

論文 91-28A-5-1

전력선에서의 에러 정정 코드에 의한 데이터 전송 성능 분석

(Analysis of Performance of Data Communications Using Error Control Codes on Electrical Power Lines)

宋 旺 澈*, 鄭 虎 泳*, 金 信 始*, 康 昌 彦*

(Wang Cheol Song, Ho Young Jung, Sin Ryeong Kim, and Chang Eon Kang)

要 約

본 논문에서는 전력선에서의 에러 정정 코드를 이용한 통신 시스템의 성능 분석을 하였다. BCH 랜덤 에러 정정 코드와 인터리브드 연결 에러 정정 코드를 사용하여 전력선 상에서의 랜덤 에러 및 연결 에러를 정정하고자 하였다. 2400 bps의 데이터 전송 속도와 12KHz의 반송 주파수에서, 저장된 실제 잡음을 이용하여 BPSK PLC(power line carrier)시스템으로 모의실험을 행하였다.

Abstract

In this paper the performance of communication system in the electrical power line using error correcting codes is analysed. The BCH codes and interleaved code are to be used for correcting burst and random errors in the power line channels. The data rate of 2400 bps and the carrier frequency of 12kHz are assumed. Actual power line noise is recorded and simulated in the BPSK PLC system model.

I. 서 론

전력선은 지금까지 많은 산업체들에서 원격 자동 검침, 부하관리 등의 여러 용도의 통신 목적을 위하여 쓰여져 왔다.^[1] 그러나 전력선 통신은 일반 통신 설비보다 전력 기기로 부터 기인되는 여러가지 장애들로 인해 대부분 시스템의 전송율은 100 bits/s 미만이였다.

전력선 통신은 부하관리나 배전 자동화를 위한 중요한 통신 링크로서 전력선망 어디에서나 접근할 수 있다는 것 외에 추가 설비 및 건물 인테리어 등에

의한 제한성을 주지하는 등의 여러 장점들로 인해 보다 높은 데이터 속도와 낮은 신호 전력을 갖는 PLC(power line carrier)통신 시스템 개발에 많은 연구가 있어 왔다.^{[2][3]} 그러나 PLC 통신 시스템은 제한된 대역폭과 상대적으로 높은 잡음 레벨 그리고 임피던스와 감쇄 특성, 잡음 레벨이 때와 장소에 따라 다른 특성을 보이는 등 여러 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 전력선 통신에 대한 분석, 고찰과 측정된 자료^[4]에 근거하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 위하여 적절한 인터리빙 차수를 가지는 인터리빙 기법과 랜덤 에러 정정 코드중 BCH 코드를 결합하여 연결에러를 랜덤에러로 분산시켜 정정할 수 있음을 제시하고 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 이것에 근거를 두고 전력선 데이터 전송의 성능개선을 위한 최적 코딩 방법을 제시하고 있다.

*正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)
接受日字: 1991年 1月 14日

II. 전력선 특성

전력선 채널상의 여러 장애들로 인한 데이터 전송 속도와 그 신뢰도에 많은 제한이 있게 된다. 송·배전 시스템은 수만 볼트의 전압을 전달하므로 건물내 전력선에 비해 고압으로 부터 유기되는 더 많은 장애를 가짐은 물론 전파 관리법에 의해 10KHz 이상의 통신은 규제를 받으며, 변압기를 통과하는 과정에서 신호 성분이 크게 감쇠되는 문제점을 갖는다. 건물내 전력선의 전송 특성은 감쇄특성, 임피던스 특성 및 잡음 특성 등으로 특징 지워질 수 있다. 전력선의 감쇄특성은 주파수가 높아짐에 따라 증가하는 반면 전력 스펙트럼은 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있고,^[2] 건물내 전력 잡음 특성은 10KHz 부분의 주파수 대역에서는 잡음 전력이 68dB μ V 정도를 나타내며,^[9] 건물내 전력 잡음 중에서 주기적인 임펄스 잡음은 높은 데이터 전송율을 갖는 전력선 반송 시스템에서 연접 에러를 유발하는 주요한 원인이 되며 이로 인해 반송통신 시스템의 성능에 큰 영향을 주게 된다. 전력선 자체가 통신 매체가 되므로 전력선의 임피던스는 신호 송수신점의 임피던스가 되며 통신 시스템을 설계하는데 중요한 파라미터가 된다. 80KHz 이하의 주파수 대역에서 높은 임피던스(100~500 Ω) 특성을 보이는데 이는 선로 결합장치(line coupler)에 의한 영향으로 분석된다.

