論文 89-26-12-1

周波數 跳躍 패턴을 위한 Kumar 符號계열 發生 알고리듬 및 相関函數 特性에 関한 研究

(A Study on the Generating Algorithm and the Correlation Function of Kumar Code Sequences for the Frequency Hopping Patterns)

李 正 宰* 韓 榮 烈**

(Jeong Jae Lee and Young Yeul Han)

要 約

本文에서는 FH-CDMA를 위한 一般化한 bent 계열에 基礎를 둔 Kumar符號계열 發生 알고리듬을 分析하고 쉬프트 레지스터 段數 n=4일때 GF(5)에서 符號계열을 發生시켜 符號계열 간의 해밍相関函數 特性과 基本波形으로 正弦波칩(chip)을 利用했을 경우 完全한 跳躍信號에 대한 時間-周波數 相関函數 特性을 分析하였다.

Abstract

In this paper we discuss the generating algorithm of Kumar code sequences which are based on generalized bent sequences for FH-CDMA. The code sequence generator was constructed for the shift register stages n=4 over GF(5). Finally we analyze the characteristics of Hamming correlation between two code sequences and the time-frequency correlations of the complete waveforms with the sinusoidal chips as the elemental waveforms.

I. 序 論

符號分割多重接近(Code Division Multiple access : CDMA) 通信 시스템은 크게 大別하여 DS-CDMA (direct sequence-CDMA)와 FH-CDMA(frequency hopped-CDMA)의 두 種類로 分類할 수 있으며 FH-CDMA를 위한 擴散符號계열은 DS-CDMA 경우와 달라 알파벳트 크기가 크며 이는 周波數 合成器에서 發生되는 周波數와 1 : 1로 對應된다. FH-CDMA에서의 干涉은 두 利用者 사이에서 發生되는 周波數가 同時에 同一周波數를 共有할때 發生되며 이를 防止하기 위하여 利用者들 사이에 利用되는 擴散符號계열간의 해밍거리는 設計品質의 尺度가 된다. 이상적인 擴散符號계열은 계열간의 해밍거리를 最大로 갖게 하는 것이며 반면 DS-CDMA는 계열들 사이의 相関函數를 最小化하는 것이다.

FH-CDMA를 위한 代表的인 符號는 Reed-Solomon 符號를 利用한 有限番地符號[1], 最的符號(optimal hamming correlation codes)[2] 素數符號(primitive codes)[3]등이 알려져 있으며 최근 bent 函數를 利用한

*正會員, 東義大學校 電子通信工學科
(Dept. of Elec. Comm. Eng., Dongeui Univ.)
**正會員, 漢陽大學校 電子通信工學科
(Dept. of Elec. Comm. Eng., Hanyang Univ.)
接受日字 : 1989年 6月 13日

擴散符號계열이 OSW[4]에 의하여 DS-CDMA용으로 提案되었으며 Kumar[5]에 의하여 FH-CDMA용 跳躍 패턴을 위한 符號계열(이하 Kumar 符號계열이라 칭함)이 연구되었다.

本文에서는 3보다 큰 素數 p를 알파벳트 크기로하고 쉬프트 레지스터 段數가 n=0 (mod 4)인 조건에서 週期 $L=p^n-1$ 이고 最大 해밍相関函數가 $p^{n-1}+p^{n/2}-p^{n/2-1}$인 特性을 갖는 Kumar符號계열을 發生 시킬 수 있는 發生알고리듬을 分析하고 n=4, GF(5)에서 Kumar符號계열을 發生시켜 符號계열간의 해밍相関函數 特性이 最大 145를 넘지 않고 發生된 符號계열은 平衡特性을 갖게됨을 보였다. 또한 基本波形으로 正弦波 칩(chip)을 利用했을 경우의 完全한 跳躍信號에 대한 時間-周波數 相関函數(time-frequency correlation) 特性을 分析하였다.

