

# Polling을 이용한 전력선 통신(PLC) 프로토콜의 설계

\*임은정, 강철신

한남대학교 전자공학과

e-mail : *destiny-j@hanmail.net*, *ckang@mail.hannam.ac.kr*

## Design of Power Line Communication Protocol using Polling Concept

\*Eun-Jeong Lim, Cheoul-Shin Kang  
Department of Electronic Engineering  
Hannam University

### Abstract

In this paper, we proposed a MAC protocol which can be used in power line communications(PLC). In the power line communication network, the data signal cannot travel long distance because of a serious attenuation. Consequently, we need to have a number of repeaters (amplifiers) in order to recover the signal power, which causes flooding problem in the network. The proposed MAC protocol uses polling concept and solves the flooding problem in the power line communication network. The proposed protocol can be applied to power line communication networks for automatic power distribution control system. A mathematical analysis has been carried out to estimate the performance of the proposed protocol.

### I. 서 론

최근 차세대 통신 산업으로서의 전력선 통신(Power Line Communication: PLC) 기술은 홈 네트워크와 함께 많은 관심을 모으고 있다. 전력선 통신 기술은 기존 가정이나 사무실에 포설되어 있는 전력선망을 사용하여 50/60Hz인 저주파 전력 신호에 수백 KHz~수십 MHz의 고주파 신호를 실어 송수신을 하는 방식이다 [1,2].

전력선 통신 기술은 크게 가정 내의 홈 네트워크 기술과 가정과 외부망의 연결을 위한 액세스 기술, 그리고

---

본 논문은 전력연구원의 지원을 받아 연구한 연구결과입니다.

배전시스템을 이용한 전력선 통신망 기술로 구분될 수 있다. 그리고 속도에 따라서 저속, 고속 전력선 통신으로 나눌 수 있다.

전력선 통신은 통신용 케이블이나 광섬유를 이용하는 것에 비해 기존의 전력선을 그대로 활용하여 추가 배선이 필요치 않으므로 네트워크 구성비를 절감할 수 있어서 경제적이다. 그러나 전력선 통신은 통신용 케이블이나 광섬유를 이용한 데이터 전송에 비해 구현이 어려우며, 높은 부하 간섭과 잡음, 신호 감쇄, 왜곡 현상 등으로 인한 제한된 전송 전력을 통해 데이터를 전달해야 하는 어려움이 있다.

본 논문에서는 배전자동화 및 원격검침 등에 응용될 수 있도록 배전시스템을 이용하는 전력선 통신망에서 효율적으로 데이터를 전송할 수 있는 통신 프로토콜을 개발하고 이를 배전시스템자동화에 적용할 수 있는 방안을 제안하였다. 또한 수학적 모델링을 통하여 제안된 시스템의 성능특성을 평가하였다.

### II. 배전시스템을 이용한 전력선 통신망의 구조

#### 2.1 배전자동화시스템

배전자동화시스템은 단말장치, 데이터 운반을 위한 통신시스템, 중앙제어장치로 구성된다. 배전자동화시스템은 적용되는 구역의 크기에 따라서 광역과 근거리 시스템으로 분류할 수 있다. 또한 통신매체의 종류에 따라 크게 유선 방식과 무선 방식으로 나눌 수 있으며, 유선 방식은 전용선 방식, 전화선 방식, CATV방식, 전력선 방식 등으로 나눌 수 있다[3].

그림 1은 현재 한전에서 사용하는 방식으로, 통신회사에서 전화회선을 임대하여 각각에 데이터를 전송하거나 제어해주는 배전자동화시스템이다. 이 방식은 전화회선을 임대하는데 비용도 들고, 장애발생시 스스로

복구할 수 없는 단점이 있다. 그러므로 그림 2와 같이 기존의 전력선을 사용하여 서로 통신 및 제어해주는 방식을 본 논문에서 제안하였다.

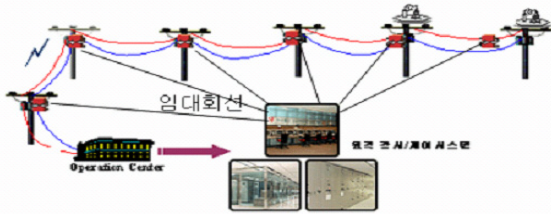


그림 1. 기존의 전화회선 임대 방식의 배전자동화시스템

2.2 배전시스템의 구조

현재 한전에서 사용하는 배전시스템은 지역에 따라 대략 10km - 50km 정도로 구성되어 있다. 일반적으로 도심권에서는 대략 5-10개 내외의 통신모듈이 약 2km 간격으로 연결되어 있어서 버스의 길이는 약 10km 정도이다. 반면에 도심권을 벗어나면 대략 5-10개의 통신 모듈이 약 10km 간격으로 연결되어 있으며 버스의 총 길이는 약 50~60km 정도이다(그림 2 참조).