III. 에러 정정 코드

통신 채널에서 발생하는 에러는 크게 연접에러(burst error)와 랜덤 에러(random error)로 대별할 수 있는데 전력선 채널의 경우에는 랜덤에러와 연접에러가 함께 존재하는 복잡한 형태를 띠고 있으며 특히 연접 에러는 통신 시스템의 성능에 심각한 영향을 주고 있다. 연접 에러 정정 코드를 이용하여 에러를 정정하기 위해서는 채널의 에러 패턴이 연접 에러 정정 코드의 정정 능력을 초과하지 않는 길이를 가질 때 통신 시스템의 성능을 크게 개선할 수 있으나 전력선 채널은 랜덤에러와 함께 섞여서 존재하는 대단히 복잡한 양상을 띠고 있기 때문에 연접 에러 정정 코드를 전력선 채널에 그대로 적용하는 것은 그다지 큰 효과를 기대할 수 없다. 그러므로 적절한 인터리빙 차수를 가지는 인터리빙 기법과 랜덤에러 정정 코드중 완전 코드(perfect code)라 불리는 BCH 코드를 결합함으로써 연접 에러를 랜덤에러로 분산시켜 신뢰성 있는 데이터 전송을 할 수 있다.

1. BCH 코드 특성

BCH 코드는 강력한 랜덤 에러 정정 순환 코드

(random error correcting cyclic code)의 한 부류로서, 다중 에러 정정을 위해 해밍 코드를 일반화 해 놓은 것이다. BCH 코드는 다음과 같이 구성된다.^[5]

$$\begin{aligned} \text{블럭 길이:} & n=2^m-1 \\ \text{패리티 체크 디지털의 수:} & n-k \leq mt \\ \text{최소 거리:} & d_{\min} \geq 2t+1 \end{aligned} \quad (1)$$

이 코드는 $n=2^m-1$ 의 블럭 길이 내에서 t 이하의 어떤 에러의 결함도 정정할 수 있는 능력을 가진다. 따라서 t -에러 정정 코드라고 부른다.

BCH 코드의 생성 다항식(generator polynomial)은 갈로아 필드(galois field) $GF(2^m)$ 상에서의 근의 항으로 표시되어진다. α 를 $GF(2^m)$ 상의 원시 원소(primitive element)라고 하며, 길이 2^m-1 의 t 에러 정정 BCH 코드의 생성 다항식 $g(x)$ 는 다음과 같은 값들을 근으로 갖는(즉, $1 \leq i \leq 2t$ 의 영역에서 $g(\alpha^i) = 0$) $GF(2^m)$ 상에서의 가장 낮은 차수의 다항식(lowest degree polynomial)이다.

$$\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \alpha^4, \dots, \alpha^{2t}$$

$g(x)$ 는 $\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2t}$ 뿐만 아니라 이들의 공액(conjugate)을 근으로 갖는다. $\phi(x)$ 를 α^i 의 최소 다항식(minimal polynomial)이라고 하면, $g(x)$ 는 $\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_{2t}(x)$ 의 최소 공배수(least common multiple)가 된다. 즉,

$$g(x) = \text{LCM}\{\phi_1(x), \phi_2(x), \dots, \phi_{2t}(x)\} \quad (2)$$

이진 n -tuple $v = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ 이 생성 다항식 $g(x)$ 에 의한 코드어가 될 조건은 코드 다항식 $v(x) = v_0 + v_1x + v_2x^2 + \dots + v_{n-1}x^{n-1}$ 이 $\alpha, \alpha^2, \alpha^3, \dots, \alpha^{2t}$ 를 근으로 가지고 있어야 한다는 것이다.

그러므로 $1 \leq i \leq 2t$ 에 대하여

$$v(\alpha^i) = v_0 + v_1\alpha^i + v_2\alpha^{2i} + \dots + v_{n-1}\alpha^{(n-1)i} = 0 \quad (3)$$

의 조건을 만족해야 한다. 이에 따라서 다음과 같은 같은 행렬 H 가 존재하게 된다.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 & \alpha^3 & \dots & \alpha^{n-1} \\ 1 & (\alpha^2) & (\alpha^2)^2 & (\alpha^2)^3 & \dots & (\alpha^2)^{n-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & (\alpha^{2t}) & (\alpha^{2t})^2 & (\alpha^{2t})^3 & \dots & (\alpha^{2t})^{n-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$v = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$ 이 t -에러 정정 BCH 코드라면,

$$v \cdot H^T = 0 \quad (5)$$

를 만족하게 된다. 여기서 H 는 이 코드의 패리티 체크 행렬이라고 한다. 이 때 H 의 각 요소들은 $GF(2^m)$ 의 구성원(element)들이다.

