

ADS-B 서버 시스템의 설계 및 구현

Design and Implementation of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast Server System

조태환¹ · 김강희² · 김진혁² · 최상방^{2*}

¹공군사관학교 전자공학과

²인하대학교 전자공학과

Taehwan Cho^{1*} · Kanghee Kim² · Jinhyuk Kim² · Sangbang Choi²

¹Department of Electronics Engineering, Republic of Korea Air Force Academy, Chungcheongbuk-do 360-849, Korea

²Department of Electronics Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

[요 약]

ASBU (aviation system block upgrade)의 핵심 시스템 중 하나인 ADS-B (automatic dependent surveillance - broadcast) 시스템을 설계하고 구현하였다. ADS-B 시스템은 4개의 블록과 10개의 유닛으로 구성되어 있으며, 구현된 ADS-B 시스템에 필터링 알고리즘을 적용하였다. 구현된 ADS-B 시스템의 성능평가를 위해 실제 항공기 데이터를 이용하였으며, 신뢰도가 확보된 레이더 데이터와 비교하였다. 또한 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터를 항공기 선회, 이륙, 착륙, 순항 등 다양한 상황에서 비교하였다. 성능평가 결과, 구현된 ADS-B 데이터와 레이더 데이터 간의 항공기 위치 차이는 99.57 m이고, 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이는 평균 8.02 m로 나타났다.

[Abstract]

The automatic dependent surveillance - broadcast (ADS-B) system which is a core system of aviation system block upgrade is designed and implemented. The ADS-B system consists of the 4 blocks and 10 units, and filtering algorithm is applied to the implemented ADS-B system. To evaluate a performance of the implemented ADS-B system, real aircraft position data is used and compared reliable radar data. The comparison results show that average position difference of 99.57 m. In addition, comparisons of aircraft position data between the implemented ADS-B system employing filtering algorithm and the conventional ADS-B system under various situations are carried out, such as aircraft turning, taking off, landing, and cruising. The comparison results show that average position difference of 8.02 m.

Key word : Automatic dependent surveillance - broadcast, Traffic information service - broadcast, Flight information service - broadcast, Filtering algorithm, Aviation system block upgrade.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.3.182>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 11 May 2015; Revised 1 June 2015

Accepted (Publication) 17 June 2015 (30 June 2015)

*Corresponding Author; Sangbang Choi

Tel: +82-32-860-7417

E-mail: sangbang@inha.ac.kr

I. 서론

ASBU (aviation system block upgrade)의 핵심 시스템 중의 하나인 ADS-B (automatic dependent surveillance - broadcast) 시스템은 항공기와 지상 관제부서 혹은 항공기와 항공기 사이에 위치, 속도 및 기타 정보 등의 데이터를 공유하여 조종사 및 관제사에게 보다 나은 상황인식을 제공하고 항공기 감시 능력을 향상시키는 차세대 항공기 추적 시스템이다. ADS-B의 단어적 의미를 살펴보면, Automatic은 조종사의 음성에 의해 수행되는 각종 보고가 자동으로 보고된다는 것을 의미하며, Dependent는 1차 감시 레이더와 달리 위성항법시스템과 같은 추가 시스템이 필요하다는 것을 의미한다. Surveillance는 항공기의 호출부호, 위치, 속도, 등과 같은 데이터를 제공한다는 것을 의미하고 Broadcast는 2차 감시 레이더와 달리 일정 주기로 항공기의 위치 데이터를 방송한다는 것을 의미한다[1]. 이런 의미 가운데 Dependent가 가장 중요한 의미를 지니며, 종속적이라는 세부적인 의미는 항공기 위치, 속도 등의 정보를 ADS-B 송수신기를 이용하여 전달됨을 말한다. 즉, ADS-B 송수신기를 장착하지 않은 항공기에 대한 감시는 이루어지지 않으며, 이를 보완하기 위해서는 TIS-B (traffic information service - broadcast)가 필요하다[2].

본 논문에서는 ADS-B 시스템의 핵심이 되는 ADS-B 서버 시스템을 설계하고 구현하였다. 구현된 시스템의 성능평가를 위해 ADS-B 데이터를 기존의 레이더 데이터와 비교하였고, 구현된 ADS-B의 성능을 향상시키기 위해 구현된 ADS-B의 데이터에 필터링 알고리즘을 추가하여 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ADS-B 시스템에 대해 설명하고, 3장에서는 ADS-B 서버 시스템 설계에 대해 설명한다. 4장에서는 ADS-B 서버 시스템 구현에 대해 설명하고, 5장에서는 구현된 ADS-B 서버 시스템의 성능평가에 대한 결과를 제시한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구내용에 대해서 설명한다.

II. ADS-B 시스템

2-1 ADS-B의 기능

ADS-B의 기능은 정보의 제공 방향에 따라 ADS-B IN 및 ADS-B OUT으로 나눌 수 있다[3]. ADS-B IN은 항공기 및 지상 관제기관에서 외부로부터 정보를 제공받는 것을 의미하며, ADS-B OUT은 항공기에서 자신의 정보를 외부로 제공하는 것을 의미한다. 그림 1은 ADS-B의 개념도를 나타낸다[1].

