

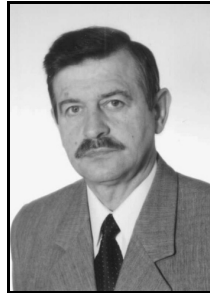
Henryk MADURA

WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI,
ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

Pasywny czujnik podczerwieni o dużym zasięgu wykrywania do zastosowań w systemach ochrony

Dr hab. inż. Henryk MADURA

Specjalista w dziedzinie optoelektroniki, techniki podczerwieni i termowizji. Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1976). Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 1983, a stopień doktora habilitowanego w 1999 roku. W latach 1991-1997 zastępca dyrektora Instytutu Optoelektroniki. Opublikował ponad 150 artykułów i referatów konferencyjnych. Autor i współautor 19 wdrożeń i 12 patentów. Od 2000 roku profesor Wojskowej Akademii Technicznej.



e-mail: hmadura@wat.edu.pl

Streszczenie

W artykule opisano budowę i działanie czujnika podczerwieni o dużym zasięgu wykrywania intruzów. Omówiono elektroniczny układ toru detekcyjnego oraz sposób analizy sygnału. Przedstawiono wyniki badań czujnika dla wybranych sytuacji pomiarowych.

Słowa kluczowe: czujniki PIR, systemy ochrony

Passive IR sensor with extended detection range for security systems

Abstract

The paper presents a construction and principle of operation of long range IR sensor. Electronic circuit and the implemented methods of signal processing are described as well as test results for selected measurement scenarios.

Keywords: PIR detector, security systems

1. Wprowadzenie

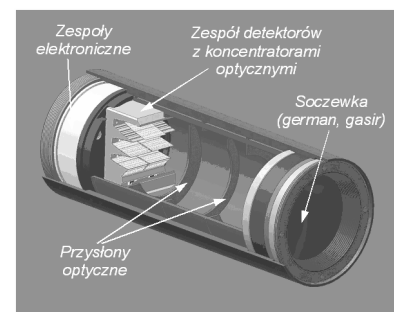
Głównymi elementami systemów ochrony są pasywne czujniki podczerwieni (detektory PIR, czujki ruchu, czujki podczerwieni, czujki PIR). Czujniki pracujące wewnątrz budynków mają na ogół niewielki zasięg wykrywania, małe zakresy temperatury pracy oraz stosunkowo proste algorytmy wykrywania intruzów. Czujniki stosowane do ochrony obiektów zewnętrznych (budynków, lotnisk) lub dużych obszarów mają większe zasięgi wykrywania oraz złożone algorytmy analizy sygnału, od których w znacznym stopniu zależy skuteczność ich działania. Istotną wadą obecnie dostępnych czujników podczerwieni jest między innymi niska skuteczność wykrywania bardzo wolno przemieszczających lub czołgających się ludzi, ponieważ sygnały pochodzące od takich obiektów mają podobne cechy do sygnału wywołanego szumem termicznym tła lub dryftem termicznym sygnału z detektora. Ponadto, aby wykryć wolno poruszających się (lub czołgających się) ludzi, to dolna częstotliwość graniczna pasma przenoszenia czujnika podczerwieni być prawie równa zero. Wraz ze spełnieniem tego warunku następuje zwiększenie szumów niskoczęstotliwościowych, co z kolei zmniejsza czułość czujnika, więc algorytmy wykrywania intruza muszą być inne niż dla typowych czujników podczerwieni. Aby wykrywać czołgających się ludzi należy zastosować większą liczbę detektorów (więcej stref detekcji), co zwiększy stosunek sygnału do szumu, gdyż każdy z detektorów będzie „widział” mniejsze pole obserwacji.