2. 인터리브드 코드(interleaved code)

(n, k) 순환코드가 주어지면, 인터리빙(interleaving) 기법에 의해서 $(\lambda n, \lambda k)$ 순환 코드(즉, 정보 비트에 λ 배 한것만큼의 길이)를 구성할 수 있다. 이것은 그림 1에 나타난 바와 같이 λ 개의 코드 벡터를 λ 열의 사각 배열로 정렬한 후에 행측으로 전송함으로써 이루어진다.⁶⁾ 이런 코드를 인터리브드 코드라고 하며, 파라미터 λ 는 인터리빙 차수(interleaving degree)라고 한다.

인터리빙 기술은 효율적이고 긴 에러 정정 코드를 찾는 문제를 짧고 좋은 코드를 찾는 문제로 간소화시킨다. 또한 짧고 적절한 단일 집단 에러 정정 코드(single burst error correcting code)로 부터 길고 강력한 단일 집단 에러 정정 코드를 유도하는데 효율적일 뿐만 아니라, 짧은 코드로부터 길고 강력한 집단 및 랜덤 에러 정정 코드를 유도하는데도 효율적이다.

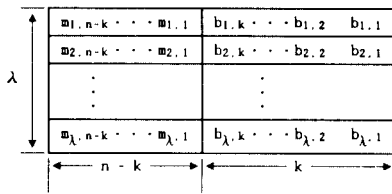


그림 1. 인터리브드 코드의 구성
Fig. 1. Construction of an interleaved code.

IV. 모의실험 및 결과 고찰

1. 건물내 전력선의 임펄스 잡음

건물내 전력선에 존재하는 잡음 형태 중에서 충격성 잡음(impulse noise)은 전력선 반송 시스템에서 연접 에러(burst error)를 유발하는 주요한 원인 중의 하나이다. 전력선 채널에서는 60Hz의 전력신호와 동기되어 스위칭 작용을 하는 부하, 즉 SCR과 같은 스위칭 기기들에 의해 높은 레벨의 주기적인 충격성 잡음이 발생된다. 이러한 주기적인 충격성 잡음은 전력선 채널상에서 발생하는 연접 에러의 주 원인이 되기 때문에 전력선 반송 통신 시스템의 성능면에서 볼 때 대단히 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다. 본 절에서는 그림 2와 같은 측정 시스템을 이용하여 연구동 건물내 전력선에 존재하는 잡음 데이터를 디스크에 저장한 후 컴퓨터 모의 실험을 통하여 이를 분석하고자 한다.

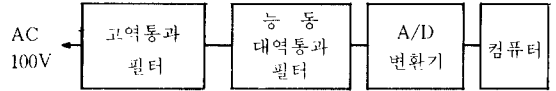


그림 2. 잡음 측정에 사용된 시스템
Fig. 2. Block diagram of the noise recording system.

1) 잡음 측정

전력선을 통해 통신을 하기 위해서는 다른 통신 채널보다 심한 잡음과 감쇄현상, 페이딩(fading)에 대한 정확한 고찰을 필요로 하며, 전력선 채널상의 잡음을 측정하는 데는 60Hz의 높은 전압에 대한 대책이 있어야만 한다. 여기서는 배전선에서 부터 건물내로 전력선을 연결시켜준 변압기의 이차측(secondary side)에서 존재하는 잡음을 측정하였다. 주 잡음원으로는 백색성 잡음을 발생하는 모터(motor)와 비동기 주기성 잡음을 발생하는 TV수신기, 단발성 잡음을 발생하는 스위칭(switching), 주기적인 임펄스 잡음을 발생하는 조도 조절기 등이 있으나, 조도 조절기에서 발생하는 60Hz와 동기된 잡음을 주로 고려하였다.

위의 그림과 같이 설치하여 잡음을 저장하였는데 100V 벽면 콘센트에서, 10KHz에서 차단 주파수를 갖는, HPF까지의 간격은 12m이고, 조도 조절기는 정격 전압 100V, 간격 소비전력 60W인 효성 조명의 AURORA 8000을 사용하였고 HPF와의 간격은 3m였다. 시각은 00시에서 02시 사이였으며 이 시간에 연구동은, 주로 모터를 이용한 기기들과 컴퓨터들인 주변 연구실들의 기기들이 동작하고 있었는데, 거의 일정하게 변동없는 상태를 유지하고 있었다. 이 측정에서 사용된 A/D 컨버터는 Data Translation사의 DT 2827로서 48KHz의 표본화율로 잡음을 A/D 변환하였다.

2) 저장 잡음 특성

저장된 데이터에서 그림 3과 같은 48KHz 표본화율의 5000 샘플에 대한 시간축에서의 잡음 특성을 얻을 수 있는데, 이 잡음에서 트라이악(triac)을 가진 조도 조절기의 직접적인 영향으로 120Hz의 큰 충격성 잡음이 생기고 그 사이에 작은 크기의 충격성 잡음이 주기적으로 관찰되고 있다.

