

Politechnika Warszawska

W Y D Z I A Ł   M A T E M A T Y K I  
I   N A U K   I N F O R M A C Y J N Y C H



# Praca dyplomowa magisterska

na kierunku Informatyka i Systemy Informacyjne  
w specjalności Metody sztucznej inteligencji

Algorytm do weryfikacji użytkownika na podstawie dynamiki pisania na  
klawiaturze

**Piotr Bródka**

Numer albumu 268743

promotor

prof. dr hab. inż. Khalid Saeed

WARSZAWA 2020

.....

podpis promotora

.....

podpis autora

## Streszczenie

Algorytm do weryfikacji użytkownika na podstawie dynamiki pisania na klawiaturze

Rozpoznawanie człowieka za pomocą analizy dynamiki pisania na klawiaturze to rozwijająca się obecnie dziedzina biometrii behawioralnej. Może ona znaleźć zastosowanie w lepszym zabezpieczeniu systemów komputerowych. Przykładem jest technika zwana „password hardening”, gdzie oprócz zgodności zawartości haseł sprawdzane jest także czy zostały one wprowadzone w podobny sposób. Klasycznym podejściem jest użycie standardowej klawiatury komputerowej i wykorzystanie czasów wciśnięcia i puszczeń klawisza. Ze względu na zwiększanie się popularności nowoczesnych telefonów (smartfonów) ważna jest eksploracja metod dla klawiatur mobilnych. Oprócz czasów wciśnięć i puszczeń dostępne są inne dane, takie jak na przykład pozycje wciśnięć, czy sygnały z akcelerometru i żyroskopu.

W niniejszej pracy autor przetestował rozwiązania dla klawiatur komputera i telefonów, stosowane w literaturze. Użył ogólnodostępnych zbiorów danych, ale także zbudował aplikację do akwizycji danych i przeprowadził eksperymenty na zebranej przez siebie bazie użytkowników. Autor zaprezentował i przetestował nowatorską metodę, opartą na wykorzystaniu klawiatur typu swipe, czyli takich, na których pisanie odbywa się poprzez przesuwanie palca po kolejnych literach wpisywanej frazy. Do klasyfikacji użytkowników zostały wykorzystane metody sztucznej inteligencji takie, jak: K najbliższych sąsiadów, klasyfikacja za pomocą maszyny wektorów podpierających, metoda lasów losowych, sieci neuronowe.

W pracy przedstawiona jest autorska metodologia badań oraz wyniki eksperymentów wraz z ich analizą. Ostateczne średnie rezultaty dla klasycznej klawiatury telefonu to FRR=17% przy FAR=1%, a dla klawiatury telefonu typu swipe: FRR=17% przy FAR=1%. Dodatkowo, autor zauważył, że istnieje podgrupa użytkowników, dla których udaje się uzyskać szczególnie dobre wyniki. Na końcu pracy autor zaprezentował proponowane dalsze kierunki badań.

Do pracy dołączony jest kod źródłowy aplikacji do akwizycji danych do eksperymentów oraz kod pozwalający na ponowne uruchomienie eksperymentów i zwizualizowanie wyników.

**Słowa kluczowe:** biometria, keystroke dynamics, dynamika pisania na klawiaturze, bezpieczeństwo, urządzenia mobilne, sztuczna inteligencja



## Abstract

### Algorithm for user verification based on keystroke dynamics

Human verification based on keystrokes dynamics is currently a developing branch of behavioral biometrics. It can be used in strengthening of security aspects in computing systems. A good example is the technique, called „password hardening” where verification is based on equality of text of passwords, but also on whether those passwords were passed into the system in a similar way. Using computer keyboard data - times of pressing and releasing keys - is a classic approach. Because of current surge in number of smartphones it is important to explore methods for mobile keyboards. Besides times of key-down and key-up there are other data to use, like for example positions of button pressing or signals from accelerometer and gyroscope.

In this thesis author has tested solutions for computer and mobile keyboards, already used in literature. He used freely available datasets, but also build application for data acquisition and carried out experiments on his dataset. Author has presented and tested an innovative method, based on swipe-like keyboards, keyboards where writing is done with moving finger between the letters of a given phrase. For classification there were used different methods of artificial intelligence, like K Nearest Neighbours, Support Vector Classification, Random Forests and Neural Networks.

In this thesis there is presented own methodology and results of experiments along with its analysis. Finally, mean results for classic mobile keyboards are: FRR=17% with FAR=1%, and for swipe-like keyboard: FRR=30% with FAR=1%. Additionally, author has noticed, that for some group of users, achieved results are particularly good. At the end of the paper, author has presented possible directions of new research.

Source code of application for data acquisition and code to carry out experiments and visualize their results is an attachment for this thesis.

**Keywords:** biometry, keystroke dynamics, security, mobile devices, artificial intelligence



Warszawa, dnia .....

### Oświadczenie

Oświadczam, że praca magisterska pod tytułem; „Algorytm do weryfikacji użytkownika na podstawie dynamiki pisania na klawiaturze”, której promotorem jest prof. dr hab. inż. Khalid Saeed wykonałem samodzielnie, co poświadczam własnoręcznym podpisem.

.....





## Spis treści

<b>1. Wstęp</b>	<b>11</b>
1.1. Biometria	11
1.2. Motywacja dla użycia Keystroke Dynamics	14
1.3. Cel pracy	16
<b>2. Przegląd literatury</b>	<b>18</b>
2.1. Prace, dotyczące klasycznej klawiatury	18
2.2. Prace, dotyczące urządzeń mobilnych	19
<b>3. Opis autorskiego podejścia</b>	<b>22</b>
3.1. Założenia autorskiego podejścia	22
3.2. Aplikacja do akwizycji danych	23
3.3. Bazy danych do eksperymentów	26
3.4. Metodologia badań	28
3.4.1. Metryka jakości używana w pracy	28
3.4.2. Wykorzystane metody Sztucznej Inteligencji	28
3.4.3. Pozostałe kwestie metodologiczne	32
3.4.4. Opis eksperymentów dotyczących klawiatury komputera	33
3.4.5. Opis eksperymentów dotyczących klawiatury telefonu	34
3.5. Kod do przeprowadzania eksperymentów	37
<b>4. Wyniki eksperymentów</b>	<b>41</b>
4.1. Eksperymenty, dotyczące klawiatury komputera	43
4.2. Eksperymenty, dotyczące klasycznej klawiatury telefonu	44
4.3. Eksperymenty, dotyczące klawiatury telefonu typu swipe	71
<b>5. Podsumowanie i wnioski</b>	<b>93</b>
5.1. Podsumowanie wyników	93
5.2. Podziękowania dla uczestników badań	94
5.3. Propozycja dalszych kierunków badań	94



# 1. Wstęp

## 1.1. Biometria

Żyjemy w społeczeństwie, w którym kwestia bezpieczeństwa informacji jest sprawą niezmierzenie ważną. Brak odpowiedniej ochrony naszej internetowej tożsamości może spowodować duży problem. Klasycznym mechanizmem, zapewniającym bezpieczeństwo są hasła. Wadą takiego podejścia jest to, że hasła mogą zostać skradzione albo zapomniane.

Dlatego coraz większy udział w metodach autentykacji mają te oparte na biometrii. Do wielu obecnych telefonów można się zalogować za pomocą odcisku palca. Powszechnie wiadomo także, że podpis jest unikalną cechą osoby. Podziału metod biometrycznych można dokonać w następujący sposób:

1. **Biometria anatomiczna**, zajmująca się badaniem obrazów części ciała człowieka, na przykład:
  - (a) odciski palców,
  - (b) obraz siatkówki,
  - (c) obraz twarzy.
2. **Biometria behawioralna**, zajmująca się badaniem ruchów ciała człowieka, sposobów wykonywania pewnych czynności:
  - (a) sposób mowy,
  - (b) sposób chodzenia.

Pojawiło się pytanie o to, czy sposób pisania na klawiaturze komputerowej jest dobrą cechą biometryczną. Próbowali na nie odpowiedzieć naukowcy od lat 70. ubiegłego wieku. Okazało się, że sposób pisania na klawiaturze jest w znacznym stopniu indywidualny. Zaczęto mówić o biometrii opartej na analizie dynamiki pisania na klawiaturze (ang. *keystroke dynamics*). Jest to oczywiście cecha **behawioralna**.

Warto zaznaczyć, że możemy od systemu dostępu żądać dwóch rzeczy:

- Identyfikacji: Na podstawie podanego wejścia, system wskazuje osobę,
- Weryfikacji: Dla danego człowieka - na podstawie podanego wejścia - system wskazuje, czy podane wejście należy do niego.

Systemy, oparte na **keystroke dynamics** tworzone są raczej dla celów weryfikacji ze względu na zbyt małą dokładność przy identyfikacji. W niniejszej pracy będzie rozpatrywane właśnie zagadnienie weryfikacji, czyli innymi słowy - klasyfikacji binarnej (gdzie klasa 1 oznacza, że użytkownik jest weryfikowany pozytywnie, a klasa 0, że użytkownik jest klasyfikowany negatywnie).

Opisywana metoda biometryczna występuje w dwóch odmianach:

1. „fixed text” - oparta na porównywaniu ustalonych wzorców do pisania,
2. „free text” - oparta na porównywaniu sposobu pisania bez ustalonych wzorców.

Niniejsza praca dotyczy pierwszej odmiany.

## Błędy biometryczne i standardowe metryki jakości

Błędy systemu biometrycznego, można podzielić na dwie sytuacje:

1. Gdy osoba, która powinna zostać zweryfikowana pozytywnie zostaje zweryfikowana negatywnie,
2. Gdy osoba, która powinna zostać zweryfikowana negatywnie zostaje zweryfikowana pozytywnie.

Wprowadźmy następujące pojęcia, które odnoszą się do klasyfikacji binarnej użytkowników:

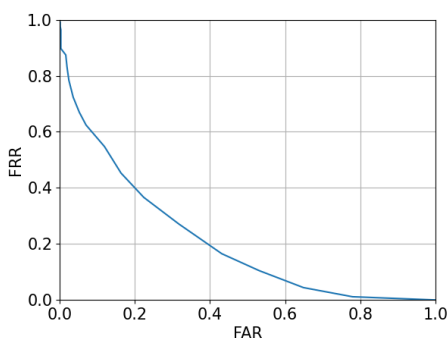
1. **True Positive (TP)** - liczba przypadków, w których użytkownik, którego klasę przewidyujemy należy do klasy 1 i system przyporządkował go (prawdziwie) do klasy 1,
2. **False Positive (FP)** - liczba przypadków, w których użytkownik, którego klasę przewidyujemy należy do klasy 0 i system przyporządkował go (błędnie) do klasy 1,
3. **True Negative (TN)** - liczba przypadków, w których użytkownik, którego klasę przewidyujemy należy do klasy 0 i system przyporządkował go (prawdziwie) do klasy 0,
4. **False Negative (FN)** - liczba przypadków, w których użytkownik, którego klasę przewidyujemy należy do klasy 1 i system przyporządkował go (błędnie) do klasy 0,
5. **True Positive Rate (TPR, zwane także Recall)**:  $TPR = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP+FN}$ ,
6. **False Rejection Rate (FRR)**:  $FRR = 1 - TPR = \frac{FN}{TP+FN}$ ,

7. **False Acceptance Rate (FAR):**  $FAR = \frac{FP}{N} = \frac{FP}{FP+TN}$ .

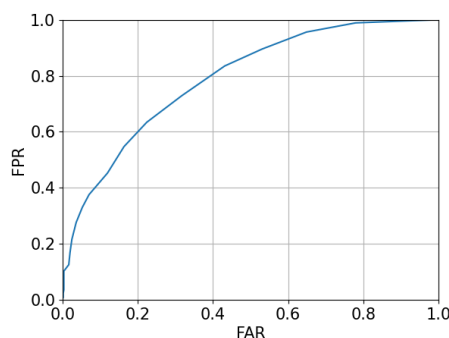
Odnosząc się do rodzajów błędów biometrycznych można powiedzieć, że

1. **False Rejection Rate (FRR)** jest miarą liczby sytuacji, w których osoba, która powinna zostać zweryfikowana pozytywnie zostaje zweryfikowana negatywnie,
2. **False Acceptance Rate (FAR)** jest miarą liczby sytuacji, w których osoba, która powinna zostać zweryfikowana negatywnie zostaje zweryfikowana pozytywnie.

Klasyfikatory binarne, użyte w niniejszej pracy zwacają prawdopodobieństwa przynależności do klas, przykładowo: 70% pewności, że obiekt jest klasy 0, a 30% prawdopodobieństwa, że obiekt jest klasy 1. By uzyskać binarne przyporządkowanie obiektów do klas, potrzebna jest wartość prawdopodobieństwa, rozgraniczająca klasy, którą nazywamy z języka angielskiego threshold. Wraz ze wzrostem thresholdu, zmienia się „surowość” klasyfikatora. To znaczy, że trzeba coraz większego prawdopodobieństwa, by obiektowi została przyporządkowana klasa 1. Zachowanie klasyfikatora w zależności od wartości thresholdu opisują krzywe ROC (czyli zależność FAR-FPR) albo zależność FAR-FRR. Poniżej przedstawiono przykładowy wykres zależności FAR-FRR oraz krzywą ROC. Należy zauważyć, że w istocie obie wizualizacje pokazują to samo (ponieważ  $FPR = 1 - FRR$ ). W dalszej części pracy - do prezentacji wyników eksperymentów - używane będą wykresy zależności FAR-FRR:



Rysunek 1: Przykład relacji FAR-FRR



Rysunek 2: Odpowiadająca krzywa ROC

Łatwo stworzyć system, który będzie miał zerowe FAR - wystarczy wszystkich weryfikować negatywnie. Zerowe FRR będzie natomiast występowało w systemie, który weryfikuje wszystkich pozytywnie. Gdy FRR maleje, FAR rośnie. I na odwrót. W systemach biometrycznych chcemy, by nasz system był wystarczająco bezpieczny, ale także, żeby był wygodny w używaniu (żeby osoby były weryfikowane bez znacznych trudności). Problem ten sprowadza się do odpowiedniego dobrania granicy między klasyfikacją pozytywną, a negatywną.

Standardową metryką, opisującą klasyfikatory binarne jest pole powierzchni pod krzywą ROC. Im większe, tym lepiej. Gdyby pole wynosiło 1, to nie byłoby ani błędów niepoprawnej akceptacji ani błędów niepoprawnego odrzucenia.

Ważnym terminem jest **Zero-Miss False-Alarm Rate (ZM-FAR)**, czyli najmniejszy możliwy FRR, dla którego FAR wynosi zero. Innymi słowy, jest to wartość odpowiadająca sytuacji, gdy nie zdarza się, by do systemu został wpuszczony użytkownik, który nie powinien być wpuszczony a jednocześnie jest jak najmniej sytuacji, w których użytkownik, który powinien być wpuszczony nie zostaje wpuszczony.

## 1.2. Motywacja dla użycia Keystroke Dynamics

W swojej pracy, A. K. Jain [1] sklasyfikował różne cechy biometryczne według następujących charakterystyk:

- uniwersalność (ang. universality) - ile osób posiada daną cechę biometryczną. Na przykład tęczówkę ma prawie każdy, a niewiele osób gra na fortepianie,
- unikalność (ang. distinctiveness) - w jak dużym stopniu cecha pozwala na rozróżnienie dwóch osób,
- trwałość (ang. permanence) - niektóre cechy biometryczne zmieniają się z czasem. Ta charakterystyka opisuje niezmienność w czasie danej cechy,
- zbieralność (ang. collectability) - czy da się pobrać tę cechę biometryczną i opisać ją w sposób ilościowy,
- wydajność (ang. performance) - identyfikacja (albo weryfikacja) za pomocą tej cechy powinna być sprawna i dokładna,
- akceptowalność (ang. acceptability) - miara, opisująca chęć oddania swojej cechy biometrycznej do badań,
- podatność na fałszerstwo (ang. circumvention).

Wyniki tej klasyfikacji zostały przedstawione w tabeli 1.

Biometria oparta na Keystroke Dynamics ma następującą charakterystykę:

- Niska uniwersalność - Wiele osób nie posługuje się klawiaturą (dotyczy to na przykład starszych ludzi bądź społeczeństw mieszkających w krajach słabo rozwiniętych),

## 1.2. MOTYWACJA DLA UŻYCIA KEYSTROKE DYNAMICS

cecha biometryczna	uniwersalność	unikalność	trwałość	zbieralność	wydajność	akceptowalność	podat. na fałsz.
DNA	H	H	H	L	H	L	L
Ucho	M	M	H	M	M	H	M
Obraz twarzy	H	L	M	H	L	H	H
Termogram twarzy	H	H	L	H	M	H	L
Odcisk palca	M	H	H	M	H	M	M
Sposób chodzenia	M	L	L	H	L	H	M
Geometria dłoni	M	M	M	H	M	M	M
Wzorzec naczyńniowy	M	M	M	M	M	M	L
Tęczówka oka	H	H	H	M	H	L	L
Dynamika pisania na klawiaturze	L	L	L	M	L	M	M
Zapach	H	H	H	L	L	M	L
Odcisk dłoni	M	H	H	M	H	M	M
Siatkówka oka	H	H	M	L	H	L	L
Podpis	L	L	L	H	L	H	H
Głos	M	L	L	M	L	H	H

Tablica 1: Zestawienie charakterystyk różnych cech biometrycznych

- Niska unikatowość - Różnorodność stylów pisanie na klawiaturze nie jest wystarczająco dobra. Można znaleźć wiele osób, które piszą podobnie. Ten efekt jest szczególnie widoczny wśród osób, słabo posługujących się klawiaturą (chodzi na przykład o powolny styl pisanie przy użyciu jedynie obu palców wskazujących),
- Niska trwałość - Styl pisanie zmienia się z wiekiem, a także na skutek chorób, czy stanu psychofizycznego człowieka,
- Średnia możliwość akwizycji - Dla wielu ludzi pobieranie tej cechy biometrycznej nie jest rzeczą nieprzyjemną bądź taką, na którą nie chcieliby się godzić,
- Niska jakość działania - Ta kwestia będzie opisana szeroko w dalszej części pracy,
- Średnia podatność na fałszerstwo.

Jak zostało zaznaczone, biometria oparta na dynamice pisanie na klawiaturze ma niską jakość działania. Dlaczego zatem zajmować się tą dziedziną, skoro inne metody, takie jak rozpoznawanie człowieka na podstawie obrazu tęczówki, czy odcisku palca są metodami powszechnie używanymi i uznawanymi za standard, także w zastosowaniach sądowych? Rzeczywiście, najlepsze wyniki uzyskiwane dla *keystroke dynamics* wskazują, że nie da się dorównać dokładności, jaką cechują się wspomniane metody. Okazuje się jednak, że są zastosowania, dla których *keystroke dynamics* jest dobrym rozwiązaniem:

- **password hardening**: Dodatkowym zabezpieczeniem dla hasła jest (oprócz zgodności haseł) dynamika jego wpisywania,
- **weryfikacja użytkownika „na żywo”, „w locie”**: Ciągłe sprawdzanie, czy tekst wpisywany przez użytkownika odpowiada użytkownikowi obecnie zalogowanemu. Takie rozwiązanie było stosowane na platformie Coursera w celu wykrycia oszustów (ludzi, którzy rozwiązują egzaminy w imieniu innych osób),
- **biometria multimodalna**: Przy połączeniu z innymi cechami, takimi jak obraz twarzy, czy ruch myszy system może działać lepiej niż w sytuacji, gdy będzie miał dostępne jedynie wybrane cechy. Można poprzeć tę tezę pracami zespołu prof. Saeeda ([2], [3]).

### 1.3. Cel pracy

Ostatecznym celem pracy, jest prezentacja i przetestowanie autorskiego algorytmu dla klawiatur mobilnych typu swipe. Autor nie nastąpił na takie podejście w znanych mu źródłach i



### 1.3. CEL PRACY

uważa je za warte zainteresowania. Zanim to jednak nastąpi, autor zajmuje się eksploracją technik stosowanych przy identyfikacji człowieka na podstawie pisania na klawiaturze komputera, i smartfonów. Ma to na celu umożliwienie porównania wyników nowej metody z metodami już istniejącymi.

Bardziej szczegółowo, można stwierdzić, że celami pracy są:

- Przedstawienie literatury, dotyczącej badań nad keystroke dynamics (komputer i urządzenia mobilne),
- Znalezienie zewnętrznych baz danych, dotyczących keystroke dynamics,
- Przygotowanie własnej bazy danych dla klawiatur mobilnych,
- Przeprowadzenie eksperymentów inspirowanych literaturą przedmiotu,
- Propozycja metody dla klawiatury typu swipe,
- Przeprowadzenie eksperymentów dla klawiatury typu swipe,
- Analiza wyników eksperymentów,
- Wskazanie potencjalnych dalszych kierunków badań.

## 2. Przegląd literatury

### 2.1. Prace, dotyczące klasycznej klawiatury

Przegląd literatury należy rozpocząć od pracy, stworzonej przez czterech naukowców z RAND Corporation [4]. Zbieranie danych rozpoczęto w 1977 roku, a artykuł ukazał się w roku 1980. Osobom biorącym udział w badaniu polecono wpisywanie tekstów o zawartości ok. 300-400 słów. Analizowano czasy pisania tzw. dwuznaków, czyli par, następujących po sobie w tekście znaków. Wykorzystano metody statystyczne (odchylenie standardowe, wariancję, skośność, stosowano testy statystyczne). Otrzymano dobre wyniki. Wyznaczono także możliwie mały zbiór dwuznaków, który może z dużą dokładnością służyć do różnicowania dwóch osób. Wadą tej pracy jest bardzo mała liczba osób biorących udział w badaniu. W eksperymencie uczestniczyło bowiem 7 osób (z tego 6 przez cały czas).

Rozkwit prac w dziedzinie biometrii opartej na Keystroke Dynamics nastąpił po 1990 roku. Niestety, znaczna część rozwiązań była testowana na małych bazach, co uniemożliwia rozsądne porównanie wyników. W 2009 roku R. A. Maxion i K. S. Killhoury opublikowali bardzo ciekawą pracę. Zasadniczą częścią eksperymentu było zebranie dużej bazy danych. 51 uczestników złożyło 400 próbek. użytą frazę było **.tie5Roanl**. Proces akwizycji składał się z 8 sesji po 50 próbek. Następnie, autorzy przetestowali różne metody klasyfikacji.

Najlepsze EER osiągnięto dla znormalizowanej odległości Manhattan, a najlepsze ZM-FAR dla klasyfikatora 1NN z metryką Mahalanobisa. Co ciekawe, w przypadku obu metryk, najgorzej poradziły sobie sztuczne sieci neuronowe, uczone metodą propagacji wstecznej.

Ciekawe podejście do tematu zaproponowali P. Kobjek i K. Saeed. Potraktowali dane z klawiatury jako szereg czasowy i użyli typowych dla tego rodzaju danych sieci rekurencyjnych (konkretnie - LSTM).

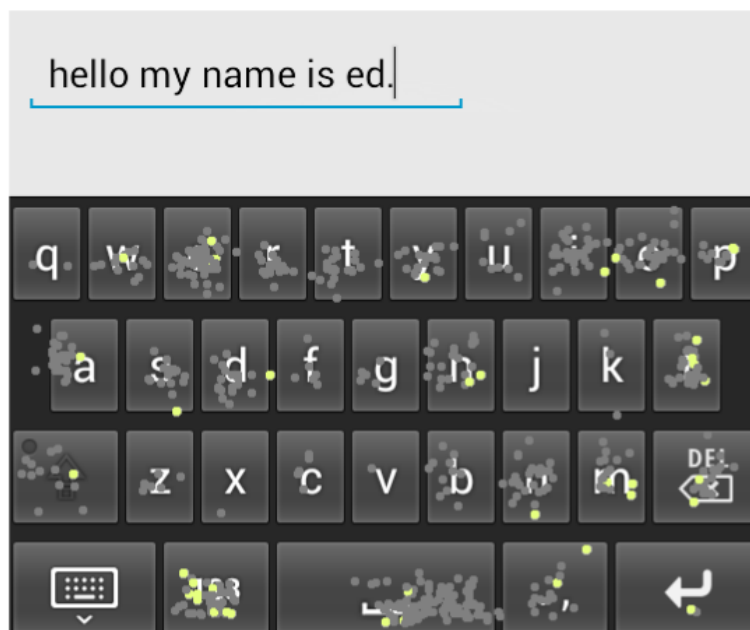
### 2.2. Prace, dotyczące urządzeń mobilnych

W ostatnim dziesięcioleciu powstało wiele prac dotyczących wykorzystania nowoczesnych telefonów do rozpoznawania człowieka na podstawie cech behawioralnych. Zjawisko to powodowane jest pojawieniem się na masową skalę smartfonów, a wraz z nimi - dużej liczby zagrożeń bezpieczeństwa i konieczności ochrony użytkownika.

Jest wiele cech biometrycznych, które można zbierać przy pomocy telefonu i które mogą polepszyć jakość rozpoznawania użytkownika. Oprócz rejestrowania dynamiki pisania na klawiaturze możemy także rejestrować głos albo sposób chodzenia. Dobry przegląd przedstawili A. Mahfouza, T. M. Mahmouda i A. S. Eldin w swojej pracy: [5].

Wiele inspiracji można znaleźć w rozprawie doktorskiej P. Panasiuka, [3]. Użył on akcelometru. Akcelerometr umieszczony był w smartfonie. Smartfon oraz laptop były umieszczone na biurku. Podczas eksperymentu pisano na klawiaturze komputera, powodowało to wstrząsy na biurku. Sygnał z akcelometru był przesyłany na bieżąco do komputera. Dołożenie dodatkowej cechy, jaką były wstrząsy z akcelometru pomogło o około 2pp.

Inną ciekawą pracą jest [6], w którym zaprezentowano system KeySens. Okazuje się, że miejsca na klawiszach, które wybierają użytkownicy mogą być cechą na podstawie której da się rozróżnić dwie osoby. Na ilustracji, 7 punkty szare to punkty naciśnięć różnych użytkowników. Punkty żółte odpowiadają naciśnięciom pewnego użytkownika. Wydaje się, że użytkownik może być charakteryzowany przez typowe położenia naciśnięć palca.



Rysunek 3: Przykład z systemu KeySens

W pracy [7] został zaproponowany kompleksowy sposób wykorzystania możliwości, oferowanych przez nowoczesne telefony komórkowe. Autor sądzi, że ta praca bardzo dobrze wskazuje, w jaki sposób można wykorzystać dynamikę pisania na klawiaturze telefonu. Jako cechy, zostały wykorzystane:

- informacje o momencie wciśnięcia i puszczenia klawiszy,
- rozmiar styku palca z ekranem podczas dotknięcia i puszczenia ekran,
- pozycja, w której ekran był dotknięty i pozycja w której ekran został puszczone,
- sygnał z akcelerometru,
- sygnał z żyroskopu,
- pozycja urządzenia mierzona względem pola magnetycznego ziemi.

Możliwości użycia sygnałów z akcelerometru i żyroskopu pokazane są także w pracy [8]. Osiągane wyniki są bardzo dobre, natomiast praca ta ma pewną wadę. Dane testowe pochodzą z tej samej sesji akwizycji (pisania), co dane treningowe. Istnieje obawa, że wzorzec pisania może różnić się w zależności od odstępu czasowego między kolejnymi akwizycjami.

Istnieją prace, korzystające z pomiaru siły nacisku na ekran, jako dodatkowej cechy. Taka cecha wydaje się także być dość naturalna. Siłę nacisku w telefonach można pobrać na przykład za pomocą frameworka Pressure.js (<https://pressurejs.com/>). Okazuje się niestety, że telefony z ekranami, umożliwiającymi pobranie siły nacisku są obecnie w mniejszości. Na stronie Internetowej, twórcy frameworka deklarują, że działa on między innymi na następujących modelach smartfonów: iPhone 6s, iPhone 6s Plus, iPhone 7, iPhone 7 Plus. W zdecydowanej większości telefonów natomiast możemy znaleźć akcelerometr i żyroskop. Dlatego w dalszej pracy autor zrezygnował z wykorzystania pomiaru siły nacisku, jednak uważa, że jest to bardzo ciekawy kierunek badań.

W pracy [9] oraz [10] autorzy proponują użycie tzw. *gestów*, czyli wzorców przesunięć po ekranie jako podstawy autentykacji. Według autorów pracy [9], taki sposób ma być alternatywą do znanych obecnie *wzorców* do odblokowywania ekranu.

## Krytyczna analiza literatury dotyczącej *keystroke dynamics* dla urządzeń mobilnych

Jest wiele prac, dotyczących *keystrokes dynamics* dla smartfonów. Różnią się one następującymi zmiennymi:

## 2.2. PRACE, DOTYCZĄCE URZĄDZEŃ MOBILNYCH

- różna liczba uczestników badania,
- różna liczba sesji pomiaru,
- różne klasyfikatory,
- różne miary jakości,
- różne uzyskiwane wyniki.

Nie znaczy to w żadnym razie, że prace są złe. Natomiast ze względu na wspomniany fakt, ustalenie „state of the art” jest trudnym zadaniem. Przykładowo, najlepszy napotkany przez autora wynik znajduje się w pracy [8]. Zostało tam uzyskane EER równe 0.08%. Jest to wręcz imponujący wynik na tle innych wyników. Jednak można wytknąć pewną charakterystyczną cechę w użytej metodologii. Z ustaleń autora za pomocą e-maila do jednego z autorów wspomnianej pracy, najprawdopodobniej zbiór treningowy i testowy pochodzi z jednej sesji akwizycji. Najprawdopodobniej, gdyż adresat nie był do końca pewny, a inni autorzy nie odpisali. Jeśli w istocie tak było, to jest to cecha wpływająca na jakość działania. Autor celowo nie pisze o błędzie, jednak wydaje się, że w praktyce nie powinno się testować w taki sposób, gdyż mając w planach stworzenie systemu logowania, powinno się zakładać, że logowanie (czyli testowanie) będzie odbywało się po upływie pewnego czasu od stworzenia profilu (trenowania modelu).

W pracy [10] także uzyskano dobre wyniki, jednak używano tam sił nacisku palca. A w innych pracach nie było tej cechy, więc sprawą dyskusyjną jest porównywanie tych wyników z innymi pracami. Biorąc pod uwagę fakt, że w niewielu telefonach jest dostępny czujnik siły nacisku na ekran - wyniki te nie są użyteczne na szeroką skalę.

### 3. Opis autorskiego podejścia

#### 3.1. Założenia autorskiego podejścia

Ostatecznym celem jest przetestowanie pomysłu autora, dotyczącego eksploracji możliwości wykorzystania klawiatury typu swipe, tzn. takiej, na której pisze się poprzez przesuwanie palcem po klawiaturze. Według wiedzy autora, jest to nowatorski kierunek badań.

Jednak zanim się to stało, autor stworzył „punkt odniesienia” w postaci eksploracji wyników:

- dla klawiatury komputera - dla zewnętrznej bazy danych,
- dla klasycznej klawiatury telefonu - dla zewnętrznej i autorskiej bazy danych.

Zostały wykorzystane metody, używane w dostępnej literaturze. Po stworzeniu wspomnianego „punktu odniesienia” autor przeszedł do celu finalnego. Można było bowiem porównywać wyniki eksperymentów, a co za tym idzie - wskazać na zasadność nowej metody.

Jak zostało wspomniane pod koniec poprzedniego rozdziału, jest wiele prac, jednak użyte w nich metodologie różnią się cechami. Dlatego w niniejszej pracy, autor dokonał kompleksowego przeglądu metod, spotykanych w literaturze, ale z zachowaniem stałych parametrów:

- Ta sama ilość danych,
- Ten sam stosunek liczności zbioru treningowego i testowego,
- Ta sama metryka jakości (nowa, autorska metryka),
- Ustalony zbiór klasyfikatorów, używanych cały czas przez wszystkie eksperymenty,
- Te same osoby, uczestniczące w eksperymentach. Wśród uczestników są tacy, którzy bardzo sprawnie obsługują telefon, ale są i tacy, którzy obsługują go mniej sprawnie. Nie jest dobrym pomysłem porównywanie wyników uzyskanych na bazach, złożonych z próbek użytkowników o różnym stopniu „zaznajomienia” ze smartfonami,
- Zbiór uczący i testowy pochodzą z różnych akwizycji, rozdzielonych od siebie znacznie w czasie.

### 3.2. APLIKACJA DO AKWIZYCJI DANYCH

Z tymi samymi parametrami będą prowadzone eksperymenty dotyczące klawiatury typu swipe.

### 3.2. Aplikacja do akwizycji danych

W ramach pracy powstała aplikacja przeglądarkowa, której celem było umożliwienie zebrania danych. Kod źródłowy aplikacji do akwizycji danych jest załącznikiem do niniejszej pracy i jest dostępny w folderze **KeystrokesAcquisition**. Aplikacja składa się z dwóch elementów:

1. Aplikacja przeglądarkowa, zbierająca dane i wysyłająca je do aplikacji backendowej - jej kod znajduje się w folderze **KeystrokesFront/src**,
2. Aplikacja backendowa przekazuje dane do bazy danych - jej kod znajduje się w folderze **KeystrokesAPI**.

