

XIII Seminarium  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE 2003**  
Oddział Gdański PTETiS

## **KOMPUTEROWY PROGRAM DO ANALIZY HAŁASU**

**Józef KOTUS**

Politechnika Gdańska Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,  
Katedra Systemów Multimedialnych  
tel: (058) 347 1967 fax: (058) 347 1678 e-mail: joseph@sound.eti.pg.gda.pl

W pracy przedstawiono założenia i wyniki opracowywanej aplikacji do pomiaru i analizy poziomego hałasu, będącego częścią konstruowanego ogólnopolskiego systemu telemonitoringu hałasu. Aplikacja ta umożliwia analizę poziomu hałasu w czasie rzeczywistym i umożliwia porównanie tych wartości z aktualnie obowiązującymi w kraju normami, w zależności od miejsca i czasu dokonania pomiaru. Opracowano graficzny sposób prezentacji wyników pomiaru. W pracy zawarto ponadto opis wybranych algorytmów obliczeniowych zastosowanych w programie. Przedstawiono również analizę porównawczą (z systemem traktowanym jako wzorcowy) otrzymanych wyników pomiarów z wykorzystaniem opracowanego programu.

### **1. WPROWADZENIE**

Komputerowy Analizator Hałasu został opracowany z myślą o wykorzystaniu go w Systemie Monitorowania Zagrożeń Hałasem [1], opracowywanym w Katedrze Systemów Multimedialnych.

### **2. KOMPUTEROWY ANALIZATOR HAŁASU**

#### **2.1. Założenia**

Przed rozpoczęciem prac nad programem do analizy hałasu sformułowano następujące założenia, jakie powinien spełniać. Są to:

- prostota obsługi,
- działanie w czasie rzeczywistym,
- współpraca z dedykowaną przystawką USB do akwizycji dźwięku,
- umożliwianie gromadzenia i przesyłania wyników pomiarów do wybranego serwera za pomocą protokołu TCP.

## 2.2. Wymagania sprzętowe

Podczas testów opracowanej aplikacji ustalono wymagania sprzętowe, jakie powinny być spełnione, by analizator hałasu mógł działać bezawaryjnie. Są to:

- komputer PC z procesorem Pentium 133 MHz,
- kontroler USB (Universal Serial Bus),
- przystawka dźwiękowa z mikrofonem pomiarowym,
- system operacyjny: Windows 98/2000/XP oraz Linux,
- połączenie z siecią Internet w celu wysyłania zgromadzonych danych pomiarowych.

## 2.3. Wyznaczane parametry

Komputerowy Analizator Hałasu (KAH) opracowano w ten sposób, by umożliwić wyznaczanie wszystkich istotnych parametrów hałasu, określonych w obowiązujących normach. Wszystkie wyznaczane parametry zostały zebrane w tablicy 1.

Tablica 1. Parametry wyznaczane przez Komputerowy Analizator Hałasu

Parametry czasowe	Poziom RMS, wartość średnia oraz szczytowa niezależnie dla trzech stałych czasowych S/F/I
Parametry normatywne	Równoważny poziom dźwięku
	Średni równoważny poziom dźwięku (czas uśredniania – 1 h)
	Średni równoważny poziom dźwięku - pora dzienna, $L_d$ (godz.: 7 – 19)
	Średni równoważny poziom dźwięku - pora wieczorna, $L_e$ (godz.: 19 – 23)
	Średni równoważny poziom dźwięku - pora nocna, $L_n$ (godz.: 23 – 7)
	Średni równoważny poziom dźwięku (24 h)
Średni równoważny poziom dźwięku $L_{den}$	
Wielkości statystyczne	Maksymalny poziom dźwięku
	Średnie odchylenie poziomu dźwięku
	Maksymalne odchylenie poziomu dźwięku
Widmo tercjowe	Estymacja za pomocą FFT
	Analiza w oparciu o bank filtrów tercjowych
Histogramy	Dla wybranego parametru

