

Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica V (2012)

Piotr Kulinowski

Nauczanie cyfrowego przetwarzania sygnałów z wykorzystaniem komputerów ogólnego przeznaczenia

Wraz z pojawieniem się mikroprocesorów otwały się niewyobrażalne możliwości. Bez nich nie byłoby m.in. współczesnej telekomunikacji i techniki medycznej. Bez możliwości rejestracji i przetwarzania sygnałów w sposób cyfrowy nie byłoby badań eksperymentalnych przy użyciu różnych metod fizycznych.

Na początek trochę historii. Wielokrotnie miałem możliwość słuchać opowieści pioniera magnetycznego rezonansu jądrowego w Polsce, prof. Jacka Hennela. Wśród nich była historyjka o kalkulatorze marki Helwett-Packard przywiezionym zza „żelaznej kurtyny”, trzymanym w kasetce metalowej jak największy skarb. Bo na owe czasy był to skarb. By móc go używać, zapisywano się na specjalnej liście. Można było na przykład policzyć „na piechotę” dyskretną transformatę Fouriera sygnału swobodnej precesji. Wszystko po to, żeby w rezultacie otrzymać upragnione „widmo”. Za przetwornik analogowo-cyfrowy służył papier milimetrowy, na którym zarejestrowany był sygnał, linijka oraz ołówek. W książce *NMR Data Processing* [1] jest zdjęcie, na którym laureat Nagrody Nobla w dziedzinie chemii w roku 1991, Richard Ernst służy za interfejs pomiędzy spektrometrem a komputerem przypominającym z wyglądu archaiczną maszynę do pisania. A od spektrometru sprzęgniętego z komputerem osobistym był już tylko krok do tomografii magnetyczno-rezonansowej (popularny „rezonans” używany w diagnostyce medycznej). Wystarczyła tylko możliwość wykonania w rozsądnym czasie dwuwymiarowej dyskretnnej transformaty Fouriera, by obrazy wnętrza ciała ludzkiego zaczęły się pojawiać na ekranach monitorów. To przykład z jednej tylko dziedziny.

Wracając do współczesności, to sytuacja wymaga, by student kończący kierunek techniczny (w szczególności ogólnotechniczny, taki jak edukacja techniczno-informatyczna) był świadom zarówno możliwości, jak i ograniczeń związanych z przetwarzaniem sygnałów w sposób cyfrowy. Jednym z celów zajęć powinno być wykazanie ograniczeń, wykazanie, że podobnie jak w innych działach techniki tutaj też mamy do czynienia z typową inżynierską sytuacją „coś za coś”. Bo niezależnie od tego, czy to fizyka doświadczalna, technika medyczna, telekomunikacja, mechanika – zasady są te same. Bardzo dobrze wyraża to tytuł książki, ostatnio przetłumaczonej na język polski: *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów dla naukowców i inżynierów*

autorstwa Stevena Smitha [2]. Książka ta została wydana po raz pierwszy nakładem firmy Analog Devices – firmy produkującej elementy i scalone układy elektroniczne. Już ten fakt sugeruje, że podejście autora nastawione jest na zrozumienie zagadnień i w konsekwencji na praktyczne ich zastosowanie. Omawiane w książce zagadnienia w wielu przypadkach stanowią uzupełnienie, a także zobrazowanie pojęć poznanych wcześniej w ramach zajęć z przedmiotów pokrewnych, takich jak elektrotechnika, elektronika oraz automatyka. Przykładem niech będzie choćby rozdział poświęcony przekształceniu Laplace’a. Książkę cechuje jasność, klarowność, a nade wszystko bardzo dobre ilustracje oraz programy napisane w języku BASIC. Ilustracje te stanowią znakomitą pomoc w zrozumieniu omawianych zagadnień. Dobrym wstępem do cyfrowego przetwarzania sygnałów jest też książka Richarda Lyonsa *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów* [3]. Specyfiką jej jest skoncentrowanie się na zagadnieniu dyskretnego przekształcenia Fouriera. Omawiane w obu książkach zagadnienia stanowią podstawę przetwarzania dźwięku i obrazu. Dlatego w niektórych uczelniach zajęcia z przetwarzania cyfrowego sygnałów odbywają się pod nazwą „Digital Media Processing”.

