



Zastosowanie technologii RFID do lokalizacji obiektów mobilnych w przestrzeni 2D

An application of RFID technology to mobile object's pose estimation in 2D space

Streszczenie. W pracy przedstawiono użycie matrycy znaczników RFID do wyznaczenia położenia i orientacji przestrzennej obiektów w pomieszczeniach w sytuacji, gdy nie jest możliwe użycie innych dostępnych technologii. Zaproponowano oraz przedyskutowano dobór konfiguracji przestrzennej czytników RFID zapewniającej jak najdokładniejszą estymatę pozycji i orientacji śledzonego obiektu. Zbadano wrażliwość metody wyznaczania lokalizacji i orientacji na uszkodzenia elementów matrycy. Przedstawione podejście zweryfikowano za pomocą symulacji, których reprezentatywne przykłady pokazano w pracy.

Abstract. The paper presents the use of a matrix of passive RFID tags to determine the pose of object inside a room in situation where it is not possible to use other available technologies. The selection of the spatial configuration of RFID readers ensuring the most accurate pose the tracked object's pose estimation was proposed and discussed. The sensitivity of the method of determining the location and orientation to damage to matrix elements was examined. The presented approach was verified by means of simulations, representative examples of which are shown in the paper.

Słowa kluczowe: RFID, robot mobilny, fuzja danych, lokalizacja wewnątrz pomieszczeń

Keywords: RFID, mobile robot, data fusion, indoor localization

Wprowadzenie

Współczesne technologie komunikacyjne i transportowe w dużym stopniu wykorzystują informacje o lokalizacji poruszających się obiektów. Łatwo mnożyć zagadnienia, w których znajomość aktualnej lokalizacji czyni ich rozwiązanie efektywniejszym lub w pewnych przypadkach możliwym w ogóle. W inteligentnych systemach transportowych, czy komunikacji publicznej znajomość bieżącej lokalizacji pojazdów wchodzących w skład tych systemów umożliwia takie kierowanie ich ruchem, które w efekcie czyni cały proces efektywniejszym. Wszeghobecne systemy nawigacji samochodowej, mobilne urządzenia komunikacyjne czy też monitorujące w szerokim zakresie wykorzystują informację o położeniu. Biorąc pod uwagę w omawianym kontekście dziedzinę robotyki, a mówiąc dokładniej jej gałąź skupianą na projektowaniu i rozwoju robotów mobilnych czy autonomicznych pojazdów, problem pozyskania dokładnych parametrów [1] jak i wiarygodnej informacji o położeniu sterowanych obiektów jest fundamentalny. W celu realizacji zadań nawigacyjnych polegających na osiągnięciu przez pojazdy zdefiniowanej lokalizacji lub podążaniu wzdłuż zadanej ścieżki system sterowania (nawigacji) musi posiadać jak najdokładniejsze dane o bieżącym położeniu pojazdu, zdefiniowanym w układzie współrzędnych skojarzonym z przestrzenią roboczą (kartezyjskim, geograficznym etc.). Dodatkowo do celów nawigacji niezbędna jest również informacja o orientacji przestrzennej sterowanego pojazdu. W przypadku gdy wymagane jest śledzenie położenia obiektów poruszających się na zewnątrz budynków w znakomitej większości przypadków wystarczające jest skorzystanie z szeroko rozpowszechnionych obecnie systemów nawigacji satelitarnej (GPS, GLONASS, GALILEO) [2]. Oferują one w warunkach dobrej transmisji sygnałów niezawodną informację o położeniu i prędkości obiektu, na którym zamontowany jest odbiornik tego systemu. W połączeniu z systemami korekcji różnicowej możliwe jest także osiągnięcie wysokiej precyzji lokalizacji. Oczywiście w warunkach niedostatecznego pokrycia czy gorszej widoczności sygnałów dokładność tego systemu może się znacząco

