

효율적인 방공 지휘통제경보체계를 위한 설계 및 구현

The Design and Implementation for Efficient C2A

권철희*

홍동호*

이동연*

Cheol-Hee Kwon

Dong-Ho Hong

Dong-Yun Lee

이종순*

김영빈*

Jong-Soon Lee

Young-Vin Kim

Abstract

In this paper, we have proposed the design and implementation for efficient Command Control and Alert(C2A). Information fusion must be done for knowing the state and identification of targets using multi-sensor. The threat priority of targets which are processed and identified by information fusion is calculated by air-defence operation logic. The threat targets are assigned to the valid and effective weapons by nearest neighborhood algorithm. Furthermore, the assignment result allows operators to effectively operate C2A by providing the operators with visualizing symbol color and the assignment pairing color line. We introduce the prototype which is implemented by the proposed design and algorithm.

Keywords : Threat Evaluation(위협평가), Weapon Assignment(무기할당), Closest Point of Approach(최근접점), Information Fusion(정보융합), Normalization(정규화), Command Control and Alert(방공 지휘통제경보체계)

1. 서론

저고도로 침투하는 적 항공기에 대한 방공 지휘통제경보체계는 적의 공격수단을 파괴하거나 효과를 감소시켜 아군 자산을 보존할 수 있어야 한다. 이와 같은 방공 임무를 수행하기 위해서는 상위체계, 감시체계, 지휘통제경보체계 및 타격체계를 네트워크로 구성하여야 한다. 즉, 지휘통제경보체계는 MCRC와 같은

상위체계로부터 수신된 공중 항적정보를 조기경보 또는 작전 구역 외의 전장상황을 감시하는 용도로 사용하고, 다중 다중 센서로 구성된 감시체계로부터 획득된 공중 항적정보들은 융합하여 항적 탐지, 추적 및 식별을 통해 통합 항적 정보를 생성함으로써 상황에 대한 높은 신뢰성을 확보하여 적시에 최적의 타격체계로 전송함으로써 광역 작전 수행 능력을 보장해야 한다.

본 논문은 언급된 체계 아키텍처를 사용함으로써 기존 저고도 방공 체계에서 내포하고 있는 지휘관의 지휘통제 결심 지연, 상당부분 청각에 의존하는 명령 하달에 따른 중복 및 누락 교전 등의 단점을 보완하고

† 2009년 7월 13일 접수~2009년 10월 9일 게재승인

* LIG넥스원(주)

책임저자 : 권철희(chkwons123@lignex1.com)

보유 자산에 신속, 정확하게 임무를 배분함으로써 방공작전을 효과적으로 수행할 수 있는 방법을 제안한 것이다.

본론에서는 상위체계로부터 수신된 공중 항적정보와 자산으로 보유하고 있는 감시체계로부터 수신된 공중 항적정보를 융합하여 통합 항적 정보를 생성하는 방법을 소개한다. 다음으로, 상황평가를 실시하여 위협항적으로 분류된 항적은 상위 지휘통제경보체계가 자산으로 보유하고 있는 타격체계로 위협 항적을 할당하는 무기할당과 하위 지휘통제경보체계로 위협 항적을 할당하는 표적할당 방법에 대해서 소개한다. 할당된 각각의 경우에 대해서 경보를 제공하기 위한 시각화 방법을 소개함으로써 실제 시스템 구축 시 운용자 운용 효율성 및 적합성 등의 편의를 도모할 수 있는 방법을 소개한다. 끝으로, 본 논문에서 소개한 방법으로 구축된 방공 지휘통제경보체계관련 프로토타입을 소개한다.

2. 본론

가. 통합항적정보 생성 및 전장환경평가

다중 다종의 감시체계에서 보고된 정보를 처리하기 위한 설명은 다음과 같다.

