

견실한 전력선 통신을 위한 영교차점 적응 템플릿 수신기

이원태*, 김관호*, 우대호**, 유영규**, 원동선**, 이영철***
 *한국전기연구원, ** (주)플레넷, ***경남대

Adaptive Template Receiver for Robust Powerline Communication

Won-Tae Lee*, Kwan-Ho Kim*, Dae-Ho Woo**, Young-Gyu Yu**, Dong-Sun Won**, Young-Chul Lee***
 * KERI, ** Planet, *** KyungNam University

Abstract - 홈 네트워크나 가로등 제어에 가장 적합한 솔루션 중 하나가 전력선 통신기술이다. 전력선 통신의 사용 주파수 대역은 50kHz ~ 450kHz으로, 이 주파수 대역은 잡음이 매우 많이 존재한다. 또한 시공간에 따른 변화의 요인이 많이 존재하기 때문에 채널 모델링이 매우 어려운 실정이며, 이를 극복할 수 있는 방안으로 영교차점을 이용한 전력선 모델을 설계하고자 한다. 변조 방식은 Chirp 심볼을 사용하고, 주파수 대역은 100kHz ~ 400kHz를 사용하였다. 전력선 채널로부터 정보를 획득하기 위해서 효율적인 수신기 구조를 채택하였다. 즉 채널 상황에 적응이 가능하고, 상관에 필요한 필터의 계수를 들어오는 심볼로부터 구하는 방법으로, 다음에 들어오는 심볼과의 상관값을 구하여 정보 신호를 판별하는 형태로 구성하였다. 영교차점을 기준으로 신호를 송수신하는 형태를 취했으며, 영교차점 기준에 들어오는 잡음은 chirp의 대역 확산 특성에 의해서 억제될 수 있다. 이런 기술에 의해서 견실한 전력선 통신 모델 구현이 가능하였다.

있다. 이를 적절히 이용한 저속의 전력선 통신 모델 기술을 개발하는 것이다. 전력선의 영교차점을 이용하여 데이터를 송수신할 수 있는 채널로서 이용하고자 하였다. 또한 변조 방식도 잡음에 어느 정도 강인성을 지니고 있는 대역확산 방식중의 하나인 chirp 변조방식을 채택하였다. Chirp 변조방식은 여러 형태로 시간과 주파수의 분포를 결정할 수 있다. 수신측에서 상관기를 이용하며, 상관의 특성이 좋은 선형적으로 발생이 가능한 chirp 심볼을 선택하였다. Chirp 심볼의 기본 함수는 시간과 주파수가 선형적으로 증가하는 합수를 사용하였다. 또한 주파수 대역은 100kHz에서부터 400kHz의 대역을 사용하였다^{[1]-[3]}.

본 논문에서는 센서 네트워크에 이용할 수 있는 저주파수대 전력선 통신기술에 대하여 기술하였으며, 수신기에서 채널 상에서 신호를 직접 획득하여 실제 라인에 적용할 수 있는 기법을 제안하였다. 제안한 방식은 다음장에서 기술하고자 한다. 우선 chirp 방식을 사용한 시스템 모델에 대하여 살펴보고자 한다.

