

GAODV 라우팅 프로토콜의 연결성

최영철*

Connectivity of the GAODV Routing Protocol

Youngchol Choi*

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

요 약

Ad-hoc on-demand distance vector (AODV) 경로요청 패킷의 브로드캐스트 스톰 문제를 개선하기 위해 제안된 라우팅 프로토콜들은 경로 요청 패킷을 선택적으로 재방송하는데, 노드 밀집도가 낮은 시나리오에서 이러한 선택적 재방송 기법들의 연결성은 AODV보다 작아지게 된다. 경로 요청 패킷을 선택적으로 재방송하는 라우팅 프로토콜의 동작 요구 조건을 명확하게 하기 위해서는, 연결성과 노드 밀집도 사이의 관계 규명이 필요하다. 본 논문에서는 노드들이 균일 분포로 배치되었다는 가정 하에, 임의의 위치에서 geographical AODV (GAODV)의 연결성이 손상되지 않을 확률을 유도한다. 또한, 연결성이 손상되지 않을 확률을 이용해서 GAODV의 중단 간 연결성을 근사할 수 있는 직관적인 방안을 제시한다. 시뮬레이션을 통하여 0.9 및 0.99의 연결성을 보장하기 위한 노드 밀집도를 도출하고, 이론적인 결과와 비교함으로써, 이론적으로 유도된 연결성의 유효성을 보인다.

ABSTRACT

The route request (RREQ) packet is selectively re-broadcasted in the routing protocols that improve the broadcast storm problem of the ad-hoc on-demand routing protocol (AODV). However, in a low node density scenario, the connectivity of these selective rebroadcast schemes becomes less than that of the AODV. In order to clarify the requirements of these selective re-broadcast routing protocols, it is necessary to investigate the relationship between the node density and the connectivity. In this paper, we drive a probability to preserve the connectivity of the GAODV at an intermediate rebroadcast node. In addition, we present an intuitive method to approximate the end-to-end connectivity of the GAODV. We draw the required node density to guarantee the connectivity of 0.9 and 0.99 through computer simulations, and verify the validity of the derived theoretical connectivity by comparing with the simulation results.

키워드 : 이동 애드혹 네트워크, 온디맨드 라우팅 프로토콜, 연결성, 노드 밀집도

Key word : Mobile ad-hoc network, on-demand routing protocol, connectivity, node density

Received 19 May 2017, Revised 23 May 2017, Accepted 14 June 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.2017.21.7.1306>

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. 서 론

대부분의 상용 무선 통신 시스템은 고정된 인프라인 기지국이 다수의 사용자를 중앙 집중식으로 제어한다. 반면에, 이동 애드혹 네트워크는 통신 인프라가 없는 환경에서 이웃 노드들을 전달자로 활용하여 다중 홉으로 통신을 한다. 다수의 노드들이 무선 자원을 효율적으로 공유하기 위한 매체접속제어, 그리고 목적지까지 데이터 패킷을 전달하기 위해서 이웃 노드들 중에서 어떤 노드에게 데이터 패킷을 전달할지를 결정하는 라우팅 프로토콜은 이동 애드혹 네트워크의 가장 핵심이 되는 두 가지 기술이다. 대표적인 이동 애드혹 네트워크 라우팅 프로토콜은 모든 노드들이 네트워크 전체 토폴로지를 지속적으로 갱신하면서 경로 요청이 발생하면 즉시 경로 정보를 제공할 수 있는 테이블 기반 방식과 경로 요청이 발생하면 경로를 탐색하는 온 디맨드 방식이 있다[1]. 테이블 기반 라우팅 프로토콜은 경로 탐색에 시간 지연이 없으나 토폴로지 갱신을 위한 패킷 발생에 따른 네트워크 수율 저하가 발생한다. 반대로, 온 디맨드 라우팅 프로토콜은 테이블 기반 방식에 비해서 라우팅 오버헤드가 작지만 경로 탐색 과정에서 시간 지연이 발생한다.

