POLITECHNIKA GDAŃSKA

JAROSŁAW SADOWSKI

BADANIE I ANALIZA SYSTEMÓW RADIOLOKALIZACYJNYCH DO ZASTOSOWAŃ SPECJALNYCH

GDAŃSK 2018

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
Janusz T. Cieśliński

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH
Michał Szydłowski

REDAKTOR SERII
Ryszard Katulski

RECENZENCI
Marek Suchański
Ryszard J. Zieliński

REDAKTOR JĘZYKOWY
Agnieszka Frankiewicz

PROJEKT OKŁADKI
Jolanta Cieślawska

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
www.pg.edu.pl/wydawnictwo/katalog
zamówienia prosimy kierować na adres wydaw@pg.edu.pl

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiejkolwiek formie
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2018

ISBN 978-83-7348-745-1

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 21,7, ark. druku 19,5, 173/1011

Druk i oprawa: Volumina.pl Daniel Krzanowski
ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW 7

1. WSTĘP 15
1.1. Motywacja i cele pracy 17
1.2. Układ i zakres monografii 21

2. PODSTAWY FUNKCJONOWANIA I PARAMETRY SYSTEMÓW RADIONAWIGACYJNYCH I RADIOLOKALIZACYJNYCH 23

2.1. Klasyfikacja radiowych systemów określania położenia 24
2.2. Radiolokalizacja na bazie zależności geometrycznych 28
2.2.1. Systemy kątowe 30
2.2.1.1. AOA 31
2.2.1.2. ADOA 32
2.2.2. Systemy stadiometryczne 33
2.2.2.1. RSS 35
2.2.2.2. TOA 37
2.2.2.3. TWR 39
2.2.3. Systemy hiperboliczne (TDOA) 42
2.2.4. Systemy dopplerowskie 49
2.3. Algorytmy obliczania położenia lokalizowanego obiektu 51
2.3.1. Algorytmy iteracyjne 52
2.3.1.1. Algorytm Foya 53
2.3.1.2. Algorytm gradientowy 58
2.3.1.3. Algorytm genetyczny 59
2.3.2. Algorytmy nieiteracyjne 61
2.3.2.1. Algorytm Chana 63
2.3.2.2. Algorytm Smitha–Abela 68
2.3.2.3. Algorytm Fanga 70
2.3.2.4. Algorytm Buchera–Misry 72
2.4. Estymacja prędkości ruchu obiektu metodą różnic częstotliwości dopplerowskich 73
2.5. Filtracja i integracja danych pozycyjnych w filtrze Kalmana 77
2.5.1. Metody przetwarzania danych pozycyjnych 77
2.5.2. Liniowy filtr Kalmana 80
2.5.3. Filtr Kalmana dla systemów nieliniowych 81

2.6. Ocena dokładności określania położenia ... 83
2.6.1. Źródła błędów w systemach radiolokalizacyjnych ... 84
2.6.2. Ocena parametrów jakościowych systemu radiolokalizacyjnego ... 88
2.6.2.1. Błędy i niepewność pomiarów bezpośrednich i pośrednich ... 88
2.6.2.2. Miary jakości estymacji położenia ... 90
2.6.2.3. Parametry użytkowe systemów lokalizacyjnych ... 96
2.6.3. Propagacja błędów pomiarowych na wynik estymacji położenia ... 99

3. ASYNCHRONICZNY SYSTEM RADIOLOKALIZACYJNY ŚREDNIEGO ZASIĘGU W TECHNICE DS-CDMA ... 105

3.1. Asynchroniczny system radiolokalizacyjny Aegir ... 105
3.1.1. Koncepcja asynchronicznej pracy systemu radiolokalizacyjnego ... 106
3.1.2. Budowa elementów systemu Aegir ... 110
3.1.3. Struktura sygnałów lokalizacyjnych ... 113
3.1.4. Parametry użytkowe demonstratora technologicznego systemu Aegir ... 116
3.2. Modyfikacje systemu ... 118
3.2.1. Poprawa rozdzielczości pomiaru czasu nadejścia sygnałów w odbiorniku DS-CDMA ... 118
3.2.2. Modelowanie różnic w taktowaniu stacji bazowych ... 129
3.2.3. Detekcja łączna sygnałów DS-CDMA ... 133
3.2.4. Estymacja prędkości ruchu odbiornika lokalizacyjnego ... 138
3.2.5. Redukcja wpływu interferencji własnych systemu na estymację parametrów ruchu odbiornika ... 143
3.2.6. Detekcja czasu nadejścia sygnału w warunkach propagacji wielodrogowej ... 152
3.3. Parametry użytkowe zmodyfikowanego systemu Aegir ... 159