#### Aplikacja frontendowa

Aplikacja powstała przy użyciu języka JavaScript i biblioteki React. Jest dostępna w trzech wersjach:

1. Na komputer (nieużywana w niniejszej pracy, ale potencjalnie można jej użyć):

Please type given phrase in textbox. It will be repeated 15 times.

Phrase: .tie5Roanl repetition: 1

Rysunek 4: Aplikacja do akwizycji danych - wersja w przeglądarce na komputerze

Umożliwia zbieranie:

- czasów wciśnień klawiszy,
  - czasów puszczeń klawiszy.
2. Na telefon z wykorzystaniem klasycznej klawiatury, Umożliwia zbieranie:
    - czasów wciśnień klawiszy,
    - czasów puszczeń klawiszy,
    - pozycji wciśnień klawiszy,
    - pozycji puszczeń klawiszy,

- sygnałów z akcelerometru w czasie w trzech osiach,
- sygnałów z żyroskopu w czasie w trzech osiach.

3. Na telefon z wykorzystaniem klawiatury typu swipe:



Rysunek 5: Aplikacja do akwizycji danych - wersja w przeglądarce na smartfonie



Rysunek 6: Aplikacja do akwizycji danych - wersja w przeglądarce na smartfonie, wersja swipe

Umożliwia zbieranie:

- pozycji palca (x, y) podczas przesuwania po ekranie,
- pozycji wciśnięć klawiszy,
- pozycji puszczeń klawiszy,
- sygnałów z akcelerometru w czasie w trzech osiach,
- sygnałów z żyroskopu w czasie w trzech osiach.

To, która wersja jest prezentowana użytkownikowi, można opisać algorytmem:

- Jeśli wykryto przeglądarkę mobilną:
  - Jeśli id użytkownika korzystającego z aplikacji zawiera przyrostek „swipe” to prezentowana jest wersja mobilna swipe,
  - W przeciwnym przypadku - prezentowana jest wersja mobilna standardowa.



### 3.2. APLIKACJA DO AKWIZYCJI DANYCH

- Jeśli nie wykryto przeglądarki mobilnej, to prezentowana jest wersja dla komputera,

Głównym komponentem programu jest klasa **Typing**. Importowane są w niej następujące komponenty:

- **InputComputer** - wyświetla i czytuje dane z klawiatury komputera,
- **InputMobileStandard** - wyświetla klasyczną klawiaturę telefonu i czytuje z niej dane,
- **InputMobileSwipe** - wyświetla klawiaturę telefonu typu swipe i czytuje z niej dane.

Komponent **PhrasesGenerator** jest odpowiedzialny za dostarczanie nowych fraz do wpisywania. Jest on tworzony w konstruktorach powyższych trzech klas i można tam ustawić, jakie frazy i ile razy mają być czytywane. Dodatkowe instrukcje na temat uruchomienia lokalnego oraz hostowania aplikacji znajdują się w pliku **README.txt** w folderze **KeystrokesFront**.

#### Mechanika działania czytywania danych od użytkownika

Komentarza domaga się sposób czytywania danych od użytkownika. Jest on zależny od rodzaju klawiatury:

- W przypadku klawiatury komputera i standardowej klawiatury mobilnej, przyjmowane są kolejne znaki frazy. W przypadku wprowadzenia błędnego znaku jest on cofany,
- W przypadku klawiatury w wersji „swipe” jest to wersja zmodyfikowana w stosunku do tego, co robią typowe klawiatury typu „swipe”. Nie wyznacza słowa na podstawie przesunięcia palcem. Jedynie sprawdza, czy zadane słowo zostało napisane. Rozumie się przez to przejechanie palcem po każdej literze frazy w ustalonej kolejności. W trakcie nie można odrywać palca. W przypadku oderwania palca akwizycja jest powtarzana.

Do akwizycji danych wykorzystywane są standardowe zdarzenia udostępniane przez przeglądarkę. Sygnały zapisywane są z maksymalną dostępną częstotliwością. Autor pragnie zaznaczyć, że obie klawiatury mobilne powstały przy wykorzystaniu projektów „react-simple-keyboard”: <https://github.com/hodgef/react-simple-keyboard> i „simple-keyboard/swipe-keyboard”: <https://github.com/simple-keyboard/swipe-keyboard>.

#### Aplikacja backendowa

Aplikacja powstała w technologii Azure Function App, natomiast dane składowane są za pośrednictwem usługi Azure Storage. By aplikacja mogła działać, wśród zmiennych systemowych musi być obecna zmienna **AZURE\_STORAGE\_CONNECTION\_STRING**, dzięki której można połączyć się do usługi Azure Storage (a konkretniej - dostać się do „bloba”, w którym trzymane są dane).

Na podstawie wejścia z aplikacji frontendowej, dane są kierowane do odpowiedniego folderu:

- **keystrokes-computer**,
- **keystrokes-mobile-standard**,
- **keystrokes-mobile-swipe**.

### Algorytmiczny opis zbierania danych

By umożliwić użytkownikom składowanie swoich danych, należy:

- Hostować aplikację frontendową, na potrzeby dalszych przykładów przyjmiemy, że jest to adres: **www.adres.pl**,
- Hostować aplikację backendową, na przykład na platformie Microsoft Azure,
- Utworzyć konto w usłudze Azure Blob Storage i zadbać, by aplikacja backendowa miała dostęp do zmiennej **AZURE\_STORAGE\_CONNECTION\_STRING**,
- Zadbać o to, by ustawienia Cross-Origin Resource Sharing (CORS) aplikacji backendowej pozwalały na dostęp do niej z adresu **www.adres.pl**,
- W kodzie aplikacji frontendowej należy ustawić endpoint, jako adres aplikacji backendowej. Należy to zrobić w metodzie **sendDataToAPI** komponentu **Typing**,
- Należy przygotować dla każdego użytkownika unikalne id (w celu późniejszej identyfikacji),
- Należy przekazać użytkownikom ich indywidualne linki. Zakładając, że identyfikatorem użytkownika będzie „123”, to linki są następujące: **www.adres.pl/?id=123** oraz **www.adres.pl/?id=123\_swipe**.

Następnie użytkownik wchodzi w linki ustaloną liczbę razy (w niniejszej pracy - 3 razy) i wpisuje ustalone frazy aż system wyświetli informację o końcu akwizycji. Akwizycje zbierane są w odpowiednich folderach w usłudze Azure Blob Storage. Uwaga: Korzystanie z usług Microsoft Azure jest płatne.

### 3.3. Bazy danych do eksperymentów

W pracy autor użył zarówno dostępne w Internecie baz danych oraz stworzył aplikację do akwizycji danych i samodzielnie zebrał dane.

#### Zewnętrzne bazy danych

##### Baza danych R. J. Maxiona

Baza [11] zawiera zapis pisania na klawiaturze. Jest ona obszerna. 51 uczestników badania wpisało 400 razy (w wielu sesjach) frazę **.tie5Roanl**. Dostępne są w bazie: czas wciśnięć i puszczeń poszczególnych klawiszy.

##### Baza danych Mobikey

Baza [12] zawiera dane, dotyczące pisania na tablecie Nexus 7 frazy **.tie5Roanl**. W jej skład wchodzi dane od 43 użytkowników. Użytkownicy zostawiali dane w różnej liczbie sesji i różnej liczbie akwizycji. Sytuacji, w której użytkownik zostawił dane w co najmniej 3 sesjach oraz każda sesja zawiera co najmniej 15 akwizycji było 23. Dostępne są w bazie dla poszczególnych klawiszy:

- czas wciśnięć i puszczeń,
- pozycje wciśnięć,
- siła wciśnięć,
- sygnały z akcelerometru w osi x, y, z dla momentów wciśnięć przycisków.

##### Własna baza danych

Autor samodzielnie zebrał dane z klawiatur mobilnych obu typów. Eksperymenty ukończyło 27 osób, ale niestety nie u wszystkich osób dane były kompletne, a co za tym idzie - podatne do używania. W przypadku zbioru klasycznego, dobre dane zostały uzyskane od 22 osób, a w przypadku zbioru swipe - od 19 osób. Powodami wad danych były m.in.:

- Brak danych z sensorów, tzn. same zera w wektorze wejściowym,
- Zbyt mała rozdzielczość sygnałów.

Akwizycja danych jednej osoby składała się z trzech sesji zbierania. Sesje były rozłożone w czasie. Między sesjami najczęściej była doba odstępu (czasami mniej, ale dolnym limitem było kilka godzin). W przypadku klasycznej klawiatury telefonu użyto frazę **.tie5Roanl**, a w przypadku klawiatury typu swipe - frazę **arctic** (frazę ta została wybrana przy założeniu, że nie powinna być zbyt długa, powinno podczas pisania być wiele zmian kierunków oraz powinno być to istniejące słowo).

### 3.4. Metodologia badań

#### 3.4.1. Metryka jakości używana w pracy

Jak zostało wspomniane we wstępie teoretycznym, w ogólnym przypadku dobrą metryką do oceny jest powierzchnia pod krzywą ROC. Biorąc jednak pod uwagę, że systemy biometryczne są wykorzystywane w praktyce, autor chciałby zaproponować inną metrykę. W praktyce, jest pewna wartość FAR, powyżej której nie chcemy rozpatrywać działania systemu, gdyż (niezależnie od tego jakie będzie FRR) liczba włamań do systemu jest większa niż akceptowalna. W praktyce, interesuje nas ten obszar krzywej, dla której FAR jest małe. W niniejszej pracy nie będzie to więcej niż 4%. Im mniejsze FAR, tym odpowiadające FRR są bardziej interesujące, dlatego powinny mieć większą wagę. W niniejszej pracy jakość systemu będzie opisywana przez następujące wartości:

- FRR przy FAR=0.5%,
- FRR przy FAR=1%,
- FRR przy FAR=2%,
- FRR przy FAR=3%,
- FRR przy FAR=4%,
- Ostatecznie - jako pojedyncza liczba umożliwiająca wygodne porównywanie wyników, użyta będzie średnia ważona powyższych wartości z wagami odpowiednio: 5, 2, 2, 1, 1.

Należy zaznaczyć, że dobór wag był raczej subiektywny. Głównym celem było stworzenie miary, będącej jedną liczbą, by umożliwić porównywanie wyników działań w procesie porównywania hiperparametrów algorytmów klasyfikacji, natomiast stworzona miara przydaje się także do ustalenia jakości wyników końcowych.

**Uwaga implementacyjna** W praktyce, najczęściej nie zdarzy się, by znaleźć punkt, w którym FAR będzie miało dokładnie żadaną wartość. Użyta została interpolacja liniowa wartości, biorąc pod uwagę punkty z najbliższymi (na lewo i na prawo) wartościami FAR.

#### 3.4.2. Wykorzystane metody Sztucznej Inteligencji

W eksperymentach zostały wykorzystane metody Sztucznej Inteligencji (a konkretniej jej podzbioru - Uczenia Maszynowego). W niniejszej pracy zostaną one opisane na tyle, by zrozumieć ich ideę, jednak nie będzie to opis prezentujący wszystkie szczegóły. Algorytmy, będące

### 3.4. METODOLOGIA BADAŃ

klasyfikatorami (KNN, SVC, Random Forest, MLP) będą tłumaczone przy założeniu, że używane są do klasyfikacji binarnej, jednak można ich użyć też do klasyfikacji wieloklasowej, a także regresji.

#### **KNN - K Nearest Neighbours (po polsku: K Najbliższych Sąsiadów)**

Załóżmy, że chcemy znaleźć klasę wektora  $v$ . Znajdujemy najpierw  $k$  najbliższych wektorów wektora  $v$  - najbliższych w sensie zdefiniowanej metryki. Każdy z tych wektorów charakteryzuje się jego odległością od  $v$ . Prawdopodobieństwo przynależności do klasy 1 to iloraz sumy odwrotności odległości sąsiadów  $v$  będących z klasy 1 do sumy odwrotności odległości wszystkich  $k$  sąsiadów.

Parametrami tej metody są metryka, służąca do obliczania odległości między wektorami i liczba sąsiadów -  $k$ . W fazie cross-validation zostały użyte wartości, będące iloczynem kartezjańskim:

1. metryki: euklidesowa i manhattan,
2.  $k$ : 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

#### **SVM - Support Vector Machine (po polsku: Maszyna Wektorów Podpierających)**

Uwaga terminologiczna: Popularnym skrótem jest także SVC - Support Vector Classification, co można przytłumaczyć jako „Klasyfikacja za pomocą Maszyny Wektorów Podpierających”. W niniejszej pracy skróty SVM i SVC będą uznawane za synonimy.

SVM w swojej podstawowej wersji jest klasyfikatorem liniowym. Szuka on takiej hiperpłaszczyzny separującej klasy, by minimalne odległości punktów od niej były jak największe.

Ponieważ w większości przypadków (jak i w przypadku niniejszej pracy), klasy nie są liniowo separowalne, należy użyć specjalnej techniki. Technika ta polega na przekształceniu zbioru wejściowego (tego, na którym należy przeprowadzić separację) do innej przestrzeni, w której da się znaleźć hiperpłaszczyznę, która będzie dobrze separowała przestrzeń. Innymi słowy - klasyfikacja odbywa się w nowej przestrzeni. W niniejszej pracy zostało wykorzystane **przekształcenie Gaussa**. W nowej przestrzeni metryka odległości między  $x$  i  $x'$  wynosi:

$$\exp(-\gamma ||x - x'||^2)$$

Parametrem tego algorytmu jest  $\gamma$  (gamma). W fazie cross-validation zostały użyte następujące wartości tego parametru: 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4

**RF - Random Forest (po polsku: Metoda Lasu Losowego)**

By zrozumieć tę metodę, trzeba zrozumieć klasyfikację za pomocą **drzewa decyzyjnego**. Drzewo decyzyjne jest drzewem binarnym, gdzie każdy węzeł niebędący liściem reprezentuje problem decyzyjny, dotyczący jednej zmiennej. Podczas testowania, idea drzewa losowego jest bardzo prosta. Przechodzi się przez wszystkie problemy decyzyjne i dochodzi się do liścia z którego można odczytać wynik klasyfikacji.

Drzewo decyzyjne tworzone jest w procesie uczenia na podstawie dostępnych danych trenin-  
gowych. W każdym węźle szukana jest zmienna, która najlepiej rozdzieli zbiór. Słowo „najlepiej”  
oznacza w tym przypadku: powodująca, że uzyskane podzbiory są jak najbardziej homogeniczne  
(o podobnych wartościach cech).

Metoda lasu losowego wykorzystuje wiele drzew decyzyjnych. Ustalona liczba drzew decyzyj-  
nych jest trenowana. Drzewa te są różne, bo dla każdego drzewa wybieramy inny podzbiór cech  
na których możemy operować. Następnie dokonuje się klasyfikacji dla wszystkich drzew i wynik  
(prawdopodobieństwo, że przykład należy do klasy 1) jest ilorazem liczby przypadków, gdzie  
drzewo przewidziało klasę 1 do liczby wszystkich przypadków.

Parametrem tego algorytmu jest liczba drzew. W fazie cross-validation zostały użyte nastę-  
pujące wartości tego parametru: 5, 10, 20, 50, 100.

**MLP - Multilayer Perceptron (po polsku: Perceptron Wielowarstwowy)**

MLP to model prostej sieci neuronowej. Sieć ma warstwy: wejściową i wyjściową oraz warstwy  
ukryte (może być ich wiele). Połączenia między warstwami mają swoje wagi. Wartości neuronów  
w warstwie  $L + 1$  są obliczane na podstawie wartości neuronów w warstwie  $L$ , wag łączących  
warstwę  $L$  z warstwą  $L + 1$  oraz tzw. funkcji aktywacji. Konkretniej - mnoży się (w rozumieniu  
mnożenia macierzy) wartości warstwy  $L$  z wagami łączącymi warstwę  $L$  z  $L + 1$ , a następnie  
wynik poddaje się działaniu funkcji aktywacji. W warstwach ukrytych często używaną funkcją  
jest ReLU (Rectified Linear Unit):

$$Relu(x) = \max(0, x)$$

W przypadku warstwy wyjściowej - by uzyskać wynik z zakresu  $[0, 1]$  używa się funkcji  
sigmoidalnej:

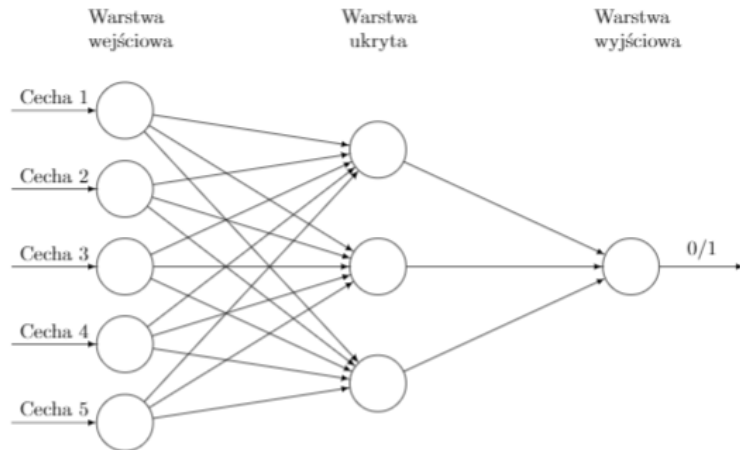
$$Sigmoid(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Na warstwę wejściową podawane są wartości wektora ze zbioru. W przypadku uczenia war-  
tość na warstwie wyjściowej ustalana jest w opisany powyżej sposób (nosi to nazwę *forward*

### 3.4. METODOLOGIA BADAŃ

*propagation*). Następnie wyliczany jest błąd na wyjściu. W zależności od tego błędu za pomocą propagacji wstecznej - *backward propagation* korygowane są wagi połączeń między warstwami.

W przypadku testowania wykonuje się jedynie *forward propagation*. Sieć na wyjściu zwraca wynik. Dla ilustracji, poniżej został przedstawiony schemat perceptronu z jedną warstwą ukrytą.



Rysunek 7: Sieć neuronowa - schemat

Parametrami tej metody są: liczba warstw ukrytych i liczność tych warstw. W fazie cross-validation zostały użyte wartości, będące iloczynem kartezyjskim:

- liczby warstw: 2 i 3,
- liczności poszczególnych warstw: 10, 20, 30, 40.

### Dynamic Time Warping

Dynamic Time Warping (DTW) jest techniką wyznaczającą podobieństwo dwóch szeregów czasowych o niekoniecznie równych długościach.

Celem tego algorytmu jest znalezienie optymalnego dopasowania dwóch szeregów, które spełnia następujące warunki:

- Każdy element z pierwszego szeregu ma odpowiednik w elemencie z drugiego szeregu oraz każdy element z drugiego szeregu ma odpowiednik w elemencie z pierwszego szeregu,
- Pierwszy element pierwszego szeregu ma odpowiednik, będący pierwszym elementem drugiego szeregu,
- Ostatni element pierwszego szeregu ma odpowiednik, będący ostatnim elementem drugiego szeregu.

Warunek **optymalności** dopasowania oznacza, że koszt dopasowania (liczony jako suma różnic wartości dopasowywanych elementów) jest najmniejszy możliwy. Metryką, służącą w niniejszej pracy do porównywania dwóch szeregów jest koszt optymalnego dopasowania dzielony przez maksimum z długości szeregów. Więcej informacji na temat tworzenia optymalnego dopasowania można znaleźć w książce [13].

### 3.4.3. Pozostałe kwestie metodologiczne

#### Zamiana problemu wieloklasowego na binarny

W zbiorach wejściowych każdej z próbek jest przyporządkowana klasa, czyli identyfikator użytkownika, od którego pochodzi dana próbka. W przypadku, gdy w badaniu wzięło udział  $n$  użytkowników, problem ten jest zamieniany na  $n$  problemów binarnych w następujący sposób:

- próbką, należącą do użytkownika przyporządkowano etykietę 1,
- pozostałym próbką przyporządkowano etykietę 0,
- wśród próbek z etykietą 0, wylosowano pewną ilość próbek. W eksperymentach ta ilość w przypadku zbioru treningowego i testowego jest równa liczności zbioru próbek pozytywnych.

#### Przebieg eksperymentów

Dla każdego modelu:

Dla każdego zadania binarnego:

```
XTrain, YTrain, XTest, YTest = GenerujZadanieBinarne()
DopasujParametrDlaModeluIZadania(XTrain, YTrain)
```

```
Dla znalezionej wartości parametru, oblicz WspółczynnikJakości() \
dla XTrain, YTrain, XTest, YTest oraz zapisz zależność FAR-FRR
```

Oblicz średnią ze zwróconych WspółczynnikJakości dla modelu

Wykreśl średni wykres FAR-FRR

DopasujParametrDlaModeluIZadania(XTrain, YTrain):

Dla każdego parametru do sprawdzenia:

przeprowadź cross-validation, korzystając ze zbioru treningowego



### 3.4. METODOLOGIA BADAŃ

Zwróć parametr, dla którego WspółczynnikJakości() zwróci największą wartość

WspółczynnikJakości():

Dla FAR w [0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04]:

oblicz odpowiadające FRR

oblicz średnią FRR z odpowiednimi wagami: [5, 2, 2, 1, 1]

#### Ilość danych i sposób ich wykorzystania

Należy omówić kwestię ilości danych wykorzystywanych w eksperymentach. W wielu pracach jakość działania algorytmów sprawdzana jest na stosunkowo dużej ilości danych. Na przykład w bazie danych Maxiona [11] dla każdego użytkownika jest dostępnych 400 próbek. Sprzyja to uzyskiwaniu dobrych wyników, jednak pojawia się zasadniczy problem, który można zdefiniować na dwa sposoby:

1. Ciężko jest zebrać dużą ilość danych do badań,
2. W założeniu implementacji systemu weryfikacji działającego dla użytkowników aplikacji, trzeba zapewnić im wygodny sposób rejestracji do systemu. Z praktycznego punktu widzenia, powinno być to szybkie i nieuciążliwe. W przypadku, gdy proponujemy użytkownikowi zbyt trudną rejestrację, istnieje obawa, że zrezygnuje on z korzystania z aplikacji albo wybierze inny sposób weryfikacji.

W niniejszej pracy wyniki są zaprezentowane w przypadku, gdy mamy dostępne trzy sesje pisania, każda po 15 powtórzeń z czego:

1. model jest uczony na próbkach z dwóch pierwszych sesji,
2. testowanie następuje na próbkach z trzeciej sesji.

Uwaga: Podczas akwizycji zbierano po 20 próbek w każdej sesji, jednak do eksperymentów użyto 15 próbek z każdej sesji (od 2. do 16.). Wstępne eksperymenty wskazywały na to, że użycie początkowych i końcowych próbek pogarszało wyniki. Wybór próbek (od 2. do 16.) ma charakter umowny. Z pewnością zbadanie tego, jaki wpływ ma numer próbki na dokładność klasyfikacji jest ciekawym kierunkiem badań.

#### 3.4.4. Opis eksperymentów dotyczących klawiatury komputera

W tej sekcji, jak i w kolejnych sekcjach tego rozdziału zostały przedstawione sposoby przekształcania danych do formy wektorów wejściowych dla algorytmów klasyfikacji.

W przypadku klasycznej klawiatury komputera, wektorem wejściowym były różnice czasów między poszczególnymi zdarzeniami, czyli czasy wciśnięcia klawisza oraz różnice między momentami puszczenia klawisza, a momentami naciśnięcia następnego klawisza.

W przykładowej frazie "tak", w wektorze cech znalazły się:

- czas wciśnięcia klawisza **t**,
- czas między puszczeniem **t**, a wciśnięciem **a**,
- czas wciśnięcia klawisza **a**,
- czas między puszczeniem **a**, a wciśnięciem **k**,
- czas wciśnięcia klawisza **k**.

W przypadku badanej frazy **.tie5Roanl** wektor cech ma 21 elementów. Do pojawienia się litery **R** potrzeba użyć dwóch klawiszy: **SHIFT** i **R**.

#### 3.4.5. Opis eksperymentów dotyczących klawiatury telefonu

Wektor cech zawiera uprzednio wykorzystywane cechy, dotyczące wciśnięć klawiszy. Dodatkowo do analizy dostępne są:

- W przypadku tradycyjnej klawiatury: pozycje, w których palec dotykał klawiszy, sygnał z akcelerometru w trzech osiach, sygnał z żyroskopu w trzech osiach,
- W przypadku klawiatury typu „swipe”: pozycje (x, y) palca w czasie, sygnał z akcelerometru w trzech osiach, sygnał z żyroskopu w trzech osiach.

Szczegóły dotyczące sposobu wykorzystania tych danych zostały przedstawione poniżej.

#### Sposób przetwarzania sygnałów

Do analizy dostępne są sygnały, rozumiane jako szeregi czasowe. Takimi sygnałami są w przypadku tradycyjnej klawiatury telefonu:

- sygnał z akcelerometru w trzech osiach,
- sygnał z żyroskopu w trzech osiach.

W przypadku klawiatury typu swipe są to:

- pozycje (x, y) palca w czasie - w ścisłym sensie są to dwa szeregi czasowe,
- sygnał z akcelerometru w trzech osiach,

- sygnał z żyroskopu w trzech osiach.

#### **Sposób przetworzenia szeregu czasowego do wektora cech**

Pierwszą metodą jest przekształcenie szeregu czasowego do wektora cech za pomocą wyliczenia ustalonych statystyk. Tymi statystykami w niniejszej pracy będą: średnia i pierwiastek ze średniej wartości kwadratów (ang. root mean squared, RMS).

Statystyki nie będą liczone dla całego sygnału, ale w przedziałach:

- w przypadku klawiatury tradycyjnej: dla każdego okresu między naciśnięciem i puszczeniem przycisku (a także między puszczeniem a naciśnięciem następnego),
- w przypadku klawiatury typu swipe: w okresach przesuwania między kolejnymi literami (od granicy opuszczanego do granicy następnego), a także w okresach przesuwania wewnątrz liter.

Dodatkowo przyjmowany jest margines 50ms, odejmowany od początku oraz dodawany do końca wyżej wymienionych okresów. Pomysł na wybór cech (średnie, RMS) został zaczerpnięty z pracy [8].

Drugą metodą jest porównywanie sygnałów metodą DTW. System autora działa następująco: Sygnał jest porównywany ze wszystkimi sygnałami należącymi do użytkownika w zbiorze treningowym (etykieta 1). Metryką odległości między sygnałami jest odległość zwrócona przez algorytm DTW (Dynamic Time Warping). Odległości tworzą wektor. Z wektora usuwana jest najmniejsza odległość, gdyż w przypadku, gdy rozpatrywany jest sygnał ze zbioru uczącego, będzie to odległość do samego siebie, czyli 0, a taka wartość nie wnosi informacji. Tak utworzony wektor jest wektorem cech.

Rozszerzeniem drugiej metody jest wykonanie porównania wspomnianą metodą, ale na fragmentach sygnałów w przedziałach. Wówczas wektory wynikowe są konkatenowane, przy czym usuwany jest wektor o najmniejszej wadze.

Do tej pory rozpatrywany był jeden szereg czasowy. Dla wielu szeregów, należy skunkatenować wektory wynikowe. Należy zaznaczyć, że metoda, korzystająca z DTW jest kosztowna obliczeniowo.

W przypadku tradycyjnej klawiatury, autor w swoim systemie zbierał sygnały z akcelerometru i żyroskopu w trzech osiach przez cały czas wpisywania. W bazie Mobikkey dostępne jedynie są odczyty akcelerometru w trzech osiach w momencie dotyku na odpowiednie klawisze.

## Komentarz dotyczący wybranej metodologii dla klawiatury typu swipe

Weryfikacja człowieka na podstawie pisma odręcznego to popularna metoda biometryczna. Występuje ona w dwóch odmianach:

1. offline - gdy do dyspozycji jest jedynie obraz podpisu,
2. online - gdy do dyspozycji jest przebieg czasowy pisania wraz (opcjonalnie) z dodatkowymi informacjami takimi, jak siła nacisku czy nachylenie pisaka względem tabletu. Do celu akwizycji podpisu online używane są specjalne tablety i długopisy.

Autor zauważył podobieństwo między pisaniem odręcznym za pomocą długopisu, a używaniem klawiatury typu swipe. Wydaje się, że są to podobne rodzaje aktywności użytkownika.

Jedną z metod, zaproponowanych w literaturze jest porównywanie przyspieszeń w obydwu osiach za pomocą techniki Dynamic Time Warping [14]. W oryginale, rozwiązanie zostało zastosowane do biometrii opartej na podpisie online. Praca ta była inspiracją dla autora.

W niniejszej pracy, autor przetestował porównywanie nie tylko przyspieszeń, ale także prędkości, jak i po prostu szeregów pozycji  $x/y$ . Dodatkowo, we wstępnym etapie doświadczeń, próbowano polepszyć jakość działania za pomocą wstępnego przekształcenia sygnału za pomocą Transformaty Fouriera, jednak nie dało to rezultatu (a nawet wyniki były gorsze).

## Pozycje przyciśnień

Pozycje  $(x, y)$  dotyku kolejnych klawiszy mogą być wykorzystywane wprost jako cechy, natomiast wydaje się, że warto przekształcić te pozycje do postaci liczb z zakresu  $[0, 1]$ , która reprezentuje położenie  $x$  i  $y$  względem granic przycisku. Wówczas można uzyskać niezależność od rozmiaru ekranu, na którym pisze użytkownik. Taką metodę przyjął autor w niniejszej pracy.

## Wykorzystanie wartości własnych macierzy Toeplitza do przekształcenia pozycji wciśnień przycisków

W pracy [2], autorzy podeszli do problemu przekształcenia sygnału ruchu myszy komputerowej do wektora cech w ciekawy sposób. Dokonuje się transformaty Fouriera sygnału. Składowe wyniki transformaty będą traktowane jako współczynniki:  $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ . Następne kroki:

- Tworzona jest macierz (macierz Toeplitza) o wymiarze  $n \times n$ ,
- Dla kolejnych podmacierzy kwadratowych macierzy  $M$  znajdowane są ich minimalne wartości własne,
- Wektorem cech jest wektor znalezionych minimalnych wartości własnych.

### 3.5. KOD DO PRZEPROWADZANIA EKSPERYMENTÓW

Metoda użycia minimalnych wartości własnych macierzy Toeplitza została także opisana na przykład w pracy [15]. Autor na początku znajduje punkty charakterystyczne twarzy. Zostały zaproponowane dwie możliwości przekształcenia punktów charakterystycznych twarzy:

1.  $c_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$
2.  $c_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$

Zdaniem autora, widoczne jest podobieństwo między problemem przedstawionym w powyższej pracy, a rozpoznawaniem użytkownika na podstawie punktów, w których umieścił palec podczas pisania na klawiaturze. W rozwiązaniu, autor przyjął następującą definicję współczynników macierzy:  $c_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$

W opisie eksperymentów do przedstawionej metody autor będzie się odwoływał jako do „metody Toeplitza”.

Wstępne analizy pokazały, że różnice między pozycją puszczenia, a dotknięcia przycisku są najczęściej zerowe (a jeśli są niezerowe, to nie wnoszą znaczących informacji). Dlatego dalsze eksperymenty wykorzystują jedynie pozycje przycisnąć.

### 3.5. Kod do przeprowadzania eksperymentów

W ramach pracy powstała aplikacja (a raczej zbiór skryptów), której celem było przeprowadzenie eksperymentów. Kod źródłowy jest załącznikiem do niniejszej pracy i jest dostępny w folderze **Experiments**.

#### Wejściowy format danych

Według przyjętej konwencji zakładany wejściowy format danych to plik csv z trzema obowiązkowymi kolumnami:

- „user”,
- „session”,
- „repetition”.

W pozostałych kolumnach znajdują się tablice danych (ich tekstowa reprezentacja jsonowa). Przykładowe dane (i ich nazwy używane w systemie) to:

- „down\_up”,

- „accel\_x\_mean” - średnie przyspieszenia w osi x, we fragmentach,
- „swipepositions\_signal” - tablica pozycji x palca podczas przesuwania na klawiaturze typu „swipe”.

**Uwaga:** Aplikacja frontendowa nie zapisuje danych w powyższej formie. Pliki json wysłane z aplikacji frontendowej można przekształcić do żądanej formy za pomocą skryptów z folderu MyData (dokładniejszy opis znajduje się na końcu tej sekcji).

### Opis eksperymentu

Proces eksperymentu został przedstawiony w opisie metodologii. Warto opisać główne klasy, uczestniczące w jego przebiegu. Nazwy klas odpowiadają nazwom plików z folderu **Pipeline**:

- **Splitter** - dzieli zbiór na treningowy i testowy,
- **ToBinaryTransformer** - przekształca zbiór na wiele zbiorów, które będą wejściem dla problemów binarnych,
- **Unpacker** - Na wejściu do eksperymentu definiuje się listę par (rodzaj danych, transformacja). Zaimplementowane są następujące transformacje:
  - transformacja pusta: zwraca wejście,
  - transformacja diff: zwraca wektor różnic między kolejnymi elementami będącymi sąsiadami,
  - transformacja sum: zwraca sumę elementów wektora; zwraca wektor jednoelementowy; obecnie to przekształcenie nie jest użyte w eksperymentach,
  - transformacja dtw\_distances: zwraca odległości dtw wektora od wektorów o klasie 1 (zostało to już opisane w pracy),
  - transformacja dtw\_distances\_parts: jak wyżej, ale dla przypadku gdy sygnały porównywane są we fragmentach (również zostało to już opisane).