Ad-hoc on-demand distance vector (AODV) 라우팅 프로토콜은 가장 대표적인 온 디맨드 라우팅 프로토콜이다[2]. AODV는 테이블 기반 방식에 비해서 라우팅 오버헤드가 작기는 하지만, 경로 요청 패킷이 네트워크 전체에 플래딩 되는 브로드캐스트 스톱 문제가 있다. AODV 경로 요청 패킷의 브로드캐스트 스톱 문제 개선을 통한 라우팅 오버헤드 감소 방법에 대한 연구가 지속되고 있다[3-9]. AODV 경로요청 패킷의 브로드캐스트 스톱 문제를 개선하기 위해서 제안된 라우팅 프로토콜들은 라우팅 오버헤드를 줄이기 위하여 경로 요청 패킷을 선택적으로 재방송하므로, 노드 밀집도가 낮은 네트워크에서는 AODV에 비해서 경로 획득 확률이 감소한다. 따라서, 경로요청 패킷의 중복 재방송을 감소시킨 라우팅 프로토콜의 동작 요구 조건을 구체화하기 위해서는, 목표로 하는 연결성을 보장하기 위해서는 요구되는 노드 밀집도에 대한 규명이 필요한데, 기존 문헌에서는 라우팅 오버헤드 개선을 위한 방법을 제시하고는 있으나 연결성을 보장하기 위해서 요구되는 노드 밀집도에 대한 연구 결과는 없다.

여기에서, 연결성(Connectivity)은 이상적인 물리 계층 및 매체접속제어 프로토콜을 가정했을 때 임의의 두 노드 사이의 도달 가능성을 의미한다.

본 논문에서는, 위치 정보를 이용한 경로 요청 패킷 중복 제어를 통하여 브로드캐스트 특성을 가지는 경로 요청 패킷이 유니캐스트 방식으로 전달되도록 하여 라우팅 오버헤드를 최소화한 geographical AODV (GAODV)[9, 10]의 연결성을 해석한다. 먼저, 노드들이 균일 분포로 배치되었다는 가정 하에, 임의의 위치에서 GAODV의 연결성이 손상되지 않을 확률을 노드의 밀집도와 선택적 중계 영역 넓이의 함수로써 유도하고, 연결성이 손상되지 않을 확률은 노드 밀집도와 선택적 중계 영역 넓이의 곱에 의해서 근사적으로 결정될 수 있음을 보인다. 또한, 연결성이 손상되지 않을 확률을 이용해서 중단 간 연결성을 수학적으로 유도하고, 이와 같이 유도된 중단 간 연결성을 근사할 수 있는 직관적인 방안을 제시한다. 0.9 및 0.99의 연결성을 달성하기 위한 노드 밀집도를 시뮬레이션을 통하여 도출하고 이론적인 결과와 비교함으로써, 이론적으로 유도된 연결성의 타당성을 입증한다.

II. GAODV의 연결성 해석

2.1. GAODV [9, 10]

본 논문은 GAODV의 연결성을 해석하므로, 먼저 GAODV의 동작 개념을 간략하게 소개한다 [9, 10]. GAODV 라우팅 프로토콜은 S 가 목적지가 D 인 경로 요청 패킷을 재전송하면, S 의 경로 요청 패킷을 수신한 노드들 중에서 다음의 조건을 만족하는 노드들 중 오직 하나의 노드만이 경로 요청 패킷을 재방송 하도록 한다.

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

여기에서 $d(N_1, N_2)$ 은 임의의 두 노드 N_1 과 N_2 사이의 거리이다. 물리 계층의 통신 범위는 노드의 위치를 중심으로 하고 반경이 "1"인 원의 내부로 모델링하고, r 은 물리 계층의 통신 반경보다 작은 값이다. S 가 송신한 경로요청 패킷에 의해서 생성되는 수식 (1)을 만족하는 영역을 selective re-broadcast region (SRR) 이라 명명하고, $SRR(S)$ 로 표시하자. 그림 1은 경로 요청 패킷

을 수신한 노드 N 이 자기 자신, S , D 의 위치 정보를 이용하는 GAODV의 경로 요청 패킷 재전송 메커니즘을 도시한 것이며, $SRR(S)$ 은 그림 1에서 빗금 친 영역이다.