1. 서 론

초고속 정보통신망의 보급에 따라 홈 네트워크 기술과 연동된 정보 활용 서비스에 대한 소비자의 욕구(cyber home, cyber office, entertainment 등)가 급속히 팽창하게 되었고, 그 결과 정보화된 가전기기의 개발이라는 산업적 분위기가 조성되었다. 이에 따라 국내의 가전기기 제조업체에서는 디지털 가전기기의 개발에 착수하여 시장 조기진입 및 점유율 확보를 위한 경쟁을 벌이고 있다. 이러한 상황에서 가전업체들의 고민은 개별적으로 개발된 디지털 가전기기들의 네트워크화를 위한 최상의 솔루션을 선정하는 것이었고, 오랜 기술 분석 및 산업 분석을 통해 현재는 국내외적으로 전력선 통신기술을 이용한 디지털 가전의 네트워크라는 흐름이 주도적으로 형성되어 있는 실정이다. 즉 전력선을 매체로 한 디지털 가전기기의 네트워크는 plug in 만으로 작동이 가능한 설치 및 사용의 용이성, 추가 기기의 설치가 plug in 만으로 가능한 디지털 가전 네트워크의 확장성 그리고 추가 배선의 불필요로 인한 가격 경쟁력 확보 등의 경쟁력을 바탕으로 홈 네트워크에 있어 최상의 솔루션으로 평가받고 있다. 홈 네트워크가 결국 유비쿼터스의 센서 네트워크를 구성하는 부분으로서 전력선을 이용한 센서 네트워크 구성도 가능하리라 본다. 이에 센서 네트워크 개념으로 적합한 통신 속도는 360bps급 정도의 저속을 가지고 저가격으로 구현이 가능하여야 한다. 이에 본 논문에서는 저주파수대 전력선 통신에 적합한 chirp 방식을 사용하였다. Chirp 방식은 펄스 형태의 주파수 편이 키잉으로 볼 수 있다. 이 특성은 주파수가 선형적으로 증가하는 chirp을 사용하였다. 또한 전력선에서 가지는 AC 라인으로부터 영교차점을 이용하여 전력선 통신을 하고자 하였다. 영교차점에서 1msec 이내에는 잡음이 어느 정도 존재하고 있으나, 그 크거나 변화율에서 이외의 영역에서 나타나는 성분보다 훨씬 적은 형태로 분포하고

2. 본 론

2.1 Chirp-SS

본 장에서는 전력선의 데이터 부분을 실제적으로 처리하는 물리 계층에 대한 부분을 기술하고자 한다. 먼저 chirp 신호의 특성에 대하여 살펴보면, chirp 신호는 특정 시간 영역에서 주파수를 어떤 방정식의 형태로 발생하는가에 따라 서로 다른 패턴의 chirp 심볼이 발생한다. 본 논문에서는 시간과 주파수 영역에서 선형적으로 발생하는 심볼을 사용하였다. 이 심볼은 다른 심볼에 비하여 전력선에서 더 나은 상관성을 지니고 있다. Chirp 자체가 가지는 특성은 주파수가 변한다는 것이다. 즉 어떤 간섭 신호에 대하여 심볼 자체가 어느 정도 강인성을 지니고 있다. 선형적인 형태를 지닌 chirp 심볼은 다음과 같다.

$$c(t) = \cos(2\pi\mu t^2 + 2\pi f_0 t + \varphi_0) \quad (1)$$

여기서 f_0 는 초기 주파수, φ_0 도 초기 위상이다. 식(1)의 chirp 심볼을 이용하여 데이터 비트를 송신하기 위한 모델은 다음과 같다.

$$s_m(t) = \sum_{m=0}^M b_m \sum_{t=0}^T c(t) \quad (2)$$

여기서 M 은 데이터 비트의 수를 의미하고, T 는 chirp 심볼의 시간 길이를 의미한다. 예를 들어, 본 논문에서 사용된 심볼의 시간 길이는 1 단위 심볼에 대한 시간 T 는 100 μ sec이다. 즉 100kHz에서 400kHz 까지 주파수가 변하고 샘플링 주파수가 2.5MHz이고, 단위 시간이 100 μ sec이면 다음 그림과 같이 chirp 심볼이 나타난다.

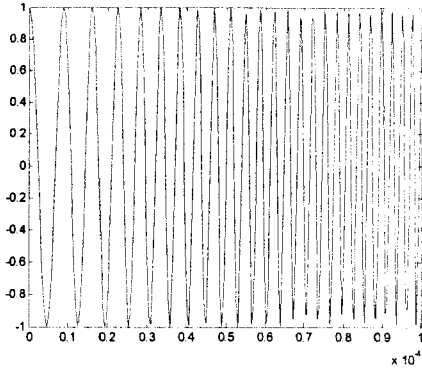


그림 1. chirp 심볼(IUST)

전력선 채널을 통하여 수신기에 수신된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = s(t) + n(t) + cu(t) + i(t) \quad (3)$$

