

Przedmowa

Współczesny świat, wypełniony niezliczoną masą czujników, sensorów, czy bardziej zaawansowanych urządzeń monitorujących zasypuje nas olbrzymią liczbą sygnałów, które muszą być analizowane w celu wypracowania adekwatnych do danej sytuacji decyzji. Problematyka ta trafia w obszar stosunkowo młodej dziedziny nauki określanej mianem *eksploracji danych* (ang. *data mining*), która ukierunkowana jest na wydobywanie informacji o szeroko rozumianym stanie obiektów fizycznych, w tym technicznych i biologicznych, w wyniku przetwarzania opisujących je wielkości elektrycznych i nieelektrycznych. Celem eksploracji danych jest dostarczanie odpowiednich algorytmów oraz reguł decyzyjnych pozwalających na ekstrakcję z zarejestrowanego sygnału cech dystynktywnych, charakterystycznych dla obserwowanego obiektu i pozwalających na określenie jego stanu.

Pojęcie stanu obiektu jest bardzo szerokie, np. w przypadku obiektu badań medycznych najbardziej podstawowe stany to *zdrowy* i jego dopełnienie – *chory*. Idąc dalej można określać rodzaj choroby, np. podczas badania stanu mięśnia można wyróżnić przypadek *prawidłowy*, *miogenny* i *neurogenny*. Podobnie, analizując obiekty techniczne możemy wyróżnić zarówno stany podstawowe, jak i bardzo szczegółowe. Przykładowo, obserwując emisję radiową możemy stwierdzić, że np. nadajnik radiofoniczny jest *włączony* lub *wyłączony* i – przechodząc do szczegółów – jeśli jest włączony, to że jest to emisja AM (modulacja amplitudy – ang. *Amplitude Modulation*) lub FM (modulacja częstotliwości – ang. *Frequency Modulation*) itd. Jeszcze innym charakterystycznym przykładem obiektu i jego stanów może być obserwowany samolot lub okręt, a jego stanem, niezmiernie istotnym z punktu widzenia dalszych działań, może być stan *swój* lub *obcy*. Przytoczone przykłady wskazują, że jednym z głównych zadań eksploracji danych, poza wykryciem nieznanych prawidłowości, wzorców, związków i anomalii w danych, jest zadanie klasyfikacji, czyli przyporządkowanie badanego obiektu do konkretnej klasy związanej z jego aktualnym stanem. Będziemy więc mieli klasy chorych i zdrowych, miopatii i neuropatii, nadajników AM i FM, okrętów swoich i obcych itd.

Zadanie klasyfikacji jest procesem wieloetapowym. Etap pierwszy nazywa się zazwyczaj etapem generacji cech dystynktywnych, następnie, w drugim etapie, przeprowadza się selekcję cech i w ostatnim etapie dokonuje się właściwej kla-

syfikacji opartej na wyselekcjonowanych cechach. Każdy z tych etapów jest niezbędny do prawidłowego przeprowadzenia procesu klasyfikacji, ale etap pierwszy zasługuje na miano najważniejszego, ponieważ wyekstrahowanie nieodpowiednich cech dystynktywnych nie może być w żaden sposób skorygowane w kolejnych etapach procesu klasyfikacji i w efekcie prowadzi do konstrukcji wadliwego klasyfikatora.

W celu skutecznej generacji cech należy w pierwszej kolejności tak przekształcić sygnał, aby był on dogodniejszy do dalszej analizy, a więc dokonać odpowiedniej transformacji sygnału. Najpopularniejsze transformacje sygnałów, będące treścią niniejszej książki, stosowane są nie tylko w celu generacji cech dystynktywnych, ale – może nawet częściej – w celu przedstawienia sygnału w alternatywnej, dogodniejszej z punktu widzenia konkretnych zastosowań, postaci. Z całą pewnością najpopularniejszą po postaci czasowej reprezentacją sygnałów jest reprezentacja w dziedzinie częstotliwości, określana mianem *widma* lub *spektrum* sygnału. Widmo, będące wynikiem analizy fourierowskiej, reprezentuje wynik rozkładu sygnału na sumę składowych harmonicznych, a jego interpretacja i przetwarzanie są podstawowymi technikami z dziedziny analogowego i cyfrowego przetwarzania sygnałów.