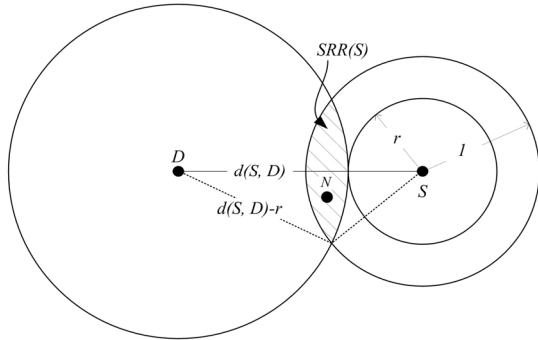


Fig. 1 Graphical illustration for the GAODV

2.2. 중계 노드에서 연결성 보존 확률

물리 계층 및 매체접속제어 프로토콜이 이상적일 때, 임의의 두 노드 사이의 도달 가능성을 연결성 (Connectivity) 이라고 정의한다. GAODV의 경로요청 패킷을 재방송하는 임의의 노드 S에서 연결성이 훼손되지 않을 확률을 구하기 위하여, 먼저, 노드들이 균일 분포로 배치된다고 가정한다. 그림 1에서 선택적 중계 영역 $SRR(S)$ 의 넓이를 노드의 무선 통신 가능 전체 영역의 넓이 π 로 나눈 값을 α 로 정의한다. 노드 밀집도 λ 는 노드의 무선 통신 가능 전체 영역의 넓이 π 에 존재하는 평균적인 노드의 수이다. 해석의 편의성을 위해서 λ 는 정수라고 가정한다. 실수 값을 가지는 λ 의 경우로 확장하는 것은 간단하다. π 넓이의 영역에 평균적으로 λ 개의 노드가 존재하는데, 이 λ 개의 노드가 모두 $SRR(S)$ 외부에 존재할 확률은 $(1-\alpha)^\lambda$ 이므로, $SRR(S)$ 내부에 한 개 이상의 노드가 존재할 확률 $p(\alpha, \lambda)$ 는 다음과 같다.

$$p(\alpha, \lambda) = 1 - (1 - \alpha)^\lambda = - \sum_{k=1}^{\lambda} \binom{\lambda}{k} (-\alpha)^k \quad (2)$$

따라서, 임의의 경로요청 재방송 노드에서 연결성이 손상되지 않을 확률은 $p(\alpha, \lambda)$ 이다. $p(\alpha, \lambda)$ 는 α 와 λ 두 변수의 함수로 표현되지만, 다음 정리에서 보여 지는 바와 같이 $p(\alpha, \lambda)$ 는 근사적으로 α 와 λ 의 곱에만 영

향을 받는다.

정리 1. $\alpha_1 \lambda_1 = \alpha_2 \lambda_2$ 라고 가정하자. 그러면, $p(\alpha_1, \lambda_1)$ 과 $p(\alpha_2, \lambda_2)$ 는 다음 관계를 만족한다.

$$|p(\alpha_1, \lambda_1) - p(\alpha_2, \lambda_2)| \propto \frac{1}{\lambda_1} \quad (3)$$

증명. $\alpha_1 \lambda_1 = \alpha_2 \lambda_2 = C$ 라고 하자. 여기에서, C 는 상수이다. 수식 (2)로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$p(\alpha_1, \lambda_1) - p(\alpha_2, \lambda_2) = \{ \alpha_1 \lambda_1 - \alpha_2 \lambda_2 \} - \left\{ \frac{\lambda_1 (\lambda_1 - 1)}{2} \alpha_1^2 - \frac{\lambda_2 (\lambda_2 - 1)}{2} \alpha_2^2 \right\} + \left\{ \frac{\lambda_1 (\lambda_1 - 1)(\lambda_1 - 2)}{6} \alpha_1^3 - \frac{\lambda_2 (\lambda_2 - 1)(\lambda_2 - 2)}{6} \alpha_2^3 \right\} + \dots \quad (4)$$

수식 (4)의 우변에서 첫 번째 항 $\alpha_1 \lambda_1 - \alpha_2 \lambda_2$ 은 가정에 의해서 소거된다. 수식 (4) 우변의 두 번째 항은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\left| - \frac{(\lambda_1^2 \alpha_1^2 - \lambda_2^2 \alpha_2^2) - (\lambda_1 \alpha_1^2 - \lambda_2 \alpha_2^2)}{2} \right| = \left| \frac{\lambda_1 \alpha_1 (\alpha_1 - \alpha_2)}{2} \right| = \frac{C^2}{\lambda_1} \propto \frac{1}{\lambda_1} \quad (5)$$