4. SYSTEM RADIOLOKALIZACJI FAZOWEJ W PAŚMIE FAL ŚREDNICH ... 162
4.1. Koncepcja budowy i struktura asynchronicznego systemu radiolokalizacji fazowej ... 163
4.1.1. Organizacja transmisji sygnałów lokalizacyjnych ... 167
4.1.2. Organizacja komunikacji i pomiarów w systemie synchronicznym ... 170
4.1.3. Organizacja komunikacji i pomiarów w systemie asynchronicznym ... 172
4.1.4. Pomiar parametrów sygnałów lokalizacyjnych ... 174
4.2. Przetwarzanie i integracja danych pomiarowych ... 177
4.3. Prototyp laboratoryjny ... 189
4.3.1. Nadajniki ... 190
4.3.2. Odbiorniki ... 193
4.4. Testy laboratoryjne ... 195
4.4.1. Stanowisko testowe ... 195
4.4.2. Miary oceny funkcjonowania systemu radiolokalizacyjnego ... 198

4.4.3. System z synchronizacją zewnętrzną ... 200
4.4.3.1. Oddzielne taktowanie nadajników ... 200
4.4.3.2. Wspólne taktowanie nadajników z jednego generatora ... 203
4.4.3.3. Praca jednoczęstotliwościowa ... 205
4.4.3.4. Zmienne opóźnienia sygnałów lokalizacyjnych ... 206
4.4.4. System synchroniczny ... 207
4.4.5. System asynchroniczny ... 209
4.4.6. Czas uruchamiania systemu ... 211
4.4.6.1. Czas akwizycji danych i pomiarów w odbiorniku lokalizacyjnym ... 212
4.4.6.2. Czas uruchamiania nadajników w systemie synchronicznym ... 213
4.4.6.3. Czas uruchamiania nadajników w systemie asynchronicznym ... 215
4.5. Wytyczne do budowy systemu w wersji wdrożeniowej ... 216

5. SYSTEMY RADIOLOKALIZACYJNE W ŚRODOWISKACH WEWNĄTRZBUDYNKOWYCH ... 220

5.1. Specyfika radiolokalizacji w środowiskach zamkniętych ... 220
5.2. System automatycznej lokalizacji osób do zastosowań specjalnych ... 222
5.2.1. Założenia ... 222
5.2.2. Struktura systemu i budowa elementów składowych ... 224
5.2.3. Estymacja położenia ... 230
5.2.3.1.Pomiary odległości przy użyciu modemów NA5TR1 ... 230
5.2.3.2. Pomiary wysokości metodą barometryczną ... 236
5.2.3.3. Obliczanie położenia na podstawie wyników pomiarów odległości w środowisku wewnątrzbudynkowym ... 238
5.2.4. Testy w warunkach rzeczywistych ... 243
5.2.5. Wnioski ... 251
5.3. System i urządzenia do zdalnego monitoringu położenia osób w środowiskach zamkniętych ... 251
5.3.1. Założenia ... 252
5.3.2. Struktura systemu i budowa elementów składowych ... 254
5.3.3. Estymacja położenia ... 266
5.3.3.1. Radiowe pomiary odległości ... 268
5.3.3.2. Estymacja przemieszczenia metodą inercyjną ... 269
5.3.3.3. Integracja danych inercyjnych i wysokości z czujnika barometrycznego ... 275
5.3.3.4. Integracja przemieszczenia z wynikami radiowych pomiarów odległości ... 276
5.3.3.5. Korekcja tras z uwzględnieniem planów pomieszczeń ... 278
5.3.4. Testy w warunkach rzeczywistych ... 285
5.3.5. Wnioski ... 291

