

Analiza możliwości wykorzystania czujników urządzeń mobilnych pod kontrolą zmodyfikowanych systemów operacyjnych

Mateusz Dobrowolski*, Michał Dobrowolski *, Piotr Kopniak*

^a Politechnika Lubelska, Instytut Informatyki, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Polska

Streszczenie. W niniejszej publikacji poruszono temat możliwości wykorzystania czujników urządzeń mobilnych pod kontrolą zmodyfikowanych systemów operacyjnych. Przeprowadzone badania dotyczą urządzeń z systemem Android. Do odczytów danych z żyroskopu, akcelerometru, orientacji oraz miernika światła posłużyła darmowa aplikacja Physics Toolbox Sensor. Badania zostały przeprowadzone na dwóch urządzeniach producenta telefonów Xiaomi pod kontrolą sześciu różnych systemów. Pomiary czujników zweryfikowano za pomocą dokładnych czujników referencyjnych.

Słowa kluczowe: urządzenia mobilne, czujniki, system Android

* Autor do korespondencji.

Adres/adresy e-mail: mateusz.dobrowolski13@gmail.com, michal.dobrowolski000@gmail.com, p.kopniak@pollub.edu.pl

Analysis of the use of sensors in mobile devices with modified operating systems

Mateusz Dobrowolski*, Michał Dobrowolski *, Piotr Kopniak*

^a Institute of Computer Science, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36B, 20-618 Lublin, Poland

Abstract. This publication concentrate on the possibility of the use of sensors in mobile devices with modified operating systems. Presented research focuses on Android devices. The gyroscope, the accelerometer, the orientation sensor and the light sensor data was acquired with use of Physics Toolbox Sensor software. The research has been conducted on two mobile devices of Xiaomi under control of six different kinds of operating system. Measured values were compared to values recorded by very accurate, reference sensors.

Keywords: mobile devices, sensors, Android

* Corresponding author.

E-mail address/addresses: mateusz.dobrowolski13@gmail.com, michal.dobrowolski000@gmail.com, p.kopniak@pollub.edu.pl

1. Wstęp

W dzisiejszych czasach smartfony odgrywają bardzo dużą rolę. Niemal każda osoba wyposażona jest w urządzenie mobilne. Na skutek globalnego rozwoju informatyzacji, stały się one integralną częścią życia - zarówno osobistego, jak i biznesowego. Popularne smartfony mogą pracować pod kontrolą wielu różnych systemów operacyjnych.

Na obecnym runku najpopularniejszym systemem jest Android, cieszący się dużym zainteresowaniem wśród odbiorców ze względu na prostotę użytkowania i duże wsparcie techniczne [1]. Jest platformą o otwartym kodzie, dzięki czemu programiści mogą modyfikować kod poprzez dodawanie nowych funkcji, personalizacji całego wyglądu systemu do swoich upodobań oraz optymalizacji działań mających na celu energooszczędną pracę urządzenia mobilnego. Dlatego powstaje wiele odmian tego systemu proponowanych przez firmy zewnętrzne i różne społeczności.

Dzięki szybkiemu rozwojowi sprzętu i miniaturyzacji sprzętu, urządzenia mobilne wyposażone są w dużą liczbę czujników, głównie inercyjnych. Do najpopularniejszych z nich i najczęściej stosowanych w urządzeniach możemy wymienić między innymi: akcelerometr, żyroskop i magnetometr. Wydajność czujników różni się znacznie w zależności od modelu smartfonów. Jednym ze szczególnych

Kolejnym przypuszczeniem jest to, że sensory urządzenia mobilnego charakteryzują się niską precyzją i dokładnością

zastosowań czujników inercyjnych jest śledzenie ruchu w różnych systemach mobilnych i aplikacjach

Tematyka analizy możliwości wykorzystania czujników telefonów nie jest tematem nowym, a dostępne artykuły badawcze dogłębnie opisują poruszane zagadnienia. Pierwszy artykuł dotyczy możliwości wykorzystania czujników inercyjnych urządzenia mobilnego dla inteligentnych systemów transportowych. Badania sensorów zostały przeprowadzone pod kontrolą systemu Android oraz iOS [2]. Drugi artykuł dotyczył badania możliwości wykorzystania akcelerometrów do rejestrowania przyspieszenia. Autorzy badali czujnik przyspieszenia pod kątem pracy na trzech platformach mobilnych: Android, Windows Phone oraz iOS [3]. Ostatnia praca dotyczyła ocenę wydajności sensorów urządzeń mobilnych w zakresie ruchu. Celem badań była ocena pracy czujników i wydajności algorytmów wykorzystywanych do pomiarów kątów pod kontrolą systemu Android i iOS [4].