저렴한 비용으로 효율적인 망을 구성하기 위해서는 기존의 시스템(LAN chip sets)들을 이용하여 프로토콜을 구현하는 것이 바람직하다. 배전시스템을 근간으로 하는 전력선 통신망은 일종의 버스/트리 토폴로지로 구성되어 있는 통신망으로 간주할 수 있기 때문에 기존의 IEEE 802.11 CSMA/CA[4] 방식 혹은 Polling 방식으로 MAC 프로토콜을 구현하여 적용할 수 있다.

일반적으로 배전자동화시스템은 polling 방식으로 응용프로그램이 운영되므로 본 논문에서는 중앙통제소(Operation Center: 배전 감시/제어센터)가 중심이 되어 polling하는 방식의 MAC 프로토콜을 설계하였다.

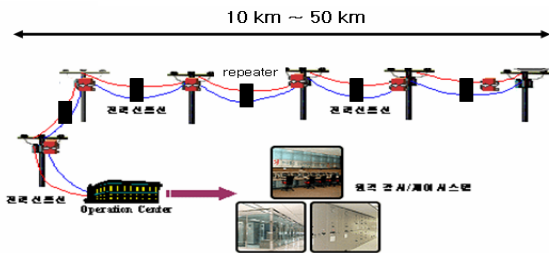
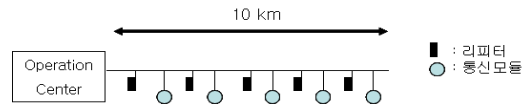


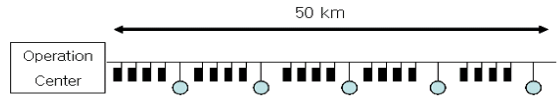
그림 2. 전력선을 이용한 통신시스템의 구성

전력선을 이용한 고속통신시스템에서는 심한 감쇄(attenuation) 현상으로 인하여 신호가 약 1km 정도밖에 전송되지 못하는 문제점이 있다. 그러므로 신호가 버스의 종단(terminator)까지 전달되기 위해서는 매 통신모듈 간에 약 1km 거리마다 리피터(repeater)를 사용하여 신호를 증폭하여야 한다. 그림 3은 통신모듈 사이에 리피터들이 삽입된 전력선통신망의 구성도를 보여주고 있다. 도심권에서는 통신모듈 간의 거리가 상대적으로 가깝기 때문에 몇 개의 리피터만 연결되면 가능하지만, 외곽지역의 통신망은 거리가 수십 km에 달하므로 그림 3 (b)에서 보여주는 바와 같이 많은 수의

리피터들이 삽입되어 데이터 신호를 증폭시켜 주어야 한다.



(a) 도심권의 전력선통신망 구성도



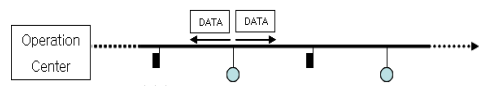
(b) 외곽지역의 전력선통신망 구성도

그림 3. 배전시스템을 이용한 전력선 통신망 구성도

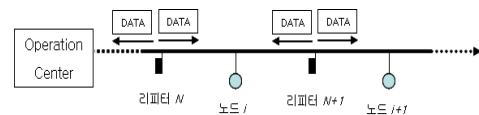
2.3 전력선통신망에서의 flooding 문제

전력선 통신망은 한 통신모듈에서 전송한 데이터가 망의 종단까지 전파되기 위해서는 망 중간의 많은 수의 리피터들에서 재전송되어야 하며, 이는 필연적으로 데이터 메시지의 flooding 현상을 유발시킨다. 그림 4는 전력선 통신망에서의 flooding 현상을 보여주고 있다.

