

Marek MALARSKI
Politechnika Warszawska

PEWNA METODA STEROWANIA TRAJEKTORIĄ LOTU W PRZESTRZENI LOTÓW SWOBODNYCH

Streszczenie. Istnieją propozycje metod wyznaczania i rozwiązywania sytuacji kolizyjnych w średnioterminowym planowaniu lotów. W tym artykule przedstawiona jest pewna nowa propozycja metody wykorzystująca narzędzia GIS. W proponowanej metodzie, na podstawie bieżącej wzajemnej konfiguracji samolotów oraz informacji o aktywnych strefach niedostępnych, dokonywany jest wstępny wybór możliwych trajektorii lotu. Następnie do wyznaczonego zbioru rozwiązań niekolizyjnych wprowadzamy dodatkowe ograniczenia, uwzględniające szeregowanie samolotów lądujących i ewentualnie wyznaczamy nowe trajektorie niekolizyjne.

SOME METHOD OF FLIGHT TRAJECTORY CONTROLL IN FREE FLIGHT AIRSPACE

Summary. Some methods have been proposed to conflict detection and resolution in middle term flight planning. One of these (new) using GIS and is presented in this paper. In this method based on actual aircraft configuration and information about active restricted area we initially select realizable flight trajectories. Next in this non collision solutions set we introduce additional restrictions considerate landings aircrafts scheduling and if possible we determine new non collision trajectory.

1. Elastyczne użytkowanie przestrzeni powietrznej

Wprowadzenie ostatnio w lotnictwie światowym elastycznego użytkowania przestrzeni powietrznej FUA (*Flexible Use of Airspace*) jakościowo zmieniło organizację ruchu lotniczego. Elastyczne struktury przestrzeni powietrznej pozwalają na jej wykorzystanie przez różnych użytkowników. Doprowadziło to do nowych zasad sterowania – kontroli ruchu lotniczego – bez sztywnej sieci dróg lotniczych. Możliwe jest wyznaczanie dla samolotu nietrasowej trajektorii lotu. Trajektoria taka musi być weryfikowana na bezkolizyjność z aktualnie aktywnymi (wykorzystywanymi) elementami przestrzeni powietrznej. Konieczne jest oczywiście weryfikowanie bezkolizyjności tras lotu samolotów ze sobą. Wersja europejska koncepcji FUA to projekt wprowadzenia swobodnych tras lotu FRAP (*Free Routes Airspace Project*).

Koncepcja ta zakłada, że użytkownicy przestrzeni powietrznej mogą swobodnie planować trasy przelotu od punktu do punktu z pominięciem sieci dróg lotniczych. Niemniej jednak w trakcie realizacji lotu zadanie zapewnienia separacji powinno być realizowane przez naziemne służby kontroli ruchu lotniczego ATC.

W normalnych warunkach ruch lotniczy sterowany jest przez radarowe służby kontroli ATC, wykorzystujące urządzenia radiolokacyjne i rozbudowane systemy informatyczne. Bezpieczeństwo ruchu zapewniane jest poprzez zachowanie odpowiednich separacji pomiędzy jego uczestnikami. Odległości separacji uzależnione są od rodzaju statku powietrznego i wynoszą nominalnie 7 NM (12950 m). Dla samolotów tej samej kategorii wagowej separacja odległościowa wynosi 4 NM (7400 m).

Złożoność obliczeniowa problemu dynamicznego wyznaczania niekolizyjnej trajektorii lotów nietrasowych jest duża. Praktyka wykazała, że wyznaczenie rozwiązania optymalnego, uwzględniającego wszystkie ograniczenia w czasie rzeczywistym, jest zagadnieniem trudnym. Tak jak w praktycznych zastosowaniach zadań optymalizacji dyskretnej, również zagadnienie wyznaczania optymalnej niekolizyjnej trajektorii lotu ma raczej znaczenie teoretyczne. Rzeczywista realizacja rozwiązania musi „zmieścić się” w buforze separacji (odległościowej, bocznej i wysokościowej). Najlepsze rezultaty uzyskujemy dla zadania doboru dopuszczalnych rozwiązań, spełniających warunek niekolizyjności, a następnie wyboru rozwiązania najlepszego z wyznaczonych dopuszczalnych.

