

# 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜 분석

황민태\*, 김동균\*\*, 이재조\*\*\*, 이원태\*\*\*, 김관호\*\*\*

\* 창원대학교 정보통신공학과  
\*\* 인제대학교 정보컴퓨터공학부  
\*\*\* 한국전기연구소 정보/광응용연구그룹

## A Study on the MAC Protocols for the Power Line Communications

Min-Tae Hwang\*, Dong-Geun Kim\*\*, Jae-Jo Lee\*\*\*, Won-Tae Lee\*\*\*, Kwan-Ho Kim\*\*\*

\* Dept. of Information and Communication Engineering, Changwon Nat'l Univ.  
\*\* School of Information and Computer Engineering, Inje Univ.  
\*\*\* Power Telecom & Optics Application Research Group, KERI

### 요약

전력 공급을 위해 사용되는 전력선은 다수의 사용자들이 공유하는 형태이므로 이를 통신 목적으로 이용하고자 하는 경우에는 충돌 방지와 신뢰성 있는 통신을 위한 MAC 프로토콜이 필수적으로 필요하다. 본 논문에서는 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜을 조사 분석하였다. 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜로는 물리적인 구조상 토큰 패싱과 CSMA를 사용하고 있으나 토큰 패싱은 통신망이 저 부하일 때 토큰 전달에 따른 대역폭의 낭비가 있으며 CSMA는 통신망이 고 부하일 때 잦은 충돌로 인해 효율이 저하된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 하이브리드 토큰 패싱 과 CSMA/PA가 연구되고 있으나 성능 향상은 있는 반면에 각 노드가 가져야 하는 기능이 복잡해지고 구현의 용이성은 떨어진다.

### 1. 서론

전력선 통신은 매체 자체에서 발생하는 노이즈, 주파수 의존 감쇄 현상 그리고 물리적으로 타당하지 않은 연결성 등으로 인해 통신매체로 사용하기 위한 활발한 기술 개발이 없었다. 하지만 전력선을 이용한 통신은 망 설치 시 발생하는 추가 비용을 획기적으로 줄일 수 있고 또한 초고속 인터넷 서비스를 위해 전력선을 이용한 가입자 망이 구성된다면 산간벽지 까지 전력선 인프라를 가지고 있는 국내의 환경에서는 최적의 솔루션이 된다. 그리고 가입자망 기술 이외에도 홈 네트워킹 기술 구현 등에 유리하기 때문에 전력선 통신은 연구 할만한 가치가 있다. 최근 전력선의 물리적인 단점을 극복할 수 있는 기술이 여러 상업기관들이나 표준 연구단체들에 의해 활발히 개발되고 있는 있어 전력선 통신에 대한 전망은 밝다.

전력 공급을 위해 사용되는 전력선은 다수의 사용자들이 공유하는 형태이므로 이를 통신 목적으로 이용

하고자 하는 경우에는 충돌 방지와 신뢰성 있는 통신을 위한 MAC(Medium Access Control) 프로토콜이 필수적으로 필요하다.

본 논문에서는 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜에 대해 조사 분석하였으며, 이를 토대로 앞으로 연구될 전력선 통신용 MAC 프로토콜이 가져야 할 요구사항을 도출하였다.

논문의 구성을 보면 2장에서는 기존의 전력선 통신 기술 동향을 살펴보고, 3장에서는 이들 전력선 통신이 사용하고 있는 MAC 프로토콜에 대해서 알아본다. 그리고, 4장에서는 앞으로 개발될 전력선 MAC 프로토콜들이 갖추어야 할 요구 사항들을 제시하였으며 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

### 2. 전력선 통신 기술 동향

전력선 상에 패킷을 실어 전송하는 전력선 통신 기술은 여러 해 전부터 존재해 왔다. 대표적인 예로는 X-10,

CEBus, LonWorks, Adaptive Networks, PLUG-IN 등을 들 수 있다[1].