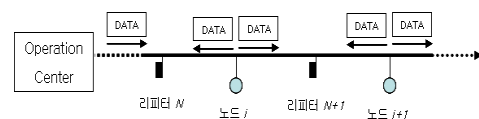
그림 4 (a)에서 노드  $i$ 가 데이터를 송신할 경우, 이 데이터는 버스를 통하여 양쪽에 있는 리피터  $N$  및 리피터  $N+1$ 에 의하여 수신된다. 그리고 리피터  $N$  및 리피터  $N+1$ 은 노드  $i$ 로부터 받은 데이터를 다시 양방향으로 재전송한다(그림 4 (b) 참조). 같은 방법으로 그 다음 단계에서는 그림 4 (c)에서 보여주는 바와 같이 노드  $i$  및 노드  $i+1$ 에서 재전송이 이루어진다. 이와 같이 노드  $i$ 에서 전송된 데이터는 버스를 타고 계속 재전송되어 망 내에 있는 모든 노드들이 수신할 수 있게 된다. 그러나 같은 데이터가 망 내에서 수없이 많이 복사되어 떠돌아다니는 flooding 현상이 일어나게 된다. 그러므로 전력선통신을 가능하게 하려면 flooding 현상을 제어하는 프로토콜이 필요하다.



(a) 노드  $i$ 에서의 최초 송신



(b) 리피터  $N$  및 리피터  $N+1$ 에서의 재송신



(c) 노드  $i$  및 노드  $i+1$ 에서의 재송신

그림 4. 전력선 통신망에서의 재송신 및 flooding

### III. Flooding 제어 프로토콜의 설계

#### 3.1 전력선 통신망에서의 MAC 프로토콜과

##### Flooding

일반적으로 flooding 문제를 해결하는 방법에는 identification number를 데이터 헤더에 부착하여 한번 받아서 재전송한 데이터를 다시 수신하는 경우에는 폐기(discard)시키는 방법과 hop-counter를 헤더 내에 사용하여 한번 재전송할 때마다 hop-counter를 하나씩 줄여나감으로써 hop-counter가 '0'이 되었을 때는 재전송하지 않는 방법이 있다.

본 연구에서는 identification number를 데이터의 헤더로 사용하여 한번 수신된 데이터가 다시 수신될 경우에는 폐기시키는 방법을 채택하였다. 향후에 여러 개의 배전 시스템을 중앙통제소에 연결시켜서 확장하는 방안을 고려하여 한 개의 배전시스템으로 하나의 sub-network를 구성할 수 있도록 하였다(그림 5 참조). identification number는 subnet id-number와 노드(통신모듈) id-number를 합하여 구성된다. 그림 6은 identification number를 구성하여 만든 헤더의 내용을 보여주고 있다.

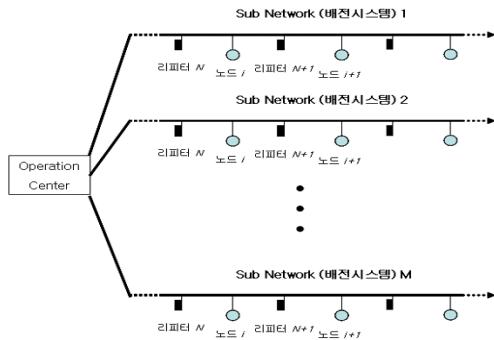


그림 5. 여러 개의 배전망을 중앙통제소에 연결한 sub network의 구성

Sub network의 Id-number	노드의 주소	데이터
------------------------	--------	-----

그림 6. Flooding 방지를 위해 identification number를 헤더로 구성한 데이터 포맷

### IV. 성능분석

본 장에서는 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜을 전력선 통신망에 적용하여 배전자동화시스템을 구축할 경우에 예상되는 성능특성을 분석하였다.

#### 4.1 성능분석에서의 가정(assumptions)

본 논문에서는 우선 제안된 시스템이 배전시스템의 배전자동화 및 원격제어 용도로 사용되는 것을 가정하여 그림 3의 모델을 적용하였다. 통신망은 polling 방식으로 동작하는 것으로 가정하였으며, 다음과 같이 시스템 변수들을 가정하였다.

- (1) 각 노드들에서의 데이터 발생은 포아송 프로세스(Poisson process)에 의하며, 각 노드는 동일

- 한 데이터 발생률  $\lambda$  packets/sec을 따른다.
- (2) 데이터 메시지의 길이는  $X$ 이며, 평균값은 1000 bits이며, polling을 위한 Go-ahead 프레임의 길이는 100 bits 이다.
- (3) 채널의 전송속도는  $R$  Mbps이다.
- (4) 망(버스)의 길이는 도심권에서는 10km, 외곽지역은 50km이다.
- (5) 버스에 존재하는 노드(통신모듈)의 수는  $M$ 이다. 그리고 1km 간격으로 리피터가 연결된다.
- (6) 버스에서의 전파지연시간은  $5\mu\text{sec}/\text{km}$  이다.