Trudności z praktycznym wykrywaniem i rozwiązywaniem sytuacji kolizyjnych dla trajektorii lotu nietrasowego są przyczyną opóźnień we wdrażaniu europejskiego programu swobodnych tras lotu. W ostatnich latach powstało wiele prac podstawowych i propozycji koncepcyjnych modelowego badania niekolizyjności swobodnych tras lotu [1], [2], [3], [4], [6], [8]. Niestety, praktyka ich wdrażania daje bardzo niewielkie efekty. Przegląd Kuchara i Yanga [5] wykazuje, że tylko dwie z analizowanych 68 koncepcji są obecnie wdrażane. Są to pokładowe systemy krótkoterminowego (1-2 minuty) [9] i średnioterminowego (15-20 minut) [3] wykrywania i rozwiązywania sytuacji kolizyjnych trajektorii lotu.

2. Niekolizyjna trajektoria lotu

Wdrażanie planowania niekolizyjności trajektorii lotu jest w dalszym ciągu sprawą otwartą. Prace nad metodami wykrywania i rozwiązywania sytuacji kolizyjnych (*tactical CD&R – tactical Conflict Detection & Resolution*) prowadzone są intensywnie po obu stronach Atlantyku. Koncentrują się one głównie na metodach rozwiązywania sytuacji konfliktowych dla losowo zdefiniowanego położenia samolotu w przestrzeni (3D, 4D). Koncepcja przedstawiona w tym artykule jest pewną propozycją z zakresu wykorzystywania możliwości przestrzennej bazy danych. Proponowane rozwiązanie uwzględnia problem koordynacji i szeregowania samolotów lądujących. W przedstawionej dalej metodzie, w pierwszej kolejności na podstawie bieżącej wzajemnej konfiguracji samolotów oraz informacji o aktywnych strefach niedostępnych, dokonywany jest wstępny wybór możliwych trajektorii lotu. W dalszym etapie możliwe jest zawężanie zbioru rozwiązań bądź jego modyfikacja w celu dobrej koordynacji ruchu w rejonie lotniska. Algorytm może minimalizować

odstępy pomiędzy kolejnymi operacjami startu i lądowania. Ograniczeniami na tym etapie mogą być starty i lądowania samolotów uprzywilejowanych – na przykład: lądujących awaryjnie, ratowniczych itp.

Trajektorię lotu nietrasowego wyznaczamy dla sektora kontroli planowania operacyjnego. Sektor taki może obejmować cały rejon informacji powietrznej FIR, jeden lub kilka sąsiednich sektorów kontroli. Lotniska ap_i w sektorze planowania operacyjnego indeksowane są i (1)

$$ap_i \in AP: i \in I = \{1, 2, \dots, i, \dots, I\} \quad (1)$$

Nawigacyjne punkty wlotu pwl_{wl} do sektora planowania operacyjnego indeksowane są wl (2)

$$pwl_{wl} \in PWT: wl \in WL = \{1, 2, \dots, wl, \dots, WL\} \quad (2)$$

Trasy lotu ft_j w sektorze planowania operacyjnego indeksowane są przez j (3)

$$ft_j \in FT: j \in J = \{1, 2, \dots, j, \dots, J\} \quad (3)$$

Zbiór T chwil planowania operacyjnego t dany jest (4). Dla zadania operacyjnego planowania trasy przelotu wystarczający jest przedział $(t+1, t)$: $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$.

$$t \in T = \{0, 1, \dots, t, \dots, T\} \quad (4)$$

Zbiór samolotów $\{ac_k^{kt}\}$ wlatujących do sektora planowania operacyjnego w horyzoncie T indeksowany jest numerem k i typem kt (5)

$$ac_k^{kt} \in \{ac_k^{kt}\}: k \in K = \{1, 2, \dots, k, \dots, K\}, kt \in KT = \{1, 2, \dots, kt, \dots, KT\} \quad (5)$$

Zbiór możliwych poziomów lotu w analizowanym sektorze planowania na trasie j w chwili t dany jest (6)

$$FL = \{ft_y^h: h \in H, y \in Y\} \quad (6)$$

gdzie: $H = \{1, 2, \dots, h, \dots, H\}$ - zbiór indeksów poziomów lotu ft_y^h .

