

# 상대항법 성능 분석 플랫폼 개발 및 이를 이용한 성능 개선

## Implementation of a Performance Evaluation Platform for Relative Navigation and Its Application to Performance Improvements

최 현 호, 심 우 성, 조 성 룡, 한 영 훈, 박 찬 식, 이 상 정\*

(Heon Ho Choi<sup>1</sup>, Woo Seong Shim<sup>2</sup>, SungLyong Cho<sup>1</sup>, Young Hoon Han<sup>1</sup>, Chansik Park<sup>3</sup>, and Sang Jeong Lee<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Ocean Research and Development Institute

<sup>3</sup>Department of Electronics Engineering, Chungbuk National University

**Abstract:** The positions of vessels in JTIDS where each vessel broadcasts its position, can be found using the relative navigation method. Besides positioning, the relative navigation could be adopted for identification friend or foe, tracking targets, monitoring battle field and etc. In this paper, we have explained the fundamental operation and technical structure for the relative navigation and implemented the simulation platform to evaluate the basic function and performance of the system in arbitrary environment. Using platform, the availability of relative navigation within the group network and the characteristic of the algorithm for position prediction was verified. Based on the simulation result, it was verified that EKF based navigation algorithm could produce great initial error and need quite convergence time. To improve the performance, we proposed a new navigation algorithm which uses the minimum norm estimation algorithm until the EKF converges. The simulation results reveal the relative navigation can be effectively used in the formation flight and collision avoidance system.

**Keywords:** relative navigation, group network, extended Kalman filter, minimum norm estimation

### I. 서론

상대항법은 미국의 JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System) 시스템에서 보조항법 모드로 사용되며, 기본 항법 시스템으로 주로 사용되는 GPS (Global Positioning System)이 재밍, 비의도 간섭 또는 환경적인 영향으로 인한 정확도 감소로 항법이 불가능할 때 사용된다. 상대항법은 네트워크 내 다른 기준항체들에 대한 자신의 상대적인 위치를 추정하며, GPS에 비해 낮은 정확도를 가지지만 피아식별, 표적위치 및 전장 상황파악을 위한 충분한 성능을 가지며, 소수의 관제 전력만으로도 다수의 관제 체제를 소화해 낼 수 있다는 강점을 가진다. 그러나 JTIDS의 경우 핵심기술은 비공개 상태이며, 미국 내 관련 논문에서도 이론 및 시뮬레이션 결과를 제시하고 항법 결과만을 나타내고 있다. 우리나라에서도 KTDLS (Korea Tactical Data Link System)라는 이름으로 시스템 개발 연구 중에 있으며, 아직 연구 초기 단계로서 시스템 설계를 위한 연구를 진행 중이다[1].

상대항법은 GPS와 달리 기존에 사용하던 메시지 전송이 가능한 통신망만 있으면 자신의 위치를 추정하기 위한 특

별한 인프라가 요구되지 않는다. 따라서 군 항공 분야의 Link-16, 민간 해양 분야의 AIS (Automatic Identification System) 통신 망 등을 이용하는 군집네트워크에 적용한다면 재밍 또는 환경적인 영향에 관계없이 네트워크 내 기준항체에 대한 자신의 위치 추정이 가능하며, 특히 편대비행이나 군집항행, 군집보행 등에 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 예상된다.

본 논문에서는 상대항법의 동작원리 및 구조를 설명하고, 주어진 환경에 대한 기본 성능을 예측하는 분석 도구로써 모의실험이 가능한 상대항법 시뮬레이션 플랫폼을 구현하였다. 구현한 플랫폼을 이용한 시뮬레이션을 통해서 상대항법의 네트워크 내의 군집운행을 위한 보조항법으로의 적용 가능성을 검토하였다. 또한 위치추정 알고리즘의 특성을 분석하고, 분석결과를 바탕으로 실제 시스템 구현 시 초기 오차를 효과적으로 제거하는 개선된 위치추정 알고리즘을 제안하고 성능을 확인하였다.

### II. 상대항법 구조 및 동작

상대항법에 사용되는 통신망에 제약은 없으나 본 논문에서는 JTIDS등에서 사용되는 TDMA (Time Division Multiple Access) 기반 시스템을 고려하였다. TDMA망 내에서 각 항체는 네트워크 내의 다른 항체들과 동기화된 시간을 바탕으로 할당된 시간 슬롯에 자신의 위치 및 속도 등의 정보를 전송하고, 할당된 시간 슬롯외의 시간에 네트워크 내의 다른 항체로부터 정보를 수신한다. 정보를 송수신할 때 이용하는 대표적인 메시지 종류는 RTT (Round Trip Timing)

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 2. 26., 수정: 2012. 3. 20., 채택확정: 2012. 3. 27.