Ⅱ. Trace函數와 m-계열

Trace函數는 아래와 같이 定義되며 m-계열 發生기에 의하여 쉽게 發生된다.

$$tr_1^n(x)=\sum_{i=0}^{n-1}x^{p^i},\quad x\in GF(p^n) \tag{1}$$

만약 $\{b_n\}$이 GF(p)에서 次數 d인 原始多項式 $m_\alpha(x)$를 갖는 m-계열이라하면 $GF(p^d)$에 다음 조건을 만족하는 元素 $\beta(\beta\neq 0)$가 존재한다.

$$\{b_n\}=\{tr_1^d(\beta\alpha^n)\} \tag{2}$$

한편 Trace函數는 다음과 같은 特性을 갖는다.[6]

a) α가 $GF(p^n)$안에 있을 때 $tr_1^n(\alpha)$는 GF(p) 안에 있다.

b) $tr_1^n(\alpha^p)=tr_1^n(\alpha),\quad \alpha\in GF(p^n)$ (3)

c) $tr_1^n(a\alpha+b\beta)=atr_1^n(\alpha)+btr_1^n(\beta)$,
$a,b\in GF(p),\ \alpha,\beta\in GF(p^n)$ (4)

d) $tr_1^n(\alpha)=tr_1^k(tr_k^n(\alpha))$ (5)

예로서 n=4일 때 GF(5)에 대한 原始多項式은 $m_\alpha(x)=x^4+x^2+2x+2$이며[7] Galois형태 m-계열 發生器를 構成하면 그림 1 과 같다. 따라서 發生된 m-계열과 Trace函數는 다음과 같은 関係를 갖는다. 그림 1 과 (2)로부터 $b_n=(x_4)_n=tr_1^4(\beta\alpha^n)$의 関係를 갖게되고 쉬프트 레지스터 내용 x_1, x_2, x_3, x_4는 $x_1=1$, $x_2=x_3=x_4=0$로 初期化되며 α를 $GF(5^4)$의 原始元이라 하면 $b_0=(x_4)_0=tr_1^4(\beta)$로 부터 컴퓨터를 利用하여 $\beta=\alpha^{591}$이 됨을 쉽게 發見할 수 있다. $\{b_n\}=\{(x_4)_n\}=tr_1^4(\alpha^{591\oplus n})$의 関係를 利用하여 Trace

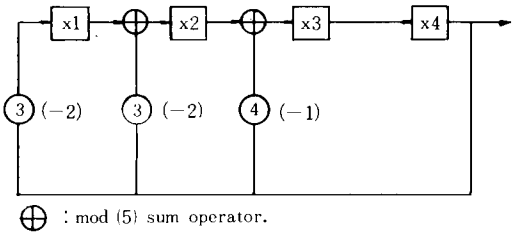


그림 1. GF(5)에서의 Galois 形態 m-계열發生器
Fig. 1. Galois configuration m-sequence generator over GF(5).

函數의 모든값을 구할 수 있으며 $tr_1^4(\cdot)$에서의 ⊕는 mod(624)의 연산을 意味한다.

Ⅲ. Kumar 符號發生 알고리듬

FH(frequency hopping) 패턴을 위한 擴散符號계열의 重要 設計요건은 알파벳트 크기 p와 符號계열의 週期 L, 符號계열의 群 M과 最大 해밍相関函數 Hmax이며 특히 Hmax를 最小化하여야만 한다. 길이 L인 두 계열 $X=\{x(j)\}$, $Y=\{y(j)\}$의 正規化되지않은 해밍相関函數 Hxy는 다음과 같이 定義된다.

$$Hxy(\tau)=\sum_{j=0}^{L-1}h[x(j),y(j+\tau)],\quad 0\le\tau<L \tag{6}$$

여기서 $h[x,y]=\begin{cases}0, & x\neq y\\ 1, & x=y\end{cases}$

i번째 FH패턴에 관련된 符號계열을 다음과 같이 나타내면

$$\{a_k^{(i)}\mid k=0,1,\cdots\cdots,L-1\},\quad 0\le i\le M \tag{7}$$

最大 해밍相関函數는 아래와 같이 定義된다.

$$Hmax=\max_{i/k}\{Hi,j(\tau)\mid i\neq j \text{ 또는 } \tau\neq 0\} \tag{8}$$

여기서 $Hij(\tau)=|\{k\mid 0\le k\le L-1,\ a_{k+\tau}^{(i)}=a_k^{(j)}\}|$

J_n^m은 어느 정수 n에 대하여 modulo n이 되는 모든 m-tuples의 集合을 나타낸다고 定義하고 p가 素數이고 n이 짝수면 $m=n/2$이며 $L=p^n-1$이 된다. $f_0(\underline{x})$를 J_p^m에서 一般化한 bent 函數라 하면 $f_{\underline{v}}(\underline{x})$는 $\underline{V}\in J_p^m$에서 다음과 같이 표현된다.[5]

$$f_{\underline{v}}(\underline{x})=f_0(\underline{x})+\underline{V}^T\underline{X},\quad {}^v\underline{X}\in J_p^m \tag{9}$$