트라이악은 60Hz에 동기되어 60Hz 한 주기 동안에 2번 충격성 잡음을 발생시키므로 이로 인해 120Hz 마다 충격성 잡음이 관찰되며, 그 사이에 발생하는 주기적 충격성 잡음은 배전선의 3상에 각각 120Hz로 발생하는 주기성 충격성 잡음이 유기되어 나타나는

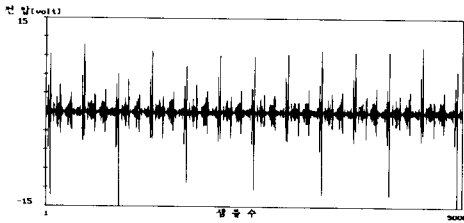


그림 3. 저장된 잡음
Fig. 3. The recorded noise.

것으로 해석할 수 있겠다. 이들 충격성 잡음은 조도 조절기를 연결시키기 전부터 관찰되었으나 조도 조절기를 연결시켜 조명을 최대로 해준 이후에 120Hz 주기의 충격성 잡음이 더 크게 관측되었다.

2. 모의실험 및 결과 고찰

다른 통신 채널과는 달리 전력선 채널의 에러율은 대단히 높기 때문에 이러한 에러를 어떤 정해진 허용치 이하로 줄이기 위해 FEC 코드와 인터리빙 방식을 결합시키는 것이 바람직하며, 본 절에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 적정 코드를 선정하고 인터리빙 차수(degree)를 결정하여 결합시키므로써 전력선을 위한 반송 시스템의 성능을 개선하고자 한다.

1) 모의 실험

1절에서 서술한 바와 같이 A/D 보드를 통하여 컴퓨터에 저장된 잡음 데이터는 코딩 방식을 선정하기 위해 행해진 모의실험 시스템에 이용되었으며 이에 대한 모의 실험 블럭도는 그림 4와 같다.

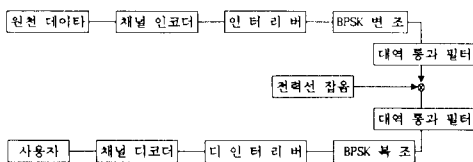


그림 4. 모의 실험을 위한 시스템 블럭도
Fig. 4. Block diagram of the simulation.

변·복조는 BPSK(Bi-Phase Shift Keying)로 행하였고 데이터 전송 속도는 근래 전화선을 이용한 모델에 많이 쓰이고 있는 2,400 bps이며 반송 주파수는 변압기를 큰 감쇄없이 통과하는 10KHz 대역 부근에서 동기화(synchronization)를 위해서 12KHz를 택하였다.^[9] 그리고 BCH 코드와 1~7까지의 인터리빙 차수(interleaving degree)에 대해 모의실험을 행

하였다.

위와 같은 통신 시스템을 이용하여 다음과 같은 절차로 모의실험을 하였는데, 먼저 각 코드에 적합한 인터리빙 차수(interleaving degree)를 구하기 위해-SNR이 낮을수록 더욱 많은 연접 에러가 발생하여 인터리빙의 효과를 더욱 확실하게 알 수 있으며, 0dB에서는 개선도가 거의 없으므로-SNR을 가장 나쁜 상황이라고 설정할 수 있는 5dB로 고정시킨 후 여러가지 BCH 코드에 대해 전력선 채널 환경하에서 비트 에러율을 구하였다. 정보 비트는 컴퓨터 시스템에 내장되어 있는 랜덤 신호를 이용하였으며 송신 신호와 복조 및 디코더를 거친 후의 수신 신호를 비교하여 에러 비트에 대한 통계량을 산출하였다. 모의 실험 결과와 실제 전력선을 통해 송수신 함으로써 얻은 에러율과는 여러가지 요인에 따라 특히 페이딩에 인한 신호의 감쇄 등에서 오는 신호 섬분의 손상 등 차이가 있을 수는 있으나 A/D변환기를 이용하여 전력선으로부터 직접 얻은 잡음 데이터를 이용하였으므로 크게 차이가 나지 않을 것으로 사려된다.

위에서 얻은 결과를 토대로 전력선 환경하에서 정보 전송을 할 경우 각 코드의 코드율과 에러 확률을 비교하여 좋은 신뢰도를 보이는 코드를 선택한 후 이들 코드에 대해 다시 SNR에 따른 비교 에러율을 구하고 최종적으로 전력선 반송 시스템에 적합한 코드를 선정하였다.

본 모의 실험에서는 SNR과 인터리빙 차수에 따라 여러가지 BCH 코드들에 따라 비트 에러율(Bit Error rate:이하 BER이라 부르기로 함)을 구하였으며 이에 사용된 각 코드들의 특성과 5dB에서 구한 BER은 표 1과 같다.

