

カオスを用いたデジタル多重通信方式

中村 一彦[†] (学生員) 宮嶋 照行^{††} (正員)
 山中 一雄^{††}

A Digital Multiplex Communication System Using Chaos

Kazuhiko NAKAMURA[†], *Student Member*,
 Teruyuki MIYAJIMA^{††}, *Member*, and
 Kazuo YAMANAKA^{††}, *Nonmember*

[†] 茨城大学大学院理工学研究科, 日立市
 Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University,
 4-12-1 Naka-narusawa, Hitachi-shi, 316-8511 Japan
^{††} 茨城大学工学部システム工学科, 日立市
 Faculty of Engineering, Ibaraki University, 4-12-1 Naka-
 narusawa, Hitachi-shi, 316-8511 Japan

あらまし 本論文では, カオス同期と相関検波を用いたデジタル多重通信方式を提案している. 提案方式は, カオス同期と情報伝送を 1 本の伝送路で行うことが可能である上, 従来の最小 2 乗法を復調に利用する方式と比べて構成が簡易となる利点をもつ. 提案方式の有効性を計算機シミュレーションにより示す.

キーワード カオス同期, 符号分割多重, 秘話通信, 相関検波

1. まえがき

近年, 通信においてカオスの利用が注目を集めている [1]~[6]. カオス通信方式は, ある程度の秘話性・秘匿性を有し, また, カオス信号が広帯域なパワースペクトルを有することから, 耐狭帯域干渉性, 通信容量増大など広帯域通信としての利点が期待できる. 特に, カオス同期現象を用いた通信方式では, 送信機内のカオス源の初期値の知識が不要であることから, 実用化への期待も大きい [3]~[6].

通信路の帯域を有効に利用する多重通信においても, カオス同期を用いることができる. 文献 [4] の方法は, 時間分割多重に基づくアナログ通信方式であり, 文献 [5], [6] の方法は, 符号分割多重に基づく方式である. 文献 [5], [6] では, デジタル信号の伝送についても検討されているが, 情報信号の復調に最小 2 乗法を用いているため, 計算が複雑になる問題がある.

本論文では, 符号分割多重に基づくデジタル通信方式において, 復調の容易な相関検波を用いて十分な性能が得られることを示す. また, 送信機のカオスシステムに送信信号をフィードバックすることで, 文献 [6] と同様に 1 本の伝送路で通信することが可能であることを示す.

2. 多重通信方式

2.1 システム構成

桶谷ら [5] は, アナログ信号を多重するために大域結合写像 [7] を使用した. 本論文では, 大域結合写像をデジタル信号の多重通信方式に用いる. 図 1 に提案する通信方式のブロック図を示す.

送信側では, 送信信号 u を m 個の 2 値の情報信号 $b_i(l) \in \{+1, -1\}$, $i = 1, 2, \dots, m$, $l = 1, 2, \dots$ によって次のように変調する.

$$x_i(k+1) = a_i x_i(k) + G_i(u(k)), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$u(k) = \sum_{i=1}^m b_i(k) x_i(k) \quad (2)$$

ここで, $x_i(k) \in R$ は状態変数, $a_i \in R$ は絶対値が 1 より小なる定数, $b_i(k) \triangleq \sum_{l=1}^{\infty} b_i(l) P_L(k - (l-1)L)$ ($P_L(k)$ は $0 \leq k \leq L$ のとき 1, それ以外で 0 となる関数) である. $G_i(\cdot)$ は $R \rightarrow R$ の非線形写像であり, x_i が b_i のすべての組合せに対してカオスになるように決定する. u は送信信号であり, カオス信号 x_i を 1 ビットの時間間隔 L ごとに情報信号 b_i で変調した信号の総和となる. カオス信号を系列長 L の拡散系列とみなせば, 提案方式は直接拡散によるスペクトル拡散変調をしていることになる.

受信側では, 次式の離散時間カオスシステムを用意する.

$$y_i(k+1) = a_i y_i(k) + G_i(u(k)) \quad (3)$$

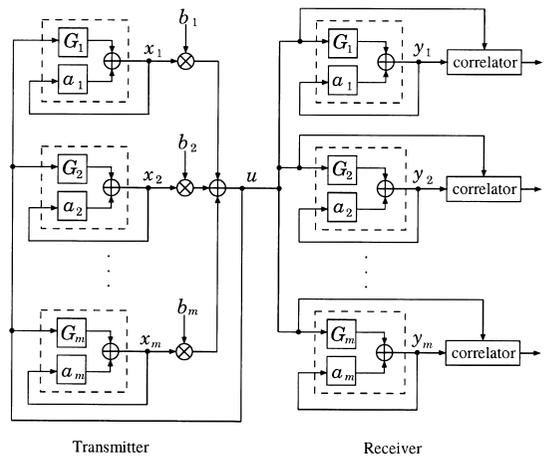


図 1 提案方式のブロック図
 Fig. 1 Block diagram of proposed system.

ここで $y_i(k) \in R$ は状態変数である. 式 (1), (3) と $|a_i| < 1$ より

$$y_i(k+1) - x_i(k+1) = a_i(y_i(k) - x_i(k)) \quad (4)$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} y_i(k) - x_i(k) = 0 \quad (5)$$

提案方式は, 送信側のカオスシステム (1) に情報の乗った送信信号 u をフィードバックすることで, 情報の乗った送信信号のみで x_i と y_i が同期し, 同期用の信号を別に伝送する必要がない.

