

다수의 해안감시 레이더자료 전시 기법

Displaying Multiple Maritime Surveillance Radar Data

황 규 환[†] · 김 문 기^{*} · 강 도 근^{*}

(Gyu-Hwan Hwang · Moon-Ki Kim · Do-Keun Kang)

Abstract - We display important test information from radar, telemetry in real time for monitoring and control of guided missile flight test. Clearing test area is the most important thing for safety. Thus, we have to constantly monitor and control ships around the test area. Several maritime surveillance radars are deployed around the test area for that purpose. However, multiple points are displayed for the same target when using multiple surveillance radars and this confuses the test personnel during the mission. In this paper, we suggested a method to solve this problem by analyzing error factor of surveillance radar and comparing the correlation of each radar data.

Key Words : Surveillance radar, Flight test, Correlation

1. 서 론

유도무기 실사격 시험을 수행하는데 있어서 안전을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 유도무기 시험장 인근 바다에서는 어선들이 상시로 조업을 하고 있으므로 시험구역 내에 어선이 존재하는지의 여부를 항상 확인하면서 시험 진행여부를 결정해야 한다. 해상소개선이나 시험안전 통제소에서 육안으로만 해상소개 상황을 판단하기에는 한계가 있으므로 해상감시레이더를 운용하여 시험구역내 선박의 출현 여부를 감시하고 있다.

그런데 점차 시험하고자 하는 무기체계의 성능이 우수해지고 시험영역이 확대됨에 따라 한 대의 해상감시레이더만 운용하는 것보다 다수의 레이더를 사용해야 할 필요성이 계속 제기되고 있는 실정이다. 그러나 다수의 레이더를 운용하다보니 이들 레이더로부터 수집한 자료를 동시에 전시할 경우 큰 문제에 직면하게 되었다. 바로 전시화면 상에서 같은 표적이 여러 개의 점으로 표시됨에 따라 시험상황을 확인하고 통제하는데 오히려 혼선을 초래하게 된 것이다. 이는 각각의 레이더에서 관측된 자료를 단순히 보여주는데 그쳐서는 안되고 무엇인가 적절한 처리를 하여 사람들이 쉽게 레이더 관측 정보를 인지할 수 있도록 도와주어야 한다는 것을 의미한다.

본 논문에서는 다수의 탐색 레이더 자료를 지능적으로 처리하여 선박의 위치를 전시해 줌으로써 시험통제를 위한 정확한 정보를 제공해 줄 수 있는 방안을 제시하였다. 2장에서는 탐색 레이더의 기본적인 기능과 오차요인을 분석하였고 3장에서는 다수의 탐색레이더를 운용할 경우 중복자료가 발생하는 현상에 대해 기술하고 이를 효과적으로 식별하고

제거할 수 있는 방안에 대해서 제시하였다. 4장에서는 제안된 알고리즘을 실제로 적용한 시뮬레이션 결과를 정리하였다. 5장에서는 본 논문에서 언급한 주요 내용을 요약하고 향후 연구방향에 대해서 기술하였다.

2. 해상 탐색 레이더 관측 오차

2.1 해상 감시 레이더

해상 감시 레이더는 대공 탐색 레이더와 그 기능이 동일하다. 단지 해면 클러터에 의한 간섭을 줄일 수 있는 신호처리 기능이 보강되어 있고 가시거리(Line Of Sight)에 의한 자연 제약 조건에 의해 송신출력이 비교적 낮은 편이다[1].

2.1.1 해상 감시 레이더 정확도

해상 감시 레이더는 탄도 계측용으로 사용되는 추적 레이더와는 달리 그 정확도와 정밀도가 낮다. 해상 감시 레이더의 정확도가 낮은 가장 큰 이유는 해상 감시 레이더가 2차원 레이더이기 때문이다. 계측 레이더가 레이더 기준으로 표적의 거리, 방위각, 고각을 측정하는데 반하여 해상 감시 레이더는 거리와 방위각만을 측정한다[2].

해상 감시 레이더를 이용하여 레이더 기준으로 선박의 거리와 방위각을 측정했다면 지구 곡률반경과 레이더의 높이를 모두 무시하고 레이더 위치에서의 직교좌표 상에서 선박의 위치를 다음과 같이 대략적으로 추정한다.

$$x = r \sin(\theta) \quad (1)$$

$$y = r \cos(\theta)$$

식(1)에서 x 는 레이더 위치를 기준으로 하여 레이더에서 감지한 선박까지의 동쪽방향 거리이고 y 는 북쪽방향으로의

[†] 교신저자, 정회원 : 국방과학연구소 선임연구원

^{*} 비 회원 : 국방과학연구소 선임연구원

E-mail : whani@add.re.kr

접수일자 : 2011년 11월 21일

최종완료 : 2012년 6월 18일

거리이다. 레이더 기준의 x, y, z 는 좌표변환 알고리즘을 이용하면 지리좌표로 쉽게 변환할 수 있다. 여기서 z 는 0으로 가정한다. 지리좌표로 변환한 결과 중 위도와 경도값만을 취하면 선박의 위도와 경도를 추정할 수 있다.