Wynikiem transformacji każdego rodzaju danych jest wektor jednowymiarowy. Ostatecznie, wektor końcowy jest efektem konkatencji wyników wszystkich transformacji.

- **Cache** - klasa pomocnicza dla **Unpacker**. Wykorzystywana tylko w przypadku porównania sygnałów przy pomocy DTW. Powodowane jest to faktem, że porównywanie to jest bardzo czasochłonne, zatem by nie porównywać tych samych sygnałów wielokrotnie podczas wykonywania wielu eksperymentów, zapisuje się wynik za pierwszym razem, a przy kolejnej potrzebie - używa się wartości uprzednio zapisanej,

### 3.5. KOD DO PRZEPROWADZANIA EKSPERYMENTÓW

- **AnalysisManager** - Agregowane są tutaj wyniki eksperymentów, by ostatecznie można było uzyskać wartości średnie,
- **Constants** - Plik ze stałymi używanymi w całym programie. Znajdują się tutaj m.in. oznaczenia rodzajów transformacji danych i nazwy klasyfikatorów,
- **ModelManager** - w tym pliku definiowane są algorytmy uczenia maszynowego, służące do klasyfikacji. W przypadku chęci dodania własnych algorytmów klasyfikacji, jest to dobre miejsce. Autor w swojej implementacji użył implementacji algorytmów: KNN, SVM, RF, Perceptron z biblioteki Scikit Learn ([16], [17], [18], [19]),
- **Process** - jej metoda **run** uruchamia cały eksperyment.

#### Tworzenie planu eksperymentów

By stworzyć eksperyment, należy ustalić zmienne go dotyczące, a następnie wystartować proces, zależny od tych zmiennych. Do zmiennych należą:

- ścieżka do wejściowego pliku csv,
- numery sesji, które mają być użyte w fazie trenowania,
- numery sesji, które mają być użyte w fazie testowania,
- numery powtórzeń, używane w eksperymentach,
- wykorzystywane metody klasyfikacji,
- nazwa pliku, do którego mają być zapisane wyniki eksperymentu,
- lista rodzajów danych i odpowiadających im transformacji.

W folderze **ExperimentsPlans** znajdują się przykładowe pliki, w których tworzone są procesy. W pojedynczym pliku jest zazwyczaj tworzonych wiele eksperymentów.

#### Opis przeprowadzenia eksperymentów dla danych zebranych za pomocą aplikacji do akwizycji

By móc przeprowadzić eksperymenty, należy zastosować następującą procedurę:

1. stworzyć w folderze **MyData** dwa foldery: **mobile-standard** i **mobile-swipe**,
2. pobrać dane za pomocą skryptu **MyData/download.py**. By kontrolować ile danych (ile sesji) zostało przesłanych przez użytkowników można użyć **MyData/monitor\_users.py**,

3. uruchomić **MyData/preprocess\_mobile.py** i **MyData/preprocess\_swipe.py**. Dane znajdują się odpowiednich folderach w folderze **data**,
4. W folderze **ExperimentPlans** stworzyć plik z planem eksperymentu (lub wykorzystać już stworzony plik),
5. Uruchomić plik z planem eksperymentu; W folderze **ExperimentResults** pojawi się plik z wynikami,
6. By zwizualizować (na wykresie i w tabeli) wyniki eksperymentu, można skorzystać ze skryptu **plot.py** z folderu **Plotting**. W tym folderze znajdują się też przykłady, w jaki sposób wykorzystać **plot.py**.

### Opis przeprowadzenia eksperymentów dla otwartych baz danych

W niniejszej pracy zostały użyte następujące otwarte bazy danych:

- Baza danych R. J. Maxiona: <https://www.cs.cmu.edu/~keystroke/>,
- Baza danych Mobikey: <https://ms.sapientia.ro/~manyi/mobikey.html>.

By móc przeprowadzić eksperymenty, należy zmodyfikować poprzednio opisaną procedurę. Zamiast punktów 1., 2. i 3. należy:

1. Pobrać dane (linki powyżej). W przypadku pierwszej bazy danych plik wejściowy powinien nazywać się **DSL-StrongPasswordData.csv**, a w drugim przypadku **data.csv**,
2. W folderach **data/maxion\_preprocessing** i **data/mobikey\_preprocessing** znajdują się skrypty **tranformation.py**, które przetworzą pliki wejściowe i stworzą pliki **data\_transformed.csv** - pliki wejściowe dla eksperymentów,
3. Wynikowe pliki należy umieścić odpowiednio w folderach **data/computer\_maxion** i **data/mobile\_mobikey** - do tych folderów odwołują się ścieżki w plikach z planami eksperymentów.



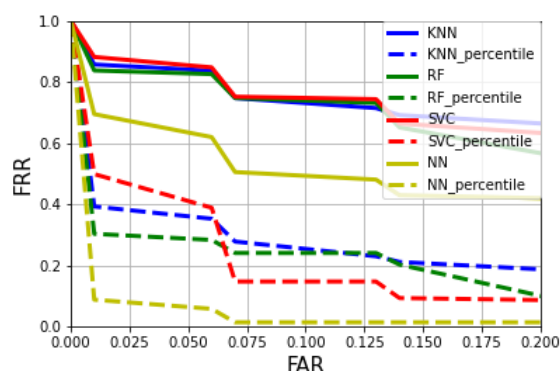
## 4. Wyniki eksperymentów

W niniejszej sekcji zostaną przedstawione wyniki opisanych wcześniej eksperymentów. Będą przedstawiane także komentarze do wyników eksperymentów.

### Sposób prezentacji wyników:

Są dwie metody prezentacji wyników:

- Krzywe, przedstawiające zależność FAR-FRR. Przedstawione są tam zależności dla wszystkich czterech klasyfikatorów. Liniami przerywanymi przedstawione są zależności dla 25% najlepszych użytkowników - najlepszych pod względem ustalonej metryki jakości. Dlatego w legendzie wykresu odpowiednie etykiety mają przyrostek „percentile”. Średnia zależność FAR-FRR jest ustalona według następującego algorytmu: dla kolejnych wartości FAR z zakresu  $[0, 1]$  z krokiem 0.01 jest wyznaczane FRR dla wszystkich użytkowników, a następnie uśredniane. FRR dla danego FAR dla danego użytkownika jest wynikiem interpolacji liniowej między najbliższymi (na lewo i na prawo) wartościami (FAR, FRR) dla danego użytkownika. Przykład wykresu został przedstawiony poniżej:



Rysunek 8: Przykładowy wykres prezentujący wyniki eksperymentów

- Tabele z uzyskiwanymi wynikami. Przedstawiają one wyniki FRR (średnie i odchylenia standardowe) dla danych FAR oraz średnią ważoną wyników FRR (score). Poniżej została

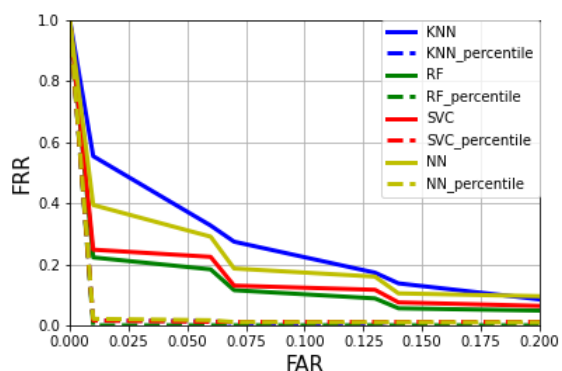
przedstawiona przykładowa tabela. Przykładowy wniosek, jaki można uzyskać po analizie tej tabeli: „W tym przypadku sieci neuronowe miały najlepszy średni współczynnik”.

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.74 (0.21)	0.76 (0.21)	0.75 (0.21)	0.74 (0.21)	0.73 (0.22)	0.65 (0.24)
<b>RF</b>	0.75 (0.25)	0.75 (0.25)	0.75 (0.25)	0.75 (0.25)	0.75 (0.25)	0.73 (0.25)
<b>SVC</b>	0.78 (0.28)	0.79 (0.29)	0.79 (0.29)	0.78 (0.28)	0.77 (0.28)	0.74 (0.26)
<b>NN</b>	0.70 (0.23)	0.73 (0.25)	0.71 (0.24)	0.69 (0.23)	0.66 (0.23)	0.62 (0.22)

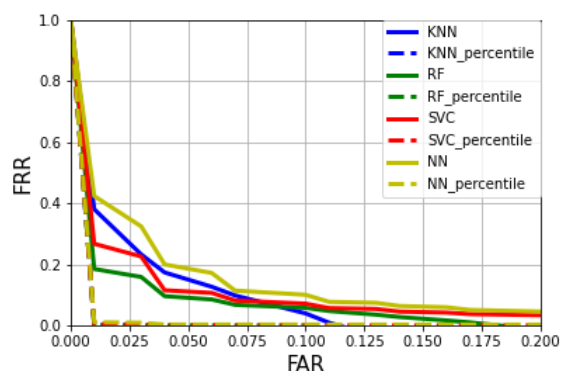
Tablica 2: Przykładowa tabela prezentująca wyniki eksperymentów

Uwaga: Dla zwięzłości, wykresy i tabele dotyczące klasycznej klawiatury komputera będą podpisywane z przedrostkiem „Mobilne”, a klawiatury typu swipe - z przedrostkiem „Swipe”.

## 4.1. Eksperymenty, dotyczące klawiatury komputera



Rysunek 9: Komputer - zbiór uczący o standardowych rozmiarach



Rysunek 10: Komputer - większy zbiór uczący

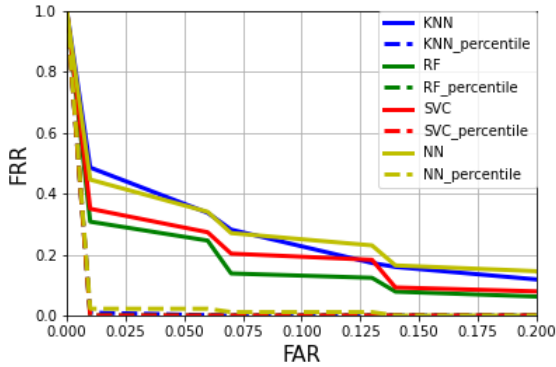
	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.53 (0.37)	0.58 (0.40)	0.55 (0.39)	0.51 (0.36)	0.46 (0.33)	0.42 (0.31)
<b>RF</b>	0.22 (0.25)	0.23 (0.26)	0.22 (0.26)	0.21 (0.25)	0.21 (0.25)	0.20 (0.24)
<b>SVC</b>	0.25 (0.26)	0.25 (0.26)	0.25 (0.26)	0.24 (0.26)	0.24 (0.25)	0.23 (0.25)
<b>NN</b>	0.39 (0.36)	0.40 (0.38)	0.39 (0.37)	0.37 (0.34)	0.35 (0.32)	0.33 (0.31)

Tablica 3: Komputer - zbiór uczący o standardowych rozmiarach

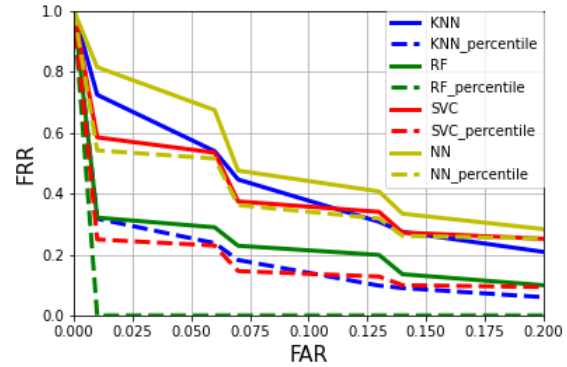
	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.35 (0.34)	0.42 (0.40)	0.38 (0.37)	0.31 (0.31)	0.23 (0.28)	0.17 (0.26)
<b>RF</b>	0.17 (0.21)	0.19 (0.22)	0.18 (0.22)	0.17 (0.21)	0.16 (0.20)	0.10 (0.15)
<b>SVC</b>	0.25 (0.28)	0.28 (0.32)	0.27 (0.30)	0.25 (0.27)	0.23 (0.25)	0.11 (0.16)
<b>NN</b>	0.40 (0.35)	0.45 (0.40)	0.42 (0.37)	0.37 (0.33)	0.32 (0.29)	0.20 (0.25)

Tablica 4: Komputer - większy zbiór uczący

## 4.2. Eksperymenty, dotyczące klasycznej klawiatury telefonu



Rysunek 11: Mobilne - czasy wciśnięć i puszczeń - Baza MOBIKEY



Rysunek 12: Mobilne - czasy wciśnięć i puszczeń - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.47 (0.42)	0.50 (0.44)	0.48 (0.42)	0.46 (0.40)	0.43 (0.38)	0.40 (0.36)
<b>RF</b>	0.30 (0.31)	0.31 (0.32)	0.31 (0.32)	0.30 (0.31)	0.28 (0.30)	0.27 (0.29)
<b>SVC</b>	0.34 (0.34)	0.36 (0.36)	0.35 (0.35)	0.33 (0.33)	0.32 (0.31)	0.30 (0.29)
<b>NN</b>	0.44 (0.36)	0.46 (0.38)	0.45 (0.37)	0.42 (0.35)	0.40 (0.34)	0.38 (0.33)

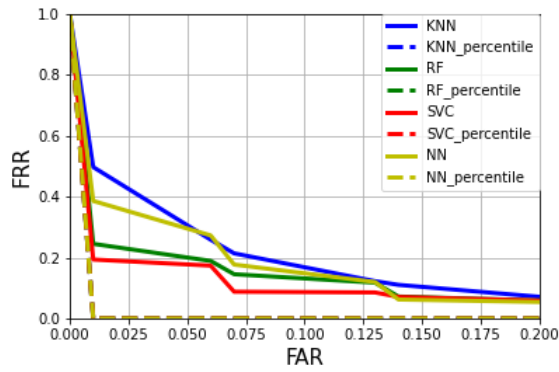
Tablica 5: Mobilne - czasy wciśnięć i puszczeń - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.71 (0.26)	0.74 (0.27)	0.72 (0.26)	0.69 (0.25)	0.65 (0.24)	0.61 (0.23)
<b>RF</b>	0.32 (0.30)	0.32 (0.31)	0.32 (0.30)	0.31 (0.30)	0.31 (0.30)	0.30 (0.29)
<b>SVC</b>	0.58 (0.25)	0.59 (0.25)	0.58 (0.25)	0.57 (0.25)	0.56 (0.25)	0.55 (0.24)
<b>NN</b>	0.80 (0.17)	0.83 (0.18)	0.81 (0.18)	0.79 (0.16)	0.76 (0.15)	0.73 (0.15)

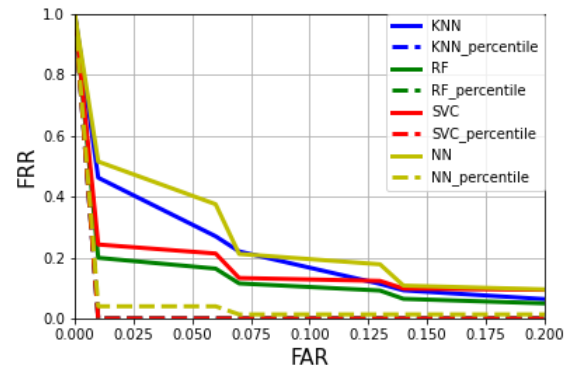
Tablica 6: Mobilne - czasy wciśnięć i puszczeń - Baza autora

Należy zauważyć, że dane wykorzystane w powyższych przypadkach są analogiczne do danych dla klasycznej klawiatury, ale jakość działania jest znacznie słabsza. Sugeruje ona, że trzeba się wspomóc dodatkowymi cechami, możliwymi do akwizycji na telefonie, gdyż dotychczasowy wynik jest zdecydowanie do poprawy.

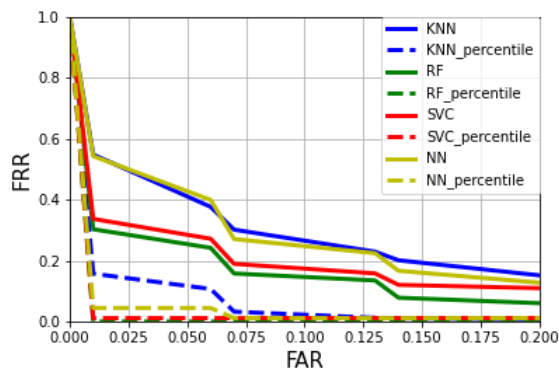
#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KLAWIATURY TELEFONU



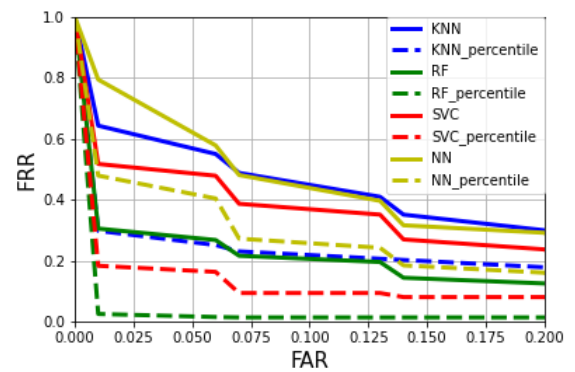
Rysunek 13: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza MOBIKEY



Rysunek 14: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza autora



Rysunek 15: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza MOBIKEY



Rysunek 16: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.48 (0.37)	0.52 (0.40)	0.50 (0.38)	0.45 (0.35)	0.40 (0.32)	0.35 (0.29)
<b>RF</b>	0.24 (0.25)	0.25 (0.25)	0.24 (0.25)	0.23 (0.24)	0.22 (0.23)	0.21 (0.23)
<b>SVC</b>	0.19 (0.31)	0.20 (0.31)	0.19 (0.31)	0.19 (0.31)	0.19 (0.30)	0.18 (0.29)
<b>NN</b>	0.38 (0.39)	0.40 (0.41)	0.39 (0.40)	0.36 (0.37)	0.34 (0.35)	0.32 (0.33)

Tablica 7: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.45 (0.39)	0.48 (0.42)	0.46 (0.40)	0.42 (0.37)	0.38 (0.33)	0.35 (0.30)
<b>RF</b>	0.20 (0.21)	0.20 (0.22)	0.20 (0.22)	0.19 (0.21)	0.18 (0.20)	0.18 (0.19)
<b>SVC</b>	0.24 (0.24)	0.25 (0.24)	0.24 (0.24)	0.24 (0.23)	0.23 (0.23)	0.22 (0.22)
<b>NN</b>	0.50 (0.34)	0.53 (0.36)	0.51 (0.35)	0.49 (0.33)	0.46 (0.31)	0.43 (0.29)

Tablica 8: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.53 (0.33)	0.56 (0.34)	0.55 (0.33)	0.51 (0.31)	0.48 (0.30)	0.44 (0.29)
<b>RF</b>	0.30 (0.30)	0.31 (0.32)	0.30 (0.31)	0.29 (0.30)	0.28 (0.29)	0.27 (0.28)
<b>SVC</b>	0.33 (0.31)	0.34 (0.32)	0.34 (0.32)	0.32 (0.30)	0.31 (0.29)	0.30 (0.28)
<b>NN</b>	0.53 (0.39)	0.56 (0.41)	0.54 (0.40)	0.51 (0.37)	0.48 (0.35)	0.46 (0.33)

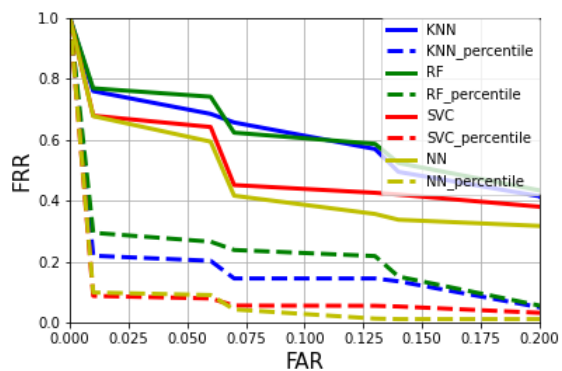
Tablica 9: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.63 (0.26)	0.65 (0.27)	0.64 (0.26)	0.62 (0.25)	0.60 (0.25)	0.59 (0.24)
<b>RF</b>	0.30 (0.22)	0.31 (0.23)	0.30 (0.23)	0.30 (0.22)	0.29 (0.22)	0.28 (0.21)
<b>SVC</b>	0.51 (0.26)	0.52 (0.26)	0.52 (0.26)	0.51 (0.26)	0.50 (0.26)	0.49 (0.25)
<b>NN</b>	0.78 (0.19)	0.81 (0.20)	0.79 (0.19)	0.75 (0.18)	0.71 (0.16)	0.66 (0.16)

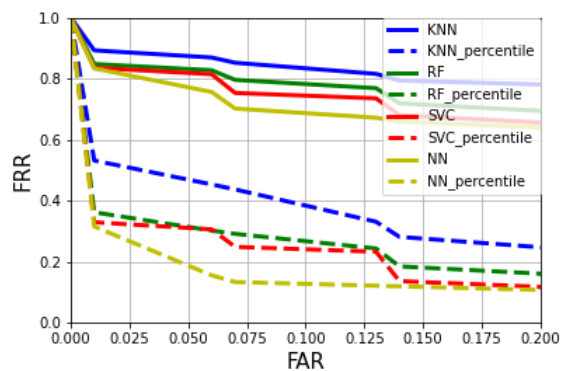
Tablica 10: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza autora

Wykorzystanie pozycji wciśnień dało dużo - można powiedzieć, że została osiągnięta jakość działania, uprzednio obserwowana dla klawiatury komputera. Natomiast metoda minimalnych wartości własnych macierzy Toeplitza nie daje w tym przypadku dobrych efektów. Wręcz pogarsza wyniki. Dlatego w kolejnych eksperymentach ta metoda zostanie porzucona. W zbiorze MOBIKEY dostępne są także odczyty z akcelerometru w trzech osiach. Na poniższych wykresach przedstawione są wyniki, gdy wzięte pod uwagę zostaną średnie odczyty akcelerometru (bez łączenia z uprzednio używanymi czasami i pozycjami):

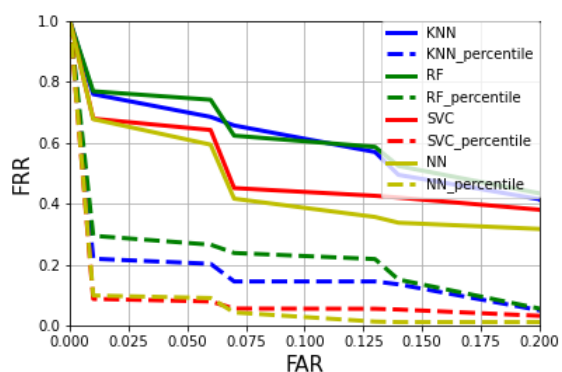
#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KLAWIATURY TELEFONU



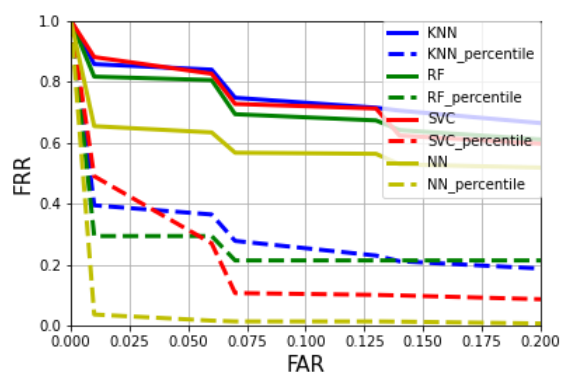
Rysunek 17: Mobilne - oś x akcelerometru  
- średnie - Baza MOBIKEY



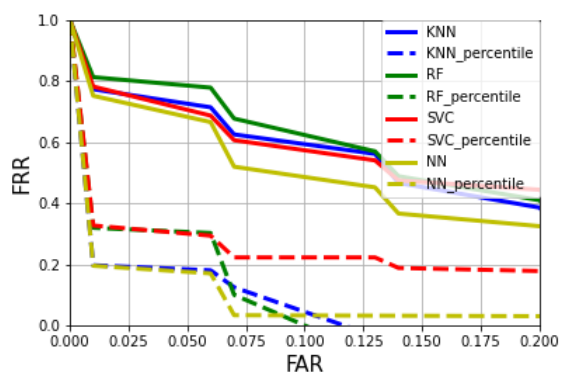
Rysunek 18: Mobilne - oś x akcelerometru  
- średnie - Baza autora



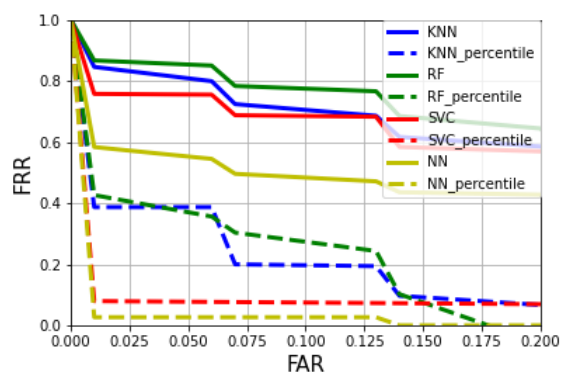
Rysunek 19: Mobilne - oś y akcelerometru  
- średnie - Baza MOBIKEY



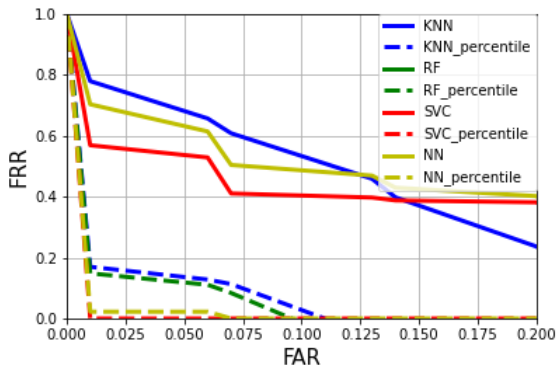
Rysunek 20: Mobilne - oś y akcelerometru  
- średnie - Baza autora



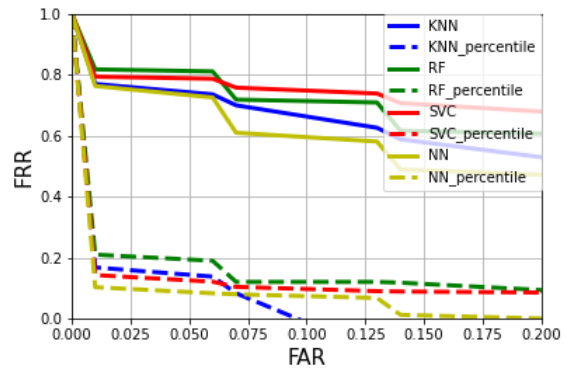
Rysunek 21: Mobilne - oś z akcelerometru -  
średnie - Baza MOBIKEY



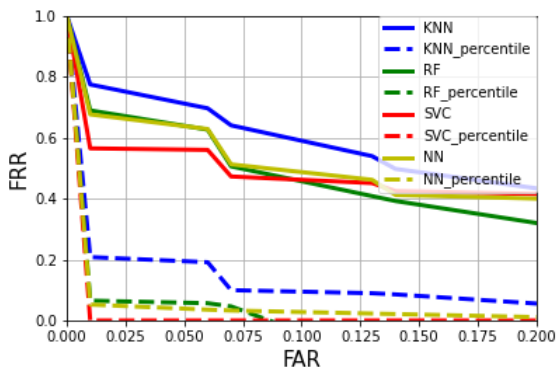
Rysunek 22: Mobilne - oś z akcelerometru -  
średnie - Baza autora



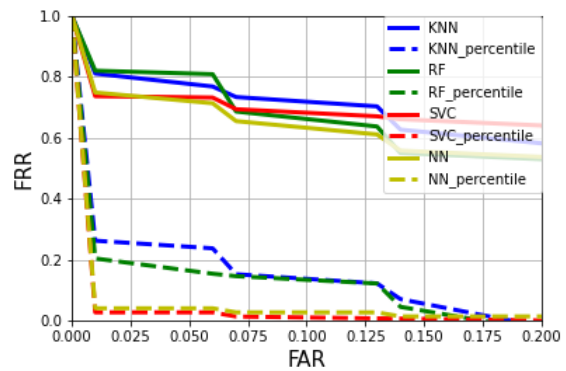
Rysunek 23: Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY



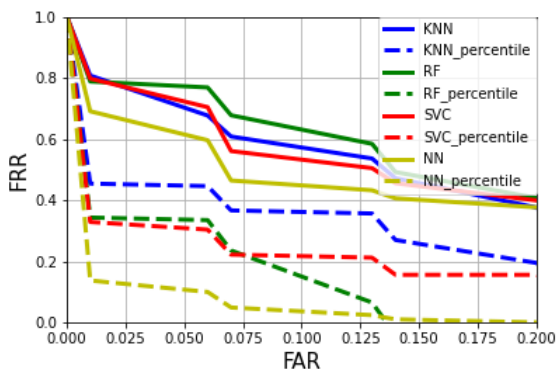
Rysunek 24: Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza autora



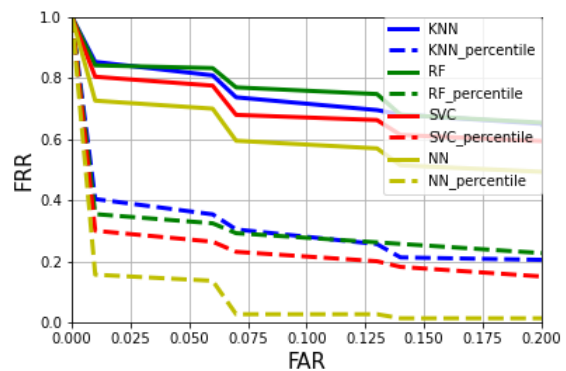
Rysunek 25: Mobilne - oś x i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY



Rysunek 26: Mobilne - oś x i z akcelerometru - średnie - Baza autora



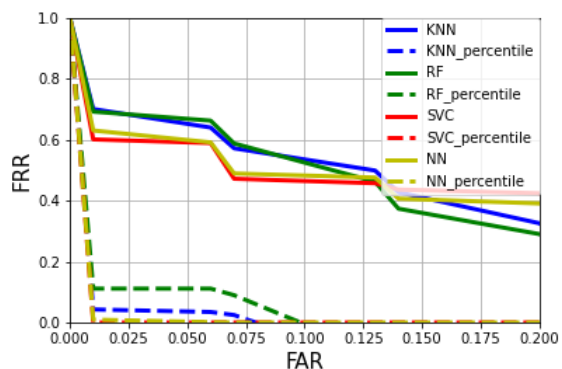
Rysunek 27: Mobilne - oś y i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY



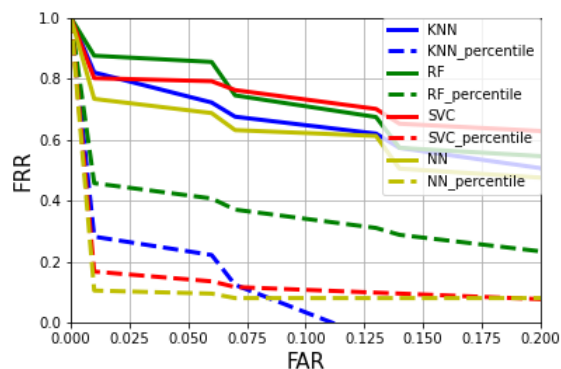
Rysunek 28: Mobilne - oś y i z akcelerometru - średnie - Baza autora



#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KLAWIATURY TELEFONU



Rysunek 29: Mobilne - oś x, y i z akcelero- metru - średnie - Baza MOBIKEY



Rysunek 30: Mobilne - oś x, y i z akcelero- metru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.75 (0.34)	0.77 (0.34)	0.76 (0.34)	0.74 (0.33)	0.73 (0.33)	0.71 (0.32)
<b>RF</b>	0.77 (0.31)	0.77 (0.31)	0.77 (0.31)	0.76 (0.31)	0.76 (0.31)	0.75 (0.31)
<b>SVC</b>	0.67 (0.38)	0.68 (0.38)	0.68 (0.38)	0.67 (0.38)	0.66 (0.37)	0.66 (0.37)
<b>NN</b>	0.67 (0.38)	0.68 (0.38)	0.68 (0.38)	0.66 (0.37)	0.64 (0.37)	0.63 (0.37)

Tablica 11: Mobilne - oś x akcelero- metru - średnie - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.89 (0.26)	0.89 (0.26)	0.89 (0.26)	0.89 (0.26)	0.88 (0.27)	0.88 (0.27)
<b>RF</b>	0.85 (0.30)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)	0.84 (0.30)	0.84 (0.30)	0.84 (0.30)
<b>SVC</b>	0.83 (0.31)	0.84 (0.31)	0.84 (0.31)	0.83 (0.31)	0.83 (0.31)	0.82 (0.31)
<b>NN</b>	0.83 (0.33)	0.84 (0.33)	0.83 (0.33)	0.82 (0.33)	0.80 (0.33)	0.79 (0.34)