2-2 ADS-B의 데이터링크

ADS-B의 데이터링크는 1090ES (1090 extended squitter), UAT (universal access transceiver), VDL (VHF datalink) 모드4 등

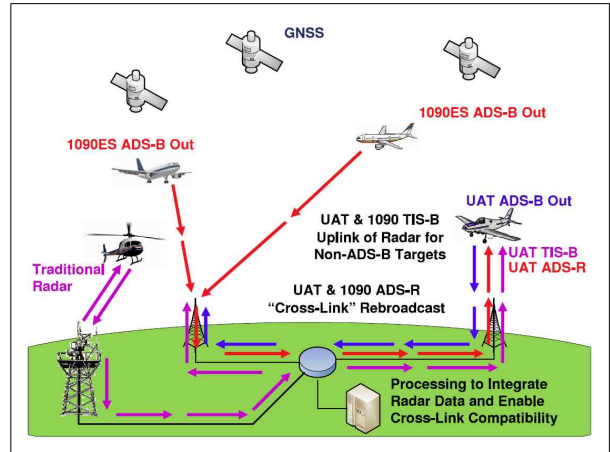


그림 1. ADS-B 개념도
Fig. 1. The concept of ADS-B.

표 1. ADS-B 데이터링크
Table 1. ADS-B datalink.

구분	1090ES	UAT	VDL 모드4
주파수(MHz)	1,090	978	118~136.975
채널	단일채널	단일채널	다중채널
변조방식	PPM	PFSK	GFSK
다중접속	Random Access	Random Access	STDMA
데이터전송률	1Mbps	1Mbps	19.2kbps
시간 슬롯	N/A	4000 MSO	75

3가지가 있다. ADS-B 개발 초기에는 1090ES 데이터링크를 사용하였지만, 미국에서 UAT를 이용한 데이터링크를 새롭게 제안하였다. 현재 미국에서는 18,000 ft 이하의 일반항공에서 UAT를 사용하기로 채택하였다. UAT 데이터링크는 1.041667 Mbps의 변조율을 가지며 978 MHz에서 동작하는 데이터링크로 단일 채널을 사용한다. ADS-B 외에도 TIS-B, FIS-B(flight information service - broadcast)를 포함하는 다중 서비스도 지원한다. UAT 메시지는 ADS-B 메시지와 지상 업링크 메시지가 있는데, ADS-B 메시지는 항공기의 상태 벡터 및 각종 정보를 전송하기 위하여 항공기로부터 1초에 1~2회 방송되는 메시지이며, 지상 업링크 메시지는 항공기에게 문자와 그래픽 등으로 구성된 기상정보, 관제사의 조언, 기타 비행정보 등을 전송하는 메시지이다[4]. 표 1은 ADS-B 데이터링크를 나타낸다.

2-3 ADS-B 시스템의 구성

ADS-B 시스템은 ADS-B 모니터링 시스템, ADS-B, TIS-B, FIS-B 서버 시스템으로 구성된다. ADS-B 모니터링 시스템은

ADS-B, TIS-B 및 FIS-B로부터 감시 데이터와 항공기상정보 등을 수신하여 항공 상황을 현시하며, 시스템에 미리 입력된 항로, 지형, 공항 등도 모니터 상에 현시한다. FIS-B는 기상 정보, 공역정보 등의 비행정보를 관리하며, TIS-B는 ADS-B 송수신기를 장착하지 않은 항공기에 대한 감시정보를 레이더를 통해 획득하여 ADS-B 송수신기를 장착한 항공기에게 제공하는 역할을 한다.

1) ADS-B / TIS-B / FIS-B 서버 시스템

ADS-B 서버 시스템은 1090ES와 UAT 지상장비로부터 ADS-B 감시자료를 수집하여 저장하고, 필터링과 변환 처리를 수행한 후 ADS-B 모니터링 시스템과 TIS-B 서버 시스템 그리고 기타 항공관제 시스템으로 전송하는 기능을 제공한다.

TIS-B 서버 시스템은 ADS-B 서버 시스템과 항공관제 시스템으로부터 감시자료를 수신하고 병합, 필터링, 변환 과정을 통하여 감시자료를 생성하고 저장한다. 생성된 자료는 항공기 운항에 사용할 수 있도록 지상장비와 ADS-B 모니터링 시스템으로 전송된다[5]. 즉, ADS-B를 장착하지 않은 항공기의 정보는 지상의 TIS-B 서버 시스템을 통해 각 항공기로 전달되는 것이다.

FIS-B 서버 시스템은 METAR (meteorological aerodrome report, 정시 비행장 기상실황), TAF (terminal aerodrome forecast, 비행장 예보), SIGMETs (significant meteorological information, 약 기상 정보), PIREP (pilot weather reports) 등의 기상정보를 비롯하여 각종 운항정보를 항공기에 제공하는 굉장히 중요한 역할을 한다[6-7]. FIS-B 서버 시스템은 기상 정보, 공역정보 등의 비행정보를 관리하며, FIS-B 제공기관으로부터 받은 데이터를 변환하여 FIS-B 형식 데이터를 생성한다[8]. 생성된 FIS-B 형식 데이터는 현시를 위해 ADS-B 모니터링 시스템으로, 브로드캐스트를 위해 UAT 지상 장비로 송신한다.

2) ADS-B 모니터링 시스템

ADS-B 모니터링 시스템은 ADS-B 데이터의 현시 및 재생과 서브시스템 상태 파악 및 원격 제어 기능을 하는 시스템이다. 항공상황 현시를 위해 ADS-B, TIS-B 서버로부터 항공기 감시 자료를, FIS-B 서버로부터 기상자료와 비행정보를 전달받아 지도에 현시한다. 항공기는 심볼 및 레이블과 함께 현시되며, 지도는 해안, 항로, 공항 등을 포함한다.

또한 시스템 상태 감시를 위해서 ADS-B, TIS-B 서버로부터 관리자료를 전달받고, 지상장비, ADS-B, TIS-B, FIS-B 서버의 상태를 감시한다. 수집된 시스템 상태는 그래픽 유저 인터페이스를 통해 화면에 현시되고, 다시 지상장비, ADS-B, TIS-B, FIS-B 서버로 전달된다.

