



BIULETYN WAT
VOL. LV, NR 1, 2006

Pozycjonowanie pojazdów podwodnych metodą zliczeniową

PIOTR KANIEWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule opisano zintegrowany system pozycjonowania pojazdu podwodnego metodą nawigacji zliczeniowej z wykorzystaniem całkowania pomiarów przyspieszeń z systemu nawigacji inercyjnej INS oraz pomiarów prędkości z logu Dopplera. System zawiera ponadto ciśnieniowy miernik głębokości zanurzenia pojazdu. Dane nawigacyjne z poszczególnych przyrządów są przetwarzane za pomocą filtru Kalmana oraz tradycyjnego filtru komplementarnego. System został zintegrowany zgodnie ze schematem kompensacji z korekcją w przód. W artykule przedstawiono opis systemu i algorytmów przetwarzania danych, wybrane wyniki badań symulacyjnych oraz wnioski.

Słowa kluczowe: pojazdy podwodne — pozycjonowanie, nawigacja zliczeniowa

Symbole UKD: 527

1. Wprowadzenie

Pozycjonowanie pojazdów poruszających się pod wodą jest zadaniem stosunkowo skomplikowanym. Szczególnie trudna jest realizacja pozycjonowania i nawigacji w niewielkich, bezzałogowych łodziach podwodnych określanych jako autonomiczne pojazdy podwodne AUV (ang. Autonomous Underwater Vehicle). Pojazdy tego typu znajdują obecnie zastosowanie w badaniach oceanograficznych, obejmujących między innymi zbieranie informacji na temat prądów morskich, ukształtowania dna morskiego, temperatury, stopnia zasolenia wód, itp. Niewielkie wymiary AUV, ograniczone możliwości zasilania urządzeń z pokładowych źródeł energii oraz względy ekonomiczne narzucają istotne ograniczenia na możliwe do wykorzystania pokładowe systemy pozycjonujące i nawigacyjne.

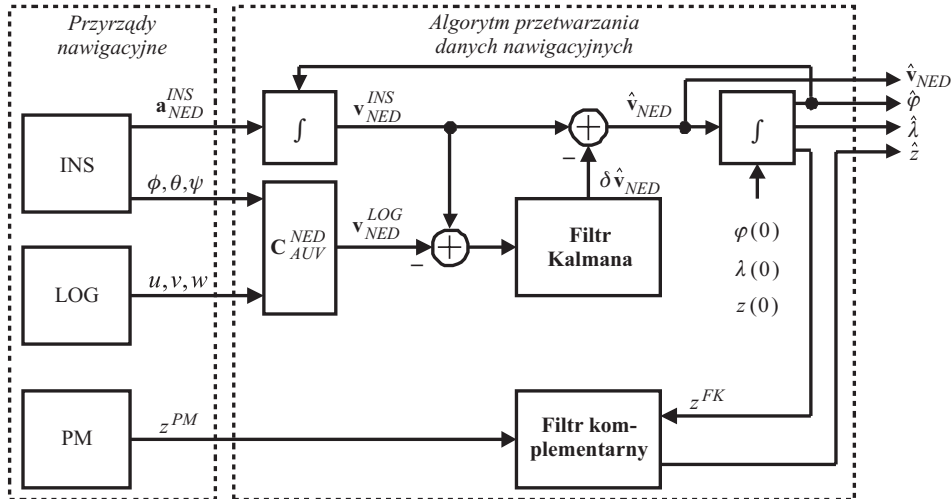
Jednym z zasadniczych problemów występujących w pozycjonowaniu pojazdów podwodnych jest brak możliwości wykorzystania sygnałów globalnych systemów nawigacji satelitarnej GNSS (ang. Global Navigation Satellite Systems) [2, 5] podczas zanurzenia pojazdu. Konieczne jest zatem wykorzystywanie metody nawigacji zliczeniowej, polegającej na całkowaniu w czasie pomiarów przyspieszeń lub prędkości pojazdu, bądź metody wizualno-porównawczej, w której położenie pojazdu jest ustalane na podstawie porównania obrazu otoczenia z cyfrową mapą dna morskiego [3, 5]. Pierwsza z metod może być zastosowana w dowolnym terenie. Pozycjonowanie metodą wizualno-porównawczą wymaga zaś posiadania odpowiednich map, co ogranicza zakres jej zastosowań.

