パイロット支援システム (状況把握)*¹

柴田 実*²・藤村 賢治*²
能任 治夫*²・西村 義孝*²

Key Words: Pilot's Associate System, Avionics, AI, Situation Awareness

1. はじめに

将来の航空機には多数のセンサーが搭載され、脅威の高度化により航空機をとりまく環境も複雑で厳しいものになるため、パイロットのワークロードはますます

増大すると考えられる。ワークロード低減のために高速なコンピュータや人工知能技術等を使い、機械化可能な部分を積極的に自動化してパイロットを支援しワークロードを下げる「パイロット支援システム」の開発が望まれている。パイロット支援システムのサブシステムの一つである「状況把握支援システム」のプロトタイプを作成したのでここで紹介する。

2. パイロット支援システム

将来の航空機はレーダーのコンフォーマル化やESM (Electronic Support Measures) の高度化、IRST (Infrared Search and Track) の搭載や僚機間通信等により扱わなければならないデータ量がかなり増えると予測される。一方脅威の高度化により戦況はより複雑化すると考えられる。多量のデータと複雑な戦況に対処するためにパイロットのワークロードは益々高くなることが予想される。このパイロットワークロードを下げるために、以前からパイロット支援システムが注目されてきた。パイロット支援システムは高速なプロセッサや人工知能技術を使って、機械にまかせることのできる処理を積極的に自動化してパイロットを支援するシステムである。パイロット支援システムは電子的なコパイロットの働きをし、数値的な処理や低次元の判断処理を行い、パイロットが必要とする情報をわかりやすい方法で提示する。パイロット支援システムを搭載することにより、将来の多数のセンサーを搭載した機体でもパイロットはミッション中により高度な判断を要する作業に専念することができるであろう。

第1図はパイロット支援システムの構成の例である。このようにパイロット支援システムはいくつかのサブシステムから構成されると考えられる。

今回プロトタイプを作成しシミュレーション試験を実施したのはパイロット支援システムのうちの状況把握支援システムの部分である。

著者紹介

柴田 実 (正会員)

昭和17年生。東京都出身。昭和41年日大理工学部電子通信学科卒業。同年防衛庁技術研究本部第3研究所入所。現在、第3研究所第1部長。将来型アビオニクス、姿勢制御、誘導制御の研究に従事。通信学会、AIAA各会員。

藤村 賢治

昭和24年生。山口県出身。昭和47年名城大学理工学部電気工学科卒業。同年航空自衛隊入隊。現在、航空幕僚幹部技術部。

能任 治夫

昭和26年生。石川県出身。昭和50年同志社大学工学部電気工学科卒業。昭和53年防衛庁技術研究本部第3研究所入所。現在、第3研究所誘導第8研究室。将来型アビオニクス、航空機のリアルタイムシミュレーションの研究に従事。自動制御学会、人工知能学会各会員。

西村 義孝 (正会員)

昭和36年生。山口県出身。昭和63年東京大学工学部航空学科卒業。同年防衛庁技術研究本部第3研究所入所。現在、カリフォルニア大学サンディエゴ校留学中。将来型アビオニクス、航空機のリアルタイムシミュレーションの研究に従事。

*¹ 平成6年10月6日、第32回飛行機シンポジウムにて講演。平成7年7月20日原稿受理 Pilot Associate System: Situation Awareness

*² 防衛庁技術研究本部第3研究所 Minoru SHIBATA, Kenji FUJIMURA, Haruo NOTOU and Yoshitaka NISHIMURA

3. 状況把握支援システム

状況把握支援システムは僚機、脅威機の交戦状況を把握し、効率的な戦闘を展開するための情報を提供するシステムである。パイロットは目視、レーダ、ESM等の情報を統合して自分の置かれている状況を把握しているが、近接した戦闘状態では状況把握に要するロードはかなり高くなる。交戦状況をわかりやすく表示しある程度の判断を行うシステムがあればパイロットのワークロードを低減することが可能であろう。

状況把握支援システムは僚機、脅威機の配置を一目でわかるように MFD(Multi-Function Display) に表示するためのデータを作成し判断を支援するものである。将来の航空機を想定し僚機間通信により自機及び