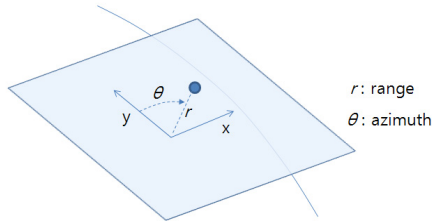


그림 1 해상 탐색 레이더 기준 좌표계
Fig. 1 Maritime surveillance radar coordinate system

2.2 해상 감시 레이더 관측자료 바이어스

해상 감시 레이더는 2차원 레이더라는 요인에 의해 정확도가 낮을 수밖에 없으므로 같은 표적을 서로 다른 레이더가 바라보았을 때 동일 표적이 지도위에 서로 다른 점으로 표시되는 현상은 흔히 발생한다. 낮은 정확도 외에도 해상 감시 레이더 관측자료의 주요 오차요인의 하나로는 레이더를 설치할 때 완벽히 수평을 맞추지 못하거나 진북 기준을 정확히 설정하지 못했을 때 나타나는 바이어스(registration bias)를 들 수 있다[3]. 이러한 종류의 바이어스는 다른 기계적 또는 전기적인 오차에 비해 제거하기가 어렵고 특히 표적이 레이더로부터 멀리 떨어져 있을 때 그 영향이 크다. 또 다른 중요한 오차 요인으로는 레이더와 표적 간의 거리를 측정하기 위해 펄스 송신시각과 반사 펄스 수신시각 사이의 시간지연을 측정할 때 발생할 수 있는 바이어스 등이 있다.

2.3 다수 레이더 관측자료 전시의 문제점

해상 감시 레이더는 2차원 레이더로서 관심 영역 안에서 표적의 존재 여부, 방향, 거리 등을 측정하므로 그 정확도는 사실상 크게 중요하지 않다. 그러나 만일 다수의 해상 감시 레이더를 운용할 경우 그 측정자료를 모두 보여준다면 실제 표적보다 많은 수의 표적이 화면상에 표시된다.

Fig. 2는 실제 표적이 3개이지만 레이더 전시 화면에는 9개로 나타나는 상황을 묘사한 것이다. 여기서 세 개의 탐색 레이더는 서로 멀리 떨어진 곳에 위치하고 있고 각각의 탐색 레이더의 거리오차와 방위각 오차가 존재한다고 가정하였다.

묘사 결과, 2차원 레이더 자체의 정확도에 기인한 영향은 무시할 만하며 각 탐색 레이더에 내재되어 있는 바이어스 오차에 의한 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 바이어스 오차가 작으면 같은 표적에 대해서 각 탐색 레이더의 측정값이 매우 근접하여 하나의 점으로 표시되므로 해상 소개 시 혼선이 발생하지 않는다.

Fig. 2는 레이더 사이트 1, 2, 3의 거리 바이어스가 각각 20m, 30m, -30m, 방위각 바이어스가 각각 -0.05도, 0.2도,

-0.2도 라고 가정한 상태에서 세 개의 서로 다른 표적이 각기 다른 방향으로 진행하는 경우를 묘사하면서 그 중 한 화면을 표시한 것이다. Fig 2의 빨간색 원은 기준 레이더에서 측정된 표적 중 하나에 대해서 중복자료 판단을 위한 근접영역을 나타낸 것으로서 이 영역 내에 사이트 3의 측정자료도 포함되어 있음을 확인할 수 있다. 이 자료는 사실상 중복자료로서 전시화면에는 표시되어서는 안되는 자료이다. 이 자료를 제거하기 어려운 이유는 제거해야 할 대상이 현재 관심 표적과는 다른 표적에 의해 발생한 중복자료이므로 속도의 상관관계를 분석해도 상관관계가 거의 없는 것으로 나타나기 때문이다.

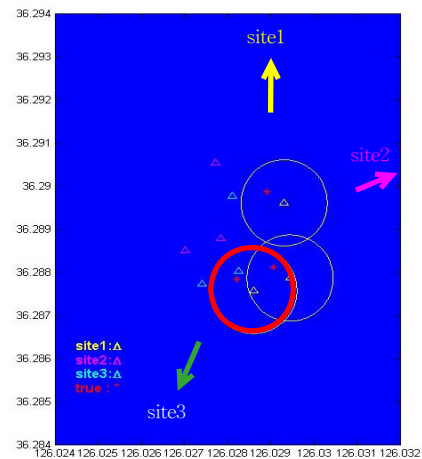


그림 2 다수 레이더 측정자료 전시의 문제
Fig. 2 Exhibition problems of multiple radar measurements