Zbiór kolejnych geograficznych punktów położenia samolotu wp_y^j (*Significant Point*) o określonych współrzędnych geograficznych na trasie lotu ft_j indeksowany y dany jest (7)

$$WP_y^j = \{wp_y^j: y \in Y, j \in J\}: y \in Y = \{ypwl, 1, 2, \dots, y, \dots, yac\}, j \in J = \{1, 2, \dots, j, \dots, J\} \quad (7)$$

gdzie: $wp_{wl}^j = pwl_{wl}$ - punkt wlotu w sektor planowania operacyjnego.

Trasa lotu jest zbiorem odcinków prostych tras przelotu pomiędzy pośrednimi punktami zmiany parametrów lotu wp_y^j . W szczególnym przypadku możliwa jest trasa bezpośrednia, połączenie po prostej nawigacyjnego punktu wlotu pwl_{wl} z punktem rozpoczęcia operacji podejścia do lądowania w rejonie lotniska ap_i (jedynie ze zmianą wysokości lotu). Trasa lotu jest więc linią łamaną łączącą pwl_{wl} poprzez wp_y^j z rejonem kontrolowanym lotniska ap_i . Lot samolotu ac_k^{kt} opisuje trajektoria lotu. Trajektoria lotu rozumiana jest jako ciąg punktów położenia $spt_y^{j,h}(t)$ na h -tym poziomie lotu z odpowiednią prędkością zniżania, rejestrowana w chwili t (co Δt) (8)

$$spt_y^{j,h}(t) = (wp_y^j, ft_y^h, vht_y, t) \quad (8)$$

gdzie: wp_y^j – geograficzny punkt położenia samolotu o określonych współrzędnych geograficznych, na trasie j ,

f_y^h – h -ty poziom lotu samolotu na trasie j , w geograficznym punkcie wp_y^j ,

vh_y – uzgodniona z kontrolą ACC prędkość zniżania samolotu.

Pozioma prędkość lotu w zasadzie jest ustalona przez typ samolotu i poziom lotu. Wśród punktów położenia na trajektorii lotu wyróżniamy punkt wlotu do sektora $spw^{j,h}(t_{wl})$ (9) i punkt wlotu do rejonu kontrolowanego lotniska $spa^{j,h}(t)$ (10)

$$spw^{j,h}(t_{wl}) = (wp_{ywl}^j, f_{ywl}^h, 0, t_{wl}) \quad (9)$$

$$spa^{j,h}(t) = (wp_{yac}^j, f_{yac}^h, 0, t) \quad (10)$$

Z odpowiednich przepisów wynika, że w punktach przekazania kontroli (9) i (10) w zasadzie nie powinno się wydawać zgody na zmianę poziomu lotu ($vh_y = 0$). Specjalnie wyróżniamy punkty zmiany parametrów lotu $spz_y^{j,h}(t)$ (11)

$$spz_y^{j,h}(t) = (wp_y^j, f_y^h, vh_y, t) \quad (11)$$

W punktach zmiany parametrów lotu $spz_y^{j,h}(t)$ następuje uzgodniona z kontrolą obszaru zmiana nawigacyjnego kierunku lotu lub zmiana prędkości zniżania. Trajektorja lotu k -tego samolotu wlatującego w sektor planowania w chwili t_{wl} , w punkcie wlotu $spw^{j,h}(t_{wl})$, lecącego po trasie f_j do lotniska ap_i dana jest ciągiem punktów położenia (12)

$$\begin{aligned} TR(j, spw^{j,h}(t_{wl}), ap_i) &= \bigcup_y spz_y^{j,h}(t) = \\ &= \left\langle (wp_{ywl}^j, f_{ywl}^h, 0, t_{wl}), \dots, (wp_y^j, f_y^h, vh_y, t), \dots, (wp_{yac}^j, f_{yac}^h, 0, t) \right\rangle \end{aligned} \quad (12)$$

