

# GRU 부재 상대항법에서의 INS 의존 측위 대체 방안

김기형\*, 이규만\*, 임재성<sup>o</sup>

## Alternative Scheme of INS-Dependent Positioning for Relative Navigation without GRUs

Ki-hyoung Kim\*, Kyu-man Lee\*, Jae-sung Lim<sup>o</sup>

### 요 약

작전을 수행하는 군 환경에서 위치 정보는 매우 중요하다. 군 환경에서 위치 정보 획득은 일반적으로 GPS에 의해 이루어진다. 하지만 GPS는 수신 신호의 세기가 매우 약해 전파교란에 취약하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 상대항법은 전술데이터링크 표준인 JTIDS(Joint Tactical Information Distribution System)에서 정의된 GPS 보조항법이다. GPS 전파교란 환경에서 상대항법의 정확한 운용을 위해서는 지상에서 공중노드의 참조노드 역할을 수행하는 GRU(Ground Reference Unit)가 보장되어야 한다. 하지만 상대항법을 운용하는데 있어서 GRU를 항상 보장하는 것은 쉬운 일이 아니다. GRU 부재 환경에서 상대항법 운용중인 공중노드는 관성항법장치에 의존하여 측위한다. 하지만 관성항법장치에 의존하는 측위는 시간이 지남에 따라 누적 오차 발생을 야기하며 누적 오차에 의해 공중노드는 정확한 측위를 할 수 없다. 본 논문에서는 상대항법에서 GRU 부재 시 관성항법장치 의존으로 인한 공중노드의 위치 오차를 줄이기 위한 대체 방안을 제시한다. 또한 대체 방안의 성능이 기존의 성능에 비하여 우수하다는 것을 모의실험을 통해 증명한다.

**Key Words** : GPS Jamming, INS, JTIDS, Relative Navigation, GRU, TOA

### ABSTRACT

Position information is important to carry out military operations. In general, GPS is used to estimate position. However, GPS is vulnerable to jamming due to the low received signal strength, therefore GPS can be easily jammed. The relative navigation is an auxiliary navigation system defined in JTIDS. When GPS is jammed, the relative navigation requires ground reference units on the ground to operate accurately. If the ground reference unit does not exist, nodes operated by the relative navigation depend on the inertial navigation system to identify their position. However, this positioning scheme based on only INS causes accumulative position error, therefore the nodes cannot identify their position accurately for a long time. In this paper, we propose an alternative to reduce position error generated by depending inertial navigation system. In order to verify that the performance of proposed scheme is better than that of the existing scheme, various simulations are conducted.

\* This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (No. 2013R1A2A1A01016423).

♦ First Author : Department of Computer Engineering, Ajou University, kimgiyh15@ajou.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Ajou University, jaslim@ajou.ac.kr, 중신회원

\* Department of Computer Engineering, Ajou University, mool717@ajou.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2015-06-005, Received June 30, 2015; Revised September 18, 2015; Accepted November 25, 2015

## I. 서 론

미 국방부에서 위치 정보 제공을 목적으로 측위 시스템 GPS (Global Positioning System)를 개발하였다. 개발 초기 GPS는 군사 분야에서 활용되었으나 상용 분야로 확대되었다. 하지만 GPS는 지구 전역에서 실시간적 측위를 제공할 수 있는 우수성에도 불구하고 수신 신호 세기가 낮아 전파교란에 취약하다는 단점이 존재하며 이를 해결하기 위하여 GPS의 전파교란 상황에서도 측위가 가능하도록 GPS를 대체하거나 보조할 수 있는 기법에 대한 연구가 진행 중이다<sup>1)</sup>.

GPS 전파교란 시에 공중노드는 GPS를 대체할 수 있는 별도의 항법체계가 존재하지 않는다면 INS (Inertial Navigation System)를 활용하여 위치를 추정한다. INS는 운동을 감지하는 관성 센서로부터 출력되는 항법 정보를 계산하는 항법 컴퓨터가 내장되어 있어 GPS와 달리 외부의 도움 없이 측위가 가능하다. 하지만 INS에 의존하는 측위는 시간이 지남에 따라 정확한 측위를 불가능하게 하는 누적오차를 발생시킨다.

