

次世代航空管制システムにおける衝突検出方式

3M-2

山下 慶子[†]

枝廣 正人[‡]

吉村 猛[†]

NEC

[†]インターネットシステム研究所

[‡]マルチメディア研究所

1 はじめに

今後ますます航空交通量の急増が予想され、次世代へ向けたフリーフライト方式が大きな課題の1つとなっている中で、衝突を防ぐだけでなく、管制官の作業量を軽減し、航空交通の安全性を保ち、輸送力と燃料効率を向上させる管制官の意思決定支援システムが求められている。このような環境下でレーダーの届かない洋上管制区域において航空機の衝突を検出し、回避策を適切に提示する信頼性の高いアルゴリズムの構築の重要性は高い。そこで本稿では、回避策を提示する内部方式の前段階として、衝突検出方式について述べる。本手法は計算が高速であり、今後の課題である回避策を提示する内部方式を考慮したものである。

2 航空管制業務と研究対象

航空管制業務は空域の区分により業務が分担されており、大別して飛行場ターミナルの管制官が行なうターミナル管制と航空路管制センターで行なわれるエンルート(航空路)管制とがある(図1参照)。本研究対象はエンルート管制、特に洋上管制を支援するシステムである。洋上はレーダーが届かないため、飛行する前に提出されたフライトプラン、及び音声による位置通報を基に太平洋上の空域を飛行する航空機の位置を予測し、接近・衝突を事前に検出し適切な回避策を算出することを目的としている。このためにはコンフリクト、すなわち複数の飛行中航空機の相互間隔が一定の距離以下となる場合の検出を高速に行なうことが不可欠である。この解決が本稿の主題である。相互間隔は進行方向の縦間隔、左右の横間隔、上下の垂直間隔それぞれ定められており、管制間隔と呼ぶことにする。

3 コンフリクト検出提案方式

コンフリクト検出方式として、メッシュ法を適用する。メッシュ法とは、飛行経路を区分線形近似す

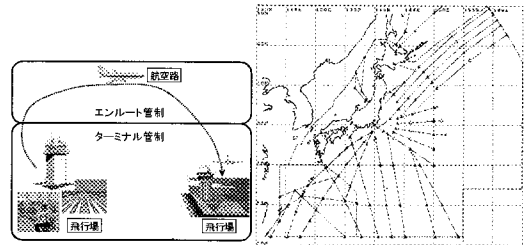


図1: 管制空域区分と飛行情報区

る方法である。この問題においては、洋上管制区域を緯度・経度のラインで区切り、そのラインで区切られた領域(以下、メッシュと呼ぶ)を区分線形近似する。つまり、各メッシュ毎の進入座標/時刻、および退出座標/時刻は正確に計算し、メッシュ内は直線で近似する方法である(図2参照)。直線近似による誤差は、メッシュの大きさを緯度間隔、経度間隔ともに2.5度としたとき高々0.03マイル程度で抑えられることがいえる。

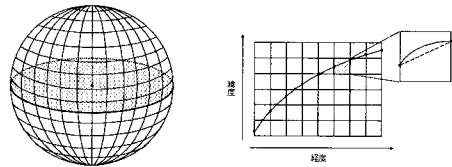


図2: メッシュ法

3.1 メッシュの計算

各メッシュの進入座標/時刻、および退出座標/時刻を計算する手法を述べる。航空機は2地点間の最短距離である大円、すなわち大圏航路を飛行する。フライトプランの位置通報点の緯度・経度、通過予定時刻により算出する手法を以下に記す。

A) 始点 S 、終点 T の位置ベクトルを求める。

$$\begin{cases} X_S = \cos \theta_S \cos \phi_S \\ Y_S = \cos \theta_S \sin \phi_S \\ Z_S = \sin \theta_S \end{cases} \quad \begin{cases} X_T = \cos \theta_T \cos \phi_T \\ Y_T = \cos \theta_T \sin \phi_T \\ Z_T = \sin \theta_T \end{cases}$$

