

Sposób ustalenia pozycji obiektu, w szczególności człowieka, i urządzenie do ustalania pozycji człowieka

Przedmiotem wynalazku jest sposób ustalenia pozycji obiektu w szczególności człowieka za pomocą inercyjnej nawigacji zliczeniowej i urządzenie do ustalania pozycji obiektu, w szczególności człowieka, za pomocą nawigacji zliczeniowej wykorzystujący metodę relatywnego pozycjonowania stóp człowieka do zwiększenia dokładności ustalanego położenia.

Stan techniki

Zastosowanie inercyjnej nawigacji zliczeniowej do ustalania pozycji obiektu opisał w swoich pracach Eric Foxlin, który w opublikowanym w listopadzie 2005 r. w artykule "Pedestrian tracking with shoe-mounted inertial sensors" opublikowanym w IEEE Computer Graphics and Applications Foxlin opisał system oparty na czujnikach zamontowanych na obuwiu pieszego wskazując jednocześnie na ograniczenia wynikające z odchylenia wyznaczonej pozycji od pozycji rzeczywistej. Foxlin założył na potrzeby swojego systemu, że przez pewien czas podczas chodu stopa jest w bezruchu.

W stanie techniki znane są także inne sposoby wyznaczania pozycji obiektu, w szczególności człowieka za pomocą czujników umieszczonych na obiekcie.

Patent US6549845 opisuje układ do określania lokalizacji osoby w obrębie budynku, który wykorzystuje magnetometr, magnesy, czujniki

ciśnienia i CPU do obliczania długości i kierunku każdego kroku. Dane mogą być wyświetlane użytkownikowi, najlepiej na mapie lub na podłodze i mogą być przesyłane osobom poza budynkiem.

W patencie US8751151 opisano komputerową metodę lokalizacji trackera i generowania lub aktualizowania mapy lokalizacji na podstawie informacji z sensora inercyjnego, przy czym układ komputerowy obejmuje jeden lub więcej fizycznych procesorów zaprogramowanych przez jeden lub więcej modułów, a metoda obejmuje: identyfikowanie, za pomocą modułu wykrywania, co najmniej jednej cechy czujnika opartej na informacji z sensora inercyjnego, która obejmuje wiele pomiarów ruchu trackera w danym położeniu, przy czym co najmniej jedna cecha czujnika jest identyfikowana w oparciu o pierwszy podzestaw wiele pomiarów; korelowanie, przez moduł wykrywania cech, co najmniej jednej cechy czujnika z cechą strukturalną położenia; określanie, za pomocą modułu lokalizacji i odwzorowywania, oszacowania położenia trackera na podstawie co najmniej drugiego podzbioru wielu pomiarów, który jest taki sam lub różny od pierwszego podzbioru wielu pomiarów, przy czym położenie cechy strukturalnej jest określane na podstawie oszacowania położenia; i generowanie lub aktualizowanie, za pomocą modułu lokalizacji i mapowania, mapy lokalizacji w oparciu o funkcję strukturalną.

Z kolei patent US5899963 ujawnia urządzenie, które mierzy odległości, prędkości i wysokości poruszającego się obiektu lub osoby podczas biegu lub spaceru. Akcelerometry oraz czujniki obrotu są umieszczone w jednej podeszwie buta lub w zegarku lub na pasie użytkownika, wraz z układem elektronicznym, który wykonuje obliczenia matematyczne służące do wyznaczania odległości i wysokości. Nadajnik radiowy

wysyła informacje o odległości i wysokości do zegarka lub innego urządzenia odbiorczego. Odbiornik w zegarku albo innym miejscu jest połączony z mikroprocesorem, który oblicza prędkość wyjściową w oparciu o długość kroku i czas, a odległości przebyte przez biegacza z sumy wszystkich wcześniejszych kroków. Wyjście mikroprocesora jest połączone z wyświetlaczem, który pokazuje przebyte dystans, prędkość lub wysokość skoku.

