

가상 위치 도움 GAODV 라우팅 프로토콜

최영철*

Virtual Destination Aided GAODV Routing Protocol

Youngchol Choi*

Ocean System Engineering Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering,
Daejeon 34103, Korea

요 약

GAODV는 목적지의 위치 정보를 이용하여 경로 요청 패킷이 유니캐스트 방식으로 전달되도록 할 수 있지만, GAODV는 목적지의 위치 정보를 알 수 있는 경우에만 활용 가능하다는 제약이 따른다. 본 논문에서는 목적지의 이동에 따른 위치의 불확실성을 완화시킬 수 있는 가상 목적지 도움 GAODV(Virtual Destination Aided GAODV(VDA-GAODV))를 제안한다. 제안하는 VDA-GAODV는, 알려진 목적지 위치를 이용하지 않고, 소스와 목적지를 연결하는 선상에 위치하는 가상의 위치로 경로 요청 패킷이 전달되도록 한다. 경로 요청 패킷 재방송이 목적지가 이동 가능한 영역을 되도록 많이 커버할 수 있도록 하는 최적 가상 위치를 도출한다. VDA-GAODV는, 알려진 목적지 위치를 중심으로 하는 1-hop 통신 영역의 95% 영역을 경로 요청 패킷 전달 과정에서 커버 가능하며, 이것은 기존 GAODV보다 23% 향상된 것이다.

ABSTRACT

The route request (RREQ) packet of the GAODV is propagated in a unicast-manner using the location of the destination, but the application of the GAODV is restricted by the assumption for the known destination's location. In this paper, we propose a virtual destination aided GAODV (VDA-GAODV) that alleviates the uncertainty of the destination's location due to the mobility. Instead of the known location of the destination, the VDA-GAODV disseminates a RREQ packet to an imaginary location on the line connecting the source and the destination. We derive an optimal imaginary destination that makes RREQ rebroadcasts cover the possible locations of the destination as much as possible. The VDA-GAODV enables the RREQ propagation to cover 95% of the one-hop communication area centered at the originally known location of the destination, which is larger than that of the original GAODV by 23%.

키워드 : 이동 애드혹 네트워크, 온디맨드 라우팅 프로토콜, 위치 불확실성, 가상 위치

Key word : Mobile ad-hoc network, on-demand routing protocol, uncertainty of location, virtual destination

Received 26 July 2017, Revised 01 August 2017, Accepted 07 August 2017

* Corresponding Author Youngchol Choi(E-mail:ycchoi@kriso.re.kr, Tel:+82-42-866-3833)

Ocean System Engineering Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering, Daejeon 34103, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1649>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

이동 애드혹 네트워크 기술의 효시는 1973년에 시작된 DARPA의 Packet Radio Network [1] 연구로서, 통신 네트워크 기반 시설이 없는 전쟁터에서 자율적인 통신 네트워크를 구성하고자 하였다. 실제로 2003년 이라크 전쟁에서 이동하는 군 작전 차량들 간에 시스코에서 개발한 이동 애드혹 네트워크 장비를 탑재하여 효과적인 통신이 가능하였다. 시스코는 IETF에서도 가장 핵심적인 역할을 하는 기업 중의 하나이다. 1990년대 중반에 Perkins는 DSDV [2], AODV [3] 등과 같은 이동 애드혹 네트워크 라우팅 프로토콜을 제안하였고 이 프로토콜들의 핵심 개념은 지금도 널리 활용되고 있다.

현재 우리가 사용하고 있는 통신 기술은 품질 보장의 중요성으로 인하여 기지국 기반의 셀룰러 방식 또는 유선 네트워크 기술이 중심이다. 하지만 사물 인터넷 기술의 발전과 함께 이동 애드혹 네트워크 기술의 활용 가능성이 증가하고 있다[4]. 모바일 기기의 수가 기하급수적으로 증가하면서 이동 애드혹 네트워크의 노드 밀집도 또한 크게 증가되고, 이러한 고밀도 이동 애드혹 네트워크에서 네트워크 수율을 높이기 위해서는 적은 오버헤드로 경로를 찾아내는 것은 매우 중요한 문제 중의 하나이다. 셀룰러 네트워크에서는 이미 초밀집 네트워크에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[5-7].

