

System antywłamaniowy oparty o czujniki bezwładnościowe typu MEMS

Bogdan Fabiański, Krzysztof Nowopolski, Bartłomiej Wicher

Poznan University of Technology
Institute of Control and Information Engineering

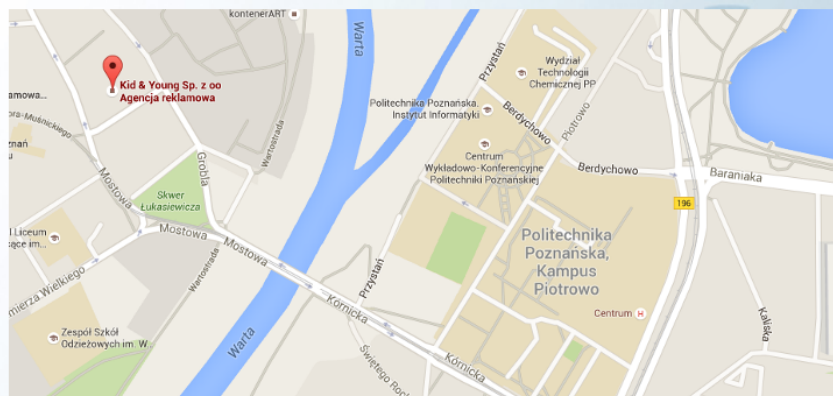
08/04/2016

PLAN WYSTĄPIENIA

- Wprowadzenie
- Architektura
- Dobór sensorów
- Algorytmy pracy
- Podsumowanie



Geneza projektu - K&Y Sp.z o.o.

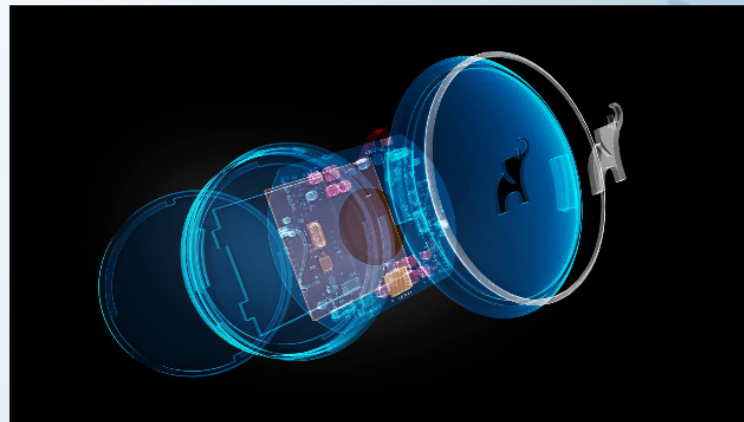
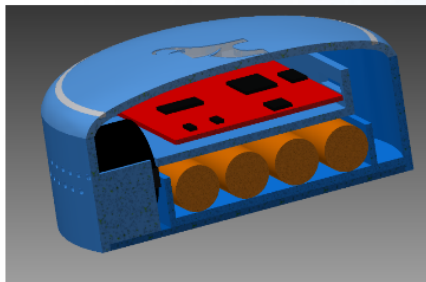
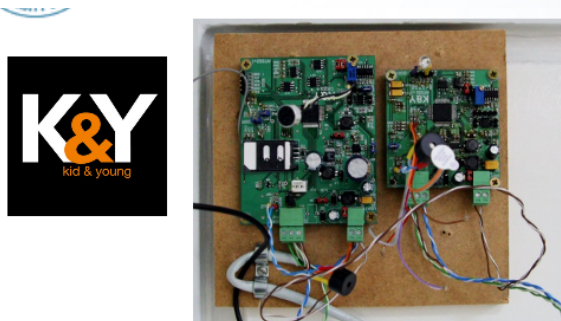


Skład osobowy

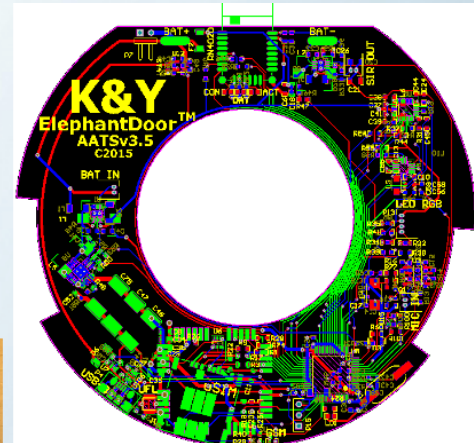
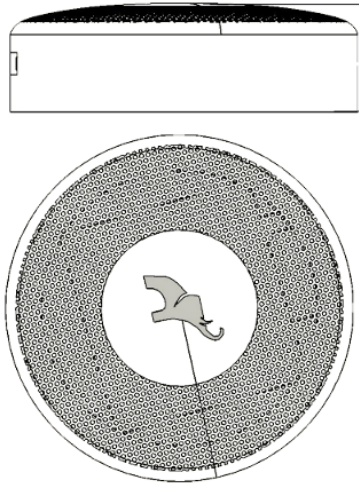


- Krzysztof Nowopolski (A,T,PM)
- Bartłomiej Wicher (S,T,M)
- Dominik Łuczak (AM,GUI)
- Krzysztof Siembab (AM,L)
- Bogdan Fabiański (K,PE,SAD,A,APC)

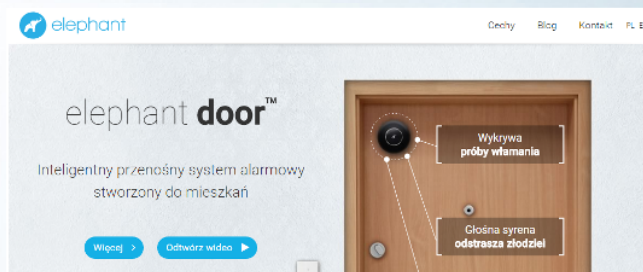
Współpraca (1)



Współpraca (2)



Współpraca (3)



<http://myelephant.co/pl/>



<https://www.facebook.com/myelephant.co>



Współpraca (4)



