

5-5 光カオス CDMA

5-5 Optical Chaos CDMA

梅野 健

UMENO Ken

要旨

カオスを位相・振幅可変の光パルス生成符号発生器に応用することにより、超高速セキュア通信システムを提案した。このカオス符号生成器は、光カオス CDMA 用に平面光導波路により最近作成され、その基本的な特性が確認された。我々は、この光カオス符号器を送信側、受信側に導入することにより、10Gbit/s のエラーフリーの高速なデータ伝送に成功した。

Ultrafast secure communication systems are proposed based on applications of chaos theory to designing optical pulse code for optical CDMA. Chaotic optical pulse code generator was recently fabricated on a planar lightwave circuit for optical Chaos CDMA. We experimentally demonstrate 10 Gbit/s transmission by using chaotic pulse code generators.

[キーワード]

カオス, アナログ光信号処理, CDMA
Chaos, Analog optical signal processing, CDMA

1 はじめに

テレコミュニケーションにおける最近の顕著な出来事として、CDMA システムが世界中へ浸透したことが上げられる。1980 年代、ほとんど誰も CDMA のことを知らなかったことを考えると、驚くべきことである。その成功の背後にあるのが、懸案事項であった無線のパワーコントロールの部分をデジタル信号処理技術の発展により、解決したことにある。しかし、光ファイバーを基礎とする CDMA を考える場合、無線でのパワーコントロールの問題はなくなるかわりに、光の PN 系列を生成するための排他的論理和をどのように本質的にはアナログの光信号処理で実装するかという問題に突き当たる。

一方、最近、アナログ値を持つカオス符号が、CDMA にとって理想的な相関特性を持つことが分かってきた[4]-[8]。したがって、このカオス符号を光で高速に発生することはとても重要で興味深い課題である。ところで、LSI チップに代表される電子回路の最高レベルの動作速度は、数 10Gchip/s のチップレートのオーダーである。し

たがって、10Gbps 以上の伝送を行うための直接拡散型カオス拡散符号を生成する上では、明らかに 10Gcps 以上のスピードでカオス符号を生成しなければならない、それは光の高速性を用いて構築する必要がある。本論文は、情報通信研究機構 (NICT) が行ってきた全光型カオス符号生成器の作成と、その光カオス符号器を用いた 10Gbit/s の伝送実験について報告する。

2 全光型カオス符号生成器

理想的なカオス系列は、次のような単純な式 (=ロジスティク写像) で表される。

$$X_{n+1} = f(X_n) = 4X_n(1 - X_n) \quad (1)$$

この場合、 $f(x)$ は、カオス写像という。さて、今、

$$X_n = \sin^2(\omega) \quad (2)$$

と置く。

すると、式 (1) に (2) を代入することで、次

$$X_{n+1} = 4 \sin^2(\omega) (1 - \sin^2(\omega)) = \sin^2(2\omega) \quad (3)$$

が得られる。式(3)は、 $\sin^2(\omega)$ の倍角の公式にほかならない。もし、 ω が $\omega + \delta\omega$ のように変化すれば、その差 $\delta\omega$ が2倍の $2\delta\omega$ に増幅されることを意味する。次のステップとして差は、4倍の $4\delta\omega$ に増幅される。正に、この初期値の差が指数関数的に増大することが、カオスの本質的な特徴である。これを拡張した一般の楕円関数の加法公式に基づくカオスという可解なカオスという理想的なカオスを生成するクラスが存

在する[1]。我々は、この事実を全光型カオス符号発生器の実装に用いた。

図1は、文献[2][3]で出ている光カオス符号発生器の概念図を描いたものである。この符号発生器は、N個の位相可変のマッハツェンダー干渉計(Mach-Zehnder interferometers)と、パルスの時間位置をずらす時間遅延回路からなる。ここで、各マッハツェンダー干渉計の出力は、位相差 ϕ に対し \sin で生成されるので、位相差が倍、倍となっていけば、式(1)を満足する光系列が出力されることになる。