ただし θ は緯度、 ϕ は経度である。

B) 始点 S と終点 T 間の距離 $dist(S, T)$ を求める。

$$dist(S, T) = \arccos(X_S X_T + Y_S Y_T + Z_S Z_T)$$

- C) 角速度 ω を求める。
 $\omega = \text{dist}(S,T) / \text{time}(S,T)$
 $\text{time}(S,T)$ は S から T までの所要時間。
- D) 飛行平面(3点 O, S, T を通る平面)の法線ベクトル $U = (X_U, Y_U, Z_U)$ を求める。
 $U = S \times T$
- E) 飛行平面の赤道面からの傾き角 β を求める。
 $\beta = \pi/2 - \arcsin(Z_U)$
- F) 飛行平面と赤道面との交線(ベクトル E)を求める。
 $E = Z \times U$
- G) ベクトル E と S のなす角 α_0 を求める。
 $\alpha_0 = \arccos(X_E X_S + Y_E Y_S + Z_E Z_S)$
- H) $S-T$ 間のメッシュ線上の計算。
- i. ベクトル E の経度 ϕ_E と、 E を軸とした P の経度 $\phi_{P(E)}$ を求める。
 $\phi_E = \arctan(Y_E / X_E)$, $\phi_{P(E)} = \phi_P - \phi_E$
 - ii. ベクトル E と P のなす角 α を計算し、点 P の座標 ϕ_P および θ_P を求める。
 (ア) 経度 ϕ_P メッシュ線上の緯度 θ_P の計算。
 $\alpha = \arctan(\tan(\phi_{P(E)}) / \cos(\beta))$
 $\theta_P = \arcsin(\sin(\beta) \sin(\alpha))$
 (イ) 緯度 θ_P メッシュ線上の経度 ϕ_P の計算。
 $\alpha = \arcsin(\sin(\theta_P) / \sin(\beta))$
 $\phi_P = \arctan(\cos(\beta) \tan(\alpha)) + \phi_E$
- I) 飛行経路とメッシュ線が交差する点 P の通過時刻 T_P を求める。

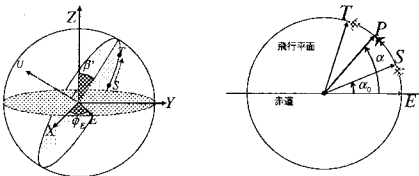


図3：大圏航路の計算

以上の方法より分かるように、緯度と経度は独立に処理することができる。

3.2 直線近似とコンフリクト判定

あるメッシュに対して正確に計算された航空機の進入座標と退出座標間を直線近似し、航空機間の距離を時間 t の関数で表現することにより、他の航空機との最接近距離および最接近時刻を計算する。航空機間の距離は時間 t の2次関数であるから、最接近時刻および最接近距離は、この関数の極値を求めればよい。求められた最接近距離の値が管制間隔以下の場合にコンフリクトがあると判定する。

3.3 コンフリクトの検出

あるメッシュ内を飛行する航空機に対するコンフリクトの検出は、管制間隔とメッシュの大きさにもよるが、自身のメッシュとその周囲のメッシュのみを検出の対象とし、それ以外のメッシュ内を飛行する航空機との検出を計算する必要はない(図4参照)。また重複のないよう工夫したメッシュの突合せ処理を行なう。

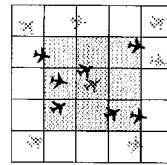


図4：検出対象メッシュ

3.4 実験評価

コンフリクト検出プログラムを作成し、456機の運航データで評価を行った。計算機は Pentium II 450MHz にて 0.08~0.09 秒で 174 のコンフリクトを検出することができた。ここでは両機の直線間隔が 50 マイル以下の時にコンフリクトと判定し、距離計算誤差は 0.001~0.007 マイルである。

4 おわりに

本稿では洋上管制区域における衝突検出方式について述べた。提案方式では高速な処理を実現している。また回避策提案方式への拡張にも適している。今後、回避策提案方式へつなげていく。

参考文献

- [1] G.J.Bakker, H.J.Kremer, H.A.P.Blom, "Geometric and probabilistic approaches towards conflict prediction", 2000
- [2] 青山幹雄, 猪塚貞行, 菅野照美, 斎藤謙一郎 著: "航空とIT技術", 共立出版