3. 다수 탐색 레이더 자료처리

3.1 동일표적에 의한 중복자료 식별

동일 표적을 서로 다른 점으로 표시하는 것을 방지하기 위해서는 화면상에 표시되는 점들이 동일한 표적인지 아니면 서로 다른 표적인지를 판별해야 한다. 다수의 레이더로부터 전송된 자료가 만일 동일한 표적에 대한 자료라면 첫째, 그 위치가 서로 근접해 있을 것이고 둘째, 속도 벡터의 크기와 방향이 유사할 것이다. 따라서 이 두 가지 요소를 동일 표적 여부를 판단하는 기초자료로 사용할 것을 제안한다. 지도상에서 표적의 위치를 표시하는 정밀도, 레이더의 바이어스 오차, 레이더부터 표적까지의 거리 등에 따라서 영역반경 R 은 식 (2)와 같이 결정된다. 여기서 $a_{n1}, a_{n2}, a_{n3}, \dots$ 는 n 번째 레이더의 방위각 바이어스 오차이며, r_n 은 기준레이더($n=1$) 표적과 n 번째 레이더간의 거리를 나타낸다. 일단 기준 레이더에서 관측한 표적 주위로 반경 R 이내의 중복자료 판단을 위한 근접 영역으로 설정한 후 레이더 거리와 비례하도록 조금씩 그 범위를 가감해 주도록 하였다[4].

$$R = \frac{1}{N} \sqrt{r_1^2 \text{var}(a_{n1}) + r_2^2 \text{var}(a_{n2}) + r_3^2 \text{var}(a_{n3}) + \dots} \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (2)$$

기준 레이더 측정값 기준으로 반경 R 이내에 존재하는 점들은 기준 레이더에서 측정된 자료가 아닌 이상 잠재적인 중복자료로 간주된다. 반경 R 이내에 존재하지만 다른 표적으로 인식되어 화면상에 표시되게 하려면 이 자료가 중복표적이 아님을 입증할 수 있어야 하는데 분석 중인 자료의 속도 벡터가 영역 안의 모든 기준 레이더 측정값들의 속도 벡터와 서로 다름을 보여주면 된다.

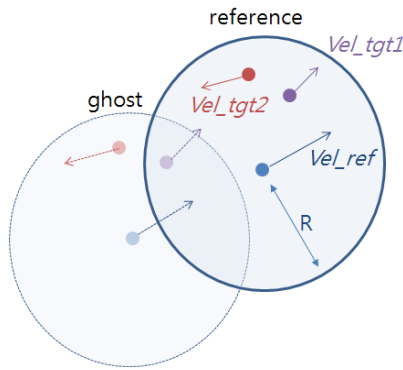


그림 3 상관관계 분석을 통한 중복자료 식별
Fig. 3 Redundant data identification using correlation analysis

Fig. 3에서 기준 레이더 측정자료 중 관심표적을 중심으로 반경 R 이내에 3개의 실제 표적이 존재하고 있으며 다른 레이더에 의해 생긴 중복자료도 관심 영역 내에 존재하고 있음을 알 수 있다. 중복자료와 세 개의 표적 사이의 상관관계를 순차적으로 분석한 후 이들 모두와 상관관계가 없다고 판단되면 전시화면에 표시할 수 있다.

3.2 좌표변환

기동하는 다수의 표적을 시뮬레이션하기 위해서 표적의 위도와 경도값을 변화시키면서 이 값을 레이더 기준의 거리, 방위각, 고각으로 변환한 다음, 다시 실제 레이더 출력자료 형태인 레이더 기준의 East, North 값으로 변환한다[5].

다수 레이더 자료 전시기는 각 레이더로부터 입수한 East, North 값을 처리하여 지도상에 표적의 위치를 표시하도록 되어 있다. 따라서 레이더 자료 전시기는 각 레이더 자료를 기준점 중심의 공통 직교좌표계로 먼저 변환해야만 한다. 동일 표적에 대한 중복자료 여부를 판단하기 위한 일련의 처리과정은 모두 공통 직교좌표계에서 이루어진다. 자료처리 이후에 표적의 위치를 지도위에 표시하려면 공통 직교좌표계의 값을 지리좌표계의 값으로 변환한다.

표적의 위, 경, 고도를 레이더 기준의 거리, 방위각, 고각으로 변환하는 과정은 다음과 같다.

1) 표적의 위, 경, 고도를 ECEF(Earth Centered Earth Fixed) 값으로 변환한다. 여기서 ϕ 는 위도, λ 는 경도, a 는 지구모델의 장반경, b 는 지구모델의 단반경, e 는 지구의 이심률을 나타낸다.

$$X = (\nu + h)\cos(\phi)\cos(\lambda) \quad (3)$$

$$Y = (\nu + h)\cos(\phi)\sin(\lambda)$$

$$Z = \{\nu(1 - e^2) + h\}\sin(\phi)$$

$$\nu = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2\sin^2(\phi)}}$$

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$a = 6378137$$

$$b = 6356752.3142$$

- 2) 기준 레이더의 위, 경, 고도를 ECEF값으로 변환한다.
- 3) 1)과 2)의 차이를 벡터로 표현한다.
- 4) ECEF 축을 레이더 직교좌표 축으로 정렬하기 위한 회전행렬 Q 를 계산한다. 여기서 ϕ 는 레이더의 위도, λ 는 레이더의 경도를 나타낸다.

