

항로표지 정보를 이용한 해상감시레이더의 시스템 오차 보정

† 김병두 · 김도형* · 이병길**

† , * , ** 한국전자통신연구원 융합보안연구실

Systematic Error Correction of Sea Surveillance Radar using AtoN Information

† Byung-Doo Kim · Do-Hyeung Kim* · Byung-Gil Lee**

† , * , ** Convergence Security Research Team, ETRI, Daejeon 305-700, Korea

요 약 : 해상교통관제시스템(VTS)은 선박의 위치, 속도, 침로 등 해상 교통 정보를 획득하기 위하여 다수의 해상감시레이더를 주요 센서로 이용하고 있으며, 거리 및 방위각 바이어스와 같은 2차원 해상감시레이더의 시스템 오차는 레이더 영상 및 표적 추적정보의 정확도를 크게 저하시킬 수 있다. 따라서 해상교통관제시스템에서 정확한 표적정보를 제공하기 위하여 레이더의 시스템 오차는 정밀하게 보정되어야 한다. 본 논문에서는 VTS 관제영역에 설치된 항로표지의 위치정보를 이용하여 2차원 해상감시레이더의 거리 및 방위각 오차를 보정하기 위한 방법을 제안한다. 2차원 레이더 측정값의 표준오차 모델과 항로표지 위치정보로부터 측정 잔차 모델을 유도하고, 레이더 시스템 오차를 추정하기 위한 선형 칼만필터를 설계한다. Monte-Carlo 모의실험을 통하여 제안한 방법을 검증하고, 항로표지 정보의 개수에 따른 레이더 시스템 오차 추정의 수렴 특성 및 정확도를 분석한다.

핵심용어 : 해상교통관제시스템, 해상감시레이더, 시스템 오차, 항로표지, 칼만필터

Abstract : Vessel traffic system uses multiple sea surveillance radars as a primary sensor to obtain maritime traffic information like as ship's position, speed, course. The systematic errors such as the range bias and the azimuth bias of the two-dimensional radar system can significantly degrade the accuracy of the radar image and target tracking information. Therefore, the systematic errors of the radar system should be corrected precisely in order to provide the accurate target information in the vessel traffic system. In this paper, it is proposed that the method compensates the range bias and the azimuth bias using AtoN information installed at VTS coverage. The radar measurement residual error model is derived from the standard error model of two-dimensional radar measurements and the position information of AtoN, and then the linear Kalman filter is designed for estimation of the systematic errors of the radar system. The proposed method is validated via Monte-Carlo runs. Also, the convergence characteristics of the designed filter and the accuracy of the systematic error estimates according to the number of AtoN information are analyzed.

Key words : Vessel Traffic System, Sea Surveillance Radar, Systematic Error, Navigation Aids, Kalman Filter

1. 서 론

해상교통관제시스템(VTS)은 체계적이고 안전한 해상 교통 관리를 통해 해양사고 예방 및 항만 운영의 효율성 증대를 위한 시스템이며, 최근, 해운·항만물류산업의 발달과 더불어 항만 및 연안 해역에서의 잦은 선박 충돌사고로 인하여 적극적이고 집중적인 해상교통관제 필요성이 증가하고 있다.

해상교통관제시스템은 관제 지역의 영상 및 선박의 위치, 속도, 침로 등의 항행 정보를 얻기 위하여 다수의 2차원 해상감시레이더를 주요 센서로 사용하며, 자동선박식별시스템(AIS, Automatic Identification System)로부터 획득되는 선박의 위치, 속도 및 침로 등의 동적정보와 융합하여 정밀한 선박의 위치 및 속도 정보를 제공한다. 또한, 선박식별번호(MMSI), 선박명, 선종 등의 AIS 정적정보를 획득하고, 이를

바탕으로 선박의 항적 감시 및 안전한 항로로의 유도 등 다양한 서비스를 제공하고 있다.