상위체계와 지휘통제경보체계의 자산으로 보유한 감시체계로부터 수신된 공중 항적정보를 융합하여 전장환경을 분석할 수 있는 통합 항적정보를 생성해야 한다. 통합 항적정보를 생성하기 위한 프로세스는 먼저 다중 다종의 센서(상위체계 탐지정보 포함)에서 보고되는 항적정보들의 정렬이다. 정렬에는 기준이 되는 시간, 좌표, 단위, 차원에 대한 내용으로 수행되어야 한다. 정렬된 항적정보들은 동일 항적 여부를 파악하기 위해, 게이트를 구성하여 보고된 항적 정보들의 속성들을 이용한 연관에 이용한다. 게이트에 대한 내용은 모양, 크기 등으로 결정될 수 있다. 원형, 타원형, 사각형, 원뿔형 등의 항적 기동패턴에 따라서 모양을 결정할 수 있다. 크기에 대해서는 적용할 시스템에 시행착오를 통해서 결정할 수 있으나, 보편적으로 사용하는 방법은 추적필터를 구동하는 과정에서 산출되는 공분산 값을 이용하여 결정할 수 있다. 예를 들면, 원형 모양의 게이트 크기를 결정하는 방법은 일반적으로 많이 사용하는 시스템 상태 방정식을 사용하여,

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu + Fw \\ y &= Cx + Du + Gv \end{aligned}$$

와 같이 정의한다.

여기서,

- A : 시스템
- x : 상태벡터
- u : 입력
- w : 시스템 모델링 오차
- v : 관측치 오차

추적 필터에서 산출되는 공분산(S : 예측치와 관측치의 오차를 반영해서 산출되는 공분산)와 예측 오차에 대한 값(\tilde{y})을 이용하여 게이트의 반경을 구할 수 있다^[1,3,4].

$$r^2 = \tilde{y}^T S^{-1} \tilde{y}$$

여기서,

$$\tilde{y} = y(t) - \hat{y}(t|t-1)$$

따라서, 추적필터에 의해서 예측된 위치를 중심으로 하여 게이트 크기 내부에 관측되는 탐지 항적정보를 연관 후보로 둔다^[4].

추적 알고리즘의 속성들 중, 연관에 이용되는 중요한 파라미터로는 상태벡터와 IFF에 의한 식별 값이 이용된다.

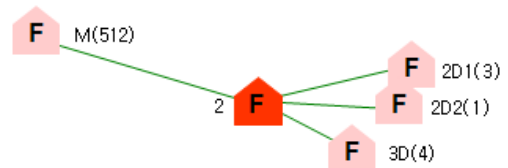


Fig. 1. 통합 항적정보 생성 결과

즉, 통합 항적정보 2번은 상위체계에서 적기로 보고된 항적정보 512번과 3차원 레이더에서 적기로 탐지한 4번, 2차원 레이더에서 적기로 탐지한 1번과 3번의 항적정보를 융합해서 얻은 산출물이다. 통합 항적정보로 연관된 항적에 대해서는 상위체계 및 감시체계에서 보고된 항적정보들의 속성 값을 이용하여 추적을 수행한다. 항적정보들의 산출된 결과를 이용하여 아군기, 적군기, 중립기 등에 대한 필터링을 수행하고 적

군기일 경우에는 기동 패턴 및 영역에 대한 분석을 통해 상황 평가를 수행한다. 평가 결과를 통해 위협 항적으로 최종 산출된 항적에 대해서는 위협항적에 대한 평가가 상세하게 이루어져야 한다. 즉, 위협 항적별 평가를 통해 먼저 타격할 항적부터 추후에 타격할 항적들의 우선순위를 구분할 수 있도록 수행되어야 한다. 이를 위한 위협평가 방법은 여러 경우를 평가 항목으로 식별하고 적용 시스템에 맞게 가중치를 조정함으로써 수행해야 한다. 평가 항목으로 식별되는 몇 가지 대표적인 예를 들면, 거리, 침로(기동방향), 속도, 기동패턴(상승, 하강 등) 등이 있다. 따라서, 거리가 가까울수록, 속도가 빠를수록, 하강패턴으로 기동할수록 위협적인 항적으로 평가될 수 있다^[1,2]. 더불어, 위협항적의 우선순위를 정하기 위해서는

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i = 1.0$$

이 되는 가중치를 고려해야 한다. 또한, 식별된 각 항목들은 정규화를 통해서 방공 지휘통제정보체계에서 위협항적에 대한 우선순위를 공평하게 결정할 수 있다. 지금까지 언급된 내용에 대한 프로세스를 그림으로 도시하면 아래와 같다.