전체 ADS-B 시스템은 지상장비, ADS-B 모니터링 시스템, ADS-B 서버 시스템, TIS-B 서버 시스템, FIS-B 서버 시스템 등으로 구성된다. 지상장비는 1090ES 지상장비, UAT 지상장비로 구분되며, 항공기로부터 ADS-B 감시자료를 수신한다. ADS-B 모니터링 시스템은 ADS-B 서버, TIS-B 서버, FIS-B 서버로부터 자료를 수신하여 현시하고, ADS-B 서버, TIS-B 서버, FIS-B 서버, 1090ES 지상장비, UAT 지상장비의 상태를 모니터링하고 원격 제어하기 위한 기능을 갖는다. ADS-B 서버는 1090ES 지상장비와 UAT 지상장비에서 수신한 원시자료 형태의 ADS-B 감시자료와 ASTERIX (All Purpose STructured Eurocontrol SuRveillance Information EXchange) CAT (category) 021 형식의 ADS-B 감시자료를 저장하고 ADS-B 모니터링 시스템, TIS-B 서버, 항공관제 시스템으로 전송하는 기능을 갖는다. ASTERIX는 항공교통관제 감시자료에 사용되는 데이터의 표준 형식을 의미한다. TIS-B 서버는 ADS-B 서버와 항공관제 시스템에서 수신한 감시자료를 저장하고 ASTERIX CAT062 형식으로 변환하여 ADS-B 모니터링 시스템, 1090ES 지상장비, UAT 지상장비로 전송하는 기능을 갖는다. 마지막으로, FIS-B 서버는 FIS-B 제공기관으로부터 수신한 자료를 저장하고 FIS-B 형식의 데이터로 변환하여 ADS-B 모니터링 시스템, UAT 지상 장비로 전송하는 기능을 갖는다.

본 논문에서 설계 및 구현의 대상은 ADS-B 시스템 중 ADS-B 서버 시스템이다. 항공기 위치를 제공하는 핵심기능을 수행하는 시스템이 ADS-B 서버 시스템이므로 ADS-B 서버 시스템을 대상으로 설계 및 구현하였다. 그림 2는 본 논문에서 설계 및 구현하는 시스템의 개념도를 나타낸다.

ADS-B 서버 시스템 외의 시스템은 TDG (target data generator) 및 TDR (target data receiver)을 통해 구현하였다. TDG는 ADS-B 감시자료 및 관리자료를 생성하여 ADS-B 서버 시스템으로 송신한다. TDR은 가상의 모니터링 시스템, 항공관제 시스템, TIS-B 시스템으로 ADS-B 서버 시스템에서 송신한 자료를 수신하게 된다. TDG와 TDR은 ADS-B 서버 시스템의 성능평가에 사용된다.

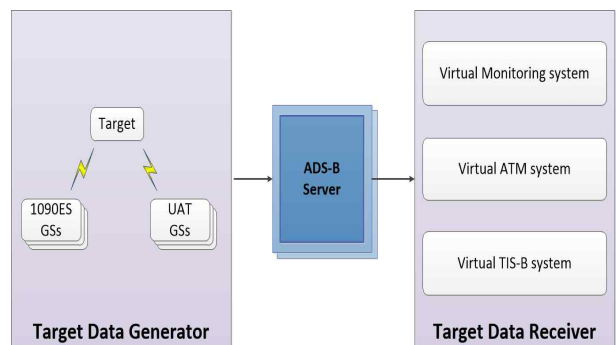


그림 2. 구현된 ADS-B 시스템 개념도
 Fig. 2. The concept of implemented ADS-B system.

III. ADS-B 서버 시스템의 설계

3-1 ADS-B 시스템의 설계 범위

3-2 ADS-B 서버 시스템 설계

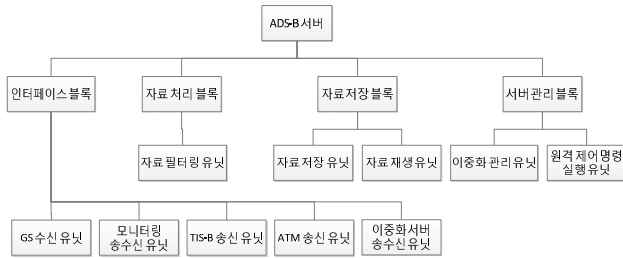


그림 3. ADS-B 서버 구성도
Fig. 3. The block diagram of ADS-B server.

표 2. ADS-B 서버 블록 약어 및 요약

Table 2. The block abbreviation and summary of ADS-B server.

블록	블록 약어	요약
외부 인터페이스 블록	AFB	ADS-B 시스템과 외부 시스템의 인터페이스
감시자료 처리 블록	APB	ADS-B 감시자료의 필터링 및 처리
감시자료 저장 블록	ASB	ADS-B 감시자료와 관리자료 저장 및 재생
서버 관리 블록	AMB	ADS-B 유닛 감시 및 이중화 서버 관리

표 3. ADS-B 서버 유닛 약어 및 요약

Table 3. The unit abbreviation and summary of ADS-B server.

