

**새로운 실측 임펄스 잡음 모델을 반영한 채널코딩 기반의 대역확산 전력선 통신시스템**

\*문경환, \*신명철, \*이중주, \*\*최상열, \*\*\*박기욱, \*\*\*\*채재상  
\*성균관대학교, \*\*인덕대학, \*\*\*서경대학교

**A channel-coding based SS-PLC system using new measured impulse noise model**

\*K.H. Moon, \*M.C. Shin, \*J.J. Lee, \*\*S.Y. Choi, \*\*\*K.W. PARK, and \*\*\*\*J.S. Cha.  
\*Sungkyunkwan univ, \*\*Induk univ, \*\*\*Seokyeong univ.  
<sup>o</sup> 교신저자(Corresponding author) - e-mail : chais@skuniv.ac.kr (02-940-7468)

**Abstract** - 전력선통신은 현재 홈 네트워크 및 검침기술과 같은 다양한 분야에서 활발하게 응용이 되고 있는 기술이다. 이러한 전력선 통신을 위한 전송선로는 통신을 위한 정보데이터를 전송하는 기능과 더불어 선로상의 전력 부하들을 위한 전력 공급용으로서의 용도도 가지고 있다. 그러므로 선로상의 부하변동은 다양한 형태의 임펄스 잡음을 야기 시키고 이러한 임펄스성 잡음은 전송 데이터에 군집에러를 발생시킴으로써 통신성능을 크게 열화 시키는 요인이 되고 있다. 따라서 효율적인 전력선 통신시스템을 위해서는 전력 선로상의 임펄스 잡음의 특성을 명확히 분석하고, 그에 따른 에러제거기법을 적용하는 것이 필수적이라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 논문에서는 새롭게 가정의 전력 선로에 연결되는 부하들의 동작 및 변동에 따른 임펄스 잡음 특성을 다양한 부하의 유형별로 디지털 하드웨어를 이용하여 실측 및 분류한 후, 새롭게 도출한 임펄스 잡음 모델을 기반으로 순방향 오류정정방식(FEC; Forward Error Correction)인 컨벌루션 부호화(Convolution Coding) 및 인터리빙(Interleaving) 방식을 가미하여 시스템의 비트 오류 개선효과를 확인하였다. 본 논문에서 수행된 새로운 실측기반의 임펄스 잡음이 반영된 채널부호화 방식에 의한 성능평가 결과는 향후 홈네트워크기반의 전력선 통신시스템의 실질적인 참고데이터로서 유용하게 활용되리라 기대된다.

**1. 서 론**

본래 전력전송용으로 사용되던 전력선을 통신 분야에 새롭게 이용하는 전력선통신은 최근 원격검침이나 홈 네트워크 분야의 통신기술로서 각광을 받고 있다.

특히 선로에 연계된 부하기기의 기동, 정지, 운전과 같은 변동과 더불어 부하기기 전원장치의 특성과 투입 및 차단으로 인한 임펄스 잡음 등은 전력선 통신 성능 및 채널에 많은 영향을 미친다[1].

따라서 전력선 통신시스템이 갖고 있는 독특한 성질인 전력 선로상의 부하의 변동특성이 반영된 임펄스잡음에 대하여 효율적으로 통신 성능을 유지할 수 있는 연구가 절실히 요구되고 있는 상황이다.

본 논문에서는 이러한 전력선 통신 성능을 개선하기 위하여 가정 내 전력선에 연결되어 사용되는 각 부하들의 동작 및 변동에 따른 임펄스잡음 특성을 실측한 후, 이들 임펄스잡음에 대하여 오류정정 능력이 뛰어난 컨벌루션 부호화와 비터비 복호화를 사용하였으며, 임펄스 잡음에 의한 데이터의 손실을 방지하기 위하여 인터리빙 방식을 적용하였다.

또한 직접확산대역 (DS-SS; Direct Sequence Spread Spectrum) 방식을 적용한 전력선통신 시스템을 구현하여 실측 기반의 부하변동에 따른 임펄스 잡음이 통신성능에 미치는 영향과 채널부호화 방식을 적용한 환경에서의 BER(Bit Error Rate) 성능비교를 통해 본 논문에서 구현한 방식이 임펄스 잡음 환경하에서 우수한 통신성능을 유지함을 입증하고자 한다.

