

준 직교 코드 기반의 고속 전력선 통신에 관한 연구

*차재상, **신명철, **이승연, **허남영, *서희석, **최상열, *최인혁, **이복구
*서경대학교, **성균관대학교, *두원공과대학, **인덕대학, *전력연구원, **명지대학

A study of PLC based on Quasi-Orthogonal codes

*J.S. Cha, **M.C. Shin, **S.Y. Lee, **N.Y. Hur, *H.S. Seo, **S.Y. Choi, *I.H. Choi and **B.G. Lee
*Seokyeong univ, **Sungkyunkwan univ, *Doowon univ, **Induk univ, *KEPRI, **Myongji univ.

Abstract - 전력선 통신은 최근 정보통신 기술의 급속한 발전과 더불어 많은 데이터 전송율을 요구하게 되었다. 한편, 기존의 사용하던 직교코드는 데이터 전송의 신뢰성은 높으나 준 직교코드를 사용했을 때보다 데이터 전송율은 낮다. 따라서 높은 데이터 전송율을 충족하기 위해 준 직교코드를 적용함으로써, 고속의 전력선통신을 가능하게 하고, 채널부호화를 통해 데이터의 신뢰성을 높인다. 또한, 본 논문에서는 전력선통신에 이용가능한 직교코드와 준 직교코드의 상관특성 및 비트오율특성을 비교해 봄으로서, 준 직교코드의 유효성을 확인하였다.

$$a = (a_0, \dots, a_i, \dots, a_{N-1}), a_i \in R. \quad (1)$$

만약 a_i 의 모든 성분들이 1과 -1라고 하면, 이것을 이진 수열이라고 부르며 어떤 $\tau(\neq 0)$ 일 때 모든 i 에 대해 $a_i \neq a'_{i+\tau}$ 를 만족하지 않는다면 a 수열과 a' 수열은 주기적으로 다른 수열이다. 이때 주기적 자기 상관 함수(auto-correlation function)는 다음과 같다.

$$R_a(\tau) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i a_{i+\tau} \quad (2)$$

$R_a(0) = N$ 이라 가정하면, 어떠한 손실도 없음을 알 수 있다. 이 때의 규칙적인 주기 N 을 갖는 수열 a 를 준 직교 수열(quasi-orthogonal sequence)라 한다.

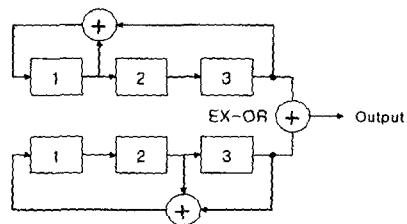
$$R_a(\tau) = \begin{cases} N & \text{for } \tau = 0, \\ M & \text{for } \tau = \frac{N}{2}, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

식(3)에서 $|M|$ 은 N 의 값보다 작다.

2.2 상 준 직교 코드의 예

준 직교 코드 중에 단일의 LSR(linear binary shift register)에 의해 생성된 M-Sequence 2쌍을 이용하여 표현된 Gold 수열이 존재한다. M-sequence는 좋은 상관 특성을 가지고 있으나 코드의 family 개수가 적어 많은 사용자들에게 코드를 할당 할 수 없다. 이런 단점을 보완하기 위해 등장한 코드가 Gold 코드이다. Gold 코드는 M시퀀스(sequence)에 비하여 상관특성은 다소 열화하였으나, 코드의 개수가 많아서 코드기반 다중접속시스템에 적용가능하다는 특성을 갖고 있다. Gold코드는 M시퀀스중에서 상호간에 상호상관값이 가장 적은 Preferred Pair를 이용하여 생성된다.

그림1은 주기가 7칩인 Gold 코드의 생성의 한 예를 보여준다.



