

# Zastosowanie metod predykcji w określaniu współrzędnych Bezzałogowego Statku Powietrznego

Damian Wierzbicki

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

Kamil Krasuski

Starostwo Powiatowe Ryki, Wydział Geodezji, Kartografii i Katastru Nieruchomości, ul. Wyczółkowskiego 10a, 08-500 Ryki

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono rezultaty wyznaczenia współrzędnych Bezzałogowego Statku Powietrznego za pomocą metody średniej ruchomej i modelu Browna. Eksperyment badawczy przeprowadzono wykorzystując dane GPS pozyskane z urządzenia Trimble UX-5. W artykule również przedstawiono pełny algorytm dla modelu Browna i metody średniej ruchomej.

**Słowa kluczowe:** GPS, BSP, metoda średniej ruchomej, model Browna

## 1. Wprowadzenie

Wyznaczenie wiarygodnej pozycji Bezzałogowego Statku Powietrznego (BSP) w obszarze nawigacji lotniczej odbywa się z użyciem sensora GPS, sensora INS lub integracji sensorów GPS/INS [7]. Sensor GPS umożliwia wyznaczenie współrzędnych BSP dla każdej sekundy lotu w układzie globalnym ECEF, w postaci współrzędnych geocentrycznych XYZ lub współrzędnych elipsoidalnych BLh. Sensor INS umożliwia określenie pozycji względnej statku powietrznego, tj. z epoki na epokę, przy wykorzystaniu danych z przyspieszoniomierzy oraz żyroskopów laserowych [2]. Wadą sensora INS jest stosunkowo niska dokładność wyznaczenia pozycji BSP wraz z upływem czasu dla długich tras przelotowych. Dlatego zaleca się, aby pozycja BSP była stale poprawiana o odczyty z sensora GPS [5]. Zarejestrowane surowe rezultaty współrzędnych BSP powinny zostać poddane dodatkowej korekcji w celu wyeliminowania pomiarów odstających z szeregu uzyskanych wyników oraz ich wygładzenia. Zazwyczaj w takiej sytuacji, surowe odczyty z sensora GPS są poddawane filtracji Kalmana, w postaci modelu dynamiki pojazdu PV (position, velocity) lub PVA (position, velocity, acceleration) [1, 4]. Model filtracji Kalmana stanowi integralną część algorytmu obliczeniowego dla mechanizmu sterującego lotem BSP. Ponadto filtracji Kalmana mogą zostać również poddane parametry kątów obrotu i przyspieszenia, pozyskane z sensora INS. Mechanizm zastosowania filtracji Kalmana zależy w głównej mierze od producenta

danego urządzenia BSP oraz powinien być wkomponowany w panel zarządzania i sterowania ruchem statku powietrznego. Docelowo skorygowane współrzędne BSP mogą być zastosowane w aerotriangulacji cyfrowej w celu wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej [8].

W przypadku wyznaczenia współrzędnych BSP bardzo ważną kwestię stanowi zastosowanie odpowiedniego modelu predykcji do określenia pozycji BSP na epokę pomiarową  $t+1$  (gdzie  $t$  – epoka bieżąca). Aspekt predykcji pozycji BSP jest istotny z punktu bezpieczeństwa wykonywania operacji oraz w przypadku braku łączności z urządzeniem latającym. Predykowana pozycja BSP może być wówczas wyznaczana na podstawie równań prognozy, uwzględniających modele statystyczne na bazie danych współrzędnych z zarejestrowanych poprzednich epok pomiarowych.

Celem niniejszej pracy jest określenie charakteru wpływu modeli predykcyjnych na wyznaczenie współrzędnych BSP. Eksperyment badawczy został przeprowadzony na źródłowym zbiorze współrzędnych XYZ dla urządzenia pomiarowego Trimble UX-5. Obliczenia numeryczne zostały wykonane w środowisku programistycznym Scilab 5.4.1. Otrzymane rezultaty z przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane w artykule w formie graficznej i tabelarycznej. Całość artykułu podzielono na 5 części: wstęp, metodologia badań, opis eksperymentu badawczego, rezultaty i dyskusja, wnioski końcowe.