Przedstawiony w niniejszym artykule system pozycjonujący AUV wykorzystuje jako podstawę swego działania metodę nawigacji zliczeniowej. Położenie horyzontalne pojazdu jest w nim określane na podstawie całkowania pomiarów przyspieszeń z systemu nawigacji inercjalnej INS (ang. Inertial Navigation System) oraz pomiarów prędkości podróźnej z logu Dopplera. Zliczane zmiany położenia są odnoszone do znanego położenia początkowego pojazdu, które może być stosunkowo dokładnie określone przed zanurzeniem AUV za pomocą odbiornika globalnego systemu nawigacji satelitarnej GNSS. Taka relatywna metoda pozycjonowania charakteryzuje się istotną wadą, polegającą na nieograniczonym narastaniu błędów systemu w miarę upływu czasu [7]. Błędy zliczania drogi są tym większe, że w AUV, ze względów ekonomicznych i technicznych, zwykle stosuje się stosunkowo niedrogi urządzenia niższej lub średniej klasy. O ile w prezentowanym systemie nie ma możliwości uniknięcia narastania błędów horyzontalnych położenia, o tyle błąd głębokości zanurzenia może być ograniczany z wykorzystaniem dostępnych w systemie pomiarów z głębokościomierza ciśnieniowego PM (ang. Pressure Meter).

2. Budowa i działanie systemu pozycjonującego

2.1. Struktura systemu pozycjonującego

Schemat blokowy zintegrowanego systemu pozycjonującego pojazdu podwodnego przedstawiono na rysunku 1. Wyróżniono na nim grupę przyrządów nawigacyjnych oraz algorytm przetwarzania pochodzących z nich danych. Grupa przyrządów nawigacyjnych składa się systemu nawigacji inercjalnej (INS), logu Dopplera (LOG) i ciśnieniowego miernika głębokości zanurzenia pojazdu (PM). W praktycznym rozwiązaniu zintegrowanego systemu pozycjonującego funkcje przetwarzania danych pomiarowych zgodnie z przedstawionym algorytmem mogą być realizowane przez wyspecjalizowany wylicznik sprzętowy lub przez odpowiednio oprogramowany komputer pokładowy.



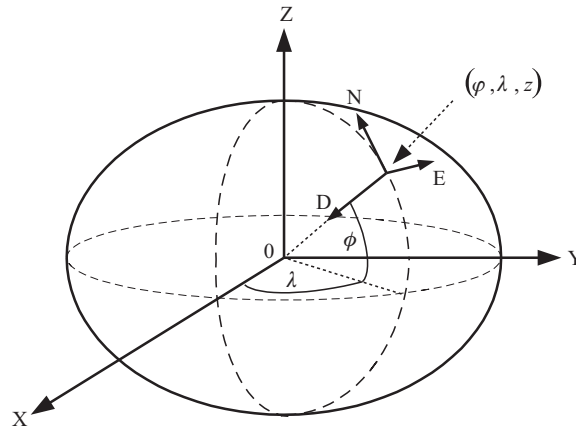
Rys. 1. Schemat blokowy zintegrowanego systemu pozycjonującego

2.2. Układy współrzędnych wykorzystywane w systemie pozycjonującym

Wielkości mierzone w systemie pozycjonującym AUV, wyniki obliczeń pośrednich oraz wielkości wyjściowe systemu są wyrażane w różnych układach współrzędnych [3, 7]. W związku z tym konieczne jest zdefiniowanie poszczególnych układów współrzędnych oraz określenie ich wzajemnych relacji. W przedstawionym systemie wykorzystywane są 3 różne układy współrzędnych:

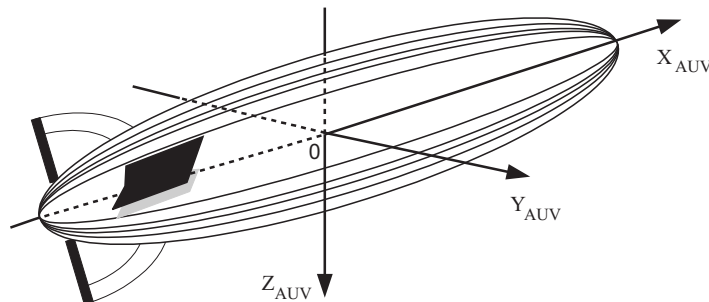
- globalny, geograficzny układ współrzędnych (oznaczany jako XYZ),
- lokalny horyzontalny układ współrzędnych (oznaczany jako NED),
- układ współrzędnych związany z pojazdem (oznaczany jako AUV).

