

정보융합 기법을 활용한 ADS-B 성능 개선

The Performance Enhancement of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast Using Information Fusion Method

조태환¹ · 김강희² · 김진혁² · 최상방^{2*}

¹공군사관학교 전자공학과

²인하대학교 전자공학과

Taehwan Cho¹ · Kanghee Kim² · Jinhyuk Kim² · Sangbang Choi^{2*}

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]

본 논문에서는 차세대 항행시스템인 ADS-B (automatic dependent surveillance - broadcast)의 성능 개선을 위해, 정보융합 기법을 제안하였다. ADS-B는 기존의 레이더에 비해 성능이 우수하지만, GNSS (global navigation satellite system) 정보에 의존하기 때문에 GNSS가 가지는 오차가 ADS-B 데이터에 포함된다. 본 논문에서는 이런 오차를 극복하기 위해 ADS-B의 데이터에 MLAT (multilateration)와 WAM (wide area multilateration)의 데이터를 융합하여 ADS-B의 성능을 개선하였다. 정보융합을 하면 기존의 데이터에 비해 정확성이 우수한 데이터를 얻을 수 있다. 기존의 정보융합 기법은 부 필터로 칼만필터나 IMM 필터를 사용하지만, 제안된 기법에서는 Robust IMM 필터를 사용하여 항공기 위치추적 성능을 향상시켰다. 또한 실제 ADS-B 데이터를 사용하여 시뮬레이션 결과 대비 신뢰도를 높였다.

[Abstract]

In this paper, we proposed an information fusion method for enhancement of automatic dependent surveillance - broadcast (ADS-B) system which is one of the next generation navigation system. Although ADS-B provides better performance than traditional radar, ADS-B still has error due to dependence of global navigation satellite system (GNSS) information. In this paper, we improved the ADS-B performance using information fusion of multilateration (MLAT) and wide area multilateration (WAM). Information fusion provides accurate data compared to original data. Mostly, information fusion methods use Kalman filter or IMM(interacting multiple model) filter as a subfilter. However, we used Robust IMM filter as a subfilter to improve the aircraft tracking performance. Also, we use actual ADS-B data not virtual data to increase reliability of our information fusion method.

Key word : Information fusion, Automatic dependent surveillance - broadcast, Multilateration, Wide area multilateration.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.5.345>



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 7 August 2015; Revised 22 September 2015

Accepted (Publication) 14 October 2015 (30 October 2015)

*Corresponding Author; Sangbang Choi

Tel: +82-32-860-7417

E-mail: sangbang@inha.ac.kr

I. 서론

CNS/ATM (communication navigation surveillance / air traffic management)은 국제민간항공기구에서 추진하고 있는 신개념의 항행시스템이다. ADS-B (automatic dependent surveillance - broadcast)는 CNS/ATM의 여러 분야 중에서 감시 분야에 속하는 시스템으로서, MLAT(multilateration), WAM (wide area multilateration) 등과 함께 가장 주목받는 차세대 항행시스템이다. 이런 시스템들은 기존의 감시시스템인 레이더에 비해 상당히 신뢰도가 높다고 알려져 있지만, 여전히 실제 항공기 위치와의 오차는 존재한다.

ADS-B는 늘어나는 항공교통량을 안전하게 관리하기 위한 항공교통관리의 핵심 시스템이다[1]. ADS-B는 항공기 조종사의 상황인식을 향상시킬 뿐만 아니라 최적의 항공기 고도, 연료 등의 정보도 제공한다. ADS-B는 위성항법시스템 (GNSS; global navigation satellite system)으로부터 항공기 위치정보를 제공받으며, 레이더와는 달리 저고도뿐만 아니라, 활주로의 지상차량 등에도 사용이 가능하다.

MLAT는 TDOA (time difference of arrival) 기법을 이용한 시스템으로서, 항공기에서 송신하는 전파의 도착시간차를 이용하여 지상국에서 항공기의 위치를 계산한다[2]. 따라서 MLAT는 항공기에 추가적인 장비 없이 현재 장비만으로도 운영이 가능하다는 장점을 가지고 있으며, 레이더가 항공기 위치를 획득할 수 없는 음영지역에서도 운영이 가능하다.

WAM은 MLAT와 동일한 기법을 사용한다. 가장 큰 차이점은 MLAT는 공항 인근에서 사용되며, WAM은 항로 등 넓은 지역에서 사용된다는 것이다[3]. MLAT는 전파의 도착시간차를 이용하기 때문에 지상국에서 항공기의 거리가 멀수록 오차가 증가하게 되어 보통 공항 인근에서만 사용한다. 그러나 WAM은 지상국을 넓은 지역에 지상국을 다수 설치하여 이런 오차를 줄인 시스템이다.

본 논문에서는 ADS-B의 성능개선을 위해 MLAT와 WAM의 정보를 ADS-B 정보와 융합하였다. ADS-B 정보는 실제 항공기 위치정보를 사용하였으며, MLAT와 WAM 위치정보는 ADS-B 항공기 위치정보를 토대로 가상의 위치정보를 생성하여 사용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 정보융합 기법에 대해 설명하고, 3장에서는 제안된 정보융합 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안된 기법의 성능평가에 대한 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구내용에 대해서 설명한다.