해상감시레이더는 일정한 주기로 회전하면서 신호를 송신하고, 해상 환경으로부터 반사된 신호 즉, 선박과 같은 물표, 연안지역 및 항로표지와 같은 지형, 파도와 같은 바다, 눈 또는 강우와 같은 클러터(Clutter)로부터 반사되는 신호와 잡음을 포함하여 수신한다. 수신된 레이더 신호는 잡음 및 클러터에 대한 신호처리 과정과 관심 물표에 대한 추적 과정을 거쳐 VTS 관제 화면에 도시된다. Fig. 1은 해상감시레이더의 영상에 대한 예를 나타낸 것이다.

2차원 레이더의 시스템 오차는 거리 및 방위각에 대한 바이어스 오차로 나타나며, 레이더의 시스템 오차가 보정되지 않으면, 부정확한 레이더 영상으로 인하여 해상 교통 상황에 대한 신속하고, 정확한 인식이 어렵고, 다수 레이더로부터 동시

† 교신저자 : 연희원, bdkim@etri.re.kr 042)860-1027

* 연희원, dhkim516@etri.re.kr 042)860-6535

** 연희원, bglee@etri.re.kr 042)860-1689

에 추적중인 표적은 서로 다른 표적으로 인식될 수 있다. 따라서, 정확한 레이더 영상과 표적 정보를 제공하기 위하여 레이더의 시스템 오차는 정밀하게 보정되어야 한다.

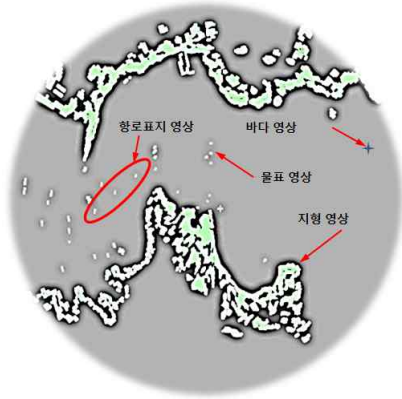


Fig. 1 An Example of Radar Image

레이더의 시스템 오차 보정은 항공관제 분야에서 주로 항공기에 탑재된 ADS-B로부터 수신되는 항공기의 위치정보와 레이더 측정값을 이용하여 레이더의 시스템 오차를 보정하기 위한 기법이 주로 연구되어 왔다(Jonsdottir and Hauksdottir, 1995; Besada Portas, 2002).

이를 해상교통관제시스템에 적용할 경우, AIS로부터 수신되는 선박의 위치정보와 레이더 측정값 간의 시각동기가 필요하며, 선박의 위치정보에 대한 측정오차가 레이더 시스템 오차보정에 영향을 주게 된다.

또한, 일반적으로 해상감시레이더의 표적정보는 레이더 영상으로부터 추출된 영상의 중심점에 대한 추적 결과를 제공하고, AIS로부터 수신되는 선박의 위치정보는 위성항법시스템(GNSS) 안테나가 설치된 지점의 위치를 제공하므로 측정지점이 달라지는 현상이 발생할 수 있다. 즉, 레이더와 AIS간의 위치 측정 지점의 차이로 인하여 거리 및 방위각 오차는 선박의 크기가 클수록, 근거리에서 위치할수록 심각하게 발생할 수 있으며, 이러한 환경에서는 레이더의 거리 및 방위각에 대한 시스템 오차를 정확히 보정할 수 없다.

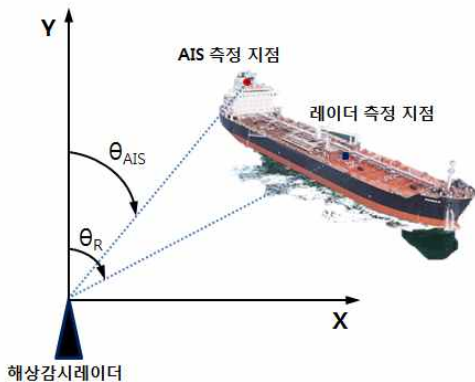


Fig. 2 Observation Points' Difference of GPS and Radar

Fig. 2는 해상감시레이더와 AIS의 선박 위치정보 측정지점 차이로 인하여 거리 및 방위각 오차가 발생하는 경우를 나타낸 것으로 θ_{AIS} 는 AIS로부터 수신된 선박의 위치정보로부터 계산한 방위각이며, θ_R 은 레이더에서 측정한 방위각이다. 그림에서 보듯이 측정지점의 불일치는 거리 및 방위각에 대한 오차를 초래할 수 있다.