#### 4.2 성능분석

제안된 배전자동화 시스템은 polling 방식으로 동작하기 때문에 일반적인 polling 시스템의 성능분석 방식으로 접근할 수 있다. polling시스템에서의 데이터 전달지연시간은 다음의 식 (1)과 같다[6].

$$T = \frac{\bar{X}}{R} + \tau_{ave} + \frac{Max(1-S/M)}{2(1-S)} + \frac{S\bar{X}}{2R(1-S)} \quad (1)$$

그러나 본 논문에서의 전력선 통신망은 flooding 현상 때문에 송신 노드가 한 개의 프레임을 전송한 후에 바로 그 다음 프레임을 전송할 수 없으며, 인접노드, 혹은 인접 리피터에서 재전송되는 프레임을 수신한 후에야 다음 프레임을 전송할 수 있다. 그러므로 상기의 식 (1)을 그대로 적용할 수 없게 된다. 그러므로 본 논문에서의 실제 서비스 시간을 보정하여 상기의 식 (1)을 변형하여 계산하면, 본 논문에서 제안한 배전망의 polling 시스템에서의 전달지연시간은 다음의 식 (2)와 같이 계산된다.

$$T = \frac{\bar{X}}{R} + \tau_{ave} + \frac{Max(1-2S/M)}{2(1-2S)} + \frac{2S\bar{X}}{R(1-2S)} \quad (2)$$

한 송신노드에서 다음 송신노드로 poll이 넘어가는 시간(walk time),  $\omega$ 는 go-ahead polling 프레임 전달시간과 전파지연시간( $25\mu\text{sec}/\text{km}$ )의 합으로 계산된다.

#### 4.3 성능분석 결과

상기의 식 (2)에 통신모듈의 수를 5~10개로 변화시켜가며, 그리고 채널의 전송속도를 14Mbps와 24Mbps로 변화시키며 각각의 성능특성을 계산하였다. 그림 7~그림 9는 대표적인 성능특성 예측 결과들을 보여주고 있다.

그림 7은 전송속도가 14Mbps인 경우에 노드의 수에 따른 평균전달지연시간의 특성을 보여주고 있다. 도심지역뿐만 아니라 외곽지역에서 노드의 수가 많아짐에 따라 1개의 프레임을 전송하기 위해서는 재전송의 횟수가 많아진다. 그러므로 노드의 수가 많아짐에 따라 평균프레임 전달지연시간이 더 길어지는 것을 관찰할 수 있다. 외곽지역과 도심지역을 비교해보면, 외곽지역은 망의 길이가 길어지므로 도심권보다 더 많은

수의 리피터들이 연결되어 있어 재전송의 횟수가 더 많아진다. 따라서 외곽지역이 도심권보다 평균전달지연시간이 더 길어짐을 확인할 수 있다.

그림 8은 노드의 수가 5개이고 채널의 전송속도가 14Mbps, 24Mbps인 경우에 처리량(throughput)에 따른 평균전달지연시간 특성을 보여주고 있다. 평균전달지연시간은 최대처리율의 약 40%에 근접할 때 급격히 증가하기 시작한다. 그리고 망에서 최대처리율이 50%를 상회할 수 없다. 이는 송신노드에서 한 개의 프레임 전송하고, 인접노드로부터 재전송(repeat)되는 프레임을 받은 후에야 다음 프레임을 전송할 수 있기 때문이다.

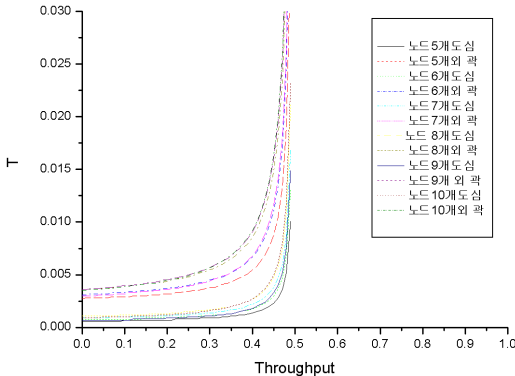


그림 7. 처리량에 따른 평균전달지연시간 (14Mbps일 경우)

