

# 지상 무인로봇체계 네트워크를 위한 매개 중심도와 위치정보 기반 Ad Hoc 라우팅

안효춘\*, 임진혁\*, 고영배°, 최형석\*\*, 권대훈\*\*

## Ad Hoc Routing Method Based on Betweenness Centrality and Location Information for Unmanned Ground System Networks

Hyochun Ahn\*, Jinhyuk Yim\*, Young-Bae Ko°, HyungSeok Choi\*\*, DaeHoon Kwon\*\*

### 요약

무선 멀티 홉 통신은 지상 무인로봇체계 네트워크를 효율적으로 운용하기 위해 필수적인 기술이다. MANET과 같은 멀티 홉 네트워크를 위해서 기존에 많은 라우팅 프로토콜들이 연구 개발되어왔다. 하지만, 아직 지상 무인로봇체계와 같이 특수한 환경에 적합한 라우팅 프로토콜에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 본 논문에서는 지상 무인로봇체계 시스템의 주요 기능 중 하나인 멀티 홉 통신을 지원하기 위한 매개 중심도를 기반으로 한 위치기반 라우팅(BCGR)을 제안한다. BCGR은 확장 자아 매개 중심도와 노드의 이동성, 위치 정보의 오차를 활용하는 라우팅 기법이다. BCGR의 성능을 검증하기 위해 ns-3 시뮬레이션을 활용한 실험을 수행하였고, 그 결과 AODV, GPRS과 같은 기존 라우팅 기법보다 신뢰성, 처리량, 지연 시간의 측면에서 더 좋은 성능을 보이는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Unmanned Ground System, Mobile Ad-hoc Network, Geographic Routing, Location Resilient, Betweenness Centrality

### ABSTRACT

Wireless multi-hop communication is one of the key technologies to operate Unmanned Ground System (UGS) networks efficiently. Conventionally a lot of routing protocol has been developed and studied for multi-hop networks like Mobile Ad-hoc Network (MANET). However, the routing protocol for the unique environment of the UGS requires further studies, since conventional routing protocols cannot be used itself for UGS networks. In this paper, we propose the Betweenness Centrality based Geographic Routing (BCGR) which considers the main function of UGS. BCGR utilizes expanded ego betweenness centrality, mobility and location information error, respectively. We have conducted a simulation study for evaluating the performance of the BCGR using ns-3, and our simulation results show that BCGR outperforms the conventional routing protocols such as AODV and GPRS in terms of end-to-end transmission reliability, throughput and delay.

※ 본 논문은 국방과학연구소의 “그림 무인로봇체계용 위치기반 전술 MANET 통신/제어 S/W 개발” 과제의 지원을 받아 수행된 연구임

◆ First Author : Ajou University Department of Network Centric Warfare (NCW), ahnhc38@gmail.com, 정희원

◦ Corresponding Author : Ajou University Department of Computer Engineering, youngko@ajou.ac.kr, 정희원

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

\*\* Agency for Defense Development, Korea, chs@add.re.kr, dhkwon@add.re.kr

논문번호 : KICS2015-12-402, Received December 21, 2015; Revised March 21, 2016; Accepted April 5, 2016

## I. 서 론

국방 무인로봇은 무인장비를 운용하여 전투의 효율성을 증대시키고 인력을 절감하여 기존 인간 위주의 전투체계를 보완하기 위한 지상, 해양, 공중 무인체계이다<sup>[1]</sup>. 지상 무인로봇체계 (Unmanned Ground System, UGS)의 주요 요구 기능은 감지센서, 자율주행, 인식 및 처리 그리고 통신네트워킹 등의 핵심 기술들이 있다<sup>[2],[6]</sup>. 통신네트워킹 기술은 전장 환경에서 UGS를 원거리에서 효율적으로 통제하기 위해 로봇의 상태 데이터를 기반으로 지상무인로봇을 지휘소에서 원격으로 제어하는 정보를 유통하는데 필요하고 로봇이 감지 및 인식한 임무 수행에 필수적인 정보는 지휘소까지의 신속한 전송을 가능하게 하는 필수 요소 기술이다. 이를 위해서는 다양한 전파 간섭 및 장애요소가 존재하는 열악한 환경에서 적시적이고 신뢰성 있는 협업 통신을 위해 Ad-hoc의 멀티 홉 통신 능력이 반드시 요구된다<sup>[3]</sup>. 전통적으로 Mobile Ad-hoc Network (MANET)과 같은 멀티 홉 통신 환경을 위한 수많은 라우팅 프로토콜들이 연구 및 개발되었다. 하지만 UGS의 고유한 특성인 자율주행, 원격제어 및 실시간 정보 전송 요구 등으로 인해 기존의 기법들을 그대로 적용하기에는 제한사항이 있다. 따라서 UGS에 적합한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

Global Positioning System (GPS)와 같은 측위장비는 감시 및 타격체계의 전투 플랫폼에 탑재되어 지휘통제와 상황인식을 위한 핵심 정보로 활용되고 있어 통신 노드의 실시간 위치 정보를 이용하여 목적지 노드까지의 최적 경로를 찾는 위치기반 라우팅 프로토콜 연구에 많이 활용되고 있다<sup>[4]</sup>. [5]에서는 Location-Aided Routing (LAR)이라는 위치기반 라우팅 프로토콜을 제안하였는데 이 방식은 기존 On-Demand 방식의 라우팅 기법에서 노드의 위치정보를 이용하여 목적지 노드가 존재하는 영역으로만 컨트롤 메시지를 전송하여 불필요한 라우팅 오버헤드를 줄였다. [6]에서 제안한 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)은 위치정보를 이용하여 데이터를 전송하는 대표적인 위치기반 라우팅 기법으로 높은 이동성을 가진 Vehicular Ad-hoc Network (VANET) 환경에 적합한 기법이다.