유닛	유닛 약어	요약
지상장비 수신 유닛	AGRU	지상장비로부터 감시자료 및 관리자료 수신
모니터링 송수신 유닛	AMCU	모니터링 시스템으로 감시자료 및 관리자료 송신, 재생 명령 수신
TIS-B 송신 유닛	ATTU	TIS-B 서버로 감시자료 송신
ATM 송신 유닛	AATU	항공관제 시스템으로 감시자료 송신
이중화 서버 송수신 유닛	ADCU	하트 비트 송수신
자료 필터링 유닛	APFU	감시자료 필터링
자료 저장 유닛	ASSU	감시자료 및 관리자료 저장
자료 재생 유닛	ASLU	감시자료 및 관리자료 재생
이중화 관리 유닛	AMDU	유닛 감시 및 이중화 관리
원격 제어 실행 유닛	AMRU	원격 제어 실행

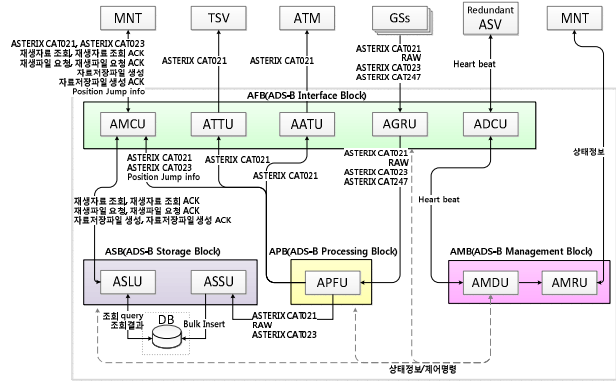


그림 4. ADS-B 서버 데이터 흐름도
Fig. 4. The flowchart for ADS-B server data.

ADS-B 서버는 4개의 블록과 10개의 유닛으로 구성되어 있다. ADS-B 서버의 구성도는 그림 3과 같다. 4개의 블록은 각각 인터페이스 블록, 자료 처리 블록, 자료 저장 블록, 서버관리 블록이며, 표 2는 설계시 사용되는 각 블록의 약어 및 요약을 나타낸다. 인터페이스 블록은 지상장비 수신 유닛, 모니터링 송수신 유닛, TIS-B 송신 유닛, ATM 송신 유닛, 이중화 서버 송수신 유닛 등 5개 유닛으로 구성되어 있다. 자료 처리 블록은 자료 필터링 유닛 1개로 이루어져 있고 자료 저장 블록은 자료 저장 유닛과 자료 재생 유닛 등 2개 유닛으로 구성되어 있다. 마지막으로 서버 관리 블록은 이중화 관리 유닛과 원격 제어 명령 실행 유닛 등 2개 유닛으로 구성되어 있다. 따라서 4개 블록의 유닛은 총 10개가 된다. 표 3은 설계시 사용되는 각 유닛의 약어 및 요약을 나타낸다. ADS-B 서버 시스템의 각 블록간 데이터 흐름도는 그림 4와 같다.

IV. ADS-B 서버 시스템의 구현

4-1 구현환경

구현된 ADS-B 시스템의 하드웨어 사양은 표 4와 같으며, 개발 환경은 표 5와 같다.

표 4. ADS-B 시스템의 하드웨어 사양

Table 4. The hardware specifications of ADS-B system.

구분	하드웨어 사양
CPU	Quad Core 2.6 GHz 이상
RAM	DRAM 8GB 이상
Storage	HDD 15K 140GB*4 이상
Network	1000 BASE-T 이상

표 5. ADS-B 개발 환경

Table 5. The development specifications of ADS-B system.

구분	내용
운영체제	RedHat Enterprise Linux 6
프로그래밍 언어	Qt, C++
컴파일러	Qt Creator IDE
디버깅 도구	Qt Creator IDE

4-2 주요 구현화면

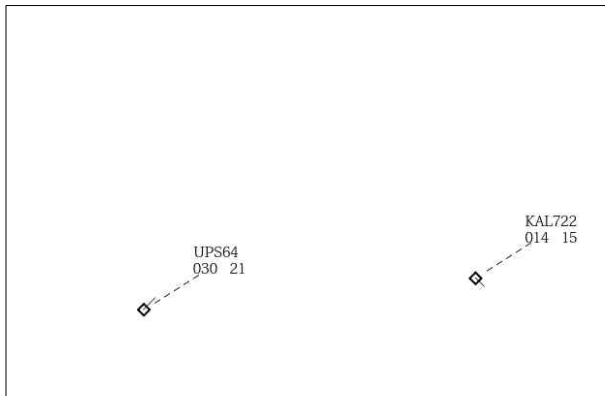


그림 5. ADS-B 시스템의 항공기 표시 화면
Fig. 5. The aircraft data display of ADS-B system.

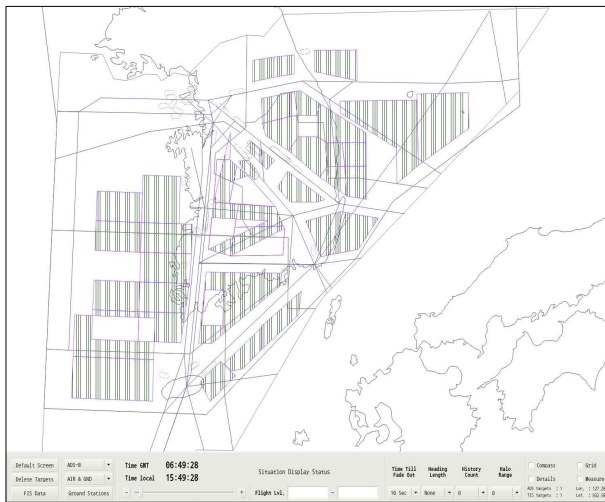


그림 6. ADS-B 시스템의 맵 데이터 표시 화면
Fig. 6. The map data display of ADS-B system.