Główna nagroda

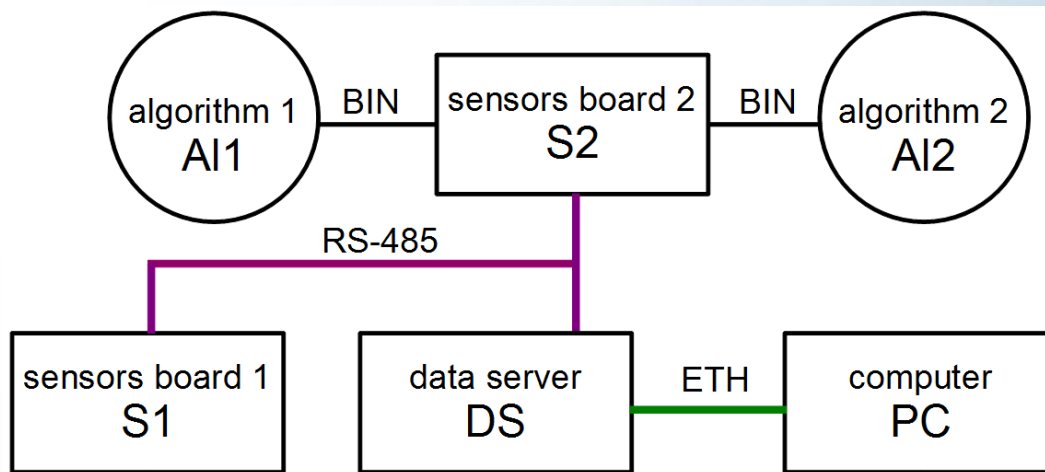


Grand Prix
Continuum Prize
Microsoft Prize

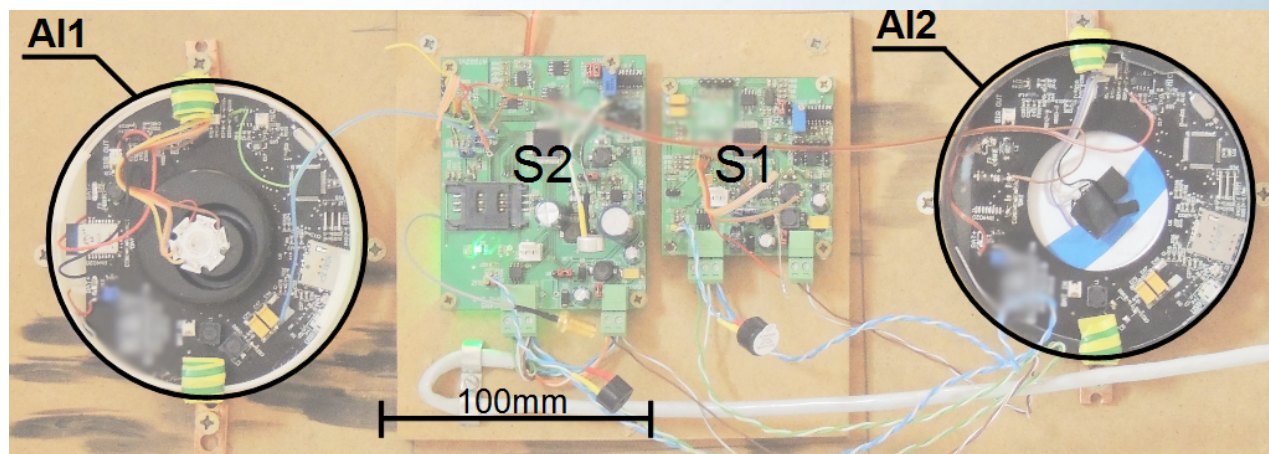


Business Mixer
Poland 2015
zwycięzca

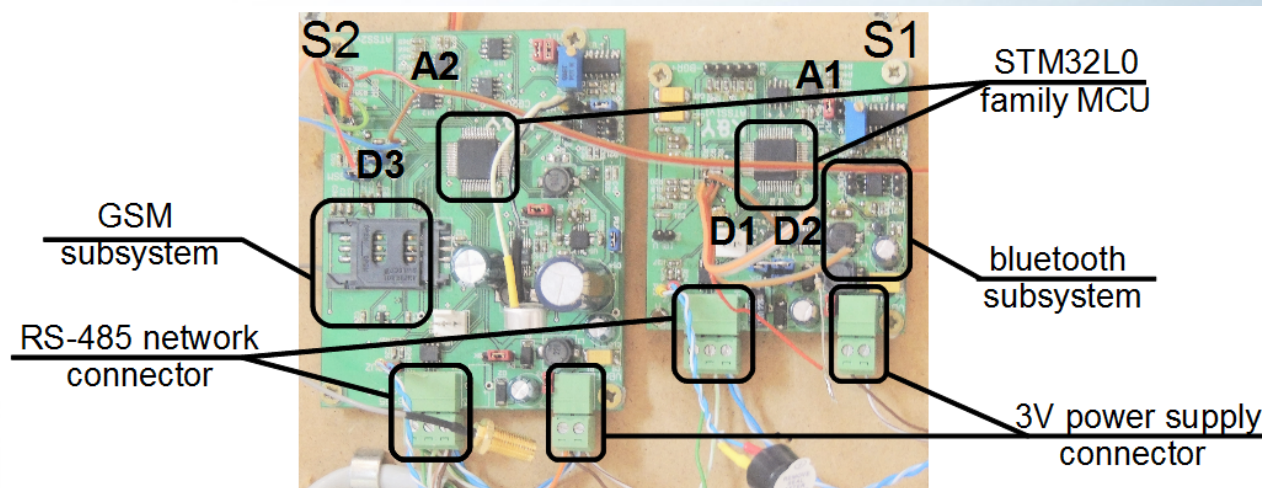
Schemat struktury systemu laboratoryjnego