II. 정보융합 기법

정보융합 기법에는 다양한 기법이 있지만, 그 중에서도 중앙 집중형 정보융합 기법과 분산형 정보융합 기법이 널리 사용된

다[4]. 중앙집중형 정보융합 기법은 각 센서의 모든 측정치를 하나의 중앙 융합센터에서 융합하는 방식이다. 중앙집중형 정보융합 기법에는 대표적으로 measurement fusion method가 있다.

분산형 정보융합 기법은 각 센서의 부 필터에서 측정치를 먼저 처리하고, 이 결과를 주 필터로 보내 융합하는 방식이다. 분산형 정보융합 기법에는 convex combination method, Bar Shalom-Campo method 및 information filter 등이 있다.

표 1에서는 중앙집중형 정보융합 기법과 분산형 정보융합 기법을 비교하였다. 중앙집중형 정보융합 기법은 최적해를 제공하는 반면 계산량이 많고 수학적 접근이 어렵다는 단점이 있다. 분산형 정보융합 기법은 준최적해를 제공하지만 계산량이 적고 수학적 접근이 용이하다는 장점이 있다. 계산량에서 N 은 센서의 개수를 의미하며, M 은 상태벡터의 성분 개수를 의미한다.

정보융합 기법에 대한 연구는 여러 분야에 걸쳐 다양한 형태로 진행되어 왔다. 매우 많은 양의 항공감시정보 처리를 위한 정보융합 기법 구현에 대한 연구와 정보융합 기법의 실용적인 측면을 다루는 연구가 있었다[5],[6]. 또한 다중센서 환경에서 항공기의 시나리오별 알고리즘에 대한 연구 및 레이더와 ADS-B의 정보융합을 위한 정보융합 구조 등 광범위한 분야에 걸쳐 관련 연구가 진행되었다[7],[8].

2-1 중앙집중형 정보융합 기법

중앙집중형 정보융합 기법은 각 센서의 모든 측정치를 하나의 중앙 융합센터에서 융합하는 방식이다. 이러한 경우 모든 측정치에 대해 계산을 해야 하므로 계산량이 많아지게 되고, 시스템의 차수가 큰 경우 계산 부하가 커져 이를 위한 고성능의 하드웨어가 필요하다. 또한 센서에 고장이 발생하거나 간혹 잘못된 값이 입력되는 경우 시스템의 강인성을 보장하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 이런 단점에도 불구하고 구현이 비교적 용이하며, 최적해를 제공한다는 장점이 있다[9],[10]. 그림 1은 중앙집중형 정보융합 기법의 개념도를 나타낸다. z 는 측정치, \hat{x} 는 추정치, p 는 공분산을 나타낸다. 중앙집중형 정보융합 기법에서 각 센서의 측정치의 처리, 자료결합, 데이터 흐름 등의 세부구조는 그림 2와 같다[11],[12].

표 1. 중앙집중형 정보융합과 분산형 정보융합의 비교
Table 1. The comparizon between centralized fusion and distributed fusion.

	Centralized fusion	Distributed fusion
Optimal solution	Optimal solution	Sub-optimal solution
Complexity	$O(N^3 M^3)$	$O(NM^3)$
Sensor failure	hard to handle	easy to handle
Mathematical approach	hard to approach	easy to approach

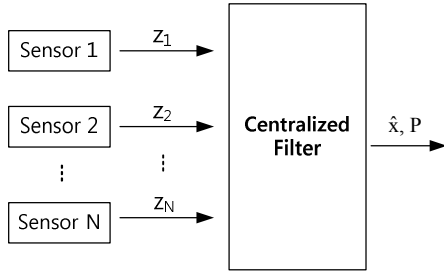


그림 1. 중앙집중형 정보융합 기법 개념도
Fig. 1. The concept of centralized fusion.

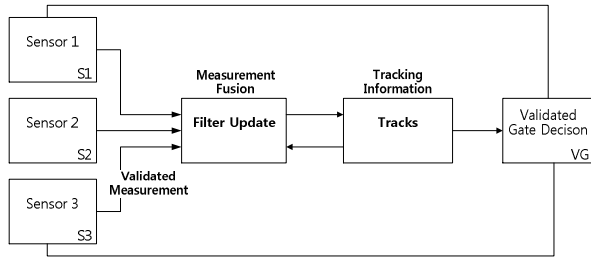


그림 2. 중앙집중형 정보융합 기법 세부 구조도
Fig. 2. The block diagram of centralized fusion.

중앙집중형 정보융합 기법에서 가장 널리 사용되는 방법이 measurement fusion method이다. Measurement fusion method 역시 하나의 융합 센터에서 모든 측정치를 융합하는 방식이다. 따라서 여러 측정치 모델을 하나의 측정치 모델로 사용한다는 특징이 있다. 측정 방정식은 식 (1)과 같으며, 측정치 모델은 식 (2)와 같다. 시스템 모델은 식 (3)이며, 측정잡음은 식 (4)와 같다.