Dla trajektorii lotu z pośrednimi punktami zmiany parametrów lotu (trasa łamana, omijająca aktywne przestrzenie zabronione i uwzględniająca punkty zmiany prędkości zniżania) część punktów $spz_y^{j,h}(t)$ trajektorii lotu jest punktami zmiany parametrów lotu. Zbiór punktów zmiany parametrów lotu na trasie f_j dany jest więc (13)

$$SPz^j = \left\{ (wp_y^j, f_y^h, vh_y, t) \right\} \quad (13)$$

Każdemu punktowi trajektorii lotu (wp_y^j, f_y^h, vh_y, t) przypisana jest figura czasoprzestrzenna – otoczenie separacji (14)

$$O_{SEP}(wp_y^j, f_y^h, vh_y, t) \quad (14)$$

Otoczenie separacji ma kształt bryły o podstawie w postaci zbioru punktów odległych o wartość separacji podłużnej DS od odcinka łączącego dwa kolejne punkty trajektorii lotu (dla $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$) (15)

$$\left[(wp_y^j, f_y^h, vh_y, t), (wp_y^j, f_y^h, vh_y, t+1) \right] \quad (15)$$

Wysokości dolnej i górnej podstawy otoczenia separacji wyznaczają granice separacji pionowej na poziomie lotu h (f_y^{h-1}, f_y^{h+1}) . W sektorze planowania

operacyjnego mogą występować strefy stale i czasowo zabronione SP , o granicach ściśle określonych współrzędnymi geograficznymi, występujące w podanych terminach aktywności Δta , dla których definiujemy otoczenie separacji $O_{SP}(s_T, \Delta ta)$. Zbiór otoczeń separacji stref zabronionych indeksujemy $s_T(\Delta ta)$, można więc zapisać (16)

$$O_{SP}(s_T, \Delta ta) \in OTP : (s_T, \Delta ta) \in S_{SP}(\Delta ta) = \{ (1, \Delta ta), \dots, (s_T, \Delta ta), \dots, (S_T, \Delta ta) \} \quad (16)$$

Kolizyjność trajektorii lotu samolotu wykonującego rejs f_j (otoczenie separacji $O_{SEP}(wp_y^j, fl_y^h, vh_y, t)$) ze strefami czasowo zabronionymi (otoczeniami separacji stref $O_{SP}(s_S, \Delta ta)$) definiuje odwzorowanie α (17, 18)

$$\alpha : S_{SP} \times Y \times T \times H \rightarrow \{0,1\} \quad (17)$$

$$\alpha(j, s_T, \Delta ta) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } \exists_{\substack{t \in T \\ y \in Y \\ h \in H}} O_{SEP}(wp_y^j, fl_y^h, vh_y, t) \cap O_{SP}(s_T, \Delta ta) \neq \Phi \\ 0 & \text{gdy } \forall_{\substack{t \in T \\ y \in Y \\ h \in H}} O_{SEP}(wp_y^j, fl_y^h, vh_y, t) \cap O_{SP}(s_T, \Delta ta) = \Phi \end{cases} \quad (18)$$

gdzie: Φ – zbiór pusty.

Warunek niekolizyjności trajektorii lotu $TR(j, spw^{j,h}(t_{wl}), ap_i)$ ze strefami zabronionymi definiuje (19)

$$\forall_{s_T \in S_{SP}} \forall_{\Delta ta \in \{\Delta ta\}} \varepsilon(j, s_T, \Delta ta) = 0 \quad (19)$$

Warunek wzajemnej niekolizyjności trajektorii lotu $TR(j, pnt_{wl}^{j,h}(t), ap_i)$ wszystkich lotów w sektorze (w horyzoncie planowania) definiuje odwzorowanie ω (20–22)

$$\omega : O_{SEP} \times O_{SEP} \times T \rightarrow \{0,1\} \quad (20)$$

$$\omega(j1, j2) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } \exists_{\substack{t \in T \\ y \in Y \\ h \in H}} O_{SEP}(wp_y^{j1}, fl_y^{h1}, vh_y, t) \cap O_{SEP}(wp_y^{j2}, fl_y^{h2}, vh_y, t) \neq \Phi \\ 0 & \text{gdy } \forall_{\substack{t \in T \\ y \in Y \\ h \in H}} O_{SEP}(wp_y^{j1}, fl_y^{h1}, vh_y, t) \cap O_{SEP}(wp_y^{j2}, fl_y^{h2}, vh_y, t) = \Phi \end{cases} \quad (21)$$