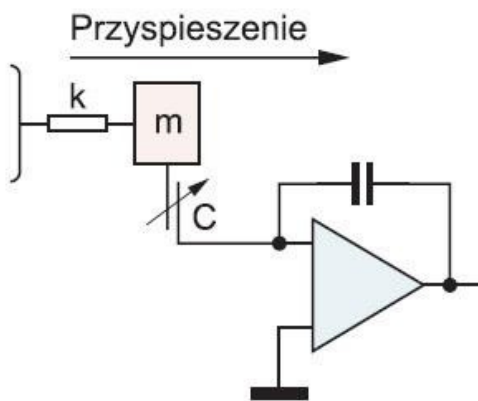
Celem opisanej w niniejszym artykule pracy badawczej było udowodnienie, że dokładność pomiarów wielkości fizycznych za pomocą czujników wbudowanych w urządzenia mobilne jest uzależniona od zastosowanego systemu operacyjnego. Oczywiście może wydawać się, że największą dokładność mają czujniki pod kontrolą fabrycznego systemu operacyjnego, ale wyniki badań pokazują, że nie jest to regułą. pomiarową co też należało zweryfikować wykorzystując referencyjne urządzenia pomiarowe.

2. Charakterystyka sensorów

Dynamiczny rozwój technologii elektronicznej oraz wzrost popularności smartfonów spowodowały, że czujniki takie jak akcelerometr, żyroskop, magnetometr czy odbiornik GPS, które niegdyś uważane były za specjalistyczne narzędzia, stały się dostępne dla każdego użytkownika urządzeń mobilnych. Telefony wyposażone w te sensory stały się bogatsze o nowe funkcjonalności. Dzięki nim korzystanie z urządzeń mobilnych staje się coraz prostsze i wygodniejsze. Badaniom w niniejszej pracy poddane zostały czujniki występujące w każdym współczesnym smartfonie, tzn. czujnik pomiaru natężenia światła, akcelerometr, żyroskop i magnetometr. W niniejszym rozdziale pokrótce zostanie scharakteryzowany każdy z czujników.

2.1. Akcelerometr

Akcelerometr jest to narzędzie służące do pomiaru przyspieszenia liniowego lub kątownego urządzeń w niego wyposażonego. Smartfony oraz inne urządzenia mobilne najczęściej posiadają akcelerometr liniowy. Mierzy on przyspieszenie wzdłuż każdej z osi trójwymiarowego układu współrzędnych, czyli: X, Y i Z. W jego wnętrzu (Rys. 1) znajduje się bezwładny odważnik, który pod wpływem ruchu przekazuje odpowiednie sygnały do silniczków, które przeciwdziałają temu ruchowi. Wartości przyspieszenia, zatem zmieniają swoją wartość wraz ze wzrostem lub spadkiem szybkości oraz zmianą kierunku poruszania urządzenia. W przypadku, gdy sprzęt zostaje w stanie spoczynku, czujnik wskazuje wartości zerowe dla każdego z wymiarów.



Rys. 1. Schemat budowy akcelerometru [5]

Głównym elementem czujnika jest tzw. masa bezwładna, zamocowana na sprężystych belkach, która stanowi elektrodę w układzie kondensatora pomiarowego. W wyniku przemieszczenia masy zmienia się pojemność i tym samym napięcie wyjściowe, które jest dalej przetwarzane np. w przetworniku A/C i mikrokontrolerze [6]. Akcelerometr w urządzeniach mobilnych często wykorzystywany jest w szeregu aplikacjach czy do stabilizacji obrazu z obiektywu aparatu.

2.2. Żyroskop

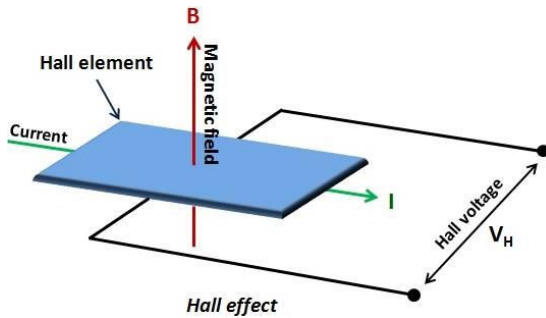
Żyroskop to czujnik służący do pomiaru położenia kątownego urządzenia. Mierzy on prędkość kątową obracającego się urządzenia wokół osi X, Y lub Z. Zbudowany jest on z mikroskopijnych płytek o grzebieniowatej strukturze. Pod wpływem impulsu elektrycznego płytki te ulegają wibracjom. Na skutek obrotu urządzenia, płytki zmieniają kierunek drgań. Spowodowane jest to tak zwanym efektem Coriolisa, czyli odchylenia danego obiektu od jego toru ruchu widziane z perspektywy innych obiektów znajdujących się w wirującym układzie współrzędnych. W przypadku żyroskopu obiekty te to płytki, które w wyniku ruchu urządzenia mobilnego, zmieniają swój potencjał elektryczny. Zmiany te interpretowane są przez sensory jako prędkość obrotowa [6]. Przykładem zastosowania żyroskopu w urządzeniach mobilnych może być automatyczne obracanie ekranu czy w różnego rodzaju aplikacjach, które korzystają z wykrywania położenia telefonu.