X-10의 경우 주로 20년 정도된 아주 오랜 기술로서 저가형 조명 및 가전제품 제어용 기술을 다룬다[2]. 전송 속도는 60 bit/sec 정도 지원하며 대부분 단방향 제어를 사용하고 최근에는 양방향 기술을 이용한 제품도 일부 출시가 되었다. X-10 기술은 주로 Point-to-Point 제어용으로 사용되므로 별도의 MAC 기능은 없다. 이러한 X-10 기술을 활용하는 예로써 최근 디지털 가전 기기를 위한 IEEE 1394 백본 망에 단순 가전기기를 위한 X-10의 기술을 접목하여 홈 네트워크 기술 개발이 시도되고 있다.

CEBus(Consumer Electronic Bus)는 Intellon사에서 주된 제품 개발을 하고 있으며 전력선 또는 다른 매체 상에서 네트워크 디바이스의 공정한 매체 공유와 더불어 상호 운용 가능한 인터페이스를 개발하고자 하는 차원에서 연구되고 있는 기술이다[3]. 전송 속도는 10Kbps 정도를 지원한다. CEBus에서 사용하는 MAC 프로토콜 특성을 살펴보면, 각 노드는 언제든지 매체에 접근할 수 있으며 노드간의 매체 사용 충돌을 방지하기 위해서 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection and Resolution) 방법을 사용한다. 이는 한 노드가 전송하기 전에 매체의 상태가 완전히 Clear 될 때까지 기다린 후 전송하는 기법이다.

LonWorks는 Echelon사에서 주된 기술과 제품개발을 하며 주로 공업, 산업용 제어기술을 다룬다[4]. 속도는 10Kbps를 지원하며, MAC 프로토콜의 기능을 향상시키기 위해서 Predictive p-Persistent CSMA라고 불리는 CSMA의 변종인 MAC 알고리즘을 사용하고 있다[4][5]. 이는 기존의 P-Persistent CSMA와는 달리 확률 p 자체를 예측에 의해 동적으로 할당함으로써 전송 시 발생하는 충돌을 예방할 수 있는 기법이다.

Adaptive Networks은 19.2Kbps에서 100Kbps까지의 속도를 모두 제공하는 기술로서 주로 화일이나 프린터 공유, 음성 및 비디오 전송 서비스 등을 위해 개발된 기술이다[5]. Adaptive Networks에서 사용하는 MAC 프로토콜은 네트워크가 고 부하일 때에는 정적인 토큰 전달을 하고, 저 부하일 때에는 동적인 토큰 전달을 하는 하이브리드 토큰 패싱 구조를 사용하고 있다. 이는 네트워크가 저 부하일 때 발생하는 토큰 전달 오버헤드를 줄이기 위해 정보 전송에 참여하는 노드들만이 토큰을 주고 받도록 하여 기존의 토큰 버스의 단점을 보완한 기술이다.

PLUG-IN 기술은 Intellogis사에서 주도하고 있는 기술로서 350Kbps ~ 1Mbps 까지 지원이 가능하다[1]. 이

기술의 MAC의 특성을 보면 DSMA(Datagram Sensing Multiple Access)와 CTP(Centralized Token Passing)의 두가지 독립된 액세스 메카니즘을 사용한다. DSMA는 CSMA와 마찬가지로 매체 상에서 발생할 수 있는 잠재적인 충돌을 줄이기 위해 매체 상의 데이터그램을 체크하여 만약 데이터그램이 발견되면 랜덤하게 기다렸다가 다시 동작을 취하는 형태이다. DSMA 메카니즘은 노드가 Inactive 네트워크에 처음 참여하거나 Active 네트워크 상에서 자신이 Active Node(관리 노드)가 되고자 할 때 이용하게 된다. 반면, CTP는 일반적인 Active 네트워크 상에서 동작하는 방식으로서 Active Node가 중앙에서 토큰의 분배와 노드간의 전송 충돌을 제어하는 방식이다.

### 3. 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜

전력선을 이용한 통신의 물리적인 토폴로지(Topology)는 크게 버스(Bus)구조와 트리(Tree)구조 두 가지로 구분할 수 있다. 그만큼 구현할 수 있는 형태도 제한적이다. 현재 기존에 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜의 흐름은 크게 토큰 패싱(Token Passing) 방식과 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식의 두 가지로 압축할 수 있다.