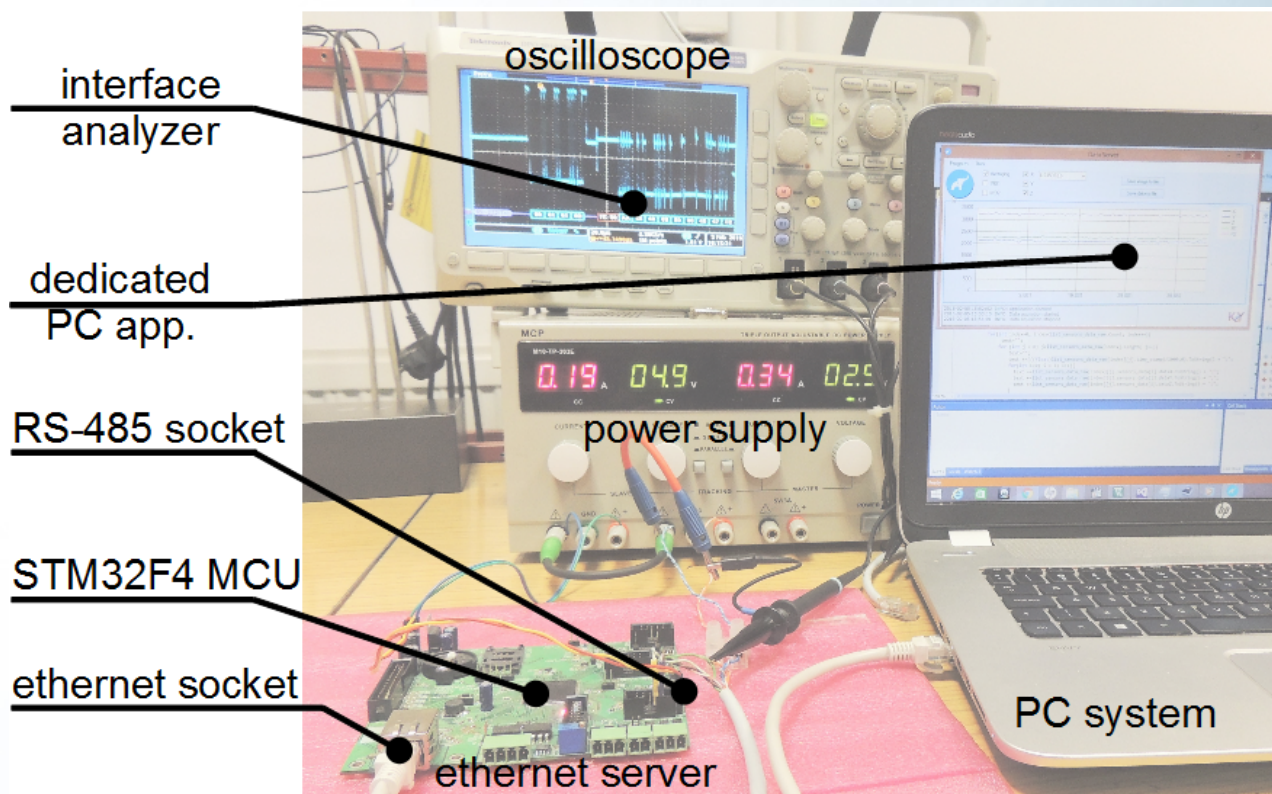
Zespół sensoryczny



Konstrukcja systemu akwizycji danych



Serwer ETH i stanowisko PC



Sensory - Założenia

Zdecydowano się zastosować czujniki przyspieszenia oparte o technologię MEMS ze względu na: niewielkie wymiary, powszechną dostępność oraz niski pobór prądu.

Wybór czujników pod kątem:

- odpowiedniego zakresu pomiarowego,
- najlepszej dynamiki,
- najniższego poziomu szumów,
- ceny,

Dodatkowo w projekcie zastosowano mikrofon pojemnościowy.

Przegląd rynku

Wstępna selekcja czujników

Układ	Typ	Napięcie zasilania [V]/pobór prądu [uA]	Czułość max [m/s^2]/częstotliwość	Interface/uwagi	cena brutto [PLN]
LIS3DH	Cyfrowy/16bit	1.71 - 3.6V (2.5V typ.)/11uA	0.01 /5kHz	I2C/SPI, możliwość skalowania zakresów	4.25 (Kamami)
MMA8451Q	Cyfrowy/14bit	1.95 - 3.6V/165uA (max)	0.02 /800Hz	I2C/Freefall or Motion Detection,Pulse Detection,Jolt Detection, możliwość skalowania zakresów	7.44 (Kamami)
MMA7361L	Analogowy	2.2- 3.6V/400uA	80mV dla $1m/s^2$ 300Hz (-3dB)	analogowy/2 zakresy do wyboru	15.53 (Kamami)

Uderzenia w drzwi

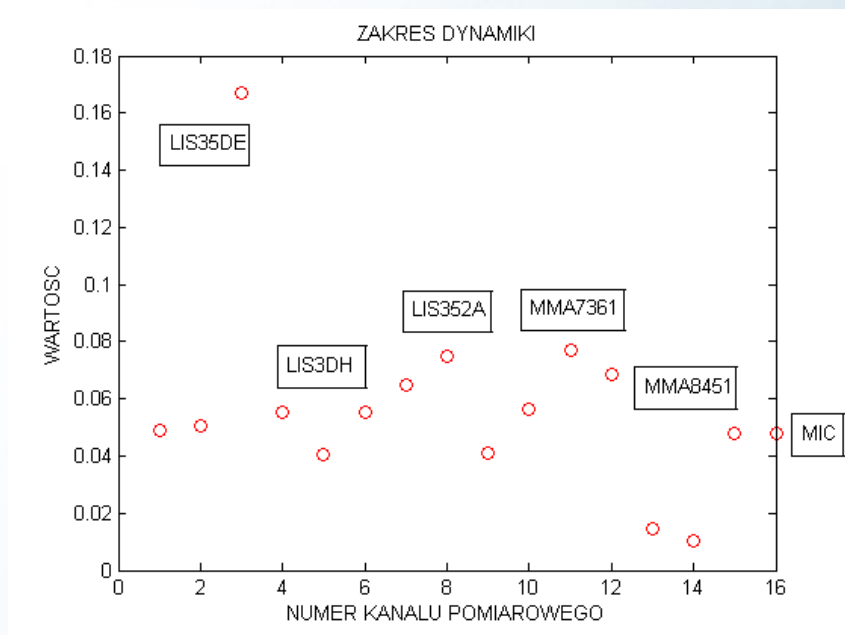


Figure 1: Dynamika zmian sygnału w stosunku do zakresu pomiarowego - uderzanie w drzwi

Otwieranie/zamykanie

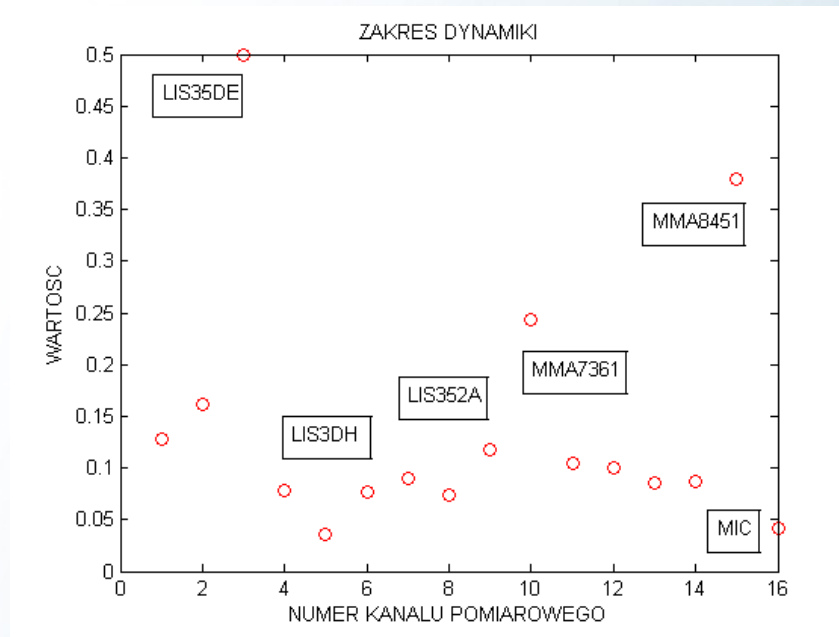


Figure 2: Dynamika zmian sygnału w stosunku do zakresu pomiarowego
- otwieranie/zamykanie