2.3. Miernik światła

Zastosowanie tego czujnika w urządzeniach mobilnych jest kluczową zaletą. Sensor ten składa się z fotorezystora, który z kolei zawiera półprzewodniki zezwalające na przepływ prądu tylko w przypadku, gdy uderzające w niego fale mają dokładny zakres częstotliwości. Często miernik światła wyposażony jest w czujnik podczerwieni oraz filtr ultrafioletu. Dzięki nim ogranicza się rodzaj fal, które mogą osiągnąć półprzewodniki w widmie widzialnym światła. Czujnik ten działa identycznie dla różnych źródeł światła, począwszy od naturalnego, a kończąc na świetle ze świetlówek i żarówek. Wzrost natężenia prądu pod wpływem światła interpretowany jest jako wzrost natężenia światła. Jego główną zaletą to przede wszystkim adaptacja jasności wyświetlacza, odpowiedniej dla ludzkiego oka, poprzez właściwe regulowanie podświetlenia wyświetlacza LCD. To działanie pozwala na zmniejszenie zmęczenia oczu użytkownika [7].

2.4. Magnetometr

Magnetometr to czujnik wykrywający pole magnetyczne Ziemi wzdłuż trzech prostopadłych do siebie płaszczyzn X, Y oraz Z. Zasada działania magnetometru w urządzeniach mobilnych opiera się o tzw. metodę Halla (Rys. 2). Składa się on z płaskiej płytki, która przewodzi prąd elektryczny w każdym wymiarze. Czujnik ten wytwarza napięcie proporcjonalnie do siły i biegunowości pola magnetycznego wzdłuż każdego wymiaru, tym samym polaryzuje ją. Mierzona jest ona, jako różnica potencjału na krawędziach płytki. Wzrost wartości potencjału powoduje zwiększenie natężenia pola magnetycznego w danym wymiarze. Zmierzone napięcie przekształcane jest do sygnału cyfrowego, które reprezentuje natężenie pola magnetycznego. Magnetometr w urządzeniach mobilnych wykorzystywany jest jako kompas. Jest on podatny jednak na zakłócenia elektromagnetyczne.



Rys. 2. Schemat budowy magnetometru [8]

Wyróżnia się również magnetometry, wykorzystujące efekt magnetooporowy. Składają się one z magnesów trwałych w obwodzie. Gdy magnes wystawiony jest na działanie zewnętrznych pól magnetycznych to zmienia się opór magnesu w obwodzie [9].

3. Konfiguracja układu badawczego

Tak jak wspomniano wcześniej, przedmiotem badań były czujniki urządzeń mobilnych: miernik światła, orientacji, akcelerometru i żyroskopu.

Do przeprowadzenia eksperymentów użyto dwóch urządzeń mobilnych z systemami Android. Producentem telefonów jest firma Xiaomi. Oba urządzenia domyślnie pracują pod kontrolą oficjalnego systemu chińskiego dystrybutora o nazwie MIUI. Jest to oprogramowanie, które zostało stworzone przez firmę Xiaomi dla smartfonów i tabletów, oferującego swobodę personalizacji telefonu pod potrzeby użytkownika. Oba urządzenia różnią się między sobą wielkością ekranu oraz modelem procesora [10]. Specyfikacja sensorów została odczytana z urządzeń i przedstawiona w tabeli 1.

3.1. Metody i przebieg badań

Do badań wybrano pięć systemów alternatywnych dla oryginalnego systemu Android.. Głównymi kryteriami wyboru systemu operacyjnego dla obu urządzeń mobilnych była zgodność rodzaju i wersji systemu. Lista wykorzystanych systemów została przedstawiona w tabeli 2

W przypadku badania miernika światła, punktem odniesienia był cyfrowy miernik światła EXTECH LT300 o dokładności pomiarowej przedstawionej w tabeli 3.