여기서

$$f_0(\underline{x}) = x_1 x_2^{p-1}, \quad {}^{\forall}\underline{X} \in J_p^m \tag{10}$$

$\{\gamma_1, \gamma_2, \cdots, \gamma_m\}$을 GF(p)에서 GF($p^m$)에 대한 基底라 하고 $\sigma \in GF(p^n) \setminus GF(p^m)$라 하면 p^m群의 Kumar符號계열이 다음과 같이 定義된다.

$$S_{\underline{V}}(k) = f_{\underline{V}}\{tr_1^n(\alpha^k\gamma_i),\ i = 1, 2, \cdots, m\} + tr_1^n(\alpha^k\sigma) \tag{11}$$

여기서 $0 \le k \le L-1$이며 p^{m+1}符號계열군 C가 다음같이 형성될 수 있으며

$$C = \{C_k^{\underline{V}, b} = S_{\underline{V}}(k) + b,\ S_{\underline{V}}(k) \in G,\ b \in J_p^1\} \tag{12}$$

여기서 $G = \{S_{\underline{V}}(k) \mid \underline{V} \in J_p^m\}$이다. C의 符號계열간의 最大 해밍相関函數는 다음 조건을 만족한다.

$$Hmax \le p^{n-1} + p^m - p^{m-1} \tag{13}$$

Ⅳ. FH패턴을 위한 Kumar符號계열 發生

發生 모델로서 알파벳트 크기가 p=5라 하고 쉬프트 레지스터 段數 n=4인 경우 m=n/2=2이며 週期 $L = p^n - 1 = 624$인 조건에서 發生되는 Kumar符號계열을 택한다. (10)에서

$$f_0(x) = x_1 x_2 + x_2^4 \tag{14}$$

(9)에서 $f_{\underline{V}}(\underline{x}) = x_1 x_2 + x_2^4 + \underline{V}^T\underline{X},\ \underline{X} \in J_5^2,\ \underline{V} \in J_5^2$ (15)

(11)에서 $S_{\underline{V}}(k) = f_{\underline{V}}\{tr_1^4(\alpha^k\gamma_1),\ i = 1, 2\} + tr_1^4(\alpha^k\sigma)$ (16)

로 되며 여기서

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tr_1^4(\alpha^k\gamma_1) \\ tr_1^4(\alpha^k\gamma_2) \end{bmatrix}, \quad \underline{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \text{ 이다.}$$

GF(5)에서 GF(5^2)의 基底 γ_1, γ_2를 GF(5^4)의 原始元 α로 표현하고 Q를 GF(5^2)에서 α로 표현되는 가장 적은 누승의 크기라면 $Q = (p^4-1)/(p^2-1) = 26$이 된다. 따라서 $\{\gamma_1, \gamma_2\} = \{\alpha^{26i}, i = 0, 1\}$이며 한편 σ는 GF(5^4)에는 包含되지만 GF(5^2)에 包含되지 않아야 하기 때문에 σ를 α로 정한다. 이를 종합하여 利用하면

(16)에서

$$\begin{aligned} S_{\underline{V}}(k) &= x_1 x_2 + x_2^4 + \underline{V}^T\underline{X} + tr_1^4(\alpha^{k+1}) \\ &= tr_1^4(\alpha^k)\, tr_1^4(\alpha^{k+26}) + \{tr_1^4(\alpha^{k+26})\}^4 \\ &\quad + tr_1^4(\alpha^{k+1}) + v_1 tr_1^4(\alpha^k) + v_2 tr_1^4(\alpha^{k+26}) \end{aligned} \tag{17}$$

따라서 125개의 符號계열군이 다음식에 의하여 發生된다.

$$C = \{C_k^{\underline{V}, b} = S_{\underline{V}}(k) + b,\ S_{\underline{V}}(k) \in G,\ b \in J_5^1\} \tag{18}$$