6. PODSUMOWANIE 293

6.1. Oryginalne osiągnięcia pracy 294
6.2. Kierunki dalszych badań 296

BIBLIOGRAFIA 299

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW

Oznaczenia

a, b – półosie elipsy błędów
$\mathbf{a_c}$ – wektor przyspieszeń w globalnym układzie odniesienia
a_h, b_h, c_h – parametry hiperboli
a_n, b_n – parametry liniowego modelu aproksymacji faz sygnałów n-tej stacji bazowej
a_x, a_y, a_z – składowe przyspieszeń w kartezjańskim układzie współrzędnych
a_x', a_y', a_z' – składowe przyspieszeń po usunięciu przyspieszenia grawitacyjnego
A_{BM}, …, O_{BM} – zmienne pomocnicze algorytmu Buchera–Misry
$\mathbf{A}$ – macierz przejścia filtru Kalmana, macierz powiązania pomiarów ze współrzędnymi w algorytmie Foya
$\mathbf{A_{srp}}$ – macierz przejścia filtru integrującego dane inercyjne i radiowe
$\mathbf{A_{wys}}$ – macierz przejścia filtru integrującego dane o wysokości
$b_n[k]$ – zawartość informacyjna k-tego bitu w sygnale n-tej stacji bazowej
$\mathbf{B}$, $\mathbf{B}'$,$\mathbf{B}''$ – macierze odległości rzeczywistych w algorytmie Chana
c – prędkość propagacji fali elektromagnetycznej w próżni
c_n' – pomocnicze ciągi rozpraszające do analizy interferencji między sygnałami różnych stacji bazowych
c_n^{PDL}, c_n^{DDL} – ciągi rozpraszające depeszy PDL i DDL w n-tej stacji bazowej
d – odległość
d, e, f, g, h – zmienne pomocnicze algorytmu Fanga
d_0 – odległość odniesienia
dc_{mn} – przesunięcie czasowe początku symbolu w sygnale z m-tej i n-tej stacji bazowej
df – odchyłka częstotliwości
d_h – szerokość pasa w systemie hiperbolicznym
d_i – minimalna odległość i-tego punktu pomiarowego od całej trasy wzorcowej
d_k – odległość punktu od k-tego odcinka trasy wzorcowej
d_{mn} – różnica odległości od m-tej i n-tej stacji bazowej
d_n – odległość punktu pomiaru od n-tej stacji bazowej
d_s – szerokość pasa w systemie stadiometrycznym
$\mathbf{d}$ – wektor różnic odległości w algorytmie Smitha–Abela
$\mathbf{d_{x}}_i$ – wektor błędu stanu systemu w i-tym kroku w algorytmie inercyjnym
e – błąd realizacji pomiaru
e_n – błąd realizacji pomiaru odległości do n-tej stacji bazowej
$\mathbf{e}$ – wektor błędów
f – częstotliwość sygnału
f_0 – częstotliwość nominalna
f_c – częstotliwość taktowania kolejnych chipów sekwencji rozpraszającej
f_D – odchyłka częstotliwości spowodowana efektem Dopplera
f_h – częstotliwość heterodyny w odbiorniku