이동 애드혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 오버헤드 개선에 관한 대부분의 연구는 테이블 기반 방식에 비해서 오버헤드가 적은 온디맨드 방식의 AODV 원리를 따른다 [8-11]. AODV 라우팅 프로토콜은 경로 요청 패킷을 네트워크 전체에 플러딩하는데 이러한 브로드캐스트 스톱 문제를 개선하는데 연구의 초점이 맞춰져 있다. 최근에는 경로 요청 패킷 송신 노드와 목적지의 위치 정보를 이용하여 브로드캐스트 특성을 가지는 경로 요청 패킷을 고밀도 환경에서 유니캐스트 방식으로 전달하여 경로를 찾아내는 GAODV 프로토콜이 제안되었다 [12, 13]. GAODV 프로토콜은 경로 요청 패킷을 중복하여 재방송하지 않으므로 AODV 원리를 따르는 라우팅 프로토콜 중에서 오버헤드가 가장 작다. 하지만 GAODV는 목적지의 위치가 고정되어 있다고 가정하므로 목적지가 이동하는 경우에는 목적지 위치 정보 획득 후 시간이 지날수록 목적지 위치 정보의 불확실성이 커진다.

목적지 위치 정보의 불확실성에 따른 GAODV의 성능 저하 문제를 개선하기 위하여 본 논문에서는 획득한 지 오래되어 부정확한 목적지 위치 정보를 그대로 활용하지 않고, 소스와 목적지를 연결하는 직선 위에 가상의 목적지 위치로 경로 요청 패킷을 전송하는 가상 목적지 도움 GAODV(Virtual Destination Aided GAODV (VDA-GAODV))를 제안한다. 목적지 위치 정보를 획득한 후에 경과된 시간과 최대 이동 속도에 의해서 결정되는 이동 가능 영역을 경로 요청 패킷이 최대로 커버할 수 있는 최적의 가상 위치를 유도한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 유도된 최적 가상 위치의 타당성을 입증하고 최적 가상 위치는 소스와 목적지 사이의 거리에 무관함을 보인다. VDA-GAODV는 목적지의 이동 가능 영역이 1-홉 통신 반경 이내인 경우에 목적지의 이동에 따른 경로 요청 패킷 수신 음영 지역을 5% 이하로 감소시킬 수 있으며 이것은 기존 GAODV보다 약 23% 향상된 것이다.

II. VDA-GAODV

2.1. GAODV [12]

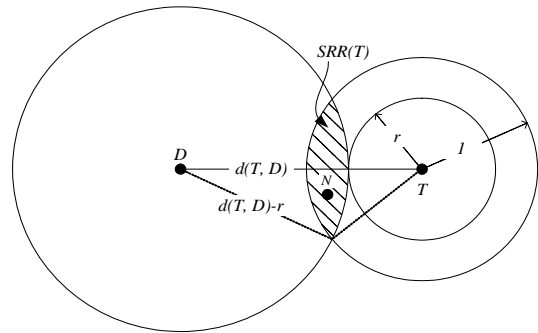


Fig. 1 RREQ propagation of the GAODV [12]

논문의 자족성을 위해서, GAODV를 간략하게 요약한다[12]. 그림 1은 GAODV의 경로 요청 패킷 전달 과정을 보여준다. GAODV에서는, T가 목적지 D를 향한 경로 요청 패킷을 재방송하면 T의 경로 요청 패킷을 수신한 노드들 중에서 아래 수식 (1)에 의해서 정의되는 SRR(T) 영역에 존재하는 노드들만이 경로 요청 패킷을 재방송할 수 있다.

$$d(N, D) < d(S, D) - r \quad (1)$$

수식 (1)에서 $d(X, Y)$ 은 임의의 두 노드 X 와 Y 사이의 거리이다. 물리 계층의 통신 가능 범위는 노드의 위치를 중심으로 하고 반경이 “1”인 원의 내부로 모델링하고 r 은 1보다 작은 값이다. 그림 1에서 $SRR(T)$ 는 빗금친 영역이다. GAODV는 중복 제어 매커니즘을 통하여 $SRR(T)$ 에 존재하는 노드들 중에서 오직 하나의 노드만이 경로 요청 패킷을 재방송한다.