여기서 $r(t)$ 는 부가 백색 가우시안 잡음이고, $cu(t)$ 는 연속파의 잡음이다. 나머지 항 $i(t)$ 는 임펄스 잡음이다. 전력선은 이외에도 시간과 공간에 따라서 잡음의 분포가 다양하게 나온다. 또한 수신된 신호 $r(t)$ 는 송신기로부터 송신한 신호 이외에 전력선 기기로부터 들어오는 간섭 신호 그리고 전원 소스원에서 발생하는 전원 잡음, 스위치와 같은 디바이스에서 생성하는 임펄스 잡음 등으로 모델링이 가능하다. 이는 대략적인 모델링이며, 시간과 장소 파라미터가 포함이 되어야 한다. 따라서 전력선 채널을 구체적으로 정의하는 것은 상당히 어려운 문제이다. 본 논문에서는 전력선에 존재하는 잡음 등을 고려하여 모델을 설계하였다. 전력선에 영교차점을 이용하는 것도 이런 취지이다. 즉, 영교차점을 적절히 사용하는 것은 전력선에 발생하는 잡음을 적절히 회피할 수 있으며, 이를 통하여 좀 더 실 라인에 적합한 모델 설계가 가능하리라 본다.

2.2 송신기

데이터를 전력선에 실기 위해서 chirp 심볼을 이용한 송신기는 우선 AC 라인으로부터 ZCP 포인트에 대한 정보를 획득한 후, AC로부터 ZCP 포인트 후에 1msec 이내에 신호를 송신한다. 그림 2는 송신된 심볼을 나타낸다.

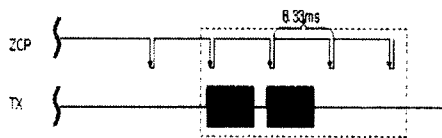


그림 2. 송신 심볼

송신 심볼은 전력선에 실기 위해서 커플러 부분을 통과하여 AC라인에 실리게 된다. 다음 장에서 이를 효율적으로 수신하기 위한 적응 템플릿 수신기에 대하여 설명한다. 적응 템플릿 수신기는 입력되는 신호로부터 상관을 취하고자 하는 신호를 얻는 방법이다. 이는 라인 상으로부터 직접 템플릿을 취하기 때문에 전력선에 상당한 이득을 지니고 있다. 즉, 입력 신호가 채널에 따라 어느 정도 열화된 부분을 복원해 주는 역할을 겸하고 있는 것으로 볼 수 있다. 다음 절에서는 이 수신기에 대하여

자세히 살펴보고자 한다. 이는 본 논문에서 제안한 방식이며, 기존 상관기보다 전력선 통신을 위하여 좀더 나은 성능을 구현하기 위해 집중한 방식이다.

2.3 적응 템플릿 수신기

이전 절의 송신 신호가 전력선에 실린 후 전력선에 실린 신호가 커플러를 통과하면 60Hz의 성분이 제거 된다. 60Hz 성분이 제거 된 후에 그 신호를 보면 상당히 왜곡되어져 있다. 저속 주파수 대역을 사용하는 전력선 통신 기술에 다양한 변조 방식들로 접근해 왔다. 현재 많이 사용되고 있는 X-10 프로토콜에 해당하는 X-10 방식은 대표적인 진폭 변조 방식이고, 이후 주파수 변조 방식, 그리고 대역 확산 방식이 사용되고 그 기술의 안정성을 유지하기 위해 많은 부가적인 기법들이 사용되어 왔다. 아날로그 영역의 커플러 기술과 상당한 연관을 가지며 기술적으로 개발되어 오고 있다. 이는 다른 매체를 이용하는 것보다 더 많은 기술의 정밀성을 요구한다. 본 논문에서는 가장 큰 문제점이 전력선에 대한 정확한 채널 정보를 파악할 수 없으므로, 전력선이 가지는 특성, 즉 영교차점에서 가능한 잡음이 적게 존재하는 구간을 이용하여 데이터를 간섭이나 잡음에 최소한의 영향을 받도록 하는 방안을 이용하였다. 이는 다른 보상 기법을 적용하는 것보다 더 나은 성과를 지닐 것이다.