f_r – częstotliwość sygnału odbieranego
f_{rmn} – różnica częstotliwości sygnałów odbieranych z m-tej i n-tej stacji bazowej
f_s – częstotliwość próbkowania sygnałów
f_t – częstotliwość sygnału nadawanego
$f(\cdot)$ – funkcja powiązania pomiarów i lokalizacji punktu pomiaru w algorytmie Foya, funkcja celu w algorytmie gradientowym, funkcja dopasowania w algorytmie genetycznym
$F(\cdot)$ – dystrybuanta prawdopodobieństwa
$\mathbf{f}(\cdot)$ – funkcja przejścia wektora stanu w nieliniowym filtrze Kalmana
$\mathbf{F}_i$ – macierz przejść stanu w i-tym kroku w algorytmie inercyjnym
g – przyspieszenie grawitacyjne
g_x, g_y, g_z – prędkości kątowe obrotu w kartezjańskim układzie współrzędnych
$\mathbf{G_a}, \mathbf{G'_a}$ – macierz pomocnicza algorytmu Chana
$\mathbf{G}_i$ – macierz szumów procesu w i-tym kroku w algorytmie inercyjnym
h – wysokość
$h_{FD}[\cdot]$ – odpowiedź impulsowa idealnego filtru cyfrowego ułamkowoopóźniającego
$h_{pm}(t)$ – odpowiedź impulsowa filtru przedmodulacyjnego
$h(t)$ – odpowiedź impulsowa filtru
$h_w(t)$ – funkcja okna
$h[\cdot]$ – odpowiedź impulsowa filtru cyfrowego
$H(f)$ – charakterystyka częstotliwościowa filtru
$H_{FD}(f)$ – charakterystyka częstotliwościowa idealnego filtru ułamkowoopóźniającego
$\mathbf{h}, \mathbf{h}'$ – wektor współrzędnych stacji bazowych w algorytmie Chana
$\mathbf{h}(\cdot)$ – funkcja pomiarów w nieliniowym filtrze Kalmana
$\mathbf{H}$ – macierz obserwacji (spajająca) w filtrze Kalmana
$\mathbf{H}_{\mathbf{srp},i}$ – macierz obserwacji filtru integrującego dane inercyjne i radiowe
$\mathbf{H}_{\mathbf{wys}}$ – macierz obserwacji filtru integrującego dane o wysokości
$\vec{i}_n$ – wektor jednostkowy w kierunku n-tej stacji bazowej
$\vec{i}_x, \vec{i}_y$ – wektory jednostkowe w kierunku osi x i y
I – składowa synfazowa zespolonych próbek sygnału
$I^P[\cdot], I^D[\cdot]$ – wyniki skupiania widma symboli depeszy PDL i DDL z interferencjami od sygnałów w obrębie pojedynczej stacji bazowej
$I^{PDL}[\cdot], I^{DDL}[\cdot]$ – wyniki skupiania widma symboli depeszy PDL i DDL bez interferencji
$\mathbf{I}$ – macierz jednostkowa
k_h – współczynnik geometryczny systemu hiperbolicznego
k_{mn} – współczynnik niejednoznaczności pomiarów różnic faz z m-tej i n-tej stacji bazowej
k_n – współczynnik niejednoznaczności pomiarów fazy z n-tej stacji bazowej, numer symbolu
k_p – współczynnik skali dla p-tej trasy w algorytmie przyciągania tras
k_s – współczynnik geometryczny systemu stadiometrycznego
k_u – współczynnik rozszerzenia niepewności pomiarowej
K – liczność zbioru danych z pomiarów
K_n – suma kwadratów współrzędnych n-tej stacji bazowej w algorytmie Chana
$\mathbf{K}$ – macierz wzmocnienia filtru Kalmana
$\mathbf{K}_{\mathbf{wys}}$ – macierz wzmocnienia filtru integrującego dane o wysokości
l – numer pomiaru
L – liczba pomiarów, na podstawie których określane jest położenie terminala ruchomego

L_0 – tłumienie wolnej przestrzeni (tłumienie podstawowe)
$L(d)$ – tłumienie propagacyjne sygnału w odległości d od źródła
m_l – wynik realizacji l-tego pomiaru danej wielkości fizycznej
m_p – aktualna długość p-tej trasy alternatywnej w algorytmie przyciągania tras
M – błąd średni pozycji
$\mathbf{m}$ – wektor pomiarów
n – numer stacji bazowej
N – liczba stacji bazowych w systemie
N_f – długość odpowiedzi impulsowej filtru cyfrowego
N_F – liczba pomiarów faz sygnałów do aproksymacji liniowej
N_m – liczba punktów trasy podlegających modyfikacjom w algorytmie przyciągania tras do planów
N_p – liczba alternatywnych trajektorii ruchu w algorytmie przyciągania tras
N_R – liczba próbek sygnałów do obliczania korelacji
N_S – krotność podziału okresu próbkowania w zestawie filtrów ułamkowoopóźniających
N_T – liczba pomiarów różnic czasów do aproksymacji w odbiorniku lokalizacji fazowej
$N(\mu,\sigma)$ – zmienna losowa o rozkładzie normalnym z wartością średnią μ i odchyleniem standardowym σ
$\mathbf{n}$ – wektor błędów pomiarów różnic odległości w algorytmie Chana
p – wartość ciśnienia atmosferycznego
p_{CEP} – wartość graniczna prawdopodobieństwa dla okręgu błędów
p_k – parametr pomocniczy do ustalania odległości punktu od k-tego odcinka trasy
$P_{xI}[k]$, $P_{xQ}[k]$ – wartości sygnałów na wyjściu korelatorów w torze I oraz Q odbiornika w obecności interferencji między sygnałami stacji bazowych
$\mathbf{P}$ – macierz kowariancji błędów predykcji w filtrze Kalmana
$\mathbf{P_I}$, $\mathbf{P_Q}$ – macierze wartości sygnałów na wyjściach korelatorów w torze I oraz Q w obecności interferencji
$\mathbf{P_{wys}}$ – macierz kowariancji błędów predykcji filtru integrującego dane o wysokości
q_x, q_y, q_z, q_w – elementy wektora kwaternionów
$\mathbf{q}_i$ – wektor kwaternionów w i-tym kroku algorytmu inercyjnego
Q – składowa kwadraturowa zespolonych próbek sygnału
$Q^P[\cdot]$, $Q^D[\cdot]$ – wyniki skupiania widma symboli depeszy PDL i DDL z interferencjami od sygnałów w obrębie pojedynczej stacji bazowej
$Q^{PDL}[\cdot]$, $Q^{DDL}[\cdot]$ – wyniki skupiania widma symboli depeszy PDL i DDL bez interferencji
$\mathbf{Q}$ – macierz kowariancji pomiarów
$\mathbf{Q_{wys}}$ – macierz kowariancji pomiarów w filtrze integrującym dane o wysokości
r_{CEP} – promień okręgu błędów
$r_{m,n}$ – rzeczywista wartość różnicy odległości terminala ruchomego od m-tej i n-tej stacji bazowej
r_n – rzeczywista wartość odległości terminala ruchomego od n-tej stacji bazowej
$r(t)$ – odbierany sygnał radiowy z czasem ciągłym
$r[\cdot]$ – próbki odbieranego sygnału
$\hat{r}_n$ – estymata odległości od n-tej stacji bazowej
$\hat{r}_{m,n}$ – estymata różnicy odległości terminala ruchomego od m-tej i n-tej stacji bazowej
R_E, R_P, R_L – wyniki korelacji sygnałów w pętli DLL
R_n – wynik pomiaru odległości terminala ruchomego od n-tej stacji bazowej
$R_{m,n}$ – wynik pomiaru różnicy odległości terminala ruchomego od m-tej i n-tej stacji bazowej