Na początku zawsze pojawia się pytanie: *Dlaczego akurat sygnały harmoniczne są tymi uprzywilejowanymi sygnałami, na które rozkładamy inne sygnały?* Odpowiedzi jest kilka. Sygnał harmoniczny (czyli sinusoidalny bądź kosinusoidalny) charakteryzuje się maksymalnie łagodnymi przejściami z jednego stanu do drugiego i opisuje mnóstwo naturalnych zjawisk fizycznych począwszy od ruchu wahadła, a skończywszy na opisie propagacji światła. Pochodna, określająca nachylenie, czyli szybkość zmian sygnału, w przypadku funkcji sinus jest funkcją kosinus, co oznacza, że w ekstremalnych wychyleniach szybkość zmian staje się zerowa, natomiast największa w momencie przejścia przez zero (wartości zerowe funkcji kosinus wypadają w maksimach funkcji sinus i odwrotnie), a cały przebieg jest płynny i pozbawiony jakichkolwiek nieciągłości. Co więcej, z czysto matematycznego punktu widzenia pochodna „sinusa” jest „kosinusem”, czyli pochodna funkcji harmonicznej jest taką samą w istocie funkcją harmoniczną tylko przesuniętą o 90 stopni. Idąc dalej zauważamy, że całka funkcji harmonicznej jest również taką samą funkcją harmoniczną tylko przesuniętą o 90 stopni w przeciwną stronę – te stwierdzenia, będące podstawą tzw. *metody symbolicznej*, mają kluczowe znaczenie w analizie liniowych układów elektronicznych. Ostatnia i najistotniejsza właściwość funkcji harmonicznych, do której jeszcze wielokrotnie będziemy wracać, to możliwość wykorzystania ich do utworzenia tzw. *bazy ortonormalnej* i – w konsekwencji – do rozkładu sygnałów.

Kolejne pytanie, które może nasuwać się, gdy jesteśmy zmuszeni przypomnieć sobie spory fragment odstręczającej matematyki (liczby zespolone, algebra liniowa, rachunek różniczkowy i całkowy, teoria dystrybucji, teoria aproksymacji itd.), żeby

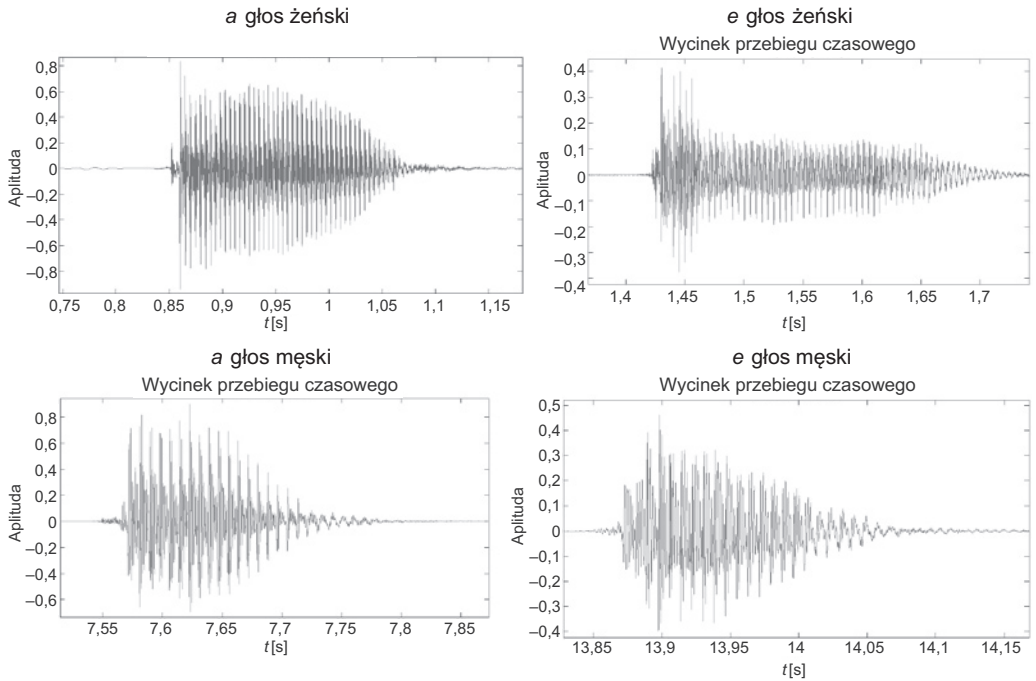
w ogóle wystartować w temacie transformacji sygnałów, to pytanie: *Czy rzeczywiście transformacje dadzą nam jakieś nowe spojrzenie na zjawisko reprezentowane przez analizowany sygnał?* W celu ilustracji, że faktycznie tak jest spójrzmy na **rysunek 1**, na którym przedstawiono około ćwierćsekundowe przebiegi czasowe głosek *a* i *e* wypowiedzianych głosem żeńskim i męskim, zarejestrowane monofonicznie z szybkością próbkowania 44 100 próbek na sekundę.

