

Zastosowanie technologii ultra wideband w magazynie

Application of Ultra Wideband technology in warehouse

Przedsiębiorstwa stale dążą do maksymalizacji swoich zysków poszukując rozwiązań optymalizujących procesy logistyczne. Rosnąca konkurencja na rynku wymusza korzystanie z coraz to nowych rozwiązań technologicznych, które pozwalają nie tylko na śledzenie procesów w czasie rzeczywistym, ale również na zwiększenie ich produktywności. Zaletami zastosowania takich systemów są niewątpliwie: możliwość śledzenia ruchu pracowników czy towarów w czasie rzeczywistym oraz ich identyfikacja. W artykule opisano technologię Ultra Wideband (UWB), przedstawiono sposób wyznaczania pozycji w tym systemie oraz wskazano możliwość zastosowania omawianej technologii w magazynie.

Słowa kluczowe:

UWB, RTLS, optymalizacja, magazyn.

Enterprises are constantly pursuing to maximize their profits by looking for solutions that optimize logistics processes. Increasing competition on the market enforces the use of new technological solutions that allow not only to track processes in real time, but also to increase their productivity. The advantages of using such systems are undoubtedly: the ability to track the movement of employees or goods in real time and their identification. The article describes the Ultra Wideband technology, presents the method of determining the position in this system and indicates the possibility of applying the discussed technology in the warehouse.

Key words:

UWB, RTLS, optimization, warehouse.

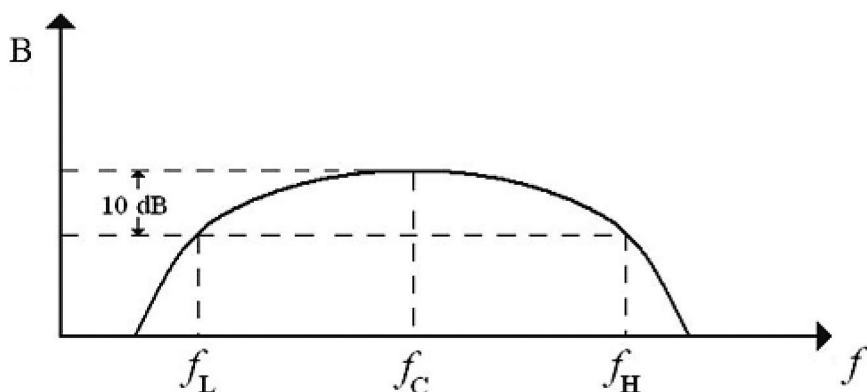
Wstęp

Przedsiębiorstwa logistyczne codziennie poszukują nowych rozwiązań, optymalizujących ponoszone przez nie koszty, przy jednoczesnej minimalizacji czasu realizacji zamówień. Optymalizacja oraz prawidłowe zarządzanie systemem logistycznym jest zatem kluczowym aspektem w konkurowaniu z najlepszymi. Osoby zarządzające zmagają się z ogromną ilością informacji, które nie zawsze w pełni są wykorzystywane (Kanicki, 2011). A to właśnie one często wpływają na efektywne gospodarowanie zapasami w magazynie. Niezbędne jest zatem, aby posiadały one informacje nie tylko o stanach magazynowych, ale także w jaki sposób i w jakim czasie są one pobierane z magazynu. Pozwoli to na skuteczne zarządzanie przepływem zasobów, jak i ludzi oraz na analizę poszczególnych etapów realizacji zamówienia (w celu wyeliminowania krytycznych punktów).

Obecnie stosowane systemy informatyczne WMS (ang. *Warehouse Management System*) wspomagają

organizację, zarządzanie oraz optymalizację pracy w magazynie, jednakże nie umożliwiają rejestracji danych w czasie rzeczywistym (Malinowska, Fajfer, 2011). Uzupełnieniem tego rozwiązania może zostać zastosowanie systemu lokalizacji RTLS (ang. *Real-Time Locating Systems*). System wyznaczania lokalizacji w czasie rzeczywistym daje możliwość znajomości dokładnego położenia np. wózków widłowych, pojazdów, czy też samych pracowników. Poprzez zgromadzenie danych możliwe jest dokonywanie analiz ruchu i identyfikacji wąskich gardeł w przepływie towarów. Wiedza ta umożliwi wyeliminowanie błędów, oszczędzając tym samym czas i fundusze przedsiębiorstwa.

Współczesne przedsiębiorstwa stosują szereg różnych technologii bezprzewodowych, m.in. RFID, Bluetooth, Wi-Fi, GPS, UWB (Ma, Liu, 2011). Główną cechą technologii pasywnej RFID jest najczęściej brak zasilania. Fakt ten mocno ogranicza zasięg takiego systemu do kilku metrów. Wspomniana technologia służy zatem do identyfikacji towarów,



Źródło: <https://slideplayer.com/slide/9083190/>

a nie do wyznaczania ich lokalizacji (Waśniewski, Kijek, Gizka, 2015). Mocno rozpowszechnionymi technologiami służącymi do bezprzewodowej lokalizacji w pomieszczeniach są: Wi-Fi oraz Bluetooth. Do ich głównych zalet można zaliczyć dostępność, niskie koszty, uniwersalność, jednak nie spełniają podstawowego wymagania systemu RTLS, jakim jest dokładność (3–5 m). Z kolei najbardziej uniwersalnym systemem spośród wszystkich wymienionych jest technologia GPS. Najważniejszymi zaletami tego rozwiązania są: łatwość w użyciu, dostępność, możliwość zwiększenia dokładności do kilku cm (DGNSS). Jednak pomimo licznych pozytywów, GPS jest całkowicie bezużyteczny w magazynach z uwagi na zanik sygnału w pomieszczeniach i terenie wysoko zabudowanym (<https://www.eliko.ee/track-assets-ultra-wideband-positioning/>, Alarifi, Al-Salman, Alsaleh, Alnafessah, Al-Hadhrami, Al-Ammar, Al-Khalifa, 2016).