obniżyć i wówczas trzeba sięgać po alternatywne metody lokalizacji. Tak jest w przypadku zagadnienia lokalizacji obiektów mobilnych poruszających się wewnątrz budynków gdzie sygnały nadawane przez system nawigacji satelitarnej są niedostępne. Współcześnie taka potrzeba zachodzi coraz częściej wraz z rozwijającą się automatyzacją i robotyzacją różnorodnych procesów. Coraz powszechniejsze stają się użycie automatycznych systemów transportowych wewnątrz hal produkcyjnych czy też magazynowych. Wówczas posiadanie informacji o położeniu pojazdów transportowych staje się niezbędne. Podobnie można zaobserwować zwiększoną ilość aplikacji robotów serwisowych obsługujących szpitale, terminale lotnicze i inne obiekty użyteczności publicznej. Podobnie galopujący rozwój technologii Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things) sprawia, że lokalizacja ludzi korzystających z tej technologii wewnątrz budynków takich jak szpitale, lotniska, muzea czy supermarkety jest kluczowa [3]. Wymienione wyżej powody podobnie jak i wiele innych stały się przyczynkiem do tego, że projektowanie i budowa systemów lokalizacyjnych działających wewnątrz budynków znalazły się w centrum uwagi wielu badaczy i stały się tematem dużej ilości prac i projektów badawczych. Obszerny choć dość pobieżny przegląd większości technik i systemów lokalizacyjnych stosowanych obecnie znajduje się w pracy [4]. Należy w tym miejscu podkreślić, że niemal każdy z obecnie oferowanych systemów lokalizacyjnych wymaga instalacji wewnątrz budynków dedykowanej infrastruktury sprzętowej. Najbardziej rozpowszechnione obecnie są systemy radiowe bazujące na sieci radiolatarni wykorzystujące metody multilateracji czy multiangulacji [5]. Podobnie ma się rzecz z systemami optycznymi, wymagającymi rozmieszczenia znaczników nawigacyjnych emitujących sygnały świetlne najczęściej w zakresie podczerwieni [6, 7]. Systemy tego typu zapewniają dokładność i szybkość lokalizacji śledzonych obiektów akceptowalną we większości zastosowań. Wymogiem jest odpowiednie ustawienie aktywnych znaczników nawigacyjnych zapewniających pokrycie monitorowanej przestrzeni. Gdy zachodzi potrzeba nawigacji obiektów mobilnych wzdłuż ustalo-

nych ścieżek (transport elementów produkcyjnych, towarów) wystarczające okazuje się w wielu przypadkach nawigacja na bazie pętli magnetycznych lub horyzontalnych wizualnych znaków nawigacyjnych (linie, QRkody). Czasami zachodzi potrzeba jedynie stwierdzenia obecności poruszającego się obiektu w określonym miejscu czy strefie. W tym przypadku bardzo pomocna i chętnie stosowaną technologią jest RFID (ang. Radio Frequency Identification) [8, 9, 10]. Tematem pracy jest jednak zastosowanie tej technologii do dość precyzyjnej lokalizacji ruchomych obiektów wewnątrz pomieszczenia w sytuacji gdy zastosowanie wyżej wspomnianych systemów z uzasadnionych przyczyn nie mogło mieć miejsca.

Geneza podjętych prac

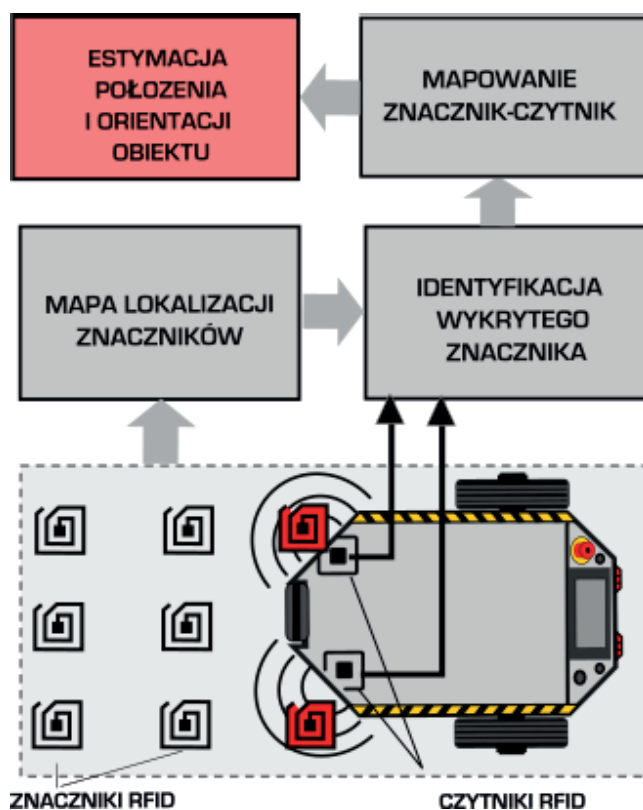
Przyczynkiem do podjęcia prac w zakresie opisywanym w ramach niniejszej publikacji była realizacja projektu budowy dużego interaktywnego trenażera strzeleckiego, w którym możliwe było użycie zarówno kopii broni strzeleckiej z systemem laserowym jak również broni na amunicję ostrą. Do celów interakcji systemu treningowego z uczestnikami szkolenia konieczne było zapewnienie ich ciągłej lokalizacji. Dodatkowo wewnątrz strzelnicy zaplanowano wykorzystanie robota serwisowego pełniącego rolę transportera celów i manekinów strzeleckich umożliwiającego ich ruch po ustalonej przez system treningowy trajektorii. Dodatkowym, zakładanym zastosowaniem pojazdu serwisowego ma być automatyczna diagnostyka matrycy znaczników RFID. Do tego, było potrzebne zapewnienie systemowi informacji o położeniu i orientacji platformy mobilnej. Ze względu na wymogi narzucone przez konstrukcję strzelnicy i obowiązujące w niej procedury wykluczona została możliwość użycia dostępnych komercyjnie metod opisanych w poprzedniej sekcji prezentowanej pracy. Wobec tego zdecydowano się na rozwiązanie bazujące na matrycy pasywnych znaczników RFID rozmieszczonych w pod warstwą pokrycia podłogi strzelnicy. Odczyt lokalizacji poszczególnych znaczników odbywa się za pomocą czytników RFID umieszczonych na lokalizowanych osobach/urządzeniach zbierających informację zakodowaną w poszczególnych znacznikach. Opisana technologia wymaga dosyć pracochłonnego i kosztownego etapu wykonania i zakodowania matrycy składającej się dużej ilości znaczników. W zamian za to oferuje dużą niezawodność i jednoznaczność danych lokalizacyjnych. Ze względu na możliwość użycia amunicji ostrej założono także możliwość czasowej degeneracji matrycy RFID w skutek uszkodzeń mechanicznych. Celem prac opisanych w niniejszej publikacji była wstępna, symulacyjna weryfikacja możliwej do uzyskania dokładności pozycjonowania i wyznaczania orientacji platformy mobilnej. Tym samym chciano uzyskać odpowiedź na pytanie o możliwość nawigacji takiej platformy przy ustalonej geometrii matrycy. Ostatnim z celów było zbadanie wrażliwości technologii pozycjonowania i wyznaczania orientacji na uszkodzenia elementów matrycy.