$R[\cdot]$ – funkcja korelacji wzajemnej dla sygnałów dyskretnoczasowych
$R(\tau)$ – funkcja korelacji wzajemnej dla sygnałów z czasem ciągłym
$\mathbf{R}$ – macierz kowariancji błędów pomiarowych
$\mathbf{R_b}$ – początkowa macierz rotacji do konwersji układów współrzędnych
$\mathbf{R_q}$ – macierz rotacji obliczana na podstawie wektora kwaternionów
$\mathbf{R_{wys}}$ – macierz kowariancji błędów pomiarowych w filtrze integrującym dane o wysokości
$s_r(t)$ – sygnał odbierany
$s_t(t)$ – sygnał nadawany
$S_{xI}[k]$, $S_{xQ}[k]$ – wartości sygnałów na wyjściu korelatorów w torze I oraz Q odbiornika bez interferencji między sygnałami stacji bazowych
$\mathbf{S}$ – macierz współrzędnych stacji bazowych w algorytmie Smitha–Abela
$\mathbf{S_I}$, $\mathbf{S_Q}$ – macierze wartości sygnałów na wyjściach korelatorów bez interferencji
t – czas
t_A, t_B – wyniki pomiarów czasów w węzłach realizujących pomiar odległości metodą RTT
t_{emn} – czas emisji sygnału elektromagnetycznego z anteny n-tej stacji bazowej
t_{gn} – czas wygenerowania sygnału w n-tej stacji bazowej
$t_{odb\,m,n}$ – czas odbioru sygnału z n-tej stacji bazowej w odbiorniku m-tej stacji
t_{prop} – czas propagacji sygnału radiowego
t_{rn} – czas odbioru sygnału z n-tej stacji bazowej
T – okres sygnału
T_c – czas trwania chipu sekwencji rozpraszającej
T_R – przedział czasu korelacji
T_s – okres próbkowania sygnałów
u_l – rzeczywista wartość l-tej mierzonej wielkości fizycznej
$u(x)$ – niepewność standardowa parametru x
$U(x)$ – niepewność rozszerzona parametru x
v – prędkość
v_n – składowa prędkości w kierunku n-tej stacji bazowej
v_{prop} – prędkość propagacji fali elektromagnetycznej
v_x, v_y – składowe wektora prędkości w kartezjańskim układzie współrzędnych
V_1, V_2 – parametry równoległoboku błędów
$\mathbf{v}$ – wektor szumu pomiaru w filtrze Kalmana
$\mathbf{V}_i$ – wektor błędów predykcji prędkości w i-tym kroku w algorytmie inercyjnym
$w(t)$ – sygnał wzorcowy z czasem ciągłym
$w[\cdot]$ – sygnał wzorcowy dyskretnoczasowy
W – rozmiar okna przetwarzania danych w algorytmie inercyjnym
$\mathbf{w}$ – wektor szumu procesu w filtrze Kalmana
$\mathbf{W}$ – macierz wag pomiarów różnic odległości w algorytmie Smitha–Abela
x, y, z – współrzędne terminala ruchomego w kartezjańskim układzie współrzędnych
X, Y, Z – współrzędne stacji bazowej w kartezjańskim układzie współrzędnych
$X_{m,n}$, $Y_{m,n}$, $Z_{m,n}$ – różnice współrzędnych m-tej i n-tej stacji bazowej
$\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$ – estymaty współrzędnych terminala ruchomego
$\mathbf{x}$ – wektor stanu w filtrze Kalmana, wektor współrzędnych
$\mathbf{x_s}$ – wektor współrzędnych w algorytmie Smitha–Abela
$\mathbf{x_{srp}}$ – wektor stanu w filtrze integrującym dane inercyjne i radiowe