Dla czujnika orientacji, akcelerometru oraz żyroskopu punktem odniesienia do rzeczywistych pomiarów był rejestrator ruchu MTw Awinda, będącym integralną częścią systemu firmy Xsens. W tabeli 4 zaprezentowane zostały wybrane parametry urządzenia MTw.

Tabela 1. Parametry czujników urządzeń mobilnych [odczytane z urządzeń]

Cecha	Xiaomi Redmi Note 3 Pro	Xiaomi Redmi 3 Pro
Akcelerometr		
Producent	BOSH	Invensense
Wersja	2061000	1
Natężenie prądu	0.18 mA	0.5 mA
Rozdzielczość	0.0023956299 m/s ²	0.0005981440 m/s ²
Maksymalny zakres	39,2266082764 m/s ²	156.8000030518 m/s ²
Żyroskop		
Producent	BOSH	Invensense
Wersja	2061000	1
Natężenie prądu	0.9 mA	3.6 mA
Rozdzielczość	0.0010681152 rad/s	0.0010681152 rad/s
Maksymalny zakres	34,9065856934 rad/s	34,9065856934 rad/s
Magnetometr		
Producent	Yamaha	Yamaha
Wersja	35193090	1
Natężenie prądu	0.28 mA	0.28 mA
Rozdzielczość	0.3005981445 uT	1 uT
Maksymalny zakres	2000 uT	2000 uT
Sensor światła		
Producent	Liteon	Liteon
Wersja	1	1
Natężenie prądu	0.1 mA	0.2 mA
Rozdzielczość	0.0149993896 lx	0.0125000002 lx
Maksymalny zakres	10000 lx	60000 lx
Przyśpieszenie liniowe		
Producent	QTI	AOSP
Wersja	2	3
Natężenie prądu	1.0799866 mA	4.38 mA
Rozdzielczość	0.0023956299 m/s ²	0.000598144 m/s ²
Maksymalny zakres	39.2266082764 m/s ²	19.6133003235 m/s ²

Tabela 2. . Systemy operacyjne Android wykorzystane w badaniu

Nazwa systemu	Xiaomi Redmi Note 3 Pro	Xiaomi Redmi 3 Pro
LineageOS-14.1	X	X
RessoructionRemix N 5.8.1	X	X
MoKee 71.0	X	X
CyanogenMod 13.0	X	X
FlymeOS 5	X	X
MIUI 6.9.29	X	X

Tabela 3. Systemy operacyjne Android wykorzystane w badaniu

Nazwa systemu	Xiaomi Redmi Note 3 Pro	Xiaomi Redmi 3 Pro
LineageOS-14.1	X	X
RessoructionRemix N 5.8.1	X	X
MoKee 71.0	X	X
CyanogenMod 13.0	X	X
FlymeOS 5	X	X
MIUI 6.9.29	X	X

Tabela 4. Charakterystyka dokładności pomiarowej cyfrowego miernika światła EXTECH LT300 [11]

Zakres i rozdzielczość	Dokładność
Luksy	
40.00, 400.0, 4000, 40.00k, 400.0kLux	± (5% odczytu + 0.5% pełnej skali)
Stopoświece (Fc)	
40.00, 400.0, 4000, 40.00kFc	± (5% odczytu + 0.5% pełnej skali)

Tabela 5. Wybrane parametry inercyjnego czujnika MTw [12]

Nazwa cechy	Wartość
Dokładność statyczna (Roll / Pitch)	<0.5°
Dokładność dynamiczna	2.0°
Rozdzielczość kątowna	0.05°
Zakres temperatur pracy	-10°C – 60°C
Częstotliwość radia	ISM 2.4GHz
Zakres transmisji	Otwarta przestrzeń - do 50m Zamknięta przestrzeń – do 20m
Wewnętrzna częstotliwość próbkowania	1800Hz
Szybkość aktualizacji bezprzewodowej	1 MTw 120 Hz 6 MTw 75 Hz 12 MTw 50 Hz 32 MTw 20 Hz
Masa	27g

Pierwszym badanym czujnikiem w obu urządzeniach mobilnych pod kontrolą sześciu różnych systemów operacyjnych był miernik światła. Badania skupiły się na określeniu różnic w pomiarach uzyskanych przez miernik światła w urządzeniu mobilnym oraz porównaniu ich względem cyfrowego miernika. Proces rejestracji światła trwał 10 sekund przy najwyższej częstotliwości próbkowania wynoszącej 100Hz i został przeprowadzony w warunkach oświetleniowych:

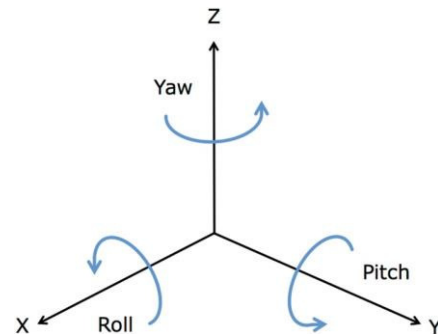
- sztucznego światła, o natężeniu wynoszącym 3387 Lux, pochodzącego z świetlówki Philips o mocy 15W. Odległość od źródła do obiektów badawczych wynosiła 100cm.
- naturalnego oświetlenia w otwartej przestrzeni, o natężeniu wynoszącym 64.2 kLux.

