衛星を利用した自己同期方式ADSの伝送特性解析

住谷 泰人*・石出 明*

Analysis of Self-synchronized Automatic Dependent Surveillance using Satellite

Yasuto SUMIYA and Akira ISHIDE

Abstract

Satellite-based Automatic Dependent Surveillance (ADS) using a polling protocol can reduce a transmission delay greatly compared with the conventional ADS using the satellite data communication that meets ICAO Aeronautical Mobile Satellite Services (AMSS) standards. Although the polling protocol shows excellent performances, it still has some shortcomings. In the polling ADS, an ADS report request must be transmitted for every ADS report transmission, and the guard time between successive ADS reports must be larger than the maximum difference of round-trip times between a satellite and an Aircraft Earth Station(AES). These cause some deterioration in transmission efficiency of the channels. This report describes self-synchronized ADS using a satellite. It improves the transmission efficiency over the channels of both ADS report request and ADS report transmissions. Since any modulation and coding schemes can be used with this protocol, it can also be applied to future aeronautical satellite communication systems.

Keywords : *Satellite Communication, Air Traffic Control, Data Communication, Automatic Dependent Surveillance*

キーワード: 衛星通信, 航空管制, データ通信, 自動位置情報・伝送機能

1. まえがき

洋上における航空管制では、これまで主に、航空機の位置通報に短波の無線電話を用いてきた。しかし、北太平洋航空路等の一部の航空路では、衛星を利用した音声・データ通信である ADS(Automatic Dependent Surveillance:自動位置情報伝送・監視機能)が試行運用され、2006 年 7 月 6 日からは正式運用がなされている。ADS は航空機に搭載された航法装置より取得される位置情報をもとに、自動的かつ定期的に地上の航空管制センタにデータ通信を行い、航空機の位置を監視できる。ADS は、ICAO (International Civil Aviation Organization:国際民間航

空機関)の航空衛星通信技術標準(AMSS SARPs : Aeronautical Mobile Satellite Services Standards and Recommended Practices)に基づき、そのプロトコルに起因して伝送遅延時間が増加する問題があり、航空機が増加した場合等に伝送遅延時間が大きくなる問題を抱えていた。この問題を克服するため、当所では、簡易なプロトコルで伝送遅延時間を短縮できるポーリング方式 ADS を提案してきた^{(1),(2)}。この方式は、伝送遅延時間が 1, 2 秒程度で済む長所がある。しかし ADS の送信回線数と同数の送信要求伝送用回線が必要である問題や、高速な伝送速度においてガードタイムの影響が大きくなる問題等があった。

* 正会員 独立行政法人電子航法研究所 (〒182-0012 東京都調布市深大寺東町 7-42-23)

sumiya@enri.go.jp, ishide@enri.go.jp

このため、これらの問題を改善できる自己同期方式 ADS を検討してきた⁽³⁾⁽⁴⁾。

本稿では、衛星を利用したポーリング方式 ADS や従来の ADS 伝送方式と比較した自己同期方式 ADS の概念と概要を述べる。また、当研究所の所有する ICAO AMSS SARPs 準拠の数値解析シミュレータを改修し、自己同期方式 ADS について伝送特性解析を行った結果も報告する。