Praktyczne zapoznanie się z omawianymi zadaniami wymaga interaktywnej pracy z sygnałami i algorytmami przetwarzania. Zasadniczo, algorytmy przetwarzania cyfrowego służą do zaimplementowania w dedykowanych urządzeniach z procesorami sygnałowymi. Jednak nauczanie zasad przetwarzania cyfrowego sygnałów może odbywać się przy użyciu komputera osobistego wyposażonego w odpowiednie oprogramowanie. Takie podejście sprawia, że z jednej strony mamy możliwość pracy na sztucznie generowanych sygnałach, których parametry możemy łatwo zmieniać, z drugiej – ważną z punktu widzenia dydaktycznego jest możliwość importowania sygnałów dźwiękowych, obrazów (map bitowych), danych pomiarowych uzyskanych różnymi technikami służącymi do badań biomedycznych (np. tomografia komputerowa, elektrolottografia, spektroskopia i obrazowanie magnetyczno-rezonansowe). Największą zaletą takiego podejścia są praktycznie nieograniczone możliwości eksperymentowania.

Jedną z możliwości jest użycie popularnego w zastosowaniach inżynierskich oprogramowania MATLAB (MathWorks Inc.) [4], które jest zorientowanym macierzowo językiem programowania, służącym do wykonywania obliczeń numerycznych. MATLAB posiada dodatkowe pakiety narzędziowe do cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz przetwarzania obrazu. W skład pakietu narzędziowego Signal Processing Toolbox wchodzi między innymi aplikacja służąca do projektowania filtrów cyfrowych (Filter Design and Analysis Tool) z wbudowanym szerokim zestawem algorytmów projektowania.

Początki zastosowań programu MATLAB do nauczania zagadnień przetwarzania sygnałów przypadają na połowę lat 90., a klasyczną pozycją w tym temacie jest *Digital Signal Processing using MATLAB 4* [5]. Jakkolwiek MATLAB jest programem komercyjnym, to do celów dydaktycznych można użyć darmowych klonów MATLAB: SciLab [6] lub Octave [7]. Użyteczne kody programów MATLAB dotyczących przetwarzania cyfrowego sygnałów można znaleźć w wielu książkach, między innymi w książce prof. Tomasza Zielińskiego *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów* [8]. Dostarcza ona przede wszystkim aparatu matematycznego potrzebnego do pogłębienia znajomości zagadnień cyfrowego przetwarzania sygnałów, jed-

nak ważną jej częścią są wspomniane przed chwilą kody programów, służące jako ilustracja oraz punkt wyjścia do dalszych eksperymentów.

Inny kierunek nauczania zagadnień związanych z cyfrowym przetwarzaniem sygnałów reprezentuje wirtualne laboratorium „J-DSP” [9]. Laboratorium napisane w języku Java jest rozwijane konsekwentnie od kilku lat i łączy w sobie profesjonalizm i dydaktykę. Projektem od samego początku kieruje prof. Andreas Spanias. Całość jest zaprojektowana pod kątem zastosowań w e-nauczaniu [10, 11]. Projekt rozrósł się i jest obecnie realizowany przez siedem uniwersytetów: Arizona State University (ASU), Johns Hopkins University (JHU), University of Washington Bothell (UWB), and Prairie View A&M University (PVAMU), Rose-Hulman Institute of Technology (RHIT), University of New Mexico (UNM) oraz University of Cyprus (UCY). Dostęp do aplikacji jest darmowy – wystarczy komputer osobisty i dostęp do Internetu. Zakres funkcjonalności laboratorium obejmuje filtry cyfrowe, efekty audio, przetwarzanie, analizę i rozpoznawanie mowy, telekomunikację analogową i cyfrową (w tym techniki modulacji sygnału). Ponadto pakiet zawiera duży zestaw aplikacji służących do demonstracji różnych efektów, np. operacji splotu, wpływu położenia biegunów i zer na charakterystyki częstotliwościowe filtra cyfrowego. Rozwinięciem jest 2D J-DSP, pierwszy interaktywny „Digital Signal Processing Editor” – wirtualne laboratorium pozwalające przenieść poznane wcześniej zagadnienia na dwa wymiary. Przykładem przetwarzania dwuwymiarowych sygnałów jest przetwarzanie obrazów (map bitowych). Uzupełnieniem wirtualnego laboratorium są książki zawierające zestawy ćwiczeń laboratoryjnych [12, 13].