#### 1) 토큰 패싱

토큰 패싱 방식은 다음과 같은 면에서 CSMA 보다 전력선 통신에 적합하다는 것을 알 수 있다.

먼저, 전력선이 주변 기기나 외부 요인으로 인해 상태가 자주 변하기 때문에 CSMA 프로토콜이 자체 특성상 전력선 상의 모든 전송을 체크해야 하는 어려움이 따르기 때문이다. 그러나 토큰 패싱 방식은 토큰을 받지 않았을 때에는 매체를 체크할 필요가 없다.

두 번째로 토큰 패싱 방식은 다른 노드의 중간에 또 다른 노드가 전송을 할 확률은 거의 없다. 즉 충돌 발생 확률은 거의 0%에 가깝다.

세 번째로 토큰 패싱 방식은 네트워크상에 트래픽이 많더라도 자신이 언제쯤 전송 가능한지 예측을 할 수 있다.

네 번째로 토큰 패싱의 경우 링 상의 노드 고장은 토큰 패싱 알고리즘에 따라 오버헤더 없이 감지가 가능하다.

그러나, 토큰 패싱 기법이 이러한 여러 가지 장점을 가지고 있는 반면 네트워크 상에 트래픽이 적을 때에는 토큰 전달 시 발생하는 오버헤더 때문에 CSMA 보다 효율이 떨어진다는 단점을 가지고 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 하이브리드 토큰 패싱 기법을 사용한다[7][8]. 이는 동적 모드(Dynamic Mode)

와 정적 모드(Static Mode)의 두 가지 모드로 동작하는데, 동적 모드는 네트워크 상에 트래픽이 적을 때 트래픽 전송이 필요한 Active 노드만이 논리적 링에 참가하여 토큰을 전달하고 나머지 노드는 잠정적으로 논리적 링을 벗어난다. 반면 트래픽이 많을 때는 모든 노드가 전송을 위해 토큰을 기다리는 정적 모드로 동작한다. 그림 1은 하이브리드 토큰 패싱 방식의 동작을 보여주고 있다.

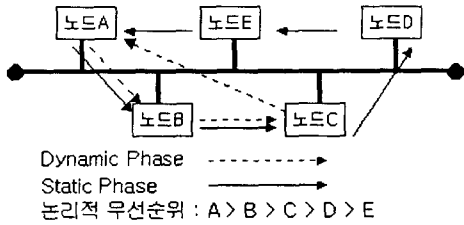


그림 1. Hybrid 토큰 패싱의 동작 원리

동적 모드로 네트워크가 동작하기 위해서는 노드가 필요에 의해서 논리적 링을 떠날 수 있는 기능이 추가되어야 한다. 그래서 각 노드는 더 이상 전송할 패킷이 없고 네트워크의 사용률이 정해진 한계 이하로 떨어질 때는 스스로 논리적 링에서 벗어나게 된다.

하이브리드 토큰 패싱 방식은 단순 토큰 패싱 방식에 비해 성능은 높아지나 각 노드에서 스스로 두 가지 동작 모드의 전환 기능을 가져야 하므로 기능이 복잡해진다.

2) CSMA

앞서 언급했듯이 낮은 부하에서는 토큰 패싱 방식에 비해 CSMA 방식의 효율이 높다. 한편 CSMA/CD(Collision Detection)는 CSMA의 효율은 높이지만 전력선 상에서는 노이즈와 신호의 구분이 힘들기 때문에 충돌 검출이 어렵다. 이러한 충돌 검출 문제를 고려해 거의 모든 전력선 통신용 프로토콜들은 충돌 검출 기능 대신에 CSMA에다 별도의 기능을 추가하여 전력선 통신에 적용하고 있다.

CSMA/PA(Priority Acknowledgement) 방식에서는 신뢰성이 높은 노드간의 전송을 위해서 전송에 대한 응답인 ACK를 요구하며, 데이터에 비해 응답 패킷에 우선순위를 부여하는 우선 순위 기법을 사용한다[9][10].