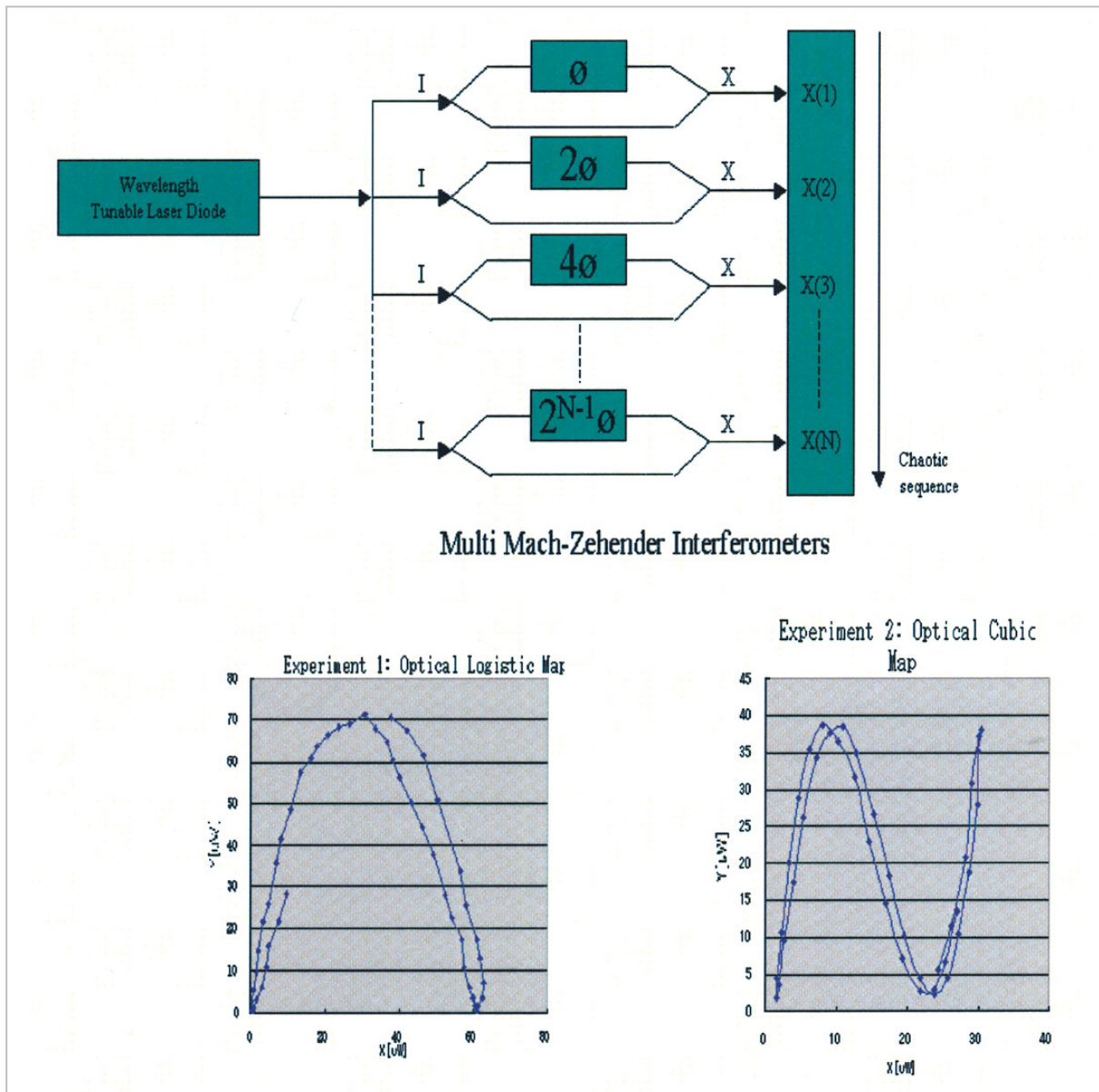


図1 全光型光カオス符号発生器の基本概念

これは、N個のマッハツェンダー干渉計とNの遅延回路素子を持っている。もし、遅延が無い場合は、光出力は、式(1)の様なロジスティック写像(左下)を満足する。位相差が3倍になれば、キュービック写像(右下)と言われるカオス写像を満足する。