수식 (5)에서 $(\lambda_1^2 \alpha_1^2 - \lambda_2^2 \alpha_2^2)$ 항은 가정에 의해서 소거되므로, 수식 (5)를 노드 밀집도의 다항식으로 보면 차수가 "1"만큼 감소하게 된다. 마찬가지로, 수식 (4) 우변의 세 번째 이상의 항에 대해서도 각 항을 노드 밀집도의 다항식으로 봤을 때 차수가 "1"만큼 감소하게 된다. 따라서, 수식 (4) 우변의 각 항은 노드 밀집도에 반비례하므로 $|p(\alpha_1, \lambda_1) - p(\alpha_2, \lambda_2)|$ 는 노드 밀집도에 반비례 한다. □

노드 밀집도 λ 와 $SRR(S)$ 의 정규화된 넓이 α 의 곱 $\lambda \alpha$ 는 $SRR(S)$ 에 존재하는 평균적인 노드의 수이다. 따라서, 정리 1으로부터, GAODV의 경로요청 패킷 전달 과정이 중간 노드 S에서 중단되지 않을 확률은 $SRR(S)$ 에 존재하는 평균적인 노드의 수에 의해서 결정됨을 알 수 있다.

그림 2는 $(\alpha_0, \lambda_0) = (0.2, 20)$ 경우에, 정리 1에 대한 예로서, 정리 1의 조건인 $\alpha\lambda = \alpha_0\lambda_0$ 을 만족하면서 노드 밀집도 λ 증가에 따른 $\frac{|p(\alpha, \lambda) - p(\alpha_0, \lambda_0)|}{p(\alpha_0, \lambda_0)}$ 을 도시한 것이다. 노드 밀집도가 20부터 100까지 5배 증가할 때, $p(\alpha, \lambda)$ 는 $p(\alpha_0, \lambda_0)$ 대비 변동 폭이 1% 내로 매우 작은 것을 알 수 있다. 그림 2에서 노드 밀집도가 증가할수록 그래프의 기울기가 감소하는 것으로부터 수식 (3)의 노드 밀집도 반비례 특성을 확인할 수 있다.

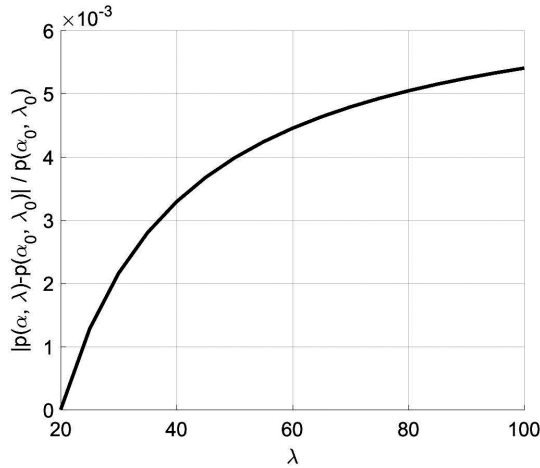


Fig. 2 Numerical example for equation (3).

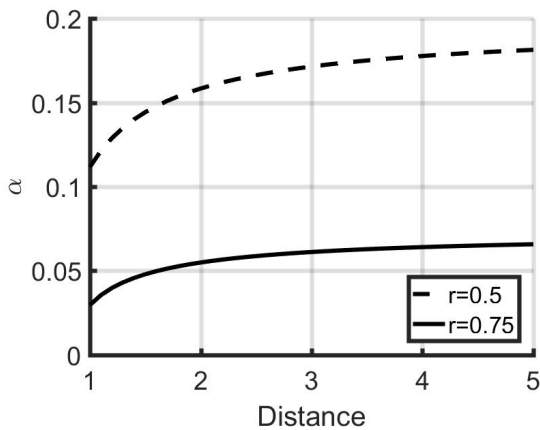


Fig. 3 α vs. distance to the destination when r is 0.5 and 0.75.