Na koniec jeszcze jeden przykład, zdecydowanie mniej ciekawy, ale pokazujący, że materiały dydaktyczne do cyfrowego przetwarzania sygnałów można przygotowywać przy użyciu różnych narzędzi. Praca Ramirez *et al.* [13] przedstawia przykłady materiałów dydaktycznych przygotowanych w środowisku MathCAD (Math Soft) [14].

Podsumowując, nauczanie cyfrowego przetwarzania sygnałów można podzielić na dwie osobne ścieżki: pierwsza to znajomość i rozumienie zagadnień wynikających z teorii, druga to umiejętność implementacji sprzętowej algorytmów. To drugie wymaga dedykowanych środowisk uruchomieniowych, będących połączeniem specjalistycznego sprzętu i oprogramowania. Pierwszy cel można zrealizować za pomocą różnych środowisk i języków programowania (np. MATLAB, JDSP) zaimplementowanych na komputerach ogólnego przeznaczenia.

Literatura

- [1] Hoch J.C., Stern A., *NMR Data Processing*, Wiley-Liss 1996
- [2] Smith S.W., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów DSP. Praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców*, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2007
- [3] Lyons R., *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, WKŁ, Warszawa 2006
- [4] <http://www.mathworks.com>
- [5] Ingle V.K., Proakis J.G., *Digital Signal Processing Using MATLAB*, CL-Engineering 2006
- [6] <http://www.scilab.org>
- [7] <http://www.gnu.org/software/octave>
- [8] Zieliński T., *Od teorii do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Wydawnictwo AEiE AGH, Kraków 2002

- [9] <http://jdsp.engineering.asu.edu/jdsp.html>
- [10] Spanias A., Atti V., *Interactive on-line undergraduate laboratories using J-DSP*, IEEE Trans. on Education (Special Issue on Web-based Instruction), 2005, 48(4), s. 735–749
- [11] Spanias A., *Digital Signal Processing: An Interactive Approach*, 2009
- [12] Spanias A., Painter T., Atti V., *Audio Signal Processing and Coding*, Wiley, 2007
- [13] Ramirez J.M., Gomez-Gil P., Paz-Luna O.J., Enriquez-Caldera R., *On Digital Signal Processing Understanding through Simulation and Animation Tools*, IEEE Multidisciplinary Engineering Education Magazine, 2008, 3(1), s. 12
- [14] <http://www.ptc.com/products/mathcad>

Teaching of Digital Signal Processing using general purpose computers

Abstract

The paper presents the essential aspects of Digital Signal Processing teaching. Effective teaching requires excellent books explaining basic issues, while practical teaching can be performed using general-purpose computers. The first practical approach requires technical computing language MATLAB. The second approach relies on the interactive, virtual DSP laboratory “J-DSP,” which allows e-learning.

Keywords: Digital Signal Processing, teaching, e-learning

Piotr Kulinowski
Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie
Instytut Techniki
ul. Podchorążych 2
30–084 Kraków