W patencie US6786877 opisano urządzenie czujnikowe, które generuje sygnał, odpowiadający co najmniej dwóm z trzech orientacyjnych aspektów odchylenia, nachylenia i obrotu ciała w rozmiarze człowieka, w stosunku do zewnętrznego układu odniesienia. Czujnik generuje pierwsze sygnały z czujników, które odpowiadają przyspieszeniom lub prędkościom obrotowym ciała wokół pewnych osi tego ciała. Czujnik może być zamontowany na ciele. Z czujnikiem sprzężony jest procesor sygnałowy generujący sygnały orientacji względem zewnętrznej ramki odniesienia, odpowiadające prędkości kątowej lub przyspieszeniu. Sygnały z pierwszego czujnika są odporne na zakłócenia ze źródeł elektromagnetycznych, akustycznych, optycznych i mechanicznych. Czujniki mogą być czujnikami prędkości. Integrator może dokonywać całkowania sygnału częstotliwości w czasie. Kompensator przesunięcia jest sprzężony z czujnikami prędkości i integratorem. Kompensacja przesunięcia może obejmować grawitacyjny czujnik przechyłu lub czujnik pola magnetycznego lub oba te elementy. Weryfikator okresowo mierzy orientację ciała za pomocą środków innych niż czujniki, wrażliwe na przesunięcie. Weryfikator może wziąć pod uwagę charakterystyczne cechy ludzkiego ruchu, takie jak okresy bezruchu. Kompensator

przesunięcia może być po części filtrem Kalmana, który może wykorzystywać dane statystyczne dotyczące ruchu ludzkiej głowy.

Z patentu CN103591959 znane jest rozwiązanie wykorzystujące pomiar w czasie rzeczywistym czujnika ciśnienia, przyspieszenia ruchu i kierunku, w celu oszacowania w czasie rzeczywistym informacji o pozycji osoby, o wysokiej dokładności pozycjonowania i dużej niezawodności.

Z kolei w publikacji CN206450230U ujawniono urządzenie do szacowania trajektorii pieszych, przy użyciu jednostki zbierającej dane i przesyłającej zebrane danych do jednostki przetwarzania danych, która wykonuje obliczanie pozycji i przetwarzanie danych, dając końcowe wyniki pozycjonowania. Ponieważ jako jednostkę przetwarzania danych według wynalazku można wykorzystać różne powszechnie znane zastosowania istniejących inteligentnych terminali, to koszt sprzętowy urządzenia według wynalazku obejmuje jedynie koszt części zbierającej dane i części przesyłającej dane, aby uzyskać precyzyjne urządzenie pozycjonujące, wykonujące zadanie przy niskich kosztach.

Z opisu patentu EP1985233 znany jest sposób obejmujący wykonanie fizycznego pomiaru wzdłuż trzech osi czujnika, np. trzech osi pomiaru magnetometru. Podczas ruchu dokonuje identyfikacji jednej z trzech osi która znacząco się nie zmieniła i wykorzystuje tą informację do poprawienia estymacji orientacji. Zastrzeżenia niezależne obejmują również: (1) sposób oszacowania ruchu ciała ruchomego wyposażonego w czujnik (2) sposób kalibrowania czujnika do wyznaczania macierzy obrotu (3) urządzenie do wykrywania zasadniczo niezmiennych osi obrotu.

Z opisu wzoru użytkowego CN205066775U znane jest urządzenie o wysokiej dokładności wykrywania dróg przemieszczeń, w którym: trójwymiarowy kąt ruchu poruszającego się ciała jest mierzony przez inercyjny czujnik lokalizacji, trójwymiarowa pozycja części ruchomej i trójwymiarowy kąt ruchu są mierzone za pomocą układu lokalizatora elektromagnetycznego, trójwymiarowa informacja o położeniu ruchomej mierzona jest w układzie identyfikacji wizualnej maszyny, wyjście, które jest wykorzystywane do przetwarzania danych w celu połączenia czujnika inercyjnego, elektromagnetycznego czujnika lokalizowania, systemu identyfikacji wizualnej maszyny, jednocześnie w celu połączenia danych z trzech podsystemów, tak aby uzyskać drogę przemieszczenia ruchomej części.

