

Cyfrowy obraz rzeczywistości analogowej – ćwiczenie laboratoryjne z informatyki użytkowej

Wstęp

„Cyfrowa jakość dźwięku i obrazu” to zwrot niemal tak powszechny jak „technologia informacyjna”. W obu przypadkach stopień poznania rzeczywistości i podstaw jej opisu daleki jest od doskonałego. Na szczęście dziś niewielu jest już uczestników ruchu drogowego, którzy po „piątce” wrzucają „R” (rakietę?) we własnym samochodzie, ale opanowanie podstaw techniki w zakresie napędu w pojeździe silnikowym trwało cały wiek. Warto dziś, przy wysokim stopniu samozadowolenia z szybkości postępu technologii informatycznej, zdobyć nieco więcej wiedzy, zwłaszcza w trakcie powszechnej edukacji szkolnej, naświetlających podstawy i reguły przetwarzania sygnałów. W artykule przedstawiono jeden z możliwych sposobów czytelnej ekspozycji trudnej problematyki, wyjaśniającej kluczowe problemy zamiany postaci informacji oraz wynikających z tego procesu zagrożeń i zaburzeń.

Środowisko człowieka, postrzegane zmysłami, jest i pozostanie analogowe, ciągle w swej istocie; takie też muszą być sygnały, którymi to środowisko mniej czy bardziej udatnie usiłujemy modyfikować. Sposób zamiany informacji analogowej na cyfrową i odwrotnie nie pozostaje bez znaczenia. Funkcjonujące w tym obszarze mity można i należy zamienić na rzetelną wiedzę wspartą prostymi ćwiczeniami laboratoryjnymi włączanymi do programu nauczania informatyki przede wszystkim na tym etapie edukacji, gdy ten przedmiot zmienia (lub powinien zmieniać) swą rolę z prostej obsługi komputera na algorytmicznie postrzegane przetwarzanie informacji z wykorzystaniem tego automatycznego liczydła. Wykorzystanie przy tym współczesnych narzędzi multimedialnych znakomicie podnosi jakość procesu dydaktycznego.

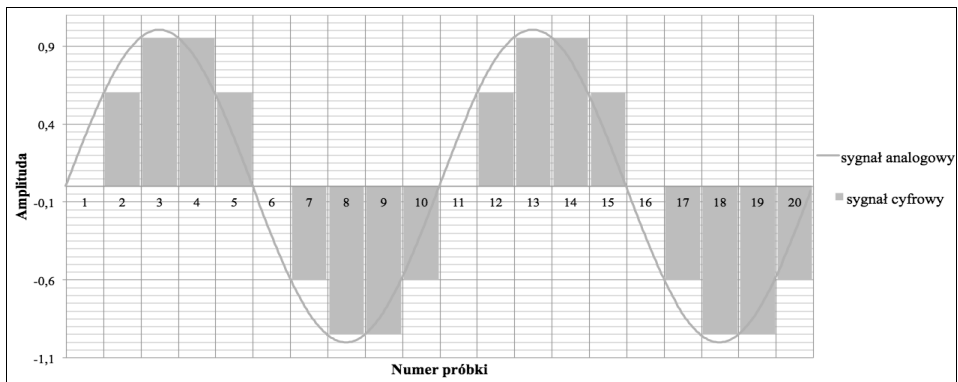
1. Cyfryzacja sygnałów analogowych

Ze względu na charakter materiału, który ma stanowić ćwiczenie do realizacji w szkole podstawowej i gimnazjalnej, niezbędne jest przytoczenie podstawowych definicji z zakresu elektroniki.

Elektronika jest dziedziną nauki, której tematyka skupia się na przetwarzaniu oraz odtwarzaniu informacji reprezentowanej zazwyczaj w postaci sygnałów elektrycznych [Pióro, Pióro 1994: 146]. Z uwagi na możliwość użycia współczesnego komputera do implementacji algorytmów sterowania zachodzi koniecz-

ność przetwarzania sygnałów ciągłych do postaci dyskretnej czytelnej dla komputera. Tym samym dziedzina przetwarzania A/C i C/A zyskuje na znaczeniu, a prawidłowe rozumienie tych zagadnień warunkuje użyteczność cyfrowych systemów sterowania. Tak więc edukacja od najmłodszych lat w dziedzinie przetwarzania A/C i C/A jest współcześnie szczególnie zasadna.

