

무인 지상 차량 네트워크에서 GPS 재밍에 강인한 위치기반 라우팅

이진우¹⁾ · 정우성²⁾ · 김용주³⁾ · 고영배^{*,2)} · 함재현⁴⁾ · 최증원⁴⁾

¹⁾ 아주대학교 NCW학과

²⁾ 아주대학교 컴퓨터공학과

³⁾ 아주대학교 소프트웨어특성화학과

⁴⁾ 국방과학연구소

GPS Jamming Resilient Location-based Routing for Unmanned Ground Vehicle Networks

Jinwoo Lee¹⁾ · Woo-Sung Jung²⁾ · Yong-joo Kim³⁾ · Young-Bae Ko^{*,2)} ·
Jae-Hyun Ham⁴⁾ · Jeung-Won Choi⁴⁾

¹⁾ *Department of Network Centric Warfare Engineering, Ajou University, Korea*

²⁾ *Department of Computer Engineering, Ajou University, Korea*

³⁾ *Department of Software Engineering, Ajou University, Korea*

⁴⁾ *Agency for Defense Development, Korea*

(Received 7 January 2014 / Revised 1 June 2015 / Accepted 3 July 2015)

ABSTRACT

UGVs(Unmanned Ground Vehicles) are robots that can substitute humans in reconnaissance operations of potentially dangerous and contaminated sites. Currently, there have been active research on utilizing UGVs in military environments. Much research has been focused on exploiting the weakness of topology-based routing and instead utilize location-based routing for the networking of UGVs. It is generally assumed that location-based routing methods can fully utilize the location information gained from GPS. However, this may not be possible in tactical environments due to enemy GPS jamming and LOS(Line of Sight) limitations. To solve this problem, we propose a location-based routing scheme utilizing low control message that can calibrate the location information using GPS information as well as location of neighboring UGV, movement direct and speed information. Also utilizing topology-based routing scheme to solve incorrect location information in GPS jamming region.

Key Words : UGV(무인 지상 차량), GPS Jamming(GPS 재밍), Location-based Routing(위치기반 라우팅)

* Corresponding author, E-mail: youngko@ajou.ac.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

1. 서론

다양하고 복잡한 미래 전장 환경에서 부여된 임무를 효과적으로 달성하기 위해 유인체계와 무인체계를 통합 운용하는 것이 필요하다. 무인체계를 활용하여 유인체계의 임무 활동이 제한되는 작전 지역에서 지속적으로 임무를 수행함으로써 작전 연속성을 향상시킬 수 있으며 적은 수의 무인체계를 운용하더라도 효과적으로 임무수행이 가능하기 때문이다. 이러한 무인체계에 관한 연구·개발의 대표적 국가인 미군은 이라크 및 아프간 전쟁을 통해 장병의 생존성 보장과 인명피해 방지에 기여한 무인체계를 지속적으로 개발하고 있으며 최근 국내에서는 “무인·로봇 등을 활용한 신무기체계 투자 확대”가 국정과제로 포함되면서 무인체계 기술개발에 대한 관심이 증대되고 있다^[1]. 이러한 무인체계 중 지상 작전간 원격제어 또는 자율 기동에 의해 사람이 직접 탑승하여 조정하지 않아도 감시 및 정찰, 표적 획득, 지뢰제거 등을 수행 할 수 있는 무인 지상 차량(UGV : Unmanned Ground Vehicle) 향상을 위한 연구들이 수행되고 있다^[2].

다수의 UGV와 이를 조정 및 통제하는 중앙관제센터(CCS : Central Control Station)로 구성된 UGV 네트워크에서 정보 유통을 위한 라우팅 경로 구성을 위해 UGV간 링크정보를 활용하는 토폴로지 기반 라우팅 기법에 관한 연구 및 개발이 추진되었다^[3]. 하지만 토폴로지 라우팅 기법은 지속적으로 네트워크 정보를 최신화하기 위한 컨트롤 오버헤드가 증가되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 각각의 UGV가 GPS(Global Positioning System)를 통해 획득한 위치 정보를 활용하여 라우팅 경로를 구성하는 위치기반 라우팅 기법에 관한 연구가 진행되고 있다^[4]. 하지만 대부분의 위치기반 라우팅에 관한 연구에서 GPS를 통해 위치정보를 100 % 수신 할 수 있다고 가정한다. 그러나 예기치 않는 GPS 재밍(Jamming), GPS 위성과 GPS 수신 장비 간 가시선(LOS : Line-of-Sight) 통신 미보장 등의 다양한 전장 상황에서 GPS 정보를 활용 할 수 없을 경우 위치기반 라우팅 성능이 감소되는 문제점이 발생한다.

본 논문은 이러한 GPS 재밍 문제를 해결하기 위해 GPS 재밍을 인지하고 GPS 재밍시 GPS 재밍 지역 내 안정적인 라우팅 경로 유지를 위해 토폴로지 라우팅을 구성하는 방법에 관해 제안한다. 또한 불필요한 컨트롤 오버헤드를 감소시키기 위해 위치정보 교환을 위한

Hello 메시지 발생 주기를 UGV의 이동성에 따라 조정한다. 제안기법은 OPNET 시뮬레이터를 통해 기존 GPS 위치기반 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing) 기법^[5]과 UGV 이동속도에 따른 패킷 전송 성공률, 패킷 전달 지연, 컨트롤 오버헤드의 성능을 비교한다.