2. ADS

2.1 現用 ADS

現用 ADS に代表される航空衛星通信では、Fig.1 に示すとおり、P, R, T の 3 種類のチャンネルで、ATN

Fig.1 Configuration of Current Aeronautical Satellite Link

Fig.2 Example of ADS Report Format

Fig.3 Burst Signal Format of ADS report

(Air Traffic Network:航空通信ネットワーク)⁽⁵⁾に基づく通信を想定している。P チャンネルは、ATC Center(Air Traffic Control Center:管制センタ)から GES(Ground Earth Station:航空地球局)、衛星(Satellite)を経由し、AES(Aircraft Earth Station:航空機地球局)への通信に用いられ、各 AES 宛のデータを ATC Center から受け取った時間順に基づき送信する時分割多重(TDM:Time Division Multiplex)方式が用いられる。R チャンネルや T チャンネルは逆に、AES から衛星、GES を経由し ATC Center への通信に用いられる。R チャンネルは、データをいつでも送信できるランダムアクセス方式である。これに対し、T チャンネルは、送信スロットの割り当てを受けてデータを送信する予約時分割多元接続方式(TDMA:Time Division Multiple Access)が用いられる。チャンネル利用の違いはデータ長に基づいている。R チャンネルは 33octet 以下のデータの場合に用いられ、33octet よりも大きなデータ長では T チャンネルが用いられる。なお、ここで用いた octet とは、8 ビットに相当するデータのことである。また、GES 経由での ATC Center と AES の通信回線のうち、GES と ATC Center 間は商用の専用回線である。本稿では、GES と AES 間を対象としているため、今後、ATC Center と AES 間の通信は、GES と AES 間の通信として述べることがある。

現用の航空衛星通信では、ログオンと呼ばれる事前通信手続により、データ通信を始める AES のアドレスが GES に登録され、ADS も含めてすべてのデータ通信が可能となる。現用 ADS では、緯度、経度、高度、時刻等の伝送が、Fig.2 に示すフォーマットで構成される基本 ADS グループで送信される。なお、このフォーマットは、ICAO AMSS SARPs に規定された SU (Signal Unit:パケットの最小単位) から流用している。Fig.2 において、CRC(Cyclic Redundancy Check: 巡回冗長性検査ビット)とは SU 内の誤りの有無を判定するために用いられ、誤りがあった場合にはその SU(この場合は ADS レポート)が破棄される。Fig.3 に ADS レポートのバースト信号のフォーマット例を示す。変復調方式、符号化方式として、ICAO AMSS SARPs に規定された OQPSK+畳込符号/ビタビ復号(符号化率 1/2、拘束長 7)を流用した。これにより、衛星回線を伝送するデータ長は基本 ADS グループ 11 octet に各種通信制御用のヘッダが付加されて 223 octet になる⁽⁵⁾。このデータ長から、ADS レポートは T チャンネルにより送信される。T チャンネルのデータの通信シーケンスを Fig.4 に示す。まず、AES から衛星を経由して、GES に、R チャンネルでスロットの予約を行う。GES では、T チャンネル

Fig.4 Data Sequence of T-channel

におけるスロット割り当てのためのテーブルに基づいて、この通信専用の T チャンネルのスロットを予約し、予約情報を P チャンネルにより、GES から衛星経由で AES に通知する。AES ではこの通知内容に基づき、予約されたスロットにおいて T チャンネルで AES から衛星経由で GES にデータ通信する。GES では通信が正しく行われたか行われなかったに基づいて、AES に対し P チャンネルを用いて衛星経由で通知確認のために、ACK を応答する。なお、指定された時間内に ACK が受信されない場合は、ランダムな時間だけ待ってデータを再送する。以上のプロセスを繰り返し、一定の時間間隔で各航空機の位置を地上側で監視できる。このとき、航空機の監視精度は位置情報の精度と更新間隔に依存することになる。現在、航空衛星通信を利用している北太平洋航空路での ADS の更新間隔は、27 分である。これに対し、国内の航空機の監視には SSR (二次監視レーダ) を用いているため、更新間隔は 10 秒である。将来的に、航空衛星通信を国内の航空機の監視に利用することを想定した場合、国内の航空機の監視精度相当を考慮する必要があるが、T チャンネルを用いる現用の方式では、10 秒の伝送間隔での監視は困難である。

2.2 ポーリング方式 ADS

前節の現用 ADS の問題点を解決するため、当所では、種々の方式の ADS を提案してきている。このうち、ポーリング方式 ADS の概念図を Fig.5 に示す。なお、ポーリング方式 ADS でも現用 ADS 同様のログオンが実施されているものと仮定する。ポーリング方式 ADS では、まず ATC Center から GES を介して衛星のスポットビーム内の各 AES に順番に ADS レポート送信要求を送る。各 AES はこの送信要求に

Fig.5 Concept of Polling ADS

応答して最新の位置情報をもとにした ADS レポートを作成し、衛星経由で GES に送信する。GES では ADS レポートを受信すると、誤りがなければ ATC Center に送り、誤りがあれば破棄する⁽³⁾。このプロセスを繰り返すことで、プロセスの繰り返し周期に相当する一定の伝送間隔、例えば伝送速度 10.5kbps で 10 秒以下で各 AES の位置を ATC Center で監視できる。

