

Streszczenie

Prześwietlenie rentgenowskie oraz tomografia komputerowa, stanowią niezaprzeczalnie jeden z fundamentów współczesnej diagnostyki medycznej. Na przestrzeni lat przeszły one wiele modyfikacji, aby móc zaoferować dostępne dziś możliwości, a proces ten trwa nadal.

Podstawą współczesnego obrazowania jest pomiar intensywności promieniowania (podobnie jak w czarno-białej fotografii). Stwarza to jednak pewne trudności w odróżnieniu niektórych tkanek na zarejestrowanym obrazie, ponieważ materiały różniące się składem chemicznym, ale również gęstością atomów, mogą generować identyczny obraz. Są one jednak transparentne dla promieni o różnych energiach. Rozróżnienie tych energii (jak w fotografii kolorowej) pozwoliłoby także zidentyfikować poszczególne tkanki. Takie możliwości dają systemy zliczające pojedyncze fotony (ang. *single photon counting*, SPC).

Celem badań, których podsumowaniem jest niniejsza rozprawa, było zaproponowanie nowego sposobu przetwarzania sygnału w kanale odczytowym hybrydowego detektora pikselowego pracującego w trybie SPC, pozwalającego na precyzyjny pomiar energii, zapewniającego jednocześnie wysoką rozdzielczość przestrzenną przy możliwie niskim poborze mocy w submikronowej technologii CMOS 28 nm.

W rozprawie zaprezentowano trzy podejścia do pomiaru energii fotonu w pojedynczym pikselu, takie jak: wykorzystanie wielu dyskryminatorów, zastosowanie przetwornika analogowo cyfrowego oraz użycie asynchronicznej pętli kompensacji zebranego ładunku przy pomocy impulsów prądowych. Dwie ostatnie metody zostały przetestowane w wyprodukowanych układach scalonych, a następnie porównane ze sobą pod kątem szybkości pracy, poboru mocy, zajętości powierzchni oraz rozdzielczości pomiaru energii.

Metoda kompensacji ładunku impulsami prądowymi została zaimplementowana w prototypowym układzie scalonym zawierającym 100 pikseli o wymiarach $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$, zapewniających wysoką rozdzielczość przestrzenną. Na podstawie przeprowadzonych testów wykazano, że pozwala ona na efektywny pomiar energii promieniowania przy jednoczesnym zapewnieniu szybkiego przetwarzania sygnału i niskiego poboru mocy. Stanowi zatem obiecujące rozwiązanie dla detektorów do wieloenergetycznych tomografów komputerowych.

28.06.2023

Piotr Kucmasz

Abstract

X-rays and computed tomography are undeniably one of the foundations of modern medical diagnostics. Over the years, they have undergone many modifications to offer the today's possibilities, and the process is still ongoing.

The basis of modern imaging is the measurement of X-ray intensity (similar to black and white photography). Still, there are materials differing in the chemical composition and the mass density which can generate identical images. Therefore, their differentiation may pose serious difficulties. Still, such materials show different transparency levels when exposed to various X-ray energies. Therefore, it is crucial to distinguish such energies (as in color photography) so as to identify particular tissues. Such possibilities are provided by single photon counting (SPC) systems.

The aim of the research summarized in this dissertation was to propose a new method of signal processing in the reading channel of a hybrid pixel detector operating in the SPC mode. The device produced in the 28 nm submicron CMOS technology was expected to provide the precise energy measurement, while ensuring the high spatial resolution at the lowest possible power consumption.

The dissertation presents three approaches to the photon energy measurement in a single pixel. They employed, respectively: multiple discriminators, an analog-to-digital converter, and an asynchronous charge compensation loop using current pulses. The last two methods were tested in the fabricated integrated circuits, and then compared in terms of speed, power consumption, area occupancy and energy measurement resolution.

The final integrated circuit containing 100 pixels of $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ in size has proved successful. The prototype reveals the high spatial resolution. The method of the charge compensation with current pulses allows for the effective measurement of radiation energy. Moreover, it ensures the fast signal processing and the low power consumption. Thus, it constitutes a promising solution for detectors applied in multi-energy computed tomographs.

28.06.2023

Andrii Kozmenko