

JK-FF を用いた Stochastic Computing における
入力ビット列の自己相関の影響野口 大翔 常田 明夫
(熊本大学大学院自然科学教育部)

1 はじめに

Stochastic Computing(SC)とはランダムなビット列と論理演算により確率的な計算を行う手法である [1]. SCはエラー耐性が高く、単純な回路で演算を実装できることから低消費電力である. そのため演算量の多い強化学習や画像処理などへの活用が検討されている. 本研究ではJK-FFを用いたSC計算において、入力ビット列の自己相関が出力に与える影響について調べる.

2 Stochastic Computing の原理

SCは計算の際に数値をランダムビット列中の1の出現確率で表現し、0.25の場合10010000のように表される. この変換後のビット列を Stochastic Number(SN)と呼ぶ. 本研究では図1に示すJK-FFを用いたSCについて検討する. 入力ビット列 x_n, y_n の自己相関が無相関で互いに独立とすると、出力 z_n の平均値は

$$E[z_n] = \frac{E[y_n]}{E[x_n] + E[y_n]} \quad (1)$$

で表される [1]. 本研究では入力ビット列 x_n, y_n の自己相関特性を変えた場合の出力特性の変化を観測する.

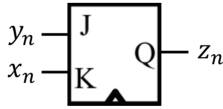


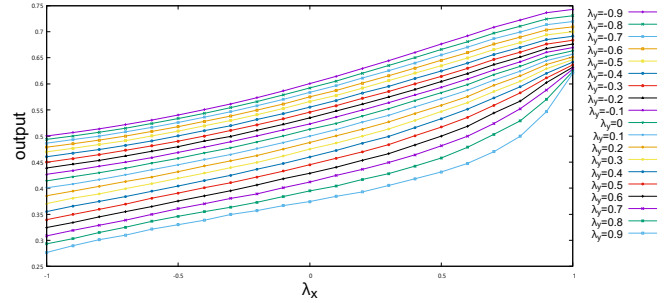
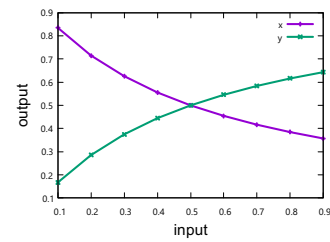
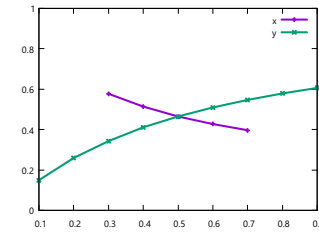
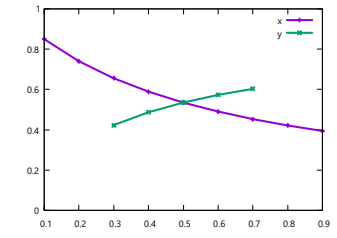
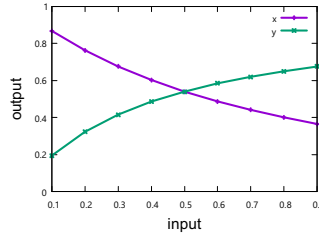
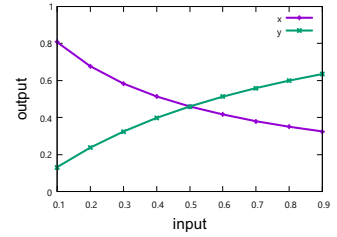
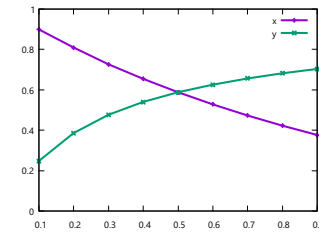
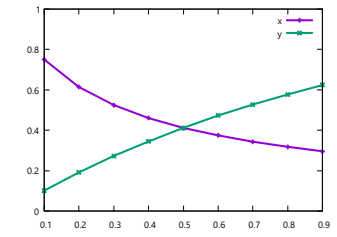
図1: JK-FFによるSC除算

3 シミュレーションと検討

本研究では、指数的な自己相関関数 λ^ℓ (ℓ : 遅れ時間)をもつランダムビット列を入力として用いる. λ を相関パラメータと呼び、 $\lambda > 0, \lambda = 0, \lambda < 0$ はそれぞれ正相関、無相関、負相関に対応する. λ_x, λ_y をそれぞれ x_n, y_n の相関パラメータとし、 x_n と y_n は互いに独立であるとする. ここで、指数的な自己相関関数をもつ2値系列は、区分的カオス写像を用いて生成する [2].

JK-FFによるSC計算のシミュレーションに長さ1,000の入力ビット列で1,000回計算した結果の平均を出力として観測する. 図2に $E[x_n] = E[y_n] = 0.5$ の場合の計算結果を示す. 横軸は λ_x , 縦軸は出力 $E[z_n]$ を示し、いくつかの λ_y に対する特性を示している. この場合の式(1)による理論値は0.5であり、 $\lambda_x = \lambda_y = 0$ の場合の出力がほぼ0.5になっていることが確認できる. また、 x_n の正の相関が強くなるほど ($\lambda_x \rightarrow 1$) 出力は大きくなり、一方、 y_n の正の相関が強くなるほど ($\lambda_y \rightarrow 1$) 出力は小さくなるのがわかる.

次に、 $E[x_n], E[y_n]$ の値を0.1~0.9まで変化させて相関の影響の変化を調査した結果を図3に示す. ここで、 $E[y_n] = 0.5$ として $E[x_n]$ の値(横軸)を変化させたものが紫、 $E[x_n] = 0.5$ として $E[y_n]$ の値(横軸)を変化させたものが緑である. 図より、相関に依存して出力値が変わっている様子が確認できる. また、 x_n の相関と y_n の相関の影響はほぼ対称であることも確認できる.

図2: $E[x_n] = E[y_n] = 0.5$ (a) $(\lambda_x, \lambda_y) = (0, 0)$ (b) $(\lambda_x, \lambda_y) = (-0.3, 0)$ (c) $(\lambda_x, \lambda_y) = (0, -0.3)$ (d) $(\lambda_x, \lambda_y) = (0.3, 0)$ (e) $(\lambda_x, \lambda_y) = (0, 0.3)$ (f) $(\lambda_x, \lambda_y) = (0.6, 0)$ (g) $(\lambda_x, \lambda_y) = (0, 0.6)$ 図3: 紫: $E[x_n] = 0.1 \sim 0.9$, 緑: $E[y_n] = 0.1 \sim 0.9$

参考文献

- [1] Warren J. Gross and Vincent C. Gaudet (Eds.), *Stochastic Computing: Techniques and Applications*, Springer, 2019.
- [2] A. Tsuneda, "Design of binary sequences with tunable exponential autocorrelations and run statistics based on one-dimensional chaotic maps," *IEEE Trans. CAS-I*, vol.52, no.2, pp.454-462, Feb. 2005.