

Marcin Lewandowski*, Mateusz Walczak, Beata Witek, Jakub Rozbicki, Tomasz Steifer

Laboratorium Elektroniki Profesjonalnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

Demonstrator przenośnego systemu Phased-Array z funkcją Full-Matrix Capture

A portable Phased-Array system demonstrator with Full-Matrix Capture function

ABSTRACT

Phased-Array (PA) ultrasonic systems enable the detection and evaluation of defects with multi-element electronic scanning heads. Advanced beam steering and visualization make it easy to explore complex geometries. However, it should be remembered that the classic PA method is based on the same physical principles as standard single-element probes and has the very same limitations. In our laboratory we are working on the implementation of a new class of UT imaging methods, namely Full-Matrix Capture (FMC) and Total Focusing Method (TFM) techniques. These methods provide completely new possibilities for the reconstruction of defect images and allow to obtain a uniform lateral resolution throughout the depth of the test. For this purpose, we have built a portable PA system demonstrator equipped with FMC and TFM functions. Acquisition of a full array of echoes and software processing on the built-in GPU (Nvidia® Tegra) provide great opportunities for signal processing and analysis. The demonstrator is equipped with 32 RX channels in a 32:128 configuration and is compatible with standard Olympus® PA probes.

Keywords: NDT UT; Phased-Array; Full-Matrix Capture (FMC); GPU

1. Wstęp

Technika UT Phased-Array powoli wypiera klasyczne aparaty defektoskopowe z głowicami jednoelementowymi. Sukces tej metody, to przede wszystkim jej niewątpliwe zalety tj. wyższa jakość inspekcji poprzez różne mody obrazowania wad, zwiększona prędkość badania i nowe możliwości skanowania obiektów (skany liniowe, kątowe), ale także standaryzacja procedur i coraz większa dostępność sprzętu.

Dostępne obecnie na rynku systemy PA pozwalają na wizualizację w czasie rzeczywistym obrazów 2D za pomocą skanowania wiązką ultradźwiękową i rekonstrukcji obrazu metodą beamformingu (tzw. prawa ogniskowania). Trzeba pamiętać, że taki sposób działania opiera się na tych samych prawach i podlega tym samym ograniczeniom, co dla standardowej głowicy jednoelementowej o analogicznym rozmiarze i ogniskowaniu [1].

W pracach naukowych coraz chętniej do rekonstrukcji stosuje się metody syntetycznej apertury (ang. SAFT – Synthetic Aperture Focusing Technique), a w szczególności metody akwizycji pełnej macierzy (ang. FMC – Full Matrix Capture) i metoda pełnego ogniskowania (ang. TFM – Total Focusing Method) [2, 3]. Te metody otwierają zupełnie nowe możliwości obrazowania wad oraz zaawansowanego przetwarzania sygnałów ech w.c.. Implementacja metod FMC/TFM w aparaturze wymaga nowych, znacznie bardziej wydajnych

*Autor korespondencyjny. E-mail: mlew@ippt.pan.pl

STRESZCZENIE

Ultradźwiękowe systemy Phased-Array (PA) umożliwiają detekcję i ocenę wad za pomocą wieloelementowych głowic ze skanowaniem elektronicznym. Zaawansowane metody kierowania wiązki oraz wizualizacji znacznie ułatwiają badania obiektów o skomplikowanej geometrii. Należy jednak pamiętać, że klasyczna metoda PA bazuje na tych samych zasadach fizycznych, co skanowanie standardowymi głowicami jednoelementowymi i posiada te same ograniczenia. W naszym laboratorium pracujemy nad implementacją nowej klasy metod obrazowania UT, które wykorzystują technikę Full-Matrix Capture (FMC) oraz Total Focusing Method (TFM). Metody te dają zupełnie nowe możliwości rekonstrukcji obrazów wad i pozwalają na uzyskanie jednorodnej rozdzielczości poprzecznej w całej głębokości badania. W tym celu zbudowaliśmy demonstrator przenośnego systemu PA wyposażony w funkcje FMC i TFM. Akwizycja pełnej macierzy ech oraz przetwarzanie softwarowe na wbudowanym procesorze GPU (Nvidia® Tegra) zapewniają duże możliwości przetwarzania i analizy sygnałów. Demonstrator jest wyposażony w 32-kanaly akwizycji w konfiguracji 32:128 i współpracuje ze standardowymi głowicami PA firmy Olympus®.