본 논문에서는 해상교통관제시스템에서 AIS로부터 수신된 선박의 위치정보를 이용하는 경우의 단점을 해결하기 위하여 항만에 설치된 방파제 등대, 등표 또는 입표와 같은 고정된 다수의 항로표지 정보를 이용하여 레이더의 시스템 오차를 보정하기 위한 방법을 제안한다. 고정된 항로표지를 이용할 경우, 레이더 추적정보의 시각동기가 필요하지 않으며, DGPS에 의하여 측정된 항로표지의 위치정보를 사용할 수 있다. 또한, 레이더에 탐지되는 작은 항로표지 영상을 선택적으로 사용할 수 있으므로 대형 선박에서 발생하는 측정지점 불일치 현상도 크게 완화할 수 있다.

본 논문의 2장에서는 레이더 표준 오차 모델과 고정된 항로표지의 위치정보를 이용하여 레이더 측정값 잔차 모델을 유도한다. 3장에서는 레이더 측정값 잔차 모델과 다수의 항로표지 정보를 이용하여 레이더 시스템 오차를 추정하기 위한 선형 칼만필터를 설계한다. 4장에서 제안 방법의 타당성을 검증하기 위하여 Monte-Carlo 모의실험 수행 결과를 설명하고, 5장에서 결론을 맺었다.

2. 측정값 모델

2.1 레이더 표준 오차 모델

2차원 레이더는 해상 환경으로부터 반사된 신호를 처리하여 선박과 같은 물표의 거리 및 방위각을 측정하는 센서이다. 레이더의 측정값 모델로는 1차 또는 2차 오차모델이 사용되고 있으며, 거리와 방위각 측정오차는 서로 독립이라고 가정된다.

본 논문에서는 EUROCONTROL(1997) 표준에 정의된 레이더 표준 오차모델을 이용하여 거리 측정오차는 2차 오차모델로, 방위각 측정오차는 1차 오차모델로 가정하여 사용하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{r}_n = (1 + \kappa)\bar{r}_n + r_b + w_r \quad (1)$$

$$\tilde{\theta}_n = \bar{\theta}_n + \theta_b + w_\theta \quad (2)$$

여기서, \tilde{r}_n 은 n 번째 물표에 대한 거리 측정값이고, \bar{r}_n 은 레이더와 n 번째 물표 사이의 실제거리이며, κ 는 거리 이득 오차이다. r_b 는 거리 바이어스이며, w_r 는 잡음에 기인하는 거리 오차이다. 또한, $\tilde{\theta}_n$ 은 n 번째 물표에 대한 방위각 측정값이고, $\bar{\theta}_n$ 은 n 번째 물표와 레이더의 실제 방위각이다. θ_b 는 방위각 바이어스이며, w_θ 는 잡음에 기인하는 방위각 오차이다.

2.2 측정 잔차 모델

레이더 중심 지역 좌표계로 변환된 n 번째 항로표지의 위치 정보로부터 항로표지와 레이더 사이의 거리 및 방위각은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2 + z_n^2} \quad (3)$$

$$\theta_n = \tan^{-1}(x_n/y_n) \quad (4)$$

여기서, x_n, y_n, z_n 는 레이더 중심 지역 좌표계에서의 항로표지의 위치이다.