2. 관련 연구 및 문제 정의

2.1 관련 연구

UGV가 획득한 감시 및 정찰 데이터는 최적의 라우팅 경로를 통해 중앙관제센터로 전달되어야 한다. 이를 위해 UGV 네트워크에서 GPS에서 수신된 위치정보를 활용하여 위치기반 라우팅 기법 적용할 경우 토폴로지 라우팅 기법과 같은 불필요한 컨트롤 오버헤드를 줄일 수 있다. 이러한 위치기반 라우팅 기법은 GPS 정보를 바탕으로 라우팅 경로를 구성하는 GPS 위치기반 라우팅 기법과 GPS 정보 없이 이웃 노드의 상대 위치를 활용하는 GPS-free 라우팅 기법이 있다.

GPS 위치기반 라우팅 기법 중 하나인 GPSR^[5]은 위치 정보를 활용하여 데이터를 전송할 때 목적지 노드와 가장 가까운 노드에게 데이터를 전달하는 Greedy Forwarding 방식의 라우팅 기법이다. 이를 위해 주기적으로 모든 노드는 1홉의 이웃 노드들과 위치 정보를 주고받으며 수신한 위치 정보를 활용하여 이웃 노드들은 위치정보 테이블을 생성한다. 하지만, GPSR은 GPS 재머 운용 시 위치정보의 오류로 인해 목적지까지 최적의 라우팅 경로 설정이 제한되어 네트워크 성능이 감소되는 문제점이 있다. 이러한 GPS 위치기반 라우팅 기법의 GPS 위치정보 수신 제한 시 발생하는 문제점을 인식하고 GPS 정보 없이 노드간의 상대위치를 활용하는 GPS-free 위치기반 라우팅 기법이 제안되었다^[6,7]. 하지만 대표 노드를 기준으로 상대위치를 추정하여 각각의 UGV가 이동성을 가지는 UGV 네트워크에서 대표 노드가 이동하거나 이상 발생시 대표 노드를 재선출하고 상대위치를 재추정하게 되어 네트워크 성능이 저하되는 문제점이 발생한다.

2.2 문제 정의

위치기반 라우팅 기법은 위치 정보의 신뢰성이 네트워크 성능을 결정하는 중요한 요소이지만 위치 정보 교환에 많은 노력이 요구되며, GPS 재머에 의해서 GPS 위치 정보의 신뢰성이 저하될 수 있다. GPS 재

머는 GPS 수신 세기보다 강한 신호를 발생시키는 일반적인 재머와 GPS 신호 정보를 왜곡하여 GPS 수신 장비가 잘못된 위치와 시간을 획득하게 하는 GPS 기만(Spoofing) 재머가 있다. GPS 기만 재머는 휴대용으로 운용이 가능하며 기존 GPS 신호 세기와 유사한 -160 dBm 출력으로 운용된다. GPS 기만 재머가 전송한 잘못된 GPS 정보를 UGV가 수신함에 따라 위치정보를 기반으로 정보를 분석 및 판단하는 군 작전환경에서 감시 및 정찰 정보에 대한 신뢰성이 감소된다. 또한 GPS 좌표를 기반으로 중앙관제센터에서 모니터링 되고 있는 UGV의 잘못된 위치에 의해 중앙관제센터가 UGV를 조정 및 통제 시 문제점이 발생한다.

Fig. 1는 GPS 기만 재머가 U4(4번 UGV)의 위치정보를 재밍하여 U4' 위치정보로 변경 될 때 발생 할 수 있는 문제점을 나타낸다. 기존 U5와 U6이 U4→U1을 경유하여 중앙관제센터까지 3홉(Hop)으로 전송하던 데이터를 GPS 기만 재머에 의해 기존 U4의 위치정보가 아닌 U4'의 위치정보를 이용하여 라우팅 경로를 구성함으로써 중앙관제센터까지 전달하는 홉 수가 증가되어 불필요한 지연이 발생된다. 만약 U4의 위치가 GPS 기만 재머에 의해 U4" 위치로 변경되는 경우 U4와 U5, U6가 실제 통신이 가능한 거리에 있음에도 불구하고 GPS 정보가 기만된 U4'의 위치에 의해 네트워크 분리(Network Partition)로 인식하여 U4, U5, U6의 데이터 전달이 불가능한 문제점이 발생한다. 또한 UGV 네트워크에서 중요 경로인 U1이 GPS 기만 재머에 의해 U1' 위치로 인식되게 되면 전체 UGV 네트워크의 성능이 감소된다. 이러한 GPS 재머에 의한 위치정보의 이상 발생시 네트워크 성능 저하 문제를 해결하기 위한 위치기반 라우팅 기법이 필요하다.

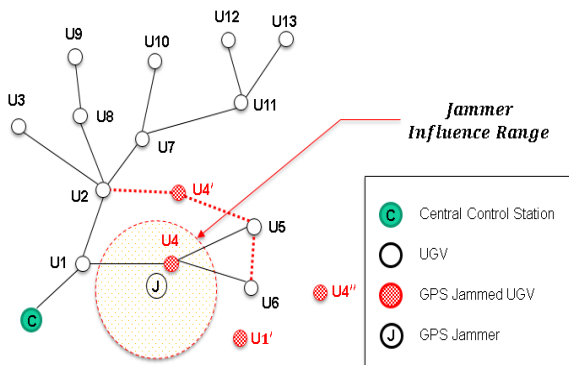


Fig. 1. GPS spoofing jamming effect in UGV networks

3. 제안 기법

본 제안 기법은 위치기반 라우팅에서 효율적인 위치 정보 교환을 위한 1) Hello 메시지 주기 결정 방법을 제안하고, GPS 재머에 의한 성능 저하 문제를 해결하기 위한 2) GPS 재밍 인지, 3) GPS 재밍 극복 기술을 제시한다.