W patencie US9341683 opisano sposób określania kierunku ruchu urządzenia z narzędziem. Sposób obejmuje określenie danych pierwszego kierunku ruchu urządzenia przy użyciu czujnika bezwładnościowego. Sposób obejmuje określenie drugiego kierunku ruchu urządzenia przy użyciu magnetometru. Sposób obejmuje również obliczanie skorygowanych danych drugiego ruchu w oparciu o predefiniowane wzajemne położenie między pozycją narzędzia w stanie stacjonarnym a danymi drugiego kierunku ruchu. Sposób obejmuje ponadto określenie kierunku ruchu urządzenia w oparciu o dane pierwszego kierunku ruchu oraz skorygowane dane drugiego kierunku ruchu. W zgłoszeniu CN105509736 ujawniono wieloskładnikowy sposób pozycjonowania w zamkniętym pomieszczeniu dla ratownictwa przeciwpożarowego. Sposób obejmuje następujące etapy: budowa wieloskładnikowego układu pozycjonowania wewnętrznego zawierającego trójosiowy akcelerometr, trójosiowy żyroskop, trójosiowy

magnetometr, barometr, czytnik kart, identyfikator RFID (identyfikacja częstotliwości radiowych) i DSP (procesor sygnału cyfrowego); moduł odbierania sygnału pobiera sygnały trójosiowego akcelerometru, trójosiowego żyroskopu, trójosiowego magnetometru i barometru; moduł nawigacji zliczeniowej pobiera informacje o położeniu ratowników; moduł odczytu stanu ruchu określa stan ruchu ratowników; odpowiedni moduł korekcji koryguje lokalizacje ratowników; moduł korekcji oparty o istnienie ustalonego punktu w pomieszczeniu określa lokalizację ratowników w połączeniu z informacjami kartograficznymi w celu przeprowadzenia korekcji estymacji lokalizacji ratowników. Wieloskładnikowy sposób pozycjonowania w zamkniętym pomieszczeniu dla ratownictwa przeciwpożarowego zapewnia precyzyjną lokalizację wewnątrz pomieszczeń i jest łatwy w obsłudze oraz ma niską zależność od warunków zewnętrznych.

W patencie US8972182 opisano sposób śledzenia elementu umieszczonego na ręku lub na głowie, obejmujący: przymocowanie bezwładnościowej jednostki nawigacyjnej do stopy pieszego; wykonanie pomiaru związanego z położeniem jednostki nawigacyjnej; aktualizowanie pozycji i / lub orientacji przedmiotu trzymanego na ręku lub na głowie, który ma być śledzony, w oparciu przynajmniej w części o pomiar, przy czym aktualizowanie pozycji i / lub orientacji przedmiotu obejmuje określenie pozycji elementu względem jednostki nawigacyjnej. Układ śledzenia elementu umieszczonego na ręku lub na głowie zawiera: bezwładnościową jednostkę nawigacyjną przystosowaną do zamocowania do ciała pieszego w ustalonym położeniu przymocowaną do stopy pieszego i zdolną do pomiaru położenia jednostki nawigacyjnej względem nieruchomej ramki odniesienia; i czujnik umieszczony na

ciela pieszego skonfigurowany do określania położenia i / lub orientacji elementu na rękę lub na głowie względem jednostki nawigacyjnej.

Cel wynalazku

Celem wynalazku jest opracowanie sposobu ustalenia pozycji obiektu, w szczególności człowieka, poza zasięgiem systemów takich jak GPS za pomocą inercyjnej nawigacji zliczeniowej w połączeniu z ustalaniem wzajemnej pozycji stóp co znacząco zwiększa dokładność estymowanego położenia oraz urządzenia do realizacji tego sposobu.

Istota wynalazku

Sposób ustalenia pozycji obiektu, w szczególności człowieka według wynalazku polega na jednoczesnym pomiarze przyspieszenia, prędkości kątowej na dwu stopach oraz pola magnetycznego z jednej stopy a indukowanego przez magnes permanentny na drugiej stopie, z użyciem inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 i IMU2, z których każda zawiera akcelerometr i żyroskop, jedna z nich dodatkowo magnetometr, a druga magnes permanentny, a następnie ich przetworzeniu w module odczytu i przetwarzania danych. Korzystnie przetworzone dane są obrazowane na wyświetlaczu jako punkty odpowiadające miejscu, w którym znajduje się obiekt w zadanym układzie współrzędnych, korzystnie na planie przestrzeni, po której poruszał się obiekt, korzystnie dane o położeniu przesyłane są na serwer drogą radiową w celu dalszego przetwarzania lub prezentacji. Przetwarzanie danych o przyspieszeniu, prędkości kątowej i polu magnetycznym opisuje poniższy algorytm:

1. Dokonaj obliczeń zmian orientacji, prędkości i położenia na podstawie odczytów z sensorów IMU1 oraz IMU2, poprzez całkowanie tych odczytów w jednostce czasu; korzystnie z wykorzystaniem metod z teorii filtrów Kalmana
2. Wyznacz T_c oraz C_c będące poprawkami estymacji położenia i orientacji na podstawie sposobu opisanego niżej. Przy czym $T_c = [x_c, y_c, z_c]$ jest translacją (poprawką) w układzie nawigacyjnym jednej ze stop. Natomiast C_c jest operacją zadającą obrót w układzie nawigacyjnym.
3. Po każdorazowym zakończeniu fazy zerowej prędkości na nodze bez magnesu (tj. `isZV-nonmagnet`) wykonaj następujące poprawki na nodze z magnesem:

$$\begin{aligned} \text{pos_magnet} &= \text{pos_magnet} + T_c, \\ C_magnet &= C_c * C_magnet. \end{aligned}$$
4. Po każdorazowym zakończeniu fazy zerowej prędkości na nodze z magnesem (tj. `isZV-magnet`) wykonaj następujące poprawki na nodze bez magnesu:

$$\begin{aligned} \text{pos_nonmagnet} &= \text{pos_nonmagnet} - T_c, \\ C_nonmagnet &= C_c * C_nonmagnet, \end{aligned}$$

gdzie `isZV-nonmagnet` oznacza ten moment ruchu, gdy stopa, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, znajduje się w stanie bezruchu, a faza `isZV-magnet` oznacza ten moment ruchu gdy stopa, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, znajduje się w stanie bezruchu, `pos_magnet` oznacza pozycję stopy, na której zamontowano inercyjny moduł

pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, $pos_nonmagnet$ oznacza pozycję stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, C_magnet oznacza macierz obrotu stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, $C_nonmagnet$ oznacza macierz obrotu stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, T_c oznacza wektor stanowiący poprawkę położenia, a C_c oznacza wektor stanowiący poprawkę obrotu.

Poprawki T_c i C_c obliczane są poprzez minimalizację względem zmiennych T_c oraz C_c wyrażenia $J(T_c, C_c)$ oznaczającego błąd dopasowania faktycznych odczytów magnetometru to teoretycznych. Minimalizacja błędu oznacza poszukiwanie zmiennych T_c oraz C_c poprzez dopasowanie odczytanych wartości pola magnetycznego do pola teoretycznego, albo w innym korzystnym przykładzie wykonania poprzez odjęcie pola empirycznego od teoretycznego, w celu uzyskania pola geomagnetycznego - pola magnetycznego Ziemi. Przy dopasowaniu pola empirycznego do pola teoretycznego minimalizowane wyrażenie na postać:

$$J(T_c, C_c) = \sum_{i=1..k} (\text{mag_pos}_i(T_c, C_c) - \text{mag_teor}_i)^2,$$

gdzie $\text{mag_pos}_i(T_c, C_c)$ oznacza odczyty pola magnetycznego z fragmentu ścieżki od ostatniej fazy isZV (na dowolnej nodze), która powstała poprzez zastosowanie przekształceń T_c oraz C_c do całego tego fragmentu ścieżki, a mag_teor_i to wartości pola teoretycznego w tych samych momentach.

Przy dopasowaniu różnicy pól do pola geomagnetycznego minimalizowane wyrażenie na postać:

$$J(T_c, C_c) = \sum_{i=1..k} (\text{abs}(\text{mag_pos}_i(T_c, C_c) - \text{mag_teor}_i) - \text{geomagnetic}_i)^2.$$

Magnes znajdujący się w inercyjnym module pomiarowym indukuje pole magnetyczne wokół siebie. Znany kształt teoretycznego pola magnetycznego, które jest modelowane przez proces kalibracji urządzenia, pozwala poprawić odczyt pola magnetycznego odczytanego do teoretycznego, pochodzącego z algorytmu inercyjnego. Teoretyczne pole magnetyczne jest dopasowywane do pola empirycznego (kalibrowane) poprzez dostosowanie parametrów tak, aby wiernie odzwierciedlało ono pole magnetyczne indukowane przez magnes. Korzystnie kalibracja prowadzona jest poprzez triangulację z pomiarów, gdzie wartość natężenia pola magnetycznego w danym punkcie jest średnią barycentryczną z wartości sympleksu, wewnątrz którego leży ten punkt. W innym korzystnym przykładzie wykonania kalibracja polega na dopasowaniu pola dipolowego i/lub sumy pól dipolowych, przy czym należy znaleźć jeden/kilka parametrów, w zależności od parametryzacji pola), tak aby pole teoretyczne dopasowywało się do kierunków i wartości natężenia pola magnetycznego w punktach pomiaru.