Koncepcja systemu lokalizacji

Technologia RFID polega na identyfikacji obiektów poprzez odczyt informacji zakodowanej w znacznikach zamontowanych na tych obiektach. Wynika stąd konieczność zastosowania w systemie dwóch urządzeń: czytnika oraz transpondera danych (znacznika). Znacznik składa się z anteny oraz układu przetwarzania i przechowywania danych,

w którym koduje się pożądaną informację. Znacznik może być zasilany przez własny magazyn energii lub za pomocą energii fali emitowanej przez czytnik. Gdy znacznik lub znaczniki znajdują się w zasięgu działania czytnika następuje aktywacja systemu nadawczego znacznika, a tym samym wysyłany jest pakiet informacyjny odbierany dalej przez czytnik. Istnieje wiele rozwiązań technologicznych zarówno znaczników, jak i czytników RFID charakteryzujących się różnymi właściwościami. Na potrzeby projektu wzięte zostały pod uwagę czytniki z anteną o charakterystyce kołowej oraz najprostsze znaczniki pasywne typu read-only działające w paśmie niskich częstotliwości. Koncepcję lokalizacji z użyciem opisywanej technologii zilustrowano na rysunku 1.

Czytnik RFID mocowany jest do obiektu będącego celem lokalizacji. Z kolei znaczniki lokujemy w przestrzeni, w której ma być dokonywana lokalizacja, w ściśle zdefiniowanych punktach tej przestrzeni o jak najdokładniej zmierzonych koordynatach. Pierwszym etapem przygotowania takiego systemu jest stworzenie mapy lokalizacji znaczników RFID. Na tym etapie każdemu znacznikowi identyfikowanemu przez unikatowy, niezmienny numer producenta przypisywane są dane o jego lokalizacji w dwuwymiarowej przestrzeni roboczej. Kolejny z elementów takiego systemu to pojedynczy lub zestaw czytników umieszczonych w określonej konfiguracji przestrzennej na lokalizowanym obiekcie. W sytuacji gdy znacznik znajdzie się w zasięgu operacyjnym czytnika pozyskiwany jest jego identyfikator a tym samym lokalizacja. W przypadku gdy jeden czytnik nawiązuje łączność z pojedynczym znacznikiem, możliwe jest określenie lokalizacji czytnika, a po dokonaniu prostego odwzorowania geometrycznego lokalizacji obiektu. Minimalna dokładność takiej lokalizacji może być oszacowana za pomocą zasięgu trans-