3.1 Hello 메시지 주기 결정

위치기반 라우팅 경로를 구성하기 위해 각각의 UGV는 확장된 Hello 메시지를 통해 GPS로부터 획득한 위치정보(x, y)를 1홉의 이웃 UGV와 주고받으며 GPS 재밍시 재밍 메시지를 전파한다. Hello 메시지를 수신한 UGV는 위치정보 테이블을 유지하고 이웃 UGV의 위치정보와 중앙관제센터 위치정보를 바탕으로 자신의 위치와 중앙관제센터까지의 거리가 최소가 되는 이웃 UGV를 설정한다. 이때 3번의 Hello 메시지 전송 주기 동안 Hello 메시지가 수신되지 않는 UGV는 테이블에서 삭제한다.

$$Hello \cap val \ time = Min \left[\frac{d_t - dist(s, r_i)}{|\vec{vr}_i - \vec{vs}|} \right], \forall_i \in R \quad (1)$$

네트워크 성능 저하를 최소화하기 위해 Hello 메시지 전송 주기(Hello Interval Time)에 대한 고려가 필요하다. 이를 위해 이웃 노드의 이동성에 따라 (1)번 수식을 통해 적응적으로 Hello 메시지 전송 주기를 결정한다. Hello 메시지 전송주기는 UGV의 최대 전송거리(d_t)에 송신 UGV(s)과 이웃 UGV(r_i) 거리($dist(s, r_i)$)의 차이 값에 이웃 UGV(r_i) 벡터 값과 송신 UGV(s) 벡터 값의 차($\vec{vr}_i - \vec{vs}$)로 나눈 값이다. 자신과 이웃한 모든 UGV와 계산 과정을 반복하고 최솟값으로 Hello 메시지 전송 주기를 결정한다. 이는 통신 범위에서 벗어날 확률이 높을수록 주기가 짧아지는 것을 의미한다. 단, 계산 결과 값이 기본 Hello 메시지 주기(2초^[8])보다 짧은 경우 기본 주기로 설정함으로써 오버헤드가 추가되지 않도록 한다. 반대로 두 노드간의 속도가 비슷하여 메시지 교환 주기가 너무 길어지는 것을 방지하기 위해서 통신 거리 대비 최대 이동 속도의 값으로 메시지 교환 주기의 값을 제한할 수 있다. 이 기법을 통해 이용하는 UGV가 Hello 메시지 전송 주기 동안 자신의 전송범위를 벗어나지 않으면 Hello 메시지를 전

송하지 않으며 UGV의 이동 속도 변화에 따라 적응적으로 Hello 메시지 전송 주기를 변화시켜 위치정보 교환을 위한 불필요한 컨트롤 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

3.2 GPS 재밍 인지

GPS 신호 수신 제한은 UGV가 위치정보를 수신하지 못해 즉각 인지 할 수 있다. 하지만 GPS 기만 재머는 GPS 신호와 유사한 신호 세기로 UGV가 현재 위치하고 있지 않는 위치정보를 전송하기 때문에 GPS 기만 재밍을 인지 할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해 각각의 UGV는 GPS 수신 신호세기가 측정 가능하고 최대 전송 가능한 범위를 인지한다고 가정한다.

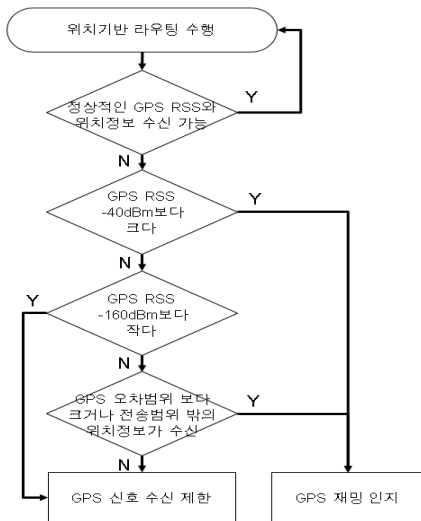


Fig. 2. GPS jamming recognition procedure

위치기반 라우팅 운용 간 수신된 GPS 신호세기(RSS : Received Signal Strength)가 -130 ~ -160 dBm을 벗어나는 비정상적인 신호세기^[9]가 수신되거나 UGV에게 전송된 위치정보가 자신의 전송범위를 넘어서는 위치정보가 수신될 경우 Fig. 2와 같은 GPS 재밍 인지 절차를 수행한다. 일반적인 GPS 신호보다 강한 신호로 정상적인 GPS 정보를 수신하지 못하게 하는 GPS 재머에 의한 GPS 신호 세기는 -40 dBm 수준으로 이보다 높은 신호가 수신 될 경우 해당 UGV는 GPS 재밍으로 판단하고, GPS 신호 세기가 -160 dBm의 값보다 작은 경우에 해당 UGV는 GPS 신호 수신 제한 지역으로 판단한다. GPS 신호 세기와 유사한 신호 세기로 운용되

는 GPS 기만 재머를 식별하기 위해 이전 위치정보에서 자신의 이동속도와 방향, 시간을 고려하여 전송거리 밖의 이웃 UGV의 위치정보가 수신되거나 현 위치정보가 일정 오차를 벗어나는 경우 UGV는 GPS 기만 재머 지역 내에 위치하고 있다고 판단한다.