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (1)$$

$$z_k = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$H = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \vdots \\ H_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$v_k = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

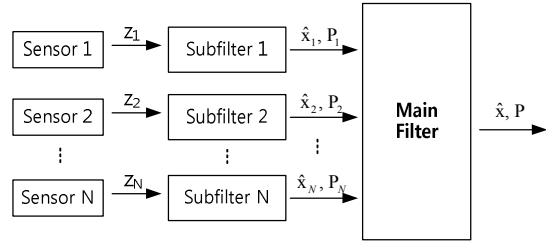


그림 3. 분산형 정보융합 기법 개념도
Fig. 3. The concept of distributed fusion.

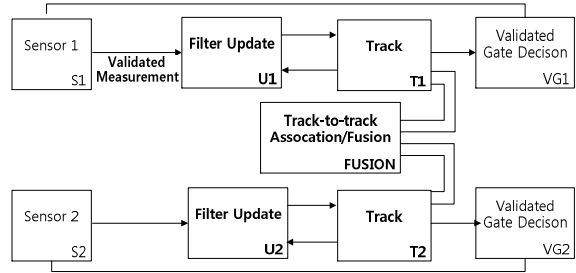


그림 4. 분산형 정보융합 기법 세부 구조도
Fig. 4. The block diagram of distributed fusion.

2-2 분산형 정보융합 기법

분산형 정보융합 기법은 부 필터와 주 필터로 이루어져 있으며, 각 센서에 있는 부 필터에서 독립적으로 처리된 측정치를 주 필터로 보내 융합하는 방식이다[13]. 즉, 각 센서 데이터를 부 필터에서 처리하여 상태변수 및 공분산을 추정하고, 이 상태변수 및 공분산을 주 필터로 전달하여 전체적인 최적 상태변수를 추정하는 것이다. 그림 3은 분산형 정보융합 기법의 개념도를 나타낸다. 분산형 정보융합 기법에서 각 센서의 신호처리, 자료결합 등을 적용한 세부 구조는 그림 4와 같다.

분산형 정보융합 기법에는 convex combination method, Bar Shalom-Campo method, information filter 등이 있다. 각 기법의 융합 구조는 유사하며, 핵심이 되는 추정치와 공분산 계산 방식이 서로 다르다.

Convex combination method는 각각의 로컬 트랙의 추정치와 공분산을 가중치로 이용하여 융합 추정치를 생성한다. 추정치는 식 (5)이며, 공분산은 식 (6)과 같다.

$$\hat{x} = \left[\sum_{i=1}^N P^{i-1} \right]^{-1} \sum_{j=1}^N P^{j-1} \hat{x}^j \quad (5)$$

$$P = \left[\sum_{i=1}^N P^{i-1} \right]^{-1} \quad (6)$$

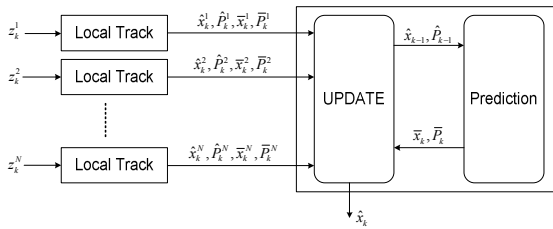


그림 5. Information filter 세부 구조도
 Fig. 5. The block diagram of information filter.

Bar Shalom-Campo method는 융합하고자 하는 센서가 2개일 경우에만 사용 가능하며, information filter는 각 센서의 부 필터에서 계산된 결과에 평균값을 포함하여 주 필터로 전송하는 구조다. Information filter의 구조는 그림 5와 같다.

III. 제안된 정보융합 기법

ADS-B의 성능향상을 위해 정보융합 기법을 사용하였다. 정보융합 기법을 통해 한 개의 센서가 아닌 두 개 이상 센서의 위치정보를 융합하여 성능을 개선할 수 있다. ADS-B와 MLAT, ADS-B와 WAM의 정보융합을 통해 항공기 위치를 보다 정확하게 획득할 수 있다.

본 논문에서는 정보융합 기법으로 convex combination method를 개선하여 사용하였다. 기존의 convex combination method는 부 필터로 칼만필터나 칼만필터를 여러 개 사용한 IMM (interacting multiple model) 를 사용하지만, 개선한 기법에서는 부 필터로 Robust IMM 필터를 사용한다. ADS-B와 같은 차세대 항행시스템은 항공기 추적성능이 매우 우수한 반면에 전파되는 신호의 손실이 종종 발생하는데, 이를 해결할 수 있는 방법이 robust IMM 필터이다[14]. 기존의 칼만필터나 IMM 필터는 반드시 센서로부터 측정치가 전달되어야만 최종적인 값을 얻을 수 있지만, robust IMM 필터는 센서에서 측정치가 전달되지 않아도 최종 값을 얻을 수 있다. 만약 ADS-B의 신호가 손실되면, 기존의 칼만필터나 IMM 필터는 최종 값을 표시하지 않고 다음 측정치로 넘어가지만, robust IMM 필터는 계산한 추정치를 이용해 최종 값을 표시하게 된다. 따라서 시스템의 신호가 손실되더라도 추정치를 이용해 항공기의 위치를 표시할 수 있기 때문에 지속적인 정보융합이 가능해진다.