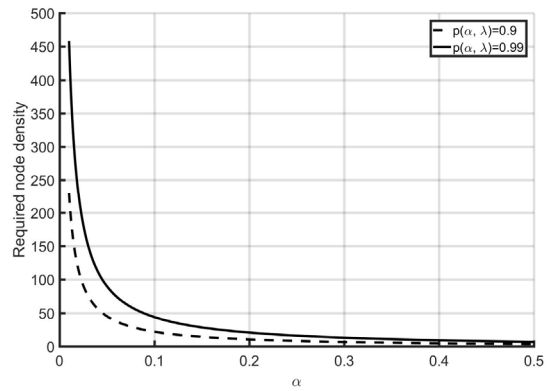


Fig. 4 Required node density to achieve $p(\alpha, \lambda)$ of 0.9 and 0.99.

Table. 1 Required node density to achieve $p(\alpha, \lambda)$ of 0.9 and 0.99 at the distance of 1.

$p(\alpha, \lambda)$	Required node density		
	$r = 0.5$	$r = 0.75$	$r = 0$ (AODV)
0.9	19	76	5
0.99	38	153	9

2.3. 종단 간 연결성

수식 (2)는 임의의 중간 노드에서 연결성이 훼손되지 않을 확률을 설명할 수 있지만, 경로요청 패킷이 전달되는 경로의 랜덤 특성으로 인하여 종단 간 연결성은 수식 (2)를 단순 확장하여 설명하는 것은 불가능하다. GAODV의 종단 간 연결성은 중계 노드의 랜덤성 및 밀집도 변화에 따른 홉 수 변화 등에 관한 비선형 함수이므로 해석적으로 정확하게 계산하는 것은 어렵다. 하지만, 그림 3에서 보여 지는 것과 같이 목적지까지의 거리가 가까워질수록 α 의 값이 작아지는 현상으로부터 주어진 연결성을 달성하기 위한 노드 밀집도를 추정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. α 는 목적지까지의 거리와 r 의 함수인데, 그림 3은 r 이 0.5와 0.75 일 때, 목적지까지의 거리 변화에 따른 α 를 도시한 것이다. α 는 r 이 고정되어 있다면, 거리가 가까워질수록 크기가 작아지고, 거리가 2 이상으로 커지면 값의 증가 속도가 급격하게 둔화된다. 한편, 종단 간 연결성은 경로 요청 패킷을 재방송하는 노드들의 위치에서 결정되는 $p(\alpha, \lambda)$ 의 곱으로 주어지므로, $p(\alpha, \lambda)$ 는 목적지에 가까워질수록 감소한다.

따라서 거리가 1에서 2 사이에 있을 때의 $p(\alpha, \lambda)$ 값이 중단 간 연결성의 지배적인 역할을 한다. 그림 4는 수식 (2)로부터 $p(\alpha, \lambda)$ 값이 0.9 및 0.99 값을 가지기 위해서 요구되는 최소 노드 밀집도를 α 의 변화에 따라서 그린 것이다. 거리 1에서, r 이 0.5와 0.75일 때의 α 는 각각 0.1127, 0.0296이고, $p(\alpha, \lambda)$ 가 0.9 및 0.99 값을 가지기 위한 최소 노드 밀집도는 표 1과 같다. 따라서, 표 1은 r 이 0.5와 0.75일 때 GAODV가 중단 간 연결성 0.9 및 0.99를 달성하기 위한 노드 밀집도의 추정 값으로 활용 가능하다. 한편, AODV는 GAODV의 r 을 “0”으로 하여 근사한 후에 표 1에 같이 정리하였다.

III. 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서는, 0.9 및 0.99의 연결성을 보장하기 위한 최소 노드 밀집도를 도출한다. GAODV는 r 이 0.5와 0.75일 때를 고려하고, AODV와 비교한다. 설명의 편의를 위하여, r 이 0.5와 0.75일 때의 GAODV를 각각 GAODV-1 및 GAODV-2로 명명한다. 시뮬레이션 결과는 독립적인 105 시행에 대한 평균을 취한 것이다.