Wszystkie pomiary za pomocą mierników światła zostały przeprowadzone w identycznych warunkach i w tym samym położeniu urządzeń badanych.

Kolejny eksperyment dotyczył czujnika orientacji. System Android oblicza kąt orientacji przy użyciu czujnika

poła magnetycznego w połączeniu z akcelerometrem [9]. Dane zebrane z powyżej wymienionych czujników sprzętowych, dostarczają nam informacji o orientacji urządzenia dla następujących trzech osi (Rys. 3):

- Azymut
- Pochylenie
- Przechylenie

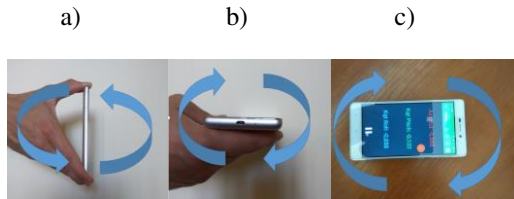


Rys. 3. Układ współrzędnych [XIII]

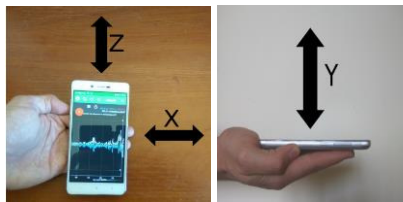
Wartości zarejestrowane przez czujniki urządzenia MTw Awinda stanowiły punkt wyjścia do określenia różnic wyników zarejestrowanych przez czujniki telefonów pod kontrolą zmodyfikowanych systemów. Badanie azymutu rozpoczynało się poprzez ułożenie urządzeń w taki sposób, aby ich osie Z były skierowane prostopadle do podłoża oraz osie Y wskazywały na przybliżony kierunek północy (Rys. 4c). Kolejnym etapem był ruch urządzeń, co 15° w prawą stronę, aż do wykonania pełnego obrotu (360°). W punktach kontrolnych spisywane były wartości wskazywane przez czujniki urządzeń mobilnych oraz urządzenia MTw Awinda. Kolejnym etapem było badanie kąta pochylenia, rozpoczynającego się od ustawienia urządzeń w taki sposób, aby urządzenia były położone prostopadle do powierzchni Ziemi (Rys. 4a). Następnym etapem był ruch urządzeń, co 15° wokół osi X, do momentu wykonania pełnego obrotu. Podobnie jak we wcześniejszym przypadku, w określonych punktach kontrolnych, z obu czujników rejestrowane były wartości wskazywane przez urządzenia. Badanie kąta przechylenia rozpoczynało się wykonaniem obrotu urządzeń mobilnych wraz z czujnikiem MTw Awinda wokół osi Z, co 15° w prawo do momentu wykonania pełnego obrotu (Rys. 4b). Etap odczytu kąta przechylenia określonego przez czujnik orientacji urządzenia mobilnego przebiegał w taki sam sposób jak w poprzednich przypadkach.

Ostatnie badanie dotyczyło czujnika przyspieszenia oraz żyroskopu. Polegało na sekwencji ruchowej (Rys. 5) urządzeń mobilnych wraz z czujnikiem MTw Awinda w trzech kierunkach wzdłuż osi X, Y i Z. Badanie osi X rozpoczynało się przez przesuwanie urządzeń w prawo na daną odległość i powrotu do pozycji wyjściowej. Badanie wzdłuż osi Y i Z, ruch odbywał się odpowiednio w kierunku danej osi. Sekwencja ruchu wykonywana była w dwóch tempach: wolnym i szybkim. Dla każdej z nich ruch został powtórzony pięciokrotnie w kierunku i naprzeciw zwrotu osi. Dla wszystkich czujników fizycznych została ustawiona najwyższa możliwa częstotliwość pobierania próbek wynosząca 100Hz. W ten sposób zapewniono dostarczenie

większej ilości danych, w celu zapewnienia większej dokładności podczas analizy działania akcelerometru i żyroskopu.



