

### 3C-3 マルチパス環境における M-ary CSK-UWB 方式の性能評価

仁藤 与晴 佐々木 重信 菊池 久和  
新潟大学工学部電気電子工学科

#### 1. はじめに

低電力で高速無線通信が可能な UWB 無線通信は近年製品化の兆しも見え始め、将来的には近距離ワイヤレスシステム市場、特に WPAN(Wireless Personal Area Network)等での使用が考えられる。消費電力に厳しい携帯機器である程度のスループットを確保しつつシステムを実現するためには UWB 方式が必要となる。

UWB 伝送で、これまで数多くの検討がされている方式の 1 つとして時間ホッピングパルス位置変調 (TH-PPM)[1]がある。一方筆者らの一部はこれまでに、アドレス符号化と符号シフトキーイングを用いた M-ary CSK-UWB 方式[2]を提案し検討を行ってきた。本稿では M-ary CSK-UWB 方式について近距離の室内環境で問題となるマルチパスフェージング環境での性能評価を行う。マルチパスのモデルは IEEE 802.15.3a の CM1[3] を用い、Rake 合成法としては EGC-Rake 受信[4]を用いた。

#### 2. M-ary CSK-UWB システムモデル

##### 2-1 送信システム

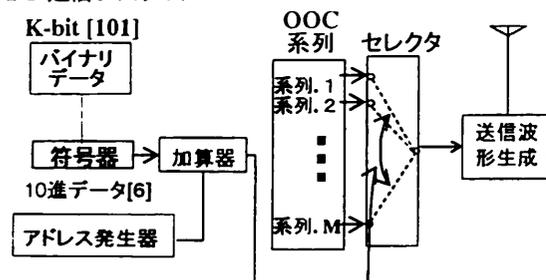


図1. 送信システムモデル

M-ary CSK-UWB 方式では  $u$  番目シンボルの入力  $k$  ビットの  $M=2^k$  の状態に対応してアドレスを割り当て、 $M=2^k$  個の OOC 系列[5]の内から 1 つを選ぶ。選ばれた系列が  $M$  個の内の  $i_m(u)$  番目とすると、その系列の  $j$  番目の値(1 か 0)を  $x_{i_m(u), j}$  とする。1 ビット目のデータを  $D_1$  とおき、割り当てられたアドレスを  $V_m$  ( $m$  は  $1-N_s$ ) とすると次式で表される。

$$i_m(u) = \left\{ \sum_{l=0}^{k-1} 2^l D_l(u) \right\} + V_m \bmod M \quad (1)$$

$u$  番目のシンボルにおいて符号系列の正負を決めるビットを  $D_k(u)$  とすると、1 シンボルで送信される送信波形  $s(t)$  は次式で表される。

$$s(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=0}^{N_s-1} \sum_{j=0}^{M-1} c_{i_m(u), j} w(t - jT_c - mT_f - uN_s T_f) \quad (2)$$

ただし、 $A$  は減衰係数であり、系列  $c_{i_m(u), j}$  はもととなる OOC を

$$x_{i_m(u)} = (x_{i_m(u), 1}, x_{i_m(u), 2}, \dots, x_{i_m(u), M}) \quad (3)$$

とすると、

$$c_{i_m(u)} = (x_{i_m(u), 1}, x_{i_m(u), 2}, \dots, x_{i_m(u), M}, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{M-1}) \quad (4)$$

で定義される。

##### 2-2 受信システム

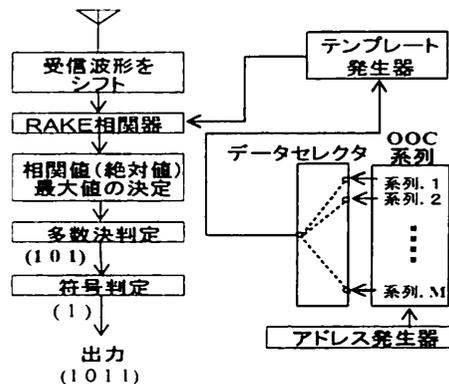


図2. 受信システムモデル

受信の際、マルチパス環境では雑音の加わった受信信号  $r(t)$  は次式となる。

$$r(t) = h(\tau, t) * s(t - \tau) + n(t) \quad (5)$$

ここで、 $*$  は畳み込み演算であり、 $n(t)$  は片側電力スペクトル密度  $N_0$  の平均値ゼロのランダム白色ガウス雑音過程である。また  $h(t)$  はマルチパス通信路モデルのインパルス応答である。

本稿では IEEE802.15.3a のマルチパスモデルの CM1 を用いた。パスの遅延は約 100ns に及ぶ[3][4]。

割り当てられたアドレス  $V_m$  に対応する系列における  $j$  番目の値(1 か 0)を  $d(V_m(u), j)$  とし、 $p$  を  $0-(M-1)$  の整数値を取るものとする、テンプレート波形  $V_{m,p}(t)$  は次式で表される。

$$V_{m,p}(t) = \sum_{j=0}^{2M-2} d(V_m(u) + p, j)w(t - jT_c) \quad (6)$$

ただし

$$d(V_m(u)) = (x_{V_m(u),1}, x_{V_m(u),2}, \dots, x_{V_m(u),M}, x_{V_m(u),1}, x_{V_m(u),2}, \dots, x_{V_m(u),M-1}) \quad (7)$$