Jak widać przebiegi te są zupełnie nieczytelne. Jeśli jednak przedstawimy je w dziedzinie częstotliwości (**rysunek 2**), to obraz staje się całkiem klarowny. Jesteśmy w stanie bez problemu wychwycić różnice między głoskami *a* i *e* oraz między głosem żeńskim i męskim. Zaskakujące, że prosta transformacja fourierowska może tak zmienić postrzeganie...

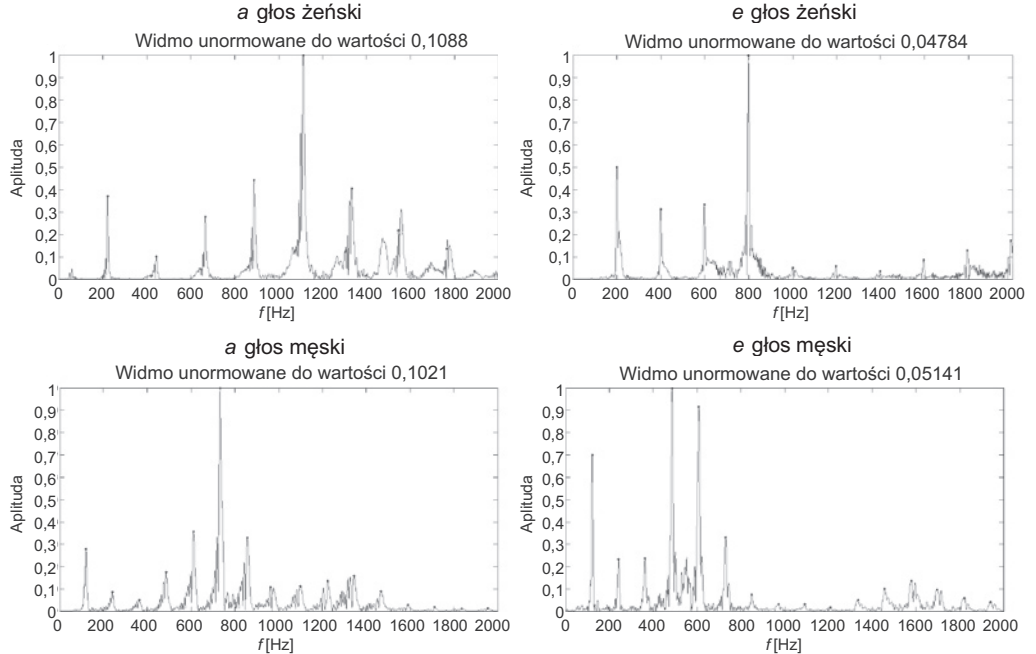
Warto powtórzyć tu za Lordem Kelvinem: *Twierdzenie Fouriera jest nie tylko jednym z najpiękniejszych wyników współczesnej analizy, ale można o nim powiedzieć, że dostarcza niezastąpionego instrumentu przy rozważaniu niemal każdego zawitego problemu w fizyce współczesnej.*

Książka, którą oddaję do rąk Czytelnika, przeznaczona jest dla studentów, inżynierów i pracowników naukowych uczelni technicznych oraz dla wszystkich zainteresowanych podbudowaniem i poszerzeniem wiedzy z obszaru cyfrowego przetwarzania sygnałów, a zwłaszcza dla Czytelników poszukujących nowego, nieco odświeżonego spojrzenia na tę dziedzinę. Książka podzielona jest na dwie logiczne części. W części pierwszej zaprezentowane są spójne i konsekwentne rozważania teoretyczne, które w zamiarze autora, powinny zapewnić zrozumienie istoty podstawowych transformacji stosowanych praktycznie podczas cyfrowego przetwarzania sygnałów. Druga część książki poświęcona jest wybranym zastosowaniom przedstawionej wcześniej teorii i prezentuje praktyczne rezultaty otrzymane przez zespół kierowany przez autora. Do swobodnego studiowania niezbędna jest podstawowa znajomość rachunku różniczkowego i całkowego, dlatego zamieszczono dodatek matematyczny wyjaśniający pojęcia oraz interpretację graficzną pochodnej i całki. W dodatku matematycznym przedstawiona jest ponadto arytmetyka liczb zespolonych, pojęcia skali logarymicznej i miary decybelowej oraz elementy rachunku macierzowego.

