

## BADANIE WŁAŚCIWOŚCI SYGNAŁU TELEGRAFICZNEGO ORAZ SYGNAŁU MOWY PRZESYŁANYCH PRZEZ KANAŁ ANALOGOWY

Marek BŁOK

Katedra Sieci Teleinformatycznych, Politechnika Gdańska  
tel: 58 347 27 79 fax: 58 341 56 06 e-mail: mblok@eti.pg.gda.pl

**Streszczenie:** W pracy zaprezentowano oprogramowanie TELESOUND, które powstało na potrzeby ćwiczenia pt. „Właściwości źródeł informacji” realizowanego w ramach laboratorium „Podstaw telekomunikacji”. W trakcie tego ćwiczenia studenci zapoznają się z podstawowymi pojęciami i mechanizmami funkcjonowania systemów telekomunikacyjnych przekazujących wiadomości na odległość poprzez kanał przestrzenny. Na przykładzie telegrafii i telefonii, studenci praktycznie poznają właściwości wiadomości generowanych przez źródło oraz cechy reprezentujących je sygnałów zapewniające skuteczne przesłanie przez kanał nadawanych wiadomości.

**Słowa kluczowe:** źródła informacji, telegrafia, telefonia.

### 1. WPROWADZENIE

Dowolną wiadomość, na podstawie której odbiorca wiadomości opiera swoje działanie nazywamy ogólnie informacją. Z kolei, źródłem wiadomości nazywamy układ, który generuje wiadomości (informacje). Źródłem informacji jest więc jakikolwiek obiekt wraz z jego obserwatorem (człowiekiem lub odpowiednim urządzeniem) badającym stan tego obiektu. Na ogół wiadomości przyjmują postać niedogodną do bezpośredniego przekazania na większą odległość. Stąd, aby przekazać wiadomość przez kanał do odbiorcy wiadomości, przyporządkowuje się jej wielkość fizyczną (sygnał) specjalnie przystosowaną do przesyłania przez kanał (rys. 1) [1].

#### 1.1. Telegrafia

Telegrafia zajmuje się przekazem wiadomości w postaci znaków pisma. Początki tej dziedziny telekomunikacji przypadają na lata 90-te XVIII wieku. Wtedy to Claude Chappe opracował telegraf optyczny, w którym posługiwano się semaforami oraz teleskopami zainstalowanymi na wieżach znajdujących się w odległości

od 16 do 32 kilometrów. Początek współczesnej telekomunikacji jednak należy do elektrycznego telegrafu skonstruowanego przez Samuela Morse'a przy współpracy Alfreda Vaila. Dla potrzeb tego urządzenia powstał specjalny kod, znany obecnie jako alfabet Morse'a, bazujący na systemie trójkowym (brak sygnału, krótki sygnał i długi sygnał). Pierwszą wiadomość telegraficzną, o treści „What hath God wrought” przesłano 24 maja 1844 r. z Sądu Najwyższego w Waszyngtonie na dworzec kolejowy w Baltimore [2].

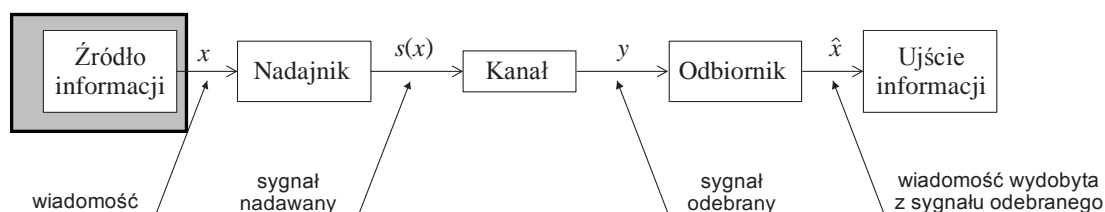
Przesłanie tekstu przez kanał wymaga przyporządkowania mu odpowiedniego sygnału. W praktyce realizuje się to dwuetapowo. W pierwszym kroku nadawany tekst poddaje się kodowaniu, np. tutaj za pomocą alfabetu Morse'a (tab. 1) [3]. Dopiero tak zakodowaną wiadomość przekształca się w sygnał stosując prostą modulację jaką jest kluczowanie amplitudy sinusoidalnej fali nośnej.

