

다중-홉 선박 통신망에서 확률 기반의 지향성 라우팅 프로토콜

이준만*, 조구민*, 윤창호**, 강충구*

Probabilistic Directional Routing Protocol in Multi-Hop Maritime Communication Networks

Junman Lee*, Kumin Cho*,
 Changho Yun**, Chung G. Kang*

요약

본 논문은 다중-홉 해양통신망의 종단간 경로 설정을 위한 ad-hoc on-demand vector (AODV) 기반의 flooding에서 발생하는 다중 복제 오버헤드를 줄이기 위해 제시된 지향성 라우팅 프로토콜을 다룬다. 확률 기하(stochastic geometry) 분석 기법을 이용하여 목표 라우팅 성공 확률과 선박국의 밀도에 따라 적응적으로 라우팅 오버헤드를 최소화하는 방식을 제안한다.

Key Words : Ship Ad-hoc Network (SANET), GAODV routing, Directional flooding, Stochastic geometry

ABSTRACT

In this letter, we consider a directional routing protocol that reduces the duplicated packets for AODV-based flooding in the course of establishing the end-to-end route in the multi-hop maritime ad-hoc networks. We propose an adaptive means of reducing the routing overhead subject to the node density and the target probability of successful routing that is analyzed by the stochastic geometry.

I. 서론

ITU-R M.1842-1을 통해 VHF 대역을 이용한 데이터 통신 시스템(VHF Data Exchange System: VDES)의 가능성이 제시된 이후로, 넓은 해상에 분포하는 선박국과 육상국간에 종단간 연결성을 보장할 수 있는 Ship Ad-hoc NETwork (SANET)에 대한 연구가 진행되고 있다^[1]. SANET의 라우팅 계층은 AODV 프로토콜에서 발생하는 라우팅 오버헤드를 감소시키기 위해 특정 방향으로만 경로 탐색 메시지를 송신하도록 설계된 Geographical AODV (GAODV) 방식이 적용된 바 있다^[2]. 이 방식은 flooding 과정에서 발생하는 다중 복제 오버헤드를 줄이는 지향성 라우팅 프로토콜이다. 본 논문에서는 확률 기하(stochastic geometry) 분석 기법을 이용하여 주어진 선박국의 밀도에 따라 라우팅 성공 확률의 목표값을 만족하는 방안을 구함으로써 일부 영역의 수신 노드들만 flooding에 참여하도록 하여 적응적으로 라우팅 오버헤드를 최소화하는 방식을 제안한다.

II. 시스템 모델

AODV 라우팅 프로토콜은 종단간 경로를 탐색하기 위해 RREQ, RREP와 같은 제어 메시지를 전방향으로 전송하는 flooding 방식을 사용한다. 다중-홉 해양통신망은 인터넷 망과 연결된 육상국과 선박국간의 통신을 지원하기 위해 설계된 시스템이므로 경로 탐색을 위해 전방향 flooding 방식을 적용하면 네트워크의 효율성이 크게 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 출발지 노드가 보낸 메시지를 수신 가능한 중계 노드 중에 목적지 노드 방향에 존재하는 중계 노드를 선택하여 제어 메시지를 전달하도록 설계한 Geographical AODV 프로토콜이 제시 되었다^[2].

그림 1은 노드 V 와 S 가 GAODV 라우팅 프로토콜을 사용하여 경로 탐색 메시지를 전송할 때 커버리지를 예시한 것이다. 출발지 노드 V 는 종단간 경로 설정을 위해 통신반경 R 내에 존재하는 모든 노드에게 RREQ를 전송한다. RREQ를 수신한 모든 노드가 RREQ를 다음 홉으로 전달할 경우에는 종단간 경로

* 본 연구결과는 국토해양부의 “U기반 해운 물류 체계 구축을 위한 기반기술 연구” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

♦ First Author : School of Electrical Engineering, Korea University, handol306@korea.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Korea University, ccgkang@korea.ac.kr, 종신회원

* School of Electrical Engineering, Korea University, kumin84@korea.ac.kr, 학생회원

** Korea Institute of Ocean Science & Technology, sgn0178@kriso.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-03-071, Received March 23, 2015; Revised April 14, 2015; Accepted May 15, 2015