본 논문에서는 UGS 통신환경에서 실시간 멀티 홉 포워딩을 통해 전투 정보를 효율적이고 신뢰적으로 제한된 지연시간 내에 전송하도록 보장하는 라우팅 프로토콜인 Betweenness Centrality based Geographic Routing (BCGR)을 제안한다. BCGR은

GPSR의 Greedy Forwarding을 위해 확장 자아 매개 중심도 (Expanded Ego Betweenness Centrality)와 릴레이 후보노드의 통신 유효시간을 기반으로 하나의 릴레이 노드를 선정한다. 기존 GPSR의 각 노드들은 1 홉 이웃 노드들 사이 HELLO 메시지를 교환하고 이를 통해 획득한 위치정보에 의존하여 경로를 선정하므로 목적지 노드를 위해 경유하는 중계 노드 간 링크의 연결성, 이동성, 위치정보의 정확도에 따라 전송 실패가 발생할 수 있다. 이를 보완하기 위해 확장 자아 매개 중심도 값을 활용하여 2 홉 거리에 위치한 노드들의 정보까지 활용하여 후보 노드를 선정함으로써 라우팅 경로를 계산하는 기법을 적용한다. 또한 UGS 운용 환경에서 빈번하게 발생하는 위치정보의 오류와 무인로봇의 이동성을 고려하여 이웃노드의 통신 유효시간을 이용하여 라우팅 경로를 선정하는 기법을 제안한다. BCGR은 UGS 운용 환경과 이동성을 고려하여 ns-3 시뮬레이터를 통하여 구현하였으며 이를 통해 기존의 라우팅 프로토콜인 AODV 및 GPSR과 비교하여 성능의 우수성을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지금까지 제안된 대표적인 GPSR에 관련된 연구와 문제정의 를 소개한다. 3장에서는 BCGR에 대해서 설명한다. 4 장에서는 시뮬레이션 환경을 기술하고 BCGR을 평가 하기 위해 성능 평가 지표를 이용하여 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구방향에 대하여 설명한다.

## II. 관련 연구 및 문제 정의

위치기반 라우팅 프로토콜은 통신 노드들의 위치정보를 이용해서 목적지 노드까지의 경로를 계산하는 방식이다. GPSR은 대표적인 위치기반 라우팅 프로토콜이고 GPSR의 경로 선정 절차는 다음과 같이 요약 된다. 기본적으로 모든 노드들은 자신의 1 홉 이웃 노드들의 위치정보를 알고 있으며, 이를 통하여 이웃 노드들 중에 목적지 노드에 가장 가까이 위치한 노드를 릴레이 노드로 선정하여 패킷을 전송하는 방법인 Greedy Forwarding을 기본 전송모드로 하여 경로를 선정한다. 만약 Greedy Forwarding으로 전송할 수 없는 경우 Perimeter 모드로 전환하여 패킷을 전송한다.

GPSR은 토폴로지의 변화가 빈번히 발생하는 VANET 환경에서 좋은 성능을 보이며 라우팅 테이블 유지를 위한 오버헤드가 작다는 장점으로 인하여 많은 연구들이 제안되어 왔다<sup>[7]</sup>. [8]은 GPSR의 도심 환경에서 Perimeter 모드 진입 시 릴레이 노드의 숫자가

늘어 패킷 손실 및 지연시간이 증가하는 문제를 해결하기 위해 도로 정보를 활용하여 릴레이 노드를 선정하여 성능을 향상시켰으나 도로 정보를 이용한 릴레이 노드 선정으로 경로 설정의 오류를 범할 수 있는 문제가 존재한다. [9]는 도로에 인접한 노드들의 2 홉 노드의 유무와 목적지 노드의 방향과의 일치 여부를 판별하여 릴레이 노드를 선정하여 로컬 맥시멈의 진입횟수를 줄였다. 하지만 위치정보의 오류가 높은 경우에는 낮은 통신 효율을 가질 수 있다. [10]은 이웃 노드의 이동속도를 활용하여 각 노드별로 개별적인 통신 거리를 적용하는 기법을 제안하였다. 송신 노드와 수신 노드의 상대속도와 HELLO 메시지 주기를 고려하여 계산되는 전송 거리는 기본 전송거리에서 상대속도와 HELLO 메시지 주기의 곱의 값을 빼는 것으로 구할 수 있다. 하지만 수신 노드의 상대속도만 고려하였고 위치정보의 오류에 대하여는 고려하지 않아 신뢰성 있는 데이터 전송이 제한되어 UGS 환경에 적용하기에는 제한이 된다. [17]은 노드들의 위치와 속도, 데이터 크기 등을 고려하여 경로의 신뢰성과 데이터 지연 시간을 계산 신뢰성 있는 정보를 실시간으로 전송 가능한 효율적인 MANET 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 최근에는 위치정보의 오류와 각 링크의 속성을 고려한 향상된 GPSR 기법이 [11]에서 제안되었다. Fig. 1은 UGS 네트워크가 산악지형에서 GPSR을 기반으로 멀리 홉 통신을 하는 경우를 보여주는 그림이다. 전송 환경이 산악지형일 경우 수많은 자연장애물로 인하여 1 홉 이웃 노드의 위치정보만을 가지고 릴레이 노드를 선정하여 데이터를 전송하는 경우 잦은 Greedy Forwarding의 실패를 유발하고 잦은 Perimeter 모드로의 전환을 야기한다. 이는 라우팅

의 성능을 저해하는 주요 요소로 작용한다. 또한 장애물과 노드의 이동성으로 인하여 발생하는 간헐적인 연결성은 해당 환경에서 UGS에 장착되어 있는 GPS의 부정확한 위치정보를 발생시키므로 수신 노드의 위치추정지역이 송신 노드의 전송범위 밖에 있는 경우를 고려하지 못하는 문제점을 내재하고 있다. 따라서 위에서 언급된 UGS 네트워크 환경에서 발생하는 문제를 해결하기 위해 위치정보의 오차, 노드의 이동성 그리고 연결성 정보를 이용한 개선된 위치기반 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

### III. Betweenness Centrality based Geographic Routing

기존의 GPSR과 같이 Greedy Forwarding과 Perimeter Forwarding을 기본으로 하여 동작하지만 확장 자아 매개 중심도, 노드의 이동성 및 위치정보의 오차를 고려하는 Betweenness Centrality based Geographic Routing (BCGR)을 제안한다.