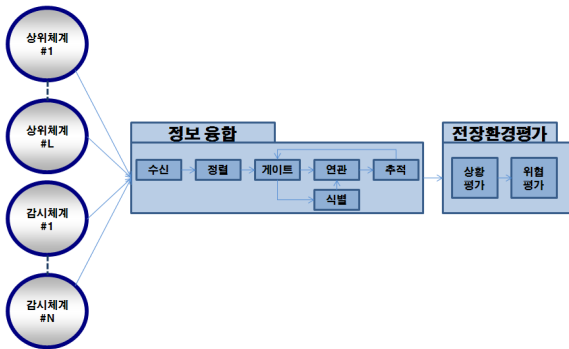


Fig. 2. 전처리 프로세스

나. 무기할당

기존 방공체계에서는 다수의 위협 항적이 출현할 경우, 상당부분 청각에 의존하는 지휘통제 명령으로 인해 중복 교전이나 누락 교전이 발생할 확률이 높았다. 전장 상황평가 항목들 중, 위협평가에서 수행된 위협 항적에 대해서는 보유 자산을 이용해서 무기할당 또는 표적할당을 수행해야한다. 방공 지휘통제정보

체계는 상위와 하위의 지휘통제정보체계로 구분하여 작전을 수행하는 것을 제안한다^[1]. 무기할당이란 위협 항적에 대해서 적절한 타격체계로 타격 임무를 할당하는 것이며, 표적할당이란 위협 항적에 대해서 적합한 하위 지휘통제정보체계로 위협 항적을 담당하도록 할당하는 것이다. 표적할당을 하는 경우는 위협 항적의 개수가 타격 가능한 타격자산의 개수를 초과하거나, 하위 지휘통제정보체계가 위협 항적을 담당하는 것이 적절하다고 판단되는 경우에 수행된다. 무기할당에 대한 판단을 수행하기 위해서는 위협 항적의 기종 및 제원, 기동 속도, 아군 타격자산의 제원 및 지형정보 등이 함께 고려되어야 한다. 위협 항적의 기종은 고정익 및 회전익 등의 구분보다 상세한 수준일수록 좋다. 왜냐하면, 고정익일 경우에도 전투기, 폭격기 등의 구분에 따라서 기동속도 및 기동패턴 등의 동력학적인 해석이 다르기 때문에 대응할 타격체계를 결정하는데 활용할 수 있기 때문이다. 또한, 아군 타격자산의 제원 및 사양은 종류, 배치 위치 등을 연동시킬 수 있다면 마찬가지로 방법으로 유효사거리, 재장전 시간 등에 따라서 명확하게 결정할 수 있기 때문이다. 배치위치는 지형정보(고도)와 더불어 같이 사용할 수 있다. 위의 언급된 내용은 데이터베이스를 활용할 수 있는 시스템으로 구축되어야 할 것이다.

아래는 단일 표적에 대해서 단일 타격체계가 타격하기 위한 시간대별 타격확률을 이해하는데 도움을 주는 그림이다^[5].

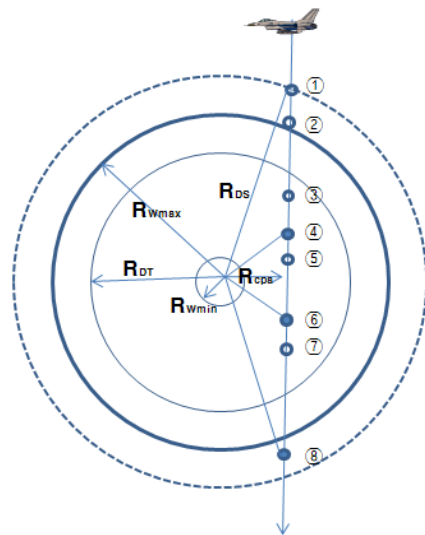


Fig. 3. 단일 표적 단일 타격체계 대응

여기서,

- R_{DS} : 탐색 센서가 탐지하는 범위
- R_{DT} : 추적 센서가 탐지하는 범위
- R_{Wmax} : 최대 타격 거리
- R_{Wmin} : 최소 타격 거리
- R_{cpa} : CPA에서 거리

더불어, 표적이 기동하는 과정에서 부여한 번호는 다음과 같은 의미를 갖는다.