2.2. VDA-GAODV

GAODV 라우팅 프로토콜이 유니캐스트 방식으로 경로 요청 패킷을 전달하기 위해서는 반드시 목적지의 위치를 알아야 한다. 따라서 목적지가 움직이는 경우에는 목적지의 위치 정보에 불확실성이 존재하게 되고 목적지의 위치가 변화하는 속도가 빠를수록 경로 찾기에 실패할 확률이 높아진다. GAODV 라우팅 프로토콜이 더 광범위한 네트워크 시나리오에서 동작하기 위해서는 목적지의 이동에 따른 위치 정보의 불확실성을 개선해야 한다. 본 절에서는 목적지 위치 정보의 불확실성에 따른 GAODV의 경로 획득 확률 저하 문제를 개선하기 위해서 알고 있는 목적지의 위치 정보를 그대로 활용하기 보다는 소스와 목적지를 연결하는 직선 위에 있는 가상의 위치로 경로 요청 패킷이 전달되도록 하는 VDA-GAODV를 구체적으로 설명한다.

네트워크의 모든 노드의 이동 속도는 v_{max} 를 넘지 않는다고 가정한다. 목적지의 이동 반경 ρ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\rho = v_{max} \Delta t \quad (2)$$

여기에서, Δt 는 소스 노드가 목적지의 위치 정보를 획득한 가장 최근 시각과 경로 요청 패킷을 송신하는 시각의 차이이다. 즉, Δt 는 소스 노드가 목적지의 위치 정보를 마지막으로 갱신한 후부터 경과된 시간이다. 그러면 모든 노드의 이동 속도는 v_{max} 보다 작으므로 목적지는 소스가 알고 있는 목적지의 위치를 중심으로 하고 반경이 ρ 인 원 내부에 위치한다. 이와 같이 최대 이동 속도와 목적지 위치 정보 취득 후 경과한 시간에 의해서 정의되는 영역을 $\Omega(D, \rho)$ 로 표시한다. 여기에서 $\Omega(X, x)$ 는 노드 X 의 위치를 중심으로 하고 반경이 x

인 원의 내부이다.

목적지는 반드시 $\Omega(D, \rho)$ 에 위치하므로 GAODV의 경로 요청 패킷이 유니캐스트 방식으로 전파되는 고유 특성을 훼손하지 않으면서 경로 요청 패킷이 전달되는 과정에서 이 경로 요청 패킷을 수신하는 영역에 $\Omega(D, \rho)$ 영역이 가능한 많이 포함될 수 있도록 하는 것이 본 논문의 목표이다. 이러한 목표 달성을 위해서 본 논문에서는 취득 된지 시간이 경과하여 불확실성이 존재하는 알려진 목적지의 위치 정보를 직접 활용하기 보다는 그림 2와 같이 소스 S 와 목적지 D 를 잇는 직선 위에 놓인 가상의 위치를 활용한다. 그림 2는 소스 S 가 목적지 D 에 대한 경로를 찾기 위해 경로 요청 메시지가 전파되는 과정에서 노드 T 가 경로 요청 패킷을 재방송하는 것을 도시한 것이다. 설명의 편의를 위하여 두 노드 X 와 Y 의 위치를 통과하는 직선을 $A(X, Y)$ 로 표시한다.