본 논문에서는 데이터로부터 신호를 획득하기 위한 방안으로 상관 기법을 사용하였다. 기존의 상관기는 고정된 ROM을 이용하였다. 들어오는 신호가 ROM에 저장된 경우, 이를 불러들여서 들어오는 데이터와 비교를 통하여 신호의 값을 구별하였다. 이는 구조적으로는 간단하나, 전력선 채널에서 많은 왜곡이 발생할 경우, 채널 보상 기법을 적용하기 어려운 상황 하에서 상당히 열화가 된다. 즉 성능이 급속히 저하되는 현상이 나타난다.

반면 본 논문에서는 이런 현상을 극복하기 위해서 전력선 라인 상에서 직접 template를 취하는 방법을 이용하였다. 수신된 신호는 IUST 단위로 샘플링 된다. 즉 $r(t)$ 로부터 $r(nT)$ 로 된다. 여기서 $n=0,1,2,\dots,9$ 이다. $n=0$ 인 부분의 신호를 adaptive template matched filter로 취하고, 나머지 신호들과의 상관성을 구하는 것이다.

$$R = E\{r(0)r(nT)\} \quad (4)$$

여기서 $n=1,2,\dots,9$ 이다. 상호 상관 함수의 결과로부터 신호를 직접 판별할 수 있다. 다음 그림은 적응 템플릿 수신기 구조이다.

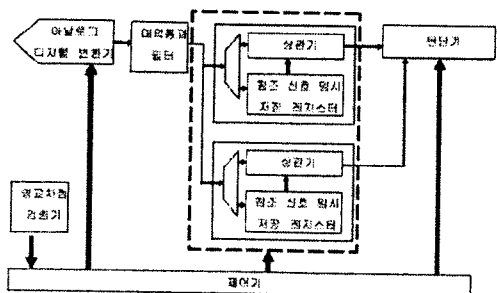


그림 3. 적응 템플릿 수신기

적용 템플릿 수신기는 입력 데이터로부터 들어오는 신호의 성분으로부터 이진 데이터를 취하는 방법으로 이동 평균 필터를 채택하였다. 이는 전력선 상에서 발생하는 문제를 극복하기 위한 방안으로 채택하였으며, 기존에 이동 평균 필터로서 저역 통과 필터의 특성을 지니며 구현이 간단한 필터를 사용하였다. 이진 데이터는 ADC의

출력신호와 이 출력 신호로부터 이동 평균 필터를 통과한 신호의 출력과의 크기를 비교하여 그 크기가 큰 경우를 1, 작은 경우를 0으로 하여 이진 데이터를 획득하였다. 획득한 이진 데이터가 상관기 블록을 통과하여 원하는 신호를 판단기를 통하여 얻을 수 있다.

3. 하드웨어 구현 및 검증

이번 절에서는 위에서 제안한 방법을 구현하고 성능을 판별하고자 한다. 하드웨어는 VHDL로 구현하였으며, 시스템의 검증을 위해서 하드웨어 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 송신기의 출력의 기본 송신 구조는 다음과 같다.

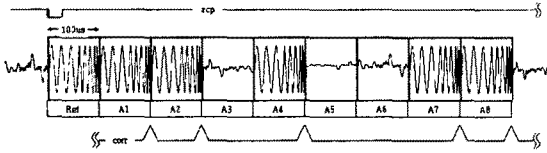


그림 4. 기본 송신 구조

그림 5는 시뮬레이션 환경이다. 다음과 같은 환경에서 상관기의 성능을 검증하였다.