ポーリング方式 ADS は、衛星は原理的に静止衛星または周回衛星のどちらでも利用可能である。しかし、現在や近い将来に航空管制で使用されものとして静止衛星を仮定する。インマルサット第 3 世代衛星や運輸多目的衛星 (MTSAT) では、グローバルビームとスポットビームの両方を備えている。グローバルビームを使用する場合、航空機側で小型機でも使用可能な低利得アンテナ(利得: 0dBi)を用いると伝送速度の上限は 1.2~2.4kbps(kbit/sec)程度と考えられる。航空機側に低利得アンテナを使用した場合でも、伝送遅延時間を縮小し、かつ処理容量を向上させるためには伝送速度の増加や、スポットビームの利用が必要である。このため、衛星のスポットビームを利用するものと仮定した。

伝送シーケンスを Fig.6 に示す。また、Fig.7 にポーリング方式 ADS での ADS レポート伝送のタイムチャートを示す。ADS レポート伝送においては、1~N の各 AES 局当たりの ADS レポート伝送間隔 T_{AES} 内で、同一チャンネルで異なる航空機に伝送される ADS レポートとの衝突を防ぎ、互いに重ならないようにするため、バースト信号長 T_{ADS} とは別にガードタイム T_G が設けられている。バースト信号長は伝送速度により異なる。また、ガードタイムはスポットビームを使用する場合、一般に、GES からスポットビーム内の AES までの往復距離の差の最大値から求められるため、0.04 秒と仮定した。なお、ポーリング方式 ADS においても現用 ADS 同様のバースト信号長と仮定した。

Fig.6 Transmission Sequence of Polling ADS

Fig.7 Transmission Flow in Polling ADS

以上のように、ポーリング方式 ADS では、簡易なプロトコルで、現用 ADS に比べ、伝送遅延時間を小さくできる。しかし、ADS レポート伝送チャンネル 1 回線で扱える AES 数は限られるため、AES 数が増加すると回線数を複数にする必要がある。またデータ通信の伝送速度が増加した場合には、ガードタイムが 1 回線で扱うことのできる AES 数に与える影響が大きくなる。このため以下の 2 つの問題点があり、これらの影響を小さくする必要があった。

1. ADS レポートの送信回線数と同数の ADS レポート送信要求伝送用回線を必要とする。
2. ADS レポート送信要求の伝送と ADS レポートの伝送両方を考慮し、衛星～AES 間の往復分のガードタイムを必要とする。

Fig.8 Concept of Self-synchronized ADS

Fig.9 Slot Structure for ADS Report Transmission (10.5kbps)

2.3 自己同期方式 ADS

前節の問題点を改良した自己同期方式 ADS の概念図を Fig.8 に示す。この方式は、地上から ADS レポート送信要求を各 AES に送信し、ADS レポートを伝送する送信スロットを指定する。AES は GPS による時刻によって UTC に同期し、指定された送信スロットで ADS レポートを送信する。なお、自己同期方式 ADS でも、現用 ADS 及びポーリング方式 ADS 同様にログオンが実施されているものとした。

この方式では、各 AES に別々の送信スロットが割り当てられるよう、複数の送信スロットで 1 つのフレームを構築し、UTC を基準とした一定周期で、このフレームの通信を行う。これにより、各 AES から一定間隔の ADS レポートを伝送できる。なお、1 つのフレーム内のスロット数は、送信周期、バースト信号長、ガードタイムにより決定されるものとした。

例として、10.5kbps の送信スロットを Fig.9 に示す。ADS レポートが、10 秒周期で各 AES に送信スロットが割り当てられる場合、送信スロット幅はバースト信号長である 0.0846 秒とガードタイムである 0.02 秒の和である 0.1046 秒のため、スロット数は 95 に設定できる。

ADS レポート送信要求は ADS 開始時に一度だけ

Fig.10 Slot Allocation in ADS Report Transmissions (10.5kbps)