Otwieranie/zamykanie - wartości bezwzględne

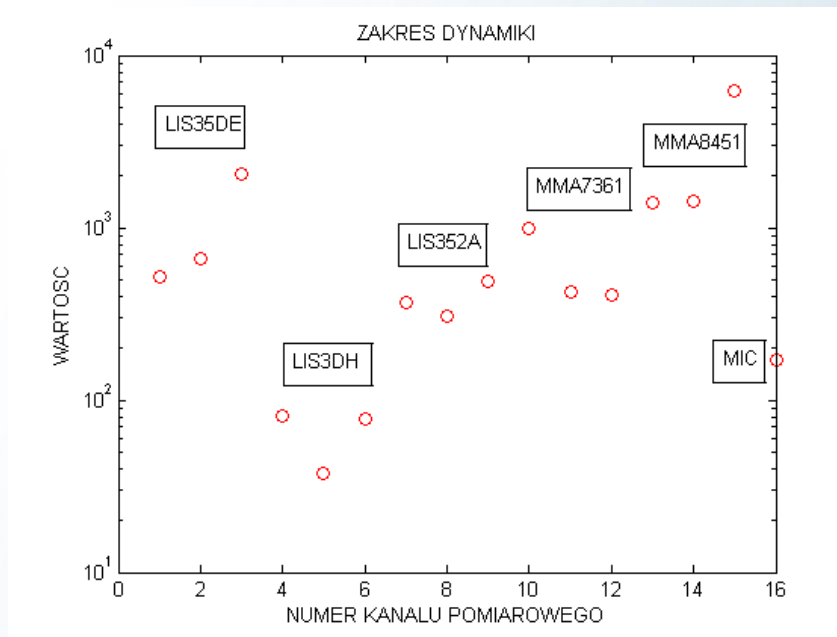


Figure 3: Dynamika zmian sygnału - otwieranie/zamykanie

Szum pomiarowy

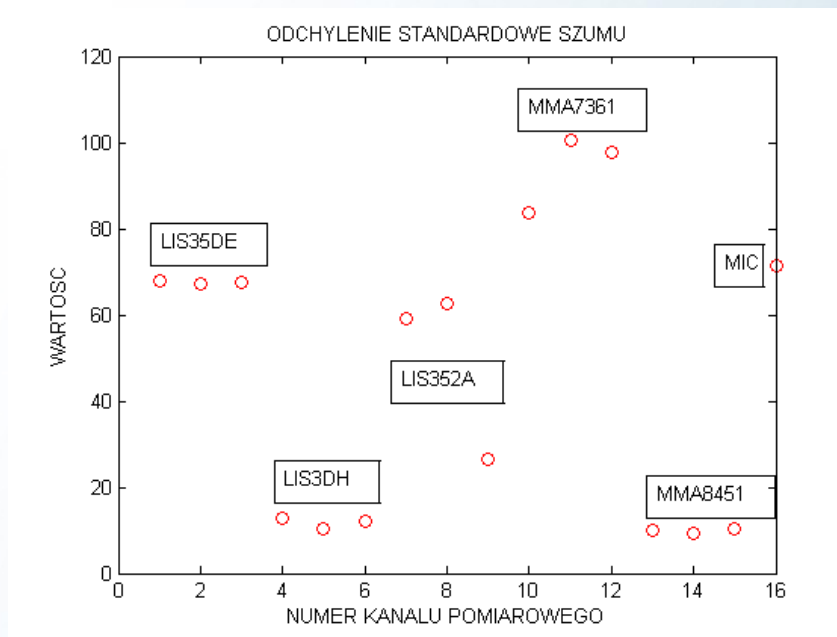


Figure 4: Odchylenie standardowe szumu - wartość bezwzględna

Szum pomiarowy

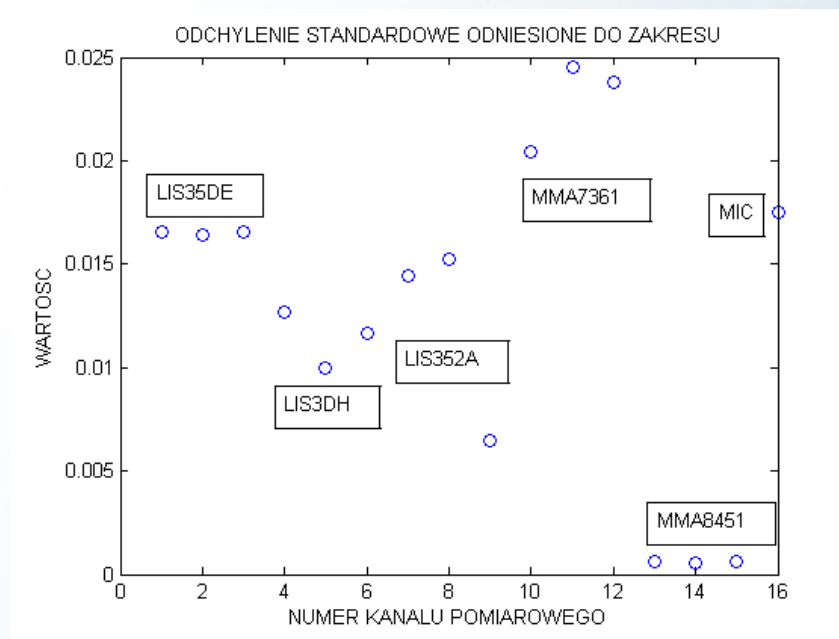


Figure 5: Odchylenie standardowe szumu - wartość odniesione do zakresu pomiarowego