레이더와 항로표지의 위치정보에 대한 오차가 매우 작다고 가정하면, 레이더와 n 번째 항로표지의 상대거리 및 방위각은 다음과 같은 관계를 갖는 것으로 가정할 수 있다.

$$r_n \cong \bar{r}_n \quad (5)$$

$$\theta_n \cong \bar{\theta}_n \quad (6)$$

식(1) ~ (6)으로부터 레이더 측정값에 대한 잔차 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta r_n = \kappa \bar{r}_n + r_b + w_{n,r} \quad (7)$$

$$\Delta \theta_n = \theta_b + w_{n,\theta} \quad (8)$$

여기서, Δr_n 은 레이더 거리 측정값과 레이더와 n 번째 항로표지 사이의 거리를 차분한 값이고, $\Delta \theta_n$ 은 레이더 방위각 측정값과 레이더와 n 번째 항로표지 사이의 방위각을 차분한 값이다.

2.3 좌표변환

항로표지 및 레이더 설치 위치정보는 DGPS에 의하여 기 측정된 위치좌표로부터 얻을 수 있으며, 위경도 좌표계와 같은 전역 좌표계로 주어진다. 레이더로부터 항로표지까지의 상대거리 및 진북 방향으로부터의 방위각을 계산하기 위해서는 레이더를 중심으로 하는 지역 좌표계로의 변환이 필요하다.

좌표변환은 위경도 좌표계에서의 레이더 및 항로표지 위치 정보를 지구중심 고정좌표계(ECEF, Earth Centered Earth Fixed)로 변환한 후, 다시 동북상(ENU, East-North-Up) 좌표계와 같은 지역 좌표계로의 변환을 수행한다. 위경도 좌표계에서 ECEF좌표계로 변환하는 과정은 다음과 같이 나타낼 수 있다(Kaplan, 1996).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{ECEF} = \begin{bmatrix} (a/\eta + h)\cos\phi\cos\lambda \\ (a/\eta + h)\cos\phi\sin\lambda \\ (a(1 - e^2)/\eta + h)\sin\phi \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\eta = \sqrt{1 - e^2\sin^2\phi} \quad (10)$$

여기서, a 는 지구의 장반경 거리이고, h 는 지구타원체 면으로부터의 고도이고, ϕ 는 위도이고, λ 는 경도이다. 또한, e 는 지구의 이심율을 나타낸다.

ECEF 좌표계로 변환된 n 번째 항로표지의 위치정보를 레이더 중심 ENU 좌표계로 변환하는 과정은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix}_{ENU} = D_{ECEF}^{ENU} \left(\begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{bmatrix}_{ECEF} - \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \\ z_R \end{bmatrix}_{ECEF} \right) \quad (11)$$

$$D_{ECEF}^{ENU} = \begin{bmatrix} -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ -\sin\phi\cos\lambda & -\sin\phi\sin\lambda & \cos\phi \\ \cos\phi\cos\lambda & \cos\phi\sin\lambda & \sin\phi \end{bmatrix} \quad (12)$$

여기서, $[x_n \ y_n \ z_n]^T_{ENU}$ 는 레이더 중심 ENU 좌표계에서 n 번째 항로표지의 위치이고, $[x_n \ y_n \ z_n]^T_{ECEF}$ 는 ECEF좌표계에서 n 번째 항로표지의 위치이며, $[x_R \ y_R \ z_R]^T_{ECEF}$ 는 ECEF좌표계에서 레이더의 위치이다. D_{ECEF}^{ENU} 는 ECEF좌표계에서 레이더 중심 ENU 좌표계로의 좌표변환 행렬이다.

3. 시스템 오차 추정기 설계

본 장에서는 2차원 해상감시레이더의 시스템 오차 즉, 거리 바이어스, 방위각 바이어스를 추정하기 위하여 칼만필터를 이용한 시스템 오차 추정기를 설계한다.

