

TAKTICKÁ PREDIKCIA KONTAKTU DVOJICE LIETADIEL

A TACTICAL CONFLICT PREDICTION OF A PAIR OF AIRCRAFT

Andrej Novák¹, Karel Havel²

Anotácia: Článok obsahuje matematický model taktickej predikcie konfliktu dvojice lietadiel. Taktická predikcia konfliktu lietadiel má upozorniť riadiaceho na okamžitú potenciálnu nebezpečnú situáciu. Okolo lietadla L je definovaný konfliktný priestor, ktorý je rotačný elipsoid. Lietadlo L sa nachádza v strede konfliktného priestoru a lietadlo M sa voči nemu pohybuje relatívnou rýchlosťou R, ktorá je rozdielom rýchlosti lietadla M a lietadla L. V modele sa extrapoluje dráha lietadla M v smere vektora relatívnej rýchlosti zblížovania po dobu predstihu p. Ak má extrapolovaná dráha s konfliktným priestorom lietadla L spoločný aspoň jeden bod, signalizuje sa konflikt.

Kľúčové slová: konflikt, konfliktný priestor, algoritmus.

Summary: The paper presents a mathematical model of tactical conflict prediction of a pair of aircraft. The objective of a tactical conflict prediction is to signal immediate danger situation to an air traffic controller. The conflict volume of an aircraft L is in the airspace formed around the aircraft L that is fixed in the centre of the conflict volume which is a rotational ellipsoid. The aircraft M moves with a constant relative velocity R with regard to aircraft L. If the extrapolated trajectory has at least one common point with the protected volume, then the point is enclosed in the protected volume and the conflict is signalled.

Key words: conflict, conflict volume, algorithm.

ÚVOD

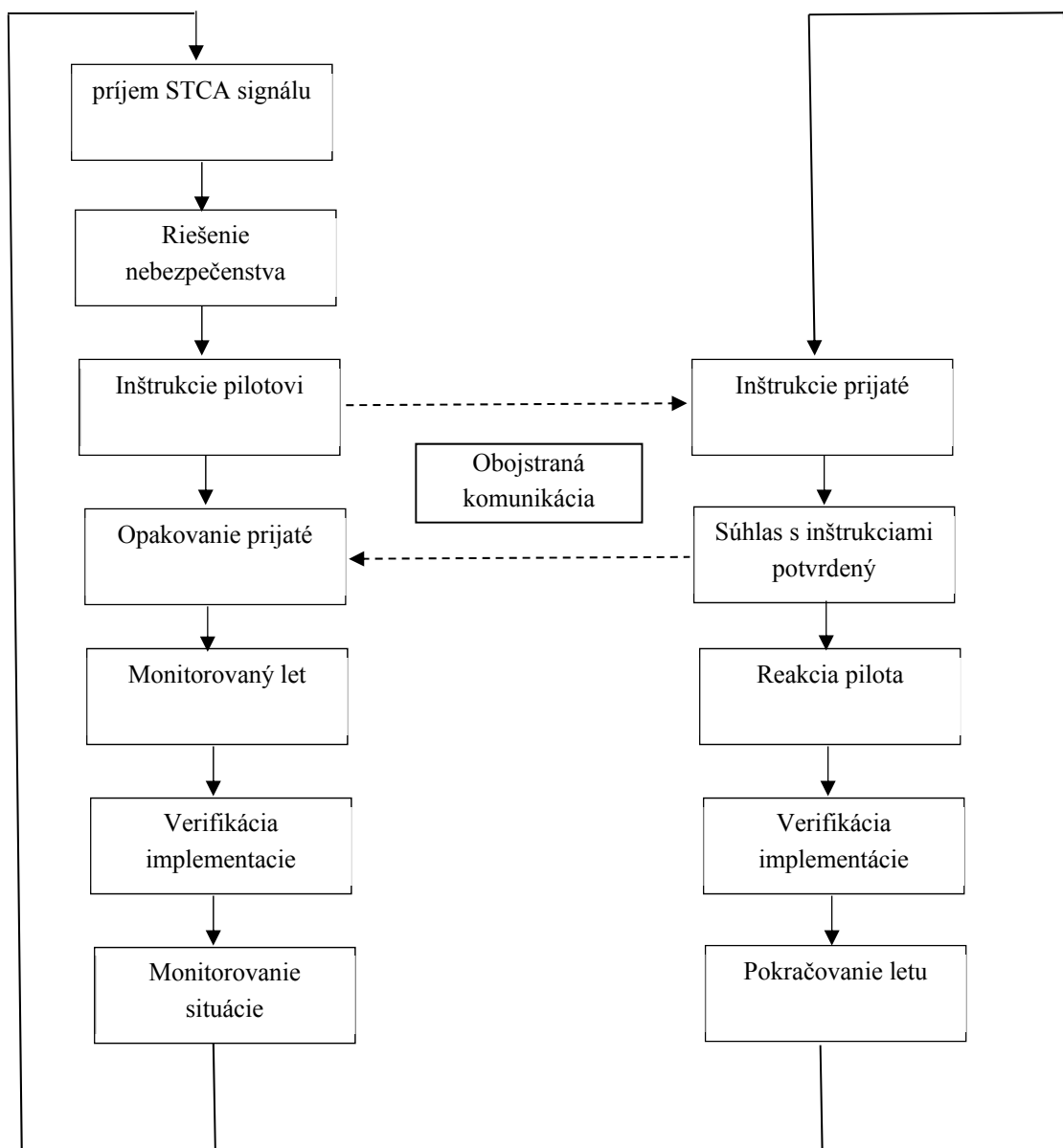
Riadenie letovej prevádzky je komplexný problém, ktorý zahŕňa riešenie fragmentového priestoru s ohľadom na jeho penetráciu. Tu je potrebné si uvedomiť, že poskytovanie letových prevádzkových služieb je spojené s plnením služieb, ktorými sú:

- zabráňovať zrážkam medzi lietadlami;
- zabráňovať zrážkam lietadiel s prekážkami na prevádzkovej ploche;
- udržiavať rýchly a usporiadaný tok letovej prevádzky;
- poskytovať rady a informácie vhodné na bezpečné a hospodárne vykonávanie letov;
- informovať príslušné organizácie o lietadlách, po ktorých sa má pátrať alebo ktorým sa má poskytnúť záchranná služba a podľa potreby spolupracovať s týmito organizáciami.

¹ prof. Ing. Andrej Novák, PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Tel.: +421/41/5133450, E-mail: Andrej.Novak@fpedas.uniza.sk

² prof. Ing. Karel Havel, CSc., Žilinská univerzita v Žiline, fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra leteckej dopravy, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina, Tel.: +421/41/5133451, E-mail: Karel.Havel@fpedas.uniza.sk

Systémy ATM (Air Traffic Management), ktoré sú založené na počítačových systémoch a v spojení s radarovými systémami musia umožňovať zobrazenie bezpečnostných upozornení a výstrah vrátane výstrahy na nebezpečenstvo zrážky, výstrahy na minimálnu bezpečnú nadmorskú výšku, predpovede zrážky a upozornenia na neúmyselné zdvojené kódy SSR. V tomto článku sa venuje problematike pozemných proti zrážkových systémov (Ground Collision Avoidance Systems, GCAS), ktoré je možné rozdeliť na taktické systémy a strategické systémy. Taktické systémy (Short Term Conflict Alert – STCA) signalizujú nebezpečenstvo zrážky po otáčke radaru, strategické systémy (Strategic Conflict Avoidance, SCA) signalizujú pred vstupom lietadla do riadeného vzdušného priestoru nebezpečenstvo zrážky vstupujúceho lietadla s lietadlami v riadenom vzdušnom priestore. Postup riešenia nebezpečenstava zrážky dvojice lietadiel znázorňuje Obr.1.



Zdroj: Autori

Obr. 1 – Vyvojový diagram signalizácie nebezpečenstva zrážky a monitorovania dvojice lietadiel.