Mocne pukanie - oś X

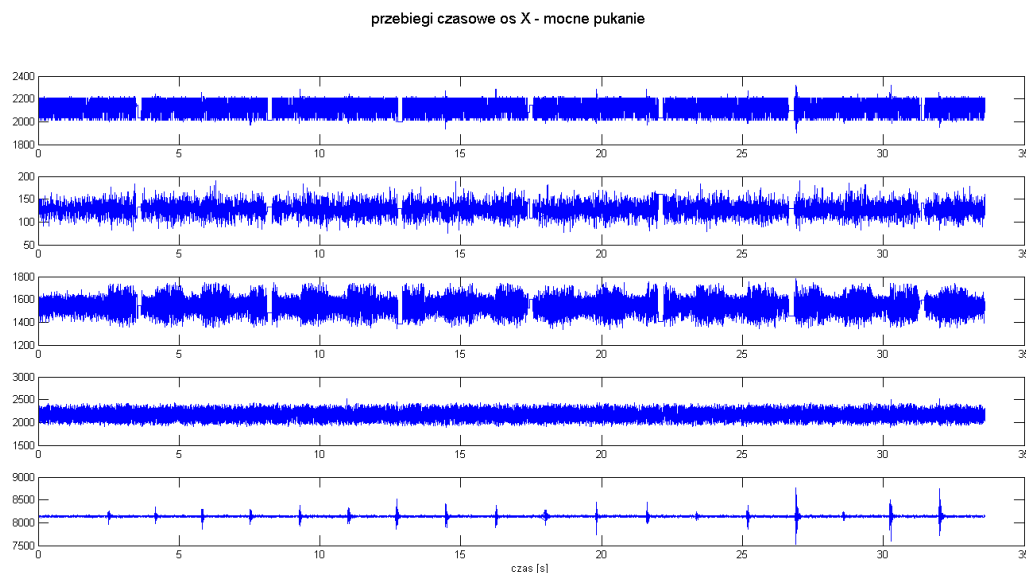


Figure 6: Przebieg czasowy przyspieszenia, mocne pukanie - oś X

Mocne pukanie - oś Y

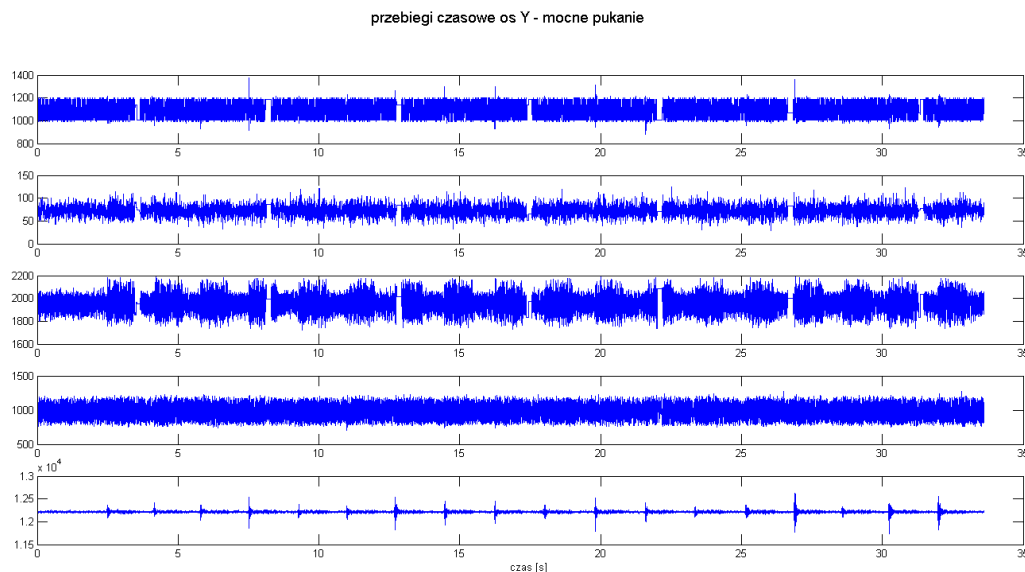


Figure 7: Przebieg czasowy przyspieszenia, mocne pukanie - oś Y

Mocne pukanie - oś Z

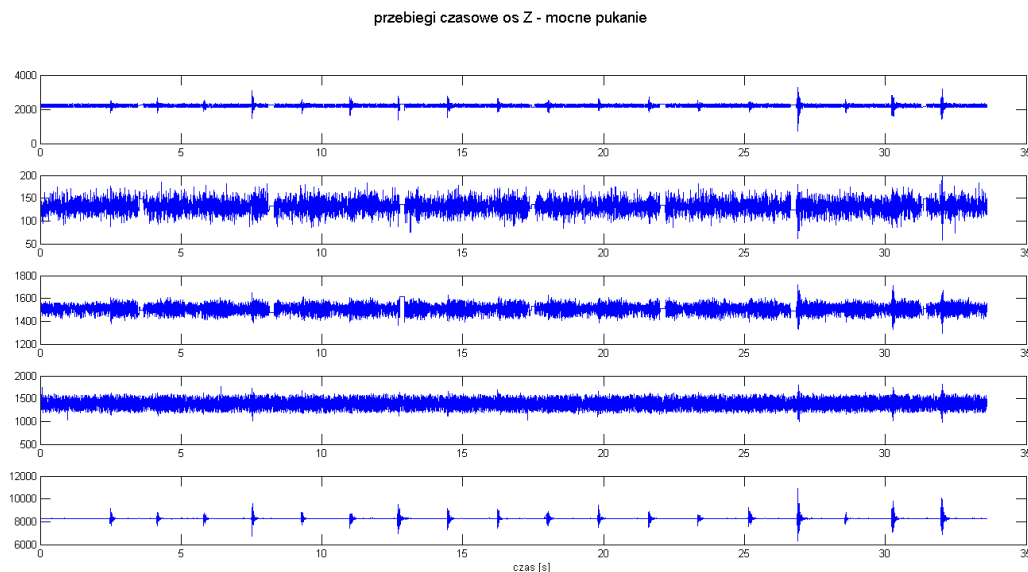


Figure 8: Przebieg czasowy przyspieszenia, mocne pukanie - oś Z

Otwieranie/zamykanie - oś X

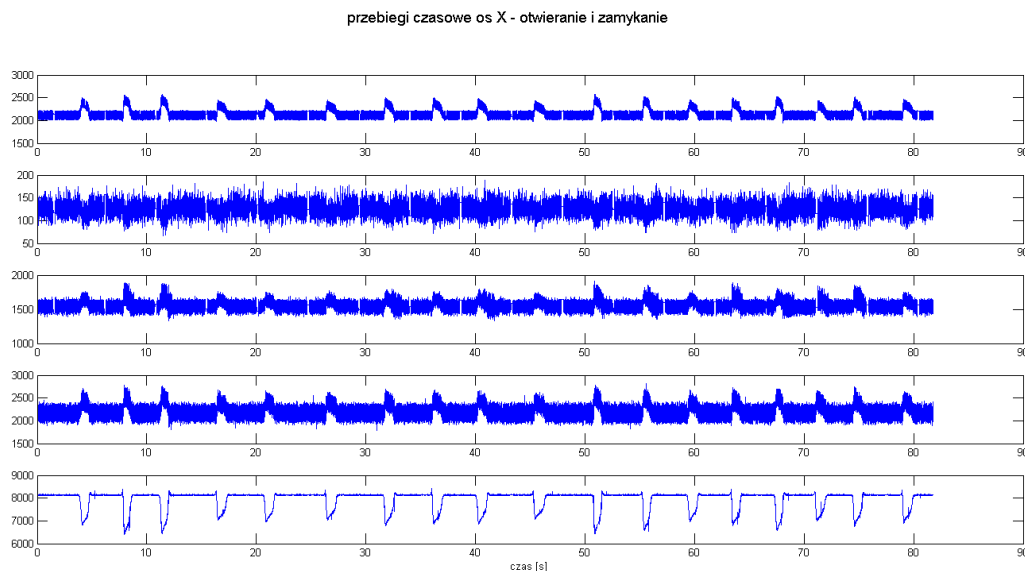


Figure 9: Przebieg czasowy przyspieszenia, otwieranie/zamykanie - oś X

Otwieranie/zamykanie - oś Y

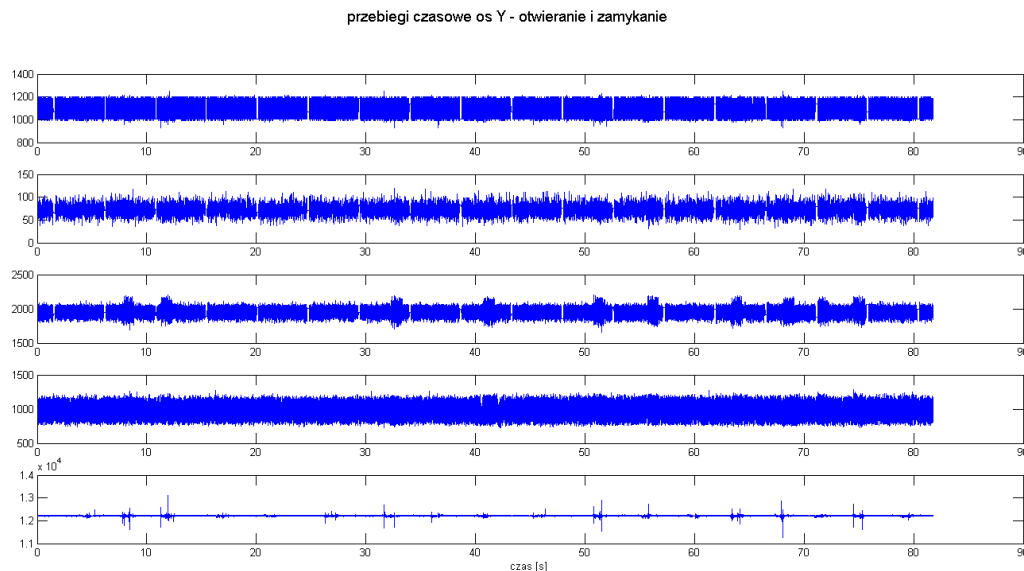


Figure 10: Przebieg czasowy przyspieszenia, otwieranie/zamykanie - oś Y

Otwieranie/zamykanie - oś Z

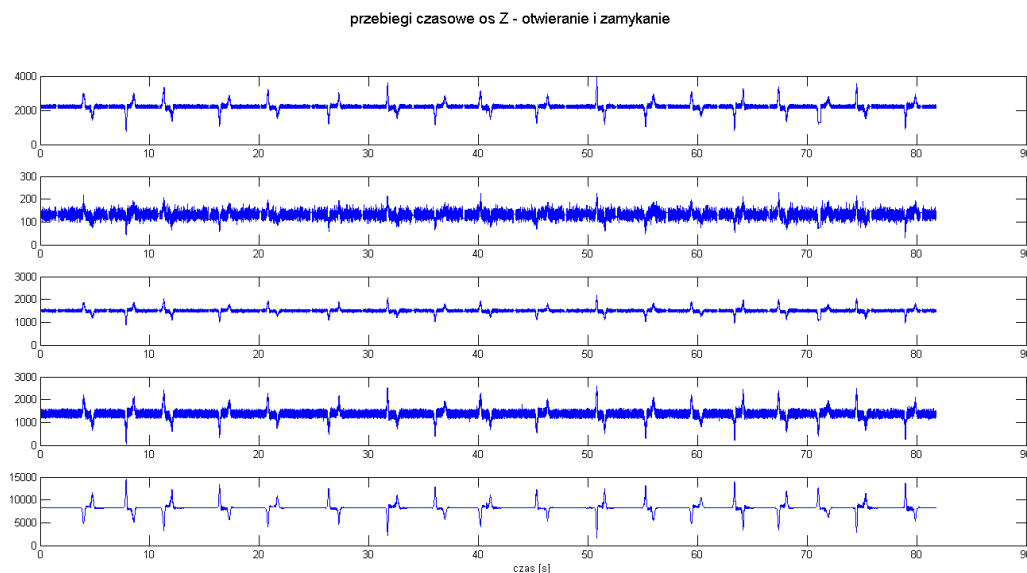


Figure 11: Przebieg czasowy przyspieszenia, otwieranie/zamykanie - oś Z

Algorytmy - wprowadzenie

- Celem pracy algorytmów jest klasyfikacja stanu do jednej z trzech kategorii: stan podstawowy, ostrzeżenie, włamanie.
- Klasyfikacja ma odbywać się na podstawie sygnałów przyspieszeń w trzech osiach urządzenia.
- w związku z nieuniknionym szumem pomiarowym oraz charakterystycznym dla czujników akcelerometrycznych dryftem pomiaru, dane z sensorów są poddawane wstępnemu uśrednianiu.