## 2. Metodyka badań

W metodyce badań zaproponowano zastosowanie dwóch formuł matematycznych opisujących model średniej ruchomej oraz model Browna [3]. Model średniej ruchomej można zapisać w następujący sposób [10]:

$$F_{t+1}^* = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n F_t \quad (1)$$

### Autor korespondujący:

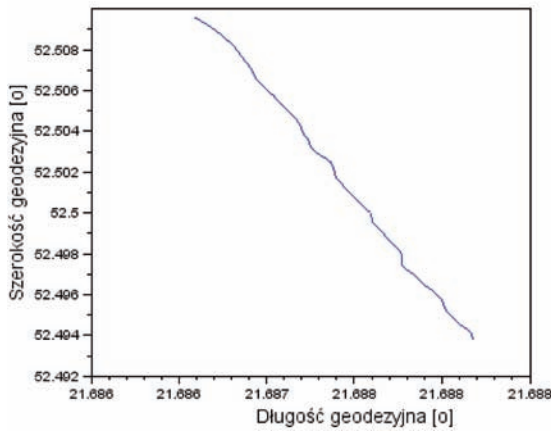
Damian Wierzbicki, damian.wierzbicki@wat.edu.pl

### Artykuł recenzowany

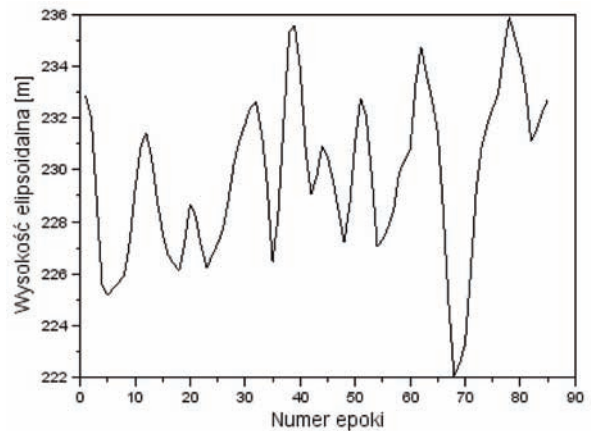
nadesłany 12.04.2016 r., przyjęty do druku 20.05.2016 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Trajektorja pozioma BSP  
Fig. 1. The horizontal trajectory of UAV



Rys. 2. Trajektorja pionowa BSP  
Fig. 2. The vertical trajectory of UAV

gdzie:  $F_{t+1}^*$  – prognoza danej zmiennej (czytaj współrzędnej X lub Y lub Z) na epokę  $t+1$ ,  $n$  – liczba obserwacji zastosowana w prognozie,  $F_t$  – wartości danej zmiennej (czytaj współrzędnej X lub Y lub Z) na epokę  $t$ .

Model średniej ruchomej jest algorytmem sekwencyjnym, bazującym na zbiorze danych dla poszczególnej zmiennej z poprzednich epok pomiarowych.

Prosty model Browna jest modelem wykładniczym o następującej postaci matematycznej [10]:

$$G_{t+1}^* = \alpha \cdot G_t + (1 - \alpha) \cdot G_t^* \quad (2)$$

gdzie:  $G_{t+1}^*$  – prognoza danej zmiennej (współrzędnej X lub Y lub Z) na epokę  $t+1$ ,  $\alpha$  – waga pomiarowa,  $G_t^*$  – prognoza danej zmiennej (współrzędnej X lub Y lub Z) na epokę  $t$ ,  $G_t$  – wielkość pomiarowa danej zmiennej (współrzędnej X lub Y lub Z) na epokę  $t$ .

W modelu Browna parametr  $\alpha$  przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1, zaś początkowa wartość parametru  $G_t$  na epokę  $t = 1$  jest oszacowana na podstawie średniej arytmetycznej z kilku pierwszych epok pomiarowych.

