

16. ハイブリッド監視システムによる航空機監視実験

監視通信領域 ※古賀 禎

1. はじめに

近年、航空管制の分野では、放送型自動従属監視システム（ADS-B）やワイドエリアマルチラレーションシステム（WAM）などの新しい航空機監視システムが出現し、各国において導入を目指した研究開発が進められている。これらの新システムは、二次監視レーダ（SSR）モードSなどの現用システムと比べ、個々に性能上優位な点を有し、その導入により航空交通の一層の安全性と効率性の向上が期待されている。今後、現用システムから新システムへの移行は、各システムの特徴を生かした複合型（ハイブリッド）の監視体制が段階的に構築・運用されることが想定される。電子航法研究所では、ハイブリッド監視による新旧システムの協調的運用により、より信頼性の高い監視性能を実現する技術の開発を進めている。

本報告では、当所で開発したハイブリッド監視システムの概要と航空機監視実験の結果について報告する。

2. ハイブリッド監視システム

ハイブリッド監視システムは、複数の監視センサから監視情報を入力し、信頼性の高い監視情報を入力する。図1にハイブリッド監視システムの

構成を示す。ハイブリッド監視システムは、監視センサ、センサ処理、統合処理に3つの処理に大別できる。

以降、2.1節にて監視センサ、2.2節にてセンサ処理、2.3節にて統合処理、2.4節にてシステム内の時刻同期について説明する。

2.1 監視センサ

当所では、現在までの実施した研究で開発した3つの監視センサ（SSRモードS、WAM、ADS-B）を有している。いずれの監視センサも、常時稼働にしており、長期的な変動の分析や希少事象の調査を行っている。

監視センサは、EUROCONTROLのASTERIX形式に準拠した監視情報を入力する。WAM、ADS-BはASTERIX10形式、SSRはASTERIX48形式のメッセージを入力する。

2.2 センサ処理

センサ処理は、各監視センサからの監視情報に対して追尾などの処理を行う。センサ処理は6つの機能から構成される。図2にセンサ処理の機能構成を示す。センサ処理は、3つの監視センサとも同じ処理を行っているが、センサ毎に監視精度・監視頻度・監視誤差等の性質が異なるため、センサ毎に異なるパラメータを設定する。

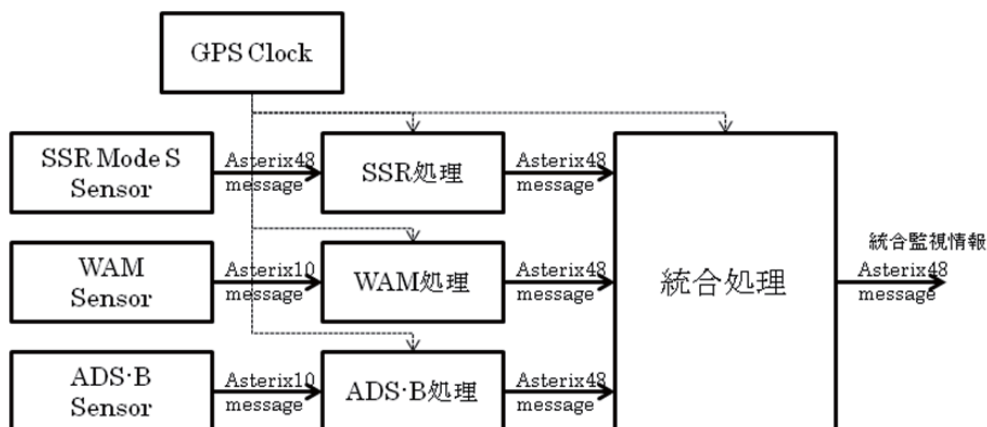


図1 ハイブリッド監視システムの構成

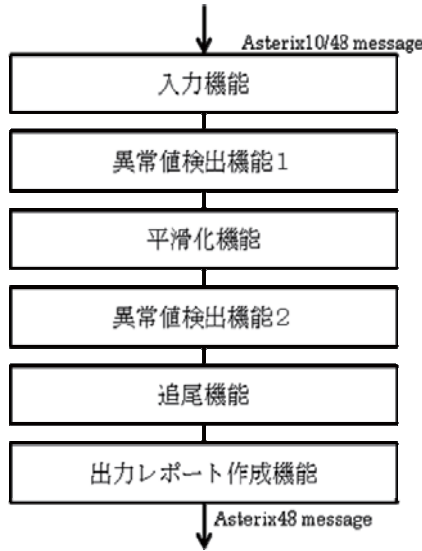


図2 センサ処理の機能構成

入力機能では、監視センサが出力するASTERIX10または48形式のメッセージを解読する。また、予め監視処理する範囲を決定するマップを有しており、センサ処理が各種処理を実施する領域（エリア）を決定する。さらに、航空機の前位置と航空機の現在位置を比較して、一定以上の離れた航空機については、別のターゲットとして処理する。