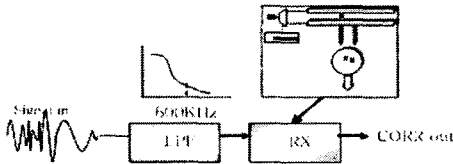


그림 5. 시뮬레이션 환경

다음 그림은 각각 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

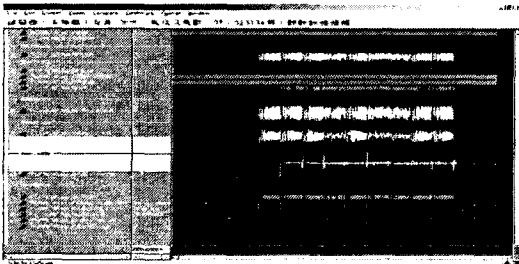


그림 6. SNR=20[dB] 인 경우

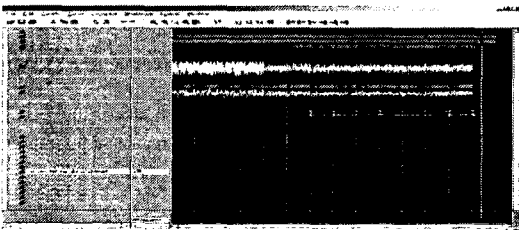


그림 7. SNR=5[dB] 인 경우

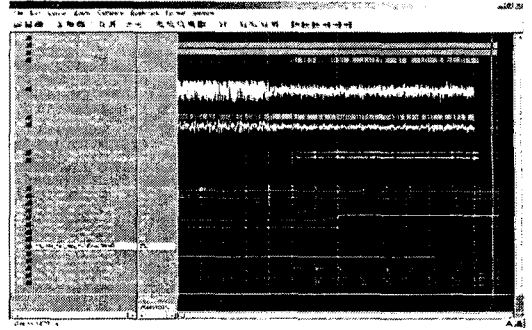


그림 8. SNR=0[dB]인 경우

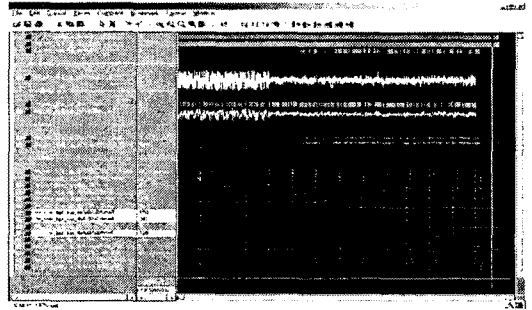


그림 9. SNR=-5[dB]인 경우

위의 결과 파형은 신호대 잡음비를 서로 다르게 하여 송수신 파형을 측정할 것이다. 신호대 잡음비가 -5dB 조건하에서 적용 템플릿 수신기의 신호를 잘 복원하고 있음을 볼 수 있다.

4. 결 론

센서 네트워크를 위한 홈 네트워크 시스템 구현을 위한 방식으로 전력선을 사용하고자 하였다. 전력선을 이용하여 센서 네트워크를 구성하기 위해서는 고속의 모뎀보다는 저가격의 저속 모뎀이 적합한 것으로 판단되어지며, 이를 위해서 본 논문에서는 저주파수 대역을 사용하는 모뎀을 개발하였다. Chirp 방식을 사용하는 모뎀은 전력선과 같이 잡음이 많은 곳에 적합한 방식이며, 시간 영역과 주파수 영역을 적절히 변화시키는 잇점을 활용하면 기존의 데이터 크기, 주파수, 위상 등을 이용하는 방식보다 더 나은 모뎀 개발이 가능하다고 판단된다. 이를 위해서 저 주파수 대역에서 들어오는 신호로부터 직접 적용 템플릿을 취하는 상관기를 채택하였다. 이는 기존 고정값을 가지는 상관기 보다 향상된 성능을 지니고 있으며, 향후 센서 네트워크에의 적용이 충분히 가능할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이원태, 변민섭, 이유진, 우대호, 유영규, 김철 "멀티캐리어 변조에 근거한 PLC 모뎀 구현", 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp343, 2003.
- [2] 이원태, 이재조, 김관호, 변민섭, 우대호, 정영화, 김철. "40kbps급 협대역 전력선 통신 모뎀 구현에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집지, 2003.
- [3] Dirk Dahluus, "Chirp Modulation", Chapter in Wiley Encyclopedia of Telecommunications, J. Proakis (ed.), Vol. 1, pp. 440 448, 2003.