### 3. Opis eksperymentu badawczego

W ramach eksperymentu badawczego wykonano obliczenia mające na celu określenie wpływu modeli prognozy na wyznaczenie pozycji BSP w czasie wykonywania lotu testowego. Źródłowe odczyty współrzędnych BSP pochodzą z urządzenia Trimble UX-5 („minibezzałogowiec”), którego masa nie przekracza 2,5 kg, a rozpiętość skrzydeł wynosi do 1 m. Urządzenie Trimble UX-5 ma wbudowany jednoczesotliwościowy odbiornik firmy Trimble, który rejestruje dane GPS z częstotliwością do 10 Hz [9]. Współrzędne GPS określające pozycję BSP są zapisywane w pliku tekstowym (tzw. „log”), w którym ponadto zawarte są wartości kątów orientacji HPR (Heading, Pitch i Roll) [6]. Na rys. 1 zaprezentowano trajektorię lotu BSP w płaszczyźnie horyzontalnej. Ponadto na rys. 2 zaprezentowano wysokość lotu BSP podczas eksperymentu. Średnia wysokość lotu wyniosła 229,7 m, z rozpiętością od 222,1 m do 235,9 m. Urządzenie Trimble UX-5 zapisuje odczyty wysokości elipsoidalnej podczas wykonywania zdjęć na ustalonym pułapie wysokości. W pliku „log” brak jest danych wysokościowych dotyczących początkowej fazy startu BSP z powierzchni podłoża.

Współrzędne elipsoidalne BLh zostały przetransformowane do układu geocentrycznego XYZ, w którym wykonano dalsze obliczenia numeryczne na potrzeby eksperymentu badawczego. Eksperyment został przeprowadzony dla wybranych 85 epok pomiarowych.

W trakcie przeprowadzanych obliczeń ustalono, iż weryfikacja modelu średniej ruchomej zostanie sprawdzona dla zbioru 3- oraz 10-elementowego. Formuła matematyczna prognozy w modelu średniej ruchomej dla:

– zbioru 3-elementowego

$$F_{t+1}^* = \frac{1}{3} \sum_{t=1}^3 F_t \quad (3)$$

– zbioru 10-elementowego

$$F_{t+1}^* = \frac{1}{10} \sum_{t=1}^{10} F_t \quad (4)$$

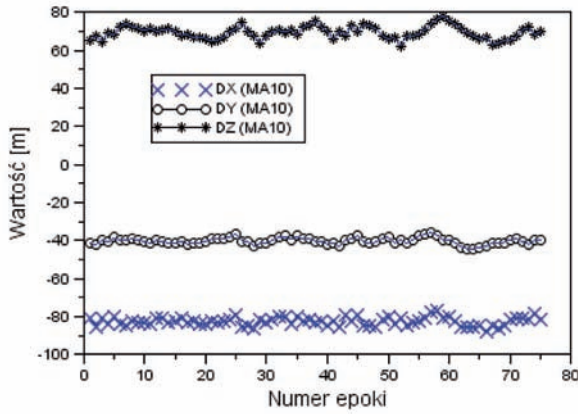
Natomiast w przypadku modelu Browna zaproponowano, aby początkowa wartość parametru  $G_t$  na epokę  $t = 1$  była wyznaczona jako średnia arytmetyczna z trzech pierwszych epok pomiarowych. Ponadto w modelu Browna wykonano obliczenia przy założeniu, iż współczynnik  $\alpha$  wynosi odpowiednio 0,1 oraz 0,9.

### 4. Wyniki badań oraz dyskusja

Na rys. 3 przedstawiono różnicę otrzymanej prognozy współrzędnych BSP z danymi źródłowymi z urządzenia Trimble UX-5. Wartości prognozy współrzędnych BSP zostały wyznaczone w oparciu o średnią ruchomą 10-elementową (4) dla 75 epok pomiarowych. Dla analizy porównawczej wykorzystano rzeczywiste współrzędne BSP od epoki 11 do 85.