[그림 1] Gold 코드 생성의 한 예

그림1에서 상단부의 M-sequence register와 하단부의 M-sequence register의 초기치로는 { 1, 1, 1 }을, 입력한 후, 상단부의 레지스터는 고정하고, 하단부

1. 서 론

확산(Spread Spectrum) 통신기반의 전력선통신 시스템에서는 넓은 대역폭에 신호를 확산하여 대용량의 정보를 고속으로 전송하기 위해 주로 의사잡음(pseudo-noise) 수열을 사용한다. 의사잡음 수열이 갖는 우수한 특성은 높은 자기 상관(auto-correlation) 값과 낮은 상호상관(cross-correlation) 값에 있다고 할 수 있다. 최근 홈네트워크등에 응용되는 전력선 통신 시스템에서는 많은 단말기 채널에서 동시에 대용량의 정보를 고속으로 전송하기 위한 알고리즘의 제시가 필요해지고 있으며, 이들 각 단말기들을 확산코드를 이용하여 구별할 경우에는 상호간에 직교하는 다수의 확산코드를 확보하는 것이 바람직하다. 이러한 요구조건하에서 다소 직교성은 희생시키더라도, 확산코드가 갖는 코드개수의 한계성에 의한 코드 용량문제를 해결해줄 수 있는 코드로 준 직교(quasi-orthogonal) 코드를 생각할 수 있다. 준 직교 코드는 기존의 직교코드보다 열화된 상관특성에 의하여 신뢰성은 다소 떨어지나 의사잡음 코드의 성질을 그대로 유지하고 있어 확산이득에 의한 자기상관 피크치를 이용하여 많은 단말기 채널들을 쉽게 구별할 수 있을 뿐만 아니라 데이터 전송을 또한 늘여줄 수 있다는 잇점을 갖게 한다고 기대된다. 따라서 본 논문에서는 준 직교코드기반의 고속 전력선통신시스템의 구현이라는 새로운 시스템을 고안하고 이를 구현하기 위한 기초단계의 연구로서 현존하는 직교코드들의 상관특성 및 통신전송로상의 비트오율특성을 비교해 봄으로서, 제시하고자 하는 시스템의 유효성을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 준 직교 수열

본 논문에서는 기존의 직교코드보다 코드의 family 개수가 많고 상관특성이 우수한 준 직교 코드를 전력선 통신에 적용하는 알고리즘을 제시한다. 따라서 본 절에서는 이와 관련된 준 직교수열이 갖는 기본적인 코드 특성에 대하여 소개하고자 한다.

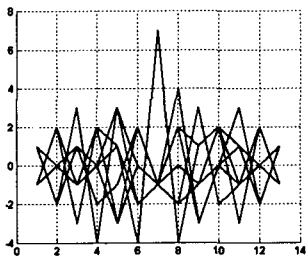
주기 N 을 갖는 실수 성분의 수열을 a 라고 가정하자 [1].

의 레지스터를 천이(shift)시켜가면서 Exclusive-or 연산을 수행하여 binary 값을 도출한 후 이를 anti podal 형태의 값으로 변환하면 표1와 같은 7칩의 Gold 코드가 생성된다.

[표 1] 7칩의 Gold 코드

-1	-1	1	-1	1	1	-1
1	1	-1	1	1	-1	1
1	1	-1	1	-1	-1	-1
1	-1	1	1	-1	1	-1
1	1	-1	-1	-1	1	1
-1	1	1	1	1	1	1
1	-1	1	-1	-1	-1	1

표1에서 보는 바와 같이 7칩의 Gold 코드는 family 수가 7개임을 알 수 있다. 즉, 주기가 N칩인 Gold 코드가 존재할 경우 그 코드는 최대 N개의 family 수를 갖는다.



[그림 2] 7칩 Gold 코드의 상관특성

그림2에서는 7칩을 한주기로 갖는 Gold 코드에 대한 자기상관특성과 코드들 상호간이 상호상관특성을 도출한 후 이를 중복하여 도시해보았다. 그림2에서 알 수 있듯이 x축의 7값에서 피크치는 자기상관함수의 피크치를 의미하며, 자기상관함수의 사이드러브는 -1이 된다는 특성을 갖는다. 한편 코드들 상호간에는 상호상관이 존재하며, 최대 상호상관치는 약 4에 육박하는 것을 확인할 수 있다. 지금까지 Gold코드의 예에서 살펴보았듯이 이상의 준 직교코드는 자기상관특성이 양호하며, 상호상관특성 또한 직교성은 보장하지 못하지만 자기상관피크를 유지시켜줄 수준의 레벨을 갖고 있으므로, 준 직교코드 기반 전력선통신시스템에 적용시에 양호한 전송채널 환경 상황하에서는 채널간 구분이 용이하게 된다는 특성을 갖는다고 해석할 수가 있다.