Článok obsahuje teoretické riešenie a návrh modelu taktickej predikcie konfliktu dvojice lietadiel. Ciele riešenia sme dosiahli v podobe modelu a príslušného algoritmu. Pričom autori analyzovali nasledujúce publikácie z Letecký zákon a postupy ATC (Novák Sedlačková A., 2015), Letecké prístroje (Kandera B., 2015). Ako aj súvisiacich publikácií v anglickom jazyku: Process modelling as the means of establishing semi-automated safety management (Lališ A., 2016), Determining acceptable level of safety of approach to landing. (Kraus j., 2016) a v neposlednom rade aj článok Increasing aviation safety through the global air navigation system (Škultéty F., 2016). (4), (6) Analýza uvedenej literatúry nám poskytla prehľad súčasnej riešenej problematiky v danej oblasti a to za účelom vymedzenia sa autorov od existujúcich riešení danej problematiky. (7), (8), (9)

1. ZÁKLADNÉ TEORETICKÉ ÚVAHY O TAKTICKEJ PREDIKCII KONFLIKTOV LIETADIEL

Taktická predikcia konfliktu lietadiel má upozorniť riadiaceho na okamžitú potenciálnu nebezpečnú situáciu. Spočíva v programe, ktorý extrapoluje na základe radarovej informácie dráhy lietadiel na určitú dobu dopredu, vyhodnotí potenciálne konflikty, a tieto signalizuje riadiacemu.

Zo súčasnej radarovej techniky vyplýva, že kontinuálne vyhodnocovanie potenciálnych konfliktných situácií nie je možné, preto sa konflikt musí analyzovať v určitých intervaloch a založiť na dátach získaných v týchto intervaloch.

V rámci analýzy je nutné spracovať všetky dostupné informácie týkajúce sa polôh, rýchlostí, zamýšľaných pohybov, chýb merania, navigačného vybavenia lietadiel, výkonov lietadiel a iných informácií a z nich vypočítať najhoršie možné prípady. Základom analýzy je matematické a logické spracovanie dát pre určenie budúcich najhoršie možných prípadov. Termín najhoršie možný je nutné chápať ako termín, popisujúci najnepriaznivejšiu kombináciu faktorov určujúcich polohu lietadiel.

Najskôr je nutné stanoviť bezpečnú vzdialenosť minútia dvoch lietadiel, minimum minútia (rozstupy) uvádza literatúra (1), definuje okolo lietadla priestor, ktorý nesmie narušiť iné lietadlo. Pre matematické spracovanie je vhodné definovať ho vo vertikálnom a horizontálnom smere.

Vodorovná vzdialenosť musí byť väčšia, než je HM (minimálna vodorovná vzdialenosť) alebo ako VM (minimálna vertikálna vzdialenosť).

Čiže z dôvodov uvedených vyššie sa extrapolovaná vodorovná a extrapolovaná vertikálna vzdialenosť musí zvýšiť o chybu merania polohy a rýchlosti lietadla, o možnosť pilota a riadiaceho počas doby identifikácie konfliktu meniť dráhu letu a o náhodné odchýlky od dráhy letu.

Predpokladajme lineárny a nezrýchlený pohyb lietadiel L a M za časový interval $(0, p)$, k dispozícii je poloha vrátane výšky a horizontálnej a vertikálnej rýchlosti.

Z dôvodu zjednodušenia riešenia sme neuvažovali s chybou merania polohy a rýchlosti. Predstih signalizácie konfliktu (p) musí byť dostatočne veľký, aby mal riadiaci dostatok času na zamedzenie zrážky. Minimum predstihu p závisí od:

- doby potrebnej na predikciu konfliktu (minimálne otáčka radaru), dokonca môže dôjsť k jej predĺženiu vyplývajúceho zo sledovacích programov a z výpočtu relatívnej rýchlosti jedného lietadla voči druhému,
- doby reakcie riadiaceho na signalizáciu konfliktu, závisí od kvality spojenia medzi riadiacim a pilotom,
- doby reakcie pilota,
- doby potrebnej na stanovenie uhybného manévru,
- doby potrebnej na vykonanie uhybného manévru.

Minimálny predstih je daný súčtom vyššie uvedených dôb. Problematickejšie je stanoviť maximálnu hodnotu predstihu. Čím je väčšia doba, tým je viac času na úhybný manéver a teda sa vytvorí predpoklad pre väčšiu bezpečnosť. Na druhej strane, ak systém taktickej predikcie nepozná zamýšľané pohyby lietadiel, musí nevyhnutne dochádzať k falošnej signalizácii konfliktu (veľmi včasná signalizácia konfliktu by mohla byť vzápätí poprená následným zamýšľaným manévrom do bezpečného smeru) čo by mohlo viesť k ignorovaniu signalizácie riadiacimi a v konečnom dôsledku k ignorovaniu skutočnej zrážky.