- Aby umożliwić prawidłową pracę urządzenia niezależnie od płaszczyzny, na której jest umieszczone, na początku odbywa się procedura kalibracyjna, która umożliwia określenie orientacji, w której znajduje się urządzenie.
- Do testów symulacyjnych wytypowane zostały dwa podejścia:
 - bezpośrednio cyfrowe przetwarzanie sygnałów (ang. *Direct Digital Signal Processing* - DDSP),
 - klasyfikator neuronowy (ang. *Neural Classifier* - NC).

Algorytm DDSP

- w algorytmie DDSP odfiltrowane wartości sygnałów z trzech osi są agregowane w trójelementowym wektorze M :

$$M = [x, y, z]$$

- W każdym k -tym kroku algorytmu obliczany jest zryw D_k oraz odchylenie S_k od stanu początkowego M_0 określonego podczas fazy kalibracji:

$$D_k = M_k - M_{k-1}$$

$$S_k = M_k - M_0$$

Algorytm DDSP

- w algorytmie DDSP powoływane są trzy akumulatory sumujące: zryw (akumulator AD), odchylenie sygnału przyspieszenia w osi X (AXS) oraz inkrementujące próg załączenia alarmu (TN):

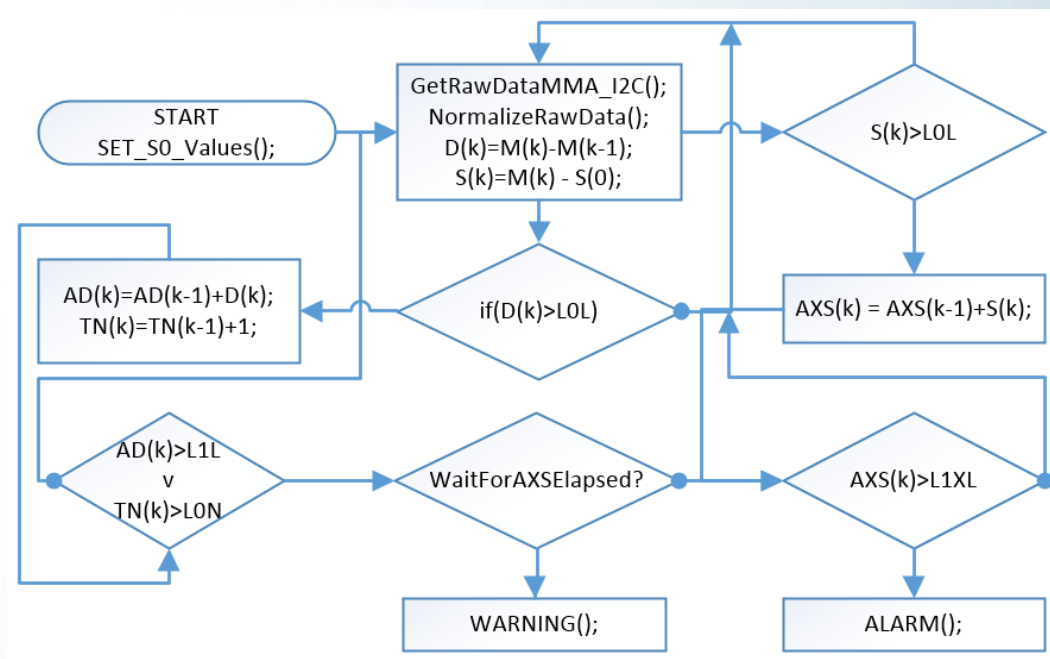
$$AD_k = AD_{k-1} + D_k$$

$$AXS_k = AXS_{k-1} + S_k(1)$$

$$TN_k = TN_{k-1} + 1$$

- Powyższa aktualizacja akumulatorów odbywa się w cyklu 2 ms, o ile wartość zrywu D_k w danej próbce przekroczyła zadany próg $L0L$, określony jako parametr algorytmu.
- Dla powyższych akumulatorów zdefiniowano niezależne wartości progowe, których przekroczenie determinuje przejście do stanu ostrzeżenia lub włamania.