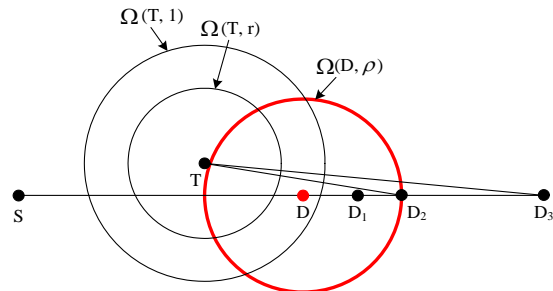


Fig. 2 Graphical illustration for an optimal imaginary destination in the proposed VDA-GAODV

먼저, S 가 알고 있는 목적지 위치 (그림 2에서 D)로 경로 요청 패킷을 전송하는 과정에서 그림 2와 같이 D 가 T 의 통신 가능 범위의 경계에 가깝게 위치하는 경우를 고려하자. 이 때 T 는 D 가 T 의 통신 가능 범위에 있다는 것을 알기 때문에 GAODV의 경로 요청 패킷 재방송은 T 에서 종료된다. 만약 목적지가

$$\Omega(D, \gamma) \cap \Omega(T, r)^c \quad (3)$$

영역으로 이동하면 GAODV는 경로 찾기에 실패한다. 수식 (3)에서, A^c 는 집합 A 의 여집합이다. 만약 이 경우에 S 가 D 대신에 그림 2에서 D_1 을 목적지 위치로 사용하면 D_1 은 T 의 통신 범위 밖에 있으므로 $SRR(T)$ 에

있는 노드가 경로 요청 패킷을 한 번 더 재방송하게 되는데, 이와 같은 가상의 목적지 위치 D_1 에 의한 추가적인 경로 요청 패킷 재방송은 수식 (3)에 의해서 정해지는 음영 지역을 감소시킬 수 있다.

최적의 가상 위치를 보다 엄밀하게 설명하기 위해서 먼저 Coverage ratio (CR)을 다음과 같이 정의하자.

$$CR(D_I) = \frac{\Phi\left\{\left(\bigcup_k \Omega(T_k(D_I), 1)\right) \cap \Omega(D, \rho)\right\}}{\Phi\{\Omega(D, \rho)\}} \quad (4)$$

여기에서 $T_k(D_I)$ 는 가상의 목적지 D_I 로 경로 요청 패킷을 재방송하는 노드이고 $\Phi(A)$ 는 집합 A 에 의해서 정의되는 영역의 넓이를 의미한다. 즉 CR은 최대 이동 속도와 목적지 위치 정보 취득 후 경과한 시간에 의해서 정의되는 목적지 위치 후보 영역 $\Omega(D, \rho)$ 이 가상의 목적지 D_I 로 경로 요청 패킷이 전달되는 과정에서 경로 요청 패킷에 의해서 커버되는 비율이다.

정리 1. CR을 최대로 하는 최적의 가상 위치는 $A(S, D)$ 와 $\partial\Omega(D, \rho)$ 의 두 교점 중에서 S로부터 더 멀리 떨어져 있는 교점이다. $\partial\Omega(D, \rho)$ 는 $\Omega(D, \rho)$ 의 경계 (boundary)를 뜻한다.

증명. 그림 2에서, $A(S, D)$ 와 $\partial\Omega(D, \rho)$ 의 두 교점 중에서 S로부터 더 멀리 떨어져 있는 교점은 D_2 이다. 가상의 목적지를 D_I 라고 하자. D_I 가 $\Omega(D, \rho)$ 내부에 있는 경우와 외부에 있는 경우로 나누어서 D_2 가 CR을 최대로 만드는 최적의 가상 위치임을 보인다.

먼저 그림 2에서 D_1 과 같이 $\Omega(D, \rho)$ 내부, 즉, D_I 가 D 와 D_2 사이에 위치하는 경우를 고려하자. 이 경우는 원래의 목적지 D 의 위치를 적용하는 경우와 마찬가지로 D_I 가 경로 요청 패킷 재방송 노드의 통신 경계에 가까운 위치인 경우에는 $\Omega(D, \rho)$ 전체를 커버할 수 없다. 따라서 D_I 가 $\Omega(D, \rho)$ 내부에 위치하는 경우에는 $\partial\Omega(D, \rho)$ 에 가까워질수록, 즉, D_2 에 가까워질수록 CR이 증가한다.