僚機のレーダ、ESM の情報が得られるものとしている。このシステムはそれらの情報を統合し各機の戦力配置状況を表示している。またパイロットのルールを組み込み、戦闘継続、空域離脱等の判断を支援し戦闘継続の場合はどの目標に対処すべきか等の判断を支援する。本システムは以下の4つの機能により構成されている(第2図)。

- ・戦力配置把握機能：僚機間通信により味方機の持っているレーダ情報、IRST 情報、ESM 情報等を統合処理し僚機、脅威機の位置、速度を割り出す機能。

- ・交戦状況推定機能：僚機、脅威機の交戦相手、交戦状況を推定し関連付けを行う機能。

- ・要撃指揮支援機能：交戦状況推定機能の結果を利用し、空戦初期・イベント発生時(撃墜等)、目標変更機会発生時に、交戦するか離脱するかを支援し、交戦の場合は効率的な目標策定を支援する機能。

- ・後方警戒機能：自機を攻撃しようとしている脅威機の有無、脅威度を監視し、その情報をパイロットに提供し、危険度が高い場合は警告を発する機能。

戦力配置把握機能については、コンフォーマルレーダやデータフュージョン技術の発達によるところが大きい。そのためある程度理想化し、レーダカバレッジを変更した場合の評価を行った。

第1図 パイロット支援システム構成の一例

第2図 状況把握支援システム・ブロック図

第3図 推論処理の流れ

第4図 状況認識部の処理の流れ

第6図 検証例

第7図 行動認識例

第5図 主体機と対象機の位置関係

4. 推論の流れ

本システムの推論の流れは第3図の通りである。

・前処理部：この部分は、各機の位置、速度等の元データを加工し、推論に使用するデータを作成する。さらに、そのデータをワーキング・メモリへセットする部分である。この部分はルールではなく手続きである。

・状況認識部：この部分は、「前処理部」でセットされたデータと過去の推論結果を元に戦術状況認識する部分である。

多対多空中戦における戦術状況認識の主な内容は、脅威側、味方側各機の行動意図(どの機体がどの機体に対して、どのような行動をとっているか等)の認識である。行動意図が認識できれば、それより各機体の関係(どの機が、どの機をサポートしているか、どの機がどの機と交戦中であるか、その有利不利はどうか

等)が理解でき、全体の状況を認識することができるであろう。

状況認識部の処理の流れは第4図の通りである。

(1) 予想フェーズ：全ての主体機、対象機の組み合わせについて、その主体機が対象機に対して行動していると仮定した場合、どのような行動をとっているかを、位置関係から分析するフェーズである。例えば、主体機と対象機が第5図のような位置関係にある場合、行動は「攻撃・回避」であると予想される。

(2) 検証フェーズ：それぞれの組み合わせについて、主体機が予想フェーズで予想した行動をとっていると判断できるかを、主体機の機動(マニューバ)から検証するフェーズである(例えば第6図の例では、主体機が(a)の機動をとっていれば主体機は対象機を「攻撃・回避」していると思われ、(b)の機動をとっていた場合、そう判断はできない)。

(3) 行動認識フェーズ：前記2つのフェーズでは、ある2機に注目しそれらの関係を分析してきたが、このフェーズではそれらの分析結果を統合し、最終的に各機の行動を分析・認識する。

第7図の例では、主体機と対象機1との関係を分析すると、主体機は対象機1を攻撃中であると見なせる。しかし対象機2との関係に注目すると主体機は対象機2の攻撃から回避していると見なせる。双方の分析結果を比較すると対象機2を行動対象としている可能性の方が高いと考えられ「主体機は対象機2に対し回避行動を取っている」と認識できる。

「可能性」の大小で、いくつかの候補の中から最も妥当と思われるものを選択するという処理を行うことにした。また「可能性」は位置関係、過去の認識結果などにより設定した。

(4) 状況認識フェーズ:「行動認識フェーズ」で認識した各機の行動と過去の状況認識結果等より、各機の意志、状況等を認識する部分である。

・行動策定部:行動策定部は「状況認識部」の状況認識結果、中間結果、および、過去の行動策定結果等を元に味方各機のとるべき行動を策定する。また、この結果は、次の「出力情報処理部」で利用されるだけ