#### 3.1 확장 자아 매개 중심도

노드의 중심성이란 네트워크에 존재하는 노드들 중에서 중요도가 높은 노드를 나타내는 것으로, 각 노드는 자신의 중심성을 연결 중심도 (Degree Centrality) 또는 매개 중심도 (Betweenness Centrality)와 같은 방식으로 계산한다. 본 논문에서는 “매개 중심도” 방식을 활용하는데 이는 네트워크상에서 임의의 두 노드 사이에 존재하는 최단 경로가 특정 노드에 얼마나 집중적으로 분포되어 있는지를 나타낸 것으로, 최단 경로가 특정 노드를 많이 경유할수록 매개 중심도가

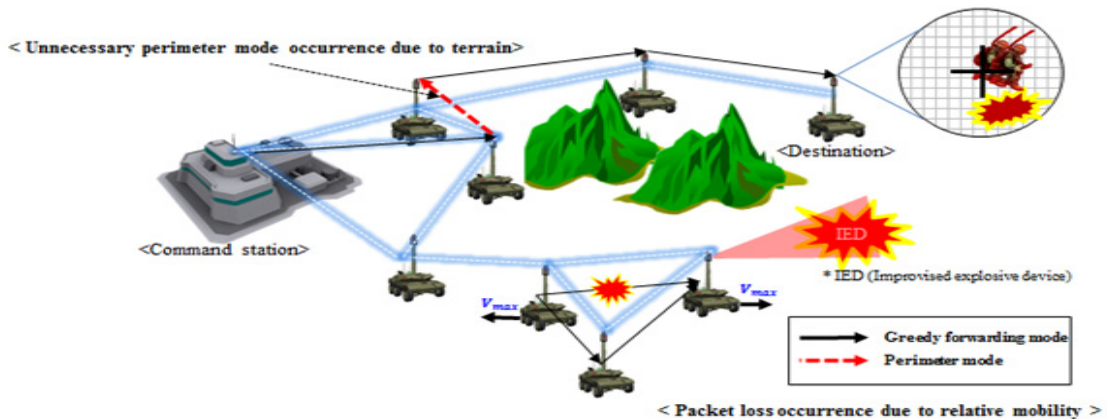


Fig. 1. Operating scenario for UGS networks in mountainous areas

높다고 할 수 있다<sup>[12,13]</sup>. 이러한 매개 중심도 방식의 가장 큰 단점은 네트워크 전체 토폴로지에 대한 정보를 이룰 경우에만 계산이 가능하다는 점이다. 이는 각 노드의 로컬한 이웃 정보를 활용하여 릴레이 노드를 선정하는 GPSR에서는 사용하기 어렵다는 것을 의미한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 제안된 개념이 “확장 자아 매개 중심도 (Expanded Ego Betweenness Centrality)”이다. 이는 각 노드로부터 2홉 전송범위 내에 존재하는 이웃 노드들의 정보를 기반으로 매개 중심도 계산이 가능하면서도 전체 네트워크 기준으로 산출한 매개 중심도 값과 거의 유사한 정확도를 갖는 것으로 알려져 있다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 메시지 전달의 성공 확률과 통신의 성능을 향상시키기 위해 송신 노드를 기준으로 2홉 거리 내에 존재하는 노드들을 활용하여 확장 자아 매개 중심도를 산출한 뒤 메시지 전달 기법에 활용하였다. BCGR은 GPSR과 같이 주기적인 HELLO 메시지를 사용하여 1홉 이웃 노드의 정보를 파악한 뒤 자신의 이웃 노드 테이블에 정보를 저장한다. 이후 1홉 이웃 노드 정보를 포함한 HELLO 메시지를 송신하여 수신 노드로 하여금 자신으로부터 2홉 노드들의 정보를 획득하도록 한다. 노드  $i$ 의 확장 자아 네트워크가 구성되면 노드  $i$ 는 자신의 확장 자아 매개 중심도  $C_B(i)$ 를 다음 식 (1)을 이용하여 단위 시간마다 확장 자아 매개 중심도 값을 산출한다.

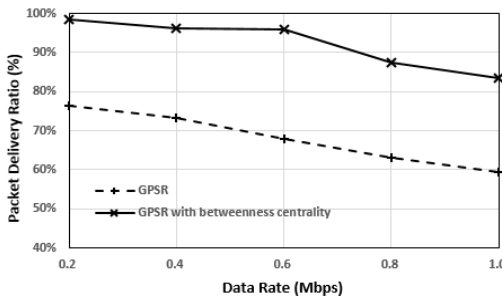
$$C_B(i) = \sum_{\substack{s \neq i \neq t \in V_x \\ s < t}} \frac{\rho_{st}(i)}{\rho_{st}} \quad (1)$$

식 (1)에서  $V_x$ 는 확장 자아 네트워크에 속한 노드의 집합이고  $\rho_{st}$ 는 노드  $s$ 와  $t$  사이의 최단경로의 개수를 의미한다.  $\rho_{st}(i)$ 는 노드  $s$ 와  $t$  사이의 최단경로