Dziedzinę przetwarzania sygnałów można podzielić na dwie kategorie: analogowe i cyfrowe. Mianem sygnału analogowego określa się przebieg ciągły w czasie, który może przyjmować ciągły zakres amplitud (np. dźwięk). W przebiegu cyfrowym zaś znane są jedynie wartości sygnału w dyskretnych punktach osi czasu. Kolejne próbki przyjmują wartości odpowiadające najbliższemu poziomowi kwantyzacji [Lyons 1999: 16]. Na rys. 1 przedstawiony został sygnał analogowy i odpowiadająca mu reprezentacja cyfrowa.



Rys. 1. Próbkowanie i kwantyzacja sygnału analogowego

Przetwornik analogowo-cyfrowy (A/C) jest układem służącym do zamiany sygnału analogowego na sygnał cyfrowy celem przetwarzania i przechowywania danych za pomocą cyfrowych urządzeń elektronicznych. Na przetwarzanie A/C składają się etapy próbkowania i kwantyzacji [Lyons 1999: 16].

Jak zostanie wykazane w kolejnym punkcie niniejszego artykułu, przypisywanie dyskretnych wartości amplitudom sygnału nawet przy bardzo dużej stracie informacji nie wpływa znacząco na rozpoznawanie dźwięku. Odmienna sytuacja ma miejsce w przypadku próbkowania. W tym opracowaniu przedstawiona zostanie koncepcja ćwiczenia pomagającego zrozumieć to zagadnienie.

2. Kwantyzacja

W celu weryfikacji wpływu kwantyzacji na jakość dźwięku zbadana została rzeczywista rozdzielczość karty dźwiękowej w komputerze stacjonarnym. Zintegrowana karta dźwiękowa wykorzystywana jest w każdym zwykłym komputerze w celu konwersji sygnału analogowego na sygnał cyfrowy oraz cyfrowego na analogowy.

2.1. Procedura testowania zintegrowanej karty dźwiękowej

Zintegrowaną kartę dźwiękową poddano testowi umożliwiającemu weryfikację poprawności przekazywanej przez nią informacji w porównaniu do sygnału oryginalnego.

Przygotowane zostały pliki typu WAVE zawierające pojedyncze tony o częstotliwościach: 20 Hz, 35 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz, 800 Hz, 1600 Hz, 3200 Hz, 6400 Hz, 12 800 Hz. Dla wszystkich plików przyjęto stałą częstotliwość próbkowania 44 100 Hz.

Sygnaly kolejno zostały odtworzone w programie do obsługi dźwięków i zarejestrowane na wyjściu słuchawkowym komputera przy użyciu 16-bitowego przetwornika analogowo-cyfrowego USB-1608FS-PLUS o 8 wejściach analogowych w układzie asymetrycznym z wybieranym programowo zakresem napięć wejściowych (± 10 V, ± 5 V, ± 2 V lub ± 1 V).

Celem określenia jakości zintegrowanej karty dźwiękowej firmy Realtek porównano sygnał wejściowy (wartości dla kolejnych chwil czasowych w pliku WAVE) oraz wyjściowy (sygnał na wyjściu słuchawkowym przetworzony do postaci cyfrowej). Na podstawie maksymalnej różnicy porównywanych przebiegów wyznaczono wartości nieliniowości całkowitej karty dźwiękowej dla różnych częstotliwości sygnału (tabela 1).

Tabela 1

Nieliniowość całkowita karty dźwiękowej dla różnych częstotliwości

częstotliwość (Hz)	50	100	200	400	800	1600	3200
nieliniowość całkowita (%)	18,69	6,95	4,325	4,05	4,18	3,035	3,205

Błąd nieliniowości całkowitej zintegrowanej karty dźwiękowej jest znaczący, z czego wynika formalne i realne zniekształcenie sygnału wyjściowego w porównaniu do wejściowego. Nieliniowość ta nie wpływa na odbiór przekazywanej informacji, dlatego też odtwarzany przy jej użyciu dźwięk mowy i muzyki jest dla człowieka akceptowalny, niemniej jednak badana karta dźwiękowa nie może służyć jako wiarygodne narzędzie pomiarowe.