送信し、送信スロット番号を割り当てている。このため、ADS レポート送信要求の伝送チャンネル数は、複数の ADS レポートの伝送チャンネルで共用できる。ADS レポートの伝送チャンネルと同数の ADS レポート送信要求用伝送チャンネルは不要である。ガードタイムも、ADS レポートの伝送のみを考慮すればよい。すなわち、ポーリング方式 ADS の半分であり、すなわち、ポーリング方式 ADS のガードタイムを 0.04 秒と仮定すると、自己同期方式 ADS のガードタイムは 0.02 秒でよい。なお、自己同期方式 ADS は、現用 ADS、及びポーリング方式 ADS 同様のバースト信号長と仮定した。

10.5kbps の送信スロットの割り当て状態を Fig.10 に示す。各 AES における割り当て状態は以下のとおりである。まず、AES1 は AES1 宛の ADS レポート送信要求を受信する。その後、AES は決められたスロット(例えば slot1)で定期的に ADS レポートを送信する。次に AES2 宛の ADS レポート送信要求を受信した場合、AES1 の ADS レポート送信のための予約済スロット(slot1)以外のスロット(例えば slot2)を予約して、伝送間隔の周期である 10 秒毎に定期的に AES2 の ADS レポートを送信する。AES3 以下は、これと同様にして通信を繰り返す。なお、実際の運用環境では各 AES と GES の間の通信開始時刻はランダムになる。このため、各 AES からの ADS レポート送信要求はランダムに発生するものとする。

Fig.11 Time Chart for ADS Report Transmission (0.6kbps)

3. 伝送性能の解析

3.1 伝送遅延時間

ADS レポートの伝送における自己同期方式 ADS の伝送遅延時間(Transmission Delay)のタイムチャート例を Fig.11 に示す。伝送データ長は、Fig.2 に示す基本 ADS レポート(緯度、経度、高度、時刻等)のデータ長 11octet を、R チャンネルのデータフォーマットを利用して送信するものと仮定した。また、ポーリング方式 ADS、及び自己同期方式 ADS の場合、R チャンネルの利用により定期的な通信を繰り返すことができるものと仮定した。このため、R チャンネルは 1SU とする。

Fig.11 のとおり、0.6kbps の場合、伝送遅延時間は 3.5 秒であった。Table 1 にタイムチャートをもとにした各伝送速度毎の伝送遅延時間をまとめた。ポー

リング方式 ADS 及び自己同期方式 ADS の伝送遅延時間は原理上同一で、非常に小さいことがわかる。

3.2 スループット

伝送間隔を 10 秒とした場合の、ポーリング方式 ADS と自己同期方式 ADS におけるバースト信号長、ガードタイム、1 チャネルあたりに送信可能な最大 AES 数について、伝送速度毎に Table 2 にまとめた。ポーリング方式 ADS や自己同期方式 ADS は、プロトコルの性質上、AES 数によらずチャネルの伝送遅延時間は一定となる。

スループットを ADS レポートのバースト信号が回線を占有する時間率(%)と定義すると、伝送間隔、バースト信号長、AES 数との関係は、理論的に次の(1)式で表される。

$$G = \frac{L \times N}{T} \times 100 \text{ e } (\%) \quad (1)$$

(L :バースト信号長, N :AES 数, T :伝送間隔,

G :スループット)

よって、Table 2 における 1 チャネルあたりの送信可能な AES 数に基づき、ポーリング方式 ADS では、伝送速度 4.8kbps の場合スループットは最大約 75%、伝送速度 10.5kbps の場合スループットは最大約 68% と計算できる。自己同期方式 ADS では、伝送速度 4.8kbps の場合スループットは最大約 86%、伝送速度 10.5kbps の場合スループットは最大約 80% と計算できる。これより、自己同期方式 ADS では、ポーリング方式 ADS に比べ、処理できる AES 数やスループットが 2 割程度増加していると推定される。

3.3 ADS レポート損失率

ADS レポートの損失を ADS レポート送信要求は送信したが、ADS レポートが GES に正しく到着しない場合と定義した。このとき、ポーリング方式 ADS における ADS レポート損失は、ADS レポート送信要求が AES に正しく届かない時と、ADS レポ