情報復調には, 相関検波を用いる. x_i と y_i が同期すれば, 相関器出力 v_i は次の式で表される.

$$v_i(k) = \sum_{\kappa=\lfloor \frac{k}{L} \rfloor \cdot L}^k u(\kappa)y_i(\kappa) \quad (6)$$

ここで $\lfloor x \rfloor$ は x を越えない最大の整数を表す. $b'_i(l)$ の推定値 $\hat{b}'_i(l)$ は時刻 $k = lL - 1$ における相関器出力 $v_i(lL - 1)$ から次のように与えられる.

$$\hat{b}'_i(l) = \text{sgn}(v_i(lL - 1)) \quad (7)$$

ここで $\text{sgn}(x)$ は $x > 0$ で $+1$, それ以外で -1 となる関数である. 判定時点 $k = lL - 1$ における相関器出力は, $x_i(k)$ と $y_i(k)$ が同期するので次のように書ける.

$$v_i(lL - 1) = b'_i(l)\varepsilon_{ii}(l) + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^m b'_j(l)\varepsilon_{ij}(l) \quad (8)$$

ここで

$$\varepsilon_{ij}(l) = \sum_{k=(l-1)L}^{lL-1} x_i(k)x_j(k) \quad (9)$$

式 (8) 右辺において, 第 1 項は希望信号成分, 第 2 項は干渉信号成分に相当する. カオスのランダム性から $\varepsilon_{ij}(l)$ が $\varepsilon_{ii}(l)$ に比べて十分小さいことが期待できるので, 情報信号 b'_i を復調することが可能となる.

3. 計算機シミュレーション

提案方式の有効性を計算機シミュレーションにより確認する. パラメータはそれぞれ, $m = 2$, $a = 0.3$, $L = 500$, $G(x) = -2|x \bmod 1| + 1$, $G_1(x) = G^2(x)$, $G_2(x) = G^4(x)$ とした. 図 2 に送信信号 u , 図 3 に情報信号 b_i , 相関器出力 v_i をそれぞれ示す. 図 2 を見ると, 送信信号はカオス的な振舞いをしている. 図 3 より, 判定時点 $k = lL - 1$ において情報信号に対応した相関器出力が得られていることがわかる.

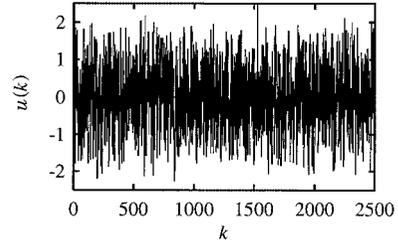


図 2 送信信号 u
Fig. 2 Transmitted signal u .

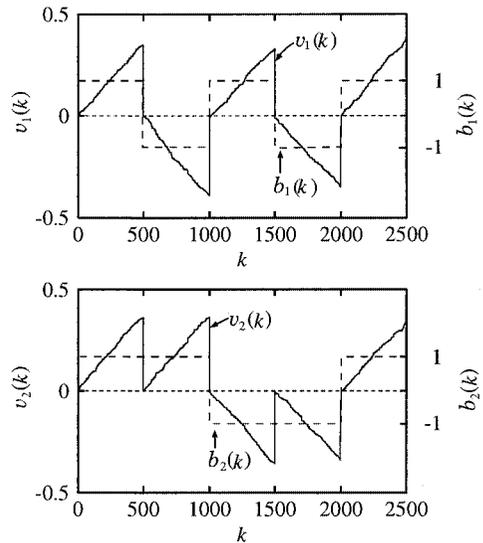


図 3 情報信号 b_i , 相関器出力 v_i
Fig. 3 Information signals b_i , correlator outputs v_i .

4. むすび

本論文では, カオス同期と相関検波を用いた簡易なデジタル多重通信方式を提案し, 計算機シミュレーションによりその動作を確認した. 相関検波においては, カオス信号の 1 ビット当りの相互相関値は小さいことが望ましい. その通信性能との関係については更に検討が必要である.

文 献

- [1] U. Parlitz and S. Ergezinger, "Robust communication based on chaotic spreading sequences," Phys. Lett. A 188, pp.146-150, May 1994.
- [2] G. Heidari-Bateni and C.D. McGillem, "A chaotic direct-sequence spread-spectrum communication system," IEEE Trans. Commun., vol.42, no.2/3/4, pp.1524-1527, Feb./March/April 1994.
- [3] K.M. Cuomo, A.V. Oppenheim, and S.H. Strogatz, "Synchronization of Lorenz-based chaotic circuits

- with applications to communications,” IEEE Trans. Circuits & Syst.-II, vol.40, no.10, pp.626–633, Oct. 1993.
- [4] H. Torikai, T. Saito, and W. Schwarz, “Multiplex communication scheme based on synchronization via multiplex pulse-trains,” Proc. of IEEE ISCAS’98, Monterey, CA, May/June 1998.
- [5] 桶谷伸晃, 潮 俊光, “大域結合写像を用いたカオス通信法,” 信学論 (A), vol.J79-A, no.8, pp.1427–1432, Aug. 1996.
- [6] 井上栄治, 潮 俊光, “未知入力オブザーバを用いたカオス通信,” 信学技報, NLP98-77, Nov. 1998.
- [7] K. Kaneko, “Clustering, coding, switching, hierarchical ordering, and control in a network of chaotic elements,” Physica, D 41, pp.137–172, 1990.
- (平成 11 年 2 月 16 日受付)
-