Czujniki promieniowania stosowane w systemach ochrony do wykrywania ludzi pracują w zakresie widmowym dalekiej podczerwieni (8÷14) μm . W czujnikach tych są stosowane najczęściej detektory piroelektryczne, które umożliwiają wykrycie zmiany temperatury już rzędu 10^{-6}K . Zastosowanie pojedynczego detekto-

ra piroelektrycznego nie umożliwia odróżnienia zdarzeń o charakterze alarmowym od tzw. fałszywych alarmów spowodowanych np. turbulencjami powietrza lub zmianami temperatury tła, następującymi wskutek promieniowania słonecznego. Dlatego w czujnikach podczerwieni najczęściej stosuje się detektory z dwoma elementami aktywnymi (dwa detektory), a sygnał alarmowy określa się w oparciu o analizę różnicy (lub sumy) ich sygnałów wyjściowych. [1, 2]. Zazwyczaj detektory są montowane wraz z tranzystorem i rezystorem polaryzującym jego bramkę w standardowych, hermetycznych obudowach. Wartość tego rezystora może wynosić nawet do $10^{11}\Omega$, w zależności od konfiguracji przedwzmacniacza. Najczęściej jako element wzmacniający są stosowane tranzystory JFET lub MOSFET zamontowane w pobliżu detektora.

2. Budowa czujnika

Głównymi elementami czujnika podczerwieni są: obiektyw (zwierciadlany lub refrakcyjny), zespół detektorów oraz układy elektroniczne (rys. 1). Detektory przekształcają sygnał optyczny emitowany z „obserwowanej” powierzchni na sygnał elektryczny. Przez układy elektroniczne sygnał ten jest przetwarzany (wzmacniany, filtrowany, próbkowany), a następnie analizowany przez system mikroprocesorowy.

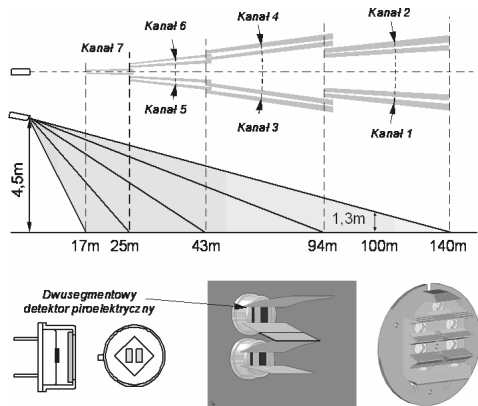


Rys. 1. Uproszczonego schematu budowy czujnika podczerwieni
Fig.1. Simplified diagram of IR sensor

Prezentowany w artykule czujnik wykrywa czołgających się ludzi z odległości 140 m. Duży stosunek sygnału do szumu uzyskano poprzez zastosowanie większej liczby detektorów, czyli zwiększenie liczby stref detekcji (kanałów). Zastosowanie większej liczby detektorów wymusza konieczność opracowania złożonego układu optycznego (rys. 2). Układ optyczny czujnika zapewnia ciągłość stref detekcji (czyli brak jest obszarów „martwych” pomiędzy poszczególnymi strefami detekcji) [4].

Sygnały radiacyjne wywołane przez wolno przemieszczającego się, a zwłaszcza czołgającego się, człowieka charakteryzują się podobnymi amplitudami luminancji oraz szybkościami jej zmiany w czasie jak fluktuacje promieniowania tła. Amplituda sygnału z detektorów piroelektrycznych jest wprost proporcjonalna do szybkości zmiany sygnału radiacyjnego w czasie (tj. do szybkości poruszającego się obiektu). Niekorzystną właściwością detektorów piroelektrycznych jest dryft napięcia (detektor piroelektryczny konstrukcyjnie jest wyposażony w tranzystor polowy pełniący rolę wtórnika napięciowego), który przy małych prędkościach przemieszczania się intruza może mieć charakterystyki czasowe sygnałów porównywalne z charakterystykami pochodzącymi od poruszającego się człowieka. Zatem, aby czujnik mógł skutecznie wykrywać wolno poruszającego się człowieka, konieczne jest opracowanie algorytmu rozróżniającego zarówno cechy charakte-

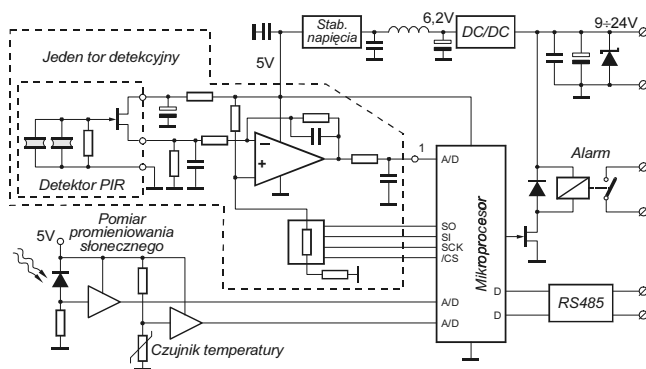
rystyczne zmiany sygnału z detektora wywołanych szumem fotonyowym tła jak i zmiany sygnału wywołanych dryftem temperatury detektora.