**2. 부하변동에 따른 임펄스잡음 분석**

**2.1 전력선 통신에서의 잡음특성**

전력선 통신에서의 잡음은 배경잡음 및 부하기기의 동작으로 인한 부하잡음과 임펄스 잡음이 더해진 형태의 잡음으로 나눌 수 있다.

또한 부하기기로 인한 잡음과 임펄스 잡음은 발생 주기에 따라서 비주기성(aperiodic or random)잡음과 주기성(periodic or cyclic)잡음으로 구분할 수 있으며, 특히 주기성 잡음의 경우 전력주파수를 기준으로 세분화 하여 동기(synchronous)와 비동기(asynchronous)로 구분할 수 있다[1]. 비주기성 임펄스 잡음은 부하기기의 기동과 정지 혹은 투입과 차단 등과 같은 현상으로 발생하는 불규칙한 형태의 잡음이며, 주기성 동기 임펄스 잡음의 경우 직류정류기(DC power supplies)와 사이리스터(thyristor) 혹은 트라이액(triac)과 같은 전력전자소자들에 의하여 전력주파수에 동기하여 발생하며, 주기성 비동기 임펄스 잡음의 경우 고속으로 스위칭하는 전원장치(SMPS; Switching Mode Power Supplies)에 의해 발생한다.

**2.2 부하변동에 따른 임펄스잡음의 측정 및 분석**

전력선 통신환경 하에서의 다양한 가전기기의 특성을 고려하여 부하를 선정하고 임펄스 잡음의 특성에 따라 분류하였으며, 표 1은 부하 변동에 의한 임펄스 잡음의 형태를 부하 사례별로 정리하여 나타내었다.

표 1. 임펄스잡음 특성별 부하모델의 선정

임펄스잡음의 형태		부하모델
주기성 임펄스 잡음	동기성 임펄스잡음	조광기(Dimmer)
	비동기성 임펄스잡음	SMPS
비주기성 임펄스잡음		스위치 ON/OFF 시 발생

본 논문에서는 상기 나열한 바와 같이 전력선통신에서의 부하변동 특성을 측정하기 위하여 주기적인 임펄스잡음을 발생시키는 조광기를 선정하여 실측하였으며, 전력선통신에서의 부하변동 특성으로 발생하는 신호를 측정하기 위해 전력선 신호를 구성하는 기본적인 전압, 전류 신호의 구성방안 및 측정 장치를 그림 1에서 나타내었다.

또한 그림 2의 경우 주기성 임펄스잡음을 나타내기 위하여 대표적으로 전력선에 연결된 조광기를 그림 1과 같은 방안으로 측정한 것이며, 그림 2의 부하특성에서 보는 것처럼 전압은 SCR의 스위칭 동작으로 인해 전력주파수의 60Hz의 정수배에서 주기적으로 동기된 임펄스 잡음이 검출된 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 이러한 임펄스 잡음에 대한 영향을 최소화하기 위하여 다음과 같은 채널코딩방식이 적용된 DS-SS방식의 시스템을 제안하였다.

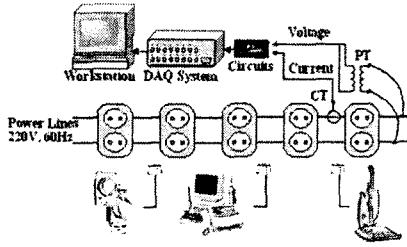


그림 1. 부하 및 전력선 전압, 전류측정 구성도

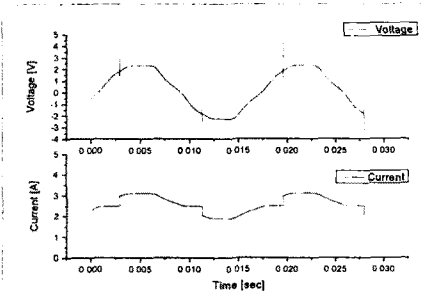


그림 2. 주기성 임펄스 잡음을 나타내는 부하의 실측 특성 (실측부하 예: 조광기)

### 3. 임펄스 잡음 개선에 적합한 통신 시스템

#### 3.1 순방향 오류정정방식

순방향 오류정정방식은 전력선 채널상에서 발생하는 랜덤 에러에 대해 우수한 오류 정정 능력을 보이며, 전력선 채널에 발생하는 오류를 정정하기 위해 컨볼루션 부호화와 비터비 복호화를 사용하였다[2].