Tablica 12: Mobilne - oś x akcelero- metru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.34)	0.78 (0.34)	0.77 (0.34)	0.76 (0.34)	0.75 (0.34)	0.74 (0.35)
<b>RF</b>	0.81 (0.32)	0.82 (0.32)	0.81 (0.32)	0.80 (0.32)	0.80 (0.32)	0.79 (0.32)
<b>SVC</b>	0.77 (0.29)	0.79 (0.29)	0.78 (0.29)	0.76 (0.29)	0.74 (0.29)	0.72 (0.29)
<b>NN</b>	0.74 (0.34)	0.76 (0.34)	0.75 (0.34)	0.73 (0.34)	0.72 (0.33)	0.70 (0.34)

Tablica 13: Mobilne - oś y akcelero- metru - średnie - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.86 (0.29)	0.86 (0.28)	0.86 (0.29)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)
<b>RF</b>	0.81 (0.31)	0.82 (0.31)	0.82 (0.31)	0.81 (0.31)	0.81 (0.31)	0.81 (0.31)
<b>SVC</b>	0.88 (0.25)	0.89 (0.24)	0.88 (0.24)	0.87 (0.25)	0.86 (0.27)	0.85 (0.28)
<b>NN</b>	0.65 (0.41)	0.66 (0.40)	0.65 (0.40)	0.65 (0.41)	0.65 (0.41)	0.64 (0.41)

Tablica 14: Mobilne - oś y akcelerometru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.34)	0.78 (0.34)	0.77 (0.34)	0.76 (0.34)	0.75 (0.34)	0.74 (0.35)
<b>RF</b>	0.81 (0.32)	0.82 (0.32)	0.81 (0.32)	0.80 (0.32)	0.80 (0.32)	0.79 (0.32)
<b>SVC</b>	0.77 (0.29)	0.79 (0.29)	0.78 (0.29)	0.76 (0.29)	0.74 (0.29)	0.72 (0.29)
<b>NN</b>	0.74 (0.34)	0.76 (0.34)	0.75 (0.34)	0.73 (0.34)	0.72 (0.33)	0.70 (0.34)

Tablica 15: Mobilne - oś z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.84 (0.27)	0.85 (0.27)	0.85 (0.27)	0.84 (0.27)	0.83 (0.27)	0.82 (0.27)
<b>RF</b>	0.87 (0.31)	0.87 (0.31)	0.87 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)
<b>SVC</b>	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)
<b>NN</b>	0.58 (0.41)	0.59 (0.41)	0.58 (0.41)	0.58 (0.41)	0.57 (0.41)	0.56 (0.41)

Tablica 16: Mobilne - oś z akcelerometru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.53 (0.33)	0.56 (0.34)	0.55 (0.33)	0.51 (0.31)	0.48 (0.30)	0.44 (0.29)
<b>RF</b>	0.30 (0.30)	0.31 (0.32)	0.30 (0.31)	0.29 (0.30)	0.28 (0.29)	0.27 (0.28)
<b>SVC</b>	0.33 (0.31)	0.34 (0.32)	0.34 (0.32)	0.32 (0.30)	0.31 (0.29)	0.30 (0.28)
<b>NN</b>	0.53 (0.39)	0.56 (0.41)	0.54 (0.40)	0.51 (0.37)	0.48 (0.35)	0.46 (0.33)

Tablica 17: Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY

#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ Klawiatury telefonu

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.35)	0.77 (0.35)	0.77 (0.35)	0.76 (0.35)	0.76 (0.35)	0.75 (0.36)
<b>RF</b>	0.82 (0.35)	0.82 (0.35)	0.82 (0.35)	0.82 (0.36)	0.81 (0.36)	0.81 (0.36)
<b>SVC</b>	0.79 (0.36)	0.79 (0.36)	0.79 (0.36)	0.79 (0.36)	0.79 (0.37)	0.79 (0.37)
<b>NN</b>	0.76 (0.37)	0.77 (0.37)	0.76 (0.37)	0.75 (0.37)	0.75 (0.37)	0.74 (0.37)

Tablica 18: Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.35)	0.78 (0.36)	0.77 (0.35)	0.76 (0.35)	0.74 (0.35)	0.73 (0.34)
<b>RF</b>	0.68 (0.38)	0.70 (0.38)	0.69 (0.38)	0.68 (0.37)	0.66 (0.37)	0.65 (0.37)
<b>SVC</b>	0.56 (0.44)	0.56 (0.44)	0.56 (0.44)	0.56 (0.44)	0.56 (0.44)	0.56 (0.44)
<b>NN</b>	0.67 (0.40)	0.68 (0.40)	0.68 (0.40)	0.67 (0.40)	0.66 (0.40)	0.65 (0.39)

Tablica 19: Mobilne - oś x i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.81 (0.32)	0.81 (0.32)	0.81 (0.32)	0.80 (0.32)	0.79 (0.33)	0.78 (0.33)
<b>RF</b>	0.82 (0.36)	0.82 (0.36)	0.82 (0.36)	0.82 (0.36)	0.81 (0.36)	0.81 (0.37)
<b>SVC</b>	0.74 (0.41)	0.74 (0.41)	0.74 (0.41)	0.73 (0.41)	0.73 (0.41)	0.73 (0.41)
<b>NN</b>	0.74 (0.39)	0.75 (0.40)	0.75 (0.39)	0.74 (0.39)	0.73 (0.39)	0.73 (0.39)

Tablica 20: Mobilne - oś x i z akcelerometru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.80 (0.29)	0.82 (0.30)	0.81 (0.30)	0.78 (0.29)	0.75 (0.30)	0.73 (0.32)
<b>RF</b>	0.79 (0.33)	0.79 (0.33)	0.79 (0.33)	0.78 (0.33)	0.78 (0.33)	0.78 (0.33)
<b>SVC</b>	0.79 (0.30)	0.81 (0.30)	0.80 (0.30)	0.78 (0.29)	0.76 (0.29)	0.74 (0.30)
<b>NN</b>	0.68 (0.36)	0.70 (0.36)	0.69 (0.36)	0.67 (0.36)	0.65 (0.36)	0.63 (0.36)

Tablica 21: Mobilne - oś y i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.85 (0.30)	0.86 (0.30)	0.85 (0.30)	0.84 (0.30)	0.83 (0.30)	0.83 (0.30)
<b>RF</b>	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)
<b>SVC</b>	0.80 (0.32)	0.81 (0.32)	0.80 (0.32)	0.80 (0.32)	0.79 (0.32)	0.79 (0.32)
<b>NN</b>	0.72 (0.35)	0.73 (0.35)	0.73 (0.35)	0.72 (0.35)	0.71 (0.35)	0.71 (0.36)

Tablica 22: Mobilne - oś y i z akcelerometru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.69 (0.40)	0.71 (0.40)	0.70 (0.40)	0.69 (0.40)	0.68 (0.39)	0.66 (0.39)
<b>RF</b>	0.69 (0.37)	0.69 (0.38)	0.69 (0.37)	0.69 (0.37)	0.68 (0.37)	0.67 (0.37)
<b>SVC</b>	0.60 (0.44)	0.60 (0.44)	0.60 (0.44)	0.60 (0.44)	0.60 (0.44)	0.59 (0.44)
<b>NN</b>	0.63 (0.42)	0.63 (0.43)	0.63 (0.42)	0.62 (0.42)	0.61 (0.42)	0.61 (0.42)

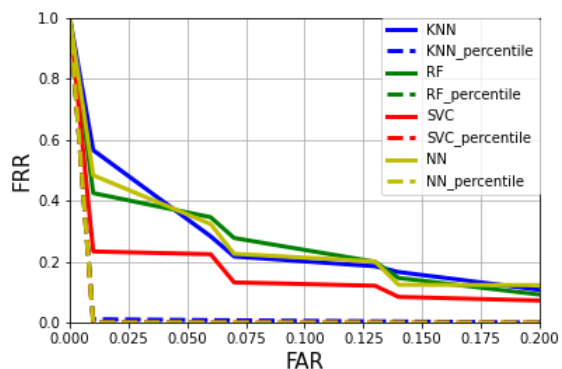
Tablica 23: Mobilne - oś x, y i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.81 (0.31)	0.83 (0.32)	0.82 (0.31)	0.80 (0.32)	0.78 (0.32)	0.76 (0.34)
<b>RF</b>	0.87 (0.30)	0.88 (0.30)	0.87 (0.30)	0.87 (0.30)	0.87 (0.30)	0.86 (0.30)
<b>SVC</b>	0.80 (0.36)	0.80 (0.35)	0.80 (0.35)	0.80 (0.36)	0.80 (0.36)	0.80 (0.36)
<b>NN</b>	0.73 (0.37)	0.74 (0.37)	0.73 (0.37)	0.72 (0.37)	0.71 (0.37)	0.71 (0.37)

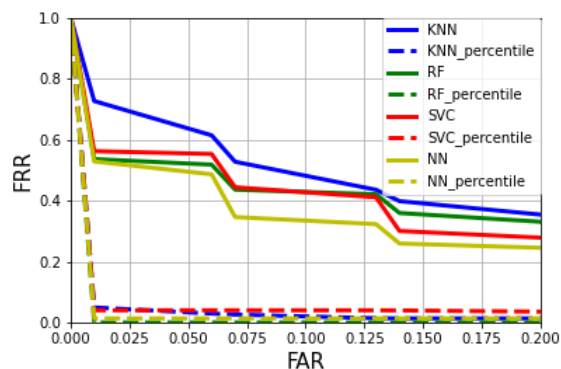
Tablica 24: Mobilne - oś x, y i z akcelerometru - średnie - Baza autora

Poniżej zaprezentowano wyniki fuzji wszystkich dostępnych danych:

#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KŁAWIATURY TELEFONU



Rysunek 31: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY



Rysunek 32: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelerometru - średnie - Baza autora

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.54 (0.38)	0.59 (0.42)	0.56 (0.40)	0.51 (0.36)	0.45 (0.34)	0.40 (0.32)
<b>RF</b>	0.42 (0.40)	0.43 (0.41)	0.42 (0.40)	0.41 (0.40)	0.39 (0.39)	0.38 (0.39)
<b>SVC</b>	0.23 (0.34)	0.23 (0.35)	0.23 (0.34)	0.23 (0.34)	0.23 (0.34)	0.23 (0.34)
<b>NN</b>	0.47 (0.42)	0.50 (0.44)	0.48 (0.43)	0.45 (0.41)	0.42 (0.39)	0.39 (0.38)

Tablica 25: Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelerometru - średnie Baza MOBIKEY

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.72 (0.40)	0.74 (0.41)	0.73 (0.40)	0.70 (0.39)	0.68 (0.39)	0.66 (0.39)
<b>RF</b>	0.53 (0.44)	0.54 (0.44)	0.54 (0.44)	0.53 (0.44)	0.53 (0.45)	0.52 (0.45)
<b>SVC</b>	0.56 (0.39)	0.56 (0.39)	0.56 (0.39)	0.56 (0.39)	0.56 (0.39)	0.56 (0.39)
<b>NN</b>	0.52 (0.45)	0.53 (0.45)	0.53 (0.45)	0.52 (0.44)	0.51 (0.43)	0.50 (0.43)

Tablica 26: Mobilne - Czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelerometru - Baza autora

Dane z akcelerometru dodane do danych na temat czasów wciśnień / puszczeń i pozycji wciśnień nie poprawiły jakości systemu, a nawet znacznie pogorszyły w przypadku bazy autora.

## Eksperymenty dla zbioru autora

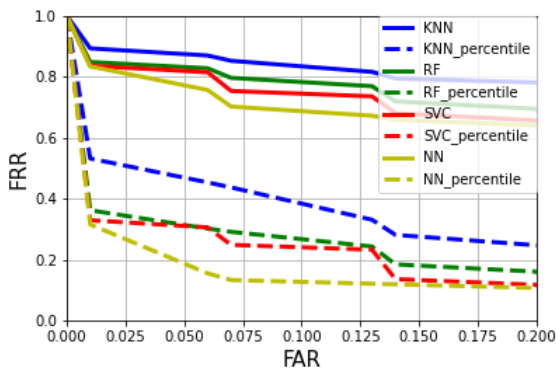
Przeprowadzono już analizę dla akcelometru, biorąc pod uwagę średnie wartości (bo tylko takie dane były dostępne w zbiorze MOBIKEY). W zbiorze autora dostępne są wartości dla zarówno:

- akcelometru,
- żyroskopu.

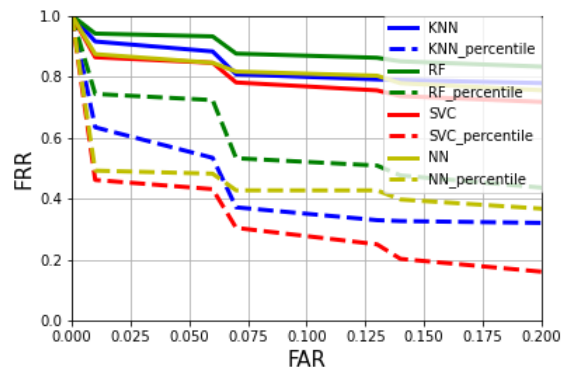
Dostępne są dane:

- statystyki: średnie i RMS w przedziałach czasu,
- nieprzetworzony sygnał oraz sygnał podzielony na przedziały.

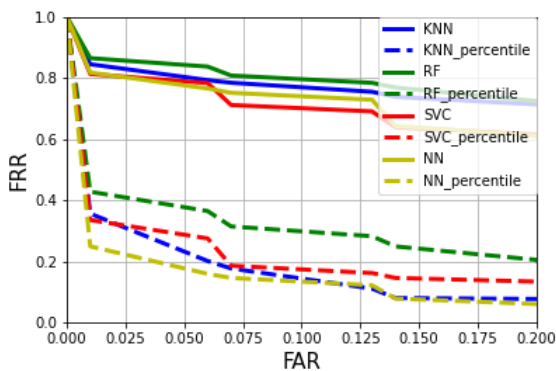
## Statystyki



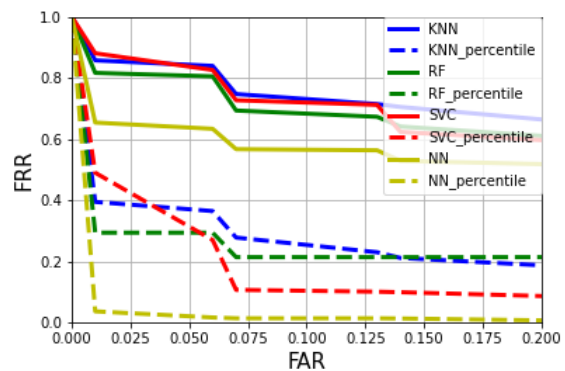
Rysunek 33: Mobilne - oś x akcelometru  
- średnie



Rysunek 34: Mobilne - oś x akcelometru  
- RMS

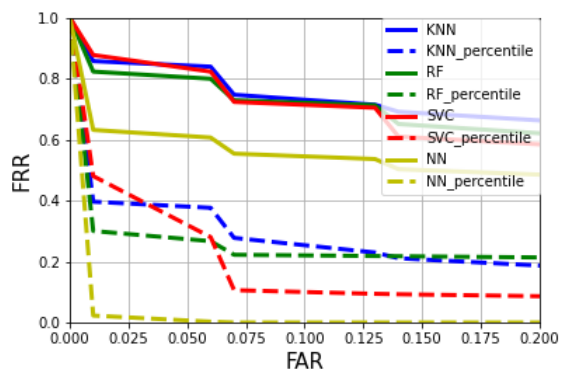


Rysunek 35: Mobilne - oś x akcelometru  
- średnie i RMS

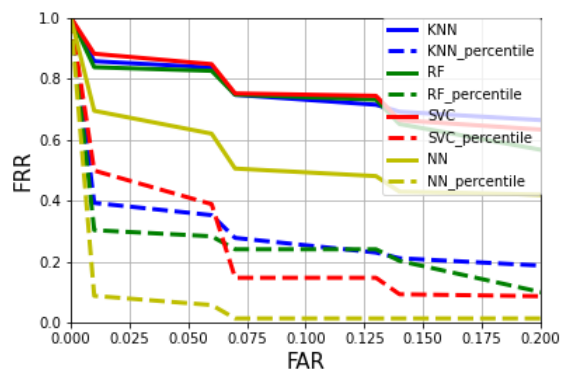


Rysunek 36: Mobilne - oś y akcelometru  
- średnie

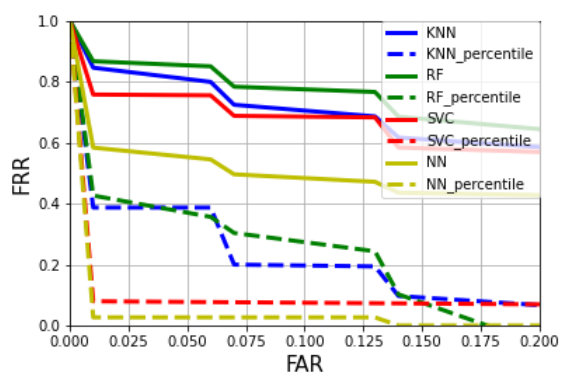
#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KLAWIATURY TELEFONU



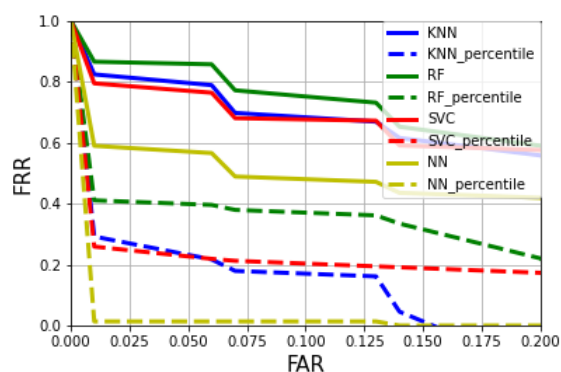
Rysunek 37: Mobilne - oś y akcelerometru - RMS



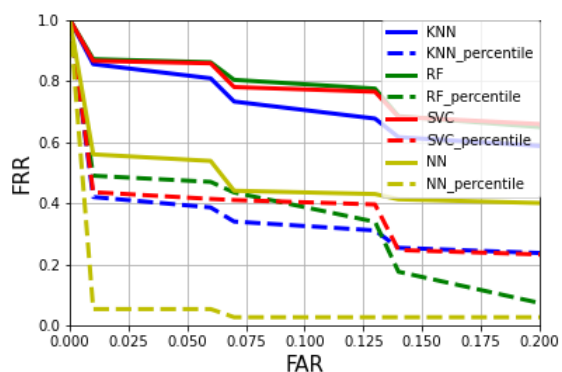
Rysunek 38: Mobilne - oś y akcelerometru - średnie i RMS



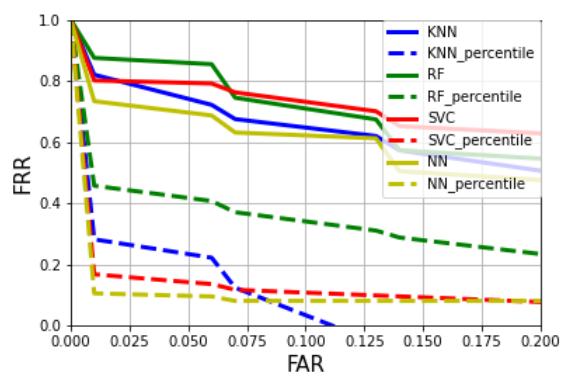
Rysunek 39: Mobilne - oś z akcelerometru - średnie



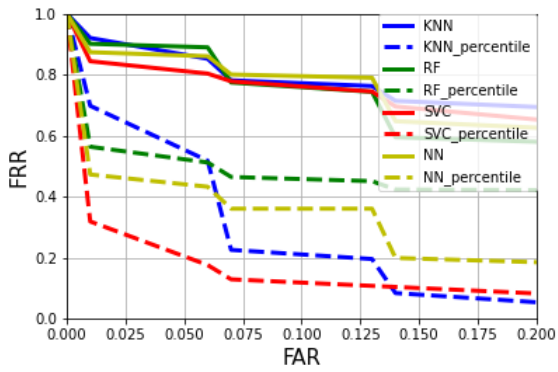
Rysunek 40: Mobilne - oś z akcelerometru - RMS



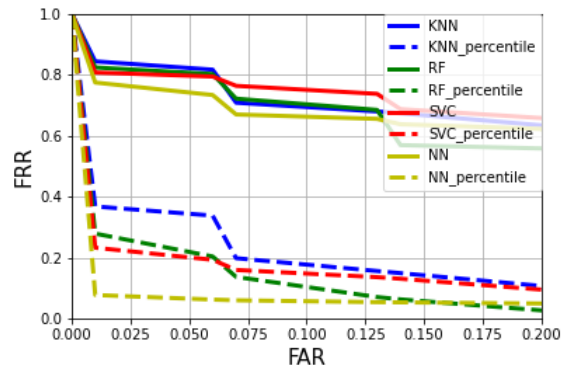
Rysunek 41: Mobilne - oś z akcelerometru - średnie i RMS



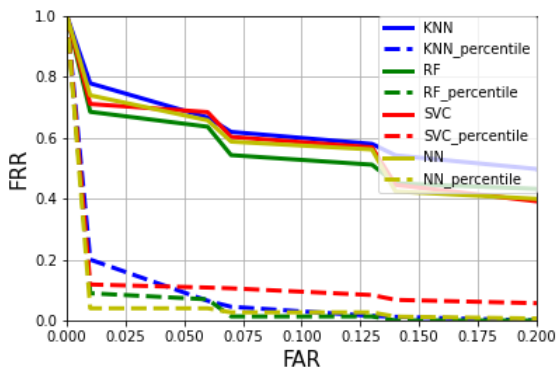
Rysunek 42: Mobilne - oś x, y, z akcelerometru - średnie



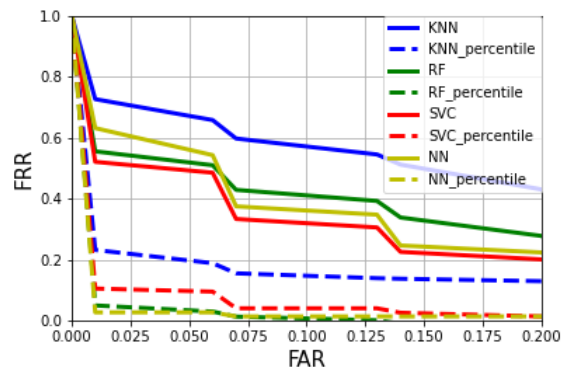
Rysunek 43: Mobilne - oś x, y, z akcelero- metru - RMS



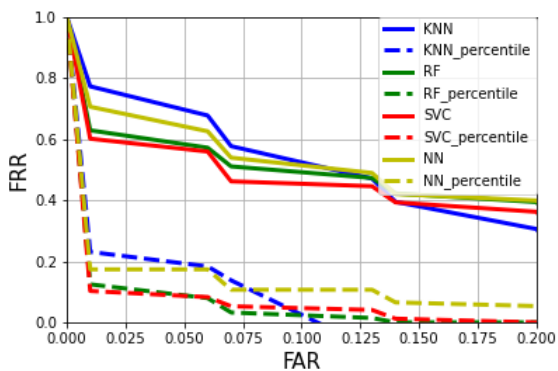
Rysunek 44: Mobilne - oś x, y, z akcelero- metru - średnie i RMS



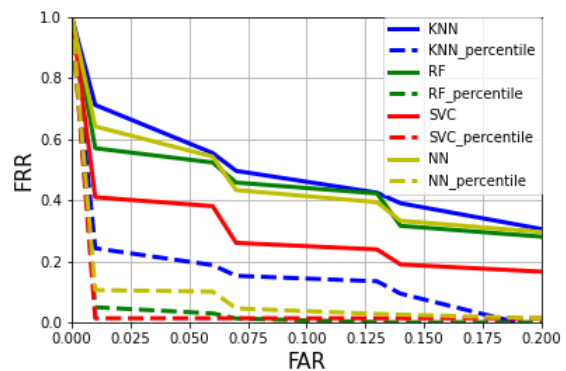
Rysunek 45: Mobilne - czasy i pozycje wci- nięć + oś x, y, z akcelerometru



Rysunek 46: Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie



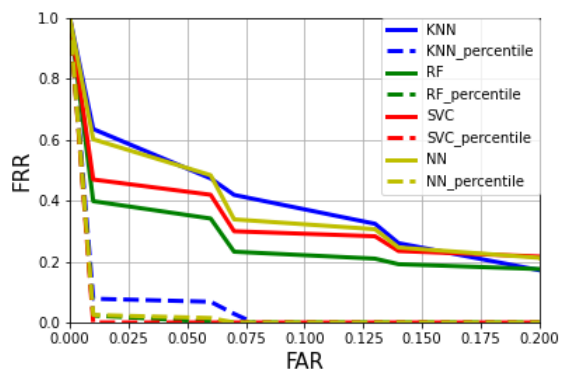
Rysunek 47: Mobilne - oś alfa żyroskopu - RMS



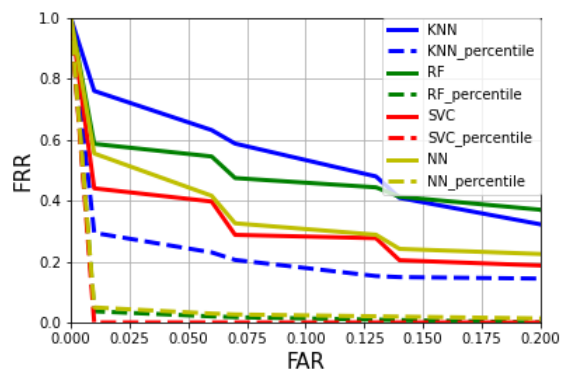
Rysunek 48: Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie i RMS



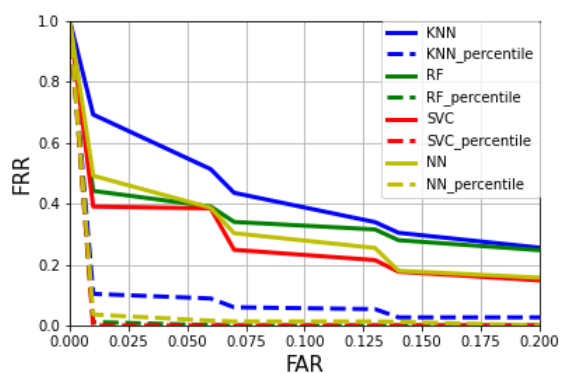
#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KLAWIATURY TELEFONU



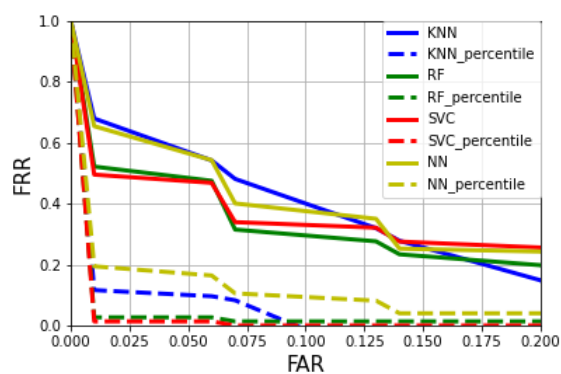
Rysunek 49: Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie



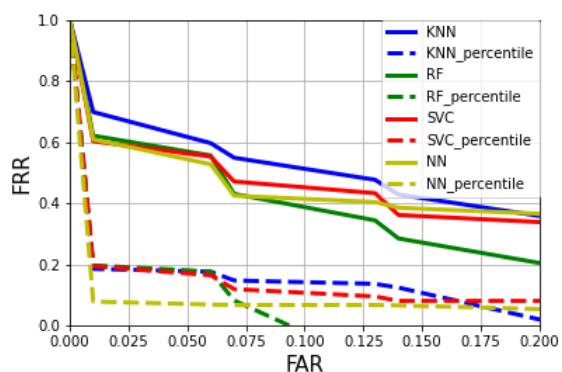
Rysunek 50: Mobilne - oś beta żyroskopu - RMS



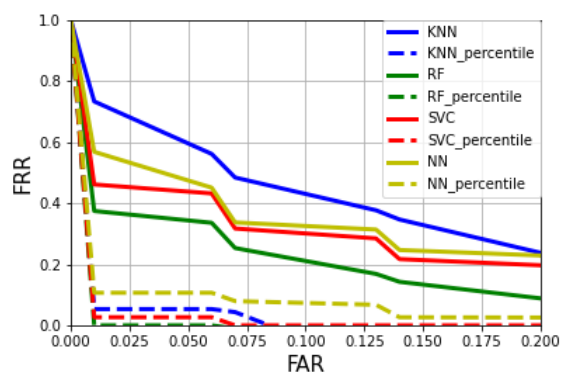
Rysunek 51: Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie i RMS



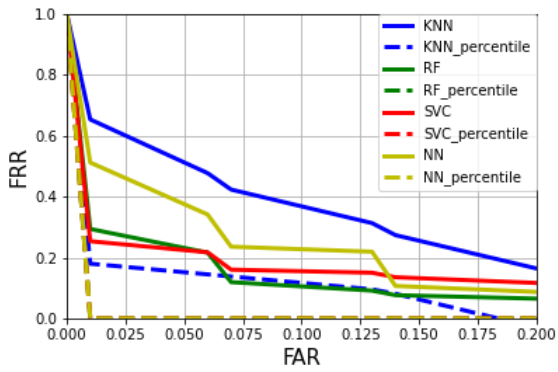
Rysunek 52: Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie



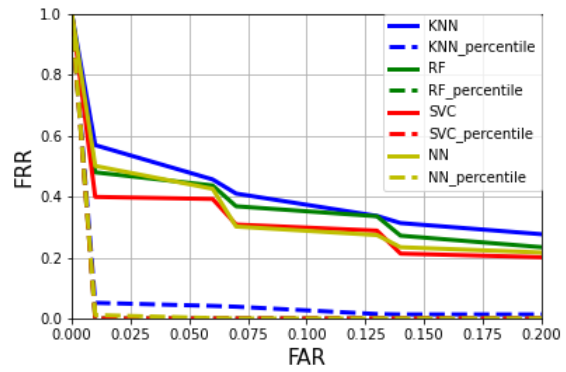
Rysunek 53: Mobilne - oś gamma żyroskopu - RMS



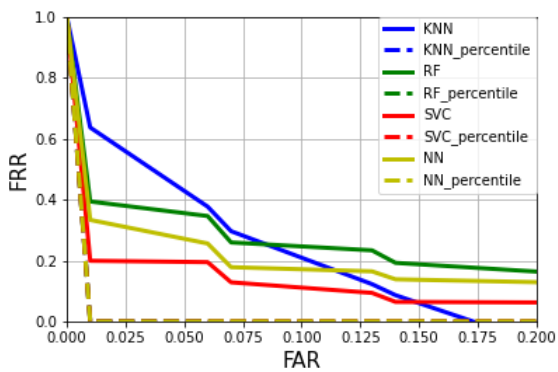
Rysunek 54: Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie i RMS



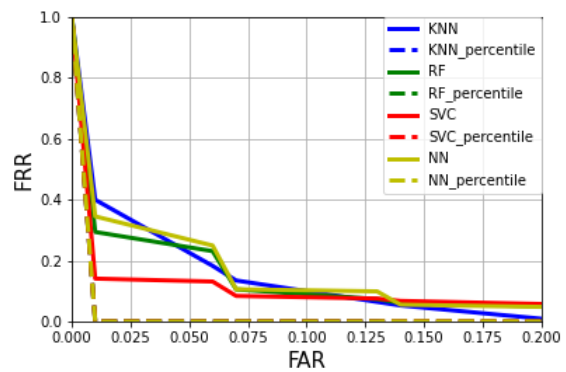
Rysunek 55: Mobilne - oś alfa, beta, gamma  
żyroskopu - średnie



Rysunek 56: Mobilne - oś alfa, beta, gamma  
żyroskopu - RMS



Rysunek 57: Mobilne - oś alfa, beta, gamma  
żyroskopu - średnie i RMS



Rysunek 58: Mobilne - czasy i pozycje wci-  
śnięć + oś alfa, beta, gamma żyroskopu

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.89 (0.26)	0.89 (0.26)	0.89 (0.26)	0.89 (0.26)	0.88 (0.27)	0.88 (0.27)
<b>RF</b>	0.85 (0.30)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)	0.84 (0.30)	0.84 (0.30)	0.84 (0.30)
<b>SVC</b>	0.83 (0.31)	0.84 (0.31)	0.84 (0.31)	0.83 (0.31)	0.83 (0.31)	0.82 (0.31)
<b>NN</b>	0.83 (0.33)	0.84 (0.33)	0.83 (0.33)	0.82 (0.33)	0.80 (0.33)	0.79 (0.34)