Rys. 2. Strefy detekcji czujnika podczerwieni w płaszczyźnie poziomej (u góry) i pionowej (w dolnej części rysunku detektory piroelektryczne z koncentratorami optycznymi oraz widok zespołu detekcyjnego z siedmioma dwusegmentowymi detektorami)

Fig. 2. Top: Detection zones of IR sensor in horizontal and vertical planes. Bottom: Pyroelectric detectors with optical concentrators and general view of detection block with seven two-segment detectors

Uproszczony schemat funkcjonalny układu elektronicznego czujnika podczerwieni przedstawiono na rys. 3. Na wejście „+” stopnia wzmacniającego podawane jest napięcie odniesienia uzyskane z dzielnika rezystorowego i cyfrowego potencjometru, włączonego między napięcie zasilania i masę układu. Napięcie odniesienia (regulowane za pomocą cyfrowego potencjometru elektronicznego sterowanego z mikroprocesora) służy do eliminacji składowej stałej sygnału uzyskiwanego z detektora. Składowa ta ulega znacznym zmianom wraz ze zmianami temperatury w otoczeniu detektora piroelektrycznego (ze względu na zmianę prądu wyjściowego tranzystora polowego zależną od temperatury).



Rys. 3. Uproszczony schemat funkcjonalny układu elektronicznego czujnika podczerwieni

Fig. 3. Simplified diagram electronic circuit of IR detector

Jeżeli napięcie wyjściowe wzmacniacza będzie mierzone i analizowane przez mikroprocesor, który w swoim algorytmie działania uwzględni przesuwanie poziomów (nastaw potencjometrów), to można wykazać, że napięcie obliczone (przez mikroprocesor) może być dużo większe niż napięcie zasilania. Jest to niewątpliwą zaletą wykonanego układu.

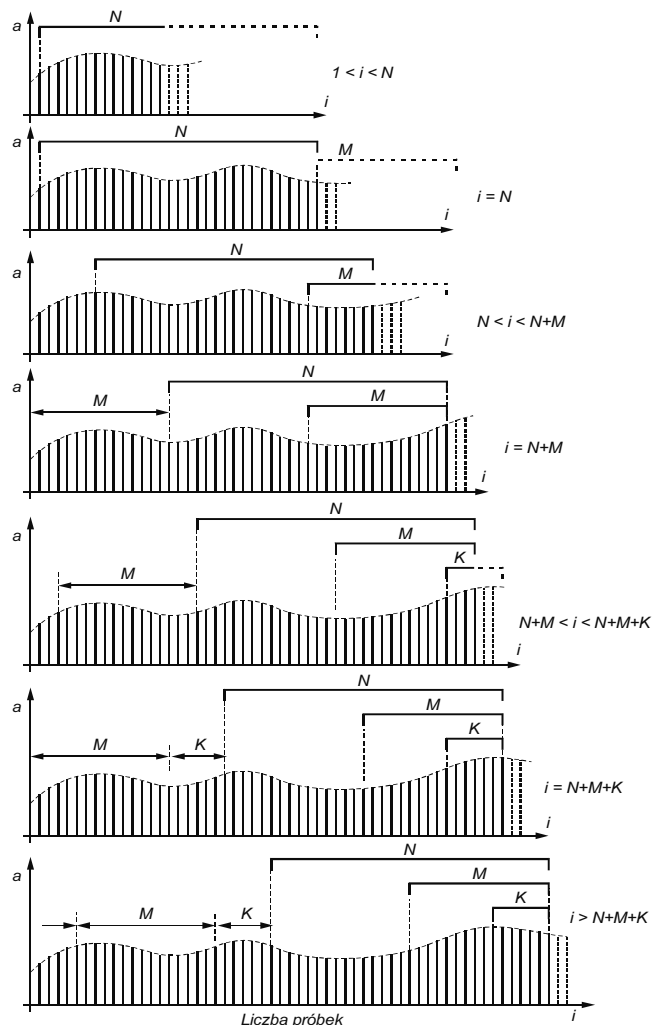
Stosowanie potencjometrów elektronicznych wymaga wstępnego ustalania ich zakresów pracy za pomocą zewnętrznych rezystorów. Poza tym np. 8-bitowa rozdzielczość nastaw potencjometrów okazuje się często niewystarczająca przy dużej dynamice sygnału wejściowego. Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie w miejsce potencjometrów przetworników cyfrowo-analogowych [3].