3.3 GPS 재밍 극복을 위한 위치기반 라우팅

3.3.1 위치 정보 보정

GPS 재밍의 문제점을 해결하기 위해 Fig. 3과 같은 알고리즘을 제안한다. GPS 재밍 지역 내에 있는 UGV는 GPS 재밍 인지시 위치정보를 보정하고 GPS 재밍 메시지에 포함하여 중앙관제센터까지 전파한다. 이후 GPS 재밍 지역 내 토폴로지 기반 라우팅 경로 구성절차에 의해 라우팅 경로를 구성하고 데이터를 전송한다. GPS 신호 수신 제한인 경우에도 동일한 절차를 수행하며, GPS 재밍 정보만 전파하지 않는다.

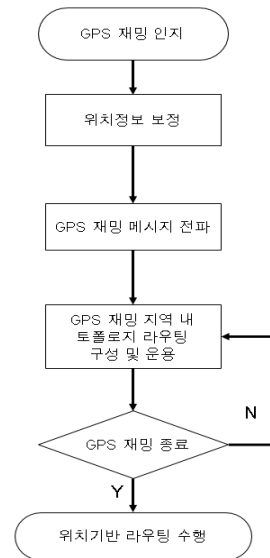


Fig. 3. Location-based routing procedure in GPS jamming

$$Traj(\hat{L}_k, \hat{v}) = \begin{cases} \hat{x}_k = \hat{x}_t + \hat{v}l \cdot \cos(\theta_t + (k-t)\varphi_t) \\ \hat{y}_k = \hat{y}_t + \hat{v}l \cdot \sin(\theta_t + (k-t)\varphi_t) \end{cases} \quad (2)$$

GPS 재밍 지역 내에 위치한 UGV는 GPS 재밍을 인지한 뒤 위치정보 보정을 위해 UGV의 평균 이동속도(\hat{v})와 이동 궤적 정보(\hat{L}_k)를 활용한다. 최근 GPS 위치

좌표를 통해서 도출된 이동 궤적 \hat{L}_{t-1} , \hat{L}_t , 예상속도 (\hat{v})와 위치정보 갱신 주기(t)를 기반으로 (2)번 수식과 같이 파티클 필터링을 통해 이동 궤적의 추정을 수행한다^[10]. 수식 (2)를 통해서 도출된 궤적 정보를 토대로 현 위치정보를 보정함으로써, GPS 재밍 상황에서도 위치정보를 활용할 수 있도록 한다. 하지만 보정된 위치정보는 예측에 의한 오차 가능성과 GPS 재밍 지역 내에서 시간에 따라 오차가 누적되는 문제점이 있어 보정된 위치정보는 위치기반 라우팅을 위한 정보로 활용되지는 않으며 GPS 재밍 지역 추정 및 UGV를 조정 통제하기 위한 위치 정보로 활용된다.

3.3.2 GPS 재밍 메시지 전파

GPS 재밍을 인지한 UGV는 재밍 메시지(Jammed Message) 전파를 위해 Hello 메시지에 재밍 인지 정보를 포함하고 Hello 메시지 주기에 맞춰 브로드캐스팅 방식으로 전파한다. 전파된 재밍 메시지는 재밍 지역 외부의 1홉 UGV까지 브로드캐스팅 방식으로 전파되고 이를 수신한 재밍 지역 외부의 UGV는 중복되는 재밍 메시지를 제거하고 중복되지 않는 재밍 메시지를 중앙관제센터까지 전파한다. 이때 재밍 지역 외부의 UGV 중 중앙관제센터까지 전달할 UGV가 재밍 지역 내의 UGV만 있는 경우 더 이상 전달하지 않는다. 이에 따라 재밍 메시지 전달 범위에 포함되지 않는 UGV는 재밍 메시지를 수신 받지 못한다. 이를 통해 불필요한 재밍 메시지 전송을 제한 할 수 있으며 재밍 메시지를 통해 재밍 지역 이웃에 위치하는 UGV들이 GPS 재밍 지역을 인지 할 수 있다. 또한 중앙관제센터는 수신한 재밍 메시지를 활용하여 UGV의 정찰 및 감시 구역 지정시 재밍 지역을 회피하여 운용 할 수 있는 정보로 활용 할 수 있다.

Fig. 4는 U1이 GPS 재밍을 인지 후 Hello 메시지에 자신의 재밍 인지 정보를 포함하여 GPS 재밍 메시지를 중앙관제센터까지 전파하는 절차를 나타낸다.

U1은 재밍 메시지를 Hello 주기에 맞춰 1홉의 U2, U3, U4, U5에게 브로드캐스팅 한다. 재밍 메시지를 전달받은 GPS 재밍 지역 내부의 U2, U3, U4, U5는 재밍 메시지를 다시 이웃 UGV들에게 브로드캐스팅 하며 각각의 UGV는 중복되는 재밍 메시지를 제거하고 반복적인 절차에 의해 재밍 외부의 U10, U11, U13, U16까지 재밍 메시지를 브로드캐스팅 방식으로 전파한다. U11, U13, U16는 중앙관제센터까지 전달하기 위한 다음 전달 UGV가 GPS 재밍 UGV이므로 재밍 메시지를

더 이상 전달하지 않으며 U10은 중복된 재밍 메시지를 제거하고 중앙관제센터까지 재밍 메시지를 전달한다. GPS 재밍 지역 내 U2 ~ U8도 동일한 절차에 의해 재밍 메시지를 재밍 지역 외부의 UGV까지 브로드캐스팅 방식으로 전파한다.