3 伝送実験

2で紹介した光カオス符号器を受信側及び送信側に入れた伝送実験の概要を図2に示す。この実験では、我々は、1550nmの波長を有す10GHzのモードロックレーザーダイオード (MLLD) から出力される10GHzの光パルス列を光のソースとした。符号化と復号化は、光平面導波路 (PLC) で実装した8つの10psecずつ時間差がある位相可変マッハツェンダー干渉計からなる8チップの光カオス符号発生器 によって行われる。よって、この光カオス符号のチップレートは100Gchip/sであり、8チップのパターンを持つ。カオス符号により符号化された信号は、単一モード光ファイバーに伝送され、3R受信装置により受信される。

4 実験結果

図3は、10Gbit/s計測した時のアイ・ダイアグラムである。これを見ると、100Gchip/sの本光

カオス変調を用いた10Gbit/sの伝送は成功していると考えている。実際、エラーレート (BER) を計測したところ、 10^{-9} 以下となり、エラーフリーであることが確認できた。

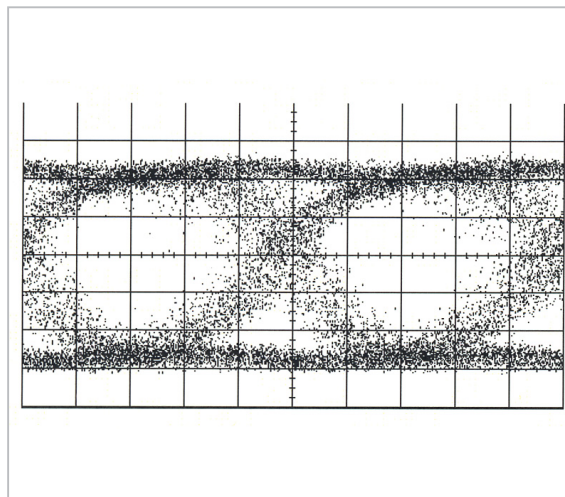


図3 10Gbit/s 伝送時のアイダイアグラム
横のスケールは20psec/divである。

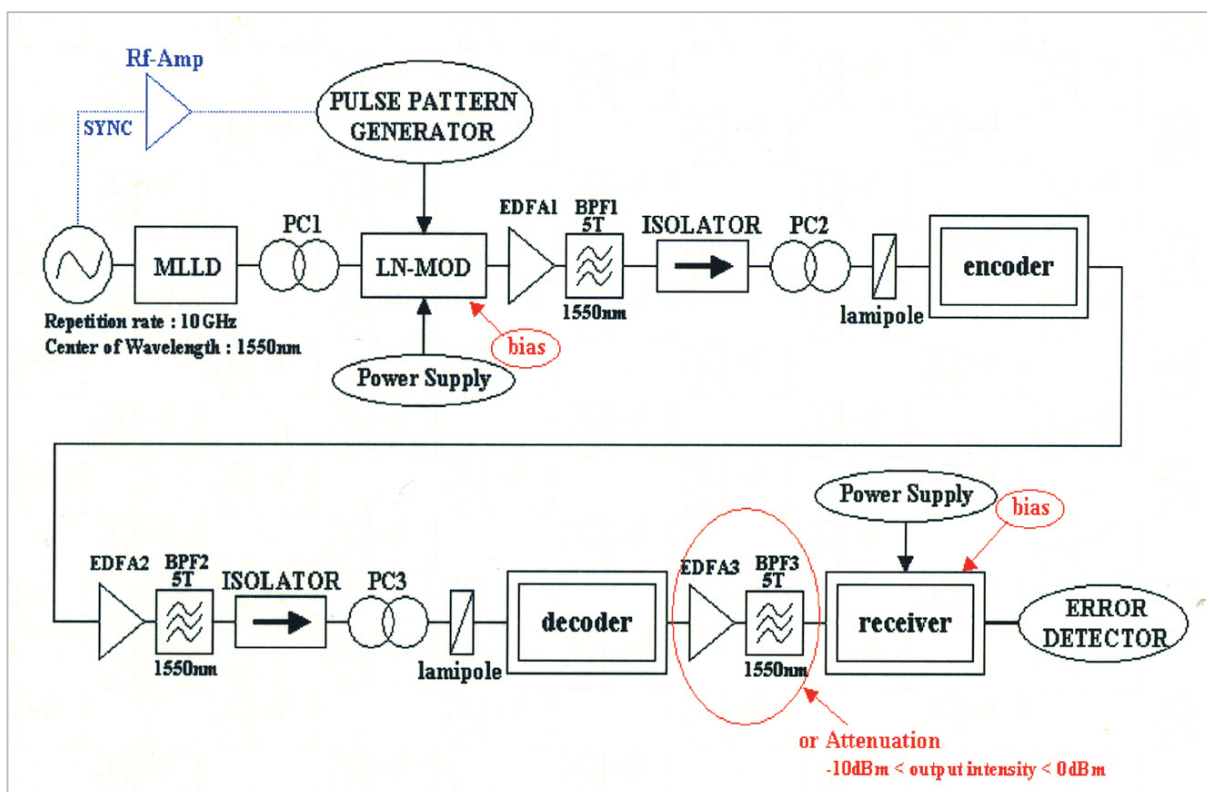


図2 伝送実験システムの概要

符号化器と復号化器は、それぞれ遅延回路のついた8つの位相可変のマッハツェンダー干渉計からなる。チップレートは、100Gchip/sであり、符号化 (拡散) された信号は、一次元カオス画像で特徴付けられるカオス性を持つ。

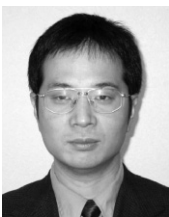
5 結論

光カオスCDMA用の全く新しいコンセプトである全光型カオス符号生成器を紹介した。このカオス符号生成器を用い、エラーフリー ($BER < 10^{-9}$) の光カオス伝送に成功した。これは

従来のカオス通信の伝送レートが早くても数10Mbpsであることを考えると桁違いの超高速性を達成したことに相当する。今後の課題としては、チップレートを下げず、かつチップ数をより多くすることにより、高速性を維持するセキュリティ通信の実現が上げられる。

参考文献

- 1 K. Umeno, "Method of constructing exactly solvable chaos", Physical Review E Vol.55, pp.5280-5284, 1997.