Tabela 1. Znaki alfabetu Morse'a z ciągami kodowymi polskich znaków diaktrycznych.

A	.-	K	-. -	U	.. -	À	.-. -
B	-...	L	.-...	V	... -	Ć	-.-...
C	-.-.	M	--	W	..- -	E	... ..
D	-..	N	-.	X	-.-. -	Ł	.-...
E	.	O	---	Y	-. - -	Ń	-. - -
F	...	P	..- .	Z	--..	Ó	---.
G	--.	Q	--- -			Ś	...-.
H	....	R	.-.			Ż	--...
I	..	S	...				

0	-----	5	.....	.	.-.-.-	-	-.-.-.-
1	.-----	6	-.....	,	---.-.-	(	-.-.-.-
2	..----	7	---...	:	----...	"	.-.-.-
3	...---	8	----..	/	.....-	@	.-.-.-
4	....-	9	-----	'	.....-		



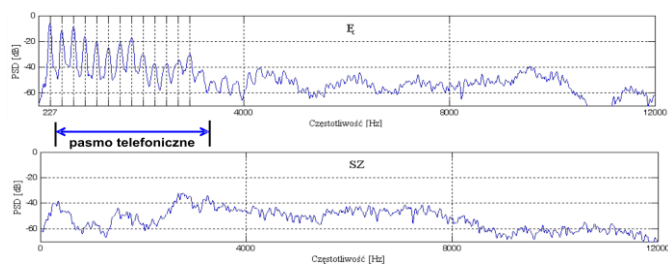
Rys. 1. Podstawowy schemat systemu przekazywania wiadomości za pomocą sygnałów.

## 1.2. Telefonia

Początki telefonii to eksperyment przeprowadzony 10 maja 1876 r. przez Alexandra Grahama Bella [4]. Za pomocą swego wynalazku przesłał on do sąsiedniego pokoju sygnał mowy o treści „Mr. Watson, come here. I want to see you”. W telefonii wiadomością jest wypowiedź słowna przyjmująca postać fali akustycznej. Istotą wynalazku Bella był pomysł, żeby zmienne ciśnienie akustyczne przekształcić do postaci sygnałów elektrycznych, które można następnie przesyłać w takim sam sposób jak sygnał telegraficzny. Nowy wynalazek rozpowszechnił się bardzo szybko i już w roku 1878 Bell uruchomił w New Haven pierwszą centralę telefoniczną. Natomiast w 1884 realizowano już międzymiastowe rozmowy długodystansowe pomiędzy Bostonem a Nowym Jorkiem.

## 1.3. Kanał przestrzenny

Obydwa powyższe systemy przesyłania informacji za pośrednictwem kanału analogowego znacząco się różnią. Transmisję telegraficzną cechuje widmo znacząco węższe od pasma sygnału telefonicznego, który posiada składowe częstotliwościowe sięgające nawet 20kHz (rys. 2). Jest to jednak okupione niewielką szybkością transmisji wyrażoną w liczbie nadawanych słów na minutę. W przypadku