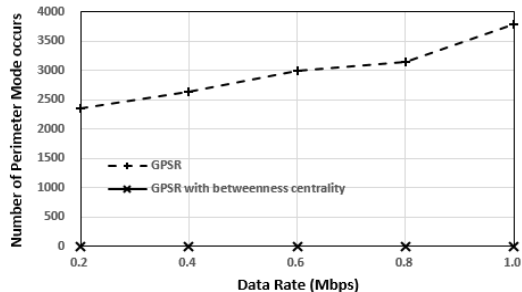
중에서 노드  $i$ 를 통과하는 경로의 개수이다. 확장 자아 매개 중심도의 계산을 통해 각 노드가 메시지 전달의 매개 역할을 얼마나 잘 수행할 수 있는지에 대한 지표로 활용 가능하다. Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 16개의 노드를 배치하고 움직임이 없는 정적인 상황에서 확장 자아 매개 중심도를 활용하여 릴레이 노드를 선정하는 기법과 GPSR과의 패킷 전송율과 Perimeter 모드 진입 횟수를 비교한 그래프이다. 1홉 거리에 있는 이웃 정보만을 가지고 릴레이 노드를 선정하는 방식보다 2홉 정보를 활용하여 확장 자아 매개 중심도 정보를 이용하여 릴레이 노드를 선정하는 방식이 패킷 전송율도 높고 Perimeter 모드 진입 횟수도 적은 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 통신 유효시간

하지만 일반적인 UGS 환경에서는 무인로봇들이 지속적으로 일정 범위를 정찰하며 정보를 수집해야 하기 때문에 무인로봇은 지속적으로 움직인다. Fig. 3은 Fig. 2와 같은 노드 배치 상태에서 모든 노드들이 0 ~ 10m/s의 임의의 속도로 움직이는 상황에서의 성능을 시뮬레이션을 한 결과이다. 노드가 이동하는 환경에서는 2홉 정보를 활용하여 계산한 확장 자아 매개 중심도 정보 하나만을 이용하여 릴레이 노드를 선정하는 경우에는 높은 패킷 전송 성공률과 낮은 Perimeter 모드 진입 횟수를 보장할 수 없었다. 그 이유는 노드들의 이동이 자유로운 MANET 환경에서는 노드의 이동성이 라우팅 성능에 큰 영향을 끼치는데 GPSR과 확장 자아 매개 중심도를 이용하여 릴레이 노드를 선정하는 알고리즘에는 노드의 이동성이 반영되어 있지 않기 때문이다. 또한 위치기반 라우팅에서는 위치정보의 부정확성으로 인하여 야기되는 라우팅 성능 저하의 문제도 있다. 현실 환경에서 무인로봇의 GPS를 통해 수신된 위치 정보는 GPS 제밍, GPS 위성과 GPS

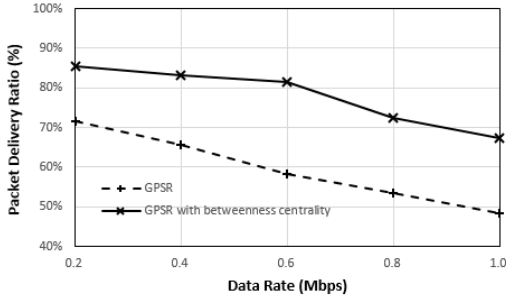


(a) Comparison of PDR

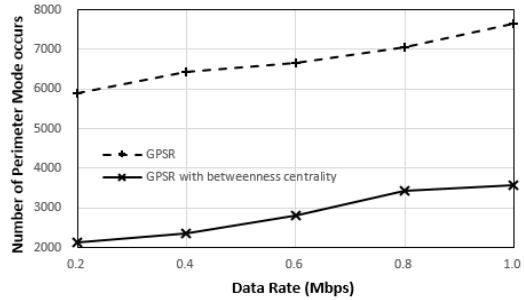


(b) Comparison of Perimeter mode occur

Fig. 2. Comparison between GPSR and GPSR with betweenness centrality information (Static topology)



(a) Comparison of PDR



(b) Comparison of Perimeter mode occur

Fig. 3. Comparison between GPSR and GPSR with betweenness centrality information (Dynamic topology)

수신 장비 간 가시선 (Line-of-Sight, LOS)의 미확보, 그리고 GPS의 체계적 자체 오류로 인해 발생하는 위치정보의 오차를 해결할 필요가 있다<sup>18)</sup>. 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위해 BCGR에서는 노드의 이동성과 위치정보의 오류를 계산하여 통신 유효시간을 계산한 뒤 릴레이 노드를 선정하는데 활용한다. 통신 유효시간은 위치정보의 오차를 포함한 각 노드의 현재 위치와 노드의 이동속도 그리고 노드의 전송 거리에 의해서 구할 수 있고 HELLO 메시지를 수신한 후에 릴레이 노드와의 통신 유효시간을 구하고 이를 기반으로 적합한 릴레이 노드를 선정한다. 통신 유효시간  $B_k$ 는 Fig. 4와 같이 노드  $S$ 에서 노드  $A$ 의 통신 유효시간으로 정의되고 수식 (2)에 의해서 계산된다.

$$B_k = \frac{r - d - \delta}{2 \cdot |V_1 - V_2|} \quad (2)$$

여기서  $V_1$ 과  $V_2$ 는 각각 무인로봇의 이동속도 벡터 값이고  $r$ 과  $d$ 는 각각 노드의 전송거리와 송신 노드와 수신 노드의 거리를 나타낸다.  $\delta$ 는 위치정보 오차율로 노드 자신의 위치정보와 GPS로부터 수신한 위치정보의 차이를 의미한다.  $B_k$ 는 HELLO 메시지를 수신하였을 때 메시지를 받은 시간과  $B_k$ 를 계산하여

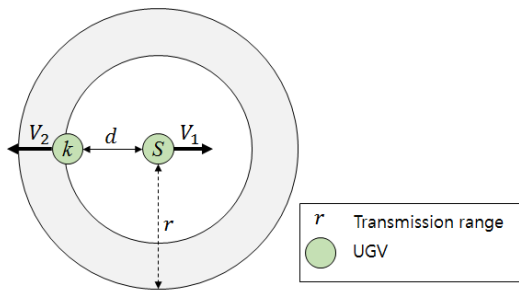


Fig. 4. Calculating communication valid time  $B_k$

저장한다.