표 1은 $v_1 = 0$, $v_2 = 0$, $b = 0$일때 發生된 Kumar符號계열을 나타낸다. 표 2는 $v_1 = v_2 = 1$, $b = 4$일때 發生된 Kumar符號계열을 나타내며 각각의 경우 GF(5)안에 있는 정수들의 갯수가 最大 1이상의 差異를 갖지 않는 平衡特性을 갖게됨을 알 수 있다. 그림 2는 $\underline{V}^T = (0, 0)$ 그리고 $b = 0$일때 發生된 Kumar符號계열의 해밍自己相関函數 特性을 보이고 있으며 그림 3은 $\underline{V}^T = (0, 0)$, $b = 0$일 경우와 $\underline{V}^T = (1, 1)$, $b = 4$일 경우에 發生된 Kumar符號계열간의 해밍상호 相関函數 特性을 나타내고 있다. $\tau = 0$일 경우를 제외한 相関函數 最大値는 145로서 $Hmax \le p^{n-1} + p^m - p^{m-1} = 145$의 조건을 만족함을 알 수 있다.

Ⅴ. 周波數 跳躍信號의 時間－周波數 相関函數 特性

$x(t)$를 基本波形으로 $\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)\, dt = 1$의 特性을 갖

표 1. Kumar 符号계열 (n=4, $\underline{V}^T(0, 0)$ 그리고 b=0)

Table 1. Kumar code sequence for n=4, $\underline{V}^T(0, 0)$, and b=0.

```
34134332423431103234100224102220103314002042432032321214143113002134034121002
10324130034310221422044421111421320233310243443113044224121040103344221422422
00334241302024424422121103111020144414321200033002123343344312320304011431144
03042204343001303304434213334222233332403133024303341100234134200212111334012
21404201334044123133344413213443230413344110410001123041212334441322020221201
02410131204114233244312341144111142234031100022003441131140311314400344402411
21343022042400032300240433343442443003421140030340044040001012121031014310301
41002023012422220111432200102214222234423423204011321322241120022320130043404
0432201013103224
NO.of '0'=124 NO.of '1'=125 NO.of '2'=125 NO of '3'=125 NO.of '4'=125
```

표 2. Kumar 符号계열(n=4, $\underline{V}^T=(1,1)$그리고 b=4.)
Tablg 2. Kumar code sequence for n=4, $\underline{V}^T=(1,1)$, and b=4.

```
411144230044401121443242112404341221433442244131103004244343321422323000210043421023332101114423212223410402002412320140024424121220042224311123211031310414220343130123213410413102423014200313442433203301014211033440402040332431311144303322220221431400130002432401210332433340102343343021323040243302042000340124042021040101032102444031142314032200400412131013210234411021014331423431231120142313304423124441021140202200211101023220310131232413302133010240414012410444432102200342420422410230433334132321431423032110233121422301333313032243303303240402214310401441203341011002133210334000234212010402443313141041443012040134
NO.of '0'=125 NO.of '1'=125 NO.of '2'=125 NO.of '3'=125 NO.of '4'=124
```

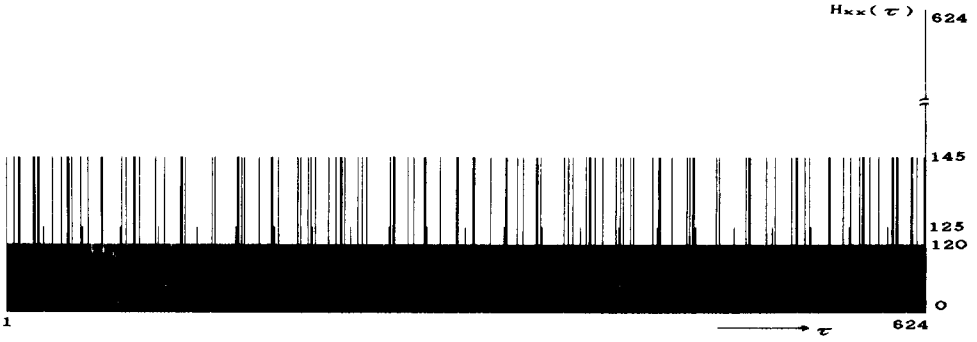


그림 2. Kumar 符号계열의 해밍自己相関函数(n=4, $\underline{V}^T=(0,0)$, 그리고 b=0)
Fig. 2. Hamming auto-correlation of Kumar sequence for n=4, $\underline{V}^T=(0,0)$, and b=0 .