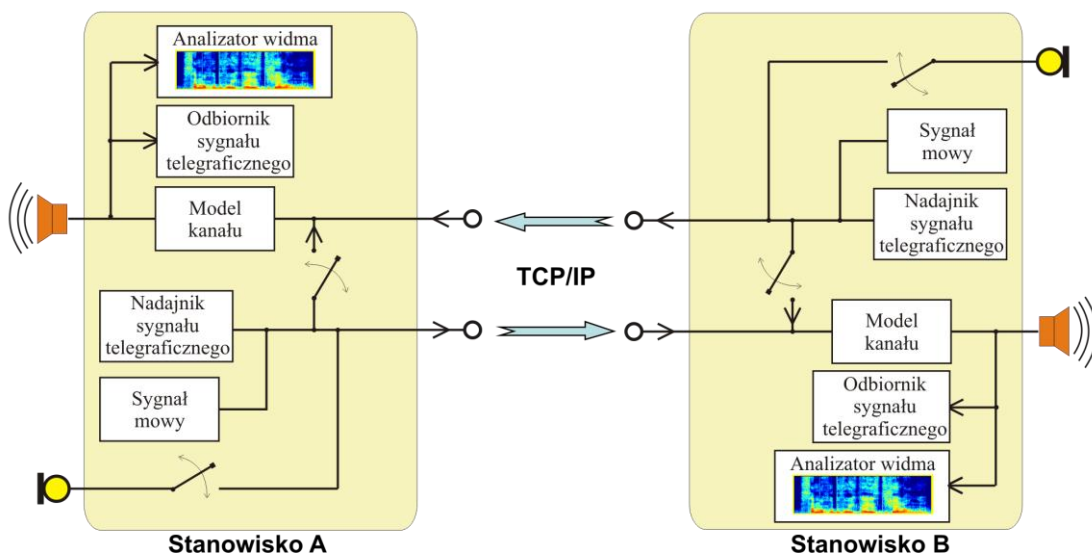
Rys. 2. Widmo gęstości mocy głosek: (u góry) dźwięcznej „ę” i (na dole) bezdźwięcznej „sz”.

sygnału mowy pojawia się jednak ograniczenie jakim jest dostępne pasmo kanału (rys. 2) wynikające z właściwości samego medium, jak i urządzeń występujących w torze telekomunikacyjnym. Dostępne pasmo kanału jest zasobem rzadkim i, przy masowości usług telefonicznych, bardzo ograniczonym. Stąd też konieczne jest przystosowanie sygnału mowy do kanału o znacząco mniejszej szerokości pasma. W telefonii analogowej dobrym rozwiązaniem okazało się ograniczenie pasma sygnału mowy do przedziału 300-3400Hz (rys. 2) [5] zwanego pasmem telefonicznym. Tak ograniczony sygnał mowy nadal cechuje duża zrozumiałość treści oraz rozpoznawalność osoby, intonacji i barwy głosu rozmówcy.

## 2. OPROGRAMOWANIE TELESOUND

Oprogramowanie modelujące interesujący nas system telekomunikacyjny przewidziano do pracy na dwóch stanowiskach komputerowych (rys. 3). Każde ze stanowisk może służyć zarówno do generacji badanych sygnałów, jak i do ich odbioru i analizy. Jednocześnie po stronie odbiorczej modelowany jest pasmowy kanał transmisyjny z addytywnym szumem białym.

Po stronie nadawczej generowane są sygnały telegraficzne oraz sygnały mowy rejestrowane mikrofonem bądź pobrane z bazy wypowiedzi różnych mówców. Sygnały te przesyła się pomiędzy stanowiskami komputerowymi (stacjami roboczymi) pracującymi w sieci lokalnej. Po stronie odbiorczej, na wyjściu modelu kanału, przeprowadzany jest odsłuch, analiza widmowa odebranych sygnałów oraz dekodowanie sygnałów telegraficznych. Operator oprogramowania może na bieżąco obserwować przebieg czasowy, widmo chwilowe albo spektrogram odebranego sygnału.



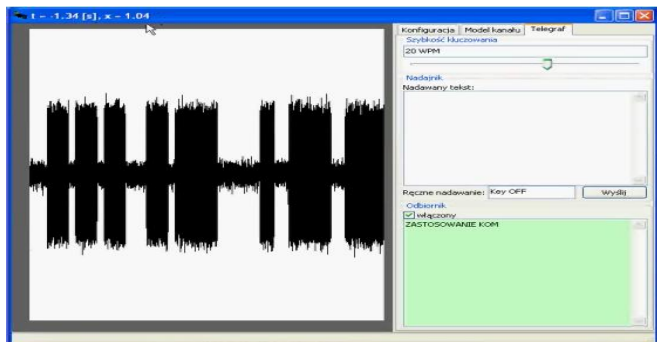
Rys. 3. Podstawowy schemat systemu przekazywania wiadomości za pomocą sygnałów.