CSMA/PA는 CSMA 동작 원리와 마찬가지로 한 노드가 전송을 하기 위해서는 먼저 매체를 검사한다. 매체가 이용 가능하면 다시 한 번 확인을 시도한다. 재확인을 위한 모뎀 지연(Modem Delay)과 재 확인 후에 정보를 매체에 실기까지의 전파 지연(Propagation Delay)

에 각 노드마다 차이가 있을 수 있으므로 이 두가지 지연의 합에 해당하는 시간에 따라 충돌 확률이 줄어들 수 있다. 확인 검사에서 매체가 유휴 상태로 판정되면 해당 노드는 정보를 전송하게 되지만, 이미 다른 노드에서 전송 중임을 확인하게 되면 충돌을 피하기 위해 CSMA의 기법(1-Persistent, p-Persistent, 0-Persistent)에 따라 임의의 시간동안 타임 슬롯을 보낸 후에 다시 매체 검사를 시작한다.

지금까지의 동작은 아무런 문제가 없어 보인다. 하지만 수신노드에서 보내는 응답(Acknowledge) 패킷과 송신노드에서 보내는 데이터 패킷이 충돌 할 때는 문제가 발생한다.

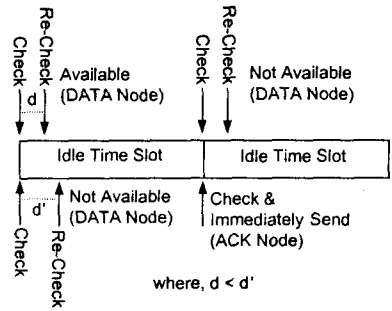


그림 2. CSMA/PA의 동작 원리

송신 노드로 응답을 보내야 하는 수신 노드가 다른 노드에서 보내는 데이터 패킷과 충돌이 계속 나게 되어 송신 노드로 오랫동안 응답을 전달하지 못하면 송신 노드에서는 수신 노드에서 데이터를 잘 받았음에도 불구하고 재전송을 하게 된다. 이는 채널의 효율을 감소시키는 결과를 초래한다. 이를 극복하기 위해서 CSMA/PA에서는 응답 패킷과 데이터 패킷의 충돌을 막기 위해서 응답 패킷에 높은 우선 순위를 준다. 즉 응답을 보내는 노드와 데이터를 보내는 노드가 동일한 유휴 타임 슬롯을 만났을 때 응답을 전송하는 노드가 이용하도록 하여 재전송에 대한 낭비를 막음으로써 효율을 증가시킨다.

4. 전력선 통신용 MAC 프로토콜의 요구사항

일반적인 MAC 프로토콜이 가져야 할 요구 사항을 먼저 살펴보면, 통신망 구현 비용이 작아야 하고, 트래픽의 상태에 관계없이 높은 채널 효율성을 가져야 하며, 단일한 형태의 트래픽 뿐만 아니라 여러 형태의 트래픽을 수용할 수 있어야 한다. 또한, 네트워크 상에 잦은 노드의 추가나 삭제에도 견딜 수 있어야 하며, 통신을 위한 하드웨어 구현에 용이하여야 한다.

이러한 일반적인 MAC 프로토콜의 요구 사항에 추가하여 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜은 전력선 상에서 네트워크의 신뢰성 있는 동작을 위해 다음과 같은 중요한 기술적 요구 사항을 가진다.

- 효율적 통신을 위한 긴 데이터의 적절한 분할
- 엄격한 에러 탐지 및 수정
- 매체 상태 변화에 대한 빠른 적응
- 제어 정보와 데이터의 신뢰성 있는 전달

네트워크의 노드는 전송이 정확히 잘못되었다고 판단하기 전까지는 연속되는 데이터를 전송할 것이다. 전력선 통신에서는 충돌 검출이 용이하지 않으므로 충돌로 인한 대역폭 낭비를 최소화하기 위해서는 긴 데이터를 적절한 크기로 분할해서 전송하는 것이 바람직하다.