이제 그림 2에서 D_3 와 같이 D_I 가 $\Omega(D, \rho)$ 외부에 있는 경우를 고려하자. 경로 요청 패킷이 전달되는 과정에서 더 넓은 $\Omega(D, \rho)$ 의 영역이 커버되기 위해서는 경로 요청 패킷을 전달하는 노드들을 연결한 경로가 $\Omega(D, \rho)$ 의 지름에 가까워야 한다. 즉, $\Omega(D, \rho)$ 외부에

있는 $A(S, D)$ 상의 가상의 목적지 위치 D_I 에 대해서 D 와 직선 $A(T, D_I)$ 사이의 거리가 가까울수록 CR이 커진다. 그림 2에서 D 에서 $A(T, D_2)$ 까지의 거리가 $A(T, D_3)$ 보다 더 가깝다는 (즉, $A(T, D_2)$ 이 $A(T, D_3)$ 보다 $\Omega(D, \rho)$ 의 지름에 더 근접한다) 사실을 알 수 있다. 따라서 D_I 가 $\Omega(D, \rho)$ 외부에 있는 경우에는 D_2 에 가까울수록 CR이 크다.

결론적으로 $A(S, D)$ 와 $\partial\Omega(D, \rho)$ 의 두 교점 중에서 S로부터 더 멀리 떨어져 있는 교점이 CR을 최대로 하는 최적의 가상 위치이다. □

III. 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서는, 목적지 위치 정보의 불확실성을 해소 정도를 나타내는 성능지표로서 수식 (4)와 같이 정의되는 CR을 채택하고 제안하는 VDA-GAODV의 기존 GAODV 대비 CR 성능 향상 정도를 비교한다.

공정한 CR 성능 비교를 위해서 충분히 많은 노드 수를 사용함으로써 GAODV의 선택적 경로 요청 패킷 재방송 과정에서 연결성 문제로 인한 경로 실패는 발생하지 않도록 하였다. 구체적으로 노드의 통신 반경 안에 평균적으로 100 개의 노드가 균일 분포로 배치되도록 하였으며 r 은 0.6으로 고정하였다. 1,000 회의 전산 모의 실험을 수행하고 평균을 취하였다.

그림 3은 가상 목적지 위치 D_I 변화에 따른 CR을 그린 것이다. 이동 반경 ρ 는 1/2, 1, 3/2, 2 와 같이 총 4가지의 경우를 고려하였다. 가로축은 알려져 있는 목적지 위치(D)와 가상 목적지 위치 D_I 사이의 거리이고 세로 축은 CR이다. 그림 3(a), 3(b), 3(c)는 소스(S)부터 목적지(D)까지의 거리 $d(S, D)$ 가 각각 3, 4, 5 인 경우이다. 그림 3(a)에서 $\rho=0.5$ 에 해당하는 곡선을 보면 $d(D, D_I)$ 가 0.5보다 작은 구간에서는 $d(D, D_I)$ 값이 증가할수록 CR이 증가하고 $d(D, D_I)$ 가 0.5보다 큰 구간에서는 $d(D, D_I)$ 값이 증가할수록 CR이 감소한다. 즉, $d(D, D_I) = \rho$ 일 때 CR이 최대가 된다. 그림 3(a)에서 ρ 가 1, 3/2, 2 인 경우에도 마찬가지로 $d(D, D_I) = \rho$ 일 때 CR이 최대가 되는데 이것은 정리 1과 일치한다. 또한 그림 3(b) 및 3(c)에서와 같이 $d(S, D)$ 를 변화시켜도 $d(D, D_I) = \rho$ 에서 CR이 최대가 되는 것을 알 수 있다.