상대항법은 전술데이터링크 JTIDS (Joint Tactical Information Distribution System)에 정의되어 있는 GPS 보조항법이다. 상대항법에서 각 항체는 동일 네트워크를 사용하는 다른 항체들에 대하여 자신의 상대적인 위치를 추정한다. 일반적으로 상대항법은 GPS에 비해 낮은 측위 정확도를 가지지만 GRU (Ground Reference Unit)라는 지상에 위치한 소수의 참조노드만으로 상대항법을 운용할 수 있고 피아 식별 및 전장 상황을 인지할 수 있다는 강점을 가진다. 하지만 상대항법은 각 항체의 높은 위치 정확도를 요구하며 GPS 불능 환경에서 이 조건을 충족하기 위해서는 GRU가 존재하여야 한다<sup>2)</sup>. GRU가 부재한 경우 상대항법으로 운용중인 항체는 INS에 의존하는 측위를 하기 때문이다. INS에 의존하는 항체의 경우, 한 시간 경과 후 약 1 km의 위치 누적 오차가 발생하며, 이 오차는 상대항법을 유지하는 데 있어서 부정적인 영향을 미친다<sup>3)</sup>.

본 논문에서는 GPS 불능 및 GRU 부재 환경에서 INS에 의존하는 항체의 누적오차를 줄이기 위한 대체 방안을 제시한다. 제안 기법의 핵심 아이디어는 항체와 LOS (Line of Sight)가 보장되는 지상노드 중 일부를 새로운 참조노드로 선정하여 GRU 역할을 수행하게 하는 것이다. 하지만 기존 GPS 교란환경에서 지상노드는 측위가 불가능하기 때문에 참조노드로서의 역할을 수행할 수 없다. 따라서 상대항법 운용으로 자신의 위치를 추정할 수 있는 항체를 지상노드의 참조노

드로 활용하여 지상노드의 위치를 추정한 후 이 노드 중 일부를 새로운 참조노드로 선정하는 것이다. 선정된 새로운 참조노드는 GRU 역할을 수행하며 INS에 의존하여 측위하는 항체의 위치 누적오차를 줄이고, 이로 인해 항체는 정확한 위치 품질을 가지게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안 기법에 대해서 설명을 하고, III장에서는 모의실험의 환경 및 모의실험 결과를 제시하며 제안 기법의 성능 및 활용 가능성을 검증한다. 마지막 IV장에서 결론을 맺으며 참고문헌을 제시하며 논문을 마무리한다.

## II. 제안 기법

본 논문에서는 GPS 전파교란 및 GRU가 부재한 상대항법 환경에서 공중노드의 누적오차를 줄이기 위한 방안을 제시한다. 기존 GPS 전파교란으로 인해 위치 추정이 불가능한 지상노드를 측위 가능하게 함으로써 지상노드 중 일부를 새로운 참조노드로 선정, 선정된 참조노드를 활용하여 공중노드를 측위 하여 INS에 의존하는 측위를 하지 않도록 한다.

### 2.1 상대항법 구조, 동작 및 문제점

상대항법의 구조는 그림 1과 같다. 상대항법으로 운용되고 있는 항체는 수행 역할에 따라 GRU, NC (Navigation Controller), PU (Primary Unit), SU (Secondary Unit)으로 구분된다. GRU란 절대적 위치에 대한 높은 정확도를 가지는 지상노드이며, GRU와 LOS가 보장되는 공중노드로 하여금 정확한 측위를 가능하게 한다. NC는 상대항법의 기준 시각을 제공하며, 상대 좌표계의 원점의 역할을 수행하는 항체이다. PU와 SU는 실제 임무를 수행하는 동적인 항체이며 AU (Active Unit)라고 한다. NC와의 LOS 여부에 따라 PU와 SU로 분류되며, PU는 기준 시각 정보를 제공하는 NC와 LOS가 보장되기 때문에 RTT (Round Trip Time)를 수행하여 직접적으로 시각을 동기화 할 수 있지만, 그렇지 못한 SU는 기준 항체로부터 측위한

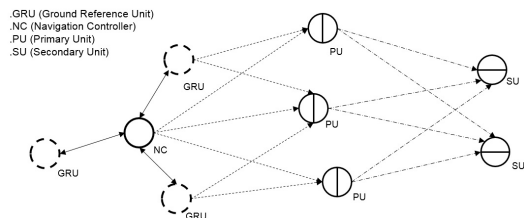


그림 1. 상대항법의 구조  
Fig. 1. An architecture of Relative Navigation

PU로부터 정보를 수신함으로써 시각을 동기화하고 상대항법을 수행한다. 그러므로 상대항법에서 PU의 정확도가 일반적으로 SU의 정확도보다 높게 된다<sup>[4]</sup>.

상대항법의 측위는 각 항체가 3초에 1회 주기적으로 송신하는 PPLI (Precise Participant Location & Identification) 메시지를 활용하여 이루어진다. 이 메시지는 근원항체의 위치, 전송 시간, 위치 및 시각 정확도 품질에 대한 정보를 포함한다. 표 1은 시각 및 위치 정확도 품질을 나타낸다. 각 항체는 표에서 제시된 시각 혹은 위치 정확도 이내의 오차를 가지게 되면, 해당 시각 및 위치 품질을 가지게 된다<sup>[5]</sup>. 상대항법 운용하는 각 항체는 수신한 모든 PPLI 메시지를 사용하는 것이 아니라 자신보다 높은 품질을 가진 항체로부터 수신한 PPLI 메시지만을 사용하게 된다. 이러한 구조는 상대항법의 안전성을 보장한다<sup>[6]</sup>.