그림 5는 0.9의 연결성을 달성하기 위해서 필요한 최소 노드 밀집도를 시뮬레이션한 결과로서, (a)는 구간에서 연결성이 0.9를 넘는 최초의 정수 값을 가지는 노드 밀집도에 대해서 연결성을 그린 것이고, (b)는 이 때의 홉 수이다. 홉 수는 연결된 경로가 있는 경우에 대해서만 평균을 취하였다. 그림 5에서 가로축은 목적지까지의 거리이다. AODV, GAODV-1, GAODV-2는 연결성 0.9 달성을 위해서 각각 7, 25, 73 이상의 노드 밀집도가 요구된다. 즉, GAODV-1과 GAODV-2는 AODV 대비 각각 약 3.5배 및 10배의 노드 밀집도가 요구된다. 한편, 시뮬레이션에서 도출된 AODV, GAODV-1, GAODV-2의 노드 밀집도 7, 25, 73는 앞서 표 1에서 이론적으로 추정한 5, 17, 76에 근접함을 알 수 있다. 그림 5(a)에서, 거리가 멀어질수록 연결성이 감소하는 AODV와 GAODV-1 그래프와는 달리, GAODV-2의 연결성 그래프는 지그-재그 형태를 보이는데, 이것은 r 이 커지면 α 가 작아져서 찾아진 경로의 랜덤성이 약화되기 때문이다. 앞서 설명한 것처럼, 중단 간 연결성은 거리 1과 2 사이에서 어떤 거리에 있는 노드가 선택되느냐에 따라서 크게 영향을 받는데, r 이

작아서 α 가 큰 경우에는 넓은 영역에서 중계 노드가 랜덤하게 선택되기 때문에, 거리 1과 2 사이에 있는 노드들이 랜덤하게 골고루 선택된다. 하지만, r 이 커서 α 가 작은 경우에는, 좁은 영역에서 중계 노드가 랜덤하게 선택되기 때문에, 거리 1과 2 사이에 있는 노드들이 골고루 선택되지 못하고 특정 영역에 집중되어, 소스 노드로부터 목적지까지의 거리에 따라서 출렁이게 된다. 그림 5(b)에서 GAODV-1과 GAODV-2의 홉 수 차이는 “1” 이내로서, r 값을 0.75에서 0.5로 줄이면서 연결성을 보장하기 위한 노드 밀집도 요구 조건을 1/3로 줄이더라도 홉 수 증가는 크지 않음을 알 수 있다. AODV의 홉 수는 GAODV-1 및 GAODV-2보다 큰데, 이것은 노드 밀집도가 매우 낮아서 탐색된 경로의 지그-재그가 크기 때문이다.

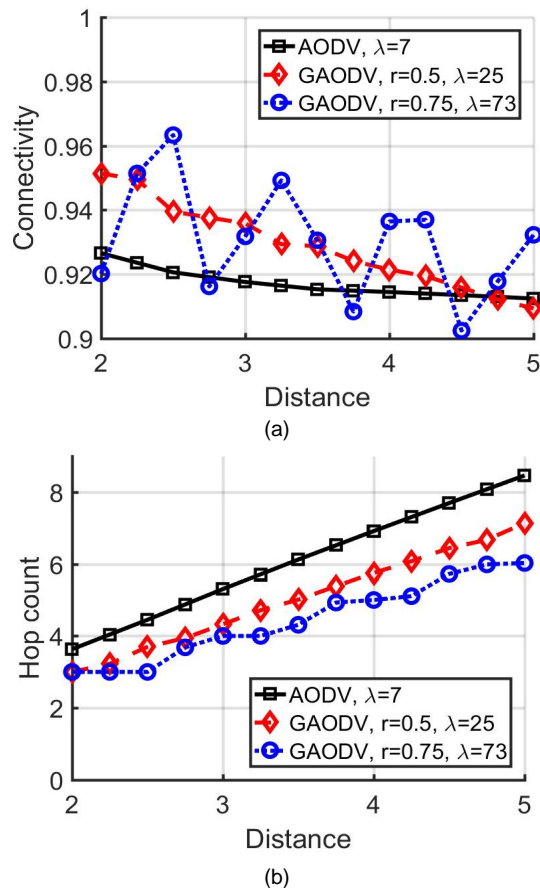


Fig. 5 Required node density to achieve the connectivity of 0.9: (a) connectivity, (b) hop count.