W układzie elektronicznym czujnika zastosowano układ do pomiaru natężenia promieniowania słonecznego, z którego informację uwzględnia się przy realizacji algorytmu wykrywania obiektu. Dane z układu pomiaru temperatury można zastosować do załączania układu miniaturowego grzejnika zamontowanego wewnątrz obudowy czujnika. Niewielki wzrost temperatury wnętrza czujnika podczerwieni (w stosunku do temperatury otoczenia) zapobiega osadzaniu się pary wodnej na elementach optycznych (soczewka, zwierciadła koncentatorów, okienka optyczne detektorów).

3. Sposób analizy sygnału

Wykrycie obiektu w strefie „obserwacji” (dozoru) czujnika następuje z chwilą przekroczenia umownego progu detekcji przez poziom sygnału na wyjściu układu detekcyjnego, spowodowany promieniowaniem podczerwonym wyemitowanym przez obiekt. Aby zminimalizować prawdopodobieństwo fałszywych alarmów, należy wyznaczyć adaptacyjny próg detekcji „nadążający” za zmieniającymi się warunkami atmosferycznymi powodującymi zmiany parametrów „sceny termalnej” [5].

Sposób analizy jest oparty na wyznaczeniu wartości średniej ruchomej (ang. average moving) w trzech „oknach czasowych” o ustalonej długości. Zasadę tworzenia „okien czasowych” wyjaśniono na rysunku 4. Okna oznaczono literami N, M, K, przy czym przyjęto, że $N > M \gg K$.



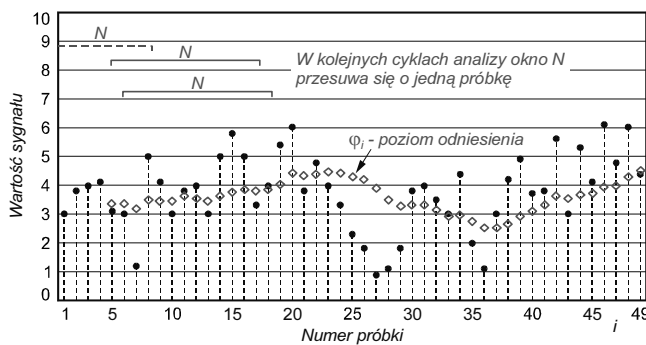
Rys. 4. Zasada tworzenia „okien czasowych”, w których analizowane są próbki sygnału z detektorów podczerwieni

Fig. 4. Method of creation of „time windows”, in which samples of signals from IR detectors are analyzed

Analizę sygnału przeprowadza się następująco. Dokonuje się próbkowania sygnału z zespołu detekcyjnego i sumuje napięcia kolejnych próbek sygnału o chwilowych wartościach a_i . Tworzy się okno czasowe, zawierające N próbek, które w każdym kolejnym cyklu „przesuwa się” o jedną próbkę. Na podstawie średniej arytmetycznej wartości napięcia próbek w oknie (rys. 5), w kolejnych cyklach określa się wartość poziomu napięcia odniesienia φ_i .