- 2 K. Umeno, Y. Awaji, and K. Kitayama, "in Proceedings of the 5th Experimental Chaos Conference", M. Ding, W. Ditto, L.M.Pecora, M. L.Spano ed. (World Scientific, Singapore, 2001),307-313.
- 3 K. Umeno and K. Kitayama, "Apparatus for optically generating chaotic random numbers", US Patent No.6289296,2001.
- 4 K. Umeno and K. Kitayama, "Spreading sequences using periodic orbits of chaos for CDMA", Electron. Lett. Vol. 35, pp.545-546, 1999.
- 5 K. Umeno and K. Kitayama, "Improvement of SNR with chaotic spreading sequences for CDMA", Proc. 1999 IEEE Information Theory Workshop, p.106, 1999.
- 6 K. Umeno, "SNR analysis for orthogonal chaotic spreading sequences", Nonlinear Analysis:Vol. 47, pp5753-5758, 2001.
- 7 C.C. Chen, K. Yao, K. Umeno and E. Biglieri, "Design of spread spectrum sequences using chaotic dynamical systems and ergodic theory ", IEEE Trans. Circuits and Systems I., Vol.48, pp1110-1114, 2001.
- 8 K. Umeno and A. Yamaguchi, "Construction of optimal chaotic spreading sequence using Lebesgue spectrum filter", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E85-A, pp.849-852.



梅野 健

情報通信部門超高速フォトニックネットワークグループ主任研究員(休職中)、
現株式会社カオスウェア代表取締役社長 博士(理学)
超高速ネットワークセキュリティ技術