## 2.1. Telegrafia

Źródłem sygnałów telegraficznych jest wbudowany w oprogramowanie nadajnik. Wprowadzony przez operatora tekst jest kodowany z użyciem kodu Morse'a (tab. 1). Następnie, dla zadanej szybkości transmisji, generowany jest sygnał przystosowany do transmisji poprzez kanał akustyczny z użyciem modulatora OOK (On-Off Keying) kluczującego amplitudę sinusoidalnej fali nośnej. Odsłuch

sygnałów po stronie odbiorczej pozwala na dekodowanie odebranej wiadomości ze słuchu. Dodatkowo, ponieważ przeciętny użytkownik oprogramowania nie posiada wystarczających umiejętności, odbiór i dekodowanie sygnału telegraficznego są również przeprowadzane automatycznie. Odbiornik wykrywa sygnał telegraficzny, dobiera progi detektora oraz wykrywa szybkość transmisji.

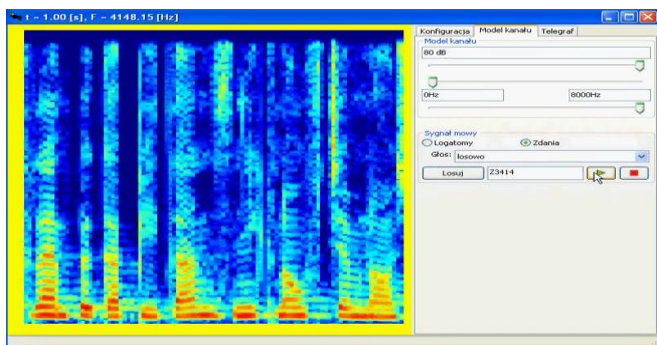
Odbierany sygnał po zdekodowaniu jest na bieżąco prezentowany w postaci tekstowej (rys. 4).



Rys. 4. Oprogramowanie TELEsound w trybie odbioru sygnału telegraficznego. Okno analizatora prezentuje przebieg czasowy odebranego sygnału.

## 2.2. Telefonia

Źródłem sygnału telefonicznego może być zarówno mikrofon jak i wypowiedź z bazy nagrań zarejestrowanych przez różnych rozmówców. Ze względu na możliwe rozbieżności pomiędzy szybkością próbkowania stosowaną w oprogramowaniu a tą z jaką zarejestrowano nagrania konieczne było zastosowanie algorytmu konwertującego szybkość próbkowania sygnałów źródłowych na bieżąco w trakcie pracy aplikacji. Głównym elementem tego algorytmu są cyfrowe dolnoprzepustowe filtry interpolacyjne. Użyto tutaj filtrów typu IIR (*Infinite Impulse Response*) ze względu na niskie koszty numeryczne ich implementacji. Już przy rzędzie 14 udało się uzyskać bardzo wysoką jakość konwersji. Jednak problemem w przypadku filtrów IIR jest możliwość utraty stabilności na skutek ograniczonej



Rys. 5. Okno analizatora prezentujące spektrogram odebranego sygnału telefonicznego. Po prawej stronie widoczna karta nastaw modelu kanału oraz wyboru sygnału mowy z bazy nagrań.

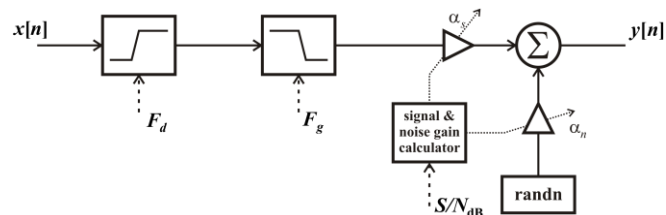
precyzji zapisu współczynników oraz wykonywanych działań arytmetycznych. Dla zapewnienia stabilności filtrów, pomimo zastosowania arytmetyki zmiennoprzecinkowej pojedynczej precyzji, konieczne było zaimplementowanie ich w postaci kaskady sekcji drugiego rzędu (SOS – *Second Order Section*).

Odbiór (odsłuch) i ocena sygnału przesłanego przez kanał jest realizowana poprzez operatora oprogramowania. Dodatkowo można obserwować w czasie rzeczywistym widmo oraz spektrogram odebranego sygnału (rys. 5).