### 3.3 알고리즘

3.1과 3.2절에서 언급한 확장 자아 매개 중심도와 통신 유효시간을 활용하여 BCGR은 패킷을 전송하기 위해 자신의 릴레이 노드를 선정한다. Fig. 5는 BCGR의 다음 릴레이 노드 선택 알고리즘이다.

패킷을 수신한 노드는 먼저 패킷의 헤더를 검사하여 패킷의 목적지를 판단하고, 패킷의 목적지가 자신이 아닌 경우에 BCGR 알고리즘을 수행한다. 패킷의 목적지가 자신이 아닌 경우 자신의 1홉 거리에 있는 릴레이 후보 노드 집합인  $C(x)$ 에 있는 모든 노드에

```

1 Inputs:
  x = current node
  C(x) = candidate node set of x
  C_k(x) = kth candidate node of x
  H = received time of HELLO message
  T = current time
  D = destination node

2 Output:
  FC(x) = forwarding candidate node x

3 FC(x) ← empty
4 if packet's destination ≠ x
5   for k = 1 to m
6     if k is opposite direction of D's position
7       continue
8     end if
9     Calculate C_B(k)
10    if B_k - (T - H) > 0
11      Add FC(x) = Max(FC(x), C_k(x))
12    end if
13  end for
14 else
15  forwarding to x
16 end if
17 if FC(x) is empty
18 do Perimeter Mode
19 else
20 forwarding to FC(x)
21 end if
    
```

Fig. 5. Algorithm of BCGR

대해 노드의 위치 정보를 활용하여 목적지 노드와 반대 방향에 위치한 노드들을 제외한다. 그 이후 1홉 릴레이 후보 노드 중 목적지 노드가 존재하면 알고리즘을 계산하지 않고 해당 노드를 바로 다음 릴레이 노드로 선정한 뒤 패킷을 전달한다. 목적지 노드 방향에 위치해있고 자신의 후보 노드 중 목적지 노드가 존재하지 않으면  $k$ 번째 노드의 확장 자아 매개 중심도인  $C_B(k)$ 를 계산한다. 이후 해당 노드와의 연결이 유지되어 있는지 확인하기 위해 HELLO 메시지를 받을 때 계산하는 통신 유효시간인  $B_k$ 와 현재 시각에서 HELLO 메시지를 받은 시간을 뺀 값이  $B_k$ 의 값보다 작은 경우 해당 노드를 최종 릴레이 노드로 선정한다. 선정된 후보 노드의 유효한 경로가 많은 경우  $C_B$  값이 가장 큰 노드 하나를 선택하여 최종 릴레이 노드로 선정한다. 최종 릴레이 노드인  $FC(x)$  값이 없는 경우 Perimeter 모드로 패킷을 전송하게 된다.

#### IV. 성능평가

##### 4.1 시뮬레이션 환경

본 장에서는 제안기법인 BCGR의 성능을 검증하기 위해 [15]에서 비교했던 GPSR 외에 추가로 기존에 제안되었던 라우팅 프로토콜인 AODV와의 성능을 평가하고 비교 분석하였다. 시뮬레이션의 환경 설정과 실험 변수들은 표 1에 기술되어있다. 사용한 시뮬레이터는 ns-3 시뮬레이터를 이용하였고, 네트워크 크기는  $10\text{km} \times 5\text{km}$  이다. 전체 노드는 1개의 관제센터와 20개의 무인로봇을 설정하여 총 21개를 배치하였고 발

Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Size of Topology	$10\text{km} \times 5\text{km}$
Number of Node	1 Command Center 20 UGVs
Traffic Type	4 Bytes Control Packet 1024 Bytes Multimedia Packet
MAC Protocol	IEEE 802.11g OFDM
Transmission Range	$\approx 2\text{km}$
Data Rate	6Mbps
Simulation Time	500 second
Number of Simulation	30 times
HELLO Message Interval	Every 1 second
Mobility Model	Gaussian Markov
Velocity of UGVs	0 ~ 10m/s

생시킨 트래픽의 종류는 총 두 가지로 관제센터로부터 무인로봇을 제어하기 위해 사용되는 제어 패킷과 각각의 무인로봇이 특정 지역을 정찰하여 촬영한 영상 패킷이다. 사용한 MAC 프로토콜은 IEEE 802.11g OFDM이며, 안테나 출력을 증가시켜서 약 2Km의 거리까지 통신이 가능하도록 구현하였고 6Mbps의 전송 속도를 사용하였다. 시뮬레이션은 총 500초 동안 이루어졌고 각각의 시뮬레이션은 30회씩 수행하였다. GPSR과 BCGR에서 사용되는 HELLO 메시지는 1초 주기로 발생시켰다. 관제센터를 제외한 나머지 20개의 노드에 Gaussian Markov 이동 모델을 적용하였고 Propagation Loss 모델로는 장애물이 많은 도심 지역에서 장거리 통신에 적합한 모델인 Okumura Hata Propagation Loss 모델을 사용하였다. 실험을 진행한 토폴로지는 Fig. 6에서 보이는 것처럼 야지 환경에 존재하는 자연 장애물을 고려하여 토폴로지를 구현하였다.