그림 3. Kumar 符号계열 1(n=4, $\underline{V}^T=(0,0)$그리고 b=0)과 Kumar 그리고 b=0)의 해밍相互相関函数 符号계열 2(n=4, $\underline{V}^T=(1,1)$
Fig. 3. Hamming cross-correlation between Kumar sequence 1 for n=4, $\underline{V}^T=(0,0)$ and b=0, and Kumar sequence 2 for n=4, $\underline{V}^T=(1,1)$ and b=4.

는다고 하고 L을 符號계열의 週期라고 하면 j번째 符號계열에 의해 發生되는 完全한 信號 $y_j(t)$ 는 다음 같이 定義된다.[8]

$$y_j(t)=(1/\sqrt{L})\sum_{n=1}^{L}x(t-nT)\exp(i\ \omega_{jn}\ t) \tag{19}$$

여기서 T는 基本波形 x(t)의 칩(chip)구간이며 ω_{jn}은 j번째 完全한 파형의 n번째 基本波形의 角周波數(angular frequency) 이다. $1/\sqrt{L}$은 $y_j(t)$가 단위에너지를 갖도록 正規化하였다. 두 信號 $y_j(t)$와 $y_k(t)$의 時間-周波數 相関函數 $\phi_{y_jy_k}(\tau,\omega)$는 다음과 같이 定義된다.

$$\phi_{y_j y_k}(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} y_j(t-\tau/2)\, y_k^*(t+\tau/2)\ \exp(i\omega t)\, dt \tag{20}$$

여기서 $y_k^*(t)$는 $y_k(t)$의 共厄 複素函數를 나타낸다. (19)를 (20)에 대입하면

$$\phi_{y_j y_k}(\tau, \omega) = (1/L) \sum_{m=1}^{L} \sum_{n=1}^{L} \phi_{xx}(\Delta T+\tau, \Delta\omega+\omega) \exp\{i(\omega+\Delta\omega)[(m+n)/2]T - i[(\omega_{jm}+\omega_{kn})/2]\} \tag{21}$$

로 되며 여기서 $\Delta T=(m-n)T$, $\Delta\omega=\omega_{jm}-\omega_{kn}$이다. 만약 m=n이면 (21)에서

$$\phi_{y_j y_k}(\tau, \omega) = (1/L) \sum_{m=1}^{L} \phi_{xx}(\tau, w) \exp(i\omega mT - i\omega_m \tau) \leq \phi_{xx}(\tau, \omega)\, g(\tau, \omega) \tag{22}$$

여기서 $g(\tau, \omega) = |(1/L) \sum_{m=1}^{L} \exp(i\omega mT - i\omega_m \tau)|$

$$\omega_m = (\omega_{jm} + \omega_{km})/2 \tag{23}$$

이다. 이 函數는 周波數 跳躍패턴에 의해 결정되는 函數로서 時間-周波數 相関函數를 결정하는 중요한 函數가 된다. x(t)를 진폭이 일정한 正弦波로 다음과 같이 定義되는 函數라하면 이 경우 x(t)의 跳躍되기전 고유 周波數는 고려하지 않는다.

$$x(t) = \begin{cases} 1/\sqrt{T}, & |t| \leq T/2 \\ 0, & |t| > T/2 \end{cases} \tag{24}$$

x(t)의 時間-周波數 自己相関函數 $\phi_{xx}(\tau, \omega)$는 다음과 같이 된다.

$$\phi_{xx}(\tau, \omega) = \begin{cases} [1-|\tau|/T]\ (\sin(\omega T/2)\ [1-(|\tau|/T)]\} \\ /((\omega T/2)\ [1-(|\tau|/T)]), & |\tau| \leq T \\ 0, & |\tau| > T \end{cases} \tag{25}$$