Początek globalnego, geograficznego układu współrzędnych XYZ znajduje się w środku Ziemi. Jego osie X i Y leżą w płaszczyźnie równika, przy czym oś X znajduje się na linii przecięcia płaszczyzny równika z płaszczyzną południka Greenwich. Oś pionowa Z, zwrócona w kierunku bieguna północnego, stanowi dopełnienie prawoskrętnego układu współrzędnych prostokątnych. Początek lokalnego horyzontalnego układu współrzędnych NED (ang. North-East-Down) znajduje się w środku ciężkości pojazdu podwodnego, a osie są skierowane odpowiednio na północ (oś N), wschód (oś E) i pionowo w dół (oś D). Wzajemne położenie geograficznego układu współrzędnych XYZ i lokalnego horyzontalnego układu współrzędnych NED przedstawiono na rysunku 2. Współrzędne początku układu NED, wyrażone w geograficznym układzie współrzędnych są dane jako (φ, λ, z) , przy czym φ oznacza szerokość, a λ — długość geograficzną położenia pojazdu. Trzecia współrzędna tego punktu z oznacza głębokość zanurzenia pojazdu.



Rys. 2. Globalny geograficzny układ współrzędnych i lokalny horyzontalny układ współrzędnych NED

Układ współrzędnych AUV, związany z pojazdem nawigowanym, podobnie jak układ NED, posiada początek w środku ciężkości pojazdu podwodnego. Położenie tego punktu jest oznaczone w globalnym geograficznym układzie współrzędnych jako (φ, λ, z) i zmienia się wraz z ruchem AUV. Osie układu współrzędnych AUV pokrywają się z głównymi osiami pojazdu podwodnego. Położenie poszczególnych osi przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Układ współrzędnych związany z pojazdem AUV

2.3. Dane wejściowe i wyjściowe systemu pozycjonującego

- W systemie pozycjonującym przetwarzane są następujące dane pomiarowe:
- 3 składowe przyspieszenia pojazdu a_N, a_E, a_D z INS, wyrażone w układzie NED,
 - 3 kąty orientacji przestrzennej pojazdu (przechylenia ϕ , pochylenia θ i kursu ψ) z INS, określane względem osi układu NED,

- 3 składowe prędkości pojazdu u, v, w z logu Dopplera, wyrażone w układzie AUV,
- głębokość zanurzenia pojazdu z^{PM} z głębokościomierza ciśnieniowego.

Na podstawie danych pomiarowych, w zintegrowanym systemie pozycjonowania pojazdu podwodnego określone jest jego położenie horyzontalne w globalnym geograficznym układzie współrzędnych (φ, λ) , głębokość zanurzenia z oraz składowe prędkości w lokalnym horyzontalnym układzie współrzędnych NED (v_N, v_E, v_D) .

2.4. Algorytm przetwarzania danych nawigacyjnych

Położenie pojazdu podwodnego teoretycznie można wyznaczyć, dwukrotnie całkując pomiary przyspieszenia z INS, wyrażone w horyzontalnym układzie współrzędnych NED. W praktyce, obliczając położenie, należy uwzględnić wiele efektów związanych z ruchem pojazdu, ruchem obrotowym i oddziaływaniem grawitacyjnym Ziemi. Ponadto pomiary żyroskopów i przyspieszeniomierzy wchodzących w skład INS są obciążone błędami [4, 7]. Wyznaczanie położenia poprzez całkowanie wielkości mierzonych oznacza także całkowanie ich błędów, a więc szybkie narastanie błędów pozycjonowania. Z tego względu w systemie wykorzystuje się dodatkowe dane pomiarowe z logu Dopplera i ciśnieniowego miernika głębokości, które umożliwiają częściową korekcję błędów INS.

Obliczenie wektora prędkości pojazdu w horyzontalnym układzie współrzędnych sprowadza się do rozwiązania wektorowego równania różniczkowego [3, 7]:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{v}_{NED}^{INS} = \mathbf{a}_{NED}^{INS} + \mathbf{g}(\mathbf{r}) - 2 \cdot (\boldsymbol{\Omega}_z + \boldsymbol{\rho}) \times \mathbf{v}, \quad (1)$$

w którym: \mathbf{a}_{NED}^{INS} — wektor przyspieszeń pozornych z INS, wyrażonych w układzie NED; \mathbf{v}_{NED}^{INS} — wektor prędkości pojazdu w układzie NED; \mathbf{r} — wektor położenia pojazdu względem środka Ziemi; $\mathbf{g}(\mathbf{r})$ — wektor sumy przyspieszenia ziemskiego i odśrodkowego ze względu na ruch obrotowy Ziemi w zależności od położenia pojazdu; $\boldsymbol{\Omega}_z$ — wektor prędkości kątowej ruchu dobowego Ziemi; $\boldsymbol{\rho}$ — wektor prędkości kątowej obrotu układu współrzędnych NED względem Ziemi, wynikający z ruchu pojazdu.