$\mathbf{x}_{\mathbf{wys}}$ – wektor stanu filtru integrującego dane o wysokości
$\mathbf{z}$ – wektor pomiarów w filtrze Kalmana
$\mathbf{z}_{\mathbf{a}}$, $\mathbf{z}_{\mathbf{a}}'$ – rozszerzony wektor współrzędnych w algorytmie Chana
z_i – zmienna do testu bezruchu w i-tym kroku w algorytmie ZUPT
$\mathbf{z}_i$ – wektor pomiarów w i-tym kroku algorytmu w filtrze Kalmana, wektor różnic pomiarów w algorytmie Foya
$\mathbf{z}_{\mathbf{p}}$ – wektor współrzędnych w algorytmie Chana
$\mathbf{z}_{\mathbf{srp},i}$ – wektor stanu filtru integrującego dane inercyjne i radiowe
δ – błąd względny
δ_A, δ_B – błędy względne pomiarów czasów w węzłach realizujących pomiar odległości metodą RTT
δ_k – parametr korekcji współczynników skali w algorytmie przyciągania tras
δ_x, δ_y – przyrosty współrzędnych w kolejnych krokach algorytmu Foya
$\hat{\delta}_{vxi}, \hat{\delta}_{vyi}, \hat{\delta}_{vzi}$ – estymaty błędów składowych wektora prędkości w filtrze integrującym dane inercyjne i radiowe
$\hat{\delta}_{xi}, \hat{\delta}_{yi}, \hat{\delta}_{zi}$ – estymaty błędów współrzędnych w filtrze integrującym dane inercyjne i radiowe
δ – wektor pomocniczy w algorytmie Smitha–Abela
δ_i – wektor korekt współrzędnych w algorytmie Foya
Δ – błąd bezwzględny
Δd – różnica odległości, błąd bezwzględny odległości
$\Delta\mathbf{m}$ – przyrost wartości elementów wektora pomiarów
Δt – różnica czasu
$\Delta_{x,y}$ – błąd bezwzględny estymacji położenia
$\Delta\mathbf{x}$ – przyrost wartości elementów wektora współrzędnych
ε – błąd realizacji pomiaru
ε_p – błąd wartości średnich
η – odległościowy współczynnik tłumienia
θ – kąt nadejścia sygnału radiowego, kąt przecięcia linii pozycyjnych
θ_i – kąt pochylenia w i-tym kroku algorytmu inercyjnego
θ_n – kąt nadejścia sygnału z n-tej stacji bazowej
$\kappa_n[\cdot]$ – unormowany współczynnik korelacji wzajemnej sygnałów emitowanych przez n-tą stację bazową
λ – długość fali sygnału radiowego
μ – wartość średnia
φ – faza sygnału
$\varphi_p(t)$ – faza pomierzona w momencie czasu t
φ_r – faza sygnału odbieranego
φ_{rmn} – różnica faz sygnałów odbieranych z m-tej i n-tej stacji bazowej
φ_t – faza sygnału nadawanego
ϕ_i – kąt przechylenia w i-tym kroku algorytmu inercyjnego
σ – odchylenie standardowe
σ_a – odchylenie standardowe błędu pomiaru przyspieszeń
σ_g – odchylenie standardowe błędu pomiaru prędkości kątowych
σ_k – odchylenie standardowe składowej losowej współczynnika skali w algorytmie przyciągania tras

