

Chaotic Masking での情報信号の増幅作用とその周波数依存性

畠澤 泰成 永井 立木 藤井 伊織 松本 隆
早稲田大学理工学部電気電子情報工学科

1. まえがき

Chaotic Masking と呼ばれる手法は、カオスの持つ乱雑さを利用し、情報信号を覆い隠して (mask) 信号を送り、受け取った信号から賢く工夫されたシステムにより原信号を“復元”しようとするものである (図1)。この Chaotic Masking において、情報信号が復元される際に「情報信号の増幅現象」を見出したので、そのメカニズムについて報告する (図2)。

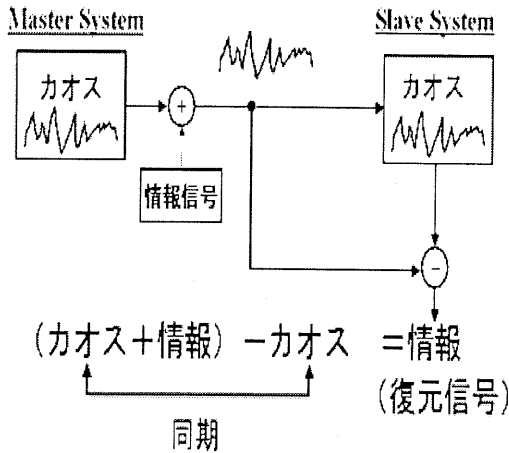


図1 カオスマスキングの概念図

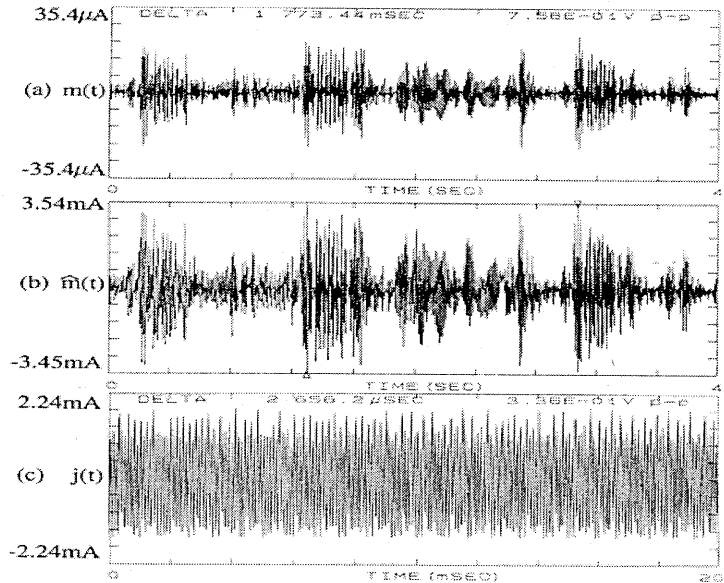


図2 実験結果 (a)情報信号 (b)復元信号 (c)伝送波形

2. ダイナミクス

Chaotic Masking を実現するシステム (R-L-Diode 回路) を図3に示す。Master 電流 $i(t)$ に情報信号 $m(t)$ を加えて、 $j(t)=i(t)+m(t)$ とし、これを Slave 系に送信する。 $m(t)$ の振幅は $|i(t)|$ の最大値に対して 1/50 程度とする。また復元信号は $\hat{m}(t)=j(t)-i_s(t)$ で記述される。よって Chaotic Masking のダイナミクスは以下のように示される。

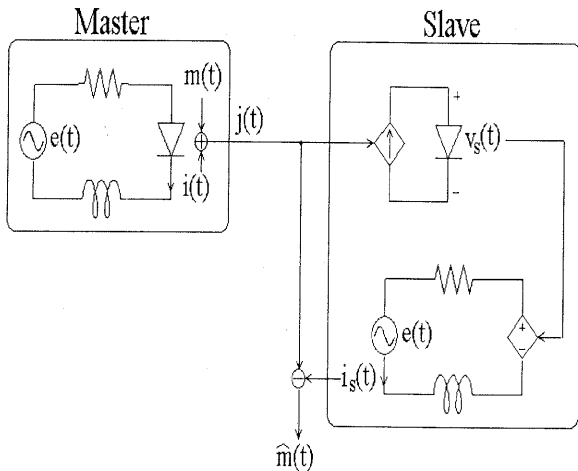


図3 Chaotic Masking のブロック図

$$\begin{aligned} \text{Master系} \quad & \frac{dq}{dt} = i - g(f(q)) \\ & L \frac{dq}{dt} = -Ri - f(q) + e(t) \\ \text{Slave系} \quad & \frac{dq_s}{dt} = j - g(f(q_s)) \\ & L \frac{dq_s}{dt} = -Ri_s - f(q_s) + e_s(t) \end{aligned}$$