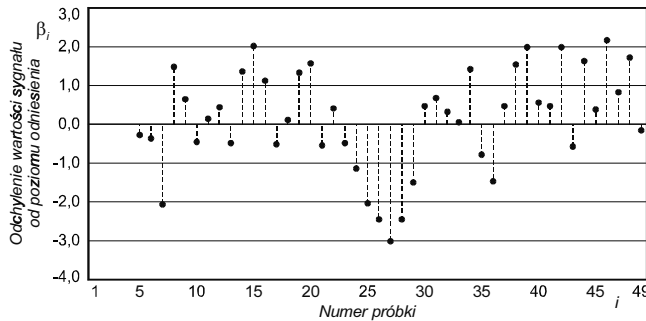
$$\varphi_i = \frac{1}{N}(a_{i-N+1} + a_{i-N} + \dots + a_i), \text{ dla } i > N \quad (1)$$

gdzie i jest numerem próbki i przyjmuje wartości: $i = 1, 2, 3, \dots$



Rys. 5. Sygnał z toru detekcyjnego poddany próbkowaniu oraz poziom napięcia odniesienia φ_i wyznaczony z zależności (1).

Fig. 5. Sampled signal from detection channel and reference level φ_i calculated according to (1)



Rys. 6. Chwilowe odchylenie sygnału β_i od poziomu odniesienia wyznaczone z zależności (2)

Fig. 6. Instantaneous deviation of signal β_i from reference level calculated according to (2)

W następnym oknie M zawartym we wcześniej utworzonym oknie N , i zawierającym M próbek (dla $i \geq N+M$), wyznacza się chwilowe wartości sygnału β_i (rys. 6) jako różnicę chwilowych wartości napięcia kolejnych próbek sygnału i napięcia poziomu odniesienia φ_i

$$\beta_i = a_i - \varphi_i, \text{ dla } i \geq N+M \quad (2)$$

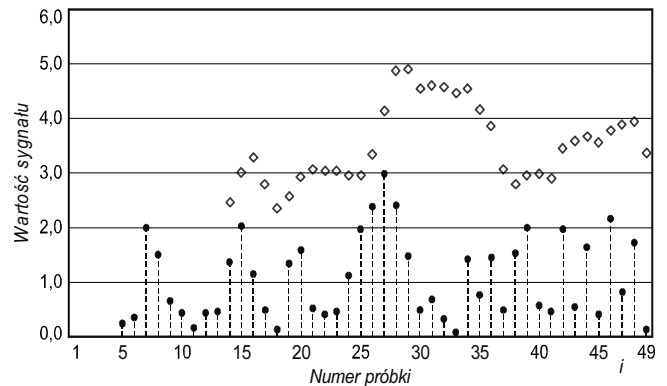
Do dalszych obliczeń przyjmuje się wartość bezwzględną β_i jako:

$$|\beta_i| = |a_i - \varphi_i|, \text{ dla } i \geq N+M \quad (3)$$

Na podstawie tak wyznaczonych danych oblicza się wartość chwilową napięcia progu detekcji D_i , który dla $i > N+M$, wyznacza się jako:

$$D_i = A \frac{1}{M} (|\beta_{i-M+1}| + |\beta_{i-M}| + \dots + |\beta_i|), \quad (4)$$

przy czym A jest współczynnikiem uwzględniającym parametry konstrukcyjne czujnika.



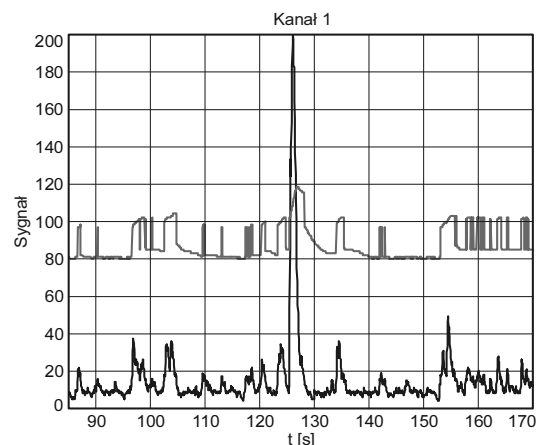
Rys. 7. Wartość chwilowa napięcia progu detekcji D_i na tle bezwzględnych wartości β_i

Fig. 7. Instantaneous value of the detection threshold D_i and the absolute values of β_i signal

Dla typowych rozwiązań współczynnik A przyjmuje wartości od 1÷5, przy czym dla czujników o kilku strefach detekcji i zwiększonym zasięgu działania przyjmuje się współczynnik A o większej wartości dla strefy położonej bliżej czujnika, a mniejszej dla stref dalej położonych.