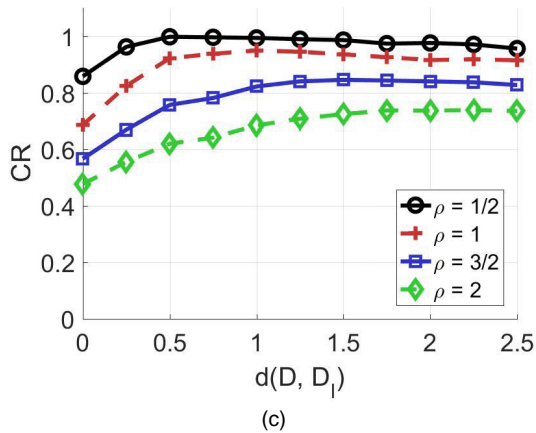
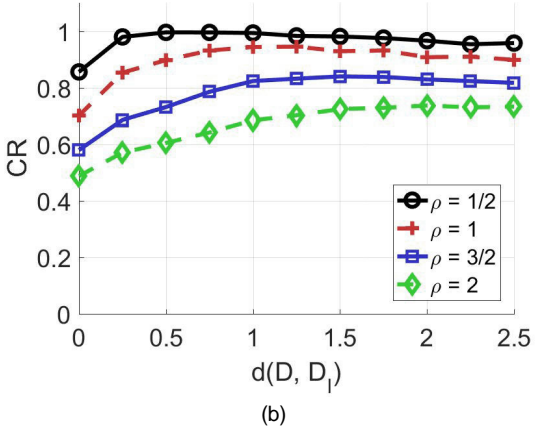
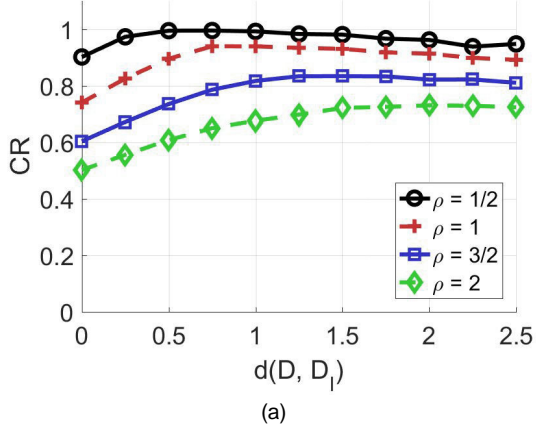


Fig. 3 CR vs. $d(D, D_1)$: (a) $d(S, D)=3$, (b) $d(S, D)=4$, (c) $d(S, D)=5$.

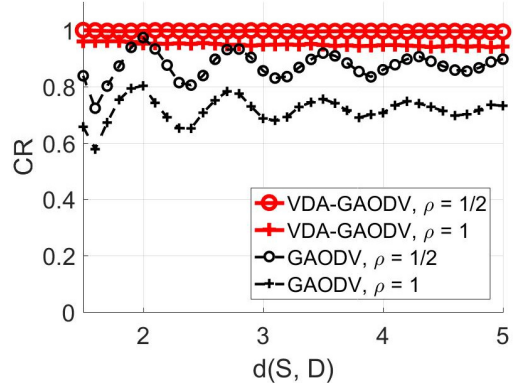


Fig. 4 CR vs. $d(S, D)$ when $d(D, D_1)$ of the VDA-GAODV is set to be optimum in the case of $\rho = 1/2, 1$.

따라서 정리 1은 소스와 목적지 사이의 거리와 관계 없이 항상 성립하는 것을 알 수 있다.