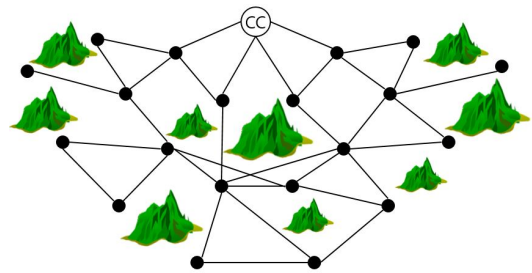


Fig. 6. Simulation topology

##### 4.2 시뮬레이션 결과

Fig. 7부터 9는 관제센터를 제외한 무인로봇 20개의 이동속도를 변경해가면서 여러 가지 성능을 측정 한 그래프이다. 이때 20개의 노드는 제어 패킷과 영상 패킷을 1초마다 생성하여 전송하였다.

Fig. 7은 패킷 전송률을 비교한 그래프이다. 무인로봇의 이동성이 없는 환경에서는 AODV의 패킷 전송 성공률이 약 97%로 가장 높게 측정되었지만 무인로봇의 이동하는 경우 AODV는 GPSR과 BCGR에 비해서 전송 성공률이 급격히 떨어진다. 그 이유는 로봇의 이동에 따라 네트워크가 지속적으로 변하기 때문에 RREQ와 RREP와 같이 경로를 재설정하는데 필요한 라우팅 제어 메시지를 네트워크 전체로 전파하여 패킷 전송이 불가능하기 때문에 파악된다. Fig. 8은 각 라우팅 프로토콜에 따른 처리량을 비교한 그래프이다. Fig. 7과 마찬가지로 이동성 여부에 따른 성능의 차이를 확인할 수 있다. Fig. 9는 종단 간 지연시간



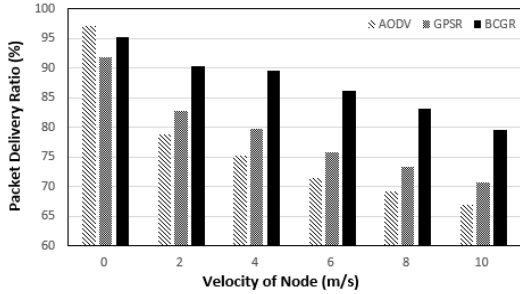


Fig. 7. Comparison of PDR

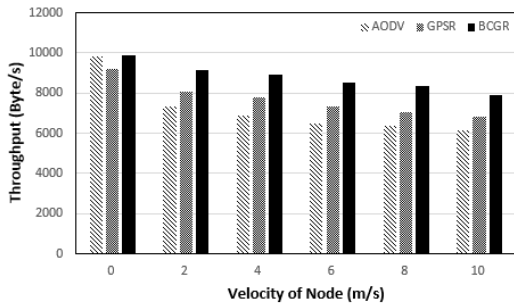


Fig. 8. Comparison of Throughput

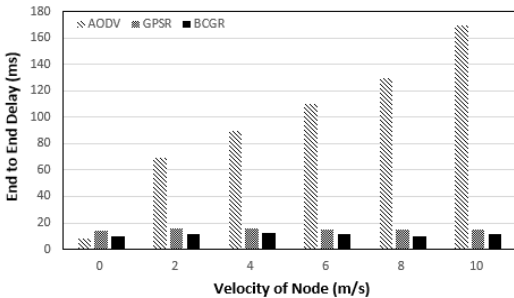


Fig. 9. Comparison of End to End Delay

을 비교한 그래프이다. 무인로봇의 이동성이 존재하지 않는 상황에서는 AODV의 지연시간이 가장 낮게 측정되었는데 그 이유는 AODV는 경로를 한번 찾으면 해당 경로를 이용하여 지속적으로 통신을 하지만 GPSR과 BCGR은 주기적으로 HELLO 메시지를 전송하여 릴레이 노드를 선정하기 때문이다. 하지만 무인로봇의 이동속도가 증가하면서 토폴로지가 변하기 때문에 AODV는 지속적으로 경로 복구 메시지를 네트워크 전체로 전파하여 이로 인한 패킷의 지연시간이 급격히 증가한다. 반면에 GPSR과 BCGR은 전체 네트워크를 알지 않고 자신의 이웃 노드들만 주기적으로 파악하여 전송하기 때문에 속도가 증가하여도 비슷한 지연시간을 가지고 그 중 BCGR이 가장 짧은 지연시간을 보인다.

Fig. 10부터 12는 관제센터가 생성하는 제어 패킷과 각 무인로봇들이 생성하는 영상 패킷의 전송주기를 변경해가며 여러 가지 성능을 측정한 그래프이다. 여기서 무인로봇들은 0 ~ 10m/s의 이동속도를 랜덤하게 가지고 움직인다.

Fig. 10은 각 라우팅 프로토콜에 따른 처리량을 비교한 그래프이다. 각 라우팅 프로토콜은 패킷 전송 주기가 빨라짐에 따라 모두 처리량이 증가하지만 제안 기법인 BCGR의 처리량이 가장 우수한 것을 확인할 수 있다. Fig. 11과 12는 패킷 전송주기에 따른 중단 간 지연시간과 Perimeter 모드로의 진입 횟수를 비교한 그래프이다. Fig. 9에서 설명하였듯이 AODV는 네트워크 토폴로지의 변화에 따라서 경로를 복구하는