그림 4 는 $\phi_{xx}(\tau, \omega)$를 τ/T와 $\omega T/2\pi$를 축으로 하여 구간 $-1 \leq \tau/T \leq 1$과 $-1 \leq \omega T/2\pi \leq 1$에서 나타낸 것이다. $\phi_{xx}(\tau, \omega)$는 τ와 ω에 대하여 대칭이며 $\tau=0$, $\omega=0$때 最大값이 1임을 알 수 있다. 그림 5 에서 n=4, $v_1=v_2=0$, b=0일때 發生된 Kumar符號계열에 의해 결정되는 函數 $g(\tau, \omega)$가 τ/T와 $\omega T/2\pi$축 $-1, 0, 1$인 축상에서 最大값을 갖게됨을 알 수 있다. 그림 6 은 (22)에서 j=k일때 定義되는 時間-周波數 自己相関函數 特性을 구간 $-1 \leq \tau/T \leq 1$, $-1 \leq \omega T/2\pi \leq 1$에서 보여주고 있으며 표 3 은 時間-周波數 自己相関函數 $\phi_{y_j y_j}(\tau, \omega)$의 代表的으로 큰 값을 각 좌표에 따라 나타낸 것이다. 그림 6 과 표 3 에서 알 수 있는 바와 같이 時間-周波數 自己相関函數 $\phi_{y_j y_j}(\tau, \omega)$는 $\tau=0$, $\omega=0$에서 最大값 1을 갖고 $|\tau/T|$가 0.3을 초과하면 대략 最大값의 0.15 이하로 감소됨을 알 수 있다. 또한 $|\omega T/2\pi|$의 값은 0.05만 초과하여도 0.06이하로 감소하여 $|\tau/T|$의 변화에 비하여 주파수의 변화 특성이 좋음을 알 수 있다.

Ⅵ. 結　　論

本文에서는 FH-CDMA를 위하여 Kumer에 의해 提案된 一般化된 bent函數를 利用한 擴散符號 계열

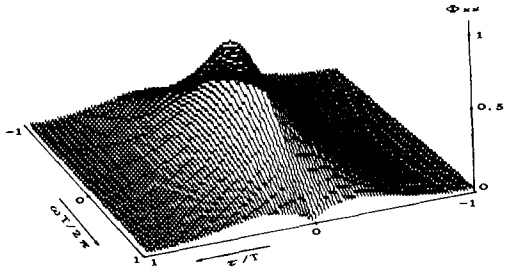


그림 4. x(t)의 時間-周波數 自己相関函數 形態
Fig. 4. The view of time-frequency autocorrelation function $\phi_{xx}(\tau, \omega)$ for x(t).

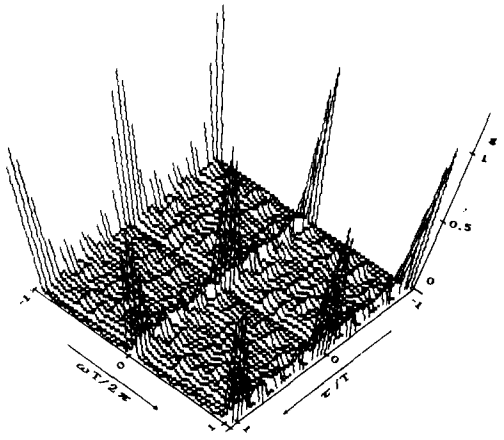


그림 5. $g(\tau, \omega)$의 形態
Fig. 5. The view of $g(\tau, \omega)$.

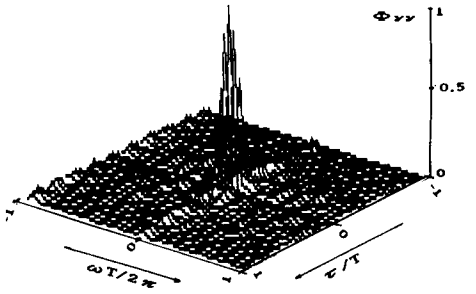


그림 6. $y_j(t)$의 時間－周波数 自己相関函数 形態
Fig. 6. The view of time-frequency autocorrelation $\phi_{y_jy_j}(\tau, \omega)$ for $y_j(t)$.

표 3. τ/T와 $\omega T/2\pi$에 대한 $\phi_{y_jy_j}(\tau, \omega)$의 대표적인 값
Table 3. The significant values of $\phi_{y_jy_j}(\tau, \omega)$ for τ/T and $\omega T/2\pi$.