Rovnako chyby výpočtu rastú s časom (krátkodobé zmeny vektoru rýchlosti, chyby zariadení, atď.). Je teda nutné stanoviť kompromis medzi adekvátnou ochranou a falošnou signalizáciou. Ďalej je nutné stanoviť inú hodnotu predstihu v okolí letiska (TMA, CTR), kde je vyššia hustota prevádzky a rozstupy menšie ako v riadenej oblasti. Z toho vyplýva požiadavka na odstupňované hodnoty predstihu signalizácie konfliktu pre rôzne výšky a pre rôznu intenzitu prevádzky (2).

Označme $\mathbf{HM}(t)$ a $\mathbf{HL}(t)$ ako horizontálne polohové vektory dvoch lietadiel a $|V(t)|$ ako rozdiel ich výšok. Potom $\mathbf{H}(t) = \mathbf{HM}(t) - \mathbf{HL}(t)$ a $V(t) = V_M(t) - V_L(t)$ je poloha lietadla M vzhľadom k lietadlu L. Ak je V_M minimálne vertikálna a H_M minimálne horizontálna vzdialenosť minútia, potom podmienka bezpečného minútia je aby

$$|V(t)| \geq V_M \text{ alebo } |\mathbf{H}(t)| \geq H_M \quad (1)$$

pričom $t \in (0, p)$ kde p je hodnota predstihu signalizácie konfliktu.

Polohový vektor $\mathbf{H}(t)$ je funkciou:

1. extrapolovanej polohy lietadla na základe súčasnej polohy a rýchlosti lietadiel,
2. chyby merania polohy a rýchlosti, resp. chyby výpočtu rýchlosti,
3. možnosti pilota a riadiaceho meniť dráhu letu počas doby predstihu p ,
4. náhodnej odchýlky od dráhy letu.

Čiže $\mathbf{H}(t)$ možno definovať ako:

$$\mathbf{H}(t) = \mathbf{H}_e(t) + \mathbf{m}(t) + \mathbf{O}(t) \quad (2)$$

kde

$\mathbf{H}_e(t)$ je extrapolovaný rozdiel polohových vektorov lietadiel L a M v čase t ,

$\mathbf{m}(t)$ je chyba merania polohy a rýchlosti lietadla,

$\mathbf{O}(t)$ reprezentuje odchýlky od extrapolovanej dráhy spôsobené vedome pilotom alebo riadiacim a náhodné odchýlky z technických dôvodov.

Pretože nemôžeme predpokladať smer vektorov $\mathbf{m}(t)$ a $\mathbf{O}(t)$, platí pre bezpečné minútie lietadiel:

$$|\mathbf{H}_e(t)| \geq HM + |\mathbf{m}(t)| + |\mathbf{O}(t)| \text{ pričom } t \in (0, p) \quad (3)$$

Uvažujme prípad lineárneho nezrýchleného pohybu dvoch lietadiel za časový interval $(0, p)$, k dispozícii je poloha a výška lietadiel vrátane ich vodorovnej a vertikálnej rýchlosti. Potom:

$$|\mathbf{H}_e(t)| = |\mathbf{H}(0)| + |\mathbf{H}'(0)| \cdot t, t \in (0, p), \quad (4)$$

kde

$\mathbf{H}(0)$ je zmeraná relatívna poloha (vzdialenosť oboch lietadiel),

$\mathbf{H}'(0)$ je zmeraná relatívna rýchlosť,

dosadením do rovnice (3)

$$|\mathbf{H}_e(t)| = |\mathbf{H}(0)| + |\mathbf{H}'(0)| \cdot t \geq HM + |\mathbf{mD}(0)| + |\mathbf{mD}'(0)| \cdot t + |\mathbf{O}(t)| \quad (5)$$

Podobne

$V_e(t)$ je extrapolovaný rozdiel výšok v čase t .

$$|V_e(t)| \geq VM + |\mathbf{mV}(t)| + |\mathbf{OV}(t)| \text{ pričom } t \in (0, p) \quad (6)$$

$$|V_e(t)| = |V(0)| + |V'(0)| \cdot t, t \in (0, p) \quad (7)$$

$$|V_e(t)| = |V(0)| + |V'(0)| \cdot t \geq VM + |\mathbf{mV}(0)| + |\mathbf{mV}'(0)| \cdot t + |\mathbf{O}(t)| \quad (8)$$

kde

$V(0)$ je zmeraný rozdiel výšok lietadiel L a M,

$V'(0)$ – zmeraná relatívna vertikálna rýchlosť lietadiel L a M.