최현호, 조성룡, 한영훈: 충남대학교 전자전파정보통신공학과

(heonho@cnu.ac.kr/jackycho@cnu.ac.kr/noranna@cnu.ac.kr)

심우성: 한국해양연구원 해양안전방재연구부(pianows@kordi.re.kr)

박찬식: 충북대학교 제어로봇공학과(chansp@cbnu.ac.kr)

이상정: 충남대학교 전자공학과(eesjl@cnu.ac.kr)

와 PPLI (Precise Position Location and Identification) 메시지가 있다[2]. RTT 메시지는 정확한 시각 동기를 유지하기 위해 사용하는 메시지이며 각 항체는 이 메시지를 이용하여 네트워크 내에서 가장 높은 시각 품질(quality)을 가지는 시각 기준 항체 시각에 동기화 한다. PPLI 메시지는 상대항법을 수행하는 과정에서 기본이 되는 메시지로서 항체의 위치, 속도, 품질 정보 등을 포함하며, 이 메시지의 송수신 시각을 통하여 TOA (Time of Arrival)를 측정한다. 각 항체는 TOA 측정치를 이용하여 각 시간 슬롯에 따라 다른 항체에 대하여 순차적으로 거리를 구하고, 각 시점에서 송수신 항체사이의 거리와 수신한 메시지 내의 송신 항체의 위치를 이용하여 자신의 위치를 추정한다[3].

1. 상대항법의 동작

그림 1의 상대항법은 상대 좌표계(relative grid) 상에서 동작하며, 네트워크 내의 항체는 수행하는 역할에 따라 NTR (Network Time Reference), GRU (Ground Reference Unit), AU (Active Unit)로 구분한다. NTR은 상대항법의 기준시각을 제공하는 시각 기준항체로 상대좌표계의 원점 역할을 한다. GRU는 고정되거나 움직임이 적은 항체로 NTR과 더불어 가장 높은 위치 품질을 가지며 각 항체에 상대적으로 정확한 위치를 제공하는 위치 기준 항체이다. AU는 임무를 수행하는 동적인 항체로 RTT 수행 여부에 따라 PU (Primary Unit)와 SU (Secondary Unit) 두 부류로 나눌 수 있다. PU는 항체 내의 항법 필터에 의해 추정된 시각 품질이 특정 레벨보다 낮아지면 높은 시각 품질을 가지는 항체와 RTT를 수행하여 시각을 동기화한다. SU는 다른 항체에 대하여 RTT를 수행하지 않으며, PU로부터 단방향으로 정보를 수신함으로써 시각을 동기화하고, 상대항법을 수행한다 [2,3]. 이러한 구조에서 기준 항체와 LOS (Line of Sight)에 있지 않은 항체도 PU와 같이 기준 항체와 LOS를 유지하고 있는 다른 항체에 대하여 수동적으로 거리측정을 함으로써 항법이 가능하다.

2. 상대항법 위치추정

동적 항체인 AU 내에서 수행하는 상대항법 기능 블록은 그림 2와 같다. 그림에서 상대항법의 기능은 크게 소스선택, 항법 알고리즘, 항법 수행으로 구분된다. 자신의 위치를 추정하기 위해 각 항체는 네트워크 내의 다른 항체로부터 연속적으로 PPLI 메시지를 수신함으로써 상대항법을 수행

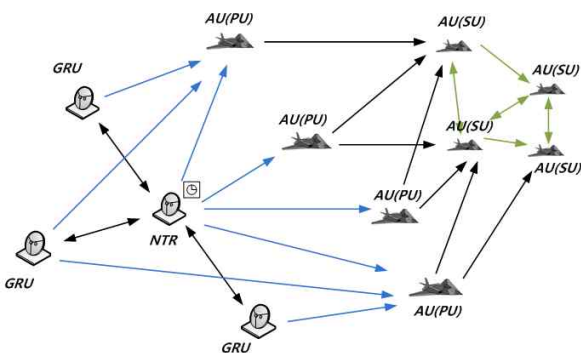


그림 1. 상대항법 동작.  
Fig. 1. Relative navigation operation.

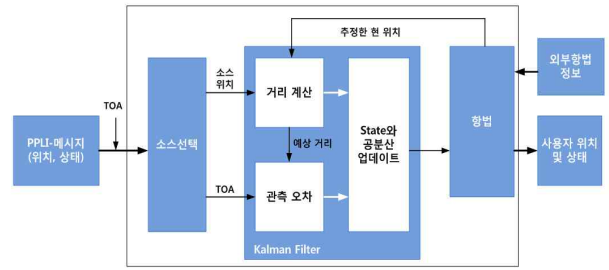


그림 2. 상대항법 기능 블록도.  
Fig. 2. Function block diagram of relative navigation.