상대항법 측위는 수신 메시지의 TOA (Time of Arrival)를 측정한다. 상대항법의 각 항체는 다른 항체에 대한 TOA 결과 값을 순차적으로 획득하며, 각 시점에서 수신한 메시지와 송신 항체의 위치를 이용하여 자신의 위치를 추정한다. 상대항법에서 사용하는 기본 측정 모델은 식 (1)과 같다<sup>[7]</sup>.

$$\rho = c \times t_{prop} = R_c + b_s - b_d + w \quad (1)$$

식 (1)은 근원항체로부터 수신 항체 사이 거리를 계산하는 것을 나타낸다. 이 식에서  $\rho$ 는 의사거리 측정값,  $c$ 는 빛의 속도,  $t_{prop}$ 는 근원항체로부터 수신 항체의 TOA 값,  $b_s$ 는 송신 항체의 시각 오프셋,  $b_d$ 는 수신 항체의 시각 오프셋,  $w$ 는 잡음을 나타낸다.

식 (2)의  $(x_d, y_d, z_d)$ 는 메시지의 근원 항체의 위치

좌표,  $(x_s, y_s, z_s)$ 는 추정하고자 하는 수신 항체의 위치 좌표이다.

$$R_c = \sqrt{(x_s - x_d)^2 + (y_s - y_d)^2 + (z_s - z_d)^2} \quad (2)$$

하지만 이러한 상대항법의 구조는 치명적인 단점을 가지고 있다. GRU 부재 환경에서 각 항체는 별도의 참조노드가 존재하지 않으므로 INS에 의존하는 측위를 한다. INS에 의존하는 측위의 위치 정확도는 시간이 지남에 따라 누적오차로 인하여 점차 낮아지게 된다. 식 (3)은 INS의 오차 모델이다<sup>[2]</sup>.

$$E_{INS} = \frac{1}{2} k_i t^2 \quad (3)$$

식 (3)의  $k_i$ 는 항체의 속도와 비례하는 상수이며,  $t$ 는 항체가 INS에 의존하는 측위를 지속한 시간을 나타낸다. INS에 의한 누적오차는 항체가 INS에 의존 측위를 지속한 시간의 제곱 및 항체의 속도에 비례하여 증가하게 되는 것이다. 다른 항체를 기준으로 자신의 위치를 추정하는 상대항법에서 항체의 위치 정확도가 낮아진다면 상대항법의 정확한 운용이 어려워진다. 따라서 이러한 상황에 대비하기 위한 대체항법이 필요하다.

## 2.2 제안 기법의 환경 및 동작

제안 기법이 활용될 수 있는 환경은 그림 2와 같다. GPS 전파교란으로 인하여 공중노드 및 지상노드는 GPS 측위를 할 수 없다. 또한 상대항법에서 요구하는 GRU가 존재하지 않는 환경을 가정한다. 상대항법에서 GRU의 존재는 LOS가 보장되는 항체로 하여금 높은 위치 정확도를 유지할 수 있게 한다. 하지만 GRU

표 1. JTIDS 상대항법의 시각 및 위치 품질 표  
Table 1. Time and position quality table in JTIDS RELNAV

Quality	Time accuracy (nsec)	Position accuracy (ft)	Quality	Time accuracy (nsec)	Position accuracy (ft)
15	NC	50	7	800	800
14	71	71	6	1130	1130
13	100	100	5	1600	1600
12	141	141	4	2260	2260
11	200	200	3	4520	4520
10	282	282	2	9040	9040
9	400	400	1	18080	18080
8	565	565	0	>18080	>18080



그림 2. 제안하는 운용 환경  
Fig. 2. Operational environment of the proposed scheme

가 보장되지 않는 환경에서 항체는 INS에 의존하는 측위를 하기 때문에 시간의 경과에 따라 누적 오차를 포함하는 위치를 획득할 것이다. 따라서 각 항체의 누적 오차로 인하여 상대항법은 높은 정확도를 보장하지 못하게 된다. 본 절에서는 제안 기법의 1, 2 단계로 구분하여 각 항에서 설명한다.