Tablica 27: Mobilne - oś x akcelerometru - średnie

#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KŁAWIATURY TELEFONU

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.91 (0.20)	0.92 (0.20)	0.91 (0.20)	0.91 (0.20)	0.90 (0.21)	0.90 (0.21)
<b>RF</b>	0.94 (0.15)	0.94 (0.15)	0.94 (0.15)	0.94 (0.15)	0.94 (0.15)	0.94 (0.15)
<b>SVC</b>	0.86 (0.25)	0.86 (0.25)	0.86 (0.25)	0.86 (0.25)	0.86 (0.25)	0.85 (0.25)
<b>NN</b>	0.87 (0.25)	0.88 (0.25)	0.87 (0.25)	0.87 (0.25)	0.86 (0.26)	0.86 (0.26)

Tablica 28: Mobilne - oś x akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.84 (0.30)	0.85 (0.29)	0.84 (0.29)	0.83 (0.30)	0.82 (0.31)	0.81 (0.31)
<b>RF</b>	0.86 (0.27)	0.87 (0.27)	0.86 (0.27)	0.86 (0.28)	0.85 (0.28)	0.85 (0.28)
<b>SVC</b>	0.81 (0.30)	0.82 (0.30)	0.81 (0.30)	0.81 (0.30)	0.80 (0.31)	0.79 (0.31)
<b>NN</b>	0.81 (0.34)	0.82 (0.35)	0.82 (0.34)	0.81 (0.34)	0.80 (0.35)	0.79 (0.35)

Tablica 29: Mobilne - oś x akcelerometru - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.86 (0.29)	0.86 (0.28)	0.86 (0.29)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)
<b>RF</b>	0.81 (0.31)	0.82 (0.31)	0.82 (0.31)	0.81 (0.31)	0.81 (0.31)	0.81 (0.31)
<b>SVC</b>	0.88 (0.25)	0.89 (0.24)	0.88 (0.24)	0.87 (0.25)	0.86 (0.27)	0.85 (0.28)
<b>NN</b>	0.65 (0.41)	0.66 (0.40)	0.65 (0.40)	0.65 (0.41)	0.65 (0.41)	0.64 (0.41)

Tablica 30: Mobilne - oś y akcelerometru - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.86 (0.28)	0.86 (0.28)	0.86 (0.28)	0.85 (0.28)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)
<b>RF</b>	0.82 (0.31)	0.82 (0.31)	0.82 (0.31)	0.82 (0.32)	0.81 (0.32)	0.81 (0.32)
<b>SVC</b>	0.87 (0.25)	0.88 (0.24)	0.88 (0.25)	0.87 (0.25)	0.86 (0.27)	0.84 (0.28)
<b>NN</b>	0.63 (0.41)	0.63 (0.40)	0.63 (0.40)	0.63 (0.41)	0.62 (0.41)	0.62 (0.41)

Tablica 31: Mobilne - oś y akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.85 (0.29)	0.86 (0.28)	0.86 (0.29)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)	0.84 (0.29)
<b>RF</b>	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.83 (0.32)	0.83 (0.32)	0.83 (0.33)
<b>SVC</b>	0.88 (0.25)	0.88 (0.24)	0.88 (0.24)	0.87 (0.25)	0.87 (0.25)	0.86 (0.26)
<b>NN</b>	0.69 (0.36)	0.70 (0.37)	0.69 (0.36)	0.68 (0.37)	0.66 (0.37)	0.65 (0.37)

Tablica 32: Mobilne - oś y akcelerometru - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.84 (0.27)	0.85 (0.27)	0.85 (0.27)	0.84 (0.27)	0.83 (0.27)	0.82 (0.27)
<b>RF</b>	0.87 (0.31)	0.87 (0.31)	0.87 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)
<b>SVC</b>	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)	0.76 (0.39)
<b>NN</b>	0.58 (0.41)	0.59 (0.41)	0.58 (0.41)	0.58 (0.41)	0.57 (0.41)	0.56 (0.41)

Tablica 33: Mobilne - oś z akcelerometru - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.82 (0.30)	0.83 (0.30)	0.82 (0.30)	0.82 (0.31)	0.81 (0.31)	0.80 (0.31)
<b>RF</b>	0.86 (0.31)	0.87 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)	0.86 (0.31)
<b>SVC</b>	0.79 (0.32)	0.80 (0.32)	0.79 (0.32)	0.79 (0.32)	0.78 (0.33)	0.78 (0.33)
<b>NN</b>	0.59 (0.42)	0.59 (0.42)	0.59 (0.42)	0.58 (0.42)	0.58 (0.43)	0.57 (0.43)

Tablica 34: Mobilne - oś z akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.85 (0.26)	0.86 (0.26)	0.85 (0.26)	0.85 (0.26)	0.84 (0.26)	0.83 (0.27)
<b>RF</b>	0.87 (0.28)	0.87 (0.28)	0.87 (0.28)	0.87 (0.28)	0.87 (0.28)	0.86 (0.28)
<b>SVC</b>	0.86 (0.30)	0.87 (0.30)	0.87 (0.30)	0.86 (0.30)	0.86 (0.30)	0.86 (0.30)
<b>NN</b>	0.56 (0.41)	0.56 (0.41)	0.56 (0.41)	0.55 (0.41)	0.55 (0.41)	0.55 (0.41)

Tablica 35: Mobilne - oś z akcelerometru - średnie i RMS

#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KŁAWIATURY TELEFONU

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.81 (0.31)	0.83 (0.32)	0.82 (0.31)	0.80 (0.32)	0.78 (0.32)	0.76 (0.34)
<b>RF</b>	0.87 (0.30)	0.88 (0.30)	0.87 (0.30)	0.87 (0.30)	0.87 (0.30)	0.86 (0.30)
<b>SVC</b>	0.80 (0.36)	0.80 (0.35)	0.80 (0.35)	0.80 (0.36)	0.80 (0.36)	0.80 (0.36)
<b>NN</b>	0.73 (0.37)	0.74 (0.37)	0.73 (0.37)	0.72 (0.37)	0.71 (0.37)	0.71 (0.37)

Tablica 36: Mobilne - oś x, y, z akcelerometru - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.91 (0.14)	0.93 (0.13)	0.92 (0.13)	0.91 (0.14)	0.89 (0.16)	0.88 (0.18)
<b>RF</b>	0.90 (0.26)	0.90 (0.26)	0.90 (0.26)	0.90 (0.26)	0.90 (0.27)	0.89 (0.27)
<b>SVC</b>	0.84 (0.32)	0.85 (0.31)	0.84 (0.32)	0.84 (0.32)	0.83 (0.33)	0.82 (0.33)
<b>NN</b>	0.87 (0.26)	0.87 (0.26)	0.87 (0.26)	0.87 (0.26)	0.87 (0.27)	0.87 (0.27)

Tablica 37: Mobilne - oś x, y, z akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.84 (0.30)	0.85 (0.30)	0.84 (0.30)	0.84 (0.30)	0.83 (0.30)	0.83 (0.30)
<b>RF</b>	0.82 (0.33)	0.83 (0.32)	0.82 (0.32)	0.82 (0.33)	0.81 (0.33)	0.81 (0.33)
<b>SVC</b>	0.81 (0.33)	0.81 (0.33)	0.81 (0.33)	0.80 (0.34)	0.80 (0.34)	0.80 (0.34)
<b>NN</b>	0.77 (0.38)	0.78 (0.39)	0.77 (0.38)	0.77 (0.39)	0.76 (0.39)	0.75 (0.39)

Tablica 38: Mobilne - oś x, y, z akcelerometru - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.34)	0.79 (0.33)	0.78 (0.34)	0.76 (0.35)	0.73 (0.36)	0.71 (0.37)
<b>RF</b>	0.68 (0.39)	0.69 (0.38)	0.68 (0.39)	0.67 (0.39)	0.66 (0.39)	0.65 (0.40)
<b>SVC</b>	0.71 (0.35)	0.71 (0.35)	0.71 (0.35)	0.70 (0.35)	0.70 (0.35)	0.69 (0.35)
<b>NN</b>	0.73 (0.38)	0.75 (0.39)	0.74 (0.38)	0.72 (0.38)	0.71 (0.38)	0.69 (0.38)

Tablica 39: Mobilne - czasy i pozycje wciśnieć + oś x, y, z akcelerometru

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.72 (0.31)	0.73 (0.31)	0.73 (0.31)	0.71 (0.31)	0.70 (0.31)	0.68 (0.32)
<b>RF</b>	0.55 (0.34)	0.56 (0.34)	0.55 (0.34)	0.55 (0.34)	0.54 (0.34)	0.53 (0.34)
<b>SVC</b>	0.52 (0.31)	0.52 (0.31)	0.52 (0.31)	0.51 (0.31)	0.51 (0.30)	0.50 (0.30)
<b>NN</b>	0.62 (0.39)	0.64 (0.40)	0.63 (0.39)	0.61 (0.38)	0.60 (0.38)	0.58 (0.37)

Tablica 40: Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.76 (0.31)	0.78 (0.32)	0.77 (0.31)	0.75 (0.31)	0.73 (0.31)	0.71 (0.31)
<b>RF</b>	0.62 (0.35)	0.63 (0.35)	0.63 (0.35)	0.62 (0.35)	0.61 (0.36)	0.59 (0.36)
<b>SVC</b>	0.60 (0.34)	0.60 (0.34)	0.60 (0.34)	0.59 (0.34)	0.58 (0.34)	0.58 (0.34)
<b>NN</b>	0.70 (0.33)	0.71 (0.34)	0.71 (0.34)	0.69 (0.33)	0.67 (0.32)	0.66 (0.32)

Tablica 41: Mobilne - oś alfa żyroskopu - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.70 (0.31)	0.73 (0.31)	0.71 (0.31)	0.68 (0.30)	0.65 (0.30)	0.62 (0.30)
<b>RF</b>	0.57 (0.36)	0.57 (0.36)	0.57 (0.36)	0.56 (0.36)	0.55 (0.36)	0.54 (0.36)
<b>SVC</b>	0.41 (0.33)	0.41 (0.33)	0.41 (0.33)	0.40 (0.32)	0.40 (0.32)	0.39 (0.32)
<b>NN</b>	0.63 (0.35)	0.65 (0.36)	0.64 (0.35)	0.62 (0.34)	0.60 (0.33)	0.58 (0.32)

Tablica 42: Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.62 (0.36)	0.65 (0.37)	0.63 (0.36)	0.60 (0.35)	0.57 (0.34)	0.54 (0.33)
<b>RF</b>	0.39 (0.34)	0.40 (0.35)	0.40 (0.34)	0.39 (0.34)	0.38 (0.33)	0.36 (0.33)
<b>SVC</b>	0.46 (0.37)	0.47 (0.38)	0.47 (0.38)	0.46 (0.37)	0.45 (0.36)	0.44 (0.36)
<b>NN</b>	0.59 (0.40)	0.61 (0.42)	0.60 (0.41)	0.58 (0.40)	0.55 (0.38)	0.53 (0.37)

Tablica 43: Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie

#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KŁAWIATURY TELEFONU

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.75 (0.28)	0.77 (0.29)	0.76 (0.29)	0.73 (0.28)	0.71 (0.28)	0.68 (0.27)
<b>RF</b>	0.58 (0.40)	0.59 (0.40)	0.59 (0.40)	0.58 (0.39)	0.57 (0.39)	0.56 (0.39)
<b>SVC</b>	0.44 (0.37)	0.44 (0.38)	0.44 (0.38)	0.43 (0.37)	0.42 (0.36)	0.41 (0.36)
<b>NN</b>	0.54 (0.38)	0.57 (0.40)	0.55 (0.39)	0.53 (0.37)	0.50 (0.36)	0.47 (0.34)

Tablica 44: Mobilne - oś beta żyroskopu - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.68 (0.36)	0.71 (0.37)	0.69 (0.36)	0.66 (0.35)	0.62 (0.34)	0.58 (0.33)
<b>RF</b>	0.44 (0.37)	0.45 (0.37)	0.44 (0.37)	0.43 (0.37)	0.42 (0.36)	0.41 (0.36)
<b>SVC</b>	0.39 (0.40)	0.39 (0.40)	0.39 (0.40)	0.39 (0.40)	0.39 (0.40)	0.39 (0.40)
<b>NN</b>	0.48 (0.39)	0.50 (0.40)	0.49 (0.40)	0.47 (0.38)	0.45 (0.37)	0.43 (0.35)

Tablica 45: Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.67 (0.35)	0.69 (0.36)	0.68 (0.35)	0.65 (0.34)	0.62 (0.33)	0.60 (0.33)
<b>RF</b>	0.52 (0.35)	0.53 (0.35)	0.52 (0.35)	0.51 (0.35)	0.50 (0.35)	0.49 (0.35)
<b>SVC</b>	0.49 (0.38)	0.50 (0.38)	0.49 (0.38)	0.49 (0.38)	0.48 (0.37)	0.48 (0.37)
<b>NN</b>	0.64 (0.31)	0.66 (0.32)	0.65 (0.32)	0.63 (0.31)	0.61 (0.30)	0.59 (0.29)

Tablica 46: Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.69 (0.33)	0.71 (0.33)	0.70 (0.33)	0.68 (0.32)	0.66 (0.32)	0.64 (0.31)
<b>RF</b>	0.62 (0.30)	0.63 (0.30)	0.62 (0.30)	0.61 (0.29)	0.59 (0.29)	0.58 (0.29)
<b>SVC</b>	0.60 (0.29)	0.61 (0.30)	0.60 (0.29)	0.59 (0.29)	0.58 (0.29)	0.57 (0.28)
<b>NN</b>	0.60 (0.37)	0.62 (0.38)	0.61 (0.38)	0.59 (0.37)	0.58 (0.36)	0.56 (0.36)

Tablica 47: Mobilne - oś gamma żyroskopu - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.72 (0.37)	0.75 (0.38)	0.73 (0.38)	0.70 (0.37)	0.66 (0.36)	0.63 (0.36)
<b>RF</b>	0.37 (0.31)	0.38 (0.31)	0.37 (0.31)	0.37 (0.30)	0.36 (0.30)	0.35 (0.30)
<b>SVC</b>	0.46 (0.33)	0.46 (0.33)	0.46 (0.33)	0.45 (0.33)	0.45 (0.33)	0.44 (0.33)
<b>NN</b>	0.56 (0.34)	0.58 (0.36)	0.57 (0.34)	0.54 (0.33)	0.52 (0.31)	0.50 (0.30)

Tablica 48: Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.64 (0.31)	0.67 (0.32)	0.65 (0.31)	0.62 (0.30)	0.58 (0.29)	0.55 (0.29)
<b>RF</b>	0.29 (0.30)	0.30 (0.31)	0.29 (0.30)	0.28 (0.29)	0.26 (0.28)	0.25 (0.26)
<b>SVC</b>	0.25 (0.29)	0.26 (0.30)	0.25 (0.29)	0.25 (0.28)	0.24 (0.27)	0.23 (0.27)
<b>NN</b>	0.50 (0.38)	0.53 (0.41)	0.51 (0.39)	0.48 (0.36)	0.44 (0.34)	0.41 (0.33)

Tablica 49: Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.56 (0.38)	0.58 (0.39)	0.57 (0.39)	0.55 (0.38)	0.52 (0.37)	0.50 (0.36)
<b>RF</b>	0.48 (0.41)	0.48 (0.41)	0.48 (0.41)	0.47 (0.40)	0.46 (0.40)	0.45 (0.40)
<b>SVC</b>	0.40 (0.40)	0.40 (0.41)	0.40 (0.41)	0.40 (0.40)	0.40 (0.40)	0.39 (0.40)
<b>NN</b>	0.49 (0.42)	0.51 (0.43)	0.50 (0.43)	0.49 (0.42)	0.47 (0.41)	0.46 (0.40)

Tablica 50: Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.61 (0.36)	0.66 (0.39)	0.64 (0.38)	0.58 (0.35)	0.53 (0.32)	0.48 (0.31)
<b>RF</b>	0.39 (0.39)	0.40 (0.40)	0.39 (0.39)	0.38 (0.39)	0.37 (0.38)	0.36 (0.38)
<b>SVC</b>	0.20 (0.29)	0.20 (0.29)	0.20 (0.29)	0.20 (0.29)	0.20 (0.29)	0.20 (0.29)
<b>NN</b>	0.33 (0.37)	0.34 (0.39)	0.33 (0.38)	0.32 (0.36)	0.30 (0.34)	0.29 (0.33)

Tablica 51: Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - średnie i RMS



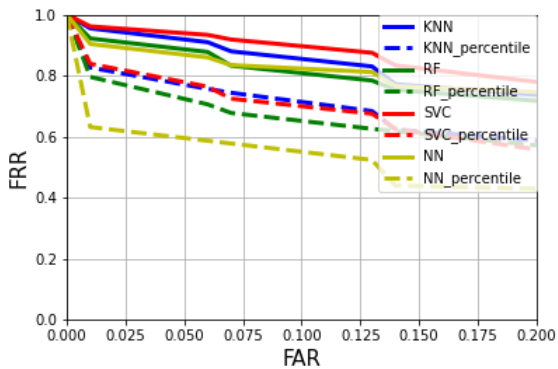
#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KŁAWIATURY TELEFONU

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.38 (0.38)	0.42 (0.42)	0.40 (0.40)	0.36 (0.35)	0.31 (0.31)	0.27 (0.27)
<b>RF</b>	0.29 (0.32)	0.30 (0.33)	0.29 (0.32)	0.28 (0.31)	0.27 (0.30)	0.26 (0.29)
<b>SVC</b>	0.14 (0.24)	0.14 (0.24)	0.14 (0.24)	0.14 (0.24)	0.14 (0.24)	0.13 (0.24)
<b>NN</b>	0.34 (0.40)	0.35 (0.42)	0.34 (0.41)	0.33 (0.38)	0.31 (0.36)	0.29 (0.34)

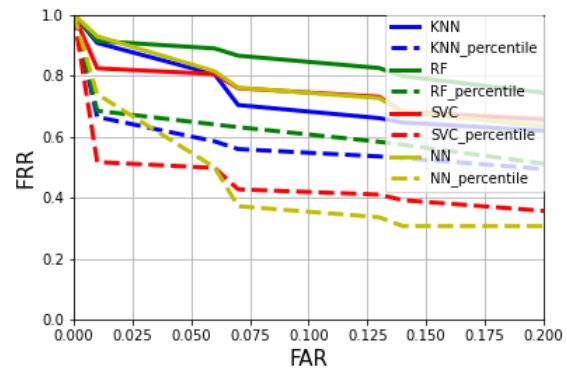
Tablica 52: Mobilne - czasy i pozycje wciśnień + oś alfa, beta, gamma żyroskopu

W przeciwieństwie do danych z akcelerometru, dane z żyroskopu poprawiły jakość systemu. FRR przy FAR=1% uległa poprawie (spadło poniżej 20%). Stało się tak w przypadku średnim co prawda dla jednego klasyfikatora, ale oznacza to, że warto prowadzić dalsze badania.

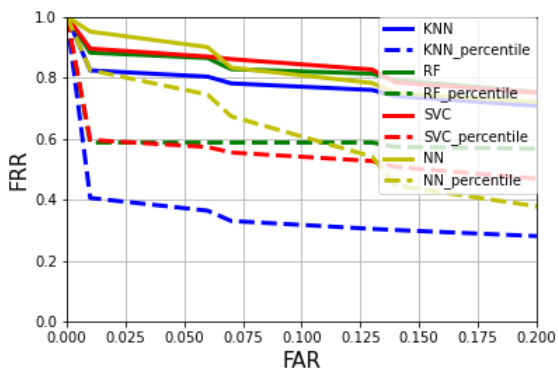
## Analiza sygnałów



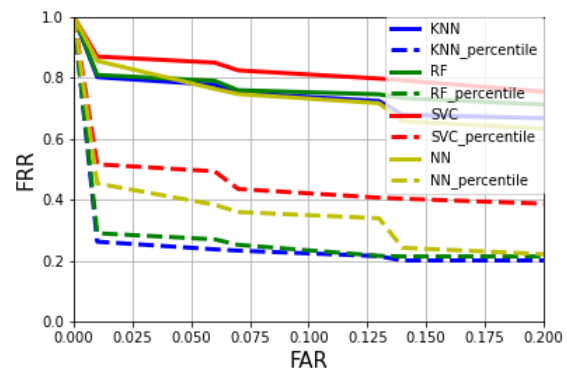
Rysunek 59: Mobilne - oś x akcelometru - sygnał



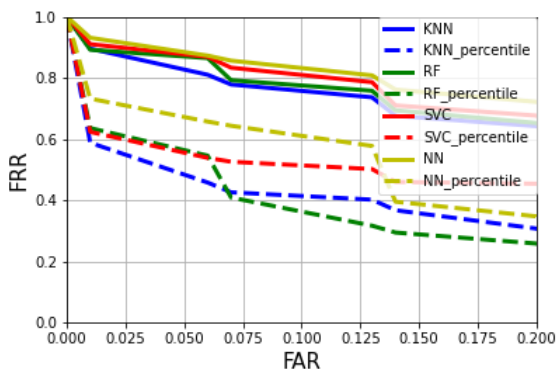
Rysunek 60: Mobilne - oś x akcelometru - fragmenty



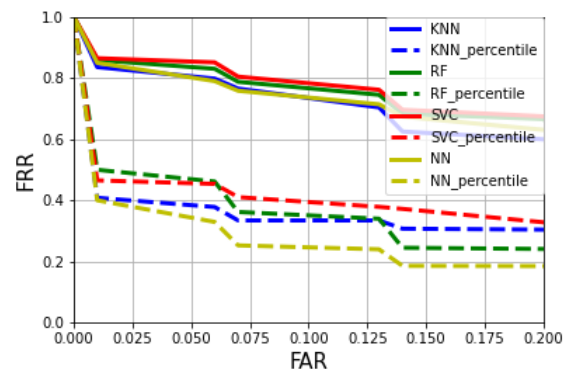
Rysunek 61: Mobilne - oś y akcelometru - sygnał



Rysunek 62: Mobilne - oś y akcelometru - fragmenty

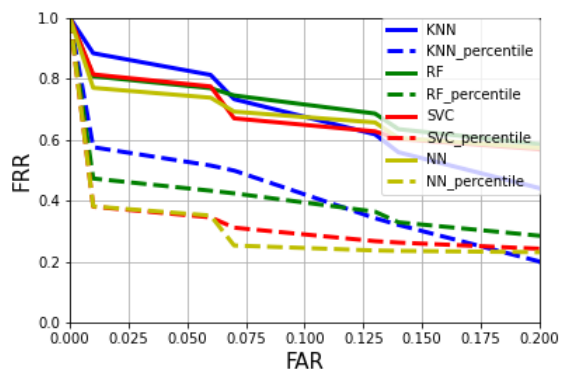


Rysunek 63: Mobilne - oś z akcelometru - sygnał

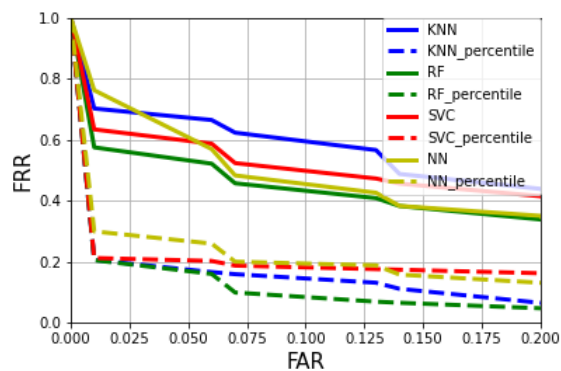


Rysunek 64: Mobilne - oś z akcelometru - fragmenty

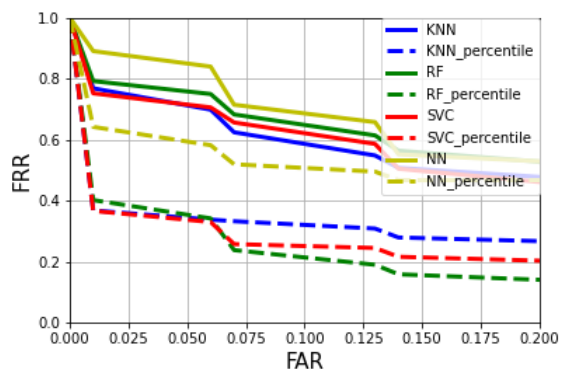
#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KLAWIATURY TELEFONU



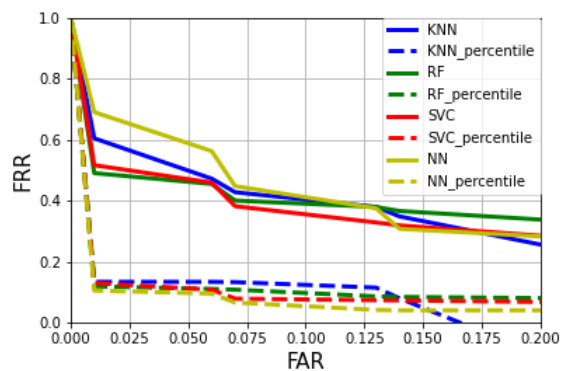
Rysunek 65: Mobilne - oś alfa żyroskopu - sygnał



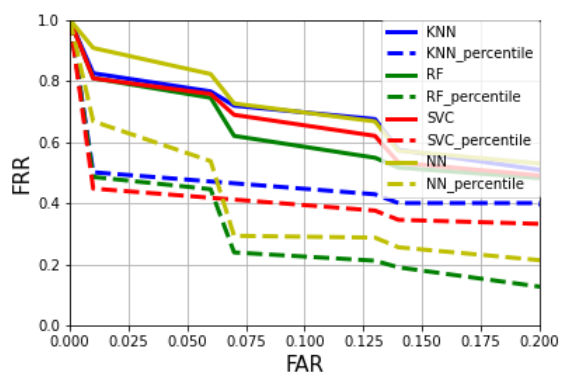
Rysunek 66: Mobilne - oś alfa żyroskopu - fragmenty



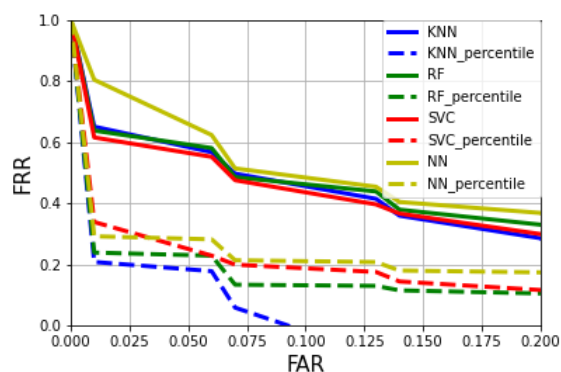
Rysunek 67: Mobilne - oś beta żyroskopu - sygnał



Rysunek 68: Mobilne - oś beta żyroskopu - fragmenty



Rysunek 69: Mobilne - oś gamma żyroskopu - sygnał



Rysunek 70: Mobilne - oś gamma żyroskopu - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.95 (0.09)	0.96 (0.09)	0.95 (0.09)	0.95 (0.09)	0.94 (0.09)	0.93 (0.10)
<b>RF</b>	0.92 (0.09)	0.93 (0.09)	0.92 (0.09)	0.91 (0.10)	0.90 (0.11)	0.89 (0.11)
<b>SVC</b>	0.96 (0.11)	0.96 (0.11)	0.96 (0.11)	0.96 (0.11)	0.95 (0.11)	0.94 (0.12)
<b>NN</b>	0.90 (0.17)	0.91 (0.17)	0.90 (0.17)	0.89 (0.17)	0.89 (0.17)	0.88 (0.18)

Tablica 53: Mobilne - oś x akcelerometru - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.90 (0.18)	0.92 (0.19)	0.91 (0.18)	0.89 (0.19)	0.87 (0.19)	0.85 (0.20)
<b>RF</b>	0.91 (0.16)	0.92 (0.16)	0.91 (0.16)	0.91 (0.16)	0.90 (0.16)	0.90 (0.16)
<b>SVC</b>	0.82 (0.21)	0.83 (0.21)	0.82 (0.21)	0.82 (0.21)	0.82 (0.21)	0.81 (0.22)
<b>NN</b>	0.92 (0.15)	0.94 (0.14)	0.93 (0.15)	0.91 (0.15)	0.88 (0.17)	0.86 (0.19)

Tablica 54: Mobilne - oś x akcelerometru - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.82 (0.26)	0.83 (0.26)	0.82 (0.26)	0.82 (0.26)	0.82 (0.26)	0.81 (0.26)
<b>RF</b>	0.88 (0.21)	0.88 (0.21)	0.88 (0.21)	0.88 (0.21)	0.87 (0.21)	0.87 (0.21)
<b>SVC</b>	0.89 (0.19)	0.90 (0.20)	0.89 (0.19)	0.89 (0.19)	0.88 (0.19)	0.88 (0.19)
<b>NN</b>	0.95 (0.10)	0.96 (0.09)	0.95 (0.09)	0.94 (0.10)	0.93 (0.10)	0.92 (0.11)

Tablica 55: Mobilne - oś y akcelerometru - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.80 (0.31)	0.80 (0.31)	0.80 (0.31)	0.80 (0.31)	0.79 (0.31)	0.79 (0.31)
<b>RF</b>	0.81 (0.31)	0.81 (0.31)	0.81 (0.31)	0.80 (0.31)	0.80 (0.31)	0.80 (0.31)
<b>SVC</b>	0.87 (0.21)	0.87 (0.21)	0.87 (0.21)	0.86 (0.21)	0.86 (0.21)	0.86 (0.21)
<b>NN</b>	0.85 (0.25)	0.86 (0.26)	0.85 (0.25)	0.84 (0.25)	0.82 (0.26)	0.80 (0.26)

Tablica 56: Mobilne - oś y akcelerometru - fragmenty

#### 4.2. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLASYCZNEJ KŁAWIATURY TELEFONU

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.89 (0.18)	0.90 (0.19)	0.90 (0.18)	0.88 (0.18)	0.86 (0.19)	0.84 (0.20)
<b>RF</b>	0.89 (0.20)	0.89 (0.19)	0.89 (0.19)	0.89 (0.20)	0.88 (0.20)	0.88 (0.21)
<b>SVC</b>	0.91 (0.23)	0.91 (0.23)	0.91 (0.23)	0.90 (0.23)	0.89 (0.23)	0.88 (0.24)
<b>NN</b>	0.93 (0.14)	0.94 (0.13)	0.93 (0.14)	0.92 (0.14)	0.91 (0.15)	0.90 (0.16)

Tablica 57: Mobilne - oś z akcelerometru - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.83 (0.26)	0.84 (0.26)	0.83 (0.26)	0.83 (0.26)	0.82 (0.26)	0.81 (0.26)
<b>RF</b>	0.86 (0.23)	0.86 (0.23)	0.86 (0.23)	0.85 (0.23)	0.85 (0.24)	0.84 (0.24)
<b>SVC</b>	0.86 (0.23)	0.87 (0.23)	0.86 (0.23)	0.86 (0.23)	0.86 (0.23)	0.86 (0.23)
<b>NN</b>	0.84 (0.26)	0.85 (0.26)	0.85 (0.26)	0.84 (0.26)	0.82 (0.26)	0.81 (0.26)

Tablica 58: Mobilne - oś z akcelerometru - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.88 (0.23)	0.89 (0.23)	0.88 (0.23)	0.87 (0.23)	0.85 (0.23)	0.84 (0.23)
<b>RF</b>	0.80 (0.23)	0.81 (0.23)	0.81 (0.23)	0.80 (0.23)	0.79 (0.23)	0.78 (0.23)
<b>SVC</b>	0.81 (0.27)	0.82 (0.28)	0.81 (0.27)	0.81 (0.27)	0.80 (0.27)	0.79 (0.27)
<b>NN</b>	0.77 (0.27)	0.77 (0.27)	0.77 (0.27)	0.76 (0.26)	0.76 (0.26)	0.75 (0.26)

Tablica 59: Mobilne - oś alfa żyroskopu - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.70 (0.32)	0.71 (0.32)	0.70 (0.32)	0.69 (0.32)	0.69 (0.32)	0.68 (0.32)
<b>RF</b>	0.57 (0.25)	0.58 (0.25)	0.57 (0.25)	0.56 (0.25)	0.55 (0.25)	0.54 (0.25)
<b>SVC</b>	0.63 (0.28)	0.64 (0.29)	0.63 (0.29)	0.62 (0.28)	0.61 (0.28)	0.60 (0.28)
<b>NN</b>	0.75 (0.26)	0.78 (0.28)	0.76 (0.27)	0.72 (0.26)	0.68 (0.25)	0.65 (0.25)

Tablica 60: Mobilne - oś alfa żyroskopu - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.76 (0.27)	0.77 (0.27)	0.77 (0.27)	0.75 (0.27)	0.74 (0.26)	0.73 (0.27)
<b>RF</b>	0.79 (0.25)	0.80 (0.25)	0.79 (0.25)	0.78 (0.25)	0.77 (0.25)	0.77 (0.25)
<b>SVC</b>	0.75 (0.26)	0.76 (0.26)	0.75 (0.26)	0.74 (0.26)	0.73 (0.26)	0.72 (0.26)
<b>NN</b>	0.89 (0.15)	0.89 (0.15)	0.89 (0.15)	0.88 (0.15)	0.87 (0.16)	0.86 (0.16)

Tablica 61: Mobilne - oś beta żyroskopu - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.59 (0.32)	0.62 (0.33)	0.60 (0.32)	0.58 (0.31)	0.55 (0.29)	0.52 (0.28)
<b>RF</b>	0.49 (0.30)	0.49 (0.30)	0.49 (0.30)	0.48 (0.29)	0.48 (0.29)	0.47 (0.29)
<b>SVC</b>	0.51 (0.28)	0.52 (0.29)	0.52 (0.28)	0.50 (0.28)	0.49 (0.28)	0.48 (0.28)
<b>NN</b>	0.68 (0.35)	0.70 (0.37)	0.69 (0.36)	0.66 (0.34)	0.64 (0.33)	0.61 (0.32)

Tablica 62: Mobilne - oś beta żyroskopu - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.82 (0.23)	0.83 (0.23)	0.82 (0.23)	0.81 (0.23)	0.80 (0.23)	0.79 (0.23)
<b>RF</b>	0.80 (0.23)	0.81 (0.23)	0.81 (0.23)	0.80 (0.23)	0.78 (0.22)	0.77 (0.22)
<b>SVC</b>	0.80 (0.25)	0.81 (0.25)	0.81 (0.25)	0.80 (0.25)	0.79 (0.24)	0.78 (0.24)
<b>NN</b>	0.90 (0.21)	0.92 (0.21)	0.91 (0.21)	0.89 (0.21)	0.87 (0.21)	0.86 (0.21)

Tablica 63: Mobilne - oś gamma żyroskopu - sygnał

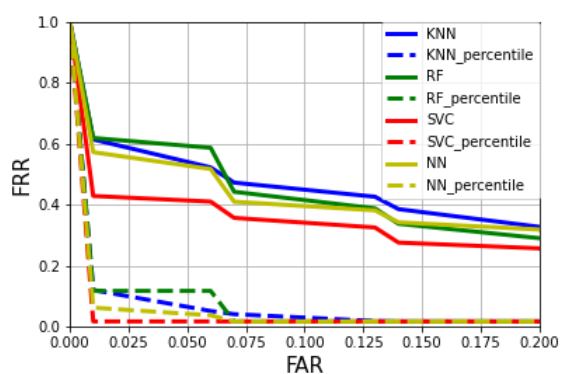
	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.64 (0.31)	0.66 (0.31)	0.65 (0.31)	0.63 (0.30)	0.62 (0.30)	0.60 (0.29)
<b>RF</b>	0.63 (0.27)	0.64 (0.27)	0.64 (0.27)	0.63 (0.26)	0.61 (0.26)	0.60 (0.26)
<b>SVC</b>	0.61 (0.24)	0.62 (0.24)	0.61 (0.24)	0.60 (0.24)	0.59 (0.25)	0.58 (0.25)
<b>NN</b>	0.79 (0.30)	0.82 (0.31)	0.80 (0.31)	0.77 (0.29)	0.73 (0.29)	0.69 (0.28)

Tablica 64: Mobilne - oś gamma żyroskopu - fragmenty

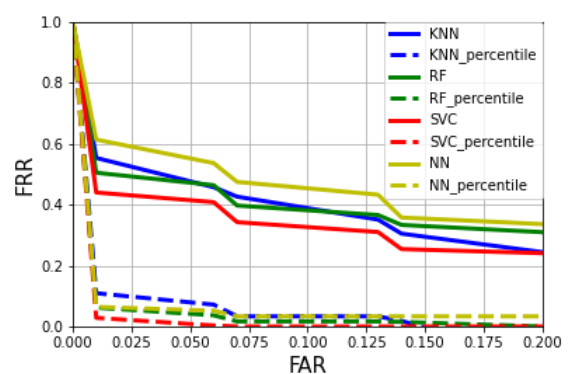
Podział sygnału na fragmenty i użycie takiej formy danych wejściowych daje lepsze efekty niż użycie całego sygnału. Natomiast wyniki są gorsze niż w przypadku użycia prostych statystyk. Dlatego dane uzyskane w powyższej analizie nie będą łączone z czasami i pozycjami wciśnięć i zostają uznane za gorsze.