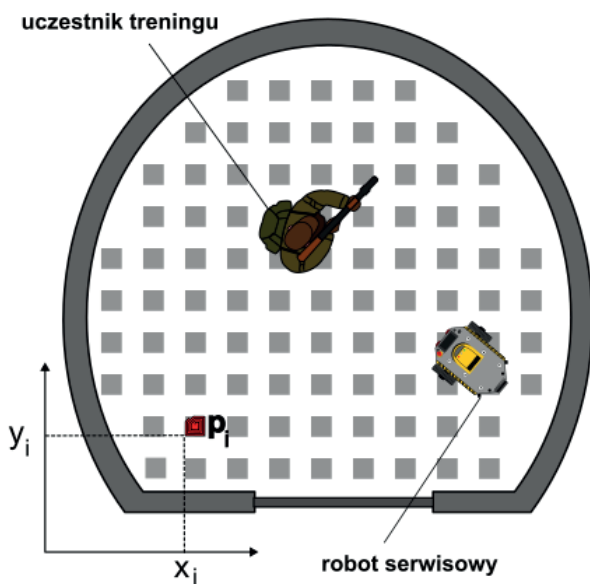


Rys. 1. Koncepcja lokalizacji obiektu w przestrzeni 2D z użyciem technologii RFID

pondera znacznika. W przypadku detekcji większej liczby takich znaczników dokładność lokalizacji może być większa ze względu na możliwość dokonania fuzji informacyjnej. Z kolei stosując matrycę czytników możliwe jest także wyznaczenie estymaty orientacji przestrzennej obiektu. W dalszych rozdziałach tego artykułu opisane zostaną zastosowane konfiguracje czytników oraz metody wyznaczania położenia i orientacji przestrzennej lokalizowanego obiektu, którym w tym przypadku jest wymieniony we wstępie pojazd serwisowy zwany dalej platformą.

Rozmieszczenie znaczników

Znaczniki RFID rozmieszczone będą w posadzce obszaru treningowego, zgodnie z ortogonalną, regularną siatką. Koncepcję rozlokowania znaczników w obszarze strzelnicy pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia znaczników (transponderów) RFID wewnątrz strzelnicy

Znaczniki umieszczane są w odstępach zdefiniowanych, jako $x; y$. W ten sposób dokonujemy dyskretyzacji określonej przestrzeni, definiującej jednocześnie rozdzielczość systemu lokalizacyjnego. Jak wspomniano w poprzednim rozdziale na jej rzeczywistą dokładność lokalizacji wpływa przede wszystkim zasięg użytych transponderów oraz zastosowana metoda lokalizacji. Zdefiniujmy, zatem pojedynczy znacznik RFID, jako:

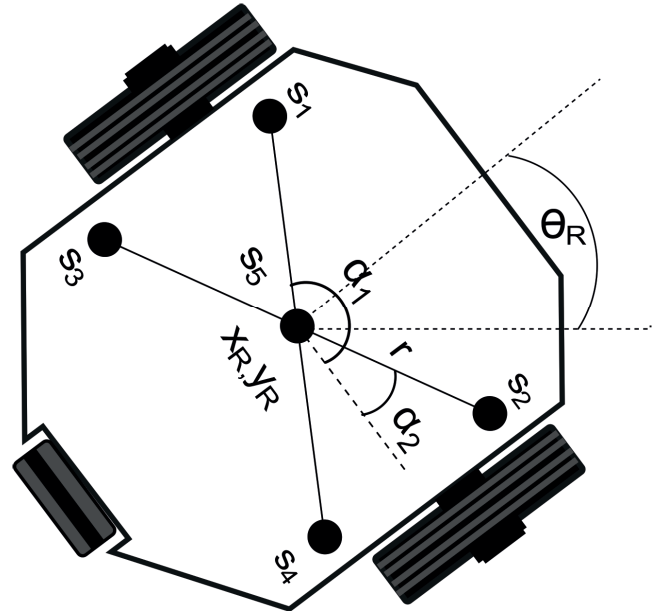
$$(1) \quad p_i = [x_i, y_i], i = 1, 2, \dots, N,$$

gdzie para $x_i; y_i$ oznacza koordynaty położenia i -tego znacznika w ramach dwuwymiarowego, kartezjańskiego układu współrzędnych związanego z przestrzenią roboczą systemu. Całkowita liczba znaczników lokalizacyjnych umieszczonych w obszarze treningowym jest równa N .

Rozmieszczenie czytników na pojeździe serwisowym

Sposób rozmieszczenia oraz ilość czytników RFID ma znaczący wpływ na osiąganą dokładność lokalizacji oraz precyzję wyznaczenia orientacji platformy. Stosując pojedynczy czytnik jesteśmy w stanie wyznaczyć położenie platformy.

Przy dwóch sensorach możliwe jest wyznaczenie estymaty orientacji. Zastosowanie większej ilości sensorów, poprzez uśrednianie wartości ich odczytów pozwala na zwiększenie precyzji procesu lokalizacji, w stosunku do przypadku, gdy użyty został pojedynczy sensor. Podobnie jest w sytuacji, gdy wyznaczamy orientację platformy.



Rys. 3. Schemat montażu czytników RFID na spodzie platformy.