$$\forall_{j1 \in J} \forall_{j2 \in J} \omega(j1, j2) = 0 \quad (22)$$

Dla tak sformułowanych ograniczeń niekolizyjności trajektorii lotu można zdefiniować dodatkowy warunek (23) minimalizujący liczbę zmian parametrów lotu na trasie do lotniska. Najlepszym (najbezpieczniejszym) rozwiązaniem (o ile istnieje) jest wtedy lot po prostej pomiędzy nawigacyjnym punktem wlotu a lotniskiem tylko ze zmianami prędkości zniżania vh_y , wynikającymi z warunku lądowania na lotnisku ap_i

$$\min \sum_j |SP^j| = \min \sum_j \left| \left\{ \left\{ wp_y^j, fl_y^h, vh_y, t \right\} \right\} \right| \quad (23)$$

gdzie: $|\{\dots\}|$ – licznosc zbioru.

W praktyce ważniejsze jest właściwe uszeregowanie samolotów w rejonie lotniska. Może się okazać, że warunki ruchowe wymuszą opóźnienie samolotu, by uniknąć oczekiwania (*Holding*). Głównym warunkiem jest wtedy minimalizacja zużycia paliwa przez separowane samoloty. Ponieważ zużycie paliwa przy zniżaniu jest tym większe, im niższy jest poziom lotu, minimalizację zużycia paliwa można uwzględnić w algorytmie przez wybór punktu $spz_{y,t}^{i,h}(t) = (wp_{y,t}^i, \pi_{y,t}^h, v_{h,y,t})$ zmiany prędkości zniżania $v_{h,y,t}$, dla najpóźniejszego możliwego punktu $wp_{y,t}^i$ (z warunkiem niekolizyjności). Praktycznie we wszystkich analizowanych obecnie na świecie propozycjach średnioterminowego i długoterminowego rozwiązywania sytuacji konfliktowych minimalizacja zużycia paliwa jest głównym kryterium wyboru wariantu najlepszego z bezpiecznych.

Właściwe szeregowanie samolotów lądujących jest jednym z problemów lepiej rozpracowanych teoretycznie w specjalistycznej literaturze lotniczej [9]. Separacje czasowe pomiędzy kolejno lądującymi samolotami zależą od turbulencji w śladzie aerodynamicznym (kategorii wagowej). Czas wykonania samej operacji lądowania jest zbliżony dla różnych kategorii wagowych. O czasie pomiędzy kolejnymi operacjami lądowanie decyduje więc głównie czas separacji. Czas ten jest zależny od kolejności uszeregowania. Uniemożliwia to zastosowanie klasycznych metod szeregowania, gdzie głównym założeniem jest stały, określony czas wykonania operacji. Opracowano wiele algorytmów suboptymalnego szeregowania samolotów lądujących. Ich praktyczne znaczenie jest jednak niewielkie. Doświadczenia wykazują, że praktyczny horyzont szeregowania wynosi 15 – 20 minut. W tym czasie na pojedynczym pasie startowym, uwzględniając przerwy na starty, operację lądowania może wykonać maksymalnie 5 – 8 samolotów. Badania z ostatnich lat [9] sprowadzają się do symulacyjnej analizy modeli szeregowania samolotów lądujących, z wykorzystaniem zbiorów rozmytych do poszukiwania praktycznych prawideł szeregowania. Wydaje się, że zadowalające rozwiązanie można osiągnąć metodą zawężonego przeglądu skończonej liczby (kilku, kilkunastu) możliwych fizycznie uszeregowień. Punktem wyjściowym przeglądu jest kategoria wagowa samolotu wykonującego operację startu lub lądowania w chwili rozpoczęcia szeregowania [9].

3. Implementacja metody

Implementacja modelu została zrealizowana na bazie danych spełniającej standardy Open GIS. Do takich produktów należą między innymi: komercyjny Oracle Spatial lub darmowy PostgreSQL z modułem PostGIS. Do najbardziej przydatnych funkcji GIS na potrzeby wyznaczania niekolizyjnej trajektorii lotu należą funkcje, określające relacje pomiędzy obiektami przestrzennymi: rozłączność, przecinanie i przyleganie. Dla zadania wyznaczanie niekolizyjnej trajektorii lotu GIS jest systemem gromadzenia i przetwarzania informacji o przestrzeni czterowymiarowej (czasoprzestrzeni) - *Temporal GIS*. Czasoprzestrzenny układ odniesienia pozwala na określenie relacji pomiędzy lokalizacją geograficzną obiektu geometrycznego a czasem. W przedstawionym modelu współrzędne geograficzne obiektów geometrycznych przechowywano oddzielnie od czasu. Układem odniesienia dla obiektów geometrycznych był układ WGS84. Natomiast czas wystąpił w postaci dyskretnej jako kolejne minuty czasu UTC. Dzięki wykorzystaniu GIS weryfikacja