2.3 4상 준 직교 코드의 예

4상 준 직교 코드는 준 직교 수열 중에서도 복소수상의 수열로 구성되어 다수개의 코드가 존재한다. 따라서 다양한 사용자들을 구분할 수 있을 뿐만 아니라 대용량의 데이터 전송을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 절에서는 Walsh 코드를 기반으로 생성된 4상의 준 직교코드[2]를 소개한다. 4상 준 직교 코드는 상관특성과 관련하여 이하의 세 가지 성질을 갖는다.

- 1) Walsh와 4상 준 직교코드간의 full correlation $\leq M_{full}$
- 2) 4상 준 직교 코드간의 full correlation $\leq M_{full}$
- 3) Walsh와 4상 준 직교 코드간의 Partial correlation $\leq M_{partial}$

실제로 위의 조건에서 상관값의 임계치(bound)인 M_{full} , $M_{partial}$ 은 상관(correlation)을 취하는 구간 L에 대하여 \sqrt{L} 이다.

4상 준 직교 코드는 Walsh 코드 기반으로 생성된 확산 코드로서 준 직교 masking 수열과 Walsh code의 곱으로 표현되어진다.

표2은 N길이의 준 직교 masking 수열을 보여주고 있다[3]. 여기서 1, j, -1, -j은 각각 0, 1, 2, 3로 표현되어져있다.

[표 2] N 길이의 4상 준 직교코드를 위한 masking 수열

N	N 길이의 masking 수열
4	c0 = (0000), c1 = (0323), c2 = (0233), c3 = (0332)
8	c0 = (00000000), c4 = (03211212) c1 = (01212123), c5 = (01321221) c2 = (02112231), c6 = (01122312) c3 = (02223111), c7 = (02131122)
16	c0 = (0000000000000000), c8 = (0130100321323001) c1 = (0301210103230301), c9 = (0211330231000013) c2 = (0033021302310011), c10 = (0321101003031032) c3 = (0002333100021113), c11 = (0033201311003120) c4 = (0000002213131331), c12 = (0101303032102103) c5 = (0103010310303212), c13 = (03120110231003030) c6 = (011003030211023), c14 = (0233112000313100) c7 = (0310120110032330), c15 = (020333131110200)

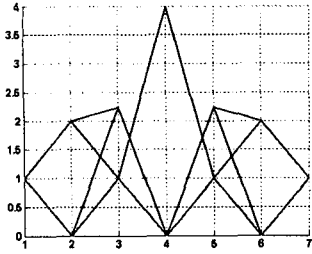
표2의 4칩 길이의 준 직교 masking 수열을 이용하여 도출한 4상 준 직교코드를 표현하면 다음과 같다.

[표 3]. 4칩 길이의 4상 준 직교코드

set1	1	1	1	1
	1	1	1	-1
	1	1	1	-1
set2	1	-j	-1	-j
	1	-j	-1	-j
	1	-j	1	j
set3	1	j	1	-j
	1	-1	-j	-j
	1	1	j	j
set4	1	1	j	-j
	1	-j	-j	-1
	1	-j	j	1
	1	j	j	-1

표3에 표시된 수열과 같이 준 직교 masking 수열에 의해 생성된 4상 준 직교 코드를 사용하면 최소한의 간섭을 보장하여 확산 코드로서 사용될 수 있다. 또한 하나의 masking 수열에 의해 확산 코드의 수는 Walsh 코드수 만큼 증가함을 알 수 있다. 따라서 k개의 masking 수열이 존재하고, Walsh 코드의 수가 N이라 하면 Walsh 코드만을 사용했을 때보다 제공할 수 있는 확산 코드의 개수가 $N \times k$ 로 k배 증가함을 알 수 있다. 따라서 최대 생성될 수 있는 코드 개수는 N^2 개가 된다. 단, k개의 코드는 하나의 set으로 set과 set사이에는 직교성이 없다.

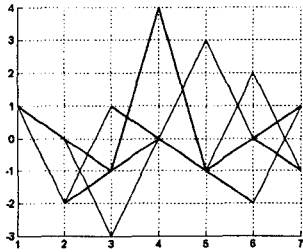
그림3은 set3의 4상 준 직교 수열의 상관특성을 보여 주고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 x축의 4값에서 한 점이 크기 4를 가지므로, 하나의 코드가 다른 코드들과 한 점에서 직교하다는 것을 알 수 있다. 또한 sidelobe의 값이 약 2의 값을 가지므로, 코드간의 상관 특성이 좋음을 알 수 있다.