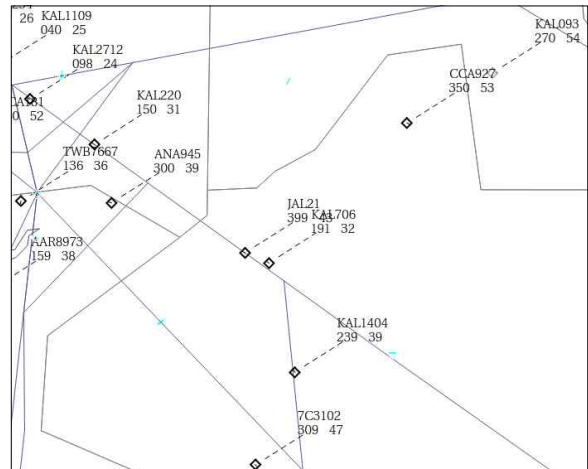


그림 7. ADS-B 시스템의 전체 항공기 표시 화면
Fig. 7. The whole aircraft data display of ADS-B system.

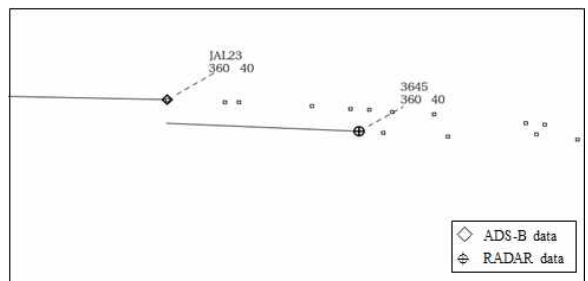


그림 8. ADS-B와 레이더에 의한 항공기 표시
Fig. 8. The aircraft display of ADS-B and RADAR.

ADS-B 시스템의 주요 구현 화면은 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같다. 그림 5는 기본적인 ADS-B 시스템의 항공기 표시 화면이며, 그림 6은 ADS-B 시스템의 모든 맵 데이터를 표시한 화면이다. 맵 데이터는 공항, 활주로, 군사 작전 지역 등 관제에 필요한 옵션을 선택할 수 있다. 화면 하단에 있는 상태표시줄 및 바로가기 메뉴는 화면 전반에 걸친 상태를 나타내고, 줌 슬라이더, 시계, 심볼 설정 등의 기능을 제공한다. 그림 7은 수신되는 항공기 데이터를 모두 표시한 화면이다.

그림 8은 항로에서 비행중인 항공기가 ADS-B 시스템 화면에 표시된 모습이다. 하나의 항공기가 두 개의 센서, 즉 ADS-B 데이터와 레이더 데이터로 표시되고 있다. ADS-B 데이터가 레이더 데이터에 비해 표시 주기가 짧음을 알 수 있다.

V. 성능 평가

5-1 실험환경

ADS-B 시스템 실험장비는 검증용 데이터 전송 장비인

TDG, 검증용 데이터 수신 장비인 TDR, ADS-B 서버로 구성된 다. TDG는 ADS-B 감시자료를 전송할 수 있으며 TDR은 가상의 ADS-B 모니터링 시스템, 항공관제 시스템, TIS-B 서버 시스템 등의 역할을 수행한다.

5-2 성능평가

구현된 ADS-B 시스템의 성능평가를 위해 시나리오 1에서는 구현된 ADS-B 시스템의 항공기 위치 데이터와 기존의 레이더 데이터를 비교하였다. 시나리오 2에서는 다양한 상황에서 필터링 알고리즘을 적용한 구현된 ADS-B 시스템의 데이터와 필터링 알고리즘을 적용하지 않은 구현된 ADS-B 시스템의 데이터를 비교하였다. 필터링 알고리즘은 레이더 등에서 널리 사용되는 IMM(interacting multiple model) 필터를 ADS-B 시스템에 적합하도록 수정된 Robust IMM 필터를 사용하였다[9]. Robust IMM 필터를 사용하면 항공기의 위치를 사전에 예측하고, 업데이트하는 과정을 거치기 때문에 보다 정확한 항공기 위치를 얻을 수 있고, ADS-B 신호 손실되더라도 필터에서 계산한 항공기의 위치를 표시할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 논문에서 구현된 ADS-B 시스템에도 필터링 알고리즘을 적용하여 기존의 ADS-B 데이터와 비교해 보았다[10],[11].

1) 시나리오 1 : ADS-B 데이터와 레이더 데이터의 비교

ADS-B 데이터와 레이더 데이터 비교를 통해 구현된 ADS-B 시스템의 항공기 위치에 대한 신뢰도를 평가할 수 있다. 비교에는 실제 항로에서의 항공기 데이터를 사용하였다. 레이더는 현재 가장 널리 사용되고 있는 항행 시스템 중 하나이기 때문에 구현된 ADS-B 데이터를 레이더 데이터와 비교함으로써 ADS-B 데이터의 신뢰도를 간접적으로 평가할 수 있다.

그림 9는 ADS-B 데이터와 레이더 데이터가 표시된 화면이다. 두 개의 데이터 모두 KAL796이란 호출부호를 가진 동일한 항공기의 위치를 나타낸다. 위에 나타난 항공기 위치가 ADS-B 데이터이며, 아래 나타난 항공기 위치가 레이더 데이터이다. ADS-B의 항공기 위치정보 제공 주기가 짧기 때문에 ADS-B 데이터가 레이더 데이터에 비해 많이 표시됨을 확인할 수 있다.