kolizyjności trajektorii lotów względem siebie (21) oraz względem elementów przestrzeni (18) została wykonana stosunkowo łatwo. Na rysunku 1 pokazano przykładowe rozwiązanie uzyskane przy testowaniu metody. Czasy obliczeń na komputerze klasy PC są zadowalające (do kilku minut), a na UNIX-owych stacjach roboczych czas obliczeń liczony jest w sekundach (łącznie z wizualizacją rozwiązania). Koszty przelotów oraz osiągi samolotów poszczególnych typów były określane z bazy osiągnięć rozwijanej przez Europejską Organizację ds. Bezpieczeństwa Żeglugi Powietrznej EUROCONTROL w ramach projektu BADA (*Base of Aircraft Data*). Zaprezentowana metoda pozwala na:

- wyznaczenie trajektorii lotu nietrasowego statku powietrznego, z uwzględnieniem koordynacji operacji lądowania,
- zweryfikowanie kolizyjności tras lotu statków powietrznych ze sobą i aktywnymi elementami przestrzeni,
- wyznaczenie innej trajektorii lotu w celu uniknięcia ewentualnej kolizji lub braku możliwości wykonania operacji lądowania przy założonych parametrach lotu.



Rys. 1. Przykładowa wizualizacja tras niekolizyjnych (linie cienkie) z różnym czasem dolotu do lotniska

LITERATURA

1. Andrews J. W., Welch J. D.: Safety Analysis for Advanced Separation Concept. UERD 2005.
2. Barhydt R., Hansman R. J.: Experimental Studies of the Effect of Intent Information on Cockpit Traffic Displays. AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics, vol. 22, no. 4, 1999, p. 520-527.
3. Brudnicki D., Lindsay K., McFarland A.: Assessment of Field Trials. Algorithmic Performance and Benefits of the User Request Evaluation Tool (URET) Conflict

- Probe, Proc. 16th Digital Avionics Systems Conference, Irvine 1997, p. 9.3-35 - 9.3-44.
4. Hassing C., Corwin B, Jackson M.: Designing an Airborne Alerting System for Closely Spaced Parallel Approaches. AIAA-99-3986, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Portland 1999, p. 280-287.
 5. Kuchar J. K., Yang L. C.: A Review of Conflict Detection and Resolution Modeling Methods. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 1, no. 4, 2000, p. 179-189.
 6. Malarski M., Piątek M.: Dynamiczne wyznaczanie trajektorii lotu nietrasowego dla zadania szeregowania samolotów lądujących. Badania operacyjne i systemowe 2004 – Zastosowania. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2004, s. 319-328.
 7. Malarski M., Piątek M.: Infrastruktura techniczna dla lotów swobodnych w przestrzeni kontrolowanej – koncepcje europejskie i amerykańskie. Systemy Logistyczne - teoria i praktyka, Warszawa 2005, s. 381-386.
 8. McNally B., Bach R., Chan W.: Field Test Evaluation of the CTAS Conflict Prediction and Trial Planning Capability. AIAA-98-4480, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Boston 1998, p. 1686-1697.
 9. Robinson J. E., Davis T. J., Isaacson D. R.: Fuzzy Reasoning-Based Sequencing of Arrival Aircraft in the Terminal Area. AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, 1997, p. 1-11.
 10. Wong J. T., Liu T. C.: Development and Application of an Airport Terminal Simulation Model - A Case Study of CKS Airport. Transportation Planning and Technology, vol. 22, 1998, p. 73 – 86.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Marian Błachuta

Abstract

Methods for maintaining separation between aircraft in the current airspace system have been built from a foundation of structured free routes and evolved procedures. There are many automated systems of air traffic conflict detection and resolution presented in the literature. In this paper a new model of conflict detection in middle term planning is presented. Positive results of implementation of this model are also shown.