でなく、自動機動ロジックへの行動コマンドとしても使用されるため、味方機だけでなく、脅威機の行動策定も行っている。

・出力情報処理部:出力情報処理部は状況認識結果および、行動策定結果より MFD に状況を表示するためのデータを作成する。また、警報を出すべき状況なら警告情報を出力する。

5. 実行環境

ハードウェアには汎用のワークステーションである SUN SPARC STATION 2 を使用した。ソフトウェアは AI 処理を行うために OPS 83 を使用している。OPS 83 はエキスパートシステム構築用ツールであり、エキスパートシェルの中では処理が高速である特徴がある。パイロット支援システムはパイロットが行っている知識処理のうち機械化可能な部分を自動化するものである。そのためにはパイロットの知識を反映したルールを組み込んでいく必要がある。このパイロ

対応する OPS83 のルール

```
rule planner_sl_runaway2
{
    &C (control          practice=行動策定; phase=第一ステージ);
    &SR1 (状況認識結果   time=&C.time; ウィングマン=有);
    &SR2 (状況認識結果   time=&C.time; 行動=ウィングマン; obj_side=&SR1.side;
                                obj_No=&SR1.No);
    &RI (策定用機体間情報 time=&C.time; side_rel=相手軍; obj_side=&SR1.side;
                                obj_No=&SR2.No; 優位性>0.0);
    &SR3 (状況認識結果   time=&C.time; side=&RI.side; No<>&RI.No;
                                ウィングマン=無);
    ~ (策定用機体間情報 time=&C.time; side=&RI.side; No<>&RI.No;
                                obj_side=&SR1.side;
                                (@.obj_No=&SR1.No &/
                                @.obj_No=&SR2.No);
                                優位性>0.0);
    &PR1 (策定結果        time=&C.time; side=&C.side;
                                side=&SR1.side; No=&SR1.No; 行動=||);
    &PR2 (策定結果        time=&C.time; side=&C.side;
                                side=&SR2.side; No=&SR2.No; 行動=||);
    →
    modify &PR1 (行動=編隊ブレイク ; command=4;
                                side_rel=&RI.side_rel; obj_side=&SR3.side;
                                obj_No=&SR3.No; flag=決定);
    modify &PR2 (行動=編隊ブレイク ; command=5;
                                side_rel=&RI.side_rel; obj_side=&SR3.side;
                                obj_No=&SR3.No; flag=決定);
}
```

第8図 対応する OPS 83 のルール

ット知識をルール化した例が第8図である。

・パイロット知識の例：「味方編隊，特にウィングマン(2機を基本に飛行する際の僚機)に脅威があり，その脅威機(敵機のことを婉曲的に言った表現)がウィングマンを持たない場合，編隊ブレイク(相手をかわす場合に使う急旋回)を行う。脅威機がウィングマンを持つ場合編隊ブレイクを行わない。」

6. シミュレータ試験

作成した状況把握支援システムをフライトシミュレータに接続してパイロット評価を受けた。機上システムとして成立するかどうかは，実際の環境に近いシミュレータでパイロット評価を得なければならない。シミュレータ試験は川崎重工岐阜工場のドームシミュレータで行った。飛行状況としては，僚機，脅威機が入り乱れ状況の把握が比較的難しいと思われる多対多空対空 GUN 戦闘を選び試験を行った。自機以外の機体は自動機動ロジックにより自動的に攻撃，回避を行うようになっている。

シミュレーション試験では状況把握支援システムからの配置状況と知識処理結果を MFD に表示するようにした。

また重要度の高い情報については HUD(Head Up Display)上にシンボルを表示し，ボイスによるウォーニングを行った。Warning の意味は以下の通りである。

・Warning Behind: 自動の後方に敵機が接近し，

ただちにブレイク操作を行わないと極めて危険な状態であると判断された場合に表示される。HUD 表示シンボルはパイロットの注意を効果的に引きつけるために点滅表示であり，また，合成音声も繰り返し発生する。これらの表示は条件が解消されるまで表示され続ける。