Sposób według wynalazku za pomocą sensora inercyjnego IMU1, oraz IMU2 odtwarza ścieżkę poruszania się sensorów wraz z orientacją we wspólnym nawigacyjnym układzie odniesienia.

Urządzenie do ustalania pozycji obiektu, w szczególności człowieka, składa się z co najmniej jednej pary inercyjnych jednostek

pomiarowych połączonych z jednostką odczytu i przetwarzania danych. Pierwsza inercyjna jednostka pomiarowa w parze inercyjnych jednostek pomiarowych zawiera akcelerometr i żyroskop oraz magnes permanentny. Druga inercyjna jednostka pomiarowa zawiera akcelerometr, żyroskop i magnetometr. Inercyjne jednostki pomiarowe komunikują się z jednostką odczytu i przetwarzania danych korzystnie za pomocą kabla z jednostką przetwarzania, a w innym korzystnym przykładzie wykonania za pomocą komunikacji radiowej, korzystnie Bluetooth albo WIFI. Korzystnie moduł odczytu i przetwarzania danych wyposażony jest w moduł radiowy do przekazywania pozycji obiektu. Korzystnie także moduł odczytu i przetwarzania danych wyposażony jest w wyświetlacz, na którym ukazywane są punkty odpowiadające pozycji obiektu. Wyświetlacz może być połączony z modułem odczytu i przetwarzania danych kablowo albo korzystnie za pomocą komunikacji radiowej, korzystnie bluetooth. Korzystnie wyświetlacz umieszczony jest w oprawce okularów noszonych przez człowieka zastępując jedno ze szkielek. Jednostką odczytu i przetwarzania danych może zawierać bazę planów powierzchni, po których porusza się obiekt, na które nakładane są punkty oznaczające położenie obiektu.

Przedmiot wynalazku został przedstawiony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat urządzenia, fig. 2 przedstawia schemat blokowy sposobu ustalania pozycji, fig. 3 przedstawia przykładowy montaż sensorów IMU1 oraz IMU2 na butach fig. 4 przedstawia wykres obrazujący poprawkę na pojedynczym korku w 3D, fig. 5 przedstawia wykres pokazujący fazy ruchu stopy i moment, w którym następuje pomiar. Fig. 6 pokazuje porównanie między klasycznym algorytmem nawigacji inercyjnej w porównaniu z opisanym

w tym dokumencie sposobem. Fig. 7 przedstawia przykładowy interfejs dla służb pożarniczych w których jeden strażak może obserwować swoją pozycję jak i pozostałych strażaków biorących udział w akcji ratunkowo-gaśniczej.

Przykład I

Za pomocą inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 (1) i IMU2 (2) umieszczonych na obuwiu poruszającej się osoby, przy czym każda jednostka pomiarowa (1) i (2) jest umieszczona na innej stopie, mierzono w jednocześnie przyspieszenie, prędkość kątową oraz pole magnetyczne otaczające osobę. Każda z inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 (1) i IMU2 (2) zawiera akcelerometr i żyroskop, jedna z nich dodatkowo magnetometr (5) , a druga magnes permanentny (4).

W wyniku pomiarów zgromadzono dane, które składają się z dwu par szeregów czasowych odczytów akceleracji, prędkości kątowych oraz jednego szeregu czasowego odczytów pola indukcji magnetycznej. Porównanie zastosowania klasycznego algorytmu inercyjnej nawigacji zliczeniowej znanego np. z prac Foxlina w porównaniu do sposobu opisanego w poniższym przykładzie przedstawia fig. 6, na której zilustrowano przejście człowieka po linii prostej na odcinku 59[m], z którego można wywnioskować błąd dla ustalenia położenia na płaszczyźnie na poziomie 22.75[cm] i 13.26[cm] odpowiednio dla klasycznego algorytmu nawigacji zliczeniowej i niniejszego przykładu wykonania wynalazku. Fig. 6 pokazuje również błąd estymacji wysokości ścieżki, która powinna być ustalona na 0[m] z uwagi na przejście po równej powierzchni, a jest ustalona średnio z błędem

1.15[m] dla klasycznego algorytmu nawigacji zliczeniowej oraz na poziomie 31.1[cm] dla opisanego w poniżej sposobu.