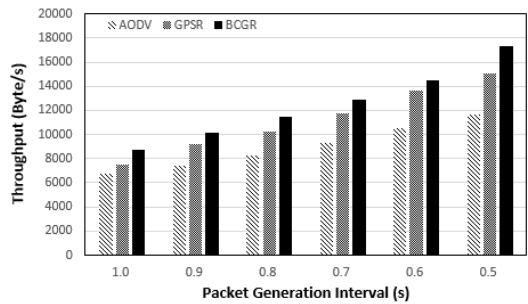


Fig. 10. Comparison of Throughput

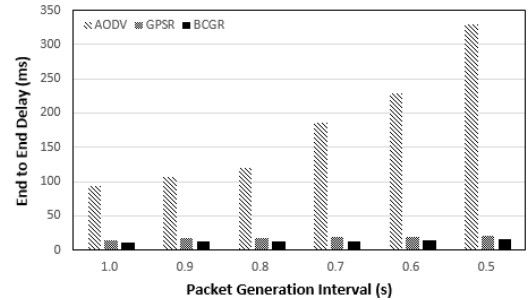


Fig. 11. Comparison of End to End Delay

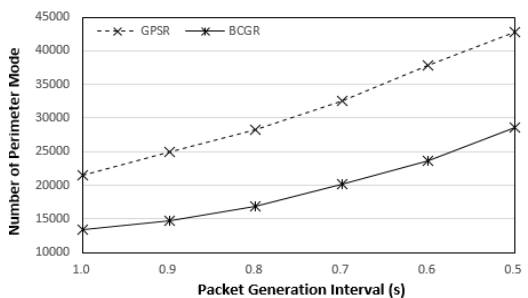


Fig. 12. Comparison of Perimeter mode occur

메시지를 네트워크 전체로 전파하게 되어 경로를 재 설정하고 실제 패킷을 전송할 때까지 걸리는 지연시간이 가장 길다. 반면에 BCGR은 2홉 정보를 이용한 확장 자아 매개 중심도를 활용하여 경로를 설정하기 때문에 GPSR에 비해 Perimeter 모드로 진입하는 횟수가 적고 그로 인해 종단 간 지연시간도 GPSR에 비해 짧아진다.

Fig. 13은 AODV, GPSR 그리고 BCGR의 목적지까지 도달하는데 소요된 평균 홉 수를 보여주는 그림이다. 실험 환경은 0 ~ 10m/s의 이동속도로 움직이는 노드들이 제어 패킷과 영상 패킷을 1초 주기로 전송하였다. AODV는 목적지까지 패킷을 전송하는데 최단 경로를 이용하여 전송하기 때문에 필요한 홉 수가 가장 적은 것을 확인할 수 있다. 하지만 GPSR과 BCGR은 전체 토폴로지의 정보를 알지 못하고 릴레이 노드를 선정하기 때문에 불필요한 Perimeter 모드로 인한 홉 수가 AODV에 비해 상대적으로 증가하게 된다. GPSR은 평균 6.4 홉이 나왔는데 그 이유는 Fig. 12에서 알 수 있듯이 Perimeter 모드로의 진입이 BCGR에 비해서 높지만 목적지까지의 거리 정보만을 이용하여 릴레이 노드를 선정하는 Greedy Forwarding이 잘 동작하면 BCGR에 비해 평균 홉 수가 적다. 반면에 BCGR은 Perimeter 모드로의 진입 횟수는 GPSR에 비해 적지만 확장 자아 매개 중심도가 높은 노드, 즉 다른 노드와의 연결이 많이 유지된 노드를 릴레이 노드로 선정하여 릴레이 노드를 선정하기 때문에 목적지까지의 평균 홉 수가 GPSR의 Greedy Forwarding에 비해 높다. 그럼에도 불구하고 BCGR의 평균 홉 수는 6.5 홉으로 GPSR과 비슷한 홉 수를 유지하였다.

시뮬레이션 결과를 통해 UGS 네트워크 환경에서 기존 라우팅 프로토콜인 AODV와 GPSR에 비해 BCGR의 패킷 전송 성공률과 처리량이 높고 종단 간 지연시간과 Perimeter 모드 진입 횟수는 적은 것을 확

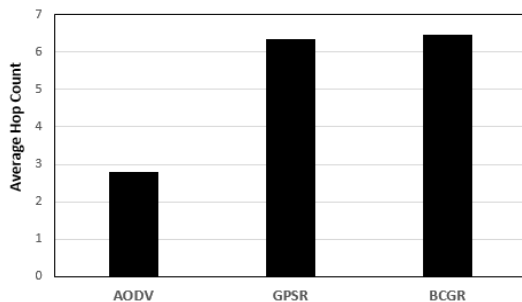


Fig. 13. Average End to End Hop Count

인하였다.

## V. 결론

본 논문에서는 GPS가 장착된 UGS에서의 주요 기능적 요구사항을 고려한 위치기반 라우팅 프로토콜을 제안하였다. GPSR을 기반으로 자신으로부터 2홉 거리에 위치한 노드까지의 연결정보를 이용하는 사회공학적 기법인 확장 자아 매개 중심도와 노드의 이동성 및 위치정보의 오차를 고려하여 릴레이 노드를 선정하는 기법을 제안하였고 시뮬레이션을 통하여 제안 기법이 기존의 On-Demand 라우팅 프로토콜인 AODV와 위치기반 라우팅인 GPSR과 비교했을 때 우수한 성능을 보여주는 것을 확인하였다.

제안된 기법은 2홉 이웃 노드들의 정보 수집을 위해서 HELLO 메시지의 데이터 크기가 다소 증가되었으나 추가되는 데이터 오버헤드는 전송 대역폭 대비 실시간 제어 정보 교환과 mission-critical 정보 유통에는 제한이 없는 것으로 확인되었고, 정확한 위치의 오차 정보는 라우팅 프로토콜의 성능에 영향을 주는 것을 확인하였다. 추후에는 UGS의 전송 요구조건을 충족하기 위해 QoS (Quality of Service)를 고려한 연구를 수행할 계획이다.

