

Title	A study on signal-dependent A/D conversion based on MINIMAX sampling
Author(s)	Igors, Homjakovs
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59999
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

【10】

氏名	イゴル ホムヤコフス Igor Homjakovs
博士の専攻分野の名称	博士 (情報科学)
学位記番号	第 25847 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 情報科学研究科情報システム工学専攻
学位論文名	A study on signal-dependent A/D conversion based on MINIMAX sampling (MINIMAX サンプリングに基づく信号適応型 A/D 変換に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 尾上 孝雄 (副査) 教授 中前 幸治 准教授 橋本 昌宜 神戸大学准教授 廣瀬 哲也

論文内容の要旨

This thesis discusses a new architecture for signal-dependent analog-to-digital (A/D) conversion based on MINIMAX sampling. MINIMAX sampling, which captures a sample

whenever an analog signal reaches its local maximum or minimum, allows effectively extract the information from an analog signal. On the other hand, MINIMAX sampling is targeted for applications manipulating signals that feature time intervals. This class of signals have little or no variation followed by a limited time interval in which a large activity arises. A bursty signal is one of this class of signals, which delivers information in bursts rather than in a constant stream. Conventional synchronous sampling is not power-efficient for such signals with high frequency components yet low activity due to high constant sampling rate. This is a significant drawback since in many cases the signals are not periodic with constant frequency, but their activity changes with time, e.g. readings from temperature, pressure and light sensors, electro-cardiograms, neural and speech signals, etc. By applying MINIMAX sampling to analog-to-digital converters (ADCs) input, the sampling frequency adopts to the properties of analog input signal and ADCs can save energy when analog signal is constant and does not contain any new information. This is a vital property for energy-efficient applications, and therefore MINIMAX sampling is highly desirable for ultra-low power systems. The original MINIMAX sampling proposed in literature, however, has difficulties in signal reconstruction and timer implementation.

This thesis thus proposes a reconstruction-friendly 1-point MINIMAX sampling which captures analog signal at discrete time intervals and performs A/D conversion for the stored signal only when a signal peak is detected. Such discretely sampled signal is highly compatible with traditional signal processing algorithms since peak samples are inherently located on a uniform grid and only missing samples on the grid need to be reconstructed. The MINIMAX sampling is further improved to enhance reconstruction accuracy by capturing three samples per peak (3-point MINIMAX sampling), which reduces necessity of precise peak detection. Experimental results show that the signal reconstruction using piecewise cubic Hermitian interpolation attains good accuracy comparable to that of conventional synchronous sampling.

This thesis presents an ADC architecture for the proposed reconstruction-friendly MINIMAX sampling, which consists of a peak detector, a timer and an amplitude quantizer circuit. The proposed ADC reduces power consumption by storing an analog signal at discrete time intervals and performing A/D conversion for the stored signal only when a signal peak is detected. Based on the proposed ADC architecture, 1-point MINIMAX ADC and 3-point MINIMAX ADC were implemented in 180 nm CMOS process. An analytical discussion on power reduction supported by 180 nm circuit simulation demonstrates that the proposed architecture is power-efficient for less active signals. In these 180 nm implementations, when the ratio of peak samples in the given signals is lower than 20-28%, power reduction can be obtained. The maximum power reduction is 37%. Furthermore, the 1-point MINIMAX ADC was fabricated in 180 nm process and its performance was measured. Up to 20% power reduction was observed.

Additionally, this thesis proposes a low voltage CMOS nano-ampere current reference circuit, which is necessary for low-power voltage reference circuit providing a reference voltage to comparators in ADC. The proposed circuit consists of bias voltage, current-source and offset-voltage subcircuits with most of MOSFETs circuits operating in subthreshold region. Simulation results in 180 nm process show that the circuit generates a stable reference current of 110 nA in supply voltage range of 0.8-1.8 V with line regulation of 9250ppm/V.

As a conclusion, this thesis enables a power-efficient A/D conversion based on signal-dependent MINIMAX sampling. The proposed ADC attains power reduction for less active signals while keeping compatibility with conventional signal processing and easiness of hardware implementation. The proposed ADC is highly desirable for intermit signals often found in sensor networks and various biomedical applications.

本論文は、MINIMAXサンプリングに基づく信号適応型A/D変換に関する研究の成果をまとめたものであり、以下の主要な結果を得ている。

1. 信号復元が容易なMINIMAXサンプリング方式の提案

MINIMAXサンプリングは、少ないサンプル数で信号復元が可能であると報告があるものの、信号復元の計算量が大きく、またその実装は報告されていなかった。本論文では、信号復元が容易な、1点MINIMAXサンプリング方式を提案した。提案したサンプリング方式では、一定間隔毎にアナログ信号を取り込み、信号がピーク値を取ったときのみA/D変換を行う。このように離散的にサンプリングされた信号は、従来の信号処理アルゴリズムと親和性が高く、A/D変換されなかった時間グリッド上のサンプルのみ信号を復元すればよい。さらに、ピークの時間的検出精度が高くないでも、高精度な信号復元が可能な3点MINIMAXサンプリングを提案した。実験結果より、ハミルトニアン補間による信号復元により、従来の同期式サンプリングと同等の信号復元精度が得られることを示した。

2. MINIMAX A/D変換器アーキテクチャの提案

本論文では、信号復元が容易なMINIMAXサンプリング方式を実現する、A/D変換器アーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャは、ピーク検出器、タイマー、振幅量子化器から構成され、ピーク検出時のみ振幅量子化器が動作するため、低消費電力動作を実現する。180nm CMOSプロセスを用いて、1点・3点MINIMAXサンプリングA/D変換器をそれぞれ実装し、最大消費電力削減効果が37%であることをシミュレーションで示した。さらに、変化が少ない信号に対して通常の同期式A/D変換器よりも消費電力が小さいことを解析的に示した。また、試作した1点MINIMAXサンプリングA/D変換器では、最大20%の電力削減を観測した。

3. ナノアンペア参照電流回路

MINIMAX A/D変換器の実装には、比較器に与える参照電圧を与える必要があり、参照電圧回路設計には、参照電流回路が必要である。本論文では、低電圧動作可能なナノアンペア参照電流回路を提案した。180nm CMOSプロセスによるシミュレーションでは、110nAの参照電流を0.8Vから1.8Vの動作電圧で供給でき、そのときのラインレギュレーション値は9250 ppm/Vであった。

以上のように、MINIMAXサンプリングに基づく信号適応型A/D変換に関する研究は、信号変化が時間的に局在する自然界に存在する信号を低電力でA/D変換できる点で非常に有用である。これにより、低電力センサの実現に貢献するものと期待できる。従って、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。