우선 컨볼루션 부호화는 m개의 메모리와 k개의 입력, n개의 출력을 갖는 선형 시퀀셜 회로(Linear sequential circuit)로 정의되며, 실제의 경우  $n=2, k=1$  즉 부호율 1/2을 주로 사용한다. 0과 1로 이루어진 이진 정보 수열을 k 비트 단위의 블록으로 나누어 각각의 블록들을 n 비트의 블록으로 대응시킬 때, 현재의 정보데이터에 만들어진 부호율 (n, k) 컨볼루션 부호화라 부르고, k/n 은 컨볼루션 부호화의 부호율을 나타낸다.

또한 컨볼루션 부호화의 복호화 방법으로 사용되는 비터비 복호화는 수신된 부호 심볼을 격자도(Trellis) 상에서 가능한 여러 경로에 대해 확률을 계산하여 가장 큰 확률을 갖는 경로를 선택하는 방법이다.

즉, 비터비 복호화는 입력값에 대한 가장 유사한 복호 시퀀스를 찾는 것이며, 확률값의 누적적인 상태값을 발생 가능한 모든 경로에 대해 계산하고, 두개의 경로가 만났을 경우 큰 경로 값을 갖는 경로를 선택하여 가장 유사한 시퀀스를 유추하여 출력값을 선택하는 방식이다.

#### 3.2 인터리빙

인터리빙은 통신시스템에서 순간잡음에 대한 내성강화를 위해 자주 사용되는 방법으로서, 데이터열의 순서를 일정단위로 재배열함으로써, 순간적인 잡음에 의해 데이터열 중간의 일부 비트가 손실되더라도 그것을 복구할 수 있도록 해주는 역할을 한다[3].

본 논문에서 사용한 인터리빙 방식은 컨볼루션 부호화기에서 부호화된 심볼들을 블록으로 받아서 치환한 뒤 재 정렬된 심볼들을 변조기로 보낸다. 일반적인 블록의 치환은 M행과 N열(M × N)을 가진 배열의 열을 부호화된 시퀀스로 채우는 것으로 시작한다.

배열이 완전히 채워진 후 심볼들은 한번에 한 행씩 변조기로 보내져서 채널을 통해 전송된다. 수신기에서 역

인터리빙은 역과정을 수행한다. 복조기에서 심볼을 받아서 역인터리빙하고 복호기(decoder)로 보낸다. 심볼들은 역인터리빙 배열에 행으로 들어가서 열로 나온다.

그림 3은 본 논문에서 제시하는 인터리빙 및 디인터리빙 방식을 나타내는 개념도이다. 그림 3에서 송신기로 가는 출력 열은 그림 3(a)에서와 같이 배열에서 행으로 나온 부호 심볼로 되어 있다. 만약 그림 3(a)에서 7개의 연접오류가 발생하였다고 가정하면, 디인터리빙에서는 인터리빙에서 했던 과정을 거꾸로 반복한다. 수신된 신호 열을 인터리빙과 똑같은 크기의 메모리에 저장하였다가 열 기준으로 데이터를 출력한다. 따라서 그림 3(b)와 같이 연접 오류는 마치 랜덤 오류가 난 것과 같은 현상이 나타나게 되며, 이러한 과정을 거치면서 전력선의 연접 오류를 랜덤 오류로 만들어 주기 때문에 신뢰도가 높은 데이터 전송이 가능하다.

1	9	17	25	33	41	49	57	1	2	3	4	5	6	7	8
2	10	18	26	34	42	50	58	9	10	11	12	13	14	15	16
3	11	19	27	35	43	51	59	17	18	19	20	21	22	23	24
4	12	20	28	36	44	52	60	25	26	27	28	29	30	31	32
5	13	21	29	37	45	53	61	33	34	35	36	37	38	39	40
6	14	22	30	38	46	54	62	41	42	43	44	45	46	47	48
7	15	23	31	39	47	55	63	49	50	51	52	53	54	55	56
8	16	24	32	40	48	56	64	57	58	59	60	61	62	63	64

(a) 인터리빙 (b) 디인터리빙  
그림 3. 인터리빙 및 디인터리빙

#### 3.3 임펄스 잡음 환경하에서의 DS-SS 시스템 모델링

DS-SS 방식은 송신기에서 입력데이터를 의사잡음(Pseudo Noise)부호에 의해서 변조하고, 수신기에서는 송신기의 의사잡음부호와 동기된 의사잡음부호로 상관검파 함으로써 데이터를 복조하도록 구성된 것이다.