ート送信要求は AES に正しく届くが ADS レポートは GES に正しく届かない時の和と考えられる。GES から AES に伝送するフォワード回線において、 M ビットの情報データを持つ ADS レポート送信要求が AES に正しく届かない割合 P_{RQ} は、以下の(2)式で表される。

$$P_{RQ} = P_{fUW} [1 - (1 - P_{fb})^M] + (1 - P_{fUW}) \quad (2)$$

P_{fUW} :ユニークワード検出確率(フォワード回線)

P_{fb} :ビット誤り率(フォワード回線)

また AES から GES に伝送するリターン回線において N ビットの情報データを持つ ADS レポートが正しく届かない割合 P_{REP} は、(3)式で表される。

$$P_{REP} = P_{rUW} [1 - (1 - P_{rb})^N] + (1 - P_{rUW}) \quad (3)$$

P_{rUW} :ユニークワード検出確率(リターン回線)

P_{rb} :ビット誤り率(リターン回線)

よって、このときの ADS レポート損失の割合(以下、ADS レポート損失率) P_{ADS} は(4)式で表される。

$$P_{ADS} = P_{RQ} + (1 - P_{RQ}) P_{REP} \quad (4)$$

一方、自己同期方式 ADS では、ADS レポート送信要求は最初だけ必要なため、ADS レポート損失率

Table 1 Estimated Transmission Delay

Channel Rate (kbps)	Estimated Transmission Delay (s)	
	Polling ADS	Self-synchronized ADS
0.6		3.5
1.2		2.0
2.4		1.3
4.8		1.0
10.5		0.6

Table 2 Number of AES for one channel

Channel Rate (kbps)	Burst Length T_{ADS} (s)	Polling ADS		Self-synchronized ADS	
		Guard Time T_G (s)	Number of AES for one channel	Guard Time T_G (s)	Number of AES for one channel
0.6	0.96	0.04	10	0.02	10
1.2	0.46		20		20
2.4	0.21		40		43
4.8	0.1269		59		68
10.5	0.0846		80		95

はリターン回線で ADS レポートが GES に正しく届かない割合とほぼ等しいと考えられる。このため、 P_{ADS} は、以下の(5)式で表せる。

$$P_{ADS} \approx P_{REP} \quad (5)$$

Fig.12 に、(4)、(5)式から求めた ADS レポート損失率とビット誤り率 P_b , P_{rb} との関係を示す。なお、ADS レポート送信要求と ADS レポートのデータフォーマット及びバースト信号フォーマットは同一とした。ポーリング方式 ADS の場合、 P_b と P_{rb} が 10^{-5} のときの P_{ADS} は 3×10^{-3} であるが、自己同期方式 ADS の場合は P_{rb} が 10^{-5} のときの P_{ADS} は 1.5×10^{-3} と推定できる。

4. シミュレーション

4.1 概要

航空衛星通信における通信性能の劣化は、航空管制に大きな影響を与える可能性を有する。航空衛星通信ネットワークにおける通信性能が簡単なモデルであれば、待ち行列理論⁽⁷⁾を用いて理論的に解析できる。しかし、実際のネットワークは複雑であるため、通信プロトコルモデルを利用した計算機シミュレーションを利用する方法が一般的な解析手法である。通信プロトコルを正確にモデル化してシミュレーションを行うことにより、許容できない通信性能の劣化が起こる通信条件や、1 回線当たりの取扱い機数等をあらかじめ定量的に把握し、実際に起こりうる様々な通信トラフィック条件に対する通信性能を予測できる。

当所では、ICAO AMSS SARPs に基づく航空衛星データ通信⁽⁶⁾において、多数の航空機が同一時間帯に通信を行う場合の通信性能を検証するための計算機シミュレータを有している。計算機シミュレータは、プロトコルシミュレータ OPNET(米国 MIL3 社製)と、航空衛星通信評価用プロトコルモデル ASET(米国 Mayflower 社製)を一部改造し、組み合わせている。ASET は、ICAO の AMSS SARPs に適合したデータ通信プロトコルに対応している。MTSAT やインマルサットの衛星による航空衛星データ通信はこの通信プロトコルに基づき、主として伝送速度 0.6kbps と 10.5kbps で行われており、これまでも伝送遅延時間や伝送効率、容量等の通信性能の解析を行ってきた。