3-1 부 필터의 수행과정

먼저 각 센서에서 측정치가 입력되면 각 센서의 부 필터를 통과한다. 각각의 부 필터는 robust IMM 필터를 적용하여 각 센서로부터 획득한 측정치에 대한 추정치 및 공분산을 계산한다. N개의 센서에서 측정된 추정치는 robust IMM 필터의 혼합과정을 통해 시간 $t = k - 1$ 에 대한 추정치인 \hat{x}_{k-1}^j 과 \hat{P}_{k-1}^j 을 얻을 수 있다. 이 값을 예측과정에 적용하여 시간 $t = k$ 에 대한 추정

치인 \hat{x}_k^j 과 \hat{P}_k^j 를 얻을 수 있으며, 쇄신과정을 통해 \hat{x}_k^j 과 \hat{P}_k^j 를 얻는다. 최종적으로 결합과정을 통해 각각의 레이더에 대한 최종 추정치인 $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_N$ 과 공분산인 P_1, P_2, \dots, P_N 을 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 값은 주 필터로 전송된다. 부 필터의 흐름도는 그림 6과 같다.

부 필터로 기존의 칼만필터나 IMM 필터 대신 robust IMM 필터를 사용하였기 때문에 측정치 z 가 입력되지 않아도 부 필터에서 최종 값을 계산할 수 있다. 기존의 칼만필터나 IMM 필터를 사용한다면 최종 값과 공분산을 계산할 수 없는 경우도 발생한다. 그러나 robust IMM 필터를 사용하면 센서의 측정치가 입력되지 않아도 최종 값과 공분산을 항상 계산할 수 있기 때문에 우수한 융합성능을 낼 수 있다.

3-2 주 필터의 수행과정

각 센서의 부 필터에서 계산된 추정치와 공분산을 주 필터에서 융합함으로써 최종적인 추정치와 공분산을 계산할 수 있다. 최종 결과는 식 (5)와 식 (6)을 이용하여 계산한다.

그림 7은 제안된 주 필터의 흐름도를 나타낸다. 본 논문에서는 정보융합을 위한 센서로 ADS-B와 MLAT, ADS-B와 WAM을 사용하였다. MLAT는 주로 공항 인근에서 사용되며, WAM는 항로 등과 같은 공항에서 멀리 떨어진 지역에서 사용되기 때문에 MLAT와 WAM의 데이터를 동시에 융합하는 것은 적절하지 않다.

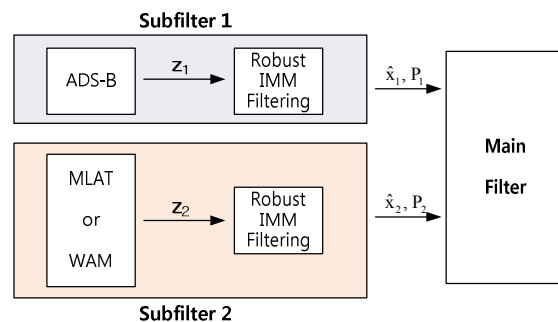


그림 6. 부 필터의 흐름도
 Fig. 6. The flowchart of subfilter.

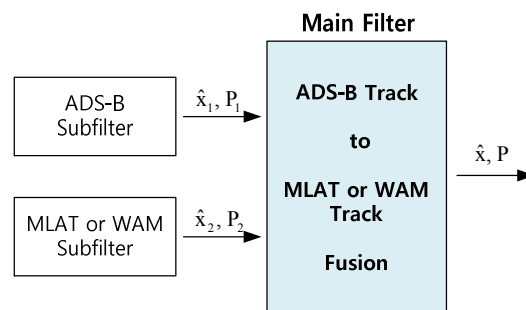


그림 7. 주 필터의 알고리즘 흐름도
 Fig. 7. The flowchart of proposed main filter.

먼저 ADS-B 부 필터와 MLAT와 WAM 부 필터로부터 항공기 위치와 공분산이 계산되면 이 값들은 주 필터로 입력된다. 이렇게 전달된 값들은 convex combination method를 통해 정보 융합되어 최종적으로 하나의 항공기 위치와 공분산이 계산된다.