σ_p – odchylenie standardowe składowej losowej orientacji początkowej w algorytmie przyciągania tras
σ_ψ – odchylenie standardowe składowej losowej orientacji do generowania nowych tras alternatywnych w algorytmie przyciągania tras
σ^2 – wariancja
τ – opóźnienie
τ_{mn} – różnica czasów propagacji sygnałów z *m*-tej i *n*-tej stacji odniesienia
τ_p – opóźnienie propagacyjne sygnału radiowego
τ_r – opóźnienie odbieranego sygnału
ψ_i – kąt odchylenia w *i*-tym kroku algorytmu inercyjnego
ψ_p – kąt orientacji dla *p*-tej trasy alternatywnej w algorytmie przyciągania tras
ψ, ψ' – wektor błędów w algorytmie Chana
Ψ, Ψ' – macierz kowariancji wektora błędów w algorytmie Chana

Skróty

ADOA – pomiar różnic kątów nadejścia sygnałów radiowych (*angle difference of arrival*)
ADS-B – automatyczny rozgłoszeniowy system nadzoru (*automatic dependent surveillance-broadcast*)
AM – modulacja amplitudy (*amplitude modulation*)
AOA – pomiar kąta nadejścia sygnału radiowego (*angle of arrival*)
BLE – *Bluetooth Low Energy*
BPSK – binarne kluczowanie fazy sygnału (*binary phase shift keying*)
C/A – przetwornik cyfrowo/analogowy
CDF – dystrybuanta prawdopodobieństwa (*cumulative distribution function*)
CDMA – wielodostęp z podziałem kodowym (*code division multiple access*)
CEP – promień okręgu błędów (*circular error probable*)
CHIRP – sygnały z liniową zmianą częstotliwości
CRLB – dolna granica Craméra–Rao (*Cramer–Rao lower bound*)
DD – różnicowy system dopplerowski (*differential Doppler*)
DDL – pakiet dodatkowych danych lokalizacyjnych w systemie Aegir
DDS – cyfrowa bezpośrednia synteza częstotliwości (*direct digital synthesis*)
DGNSS – różnicowa praca systemu nawigacji satelitarnej (*differential Global Navigation Satellite System*)
DGPS – różnicowa praca systemu GPS (*differential GPS*)
DLL – pętla śledzenia fazy ciągu (*delay locked loop*)
DOP – współczynnik geometryczny precyzji (rozmycie precyzji) estymacji położenia (*dilution of precision*, *dilution of position*)
DR-TWR – pomiar odległości przez dwukierunkową wymianę pakietów radiowych z podwójnym pakietem odpowiedzi (*double response two-way ranging*)
DSP – cyfrowe przetwarzanie sygnałów (*digital signal processing*)
DSSS – bezpośrednie rozpraszanie widma (*direct sequence spread spectrum*)
ECEF – układ współrzędnych kartezjańskich wyrażony względem środka Ziemi (*Earth centered Earth fixed*)
EGNOS – europejski geostacjonarny system wspomagający (*European Geostationary Navigation Overlay Service*)