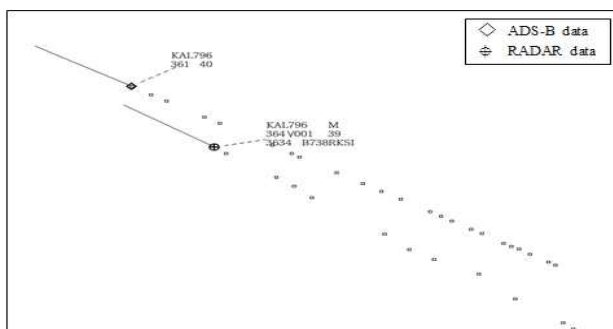


그림 9. ADS-B 데이터와 레이더 데이터 표시 화면
 Fig. 9. The display of ADS-B data and RADAR data.

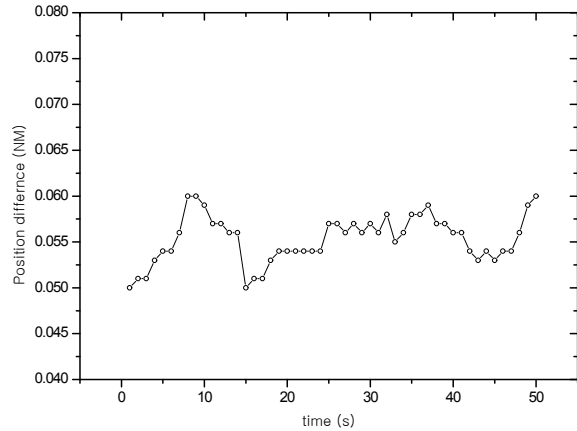


그림 10. ADS-B 데이터와 레이더 데이터의 항공기 위치 차이
 Fig. 10. The aircraft position difference between ADS-B data and RADAR data.

ADS-B 데이터와 레이더 데이터 간의 항공기 위치 차이는 그림 10에 나타나 있다. ADS-B 데이터와 레이더 데이터는 위치 정보 제공 주기가 다르기 때문에 항공기 위치 차이를 직접적으로 비교할 수는 없다. 화면에 표시된 ADS-B 데이터와 레이더 데이터 사이의 직선거리를 측정하여 간접적으로 두 데이터 간의 항공기 위치 차이를 계산할 수 있다. 계산 결과, 평균 99.57 m의 차이를 보였다.

2) 시나리오 2 : 기존 ADS-B 데이터와의 비교

필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존 ADS-B 데이터를 비교함으로써 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이를 비교할 수 있다. ADS-B 데이터와 레이더 데이터 비교와 마찬가지로 실제 항공기 데이터를 이용하여 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터를 비교하였다. 항공기 위치의 참값을 알고 있는 시뮬레이션과는 달리 실제 항공기 데이터는 항공기 위치의 참값을 모르기 때문에, 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 정확성을 직접 평가할 수는 없다. 다만 필터링 알고리즘을 적용했을 때 기존의 데이터에 비해 항공기 위치 정보가 정확하다는 연구 결과가 있기 때문에 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터가 기존의 ADS-B 데이터에 비해 정확할 것이라고 예상해 볼 수 있다[12]. 본 논문에서는 이륙, 착륙, 항로 비행 등 다양한 상황에서의 ADS-B 데이터를 이용하여 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터를 비교하였다.

그림 11은 항공기가 선회하는 상황의 ADS-B 데이터이며, 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터가 표시된 화면이다. 그림 12는 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

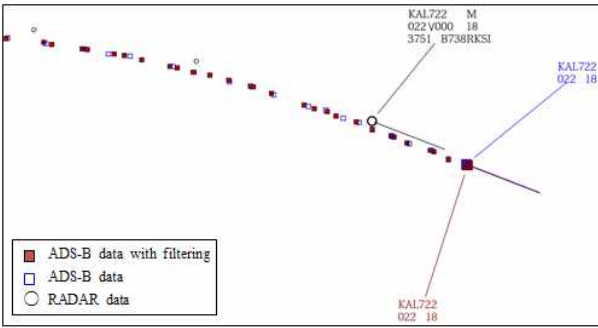


그림 11. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 표시 화면

Fig. 11. The display of ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

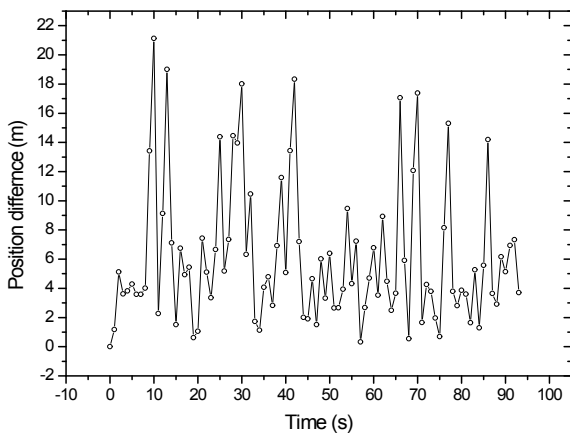


그림 12. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 항공기 위치 차이

Fig. 12. The aircraft position difference between ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