Istnieje potrzeba odnalezienia systemu wyznaczania lokalizacji w przedsiębiorstwach z branży TSL, które spełni wymagania dotyczące dokładności i zasięgu pracy w magazynach. Rozwiązaniem takim może być zastosowanie systemów RTLS opartych na technologii UWB. W artykule została przedstawiona zasada działania systemu oraz na podstawie danych technicznych wybranego przemysłowego układu lokalizacji UWB (zasięg działania, dokładność, częstotliwość próbkowania itp.) stworzono numeryczny model wymienionego systemu. Z uwagi na występującą w zamkniętych pomieszczeniach (magazynach zamkniętych) możliwość odbicia sygnałów radiowych i wszystkich innych niekorzystnych dla układów bezprzewodowych zjawisk, do omawianego modelu dodano zakłócenia parametryczne symulujące warunki quasi-rzeczywistych.

Technologia Ultra Wideband (UWB)

UWB jest jedną z technologii bezprzewodowej transmisji danych. Zgodnie z definicją FCC sygnał radiowy, którego zajmowane 10 dB pasmo jest większe od 20% częstotliwości środkowej lub szerokość bezwzględna pasma jest większa od 500 MHz, nazywamy sygnałem ultraszerokopasmowym (rys. 1). Cechą charakterystyczną omawianej techniki jest to, iż sygnał jest emitowany w szerokim paśmie częstotliwości w przeciwieństwie do wąskopasmowych systemów radiokomunikacyjnych, tj. GSM, WiFi, Bluetooth. Wspomniane szerokie spektrum częstotliwości uzyskuje się poprzez generację impulsów o bardzo krótkim czasie trwania rzędu dziesiątek pikosekund ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$), które następnie poprzez odpowiednią modulację stają się nośnikiem informacji (Typiak, Rykała, Typiak, in review).

Maksymalna prędkość transmisji wynosi aż kilka Gbps (gigabitów na sekundę) na niewielkich odległościach do 10 m. Technologia dodatkowo charakteryzuje się niską mocą, co eliminuje interferencje z innymi systemami radiokomunikacyjnymi. Występujące w sygnale niskie komponenty częstotliwościowe umożliwiają sygnałom propagację poprzez materiały, tj. cegły czy cement. Dla systemów UWB energia rozprzestrzenia się w szerokim paśmie częstotliwości i z niską widmową gęstością mocy. Z kolei poprzez możliwość ograniczenia widmowej gęstości mocy można ograniczyć również interferencje z wąskopasmowymi sygnałami zajmującymi dane pasmo widma. To sprawia, że UWB (rys. 2) znajduje szczególne zastosowanie w aplikacjach wewnątrz pomieszczeń, gdzie możliwość odbicia sygnału jest duża (Typiak, Rykała, Typiak, in review).

Rysunek 2

Przykład układu UWB firmy DECAWAVE



Źródło: <https://www.decawave.com/>.

Transmitery i odbiorniki UWB (rys. 3) nie potrzebują kosztownych i dużych komponentów, takich jak modulatory czy demodulatory. Ten fakt prowadzi do redukcji kosztów, wymiarów, wagi oraz zużycia mocy przez systemy UWB w porównaniu do konwencjonalnych wąskopasmowych systemów komunikacyjnych (Typiak, Rykała, Typiak, in review).

W celu ukazania najważniejszych parametrów technicznych układów UWB, przedstawiono dane techniczne rozwiązania firmy POZYX (rys. 3):

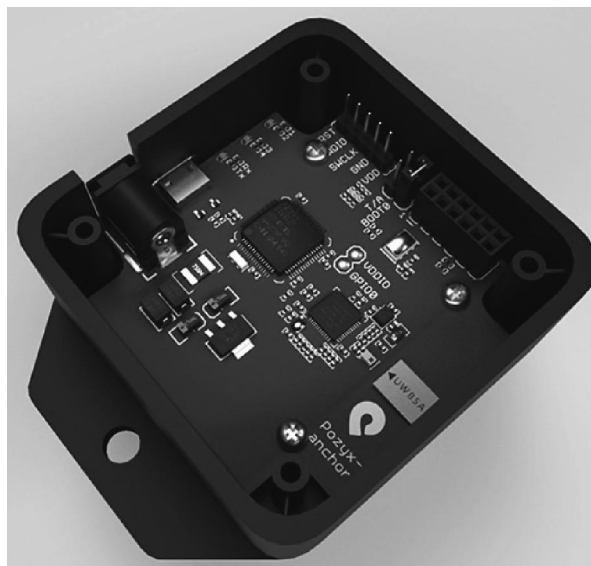
- dokładność lokalizacji: 10 cm,
- efektywny zasięg działania: 30 m (max. 100 m),
- zakres częstotliwości: 3,5–6,5 GHz,
- maksymalna prędkość transmisji danych: 6,8 Mbps,
- maksymalna częstotliwość próbkowania: 140 Hz,
- zasilanie: bateria lub złącze USB (wbudowany regulator 3,3 V),
- rozmiar tagu: 6 cm x 5,3 cm,
- ciężar tagu: 12 g.

UWB — przetwarzanie sygnału

Najczęściej stosowanymi metodami określania pozycji są: triangulacja oraz trilateracja. Triangulacja polega na wyznaczaniu współrzędnych punktów na podstawie trzech zmierzonych kątów, natomiast trilateracja na podstawie trzech zmierzonych długości odcinków. Stosuje się również pojęcie multilateracji, które jest rozwinięciem techniki trilateracji w przy-

Rysunek 3

Kotwica UWB POZYX w obudowie



Źródło: <https://www.pozyx.io/>.

padku występowania większej liczby dostępnych pomiarowo odcinków.