Rys. 4. Sposób wykonywania ruchów podczas badania: a) pochylenia, b) przechylenia, c) azymutu



Rys. 5. Sposób wykonywania ruchów podczas badania akcelerometru w trzech kierunkach wzdłuż osi X, Y i Z

3.2. Wyniki badań

W niniejszym podrozdziale zostaną przedstawione wyniki przeprowadzonych badań. Tabela 5 zawiera procentowe różnice pomiędzy natężeniem światła zarejestrowanych przez czujniki urządzeń mobilnych, a miernikiem cyfrowym. Wyniki dotyczą pomiarów uzyskanych w warunkach naturalnego i sztucznego oświetlenia. W tabeli 6 przedstawiono średnie wartości

odchylenia ze wszystkich punktów pomiarowych, które zarejestrowane zostały przez czujniki orientacji urządzeń mobilnych. W tabeli 7 zostały zawarte informacje na temat dokładności pomiarów przyspieszeń liniowych, w trakcie całego przebiegu badania akcelerometru. Stopień dokładności został obliczony za pomocą współczynnika determinacji (1).

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n \left(\hat{y}_t - \bar{y} \right)^2}{\sum_{t=1}^n \left(y_t - \bar{y} \right)^2} \quad (1)$$

gdzie: \hat{y}_t - wartość teoretyczna, \bar{y} - średnia arytmetyczna empirycznych wartości zmiennej objaśnianej, y_t - rzeczywista wartość, R^2 współczynnik determinacji.

Tabele 8 i 9 przedstawiają maksymalne bezwzględne wartości przyspieszeń liniowych. Pomiarzy uzyskane przez czujniki urządzeń mobilnych zostały porównane z odczytami MTw Awinda, na podstawie czego wyznaczono procentową różnicę pomiędzy nimi. Ostatnie tabele 10 i 11 zawierają maksymalne prędkości kątowe, zarejestrowane przez czujniki urządzeń mobilnych i MTw Awinda. Dolna część tabel stanowi informację na temat procentowej różnicy w uzyskanych pomiarach w odniesieniu do rzeczywistych wartości z sensora Xsens.

Tabela 6. Wyniki badań natężenia światła w warunkach sztucznego i naturalnego światła

System	Xiaomi Redmi Note 3 Pro		Xiaomi Redmi 3 Pro	
	Dzienne światło	Sztuczne oświetlenie	Dzienne światło	Sztuczne oświetlenie
MIUI	94,89%	79,47%	87,92%	6,01%
CyanogenMod	94,11%	76,77%	86,15%	7,57%
MoKee	94,47%	78,69%	87,17%	8,01%
Resurrection Remix OS	94,27%	80,92%	86,52%	7,56%
LineageOS	94,67%	81,78%	87,47%	10,26%
Flyme OS	94,47%	82,00%	86,18%	8,56%

Tabela 7. Wyniki badań czujnika orientacji

System	Ruch	Xiaomi Redmi Note 3 Pro			Xiaomi Redmi 3 Pro		
		Pochylenie [°]	Przechylenie [°]	Azymut [°]	Pochylenie [°]	Przechylenie [°]	Azymut [°]
MIUI		0,75	0,51	12,84	0,92	1,32	8,18
CyanogenMod		1,93	2,5	13,35	1,63	1,56	7,23
MoKee		1,84	2,6	9,97	1,62	1,43	7,07
Resurrection Remix OS		1,85	2,5	14,43	1,6	1,48	7,55
LineageOS		1,83	2,63	9,26	1,2	1,83	0,85
Flyme OS		0,6	0,35	14,84	1,76	1,3	7,06

Tabela 8. Wyniki badań dokładności działania akcelerometrów urządzeń mobilnych

System	Xiaomi Redmi Note 3 Pro		Xiaomi Redmi 3 Pro	
	Sekwencja wolna	Sekwencja szybka	Sekwencja wolna	Sekwencja szybka
MIUI	82,77%	66,85%	75,73%	79,55%
CyanogenMod	29,81%	66,09%	47,25%	63,37%
MoKee	45,59%	69,09%	55,73%	62,80%
Resurrection Remix OS	61,72%	43,39%	53,85%	48,10%
LineageOS	66,91%	67,95%	71,07%	73,03%
Flyme OS	68,99%	55,07%	51,01%	18,54%

Tabela 9. Wyniki badań maksymalnych bezwzględnych wartości przyspieszeń liniowych, urządzenie Xiaomi Redmi 3 Pro