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\phi) & 0 & \sin(\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\phi) & 0 & \cos(\phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\lambda) & \sin(\lambda) & 0 \\ -\sin(\lambda) & \cos(\lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

- 5) 3)의 결과에 회전행렬 Q 를 곱하여 레이더 기준 직교좌표를 계산한다.
- 6) 직교좌표를 구면좌표계로 변환한다.

레이더 기준 구면좌표계를 East, North로 변환하는 과정은 다음과 같다. 여기서 R 은 레이더와 표적 사이의 거리이고 Az 는 방위각을 나타낸다.

$$East = R\sin(Az) \quad (5)$$

$$North = R\cos(Az)$$

각 레이더 자료를 기준점 중심의 공통 직교좌표계로 변환하는 방법은 다음과 같다.

1) 레이더 중심 직교좌표를 ECEF 축에 정렬하기 위한 회전행렬 R 을 계산한다. 여기서 ϕ 는 레이더의 위도, λ 는 레이더의 경도를 나타낸다.

$$R = \begin{bmatrix} -\cos(\lambda)\sin(\phi) & \sin(\lambda) & \cos(\lambda)\cos(\phi) \\ -\sin(\lambda)\sin(\phi) & -\cos(\lambda) & \sin(\lambda)\cos(\phi) \\ \cos(\phi) & 0 & \sin(\phi) \end{bmatrix} \quad (6)$$

- 2) 1)의 결과에 회전행렬 R 을 곱하여 ECEF 축에 정렬한다.
- 3) 레이더의 지리좌표를 ECEF값으로 변환한다.
- 4) 기준 레이더의 지리좌표를 ECEF값으로 변환한다.
- 5) 3)에서 4)를 뺀 후 두 레이더 사이의 차이값을 벡터로 표현한다.
- 6) 2)의 결과에 5)의 결과를 더한 후 기준 레이더 직교좌표로 정렬하기 위해서 앞서 계산한 회전행렬 Q 를 곱해준다.

공통 직교좌표계의 값을 지리좌표계의 값으로 변환하는 과정은 다음과 같다.

- 1) 직교좌표계의 값에 회전행렬 R 을 곱하여 ECEF 축에 정렬한다.
- 2) 직교좌표계의 원점을 ECEF 좌표계로 변환한다.
- 3) 1)의 결과에 2)의 값을 더해준다.
- 4) 식 (7)과 같은 방법으로 ECEF 좌표계의 값을 지리좌표로 변환한다.

initialization (7)

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{Z}{(1-e^2)\sqrt{X^2+Y^2}} \right)$$

iteration
 for $i = 0 : 10$

$$\nu = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi}}$$

$$h = \frac{Z}{\sin \phi - \nu(1-e^2)}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{(\nu+h)Z}{(1-e^2)\sqrt{X^2+Y^2}} \right)$$

 end

3.3 중복자료 식별 알고리즘

기준 표적의 속도를 \bar{v}_{ref} , 분석 대상인 표적 1의 속도를 \bar{v}_{tgt1} 라고 하면 기준표적과 표적 1의 진행방향의 상관성은 식(8)로 표현되며 이 값이 1에 가까울수록 진행방향이 동일하다는 의미이고 -1에 가까울수록 진행방향이 반대라는 뜻이다.

$$\frac{\bar{v}_{ref} \cdot \bar{v}_{tgt1}}{\|\bar{v}_{ref}\| \|\bar{v}_{tgt1}\|} > \mathcal{M}_1 \quad (8)$$

진행방향 뿐만 아니라 속도의 절대값도 동일 표적 여부를 판별하는데 중요한 요소이다. 기준표적의 속도 크기와 주위 표적의 속도 크기를 식(9)과 같이 차례로 비교하여 기준표적의 속도크기와 주위 표적의 속도크기의 유사성을 판별한다. 이 값은 0에서 1까지의 값을 가질 수 있으며 값이 클수록 속도 크기가 비슷하다는 것을 의미하므로 기준표적과 인근 표적과의 상관관계가 높다. \mathcal{M}_1 과 \mathcal{M}_2 는 실제 측정 자료를 이용하여 여러 번 테스트를 한 후에 최적의 기준값을 설정한다.

$$\frac{\|\bar{v}\|_{low}}{\|\bar{v}\|_{high}} > \mathcal{M}_2 \quad (9)$$

식(8)과 식(9)을 모두 만족하면 해당 표적은 기준표적과 상관관계가 높으므로 동일 표적으로 간주되어 레이더 측정 자료 전시화면에서 제외된다. Fig. 4는 다수의 해안 감시레이더 측정 자료를 전시화면에 나타낼 때 동일한 표적을 중복하여 표시하지 않기 위한 동일 표적 식별 및 제거 알고리

즘을 그 순서에 따라 나열한 것이다.