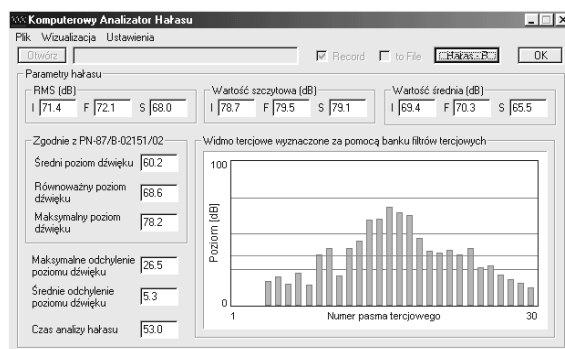
Można je podzielić na cztery grupy: do pierwszej zaliczają się parametry czasowe takie jak wartość chwilowa, skuteczna, średnia, maksymalna dla trzech stałych czasowych niezależnie (I/F/S) [2]. Druga grupa to parametry normatywne hałasu, takie jak poziom równoważny oraz inne wskaźniki na nim bazujące, uśredniane w różnych przedziałach czasowych. Trzeci rodzaj parametrów to wielkości statystyczne, pomocnicze w ocenie

charakteru zmienności analizowanego hałasu. Zaliczyć do nich należy również histogramy, wyznaczone niezależnie dla każdego parametru czasowego. Ostatnia grupa parametrów to widmo tercjowe analizowanego sygnału wyznaczone za pomocą FFT lub banku filtrów tercjowych.

Komputerowy analizator hałasu umożliwia prezentację wyznaczanych parametrów w czasie rzeczywistym. Dostępne są następujące metody wizualizacji: przebieg czasowy prezentujący zmianę wybranego parametru w czasie 100 ostatnich sekund, histogramy dla wybranego parametru czasowego oraz widmo tercjowe. Program na bieżąco porównuje wartości wyznaczanych wielkości z ustawowo określonym, dopuszczalnym poziomem hałasu w zależności od miejsca dokonywanego pomiaru (np. dla pomieszczenia przeznaczonego do pracy umysłowej wymagającej silnej koncentracji uwagi dopuszczalny poziom hałasu wynosi 35 dB [3, 4]).

### 3. WYBRANE ALGORYTMY

Oprogramowanie komputerowego analizatora hałasu napisano w środowisku Visual C++. Okno główne aplikacji przedstawiono na rysunku 1. Jest aplikacją obiektową, dzięki czemu w prosty sposób można ją rozbudowywać, dodając nowe funkcje.



Rys. 1 Okno główne KAH, prezentowane widmo tercjowe hałasu

Analiza hałasu jest dokonywana w trzech etapach. W pierwszym etapie analizy dokonywana jest korekcja krzywą A, zrealizowana za pomocą filtracji widmowej przy wykorzystaniu szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Rozmiar tablicy wejściowej wynosi 4096 próbek, zaś częstotliwość próbkowania sygnału jest równa 44.1 kHz. Do eliminacji nieciągłości fazy oraz minimalizowania przecieków widma wykorzystano okno von Hana oraz zastosowano 50 % nakładkowanie. W drugim etapie wyznaczane są parametry czasowe (tj. wartość średnia, skuteczna). W ostatnim etapie analizy wyznaczane są (na podstawie wartości skutecznej dla stałej czasowej S) parametry normatywne, takie jak poziom równoważny oraz pozostałe wskaźniki długookresowe oparte na poziomie równoważnym.

#### 3.1. Parametry czasowe

Poniżej zestawiono zależności na podstawie których wykonywane są obliczenia wybranych parametrów wyznaczanych przez opracowany analizator hałasu.

Wyznaczanie wartości skutecznej hałasu na podstawie dyskretnego sygnału skorygowanego krzywą A:

$$A_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x[n]^2} \quad (1)$$

gdzie:

$N$  – liczba uśrednianych próbek,  $x[n]$  – dyskretny sygnał hałasu, skorygowany krzywą A.

Wyznaczanie poziomu hałasu w decybelach:

$$L_{AdB} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{A_{RMS}}{A_0} \right) \quad (2)$$

gdzie:

$A_{RMS}$  – wartość skuteczna hałasu,  $A_0$  – poziom odniesienia.