・Caution: 自機が交戦中であるときや，あるいは味方機をサポート中にさらに別の脅威機が自機，またはリーダー機を攻撃しようとしており，直ちに対処する必要はないものの，注意を要する場合に表示される。HUD への表示は固定表示であり，Caution 発生条件が解消されると表示は消去される。合成音声表示は発生条件が成立したときに一回だけ発生される。なお，MFD による状況把握支援システム表示上でも，Caution 発生の原因になった脅威機から自機に対して矢印が表示されるため，注意を要する脅威機を確認することが可能である。

・Clear: 自機が交戦中であり，かつ，周囲より脅威

	WARNING BEHIND	CAUTION	CLEAR
HUD	WARN BHND (点滅表示)	CAUTION (固定表示)	CLEAR (固定表示)
音声	『WARNING BEHIND』 (繰り返し発声)	『CAUTION』 (一回発声)	(発声しない)

第10図 Warning 例

第9図 MFD 表示例

機が接近する可能性が少なく、現在の交戦対象機としばらく戦闘状態を継続しても危険がないと判断されるときに表示される。HUD への表示は固定表示であり、Clear 発生条件が解消されると表示は消去される。合成音声表示は行わない シミュレーション試験では、パイロットインタビューを行い「状況把握支援システムが一読性に優れる。」等のコメントを取得することができ、現実的な状況で有効であることを確認した。

7. 終わりに

ドーム型シミュレータといった現実に近い環境で状況把握支援システムの有効性を確認することができた。パイロットシミュレーションを通じて今後以下の点について更に検討する必要があることがわかった。

不足ルール（パイロットが判断に使用しているルール）の追加

自動機動ロジックの充実

センサ・モデルの充実

ルール抽出法

今回使用したルールは試験的なものであり、これがそのまま実機に搭載されるものではないことをお断りしておく。またそのルール数も十分とはいえず現実の状況に対応させるにはさらに追加していく必要があるだろう。

シミュレーション中他機は自動機動ロジックによりコンピュータによって自動的に攻撃、回避させた。シミュレーション試験の精度を向上させるためにはその機動ができるだけ現実のものに近い必要がある。更に充実させていく必要がある。センサ・モデルも実際のセンサにより近づけていく必要がある。

ルールに関しては、今回はパイロットインタビュー、組み込み、試験の繰り返しにより抽出したが、今後パイロット支援システム全体を構成するような場合、多数のルールを取得する必要がある。効率的な抽出法を開発することが望まれる。

一 特 集

最適制御は航空機を救えるか^{*1}

—マイクロバースト下での航空機的最適制御—

鈴 木 真 二^{*2}

Key Words: Control, Aircraft, Optimal Control, Microburst

1. はじめに

決められた2地点間を何らかの目的の下で航空機を運航させることは、数学的には最適制御問題として定

著 者 紹 介

鈴木 真二（正会員）

昭和28年生。岐阜県出身。昭和54年東京大学大学院航空学専門課程修士修了。同年（株）豊田中央研究所入社。昭和61年工学博士。同年、東京大学工学部助教授。航空機・宇宙機の動解析・制御・最適化に関する研究に従事。日本機械学会、AIAA 各会員。

^{*1} 平成6年10月6日、第32回飛行機シンポジウムにて講演。平成7年6月20日原稿受理。Can Optimal Control Save an Aircraft?—Optimal Control of Aircraft through Microburst

^{*2} 東京大学大学院工学系研究科 Shinji SUZUKI

式化される。事実、現在のハイテクジェット旅客機に備えられているFMS(Flight Management System)と呼ばれる計算機システムは、消費燃料、飛行時間、運航経費等を組み合わせた評価関数をもとに飛行経路を算出し、オート・パイロットと連携することによって機体の効率的な自動操縦を可能にしている。また、宇宙機の分野では自律的な航法決定のために、オンボード計算機を用いてオンラインで最適制御問題を解く研究が進められている¹⁾。ただし、最適制御問題を解くことによる航法決定は、事態がある程度予測された状況で推移し、その変化が計算速度よりも遅い場合には、人間は機体の制御を計算機から取り返さねばならない。計算機の性能が向上したとしても、こうした状況が大きく変わるとは考えにくい。突発的な大規模の乱気流、予測できない機体の重大な故障等に完全に