### 4.3. Eksperymenty, dotyczące klawiatury telefonu typu swipe

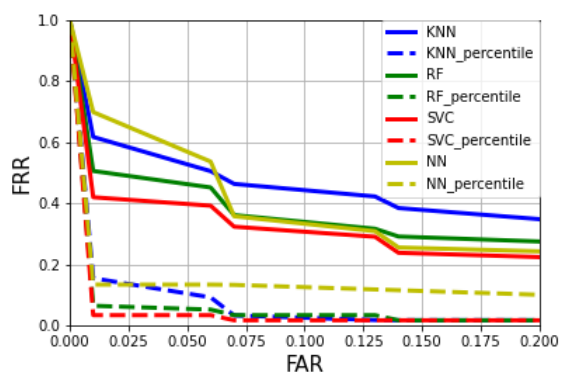
#### Ruch palca - statystyki



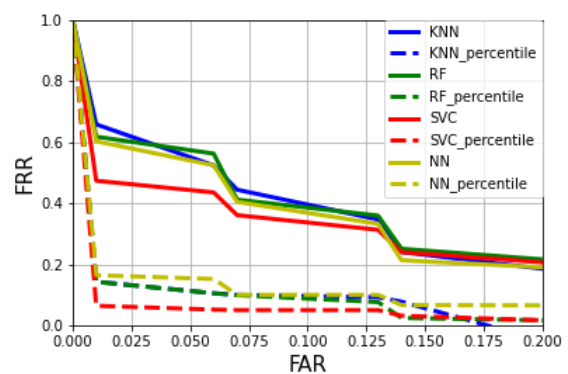
Rysunek 71: Swipe - pozycje palca - średnie



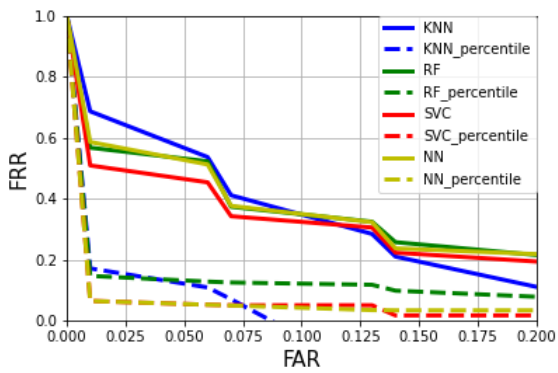
Rysunek 72: Swipe - pozycje palca - RMS



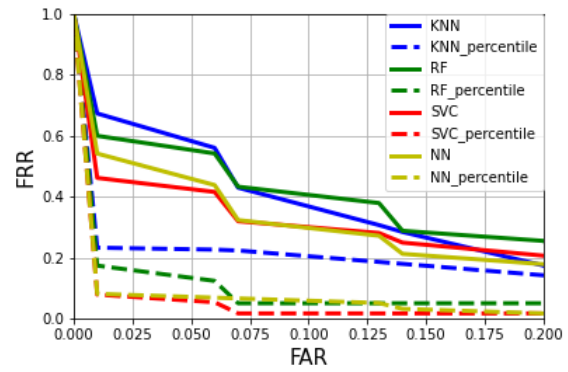
Rysunek 73: Swipe - pozycje palca - średnie i RMS



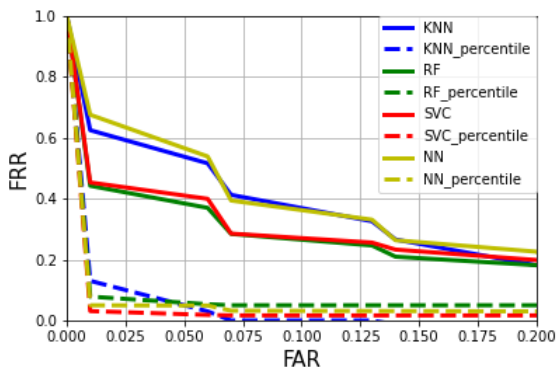
Rysunek 74: Swipe - prędkości palca - średnie



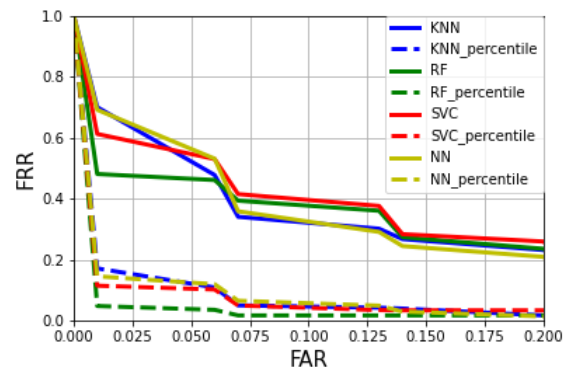
Rysunek 75: Swipe - prędkości palca - RMS



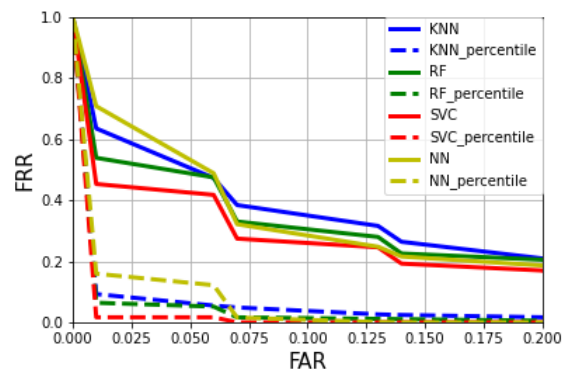
Rysunek 76: Swipe - prędkości palca - średnie i RMS



Rysunek 77: Swipe - przyspieszenia palca - średnie



Rysunek 78: Swipe - przyspieszenia palca - RMS



Rysunek 79: Swipe - przyspieszenia palca - średnie i RMS



#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KŁAWIATURY TELEFONU TYPU SWIPE

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.61 (0.34)	0.62 (0.35)	0.61 (0.34)	0.59 (0.34)	0.58 (0.33)	0.56 (0.33)
<b>RF</b>	0.62 (0.32)	0.62 (0.33)	0.62 (0.32)	0.61 (0.32)	0.61 (0.32)	0.60 (0.32)
<b>SVC</b>	0.43 (0.36)	0.43 (0.37)	0.43 (0.37)	0.42 (0.36)	0.42 (0.36)	0.42 (0.36)
<b>NN</b>	0.57 (0.39)	0.58 (0.40)	0.57 (0.39)	0.56 (0.39)	0.55 (0.38)	0.54 (0.37)

Tablica 65: Swipe - pozycje palca - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.54 (0.32)	0.56 (0.33)	0.55 (0.32)	0.53 (0.31)	0.51 (0.30)	0.50 (0.29)
<b>RF</b>	0.50 (0.28)	0.51 (0.29)	0.50 (0.29)	0.50 (0.28)	0.49 (0.28)	0.48 (0.28)
<b>SVC</b>	0.44 (0.34)	0.44 (0.35)	0.44 (0.34)	0.43 (0.34)	0.43 (0.34)	0.42 (0.34)
<b>NN</b>	0.61 (0.38)	0.62 (0.39)	0.61 (0.39)	0.60 (0.37)	0.58 (0.36)	0.57 (0.35)

Tablica 66: Swipe - pozycje palca - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.61 (0.32)	0.63 (0.33)	0.62 (0.32)	0.59 (0.32)	0.57 (0.32)	0.55 (0.31)
<b>RF</b>	0.50 (0.31)	0.51 (0.31)	0.50 (0.31)	0.49 (0.30)	0.48 (0.30)	0.47 (0.30)
<b>SVC</b>	0.42 (0.33)	0.42 (0.33)	0.42 (0.33)	0.41 (0.33)	0.41 (0.33)	0.40 (0.33)
<b>NN</b>	0.68 (0.34)	0.71 (0.36)	0.70 (0.35)	0.67 (0.34)	0.63 (0.32)	0.60 (0.32)

Tablica 67: Swipe - pozycje palca - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.65 (0.31)	0.67 (0.32)	0.66 (0.31)	0.63 (0.30)	0.60 (0.29)	0.58 (0.28)
<b>RF</b>	0.61 (0.29)	0.62 (0.29)	0.62 (0.29)	0.61 (0.29)	0.59 (0.29)	0.58 (0.29)
<b>SVC</b>	0.47 (0.31)	0.48 (0.32)	0.47 (0.32)	0.47 (0.31)	0.46 (0.31)	0.45 (0.31)
<b>NN</b>	0.60 (0.34)	0.61 (0.35)	0.60 (0.34)	0.59 (0.33)	0.57 (0.32)	0.55 (0.31)

Tablica 68: Swipe - prędkości palca - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.67 (0.31)	0.70 (0.32)	0.69 (0.31)	0.66 (0.30)	0.63 (0.30)	0.60 (0.29)
<b>RF</b>	0.56 (0.29)	0.57 (0.29)	0.57 (0.29)	0.56 (0.29)	0.55 (0.29)	0.54 (0.29)
<b>SVC</b>	0.50 (0.33)	0.51 (0.33)	0.51 (0.33)	0.50 (0.32)	0.49 (0.31)	0.48 (0.31)
<b>NN</b>	0.58 (0.39)	0.59 (0.40)	0.59 (0.39)	0.57 (0.39)	0.56 (0.38)	0.54 (0.37)

Tablica 69: Swipe - prędkości palca - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.66 (0.29)	0.68 (0.30)	0.67 (0.29)	0.65 (0.28)	0.63 (0.27)	0.60 (0.27)
<b>RF</b>	0.59 (0.31)	0.60 (0.31)	0.60 (0.31)	0.59 (0.31)	0.58 (0.31)	0.56 (0.31)
<b>SVC</b>	0.46 (0.31)	0.47 (0.31)	0.46 (0.31)	0.45 (0.31)	0.44 (0.30)	0.43 (0.30)
<b>NN</b>	0.53 (0.37)	0.55 (0.39)	0.54 (0.38)	0.52 (0.36)	0.50 (0.35)	0.48 (0.33)

Tablica 70: Swipe - prędkości palca - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.62 (0.34)	0.63 (0.34)	0.62 (0.34)	0.60 (0.34)	0.58 (0.34)	0.56 (0.34)
<b>RF</b>	0.44 (0.32)	0.45 (0.32)	0.44 (0.32)	0.43 (0.32)	0.41 (0.31)	0.40 (0.31)
<b>SVC</b>	0.45 (0.32)	0.46 (0.32)	0.45 (0.32)	0.44 (0.32)	0.43 (0.32)	0.42 (0.32)
<b>NN</b>	0.66 (0.37)	0.69 (0.38)	0.67 (0.38)	0.65 (0.36)	0.62 (0.35)	0.59 (0.34)

Tablica 71: Swipe - przyspieszenia palca - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.68 (0.31)	0.72 (0.33)	0.70 (0.32)	0.65 (0.30)	0.61 (0.29)	0.57 (0.28)
<b>RF</b>	0.48 (0.32)	0.48 (0.32)	0.48 (0.32)	0.48 (0.32)	0.47 (0.32)	0.47 (0.32)
<b>SVC</b>	0.60 (0.32)	0.62 (0.32)	0.61 (0.32)	0.60 (0.31)	0.58 (0.31)	0.56 (0.30)
<b>NN</b>	0.68 (0.33)	0.71 (0.34)	0.69 (0.34)	0.66 (0.32)	0.63 (0.32)	0.59 (0.31)

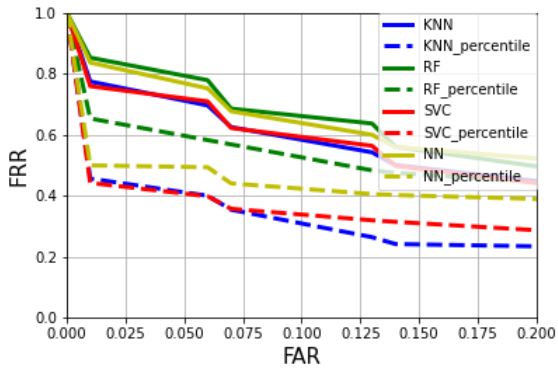
Tablica 72: Swipe - przyspieszenia palca - RMS

#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE Klawiatury telefonu typu swipe

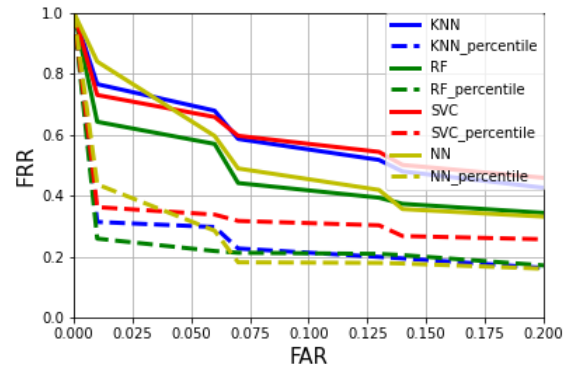
	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.62 (0.34)	0.65 (0.36)	0.63 (0.35)	0.60 (0.33)	0.57 (0.32)	0.54 (0.32)
<b>RF</b>	0.53 (0.31)	0.54 (0.31)	0.54 (0.31)	0.53 (0.31)	0.51 (0.30)	0.50 (0.30)
<b>SVC</b>	0.45 (0.34)	0.46 (0.34)	0.45 (0.34)	0.45 (0.33)	0.44 (0.33)	0.43 (0.33)
<b>NN</b>	0.69 (0.32)	0.73 (0.34)	0.71 (0.33)	0.66 (0.31)	0.62 (0.29)	0.58 (0.28)

Tablica 73: Swipe - przyspieszenia palca - średnie i RMS

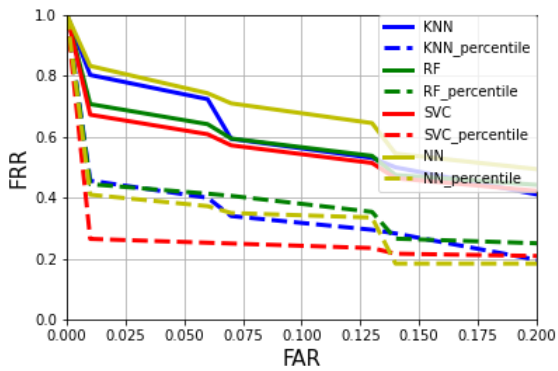
## Ruch palca - sygnały



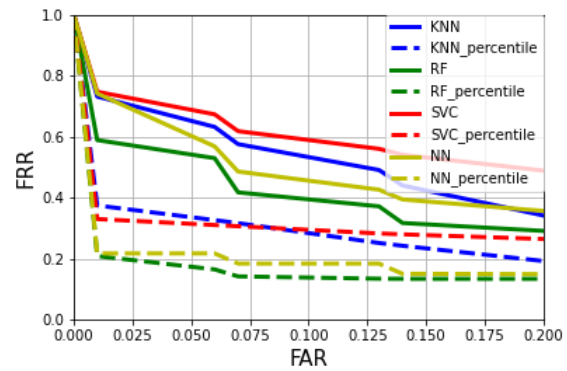
Rysunek 80: Swipe - pozycje palca - sygnał



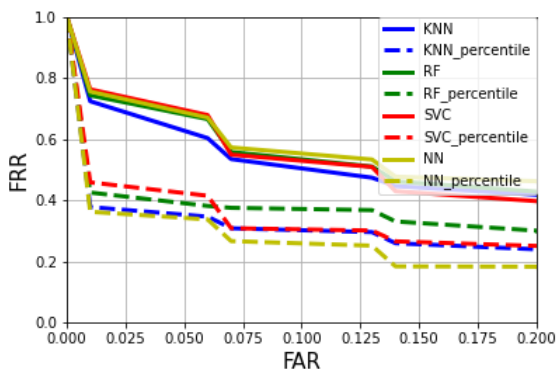
Rysunek 81: Swipe - pozycje palca - fragmenty



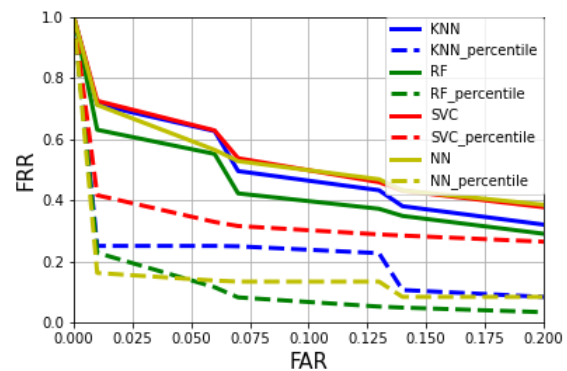
Rysunek 82: Swipe - prędkości palca - sygnał



Rysunek 83: Swipe - prędkości palca - fragmenty



Rysunek 84: Swipe - przyspieszenia palca - sygnał



Rysunek 85: Swipe - przyspieszenia palca - fragmenty

#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KŁAWIATURY TELEFONU TYPU SWIPE

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.20)	0.78 (0.20)	0.77 (0.20)	0.76 (0.20)	0.74 (0.20)	0.73 (0.20)
<b>RF</b>	0.85 (0.13)	0.86 (0.13)	0.85 (0.13)	0.84 (0.13)	0.82 (0.13)	0.81 (0.14)
<b>SVC</b>	0.75 (0.19)	0.76 (0.19)	0.76 (0.19)	0.75 (0.19)	0.74 (0.19)	0.73 (0.20)
<b>NN</b>	0.83 (0.19)	0.84 (0.20)	0.84 (0.19)	0.82 (0.19)	0.80 (0.18)	0.79 (0.18)

Tablica 74: Swipe - pozycje palca - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.76 (0.27)	0.77 (0.28)	0.77 (0.27)	0.75 (0.27)	0.73 (0.26)	0.71 (0.25)
<b>RF</b>	0.64 (0.25)	0.65 (0.26)	0.64 (0.25)	0.63 (0.25)	0.61 (0.25)	0.60 (0.24)
<b>SVC</b>	0.72 (0.23)	0.74 (0.23)	0.73 (0.23)	0.72 (0.23)	0.70 (0.22)	0.69 (0.23)
<b>NN</b>	0.82 (0.24)	0.86 (0.25)	0.84 (0.24)	0.79 (0.23)	0.74 (0.22)	0.69 (0.22)

Tablica 75: Swipe - pozycje palca - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.80 (0.21)	0.81 (0.22)	0.80 (0.21)	0.79 (0.21)	0.77 (0.21)	0.75 (0.21)
<b>RF</b>	0.70 (0.18)	0.71 (0.18)	0.71 (0.18)	0.69 (0.18)	0.68 (0.17)	0.67 (0.17)
<b>SVC</b>	0.67 (0.26)	0.68 (0.27)	0.67 (0.26)	0.66 (0.26)	0.65 (0.26)	0.63 (0.26)
<b>NN</b>	0.82 (0.24)	0.84 (0.24)	0.83 (0.24)	0.81 (0.24)	0.80 (0.24)	0.78 (0.24)

Tablica 76: Swipe - prędkości palca - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.72 (0.24)	0.74 (0.25)	0.73 (0.24)	0.71 (0.24)	0.69 (0.23)	0.67 (0.23)
<b>RF</b>	0.58 (0.26)	0.59 (0.26)	0.59 (0.26)	0.58 (0.26)	0.56 (0.26)	0.55 (0.26)
<b>SVC</b>	0.74 (0.25)	0.75 (0.26)	0.75 (0.26)	0.73 (0.25)	0.72 (0.25)	0.70 (0.24)
<b>NN</b>	0.73 (0.30)	0.76 (0.32)	0.74 (0.31)	0.71 (0.29)	0.67 (0.27)	0.64 (0.26)

Tablica 77: Swipe - prędkości palca - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.71 (0.22)	0.74 (0.24)	0.72 (0.23)	0.70 (0.22)	0.68 (0.21)	0.65 (0.20)
<b>RF</b>	0.74 (0.22)	0.75 (0.22)	0.74 (0.22)	0.73 (0.22)	0.71 (0.22)	0.70 (0.22)
<b>SVC</b>	0.76 (0.19)	0.77 (0.20)	0.76 (0.19)	0.75 (0.19)	0.73 (0.19)	0.71 (0.19)
<b>NN</b>	0.75 (0.25)	0.76 (0.25)	0.75 (0.25)	0.74 (0.24)	0.72 (0.24)	0.70 (0.24)

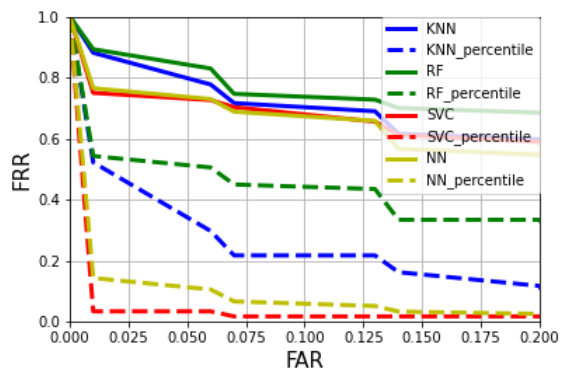
Tablica 78: Swipe - przyspieszenia palca - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.71 (0.28)	0.72 (0.29)	0.71 (0.29)	0.70 (0.28)	0.68 (0.27)	0.66 (0.27)
<b>RF</b>	0.62 (0.27)	0.64 (0.27)	0.63 (0.27)	0.61 (0.27)	0.60 (0.27)	0.58 (0.28)
<b>SVC</b>	0.72 (0.20)	0.73 (0.21)	0.72 (0.20)	0.71 (0.20)	0.69 (0.20)	0.67 (0.19)
<b>NN</b>	0.70 (0.33)	0.73 (0.35)	0.71 (0.34)	0.68 (0.33)	0.65 (0.32)	0.62 (0.31)

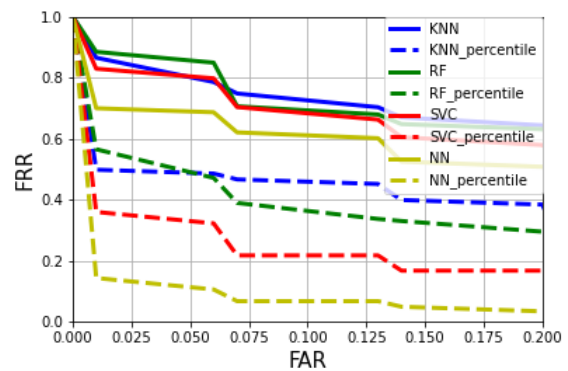
Tablica 79: Swipe - przyspieszenia palca - fragmenty

Ponownie, lepsze od analizy sygnałów okazały się analizy statystyk. Różnice w analizie pozycji, prędkości i przyspieszenia nie są znaczne. Natomiast najlepszy wynik jest uzyskiwany dla analizy pozycji (przy wykorzystaniu zarówno średnich, jak i RMS).

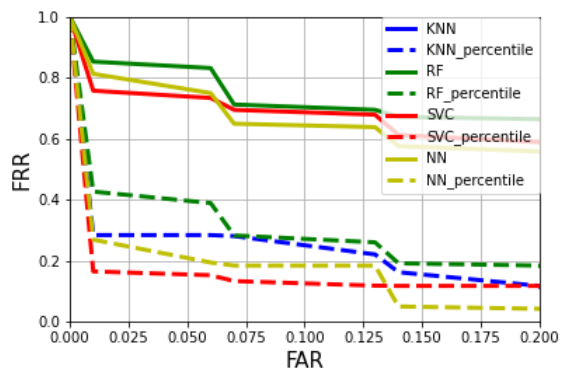
### Sygnaly z akcelerometru i żyroskopu - statystyki



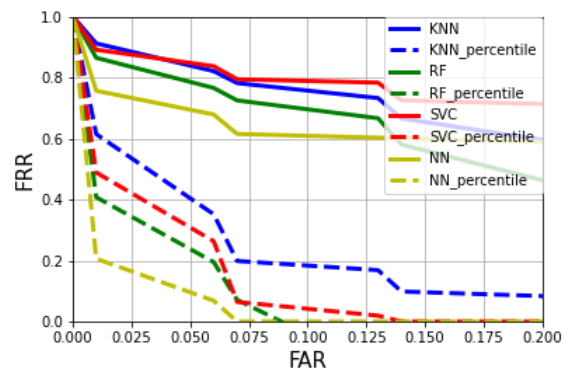
Rysunek 86: Swipec - os x akcelerometru - srednie



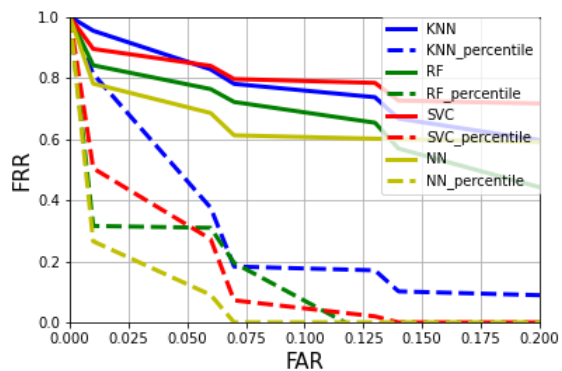
Rysunek 87: Swipec - os x akcelerometru - RMS



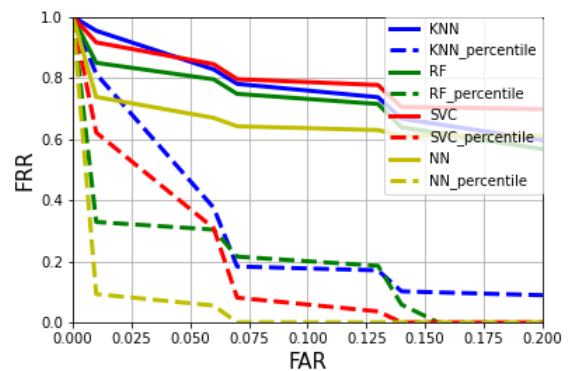
Rysunek 88: Swipec - os x akcelerometru - srednie i RMS



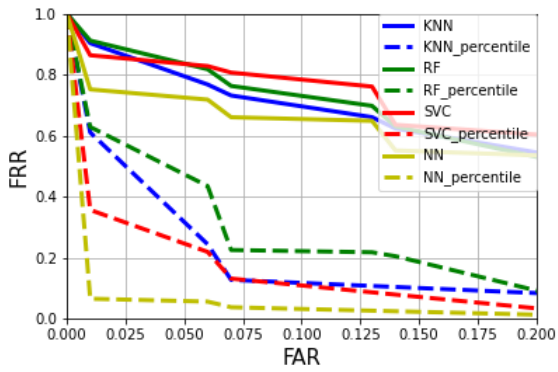
Rysunek 89: Swipec - os y akcelerometru - srednie



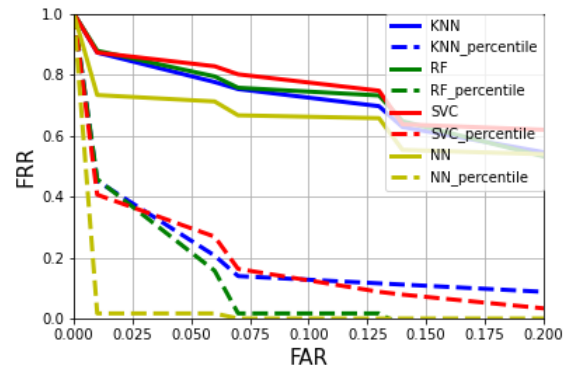
Rysunek 90: Swipec - os y akcelerometru - RMS



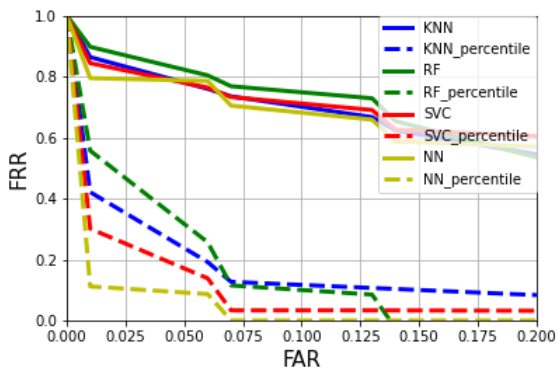
Rysunek 91: Swipec - os y akcelerometru - srednie i RMS



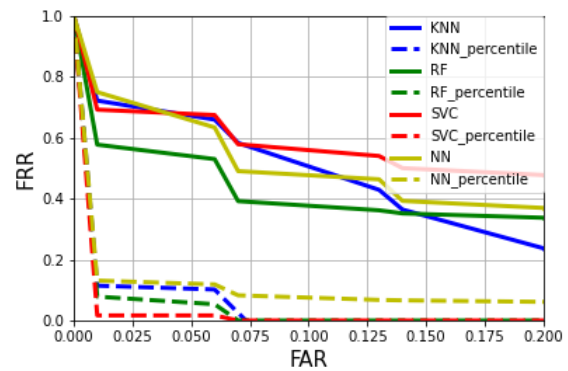
Rysunek 92: Swipe - oś z akcelerometru - średnie