Słowa kluczowe: UT; Phased-Array; akwizycja pełnej macierzy; GPU

systemów akwizycji i przetwarzania cyfrowego sygnałów.

W 2014 w naszym laboratorium opracowaliśmy w pełni uniwersalną i programowalną ultradźwiękową platformę badawczą – USPlatform [4], która umożliwia podłączenie standardowych głowic PA firmy Olympus® oraz wspiera metody FMC/TFM. W platformie tej po raz pierwszy zastosowaliśmy przetwarzanie w czasie rzeczywistym na GPU (Graphics Processing Unit). Wewnętrzna architektura przesyłania danych zapewnia przepustowość do 6GB/s, a wbudowany klaster kart GPU zapewniał niemal nieograniczone możliwości obróbki sygnałów.

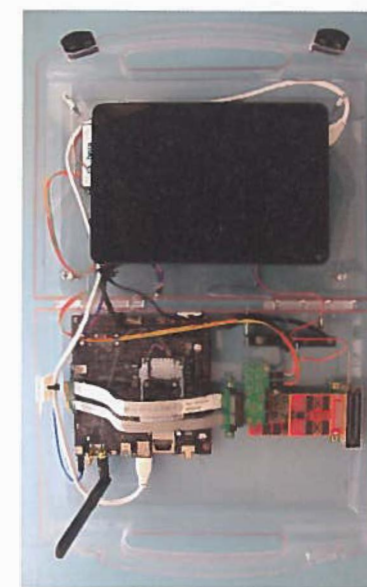
O ile duże platformy badawcze sprawdzają się w laboratorium, to do realnych zastosowań przemysłowych potrzebne są urządzenia przenośne i zasilane bateryjnie. Rozwój mobilnych procesorów GPU spowodował, że wymagana moc obliczeniowa jest już dostępna w rozwiązaniach zasilanych bateryjnie. Po przeprowadzeniu analizy wykonalności opracowaliśmy demonstrator przenośnego systemu Phased-Array z technologią FMC.

2. Demonstrator przenośnego systemu Phased-Array z funkcją FMC

Na zdjęciu (Rys. 1) widoczny jest opracowany demonstrator przenośnego defektoskopu Phased-Array. Urządzenie zostało zbudowane w oparciu o wysoko zintegrowany moduł ultradźwiękowy US-OEM (produkcji us4us sp. z o.o.) – czerwony moduł po prawej stronie na Rys. 1. Moduł ten jest kompletnym

rozwiązaniem nadawania i akwizycji sygnałów ultradźwiękowych obsługującym 128 kanałów nadawczych i 32 kanały odbiorcze (konfiguracja 128:32). Moduł OEM jest podłączony przez interfejs PCIe do modułu ewaluacyjnego z procesorem Nvidia® Tegra X2 (widoczny na dole po lewej stronie). Do wizualizacji wykorzystywany jest panel LCD (widoczny w górnej części). Obecnie całość rozwiązania jest zasilana ze źródła niskiego napięcia, ale docelowo możliwe jest wyposażenie go w zasilanie akumulatorowe. System współpracuje ze standardowymi głowicami PA firmy Olympus®.

Surowe sygnały ech z 32 kanałów odbiorczych trafiają do procesora GPU, gdzie realizowane jest pełne przetwarzanie sygnałów i rekonstrukcja obrazu. Ponieważ całość obliczeń jest wykonywana w algorytmie softwarowym na GPU (implementacja w CUDA), możliwa jest realizacja dowolnej metody rekonstrukcji obrazu – tj. zarówno klasycznego beamformingu, jak i nowych metod syntetycznej apertury.



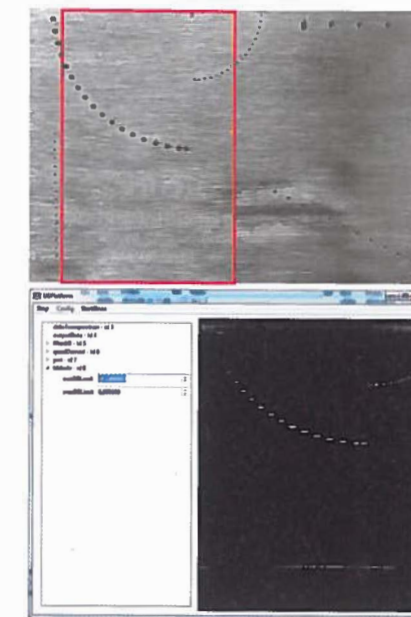
Rys. 1. Widok opracowanego demonstratora przenośnego systemu Phased-Array.