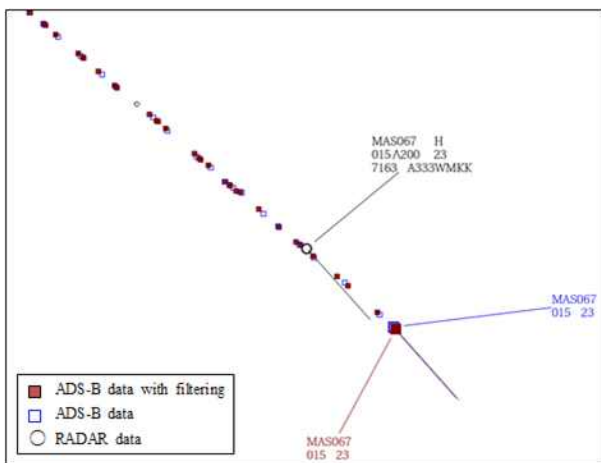


그림 13. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 표시 화면

Fig. 13. The display of ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

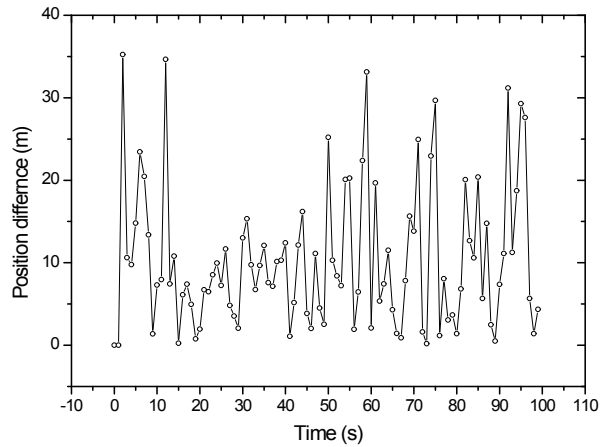


그림 14. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 항공기 위치 차이

Fig. 14. The aircraft position difference between ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

그림 13은 항공기가 이륙하는 상황의 ADS-B 데이터이며, 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터가 표시된 화면이다. 그림 14는 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

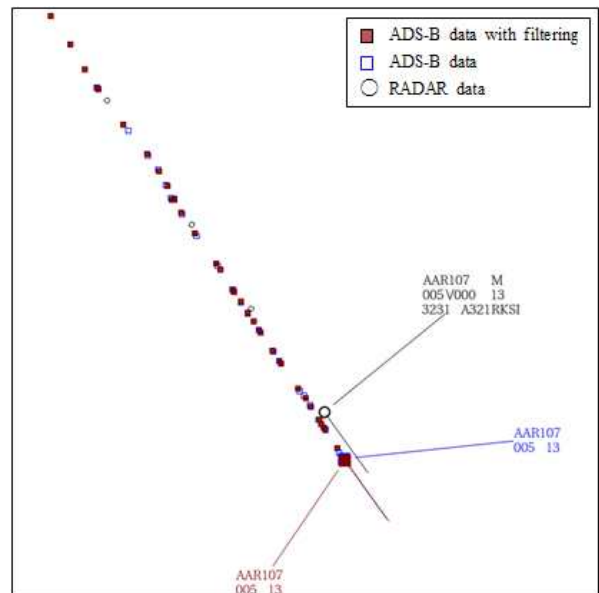


그림 15. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 표시 화면

Fig. 15. The display of ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

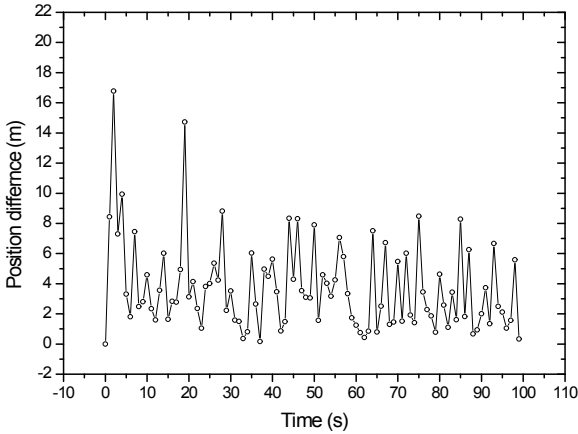


그림 16. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 항공기 위치 차이

Fig. 16. The aircraft position difference between ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

그림 15는 항공기가 착륙하는 상황의 ADS-B 데이터이며, 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터가 표시된 화면이다. 그림 16은 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

그림 17은 항공기가 항로를 비행하는 상황의 ADS-B 데이터이며, 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터가 표시된 화면이다. 그림 18은 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

모든 상황에서 항공기 위치의 발산 없이 정확하게 항공기 위치 추적이 되고 있음을 확인할 수 있다.

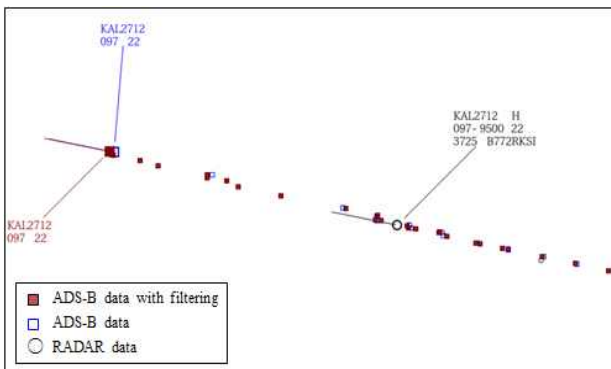


그림 17. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 표시 화면

Fig. 17. The display of ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

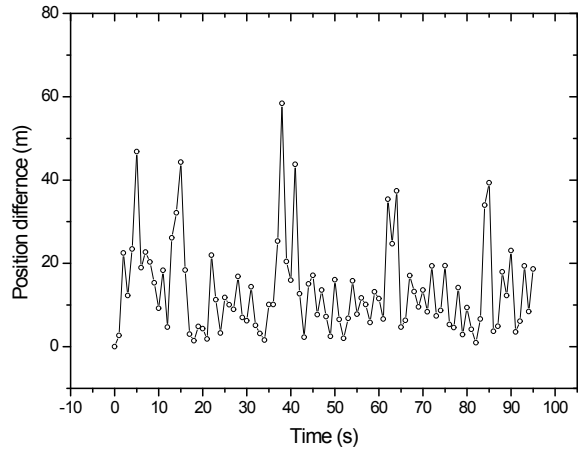


그림 18. 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터의 항공기 위치 차이

Fig. 18. The aircraft position difference between ADS-B data with proposed algorithm and original ADS-B data.