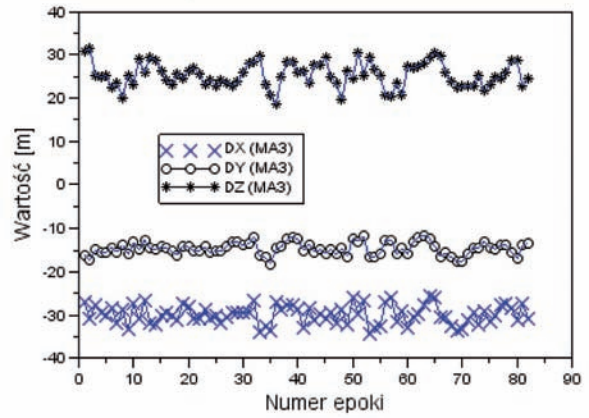
Parametry poszczególnych różnic współrzędnych BSP zostały wyznaczone na podstawie zależności:

$$\begin{cases} DX_{MA10} = X_{[11:85]} - X_{MA10} \\ DY_{MA10} = Y_{[11:85]} - Y_{MA10} \\ DZ_{MA10} = Z_{[11:85]} - Z_{MA10} \end{cases} \quad (5)$$



Rys. 3. Różnica współrzędnych BSP dla modelu średniej ruchomej 10-elementowej

Fig. 3. The difference of UAV coordinates for moving average model of 10 elements



Rys. 4. Różnica współrzędnych BSP dla modelu średniej ruchomej 3-elementowej

Fig. 4. The difference of UAV coordinates for moving average model of 3 elements

gdzie:  $(DX_{MA10}, DY_{MA10}, DZ_{MA10})$  – wartości różnic współrzędnych BSP dla średniej ruchomej 10-elementowej,  $(X_{[11:85]}, Y_{[11:85]}, Z_{[11:85]})$  – źródłowe odczyty z urządzenia Trimble UX-5 od epoki 11 do 85,  $(X_{MA10}, Y_{MA10}, Z_{MA10})$  – wartości prognozy dla średniej ruchomej 10-elementowej.

Średnia wartość parametru  $X_{MA10}$  wynosi  $-82,4$  m, przy rozrzucie wyników od  $-87,4$  m do  $-77,1$  m. Średnia wartość parametru  $Y_{MA10}$  wynosi  $-40,1$  m, przy rozrzucie wyników od  $-44,1$  m do  $-35,9$  m. W przypadku parametru  $Z_{MA10}$ , średnia wartość wynosi  $69,6$  m, przy dyspersji wyników od  $62,3$  m do  $78,2$  m.

Na rys. 4 przedstawiono wartości różnicy między wartościami prognozy dla modelu średniej ruchomej 3-elementowej oraz źródłowymi odczytami z urządzenia Trimble UX-5. Analiza wyników została przeprowadzona na próbce danych od epoki 4 do 85.

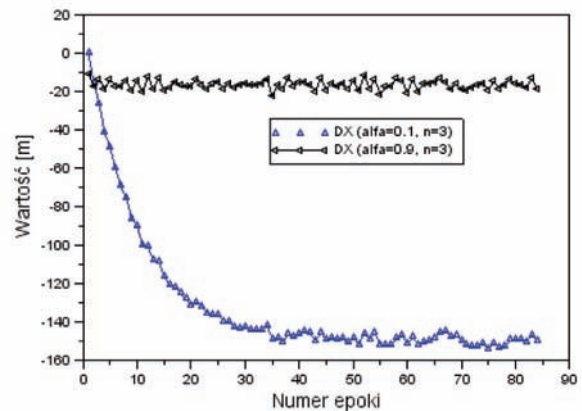
Parametry poszczególnych różnic współrzędnych BSP zostały wyznaczone na podstawie zależności:

$$\begin{cases} DX_{MA3} = X_{[4:85]} - X_{MA3} \\ DY_{MA3} = Y_{[4:85]} - Y_{MA3} \\ DZ_{MA3} = Z_{[4:85]} - Z_{MA3} \end{cases} \quad (6)$$

gdzie:  $(DX_{MA3}, DY_{MA3}, DZ_{MA3})$  – wartości różnic współrzędnych BSP dla średniej ruchomej 3-elementowej,  $(X_{[4:85]}, Y_{[4:85]}, Z_{[4:85]})$  – źródłowe odczyty z urządzenia Trimble UX-5 od epoki 4 do 85,  $(X_{MA3}, Y_{MA3}, Z_{MA3})$  – wartości prognozy dla średniej ruchomej 3-elementowej.