W celu przeprowadzenia badań numerycznych wyznaczania lokalizacji tagu za pomocą technologii UWB należy przyjąć założenia wstępne. W związku z powyższym w analizowanym przypadku zakładamy istnienie $n(n > 3)$ odbiorników UWB, tzw. kotwicy (ang. *anchors*) oraz jednego nadajnika UWB, tzw. tagu. Następnie przyjęto, iż każdy z wymienionych elementów jest umiejscowiony w przestrzeni trójwymiarowej xyz w następujących punktach:

- nadajnik (tag): $N(x_N, y_N, z_N)$,
- odbiornik (kotwica) nr i ($i = 1, 2, \dots, n$): $O_i(a_i, b_i, c_i)$.

Odległości pomiędzy tagiem a każdą z wymienionych kotwic można zapisać w następujący sposób:

$$d_i^2 = (x_N - a_i)^2 + (y_N - b_i)^2 + (z_N - c_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

d_i — odległość od i -tej kotwicy do tagu, $i = 1, 2, \dots, n$.

Dalsze przetwarzanie nieliniowych zależności wymaga stosowania rozbudowanego aparatu matematycznego, dlatego w celu zlinearyzowania omawianej zależności (1) należy przyjąć kotwicę referencyjną, którą w analizowanym przypadku jest kotwica nr 1. Kolejną czynnością jest określenie następujących różnic:

$$d_1^2 - d_k^2 = 2x_N(a_k - a_1) + 2y_N(b_k - b_1) + 2z_N(c_k - c_1) + e_1 - e_k \quad (2)$$

gdzie:

$$e_1 = a_1^2 + b_1^2 + c_1^2,$$

$$e_k = a_k^2 + b_k^2 + c_k^2, k = 2, 3, \dots, n - 1.$$

Zapis (2) można uprościć i zapisać w następującej macierzowej postaci:

$$C_N = A_N B_N \quad (3)$$

gdzie:

$$\blacksquare C_N = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_2^2 - e_1 + e_2 \\ d_1^2 - d_3^2 - e_1 + e_3 \\ d_1^2 - d_4^2 - e_1 + e_4 \\ \dots \\ d_1^2 - d_n^2 - e_1 + e_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\blacksquare A_N = \begin{bmatrix} 2(a_2 - a_1) & 2(b_2 - b_1) & 2(c_2 - c_1) \\ 2(a_3 - a_1) & 2(b_3 - b_1) & 2(c_3 - c_1) \\ 2(a_4 - a_1) & 2(b_4 - b_1) & 2(c_4 - c_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ 2(a_n - a_1) & 2(b_n - b_1) & 2(c_n - c_1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\blacksquare B_N = \begin{bmatrix} x_N \\ y_N \\ z_N \end{bmatrix} \quad (6)$$

W celu określenia pozycji tagu $N(x_N, y_N, z_N)$ należy wykonać następujące przekształcenie macierzowe:

$$B_N = A_N^{-1} C_N \quad (7)$$

Wyznacznik macierzy A_N musi być niezerowy, aby wspomniane przekształcenie było wykonalne:

$$\det(A_N) \neq 0 \quad (8)$$

W przypadku, w którym liczba kotwic $n > 4$, to pozycje tagu można wyznaczyć w analogiczny sposób, korzystając z metody najmniejszych kwadratów:

$$B_N = (A_N^T A_N)^{-1} A_N^T C_N \quad (9)$$

Dokładność pozycjonowania zwiększa się wraz ze wzrostem liczby nadmiarowych kotwic ($n > 4$).

Wyprowadzone zależności posłużyły do przeprowadzenia symulacji numerycznej wyznaczania lokalizacji tagu UWB w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (pomiaru odległości czujników UWB podlegają zakłóceniu) w magazynie.

Badania numeryczne

Symulacja numeryczna przedstawia wyniki trójwymiarowej lokalizacji tagu przyklejonego do ubrania

pracownika technicznego przemieszczającego się po magazynie (rys. 4, 5) o rozmiarach 20 m x 20 m x 10 m ze stałą prędkością $v = 2$ m/s.

W symulacji ruchu pracownika uwzględniono również oscylacyjny ruch jego środka masy w osi pionowej. Kotwice rozmieszczono zgodnie z rysunkiem 7 w następujących punktach:

- $O_1(x, y, z) = (0, 0, 10 \text{ m})$
- $O_2(x, y, z) = (20 \text{ m}, 0, 5 \text{ m})$
- $O_3(x, y, z) = (20 \text{ m}, 20 \text{ m}, 10 \text{ m})$
- $O_4(x, y, z) = (0, 20 \text{ m}, 5 \text{ m})$

Dodatkowo przyjęto, iż czas trwania symulacji to 40 s. Oznacza to, iż pracownik przez około 20 s porusza się wewnątrz magazynu, natomiast przez resztę czasu trwania symulacji oddala się od niego. W symulacji pominięto dominujący wpływ tłumienia sygnału po opuszczeniu powierzchni hali.

Rozmieszczenie kotwic wymaga, aby nie leżały na jednej płaszczyźnie ($\det(A_N) \neq 0$) i zapewniały możliwie największy „kąt widzenia” tagu (powinny być rozlokowane możliwie najszerzej oraz na możliwie najwyższych punktach obserwacyjnych). Wobec powyższego rozmieszczenie odbiorników na krańcach magazynu (rys. 7) oraz założenie odnośnie do miejsca występowania tagu, tzn. wewnątrz magazynu, umożliwia dokonanie lokalizacji tagu z dużą dokładnością.