Fig. 1. View of the developed Phased-Array mobile demonstrator.

Przykładowo, zaimplementowano metodę obrazowania falą płaską (ang. PWI – Plane Wave Imaging) [5] dla nadawania pod 11 kątami. Do testów użyto głowicy Olympus 5L128 i częstotliwość nadawczą 5 MHz. Wynik obrazowania B-mode bloku testowego (model: SIUI Phased-Array Type-B, 1018 Steel) pokazano na (Rys. 2). Otwory $\varnothing = 2$ mm (po lewej stronie) są dobrze widoczne, i rozdzielają się, natomiast otwory $\varnothing = 1$ mm (po prawej stronie) są gorzej widoczne, co wynika ze zbyt niskiej częstotliwości nadawczej (dla 5MHz długość fali dla stali 1018 wynosi $\lambda \approx 1.2$ mm).

Należy podkreślić, że metoda PWI wymaga znacznie krótszego czasu akwizycji, co pozwala na zwiększenie prędkości skanowania. Klasyczne skanowanie dla 128 elementowej głowicy wymaga wykonania 128 nadań, dla zastosowanego PWI tylko 11 nadań. W tym wypadku ograniczeniem prędkości odświeżania obrazu nie jest czas akwizycji (jak to zwykle bywa w aparatach Phased-Array), tylko czas przetwarzania. Dla tej metody obrazowania na procesorze Tegra X1 uzyskano

odświeżanie 5 obrazów/sek. Dostępność nowych bardziej wydajnych procesorów GPU będzie stopniowo zwiększać prędkość rekonstrukcji i odświeżania obrazu.



Rys. 2. (na górze) Blok testowy Phased-Array (model: SIUI Phased-Array Type-B, 1018 Steel); (na dole) zrekonstruowany obraz B-mode, zaznaczonego fragmentu wzorca, metodą PWI. Fig. 2. (top) The Phased-Array test block (model: SIUI Phased-Array Type-B, 1018 Steel); (bottom) The reconstructed B-mode image using the PWI method.

3. Podsumowanie

Implementacja metod FMC/TFM w systemach Phased-Array wymaga nowej klasy aparatów. Zastosowanie softwarowych metod przetwarzania i rekonstrukcji obrazów z wykorzystaniem procesorów GPU pozwala uzyskać obrazowanie w czasie rzeczywistym. Opracowany demonstrator pokazuje, że już dzisiaj możliwe jest także wdrożenie zaawansowanych metod przetwarzania w sprzęcie przenośnym z wykorzystaniem mobilnych procesorów GPU.

Podziękowanie dla firmy Olympus Polska Sp. z o.o. za wypożyczenie bloku testowego do badań.

4. Literatura/References

- [1] M. Lewandowski, „Systemy głowic wieloprzetwornikowych – podstawy fizyczne”, XVII Seminarium NIENISZCZĄCE BADANIA MATERIAŁÓW, Zakopane, 8-11 marca 2011.
- [2] C. Holmes, B. W. Drinkwater, P. D. Wilcox, “Post-processing of the full matrix of ultrasonic transmit-receive array data for non-destructive evaluation”, *NDT&E International* 38(2005):701-711.
- [3] M. Lewandowski, „Nowe metody i zastosowania ultradźwiękowych systemów Phased-Array”, XXI Seminarium NIENISZCZĄCE BADANIA MATERIAŁÓW, Zakopane, 18-20 marca 2015.
- [4] M. Lewandowski, „Nowe metody syntetycznej apertury dla systemów Phased-Array”, XXII Seminarium NIENISZCZĄCE BADANIA MATERIAŁÓW, Zakopane, 18-20 marca 2016.
- [5] A. Volkera, “Plane Wave Imaging Using Phased Array”, 40th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, AIP Conf. Proc. 1581, 124-131 (2014); doi:10.1063/1.4864811.