기존에는 부 필터 알고리즘으로 칼만필터나 IMM 필터를 사용했기 때문에 각 센서의 측정치가 손실되면 항공기 위치와 공분산이 주 필터로 송신될 수 없었다. 따라서 주 필터에서 최종 값을 출력하지 못하거나 출력하더라도 측정치가 손실된 센서를 제외한 나머지 센서에 의한 값들을 출력했었다. 그림 7과 같이 2개의 센서를 정보융합하는 경우 1개의 센서에서 측정치가 손실되면 주 필터의 정보융합은 무의미해진다. 센서의 측정치가 1개만 주 필터 알고리즘으로 입력되기 때문에 정보융합 기법을 적용해도 기존의 값과 차이가 나지 않게 되는 것이다. 그러나 부 필터로 robust IMM 필터를 사용하게 되면 측정치가 손실되더라도 항공기 위치와 공분산을 항상 주 필터로 송신할 수 있기 때문에 정보융합에 의한 성능 향상을 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안한 정보융합 기법은 구조적으로 각 센서의 부 필터에서 robust IMM 필터를 통해 항공기의 위치 정확도가 향상된 상태의 데이터를 다시 convex combination method로 정보융합하기 때문에 기존의 방법에 비해 매우 성능이 우수하다 [14]. 또한 전체 측정치를 융합하는 것이 아닌 추정값과 공분산만을 융합하기 때문에 필터의 계산량이 적고 고성능의 하드웨어가 필요치 않다. 따라서 1초 이내의 정보제공 주기를 갖는 차세대 항행 시스템에 적용하기에 매우 적합하고 실시간 구현 성능이 우수하다.

3-3 제안된 기법의 기대효과

제안된 기법을 현재 구축되거나 혹은 개발되고 있는 ADS-B, MLAT, WAM 등의 차세대 항행시스템에 적용하여 성능을 개선시키면 여러 기대효과를 얻을 수 있다.

먼저 항로에서의 항공기간 이격 거리 혹은 항공기간 고도를 좁힘으로써 많은 항공기를 항로에 진입시킬 수 있으며, 공항에서의 이착륙 경로 개수를 늘려 이착륙 지연시간을 감소시킬 수 있다. 그림 8은 정확한 항공기의 위치 정보를 기반으로 이륙 경로를 4개에서 6개로 늘린 애틀랜타 공항의 모습이다. 항공기의 위치가 정확하지 않으면 항공기간 이격을 위해 4개의 경로 밖에 운영할 수 없지만, 정확한 위치를 기반으로 하면 같은 공역을 6개의 경로로 운영할 수 있다.

또한 정확한 항공기 위치 파악으로 항공기 안전을 개선할 수 있다. 알래스카에서는 ADS-B 시스템과 다른 보조적인 시스템들을 활용하여 항공기 사고율을 47% 감소시켰다. 따라서 항공기에 대한 위치 정보를 상호 융합하여 정확한 항공기 위치가 제공된다면 항공기뿐만 아니라 공항 지면의 차량도 보다 안전하고 효율적으로 이동시킬 수 있게 된다.

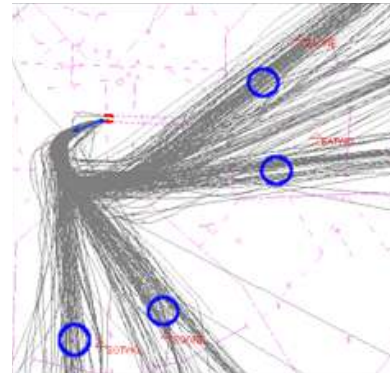


그림 8. 애틀랜타 공항의 이륙 경로(4개 활주로 운영)
Fig. 8. The departure route of Atlanta airport. (The operation of 4 runways)

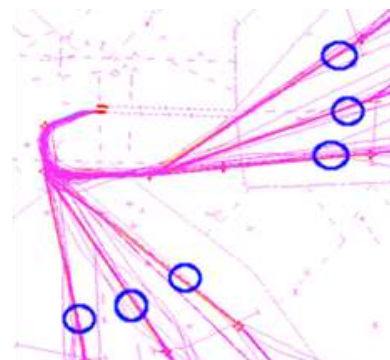


그림 9. 애틀랜타 공항의 이륙 경로(6개 활주로 운영)
Fig. 9. The departure route of Atlanta airport. (The operation of 6 runways)

IV. 제안된 기법의 성능평가

4-1 실험환경

ADS-B의 실험장비 구성은 그림 10과 같다. ADS-B의 실험 장비는 검증용 데이터 전송 장비인 TDG (target data generator), 검증용 데이터 수신 장비인 TDR (target data receiver), ADS-B 서버로 구성된다. TDG는 ADS-B 데이터를 비롯하여 MLAT 및 WAM 데이터를 전송할 수 있으며 TDR은 가상의 ADS-B 모니터링 시스템, 항공관제 시스템 등 항공기 위치정보를 눈으로 확인할 수 있는 시스템의 역할을 수행한다.

ADS-B의 정보융합 성능을 평가하기 위해서는 ADS-B 데이터뿐만 아니라 MLAT와 WAM 데이터가 필요하다. TDG에서, ADS-B는 실제 데이터로 전송하고 MLAT와 WAM 데이터는 가상의 데이터를 전송한다. 현재 ADS-B는 구축이 되어 실제 데이터를 얻을 수 있지만, MLAT와 WAM 데이터를 그렇지 않기 때문에 가상의 데이터를 사용한다.