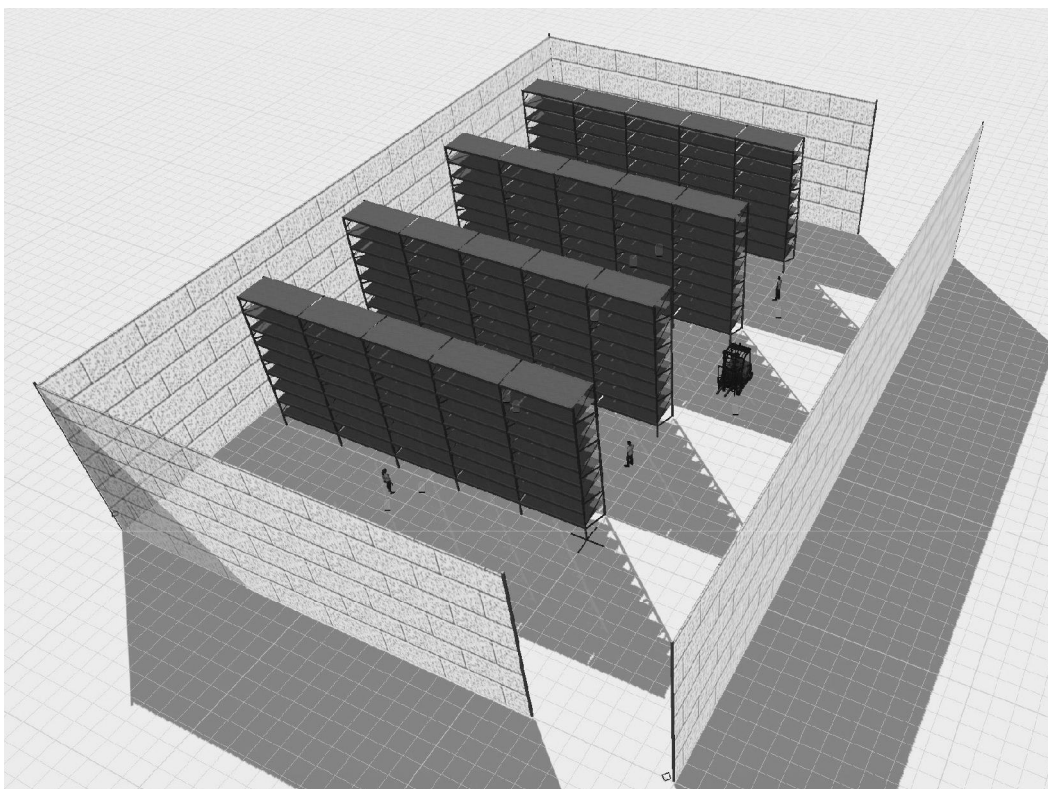
Przeprowadzona symulacja ruchu ma charakter uniwersalny. Ruch może dotyczyć nie tylko pracowników, ale także wszelkich poruszających się obiektów występujących w magazynie, np. wózków widłowych (rys. 4, 5).

Na rysunku 6 przedstawiono przebiegi odległości mierzone przez poszczególne kotwice UWB. Zmienne d_{iw} ($i = 1, 2, 3, 4$) opisują przebiegi zadane, idealne (kolor czarny), natomiast d_{iz} ($i = 1, 2, 3, 4$) obrazują przebiegi zakłócone szumem parametrycznym, charakteryzującym się losowymi wartościami z zakresu $(-0,2 \text{ m}, 0,2 \text{ m})$.

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki działania algorytmu lokalizacji w przestrzeni trójwymiarowej xyz (3D), natomiast rysunek 8 obrazuje to w układzie płaskim xy (2D). Przedstawiono na nim zadane położenie operatora, położenie pracownika określone za pomocą technologii UWB. Dodatkowo oznaczono miejsce rozmieszczenia kotwic: O_1, O_2, O_3, O_4 .

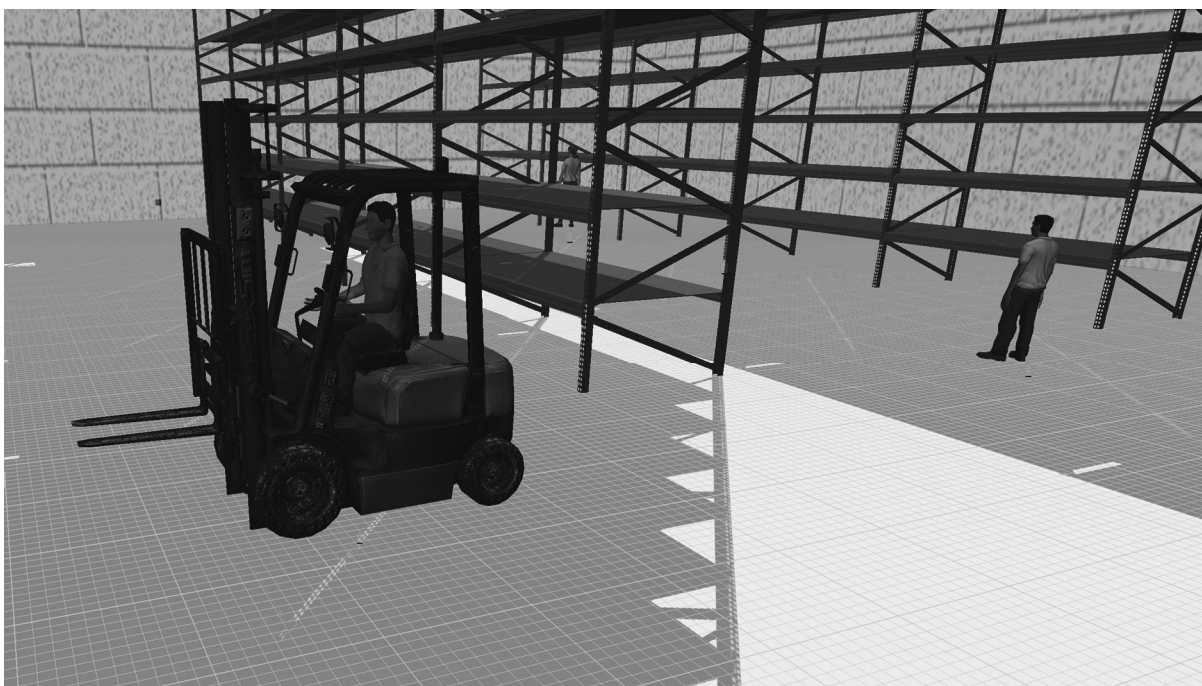
Histogramy przedstawione na rysunku 9 opisują rozkłady poszczególnych zakłóceń: $z_1(t), z_2(t), z_3(t), z_4(t)$ oddziałujących na czujniki UWB. Wspomniany szum pomiarowy zaburza pomiar lokalizacji i prowadzi do powstania błędów wyznaczania pozycji tagu (rys. 10). Na wszystkich przebiegach przedstawionych na rysunku 10 (szczególnie na wykresie błędu całkowitego $e_c(t)$) wyraźnie widać zwiększającą się amplitudę błędów po ok. 10 s trwania symulacji (wyjście pracownika z powierzchni magazynu).