であり、 $p$  がシフト回数となっている。受信信号とテンプレート波形の相関値は次式で求められる。

$$a_p = \sum_{n=1}^M \sum_{l=1}^{L-1} c_l \int_{\tau+l(2n-1)T_c}^{\tau+(j(2n-1)+1)T_c} r(t - \tau_l) V_{m,p}(t) dt \quad (8)$$

この式から  $a_0, a_1, \dots, a_{M-1}$  まで相関を求める。この相関値から最大のを判別し、そのときの  $p$  を記録する。さらに、ユーザに固有なアドレスにおいて、 $N_s$  回同様な送受信操作を行い、 $N_s$  個の  $p$  を求める。この  $p$  を多数決判定し入力データの判定に利用する。

### 3. 性能評価

本稿ではマルチパスフェージング環境での M-ary CSK-UWB 方式の性能評価を行った。シミュレーション諸元を表 1 に示す。この際、両方式の比較を行うため送信 1 ビット当りの電力  $E_b$  を等しくし、ビット速度はどちらも約 3Mbps と設定した。

図 3 は低速域での M-ary CSK-UWB 方式と TH-PPM UWB 方式の誤り率特性のグラフである。ビット誤り率を見ると低速域で送信 1 ビット当りの電力が等しい場合は M-ary CSK-UWB 方式の方が電力効率（あるビット誤り率を実現するのに必要な  $E_b/N_0$ ）が 3dB 程度よい事がわかる。しかし M-ary CSK-UWB 方式ではチップ長が TH-PPM 方式よりも短いため、チップ長を短くすることによって bit 速度の向上をはかった場合、マルチパスフェージングの隣接チップ間干渉が大きくなり特性が顕著に悪くなると考えられる。

### 4. まとめ

本稿では、マルチパス環境における M-ary CSK-UWB 方式の性能評価を行った。その結果、TH-PPM UWB 方式に比べ M-ary CSK-UWB 方式の方がよい特性を示すことがわかった。今後は、(1)Rake 合成における選択タップ数  $L_c$  による BER 特性の評価。(2)異なる Rake 合成法を用いた場合の特性評価(3)M-ary CSK-UWB 方式における系列長  $M$  による特性評価。(4)bit 速度（チップ間隔  $T_c$ ）による隣接チップ間干渉の特性評価を行っていく予定である。

### 5. 参考文献

[1] Moe Z. Win, and Robert A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth time-hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless

Multiple-access Communications" IEEE TRANSACTION ON COMMUNICATIONS, VOL 48, NO.4 pp679-691 April 2000  
 [2] 佐々木重信 鈴木智彦 周杰 村松正吾 菊池久和 "Ultra Wideband(UWB)無線伝送のための M-ary TH/CSK 方式" 信学技報 2002-26 pp7-10 2002 年 6 月  
 [3] IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks "Channel Modeling Sub-committee Report Final" IEEE P802.15-02/368r5-SG3a Dec 2002  
 [4] Roger L. Peterson Rodger E. Ziemer David E. Borth 著 丸林 元他 訳 「スペクトル拡散通信入門」 科学技術出版 2002 年 5 月  
 [5] Fan R.K. Chung, Jawad A. Salehi, And Vlictor K. Wei "Optical Orthogonal Code : Design , Analysis, and Applications" IEEE TRANSACTION ON COMMUNICATIONS, VOL35, no.3, May 1989

表 1. シミュレーション諸元

|                                 | M-ary CSK-UWB            | TH-PPM UWB               |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 使用系列                            | OOC系列(系列長:M 重み3)         | M系列                      |
| 使用系列長                           | M=16                     | 3                        |
| 伝送速度(Mbps)                      | 3.23Mbps                 | 3.33Mbps                 |
| 通信路                             | IEEE802.15.3a(CM1) +AWGN | IEEE802.15.3a(CM1) +AWGN |
| 選択法                             | selective                | selective                |
| 合成法                             | EGC                      | EGC                      |
| 合成タップ数( $L_c$ )                 | 5                        | 5                        |
| シンボル当りのフレーム数( $N_s$ )           | 4                        | 3                        |
| チップ長( $T_c$ )/タイムフレーム長( $T_f$ ) | 10ns( $T_c$ )            | 100ns( $T_f$ )           |
| 送信パルス                           | monocycle pulse          | monocycle pulse          |
| パルス幅                            | 1ns                      | 1ns                      |

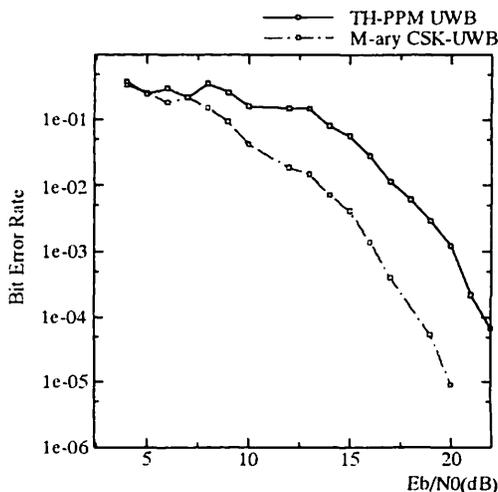


図 3. マルチパス環境における BER 特性