

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **224975**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **398402**

(22) Data zgłoszenia: **12.03.2012**

(51) Int.Cl.

G01C 25/00 (2006.01)

G01P 21/00 (2006.01)

(54)

**Sposób kalibracji trójosiowych czujników przyspieszenia,
prędkości kątowej i pola magnetycznego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

16.09.2013 BUP 19/13

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

28.02.2017 WUP 02/17

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

ALEKSANDER NAWRAT, Zabrze, PL

WITOLD ILEWICZ, Ruda Śląska, PL

ROMAN KOTERAS, Mysłowice, PL

KRZYSZTOF DANIEC, Zabrze, PL

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Katarzyna Borkowy

PL 224975 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kalibracji trój osiowych czujników przyspieszenia, prędkości kątowej i pola magnetycznego.

W celu efektywnego sterowania obiektami mobilnymi, załogowymi lub bezzałogowymi w trój-wymiarowej przestrzeni kartezjańskiej, stosuje się elektroniczne 3-osiowe czujniki przyspieszenia (akcelerometry), prędkości kątowej (żyroskopy) oraz pola magnetycznego (magnetometry), każdy zbudowany z trzech ustawionych ortogonalnie pojedynczych czujników wymienionych rodzajów, umieszczonych we wspólnej obudowie i stanowiących tak zwany moduł IMU (Inertial Measurement Unit). Elektryczne sygnały wyjściowe z 3 czujników składowych sensora 3-osiowego są przetwarzane na postać cyfrową za pomocą przetworników analogowo-cyfrowych, i w ten sposób uzyskuje się dane wyjściowe w postaci cyfrowej, stanowiące wskazanie (wyjście) niewykalibrowanego czujnika, które można zapisać w postaci wektora 3-elementowego, gdzie każdy element wektora jest liczbą całkowitą o zakresie zależnym od rozdzielczości zastosowanego przetwornika A/C. Aby pomiary te były użyteczne, wskazania w postaci cyfrowej należy przeliczyć na wskazanie z jednostką miary. W tym celu moduł zawierający 3-osiowe czujniki składowe należy poddać procedurze kalibracji. W wyniku kalibracji określa się parametry procedury przeliczania cyfrowych danych z czujnika niewykalibrowanego na dane wyrażające wielkość mierzoną wraz z jednostką miary.

Jednym z ważniejszych zastosowań tego typu czujników jest wyznaczanie chwilowej orientacji obiektu mobilnego w 3-wymiarowej przestrzeni kartezjańskiej na podstawie pomiaru wektora przyspieszenia ziemskiego, wektora ziemskiego pola magnetycznego oraz wektora chwilowej prędkości kątowej w układzie współrzędnych związanym z obudową IMU.

Powszechnie stosowane metody kalibracji polegają na ustawianiu obudowy zawierającej niewykalibrowane 3-osiowe czujniki w ściśle określonych zadanych orientacjach statycznych, a kalibracja polega na takim przekształceniu matematycznym wskazań niekalibrowanych czujników, aby wskazania tych czujników po przekształceniu były zgodne z zadaną orientacją obudowy. W metodach tych wielkościami wejściowymi do kalibrowanych czujników są najczęściej wektory: ziemskiego pola grawitacyjnego, ziemskiego pola magnetycznego i odpowiednio wygenerowany znany wektor prędkości kątowej. Do stosowania takich metod kalibracji wymagane jest odpowiednie stanowisko do zadawania znanych orientacji modułów IMU względem wektorów wejściowych z odpowiednią dokładnością. Stanowiska takie są kosztowne.

Sposobem według wynalazku kalibrację przeprowadza się przez dodatkowe stosowanie czujników wzorcowych (wykalibrowanych) przyspieszenia, pola magnetycznego i prędkości kątowej, które są elementami składowymi pojedynczego modułu IMU bądź też stanowią odrębne 3-osiowe czujniki.

