의실험 결과를 통하여 기존의 방식보다 높은 수율을 얻을 수 있다는 것을 나타내었다. 단말수가 늘어날수록 조금씩 감소하는 Normal DFPQ에 비하여 Novel DFPQ의 수율은 뚜렷이 증가하는 것을 보여주고 있다. 전송속도가 높고, 단말의 수가 증가하여 Sequence Number가 fix 되는 비율이 높아질수록 수율이 높아진다. 따라서 일정 수준 이상의 단말이 전송에 참여하고 전송속도가 높은 경우에 이 Algorithm을 사용할 것을 제안한다.

### 참고문헌

- [1] Interface Specification for HomePNA 2.0: 10M8 Technology, Dec. 1999.
- [2] M. Y. Chung, H. C. Kim and T. J. Lee, "HomePNA 2.0 - Saturation Throughput Analysis", Communication Letters, IEEE, vol. 7, no. 11, pp. 558 - 560, Nov. 2003.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] W. S. Chung, and C. K. Un, "Collision resolution algorithm for M-priority users", Communications, IEE Proceedings-, vol. 142, no. 3, pp. 151 - 157, June 1995.
- [6] 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.