Składowe prędkości pojazdu określone na podstawie danych z INS są następnie przetwarzane wspólnie z pomiarami prędkości z logu Dopplera za pomocą komplementarnego filtru Kalmana. Pomiary z logu Dopplera są wyrażone w układzie współrzędnych AUV, istnieje więc konieczność ich transformacji do układu współrzędnych NED. Transformacja współrzędnych jest realizowana w wyniku pomnożenia wektora prędkości w układzie AUV przez macierz transformacji współrzędnych \mathbf{C}_{AUV}^{NED} , zgodnie z zależnością:

$$\begin{bmatrix} v_N & v_E & v_D \end{bmatrix}^T = \mathbf{C}_{AUV}^{NED} \cdot \begin{bmatrix} u & v & w \end{bmatrix}^T. \quad (2)$$

Zastosowany w systemie zintegrowanym filtr Kalmana [1, 6] służy do estymacji błędów prędkości systemu INS, które są następnie stosowane do korygowania prędkości z systemu inercyjnego. Estymację błędów INS umożliwia występowanie drugiego źródła informacji o prędkości pojazdu, którym jest log Dopplera. Ze względu na odmienny charakter statystyczny błędów prędkości obu przyrządów, możliwa jest ich separacja w procedurze filtracji kalmanowskiej. Błędy prędkości INS są wolnozmiennie i wykazują długotrwałą korelację czasową, natomiast błędy logu Dopplera są szybkozmiennie i mogą być modelowane jako gaussowskie ciągi losowe [1].

Dyskretny model systemu dynamicznego, zastosowany do zaprojektowania filtru Kalmana, składa się z liniowego modelu dynamiki, opisującego charakter zmian w czasie błędów systemu nawigacji inercyjnej INS:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \delta v_N \\ \phi_E \\ \delta v_E \\ \phi_N \\ \delta v_D \end{bmatrix}_{k+1}}_{\mathbf{x}(k+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & gT & 0 & 0 & 0 \\ -T/R & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -gT & 0 \\ 0 & 0 & T/R & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\Phi(k+1,k)} \underbrace{\begin{bmatrix} \delta v_N \\ \phi_E \\ \delta v_E \\ \phi_N \\ \delta v_D \end{bmatrix}_k}_{\mathbf{x}(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} w_{v_N} \\ w_{\phi_E} \\ w_{v_E} \\ w_{\phi_N} \\ w_{v_D} \end{bmatrix}_{k+1}}_{\mathbf{w}(k+1)} \quad (3)$$

oraz z liniowego modelu obserwacji, opisującego relacje pomiędzy wielkościami mierzonymi a zmiennymi stanu, które należy estymować w systemie:

$$\underbrace{\begin{bmatrix} v_N^{INS} - v_N^{LOG} \\ v_E^{INS} - v_E^{LOG} \\ v_D^{INS} - v_D^{LOG} \end{bmatrix}_{k+1}}_{\mathbf{z}(k+1)} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}(k+1)} \underbrace{\begin{bmatrix} \delta v_N \\ \phi_E \\ \delta v_E \\ \phi_N \\ \delta v_D \end{bmatrix}_{k+1}}_{\mathbf{x}(k+1)} + \underbrace{\begin{bmatrix} v_{v_N} \\ v_{v_E} \\ v_{v_D} \end{bmatrix}_{k+1}}_{\mathbf{v}(k+1)}. \quad (4)$$

Znaczenie symboli występujących w powyższych zależnościach jest następujące: $\delta v_N, \delta v_E, \delta v_D$ — skorelowane błędy prędkości systemu nawigacji inercyjnej INS; ϕ_E, ϕ_N — błędy orientacji katowej INS; g — przyspieszenie ziemskie; R — promień Ziemi w modelu sferycznym; T — okres dyskretyzacji ciągłego modelu dynamiki; $w_{v_N}, w_{\phi_E}, w_{v_E}, w_{\phi_N}, w_{v_D}$ — składowe wektora dyskretnych

zakłóceń procesu; $v_N^{INS}, v_E^{INS}, v_D^{INS}$ — składowe prędkości pojazdu z INS; $v_N^{LOG}, v_E^{LOG}, v_D^{LOG}$ — składowe prędkości pojazdu z logu Dopplera; $v_{v_N}, v_{v_E}, v_{v_D}$ — składowe wektora błędów pomiarowych (nieskorelowane błędy logu Dopplera); \mathbf{x} — wektor stanu; \mathbf{w} — wektor dyskretnych zakłóceń procesu; \mathbf{z} — wektor pomiarowy; \mathbf{v} — wektor błędów pomiarowych; Φ — macierz tranzycyjna systemu; \mathbf{H} — macierz obserwacji systemu; k — dyskretny indeks czasu.

