

光カオスフィードバックループ内のパラメータ可変 FDGD モジュールの提案

Proposal of parameter controllable FDGD module for optical chaos feedback loop

早稲田大学¹, ○(B)岡部 航¹, 小松 進一¹

Waseda Univ.¹, ○Wataru Okabe¹, Shinichi Komatsu¹

E-mail: w0640705882@moegi.waseda.jp

1. 概要

光カオスを用いた秘匿通信において問題になるのは TDS の隠蔽と実装の複雑さの兼ね合いである。図 1 は光カオス通信の概念図である。マッハツェンダー光変調器(MZM)とフォトダイオード(PD)によるフィードバックループによりカオスを生成しているが、TDS を隠蔽するためにはフィードバックループ内に位相を遅延させる何らかの機構を導入することが有用であると考えられてきた。先行研究にはデジタルな鍵を導入する直/並列機構二重電気工学反応ループ^[1]やマンチェスター符号化^[2]などがあるが、実装が困難である。今回提案する計算機を用いた FDGD モジュールは実装を複雑にすることなく TDS を隠蔽でき、また鍵空間を大きく拡張できることが期待される。

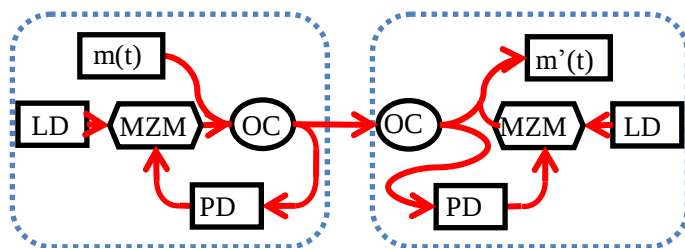


Fig.1 Concept of chaotic optical communication

2. 理論

カオスダイナミクスは以下のように表される。

$$\begin{aligned} V(t) &= C|E'(t - T_1)|^2 \\ E'(t) &= F^{-1}\{F[E(t - T) + \alpha_m m(t - T)]e^{i\varphi(\omega)}\} \quad (1) \\ E(t) &= \frac{1}{2}E_0 \left\{ 1 + e^{\frac{\pi V(t)}{V_\pi}} \right\} \end{aligned}$$

ここで C は光検出器感度、 T_1 は遅延時間、 T は演算処理時間、 $m(t)$ は送りたいメッセージ、 α_m はカオス信号とメッセージの振幅比、 $\varphi(\omega)$ は FDGD パラメータ、 F はフーリエ変換、 V_π は半波長電圧を表す。これをもとにシミュレーションを行う。

3. 方法

先行研究において FDGD モジュールにより位相遅延を起こすことで TDS を隠蔽し、安全性を向上させる効果は十分に示されている。^[3] そのため本研究では FDGD 曲線を鍵とし、与えた鍵に基づき計算機で位相遅延を引き起こす手法を提案する。電気信号を計算機で変換するためコンピュータがあれば可能であり、実装の容易さ、小型化、低コストを達成できる。鍵となる FDGD 曲線は乱雑であり、何らかの制御パラメータに対し鋭敏に反応するものが望ましく、本研究では非線形微分方程式である Duffing 方程式のカオス的変動

解を選択した。Duffing 方程式は

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \delta \frac{dx}{dt} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t) \quad (2)$$

と表される。

4. 結果

図 2 にシミュレーション結果を示す。上段(a)、(b)はもとのカオス波形とその TDS であり、TDS は隠蔽できていない。中段(c)、(d)は提案手法での結果であり、カオス性が損なわれないこと及び TDS が隠蔽できていることがいえる。下段(e)、(f)は提案装置を直列に 16 個使用したときの結果であり複数用いても同様のことがいえるとわかる。

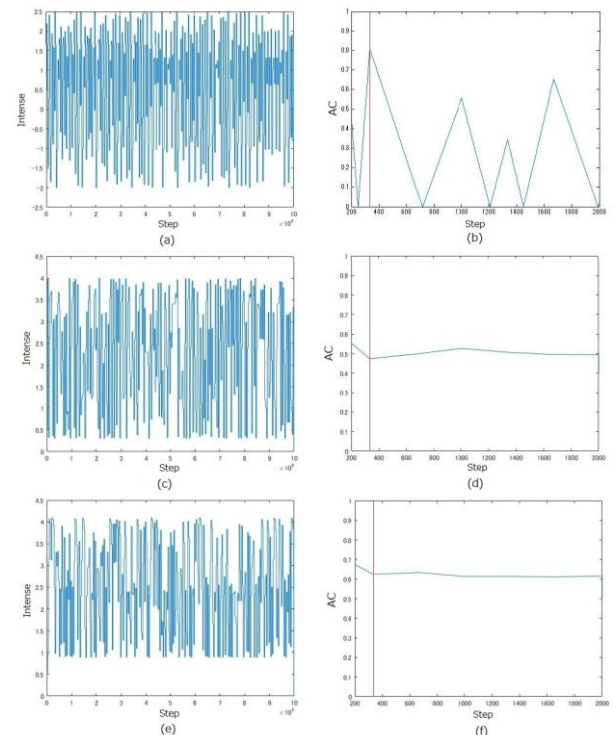


Fig.2 Chaotic wave and TDS with the proposal module

5. 結論

提案手法ではカオス性を損なうことなく TDS を効果的に隠蔽できていた。また FDGD 曲線となる Duffing 方程式の解の初期値を新たな鍵とみなすことができ、安全性を向上させることができています。この手法は演算装置のみを必要とするため実装も容易といえる。

6. 参考

- [1] L. Ursini et al. (IEEE PT. Lett., 2008)
- [2] R. M. Nguimdo et al. (Phys. Rev. Lett., 2011)
- [3] T. T. Hou et al. (Optics Express., 2016)