한다. PPLI 메시지를 수신하면 수신된 메시지의 품질에 따라 소스선택 블록에 의해 메시지 사용 여부를 결정하며, 자신의 품질 레벨과 비교하여 자신의 품질 레벨보다 메시지의 품질 레벨이 낮으면 수신된 해당 메시지는 이용하지 않는다. 메시지가 선택되면 항법 필터 내에서 메시지 내에 포함된 상대항체의 위치 정보와 PPLI 메시지의 수신 시점에 추정된 자신의 위치를 이용하여 예상 거리를 계산하고, 계산된 거리와 TOA 측정치를 기반으로 위치, 속도, 외부항법 모듈의 오차 상태 벡터, 시각 바이어스 등을 업데이트한다 [4]. 한편, 해당 메시지를 이용하지 않을 경우, 해당 시점에 사용할 측정치가 존재하지 않으므로, 해당 시점의 위치는 외부항법 장치의 정보를 이용하거나 이전 시점의 추정 데이터를 이용한 외삽에 의해 위치를 추정한다. 항법 기능은 항법 필터로부터의 결과를 이용하여 외부항법 정보의 오차를 보정하고 출력 시점에 따라 사용자 위치 및 상태를 결정한다.

III. 상대항법 시뮬레이션 플랫폼

상대항법 시뮬레이션 플랫폼은 상대항법 시스템의 효율적인 설계를 위해 주어진 환경에 대한 성능을 예측하기 위한 분석 도구로써 설계되었으며, 이를 이용하여 주요인자 변화에 대한 영향을 시뮬레이션을 통하여 분석하고 그에 따른 성능 개선사항을 제시하는데 목적이 있다. 상대항법 플랫폼은 크게 시뮬레이션을 위한 동작 시나리오를 구성하는 시나리오 생성 모듈과 구성된 시나리오를 바탕으로 실제 동작을 모사한 상대항법 모듈로 구성되며, 구조는 그림 3과 같다.

1. 시나리오 생성 모듈

시나리오 생성 모듈은 전체 시뮬레이션 파라미터를 설정하고 시나리오 궤적을 생성하는 모듈로써, 사용자 입력, 궤적 생성 그리고 결과 파일 출력 순으로 동작한다. 상대항법 결과에 직접적인 영향을 미치는 TOA 측정치 오차, 네트워크 내의 항체 수, 데이터 전송 주기 등의 주요요소에 대한 분석이 가능하도록 사용자 입력인자를 구체화하였고, 입력인자에 따라 시나리오 궤적 정보를 생성하도록 하였다. 궤적 정보는 4가지로 일반화하였고, 이는 직선, 원, 부채꼴, 8자형 운동으로 구분한다. 각 입력 파라미터에 따라 시나리오 궤적과 시뮬레이션 파라미터는 시나리오 데이터 파일과 플랫폼 구성 파일로 구분되어 상대항법 모듈로 전달된다.

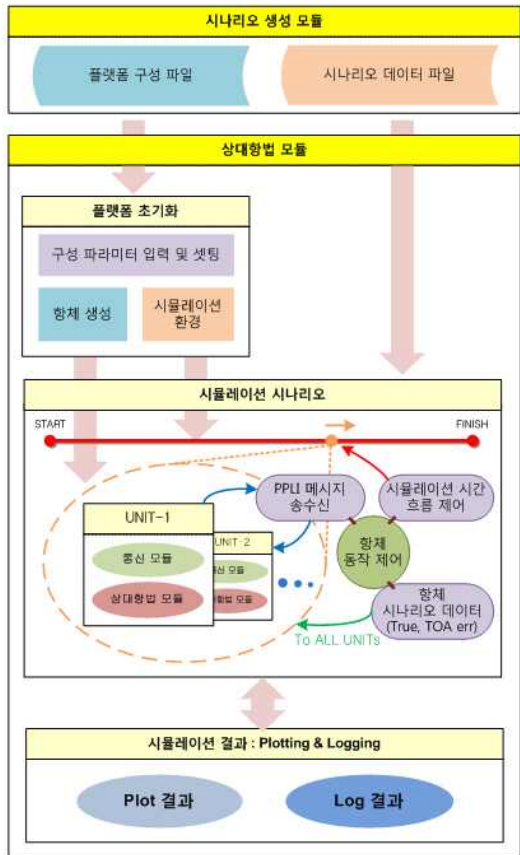


그림 3. 시뮬레이션 플랫폼 구조.  
Fig. 3. The structure of simulation platform.