2) 결과 및 고찰

이 결과들은 코드율과 5dB에서 구한 BER을 비교하여 효율이 각각 다른 코드들에 대해 상대적으로 좋은 BER을 갖는 것을 선택하고, 선택된 코드들 중에서 인터리빙을 한 후 BER이 낮은 것을 선택하여 각 SNR에 따라 나타낸 것이다. 그림 5는 코딩을 하지않은 비트열을 BPSK 변·복조한 경우에 대해 BNR에 따른 BER을 보인 것이다.

그림 6은 선택된 코드들을 인터리빙 하지 않은 경우에 대한 것이다. (31, 6)코드는 다른 세 개의 코드들에 비해 코드율이 아주 작으므로 당연히 BER이 가장 낮으나(15, 5)코드는 코드율에 비해 좋은 BER 특성을 보여주는데 (31, 6)코드에 많이 근접해 있음을 볼 수 있다. 반복 코드의 경우 낮은 비트 에너지에서는 비교적 좋은 특성을 보이지만 SNR의 증가에 따라 BER의 감소가 아주 적어서 높은 SNR 25dB에

표 1. 이진 BCH 코드들의 특성과 5dB에서의 BER

Table 1. Bit error rates of BCH code in each interleaving degree.

인터리빙차수 부호재원	1	2	3	4	5	6	7	8	t	t/n
(7, 4) BCH	.2032	.2018	.2152	.1982	.2002	.1976	.2080	.571	1	.143
(15, 11) BCH	.2048	.2272	.2328	.2308	.2296	.2360	.2390	.733	1	.067
(15, 7) BCH	.1898	.1984	.2084	.1950	.2008	.2082	.1978	.467	2	.133
(15, 5) BCH	.1538	.1538	.1540	.1398	.1502	.1450	.1472	.333	3	.200
(31, 26) BCH	.2190	.2320	.2232	.2208	.2224	.2294	.2258	.839	1	.032
(31, 31) BCH	.2156	.2192	.2224	.2200	.2182	.2252	.2242	.677	2	.065
(31, 16) BCH	.2104	.2164	.2228	.2210	.2176	.2178	.2170	.516	3	.097
(31, 11) BCH	.1778	.1922	.1904	.1926	.1844	.1784	.1848	.355	5	.161
(31, 6) BCH	.1178	.1082	.1200	.1262	.1290	.1146	.1144	.194	6	.226
(63, 57) BCH	.2146	.2250	.2176	.2236	.2224	.2171	.2166	.905	1	.016
(63, 51) BCH	.2066	.2200	.1602	.2214	.2144	.2250	.2088	.810	2	.032
(63, 45) BCH	.2186	.2136	.2176	.2100	.2148	.2174	.2126	.714	3	.048
(63, 39) BCH	.2110	.2196	.2060	.2122	.2106	.2172	.2222	.618	4	.063
(63, 36) BCH	.2106	.2176	.2158	.2108	.2144	.2086	.2188	.571	5	.079
(63, 30) BCH	.2064	.2214	.2190	.2182	.2038	.2184	.2120	.476	6	.095
(63, 24) BCH	.2084	.2156	.2152	.2184	.2090	.2216	.2208	.381	7	.111
(63, 18) BCH	.1930	.1972	.2052	.1964	.1992	.2058	.1978	.286	10	.159
(63, 16) BCH	.1784	.1828	.1804	.1762	.1844	.1932	.1776	.254	11	.175
(65, 10) BCH	.1184	.1178	.1284	.1140	.1248	.1286	.1356	.159	13	.206
(63, 7) BCH	.0662	.0704	.0696	.0708	.0614	.0716	.0624	.111	15	.238
반복 코드	.1622	.1134	.0882	.0930	.0946	.0900	.0910	.333	1	.333

n : 코드길이 반복코드: (3, 1)
R : 코드율(n/t) t : 최대에러 정정 갯수

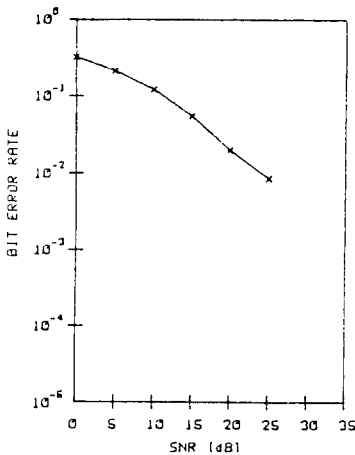


그림 5. 코딩을 하지않은 경우의 BER
Fig. 5. BER of the uncoded system.