Średnia wartość parametru  $X_{MA3}$  wynosi  $-29,9$  m, przy rozrzucie wyników od  $-34,3$  m do  $-25,6$  m. Średnia wartość parametru  $Y_{MA3}$  wynosi  $-14,6$  m, przy rozrzucie wyników od  $-18,2$  m do  $-11,6$  m. W przypadku parametru  $Z_{MA3}$ , średnia wartość wynosi  $25,4$  m, przy dyspersji wyników od  $18,6$  m do  $31,6$  m. Porównując uzyskane rezultaty z wykresu 3 oraz 4 można wywnioskować, iż ograniczenie zbioru liczbowego danych wejściowych dla modelu średniej ruchomej, powoduje zmniejszenie się różnicy wartości współrzędnych BSP z prognozy i odczytów źródłowych z sensora GPS.

Na rys. 5 zaprezentowano wartości różnicy współrzędnych BSP wzdłuż osi X między prognozą z modelu Browna a źródłowymi danymi z sensora GPS. Prognoza w modelu Browna została wykonana przy założeniu, iż parametr wagowy  $\alpha$  wynosi odpowiednio 0,1 oraz 0,9. Ponadto wartość początkowa prognozy dla współrzędnej X na epokę  $t = 1$  jest obliczana jako średnia arytmetyczna z pierwszych 3 obserwacji ( $n = 3$ ). Para-



Rys. 5. Różnica współrzędnych BSP wzdłuż osi X dla modelu Browna

Fig. 5. The difference of UAV coordinates for X axis using Brown model

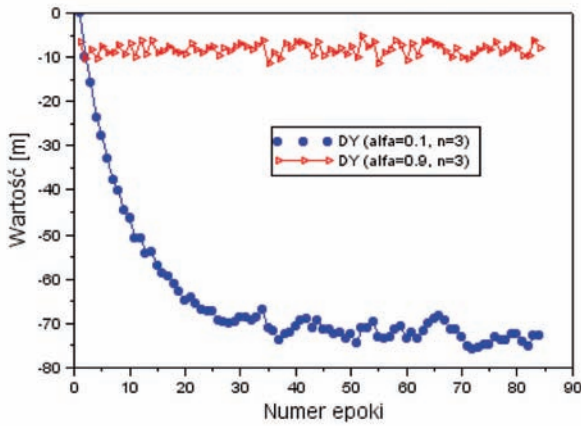
metry różnicy współrzędnych BSP wzdłuż osi X w modelu Browna zostały wyznaczone jak poniżej:

$$\begin{cases} DX_{\alpha=0.1, n=3} = X_{[2:85]} - X_{\alpha=0.1, n=3} \\ DX_{\alpha=0.9, n=3} = X_{[2:85]} - X_{\alpha=0.9, n=3} \end{cases} \quad (7)$$

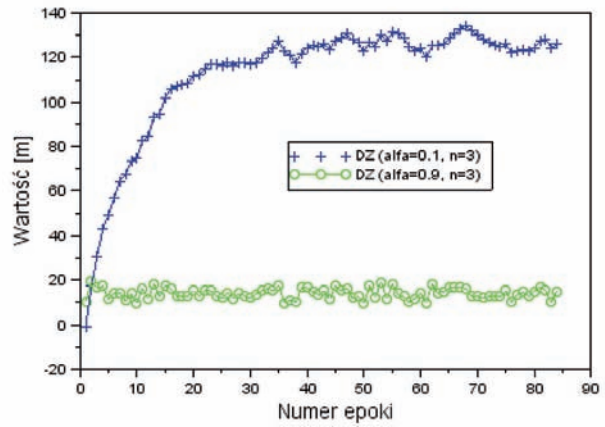
gdzie:  $(DX_{\alpha=0.1, n=3}, DX_{\alpha=0.9, n=3})$  – wartości różnicy współrzędnej X w modelu Browna, przy założeniu iż  $\alpha$  wynosi 0,1 lub 0,9 oraz  $n = 3$ ,  $X_{[2:85]}$  – źródłowe odczyty z urządzenia Trimble UX-5 dla współrzędnej X od epoki 2 do 85,  $(X_{\alpha=0.1, n=3}, X_{\alpha=0.9, n=3})$  – wartości prognozy dla współrzędnej X w modelu Browna.