Otrzymane dane przetworzono w module odczytu i przetwarzania danych (3). Przetworzone dane zostały wyświetlone na wyświetlaczu (6) jako ścieżka po, której osoba przemieszczała się w nawigacyjnym układzie współrzędnych, po której poruszał się obiekt dla każdej nogi osobno. Przetwarzanie danych o przyspieszeniu, prędkości kątowej i polu magnetycznym opisuje poniższy algorytm:

1. Dokonaj obliczeń zmian orientacji, prędkości i położenia na podstawie odczytów z sensorów IMU1 (1) oraz IMU2 (2).

2. Wyznacz T_c oraz C_c na podstawie sposobu opisanego niżej.

3. Po każdorazowym zakończeniu fazy zerowej prędkości na nodze bez magnesu (tj. isZV-nonmagnet) wykonaj następujące poprawki na nodze z magnesem:

$$\text{pos_magnet} = \text{pos_magnet} + T_c,$$

$$C_magnet = C_c * C_magnet.$$

4. Po każdorazowym zakończeniu fazy zerowej prędkości na nodze z magnesem (tj. isZV-magnet) wykonaj następujące poprawki na nodze bez magnesu:

$$\text{pos_nonmagnet} = \text{pos_nonmagnet} - T_c,$$

$$C_nonmagnet = C_c * C_nonmagnet,$$

gdzie isZV-nonmagnet oznacza ten moment ruchu, gdy stopa, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, znajduje się w stanie bezruchu, a faza isZV-magnet oznacza ten moment ruchu gdy stopa, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i

magnes permanentny, znajduje się w stanie bezruchu, pos_magnet oznacza pozycję stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, $pos_nonmagnet$ oznacza pozycję stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, C_magnet oznacza macierz obrotu stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, $C_nonmagnet$ oznacza macierz obrotu stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, T_c oznacza wektor stanowiący poprawkę położenia, a C_c oznacza wektor stanowiący poprawkę obrotu.

Poprawki T_c i C_c obliczone poprzez minimalizację względem zmiennych T_c oraz C_c wyrażenia $J(T_c, C_c)$ oznaczającego błąd dopasowania, korzystnie poprzez dopasowanie empiryczne wartości pola magnetycznego do pola teoretycznego, albo w innym korzystnym przykładzie wykonania poprzez odjęcie pola empirycznego od teoretycznego, w celu uzyskania pola geomagnetycznego (pola magnetycznego Ziemi). Przy dopasowaniu pola empirycznego do pola teoretycznego minimalizowane wyrażenie na postać:

$$J(T_c, C_c) = \sum_{i=1..k} (\text{mag_pos}_i(T_c, C_c) - \text{mag_teor}_i)^2,$$

gdzie $\text{mag_pos}_i(T_c, C_c)$ oznacza odczyty pola magnetycznego z fragmentu ścieżki od ostatniej fazy isZV (na dowolnej nodze), która powstała poprzez zastosowanie przekształceń T_c oraz C_c do całego tego fragmentu ścieżki, a mag_teor_i to wartości pola teoretycznego w tych samych momentach.

Przy dopasowaniu różnicy pól do pola geomagnetycznego minimalizowane wyrażenie na postać:

$$J(T_c, C_c) = \sum_{i=1..k} (\text{abs}(\text{mag_pos}_i(T_c, C_c) - \text{mag_teor}_i) - \text{geomagnetic}_i)^2.$$

Magnes (3) znajdujący się w inercyjnym module pomiarowym IMU1 (1) indukuje pole magnetyczne wokół siebie. Teoretyczne pole magnetyczne modelowane przez proces kalibracji urządzenia jest dopasowywane do pola empirycznego (kalibrowane) poprzez dostosowanie parametrów tak, aby wiernie odzwierciedlało ono pole magnetyczne indukowane przez magnes (4). Kalibracja prowadzona jest poprzez triangulację z pomiarów, gdzie wartość natężenia pola magnetycznego w danym punkcie jest średnią barycentryczną z wartości sympleksu, wewnątrz którego leży ten punkt. Przetworzone dane z sensorów inercyjnych IMU1 (1), oraz IMU2 (2) odtwarzają ścieżkę poruszania się sensorów (1) i (2) wraz z orientacją we wspólnym nawigacyjnym układzie odniesienia (jakim jest Ziemia).