그림 6은 0.99의 연결성을 달성하기 위해서 필요한 최소 노드 밀집도를 시뮬레이션한 결과로서, 목표 연결성이 0.9에서 0.99로 높아진 것 이외에는 그림 5와 모든 조건이 동일하다. 그림 6에 나타난 경향은 그림 5와 매우 흡사하다. AODV, GAODV-1, GAODV-2는 연결성 0.99 달성을 위해서 각각 11, 40, 128 이상의 노드 밀집도가 요구되며, 이것은 앞서 표 1에서 이론적으로 추정된 9, 38, 153과 유사하다. GAODV-1과 GAODV-2 홉 수 차이는 “1” 이내로 작다. 그림 6(b)에서 AODV의 홉 수는 노드 밀집도가 증가하면서 감소하였고, 노드 밀집도가 증가하면 AODV의 홉 수는 그래프 모양이 계단식으로 수렴하므로 AODV와 GAODV-1의 홉 수에 차이가 없는 것은 큰 의미가 없다.

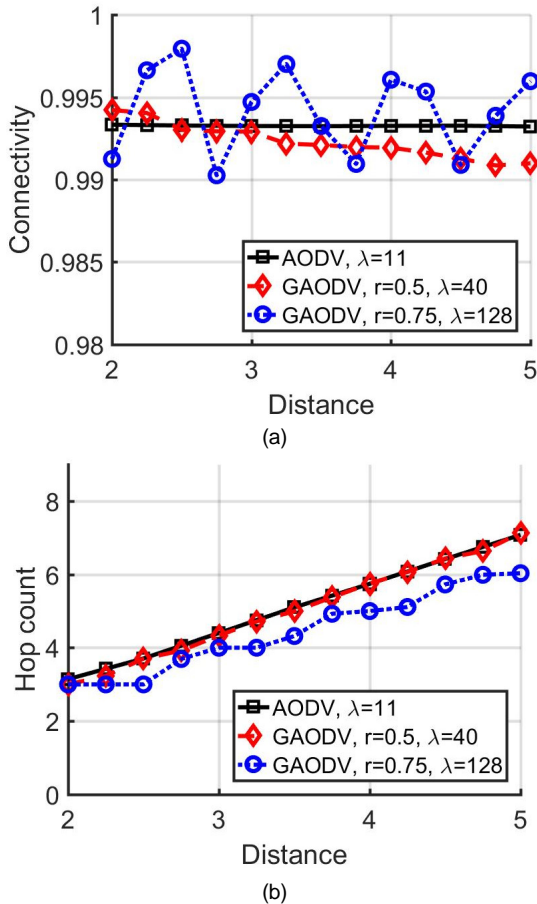


Fig. 6 Required node density to achieve the connectivity of 0.99: (a) connectivity, (b) hop count.

IV. 결론

본 논문에서는, GAODV 라우팅 프로토콜의 연결성을 이론적으로 해석하고, 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 이론이 일치함을 보였다. 본 논문의 연결성 해석 결과를 이용하면, 주어진 네트워크 시나리오에서 GAODV 프로토콜이 적용 가능성 여부를 쉽고 빠르게 판단할 수 있다.

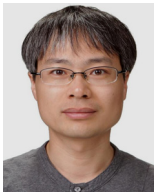
ACKNOWLEDGMENTS

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] A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M. Z. Ahmad, L. Boloni, and D. Turgut, "Routing protocols in ad hoc networks: A survey," *Computer Networks*, vol. 55, no. 13, pp. 3032-3080, Sept. 2011.
- [2] 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.
- [3] S. Ni, Y. Tseng, Y. Chen, and J. Sheu, "The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network," in *Proceeding of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, Seattle: WA, pp. 151-162, Aug. 1999.
- [4] 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.
- [5] X. M. Zhang, E. B. Wang, J. J. Xia, and D. K. Sung, "An estimated distance-based routing protocol for mobile ad hoc networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 7, pp. 3473-3484, Sep. 2011.

- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Y. Choi and Y. Lim, "Geographical AODV protocol for multi-hop maritime communications," in *Proceeding of the OCEANS'13*, pp. 1-3, June 2013.
- [10] 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.



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