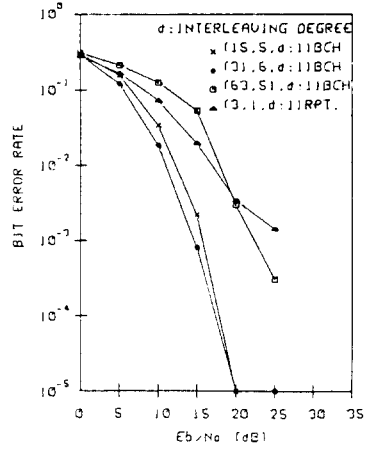


그림 6. 인터리빙을 거치지 않은 경우의 BER
Fig. 6. BER of the uninterleaved system.

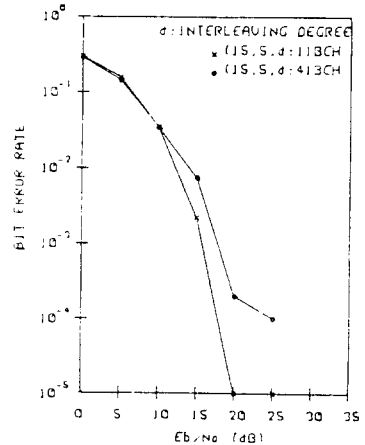


그림 7. (15, 5) 코드(인터리빙 차수: 4)
Fig. 7. (15, 5) code ($\lambda: 4$).

서는 10^{-3} 이상의 에러율로서 (63, 51) 코드보다 오히려 큰 BER 값을 갖는다.

그림 7에서부터 그림 10까지는 선택된 각 코드들에 대해 각기 코드의 적정한 인터리빙 차수(λ)로 인터리빙을 한 코드와 인터리빙을 하지 않은 코드 두 가지의 경우들을 보여주고 있다. 인터리빙을 했을 경우 반복 코드는 0dB에서 0.1986의 에러율로 인터리빙을 하지 않았을 때의 0.2748에 비해 0.0762의 에러율 감소를 가지며 20dB에서부터는 그 차이가 뚜렷하여 25dB에서는 인터리빙을 하지 않은 경우의 1.4×10^{-3} 인 에러율에 비해 10^{-5} 정도의 에러율로 큰 성

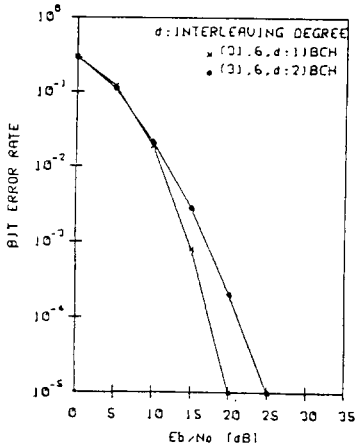


그림 8. (31, 6) 코드(인터리빙 차수 : 2)
Fig. 8. (31, 6) code ($\lambda : 2$).

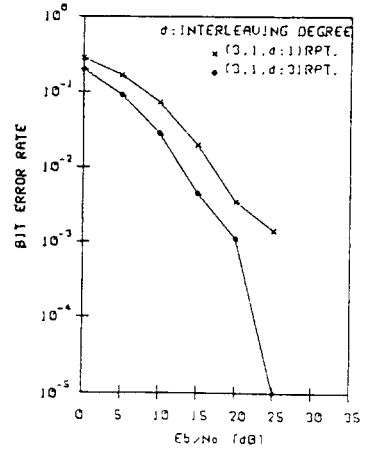


그림 10. 반복 코드(인터리빙 차수:3)
Fig. 10. Repeation code ($\lambda:3$).

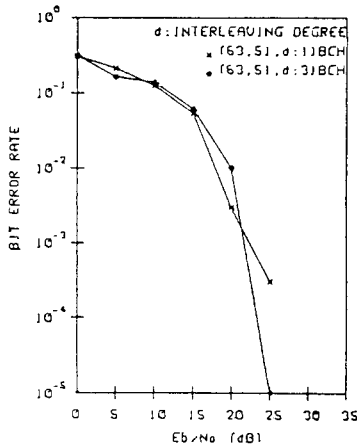


그림 9. (63, 5) 코드(인터리빙 차수:3)
Fig. 9. (63, 5) code ($\lambda:3$).

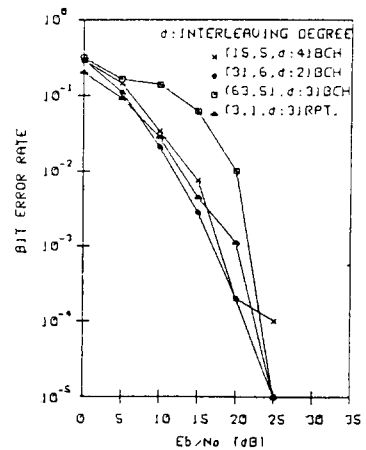


그림 11. 인터리빙을 한 각 코드의 BER
Fig. 11. BER of the interleaved codes.