- ①번 : 최초 탐지
- ②번 : 항적, 식별, 무기 할당 확정
- ③번 : 1차 타격 지점
- ④번 : 요격 지점
- ⑤번 : 요격 평가 및 2차 타격 지점
- ⑥번 : 요격 지점
- ⑦번 : 요격 평가 및 3차 타격 지점
- ⑧번 : 요격 지점

요격할 수 있는 확률적인 계산은 다음과 같이 수식화할 수 있다.

$$P_{KA} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{KA_i})$$

여기서,

- P_{KA} : Probability of Kill Assessment
- $i = 1, \dots, n$: 요격 거리 내에서 타격 회수

예를 들면, 요격 지점(④, ⑥)에서의 요격확률이 각각 0.7과 0.4라고 가정하면, 침투하는 항적을 요격할 수 있는 확률은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$P_{KA} = 1 - (1 - 0.7)(1 - 0.4) = 0.82$$

따라서, 타격 거리 내에서 위협 항적을 요격할 수 있는 확률은 82%이다.

이제는 단일 표적에 대한 단독 대응에 대한 사항을 다중 표적 다중 타격체계로 확장하도록 하자. 본 논문에서는 Nearest Neighborhood 알고리즘을 사용하여 위협 항적에 대한 대응책을 제시한다. 이를 위해서는 아래와 같은 프로세스를 수행해야 한다. 단, 위협 항적이 작전 반경 내에 진입하였다고 가정한다.

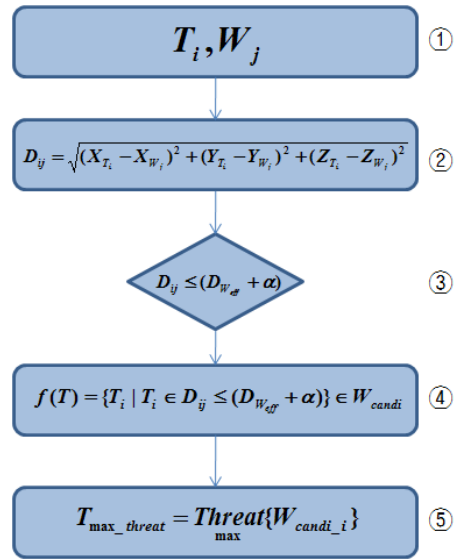


Fig. 4. Nearest Neighborhood 프로세스

여기서,

- T_i : 위협 항적, $i = 1, \dots, n$
- W_j : 타격 체계, $j = 1, \dots, m$

프로세스를 설명하면 다음과 같다. ①번은 할당되지 않은 위협 항적들과 타격 체계들에 대한 표현이다. ②번은 위협 항적들과 타격체계들 간의 이격거리를 계산한다. ③번은 타격체계의 유효 사거리와 타격준비시간을 거리로 환산한 수치(α)를 합한 값과 ②번에서 구한 이격거리를 비교한다. ④번은 ③번 조건을 만족하는 위협 항적을 해당 타격체계의 타격할 후보로 지정한다. ⑤번은 타격할 수 있는 후보들 중, 가장 위협적인 표적을 타격 체계의 최종 위협 항적으로 지정하는 부분이다.

Fig. 5에서 언급된 프로세스로 무기할당을 수행했으나, 할당되지 않은 위협 항적이 있다면, 공유된 통합 항적 정보를 이용하여 상위 지휘통제경보체계가 하위 지휘통제경보체계로 표적할당을 수행하고 하위 지휘통제경보체계는 동일한 프로세스로 무기할당을 수행하면 된다.

소개된 무기할당 알고리즘은 함정 전투체계^[6] 방식의 포인트 방공이 아니고, 영역 개념의 위협평가를 통한 방법을 제안한 것이다. 더불어, 저고도로 침투하는 적 항공기 및 산악지형이 많은 한국 지형을 고려하기 위한 요소를 반영했다.