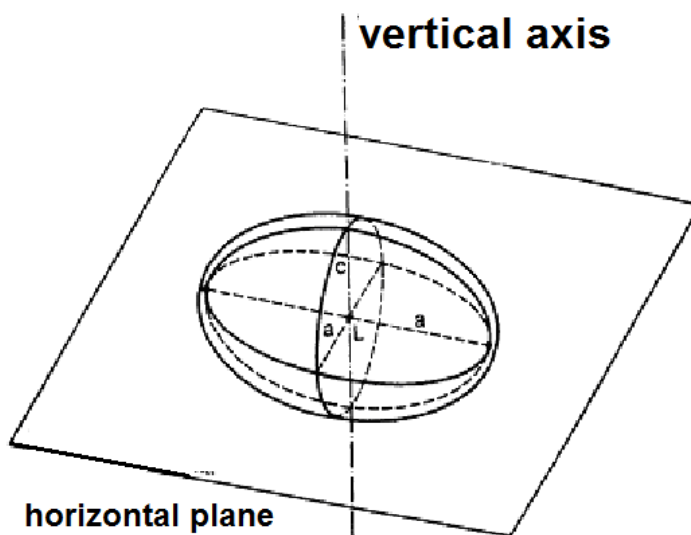
2. KONŠTRUKCIA MODELU

Zvolený konfliktný priestor lietadla L je elipsoid. Rotačný elipsoid je zobrazený na Obr. 2. Predpokladajme že lietadlo M letí rýchlosťou \mathbf{V}_M a lietadlo L letí rýchlosťou \mathbf{V}_L . Lietadlo L považujeme za stojace lietadlo a lietadlo M sa voči nemu pohybuje relatívnou rýchlosťou $\mathbf{R} = \mathbf{V}_M - \mathbf{V}_L$.

Nech $M_p = M + p \cdot \mathbf{R}$ je poloha lietadla M v čase p pri predpokladanom konštantnom vektore relatívnej rýchlosti \mathbf{R} počas doby p . Ak úsečka $M_p M$ má s konfliktným priestorom spoločný aspoň jeden bod, tak bod M leží v konfliktnom priestore a treba signalizovať možný konflikt. Analytické vyjadrenie takto definovaného ochranného priestoru nie je potrebné odvodiť, tak ako v matematických modeloch v literatúre (1) (2), stačí poznať analytické vyjadrenie konfliktného priestoru, rotačného elipsoidu, obrázok 2 ktorého rovnica je

$$1 \geq \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2} \quad (9)$$

Tento model budeme nazývať model EM.