능 향상을 보여주었으나, 다른 경우에는 인터리빙이 아무런 효과를 주지 못하고 있으며 오히려 이들은 SNR이 커짐에 따라 더 높은 BER의 성능을 저하를 초래하고 있다.

그림 11은 4 개의 코드들을 인터리빙한 경우의 BER을 나타내었는데 다른 인터리빙을 한 코드들의 경우에 비해 반복 코드가 비교적 좋은 성능을 보여 주고 있으며 그림 6에서처럼 반복 코드가 다른 코드들에 비해 성능이 많이 떨어지는 현상은 보이지 않고 있다.

그림 12는 성능이 우수한 코드들에 대해 BER을 비

교해 놓은 그림이다. 여기서 (31, 6) 코드와 (15, 5) 코드가 가장 좋은 성능을 보이고 있는데 (31, 6) 코드는 0.194인 코드율을 갖고 있고 (15, 5) 코드는 0.333 인 코드율을 갖으므로 2400 bps의 데이터율로 정보를 보냈다고 가정하면 1초에 (31, 6) 코드는 약 465 비트를, (15, 5) 코드의 경우는 800비트를 전송하게 되므로 건물내 전력선 통신에서 채널코딩 시스템은 (15, 5) BCH 코드를 채택하는 것이 바람직하다.

반복 코드의 경우 인터리빙을 했을 경우 25dB에서 약 10^{-6} 의 에러율을 갖는데 이 코드가 비록 (15, 5) BCH 코드에 비해 성능은 떨어지지만, 전력선 채널

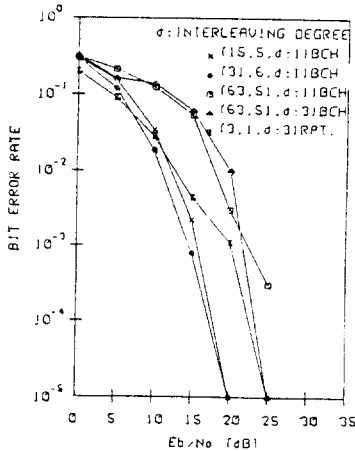


그림12. 각 코드의 BER
Fig. 12. BER of each code.

통신이 제작 비용이 적게 드는 시스템을 요하므로, 간단한 논리로서 시스템 구현을 할 수 있다는 잇점이 있다. 또한 본 논문에서는 12KHz 반송 주파수에서 2400 bps로 데이터 전송을 하였는데 이 데이터 전송율에서는 임펄스에 의해 1비트에서 2비트 정도가 손상되어 전력선 잡음 자체로서는 연접에러가 발생하지 않으므로 인터리빙이 큰 효과를 보이지 않거나 오히려 성능 저하가 발생하지만, 본 논문에서 고려하지 않은 페이딩에 의한 연접 에러가 발생할 경우 인터리빙에 의해 정정 능력이 양호해질 것으로 사려된다.

본 논문의 모의 실험에서 인터리빙이 시스템의 성능 향상에 영향을 주지 못하고 있는데 이는 앞에서 언급한 바와 같이 전력선 잡음에 의해 연접 에러가 발생하지 않기 때문인데 실제 전력선 상에서는 건물 내 각 부하들의 점멸이나 페이딩, 주파수 선택적인 감쇄 특성 등에 의해 연접 에러가 발생할 수 있으므로 실제 시스템에서는 인터리빙에 의한 성능 향상을 기대할 수 있으리라고 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 전력선 특성을 분석하고 연구용 건물내 전력선에 존재하는 잡음을 받아 모의실험을 통하여 분석하여 그에 대한 대책을 제시하였다.

전력선 채널에는 랜덤 에러와 연접 에러가 함께 존재하는 복잡한 형태를 띠고 있으며 특히 주기적인 임펄스 잡음과 주기적 페이딩 등에 의한 연접 에러는 통신 시스템의 성능에 심각한 영향을 주며 데이

타 전송율이 커질수록 임펄스 잡음에 의해 많은 연접 에러가 발생한다. 그러므로 연접 에러를 랜덤 에러로 분산시켜 정정하기 위해 적절한 인터리빙 차수를 가지는 인터리빙 기법과 효율적인 랜덤 에러 정정 코드를 결정하는 채널 코딩을 시도하였다.

본 모의 실험에서 데이터 전송율은 2400bps로 하였는데, 임펄스 잡음 하나의 폭은 62.5 μ sec~83.3 μ sec 동안 지속되는데 반해 1개의 비트는 416 μ sec 동안 지속되어 연속된 임펄스 잡음만이 연속 에러를 발생할 수 있었다. 그러나 연속된 잡음 역시 416.7 μ sec~625.0 μ sec 동안 지속될 뿐이므로 1~2개의 비트 에러만 발생하여 랜덤 에러 정정 코드만으로도 시스템의 성능을 개선할 수 있었다.