2. 상대항법 위치추정

상대항법 모듈은 정해진 시뮬레이션 환경 및 궤적에 따라 생성된 각각의 항체에 대해서 각 시점마다 독립적으로 수행하는 항법 모듈이다. 본 논문에서 설계한 상대항법 플랫폼은 시스템의 기본 동작 특성을 분석하기 위한 것으로 구현의 간결성을 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- 임무 수행 항체는 PU만을 고려
- 높은 품질의 시각동기 유지
- Flat earth 모델을 가정한 상대 좌표계 사용

상대항법 모듈의 구조는 그림 4와 같다. 위에서 설명한 위치추정 과정을 모사하기 위해서 필요한 모듈을 RTT 처리, 소스 선택, 품질 레벨 변환, 항법 필터, 항법 데이터 외삽, 항법 초기화, 데이터 및 좌표변환 블록으로 구분하며, RTT 초기화, 데이터 및 좌표변환 블록은 가정에 따라 구현하지 않았다.

항법 초기화 블록은 시나리오 생성모듈의 플랫폼 구성 파일에 따라 각 항체에 대한 동작시간, 출력 주기, 초기 위치, 속도, 가속도, TOA 오차 등의 시뮬레이션 환경을 설정한다. 항법 초기화 블록을 통한 환경 설정이 완료되면 각 항체 사이에 PPLI 메시지가 정해놓은 시간간격에 따라 송수신된다. PPLI 메시지가 수신되면, 품질 레벨 변환 블록은 메시지에 포함된 송신 항체의 품질 및 자신의 품질을 레벨화하며, 이때 품질레벨은 항법 필터의 오차 공분산 값을 품

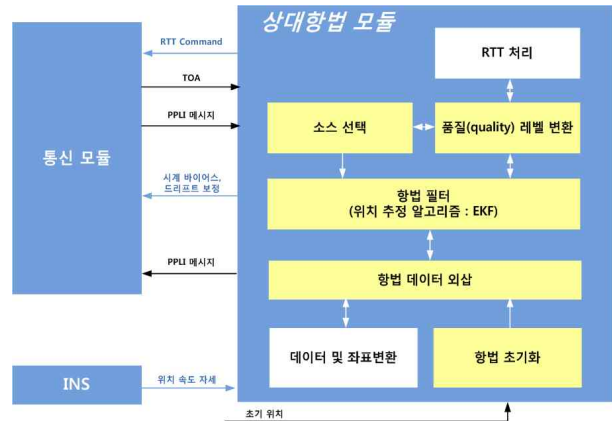


그림 4. 상대항법 모듈 구조.  
Fig. 4. The structure of relative navigation module.

질의 척도로써 이용하였다. 소스선택 블록은 상대항체와 자신의 품질레벨을 비교하여 상대항체의 품질레벨이 더 낮은 경우 그 시점의 PPLI 메시지는 이용하지 않도록 하였다.

JTIDS의 경우 상대항법의 위치추정 알고리즘은 우수한 추정 성능을 보이는 확장칼만필터(EKF: Extended Kalman Filter)이다. 하지만 EKF는 오차 모델에 영향이 크며, 이전 결과가 계속 영향을 주므로 충분한 측정치가 확보되지 않은 항법 초기의 큰 오차를 줄 수 있다. 따라서 본 논문에서는 위치추정 알고리즘으로 EKF를 기본으로 구현하고, 추가적으로 위치추정 결과 비교 및 EKF의 단점 보완을 위하여 최소거리 추정(MNE: Minimum Norm Estimation) 알고리즘을 구현하였으며, 이는 영향 분석 부분에서 자세히 보이기로 한다. 항법 필터에서 추정된 위치, 속도 및 품질 등의 정보는 PPLI 메시지 형태로 변환하여 할당된 시간 슬롯이 되었을 때 다른 항체로 전달하도록 구성하였다.

상대항법의 추정 위치 업데이트율은 PPLI 메시지 수신 간격에 따라 결정된다. 따라서 추정 위치 업데이트 율의 변경에는 한계가 있으며 이에 따라 속도가 매우 빠르거나 궤적의 변화가 심한 항체에 대하여 위치추정 오차가 증가할 수 있다. 항법 데이터 외삽 블록은 PPLI 메시지 수신 간격보다 짧은 추정 위치 업데이트 간격이 필요한 상황 또는 통신 장애나 혹은 소스 선택 블록에 의해 메시지가 차단되어 해당 시점에 사용하여야 할 측정치가 존재하지 않을 때 추정 위치 업데이트를 위해 구성되었다.