3. 復元信号の周波数依存性

次のような事実が観測された：

- (1) $f < 6.0$ [KHz] ではほぼ正確に $m(t)$ が復元される (図 4)
 $\hat{m}(t)$ が $m(t)$ とほぼ一致しているため両者の波形は重なっている。
- (2) $f < 6.0$ [KHz] では $\hat{m}(t)$ が比較的良好に復元されるが増幅される (図 5)
 $\hat{m}(t)$ の振幅は $m(t)$ のそれと比較して約 70 倍に増幅されている。
- (3) $f \approx 6.0$ [KHz] では全く復元されていない (図 6)。

これらは、R-L-Diode 回路だけでなく、我々が考察したその他の系、Lorenz 系、一般化 Hopfield Network においても共通していたので、この結果は Chaotic Masking の一般的な結果になっているのではないかと思われる。

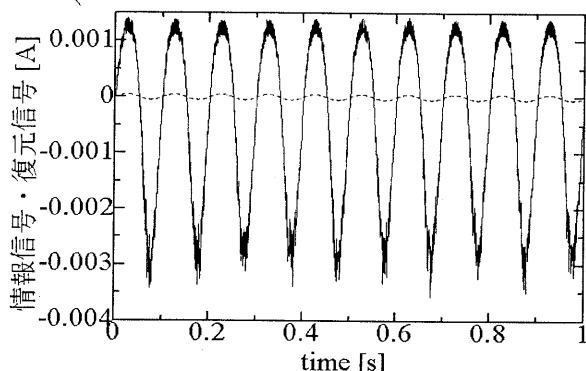


図 4 $f=1$ [MHz] の原信号 $m(t)$ (破線) と復元信号 $\hat{m}(t)$ (実線)

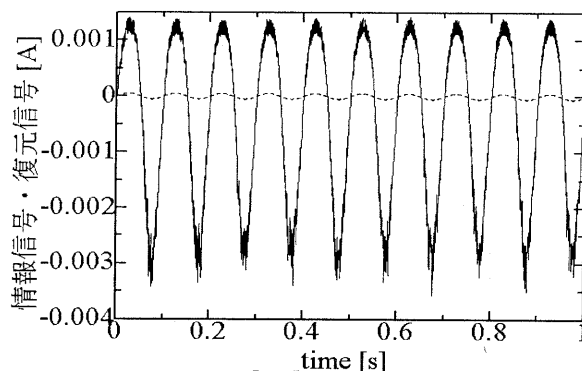


図 5 $f=10$ [Hz] の原信号 $m(t)$ (破線) と復元信号 $\hat{m}(t)$ (実線)

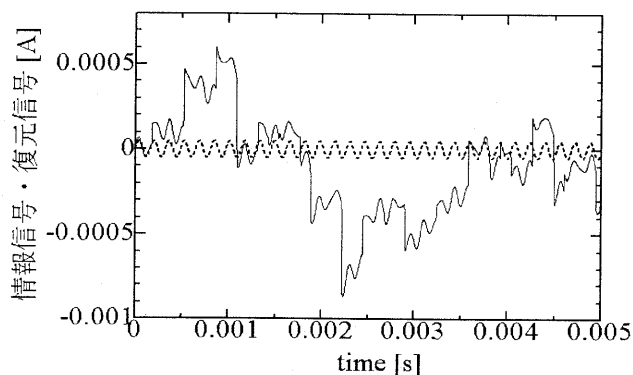


図 6 $f=6.2$ [kHz] の原信号 $m(t)$ (破線) と復元信号 $\hat{m}(t)$ (実線)

4. まとめ

Chaotic Masking と呼ばれるパラダイムで伝送される情報信号が増加される事がありうる事を示し、その原因の一部を解明した。それは元の情報信号が含む周波数成分と、mask に用いるカオス信号のもつ周波数成分の主たるものとの相対的關係に起因しており、しかもその様なメカニズムは、本文でとりあげた R-L-Diode 回路だけでなく、Lorenz 系、そして、一般化 Hopfield Network においても見出される。復元信号 $\hat{m}(t)$ はどの系においても高周波域ではほぼ正確に復元され、低周波域では比較的良好ではあるが増幅して復元され、両周波数域間のある一定の周波数域では全く復元出来ないという点では一致した。

残された問題のひとつとして、 $\hat{m}(t)$ の周波数特性の解明がある。新しい変数「同期誤差」を導入すると、ある種のローパスフィルタ的性質を備えている事がわかり、それにもとずいた研究を鋭意進めており、別途報告する予定である。

5. 参考文献

T. Matsumoto, and M. Nishi "Subsystem Decreasing for Exponential Synchronization of Chaotic Systems", Physical Review E, vol. 59, No. 2-A, pp.1711 - 1718, Feb. 1999