2.2.1 제안 기법의 1 단계

제안 기법의 1 단계에서는 아래 세 개의 항이 차례로 진행된다. 먼저 GPS 전파 교란으로 인하여 측위가 불가능한 지상노드는 상대항법 운용중인 공중노드의 PPLI 메시지를 활용하여 측위한다. 이후 측위 완료한 지상노드 중 일부를 새로운 참조노드로 선정하고 이 참조노드가 기존 GRU 역할을 수행하도록 하여 공중노드를 측위한다. 하지만 초기 단계에서 GPS 재밍 공격 발생 후 오랜 시간이 지나지 않아 지상노드의 위치 정확도가 공중 노드로부터 측위 한 위치 정확도보다 좋을 경우 제안기법은 아래의 (1) 항 과정을 선택한 후 (2)항부터 진행한다.

(1) 지상노드 측위

상대항법의 측위는 각 항체가 송신하는 주기적인 PPLI 메시지에 의해 가능하다. GPS 전파교란으로 측위 불가능한 지상노드의 경우 상대항법 운용하는 항체와 LOS가 보장이 된다면 이 항체를 참조노드로 활용하고 주기적으로 전송되는 PPLI 메시지를 수신하여 측위한다. 4 기 이상의 상대항법 운용하는 항체와 지상노드가 LOS 보장이 된다면 이 PPLI 메시지를 활용하여 지상노드의 측위하는 것이다. 이후 측위 한 지상노드 중 일부를 새로운 참조노드로 선정하여 GRU 역할을 수행하게 한다면 GRU 없는 환경에서 INS에 의존하던 항체를 새로운 참조노드를 활용한 측위를 가능하게 하여 INS에 의한 누적오차를 줄이고 위치정확도가 높아지게 된다.

(2) 지상노드 측위

위치 정보를 알고 있는 지상노드는 공중노드의 참조노드가 될 수 있다. 하지만 모든 지상노드가 참조노드의 역할을 하는 것은 아니다. 군 환경에서는 일반적으로 중대 혹은 대대 단위로 작전을 수행한다. 작전을 수행하는 중대 혹은 대대를 한 그룹이라고 하게 되면 이 그룹 내 한 기의 노드만이 새로운 참조노드의 역할을 수행한다. 지상노드 중 참조노드를 선정하는데 있어서 각 노드의 속도는 중요한 요소가 된다. 높은 위치정확도를 요구하기 때문에 INS에 의한 누적오차

를 최소화하기 위해 최저 속도를 가진 지상노드가 참조노드가 된다. 이러한 새로운 참조노드는 제안 기법의 초기 단계에서 선정된다.

그림 3은 새로운 참조노드 선정 과정을 순서도로 나타낸 것이다. 정지한 지상노드의 경우 먼저 제어 메시지의 수신 여부를 검사한다. 제어 메시지는 각 그룹 내 모든 노드가 송신할 수 있으며 송신한 노드는 새로운 참조노드가 되고 수신한 노드는 새로운 참조노드가 될 수 없다. 정지한 지상노드가 제어 메시지를 수신하지 않았다면 제어 메시지를 송신하면서 해당 그룹의 새로운 참조노드로 선정된다.

이동성을 가지는 지상노드의 경우 자신의 속도를 알려주는 속도 메시지를 해당 그룹에 방송한다. 이후 제어 메시지의 수신여부를 검사, 미 수신 시 다른 노드로부터 온 속도 메시지와 비교하여 최저 속도 여부를 검사한다. 최저 속도의 지상노드라면 제어 메시지를 해당 그룹 내 방송하며 새로운 참조노드로 선정된다. 그렇지 못한 경우에는 제어 메시지를 전송하지 않으며 그 노드는 새로운 참조노드로서의 역할을 수행하지 못 한다. 새로운 참조노드로부터 위치정확도를 유지하기 위해 새로운 참조노드는 공중항체로부터의 측위를 하지 않고 INS에 의존하는 측위를 한다. 이는 새로운 참조노드가 정지해있거나 공중노드와 비교하여 속도가 현저하게 느려 누적 오차가 공중노드에 비해 현저하게 작기 때문이다. 따라서 제안 기법을 활용한 측위는 시간당 발생하는 INS에 의한 누적 오차를 감소시킴으로 더 정확한 공중노드의 측위를 할 수 있다.

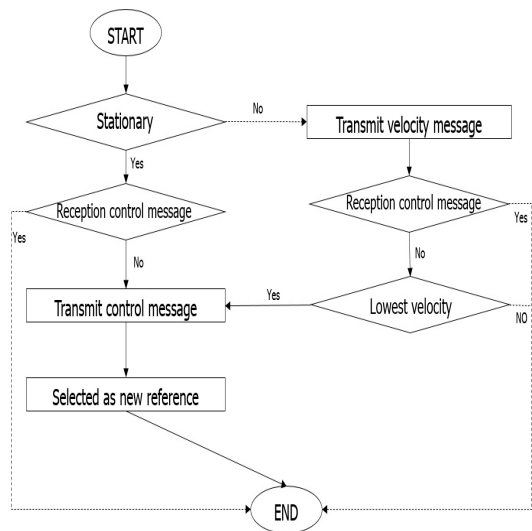


그림 3. 그룹 내 참조노드 선정 순서도  
Fig. 3. Flow chart of selecting reference within a group