3. 위치 추정 알고리즘

상대항법의 기본 관측 모델은 식 (1)와 같다.

$$\rho = c \times TOA = R_c + b_t - b_u + w \tag{1}$$

여기서  $\rho$ 는 거리 측정치,  $c$ 는 빛의 속도,  $b_t$ 는 송신 항체의 시각 바이어스,  $b_u$ 는 수신항체의 시각 바이어스,  $w$ 는 측정 잡음,  $R_c = \sqrt{(x_t - x_u)^2 + (y_t - y_u)^2 + (z_t - z_u)^2}$ 는 계산된 거리이다. 이때,  $(x_t, y_t, z_t)$ 는 PPLI 메시지에 포함된 송신 항체의 위치 좌표,  $(x_u, y_u, z_u)$ 는 수신항체의 위치 좌표이다. 높은 상태의 시각 동기를 가정하였기 때문에  $b_t, b_u$ 는 무시할 수 있으며 관측 모델은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\rho = \sqrt{(x_t - x_u)^2 + (y_t - y_u)^2 + (z_t - z_u)^2} + w \quad (2)$$

선형화 지점  $(\hat{x}_u, \hat{y}_u, \hat{z}_u)$ 에서 선형화하면 (2)는 (3)으로 표현할 수 있다. 여기서  $\hat{\rho} = \sqrt{(x_t - \hat{x}_u)^2 + (y_t - \hat{y}_u)^2 + (z_t - \hat{z}_u)^2}$ 는 선형화 지점과 송신 항체 사이의 계산된 거리,  $\mathbf{h} = [(x_t - \hat{x}_u)/\hat{\rho}, (y_t - \hat{y}_u)/\hat{\rho}, (z_t - \hat{z}_u)/\hat{\rho}]$ 는 선형화 지점과 송신 항체 사이의 LOS 벡터,  $w$ 는 백색 가우시안 측정 잡음,  $\mathbf{x} = [\delta x_u, \delta y_u, \delta z_u]^T$ 은 위치 오차 벡터이다.

$$\delta \rho = \rho - \hat{\rho} = \mathbf{h}\mathbf{x} + w \quad (3)$$

본 논문에서는 설계한 상대항법 플랫폼의 위치 추정 알고리즘으로 EKF [5,6]와 MNE [7]을 구현하였고, 상태벡터는 식 (4)와 같다. 여기서  $(\delta x, \delta y, \delta z)$ 는 위치 오차,  $(\delta \dot{x}, \delta \dot{y}, \delta \dot{z})$ 는 속도 오차,  $(\delta \ddot{x}, \delta \ddot{y}, \delta \ddot{z})$ 는 가속도 오차이다.

$$\mathbf{x} = [\delta x \ \delta y \ \delta z \ \delta \dot{x} \ \delta \dot{y} \ \delta \dot{z} \ \delta \ddot{x} \ \delta \ddot{y} \ \delta \ddot{z}]^T \quad (4)$$

EKF에서는 일반적인 PVA (Position Velocity Acceleration) 모델을 이용하였으며, 시스템 모델식은 다음과 같다. 여기서  $X$ 는 EKF의 상태변수,  $\Phi$ 는 상태변수 변이 행렬,  $w$ 는 프로세스 오차,  $\Gamma$ 는 플랜트 잡음 변이 행렬,  $Z$ 는 측정치,  $H$ 는 관측행렬,  $v$ 는 측정치 오차,  $Q$ 는 플랜트 공분산 행렬,  $R$ 은 측정치 잡음 행렬,  $T$ 는 샘플링 시간,  $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ 는 각 축의 가속도 잡음이다.

$$X = \Phi X + w \quad Z = HX + v \quad (5)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{T^2}{2} \\ T & 0 & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & T \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{H} = \left[ \frac{(X - X_t)}{R_c} \quad \frac{(Y - Y_t)}{R_c} \quad \frac{(Z - Z_t)}{R_c} \quad 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \right] \quad (7)$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z^2 \end{bmatrix} \quad R = \sigma \times I \quad (8)$$

MNE에서는 상대항법 관측 식으로부터 추정된 상태변수는 식 (9)와 같다[6].

$$X = H^T(HH^T)^{-1}z \quad (9)$$

#### IV. 성능 분석 및 위치 추정 개선 알고리즘 제안

본 논문에서 설계한 상대항법 시뮬레이션 플랫폼은 입력 및 출력 인자를 다양화하고 시스템을 블록단위로 구현하였기 때문에 오차인자 혹은 각 블록의 기능수행 여부에 따른 성능분석이 가능하다. 이를 이용하여 본 논문에서는 상대항법에 대하여 군집 네트워크 내 군집운행에의 적용을 위한 가능성 검토를 수행하고, JTIDS의 위치추정 알고리즘인 확장칼만필터 특성을 분석하였다. 또한 추가적인 위치추정 알고리즘을 이용하여 확장칼만필터의 성능을 보완할 수 있는 방안을 제시하였다. 시뮬레이션은 4개의 기준항체를 설정하고, 9000 epoch 동안 시나리오에 따라 90 m/s로 움직이는 AU에 대해 수행하였다. 이때, TOA 오차는 30 m로 설정하였다.