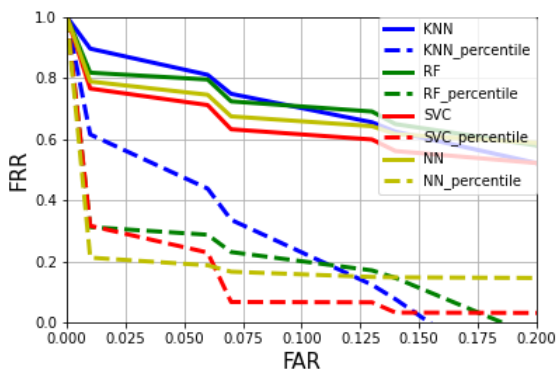
Rysunek 93: Swipe - oś z akcelerometru - RMS



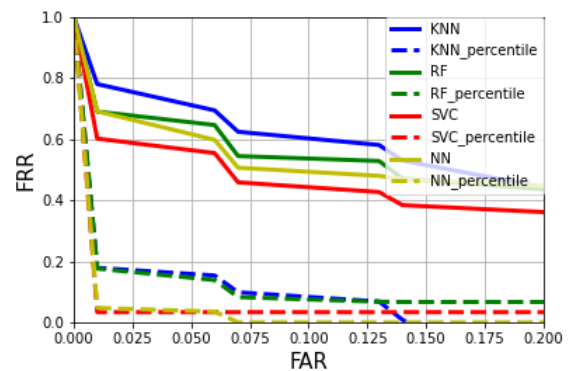
Rysunek 94: Swipe - oś z akcelerometru - średnie i RMS



Rysunek 95: Swipe - oś alfa żyroskopu - średnie



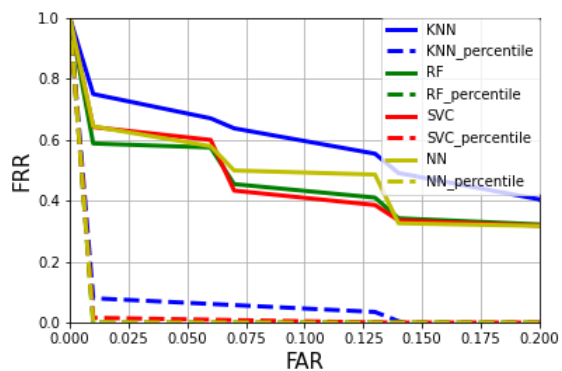
Rysunek 96: Swipe - oś alfa żyroskopu - RMS



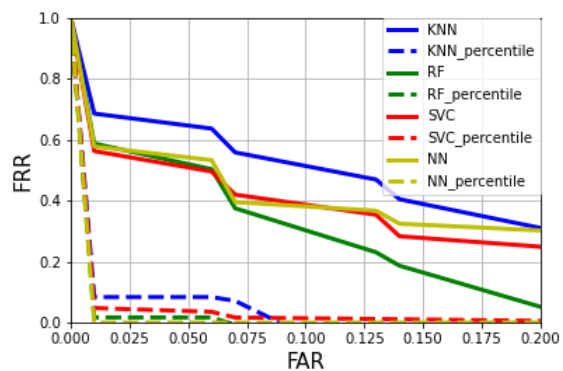
Rysunek 97: Swipe - oś alfa żyroskopu - średnie i RMS



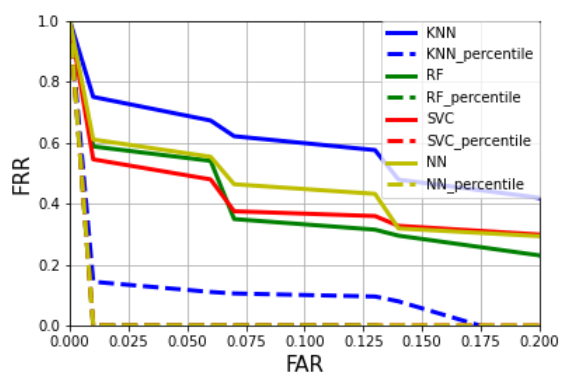
#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLAWIATURY TELEFONU TYPU SWIPE



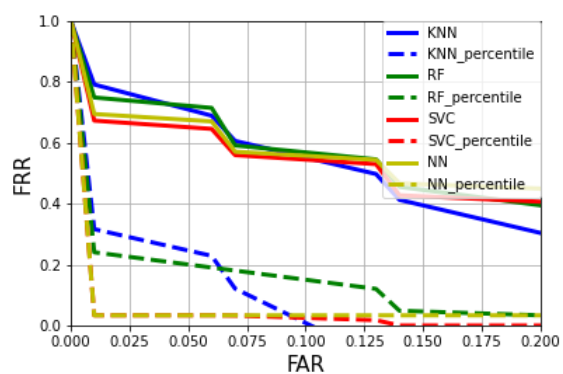
Rysunek 98: Swiipe - oś beta żyroskopu - średnie



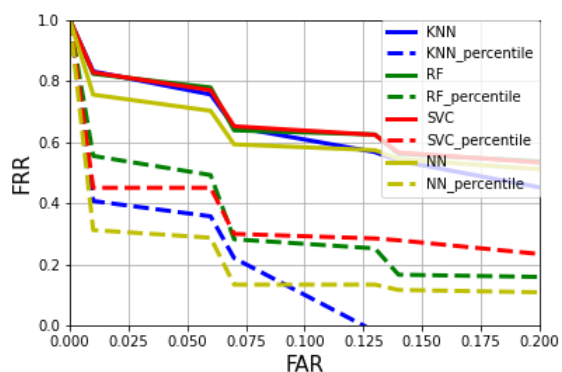
Rysunek 99: Swiipe - oś beta żyroskopu - RMS



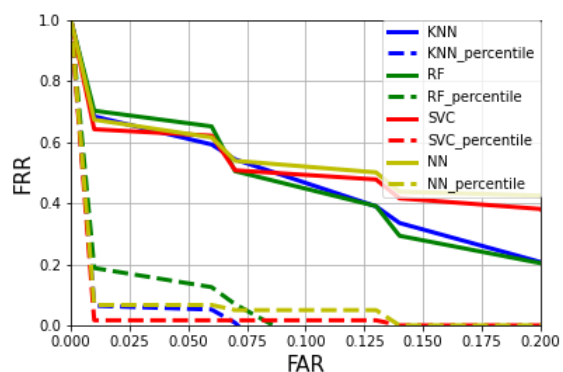
Rysunek 100: Swiipe - oś beta żyroskopu - średnie i RMS



Rysunek 101: Swiipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie



Rysunek 102: Swiipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - RMS



Rysunek 103: Swiipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.87 (0.22)	0.89 (0.22)	0.88 (0.22)	0.86 (0.23)	0.84 (0.25)	0.82 (0.27)
<b>RF</b>	0.89 (0.22)	0.90 (0.21)	0.89 (0.21)	0.88 (0.22)	0.87 (0.23)	0.85 (0.24)
<b>SVC</b>	0.75 (0.39)	0.75 (0.39)	0.75 (0.39)	0.74 (0.39)	0.74 (0.39)	0.74 (0.38)
<b>NN</b>	0.76 (0.35)	0.77 (0.35)	0.76 (0.35)	0.76 (0.35)	0.75 (0.35)	0.74 (0.36)

Tablica 80: Swipe - oś x akcelerometru - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.86 (0.24)	0.87 (0.24)	0.86 (0.24)	0.85 (0.24)	0.83 (0.25)	0.82 (0.26)
<b>RF</b>	0.88 (0.23)	0.89 (0.23)	0.88 (0.23)	0.88 (0.23)	0.87 (0.23)	0.86 (0.24)
<b>SVC</b>	0.83 (0.29)	0.83 (0.29)	0.83 (0.29)	0.82 (0.29)	0.82 (0.29)	0.81 (0.29)
<b>NN</b>	0.70 (0.35)	0.70 (0.35)	0.70 (0.35)	0.70 (0.35)	0.69 (0.35)	0.69 (0.35)

Tablica 81: Swipe - oś x akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	nan (nan)	nan (nan)	nan (nan)	nan (nan)	nan (nan)	nan (nan)
<b>RF</b>	0.85 (0.26)	0.85 (0.26)	0.85 (0.26)	0.85 (0.26)	0.84 (0.26)	0.84 (0.26)
<b>SVC</b>	0.75 (0.35)	0.76 (0.35)	0.76 (0.35)	0.75 (0.35)	0.75 (0.35)	0.74 (0.35)
<b>NN</b>	0.81 (0.31)	0.82 (0.30)	0.81 (0.30)	0.80 (0.31)	0.79 (0.32)	0.77 (0.33)

Tablica 82: Swipe - oś x akcelerometru - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.90 (0.21)	0.92 (0.21)	0.91 (0.21)	0.89 (0.21)	0.88 (0.22)	0.86 (0.23)
<b>RF</b>	0.86 (0.28)	0.87 (0.28)	0.86 (0.27)	0.84 (0.28)	0.83 (0.29)	0.81 (0.30)
<b>SVC</b>	0.89 (0.24)	0.90 (0.24)	0.89 (0.24)	0.88 (0.25)	0.87 (0.26)	0.86 (0.27)
<b>NN</b>	0.75 (0.34)	0.76 (0.33)	0.76 (0.34)	0.74 (0.35)	0.73 (0.36)	0.71 (0.37)

Tablica 83: Swipe - oś y akcelerometru - średnie

#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE Klawiatury telefonu typu swipe

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.94 (0.11)	0.97 (0.09)	0.95 (0.10)	0.93 (0.13)	0.90 (0.16)	0.88 (0.19)
<b>RF</b>	0.83 (0.29)	0.85 (0.29)	0.84 (0.29)	0.83 (0.29)	0.81 (0.30)	0.79 (0.31)
<b>SVC</b>	0.89 (0.23)	0.90 (0.23)	0.89 (0.23)	0.88 (0.24)	0.87 (0.25)	0.86 (0.26)
<b>NN</b>	0.77 (0.31)	0.79 (0.30)	0.78 (0.31)	0.76 (0.32)	0.74 (0.33)	0.72 (0.35)

Tablica 84: Swipe - oś y akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.94 (0.11)	0.97 (0.09)	0.95 (0.10)	0.93 (0.13)	0.90 (0.16)	0.88 (0.19)
<b>RF</b>	0.84 (0.29)	0.85 (0.29)	0.85 (0.29)	0.84 (0.29)	0.83 (0.29)	0.82 (0.29)
<b>SVC</b>	0.91 (0.19)	0.92 (0.18)	0.92 (0.18)	0.90 (0.20)	0.89 (0.21)	0.87 (0.23)
<b>NN</b>	0.73 (0.37)	0.74 (0.37)	0.74 (0.37)	0.72 (0.38)	0.71 (0.38)	0.70 (0.39)

Tablica 85: Swipe - oś y akcelerometru - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.89 (0.21)	0.92 (0.21)	0.90 (0.21)	0.88 (0.21)	0.85 (0.23)	0.82 (0.25)
<b>RF</b>	0.90 (0.21)	0.92 (0.21)	0.91 (0.21)	0.89 (0.22)	0.87 (0.22)	0.85 (0.24)
<b>SVC</b>	0.86 (0.30)	0.87 (0.29)	0.86 (0.29)	0.86 (0.30)	0.85 (0.31)	0.84 (0.31)
<b>NN</b>	0.75 (0.39)	0.75 (0.39)	0.75 (0.39)	0.74 (0.39)	0.74 (0.39)	0.73 (0.39)

Tablica 86: Swipe - oś z akcelerometru - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.86 (0.26)	0.88 (0.26)	0.87 (0.26)	0.85 (0.26)	0.83 (0.27)	0.81 (0.29)
<b>RF</b>	0.87 (0.29)	0.89 (0.29)	0.88 (0.29)	0.86 (0.29)	0.84 (0.30)	0.83 (0.31)
<b>SVC</b>	0.87 (0.28)	0.88 (0.28)	0.87 (0.28)	0.86 (0.28)	0.85 (0.29)	0.84 (0.30)
<b>NN</b>	0.73 (0.39)	0.73 (0.39)	0.73 (0.39)	0.73 (0.39)	0.72 (0.39)	0.72 (0.39)

Tablica 87: Swipe - oś z akcelerometru - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.85 (0.27)	0.87 (0.27)	0.86 (0.27)	0.84 (0.27)	0.82 (0.28)	0.80 (0.30)
<b>RF</b>	0.89 (0.24)	0.91 (0.24)	0.90 (0.24)	0.88 (0.24)	0.86 (0.25)	0.84 (0.26)
<b>SVC</b>	0.84 (0.29)	0.85 (0.29)	0.84 (0.29)	0.83 (0.30)	0.81 (0.31)	0.80 (0.32)
<b>NN</b>	0.79 (0.36)	0.80 (0.36)	0.79 (0.36)	0.79 (0.36)	0.79 (0.37)	0.79 (0.37)

Tablica 88: Swipe - oś z akcelerometru - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.72 (0.35)	0.73 (0.35)	0.72 (0.35)	0.71 (0.34)	0.70 (0.34)	0.68 (0.34)
<b>RF</b>	0.57 (0.34)	0.58 (0.34)	0.58 (0.34)	0.57 (0.34)	0.56 (0.34)	0.55 (0.34)
<b>SVC</b>	0.69 (0.39)	0.69 (0.39)	0.69 (0.39)	0.69 (0.39)	0.68 (0.39)	0.68 (0.39)
<b>NN</b>	0.74 (0.35)	0.76 (0.36)	0.75 (0.35)	0.73 (0.35)	0.70 (0.35)	0.68 (0.36)

Tablica 89: Swipe - oś alfa żyroskopu- średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.89 (0.18)	0.90 (0.19)	0.90 (0.18)	0.88 (0.19)	0.86 (0.19)	0.84 (0.20)
<b>RF</b>	0.81 (0.29)	0.82 (0.29)	0.82 (0.29)	0.81 (0.29)	0.81 (0.29)	0.80 (0.29)
<b>SVC</b>	0.76 (0.29)	0.77 (0.29)	0.76 (0.29)	0.75 (0.29)	0.74 (0.29)	0.73 (0.29)
<b>NN</b>	0.78 (0.32)	0.79 (0.33)	0.79 (0.33)	0.78 (0.32)	0.77 (0.32)	0.76 (0.32)

Tablica 90: Swipe - oś alfa żyroskopu- RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.35)	0.79 (0.35)	0.78 (0.35)	0.76 (0.35)	0.74 (0.34)	0.73 (0.34)
<b>RF</b>	0.69 (0.32)	0.69 (0.32)	0.69 (0.32)	0.68 (0.32)	0.67 (0.33)	0.66 (0.33)
<b>SVC</b>	0.60 (0.38)	0.61 (0.39)	0.60 (0.38)	0.59 (0.38)	0.58 (0.38)	0.57 (0.38)
<b>NN</b>	0.68 (0.37)	0.70 (0.38)	0.69 (0.37)	0.67 (0.37)	0.65 (0.37)	0.63 (0.37)

Tablica 91: Swipe - oś alfa żyroskopu- średnie i RMS

#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE Klawiatury telefonu typu swipe

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.74 (0.36)	0.76 (0.36)	0.75 (0.36)	0.73 (0.35)	0.72 (0.35)	0.70 (0.35)
<b>RF</b>	0.59 (0.39)	0.59 (0.39)	0.59 (0.39)	0.58 (0.39)	0.58 (0.39)	0.58 (0.39)
<b>SVC</b>	0.64 (0.38)	0.64 (0.38)	0.64 (0.38)	0.63 (0.37)	0.62 (0.37)	0.62 (0.37)
<b>NN</b>	0.64 (0.43)	0.65 (0.43)	0.64 (0.43)	0.63 (0.42)	0.62 (0.42)	0.60 (0.42)

Tablica 92: Swipe - oś beta żyroskopu - średnie

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.68 (0.35)	0.69 (0.36)	0.68 (0.36)	0.68 (0.35)	0.67 (0.35)	0.66 (0.35)
<b>RF</b>	0.58 (0.38)	0.60 (0.39)	0.59 (0.38)	0.57 (0.37)	0.55 (0.37)	0.54 (0.36)
<b>SVC</b>	0.56 (0.38)	0.57 (0.38)	0.56 (0.38)	0.55 (0.38)	0.54 (0.38)	0.52 (0.38)
<b>NN</b>	0.57 (0.42)	0.58 (0.42)	0.58 (0.42)	0.57 (0.42)	0.56 (0.42)	0.55 (0.42)

Tablica 93: Swipe - oś beta żyroskopu - RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.74 (0.35)	0.76 (0.35)	0.75 (0.35)	0.73 (0.35)	0.72 (0.34)	0.70 (0.34)
<b>RF</b>	0.58 (0.38)	0.59 (0.38)	0.59 (0.38)	0.58 (0.37)	0.57 (0.37)	0.56 (0.36)
<b>SVC</b>	0.54 (0.38)	0.55 (0.38)	0.54 (0.38)	0.53 (0.37)	0.52 (0.37)	0.51 (0.37)
<b>NN</b>	0.61 (0.38)	0.62 (0.39)	0.61 (0.38)	0.60 (0.38)	0.59 (0.37)	0.58 (0.37)

Tablica 94: Swipe - oś beta żyroskopu - średnie i RMS

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.78 (0.28)	0.80 (0.28)	0.79 (0.28)	0.77 (0.28)	0.75 (0.29)	0.73 (0.30)
<b>RF</b>	0.74 (0.31)	0.75 (0.31)	0.75 (0.31)	0.74 (0.31)	0.73 (0.31)	0.73 (0.31)
<b>SVC</b>	0.67 (0.39)	0.67 (0.39)	0.67 (0.39)	0.67 (0.39)	0.66 (0.39)	0.66 (0.39)
<b>NN</b>	0.69 (0.38)	0.70 (0.38)	0.69 (0.38)	0.69 (0.38)	0.68 (0.38)	0.68 (0.38)

Tablica 95: Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie

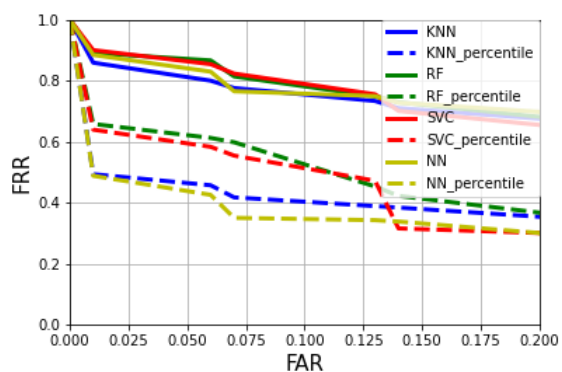
	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.82 (0.25)	0.84 (0.26)	0.83 (0.26)	0.82 (0.25)	0.80 (0.25)	0.79 (0.25)
<b>RF</b>	0.82 (0.18)	0.83 (0.17)	0.82 (0.18)	0.81 (0.18)	0.80 (0.19)	0.80 (0.20)
<b>SVC</b>	0.82 (0.25)	0.83 (0.25)	0.83 (0.25)	0.82 (0.25)	0.80 (0.25)	0.79 (0.25)
<b>NN</b>	0.75 (0.27)	0.76 (0.28)	0.75 (0.27)	0.74 (0.27)	0.73 (0.27)	0.72 (0.27)

Tablica 96: Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - RMS

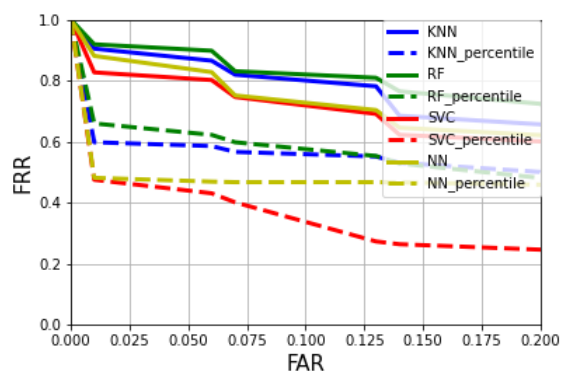
	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.68 (0.38)	0.69 (0.39)	0.68 (0.38)	0.67 (0.37)	0.65 (0.37)	0.63 (0.36)
<b>RF</b>	0.70 (0.32)	0.71 (0.31)	0.70 (0.31)	0.69 (0.32)	0.68 (0.32)	0.67 (0.32)
<b>SVC</b>	0.64 (0.37)	0.64 (0.37)	0.64 (0.37)	0.64 (0.37)	0.63 (0.37)	0.63 (0.37)
<b>NN</b>	0.67 (0.37)	0.68 (0.37)	0.67 (0.37)	0.66 (0.36)	0.65 (0.36)	0.64 (0.36)

Tablica 97: Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie i RMS

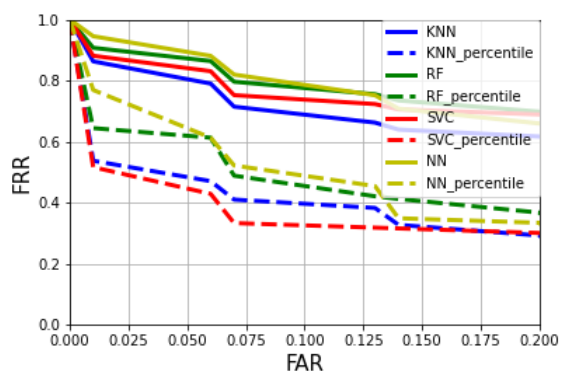
Sygnaly z akcelometru i żyroskopu - analiza sygnałów



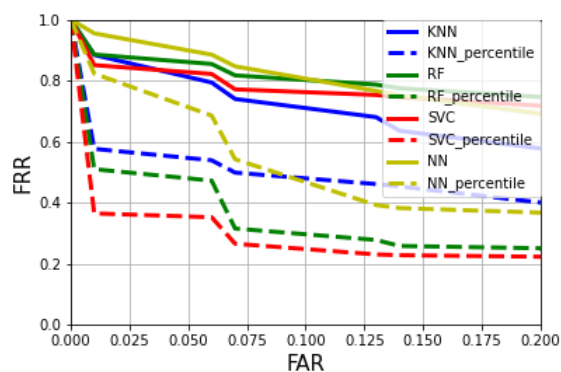
Rysunek 104: Swipe - oś x akcelometru - sygnał



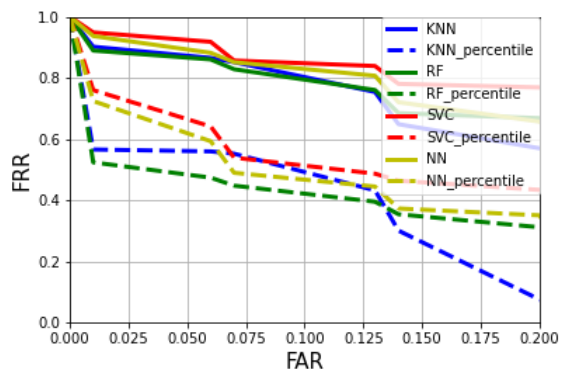
Rysunek 105: Swipe - oś x akcelometru - fragmenty



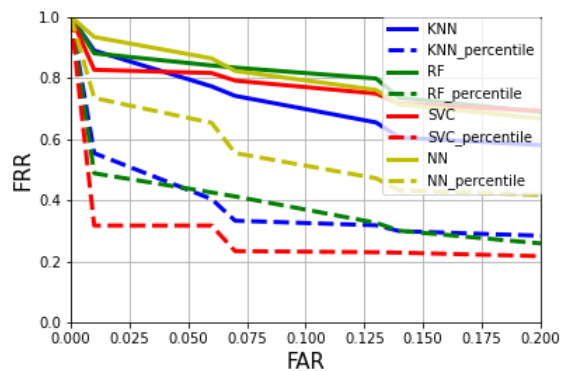
Rysunek 106: Swipe - oś y akcelometru - sygnał



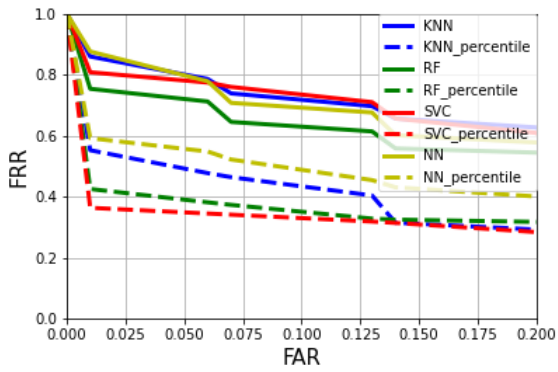
Rysunek 107: Swipe - oś y akcelometru - fragmenty



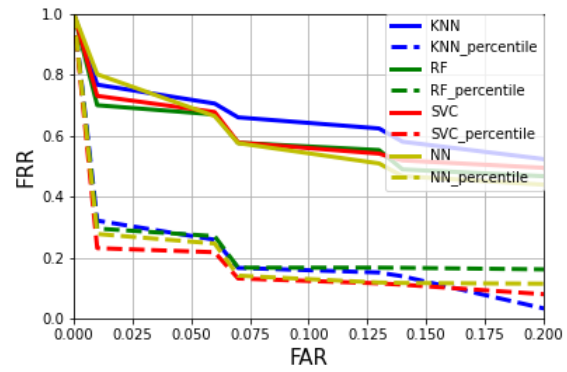
Rysunek 108: Swipe - oś z akcelometru - sygnał



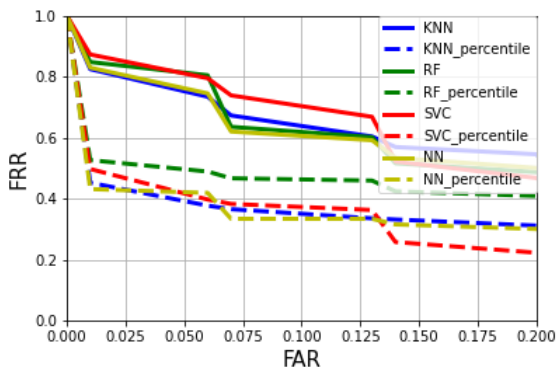
Rysunek 109: Swipe - oś z akcelometru - fragmenty



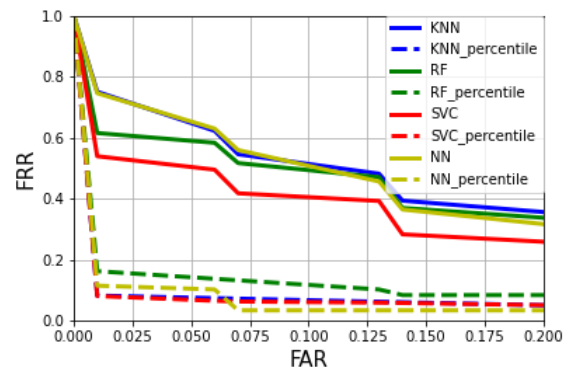
Rysunek 110: Swipe - os  $\alpha$  żyroskopu - sygnał



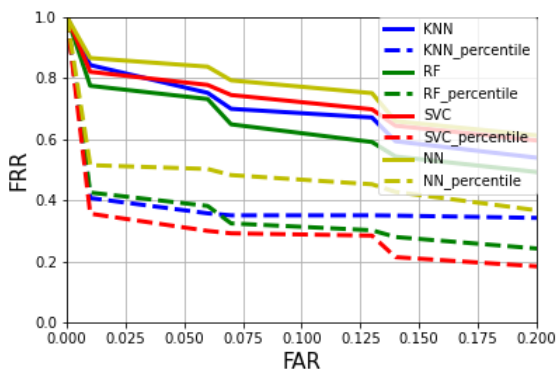
Rysunek 111: Swipe - os  $\alpha$  żyroskopu - fragmenty



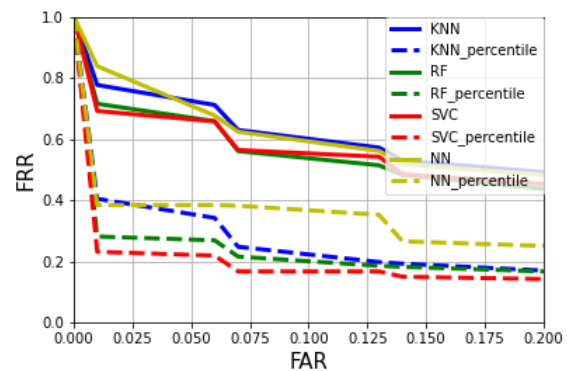
Rysunek 112: Swipe - os  $\beta$  żyroskopu - sygnał



Rysunek 113: Swipe - os  $\beta$  żyroskopu - fragmenty



Rysunek 114: Swipe - os  $\gamma$  żyroskopu - sygnał



Rysunek 115: Swipe - os  $\gamma$  żyroskopu - fragmenty



#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE Klawiatury telefonu typu swipe

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.85 (0.21)	0.86 (0.21)	0.86 (0.21)	0.85 (0.21)	0.83 (0.21)	0.82 (0.21)
<b>RF</b>	0.89 (0.14)	0.89 (0.14)	0.89 (0.14)	0.89 (0.14)	0.88 (0.15)	0.88 (0.15)
<b>SVC</b>	0.90 (0.18)	0.90 (0.18)	0.90 (0.18)	0.89 (0.19)	0.88 (0.19)	0.87 (0.19)
<b>NN</b>	0.88 (0.23)	0.89 (0.23)	0.88 (0.23)	0.87 (0.24)	0.86 (0.24)	0.85 (0.24)

Tablica 98: Swipe - oś x akcelometru - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.90 (0.18)	0.91 (0.18)	0.90 (0.18)	0.90 (0.18)	0.89 (0.18)	0.88 (0.18)
<b>RF</b>	0.92 (0.17)	0.92 (0.17)	0.92 (0.17)	0.91 (0.17)	0.91 (0.17)	0.91 (0.17)
<b>SVC</b>	0.82 (0.22)	0.83 (0.21)	0.83 (0.21)	0.82 (0.22)	0.82 (0.22)	0.81 (0.22)
<b>NN</b>	0.88 (0.25)	0.89 (0.25)	0.88 (0.25)	0.87 (0.25)	0.86 (0.24)	0.85 (0.24)

Tablica 99: Swipe - oś x akcelometru - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.86 (0.19)	0.87 (0.19)	0.86 (0.19)	0.85 (0.19)	0.83 (0.19)	0.82 (0.20)
<b>RF</b>	0.90 (0.15)	0.91 (0.15)	0.91 (0.15)	0.90 (0.15)	0.89 (0.15)	0.88 (0.16)
<b>SVC</b>	0.88 (0.21)	0.89 (0.21)	0.88 (0.21)	0.87 (0.21)	0.86 (0.22)	0.85 (0.22)
<b>NN</b>	0.94 (0.14)	0.95 (0.14)	0.95 (0.14)	0.93 (0.14)	0.92 (0.14)	0.91 (0.15)

Tablica 100: Swipe - oś y akcelometru - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.88 (0.17)	0.89 (0.17)	0.88 (0.17)	0.87 (0.17)	0.85 (0.18)	0.83 (0.19)
<b>RF</b>	0.88 (0.20)	0.89 (0.20)	0.89 (0.20)	0.88 (0.20)	0.87 (0.21)	0.87 (0.21)
<b>SVC</b>	0.85 (0.27)	0.85 (0.27)	0.85 (0.27)	0.84 (0.27)	0.84 (0.27)	0.83 (0.27)
<b>NN</b>	0.95 (0.12)	0.96 (0.12)	0.95 (0.12)	0.94 (0.12)	0.93 (0.12)	0.91 (0.12)

Tablica 101: Swipe - oś y akcelometru - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.90 (0.21)	0.91 (0.21)	0.90 (0.21)	0.89 (0.21)	0.89 (0.20)	0.88 (0.20)
<b>RF</b>	0.89 (0.21)	0.89 (0.21)	0.89 (0.21)	0.88 (0.21)	0.88 (0.22)	0.87 (0.22)
<b>SVC</b>	0.95 (0.14)	0.95 (0.13)	0.95 (0.13)	0.94 (0.14)	0.94 (0.15)	0.93 (0.16)
<b>NN</b>	0.93 (0.14)	0.94 (0.14)	0.94 (0.14)	0.93 (0.15)	0.91 (0.15)	0.90 (0.16)

Tablica 102: Swipe - oś z akcelometru - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.88 (0.21)	0.90 (0.21)	0.89 (0.21)	0.87 (0.21)	0.84 (0.22)	0.82 (0.23)
<b>RF</b>	0.88 (0.21)	0.88 (0.21)	0.88 (0.21)	0.87 (0.22)	0.86 (0.22)	0.86 (0.23)
<b>SVC</b>	0.83 (0.28)	0.83 (0.28)	0.83 (0.28)	0.82 (0.28)	0.82 (0.28)	0.82 (0.28)
<b>NN</b>	0.93 (0.14)	0.94 (0.14)	0.93 (0.14)	0.92 (0.14)	0.91 (0.14)	0.89 (0.15)

Tablica 103: Swipe - oś z akcelometru - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.85 (0.20)	0.87 (0.20)	0.86 (0.20)	0.84 (0.20)	0.83 (0.20)	0.81 (0.20)
<b>RF</b>	0.75 (0.22)	0.76 (0.22)	0.75 (0.22)	0.74 (0.22)	0.74 (0.23)	0.73 (0.23)
<b>SVC</b>	0.80 (0.26)	0.81 (0.26)	0.81 (0.26)	0.80 (0.26)	0.79 (0.26)	0.79 (0.26)
<b>NN</b>	0.87 (0.19)	0.88 (0.19)	0.88 (0.19)	0.86 (0.19)	0.84 (0.19)	0.82 (0.20)

Tablica 104: Swipe - oś alfa żyroskopu - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.76 (0.26)	0.77 (0.26)	0.77 (0.26)	0.75 (0.27)	0.74 (0.27)	0.73 (0.28)
<b>RF</b>	0.70 (0.28)	0.70 (0.28)	0.70 (0.28)	0.69 (0.28)	0.69 (0.28)	0.68 (0.28)
<b>SVC</b>	0.73 (0.29)	0.74 (0.30)	0.73 (0.30)	0.72 (0.29)	0.71 (0.29)	0.70 (0.29)
<b>NN</b>	0.79 (0.28)	0.81 (0.29)	0.80 (0.28)	0.77 (0.28)	0.75 (0.27)	0.72 (0.27)

Tablica 105: Swipe - oś alfa żyroskopu - fragmenty

#### 4.3. EKSPERYMENTY, DOTYCZĄCE KLAWIATURY TELEFONU TYPU SWIPE

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.82 (0.22)	0.83 (0.23)	0.82 (0.22)	0.81 (0.22)	0.79 (0.22)	0.77 (0.22)
<b>RF</b>	0.84 (0.20)	0.85 (0.20)	0.85 (0.20)	0.84 (0.20)	0.83 (0.20)	0.82 (0.20)
<b>SVC</b>	0.87 (0.22)	0.88 (0.22)	0.87 (0.22)	0.86 (0.22)	0.84 (0.23)	0.83 (0.23)
<b>NN</b>	0.82 (0.23)	0.84 (0.24)	0.83 (0.23)	0.81 (0.23)	0.80 (0.23)	0.78 (0.23)

Tablica 106: Swipe - oś beta żyroskopu - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.74 (0.37)	0.76 (0.38)	0.75 (0.37)	0.72 (0.36)	0.70 (0.35)	0.67 (0.34)
<b>RF</b>	0.61 (0.30)	0.62 (0.30)	0.61 (0.30)	0.61 (0.30)	0.60 (0.30)	0.60 (0.30)
<b>SVC</b>	0.53 (0.32)	0.54 (0.33)	0.54 (0.32)	0.53 (0.32)	0.52 (0.31)	0.51 (0.31)
<b>NN</b>	0.74 (0.35)	0.76 (0.36)	0.75 (0.35)	0.72 (0.34)	0.70 (0.33)	0.68 (0.32)

Tablica 107: Swipe - oś beta żyroskopu - fragmenty

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.83 (0.25)	0.85 (0.25)	0.84 (0.25)	0.82 (0.25)	0.81 (0.25)	0.79 (0.25)
<b>RF</b>	0.77 (0.21)	0.78 (0.21)	0.77 (0.21)	0.77 (0.21)	0.76 (0.21)	0.75 (0.21)
<b>SVC</b>	0.82 (0.26)	0.82 (0.26)	0.82 (0.26)	0.81 (0.26)	0.80 (0.26)	0.79 (0.26)
<b>NN</b>	0.86 (0.21)	0.87 (0.21)	0.86 (0.21)	0.86 (0.21)	0.85 (0.21)	0.85 (0.20)

Tablica 108: Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.77 (0.23)	0.78 (0.24)	0.78 (0.23)	0.76 (0.23)	0.75 (0.23)	0.74 (0.23)
<b>RF</b>	0.71 (0.26)	0.72 (0.26)	0.71 (0.26)	0.70 (0.26)	0.69 (0.26)	0.68 (0.26)
<b>SVC</b>	0.69 (0.29)	0.69 (0.29)	0.69 (0.29)	0.68 (0.29)	0.68 (0.28)	0.67 (0.28)
<b>NN</b>	0.82 (0.26)	0.85 (0.27)	0.84 (0.27)	0.81 (0.26)	0.77 (0.26)	0.74 (0.26)

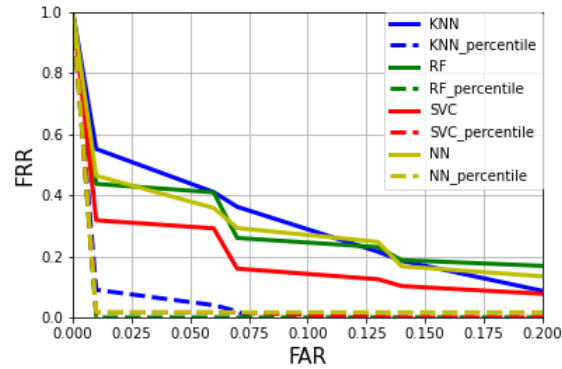
Tablica 109: Swipe - oś gamma żyroskopu - fragmenty

Ponownie, lepsze od analizy sygnałów okazały się analizy statystyk. Najlepsze wyniki uzyskane zostały dzięki użyciu średnich i RMS dla rotacji w osi beta.