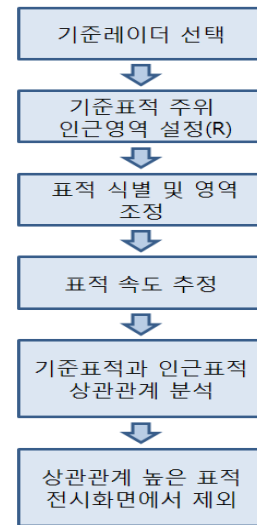


그림 4 동일표적 식별 및 제거 알고리즘
 Fig. 4 Same Targets identification and removal algorithm

3.4 추적자료 필터링을 통한 동일 표적 식별

각각의 탐색 레이더에서 수신한 자료에 대해서 단순히 이전 자료와 현재 자료의 차이를 계산하여 속도를 계산하는 것보다 필터를 사용하면 계산량은 증가하지만 두 표적의 상관관계를 더욱 정확하게 비교할 수 있다[6].

선박의 움직임에 대해서는 속도가 일정하다는 가정 하에 다음과 같은 등속도 모델을 적용한 상태방정식을 사용하였다. 선박의 움직임은 2차원이므로 아래와 같은 상태방정식 및 측정식을 x 축과 y 축에 대하여 확장 적용하였다. 여기서 q 는 표적의 상태방정식에 포함된 잡음의 양을 나타내며 σ_w^2 은 측정식에 포함된 잡음의 양을 나타낸다. 식(10)에서 T 는 측정주기에 해당한다[7].

$$x(k+1) = F(k)x(k) + v(k) \quad (10)$$

$$z(k) = H(k)x(k) + w(k)$$

$$x(k) = [pos \ vel]^T$$

$$F(k) = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q(k) = E[v(k)v'(k)] = \begin{bmatrix} T^3 & T^2 \\ 3 & 2 \\ T^2 & T \\ 2 & T \end{bmatrix} q$$

$$H(k) = [1 \ 0]$$

$$E[w(k)w(j)] = R\delta_{kj} = \sigma_w^2 \delta_{kj}$$

i 번째 레이더로 측정된 자료에 대해 추정된 현재의 상태벡터와 j 번째 레이더로 측정된 자료에 대해 추정된 현재의 상태벡터의 차이를 식(11)과 같이 정의한다.

$$\widehat{\Delta}^{ij}(k) = \widehat{x}^i(k) - \widehat{x}^j(k) \quad (11)$$

만일 두 추정치가 동일한 표적에 대한 값이라면 식(12)과 같은 가정 H_0 가 성립할 것이고 다른 표적에 대한 값이라면 식(13)와 같은 가정 H_1 이 성립하므로 결국 이 문제는 동일 표적 판단여부에 대한 가정 검정문제로 귀결된다.

$$H_0 : \Delta^{ij}(k) = 0 \quad (12)$$

$$H_1 : \Delta^{ij}(k) \neq 0 \quad (13)$$

i 번째 레이더와 j 번째 레이더에 의한 표적위치의 추정값과 실제 위치와의 차이를 식(14)과 식(15)로 정의하고 오차 성분 사이의 공분산행렬을 계산하면 식(16)과 같이 표현된다. 이때 오차성분 식 (14)과 (15)는 서로 상관관계가 없다고 가정하였다.

$$\widetilde{x}^i(k) = x(k) - \widehat{x}^i(k) \quad (14)$$

$$\widetilde{x}^j(k) = x(k) - \widehat{x}^j(k) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} T^{ij}(k) &= E[\widetilde{\Delta}^{ij}(k) \widetilde{\Delta}^{ij}(k)'] \\ &= E[\widetilde{x}^i(k) - \widetilde{x}^j(k)][\widetilde{x}^i(k) - \widetilde{x}^j(k)]' \\ &= P^i(k) + P^j(k) \end{aligned} \quad (16)$$

i 번째 레이더와 j 번째 레이더의 표적위치 추정치 차이의 제곱합을 오차성분의 공분산으로 정규화하여 d 를 정의한 후 이를 임계치 δ 와 비교하여 식(17)과 같이 d 값이 δ 보다 작거나 같으면 가정 H_0 를 채택한다. 여기서 추정치 차이값이 가우시안 분포라고 가정하면 d 는 χ^2 분포를 따르게 되며 식 (18)로 표현된 유의수준 α 가 0.05의 값을 갖도록 임계치 δ 를 설정한다.

$$d = \widehat{\Delta}^{ij}(k)' [T^{ij}(k)]^{-1} \widehat{\Delta}^{ij}(k) \leq \delta \quad (17)$$

$$P\{d > \delta | H_0\} = \alpha \quad (18)$$

그런데 식(17)은 서로 다른 두 레이더에서 표적의 위치를 추정하였을 때 위치와 속도를 모두 고려한 판별식으로서 레이더에 포함된 바이어스가 클 경우 동일 표적에 대해서 위치의 차이가 클 수밖에 없으므로 동일한 표적을 다른 표적으로 인식할 위험이 높아진다. 따라서 본 논문에서는 식(17)을 변경하여 속도 성분만을 고려하도록 하였다. 식(19)에서 $\widehat{\Delta}_{vel}^{ij}(k)$ 는 $\widehat{\Delta}^{ij}(k)$ 중에서 속도에 관련된 요소로만 이루어진 벡터이고 $T^{ij}(k)_{vel}$ 은 $T^{ij}(k)$ 중에서 속도에 관련된 부분으로 이루어진 분할행렬이다. 식(19)을 사용하면, 식(8)과 식(9)을 하나로 통합할 수 있으며, 실험적으로 임계치를 정하지 않고 수학적으로 임계치를 결정할 수 있다.