Oś	System	MIUI	CyanogenMod	MoKee	Resurrection Remix OS	LineageOS	Flyme OS
Xiaomi Redmi 3 Pro – wolna sekwencja ruchu [m/s ²]							
X	Telefon	0,5201	0,7454	0,4678	0,6604	0,4727	0,5651
	MTw Awinda	1,3744	5,2573	2,7801	1,3844	2,0228	1,1481
Y	Telefon	0,3962	0,4784	0,3884	0,5047	0,4634	0,3570
	MTw Awinda	1,1899	1,8843	2,0654	2,0573	1,1031	1,1725
Z	Telefon	2,0769	2,0014	1,9002	2,0014	1,7651	1,7949
	MTw Awinda	2,7939	2,4823	2,3164	2,8687	2,0401	2,5741
Różnica procentowa		51,51%	59,94%	60,78%	52,67%	49,37%	50,20%

Tabela 10. Wyniki badań maksymalnych bezwzględnych wartości przyspieszeń liniowych, urządzenie Xiaomi Redmi Note 3 Pro

Oś	System	MIUI	CyanogenMod	MoKee	Resurrection Remix OS	LineageOS	Flyme OS
Xiaomi Redmi Note 3 Pro – wolna sekwencja ruchu [m/s ²]							
X	Telefon	0,6908	0,4678	0,5281	0,5628	0,4073	0,4170
	MTw Awinda	1,4011	3,9149	2,3033	3,4341	1,1811	0,8708
Y	Telefon	0,4042	0,4259	0,3820	0,3994	0,4274	0,3434
	MTw Awinda	0,8419	4,0094	1,2284	1,9462	1,0472	0,8814
Z	Telefon	1,7938	1,7924	1,6027	1,6689	1,6866	1,7772
	MTw Awinda	1,4076	2,3930	1,3966	2,1711	1,5124	1,9377
Różnica procentowa		41,41%	67,51%	52,94%	62,07%	45,01%	40,48%

Tabela 11. Wyniki badań maksymalnych prędkości kątowych, urządzenie Xiaomi Redmi 3 Pro

Oś	System	MIUI	CyanogenMod	MoKee	Resurrection Remix OS	LineageOS	Flyme OS
Xiaomi Redmi 3 Pro – wolna sekwencja ruchu [rad/s]							
X	Telefon	2,2312	2,3199	2,3878	2,1283	2,2464	2,0367
	MTw Awinda	2,4985	2,4248	2,6996	2,9735	2,7031	2,3205
Y	Telefon	0,9332	1,3600	0,8617	0,7671	1,0608	1,0799
	MTw Awinda	1,2386	1,8748	1,4321	1,6106	1,3660	1,7297
Z	Telefon	1,8604	1,7769	1,8069	1,6969	1,4602	1,5768
	MTw Awinda	1,9631	1,8896	1,8054	1,9003	1,5257	1,5857
Różnica procentowa		13,53%	12,58%	17,16%	30,50%	14,51%	16,78%

Tabela 12. Wyniki badań maksymalnych prędkości kątowych, urządzenie Xiaomi Redmi Note 3 Pro

Oś	System	MIUI	CyanogenMod	MoKee	Resurrection Remix OS	LineageOS	Flyme OS
Xiaomi Redmi Note 3 Pro – wolna sekwencja ruchu [rad/s]							
X	Telefon	1,8111	1,7827	1,7857	2,3495	1,6916	1,7515
	MTw Awinda	2,2395	2,4174	2,7500	3,2029	2,1185	2,1834
Y	Telefon	0,5787	0,6570	0,6002	0,6383	0,8219	0,6211
	MTw Awinda	1,3406	1,3649	1,2963	1,4791	2,0043	1,2590
Z	Telefon	1,4679	1,6002	1,5177	1,5444	1,2763	1,2958
	MTw Awinda	1,6571	1,8793	1,7743	1,7334	1,4985	1,6303
Różnica procentowa		29,13%	30,99%	23,95%	31,46%	31,32%	30,32%

4. Wnioski

Analizę dokładności działania czujników wbudowanych wykonano dla sześciu różnych systemów operacyjnych. Z przeprowadzonych pomiarów i otrzymanych wyników można stwierdzić, że system ma wpływ na pracę sensorów. Dokładność pomiarów zależy od kilku czynników, między innymi jakości użytych komponentów, kalibracji, wykorzystanego algorytmu, typu ruchu. Badania pozwoliły również potwierdzić to, że czujniki pracują najlepiej pod kontrolą fabrycznego systemu telefonu.