##### 1. 군집운행 가능성 검토

군집운행에 대한 가능성 검토를 위하여 네트워크 내 다른 시작점으로부터 동일한 궤적으로 움직이는 두 AU에 대한 위치추정 실험을 수행하였다. 두 항체는 4개의 기준항체 및 상호 간의 통신을 통하여 자신의 위치를 추정하며 군집운행을 하는 것을 목적으로 한다. 실험을 수행한 결과, 네트워크 구조 및 두 AU 항체의 궤적을 추정한 결과는 그림 5와 같고, 그에 따른 위치추정 오차는 그림 6, 표 1과 같다. 이때 그림에서 G1~G4는 정확한 위치를 알고 있는 기준항체를 나타내며, A1, A2는 각각의 AU 궤적 시작점을 나타낸다. 표 1에서의 오차는 항법 알고리즘의 수립 이후의 값을 기준으로 계산한 결과이다.

그림에서 볼 수 있듯이 기준항체 4개와 AU 2개에 대한 상대항법 시뮬레이션 결과 서로 정해진 궤적에 따른 군집을 유지하며 원 궤적 운동을 하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 네트워크 내의 통신망의 메시지 전송만을 이용한 상대항법의 군집 운행에의 적용이 가능하다고 판단할 수 있다. 그러나 그림 6에서와 같이 초기 오차가 매우 큰 특성을 가지므로 이를 개선하기 위한 방안이 필요하다.

##### 2. EKF를 이용한 위치추정 성능분석

앞서 언급한 바와 같이 EKF는 모델과 이전 결과에 영향을 받으므로 충분한 측정치가 확보되지 않은 항법 초기의 오차가 상당히 큰 것을 확인하였다. 이에 대한 특성 분석을

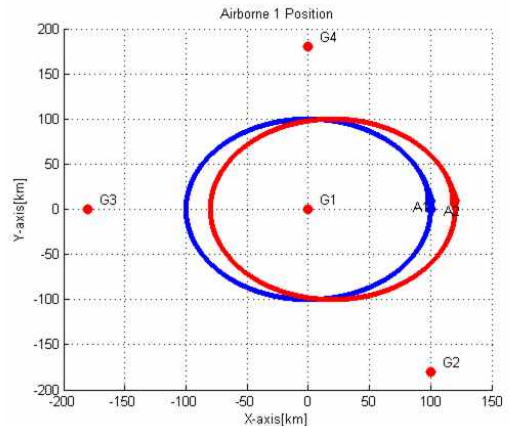


그림 5. 네트워크 구조 및 추정 궤적.

Fig. 5. The group network structure and trajectory estimation.

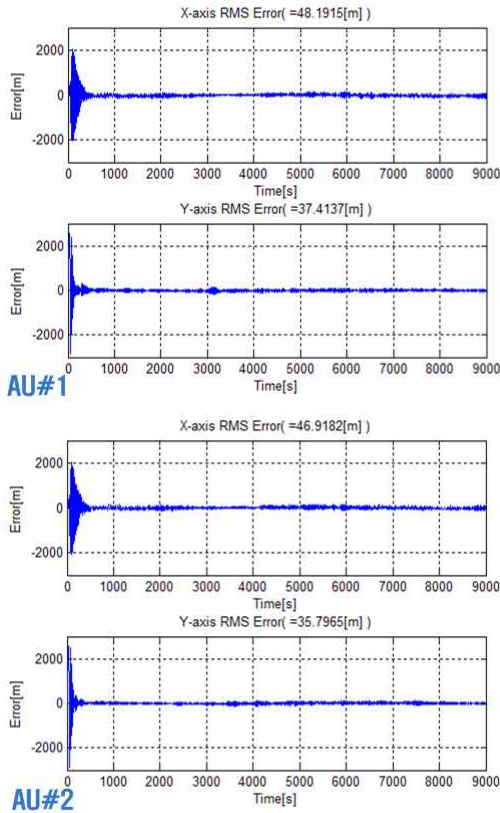


그림 6. AU1과 AU2의 위치추정 오차.  
Fig. 6. The position estimation error of AU1 and AU2.