しかし、自己同期方式 ADS は当所が提案する新たな方式であり、ICAO AMSS SARPs には準拠していない。このため、現用シミュレータとプロトコルが異なり、現用シミュレータのままでは、自己同期方

Fig.12 ADS Report Loss Rate

式 ADS の伝送特性解析はできない。このため、自己同期方式 ADS の伝送特性をシミュレーション解析できるように、自己同期方式 ADS のプロトコルモデルを ASET に組込む改修を行い、現用 ADS と自己同期方式 ADS の伝送性能を比較検討した。

4.2 方法

通信トラフィックモデルでは、伝送データ長、伝送間隔、伝送形態(周期的またはランダム)等の通信トラフィックモデルとなる条件を設定する。ASET における計算機シミュレーションは、その設定に従い、通信シミュレーションソフトウェアを用いて高速に実行され、伝送遅延時間、スループット等の通信性能が出力される。通信トラフィックモデルとしては、例えば「100 の AES が 10 octet のデータを指数分布に従うランダムな伝送間隔で伝送する。」という内容で設定される。なお、ASET でのネットワークは、AES、GES 及び衛星(Satellite)から構築されており、設定可能な AES 数は最大 400 である。

自己同期方式 ADS のシミュレーションを実現するため、現用の航空衛星通信モデルにおける 8 秒毎のスーパフレームと呼ばれるスロットを用いた。このスロットを用いることで、必ず GPS による時刻同期ができていると仮定し、定期的に ADS 伝送することにした。よって、ADS レポートの伝送間隔は 8 秒と仮定される。伝送データ長は、基本 ADS レポート(緯度、経度、高度、時刻等)のデータ長 11octet に、各種通信制御用ヘッダが付加されていると仮定し、223octet とした。他の設定は以下のとおりである。

- *伝送速度 : 0.6kbps, 10.5kbps
- *シミュレーション回数 : 5 回
- *AES : 10~200 まで 10 機毎

Fig.13 Transmission Delay of AES per Channel
in the case of Self-synchronized ADS

また、比較対象として、現用の航空衛星通信モデルにおけるシミュレーションを同一の伝送データ長、伝送速度、シミュレーション回数で実施した。伝送間隔は 32 秒、AES は 200 まで可変とした。

現用の航空衛星通信モデルにおけるシミュレーションは、前章に述べたとおり、ATN を仮定している。このため、位置データ相当の伝送には T チャンネルを用いている。

4.3 検討結果

前節の設定に基づき、ADS レポートを定期的に伝送したときの自己同期方式 ADS の伝送遅延時間を求めた。

すべてのシミュレーション事例において、AES 数によらず、5 回とも同一の結果が確認された。Fig.13 に自己同期方式 ADS の航空衛星通信モデルにおける伝送速度毎の各 AES と伝送遅延時間 95% 値のシミュレーション結果の 5 回平均値を示す。0.6kbps の場合の伝送遅延時間は 2.975 秒、10.5kbps の場合の伝送遅延時間は 0.721 秒であった。

Fig.14 に現用 ADS の航空衛星通信モデルにおける伝送速度毎の各 AES と伝送遅延時間 95% 値のシミュレーション結果の 5 回平均値を示す。Fig.15 は、AES10 機の場合の自己同期方式 ADS、及び現用 ADS の伝送遅延時間 95% 値のシミュレーション例として、適当な 60 秒間を抽出した結果である。なお、Fig.15 において、現用 ADS で 0.6kbps の場合は、数千秒と非常に大きな伝送遅延時間となったため含まれていない。

Fig.14 に示すとおり、伝送間隔が 32 秒であれば、0.6kbps の場合 AES が 2 機まで、10.5kbps の場合 AES が 49 機までしか許容値(60 秒)を満たさない。また、Fig.15 に示すとおり、現用 ADS は、そのプロトコル上、伝送遅延時間がばらつき、値も大きい傾向があ