레이더의 거리 바이어스, 거리 이득 오차 및 방위각 바이어스를 상태벡터로 하는 상태방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{x}_k = \Phi \mathbf{x}_{k-1} \quad (13)$$

단,

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} r_b \\ \kappa \\ \theta_b \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

여기서, \mathbf{x}_{k-1} 는 $k-1$ 시점에서의 상태벡터이고, \mathbf{x}_k 는 k 시점에서의 상태벡터이다. Φ 는 상태천이행렬로 3×3 단위행렬이며, 공정오차 공분산 행렬, Q 는 동적 특성을 갖지 않는 고정

된 항로표지 정보를 이용하므로 3×3 영행렬이다.

식(7) ~ (8)로부터 얻어진 측정 잔차 방정식을 n 개의 항로표지에 대하여 확장하면, 측정방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{z}_k = H\mathbf{x}_k + \mathbf{w}_k \quad (17)$$

단,

$$\mathbf{z}_k = \begin{bmatrix} \Delta r_1 \\ \Delta \theta_1 \\ \vdots \\ \Delta r_n \\ \Delta \theta_n \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \bar{r}_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & \bar{r}_n & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\mathbf{w}_k = \begin{bmatrix} w_{1,r} \\ w_{1,\theta} \\ \vdots \\ w_{n,r} \\ w_{n,\theta} \end{bmatrix} \quad (20)$$

여기서, \mathbf{z}_k 는 k 시점에서의 n 개의 항로표지에 대한 레이더 측정값 잔차이고, H 는 관측행렬이다. \mathbf{w}_k 는 거리와 방위각에 대한 레이더 측정잡음이다.

식(19)에서 H 의 행렬 계수(Rank)가 완전 계수(Full Rank)가 되어야 레이더 시스템 오차 추정기는 가관측성을 갖게 된다. 즉, 레이더 시스템 오차 추정을 위한 항로표지를 선택할 때, 거리가 서로 다른 항로표지를 선택하여야 한다.

n 개의 레이더 측정값에 대한 측정오차 공분산 행렬, R 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = E\{\mathbf{w}_k\mathbf{w}_k^T\} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & R_n \end{bmatrix} \quad (21)$$

여기서, R_n 은 n 번째 항로표지에 대한 레이더 측정값의 측정오차 공분산 행렬로 다음과 같다.

$$R_n = \begin{bmatrix} \sigma_{n,r}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{n,\theta}^2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

여기서, $\sigma_{n,r}$ 과 $\sigma_{n,\theta}$ 는 각각, n 번째 레이더 측정값에 대한 거리 측정잡음의 표준편차와 방위각 측정잡음의 표준편차이다.

일반적으로 칼만필터는 예측과 갱신의 과정으로 이루어지

나, 식(15)에서 볼 수 있듯이 상태전이행렬이 단위행렬이고, Q 가 3×3 영행렬이므로 칼만필터의 예측 방정식은 사용하지 않으며, 항로표지에 대한 레이더 측정값이 획득될 때마다 칼만필터의 갱신 방정식을 이용하여 레이더 시스템 오차를 갱신한다.

칼만필터의 갱신 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_{k-1} + K_k(\mathbf{z}_k - H\hat{\mathbf{x}}_{k-1}) \quad (23)$$

$$P_k = (I - K_kH)P_{k-1} \quad (24)$$

$$K_k = P_{k-1}H^T(HP_{k-1}H^T + R)^{-1} \quad (25)$$

여기서, $\hat{\mathbf{x}}_{k-1}$ 는 $k-1$ 시점에서의 상태벡터 추정값이고, $\hat{\mathbf{x}}_k$ 는 k 시점에서의 상태벡터 추정값이다. K_k 는 칼만필터의 이득 행렬이다. P_{k-1} 는 $k-1$ 시점에서의 상태오차 공분산 행렬이고, P_k 는 k 시점에서의 상태오차 공분산 행렬이다.