표 1. AU 1과 AU 2의 위치추정 오차.  
Table 1. The position estimation error of AU1 and AU2.

	x축 오차(RMS)	y축 오차(RMS)
AU 1	48.19 [m]	37.41 [m]
AU 2	46.92 [m]	35.79 [m]

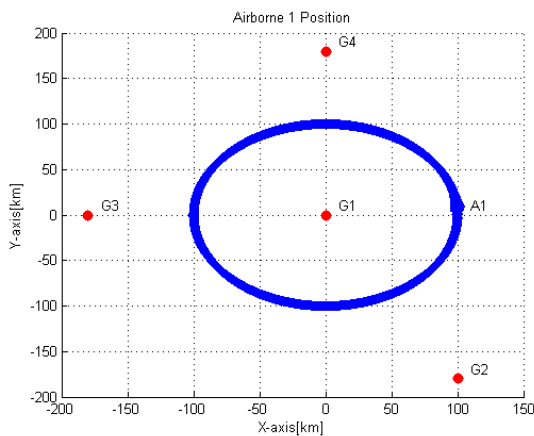


그림 7. 네트워크 구조 및 추정 궤적.  
Fig. 7. The group network structure and trajectory estimation.

위하여 네트워크 내에서 원 궤적으로 움직이는 항체에 대한 성능 분석을 수행하였으며, 이때 네트워크 구성 및 AU의 궤적은 그림 7과 같다. 그림 7과 같은 네트워크에서의

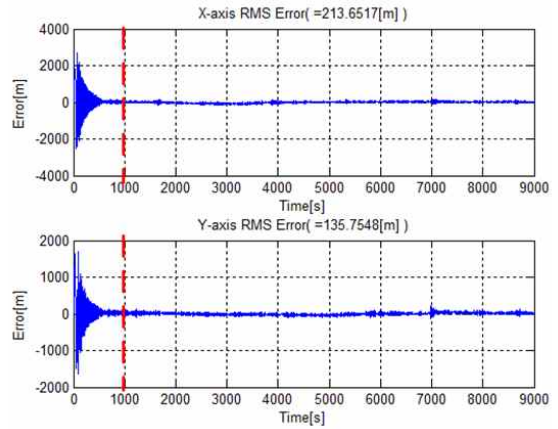


그림 8. EKF를 이용한 위치추정 결과.  
Fig. 8. The result of position estimation error using EKF.

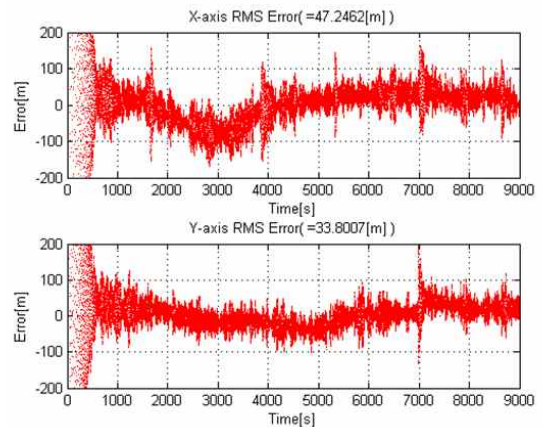


그림 9. EKF를 이용한 위치추정 결과(확대).  
Fig. 9. The result of position estimation error using EKF.

표 2. EKF를 이용한 위치추정 결과.  
Table 2. The result of position estimation error.

	x축 오차(RMS)	y축 오차(RMS)
전체	213.65 [m]	135.75 [m]
수렴이후	47.25 [m]	33.80 [m]

위치추정 결과는 그림 8과 같으며, 그림 9는 그림 8의 결과를 확대한 그림이다.

그림 8, 그림 9와 표 2에서 볼 수 있듯이 EKF의 위치추정 오차는 앞서 예상한 바와 같이 초기에 상대적으로 매우 큰 값을 가지고 수렴할 때까지 긴 시간을 갖는다. 그러나 수렴(수렴시간은 1000 s로 설정) 이후 안정화된 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 따라서 기존의 시스템과 같이 EKF를 단일 항법 알고리즘으로 적용할 경우 수렴하기까지의 결과에 대한 신뢰성은 낮을 수밖에 없으며 실제 군집 네트워크 내의 상대항법 시스템을 구현하기 위해서는 이에 대한 보완이 필요하다.

3. 위치추정 성능개선 알고리즘

본 논문에서는 III장에서 언급한 것처럼 EKF이외 MNE을 항법 알고리즘에 추가로 적용하였다. MNE은 이전 시점

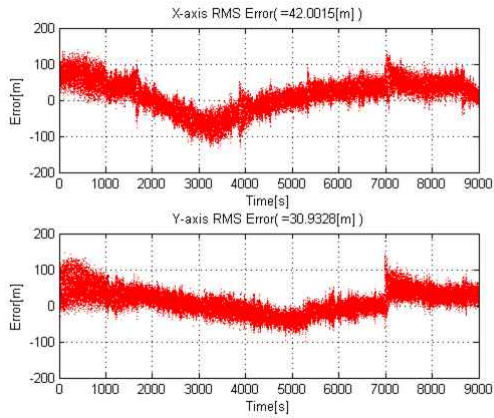


그림 10. 위치추정 결과.