### Próba połączenia danych ruchu palca z danymi z sensorów

Zostaną użyte cechy, które okazały się najlepsze w poprzednich fazach:

- średnie i RMS dla pozycji palca podczas „swipowania”,
- średnie i RMS dla rotacji w osi beta.



Rysunek 116: Swipe - próba połączenia danych ruchu palca z danymi z sensorów

	score	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
<b>KNN</b>	0.54 (0.36)	0.56 (0.38)	0.55 (0.37)	0.52 (0.35)	0.49 (0.33)	0.47 (0.32)
<b>RF</b>	0.43 (0.38)	0.44 (0.38)	0.44 (0.38)	0.43 (0.38)	0.43 (0.38)	0.42 (0.37)
<b>SVC</b>	0.32 (0.26)	0.32 (0.26)	0.32 (0.26)	0.31 (0.26)	0.31 (0.26)	0.30 (0.26)
<b>NN</b>	0.45 (0.38)	0.47 (0.40)	0.46 (0.39)	0.44 (0.37)	0.42 (0.35)	0.40 (0.34)

Tablica 110: Swipe - próba połączenia danych ruchu palca z danymi z sensorów

To najlepszy do tej pory wynik uzyskany przy korzystaniu z klawiatury typu swipe.

## 5. Podsumowanie i wnioski

### 5.1. Podsumowanie wyników

Autor dokonał przeglądu technik rozpoznawania człowieka przy pomocy analizy pisania na klawiaturze komputera i telefonów. Przeprowadził eksperymenty porównawcze na wielu zbiorach danych przy użyciu ustalonych wartości zmiennych. Zaproponował także nowatorską metodę, która (według wiedzy autora) nie pojawiła się jeszcze w literaturze. Jednym z celów przyświecających autorowi było przetestowanie jakości działania systemu przy użyciu niedużej ilości danych treningowych (mając na względzie potencjalne praktyczne zastosowania). Dlatego też zdarzało się, że wyniki uzyskiwane przez autora były gorsze niż te, pojawiające się w literaturze. Jednak tak, jak zostało wspomniane w opisie autorskiej metody - porównywanie samej jakości działania może nie być najlepszym pomysłem, gdyż istnieje wiele innych czynników determinujących wyniki.

Celem autora było raczej powielenie eksperymentów, dotyczących klasycznej klawiatury telefonu, by wyjść do innowacyjnego (według wiedzy autora) rozwiązania, opartego na klawiaturze typu swipe.

Wyniki nowej metody nie są tak dobre, jak w przypadku standardowej klawiatury. Wiele z osób, biorących udział w eksperymencie stwierdziło, że żadko używa klawiatury typu swipe i używanie jej w eksperymentach nie było dla nich aktywnością naturalną, codzienną. Możliwe, że jest to jeden z powodów słabszego działania tej metody. Mimo wszystko, należy zauważyć, że fraza wpisywana za pomocą metody swipe była bardzo krótka. Z pewnością warto byłoby spróbować dłuższych fraz.

Autor używał w eksperymentach kosztownej obliczeniowo metody porównywania szeregów czasowych w nadziei na dobre wyniki, jednak próby te dały gorsze wyniki niż używanie mało kosztownych obliczeniowo statystyk, dotyczących wspomnianych szeregów. Autorowi wydaje się, że jest to cenna uwaga na przyszłość, że nie zawsze metody bardziej skomplikowane muszą dawać lepsze rezultaty. Wyniki na które warto zwrócić uwagę to:

- Dla klasycznej klawiatury telefonu:  $FAR \approx 1\%$  przy  $FRR \approx 17\%$ ,
- Dla klawiatury telefonu typu swipe:  $FAR \approx 1\%$  przy  $FRR \approx 30\%$ .

Należy zauważyć, że powyższe wyniki to wyniki średnie. Natomiast wyniki najlepszych (25%) użytkowników były bardzo dobre - za każdym razem mniej więcej  $FAR \approx 1\%$  przy  $FRR \approx 0\%$ . Jest to dowód tego, że istnieje podzbiór użytkowników, dla których system oparty o Keystroke Dynamics na telefonie komórkowym może być całkiem bezpieczny i wygodny.

Autor zauważa, że wadą niniejszej pracy jest nieduża ilość zebranych danych. Z pewnością jest to rzecz do poprawy w kolejnych badaniach.

## 5.2. Podziękowania dla uczestników badań

Autor chciałby bardzo serdecznie podziękować wszystkim, którzy zdecydowali się wziąć udział w badaniu. Zadanie to wymagało chęci i dyscypliny. Szczególne podziękowania należą się osobom, które zgłaszały błędy działania początkowych wersji aplikacji do akwizycji, co pozwoliło autorowi na poprawę programu i ostateczną akwizycję danych.

## 5.3. Propozycja dalszych kierunków badań

Praca nad tą tematyką nasunęła autorowi wielu przemyśleń na temat potencjalnych usprawnień. Propozycje przedstawione zostały w kolejnym rozdziale.

### Test metody swipe na dłuższej frazie

W niniejszej pracy fraza była dosyć krótka. Warto zbadać, jaka byłaby dokładność działania dla dłuższych fraz albo nawet dla wielu fraz.

### Dopracowanie metod przetwarzania sygnałów przesuwania palca

Dopracowania wymaga propozycja autora, dotycząca pisania na klawiaturze typu swipe. Na szczególną uwagę zasługują słabe wyniki w przypadku używania sygnału w porównaniu z dobrymi wynikami w przypadku używania prostych statystyk. Wydaje się, że sygnał powinien wносить więcej informacji, jednak nie było tak w przypadku tej pracy. Potrzebny jest dobry pomysł na przetworzenie sygnału.

### System, klasyfikujący na podstawie wielu próbek

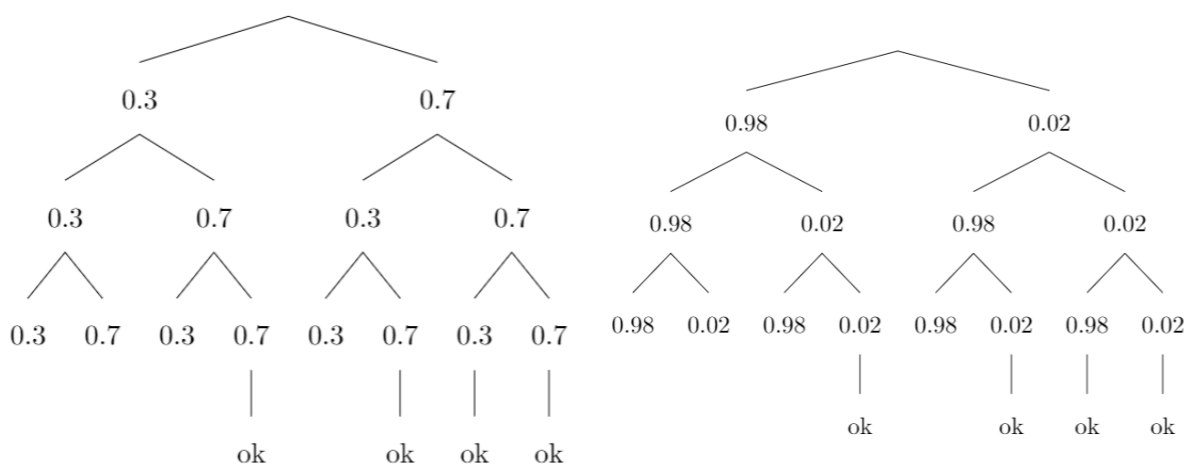
Należy zaznaczyć, że w niniejszych eksperymentach decyzja dotyczyła poszczególnych próbek od użytkowników. Możliwym (i praktycznym) rozszerzeniem systemu byłoby stworzenie systemu

### 5.3. PROPOZYCJA DALSZYCH KIERUNKÓW BADAŃ

decydowania o zalogowaniu bądź nie użytkownika na podstawie wielu próbek.

Przykład:  $FAR = 2\%$ ,  $FRR = 30\%$ . Logowanie za pomocą trzech prób. By użytkownik się zalogował, poprawne muszą być co najmniej 2 próby.

Poniżej, na lewym grafie rozpatrywany jest użytkownik, który powinien być uprawniony do skorzystania systemu. Pod każdą ścieżką oznaczającą akceptację jest etykieta „ok”. Suma prawdopodobieństw na „ścieżkach logowania” to ok. 80%. Na prawym grafie rozpatrywany jest użytkownik, który chce się podszyć pod prawdziwego użytkownika. Suma prawdopodobieństw na „ścieżkach logowania” to ok. 0.1%. Widać poprawę możliwości systemu.



Rysunek 117: „Ścieżki logowania” dla prawdziwego użytkownika

Rysunek 118: „Ścieżki logowania” dla intruza

### Selekcja użytkowników pod względem jakości profilu biometrycznego

Kolejnym rozszerzeniem systemu mogłoby być automatyczne wskazywanie użytkowników bez dużego zróżnicowania wewnątrzklasowego. Dzięki temu, można by system logowania za pomocą keystroke dynamics udostępniać wyłącznie dla użytkowników, którzy mają stabilny profil. Użytkownikom ze słabym profilem należy zaproponować tradycyjne metody logowania w trosce o ich bezpieczeństwo.

### Rozdzielczość sygnałów

W pracy [3], P. Panasiuk badał klasyfikację na podstawie pisanie na tradycyjnej klawiaturze komputera. Jednym z aspektów było badanie, jaki wpływ na wyniki ma dokładność zbierania sygnałów wciśnięcia i puszczenia klawisza. Analogiczne eksperymenty można by przeprowadzić dla różnych częstotliwości zdarzeń przeglądarkowych (różni się ona w zależności od telefonu).

## Bibliografia

- [1] A. K. Jain, A. Ross, S. Prabhakar. Biometric Recognition: How Do I Know Who Are You. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, no. 1, pages 19–26, January, 2005.
- [2] M. Tabędzki, K. Saeed. Nowa metoda do badania dynamiki ruchów myszy do celów identyfikacji. *KBIB 2015 Conference, Tom I, Computer Science Telemedicine Systems*, 2015.
- [3] P. Panasiuk. *Rozpoznawanie użytkownika na podstawie analizy sposobu pisania na klawiaturze z użyciem zewnętrznych urządzeń pomiarowych*. PW, Warszawa, 2017.
- [4] R. S. Gaines, W. Lisowski, S. J. Press, N. Shapiro. Authentication by Keystroke Timing: Some Preliminary Results. <https://www.rand.org/pubs/reports/R2526.html>, 1980. [Online; dostęp: 28.08.2019].
- [5] A. Mahfouza, T. M. Mahmouda, A. S. Eldinc. A survey on behavioral biometric authentication on smartphones. *Journal of Information Security and Applications*, pages 28–37, December 2017.
- [6] B. Draffin, J. Zhu, J. Zhang. Keysens: Passive user authentication through micro-behavior modeling of softkeyboard interaction. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. Springer, Cham*, 130, 2014.
- [7] H. Lee, J. Y. Hwang, D. I. Kim, S. Lee, S. Lee, J. S. Shin. Understanding Keystroke Dynamics for Smartphone Users Authentication and Keystroke Dynamics on Smartphones Built-In Motion Sensors. *Security and Communication Networks*, 2018.
- [8] C. Giuffrida, K. Majdanik, M. Conti, H. Bos. I sensed it was you: Authenticating mobile users with sensor-enhanced keystroke dynamics. *Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment Springer, Cham*, pages 92–111, 2014.
- [9] B. Chaugule, A. Pawar. Touchscreen mobile authentication using multi-touch sequential gestures. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, 3, November 2015.



- [10] M. Antal, L. Szabo. Romania biometric authentication based on touchscreen swipe patterns. *9th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2015, Tirgu-Mures, Romania*, 2011.
- [11] R. Maxion K. Killourhy. Keystroke dynamics - benchmark data set. <https://www.cs.cmu.edu/~keystroke/>. [Online; dostę: 28.08.2019].
- [12] M. Antal, L. Szabo. An evaluation of one-class and two-class classification algorithms for keystroke dynamics authentication on mobile devices. *Proceedings of the 20th International Conference on Control Systems and Computer Science*, pages 343–350, 2015.
- [13] M. Muller. *Information Retrieval for Music and Motion, chapter 4. Dynamic Time Warping*, pages 69–84. Springer Berlin Heidelberg, 2007.
- [14] H. Bunke, J. Csirik, Z. Gingl, E. Griechisch. Online signature verification method based on the acceleration signals of handwriting samples. *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications Springer, Berlin*, pages 499–506, 2011.
- [15] P. Kocjan, K. Saeed. A feature based algorithm for face image description. *International Conference on Biometrics and Kansei Engineering*, 2011.
- [16] Dokumentacja Scikit Learn - KNN. <https://scikit-learn.org/stable/modules/neighbors.html>. [Online; dostę: 29.08.2020].
- [17] Dokumentacja Scikit Learn - SVC. <https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html/>. [Online; dostę: 29.08.2020].
- [18] Dokumentacja Scikit Learn - Lasy losowe. <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html>. [Online; dostę: 29.08.2020].
- [19] Dokumentacja Scikit Learn - Perceptron. [https://scikit-learn.org/stable/modules/neural\\_networks\\_supervised.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/neural_networks_supervised.html). [Online; dostę: 29.08.2020].

## Spis rysunków

1	Przykład relacji FAR-FRR . . . . .	13
2	Odpowiadająca krzywa ROC . . . . .	13
3	Przykład z systemu KeySens . . . . .	19
4	Aplikacja do akwizycji danych - wersja w przeglądarce na komputerze . . . . .	23
5	Aplikacja do akwizycji danych - wersja w przeglądarce na smatfonie . . . . .	24
6	Aplikacja do akwizycji danych - wersja w przeglądarce na smartfonie, wersja swipe . . . . .	24
7	Sieć neuronowa - schemat . . . . .	31
8	Przykładowy wykres prezentujący wyniki eksperymentów . . . . .	41
9	Komputer - zbiór uczący o standardowych rozmiarach . . . . .	43
10	Komputer - większy zbiór uczący . . . . .	43
11	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń - Baza MOBIKEY . . . . .	44
12	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń - Baza autora . . . . .	44
13	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza MOBIKEY . . . . .	45
14	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza autora . . . . .	45
15	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza MOBIKEY . . . . .	45
16	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza autora . . . . .	45
17	Mobilne - oś x akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	47
18	Mobilne - oś x akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	47
19	Mobilne - oś y akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	47
20	Mobilne - oś y akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	47
21	Mobilne - oś z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	47
22	Mobilne - oś z akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	47
23	Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	48
24	Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	48

25	Mobilne - oś x i z akcelometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	48
26	Mobilne - oś x i z akcelometru - średnie - Baza autora . . . . .	48
27	Mobilne - oś y i z akcelometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	48
28	Mobilne - oś y i z akcelometru - średnie - Baza autora . . . . .	48
29	Mobilne - oś x, y i z akcelometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	49
30	Mobilne - oś x, y i z akcelometru - średnie - Baza autora . . . . .	49
31	Mobilne - czasy wciśnięć i puszczeń + pozycje wciśnięć + oś x, y, z akcelometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	53
32	Mobilne - czasy wciśnięć i puszczeń + pozycje wciśnięć + oś x, y, z akcelometru - średnie - Baza autora . . . . .	53
33	Mobilne - oś x akcelometru - średnie . . . . .	54
34	Mobilne - oś x akcelometru - RMS . . . . .	54
35	Mobilne - oś x akcelometru - średnie i RMS . . . . .	54
36	Mobilne - oś y akcelometru - średnie . . . . .	54
37	Mobilne - oś y akcelometru - RMS . . . . .	55
38	Mobilne - oś y akcelometru - średnie i RMS . . . . .	55
39	Mobilne - oś z akcelometru - średnie . . . . .	55
40	Mobilne - oś z akcelometru - RMS . . . . .	55
41	Mobilne - oś z akcelometru - średnie i RMS . . . . .	55
42	Mobilne - oś x, y, z akcelometru - średnie . . . . .	55
43	Mobilne - oś x, y, z akcelometru - RMS . . . . .	56
44	Mobilne - oś x, y, z akcelometru - średnie i RMS . . . . .	56
45	Mobilne - czasy i pozycje wciśnięć + oś x, y, z akcelometru . . . . .	56
46	Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie . . . . .	56
47	Mobilne - oś alfa żyroskopu - RMS . . . . .	56
48	Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	56
49	Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie . . . . .	57
50	Mobilne - oś beta żyroskopu - RMS . . . . .	57
51	Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	57
52	Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie . . . . .	57
53	Mobilne - oś gamma żyroskopu - RMS . . . . .	57
54	Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	57
55	Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - średnie . . . . .	58
56	Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - RMS . . . . .	58

57	Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	58
58	Mobilne - czasy i pozycje wciśnieć + oś alfa, beta, gamma żyroskopu . . . . .	58
59	Mobilne - oś x akcelometru - sygnał . . . . .	66
60	Mobilne - oś x akcelometru - fragmenty . . . . .	66
61	Mobilne - oś y akcelometru - sygnał . . . . .	66
62	Mobilne - oś y akcelometru - fragmenty . . . . .	66
63	Mobilne - oś z akcelometru - sygnał . . . . .	66
64	Mobilne - oś z akcelometru - fragmenty . . . . .	66
65	Mobilne - oś alfa żyroskopu - sygnał . . . . .	67
66	Mobilne - oś alfa żyroskopu - fragmenty . . . . .	67
67	Mobilne - oś beta żyroskopu - sygnał . . . . .	67
68	Mobilne - oś beta żyroskopu - fragmenty . . . . .	67
69	Mobilne - oś gamma żyroskopu - sygnał . . . . .	67
70	Mobilne - oś gamma żyroskopu - fragmenty . . . . .	67
71	Swipe - pozycje palca - średnie . . . . .	71
72	Swipe - pozycje palca - RMS . . . . .	71
73	Swipe - pozycje palca - średnie i RMS . . . . .	71
74	Swipe - prędkości palca - średnie . . . . .	71
75	Swipe - prędkości palca - RMS . . . . .	72
76	Swipe - prędkości palca - średnie i RMS . . . . .	72
77	Swipe - przyspieszenia palca - średnie . . . . .	72
78	Swipe - przyspieszenia palca - RMS . . . . .	72
79	Swipe - przyspieszenia palca - średnie i RMS . . . . .	72
80	Swipe - pozycje palca - sygnał . . . . .	76
81	Swipe - pozycje palca - fragmenty . . . . .	76
82	Swipe - prędkości palca - sygnał . . . . .	76
83	Swipe - prędkości palca - fragmenty . . . . .	76
84	Swipe - przyspieszenia palca - sygnał . . . . .	76
85	Swipe - przyspieszenia palca - fragmenty . . . . .	76
86	Swipe - oś x akcelometru - średnie . . . . .	79
87	Swipe - oś x akcelometru - RMS . . . . .	79
88	Swipe - oś x akcelometru - średnie i RMS . . . . .	79
89	Swipe - oś y akcelometru - średnie . . . . .	79
90	Swipe - oś y akcelometru - RMS . . . . .	79

91	Swipe - oś y akcelerometru - średnie i RMS . . . . .	79
92	Swipe - oś z akcelerometru - średnie . . . . .	80
93	Swipe - oś z akcelerometru - RMS . . . . .	80
94	Swipe - oś z akcelerometru - średnie i RMS . . . . .	80
95	Swipe - oś alfa żyroskopu- średnie . . . . .	80
96	Swipe - oś alfa żyroskopu- RMS . . . . .	80
97	Swipe - oś alfa żyroskopu- średnie i RMS . . . . .	80
98	Swipe - oś beta żyroskopu - średnie . . . . .	81
99	Swipe - oś beta żyroskopu - RMS . . . . .	81
100	Swipe - oś beta żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	81
101	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie . . . . .	81
102	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - RMS . . . . .	81
103	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie i RMS . . . . .	81
104	Swipe - oś x akcelometru - sygnał . . . . .	87
105	Swipe - oś x akcelerometru - fragmenty . . . . .	87
106	Swipe - oś y akcelometru - sygnał . . . . .	87
107	Swipe - oś y akcelerometru - fragmenty . . . . .	87
108	Swipe - oś z akcelometru - sygnał . . . . .	87
109	Swipe - oś z akcelerometru - fragmenty . . . . .	87
110	Swipe - oś alfa żyroskopu - sygnał . . . . .	88
111	Swipe - oś alfa żyroskopu - fragmenty . . . . .	88
112	Swipe - oś beta żyroskopu - sygnał . . . . .	88
113	Swipe - oś beta żyroskopu - fragmenty . . . . .	88
114	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał . . . . .	88
115	Swipe - oś gamma żyroskopu - fragmenty . . . . .	88
116	Swipe - próba połączenia danych ruchu palca z danymi z sensorów . . . . .	92
117	„Ścieżki logowania” dla prawidłowego użytkownika . . . . .	95
118	„Ścieżki logowania” dla intruza . . . . .	95

## Spis tabel

1	Zestawienie charakterystyk różnych cech biometrycznych . . . . .	15
2	Przykładowa tabela prezentująca wyniki eksperymentów . . . . .	42
3	Komputer - zbiór uczący o standardowych rozmiarach . . . . .	43
4	Komputer - większy zbiór uczący . . . . .	43
5	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń - Baza MOBIKEY . . . . .	44
6	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń - Baza autora . . . . .	44
7	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza MOBIKEY . . . .	45
8	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień - Baza autora . . . . .	46
9	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza MOBIKEY . . . . .	46
10	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień przekształcone metodą Toeplitza - Baza autora . . . . .	46
11	Mobilne - oś x akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	49
12	Mobilne - oś x akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	49
13	Mobilne - oś y akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	49
14	Mobilne - oś y akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	50
15	Mobilne - oś z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	50
16	Mobilne - oś z akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	50
17	Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	50
18	Mobilne - oś x i y akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	51
19	Mobilne - oś x i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	51
20	Mobilne - oś x i z akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	51
21	Mobilne - oś y i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	51
22	Mobilne - oś y i z akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	52
23	Mobilne - oś x, y i z akcelerometru - średnie - Baza MOBIKEY . . . . .	52
24	Mobilne - oś x, y i z akcelerometru - średnie - Baza autora . . . . .	52

25	Mobilne - czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelometru - średnie Baza MOBIKEY . . . . .	53
26	Mobilne - Czasy wciśnień i puszczeń + pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelometru - Baza autora . . . . .	53
27	Mobilne - oś x akcelometru - średnie . . . . .	58
28	Mobilne - oś x akcelometru - RMS . . . . .	59
29	Mobilne - oś x akcelometru - średnie i RMS . . . . .	59
30	Mobilne - oś y akcelometru - średnie . . . . .	59
31	Mobilne - oś y akcelometru - RMS . . . . .	59
32	Mobilne - oś y akcelometru - średnie i RMS . . . . .	60
33	Mobilne - oś z akcelometru - średnie . . . . .	60
34	Mobilne - oś z akcelometru - RMS . . . . .	60
35	Mobilne - oś z akcelometru - średnie i RMS . . . . .	60
36	Mobilne - oś x, y, z akcelometru - średnie . . . . .	61
37	Mobilne - oś x, y, z akcelometru - RMS . . . . .	61
38	Mobilne - oś x, y, z akcelometru - średnie i RMS . . . . .	61
39	Mobilne - czasy i pozycje wciśnień + oś x, y, z akcelometru . . . . .	61
40	Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie . . . . .	62
41	Mobilne - oś alfa żyroskopu - RMS . . . . .	62
42	Mobilne - oś alfa żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	62
43	Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie . . . . .	62
44	Mobilne - oś beta żyroskopu - RMS . . . . .	63
45	Mobilne - oś beta żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	63
46	Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie . . . . .	63
47	Mobilne - oś gamma żyroskopu - RMS . . . . .	63
48	Mobilne - oś gamma żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	64
49	Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - średnie . . . . .	64
50	Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - RMS . . . . .	64
51	Mobilne - oś alfa, beta, gamma żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	64
52	Mobilne - czasy i pozycje wciśnień + oś alfa, beta, gamma żyroskopu . . . . .	65
53	Mobilne - oś x akcelometru - sygnał . . . . .	68
54	Mobilne - oś x akcelometru - fragmenty . . . . .	68
55	Mobilne - oś y akcelometru - sygnał . . . . .	68
56	Mobilne - oś y akcelometru - fragmenty . . . . .	68

57	Mobilne - oś z akcelerometru - sygnał . . . . .	69
58	Mobilne - oś z akcelerometru - fragmenty . . . . .	69
59	Mobilne - oś alfa żyroskopu - sygnał . . . . .	69
60	Mobilne - oś alfa żyroskopu - fragmenty . . . . .	69
61	Mobilne - oś beta żyroskopu - sygnał . . . . .	70
62	Mobilne - oś beta żyroskopu - fragmenty . . . . .	70
63	Mobilne - oś gamma żyroskopu - sygnał . . . . .	70
64	Mobilne - oś gamma żyroskopu - fragmenty . . . . .	70
65	Swipe - pozycje palca - średnie . . . . .	73
66	Swipe - pozycje palca - RMS . . . . .	73
67	Swipe - pozycje palca - średnie i RMS . . . . .	73
68	Swipe - prędkości palca - średnie . . . . .	73
69	Swipe - prędkości palca - RMS . . . . .	74
70	Swipe - prędkości palca - średnie i RMS . . . . .	74
71	Swipe - przyspieszenia palca - średnie . . . . .	74
72	Swipe - przyspieszenia palca - RMS . . . . .	74
73	Swipe - przyspieszenia palca - średnie i RMS . . . . .	75
74	Swipe - pozycje palca - sygnał . . . . .	77
75	Swipe - pozycje palca - fragmenty . . . . .	77
76	Swipe - prędkości palca - sygnał . . . . .	77
77	Swipe - prędkości palca - fragmenty . . . . .	77
78	Swipe - przyspieszenia palca - sygnał . . . . .	78
79	Swipe - przyspieszenia palca - fragmenty . . . . .	78
80	Swipe - oś x akcelerometru - średnie . . . . .	82
81	Swipe - oś x akcelerometru - RMS . . . . .	82
82	Swipe - oś x akcelerometru - średnie i RMS . . . . .	82
83	Swipe - oś y akcelerometru - średnie . . . . .	82
84	Swipe - oś y akcelerometru - RMS . . . . .	83
85	Swipe - oś y akcelerometru - średnie i RMS . . . . .	83
86	Swipe - oś z akcelerometru - średnie . . . . .	83
87	Swipe - oś z akcelerometru - RMS . . . . .	83
88	Swipe - oś z akcelerometru - średnie i RMS . . . . .	84
89	Swipe - oś alfa żyroskopu- średnie . . . . .	84
90	Swipe - oś alfa żyroskopu- RMS . . . . .	84



91	Swipe - oś alfa żyroskopu- średnie i RMS . . . . .	84
92	Swipe - oś beta żyroskopu - średnie . . . . .	85
93	Swipe - oś beta żyroskopu - RMS . . . . .	85
94	Swipe - oś beta żyroskopu - średnie i RMS . . . . .	85
95	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie . . . . .	85
96	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - RMS . . . . .	86
97	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał - średnie i RMS . . . . .	86
98	Swipe - oś x akcelometru - sygnał . . . . .	89
99	Swipe - oś x akcelometru - fragmenty . . . . .	89
100	Swipe - oś y akcelometru - sygnał . . . . .	89
101	Swipe - oś y akcelometru - fragmenty . . . . .	89
102	Swipe - oś z akcelometru - sygnał . . . . .	90
103	Swipe - oś z akcelometru - fragmenty . . . . .	90
104	Swipe - oś alfa żyroskopu - sygnał . . . . .	90
105	Swipe - oś alfa żyroskopu - fragmenty . . . . .	90
106	Swipe - oś beta żyroskopu - sygnał . . . . .	91
107	Swipe - oś beta żyroskopu - fragmenty . . . . .	91
108	Swipe - oś gamma żyroskopu - sygnał . . . . .	91
109	Swipe - oś gamma żyroskopu - fragmenty . . . . .	91
110	Swipe - próba połączenia danych ruchu palca z danymi z sensorów . . . . .	92

## Spis załączników

1. Płyta DVD, zawierająca:

- (a) Folder **KeystrokesAcquisition**, w którym znajduje się kod służący do akwizycji danych,
- (b) Folder **Experiments**, w którym znajduje się kod, za pomocą którego można zreplicować eksperymenty.
- (c) Treść niniejszej pracy w formacie PDF