4. 모의실험

본 논문에서 제안한 다수의 항로표지를 이용한 레이더 시스템 오차 추정 방법의 검증 및 성능 분석을 위하여 부산 VTS센터의 조도에 설치된 레이더의 운용 환경을 기준으로 모의실험을 수행하였다. 또한, 항로표지의 개수에 따른 거리 및 방위각 바이어스의 추정 정확도와 수렴 특성을 비교하기 위하여 항로표지 1개, 2개, 4개를 이용하는 경우로 각각 구분하여 100 스캔에 대하여 총 100회의 Monte-Carlo 모의실험을 수행하였다.

모의실험에 사용한 레이더의 시스템 오차와 측정 잡음의 특성은 Table 1과 같이 사용하였다.

Table 1 Radar Error Budgets for Simulation

구분		파라미터
거리	바이어스	100.0 m
	이득오차	0.0005
	표준편차	20.0 m
방위각	바이어스	30.0°
	표준편차	0.1°

모의실험에서 사용한 레이더와 항로표지의 위치정보는 Table 2와 같으며, 지리적 위치는 Fig. 3에 도시하였다.

Table 2 Positions of Radar and AtoN

구분	위도	경도	고도
레이더	35° 04' 43.98"	129° 05' 40.72"	90.0 m
항로표지1	35° 04' 43.52"	129° 05' 51.64"	0.0 m
항로표지2	35° 04' 45.47"	129° 06' 18.34"	0.0 m
항로표지3	35° 05' 04.52"	129° 06' 20.37"	0.0 m
항로표지4	35° 05' 28.81"	129° 07' 36.74"	8.0 m

Fig. 4는 거리 바이어스에 대한 추정오차를 나타낸 것이다. 그림에서 점선으로 나타낸 One AtoN은 항로표지4의 측정값을 이용한 것이고, 실선으로 나타낸 Two AtoN은 항로표지1과 항로표지4의 측정값을 이용한 것이며, 일점쇄선으로 나타낸 것은 4개의 항로표지 측정값을 이용하여 레이더 시스템 오차를 추정한 결과이다. 그림에서 보듯이 단일 항로표지의 정보를 이용하는 방법에 비하여 2개 이상을 이용하는 것이 거리 바이어스 추정 정확도를 현저히 개선할 수 있음을 보인다. 이것은 단일 항로표지 정보를 이용하는 경우, 거리 측정값만을 이용하여 거리 바이어스와 거리 이득 오차를 추정하여야 하므로 가관측성이 확보되지 않아 칼만필터의 초기값 및 초기 측정값에 영향을 크게 받기 때문이다.

Fig. 5는 거리 이득오차에 대한 추정오차를 나타낸 것으로 2개 이상의 항로표지 정보를 이용하는 것이 추정 오차를 현저히 줄일 수 있음을 보인다. 거리이득 오차는 탐지거리에 비례하여 위치오차가 증가되므로 장거리 레이더인 경우, 매우 큰 오차를 유발시킬 수 있으므로 이에 대한 정확한 추정이 매우 중요하다.

Fig 6는 방위각에 대한 추정오차를 나타낸 것으로 항로표지의 개수에 상관없이 정확한 방위각 바이어스 추정이 가능함을 보인다. 즉, 방위각 바이어스는 1차의 오차모델로 나타낼 수 있으므로 한 개 이상의 측정값이 존재할 경우, 가관측성이 확보되기 때문이다. 다만, Fig. 6으로부터 다수의 항로표지를 이용하는 방법이 수렴 속도를 개선할 수 있음을 알 수 있다.