$$d_{vel} = \widehat{\Delta}_{vel}^{ij}(k)' [T^{ij}(k)_{vel}]^{-1} \widehat{\Delta}_{vel}^{ij}(k) \leq \delta \quad (19)$$

4. 시뮬레이션

기준 레이더로는 세 개의 해안 감시 레이더 중 사이트 1로 설정하였고 제시한 알고리즘 적용범위로는 기준 레이더 측정자료에 해당하는 기준표적 주위 약 반경 100m로 설정하였다. 실제 레이더 자료 전시화면에 중복자료 제거 알고리즘을 적용하려면 표적의 거리에 따라 인근 영역 범위를 조정해야 한다. 세 개의 레이더로부터 수집된 자료에는 각각의 레이더 식별자가 포함되어 있으므로 레이더 자료 전시기에 수신된 자료가 어느 레이더 자료인지 구분이 가능하다.

시뮬레이션을 위해 세 개의 서로 다른 표적이 서로 다른 속도로 진행하고 있을 때 세 대의 해안 감시레이더 자료를 수신한다고 가정하였다. 서로 다른 레이더 측정자료에는 각각 바이어스가 포함되어 있고 레이더마다 별도로 측정 잡음이 포함되게 하여 실제 측정상황과 유사한 상황을 만들었다. 중복자료를 식별하기 위해서 우선 각 레이더 사이트에서 측정한 표적의 위치자료를 분석하여 속도벡터를 계산한 후 Fig. 5와 같이 나타내었다.

속도벡터를 계산할 때 잡음의 영향을 최소화하려면 이전 값과 현재 값을 단순히 비교하지 않고 필터를 사용하면 된다. Fig. 5에서 첫 번째 행에 나타난 그림은 레이더 사이트 1에서 측정한 표적 1, 2, 3의 속도벡터를 차례로 표현한 것이고, 두 번째, 세 번째 행에 나타난 그림은 각각 레이더 사이트 2, 3에서 측정한 자료를 이용하여 표적의 속도벡터를 나타낸 것이다. 여기서 표적 1은 동남쪽으로, 표적 2는 남서쪽으로, 표적 3은 북쪽으로 진행 중인 것을 알 수 있다.

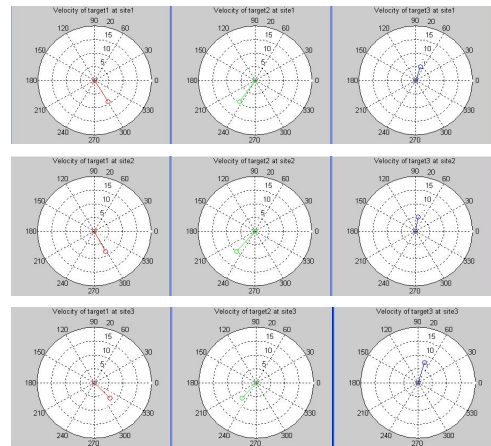


그림 5 표적 상관관계 분석을 위한 속도추정
Fig. 5 Velocity estimation for target correlation analysis

Table 1은 시뮬레이션 중 기준 레이더에서 측정한 표적 1 주위에 나타나는 중복자료들을 시간에 따라 나열한 것이다. 첫 번째 첨자는 표적의 식별번호이고 두 번째 첨자는 사용된 레이더 식별번호이다.

Fig. 6에서 Fig. 8까지는 표적 1 주위의 반경 R 이내에 존재하는 다른 레이더 자료와 기준 레이더 자료의 진행방향 상관관계를 식(8)과 같이 계산한 것이다. 기준 레이더 추정값과 중복되는 자료는 진행방향 상관관계가 1에 가까우므로 임계치를 약 0.9 정도로 설정하면 중복자료를 제거할 수 있다.