## 2.3. Model kanału analogowego

W związku z tym, że interesują nas te właściwości źródeł informacji, które mają znaczenie w odniesieniu do systemu telekomunikacyjnego (rys. 1), w oprogramowaniu

zaimplementowano uproszczony model kanału (rys. 6). Zastosowano tutaj model kanału pasmowego z addytywnym szumem białym. Operator oprogramowania ma możliwość zmiany częstotliwości dolnej  $F_d$  i górnej  $F_g$  pasma kanału oraz stosunku mocy szumu w kanale odniesionej do mocy sygnału sinusoidalnego o amplitudzie jednostkowej  $S/N_{dB}$ .



Rys. 6. Schemat koncepcyjny zastosowanego modelu kanału.

Model kanału zaimplementowano z użyciem dwóch przestrajanych filtrów IIR, dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego, o tłumieniu w paśmie zaporowym 100 dB osiągniętym, w zależności od używanej szybkości próbkowania, przy rzędzie filtrów od 4 do 6. Konieczność przestrajania filtrów wykluczyła użycie tutaj struktury SOS, stąd zastosowano strukturę bezpośrednią [6]. Niskie rzędy filtrów pozwoliły na uzyskanie rozwiązań stabilnych, jednak zapewnienie stabilności w całym przedziale nastaw częstotliwości granicznych wymagało użycia wielomianów aproksymujących współczynniki struktury filtrów 15-tego stopnia.

Warto zauważyć, że aby zabezpieczyć się przed występowaniem przesterowań przy odtwarzaniu odebranego sygnału za pomocą karty dźwiękowej, przy jednoczesnym zapewnieniu dużego zakresu zmienności stosunku sygnału do szumu w modelu kanału, poza doбором mocy addytywnego szumu, wymagana jest jednoczesna korekta amplitudy transmitowanego sygnału.

## 3. EKSPERYMENTY

W ramach ćwiczenia laboratoryjnego, korzystając z oprogramowania TELESOUND, studenci zapoznają się z sygnałami telegraficznymi i telefonicznymi, ich brzmieniem i właściwościami widmowymi. Badają również odporność tych metod przesyłania informacji na ograniczanie pasma kanału oraz zakłócanie szumem białym.

### 3.1. Telegrafia

W ramach badania odporności transmisji telegraficznej na zawężanie pasma można przekonać się, że wymagane do poprawnej transmisji pasmo kanału jest bardzo wąskie. Jednocześnie łatwo zweryfikować, że transmisję telegraficzną cechuje bardzo duża odporność na zakłócenia. Okupione jest to jednak relatywnie niewielką szybkością transmisji, rzędu kilkudziesięciu słów na minutę. Aby przyspieszyć komunikację w praktyce telegraficznej wykorzystuje się naturalną nadmiarowość tekstu stosując skróty wyrazów bądź skrócone kody znaków. W telegrafii istotnym etapem przesyłania informacji, nie występującym w analogowej telefonii, jest kodowanie znaków pisma, co daje możliwość zapoznania się z koncepcją kodowania wiadomości.

### 3.2. Telefonia

W przypadku telegrafii istotna jest jedynie szybkość transmisji i jej poprawność wyrażona przez liczbę błędnie

odebranych znaków. W telefonii poprawność transmisji jest trudniejsza do zdefiniowania. Podstawową funkcją telefonii jest przekazanie wiadomości słownej. Jednak często sama zrozumiałość treści wypowiedzi jest niewystarczająca. Korzystając z programu TELESOUND studenci mogą się przekonać, że w zależności od dostępnego pasma kanału i poziomu szumu, po stronie odbiorczej uzyskujemy różne brzmienie głosu mówcy połączone z pewną utratą zrozumiałości. Dobór odpowiedniej szerokości pasma dla kanału telefonicznego jest przede wszystkim kompromisem pomiędzy jak najwęższym pasmem a utratą jakości brzmienia głosu prowadzącą do utrudnionego rozpoznania mówcy. Główną przewagą telefonii nad telegrafią jest właśnie możliwość identyfikacji mówcy po głosie.