W omawianej pracy zdecydowano się na zastosowanie pięcioelementowej konfiguracji sensorów w układzie takim jak pokazano na rysunku 3. Pierwszy z sensorów umieszczany jest w środku geometrycznym platformy natomiast pozostałe 4 na okręgu, którego środek pokrywa się ze środkiem geometrycznym platformy a jego promień wynosi r . Sensory umieszczone są symetrycznie z przesunięciami kątowymi $\alpha_k, k = 1 \dots 4$.

Wyznaczenie konfiguracji przestrzennej pojazdu

Istotą przedstawionej tu koncepcji jest estymacja konfiguracji przestrzennej pojazdu na podstawie lokalizacji czytników RFID. Oznaczmy zatem konfigurację przestrzenną pojazdu jako:

$$(2) \quad X_R = [x_R, y_R, \theta_R],$$

gdzie $x_R; y_R$ oznaczają koordynaty środka geometrycznego pojazdu, natomiast θ_R jego orientację widzianą w kartezjańskim układzie współrzędnych skojarzonym z przestrzenią roboczą. Poszukujemy zatem estymaty konfiguracji przestrzennej platformy wyznaczonej na bazie estymat położenia czytników RFID:

$$(3) \quad \hat{X}_R = [\hat{x}_R, \hat{y}_R, \hat{\theta}_R],$$

Oznaczmy zatem zbiór znaczników, z którymi k -ty czytnik nawiązał łączność:

$$(4) \quad P_k^d = \{p_i\}, i \in 1 \dots N,$$

Estymowana lokalizacja k-tego sensora na podstawie wykrytego wskaźnika równa jest położeniu danego wskaźnika p_i w przestrzeni roboczej, zapisanego pamięci systemu. W przypadku, gdy komunikacja nawiązana została z kilkoma znacznikami estymowana lokalizacja k-tego czytnika wyznaczana jest, jako wartość średnia lokalizacji odczytanych znaczników. Oznaczmy liczbę znaczników odczytanych przez k-ty czytnik, jako $N_k = \overline{P}_k^d$. Estymata lokalizacji k-tego czytnika wyznaczana jest w sposób następujący:

$$(5) \quad \hat{s}_k = \frac{1}{N_k} \left[\sum_{i=1}^{N_k} x_i, \sum_{i=1}^{N_k} y_i \right],$$

Wyznaczenie orientacji platformy

Orientacja platformy może być wyznaczona na podstawie różnych konfiguracji zdefiniowanych w przyjętym układzie sensorów. Podstawą metody jest wyznaczenie kąta pomiędzy odcinkiem zdefiniowanym przez wybraną parę sensorów a osią odciętych kartezjańskiego układu współrzędnych skojarzonego z przestrzenią roboczą. Oznaczmy estymatę orientacji platformy otrzymaną na podstawie m-tej konfiguracji (pary) sensorów:

$$(6) \quad \begin{aligned} \hat{\theta}_m &= \alpha_m + \beta_{ij}, i, j \in [1, 5], m = 1..M, \\ \beta_{ij} &= f(\hat{s}_i, \hat{s}_j) \end{aligned}$$

gdzie α_m oznacza przesunięcie kątowe związane ze sposobem montażu wybranej pary sensorów, natomiast β_{ij} kątem pomiędzy osią odciętych kartezjańskiego układu współrzędnych skojarzonego z przestrzenią roboczą, a odcinkiem zdefiniowanym przez estymaty położenia i-tego i j-tego czytnika. W niniejszym opracowaniu zaproponowano następujące pary sensorów do wyznaczania wyznaczenia estymat orientacji:

$$(7) \quad (\hat{s}_2, \hat{s}_3), (\hat{s}_1, \hat{s}_4), (\hat{s}_1, \hat{s}_3), (\hat{s}_3, \hat{s}_4),$$

Estymata orientacji platformy wyznaczona na podstawie M par sensorów obliczana jest jako mediana:

$$(8) \quad \theta_R = \text{med}(\hat{\theta}_m), m = 1..M,$$

W niniejszym opracowaniu wybrano operator mediany, gdyż w odróżnieniu od operacji uśredniania nie powoduje on niejednoznaczności przy wyznaczaniu zagregowanej wartości kąta orientacji.