### 3.2. Widmo tercjowe

Analizator hałasu umożliwia wyznaczenie widma tercjowego za pomocą banku filtrów tercjowych lub na podstawie analizy FFT. Metoda oparta o bank filtrów tercjowych wykorzystuje 3 filtry pasmowo-przepustowe Czebyszewa pierwszego typu, 4. rzędu o zafalowaniach w paśmie przepustowym na poziomie 0,1 dB. Częstotliwości środkowe filtrów wynoszą odpowiednio 8, 10 i 12,5 kHz. Częstotliwości graniczne filtrów zostały dobrane tak, by spełniały zalecenie IEC 1260 [1]. Wyznaczanie widma tercjowego odbywa się iteracyjnie, przy zastosowaniu 2-krotnej decymacji sygnału wejściowego w kolejnym kroku. Dla uniknięcia efektu nakładania się widm zaprojektowano odpowiedni filtr antyzakładowy. Wykorzystano w tym przypadku dolnoprzepustowy filtr kaskadowy Czebyszewa pierwszego typu. Wybór filtrów Czebyszewa był podyktowany możliwością ich optymalizacji pod względem obliczeniowym, ze względu na uzyskiwane wartości współczynników filtrów [5].

### 3.3. Parametry hałasu

Wyznaczanie poziomu równoważnego dźwięku odbywa się na podstawie następującej zależności [6]:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N 10^{0,1 \cdot L_{AdBi}} \right) \quad (3)$$

gdzie:

$L_{Aeq}$  – równoważny poziom dźwięku A,  $L_{AdBi}$  – wartość skwantowanego poziomu dźwięku A,  $N$  – liczba wartości skwantowanego poziomu dźwięku.

Do wyznaczania poziomu równoważnego dla pory dziennej, wieczornej i nocnej oraz wyznaczanie dalej zdefiniowanego wskaźnika  $L_{den}$ :

$$L_{d,e,n} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{N} \cdot \sum_{>hstart}^{hstop} 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \quad (4)$$

gdzie:

$L_{d,e,n}$  – poziom równoważny dźwięku dla pory dziennej  $d$ , wieczornej  $e$  oraz nocnej  $n$ ,  $L_i$  – poziom równoważny dźwięk dla  $i$  – tej godziny,  $N$  – liczba godzin dla wybranej pory. Zakres

sumowania określono w godzinach,  $h_{start}$  - godzina rozpoczęcia uśredniania,  $h_{stop}$  - godzina zakończenia uśredniania.

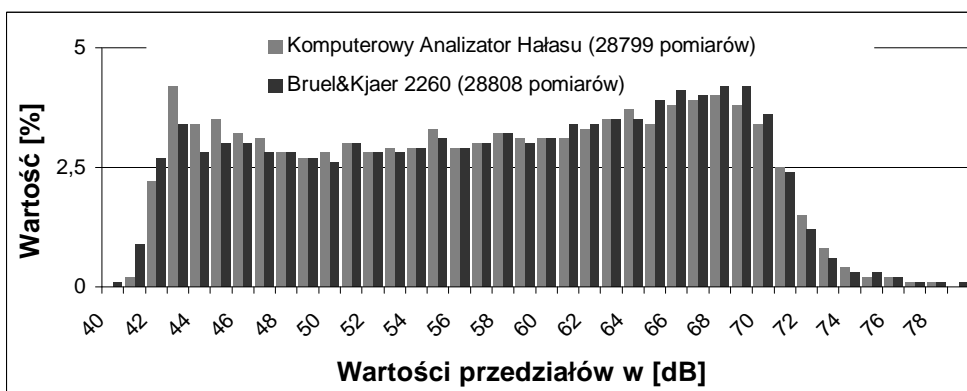
Na podstawie wyznaczonych wartości poziomów równoważnych dźwięku dla dnia, wieczora i nocy, wyznaczana jest wartość wskaźnika  $L_{den}$ , (dzień – wieczór – noc), według wzoru (5):

$$L_{den} = 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{24} \cdot \left( 12 \cdot 10^{0,1 \cdot L_d} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot (L_e + 5)} + 8 \cdot 10^{0,1 \cdot (L_n + 10)} \right) \right] \quad (5)$$

gdzie:  $L_d$ ,  $L_e$ ,  $L_n$  — poziomy równoważne hałasu za okres odpowiednio dnia, wieczora i nocy, uśrednione za okres całego roku, mierzone zgodnie z normą ISO 1996 i wytycznymi zawartymi w dyrektywie [7].