Ze względu na liniowość równań opisujących dynamikę błędów systemu INS oraz liniowe zależności pomiędzy wielkościami mierzonymi i składowymi wektora stanu, do estymacji błędów prędkości INS zastosowano liniowy kowariancyjny filtr Kalmana [1, 6].

Położenie pojazdu podwodnego jest wyznaczone metodą zliczeniową w geograficznym układzie współrzędnych. Metoda pozycjonowania polega na całkowaniu skorygowanych składowych prędkości pojazdu. Dzięki wykorzystywaniu skorygowanej prędkości $\hat{\mathbf{v}}_{NED}$, zamiast obciążonej większym błędem prędkości z systemu INS \mathbf{v}_{NED}^{INS} , możliwe jest ograniczenie szybkości narastania błędów estymowanego położenia pojazdu. Zależności wykorzystywane w pozycjonowaniu pojazdu są następujące:

$$\hat{\varphi} = \varphi(0) + \int \frac{\hat{v}_N}{R} dt \quad (5)$$

$$\hat{\lambda} = \lambda(0) + \int \frac{\hat{v}_E}{R \cos(\hat{\varphi})} dt \quad (6)$$

$$z^{FK} = z(0) + \int \hat{v}_D dt, \quad (7)$$

gdzie: $\hat{v}_N, \hat{v}_E, \hat{v}_D$ — skorygowane składowe prędkości w układzie NED; $\hat{\varphi}, \hat{\lambda}$ — estymowana szerokość i długość geograficzna położenia pojazdu; z^{FK} — głębokość zanurzenia pojazdu po zastosowaniu filtracji kalmanowskiej; $\varphi(0), \lambda(0), z(0)$ — położenie początkowe pojazdu; R — promień Ziemi.

Ustalona zgodnie z zależnością (7) głębokość zanurzenia pojazdu nie jest ostateczną wartością wyjściową tej wielkości. W prezentowanym systemie jest ona dodatkowo korygowana z wykorzystaniem pomiarów z ciśnieniowego miernika głębokości. Wspólne przetwarzanie danych jest realizowane za pomocą prostego filtra komplementarnego. Zależność pozwalająca wyznaczyć skorygowaną głębokość zanurzenia pojazdu jest następująca:

$$\hat{z}(k+1) = \begin{cases} z^{PM}(0) & \text{dla } k=0 \\ \frac{1}{N} z^{PM}(k+1) + \frac{N-1}{N} [\hat{z}(k) + z^{FK}(k+1) - z^{FK}(k)] & \text{dla } k>0, \end{cases} \quad (8)$$

gdzie: z^{FK} — głębokość zanurzenia pojazdu po filtracji kalmanowskiej; z^{PM} — głębokość z głębokościomierza ciśnieniowego; \hat{z} — głębokość uzyskiwana w wyniku filtracji komplementarnej; N — stała określająca współczynniki wagowe filtracji.

Zastosowany filtr komplementarny wykorzystuje przeciwstawne własności błędów pomiarowych głębokości z^{FK} i z^{PM} . Dane wyjściowe systemu \hat{z} charakteryzują się dużą dokładnością dzięki wysokiej dokładności krótkoterminowej danych z^{FK} oraz brakiem narastania błędu w czasie, dzięki ograniczonym błędom pomiarów z miernika ciśnienia z^{PM} .