[그림 3] 4칩 4상 준 직교코드의 상관특성

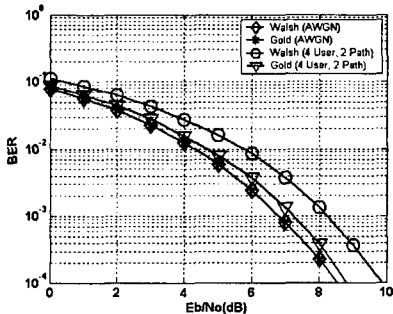
2.4 준 직교 코드와 기존 직교 코드의 비교

본 절에서는 앞에서 소개했던 준 직교코드들과 기존 준 직교코드의 특성을 비교하여 준 직교코드의 우수성을 확인하고자 한다. 그림4는 기존의 직교코드중 가장 많은 family 수를 갖는 walsh코드의 상관특성을 표시한 것이다. 여기서 x축의 4값에서 한 점이 크기 4를 갖고 다른 점들은 0의 값을 가지므로 직교한다는 것을 알 수 있다. 그러나 walsh코드의 경우는 본 논문에서 예로든 준 직교 코드에 비하여 sidelobe 값이 크기 때문에 잡음의 영향을 받을 경우 준 직교코드들보다 통신성능이 나쁠 수 있다.



[그림 4] 4칩 Walsh 코드의 상관특성

그림5에서는 AWGN 환경과 Multi-user, Multi-Path 환경에서 준 직교코드인 Gold코드와 직교코드인 Walsh 코드의 통신성능을 비교하였다. 이 그림에서처럼 단지 AWGN환경에서는 10^{-3} 일 때, Gold코드와 Walsh코드는 6.8dB로 같으나 Multi-user와 Multi-Path의 환경에서는 Gold는 7.2dB이고 Walsh 코드는 8.2dB로 Gold코드가 Walsh코드보다 1dB의 성능향상이 있음을 알 수 있다. 따라서 다수의 사용자가 이용하고 배경잡음과 다양한 부하들에 의해 Multi-path가 존재하는 전력선 통신에 준 직교코드인 Gold코드를 적용할 경우 고속의 전력선통신이 가능할 것으로 기대된다.



[그림 5] Gold 코드와 Walsh 코드의 BER성능

3. 결 론

지금까지 준 직교코드를 이용한 전력선통신시스템구현을 위한 핵심 요소인 준 직교코드에 대하여 적용 가능한 코드 및 상관특성을 살펴본 후, 종래의 대표적인 직교코드인 Walsh 직교코드와의 통신성능을 비교해 보았다. 그 결과, 2상 및 4상의 준 직교코드를 기존의 전력선 통신에 적용할 경우, 준 직교코드가 갖는 높은 코드용량을 이용하여, 이를 사용자 채널에 할당할 경우에는 높은 사용자 용량을 확보 할 수 있으리라 기대된다. 또한 준 직교코드의 높은 코드용량을 데이터채널에 할당할 경우에는 고속의 데이터 전송이 가능한 전력선 통신 시스템의 구축이 가능하게 된다는 잇점을 갖는다.

[참 고 문 헌]

- [1] Matsufuji, S., Takatsukasa, K., watanabe, Y., Kuroyanagi, N., Suehiro, N., "Quasi orthogonal Sequences", wireless communication, 2001.(SPAWC '01). 2001 IEEE Third Workshop on Signal Processing Advances, pp. 255 258, march 2001.
- [2] 양경철, 김재열, 김영기, 강희원, "새로운 방식의 추가적인 Spreading Code", 한국통신학회지 16, pp. 407 414, April 1999.
- [3] Youhan Kim, Kyungwhoon Cheun, Kyeongcheol Yang, "A bandwidth power efficient modulation scheme based on quaternary quasi orthogonal sequences", Communications Letters, IEEE, v. 7, Issue: 7, pp. 293 - 295, July 2003.
- [4] Kyeongcheol Yang, Young Ky Kim, Vijay Kumar, P., "Quasi orthogonal sequences for code division multiple-access systems", Information Theory, IEEE Transaction on, V.46, Issue: 3, pp. 982 993, May 2000.

본 연구내용의 일부는 산업자원부의 지원에 의한 기초전력연구원주관의 수행 과제(R 2003 0-516)의 결과물임.