20가지의 BCH 코드들 중에서 (15, 5) 코드가 코드율(code rate)에 비해 좋은 성능 향상을 나타내었다. 또한 반복 코드는 인터리빙을 거쳤을 때 좋은 성능을 보여주었는데 이 코드가 비록 큰 성능 향상을 주지는 못했지만 제작 비용이 적게 드는 시스템을 요하는 전력선 채널 통신의 요건에 합당한 코드이다. 물론 (63, 7) 코드와 같은 에러 정정 능력이 큰 코드들은 더 작은 비트 에러율을 가지지만, 반송 주파수가 12KHz를 사용할 때 60Hz 전력 주파수 부분을 침범하지 않으며 변압기에서 큰 감쇄를 받지 않는 주파수 대역을 사용하기 위해서 거의 최고의 데이터 전송율로 볼 수 있는, 2400bps로 데이터를 전송하면 너무 작은 코드율을 갖는 (63, 7)과 같은 코드는 적절하지가 못하다.

본 논문에서 고려하지 않았지만 실제 채널 상에서는 부하의 종류에 따라 임피던스 부정합 등으로 인해 다른 특성을 보이는 페이딩²⁾이나 변압기에서 오는 정재파, 부하들을 켜고 끄는데서 오는 임펄스 잡음, 주변에 연결된 부하들에서 오는 영향, 주파수 선택적인 감쇄 등으로 인하여 연접 에러가 발생하므로 인터리빙에 의해 에러 정정 능력이 양호해질 것이며 2400 bps의 데이터 전송율에서는 연접 에러의 비트 열이 같지 않으므로 7차 이하의 적은 인터리빙 차수로도 시스템 성능 향상이 좋아질 것으로 사려된다.

향후, 일반적으로 모델링하기 힘든 감쇄 특성을 가진 실제 전력선 시스템에서 각 수신단에서의 SNR에 대한 연구가 필요하다.

參 考 文 獻

[1] A.C.M. Chen, "Automated Power Distribution," *IEEE Spectrum*, pp. 55-60, April 1982.

[2] M.H.L. Chan and R.W. Donaldson, "Attenuation of communication signals on residential and commercial intrabuilding power distribution circuits," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-28, pp. 220-230, Nov. 1986.

[3] R. Lytl and S. Storm, "A new carrier current protocol utilizing an active repeater for consumer and industrial applications," *IEEE Trans. Cons. Electrons*, vol. CE-31, pp. 700-705, Nov. 1985.

[4] P.K. Van der Gracht and R.W. Donaldson, "Communication using Pseudonoise modulation on electric power distribution circuits," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, pp. 964-974, Sept. 1985.

[5] A.M. Michelson and A.H. Levesque, *Error Control Techniques for Digital Communic-*

ation, John Wiley & Sons, 1985.

[6] S. Lin and D.T. Costello, Jr., *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983.

[7] Roger M. Vines, H. Joel Trussell, Louis J. Gale, and J. Ben O'neal, JR., "Noise on Residential Power Distribution Circuits," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. EMC-26, no. 4, pp. 161-168, Nov. 1984.

[8] K. Feher, *Digital Communications: Satellite/Earth Station Engineering*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1978.

[9] 정호영, 김남용, 강창언, 문홍석, "건물내 전력선 반송통신을 위한 신호전송 특성," 한국통신학회 하계종합학술발표회, 제 9 권, 제 2 호, 1990

著 者 紹 介



宋 旺 瞰 (正會員)

1963年 12月 12日生. 1986年 2月 연세대학교 식품공학과 졸업(공학사). 1989年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1991年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 주관심분야는 디지털 통신 및 채널 코딩 등임.



鄭 虎 泳 (正會員)

1962年 7月 6日生. 1986年 2月 충남대학교 전자공학교육학과 졸업. 1989年 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사. 1990年 3월~현재 동대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 Coding Theory, Spread Spectrum 등임.



康 昌 彦 (正會員)

1938年 8月 26日生. 1960年 연세대학교 전기공학과(공학사). 1965年 연세대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1969年 미국 미시간주립대학교 대학원 전기공학과(공학석사). 1973年 미국 미시간주립대학교 대학원 전기공학과(공학박사). 1967月~1973年 미국 미시간주립대학교 공업연구소 선임연구원. 1973年~1981年 미국 노턴 일리노이대학교 전기공학과 조교수, 부교수. 1982年~현재 연세대학교 전자공학과 교수. 1987年~1988年 한국통신학회 부회장. 1989年~1990年 한국통신학회 회장



金 信 嬪 (正會員)

1960年 12月 12日生. 1983年 2月 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1990年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사) 주관심분야는 Coding Theory 등임.