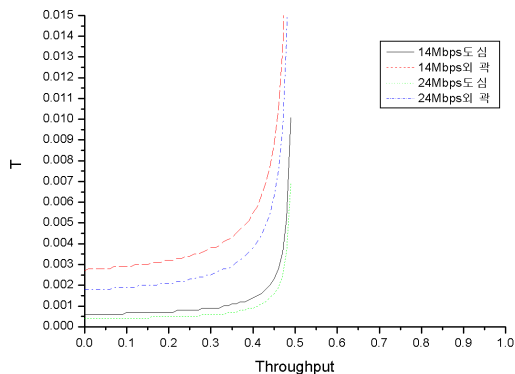


그림 8. 처리량에 따른 전달지연시간 (5개 노드일 경우)

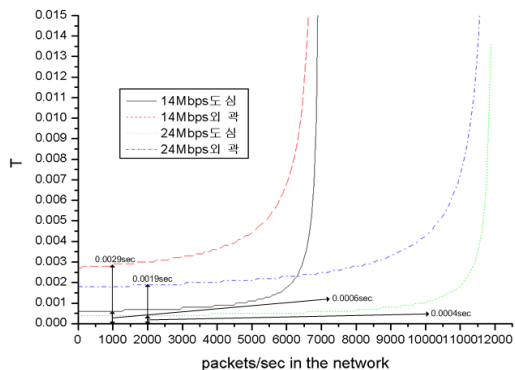


그림 9. 망 전체 트래픽에 따른 평균 전달지연시간 (5개 노드일 경우)

그림 9는 노드 수가 5개인 경우에 대해 채널의 전송속도에 따른 망 전체에서 전달할 수 있는 프레임 수를 보여준다. 채널의 전송속도가 14Mbps일 경우에는 제안된 통신망에서 1초에 약 6,000~6,500개의 프레임이 전달될 수 있다. 그리고 전송속도가 24Mbps일 경우에는 1초에 약 11,000~12,000개의 프레임이 전달될 수 있음을 확인할 수 있다. 채널의 전송속도에 따른 도심지역과 외곽지역의 평균전달지연시간을 비교해보면, 전송속도가 14Mbps일 때 트래픽이 낮은 정상상태의 경우 외곽지역의 평균전달지연시간(0.0029sec)이 도심지역(0.0006sec)에 비하여 약 0.0023sec가 더 길다는 것을 알 수 있다. 또한 24Mbps일 경우 1초당 약 2,000개의 프레임이 전달되는 트래픽에서 외곽지역의 평균전달지연시간(0.0019 sec)이 도심지역(0.0004sec)에 비하여 약 0.0015sec가 더 길다는 것을 알 수 있다.

### V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 전력선 통신을 이용하여 고속통신을 할 수 있는 Polling 방식의 MAC 프로토콜을 제안하였다. 전력선 통신에서 고속으로 데이터를 전송할 경우에는 과도한 신호 감쇄로 인하여 망의 중단까지 신호 전달이 불가능하므로 리피터들을 사용하여 데이터 신호를 증폭하여 다시 재전송해야 한다. 이는 망의 flooding 현상을 야기한다. 본 논문에서 제안된 MAC 프로토콜은 id-number를 프레임 헤더에 추가하여 재수신되는 프레임을 제거하는 방식으로 flooding 문제점을 해결하였다.

또한, 본 논문에서 제안된 전력선 통신망용 MAC 프로토콜을 배전자동화시스템 구축을 위한 전력선 통신망에 적용할 경우에 예상되는 성능특성을 큐잉이론을 사용하여 수학적 성능분석 비교 연구를 수행하였다. 리피터를 사용함으로써 처리율(throughput) 성능특성이 50%를 상회할 수 없음을 확인하였으며, 도심지역에서의 평균전달지연시간이 외곽지역에 비하여 훨씬 더 짧음을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] 최은수, “전력선 통신의 분석과 발전방향에 관한 연구,” 석사학위논문, 건국대학교 산업대학원, 2002년.
- [2] 신현수, “CATV전송망 및 전력선을 이용한 원격검침시스템에 관한 연구,” 석사학위논문, 숭실대학교 정보산업대학원, 1995년.
- [3] 이영일, “원격검침 시스템의 통신방법에 관한 연구,” 산업기술연구소논문집, 제 17권, pp. 167-171, 2002년.
- [4] IEEE 802.11 CSMA/CA Standard.
- [5] 산업자원부, 전력선 통신망 기술 표준화, 2002. 7.
- [6] Joseph L. Hammond and Peter J.P. O'Reilly, *Performance Analysis of Local Computer Networks*, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1986.