Fig. 3 Environments of Computer Simulation

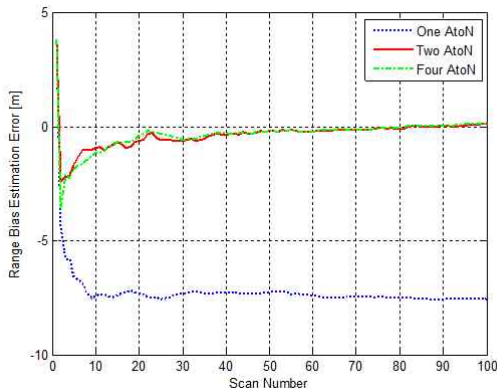


Fig. 4 Estimation Error of Range Bias

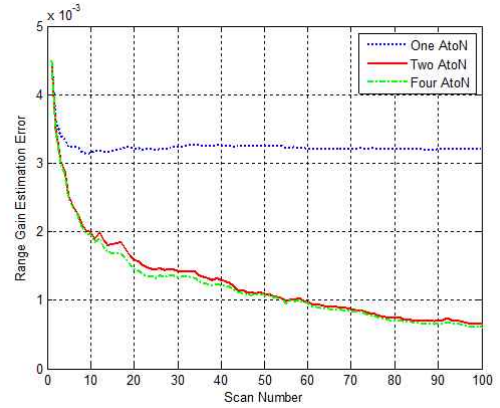


Fig. 5 Estimation Error of Range Gain

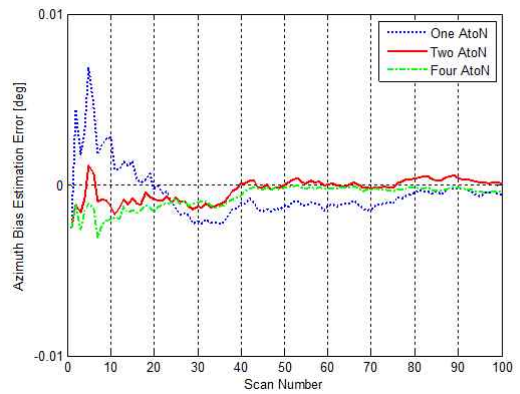


Fig. 6 Estimation Errors of Azimuth Bias

5. 결 론

본 논문에서는 2차원 해상감시레이더의 거리 및 방위각 바이어스를 보정하기 위하여 항만에 설치된 고정된 항로표지 위치정보를 이용하기 위한 방법에 대하여 제안하였다. 본 논문에서 제안한 방법은 AIS로부터 수집된 선박의 위치정보를 이용하는 방법에 비하여 시각동기를 필요로 하지 않으며, AIS와 레이더의 측정지점의 차이로 인한 문제가 발생하지 않는다. 또한, 측량과 같은 방법을 통하여 얻어진 정밀한 다수의 고정된 항로표지 위치정보를 이용함으로써, 레이더 시스템 오차의 정확도를 개선할 수 있으며, 단일 측정값을 사용할 때 발생하는 가관측성 문제를 해결할 수 있다. 모의실험 결과를 통하여 제안한 방법이 2차원 해상감시레이더의 거리 바이어스, 거리 이득 오차 및 방위각 바이어스를 정밀하게 추정함을 보였다. 그러므로 제안한 방법을 통하여 레이더의 시스템 오차를 정확하게 보정함으로써, 레이더를 해상 교통정보를 수집하기 위한 주요 센서로 사용하는 해상교통관제시스템에서 레이더 영상과 선박 추적 정보의 정확도를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 해양수산부/한국해양과학기술진흥원 해양안전 및 해양교통시설기술개발사업 연구비지원(ETRI 수행 과제번호 20090403)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Jonsdottir I. and Hauksdottir A. S.(1995), "Integrity Monitoring and Estimation of Systematic Errors in Radar Data Systems," IEEE International Radar Conference, pp. 310-316.
- [2] Besada Portas J. A. et al.(2002), "Radar bias correction based on GPS measurements for ATC applications," IEE Proceedings on Radar, Sonar and Navigation, Vol. 149, No. 3, pp. 137-144.
- [3] EUROCONTROL(1997), Radar Sensor Performance Analysis, SUR.ET1.ST03.1000-STD-01-01, European Organisation for the Safety of Air Navigation.
- [4] Kaplan E.(1996), Understanding GPS, Principles and applications, Artech House.

원고접수일 : 2013년 09월 10일
심사완료일 : 2013년 10월 08일
원고채택일 : 2013년 10월 10일