또한 전력선 통신에서는 프레임 수준에서 재전송이 필요한지 아닌지를 알아낼 수 있는 에러 탐지와 재전송의 횟수를 줄일 수 있는 에러 수정 기법이 반드시 필요하다.

전력선은 아주 미세한 시간 간격으로 상태가 바뀌기 때문에 수신 노드는 이러한 상태 변화에 빨리 적응할 수 있어야 한다. 적절한 크기로 분해된 프레임에 이용하여 만들어지는 MAC 프로토콜은 짧은 프레임 수준에서 매체를 검사할 수 있으므로 더욱 효율적으로 매체에 적용할 수 있다.

전력선과 같이 상태가 고르지 못한 매체에서는 데이터와 제어 정보의 신뢰성 있는 전송이 중요하다. 기존에 사용해 오던 SW(Stop-Wait) ARQ(Automatic Repeat Request)로는 전송에 대한 응답의 손실 시 네트워크 상에 트래픽만 증가시킬 뿐 오히려 효율이 떨어질 수 있다. 그래서 매체의 상태가 좋을 때는 기존의 ARQ와 같이 동작하고, 나쁠 때에는 여러 개의 응답 복사본을 보냄으로써 신뢰성 있는 전송을 책임지는 Two-State ARQ와 같은 흐름제어 기법이 요구된다[11].

## 5. 결론

본 논문에서는 전력선 통신에 사용되는 MAC 프로토콜을 조사 분석하고서 향후 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜이 갖추어야 할 요구 사항을 분석하였다.

전력선 통신망 구조상 토큰 패싱과 CSMA 기술을 이용하고 있으나 토큰 패싱은 통신망이 저 부하일 때 토큰 전달에 따른 대역폭 낭비가 있으며, CSMA 기술은 고 부하일 때 잦은 충돌로 효율이 저하된다. 성능 향상을 위해 하이브리드 토큰 패싱과 CSMA/PA 방식이 개발되고 있으나 각 노드에서의 기능이 복잡

해진다.

또한, 앞으로 전력선 통신을 위한 MAC 프로토콜은 패킷의 적절한 분할, 에러 체크 및 수정, 매체 특성 변화에 따른 빠른 적응, 그리고 데이터와 응답의 신뢰성 있는 전달 등이 고려되어야 할 것이다.

그리고, 앞으로 연구될 MAC 프로토콜은 멀티미디어 트래픽이 수용 가능해야 할 것이며, 방송형 혹은 멀티캐스트 등의 지원도 가능해야 할 것이다.

## 6. 참고문헌

- [1] Intelgis, "Power Line Communication White Paper: Intelgis Plug-in Technology", Nov. 1998.
- [2] <http://www.x10.com/>
- [3] <http://cebus.org/>
- [4] <http://www.echelon.com>
- [5] Echelon, "Enhanced Media Access Control with LonWalk Protocol January 1995
- [6] <http://www.adaptivenetworks.com/>
- [7] R. Gershon, D. Propp, and M. Propp, "A Token Passing Network for Power Line Communications" IEEE Transaction on Consumer Electronic, Vol 37. No 2. May 1991, pp 129-133.
- [8] M. Propp, "The Use of Existing Electrical Powerlines for High Speed Communications to the Home", MIT Press, 1999, pp. 92-100.
- [9] J. O. Onuaga, and R. W. Donaldson, "Personal Computer Communication on Intra-building Power Line LAN's Using CSMA with Priority Acknowledgements" IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 7, No. 2, Feb. 1989, pp180-191.
- [10] J. O. Onuaga, and R. W. Donaldson, "Analysis of Carrier Sense Multiple Access with Priority Acknowledgements(CSMA/PA) on Noisy Channels With Finite User Population" IEEE Pacific Rim Conference on Communication, June 1989, pp 5-11.
- [11] J. O. Onuaga and R. W. Donaldson, "A Simple Packet Retransmission Strategy for Throughput and Delay Enhancement on Power Line Communication Channels" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 8, No 3, July 1993, pp 818-826.