(3) 새로운 참조노드로부터 공중노드의 측위

새로운 참조노드는 PPLI 메시지를 공중노드에 주기적으로 송신한다. 공중노드가 TOA를 활용한 측위를 하기 위해서는 최소 4 기 이상의 새로운 참조노드로 존재하여야 한다. 제안기법의 군 환경에서는 일반적으로 4 기 이상의 새로운 참조노드는 확보 가능하다. 전장 환경에서 일반적으로 4 개 이상의 중대 혹은 대대 단위의 그룹이 작전수행하기 때문이다. 공중노드는 이렇게 지상에 새로운 참조노드로부터 PPLI 메시지를 주기적으로 수신함으로써 INS에 의존하는 측위로 인하여 발생하는 누적 오차를 줄일 수 있다.

2.2.2 제안 기법의 2 단계

그림 4는 제안 기법의 2 단계를 나타낸다. 기존 상대항법 중인 공중노드는 GRU 부재로 인해 발생하는 문제를 새로운 참조노드가 GRU 역할을 수행하게 함으로써 문제를 해결하였다. 이 후 공중노드는 계속해서 이 참조노드들로부터 측위를 수행한다. 시간이 지남에 따라 발생되던 누적 오차를 줄임으로써 공중노드는 INS에 의존하는 측위보다 더 정확한 측위를 할 수 있게 된다. 또한 지상노드는 기존에 비해 정확한 위치 정확도를 가진 공중노드에서 주기적으로 송신되는 PPLI 메시지를 활용할 경우 GPS 불능환경에서도 측위가 가능하게 된다.

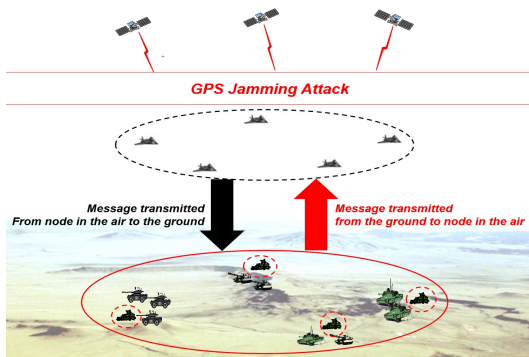


그림 4. 제안 기법의 2 단계 개념도  
Fig. 4. The phase 2 of the proposed scheme

III. 모의실험 환경

제안 기법의 성능을 분석하고 활용가능성을 검토하기 위하여 모의실험을 진행하였다. 상대항법을 운용하는데 있어서 각 항체의 시각 정확도 및 동기가 고려되어야 한다. 하지만 모의실험에서는 JTIDS에서 기본적

으로 요구하는 TDMA (Time Division Multiple Access)의 시각 동기는 보장된다고 가정하였다<sup>7)</sup>. 즉 제안 기법의 성능을 분석하기 위해 각 항체의 위치 품질만을 고려하였다. 또한 순차적으로 PPLI 메시지를 수신하기 때문에 동일한 위치에서 수신되지 않음으로써 발생하는 문제는 칼만 필터에 의해 보정된다고 가정한다. 공중노드의 위치 정확도는 GPS 측위에 의한 최소 오차 11 m를 포함하고 있다는 것을 가정한다<sup>8)</sup>.

모의실험에서 사용되는 공중노드는 총 4 기로 동일한 중심을 가지는 원 궤도를 이동하며 고도는 성층권 고도 중 13 ~ 15km로 변화하면서 제안 기법의 성능을 확인한다. 또한 지상노드의 경우 4 기 이상의 새로운 참조노드가 지상에 원의 중심이 있는 약 3 km의 반경을 가진 원 위 일정 간격으로 있다고 가정하고 참조노드 이 수에 따른 제안 기법의 성능을 분석한다.

IV. 모의실험 결과

모의실험은 제안 기법이 기존 기법과 비교하여 우수한 성능을 검증하기 위하여 MATLAB을 사용하여 진행하였다. 먼저 공중노드 간 간격에 따른 지상노드의 DOP (Dilution of Precision)를 분석하기 위해 동일한 위치 품질을 가지는 4 기의 공중노드의 반경을 0.5 km 간격으로 증가하면서 모의실험을 진행하였다. DOP란 위성 및 의사위성의 기하학적 배치가 측위에 미치는 오차를 나타내는 지수이다. DOP 수치는 낮을수록 좋은 배치를 의미하며 6 이하의 DOP 수치는 안정적인 배치를 의미한다. 특히 3 이하의 DOP 수치는 측위를 하는 데 있어서 이상적인 수치로 알려져 있다<sup>9)</sup>.