본 논문에서 제안하는 채널부호화가 적용된 DS-SS 방식의 전력선 통신 시스템의 구성도이다.

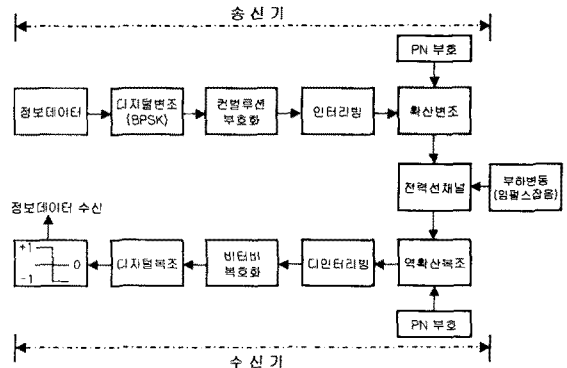


그림 4. 채널부호화가 적용된 DS-SS 전력선통신 시스템

그림 4에서 제시하는 채널부호화가 적용된 DS-SS 전력선통신 시스템은 우선 송신기에서는 데이터 정보를 컨볼루션 부호화기로 인코딩한 후, 인터리빙을 거쳐 확산 변조하고 수신기에서는 다시 디인터리빙을 거쳐 비터비 디코더로 디코딩한 후, 역확산복조함으로써 부하변동에 따른 임펄스 잡음에 대한 영향을 최소화 할 수 있다.

전력선통신에서 부하변동으로 인한 임펄스잡음환경에서의 수신된 기저대역 DS-SS 신호,  $y(t)$ 는 송신된 이진 DS-SS 신호  $s(t)$ , 협대역간섭 잡음  $u(t)$ , 가우시안 잡음  $n(t)$  및 임펄스잡음  $i(t)$ 로 이루어진다[4].

$$y(t) = s(t) + u(t) + n(t) + i(t) \quad (1)$$

DS-SS 시스템에 있어서, 송신되는 이진 정보비트  $d(t)$  는 (펄스길이 :  $T_b$ )와 확산 chip sequence,  $c(t)$  의 (펄스길이 :  $T_c$ )의 곱으로 만들어진다.

$$m(t) = A_c(t)d(t) \quad (2)$$

여기에서  $A_c$ 는 진폭상수이며, 확산 이득(Process gain)은  $T_b/T_c$ 로 정의된다.

가우시안 잡음 및 임펄스 잡음 환경에서의 채널부호화를 적용한 DS-SS 시스템에 대한 오차 확률은 다음과 같다[5].

$$Q(x) = \int_x^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt \quad (3)$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b R_c}{N_0}}\right) \quad (4)$$

여기서,  $Q(x)$ 는 단위 정규화 변수의 상보적 누적 분포 함수이며, 오차확률  $P_b$ 에서의  $E_b$ 는 비트 당 신호에너지치를 나타낸다. 또한  $N_0$ 는 잡음 전력 스펙트럼 밀도이며,  $R_c$ 는 채널부호율 k/n이다.

### 3.4 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 부하변동에 의한 임펄스잡음환경하에서의 채널부호화를 통한 통신성능 향상을 확인하기 위하여 상기 실측된 부하모델의 데이터를 기반으로 BER(비트오율) 성능을 도출하였다. 표 2는 BER 성능을 도출하기 위한 주요 파라미터이다.

표 2. 성능분석을 위한 주요 파라미터

채널	가우시안 잡음, 주기성 임펄스 잡음 (조광기)
임펄스잡음의 폭(Width)	15 $\mu$ s
임펄스잡음의 진폭	8 V
변조방식	BPSK-DSSS
확산코드	PN(의사잡음) 코드
확산 이득	4
부호화기	컨볼루션 부호화기
구속장 (K)	K=7 (m=6)
부호율 (R)	R=1/2, 1/3
복호화기	비터비 복호화기 (K=7)
인터리버	블록인터리버

그림 5에서는 일반적인 전송로의 배경잡음을 의미하는 가우시안 잡음환경과 주기성(동기) 임펄스 잡음환경에서의 채널부호화를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 DS-SS 방식의 BER 통신성능을 나타낸 것이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 채널부호화를 적용하지 않은 DS-SS방식의 경우 가우시안 잡음환경에서는 비트오율  $10^{-3}$ 을 기준으로  $E_b/N_0$ 가 약 6.5dB임을 알 수 있으며 채널부호화를 적용한 DS-SS 방식의 경우 부호화율(1/2)과 인터리버를 적용하였을 경우의  $E_b/N_0$ 가 약 4.5dB로 채널부호화를 적용하지 않은 DS-SS 방식에 비해 약 2dB 정도의 성능 개선의 효과를 얻을 수 있었다. 또한 부호화율(1/3)로 가변 시  $E_b/N_0$ 가 약 3.5dB로써 부호화율(1/2)보다 1dB 향상되었다.