Algorytm inkrementacji akumulatora



Algorytm DDSP

- Ponieważ w przedstawionej konfiguracji, przekroczenie wartości krytycznych byłoby tylko kwestią czasu, konieczne jest ich cykliczne dekrementowanie zgodnie z poniższymi równaniami.

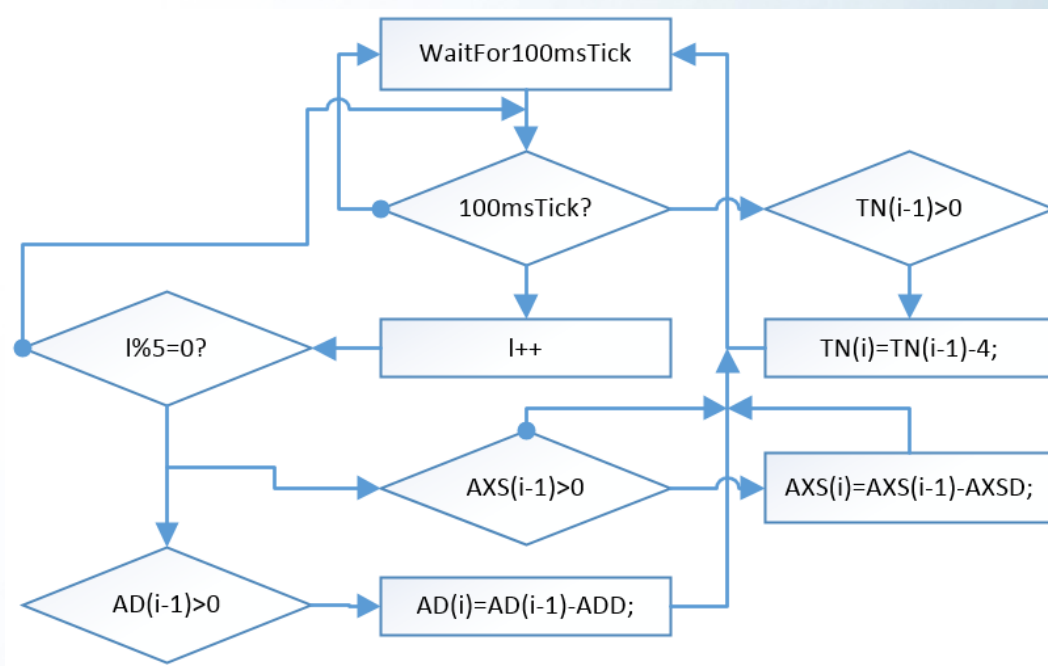
$$AD_k = AD_{k-1} - ADD$$

$$AXS_k = AXS_{k-1} - AXSD$$

$$TN_k = TN_{k-1} - TND$$

- Powyższy cykl dekrementacji wykonywany jest z okresem 500 ms.