다. 경보 시각화

공중으로 침투하는 세력은 단독 작전 보다는 편대를 구성하여 작전을 수행하며 아군의 자산 또한 다중 다종의 타격체계로 구성되어 교전을 실시하기 때문에 조기 탐지 및 전장 상황평가를 적시에 수행할지라도 지휘통제경보체계에서 위협 상황을 적절한 방법으로 지휘관에게 제공하지 않는다면 상황 판단 및 결심 시간을 지연시킬 수 있다. 따라서, 지휘통제경보체계는 위협이 되는 항적 출현 시, 지휘관에게 신속하고 효율적인 방법으로 상황을 인식시킬 수 있는 도구를 제공해야 한다. 이를 수행하기 위한 대표적인 방법은 지휘관의 청각과 시각을 이용하는 방법이다. 즉, 청각을 이용하는 방법은 스피커를 사용하여 경보 상황을 전파하는 것이다. 그러나, 청각만을 이용하면 다중 다종의 복잡하게 전개되는 전장 환경을 이해하는데 한계가 있다. 따라서, 시각을 이용하는 방법을 살펴보면 위협 항적에 대해 심볼 모양, 심볼 색, 심볼 점멸 등의 방법이 있다. 더불어, 무기할당과 표적할당에 대해서는 위협 항적과 아군 자산에 페어링 라인으로 표시하면 위협 항적별 할당 여부를 쉽게 파악할 수 있다. 즉, 표적할당은 파란색, 무기할당은 적색으로 구분하여 전시 화면에 표현한다면 전장 환경 판단에 도움을 주고 효과적으로 작전 통제를 할 수 있다. 아래 소개된 그림들은 언급된 내용에 대해 도시한 것이다.

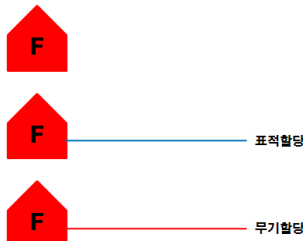


Fig. 5. 위협 항적 정보 심볼

언급된 바와 같이, Fig. 6은 하위 지휘통제경보체계로 할당된 표적할당 명령을 파란색으로 페어링 라인을 작도한 것이고, 지휘통제경보체계가 보유한 타격체계로 무기할당 명령은 Fig. 7과 같이 적색으로 페어링 라인을 작도한 것이다.

표적 심볼을 이용한 시각적 표현 외에 표적 목록창 및 할당 목록창 등을 비활성에서 활성화시킴으로써, 시각적으로 상황 인식을 극대화시킬 수 있다. 이에 대한 시각화를 구체화하여 적용하면 Fig. 8과 같다.

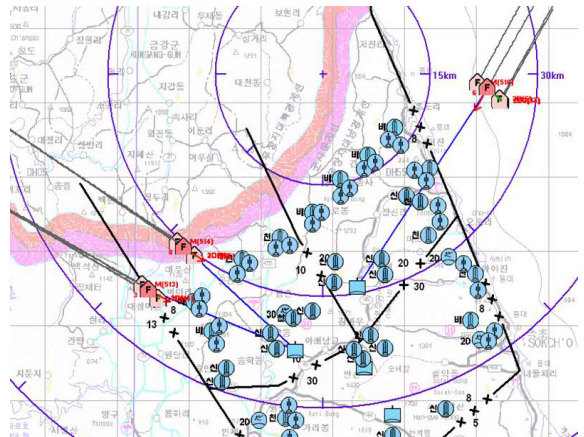


Fig. 6. 표적할당

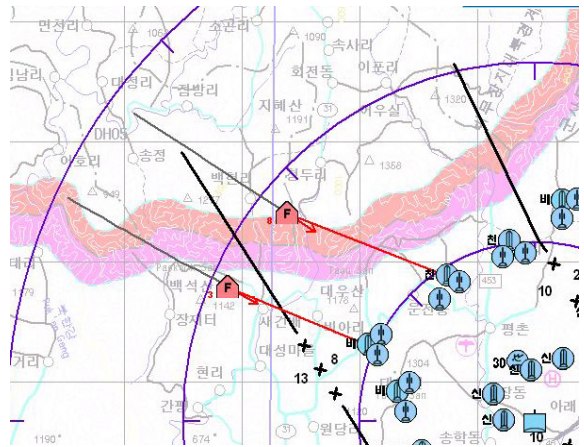


Fig. 7. 무기할당

위협순위	표적번호	표적할당	무기할당	교전상태
1	3	50001	70001	무기할당
2	1	50001	70003	무기할당
3	4	50002		표적할당
4	2	50002	70005	교전중