그림 5는 첫 번째 모의실험의 결과로 공중노드와 새로운 참조노드 간 DOP를 나타내고 있다. 이번 모의실험 결과로부터 6 km 반경의 DOP 수치가 3 이하인 것을 확인할 수 있었다. 모의실험을 진행하는 데 있어서 6 km 반경을 사용할 경우 합리적인 DOP가 보장된다는 것이다. 이를 바탕으로 이 후의 모의실험에서는 6km 반경 환경에서 공중노드의 위치 품질 및 새로운 참조노드 수에 따른 제안 기법의 성능을 분석하였다.

다음으로 초기 공중노드의 위치품질이 제안 기법의 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 모의실험을 진행하였다. 그림 6은 제안 기법 초기단계에서 4 기의 공중노드 위치 품질을 동일하게 증가에 따른 제안 기법의 성능이다. 이 모의실험의 결과로부터 초기 공중노드의 위치 품질이 높을수록 제안 기법의 성능이 좋아짐을 확인할 수 있었다. 하지만 12 이하의 위치 품질

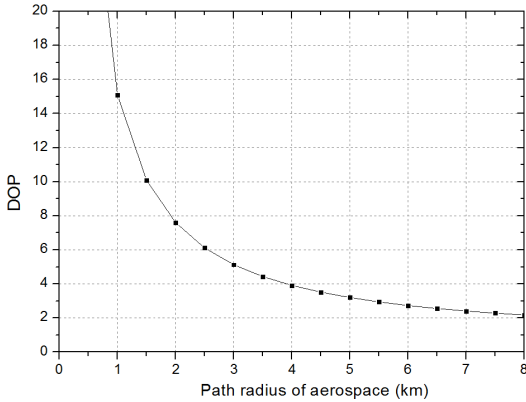


그림 5. 공중 노드로부터 새로운 참조노드로의 DOP  
Fig. 5. DOP from aerospace nodes to new reference on the ground

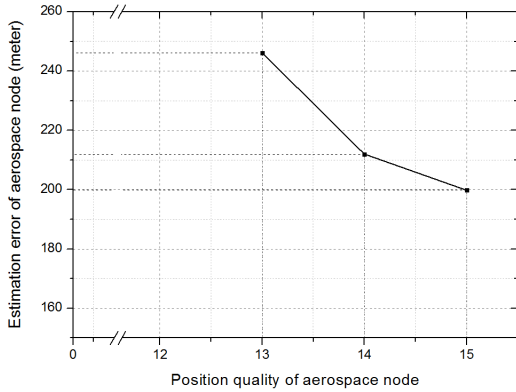


그림 6. 공중 노드 위치 품질에 따른 추정 오차  
Fig. 6. Estimation error according to the position quality of aerospace node

질을 가지는 공중노드의 경우 큰 초기 위치 오차에 의해 제안기법에 활용될 수 없음을 확인할 수 있었다. 이는 제안 기법에서 공중노드가 참조노드로부터 PPLI 메시지를 수신하여 측위하기 때문에 초기의 공중노드 오차가 야기하는 새로운 참조노드의 위치 오차 증가로 인한 공중노드의 위치 품질이 떨어지기 때문이다.

다음으로 새로운 참조노드 수가 제안 기법의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 모의실험을 진행하였다. 그림 7은 동일한 위치 품질을 가지는 4 개의 공중노드의 측위오차를 새로운 참조노드 수에 따른 제안 기법의 성능을 나타내는 결과이다. 공중노드의 위치 품질은 두 번째 모의실험으로부터 확인한 결과 중 최악의 경우인 13을 사용하였다. 이는 제안기법이 동작할 수 있는 최악의 조건에서 성능을 확인하기 위함이다. 이번 모의실험 결과로부터 참조노드의 수가 4 기와 비교하여 5 기에서 제안 기법의 성능이 우수함

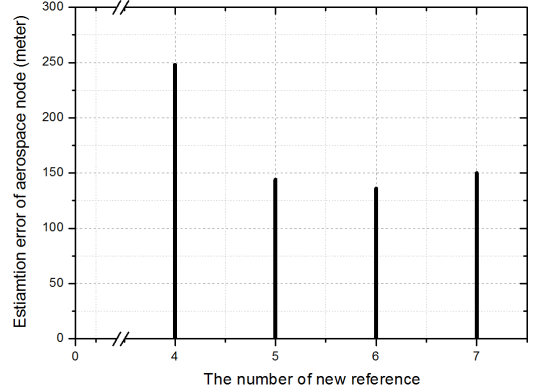


그림 7. 새로운 참조노드에 따른 추정 오차  
Fig. 7. Estimation error according to the number of new references

을 확인할 수 있다. 하지만 5 기 이상의 참조 노드 수는 비슷한 성능을 보임을 확인하였다. 이는 제안 기법에서 사용하는 위치 추정 기법이 5 기 이상의 참조노드로부터 계산한 의사거리의 성능에 영향을 미치지 않고 5 기의 참조노드가 충분하다는 것을 알려준다.