또한, 가우시안 잡음환경에 주기성(동기)임펄스잡음을 부가한 잡음환경에서 채널부호화를 적용하지 않은 DS-SS 방식의 경우에는  $E_b/N_0$ 값이 발산되어 상당히 열악한 통신 성능을 보였으며, 반면에 가우시안 잡음환경

에 주기성(동기)임펄스잡음을 부가한 잡음환경에서 채널부호화를 적용한 DS-SS 방식의 경우 비트오율  $10^{-3}$ 을 기준으로  $E_b/N_0$ 는 가우시안 잡음환경과 유사한 값을 얻을 수 있었다. 이는 부하변동으로 인한 임펄스 잡음 환경에 대하여 채널코딩 기반의 DS-SS방식을 적용할 경우 효율적으로 통신성능을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

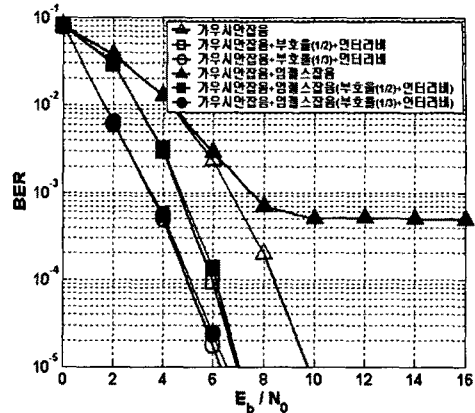


그림 5. 가우시안 잡음 및 임펄스잡음환경에서의 BER 성능비교

### 4. 결 론

본 논문에서는 열악한 전력선통신 채널환경을 극복하기 위하여 전력선 채널에서 주요한 잡음원인 임펄스 잡음 개선을 위한 채널코딩 기반의 대역확산 전력선통신 시스템을 소개하였다.

전력선통신에서의 부하변동으로 인한 임펄스잡음은 통신성능의 열화를 가져오는 주요한 요인이며, 이러한 임펄스잡음들에 대해서 변조 전과 복조 후 채널부호화 방식을 적용한 대역확산 전력선 통신시스템을 적용하여 BER 시뮬레이션을 해 본 결과 통신 성능이 개선되었음을 확인 할 수 있었다. 향후에는 좀 더 효율적인 전력선 통신시스템을 구현하기 위해서 부하변동으로 인한 다양한 임펄스잡음환경에서의 정확한 전송채널을 분석함으로써, 향후 전력선 통신 시스템에서의 임펄스잡음을 개선하기 위한 데이터로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Gotz, M, Rapp, M, Dostert, K, "Power line channel characteristics and their effect on communication system design", IEEE Communication Magazine, Vol.42, pp. 78-86, April, 2004
- [2] John G. Proakis, Masoud Salehi, "Contemporary Communication Systems", pp.373-389, Brooks/Cole
- [3] 문경환, 신명철, 서희석, 최상열, 최인혁, 고은영, 이종주, 차재상, "임펄스 잡음 문제의 해결을 위한 인터리빙 기반의 전력선 통신시스템", 대한전기학회 하계학술대회논문집, 전력계통 A권, pp.316-318, 2004
- [4] 김성락, "임펄스잡음 환경하에서 CDMA 오버버레이를 위한 협대역 간섭잡음 및 임펄스잡음 적응제거 기법", 한국통신학회 학술발표회 논문집 제13권 1호, pp163-166
- [5] 차재상, "이진 ZCD확산코드를 이용한 저간섭 CDMA 시스템에 관한 연구", 한국조명, 전기설비학회 논문지, Vol.18, No4, pp. 149-154, 2004

본 연구내용의 일부는 산업자원의 지원에 의한 기초전력연구위원회의 수행 과제(R 2004 B 228)의 결과물임.