Rysunek 4
Poglądowy rzut przykładowego modelu CAD magazynu



Źródło: opracowanie własne.

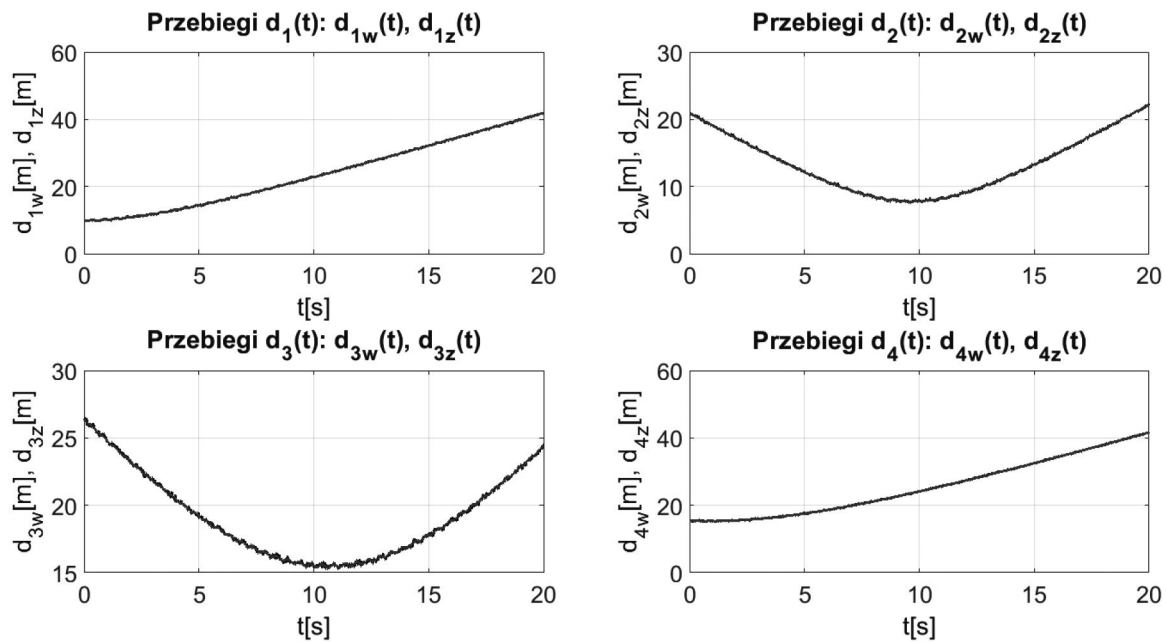
Rysunek 5
Wnętrze przykładowego modelu CAD magazynu



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 6

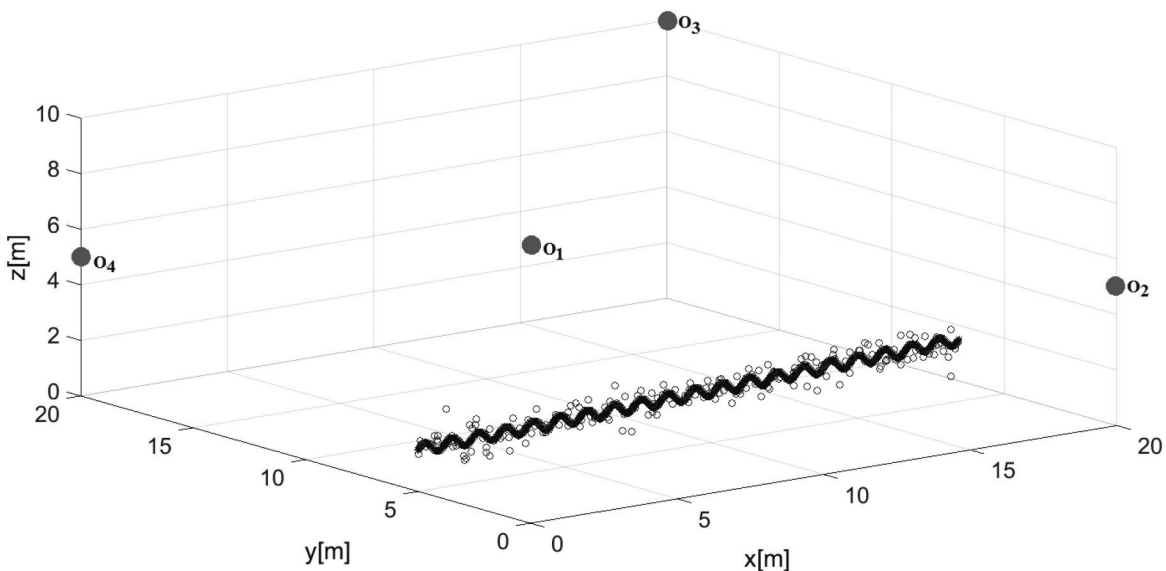
Przebiegi odległości d_i ($i=1,2,3,4$) od i -tej kotwicy do tagu



