

超高速意思決定に向けたシリコン CMOS 高速履歴記憶の回路設計

Analog Counter for Ultrafast Photonic Reinforcement Learning Based on Laser Chaos

¹情通機構, ²東工大未来研, ³明大理工, ⁴東大院工

○原 紳介¹, 董 鋭冰¹, 松本 敦¹, 笠松 章史¹, 伊藤 浩之², 関根 かをり³, 成瀬 誠⁴

°NICT¹, Tokyo Tech.², Meiji Univ.³, Univ. Tokyo⁴

S. Hara¹, R. Dong¹, A. Matsumoto¹, A. Kasamatsu¹, H. Ito², K. Sekine³, and M. Naruse⁴

E-mail: s-hara@nict.go.jp

はじめに： 無線通信や人工知能など現代情報社会の根幹にある情報通信技術における重大な未解決課題として、不確実性に対応するための意思決定の問題が存在する。意思決定問題は、選択枝の探索と知識利用の難しいトレードオフを抱え、さらに環境の動的な不確実性に的確に対処する必要がある。

当たり確率の不明な複数のスロットマシンから最もよい台を選ぶ“多腕バンディット問題”と呼ばれる、意思決定や強化学習の基礎にある課題を対象として、単一光子^{1,2)}、レーザーカオス^{3,4)}を用いた意思決定の原理・有用性が報告されている。なかでも、レーザーカオスは光の高帯域性の極限性能が生かされ、レイテンシ 1 ns の高速意思決定の基本性能が示された。ただし、上記高速意思決定の原理実証は、実験的にはオフラインで実現したものである。この処理を「リアルタイム化」することは重要であるが、光の物理的な優位性を生かすためには高速なエレクトロニクスとの融合が求められる。

今回、レーザーカオスを用いた意思決定における処理要素の一つである高速な履歴記憶機能に関し、シリコン CMOS による要素回路の検証を行ったので報告する。

CMOS 履歴記憶回路： 履歴記憶回路はレーザーカオス信号に由来する高速パルス信号をカウントすることを想定し、単一光子検出にも用いられるアナログカウンタ⁵⁾を応用した。多腕バンディット問題の最小構成として2アーム（スロット）の記憶判定させるため、RSTにより蓄えられた C_M の電荷を放充電させる構成を検討した(図1)。放充電は、それぞれ M_1 , M_3 に正、負パルスを入力することで機能させ、線形動作時における放電時の1回の変化量は以下の式により表される。

$$\Delta V_D = (\Delta V_{IN1} - V_{B1} - V_{T1}) \cdot (C_{P1}/C_M) \quad (1)$$

図1(b), (c)にそれぞれの機能時におけるタイミングチャートを示す。検出部分にはソースフォロワによる出力機構を付加した。

結果： 回路の有効性は 0.18 μm CMOS プロセスを用いて検証した。図2に放充電の変化量 ΔV_D , ΔV_C の V_{B1} , V_{B2} 依存性を示す。 ΔV_D , ΔV_C は入力パルス信号の周期に依存して変化するが、式(1)の通り V_{B1} , V_{B2} を変えることにより任意に制御できることが分かる。図3に 100 ps 周期 200 パルスの信号をそれぞれ M_1 , M_3 へ入力した際の過渡解析結果を示す。結果、同条件における各入

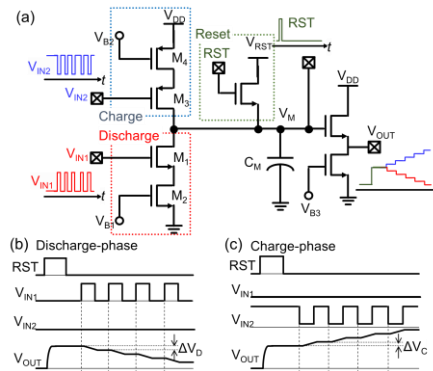


図1(a) 高速履歴記憶用アナログカウンタ回路図, (b)放電(c)充電時のタイミングチャート

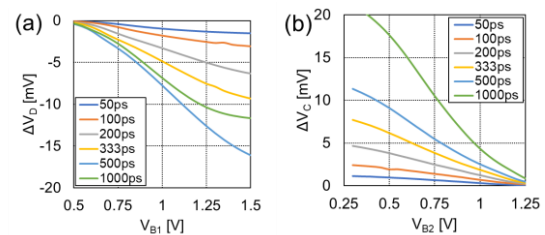


図2 放充電変化量 ΔV_D , ΔV_C の V_{B1} , V_{B2} 依存性

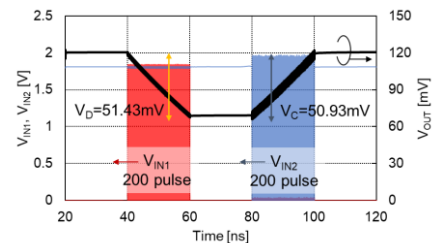


図3 200 パルス入力時の過渡解析結果

力信号に対する放充電の変化量 ΔV_D , ΔV_C はそれぞれ約 0.257, 0.254 mV であり、相対誤差 0.46%であった。これら結果より、入力信号の周期・幅が同一であるなどの制約はあるが、適切な V_{B1} , V_{B2} を選択することにより、同回路が2アームの履歴記憶回路として正しく機能する可能性が示された。発表では試作回路による測定結果も併せて報告する。

謝辞： 本研究の一部は JST CREST (JPMJCR17N2) の支援による。

参考文献： ¹⁾M. Naruse, et al., Sci. Rep. 5, 13253 (2015). ²⁾M. Naruse, et al., ACS Photonics 3, 2505 (2016). ³⁾M. Naruse, et al., Sci. Rep. 7, 8772 (2017). ⁴⁾M. Naruse, et al., Sci. Rep. 8, 10890 (2018). ⁵⁾M. Perenzoni, et al., Sensors 16, 745 (2016).