#### 4. ANALIZA PORÓWNAWCZA

Opracowany analizator hałasu poddano testom porównawczym z profesjonalnym miernikiem poziomu dźwięku firmy Bruel&Kjaer typu 2260 Investigator. Na rysunku 2 przedstawiono uzyskane histogramy. Analiza porównawcza polegała na pomiarze hałasu w czasie 1 godziny. Źródłem hałasu był głośnik, z którego odtwarzano różne dźwięki: szumy, muzykę o zróżnicowanej dynamice. Analizy dokonano w sali 736 WETI.



Rys. 2 Histogram poziomu dźwięku A (stała czasowa F) dla badanych mierników

Przed przystąpieniem do pomiarów dokonano kalibracji porównywanych przyrządów pomiarowych, następnie mikrofony pomiarowe umieszczono możliwie blisko siebie w odległości 1 m od głośnika. Przyrządy pomiarowe nie były ze sobą zsynchronizowane, dołożono starań, by zwłoka wynikająca z ręcznego wyzwolenia obu mierników była możliwie mała (ok. 0.1 s). Ta zwłoka mogła mieć jednak pewien wpływ na rozkład uzyskanych wyników w wyznaczonych histogramach. Porównywano histogramy wartości skutecznej dźwięku dla stałej czasowej F (125 ms), skorygowanego krzywą A oraz poziom równoważny dźwięku uśredniony za okres 1 godziny. Na uwagę zasługuje fakt dużej zgodności uzyskanych histogramów. Uzyskana wartość poziomu równoważnego była taka sama dla obu mierników i wynosiła 64.2 dB. Pomiar porównawczy powtórzono godzinę

później. Tym razem nie generowano dodatkowych dźwięków lecz analizowano hałas w pomieszczeniu. Zaobserwowano nieznaczną rozbieżność wyników – wynosiła ona 0.2 dB. Uzyskane wartości wynosiły odpowiednio 47.9 dB – dla zestawu B&K 2260, 48.1 dB – dla opracowanego zestawu. Dalsza analiza wykazała, że największa rozbieżność w uzyskanych wynikach występuje przy analizie bardzo małych poziomów hałasu (rzędu 30 dB). Wynika to z szumów własnych zastosowanego mikrofonu pomiarowego, a więc nie od działania aplikacji.

## 5. PRZEWIDYWANE APLIKACJE

Opracowana aplikacja docelowo ma przesyłać, wyznaczone w wybranych punktach pomiarowych, parametry hałasu do centralnej bazy danych. Tak uzyskane wyniki będą podlegały dalszej analizie i wizualizacji. Program KAH ma być również wykorzystywany do zdalnego monitorowania hałasu za pomocą jednoukładowych komputerów działających w systemie Linux.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Czyżewski A., Kotus J.: Zastosowanie współczesnej technologii teleinformatycznej do powszechnej diagnostyki zagrożeń hałasowych; *VI Koszalińska Konferencja Naukowo-Techniczna „Hałas – Profilaktyka – Zdrowie”*, Kołobrzeg, 12-14.11.2002.
- [2] Bruel&Kjaer, Technical Documentation, Modular Precision Sound Analyzer 2260.
- [3] PN-84/N-01307.: Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku na stanowiskach pracy i ogólne wymagania dotyczące przeprowadzania pomiarów.
- [4] PN-87/B-02151/02.: Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [5] Orfanidis S. J., *Introduction to Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1996.
- [6] Polska Norma PN-ISO 1996, (Cz. 1, 2, 3).
- [7] Dyrektywa UE w sprawie zbierania i obróbki danych z zakresu hałasu środowiskowego, Directive 2002/49/EC of The European Parliament and of The Council.

## COMPUTER SOFTWARE FOR NOISE ANALYSIS

In the paper assumptions and results of developed noise analysis software are presented. The application is a part of allpolish telemonitoring noise analysis system. The application allows a noise analysis in a real time. It allows to compare computed noise values with actual standardized reference values. The developed graphic method for visualization of measured values is presented. Moreover the paper contain description of selected computing algorithms which were used it the software. Finally the comparative analysis (with a standard equipment to noise measurement) of obtained measurement results is presented.