Urządzenie do ustalania pozycji człowieka, składa się z co najmniej jednej pary inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 (1) i IMU2 (2) połączonych z jednostką odczytu i przetwarzania danych (3). Pierwsza inercyjna jednostka pomiarowa IMU1 (1) zawiera akcelerometr i żyroskop oraz magnes permanentny (4). Druga inercyjna jednostka pomiarowa IMU2 (2) zawiera akcelerometr, żyroskop i magnetometr (5). Inercyjne jednostki pomiarowe IMU1 (1) i IMU2 (2) komunikują się z jednostką odczytu i przetwarzania danych za pomocą kabla, nie uwidocznionego na rysunku. Jednostka odczytu i przetwarzania danych (3) wyposażona jest w moduł radiowy do przekazywania pozycji osoby. Jednostka odczytu i przetwarzania danych (3), wyposażona jest w

wyświetlacz na którym ukazywane są punkty odpowiadające pozycji osoby.

Przykład II

Dwójka strażaków przeprowadzająca akcje ratunkowo-gaśniczą w budynku podczas pełnego zadymienia wyposażona jest w urządzenie do ustalania pozycji człowieka. Dwie pary dwu inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 (1) i IMU2 (2) zintegrowanych z obuwem strażackim przy czym (1) i (2) jest umieszczony jest na innym bucie u każdego strażaka. Mierzono w jednocześnie przyspieszenie, prędkość kątową oraz pole magnetyczne otaczające obuwie. Każda z inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 (1) i IMU2 (2) dla każdego urządzenia zawiera akcelerometr i żyroskop, jedna z nich dodatkowo magnetometr (5), a druga magnes permanentny (4).

Otrzymane dane przetworzono w jednostce odczytu i przetwarzania danych (3). Przetworzone dane zobrazowano na wyświetlaczu (6) jako ścieżki przemieszczania się strażaków oraz miejsce odpowiadające miejscu, w którym znajduje się obiekt w zadanym układzie współrzędnych. Informacja o położeniu przesyłana jest do zewnętrznego systemu zarządzania akcją ratunkowo-gaśniczą w celu monitorowania bezpieczeństwa strażaków oraz monitorowania postępów ich pracy przez dowodzącego akcją ratunkowo-gaśniczą. Moduł odczytu i przetwarzania danych (3) za pośrednictwem modułu radiowego (7) przesyła informacje o położeniu do drugiego urządzenia drugiego strażaka celem wyświetlania jej na (6) celem informowania strażaków o ich wzajemnym położeniu. Wyświetlacz (6) służy jednocześnie do przechowywania

informacji o ścieżce przemieszczania celem umożliwienia wycofania się do punktu zbiorczego w przypadku utraty orientacji bądź w przypadku znacznie ograniczonej widoczności z powodu gęstego zadymienia. Wyświetlacz (6) używany jest jako podręczne urządzenie mobilne bądź zintegrowany z hełmem strażackim. Fig. 7 ukazuje widok dostępny na wyświetlaczy jednego ze strażaków - ukazuje on aktualną swoją pozycję i ścieżkę przejść oraz pozycje i ścieżkę przejścia drugiego strażaka.

Przetwarzanie danych o przyspieszeniu, prędkości kątowej i polu magnetycznym opisuje poniższy algorytm:

1. Dokonaj obliczeń zmian orientacji, prędkości i położenia na podstawie odczytów z sensorów IMU1 (1) oraz IMU2 (2).
2. Wyznacz T_c oraz C_c na podstawie sposobu opisanego niżej.
3. Po każdorazowym zakończeniu fazy zerowej prędkości na nodze bez magnesu (tj. `isZV-nonmagnet`) wykonaj następujące poprawki na nodze z magnesem:

$$\text{pos_magnet} = \text{pos_magnet} + T_c,$$

$$C_magnet = C_c * C_magnet.$$

4. Po każdorazowym zakończeniu fazy zerowej prędkości na nodze z magnesem (tj. `isZV-magnet`) wykonaj następujące poprawki na nodze bez magnesu:

$$\text{pos_nonmagnet} = \text{pos_nonmagnet} - T_c,$$

$$C_nonmagnet = C_c * C_nonmagnet,$$

gdzie `isZV-nonmagnet` oznacza ten moment ruchu, gdy stopa, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, znajduje się w stanie bezruchu, a faza `isZV-magnet` oznacza ten moment ruchu gdy stopa, na której zamontowano

inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, znajduje się w stanie bezruchu, pos_magnet oznacza pozycję stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, $pos_nonmagnet$ oznacza pozycję stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, C_magnet oznacza macierz obrotu stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnes permanentny, $C_nonmagnet$ oznacza macierz obrotu stopy, na której zamontowano inercyjny moduł pomiarowy zawierający akcelerometr, żyroskop i magnetometr, T_c oznacza wektor stanowiący poprawkę położenia, a C_c oznacza wektor stanowiący poprawkę obrotu.

Poprawki T_c i C_c obliczon poprzez minimalizację względem zmiennych T_c oraz C_c wyrażenia $J(T_c, C_c)$ oznaczającego błąd dopasowania, korzystnie poprzez dopasowanie empiryczne wartości pola magnetycznego do pola teoretycznego, albo w innym korzystnym przykładzie wykonania poprzez odjęcie pola empirycznego od teoretycznego, w celu uzyskania pola geomagnetycznego (pola magnetycznego Ziemi). Przy dopasowaniu pola empirycznego do pola teoretycznego minimalizowane wyrażenie na postać:

$$J(T_c, C_c) = \sum_{i=1..k} (\text{mag_pos}_i(T_c, C_c) - \text{mag_teor}_i)^2,$$

gdzie $\text{mag_pos}_i(T_c, C_c)$ oznacza odczyty pola magnetycznego z fragmentu ścieżki od ostatniej fazy isZV (na dowolnej nodze), która powstała poprzez zastosowanie przekształceń T_c oraz C_c do całego tego fragmentu ścieżki, a mag_teor_i to wartości pola teoretycznego w tych samych momentach.

Przy dopasowaniu różnicy pól do pola geomagnetycznego minimalizowane wyrażenie na postać:

$$J(T_c, C_c) = \sum_{i=1..k} (\text{abs}(\text{mag_pos}_i(T_c, C_c) - \text{mag_teor}_i) - \text{geomagnetic}_i)^2.$$

Magnes (4) znajdujący się w inercyjnym module pomiarowym IMU1 (1) generuje pole magnetyczne wokół siebie. Teoretyczne pole magnetyczne modelowane przez proces kalibracji urządzenia jest dopasowywane do pola empirycznego (kalibrowane) poprzez dostosowanie parametrów tak, aby wiernie odzwierciedlało ono pole magnetyczne wytworzone przez magnes (4). Kalibracja polega na dopasowaniu pola dipolowego i/lub sumy pól dipolowych, przy czym należy znaleźć jeden/kilka parametrów, w zależności od parametryzacji pola), tak aby pole teoretyczne dopasowywało się do kierunków i wartości natężenia pola magnetycznego w punktach pomiaru. Przetworzone dane z sensorów inercyjnych IMU1 (1), oraz IMU2 (2) odtwarzają ścieżkę poruszania się sensorów (1) i (2) wraz z orientacją we wspólnym nawigacyjnym układzie odniesienia (jakim jest Ziemia).

Urządzenie do ustalania pozycji człowieka, składa się z co najmniej jednej pary inercyjnych jednostek pomiarowych IMU1 (1) i IMU2 (2) połączonych z jednostką odczytu i przetwarzania danych (3). Pierwsza inercyjna jednostka pomiarowa IMU1 (1) zawiera akcelerometr i żyroskop oraz magnes permanentny (4). Druga inercyjna jednostka pomiarowa IMU2 (2) zawiera akcelerometr, żyroskop i magnetometr (5). Inercyjne jednostki pomiarowe IMU1 (1) i IMU2 (2) komunikują się z jednostką odczytu i przetwarzania danych za pomocą połączenia

radiowego. Jednostka odczytu i przetwarzania (3) danych wyposażona jest w moduł radiowy do przekazywania pozycji osoby, na którym ukazywane są punkty odpowiadające pozycji osoby.