표 1 표적 1 주위에 나타나는 중복자료의 개수

Table 1 The number of redundant data around target 1

time	중복자료개수	ID
1	3	tgt22, tgt23, tgt33
2	3	tgt22, tgt23, tgt33
3	3	tgt22, tgt23, tgt33
4	3	tgt22, tgt23, tgt33
5	2	tgt23, tgt33
6	2	tgt23, tgt33
7	1	tgt23
8	1	tgt23
9	1	tgt23
10	1	tgt23
11	0	-
12	0	-

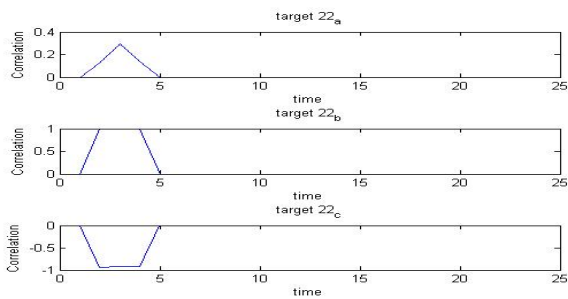


그림 6 tgt22와 기준자료와의 상관관계(방향)

Fig. 6 Correlation (direction) between tgt22 and reference data

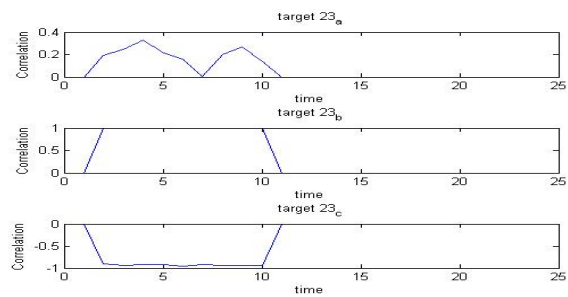


그림 7 tgt23와 기준자료와의 상관관계(방향)

Fig. 7 Correlation (direction) between tgt23 and reference data

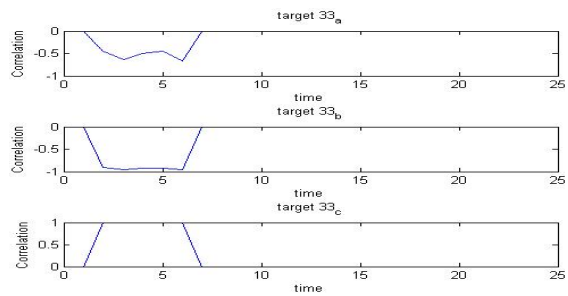


그림 8 tgt33와 기준자료와의 상관관계(방향)

Fig. 8 Correlation (direction) between tgt33 and reference data

Fig. 9에서 11까지는 표적의 진행방향 뿐만 아니라 속도 크기의 상관관계를 고려하여 중복표적 여부를 판별하기 위해서 표적 1 주위의 반경 R 이내에 존재하는 다른 레이더 자료와 기준 레이더 자료의 속도 크기 상관관계를 식(9)에 의해서 계산한 값이다. 임계치를 약 0.7정도로 설정하면 중복자료를 어느 정도 제거할 수 있다. 따라서 진행방향과 진행속도 크기를 동시에 비교함으로써 중복자료를 효과적으로 제거할 수 있다.

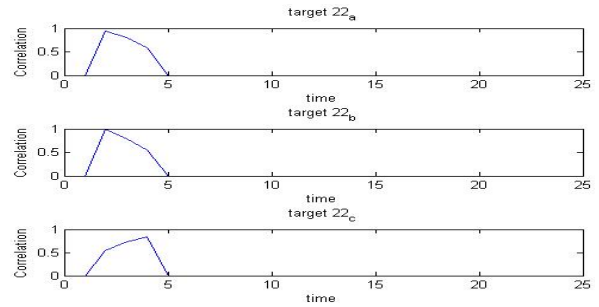


그림 9 tgt22와 기준자료와의 상관관계(크기)

Fig. 9 Correlation (magnitude) between tgt22 and reference data

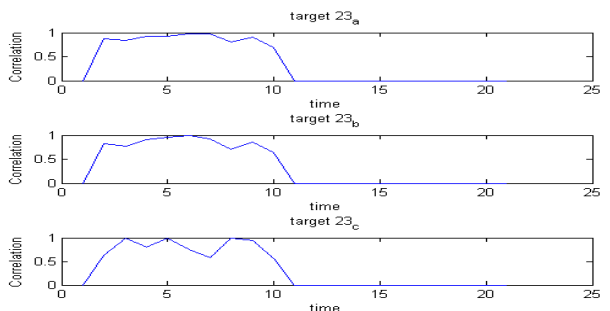


그림 10 tgt23와 기준자료와의 상관관계(크기)

Fig. 10 Correlation (magnitude) between tgt23 and reference data

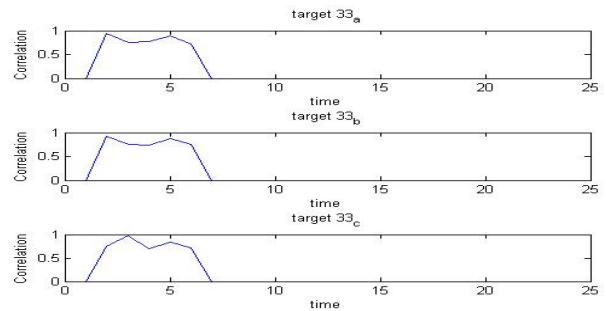


그림 11 tgt33와 기준자료와의 상관관계(크기)