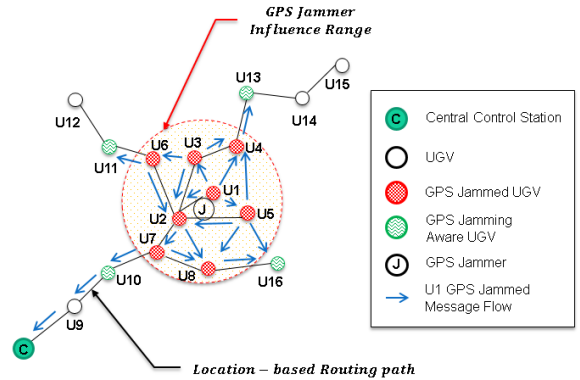


Fig. 4. Example of GPS jammed message notification

3.3.3 GPS 재밍 지역 내 토폴로지 라우팅 구성

GPS 재밍 지역 내부의 UGV는 GPS 재밍에 의해 위치정보의 신뢰성을 보장받지 못한다. 이에 따라 GPS의 위치 정보를 활용 하지 않고 자체 보정한 위치정보를 활용 수 있다. 하지만 보정한 위치정보는 시간에 따라 오차가 누적되어 부정확한 보정된 위치정보를 활용하여 위치기반 라우팅을 운용하게 되면 신뢰성 있는 라우팅 경로 구성이 제한된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 GPS 재밍 지역 내부의 UGV들이 보정된 위치정보를 이웃 UGV에게 전달하고 전달할 데이터가 있는 경우 토폴로지 기반 라우팅 경로를 구성한다. 단, GPS 재밍 지역 외부의 UGV는 GPS 신호 수신에 문제가 없으므로 토폴로지 라우팅을 구성하지 않으며 기존 위치기반 라우팅을 지속 운용하고, GPS 재밍 지역 내 UGV는 GPS 재밍이 종료되면 기존 위치기반 라우팅으로 운용된다.

토폴로지 기반 라우팅 경로 구성을 위한 경로요청 (RREQ), 경로응답(RREP)의 메시지 발생량을 줄이기 위해 중앙관제센터에서 UGV를 조정 및 통제하기 위해 전송되는 통제 메시지를 활용한다. 통제 메시지에는 중앙관제센터와 목적지 UGV의 ID와 위치정보, 목적지 UGV의 이동방향 및 속도, 홉 수가 포함되어있다. 중앙관제센터가 전송한 통제 메시지는 UGV에 의해 기존 위치기반 라우팅 경로를 이용하여 목적지 UGV

까지 전달된다. 이때 목적지 UGV는 전달받은 통제 메시지의 역 경로를 이용하여 토폴로지 라우팅 경로를 구성한다. 또한 통제 메시지 수신 목적지 UGV가 아니라도 전송 범위 내 주변 UGV는 **Overhearing**을 통해 목적지 중앙관제센터까지 전달을 위한 이웃 UGV를 인지하고 토폴로지 경로를 구성한다.

Fig. 5은 U5를 조정 및 통제하기 위한 통제 메시지를 활용한 토폴로지 라우팅 경로 구성 절차를 나타낸다. U5까지 통제 메시지를 전달 할 수 있는 라우팅 경로가 존재하는 경우 기존 라우팅 경로를 이용하여 중앙관제센터가 U9→U10→U7→U2 경로를 거쳐 U5에게 통제 메시지를 전달한다. 이때 U1과 U8은 통제 메시지의 목적지 UGV가 아니므로 통제 메시지를 직접 전송받지 못하지만 U7과, U2가 전송하는 통제 메시지의 송신자를 오버헤어링을 함으로써 중앙관제센터까지 전송 가능한 이웃 UGV로 U1은 U2로 U8은 U7로 각각 판단한다.

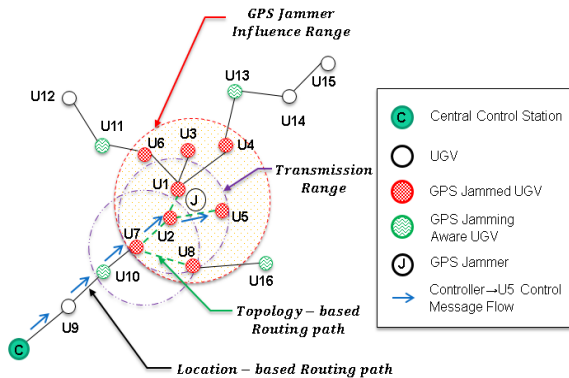


Fig. 5. Example of topology routing procedure using control message

GPS 재밍 지역 외부의 UGV가 GPS 재밍 지역 내부로 이동하는 경우 GPS 재밍 인지 및 GPS 재밍 지역 라우팅 경로 구성 절차에 따라 토폴로지 기반 라우팅 경로에 가입된다. 만약 GPS 재밍 지역으로 위치한 UGV가 전송하고자 하는 데이터가 있으나 전달 할 수 있는 라우팅 경로가 없는 경우 중앙관제센터까지 경로가 있는 UGV까지 RREQ를 브로드캐스팅하고 이를 수신한 UGV는 RREP를 최초 RREQ를 전달받은 최단 경로로 전송하며 이 경로를 따라 토폴로지 라우팅 경로를 구성한다. 안정적인 토폴로지 라우팅 경로를 유지하기 위해 주 경로가 이상 있을 경우 이를 대체 할 수

있는 예비 경로를 저장하고 활용한다.