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 7

Wyniki lokalizacji tagu w trójwymiarowym układzie współrzędnych

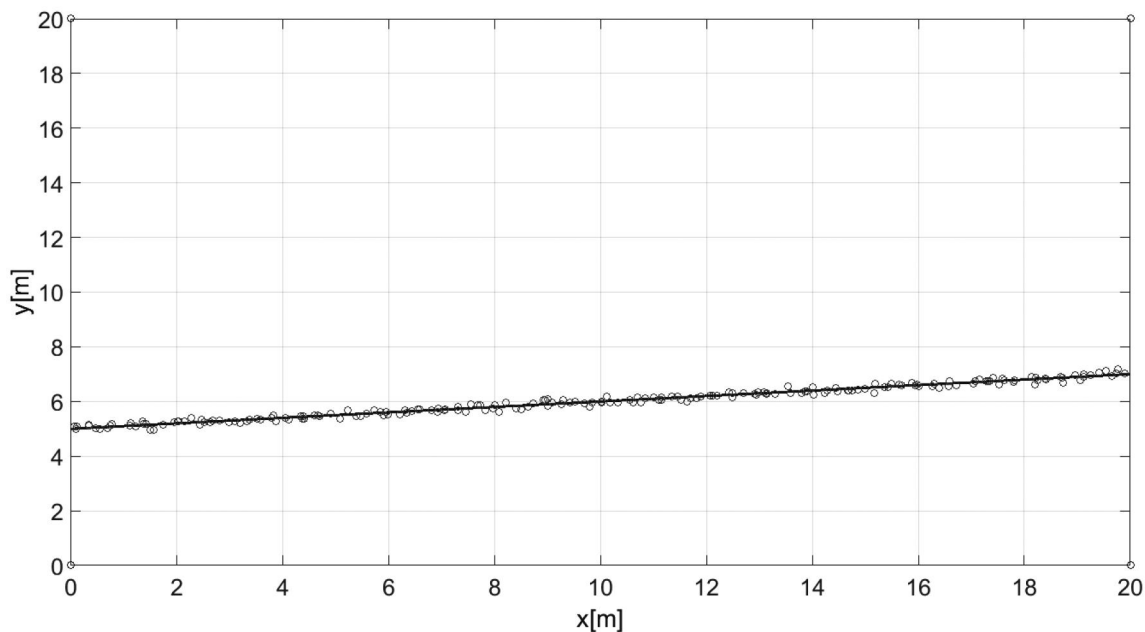


Źródło: opracowanie własne.

Z kolei na rysunku 11 przedstawiono histogram błędów lokalizacji oraz wykres słupkowy błędu średniokwadratowego (RMS) w odniesieniu do poszczególnych osi układu współrzędnych x , y ,

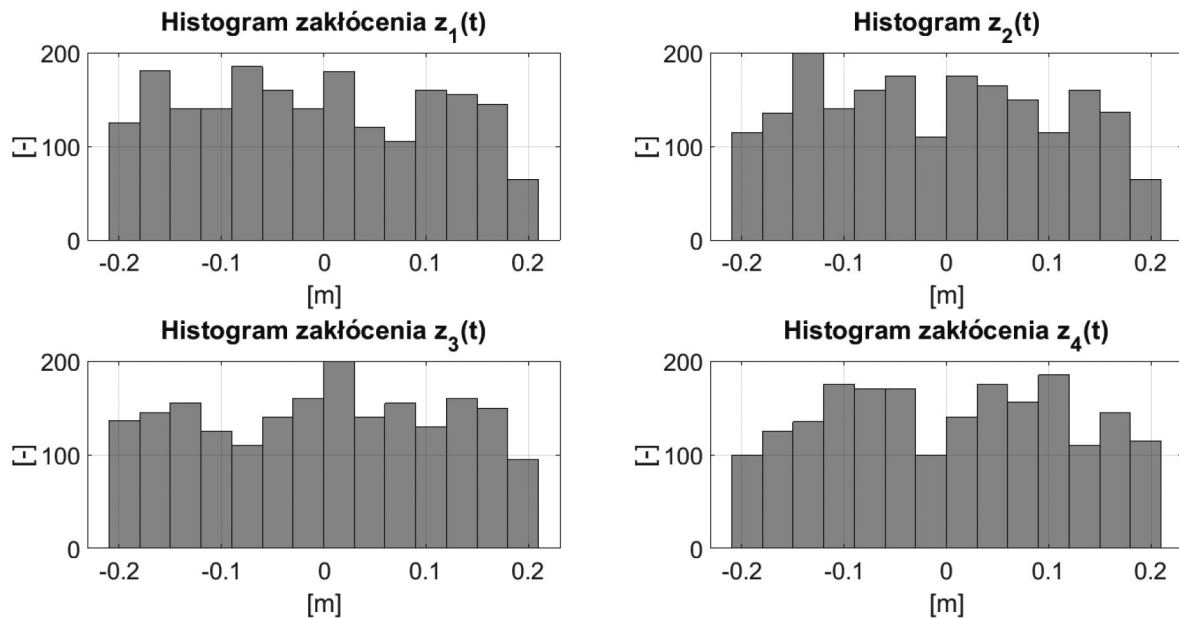
z . Największe błędy dotyczą lokalizacji w osi z z układu współrzędnych, głównie z uwagi na nieliniowy (sinusoidalny) ruch pracownika w omawianej osi.

Rysunek 8
Wyniki lokalizacji tagu w rzucie na osie xy układu współrzędnych



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 9
Histogramy zakłóceń poszczególnych kotwic: z_1, z_2, z_3, z_4



Źródło: opracowanie własne.