Średnia wartość parametru  $X_{\alpha=0.1, n=3}$  wynosi  $-131,9$  m, przy rozrzucie wyników od  $-153,8$  m do  $+0,1$  m. Ponadto odchylenie standardowe dla przeciętnej wartości parametru  $X_{\alpha=0.1, n=3}$  wynosi  $33,4$  m. W przypadku parametru  $X_{\alpha=0.9, n=3}$ , średnia wartość wynosi  $-16,6$  m, przy dyspersji wyników od  $-22,6$  m do  $-10,7$  m. Wartość odchylenia standardowego dla przeciętnej wartości parametru  $X_{\alpha=0.9, n=3}$  wynosi  $2,4$  m. Warto zwrócić uwagę, iż parametry mediany odpowiednio dla parametrów  $X_{\alpha=0.1, n=3}$  oraz  $X_{\alpha=0.9, n=3}$  są równe  $-146,2$  m oraz  $-16,5$  m.

Na rys. 6 zaprezentowano wartości różnicy współrzędnych BSP wzdłuż osi Y między prognozą z modelu Browna a źródłowymi danymi z sensora GPS. Prognoza w modelu Browna została wykonana przy założeniu, iż parametr wagowy  $\alpha$  wynosi odpowiednio 0,1 oraz 0,9. Ponadto wartość początkowa pro-



Rys. 6. Różnica współrzędnych BSP wzdłuż osi Y dla modelu Browna  
Fig. 6. The difference of UAV coordinates for Y axis using Brown model



Rys. 7. Różnica współrzędnych BSP wzdłuż osi Z dla modelu Browna  
Fig. 7. The difference of UAV coordinates for Z axis using Brown model

gnozy dla współrzędnej Y na epokę  $t = 1$  jest obliczana jako średnia arytmetyczna z pierwszych 3 obserwacji ( $n = 3$ ). Parametry różnicy współrzędnych BSP wzdłuż osi Y w modelu Browna zostały wyznaczone jak poniżej:

$$\begin{cases} DY_{\alpha=0,1, n=3} = Y_{[2:85]} - Y_{\alpha=0,1, n=3} \\ DY_{\alpha=0,9, n=3} = Y_{[2:85]} - Y_{\alpha=0,9, n=3} \end{cases} \quad (8)$$

gdzie:  $(DY_{\alpha=0,1, n=3}, DY_{\alpha=0,9, n=3})$  – wartości różnicy współrzędnej Y w modelu Browna, przy założeniu iż  $\alpha$  wynosi 0,1 lub 0,9 oraz  $n = 3$ ,  $Y_{[2:85]}$  – źródłowe odczyty z urządzenia Trimble UX-5 dla współrzędnej Y od epoki 2 do 85,  $(Y_{\alpha=0,1, n=3}, Y_{\alpha=0,9, n=3})$  – wartości prognozy dla współrzędnej Y w modelu Browna.

Średnia wartość parametru  $Y_{\alpha=0,1, n=3}$  wynosi  $-64,6$  m, przy rozrzucie wyników od  $-76,1$  m do  $-0,1$  m. Ponadto odchylenie standardowe dla przeciętnej wartości parametru  $Y_{\alpha=0,1, n=3}$  wynosi  $15,4$  m. W przypadku parametru  $Y_{\alpha=0,9, n=3}$ , średnia wartość wynosi  $-8,1$  m, przy dyspersji wyników od  $-11,3$  m do  $-5,1$  m. Wartość odchylenia standardowego dla przeciętnej wartości parametru  $Y_{\alpha=0,9, n=3}$  wynosi  $1,4$  m. Wielkość mediany odpowiednio dla parametrów  $Y_{\alpha=0,1, n=3}$  oraz  $Y_{\alpha=0,9, n=3}$  są równe  $-70,5$  m oraz  $-8,1$  m.