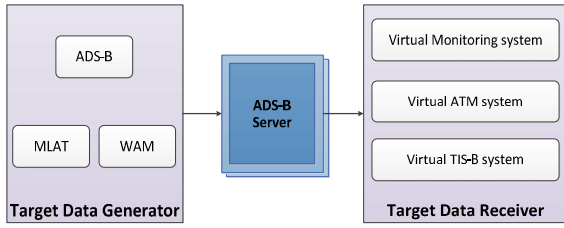


그림 10. ADS-B 성능평가 구성도
 Fig. 10. The block diagram of ADS-B evaluation.

4-2 성능평가

성능평가를 위해 시나리오 1에서는 ADS-B와 MLAT의 정보 융합 데이터를, 시나리오 2에서는 ADS-B와 WAM의 정보 융합 데이터를 기존의 ADS-B 데이터와 비교하였다.

1) 시나리오 1 : ADS-B와 MLAT 데이터와의 정보융합

시나리오 1에서는 ADS-B와 MLAT 데이터를 제안된 기법을 이용하여 정보융합 하였다. ADS-B 데이터는 실제 항공기 데이터를 사용할 수 있지만, MLAT는 실제 항공기 데이터가 없기 때문에 데이터 생성기를 통해 MLAT 데이터를 생성하였다. MLAT 데이터를 생성하는 방법은 ADS-B의 실제 데이터와 ADS-B의 오차범위를 이용하여 항공기의 참값을 예측하여 이 참값에 MLAT의 오차를 더해 생성하였다. MLAT는 공항 인근에서 주로 사용되기 때문에 항공기 이륙, 착륙 및 선회하는 상황에서의 ADS-B 데이터와 정보융합 하였다.

그림 11은 항공기가 선회하는 상황이며, ADS-B, MLAT 및 정보융합 데이터가 표시된 화면이다. 그림 12는 ADS-B 데이터와 정보융합 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

그림 13은 항공기가 이륙하는 상황이며, ADS-B, MLAT 및 정보융합 데이터가 표시된 화면이다. 그림 14는 ADS-B 데이터와 정보융합 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

그림 15는 항공기가 착륙하는 상황이며, ADS-B, MLAT 및 정보융합 데이터가 표시된 화면이다. 그림 16은 ADS-B 데이터와 정보융합 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

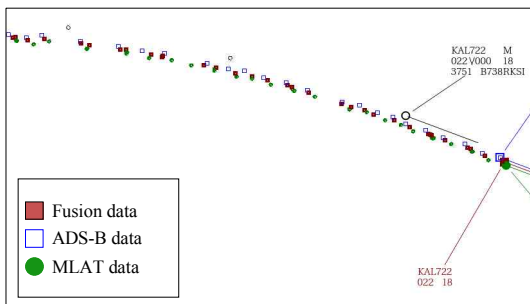


그림 11. ADS-B, MLAT, 정보융합 데이터의 표시 화면
 Fig. 11. The display of ADS-B, MLAT, and fusion data.

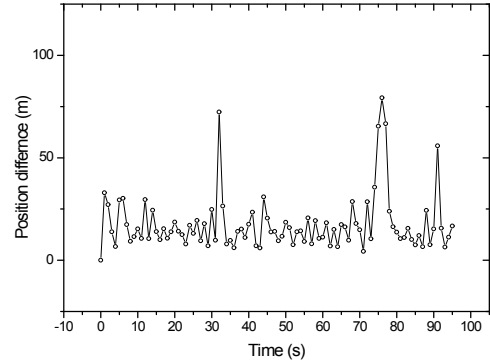


그림 12. ADS-B 데이터와 정보융합 데이터의 항공기 위치 차이
 Fig. 12. The aircraft position difference between ADS-B data and fusion data.

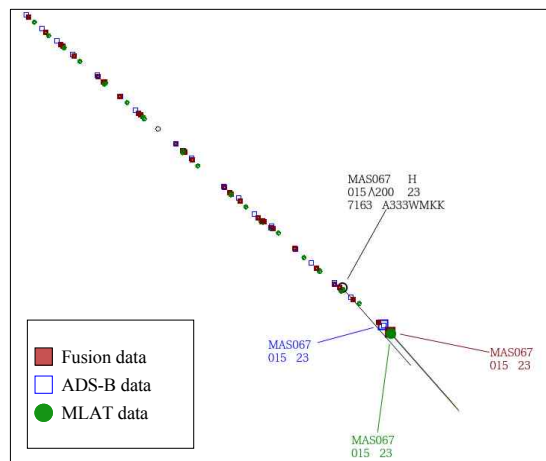


그림 13. ADS-B, MLAT, 정보융합 데이터의 표시 화면
 Fig. 13. The display of ADS-B, MLAT, and fusion data.