이번 모의실험은 최악의 경우의 위치 품질을 가지는 공중노드에서 제안 기법의 활용 가능성을 확인하고 성능을 기존 GRU 부재 환경에서 INS에 의존하는 측위의 성능과 비교하기 위해 진행하였다. 즉 4 개의 공중노드 위치 품질이 13 인 환경에서 기존의 GRU 부재 환경과 제안 기법에 의한 성능을 비교하였다. 또한 새로운 참조노드의 이동성은 정지한 경우와 0 ~ 60 km의 속도를 가지는 경우를 가정하였다.

새로운 참조노드가 정지한 경우 공중노드 측위 오차는 시간에 영향을 받지 않고 일정하다. 이는 참조노드의 오차가 초기 측위 단계 이후 일정하기 때문이다.

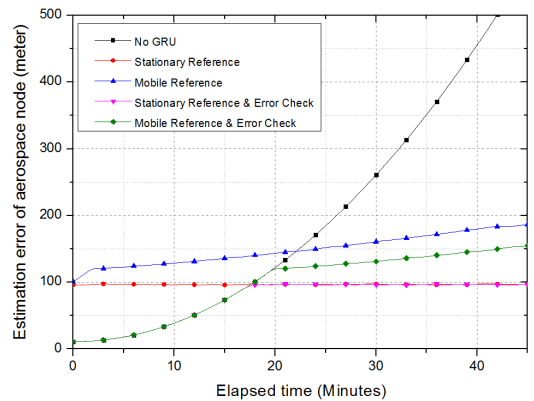


그림 8. 경과 시간에 따른 제안기법의 추정 오차  
Fig. 8. Estimation error of the proposed scheme by the elapsed time

하지만 이동성을 가지는 참조노드의 경우 시간에 따라 공중노드의 측위 오차가 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 시간에 따른 참조노드의 INS 누적 오차에 의해 위치 정확도가 낮아지기 때문이다. 하지만 기존 기법에 비해 현저하게 오차가 낮음을 확인할 수 있었다. 이 결과는 INS의 특성상 누적 오차는 속도에 비례하는데 낮은 속도를 가지는 새로운 참조노드를 활용하여 발생하는 오차를 줄였기 때문이다.

하지만 초기에 제안 기법에 의한 측위 값을 사용할 경우 20 분 이내의 측위 오차는 기존의 오차보다 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 단점을 해결하기 위해 공중노드는 INS에 의해 누적되는 오차와 제안 기법에 의한 측위 오차를 비교한다. 공중노드는 제안 기법에 의한 측위 오차가 INS에 의한 누적 오차와 비교하여 그 오차 크기가 작을 때는 기존의 INS에 의존하는 측위, 이 후 제안 기법을 활용한다면 실제 환경에서 더 우수한 성능을 가지고 충분히 활용 가능함을 확인하였다.

마지막으로 INS가 존재하지 않아 측위가 불가능한 지상노드를 제안기법에 의해 지속적으로 측위 할 수 있는지를 확인하였다. 공중노드의 위치 정확도와 새로운 참조노드의 속도를 변화하면서 모의실험을 진행하였고 제안기법이 적용되고 한 시간 경과 후의 지상노드의 위치 오차를 확인하였다.

한 시간 경과 후 공중노드로부터 측위 한 지상노드의 위치 오차는 총 4 개의 경우 아래의 그림 9와 같았다. 그 중 모든 공중노드의 위치정확도가 13인 최악의 경우에 새로운 참조노드가 0 ~ 20 km/h의 속도를 가진다면 한 시간이 지난 시점에서 공중노드로부터 지상노드를 측위해도 100 m 이내의 지상노드 위치 오차