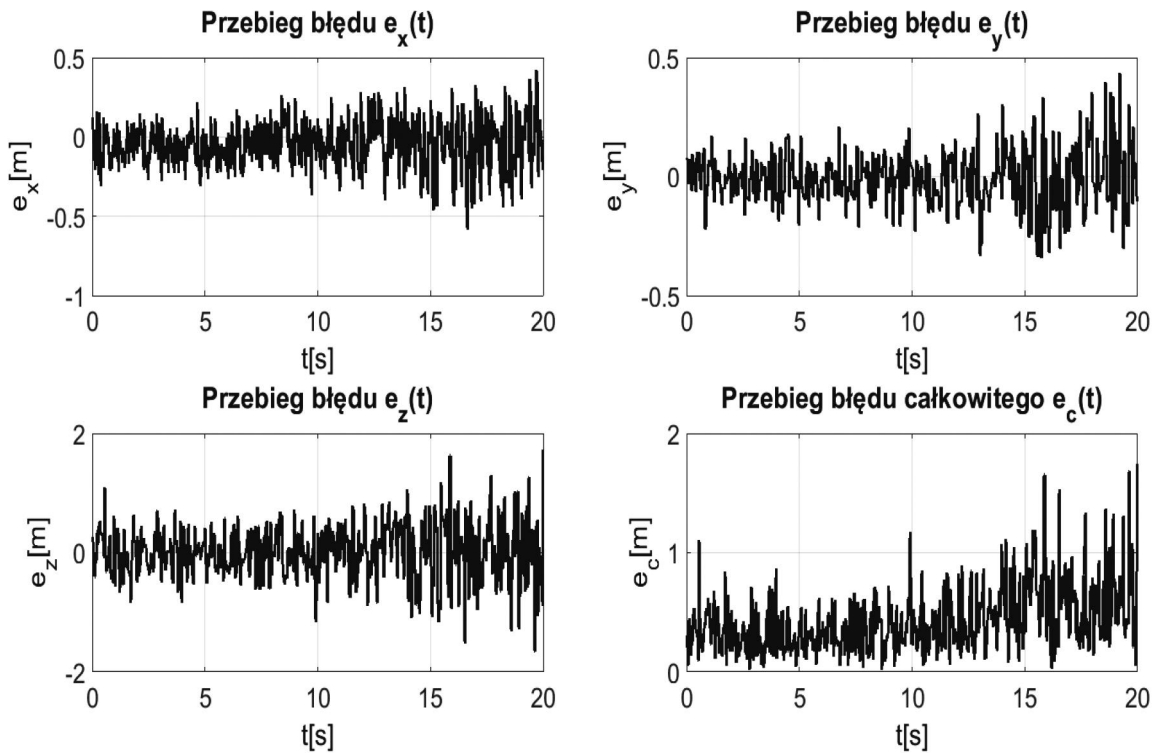
Zastosowanie

Jednym z rozwiązań odnośnie do lokalizacji towaru w magazynach jest śledzenie każdego przedmiotu osobno. Jednakże takie rozwiązanie wymaga stosowania

wielkiej liczby tagów i końcowo może zlikwidować wszystkie korzyści, jakie generuje RTLS. Kolejnym problemem jest często trudność w znalezieniu optymalnego miejsca mocowania tagu na palecie. Znacznie lepszym rozwiązaniem jest śledzenie położenia

Rysunek 10

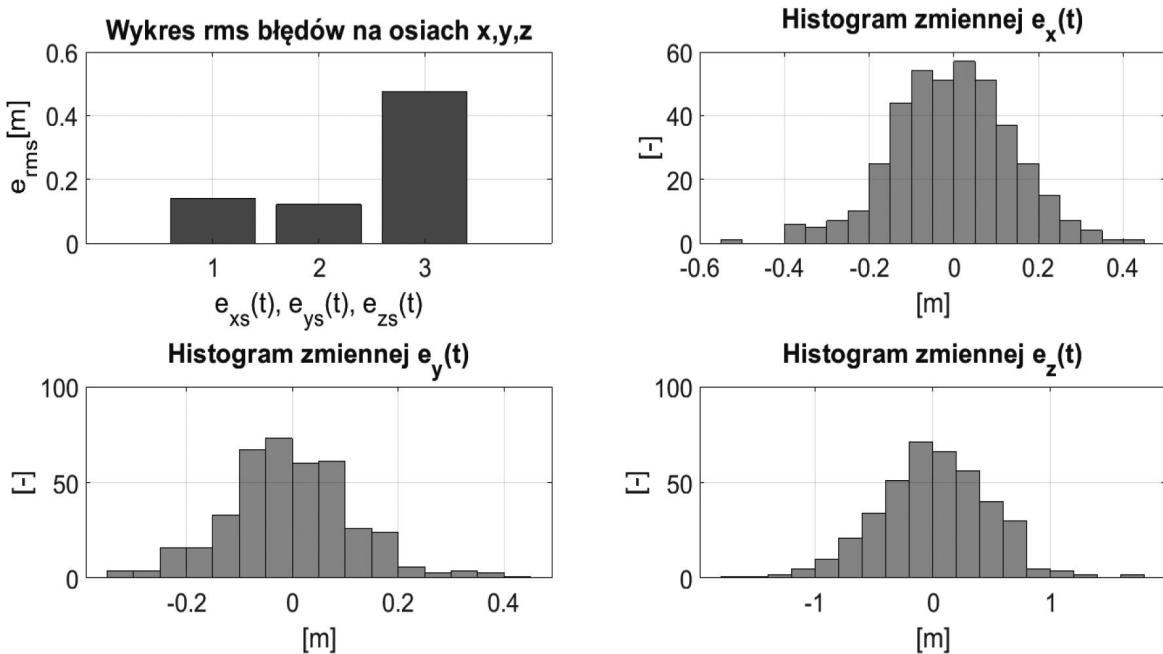
Przebiegi błędów lokalizacji: $e_x(t)$, $e_y(t)$, $e_z(t)$, $e_c(t)$



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 11

Histogramy błędów lokalizacji na osie układu współrzędnych: $e_x(t)$, $e_y(t)$, $e_z(t)$ oraz wykres słupkowy błędu średniokwadratowego (rms) przypadającego na wymienione osie xyz



Źródło: opracowanie własne.

zenia urządzeń transportowych, takich jak wózki widłowe czy wózki paletowe. Znając ich lokalizację oraz śledząc ruchy, można zidentyfikować każdą akcję podniesienia i upuszczenia palety (<https://www.eliko.ee/track-assets-ultra-wideband-positioning/>).