3. Badania symulacyjne systemu

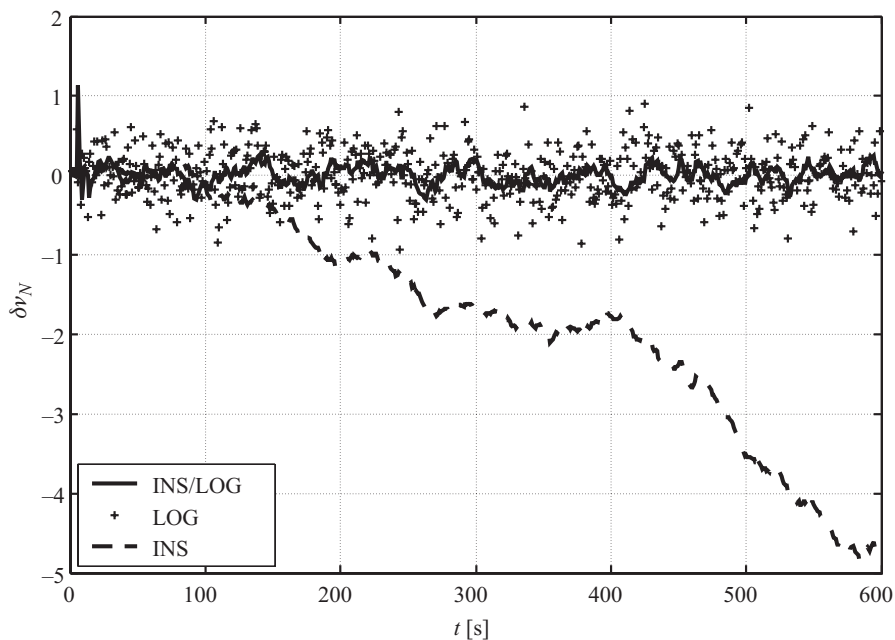
Zaprojektowany system pozycjonowania pojazdu podwodnego został zbadany metodą symulacji komputerowej. Badania polegały na symulacyjnym wytworzeniu danych nawigacyjnych INS, logu Dopplera i ciśnieniowego miernika głębokości, a następnie na ich przetworzeniu zgodnie z opisanym w artykule algorytmem przetwarzania danych nawigacyjnych.

Podczas badań symulacyjnych nie zachodziła potrzeba generacji trajektorii ruchu pojazdu, ponieważ w systemie efektywnie przetwarzane są wyłącznie błędy przyrządów nawigacyjnych, które dla przyjętego modelu systemu są niezależne od pełnych zmiennych stanu, tj. od położenia, prędkości i orientacji przestrzennej pojazdu. Z tego względu podczas badań symulacyjnych porównywano wyłącznie błędy prędkości i położenia na poszczególnych etapach przetwarzania danych nawigacyjnych.

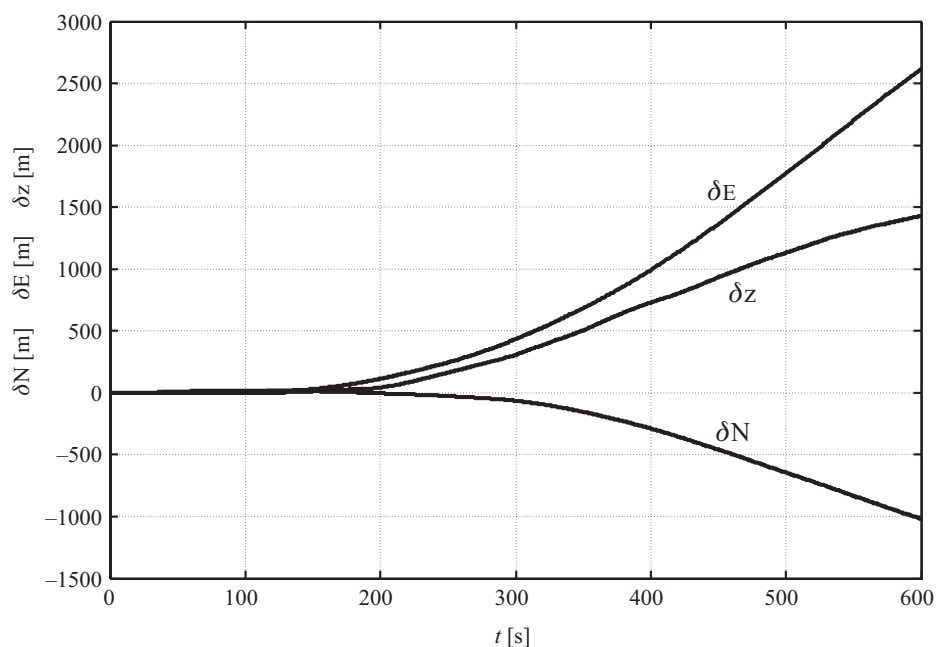
Wybrane wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych zostały przedstawione na rysunkach 4-7. Na rysunku 4 zobrazowano błędy składowej północnej prędkości z logu Dopplera oraz z systemu nawigacji inercyjnej bez korekcji i z korekcją. Pozostałych składowych błędów prędkości nie zamieszczono w artykule, ponieważ ich charakter jest podobny do charakteru błędów składowej północnej.