## References

- [1] H. W. Chun, "Defence · IT convergence: focus on military robots," *Electronics and Telecommun. Trends*, vol. 28, no. 4, pp. 107-117, Aug. 2013.
- [2] J. E. Kye, "Trends and acquisition strategies on defense unmanned robot core technology," *Electronics and Telecommun. Trends*, vol. 29, no. 3, pp. 118-130, Jun. 2014.
- [3] J. S. Kwak, "Status and prospects of communication systems in military unmanned ground systems," *Mag. IEEE*, vol. 35, no. 10, pp. 71-80, Oct. 2008.
- [4] H. Ahn, J. Kim, and Y.-B. Ko, "Cognitive link state routing for CR-based tactical ad hoc networks," *KSII Trans. Internet and Inf. Syst. (TIIS)*, vol. 9, no. 1, pp. 50-67, Jan. 2015.
- [5] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, "Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," *Wireless Networks*, vol. 6, no. 4, pp. 307-321,



- Sep. 2000.
- [6] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proc. MobiCom*, pp. 243-254, Boston, USA, Aug. 2000.
- [7] B. T. Sharef, R. Alsaqour, and M. Ismail, "Vehicular communication ad hoc routing protocols: A survey," *J. Network and Comput. Appl.*, vol. 40, pp. 363-396, Apr. 2014.
- [8] C. Lochert, M. Mauve, H. Fler, and H. Hartenstein, "Geographic routing in city scenarios," *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. and Commun. Rev. (MC2R)*, vol. 9, no. 1, pp. 69-72, Jan. 2005.
- [9] M. W. Ryu, S. H. Cha, J. G. Koh, S. Kang, and K. H. Cho, "Position-based routing algorithm for improving reliability of inter-vehicle communication," *KSII Trans. Internet and Inf. Syst.(TIIS)*, vol. 5, no. 8, pp. 1388-1403, Aug. 2011.
- [10] W. Wei and Z. Yang, "Increasing packet delivery ratio in GPSR using buffer zone based greedy forwarding strategy," in *Proc. Int. Conf. Data Storage and Data Eng. (IEEE DSDE)*, pp. 178-182, Bangalore, India, Feb. 2010.
- [11] J. Yim, W. S. Jung, and Y.-B. Ko, "Link quality based geographic routing resilient to location errors," in *Proc. ICUFN*, pp. 95-96, Sapporo, Japan, Jul. 2015.
- [12] L. Tang and H. Liu, *Community detection and mining in social media*, vol. 3, Morgan & Calypool Publishers, 2010.
- [13] S. Wasserman and K. Faust, *Social network analysis-methods and applications*, vol. 8, Cambridge University Press, 1994.
- [14] J. G. Shon, Y. G. Kim, and Y. H. Han, "Local information-based betweenness centrality to identify important nodes in social networks," *KIPS Trans. Computer and Commun. Syst.*, vol. 2, no. 5, pp. 209-216, May 2013.
- [15] J. Yim, H. Ahn, and Y.-B. Ko, "The betweenness centrality based geographic routing protocol for unmanned ground systems," in *Proc. Int. Conf. Ubiquitous Inf. Management and Commun (IMCOM'16)*, Danang, Vietnam, Jan. 2016.
- [16] W. S. Song, W. S. Jung, and Y. B. Ko, "Resource reservation based image data transmission scheme for surveillance sensor networks," *J. KICS*, vol. 39, no. 11, pp. 1104-1113, Nov. 2014.
- [17] M. Youn, T. H. Kang, H. E. Jeon, and J. Lee, "Location based reliable routing protocol for tactical mobile ad-hoc networks," *J. KICS*, vol. 37, no. 11, pp. 1150-1163, Nov. 2012.
- [18] J. S. Han, K. Y. Kim, S. J. Kim, H. D. Kim, and H. J. Choi, "Analysis of adaptive digital signal processing for anti-jamming GPS system," *J. KICS*, vol. 32, no. 8, pp. 745-757, Aug. 2007.

안 효 춘 (Hyochun Ahn)



2010년 8월 : State University of New York 공학석사  
 2015년 8월 : 2015년 아주대학교 NCW공학박사  
 2000년~현재 : 육군 정보통신장교 <관심분야> 정보보안, IoT, 인 지무선통신, 재난통신

임 진 혁 (Jinhyuk Yim)



2015년 2월 : 아주대학교 정보 컴퓨터공학과 학사  
 2015년 3월~현재 : 아주대학교 컴퓨터공학과 석·박사통합과정 <관심분야> Wireless Networks, IoT, Embedded System, MANET 등

**고 영 배 (Young-Bae Ko)**



1991년 2월 : 아주대학교 컴퓨  
터공학 학사  
1995년 2월 : 아주대학교 MBA  
경영정보학 석사  
2000년 7월 : Texas A&M Univ.  
컴퓨터공학 박사  
2000년~2002년 : 미국 IBM T.J

왓슨 연구소 전임연구원

2002년 9월~2011년 : 아주대학교 정보컴퓨터공학부  
조/부교수

2012년~현재 : 아주대학교 소프트웨어학과 정교수

<관심분야> Wireless Ad Hoc/Mesh Networks,  
IoT, Future Internet, Tactical Networks

**권 대 훈 (DaeHoon Kwon)**



1999년 8월 : 경북대학교 컴퓨  
터공학과 학사  
2002년 2월 : 경북대학교 컴퓨  
터공학과 석사  
2002년 1월~현재 : 국방과학연  
구소 선임연구원

<관심분야> 군 전술통신, MANET, 무선통신

**최 형 석 (HyungSeok Choi)**



1998년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 학사  
2002년 2월 : 고려대학교 전자  
공학과 석사  
2014년 8월 : 충남대학교 정보  
통신공학과 박사  
2002년 1월~현재 : 국방과학연

구소 선임연구원 (팀장)

<관심분야> 군 전술통신, MANET, 무선통신