Identyfikacja palety, którą podnosi wózek widłowy, może zostać dokonana np. za pomocą kodów kreskowych. Po opuszczeniu palety przez wózek widłowy w nowym miejscu, RTLS przekazuje tę nową lokalizację do WMS. Omawiany system zapisuje to miejsce jako lokalizację palety (dopóki nie zostanie ponownie przemieszczona). Następnie dokonywana jest integracja tych danych z WMS, co skutkuje tym, że zarówno lokalizacja palety oraz czas jej dostarczenia stają się widoczne dla osób zarządzających.

Zalety rozwiązania:

- możliwość monitorowania zasobów, ruchów pracowników i wózków widłowych w czasie rzeczywistym,
- brak konieczności śledzenia każdej palety oraz wyposażania ich w tagi UWB,
- brak konieczności skanowania etykiet towarów,
- eliminacja błędów operatora,
- eliminacja problemów typu: „szukaj i znajdź” oraz „idź i zobacz”,
- zwiększenie wydajności i lepsze wykorzystanie powierzchni magazynowej.
- monitorowanie emisji spalania i zużycia energii przez poszczególne elementy wyposażenia magazynu,
- zwiększone bezpieczeństwo pracy i zmniejszenie ryzyka wypadków przy pracy,
- zapewnienie przejrzystości w systemie zarządzania magazynem.

Podsumowanie

Efektywne gospodarowanie zapasami w przedsiębiorstwie generuje niższe koszty, powodując jednocześnie, iż cały system działa wydajnie. Kluczem do usprawniania systemów jest indywidualne dostosowanie

infrastruktury do potrzeb i zasobów konkretnego przedsiębiorstwa. W zależności bowiem od rodzaju przechowywanych towarów różnią się chociażby sposoby ich przechowywania. Wykorzystywanie nowoczesnych technologii wspomaga funkcjonowanie pracy w magazynie (np. radiowa identyfikacja przepływu towarów). Wprowadzając zmiany osoby zarządzające powinny przeprowadzić analizę procesów logistycznych nie tylko pod kątem zysków i strat, ale także uwzględniając: podwyższenie jakości świadczonych usług, dbałość o ochronę środowiska, czy też o zwiększanie bezpieczeństwa pracy dla swoich pracowników.

Rozwój technologiczny (szybsze sieci bezprzewodowe) i spadające ceny urządzeń (czujników itp.) umożliwiają wzrost możliwości przetwarzania danych, a tym samym automatyzacji niektórych zadań logistycznych i utworzenia inteligentnych systemów zarządzania. Obecnie taką rolę może pełnić Internet of Things, który jest przełomowym trendem w branży logistycznej. Prognozuje się, iż do 2020 roku światowy wolumen danych wzrośnie do 44 miliardów GB (o 10 razy więcej niż obecnie). Staną się one najważniejszym aspektem w branży, dzięki nim bowiem przedsiębiorstwa mogą osiągnąć długoterminowy sukces (Szłapka, Lubiński, 2016).

Zastosowanie RTLS z pozycjonowaniem w pomieszczeniach za pomocą technologii UWB pozwoli na racjonalny przepływ procesów logistycznych. Przedsiębiorstwa dzięki wykorzystaniu m.in. funkcji nawigacji i śledzenia, będą mogły stale monitorować obiekty. Wiedza ta umożliwi minimalizację czasu niezbędnego do odnalezienia odpowiedniej palety z towarem, optymalizację tras czy też zwiększenie bezpieczeństwa i zmniejszenie ryzyka wypadków przy pracy. Ponadto zgromadzone dane pozwolą na określenie statystyk wykorzystania infrastruktury (np. wydajności poszczególnych wózków widłowych), a także na dynamiczne optymalizowanie strefy kompletacji (dane przedstawiające zagęszczenie ruchu przez pracowników).

Bibliografia

- Alarifi A., Al-Salman A., Alsaleh M., Alnafessah A., Al-Hadhrami S., Al-Ammar M.A., Al-Khalifa H.S. (2016). Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*, 16 (5), 707.
- Kanicki T. (2011). Systemy informatyczne w logistyce. *Ekonomia i Zarządzanie*, 3 (4), 87–97.
- Ma X., Liu T. (2011). *The application of Wi-Fi RTLS in automatic warehouse management system*. In Automation and Logistics (ICAL), 2011 IEEE International Conference on (pp. 64–69). IEEE.
- Malanowska I., Fajfer P. (2011). Zastosowanie nowoczesnych technologii dla zwiększenia efektywności zarządzania magazynem. *e-mentor*, (2), 84–89.
- Szłapka J.O., Lubiński, P. (2016). *New Technology Trends and Solutions in Logistics and Their Impact on Processes*. DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science, (icss).
- Typiak A., Rykała Ł., Typiak R. *Location detection of a static object using UWB technology*. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing (in review).
- Waśniewski T. R., Kijek M., Gizka E. (2015). Sieciowe zastosowanie RFID w procesie produkcji. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (5), 792–808.
- <https://www.decawave.com/> (1.09.2018).
- <https://www.eliko.ee/track-assets-ultra-wideband-positioning/> (1.09.2018).
- <https://www.pozyx.io/> (1.09.2018).