Na rysunku 5 przedstawiono błędy pozycjonowania w systemie INS bez korekcji prędkości danymi z logu Dopplera. Dane te przedstawiono jedynie w celu zobrazowania korzyści, jakie daje w systemie integracja INS z logiem Dopplera. W praktyce zaprojektowany system zawsze pracuje w trybie z korekcją prędkości. Na rysunku 6 przedstawiono błędy pozycjonowania w systemie po przeprowadzeniu takiej korekcji.

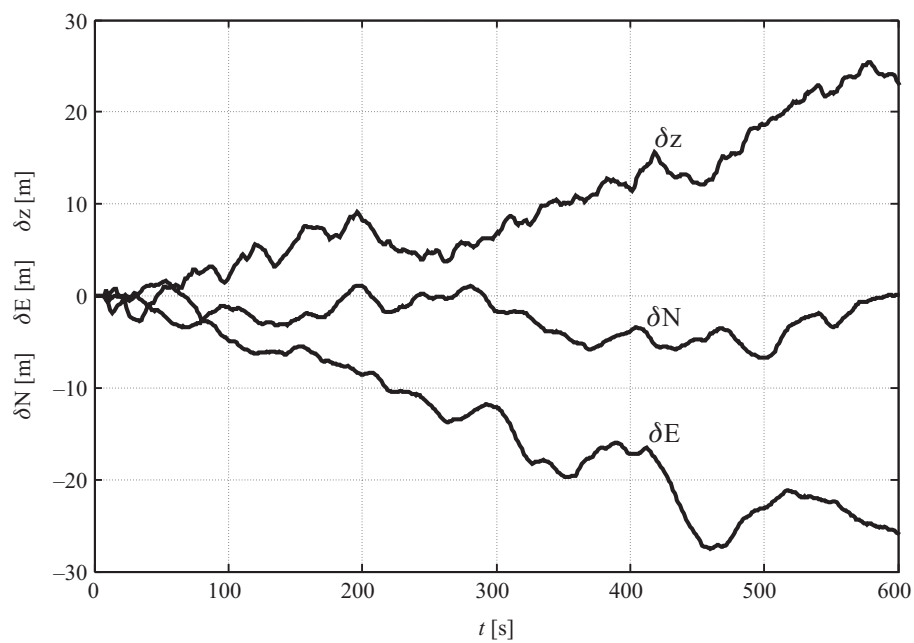
Błędy składowej pionowej położenia pojazdu (głębokości zanurzenia) w systemie przedstawiono na rysunku 7. Zobrazowano tam błędy ciśnieniowego miernika głębokości, błędy podsystemu INS/LOG oraz ostateczne błędy głębokości po korekcji pomiarami z głębokościomierza ciśnieniowego.



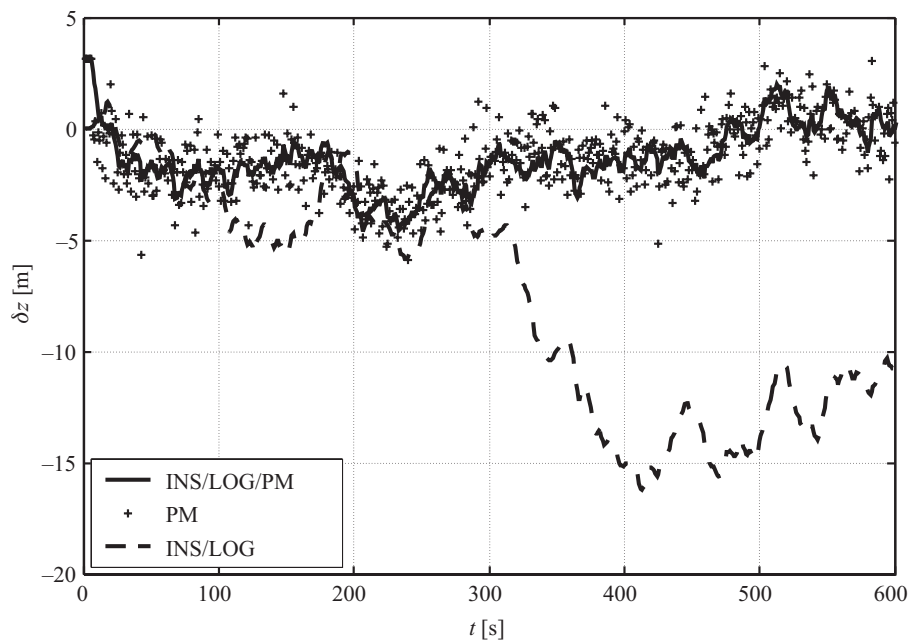
Rys. 4. Błędy prędkości w zintegrowanym systemie pozycjonującym (składowa północna)