가 발생함을 확인할 수 있었다. 하지만 새로운 참조노드의 최대 속도가 20 km/h 가 초과할 경우 새로운 참조노드에서 발생하는 누적 오차가 커서 공중노드의 측위 오차가 증가하게 된다. 또한 공중노드의 측위 오차 증가로 인하여 지상노드의 위치 오차가 증가하게 되므로 지상노드에 많은 오차가 발생하여 측위가 불가능함을 확인하였다. 하지만 중대 혹은 대대 단위의 그룹 내에서 새로운 참조노드 선정하게 된다면 20 km/h 이하의 지상노드를 선정하는 것은 일반적이므로 충분히 활용가능하다고 할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 GPS 보조항법인 상대항법에서 GRU 부재가 야기하는 INS 의존 측위를 대체할 수 방안을 제시하였다. INS 의존 측위는 시간이 지남에 따라 누적되는 오차로 인해 정확한 측위를 불가능하게 한다. 하지만 상대항법은 다른 항체들을 기준으로 자신의 위치를 추정하는 항법이기 때문에 각 항체의 위치 정확도가 매우 중요하다. 제안 기법은 LOS가 보장되는 지상노드 중 정지하거나 속도가 느린 일부를 GRU 역할을 할 수 있게 새로운 참조노드로 선정하여 공중노드가 INS 의존 측위를 하지 않도록 한다. 모의 실험으로부터 기존 GRU 없는 환경에 비해 제안 기법의 성능이 우수함을 확인하였다. 제안 기법에서 사용한 새로운 참조노드 선정은 군 환경에서의 상대항법에서만 적용되지 않고 더 나아가 INS에 의존 측위하는 공중노드가 지상에 통신 가능한 노드가 보장될 때 쉽게 적용될 수 있을 것으로 예측된다.

### References

- [1] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, *Understanding GPS Principles and Applications*, 2nd Ed., Artech House, 2006.
- [2] S. Nassar, *Improving the Inertial Navigation System(INS) Error Model for INS and INS/DGPS Applications*, GEOMATICS ENG., Nov. 2003.
- [3] S. Kim, "Link-16 : Mechanism for identifying precise position and friendly or foe," *AEROSPACE & DEFENSE*, pp. 42-47, 2008.
- [4] W. R. Fried, "Principles and simulation of JTIDS relative navigation," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, AES-14,

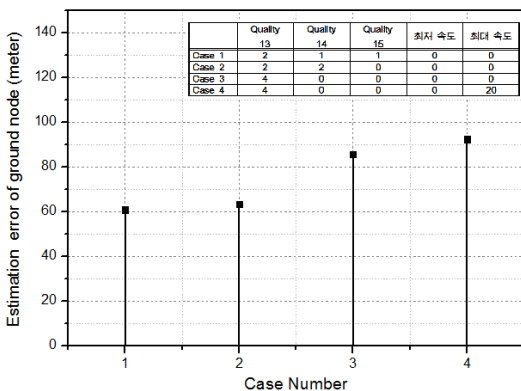


그림 9. 한 시간 경과 후 INS가 없는 지상노드의 위치오차  
Fig. 9. Estimation error of ground nodes without INS after one hour

pp. 76-84, Jan. 1978.

- [5] SyntheSys, *An Introduction to JTIDS/MIDS LINK 16*, Systems Engineers Ltd., pp. 69-78, Apr. 2010.
- [6] W. S. Widnall and G. F. Gobbini, "Stability of the decentralized estimation in the JTIDS relative navigation," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Syst.*, AES-19, pp. 240-249, Mar. 1983.
- [7] H. Baek, J. Lim, J. Koo, J. Jin, P. Chun, and I. Oh, "Reliable dynamic TDMA scheme with new packing method for image transmission over Link-16," *J. KICS*, vol. 37C, pp. 1045-1053, Nov. 2012.
- [8] H. H. Choi, W. S. Shim, S. L. Cho, Y. H. Han, C. Park, and S. J. Lee, "Implementation of a performance evaluation platform for relative navigation and its application to performance improvements," *J. ICRS*, vol. 18, no. 5, pp. 426-432, 2012.
- [9] J. D. Bard and F. M. Ham, "Time difference of arrival dilution of precision and applications," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 47, no. 2, pp. 521-523, Feb. 1999.
- [10] J. Baek, S. Yoo, and S. Y. Kim, "A comparison of  $C/N_0$  estimation techniques for commercial GPS receivers under jamming environments," *J. KICS*, vol. 38A, pp. 973-975, 2013.
- [11] K. Kim, "Analysis of anti-jamming techniques for satellite navigation systems," *J. KICS*, vol. 38C, pp. 1216-1227, 2013.

김기형 (Ki-hyoung Kim)



2015년 2월 : 아주대학교 컴퓨터공학 학사  
 2015년 3월~현재 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학 석사과정  
 <관심분야> 측위, GPS 재밍

이규만 (Kyu-man Lee)



2011년 2월 : 아주대학교 전자공학 학사  
 2011년 3월~현재 : 아주대학교 일반대학원 컴퓨터공학 석박사통합과정  
 <관심분야> 위치인식, 신호원 추적, 전술데이터링크

임재성 (Jae-sung Lim)



1983년 2월 : 아주대학교 전자공학 학사  
 1985년 2월 : KAIST 영상통신 석사  
 1994년 8월 : KAIST 디지털통신 박사  
 1998년 3월~현재 : 아주대학교 소프트웨어융합학과 정교수  
 2004년 3월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장  
 <관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신