Na rys. 7 przedstawiono wartości różnicy współrzędnych BSP wzdłuż osi Z między prognozą z modelu Browna a źródłowymi danymi z sensora GPS. Prognoza w modelu Browna została wykonana przy założeniu, iż parametr wagowy  $\alpha$  wynosi odpowiednio 0,1 oraz 0,9. Ponadto wartość początkowa prognozy dla współrzędnej Z na epokę  $t = 1$  jest obliczana jako średnia arytmetyczna z pierwszych 3 obserwacji ( $n = 3$ ). Wartości różnicy współrzędnych BSP wzdłuż osi Z w modelu Browna zostały wyznaczone:

$$\begin{cases} DZ_{\alpha=0,1, n=3} = Z_{[2:85]} - Z_{\alpha=0,1, n=3} \\ DZ_{\alpha=0,9, n=3} = Z_{[2:85]} - Z_{\alpha=0,9, n=3} \end{cases} \quad (9)$$

gdzie:  $(DZ_{\alpha=0,1, n=3}, DZ_{\alpha=0,9, n=3})$  – wartości różnicy współrzędnej Z w modelu Browna, przy założeniu iż  $\alpha$  wynosi 0,1 lub 0,9 oraz  $n = 3$ ,  $Z_{[2:85]}$  – źródłowe odczyty z urządzenia Trimble UX-5 dla współrzędnej Z od epoki 2 do 85,  $(Z_{\alpha=0,1, n=3}, Z_{\alpha=0,9, n=3})$  – wartości prognozy dla współrzędnej Z w modelu Browna.

Średnia wartość parametru  $Z_{\alpha=0,1, n=3}$  wynosi  $112,3$  m, przy rozrzucie wyników od  $-0,8$  m do  $134,1$  m. Ponadto odchylenie standardowe dla przeciętnej wartości parametru  $Z_{\alpha=0,1, n=3}$  wynosi  $27,1$  m. W przypadku parametru  $Z_{\alpha=0,9, n=3}$ , średnia wartość wynosi  $14,1$  m, przy dyspersji wyników od  $9,7$  m do

$19,4$  m. Wartość odchylenia standardowego dla przeciętnej wartości parametru  $Z_{\alpha=0,9, n=3}$  wynosi  $2,4$  m. Parametry mediany odpowiednio dla parametrów  $Z_{\alpha=0,1, n=3}$  oraz  $Z_{\alpha=0,9, n=3}$  są równe  $123,1$  m oraz  $13,9$  m.

Porównując wartości rezultatów na wykresach 5, 6 oraz 7 można wywnioskować, iż zastosowanie wagi zbliżonej do wartości 0 powoduje duże rozrzuty wyników podczas predykcji współrzędnych BSP. Szczególne duże rezultaty dyspersji wyników są zauważalne w miarę oddalania się od punktu początkowego na epokę  $t = 1$ . Natomiast przy założeniu, iż waga obserwacji jest zbliżona do wartości 1, rozrzut wyników w prognozie dla modelu Browna jest znacznie mniejszy. Można stwierdzić, iż wartości współrzędnych BSP z procesu predykcji w modelu Browna, dla których parametr  $\alpha$  dąży do 1, są zbliżone do współrzędnych rzeczywistych, zarejestrowanych przez sensor GPS.

## 5. Wnioski

W artykule omówiono i zaprezentowano rezultaty zastosowania modeli predykcji do określenia współrzędnych BSP. W obliczeniach wykorzystano surowe odczyty z sensora GPS zamontowanego na urządzeniu Trimble UX-5. W ramach obliczeń wykonano eksperymenty badawczy mający na celu określenie zbieżności wyznaczonych współrzędnych BSP modeli predykcyjnych oraz rzeczywistych danych z sensora GPS. W trakcie eksperymentu badawczego wykorzystano model średniej ruchomej oraz model wygładzania wykładniczego Browna. W obydwu modelach prognostycznych zastosowano różne parametry brzegowe oraz wartości początkowe zbioru danych wejściowych. W trakcie przeprowadzonych obliczeń i badań wyciągnięto następujące wnioski:

- zastosowanie modelu średniej ruchomej 3-elementowej umożliwia lepsze dopasowanie uzyskanych współrzędnych BSP względem rzeczywistych wartości pozycji BSP;
- zastosowanie modelu średniej ruchomej 10-elementowej powoduje, iż różnica co do wartości bezwzględnej między współrzędnymi wyznaczanymi z predykcji a rzeczywistymi odczytami z sensora GPS dochodzi nawet do 90 m;
- zastosowanie wartości parametru  $\alpha$  bliskiej 0 w modelu Browna powoduje, iż dyspersja wyników między uzyskanymi współrzędnymi z predykcji oraz rzeczywistymi danymi z GPS znacząco wzrasta;
- przy założeniu iż parametr  $\alpha$  jest bliski 1, wtedy różnica między wyznaczanymi współrzędnymi z predykcji oraz rzeczywistymi danymi z GPS jest mniejsza co do wartości bezwzględnej niż 20 m;

– na bazie przeprowadzonych testów numerycznych stwierdzono, iż najlepsze rozwiązania dla metody predykcji położenia BSP otrzymano dla modelu Browna, przy warunkach początkowych  $\alpha = 0,9$  oraz  $n = 0,39$ .

## Bibliografia

1. Bezručka J., *The use of Kalman filter in Geodesy and Navigation*, "Slovak Journal of Civil Engineering", Vol. XIX, No. 2, 2011, 8–15.
2. Grygiel R., Bieda R., Wojciechowski K., *Metody wyznaczania kątów z żyroskopów dla filtru komplementarnego na potrzeby określania orientacji IMU*, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 90, Nr 9, 2014, 217–224.
3. Grzesica D., Więcek P., *Wykorzystanie modeli autoregresji i średniej ruchomej w prognozowaniu wielkości popytu niezależnego*, „Logistyka”, 4/2014, 3908–3913.
4. Kaniewski P., *Adaptacyjny filtr Kalmana odbiornika GNSS*, „Logistyka”, 6/2011, 1569–1578.
5. Kędzierski M., Fryśkowska A., Wierzbicki D., *Opracowania fotogrametryczne z niskiego pułapu*, Wyd. Wojskowa Akademia Techniczna, ISBN 978-83-7938-047-3, Warszawa 2014.
6. Krasuski K., Wierzbicki D., *Wyznaczenie kursu bezzałogowego statku powietrznego na podstawie danych GPS i INS*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 19, Nr 4, 2015, 63–68, DOI: 10.14313/PAR\_218/63.
7. Kraszewski T., Kaniewski P., Kubicki I., *Systemy nawigacyjne miniaturowych bezzałogowych statków powietrznych*, „Biuletyn WAT”, Vol. LXII, Nr 4, 2013, 155–178.
8. Wierzbicki D., *Aspekty aerotriangulacji zdjęć cyfrowych pozyskanych kamerą niometryczną zamontowaną na pokładzie bezzałogowego statku latającego*, „Biuletyn WAT”, Vol. LXII, Nr 4, 2013, 113–128.
9. Wierzbicki D., Krasuski K., *Estimation of rotation angles based on GPS data from UX5 Platform*, "Measurement Automation Monitoring", Vol. 61, No. 11, 2015, 516–520.
10. Ziółkowski K., Bujak A., *Prognozowanie działalności logistycznej przy wykorzystaniu metod ilościowych*, „Logistyka”, 3/2014, 7098–7108.

## Application the Prediction Methods for Determination of UAV Coordinates

**Abstract:** In paper, the results of determination UAV coordinates based on the Brown model and moving average method were presented. The research test was realized using raw GPS data from Trimble UX-5 platform. In paper, the full algorithm of Brown model and moving average method was also described.

**Keywords:** GPS, UAV, method of moving average, Brown model

### dr inż. Damian Wierzbicki

damian.wierzbicki@wat.edu.pl

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Obszar zainteresowania: cyfrowe przetwarzanie obrazów, fotogrametria lotnicza, teledetekcja.



### mgr inż. Kamil Krasuski

kk\_deblin@wp.pl

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Autor programu SciTEC Toolbox 1.0.0 (obecna wersja 1.5.0). Obszar zainteresowania: nawigacja, geodezja, geofizyka, programowanie, metody numeryczne. Od 2014: Zespół Technik Satelitarnych. Od 2015: Starostwo Powiatowe w Rykach – Wydział Geodezji, Kartografii i Katastru Nieruchomości.