그림 4는 $d(S, D)$ 변화에 따른 최적의 가상 위치를 설정한 VDA-GAODV와 기존 GAODV의 CR 변화를 비교한 것이다. ρ 는 1/2과 1인 경우를 고려하였다. 모든 $d(S, D)$ 에 대해서 VDA-GAODV의 CR이 GAODV보다 높고 GAODV는 $d(S, D)$ 변화에 따라서 CR의 변동 폭이 큰 반면에 VDA-GAODV는 $d(S, D)$ 변화에 따른 성능 변화가 매우 작은 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 목적지 위치 정보에 대한 불확실성이 존재할 경우에 GAODV 라우팅 프로토콜의 경로 탐색 실패 확률이 증가하는 문제를 개선할 수 있는 VDA-GAODV 라우팅 프로토콜을 제안하였다. VDA-GAODV는 알고 있는 목적지 위치 정보가 아닌 노드의 최대 이동 속도에 의해서 결정되는 이동 가능 영역을 최대한 커버할 수 있는 가상 위치 도움 기반의 라우팅 프로토콜로서 기하학적 논리에 기반한 최적 가상 위치의 타당성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 선박의 최대 속도가 60 km/h 이내이고 VHF 모뎀의 통신 반경이 수십 킬로미터임을 고려하면, 모뎀 통신 반경 내에서 목적지 위치 정보의 불확실성에 따른 CR 손실 5% 이내의 성능을 보이는 VDA-GAODV는 해양 이동 애드혹 네트워크에서 실질적인 활용 가치가 높을 것으로 예

상된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by grants from National R&D Projects "Development of marine RF based ad-hoc network for ship" and "Development of wide-area underwater mobile communication systems" funded by Ministry of Oceans and Fisheries, Korea(PMS3672, PMS3710).

REFERENCES

- [1] J. Jubin and J. D. Tornow, "The DARPA packet radio network protocols," *Proceedings of the IEEE*, vol. 75, no. 1, pp. 21-32, Jan. 1987.
- [2] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers," in *Proceedings of ACM SIGCOMM*, pp. 234-244, 1994.
- [3] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Proceeding of the 2nd IEEE workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 90-100, Feb. 1999.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, and M. Mohammadi, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, June 2015.
- [5] S. F. Yunas, M. Valkama, and J. Niemela, "Spectral and energy efficiency of ultra-dense networks under different deployment strategies," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 90-100, Jan. 2015.
- [6] B. Soret, K. I. Pedersen, N. T. K. Jørgensen, and V. Fernandez-Lopez, "Interference coordination for dense wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 102-109, Jan. 2015.
- [7] M. Condoluci, M. Dohler, G. Araniti, A. Molinaro, and K. Zheng, "Toward 5G densenets: architectural advances for effective machine-type communications over femtocells," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 1, pp. 134-141, Jan. 2015.
- [8] Y. Wang and J. J. G. Luna Aceves, "On reducing routing overhead and redundancy in mobile ad hoc networks," in *Proceeding of the International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, pp. 202-206, 2015.
- [9] M. Nikolov and Z. J. Haas, "Towards optimal broadcast in wireless networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 14, no. 7, pp. 1530-1544, 2015.
- [10] X. M. Zhang, E. B. Wang, J. J. Xia, and D. K. Sung, "A neighbor coverage based probabilistic rebroadcast for reducing routing overhead in mobile ad hoc networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 12, no. 3, pp. 424-433, Mar. 2013.
- [11] Y. Ko and N. Vaidya, "Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks," *Wireless Networks*, vol. 6, no. 4, pp. 307-321, Sept. 2000.
- [12] Y. Choi and Y. Lim, "A Novel Geographical On-Demand Routing Protocol," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 6, pp. 1092-1099, June 2017.
- [13] Y. Choi, "Connectivity of the GAODV Routing Protocol" *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 7, pp. 1306-1312, July 2017.



최영철(Youngchol Choi)

1998년 2월: KAIST 전기및전자공학과(공학사)
2000년 2월: KAIST 전기및전자공학과(공학석사)
2011년 8월: KAIST 전기및전자공학과(공학박사)
2000년 3월-현재: 선박해양플랜트연구소 책임연구원
*관심분야 : 해양정보통신 네트워크, 수중 통신 네트워크 및 신호처리