Fig. 6은 U16이 GPS 재밍 지역 내로 이동한 뒤 전송하고자 하는 데이터가 있으나 전송 할 수 있는 라우팅 경로가 없는 경우 토폴로지 라우팅 경로 구성 절차를 나타낸다. U16은 RREQ를 이웃 UGV인 U3, U4에게 브로드캐스팅 하고 RREQ를 받은 U3, U4는 중앙관제센터까지의 라우팅 경로가 없으므로 다시 U3은 U1, U6에게, U4는 U13에게 RREQ를 브로드캐스팅 한다. 이때 U1은 중앙관제센터까지 라우팅 경로를 유지하고 있어 수신 경로의 최단 역 경로를 이용하여 RREP를 전송하고 이 정보를 수신한 U16은 구성된 토폴로지 경로로 데이터를 전송한다.

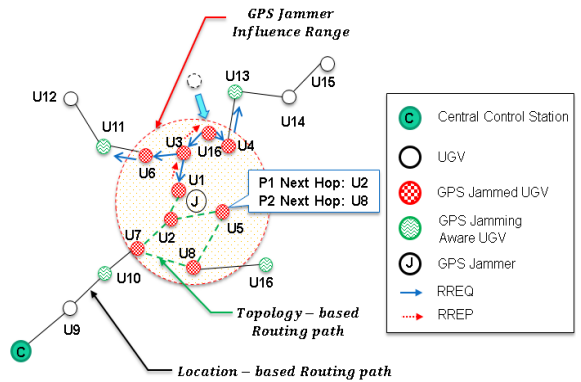


Fig. 6. Example of topology routing join procedure

GPS 재밍 지역 내부의 UGV가 GPS 재밍 지역 외부로 이동하는 경우 정상적인 GPS 위치정보에 의해 기존 위치기반 라우팅 경로에 가입되어 운용된다. 만약 재밍 UGV의 Hello 메시지만 수신되는 경우 기존 토폴로지 라우팅 경로를 유지한다.

4. 성능 평가

4.1 성능평가 환경

성능 검증을 위해 OPNET 시뮬레이터를 활용하였으며 시뮬레이션 환경은 Table 1과 같다. 10 km × 10 km 지역에 1개의 중앙관제센터와 24개의 UGV를 배치하였다. 이동 모델은 그룹으로 이동하는 UGV 특성을 고려하여 자율 이동 모델(Random Mobility)을 적용하지 않고 참조점 그룹 이동 모델(Reference Point Group Mobility)을 구현 및 적용하였다.

Table 2. Simulation environment

Simulator	OPNET 17.1.A
Topology Range	10 km × 10 km
Node Number	Controller 1 + UGV 24
Interface	IEEE 802.11n 2.4G 65 Mbps
Transmission Range	800 m
Jamming Range	1.5 km
Mobility Model	Reference Point Group
UGV Speed	1 ~ 5, 10, 20, 30 m/s
Application Type	[Video] 30 frames(350 × 240)/sec [Coordination and Control] 3 Kbyte/sec

각각의 UGV는 IEEE 802.11n 2.4 GHz 인터페이스를 운용하며 실제 UGV 운용 환경을 묘사하기 위해 IEEE 802.11n에 안테나 이득이 8 dB인 안테나를 가정하여 평균 전송 거리를 800 m로 설정하였다. GPS 재밍 영역은 휴대형 GPS 재머를 이용하여 기만신호를 생성하였으며, [11]과 유사한 1.5 km의 재밍 범위를 가정하였다. 실험은 100초간 실시하였으며 그룹 이동을 하는 UGV 중 임의의 3개 UGV에서 20초 이후 감시 및 정찰 영상 데이터를 중앙관제센터에게 전송하고 중앙관제센터는 임의의 4개 UGV에게 조정 및 통제 데이터를 전송한다. 기만 재머는 UGV와 중앙관제센터 사이에 운용되며 60초부터 재밍 영향 지역 내 UGV의 기존 GPS 좌표(x, y)에 초당 50 m 누적 오차의 영향을 미친다. GPS 기만 재머 운용시 패킷 전송 성공률과 지연, 컨트롤 메시지 총 발생량 결과를 보여주기 위해 GPSR 기법과 제안기법을 각 시뮬레이션 환경에 따라 10번의 시뮬레이션 수행 평균값을 그래프로 나타냈다.

4.2 성능평가 결과

Fig. 7은 UGV가 감시 및 정찰한 영상 패킷이 중앙관제센터에게 전송된 PDR 성능결과를 나타낸다. 제안 기법은 GPS 재밍 영향 지역에서 UGV의 이동 속도가 증가하더라도 UGV 운용간 평균 93 %의 PDR을 유지하였다. 하지만 기존 GPSR 기법은 GPS 재밍이 없는 환경에서 92 %의 PDR 성능을 보였지만 GPS 재밍 지

역에서 임무를 수행하는 동안 전체적인 PDR이 급격히 하락하여 최대 약 40 %까지 감소하였다. 이 결과는 기존 GPSR 기법에서 GPS 재밍에 의해 잘못된 위치정보 활용하여 영상 패킷을 전송함에 따라 최적의 라우팅 경로를 제공하지 못했기 때문이다.