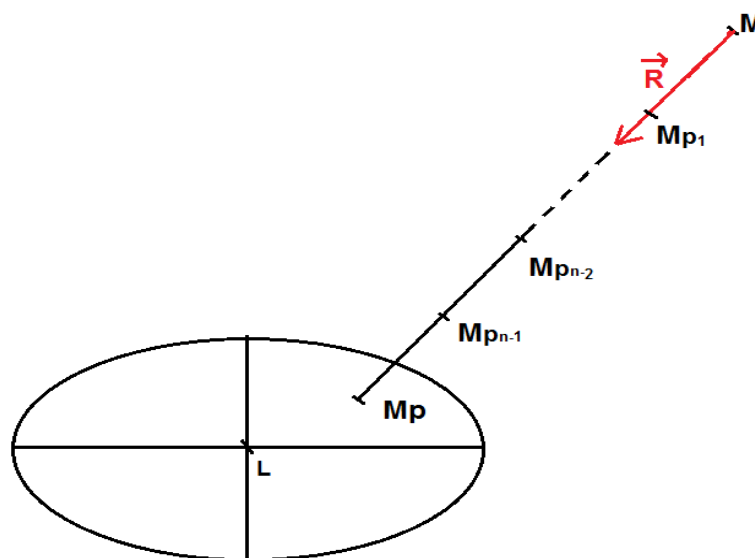
Zdroj: Autori

Obr. 2 - Konfliktný priestor –rotačný elipsoid

3. ALGORITMUS SIGNALIZÁCIE MOŽNÉHO KONFLIKTU

Zostavme algoritmus signalizácie možného konfliktu pri použití modelu EM konfliktného priestoru lietadla L. Utvoríme delenie časového priestoru intervalu $(0, p)$ deliacimi bodmi $0, p_1, p_2, \dots, p_{n-1}, p_n=p$, kde $p_i=i \cdot p/n$, $i = 1, 2, \dots, n$, $p_0 = \frac{p}{n}$. Číslo n je prirodzené číslo

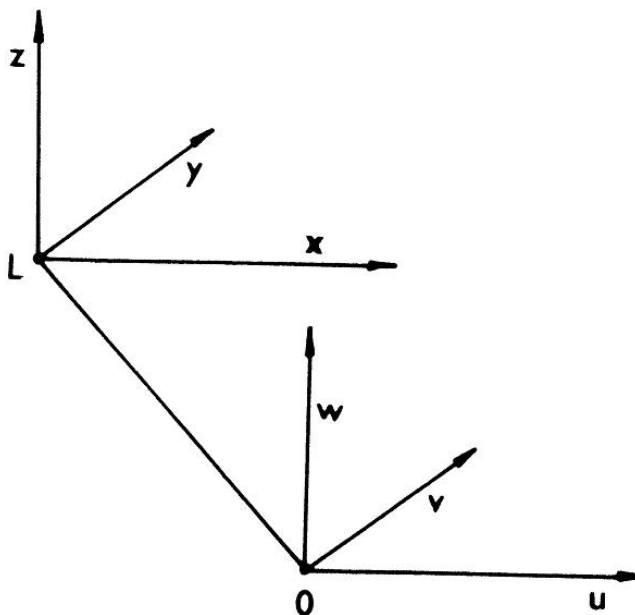
a volíme ho tak, aby nebolo zbytočne veľké. Zvyčajne stačí zvoliť $n = 2, n = 3$, prípadne $n = 4$. Tomuto deleniu zodpovedá delenie úsečky MM_p deliacimi bodmi $M, M_{p1}, M_{p2}, \dots, M_{pn-1}, M_{pn} = M_p$. Potom postupne zisťujeme, či bod $M_p, M_{pn-1}, M_{pn-2}, \dots$, leží v konfliktnom priestore, t. j. či jeho súradnice spĺňajú nerovnicu (9). Ako náhle je táto nerovnica splnená niektorým z bodov $M_p, M_{pn-1}, M_{pn-2}, \dots$, tak sa signalizuje možný konflikt a v zisťovaní pre ďalšie body už nepokračujeme. Postup znázorňuje nasledujúci obrázok č.3.



Zdroj: Autori

Obr. 3 – Vizuálne zobrazenie algoritmu signalizácie možného konfliktu

Aby sme mohli navrhnúť matematický model predikcie konfliktu, je potrebné v priestore zvoliť karteziánský súradnicový systém, k.s. $[0; u; v; w]$, rovina (u,v) je vodorovná a radar je v strede súradnicového systému, pozri obrázok 3. Vstupné údaje sú súradnice lietadiel L a M v súradnicovom systéme $[0; u; v; w]$ snímané radarom v určitých časových intervaloch. Lietadlo L má v tomto k.s. súradnice $[u_L; v_L; w_L]$. Posuňme k.s. $[u; v; w]$ o vektor \mathbf{L} , ($L[u_L; v_L; w_L]$), výsledkom je k.s. $[L; x; y; z]$, so stredom v bode L, vid' obr. 4.