$\phi_{y_jy_j}(\tau, \omega)$	τ/T	$\omega T/2\pi$
0.0545587	−0.4	−0.05
0.1030351	−0.35	0.
0.1724238	−0.3	0.
0.1490243	−0.25	0.
0.2656557	−0.15	0.
0.5829997	−0.1	0.
0.8589782	−0.05	0.
1.	0.	0.
0.8589797	0.05	0.
0.5829976	0.1	0.
0.2656545	0.15	0.
0.1490246	0.25	0.
0.1724236	0.3	0.
0.1030348	0.35	0.
0.0512286	0.4	0.05

(kumar符號계열)의 發生 알고리듬을 分析하고 쉬프트레지스터 段数 n=4, 알파벳트 크기 p=5인 경우 125개의 서로 다른 符號계열군 C중 $\underline{V}^T=(0,0)$, b=0과 $\underline{V}^T=(1,1)$, b=4인 두개의 계열을 發生시켜 週期가 624이고 한 週期에 동일 알파벳트의 수가 124개 또는 125개로 平衡特性을 갖게되며 해밍自己相関函数 $H_{xx}(\tau)\,|_{\tau\neq 0}$와 해밍 相互相関函数 $H_{xy}(\tau)$의 最大値는 $145\,(p^{n-1}+p^{n/2}-p^{n/2-1})$를 넘지 않음을 보였다.

한편 發生된 符號계열에 의해 周波数跳躍된 信號에 대한 時間－周波数 相関函数 特性은 기본파형을 정현파로 하였을 경우 $-1\leq\tau/T\leq 1$과 $-1\leq\omega T/2\pi\leq 1$의 구간에서 $\tau=0$, $\omega=0$에서 최대값을 갖고 $|\tau/T|$와 $|\omega T/2\pi|$가 각각 0.3과 0.05를 초과하면 부엽(side lobe)의 값이 0.12이하로 적어짐을 보였다. 또한 發生된 符號계열은 대응되는 周波数 空間에서 5개의 서로 다른 周波数 發生이 요구되므로 긴 週期에 비하여 帶域幅이 넓지 않아 周波数 發生器가 比較的 간단한 시스템으로 構成될 수 있고 주어진 알파벳트 크기에 비하여 發生群이 커($p^{n/2+1}$) 여러 利用者가 同時에 交信할 수 있다.

參 考 文 献

[1] G. Einarsson, *"Address assignment for a time frequency coded spread-spectrum system,"* B.S.T.J vol. 59, no. 7, pp. 1241-1255, Sep. 1980.

[2] Abraham Lampel and Haim Greenberger, *"Families of sequences with optimal hamming correlation properties," IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-20, no. 1, pp. 90-94, Jan. 1974.

[3] Timothy J. Healy, *"Coding and decoding for code division multiplier user communication system," IEEE Trans. Comm.* vol. COM-33, pp. 310-315, April 1985.

[4] J.D. Olson, R.A. Scholtz and L.R. Welch, *"Bent-function sequences," IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-28, no. 6, pp. 858-864, Nov. 1982.

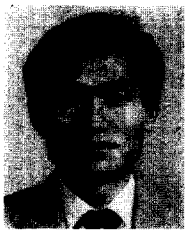
[5] P. Vijar Kumar, *"Frequency hopping code sequence designs having large linear span,"* GLOCOM 84, vol. 2, pp. 989-993. 1984.

[6] Marvin K. Simon and Jim K. Omura, *Spread Spectrum communications*, vol. I, Computer science press, Inc. 1985.

[7] 宮川洋, 岩垂好裕, 今井秀樹, 符號理論, 昭光堂 付録 II pp. 529～534.

[8] R.M. Mersereau and T.S. Seay, *"Multiple Access Frequency Hopping patterns with low ambiguity," IEEE Trans. Aerospace and Electronic* systems vol. AES-17, no. 4, July 1981.

著 者 紹 介



李 正 宰(正會員)

1950年 6月 30日生. 1973年 2月 서강대학교 전자공학과 졸업. 1987年 2月 한양대학교 전자통신공학과 박사과정수료. 1979年 12月～1984年 9月 한국기계연구소 근무. 1986年 9月～1987年 2月 삼성종합기술원 근무. 1987年 3月～현재 동의대학교 이공대학 전자통신공학과 전임강사. 주관심분야는 대역확산통신및 Pseudorandom부호계열 발생등임.

韓 榮 烈(正會員)

1938年 6月 10日生. 1960年 2月 서울대학교 전자공학과 졸업. 1976年 5月 미주리주립대학 전기공학과(공학석사). 1979年 5月 미주리주립대학(공학박사), IEEE Senior Member, Member of sigma-XI. 현재 한양대학교 전자통신공학과 교수. 주관심분야는 통신이론, 디지탈통신, 이동무선통신, 위성통신 등임.