Eksperymenty z odpornością głosu na ograniczanie szerokości pasma kanału oraz zakłócenia szumem są jednocześnie doskonałą okazją do zapoznania studentów z dwiema podstawowymi metodami oceny jakości stosowanymi w telefonii. Metoda MOS [7] (*Mean Opinion Score*) polega na subiektywnej ocenie przez grupę słuchaczy jakości sygnału mowy na podstawie odsłuchu odebranych wypowiedzi. Stosuje się tu pięciostopniową skalę. Ocena 5 odpowiada jakości rozmowy bezpośredniej. Ocena 4 odpowiada bardzo dobrej jakości rozmowy telefonicznej, co oznacza brak zniekształceń sygnału i dobrą identyfikację rozmówcy. Z kolei ocena 1 odpowiada całkowitemu brakowi zrozumienia wypowiedzi i niemożliwą identyfikację mówcy. Inaczej postępujemy w przypadku pomiaru średniej wartości wyrazistości logatomowej [8]. Pojęciem „logatom” określane jest sztucznie utworzony ciąg kilku głosek następujących po sobie zgodnie z prawidłami określonego języka, pozbawiony wszelkiej zawartości semantycznej, np. szypi, mijka, ben, chryszcze, mia, me, kon, ną, wszyst, mu, to, jon, pry, twa, iś, jeń. W trakcie badania wyrazistości logatomowej następuje odczytanie po stronie nadawczej list logatomowych, a następnie po stronie odbiorczej wysłuchanie ich i zapisanie przez grupę słuchaczy. Średnią wartość wyrazistości logatomowej definiuje się jako stosunek liczby logatomów prawidłowo odebranych do liczby wypowiedzianych logatomów uśredniony dla wielu słuchaczy.

#### 4. PODSUMOWANIE

W pracy przybliżono komputerową aplikację TELESOUND modelującą w czasie rzeczywistym system telekomunikacyjny na przykładzie telegrafii i telefonii. Oprogramowanie, pozwalając na regulację parametrów kanału w czasie rzeczywistym oraz udostępniając podgląd widm i odsłuch odebranych sygnałów, umożliwia studentom zapoznanie się z właściwościami źródłem informacji (tekst i mowa) w kontekście systemu telekomunikacyjnego. Opracowanie aplikacji wymagało zastosowania takich rozwiązań cyfrowego przetwarzania sygnałów jak zmiana szybkości próbkowania z użyciem filtrów typu IIR, modelowanie kanału z użyciem przestrajanych filtrów typu IIR, automatyczny detektor i demodulator sygnału telegraficznego oraz analizator widma. Całość wykonano korzystając z open source'owych narzędzi: kompilatora MinGW oraz biblioteki wxWidgets.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Haykin S.: Systemy telekomunikacyjne, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2004, ISBN 83-206-1272-1
2. Bellis M.: The History of the Electric Telegraph and Telegraphy, About.com Guide, <http://inventors.about.com/od/tstartinventions/a/telegraph.htm>
3. ITU-R Recommendation M.1677-1: International Morse code, Oct 1, 2009
4. Bellis M.: The History of the Telephone - Alexander Graham Bell, About.com Guide, <http://inventors.about.com/od/bstartinventors/a/telephone.htm>
5. ITU-T Recommendation P.10/G.100: Vocabulary for performance and quality of service, Jul 2006
6. Mitra S.: Digital Signal Processing, McGraw-Hill, 2005, ISBN 0-07-304837-2
7. ITU-T Recommendation P.800: Methods for subjective determination of transmission quality, Aug 1996
8. Polska Norma PN-90/T-05100: Analogowe łańcuchy telefoniczne: Wymagania i metody pomiaru wyrazistości logatomowej

## INVESTIGATION OF PROPERTIES OF TELEGRAPH AND TELEPHONE SIGNALS TRANSMITTED THROUGH ANALOG CHANNEL

**Key-words:** information sources, telegraph, telephone

The paper presents software tool TELESOUND, which has been developed for the laboratory exercise „Information sources properties” from the course „Fundamentals of Communications”. The goal of this exercise is to present students with fundamental terms and functions of communications systems exchanging messages through a spatial channel. On the basis of telegraph and telephone system models students in practice gain understanding of relationships between properties of messages generated by the information source and the signal properties required for successful reception of the transmitted messages on the other side of the channel.