Wyznaczenie położenia platformy

Podobnie, jak to miało miejsce w przypadku orientacji platformy, jej położenie jest wyznaczane na bazie estymaty położenia czytników. Ponieważ czytniki mogą być montowane w różnych konfiguracjach przestrzennych zachodzi konieczność przeliczenia położenia każdego z czytników na położenie pojazdu identyfikowane przez jego środek geometryczny x_R, y_R . Ta operacja wymaga znajomości parametrów montażowych każdego z zastosowanych czytników s_k , zdefiniowanych w układzie współrzędnych skojarzonym z platformą (w tym przypadku promienia r i obrotu α_k) oraz estymaty orientacji platformy $\hat{\theta}_R$ zdefiniowanej w układzie współrzędnych skojarzonym z przestrzenią roboczą. Oznaczmy zatem położenie platformy wyznaczone na podstawie estymaty położenia k-tego czytnika, jako:

$$(9) \quad \hat{P}^{s_k} = [x_{s_k}, y_{s_k}] = \hat{s}_k + b_k,$$

gdzie $b_k = [x_{s_k}^b, y_{s_k}^b] = f(r, \alpha_k, \hat{\theta}_R)$ to przelicznik położenia czytnika na położenie środka geometrycznego platformy. Ostatecznie estymatę położenia platformy otrzymujemy uśredniając estymaty otrzymane na bazie danych z poszczególnych czytników:

$$(10) \quad \hat{P}_R = \frac{1}{N_k} \left[\sum_{k=1}^{N_k} x_{s_k}, \sum_{k=1}^{N_k} y_{s_k} \right].$$

Walidacja symulacyjna

Celem tej części projektu była implementacja omówionej wcześniej metody, a następnie jej walidacja symulacyjna z użyciem stworzonego oprogramowania. Pozwala ono na modelowanie i symulację infrastruktury lokalizacyjnej przestrzeni roboczej dla różnych ustawień konfiguracyjnych.

Opisane w dalej części oprogramowania umożliwiają symulację następujących funkcjonalności systemu:

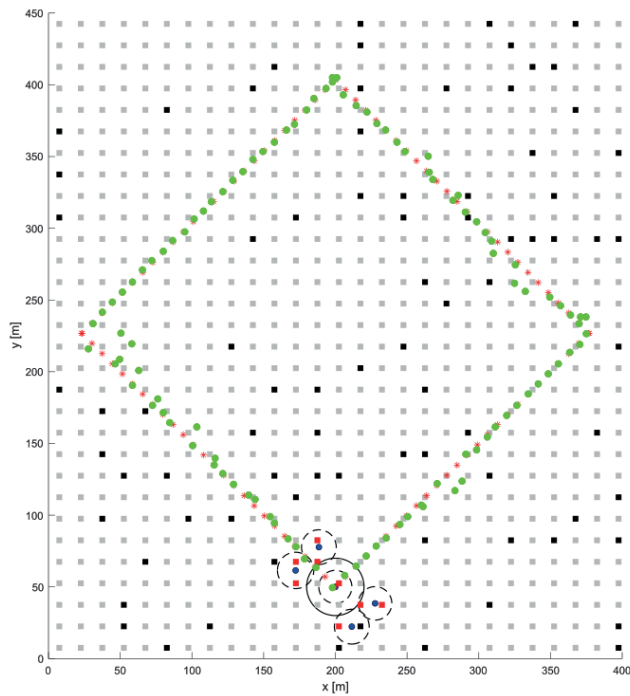
- Definiowanie macierzy pasywnych znaczników RFID, z zadaną rozdzielczością,
- modelowanie działania systemu przy zadanym, procentowym stanie uszkodzenia macierzy znaczników,
- definiowanie konfiguracji układu sensorów aktywnych umieszczanych na platformie,
- symulowanie trybów detekcji (wieloznacznikowy, jednoznaczniowy z pomiarem mocy, jednoznaczniowy przypadkowy),
- wizualizację procesu.

Zadanie zrealizowane zostało w postaci biblioteki procedur i funkcji napisanych w środowisku MATLAB.

Eksperyment weryfikacyjny

Rozpatrzmy następujący scenariusz eksperymentu. W obszarze o rozmiarach 400×450 [cm] zainstalowano infrastrukturę lokalizacyjną w postaci macierzy znaczników RFID. Rozmieszczono je na planie ortogonalnej siatki regularnej o rozmiarach komórki 15×15 [cm]. Zasympulowano 10% uszkodzenie elementów macierzy. Poprawnie działające znaczniki RFID zaznaczono szarymi kwadratami, podczas gdy te uszkodzone kwadratami czarnymi. Wewnątrz pomieszczenia porusza się platforma, na spodzie której zamontowano pięcioelementową konfigurację czytników RFID, zgodną z rysunkiem 3. Niedeterminizm pomiarowy związany z zasięgiem znaczników RFID został zasympulowany jako zakłócenie zasięgu użytecznego poszczególnych czytników RFID. Geometria ścieżki, po której porusza się platforma została zdefiniowana, jako kwadrat o boku 240 [cm], obróconego o 45 [deg]. Ilustracja eksperymentu oraz jego wyników przedstawiona została na rysunku 4. Gwiazdki w kolorze czerwonym oznaczają kolejne punkty ścieżki referencyjnej po której porusza się pojazd. Kółka w kolorze zielonym oznaczają z kolei wynik lokalizacji. Okręgi zaznaczone czarnymi, przerywanymi liniami oznaczają chwilowy zasięg czytników RFID.