Rys. 5. Błędy położenia systemu INS bez korekcji



Rys. 6. Błędy położenia systemu INS z korekcją danymi z logu Dopplera



Rys. 7. Błędy głębokości zanurzenia AUV z korekcją i bez korekcji danymi z głębokościomierza ciśnieniowego

4. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań symulacyjnych zintegrowanego systemu pozycjonowania autonomicznego pojazdu podwodnego pozwalają na stwierdzenie, że dzięki korekcji prędkości z INS za pomocą pomiarów prędkości z logu Dopplera wyeliminowano narastające w czasie błędy prędkości INS i znacznie zredukowano szybkozmienne błędy logu Dopplera. Przedstawiony system wykorzystuje metodę zliczeniową wyznaczania położenia, polegającą na całkowaniu wyznaczonej uprzednio prędkości pojazdu. Błędy pozycjonowania systemu są więc wynikiem całkowania błędów prędkości. Z tego względu zastosowanie korekcji błędów prędkości z INS i wyeliminowanie znaczącej części występujących w niej błędów prowadzi do bardzo istotnej redukcji błędów wyznaczania położenia pojazdu.

Ze względu na brak źródła danych o absolutnym położeniu horyzontalnym pojazdu błędy pozycjonowania w płaszczyźnie poziomej mają charakter narastający, ale są znacznie mniejsze w systemie z korekcją pomiarów prędkości INS niż w systemie bez takiej korekcji. Błędy położenia AUV po 600 s pracy INS bez korekcji są rzędu kilometrów, natomiast w systemie z korekcją są rzędu dziesiątek metrów. Narastające błędy składowych horyzontalnych położenia ograniczają czas efektywnej pracy systemu w warunkach zanurzenia. Po przekroczeniu dopuszczalnych błędów pojazd powinien wynurzyć się w celu skorygowania systemu za pomocą np. odbiornika GNSS. Dzięki zastosowaniu w zintegrowanym systemie pozycjonującym źródła absolutnych danych o głębokości zanurzenia AUV, błędy składowej pionowej położenia po korekcji danymi z ciśnieniowego miernika głębokości są ograniczone niezależnie od czasu pozostawania pojazdu w zanurzeniu.

Artykuł wpłynął do redakcji 20.10.2005 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2005 r.

LITERATURA

- [1] R. G. BROWN, P. Y. C. HWANG, *Introduction to random signals and applied Kalman filtering*, Wiley, UK, 1997.
- [2] B. FORSELL, *Radionavigation systems*, Prentice Hall, London 1991.
- [3] Z. GOSIEWSKI, A. ORTYL, *Algorytmy inercyjnego bezkardanowego systemu orientacji i położenia obiektu o ruchu przestrzennym*, Biblioteka Naukowa Instytutu Lotnictwa, Warszawa 1999.
- [4] J. R. HUDDLE, *Inertial Navigation System Error-Model Considerations in Kalman Filtering Applications*, Control and Dynamic Systems 20/83, Academic Press, Inc., New York 1983, USA.
- [5] M. KAYTON, W. R. FRIED, *Avionics Navigation Systems — Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1997.

- [6] G. MINKLER, J. MINKLER, *Theory and Application of Kalman Filtering*, Magellan Book Company, USA 1993.
- [7] O. SALYCHEV, *Inertial Systems in Navigation and Geophysics*, Bauman MSTU Press, Moscow 1998.

P. KANIEWSKI

Positioning Underwater Vehicles via Relative Navigation Method

Abstract. The paper presents a design of integrated positioning system for autonomous underwater vehicles (AUV). The system is composed of an inertial navigation system (INS), a Doppler log, and a water pressure meter. The data from INS and Doppler log are processed via a centralized complementary Kalman filter. A compensation scheme of integration has been applied, in which the Kalman filter provides feed-forward correction of INS. In addition, the system contains a traditional complementary filter. It is used for depth estimation on the basis of measurements from the pressure meter and pre-processed measurements from the rest of navigational devices. The paper describes the way of operation of the integrated positioning system and presents the algorithms of navigation data processing. Chosen simulation results for the system and conclusions resulting from these simulations have been included in the paper.

Keywords: underwater vehicles — positioning, relative navigation

Universal Decimal Classification: 527