Zdroj: Autori

Obr. 4 – Transformácia súradnicového, k.s. $[0; u; v; w]$, systému radaru

Transformačné rovnice tohoto posunutia sú:

$$X = U - U_L$$

$$Y = V - V_L$$

$$Z = W - W_L$$

(10)

Súradnice lietadiel L a M získané v danom časovom okamihu v k.s. $[0; u; v; w]$ transformujeme pomocou rovníc (10) do k.s. $[L; x; y; z]$. Transformácia súradníc bodu lietadiel L a M získaných v k.s. $[0; u; v; w]$ umožňuje prácu v k.s. $[L; x; y; z]$, súradnice bodu L = $[0;0;0]$. Ďalšia práca sa bude vykonávať v k.s. $[L; x; y; z]$.

Nech $\mathbf{R} = [x_R; y_R; z_R]$ a lietadlo M = $[x_M; y_M; z_M]$ v k.s. $[L; x; y; z]$

Vstupom sú súradnice lietadiel L a M v k.s. $[0; u; v; w]$, pravidelne aktualizované v intervale $t_0 = t_{i+1} - t_i$ (otáčka antény radaru).

Výstupom je signalizácia potenciálneho konfliktu lietadiel L a M, ak existuje.

L_i a M_i sú polohy lietadiel L a M v t_i , $i = 1, 2, 3... a$

$L_i = [u_{L_i}; v_{L_i}; w_{L_i}]$ a $M_i = [u_{M_i}; v_{M_i}; w_{M_i}]$ v t_i ,

$L_{i+1} = [u_{L_{i+1}}; v_{L_{i+1}}; w_{L_{i+1}}]$ and $M_{i+1} = [u_{M_{i+1}}; v_{M_{i+1}}; w_{M_{i+1}}]$ poloha v t_{i+1} .

Potom rýchlosť lietadla L je

$$\vec{V}_L = \frac{\overrightarrow{L_i L_{i+1}}}{t_0} = \frac{1}{t_0} (u_{L_{i+1}} - u_{L_i}, v_{L_{i+1}} - v_{L_i}, w_{L_{i+1}} - w_{L_i})$$

a lietadla M

$$\vec{V}_M = \frac{\overrightarrow{M_i M_{i+1}}}{t_0} = \frac{1}{t_0} (u_{M_{i+1}} - u_{M_i}, v_{M_{i+1}} - v_{M_i}, w_{M_{i+1}} - w_{M_i}).$$

Tieto rýchlosti považujeme za okamžité rýchlosti lietadiel L a M v časovom okamžiku t_{i+1}

Vektor relatívnej rýchlosti \mathbf{R}_{i+1} lietadiel L a M v čase t_{i+1} potom je $\mathbf{R}_{i+1} = \mathbf{V}_M - \mathbf{V}_L$ jeho komponenty sú $(u_{R_{i+1}}, v_{R_{i+1}}, w_{R_{i+1}})$ pričom

$$u_{R_{i+1}} = \frac{1}{t_0} (u_{M_{i+1}} - u_{M_i} - u_{L_{i+1}} + u_{L_i}) = x_{R_{i+1}}$$

$$v_{R_{i+1}} = \frac{1}{t_0} (v_{M_{i+1}} - v_{M_i} - v_{L_{i+1}} + v_{L_i}) = y_{R_{i+1}}$$

$$w_{R_{i+1}} = \frac{1}{t_0} (w_{M_{i+1}} - w_{M_i} - w_{L_{i+1}} + w_{L_i}) = z_{R_{i+1}}$$

(11)

To sú komponenty vektora \mathbf{R}_{i+1} v k.s. $[0; u; v; w]$. Ak tento k.s. posunieme do k.s. $[L_{i+1}; x; y; z]$, tak súradnice vektora \mathbf{R}_{i+1} sa nezmenia a platí rovnice (11), (L_{i+1} preto, lebo sa to vzťahuje na časový okamih t_{i+1}). Podľa transformačných rovníc(10):

$$x_{M_{i+1}} = u_{M_{i+1}} - u_{L_{i+1}}$$

$$y_{M_{i+1}} = v_{M_{i+1}} - v_{L_{i+1}}$$

$$z_{M_{i+1}} = w_{M_{i+1}} - w_{L_{i+1}}$$

(12)

Hodnoty z rovníc (11) a (12) dosadíme do rovnice rotačného elipsoidu. Ak tieto hodnoty spĺňajú nerovnicu (9) potom lietadlo M je v konfliktnom priestore a je hrozbou.