Fig. 11 Correlation (magnitude) between tgt33 and reference data

표 2 상관여부 판별 결과

Table 2 Correlation results

time	tgt ₂₂	tgt ₂₃	tgt ₃₂	tgt ₃₃
1	tgt ₂₁	tgt ₂₁		tgt ₃₁
2	tgt ₂₁	tgt ₂₁		tgt ₃₁
3	tgt ₂₁	tgt ₂₁		tgt ₃₁
4	✓	tgt ₂₁		tgt ₃₁
5		tgt ₂₁		tgt ₃₁
6		tgt ₂₁		✓
7		tgt ₂₁		
8		tgt ₂₁		
9		tgt ₂₁		
10		✓		

Table 2는 진행방향 및 속도의 크기에 관한 상관관계를 이용하였을 때 중복된 표적으로 판별된 것을 나타낸 것으로서 체크표시를 한 항목 이외에는 모두 중복자료로 판명되어 제거되었다.

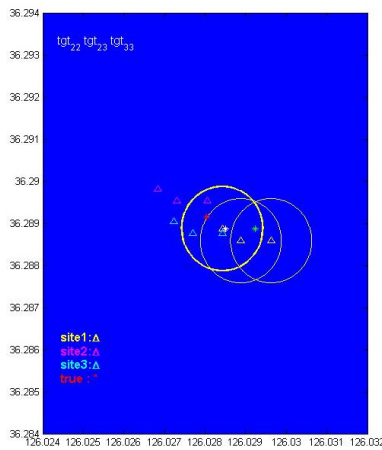


그림 12 기준표적 주위의 중복자료 전시
Fig. 12 Exhibition of redundant data around reference target

Fig. 12는 세 개의 레이더로 표적을 측정하였을 경우 중복자료가 전시되는 모습을 나타내며 Fig. 13은 제안된 알고

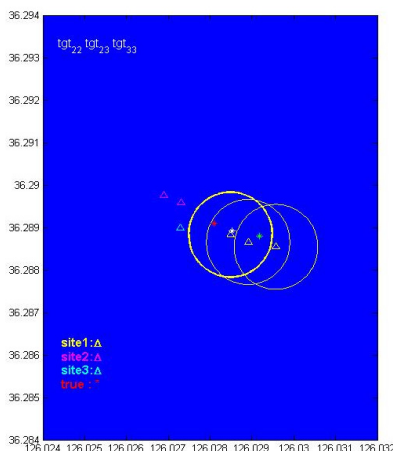


그림 13 중복자료 제거모습
Fig. 13 View after removal of redundant data

리즘을 적용하여 기준 표적주위의 중복자료가 제거된 모습이다.

5. 결 론

본 논문에서는 다수의 레이더 측정자료를 전시할 경우 동일한 표적이 중복되어 나타나는 현상을 분석하였고 기준 레이더 측정자료 이외의 자료 중에서 중복되는 자료를 제거하여 전시할 수 있도록 표적속도의 상관관계를 이용한 중복자료 식별 알고리즘을 제안하였다. 향후에는 각 탐색 레이더의 바이어스를 추정하여 보상해 줌으로써 중복자료가 화면상에 일치하도록 함으로써 자연스럽게 혼선을 방지할 수 있는 방안에 대해서 연구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Merrill L. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", pp257~266, MacGraw-Hill, 2001
- [2] Byron Edde, "Radar Principles, Technology, Applications", pp46~51, Prentice Hall, 1993
- [3] Xuezhi Whang, "Gating Techniques for Maneuvering Target Tracking in Clutter", pp1087~1097, IEEE Transactions on aerospace and electronic systems vol.38. No.3 July, 2002
- [4] A.Grindlay, "Radar bias error removal algorithm for a multiple-site system", NRL Report 8467, Naval Research Laboratory, 2007
- [5] "Conversion of Geodetic coordinates to the Local Tangent Plane", <http://www.psas.pdx.edu>, 2007
- [6] Yaakov Bar-Shalom., "Tracking and Data Association", p169, pp266~269, Academic Press Inc. 1988
- [7] Yaakov Bar-shalom, X.rong Li, "Estimation with applications to tracking and Navigation", pp268~269, A Wiley & Sons Inc., 2007

저 자 소 개



황 규 환 (黃圭煥)

1973년 4월 19일생. 1998년 2월 광주 과학기술원 정보통신공학과 졸업. 1998 ~ 현재 국방과학연구소 종합시험단 재직 중
Tel : 041-671-2179
E-mail : whani@add.re.kr



김 문 기 (金汶基)

1978년 10월 13일생. 2003년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업. 2003 ~ 2005년 LG 이노텍 Wireless Modem Gr. 근무. 2006 ~ 현재 국방과학연구소 종합시험단 재직 중

Tel : 041-671-2189

E-mail : kim4you@add.re.kr



강 도 근 (姜暎旻)

1975년 9월 10일생. 2000년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업. 2002 ~ 현재 국방과학연구소 종합시험단 재직 중

Tel : 041-671-2325

E-mail : neokids@add.re.kr