3. Próbkowanie

Zgodnie z twierdzeniem Kotelnikowa-Shannona jeśli sygnał ciągły nie posiada składowych widma o częstotliwości równej lub większej niż szerokość pasma B, to może on zostać wiernie odtworzony z ciągu jego próbek tworzących sygnał dyskretny, o ile próbki te zostały pobrane w odstępach czasowych nie większych niż $1/(2B)$ [Smith 2007: 47].

Naturalne pasmo mowy mieści się w zakresie od 300 do 3400 Hz, co oznacza, że dla zachowania jej zrozumiałości należy próbkować taki sygnał z częstotliwością większą niż 6800 Hz. Przyjęcie częstotliwości próbkowania równej

44 100 Hz oznacza, że możemy przekazać całe pasmo akustyczne słyszalne dla człowieka uwzględniające nie tylko mowę, ale także muzykę czy hałas.

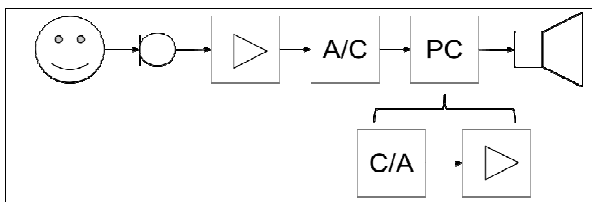
Liczba próbek, jakie pobierzemy z sygnału analogowego, znacząco wpływa na objętość przechowywanej informacji, ale również na jej jakość, dlatego ważny jest odpowiedni dobór próbkowania zgodny ze składnikami częstotliwościowymi przetwarzanego sygnału. W celu przybliżenia zagadnienia zaproponowano ćwiczenie laboratoryjne.

3.1. Ćwiczenie laboratoryjne

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest zapoznanie uczniów z zagadnieniem próbkowania, które przekłada się na rozpoznawanie mowy.

Ćwiczenie powinno przebiegać w trzech etapach: rejestracji dźwięku dla różnej częstotliwości próbkowania, weryfikacji zrozumiałości przez człowieka oraz weryfikacji przez program do automatycznego rozpoznawania mowy¹.

Na rys. 2 przedstawiony został schemat stanowiska pomiarowego.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego

3.1.1. Przebieg ćwiczenia

1. Rejestracja dźwięków – przy użyciu profesjonalnego mikrofonu, wzmacniacza i przetwornika analogowo-cyfrowego należy zarejestrować wartości kolejnych próbek wypowiedzi (zdania). Od każdego z uczestników zajęć należy pobrać sygnały o częstotliwościach od 44 100 Hz (umożliwiającej rejestrację całego pasma słyszalnego) do 344,5 Hz (przy której nie powinny być już słyszalne dźwięki mowy) z krokiem o oktawę, co odpowiada recepcji sygnału dźwiękowego jako 2 razy niższy (44 100 Hz, 22 050 Hz, 11 025 Hz, 5512,5 Hz, 2756,25 Hz, 1378,125 Hz, 689 Hz, 344,5 Hz):

- wariant A – wykorzystanie w dalszej części ćwiczenia dźwięków nagranych w poprzednim punkcie,
- wariant B – otrzymanie kolejnych sygnałów poprzez redukcję częstotliwości próbkowania z sygnału 44 100 Hz w programie AUDACITY².

2. Ocena zrozumiałości mowy – przy użyciu dobrej jakości głośników należy odtworzyć kolejne zarejestrowane (wariant A) lub przekształcone (wariant B)

¹ Kod do realizacji ćwiczenia dostępny pod adresem e-mail: maria.bienkowska@polsl.pl.

² AUDACITY – bezpłatny edytor i cyfrowa realizacja nagrania audio oprogramowania komputerowego dostępny w internecie: <http://audacity.pl/>.

sygnały pozostałym członkom grupy. Dźwięki powinny być odtwarzane od najniższej częstotliwości próbkowania do najwyższej. Zadaniem słuchających jest zdefiniowanie, dla której minimalnej częstotliwości próbkowania są w stanie określić treść wypowiedzi.

3. Ocena zrozumiałości przez program automatycznego rozpoznawania mowy – dźwięki należy odtworzyć analogicznie jak w poprzednim etapie, jednocześnie rejestrując je w programie do automatycznego rozpoznawania mowy (np. translator Google). W wyniku eksperymentu należy zdefiniować, dla jakiej minimalnej częstotliwości próbkowania zarejestrowany sygnał mowy może zostać rozpoznany przez program.