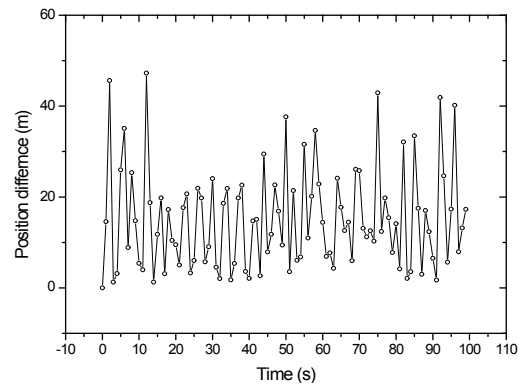


그림 14. ADS-B 데이터와 정보융합 데이터의 항공기 위치 차이
 Fig. 14. The aircraft position difference between ADS-B data and fusion data.

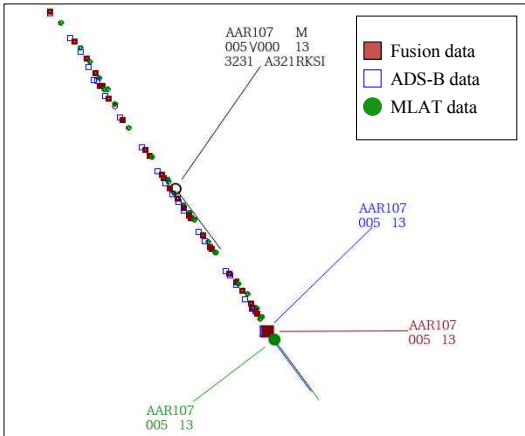


그림 15. ADS-B, MLAT, 정보융합 데이터의 현시 화면
 Fig. 15. The display of ADS-B, MLAT, and fusion data.

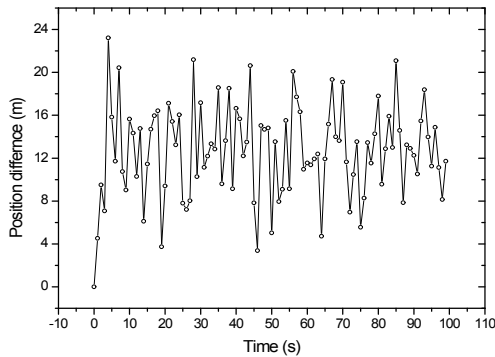


그림 16. ADS-B 데이터와 정보융합 데이터의 항공기 위치 차이
 Fig. 16. The aircraft position difference between ADS-B data and fusion data.

2) 시나리오 2 : ADS-B와 WAM 데이터와의 정보융합

시나리오 2에서는 ADS-B와 WAM 데이터를 제안된 기법을 이용하여 정보융합 하였다. ADS-B 데이터는 실제 항공기 데이터를 사용할 수 있지만, WAM은 실제 항공기 데이터가 없기 때문에 WAM 데이터 생성기를 통해 데이터를 생성하였다. WAM 데이터를 생성하는 방법은 MLAT 데이터의 생성방법과 동일하다. WAM은 항로 감시에 주로 사용되므로 항공기가 항로에서 비행하는 상황에서의 ADS-B 데이터와 정보융합 하였다.

그림 17은 항공기가 항로에서 비행하는 상황이며, ADS-B, WAM 및 정보융합 데이터가 현시된 화면이다. 그림 18은 ADS-B 데이터와 정보융합 데이터 간의 항공기 위치 차이를 나타낸다.

3) 결과분석

시나리오 1, 2에서는 실제 항공기의 ADS-B 데이터와 데이터 생성기로부터 생성된 MLAT 및 WAM 데이터를 융합하여 데이터 간의 차이를 비교하였다. 표 2는 시나리오 1, 2의 성능 평가 결과를 나타낸다.

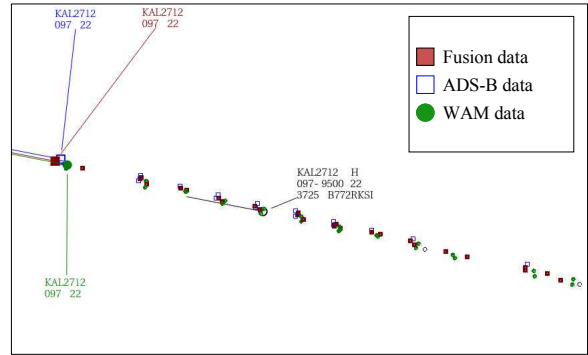


그림 17. ADS-B, WAM, 정보융합 데이터의 현시 화면
 Fig. 17. The display of ADS-B, WAM, and fusion data.

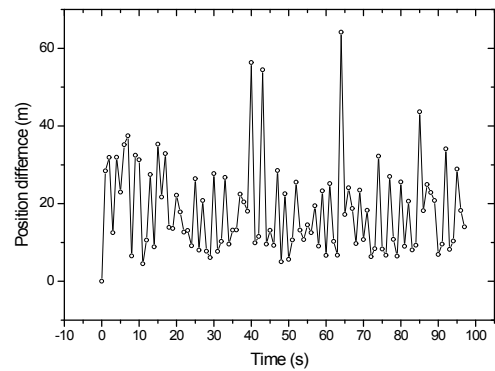


그림 18. ADS-B 데이터와 정보융합 데이터의 항공기 위치 차이
 Fig. 18. The aircraft position difference between ADS-B data and fusion data.