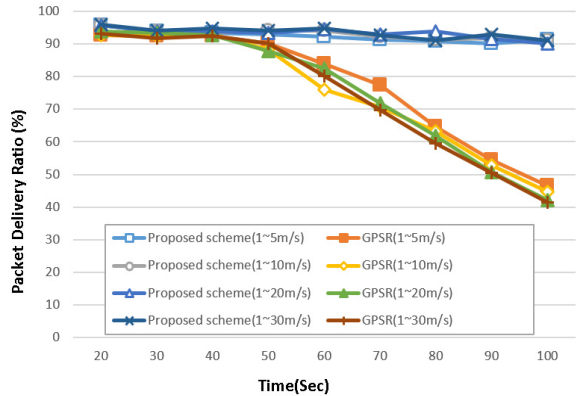


Fig. 7. Packet delivery ratio(Up link)

Fig. 8은 시간에 따른 영상 패킷 전달 지연의 성능결과를 나타낸다. 기존 GPSR은 GPS 재밍 지역에서 감시 및 정찰 임무를 수행함에 따라 60초 이후 전체적인 패킷 전달 지연시간이 증가하나 제안기법은 GPS재머가 운용되더라도 안정적인 영상 패킷 전달 지연시간을 유지하였다. 이 결과는 기존 GPSR 기법에서 GPS 재밍에 의해 위치정보의 이상 있는 경우 잘못된 위치정보를 활용하여 라우팅 경로를 구성함으로써 우회 경로를 활용하거나 라우팅 경로를 재구성하기 위한 경로 구성 시간이 추가적으로 소요되기 때문이다.

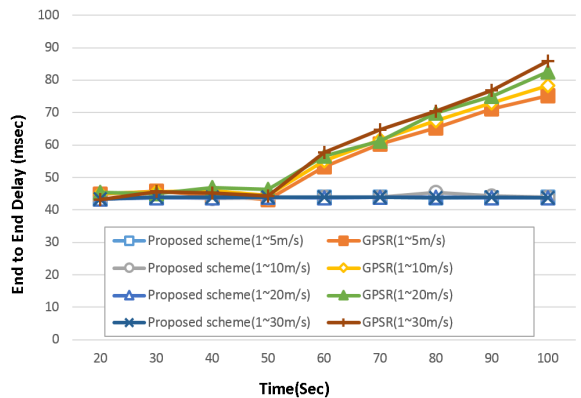


Fig. 8. Video packet transmission delay

Fig. 9는 중앙관제센터가 UGV를 조정 및 통제하기 위해 전송하는 패킷 전송 성공률을 UGV의 이동속도와 GPS 재머 수 증가에 따른 결과 나타낸다. 제안기법은 UGV의 이동속도와 GPS 재머 수가 증가하더라도 중앙관제센터가 UGV를 조정 및 통제하기 위한 PDR 성능이 100 % 유지되었으나 기존 GPSR 기법에서는 GPS 재밍 이후 잘못된 위치정보에 의한 경로 재구성에 의해 GPS의 재머 수가 증가함에 따라 PDR이 감소하였으며 1~5, 10 m/s의 저속으로 운용 될 때 GPS 재머의 영향에 더 오래 노출되어 1~20, 30 m/s로 이동할 때보다 더 낮은 PDR 성능을 보였다.

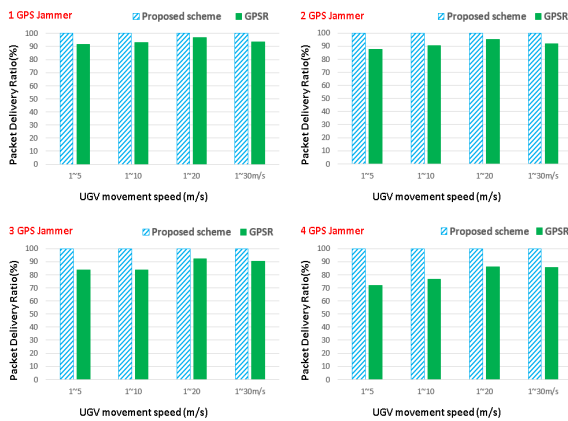


Fig. 9. Packet delivery ratio(Down link)

Fig. 10은 제안기법과 기존 GPSR 기법, 적응적 Hello 메시지 주기를 적용한 GPSR 기법에서 발생하는 컨트롤 메시지 총 발생량을 UGV의 이동 속도 증가에 따른 결과 값을 나타낸다. 기존 GPSR 라우팅 기법은 UGV의 이동 속도와 관련 없이 일정한 주기에 의해 Hello 메시지를 전달하여 UGV 이동 속도의 변화에 따라 컨트롤 메시지 수량은 변화가 없었다.

하지만 제안기법은 UGV 속도가 증가하더라도 기존 GPSR 기법과 비교하여 적은 양의 컨트롤 메시지를 전송하였으며 최대 약 67 %까지 감소된 컨트롤 메시지 총 발생량을 확인하였다. 이는 UGV의 통신 가능 거리, 이웃 노드간의 거리와 벡터 값을 고려하여 주기적으로 전송되는 Hello 메시지 주기를 적응적으로 변화시켜 적은 양의 컨트롤 메시지만 발생시켰기 때문이다. 기존 GPSR 기법에 적응적 Hello 메시지 주기를 적용하였을 경우 제안기법보다 전체적인 컨트롤 메시지 발생량이 약 13 % 정도 감소되는 것을 확인 할 수 있었다.