Po zgodnym i niezmiennym podczas kalibracji zorientowaniu obudów czujnika kalibrowanego i wzorcowego, na wejście czujnika kalibrowanego i wzorcowego doprowadza się jednocześnie wielkość wejściową o jednakowych wartościach w danych chwilach czasu, a wymagane doprowadzanie takich samych wartości wejścia do czujnika kalibrowanego i wzorcowego osiąga się poprzez sztywne połączenie obudów czujnika kalibrowanego i wzorcowego na czas kalibracji w położeniu, w którym kierunki odpowiadających sobie osi obudów (x, y i z) obydwóch czujników są równoległe i mają jednakowe zwroty. Niezmiennność orientacji obudów obu czujników podczas kalibracji zapewnia się poprzez zastosowanie połączenia klejonego lub odpowiednie uchwytu lub w inny sposób analogiczny sposób. Takie sztywne połączenie implikuje, że podczas kalibracji zmiany orientacji modułów wzorcowego i kalibrowanego są identyczne, a więc warunek doprowadzenia do obydwóch czujników – wzorcowego i kalibrowanego – tej samej wartości wielkości wejściowej jest spełniony. Zarejestrowane podczas zmian orientacji zespołu połączonych czujników sygnały stanowią podstawę do wyznaczenia parametrów przekształcenia sygnału z czujnika kalibrowanego tak, aby jego wskazania były tożsame z określoną dokładnością ze wskazaniami czujnika wzorcowego.

P r z y k ł a d

Procedura kalibracji jest taka sama dla wszystkich 3-osiowych czujników składowych modułu IMU (czujników przyspieszenia, czujników pola magnetycznego, czujników prędkości kątowej), a poniższy opis procedury kalibracji dotyczy wszystkich wymienionych typów czujników.

Niech przebieg $a(t_i)$ stanowi zarejestrowane podczas kalibracji w dyskretnych chwilach czasu t_i , $i=1..n$, wyjście 3-osiowego niewykalibrowanego czujnika może reprezentować zmierzone wyjście cyfrowe niewykalibrowanego czujnika przyspieszenia, pola magnetycznego lub prędkości kątowej).

Niech $b(t_i)$ stanowi odpowiadające mu zarejestrowane podczas kalibracji wyjście czujnika wzorcowego (wykalibrowanego) odpowiedniego typu:

$$a(t_i) = [a_x(t_i) \ a_y(t_i) \ a_z(t_i)]$$

$$b(t_i) = [b_x(t_i) \ b_y(t_i) \ b_z(t_i)]$$

gdzie a_j , i b_j , $j=x, y, z$, stanowią wskazania odpowiednio czujników w osi x, y i z czujnika niewykalibrowanego i wzorcowego. Ponieważ wartości wielkości wejściowej obu czujników są podczas kalibracji jednakowe w danych chwilach czasu t_i , istnieje przekształcenie kalibrujące takie, że z określoną dokładnością dla dowolnej chwili czasu t zachodzi równość:

$$b(t) = f(p, a(t)),$$

Gdzie $p=[p_1, p_2, \dots, p_k]$ stanowi wektor k parametrów przekształcenia $f(\)$.

Na podstawie zarejestrowanych sygnałów $a(t_i)$ i $b(t_i)$ poszukuje się wartości wektora parametrów p przekształcenia kalibrującego wskazania czujnika niewykalibrowanego $f(p, a(t))$. Konkretna postać przekształcenia $f(\)$ jest zależna od własności kalibrowanych czujników, przy czym przekształcenie/może być liniowe bądź nieliniowe.

Wyznaczenia wartości składowych wektora parametrów p można dokonać odpowiednią metodą estymacji. Na przykład przy zastosowaniu metody najmniejszych kwadratów wyznacza się wartości parametrów przekształcenia $f(\)$:

$$p = \arg \min_p \left(\sum_{j=x}^{j=z} \sum_{i=1}^n [b_j(t_i) - f(p, a_j(t_i))]^2 \right)$$

Po wyznaczeniu parametrów przekształcenia kalibrującego p procedura kalibracji danych z czujnika niewykalibrowanego ma jest następująca:

$$\hat{a}(t) = f(p, a(t)),$$

gdzie $\hat{a}(t)$ stanowią wykalibrowane dane wyrażające wielkość mierzoną z odpowiednią jednostką miary.

Zastrzeżenie patentowe

Sposób kalibracji trójosiowych czujników przyspieszenia, prędkości kątowej i pola magnetycznego zamkniętych w obudowie modułu IMU, **znamienny tym**, że przy kalibracji wraz z czujnikiem kalibrowanym na stanowisku kalibracyjnym umieszcza się czujnik wzorcowy wykalibrowany i obydwa czujniki pobudza się takim samym wymuszeniem, po czym rejestruje się jednocześnie dane wyjściowe z obu czujników i na podstawie tych danych wyznacza się współczynniki modelu matematycznego opisującego sposób przeliczenia danych z czujnika niewykalibrowanego na dane wyrażające wielkość mierzoną wraz z jednostką miary.