항공기가 순항할 때 제안된 기법을 적용한 항공기 위치와 기존의 항공기 위치 차이가 가장 크게 나타났다. WAM의 성능이 가장 좋지 않기 때문에 차이가 크게 나타난 것으로 생각할 수 있다. 반면, 항공기 위치 차이가 가장 작을 때는 항공기가 착륙하는 상황이다. 항공기가 공항에 근접해 있어 항공기 위치 정확도가 높기 때문이다.

항공기의 실제 데이터를 사용하여 성능평가를 수행하였기 때문에 제안된 기법을 적용하여 정보융합했을 때 향상된 성능을 정량적으로 분석할 수는 없다. 그러나 기존의 ADS-B 데이터와 제안된 기법을 통해 얻은 데이터와의 차이를 비교하여 간접적으로 성능이 향상되었음을 예상할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 ADS-B의 성능개선을 위한 정보융합 기법을 제안하였다. 기존의 convex combination method에서는 부 필터로 칼만필터나 IMM 필터를 주로 사용하지만 본 논문에서는 robust IMM 필터를 사용하였다. Robust IMM 필터를 사용하면

표 2. 시나리오 1, 2의 성능평가 결과

Table 2. The performance evaluation results of scenario 1, 2.

		The aircraft position difference between ADS-B data and fusion data		
		Max (m)	Min (m)	Average (m)
Fusion between ADS-B and MLAT	Turning	81.46	4.34	18.22
	Take off	47.26	1.26	15.06
	Landing	23.21	3.37	12.64
Fusion between ADS-B and WAM	Cruising	64.16	4.49	18.47

항공기 위치 신호가 손실되더라도 결과를 얻을 수 있기 때문에 신호 손실이 자주 발생하는 차세대 항행시스템에 적합하다고 할 수 있다.

제안된 기법의 성능평가는 실제 ADS-B 데이터와 가상의 MLAT 및 WAM 데이터를 사용하여 수행하였으며, 항공기 선회, 이륙, 착륙, 순항 등 다양한 상황에서 비교하였다. 성능평가 결과, 기존의 데이터와 정보융합 데이터 간의 항공기 위치 차이는 평균 15.92m로 나타났다. 시뮬레이션 결과와 같이 성능향상 결과를 수치로 제시할 수는 없지만, 항공기 위치 차이를 통해 간접적으로 비교해 보았다.

추가 연구사항으로는 향후 MLAT 및 WAM 구축이 완료되면 MLAT 및 WAM의 실제 항공기 위치 데이터를 이용해 성능을 평가하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] Eurocontrol, CAT021, ADS-B messages, 2003.
 [2] SRA international, Multilateration & ADS-B executive reference guide, 2009.
 [3] Eurocontrol, Generic safety assessment for ATC surveillance using wide area multilateration, 2008.
 [4] Y. Gao, E. J. Krakiwsky, M. A. Abousalem, and J. F. McLellan, "Comparison and analysis of centralized, decentralized, and federated filters," *Journal of Institute of*

Navigation, Vol. 40, pp. 69-86, 1993.
 [5] H. Wang, T. Kirubarajan, and Y. Bar-Shalom, "Precision large scale air traffic surveillance using IMM/assignment estimators," *IEEE Transactions of Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 35, No. 1, pp. 255-266, 1999.
 [6] M. Yeddanapudi, Y. Bar-Shalom, and K. Pattipati, "IMM Estimation for multitarget-multisensor air traffic surveillance," in *Proceedings of the 34th IEEE Conference on Decision and Control*, New Orleans: LA, 1995.
 [7] X. R. Li, W. Wang, M. Logan, and T. Donohue, "Multiplatform multisensor fusion with adaptive-rate data communication," *IEEE Transactions of Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 33, No. 1, pp. 274-281, 1997.
 [8] B. Olivier, H. Nicolas, and T. Olivier, "Radar/ADS-B data fusion architecture for experimentation purpose," in *Proceedings of the 9th International Conference on Information Fusion*, Florence: Italy, 2006.
 [9] H. Durrant-whyte and T. C. Henderson, *Multisensor Data Fusion*, Springer Handbook of Robotics, New York, NY: Springer, 2008.
 [10] Federal aviation administration, Surveillance and broadcast services integration into ATC automation processing requirements document, 2008.
 [11] Federal aviation administration, Fusion, 2007.
 [12] T. G. Lee, "Centralized Kalman filter with adaptive measurement fusion: Its application to a GPS/SDINS integration system with an additional sensor," *International Journal of Control and Automation System*, Vol. 4, pp. 444-452, 2003.
 [13] D. Smith and S. Singh, "Approaches to multisensor data fusion in target tracking: A Survey," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 18, No. 12, pp. 1696-1711, 2006.
 [14] 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.



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