Praca mierników światła urządzeń mobilnych uzależniona jest od panujących warunków oświetleniowych w otoczeniu. Używane są do kontroli podświetlenia wyświetlaczy LCD. Głównym przeznaczeniem czujników światła jest detekcja zmienności oświetlenia, a nie bezpośredni pomiar bezwzględnej wartości natężenia, co potwierdzają wyniki przeprowadzonych badań. Badania czujnika orientacji potwierdzają fakt, że czujnik pola magnetycznego Ziemi jest najbardziej podatny na zakłócenia. Wartości azymutu obarczone są dużymi błędami pomiarowymi. Kąty pochylenia i przechylenia charakteryzują się małym odchyleniem. Z przeprowadzonych pomiarów można wywnioskować, że żyroskop charakteryzuje się wysoką kulturą pracy w przeciwieństwie do akcelerometru. Pomimo dużej czułości na najmniejsze ruchy urządzenia, wykorzystywane są do sterowania aplikacjami, gdzie precyzja pomiarów nie odgrywa znaczącej roli.

Pomimo obserwowalnej najlepszej pracy czujników urządzeń mobilnych pod kontrolą fabrycznego systemu MIUI, mają miejsce sytuacje, w których zmodyfikowany system może stanowić pewną alternatywę do różnych zastosowań:

- CyanogenMod w pomiarze światła w warunkach naturalnego oświetlenia
- Flyme OS w pomiarze kąta przechylenia
- Lineage OS na urządzeniu Xiaomi Redmi 3 Pro do pomiaru wartości przyspieszeń
- MoKee na urządzeniu Xiaomi Redmi Note 3 Pro do pomiaru wartości przyspieszeń przy szybkich ruchach wykonywanych urządzeniem. Alternatywnym systemem dla Xiaomi Redmi 3 Pro może być Lineage OS
- Flyme OS na urządzeniu Xiaomi Redmi 3 Pro do pomiaru prędkości kątowych przy szybkich ruchach wykonywanych urządzeniem

Badania te można rozszerzyć o dodatkowe dwa kierunki. Pierwszym z nich to ściślejsze określenie wpływu temperatury otoczenia na dokładność pomiarów czujników inercyjnych urządzenia mobilnego. Drugim kierunkiem mogłoby być badanie jak duży wpływ na jakość odczytów z sensorów pod kontrolą zmodyfikowanego systemu może mieć posiłkowanie się danymi pochodzącymi z innych czujników. Należałoby również wykonać dodatkowe badania w kierunku oceny jakości czujników wykorzystywanych w popularnych modelach telefonów. Duże zróżnicowanie w dokładności pomiarów może być spowodowane tym, że telefony Xiaomi zostały wyposażone w czujniki charakteryzujące się niską precyzją.

Literatura

- [1] Global sales of smartphones in First Quarter 2016, <http://www.gartner.com/newsroom/id/3323017> [18.06.2017]
- [2] Vassilis G., Perakis H., Rigorous Performance Evaluation of Smartphone GNSS/IMU Sensors for ITS Applications, Sensors (14248220). Aug2016, Vol. 16 Issue 8, p1-21. 21p.
- [3] Smółka J., Skublewska-Paszowska M., Badurowicz M., Łukasik E., Mobile devices as acceleration recorders, IAPGOŚ 1/2015, str. 49-52
- [4] Mourcou Q., Fleury A., Franco C., Klopčič F., Vuillerme N. Performance Evaluation of Smartphone Inertial Sensors Measurement for Range of Motion, Sensors (14248220). Sep2015, Vol. 15 Issue 9, p23168-23187. 20p.
- [5] Żyroskopy i akcelerometry MEMS w elektronice użytkowej, http://elektronikab2b.pl/technika/12098-zyroskopy-i-akcelerometry-mems-w-elektronice-uzytkowej#.WMf8aFU1_tQ [18.06.2017]
- [6] John G. Webster, Eren H., Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook, CRC Press, 2014
- [7] Poznajemy technologie: Czujniki w smartfonach i tabletach, <https://lenovozone.pl/blog/poznajmy-technologie-czujniki-w-smartfonach-i-tabletach/> [18.06.2017]
- [8] All about hall effect sensor, <http://www.help2educate.com/hall-effect-sensor/> [18.06.2017]
- [9] Sensors Overview- Android documentation, https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_overview.html [22.05.2017]
- [10] GMS Arena – porównanie modeli telefonów, <http://www.gsmarena.com/compare.php3?idPhone1=8007&idPhone2=7863> [18.06.2017]
- [11] Instrukcja obsługi cyfrowego miernika światła EXTECH LT300, <http://www.tme.eu/pl/Document/4802e0ccbdb6f91635a598ff91fe33f0/INSTR-LT300.pdf> [18.06.2017]
- [12] MTw User Manual, <https://fccid.io/pdf.php?id=1949647> [18.06.2017]
- [13] Graficzna prezentacja układu współrzędnych, https://www.researchgate.net/figure/262055313_fig2_Average-roll-pitch-and-yaw-angles