EKF – rozszerzony filtr Kalmana (*extended Kalman filter*)
FDF – filtr o opóźnieniu ułamkowym (*fractional delay filter*)
FDOA – pomiar różnicy częstotliwości sygnałów (*frequency difference of arrival*)
FIR – filtr o skończonej odpowiedzi impulsowej (*finite impulse response*)
FM – modulacja częstotliwości (*frequency modulation*)
FPGA – matryca bramek logicznych z konfigurowanymi połączeniami (*field programmable gate array*)
FSK – kluczowanie częstotliwości (*frequency shift keying*)
GLONASS – globalny system nawigacji satelitarnej (ГЛОНА́СС, ros. Глоба́льная навигацио́нная спу́тниковая систе́ма)
GNSS – globalne systemy nawigacji satelitarnej (*Global Navigation Satellite Systems*)
GPS – globalny system pozycjonujący (*Global Positioning System*)
GSN – główna stacja nadzoru
HDOP – rozmycie precyzji estymacji położenia w płaszczyźnie poziomej (*horizontal dilution of precision*)
IIR – filtr o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (*infinite impulse response*)
ILS – system precyzyjnego podejścia do lądowania (*instrument landing system*)
INS – system nawigacji inercyjnej (*inertial navigation system*)
IR – technika radia impulsowego (*impulse radio*)
ITU – Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (*International Telecommunication Union*)
KF – filtr Kalmana (*Kalman filter*)
LOS – bezpośrednia widoczność anten łącza radiowego (*line of sight*)
MAI – interferencje spowodowane wielodostępem do kanału (*multiple access interference*)
MIO – moduł identyfikacji osobistej
ML – kryterium największej wiarygodności (*maximum likelihood*)
MLAT – multilateracja (*multilateration*)
MLS – mikrofalowy system wspomagania lądowania (*microwave landing system*)
MON – Ministerstwo Obrony Narodowej
MSRŚZ – mobilny system radionawigacyjny średniego zasięgu
MTBF – średni czas pomiędzy awariami (*mean time between failure*)
MTTR – średni czas do naprawy (*mean time to repair*)
MUD – detekcja łączna sygnałów wielu użytkowników (*multi-user detection*)
NDB – radiolatarnia dookólna (*non-directional beacon*)
NLOS – brak bezpośredniej widoczności anten łącza radiowego (*non-line of sight*)
OCXO – generator kwarcowy ze stabilizacją temperatury (*oven-controlled crystal oscillator*)
OFDM – ortogonalne zwielokrotnienie w dziedzinie częstotliwości (*orthogonal frequency division multiplexing*)
PDL – pakiet podstawowych danych lokalizacyjnych w systemie Aegir
PN – ciąg (sygnał) pseudoprzypadkowy (*pseudo noise*)
PPS – impuls sekundowy (*pulse per second*)
PWR – pośredniczący węzeł radiokomunikacyjny
RDF – radionamiernik (*radio direction finder*)
RMS – wartość skuteczna, pierwiastek wartości średniokwadratowej (*root mean square*)
RRC – filtr o charakterystyce pierwiastka z podniesionego cosinusa (*root-raised cosine filter*)
RSS – pomiar poziomu mocy odbieranego sygnału radiowego (*received signal strength*)

RSSI – wskaźnik poziomu mocy odbieranego sygnału radiowego (*received signal strength indicator*)
RTT – pomiar czasu dwukierunkowej wymiany pakietów radiowych (*round trip time*)
RX – odbiornik
SB – stacja bazowa
SDR – radio programowalne (*software defined radio*)
SDS-TWR – pomiar odległości przez dwukierunkową wymianę pakietów radiowych inicjowaną przez obie strony łącza (*symmetrical double-sided two-way ranging*)
SHF – zakres fal centymetrowych od 3 GHz do 30 GHz (*super high frequency*)
SIC – kolejna kompensacja interferencji (*successive interference cancellation*, *serial interference cancellation*)
SoO, SoOP – sygnały przypadkowe (*signals of opportunity*)
SPS – standardowa usługa pozycjonowania w systemie GPS (*standard positioning service*)
TCXO – generator kwarcowy z kompensacją wpływu temperatury (*temperature-compensated crystal oscillator*)
TDL – pętla śledzenia fazy (*tau-dither loop*)
TDMA – wielodostęp z podziałem czasowym (*time division multiple access*)
TDOA – pomiar różnicy czasów nadejścia sygnałów (*time difference of arrival*)
TDOP – rozmycie precyzji estymacji czasu (*time dilution of precision*)
TOA – pomiar czasu nadejścia sygnału (*time of arrival*)
TTFF – czas do uzyskania pierwszej informacji pozycyjnej (*time to first fix*)
TWR – pomiar odległości przez dwukierunkową wymianę pakietów radiowych (t*wo-way ranging*)
TX – nadajnik
UHF – zakres fal decymetrowych od 300 MHz do 3 GHz (*ultra high frequency*)
USRP – platforma radia programowalnego (*universal software radio peripheral*)
UWB – technika ultraszerokopasmowa (*ultra wide band*)
VDOP – rozmycie precyzji estymacji położenia w płaszczyźnie pionowej (v*ertical dilution of precision*)
VHF – zakres fal metrowych od 30 MHz do 300 MHz (*very high frequency*)
VOR – radiolatarnia ogólnokierunkowa VHF (*VHF omnidirectional range*)
WAAS – wielkoobszarowy system wspomagający (*Wide Area Augmentation System*)
WCDMA – wielodostęp kodowy w kanale szerokopasmowym (*wideband code division multiple access*)
WFS – współczynnik fali stojącej
WGS-84 – system odniesienia do wyrażania współrzędnych geograficznych (*World Geodetic System* 1984)
WR – węzeł referencyjny
ZUPT – algorytm detekcji bezruchu (*zero-velocity update*)