異常値検出機能1では、監視センサからの出力には、後段で実施する処理（平滑化機能や追尾機能）において誤りの要因となる監視情報を検出し除去する。例えば、同一時刻で異なる位置を示す監視情報や異なる時刻で同一位置となる監視情報などを除去する。

平滑化機能では、航空機毎に過去数秒間分の監視情報を保持するとともに、これらの位置を平滑化し、平滑曲線を算出する。また、速度や進行方位などを計算する。さらに、平滑化により監視情報のデータ数を削減する。監視センサによっては、ある領域において1秒間に数十レポートと非常に多くのレポートが出力されることがあり、データ削減により、処理負荷を軽減する。また、時間間隔が短い位置情報による追尾異常を回避する。

異常値検出機能2では、平滑曲線から大きく離れた突発的な異常位置を検出する。また、速度や進行方向が、著しく大きい値などを異常として検

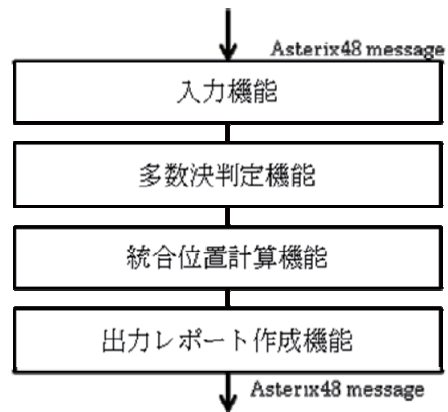


図3 統合処理の機能構成

出する。この他に、平滑位置と測定位置の誤差や一定時間あたりの検出率を求めるなどして、監視情報の品質を検証する。

追尾機能では、平滑位置や測位位置を用いて追尾を行い、将来予測位置などの算出を行う。

出力レポート作成処理では、現在位置、予測位置、測位精度などの情報を含むASTERIX48形式のメッセージを作成し、1秒毎に出力する。

2.3 統合処理

統合処理では、センサ追尾処理からの監視情報を入力し、これらを統合した位置情報を出力する。

センサ処理は、以下に示す4つの機能から構成される。図3に統合処理の機能構成を示す。

(1)入力機能

入力機能では、各センサ処理（SSR処理、WAM処理、ADS-B処理）から1秒毎の出力されるASTERIX48メッセージを入力し、解読する。次に、同時刻・同航空機の各監視センサの監視情報をまとめ、1組の監視情報を作成する。

(2)多数決判定機能

監視センサによる誤差には、ランダム誤差とバイアス誤差の2種類がある。ランダム誤差は、各センサ処理により検出・除去できるが、バイアス誤差をセンサ処理で検出除去することは難しい。3つのセンサから監視情報が得られる場合には、これらを相互に比較することで、バイアス誤差の

$$Lat_i(t,s) = \sigma_{SSR}(t,s) \cdot Lat_{SSR}(t,s) + \sigma_{WAM}(t,s) \cdot Lat_{WAM}(t,s) + \sigma_{ADS-B}(t,s) \cdot Lat_{ADS-B}(t,s) \quad (1)$$

$$Lon_i(t,s) = \sigma_{SSR}(t,s) \cdot Lon_{SSR}(t,s) + \sigma_{WAM}(t,s) \cdot Lon_{WAM}(t,s) + \sigma_{ADS-B}(t,s) \cdot Lon_{ADS-B}(t,s) \quad (2)$$

$$\text{ただし, } \sigma_{SSR}(t,s) + \sigma_{WAM}(t,s) + \sigma_{ADS-B}(t,s) = 1 \quad (3)$$

検出が可能となる。多数決判定機能では、バイアス誤差の検出を行う。

まず、3つの位置から3組（SSRとWAM、SSRとADS-B、WAMとADS-B）の位置Dを計算する。3組の距離差Dが、全て一定距離内である場合、バイアス無しと判定する。もし、1つの位置にバイアス誤差が含まれる場合、2組の位置差に誤差が生じることから、2組の位置差が一定距離以上である場合にはバイアス有りと判定する。さらに、バイアスを持つセンサを決定し、そのセンサの監視情報の信頼性は低いものと判定する。

(3)統合位置計算処理

統合位置計算処理では、各監視センサの監視情報に重み（ σ ）が与え、これに位置を乗じることによって統合位置を計算する。時刻(t)における航空機(s)の統合計算位置(緯度 $Lat(t,s)$ 、経度 $Lon(t,s)$)は、式(1)(2)(3)により算出される。