Fig. 8. 위협표적목록 전시창

그림에서 하위 지휘통제경보체계로 할당된 위협 항적정보에 대해서는 하위 지휘통제경보체계에서 자신이 보유한 타격체계로 무기할당을 수행하고, 할당된

결과를 상위 지휘통제경보체계로 보고함으로써, 전장에서 발생한 상황 대응을 신속하고 정확하게 할 수 있다. 즉, 위협항적에 대해서 하위 지휘통제경보체계로 지휘된 명령이 하위 지휘통제경보체계에서 어떻게 처리되었는지 결과를 알 수 있는 것이다. 이와 같은 모든 프로세스는 자동으로 진행할 수도 있으나, 지휘관의 지휘통제 명령을 받아서 처리할 수 있도록 하는 것이 기본적인 프로세스이기 때문에, 시각화에 대한 필요를 언급한 것이다.

3. 모의실험

본 논문의 본문에서 언급된 내용들을 모델링하여 모의실험을 할 수 있는 시스템을 구축하였다. 구축된 시스템은 전체 운용 통제를 담당하는 장비를 비롯하여 상위체계, 감시체계, 타격체계, 통신체계 및 지휘통제경보체계에 해당하는 장비이며, 아래 그림과 같다.



Fig. 9. 방공 지휘통제경보체계 프로토타입 형상

상위 지휘통제경보체계 장비는 1대, 하위 지휘통제경보체계 장비는 3대로 구성했다. 상위 지휘통제경보체계는 상위체계 및 감시체계로부터 수신된 공중항적 정보를 이용하여 통합항적정보를 생성 및 위협평가를 실시하고 그 결과를 활용하여 보유한 타격체계로 무기할당을 수행하고, 미할당된 위협항적은 하위 지휘통제경보체계로 표적할당을 명령한다. 하위 지휘통제경보체계는 자신에게 할당된 위협항적에 대해서 보유한 타격체계로 무기할당을 수행하도록 운용된다.

4. 결론

본 논문에서는 방공 지휘통제경보체계의 무기할당을 위한 설계 및 구현에 대한 내용을 소개하였다. 기존 방공체계의 단점을 보완하기 위해서 상위체계 및 감시체계로부터 수신되는 정보를 융합하고, 융합된 결과를 이용하여 전장 상황을 평가한다. 상황을 평가하는 과정에서 도출된 위협 항적에 대해서, 위협 항적별 위험치를 산출하고, 해당 위협항적에 대해 무기를 할당하는 알고리즘 및 로직을 소개했다. 알고리즘으로 산출된 결과는 지휘관이 신속하고 정확한 판단 및 의사 결정을 수행할 수 있도록 청각 및 시각적인 방법을 제안했다. 제안된 내용을 구현하기 위한 프로토타입을 소개하였다. 소개한 프로토타입은 향후 구축될 방공 지휘통제경보체계에 상당 부분 적용 가능할 것으로 판단되며, 구축된 프로토타입의 구성 모듈 및 컴포넌트들은 지속적으로 업그레이드를 진행할 것이다.

Reference

- [1] 권철희, 홍동호, 이동언, 최항준, 이종순, “저고도 방공 자동화 체계 개발 방안에 대한 연구”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 107~110, 2008.
- [2] 최원용, 홍순목, 이동관, 정재경, “레이다 항적융합 연구의 최근 동향”, 한국군사과학기술학회지, 제11권 제1호, pp. 85-92, 2008, 2.
- [3] Cheol Hee Kwon, Chang Ho Choi, Jong Soon Lee, Duk Yung Kim, “Performance Analysis of Association Algorithms for Multiple-Target Tracking”, UDT Pacific 2006.
- [4] Samuel S. Blackman, Multiple-Target Tracking with Radar Applications Archtech Inc.
- [5] Macfadzean, Robert H. M., Surface-Based Air Defense System Analysis 1992 Artech House 685 Canton Street.
- [6] 고순주, 김영길, “전투체계 개념”, 제8회 해군해양과학기술 심포지움.