3) 결과분석

시나리오 1에서는 ADS-B 데이터와 레이더 데이터의 비교를 통해 구현된 ADS-B 시스템의 항공기 위치에 대한 신뢰도를 간접적으로 확인할 수 있었다. 두 데이터 간의 항공기 위치 차이는 평균 99.57 m로 나타났다.

시나리오 2에서는 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터를 다양한 상황에서 비교하여 그 차이를 확인하였다. 시뮬레이션과 같이 항공기의 참값을 알 수는 없기 때문에 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터가 기존의 ADS-B 데이터에 비해 정확한 항공기 위치를 제공한다고 할 수는 없지만, 기존 연구결과를 토대로 제안된 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터가 기존의 ADS-B 데이터에 비해 정확할 것이라고 추측할 수 있다.

표6은 시나리오 2의 결과를 나타낸 것이다. 필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터 간의 항공기 위치 차이는 평균 8.02 m로 나타났다.

표 6. 시나리오 2의 성능평가 결과

Table 6. The performance evaluation results of scenario 2.

구 분	필터링 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존 ADS-B 데이터의 항공기 위치 차이		
	최 대 (m)	최 소 (m)	평 균 (m)
항공기 선회	21.13	0.33	6.08
항공기 이륙	32.23	0.23	8.36
항공기 착륙	16.98	0.16	3.73
항공기 순항	58.39	0.92	13.92

VI. 결 론

본 논문에서는 ADS-B 서버 시스템을 설계 및 구현하였다. 구현된 ADS-B 시스템은 4개의 블록과 10개의 유닛으로 구성 되어 있다.

구현된 ADS-B 시스템의 성능평가는 ADS-B 데이터의 위치가 실제 항공기 위치를 나타내는 것인지 확인하기 위해서 현재 관제에 사용하고 있는 레이더 데이터의 항공기 위치와 비교하였고, 두 데이터 간의 항공기 위치 차이는 평균 99.57 m로 나타났다. ADS-B 데이터와 레이더 데이터의 비교를 통해 구현된 ADS-B 시스템의 항공기 위치에 대한 신뢰도를 간접적으로 확인할 수 있었으며, 레이더 데이터의 항공기 위치와 유사하게 나타났다. 또한 필터링 알고리즘인 Robust IMM 알고리즘을 적용한 ADS-B 데이터와 기존의 ADS-B 데이터를 항공기 선회, 이륙, 착륙, 순항 등 다양한 상황에서 비교하였고, 두 데이터 간의 항공기 위치 차이는 평균 8.02 m로 나타났다.

추가 연구사항으로는 FIS-B, TIS-B 서버 시스템 등의 구현을 통해 ADS-B 서버 시스템과 연동하여 ADS-B 시스템을 최적화 하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] Ministry of land transport and maritime R&D report, ADS-B core technology development R&D report for air surveillance, 2010.
 [2] Federal aviation administration, FITS generic ADS-B, TIS-B and FIS-B syllabus version 1.0, 2009.
 [3] Selex, ADS-B 1090ES ground station system description

(ADS-B in/out), 2011.
 [4] Eurocontrol, CAT021, ADS-B messages, 2003.
 [5] T. Otsuyama, M. Shioji, and S. Ozeki, "Development and feasibility flight test of TIS-B system for situational awareness enhancement," *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E94B, No. 11, pp. 2991-2993, 2011.
 [6] Flight information services-broadcast product registry website, <http://fpr.tc.faa.gov>.
 [7] Korea aviation meteorological agency, Aviation meteorological work instructions, 2010.
 [8] T. H. Cho, I. S. Song, E. M. Jang, W.O. Yoon, and S. B. Choi, "A Study on FIS-B design and implementation for providing air traffic informations," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15, No. 6, pp. 970-976, 2011.
 [9] T. H. Cho, J. H. Kim, and S. B. Choi, "Robust filtering algorithm for improvement of air navigation system," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 19, No. 2, pp. 123-132, 2015.
 [10] T. L. Song, "Filtering theory," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 9, No. 2, pp. 413-419, 2003.
 [11] H. A. P. Blom, and Y. Bar-Shalom, "The interacting multiple model algorithm for systems with markovian switching coefficients," *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 33, pp. 780-783, 1988.
 [12] T. H. Cho, K. S. Kim, W. O. Yoon, and S. B. Choi, "The improvement of aircraft position information with the unscented Kalman filter," *International Journal of Database Theory and Application*, Vol. 5, No. 2, pp. 75-82, 2012.



조 태 환 (Taehwan Cho)

2001년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 (공학사)
 2014년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학박사)
 2014년 12월 ~ 현재 : 공군사관학교 전자공학과 조교수
 ※ 관심분야 : 항공전자 시스템, 항공통신



김 강 희 (Kanghee Kim)

2011년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
 2013년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
 2013년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : 항공전자 시스템, 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터 구조



김 진 혁 (Jinhyuk Kim)

2009년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
2011년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
2011년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정
※ 관심분야 : 병렬 및 분산 컴퓨팅, 컴퓨터 네트워크



최 상 방 (Sangbang Choi)

1981년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 : University of washington (공학석사)
1990년 : University of washington (공학박사)
1991년 ~ 현재 : 인하대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크