4. Wyniki badań zasięgowych

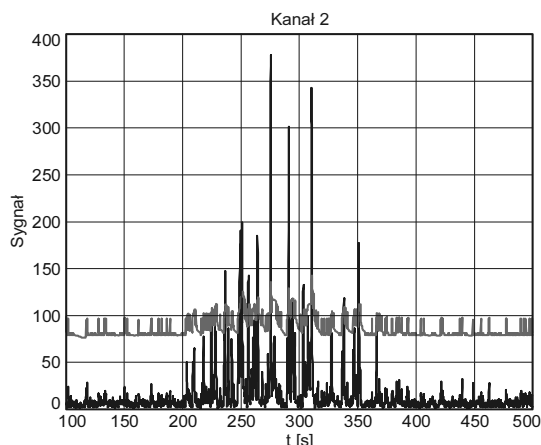
Czujnik podczerwieni wyposażono w tor transmisji danych w standardzie RS 485. Do rejestracji wyników pomiarów zastosowano specjalizowane oprogramowanie opracowane do celów diagnostyki czujnika, które umożliwia rejestrację sygnałów z poszczególnych stref detekcji. Na rys. 8 przedstawiono zarejestrowane sygnały, które zostały wygenerowane przez poruszającego się człowieka.



Rys. 8. Sygnał w kanale 1 czujnika podczerwieni zarejestrowany w słoneczny dzień (temperatura otoczenia 28°C, prędkość ruchu człowieka 1 m/s, odległość 140 metrów)

Fig. 8. Signal in Channel 1 of the IR sensor recorded during sunny day. (ambient temperature 28 °C, velocity of human target 1 m/s, distance 140 meters)

Wyniki badań przedstawione na rys. 8 i rys. 9 potwierdziły prawidłowe działanie czujnika, w szczególności prawidłowość i dużą skuteczność metody analizy sygnału. Na rys. 8 widoczne jest nadążanie progu detekcji (przebieg górny) za zmianami termicznymi tła, które dla tej sytuacji pomiarowej spowodowane były promieniowaniem słonecznym.



Rys. 9. Sygnal w kanale 2 czujnika (temperatura otoczenia 26°C, prędkość czolgującego się człowieka 0.1 m/s, odległość 140 m)

Fig. 9. Signal in Channel 1 of the IR sensor. (ambient temperature 26 °C, velocity of crawling human target 0.1 m/s, distance 140 meters)

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2006 (projekt badawczy).

5. Literatura

- [1] ELTEC Instruments Inc.: Katalog produktów firmy, P.O. Box 9610, Central Business Park, Daytona Beach, Florida 32120-9610, USA, 1996.
- [2] M. Kastek: Metoda wykrywania obiektów w systemach czujników podczerwieni o wydłużonej strefie detekcji. Rozprawa doktorska, Warszawa, Biblioteka Główna WAT, 2002.
- [3] E. Powiada, K. Chmielewski, J. Pasierbiński, M. Kastek: Układy wzmacniaczy do detektorów piroelektrycznych, PAK nr 9, 2006
- [4] H. Madura, Z. Sikorski, H. Polakowski, M. Kastek - Automated stand for measurement of parameters of long-range passive IR sensor. Quantitative Infrared Thermography, Reims France, pp. 118-121, 2000.
- [5] G. Leach A single performance measure for perimeter intruder detection systems, European Conference on Security and Detection, Conference Publication No 437, pp. 114-119. 28-30.04. 1997

Artykuł recenzowany

IMPREZY NAUKOWO-TECHNICZNE

KONGRESY ☆ KONFERENCJE ☆ SYMPOZJA ☆ TARGI ☆ WYSTAWY



KONGRES METROLOGII

Drogie Koleżanki i Koledzy Metrologzy,

Serdecznie zapraszamy Państwa do udziału w kolejnym Kongresie Metrologii, który odbędzie się w dniach od 9 do 13 września 2007 roku w Krakowie. Będziecie Państwo Gośćmi Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, która w roku 2009 obchodzić będzie 90-lecie istnienia. Organizatorem Kongresu jest Katedra Metrologii na Wydziale Elektrotechniki Automatyki Informatyki i Elektroniki, której także "stuknęło" już 50 lat.