To, co można zauważyć patrząc na ten rysunek, to fakt, że estymowana ścieżka ruchu platformy prawie pokrywa się ze ścieżką referencyjną. Na kolejnym, rysunku 5 zilustrowano dokładniej precyzję wyznaczenia konfiguracji przestrzennej platformy. Przedstawiono na nim przebiegi czasowe pokazujące wartości wyznaczonych wielkości w trakcie

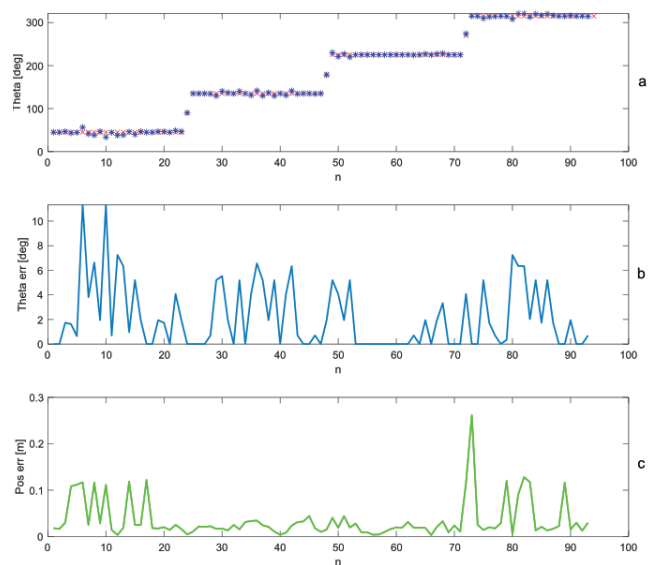


Rys. 4. Scenariusz symulacyjny mający na celu weryfikację działania przedstawionej metody lokalizacji

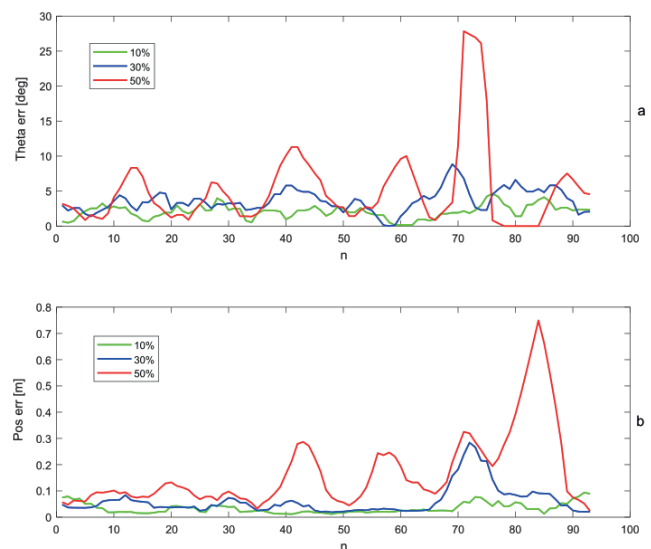
działania systemu. Rysunek 5a pokazuje wartość estymowanej orientacji platformy (niebieskie gwiazdki) względem wartości referencyjnej (czerwone krzyżyki). Jak widać metoda dosyć dobrze radzi sobie z wyznaczaniem orientacji platformy nawet w przypadku nie działania 10 procent znaczników RFID, co zostało zilustrowane na rysunku 5b przedstawiającym chwilowe błędy bezwzględne wyznaczonej orientacji. Podobnie dokładność wyznaczenia pozycji platformy, pomijając chwilowe odchyłki mieści się w akceptowalnym zakresie 0–10 [cm]. Warto zauważyć, że błąd lokalizacji przez większość czasu ruchu platformy jest mniejszy niż rozdzielczość zastosowanej matrycy RFID. Kolejnym etapem weryfikacji było sprawdzenie, jak opisywane podejście sprawdza się w przypadku postępujących uszkodzeń matrycy RFID. Zasymulowano działanie systemu w sytuacjach 10, 30 i 50 procentowego uszkodzenia elementów matrycy. Platforma poruszała się wzdłuż wcześniej opisanej ścieżki referencyjnej (rysunek 4). W celu zilustrowania wpływu degeneracji matrycy na działanie systemu wyznaczono średnie kroczące z oknem o rozmiarze 5 z zarejestrowanych wartości błędów orientacji i lokalizacji. Wyniki przedstawiono odpowiednio na rysunkach 6a i 6b. Widać na nich wzrost błędu wyznaczenia orientacji i lokalizacji platformy wraz z postępującą degeneracją matrycy, co jest raczej wnioskiem oczywistym. Zaskakujące jednak jest to, że metoda jest stosunkowo mało wrażliwa na tę degenerację infrastruktury. Nawet przy 50 procentowym uszkodzeniu matrycy otrzymane estymaty konfiguracji w wielu przypadkach mogłyby zostać uznane za dopuszczalne.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono koncepcję wyznaczania lokalizacji i orientacji platformy mobilnej przestrzeni dwuwymiarowej z wykorzystaniem technologii RFID. Zaproponowano wybrane konfiguracje montażu matrycy czytelników RFID na platformie mobilnej umożliwiające osiągnięcie jak najlep-