W celu przygotowania gruntu do dalszego opisu, w rozdziale 1 przedstawiono podstawy opisu sygnałów deterministycznych, umożliwiające interpretację sygnału definiowanego w dziedzinie czasu jako wektora w przestrzeni wielowymiarowej. W rozdziale 2, będącym w istocie kontynuacją rozdziału 1, dotyczącego aproksymacji sygnałów za pomocą funkcji bazowych, opisane są szeregi oraz transformacje Fouriera, w tym transformacja krótkoczasowa, będąca przykładem analizy czasowo-częstotliwościowej. Rozdział 2 kończy się prezentacją tzw. *analizy cepstralnej*, będącej modyfikacją analizy fourierowskiej, służącej do rozplotu składowych multiplikatywnych. Najbardziej znanym zastosowaniem rozplotu cepstralnego jest analiza sygnału mowy, pozwalająca na rozdzielenie składowej



Rys. 1. Przebiegi czasowe głosek a i e wypowiedzanych głosem żeńskim i męskim



Rys. 2. Widma głosek a i e wypowiedzanych głosem żeńskim i męskim

niosącej informację o tym *co jest mówione* od składowej niosącej informację o tym *kto to mówi*. W rozdziale 3 przedstawiono transformację falkową. Jest to współczesna odmiana analizy czasowo-częstotliwościowej, w której rolę częstotliwości pełni tzw. *skala*. Techniki dekompozycji falkowej, świetnie dostosowane do analizy sygnałów niestacjonarnych, są obecnie bardzo intensywnie rozwijane i w zasadzie obok technik fourierowskich należą już do kanonu cyfrowego przetwarzania sygnałów. W rozdziale 4, zamykającym pierwszą część książki, zarysowana jest, nieco odbiegająca od głównego nurtu książki, problematyka klasyfikacji oraz powiązane z nią zagadnienia pokrewne z obszaru eksploracji danych.

W otwierającym aplikacyjną część książki rozdziale 5 przedstawiono automatyczny system rozpoznawania mówców wykorzystujący analizę cepstralną sygnału mowy. Rozdział 6 poświęcono prezentacji wielosensorowego detektora upadków charakteryzującego się wysoką czułością i minimalną liczbą fałszywych alarmów, a w rozdziale 7 przedstawiono zastosowanie transformacji falkowej w diagnostyce schorzeń nerwowo-mięśniowych.

Podziękowania

Współautorami metod i urządzeń przedstawionych w części II są moi przyjaciele, wspólni młodzi ludzie, których miałem i mam zaszczyt prowadzić na ich drodze awansu naukowego. Są to, w kolejności osiągnięcia stopni naukowych: dr inż. Ewelina Majda-Zdancewicz, dr inż. Bartłomiej Wójtowicz oraz por. mgr inż. Kamil Kamiński. W opracowaniu metody diagnostyki medycznej, przedstawionej w rozdziale 7, nie sposób pominąć nieocenionego udziału mojego serdecznego przyjaciela, specjalisty neurologa dr. hab. n. med. Kazimierza Tomczykewicza – bez jego aktywnego współdziałania badania na tym kierunku nie mogłyby się nawet rozpocząć. Niniejszym składam wszystkim wymienionym serdeczne podziękowania za ich wielki wysiłek i zaangażowanie oraz za zgodę na wykorzystanie wyników uzyskanych w trakcie prowadzenia wspólnych prac naukowych.

Za istotną pomoc w opracowaniu dodatku matematycznego, za czas poświęcony na przeczytanie i korektę fragmentów pierwszej wersji rękopisu oraz za słowa szczerzej krytyki i dyskusje, które przyczyniły się do wzbogacenia niniejszej książki pragnę wyrazić serdeczną wdzięczność Panu dr. inż. Mariuszowi Wierzbowskiemu, współautorowi metody opisanej w rozdziale 7. Serdecznie dziękuję również pierwszemu czytelnikowi manuskryptu Panu ppor. mgr. inż. Pawłowi Stasiakiewiczowi za inspirowane uwagi i spostrzeżenia.

Osobne podziękowania składam Panu dr. hab. inż. Jackowi Jakubowskiemu oraz Opiniodawcom wydawniczym książki Panom Profesorom Piotrowi Augustyniakowi

oraz Stanisławowi Osowskiemu za wszystkie wnikliwe uwagi i życzliwą, konstruktywną krytykę.

Szczególne gorące podziękowania pragnę złożyć mojej ukochanej Żonie Krystynie; za... wszystko...

Andrzej Dobrowolski

Warszawa, 30 marca 2018 roku