Hasło Kongresu brzmi: **Metrologia - narzędziem poznania i droga rozwoju.** W tematyce Kongresu chcemy szczególnie zaakcentować: nowe kierunki rozwoju metrologii, nowe narzędzia poznawania mierzonych procesów, obiektów i sygnałów oraz nowe obszary zastosowań metrologii. W naszym zamiarze nowość oraz interdyscyplinarność i oryginalność tematyki powinna być głównym wyróżnikiem naszych prac, które po recenzjach opublikujemy w materiałach Kongresu. Liczymy na mobilizację Państwa energii w przygotowaniu interesujących i odważnych tematów wystąpień oraz na Państwa udział w ożywionej i rzeczowej dyskusji. Tematyka Kongresu przedstawia się następująco:

I. Współczesne problemy metrologii

1. Mikrosystemy pomiarowe; zagadnienia sprzętowe i projektowe, nowe technologie
2. Systemy rozproszone i bezprzewodowe; interfejsy i protokoły, kompresja i transmisja danych
3. Fuzja danych pomiarowych; identyfikacja modeli złożonych procesów i obiektów
4. Metody i algorytmy analizy danych
5. Nowe problemy przetwarzania a/c; granice szybkości i rozdzielczości
6. Czujniki i przetworniki z modulacją światła, czujniki elektrochemiczne i inne

II. Nowe metody pomiarowe w zastosowaniach

1. Pomiary biomedyczne; metody diagnostyki i analizy medycznej
2. Pomiary konwencjonalnych i nie konwencjonalnych źródeł i przetworników energii

3. Pomiary technologiczne i transportowe; objekty "inteligentne"
4. Pomiary środowiskowe; rozpoznawanie stanów zagrożenia
5. Pomiary i diagnostyka obiektów mechanicznych, pomiary akustyczne
6. Pomiary w zastosowaniach militarnych

III. Współczesne problemy podstaw metrologii; dydaktyka metrologii

1. Teoria i modelowanie systemów pomiarowych
2. Wzorce i wielkości odniesienia; pomiary dokładne, wzorcowanie i metrologia prawna
3. Pomiary kwantowe, wzorce kwantowe
4. Błędy, niepewności, wrażliwość
5. Dydaktyka metrologii; plany studiów, nowe treści w podręcznikach

Mamy nadzieję, że rozproszeni w różnych branżach znajdziemy chwilę czasu na spotkanie przy tematyce, która nas łączy. To jest główny cel, dla którego Kongres organizujemy.

Jest jednak i cel drugi, równie istotny. Ten cel - to Kraków, miasto stare i tajemnicze, po którym krążą duchy przeszłości i w którym mieszka geniusz tego Narodu. Chcemy dać Państwu okazję do dotknięcia ponad 600-letnich murów krakowskiej Almae Matris - wszak my wszyscy z Niej! Chcemy dać okazję do spaceru ulicami, po których chodził Kopernik oraz do chwili zadumy nad przeszłością w komnatach Wawelu.

Jest i cel trzeci, bo przecież nie tylko poważną strawą duchową człowiek, a zwłaszcza metrolog żyje. Zachęcamy Państwa do udziału w spotkaniach o charakterze towarzyskim.

Jesteśmy przekonani, że w ciągu tych dni kongresowych nudzić się Państwo nie będziecie. Przeciwnie - zyskacie Państwo nie tylko satysfakcję zawodową, obywatelską i towarzyską, ale i mile wspomnienia.

Zatem - do zobaczenia!

Przewodniczący Komitetu Naukowego
Kongresu Metrologii 2007

Prof. Michał Szyper

Przewodniczący Kongresu

Prof. Janusz Gajda