重み σ の値は、監視精度、検出率、バイアス誤差検出結果などの複数の情報を組み合わせて、時刻毎に決定する。監視精度や信頼性が高い監視情報には高い重みが与えられ、これらの位置が優先される。また、監視精度や信頼性が低い監視情報には、低い重みが与えられ、これらの位置による影響を小さくする。

(4)出力レポート作成機能

出力レポート作成機能では、統合計算位置機能で算出した位置を含むASTERIX48形式のメッセージを作成し、一定時間毎に出力する。

2.4 時刻同期

ハイブリッド監視システムでは、従来の監視情報と比べて更新時間間隔が短い監視情報を取り

扱う。（ADS-Bの更新時間間隔は0.5秒、WAMは0.1秒以下となる場合もある。）このため、センサ処理や統合装置においては精度の高い時刻同期が必要となる。時刻の違いは、平滑化計算や追尾計算において大きな誤差を発生させる要因となる。このため、各処理はNTP(Network Time Protocol)を用いてGPS時計に同期する。

3. 航空機監視実験

当所では、ハイブリッド監視システムを用いた航空機監視実験を実施した。ここでは、実験結果について述べる。

3.1 システム構成

図4に、監視センサの配置を示す。SSRモードSは調布局を使用した。調布を中心とする約200NMの範囲が監視領域となる。WAMは、関東地方に一円に複数の受信局を設置しており、主として受信局が取り囲む範囲とその近傍が監視領域となる。WAMはADS-Bの受信機能を有しており、ADS-B監視情報はWAMから得られる。ADS-Bは、各受信局から半径150NM程度が監視領域となり、広い領域を監視できる。

3.2 実験結果

ここでは、航空機監視実験の結果を示す。図5は、白色の点が統合航跡、灰色の点がセンサ

(SSR,WAM,ADS-B)航跡である。統合航跡（白色）は、センサ航跡（灰色）と比べて誤差の小さい航跡が得られていることが分かる。

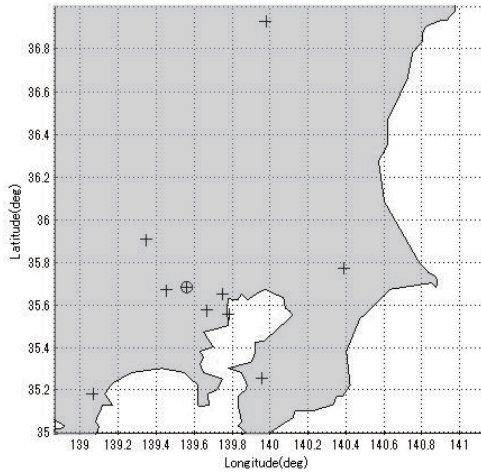


図4 センサの配置

(○SSRセンサ位置， +WAM/ADS-B受信局位置)

ともに、ハイブリッド監視システムの評価を引き続き実施する予定である。

参考文献

- [1] "Technical Provisions for Mode S services and Extended Squitter", ICAO Doc. 9871, 2n ed., 2012.
- [2] J.R.Raol, "Multi-Sensor Data Fusion with MATLAB,"CRC press,2010
- [3] H.Binzel,et.al, "An IMMKF implementation in the PHOENIX Multi-Radar Tracker Systems for the Portuguese Airspace", Air Traffic Control Quarterly",pp5-38,2008

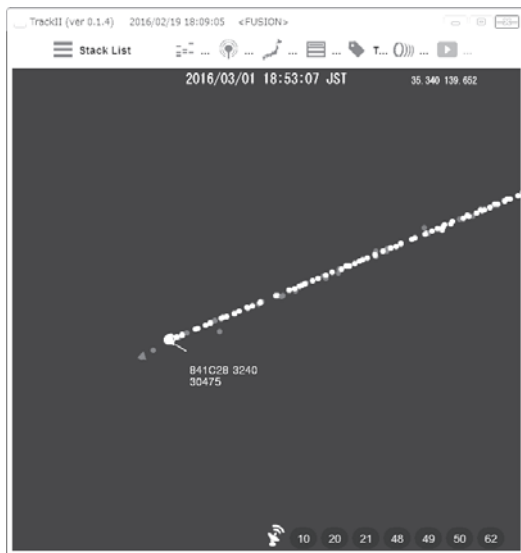


図5 統合位置とセンサ航跡による位置
(白：統合航跡，灰色：センサ航跡)

4. むすび

本報告では、当所で開発したハイブリッド監視システムの概要と航空機監視実験の結果について報告した。

当所WAMについては、研究開発の途上であり、今後、機能および性能向上を図っていくこととしたい。また、ADS-Bについては、新しい機体において新たな情報の出力が可能になるなどの機体側の機能の向上が図られている。今後は、WAMやADS-Bの機能・性能向上への対応を検討すると