ZÁVER

V článku predkladáme model taktickej predikcie konfliktu dvojice lietadiel. Riešenie vychádza z obecných úvah uvedených v úvode. Základom modelov je extrapolácia dráhy obidvoch lietadiel, založená na predpoklade konštantného vektora relatívnej rýchlosti zblížovania počas predstihu označenom ako p. Riešenie neberie do úvahy chyby merania polohy a rýchlosti lietadiel, ako aj odchýlky od extrapolovanej dráhy spôsobenej vedome pilotom alebo riadiacim a náhodné odchýlky z technických dôvodov. Vstupnými údajmi sú súradnice lietadiel snímané v určitých časových intervaloch daných otáčkami radaru. Konfliktný priestor je definovaný na základe stanovenej konfliktnéj vzdialenosti

v horizontálnom smere (a) a vo vertikálnom smere (c) tak ako to znázorňuje obázok č. 1. V tomto matematickom modeli je konfliktným priestorom lietadla L rotačný elipsoid. Lietadlo L sa nachádza v strede konfliktného priestoru. V modeli sa extrapoluje dráha lietadla M v smere vektora relatívnej rýchlosti zblížovania po dobu predstihu p . Ak má extrapolovaná dráha s konfliktným priestorom lietadla L spoločný aspoň jeden bod, signalizuje sa na výstupe konflikt.

Tento model predikcie konfliktu je používaný pri automatizovanom spracovaní radarovej informácie, obvykle už pri jeho základnom spracovaní. Pre zjednodušenie sme použili jednoduchý výpočet rýchlostí lietadla L a M len z dvoch meraných polôh. V skutočnosti sa výpočet rýchlostí vypočítava z viacerých plotov, pričom dochádza k váhovaniu rýchlosti zmeranej a vypočítanej. Zvyčajne sa používajú rôzne typy filtrov pre výpočet polohy a rýchlosti lietadla a určuje sa kvalita jednotlivých plotov, ktorú označujem ako *bias*.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION Air Traffic Management, Procedures for Air Navigation Services, Document 4444, Montreal Fifteenth Edition — 2016.
- (2) HAVEL, K., HUSARČÍK, J. A theory of the Tactical Conflict Prediction of a Pair of Aircraft. *The Journal of Navigation*. Cambridge: Cambridge University Press, Volume 42, Number 3, 1989. 417 - 429 s.
- (3) LAZAR, T., a kol. Sophistry of navigation errors in the transport systems In: Modern Safety Technologies in Transportation 2017 [elektronický zdroj] = MOSATT 2017 : proceedings of international scientific conference : 14-15 November 2017 Herľany, Slovakia. Volume 7. - Košice: Faculty of Aeronautics of Technical University of Košice, 2017. - ISBN 978-80-553-2864-5. - CD-ROM, s. 90-94.
- (4) NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A., KANDERA, B., TOPOLČÁNY, R.: Letecký zákon a postupy ATC, Bratislava : DOLIS, 2015.-ISBN 978-80-8181-018-3.
- (5) KAZDA, T. a kol.: Future airports development strategies In: Communications : scientific letters of the University of Žilina. - ISSN 1335-4205. - Vol. 15, no. 2 (2013), s. 19-24.
- (6) KANDERA, B.: Letecké prístroje, Bratislava : DOLIS, 2015. - 204 s.: obr. - ISBN 978-80-8181-017-6
- (7) ŠKULTÉTY, F.: Increasing aviation safety through the global air navigation system In: Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve 2016: medzinárodná vedecká konferencia organizovaná v rámci riešenia projektu Základný výskum tarifnej politiky na špecifickom trhu letiskových služieb VEGA 1/0838/13: Zuberec, 27.-29. január 2016. - Žilina: Žilinská univerzita, 2016. - ISBN 978-80-554-1143-9. - S. 44-47.
- (8) KRAUS, J. Determining acceptable level of safety of approach to landing. Paper presented at the Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2016-October 230-235.
- (9) LALIŠ, A., VITTEK, P., & KRAUS, J. Process modelling as the means of establishing semi-automated safety management. Paper presented at the Transport Means - Proceedings of the International Conference, , 2016-October 254-258.