Rys. 5. Przebiegi czasowe wyznaczonych wartości orientacji (a); oraz błędów orientacji (b); i lokalizacji (c)



Rys. 6. Przebiegi średniej kroczącej błędów orientacji (a) oraz lokalizacji (b) otrzymane dla 10, 30 i 50 procentowej degeneracji matrycy RFID

szych estymat orientacji i położenia platformy. Przedyskutowano skuteczność i efektywność zaproponowanego podejścia w kilku wybranych wariantach konfiguracyjnych. Opracowany system poddano weryfikacji symulacyjnej mającej określić dokładność wyznaczania konfiguracji przestrzennej platformy. Ponadto ważnym celem tych badań było sprawdzenie wrażliwości metody na postępującą degenerację matrycy transponderów RFID. Celem tych prac była wstępna walidacja wybranej koncepcji lokalizacji obiektów wewnątrz interaktywnego trenażera strzeleckiego. Otrzymane rezultaty pokazały niezawodność metody oraz jej stosunkowo dużą dokładność oraz małą wrażliwość na degenerację infrastruktury lokalizacyjnej. To pozwoliło na pomyślnie wykorzystanie tej koncepcji w realizowanym projekcie. Praca finansowana z grantu Politechniki Śląskiej – subwencja na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego 2024/25.

Autorzy: Dr hab. inż. Krzysztof Skrzypczyk, dr inż. Damian Bereska, Katedra Automatyki i Robotyki, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Silesian University of technology, Akademicka 16, 44–100 Gliwice., krzysztof.skrzypczyk@polsl.pl, damian.bereska@polsl.pl

LITERATURA

- [1] Siwek M., Panasiuk J., Baranowski L., Kaczmarek W., Prusaczyk P., Borys S., Identification of differential drive robot dynamic model parameters, *Materials* 16 683. doi: 10.3390/ma16020683.
- [2] Misra P., Enge P.: *Global Positioning System. Signals, Measurements and Performance*. Ganga-Jamuna Press, USA MA, 2010, ISBN 978-0-97095442-8
- [3] Yang D., Xu B., Rao K. and Sheng W.: Passive Infrared (PIR) -Based Indoor Position Tracking for Smart Homes Using Accessibility Maps and A-Star Algorithm. *Sensors* 18 (2): 332, 2018, 1–12, doi: 10.3390/s18020332
- [4] Obeidat, H., Shuaieb, W., Obeidat, O. et al.: A Review of Indoor Localization Techniques and Wireless Technologies. *Wireless Personal Communication*, 119, 289–327 (2021)
- [5] Mimoun K-M., Ahriz I., Guillory J.: Evaluation and Improvement of Localization Algorithms Based on UWB Pozyx System. 2019 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), Split, 19–21 September 2019, <https://doi.org/10.23919/SOFTCOM.2019.8903742>
- [6] Lwowski J., Majumdar, A., et al.: HTC Vive Tracker. Accuracy for Indoor Localisation. *IEEE Systems Man and Cybernetics Magazine* October 2020, 15–22
- [7] Hossan, Md. T., Chowdhury M. Z., et al.: A Novel Indoor Mobile Localization System based on Optical Camera Communication. *Wireless Communications and Mobile Computing* 2018 (2), <https://doi.org/10.1155/2018/9353428>
- [8] Wada, N., Uchitomi, Y., Ota, T. Hori, K. Mutsuura, H. Okada: A Novel localization scheme for passive RFID tags. *Communication Range Recognition (CRR)*, IEEE International Conference on RFID, 2009.
- [9] Deyle T., Kemp, C. C., Reynolds M.: Probabilistic UHF RFID tag pose estimation with multiple antennas and a multipath RF propagation model, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 14 october 2008
- [10] Kalita W., Skoczylas M., Węglarski M.: The use of RFID Transponders Equipped with Built-in Sensors in Navigation Systems *Przegląd Elektrotechniczny* R. 89 NR 2b/2013, 2013