Fig. 10. The result of position estimation error.

표 3. 제안한 방법의 위치추정 결과.

Table 3. The position estimation error of proposed method.

	x축 오차(RMS)	y축 오차(RMS)
전체	42.00 [m]	30.93 [m]

의 추정 위치에 종속되지 않으므로 초기 오차의 영향은 줄지만 수렴 이후에는 EKF보다 정확성이 낮다. 따라서 두 알고리즘을 선택적으로 이용하면 더 나은 성능을 기대할 수 있다. 본 논문에서는 동작 시작 시점부터 초기 오차가 수렴하는 구간에 대해서는 MNE를 이용하고, 이후에는 EKF와 MNE 두 알고리즘의 평균값을 이용하였다.

그림 10과 표 3에 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 10에서 제안한 기법이 단일 알고리즘을 이용하는 것보다 높은 정확도를 나타내는 것을 확인할 수 있다. 초기 수렴 시간까지 EKF를 사용한 x, y축 평균 174.7 m에서 MNE를 사용함으로써 45.24 m로 오차가 줄었고, 위치가 수렴한 이후는 x, y축 평균 42.8 m에서 40.53 m로 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 상대항법에 대한 기본 동작원리 및 구조를 분석하고 주어진 환경에 대한 기본 성능을 예측하는 분석도구로써 플랫폼을 구현하였다. 구현한 시스템을 이용하여 군집 네트워크에서 상대항법의 적용 가능성과 성능을 확인하였다. 상대항법은 기존 통신망에 인프라 추가 없이 보조항법 수단으로 이용 가능성이 충분하다고 판단된다. 또한 항법 알고리즘의 특성 분석으로부터 EKF만을 이용할 경우 매우 큰 초기오차가 발생하고 수렴하기까지 긴 시간이 걸림을 확인하였다. 또한, 이를 보완하기 위해서 MNE와 EKF를 동시에 사용하는 기법을 제안하고, 제안한 알고리즘이 각각의 단일 알고리즘의 단점을 보완할 수 있다는 것을 확인하였다.

이 결과는 항공 분야의 LINK-16 및 ADS, 해양 분야의 AIS와 같이 자체 통신망을 갖춘 응용에서 인프라의 추가 없이 쉽게 적용될 수 있으며, 육상에서도 기존의 망을 이용하여 쉽게 적용될 것으로 예측된다.

### 참고문헌

- [1] B. W. Jeon and U. S. Kim "A proposal for constructing Korea Tactical Data Link System," National Defense Policy Research, pp. 167-191, 2003.
- [2] W. R. Fried, "Principle and simulation of JTIDS relative navigation," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-14, no. 1, pp. 76-84, Jan. 1978.
- [3] W. W. Altricher, "JTIDS relative navigation and data registration," *IEEE AES Magazine*, vol. 7, pp. 42-50, Jun. 1992.
- [4] M. Kayton and W. R. Fried, *Avionics Navigation Systems*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- [5] R. G. Brown and P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering*, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.
- [6] E. W. Kamen and J. K. Su, *Introduction to Optimal Estimation*, Springer, London, 1999.



#### 최 현 호

2008년 충남대학교 전기정보통신공학부 졸업. 2010년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2010년~현재 동 대학원 박사과정. 관심분야는 Multipath mitigation, Anti-jamming, 신호처리.



#### 심 우 성

1995년 충남대 전자공학과 졸업. 1997년 동 대학원 석사. 2009년~현재 동 대학원 박사과정. 현 한국해양연구원 해양 안전방제기술연구부 근무. 관심분야는 GNSS, e-Navigation, 상대항법, 신뢰성, 신호처리.



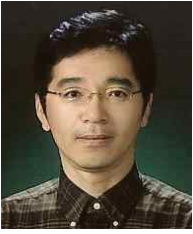
#### 조 성 통

2008년 충남대학교 전기정보통신공학부 졸업. 2010년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2010년~현재 동 대학원 박사과정, 관심분야는 CDGPS, Anti-spoofing.



#### 한 영 훈

2010년 충남대학교 전기정보통신공학부 졸업. 2010년~현재 동 대학원 전자정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 상대항법, High-precision positioning.



### 박 찬 식

1984년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1986년 동 대학원 석사. 1984년~1997년 삼성전자 연구원. 1997년 서울대학교 박사. 1997년~현재 충북대학교 교수. 관심분야는 GNSS, 미지 정수 결정 알고리즘, 오차해석.



### 이 상 정

1979년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1981년 동 대학원 석사. 1987년 동 대학원 박사. 1987년~현재 충남대학교 교수. 관심분야는 강인제어, GNSS, Anti-jamming.