3.1.2. Wyniki eksperymentu

Powyższy eksperyment przetestowano dla krótkiego zdania: *Ala ma kota*.

W wariancie sprzętowej zmiany częstotliwości próbkowania badany stwierdził, iż słyszy 3 słowa, lecz nie rozumie przekazywanej treści dla częstotliwości 1378 Hz. Pełne zrozumienie treści nastąpiło przy częstotliwości 2756 Hz. W przypadku programowej zmiany częstotliwości próbkowania badany wskazał na słyszenie pewnych spółgłosek przy częstotliwości 1378 Hz. Pełne zrozumienie treści nastąpiło również przy 2756 Hz.

Eksperyment powtórzono przy wykorzystaniu translatora będącego darmowym produktem firmy Google. W testowaniu wariantu A translator zwrócił pierwszy wynik przy częstotliwości 2756 Hz, jednak był on błędny. Dla wyższych wartości częstotliwości wskazywał treść poprawną. W przypadku B translator zwrócił wynik już dla 1378 Hz, jednak poprawną odpowiedź wykazywał od 2756 Hz.

Podsumowanie

W dzisiejszych czasach, kiedy cyfryzacja sygnału ciągłego jest powszechnie wykorzystywanym przekształceniem, należy pochylić się nad skutecznością stosowanych narzędzi.

Dobór sprzętu akustycznego powinien być uzależniony od jego przeznaczenia. Często nie zastanawiamy się nad tym, ile informacji tracimy podczas użytkowania nieprofesjonalnego sprzętu, ponieważ w codziennym użytkowaniu różnice te są dla laika niedostrzegalne. Jednak dla profesjonalnego odsłuchu muzyki należy zadbać o przetwornik, który przenosi cały zakres wartości akustycznych tak, aby sygnał wyjściowy był możliwie jak najbliższym odwzorowaniem sygnału oryginalnego.

Dobierając częstotliwość próbkowania sygnału, powinniśmy natomiast rozważyć charakterystykę częstotliwościową przetwarzanego dźwięku.

Literatura

Bugdol M., Mitas A.W. (2014): *Multimodal Biometric System Combinig ECG and Sound Signals*, „Pattern Recognition Letters” vol. 38.

- Lyons R.G. (1999): *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Warszawa.
- Mitas A.W. (1998): *Informatyka użytkowa – podstawy*, Katowice.
- Mitas A.W. (2000a): *Kształcenie informatyczne studentów pedagogiki*, [w:] Sysło M.M. (red.), *Informatyka w Szkole XVI*, Mielec.
- Mitas A.W. (2000b), *Studia dwu-specjalnościowe w Cieszynie – komentarz do autorskiego programu nauczania w części informatycznej* [w:] *Pedagogika i informatyka*, Cieszyn.
- Mitas A.W., Bugdol M. (2010): *An Idea of the Human Voice Reaction Measurement system under the Aspect of Behavioral Biometric*, [w:] Piętka E., Kawa J. (red.), *Information Technologies in Biomedicine*, t. II, Berlin.
- Mitas A.W. i in. (2010): *Problemy biometrii. Monografia*, Warszawa.
- Pióro B., Pióro M. (1994): *Podstawy elektroniki. Podręcznik dla technikum. Część I*, Warszawa.
- Smith S.W. (2007): *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców*, Warszawa.

Streszczenie

Zagadnienie cyfrowej jakości dźwięku i obrazu jest związane przede wszystkim z parametrami przetwarzania analogowo-cyfrowego wymagającego czytelnej ekspozycji. W artykule zaprezentowano opis ćwiczenia laboratoryjnego możliwego do wykonania w praktyce szkoły ponadpodstawowej, mającego na celu ocenę wpływu częstotliwości próbkowania na jakość dźwięku.

Słowa kluczowe: sygnał analogowy, sygnał cyfrowy, próbkowanie, A/C, karta dźwiękowa.

Digital Image of Analog Reality – Laboratory Practice in Computer Science

Abstract

The issue of digital sound and picture quality is associated primarily with the parameters of the analog conversion, which requires clear exposure. The article presents a description of laboratory exercises that can be performed practically in secondary school. Aim of the exercise is the evaluation of the impact of the sampling frequency for audio quality.

Keywords: analog signal, digital signal, sampling, A/D, sound card.