Fig.14 Transmission Delay of AES per Channel
in the case of Current ADS

Fig.15 Example of Transmission Delay

ることがわかる。これに対し、自己同期方式 ADS では、数秒単位での伝送が可能となり、短い伝送間隔での監視が期待できる。

伝送性能解析における自己同期方式 ADS の伝送遅延時間は 0.6kbps で 3.5 秒、10.5kbps で 0.6 秒であった。これに対し、シミュレーションでは、0.6kbps の場合で 2.975 秒、10.5kbps の場合で 0.721 秒である。0.6kbps の場合の伝送遅延時間はシミュレーションのほうが短い、10.5kbps の伝送遅延時間はシミュレーションの場合のほうが若干長かった。このように、自己同期方式 ADS の場合、伝送遅延時間は AES 数によらず一定で、非常に短いことが確認できた。

伝送性能解析は、以前当所で実施したハードウェア製作に基づくため、現実により近い性能予測値と考える。自己同期方式 ADS のプロトコルモデル部分は性能解析とシミュレーションで同一であり、シミュレーション実現のために元々の ASET を利用している。このことから、伝送性能解析とシミュレーションの伝送遅延時間が異なった原因の一つとして、元々の ASET の設定値の一部が製作したハードウェアの値と異なる可能性等が考えられる。

6. むすび

ポーリング方式 ADS の問題点を改善できる自己同期方式 ADS について検討した。自己同期方式 ADS は、AES 毎に別々の送信スロットを割り当て、複数の送信スロットで 1 つのフレームを構築し、UTC を基準とした一定周期で AES から ADS レポートを伝送できる。この結果、自己同期方式 ADS はポーリング方式 ADS よりも、ADS レポート送信要求伝送回線数を減少でき、1 チャンネル当たりの AES 数の伝送遅延時間を改善できる可能性があることがわかった。また、ADS レポート損失率も半分に改善できる可能性があることもわかった。さらに、現用 ADS 用シミュレーションに機能追加する改修を施し、シミュレーションによりその実行状況を確認した。この結果、伝送遅延時間は AES 数によらず一定であり、最大でも 3 秒程度と非常に短い伝送遅延時間であることが確認できた。今後は、自己同期方式 ADS を、より高速化し、数多くの AES に対応できる方策を検討する予定である。なお自己同期方式 ADS は、時刻同期に GPS の利用が前提であるため、GPS が利用できない場合での、ポーリング方式 ADS との併用策等を検討する必要があると考える。

参考文献

- (1) 石出他:”衛星利用 ADS の伝送特性改善について”,第 2 回電子航法研究所発表会, 2002.6
- (2) 石出他:”ポーリング方式 ADS の伝送特性”,電子情報通信学会総合大会 B-2-38,2003.3
- (3) 石出:”衛星を用いた自己同期型 ADS の概念について”,電子情報通信学会技術報告 SANE,2003.7
- (4) 住谷他:”Concept of Self- synchronized ADS using Satellite”, NexSAT 3rd Steering Group Meeting in Eurocontrol, Brussels, WP3, 2003.10
- (5) 板野他:”航空通信網(ATN)の研究”, 電子航法研究所報告, No.100, 2003.2
- (6) 石出他:”自動従属監視(ADS)実験システムの開発と実験”, 電子情報通信学会論文誌(B-II), Vol.J78-B-II, No.5, pp.366-373, 1995.5
- (7) 北岡正敏:”情報処理試験のための確率・統計と待ち行列理論”, 産業図書, 1994

謝辞

本研究の実施に際し、ご協力いただきました関係各位に感謝申し上げます。

質疑応答

浪江 宏宗(防衛大学校):

ADS の混雑現況はどのようなでありますか。

住谷 泰人(電子航法研究所):

現用 ADS の伝送間隔である約 27 分は、現在の洋上の空域の混雑状況に適した伝送間隔で運用がなされています。なお、従来は約 16 分の伝送間隔で運用されていました。このため、今後、利用航空機数が増減した場合には、その状況に応じて変化する可能性があります。例えば、洋上ではなく、空港周辺等に多数の航空機が存在し、混雑する空域で利用する場合には、より小さな伝送間隔を用いて、監視性能を向上させる必要があります。