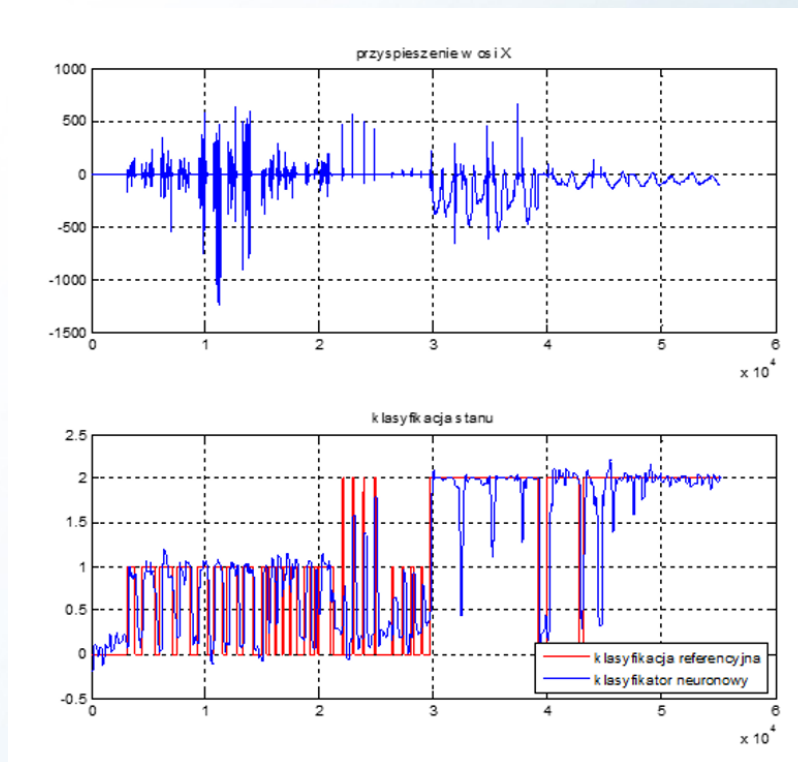
Algorytm dekrementacji akumulatora



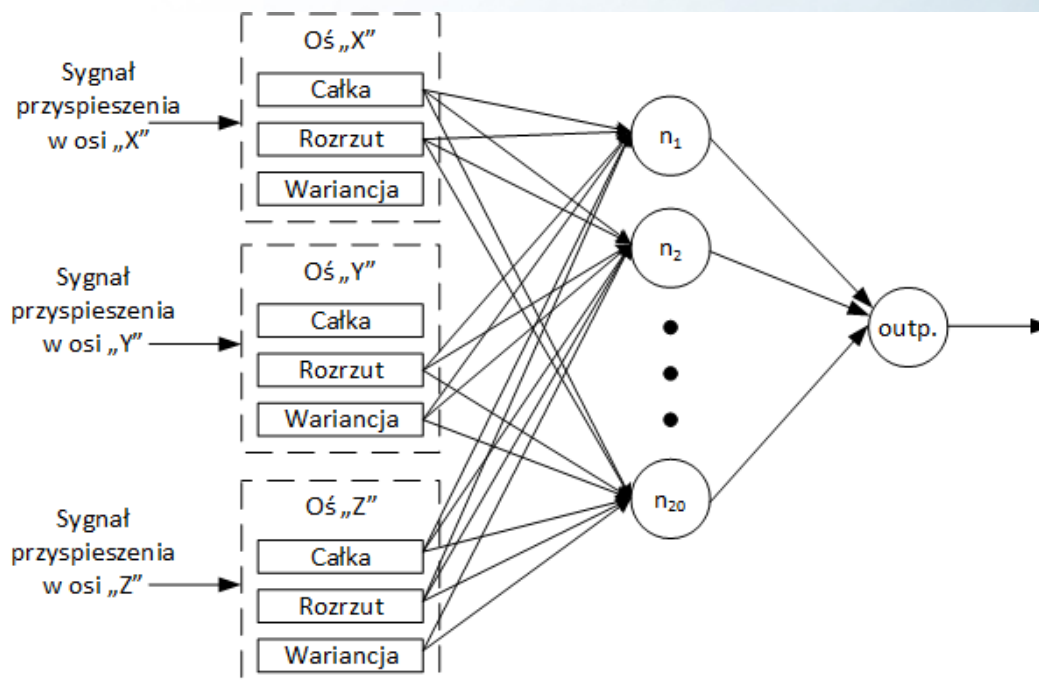
Algorytm NC

- Sieć neuronowa została wytrenowana off-line w oparciu o uprzednio zebrane dane
- Utworzonym wektorom danych pomiarowych zostały przypisane ręcznie oczekiwane stany wyjściowe 0, 0.5 i 1, reprezentujące klasyfikację stanu podstawowego, ostrzeżenia i włamania.
- Wejściami sieci są sygnały całki, maksymalnego rozrzutu wartości sygnału w zadanych horyzoncie czasu oraz jego wariancji. Wartości te są obliczane dla sygnału przyspieszenia każdej osi z osobna.
- Założona struktura sieci posiada jedną warstwę ukrytą o sigmoidalnej funkcji aktywacji (20 neuronów) oraz pojedynczy liniowy neuron wyjściowy.

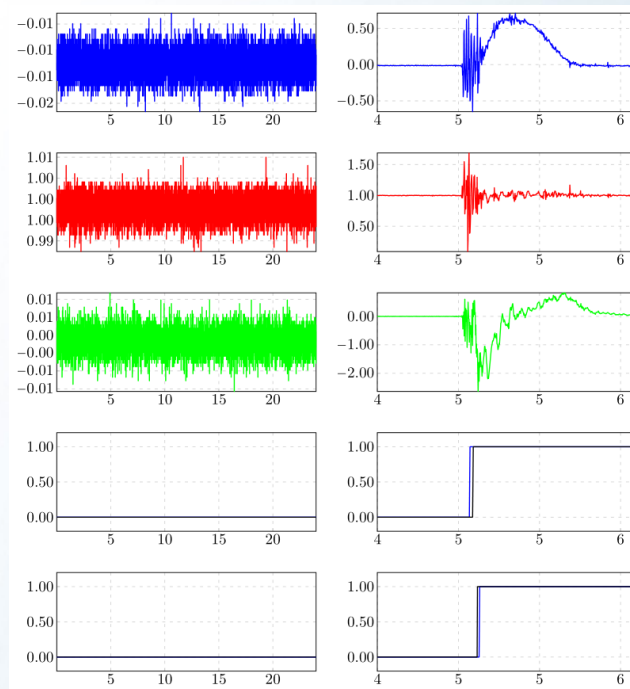
Uczenie sieci neuronowej



Struktura sieci neuronowej

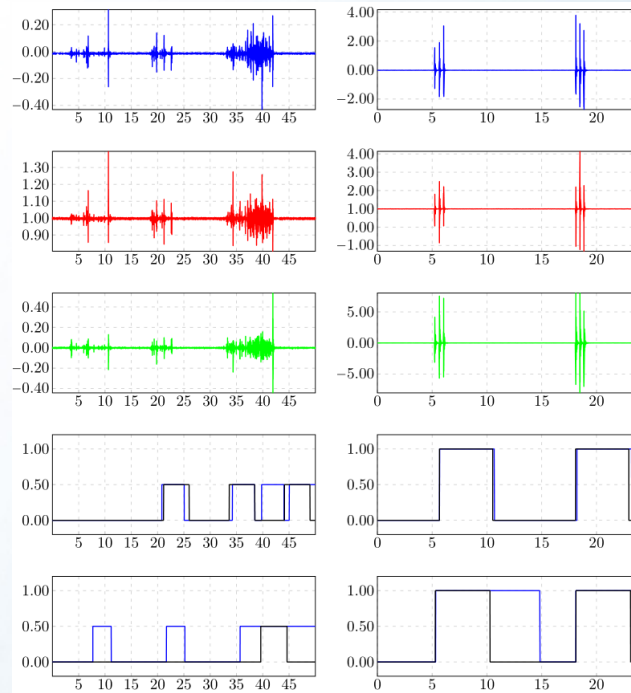


Testy symulacyjne i eksperymentalne



Cisza (lewo) i mocne uderzenia (po prawej)

Testy symulacyjne i eksperymentalne



Delikatne (po lewej) i umiarkowane (po prawej) pukanie

Algorytmy - podsumowanie

- Obie wykorzystane struktury charakteryzują się wysoką skutecznością wykrywania włamań przy zachowaniu niskiego wskaźnika fałszywych alarmów.
- Występują niewielkie rozbieżności w działaniu algorytmów zaimplementowanych w systemie wbudowanym oraz w środowisku Matlab.
- Skuteczność wykrywania sieci neuronowej jest nieznacznie niższa niż algorytmu DDSP.
- Ze względu na większą złożoność obliczeniową, algorytm NC działa z krokiem 6 ms, a DDSP - 2 ms.

Podsumowanie

- Zaprezentowano przykład udanej współpracy Politechniki Poznańskiej z podmiotem gospodarczym,
- Projekt spotkał się z uznaniem środowiska biznesowego - zwycięstwa w prestiżowych konkursach start-up,
- Elementy badawcze stały się podstawą dwóch publikacji naukowych,
- Stworzono dedykowane środowiska: akwizycji oraz obróbki danych na potrzeby prac badawczo - rozwojowych,
- Zaimplementowano i zweryfikowano działanie alternatywnych algorytmów klasyfikacji zdarzeń.

Idee dalszego rozwoju

- Uruchomienie zintegrowanego żyroskopu wykonanego w technologii MEMS oraz integracja analityczna odczytów z żyroskopu z tymi z akcelerometrów - poprawa dokładności pomiarowej, detekcja położenia kąтового drzwi,
- Uruchomienie BlueRNG w zakresie komunikacji BT w zakresie smart-energy (redukcja zużycia energii), implementacja stosu BT w mikrokontrolerze,
- Dodanie uniwersalnej metodologii uczenia maszynowego - maksymalizacja efektywności pracy w procesie zautomatyzowanym,
- Projekt rozproszonego systemu czujników,
- Prace w zakresie miniaturyzacji urządzenia i maksymalizacji czasu pracy (zasilanie bateryjne).