이는 제안기법에서 GPS 재머 극복을 위해 GPS 재밍 지역 내 토폴로지 라우팅 구성을 위한 RREQ, RREP 메시지를 추가 발생시켰기 때문이다.

시뮬레이션 결과를 통해 제안기법이 GPS 재밍 상황에서도 안정적인 패킷 전송 성공률과 패킷 전달 지연 시간을 유지하였다. 제안기법이 GPS 재밍시 컨트롤 메시지가 다소 증가하더라도 기존 GPSR 기법보다 안정적인 UGV 네트워크 성능을 유지함을 확인 하였다.

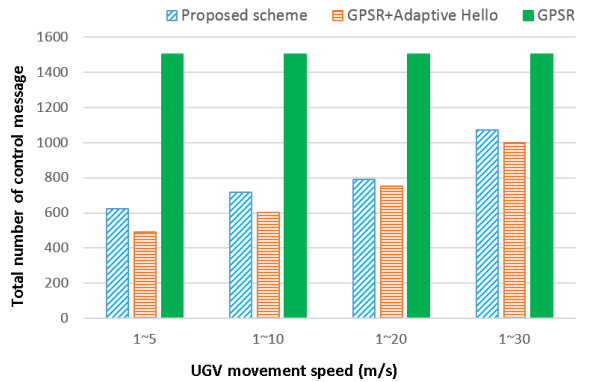


Fig. 10. Total number of hello messages

5. 결론

본 논문에서는 감시 및 정찰에 필요한 장비와 GPS를 보유하고 있는 UGV 네트워크에서 위치정보를 활용하여 라우팅 경로를 구성할 때 발생 가능한 GPS 재밍에서도 UGV 위치정보의 신뢰성을 향상 시킬 수 있는 방안을 제시했다. 이를 위해 GPS 재밍을 인지하고 재밍 지역 내 토폴로지 기반 라우팅 경로 구성하는 기법과 컨트롤 메시지 발생량을 줄이기 위해 적응적으로 Hello 메시지 전송 주기를 결정하는 기법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 제안 기법을 통해 안정적인 위치기반 라우팅 경로를 구성하고 GPS 재머가 운용되더라도 향상된 성능 결과를 얻어 제안기법의 우수성을 증명하였다.

후 기

본 논문은 국방과학연구소의 “그룹 무인로봇체계용 위치기반 전술 MANET 통신/제어 S/W 개발” 과제의

지원을 받아 수행된 연구임

References

- [1] H. S. Park, Y. Y. Park, J. E. Gye and J. O. Kim, "Current Status and Future Direction of the Military Robotic Technology," Korea Evaluation Institute Of Industrial Technology(KEIT), Vol. 14-2, pp. 37-44, Feb. 2014.
- [2] J. W. Lee, Y. B. Ko, "Position-based Routing for Unmanned Ground Robot Network," The Korea Institute of Military Science and Technology(KIMST), pp. 1755-1756, Jun. 2014.
- [3] Boeing, Adrian, et al. "WAMbot : Team MAGICian's Entry to the Multi Autonomous Ground-Robotic International Challenge 2010," Journal of Field Robotics 29.5: 707-728, 2012.
- [4] F. Cadger, K. Curran, J. Santos, and S. Moffett, "A Survey of Geographical Routing in Wireless Ad-Hoc Networks," Communications Surveys & Tutorials. IEEE, Vol. 15 No. 2, pp. 621-653, Jul. 2013.
- [5] Karp, Brad, and Hsiang-Tsung Kung, "GPSR : Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," The 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, ACM, 2000.
- [6] S. Čapkun, M. Hamdi, and J. P. Hubaux, "GPS-Free Positioning in Mobile Ad Hoc Networks," Cluster Computing, pp. 157-167, Apr. 2002.
- [7] F. Benbadis, T. Friedman, M. D. de Amorim, S. Fdida, "GPS-Free-Free Positioning System for Wireless Sensor Networks," WOCN 2005, Dubai, United Arab Emirates. Mar. 2005.
- [8] V. C. Giruka and M. Singhal, "Hello Protocols for Ad-Hoc Networks : Overhead and Accuracy Tradeoffs," In Proceedings of ACM/IEEE WOWMOM, 2005.
- [9] N. J. Heo, "A Short-range GPS Jamming Attack Detection and Vulnerable Area Reduction Technique," Institute Of Control, Robotics and System(ICROS), pp. 510-514, Apr. 2012.
- [10] F. Zhou, G. Trajcevski, O. Ghica, R. Tamassia, P. Scheuermann, and A. Khokhar, "Deflection-Aware Tracking-Principal Selection in Active Wireless Sensor Networks", IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 61, No. 7, pp. 3240-3254, Sep. 2012.
- [11] M.-Y. Shin, S.-L. Cho, J.-O. Kim, K.-W. Song and S.-J Lee, "Analysis of GPS Spoofing Characteristics and Effects on GPS Receiver," The Korea Institute of Military Science and Technology(KIMST), Vol. 13(2), pp. 296-303, Apr. 2010.