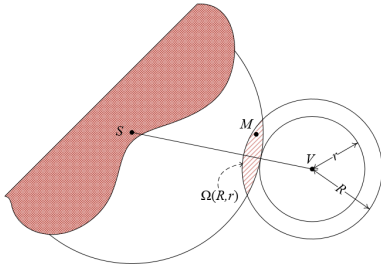


그림 1. 지향성 라우팅을 위한 커버리지 모델
Fig. 1. Coverage model for directional flooding

설정에 불필요한 라우팅 오버헤드가 발생하므로 라우팅 중계 영역 $\Omega(R, r)$ 내에 존재하는 노드만 RREQ를 다음 홉으로 중계한다. $\Omega(R, r)$ 은 노드 V 의 위치를 기준으로 반지름 R 인 원과 노드 S 의 위치를 기준으로 반지름 $d(V, S) - r$ 인 원의 교차 영역이며, 여기서 $d(V, S)$ 와 r 은 각각 노드 V 와 S 사이의 거리와 라우팅 변수를 나타낸다($r \leq R$). 노드 V 는 자신의 위치와 라우팅 변수 r 이 포함된 RREQ를 송신함으로써 수신 노드로 하여금 자신이 라우팅 중계 영역 안에 있는지 판단할 수 있으며, 해당 패킷을 다음 홉으로 전달해야 하는지 결정할 수 있다. 이때, 변수 r 의 크기를 크게 설정하면 중계 영역의 크기가 줄어들어 라우팅 오버헤드의 양은 줄일 수 있으나, 해당 영역에 중계 노드가 존재할 가능성이 줄어들어 종단간 연결성을 보장하지 못할 확률이 높아진다. 따라서 종단간 연결성을 보장하는 동시에 라우팅 오버헤드를 최소화할 수 있는 적절한 r 을 선택하는 방법이 제시되어야 한다.

SANET은 다중-홉 통신을 지원하기 위해 육상국의 위치를 기준으로 d_{hop} 간격으로 공간 영역을 나누고, 각 영역별로 직교된 시간 자원을 할당하여 공간적으로 자원을 재사용한다(그림 2 참조)^[1]. 선박국들은 선박에 장착된 GPS를 통해 자신의 위치를 파악하고 있으며, 육상국의 위치는 시스템의 데이터 베이스에 등록되어 선박국이 육상국과 선박국 사이의 거리를 계산할 수 있다. 선박국의 통신 반경 R 은 공간적으로 자원을 재사용하는 SANET의 특성을 고려하여 $d_{hop} \leq R \leq 2d_{hop}$ 로 설정한다. 본 논문에서 선박국은 자신이 속한 홉과 인접 홉 영역에서 전송을 시도하는 선박의 패킷을 수신함으로써 해당 홉 영역에 존재하는 선박의 밀도를 파악하고 있다고 가정한다. 또한, 라우팅 경로 탐색 메시지를 송신하는 선박국은 자신의 위치 정보를 함께 송신함으로써 수신 노드가 송신 노드의 위치를 파악할 수 있으며, 홉 영역 i 에서 선박국의 분포는 평균이 λ_i 인 PPP (Poisson Point

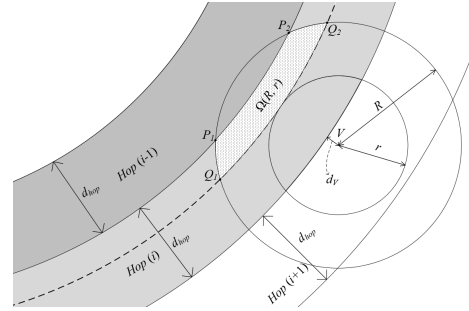


그림 2. SANET에서의 다중-홉 라우팅: 예시
Fig. 2. Multi-hop routing for SANET: Illustration

Process)를 따른다고 가정한다.

III. 라우팅 성공 확률 분석

육상국과 거리에 따라 d_{hop} 의 간격으로 공간을 분할하여 자원을 재사용하는 SANET에서 $(i + 1)$ 번째 홉 영역에 존재하는 노드 V 가 GAODV 라우팅 프로토콜을 이용하여 인접 홉의 중계 영역에 존재하는 노드에게 경로 탐색 메시지를 전송할 때, 노드의 통신 반경 R 과 라우팅 변수 r 에 의해 결정되는 중계 영역 $\Omega(R, r)$ 는 그림 2에서 보는 바와 같이 노드 중심으로 반지름 R 과 r 사이의 영역과 육상국 중심으로 반지름이 $R_V - r$ 인 원의 영역과 이전 홉 영역이 모두 겹치는 영역에 해당한다. $\Omega(R, r)$ 는 노드 중심으로 통신 반경 R 이 이전 홉과 그 이전의 홉의 경계를 넘을 경우(즉, $R < d_{hop} + d_V$)와 그렇지 않을 경우를 나누어 계산하며, 다음과 같이 주어진다.

$$\Omega(R, r) = \begin{cases} \begin{cases} (R_V - r)^2 \alpha_1 + R^2 \beta_1 \\ - R_V R \sin \beta_1 \\ - (R_V - d_V - d_{hop})^2 \alpha_2 \end{cases} & \text{if } R < d_{hop} + d_V \\ \begin{cases} (R_V - r)^2 \alpha_1 + R^2 \beta_1 \\ - R_V R \sin \beta_1 \end{cases} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 d_V 와 R_V 는 노드 V 가 이전 홉 영역의 경계면과 이루는 수직 거리($d_V \leq r$)와 노드 V 가 육상국과 이루는 거리를 각각 나타낸다. 그림 2와 같이 노드 기준으로 통신 반경 R 의 반지름을 갖는 원과 육상국 기준으로 $R_V - r$ 의 반지름을 갖는 원이 겹치는 점을 각각 Q_1 과 Q_2 라 하고, 노드 기준으로 통신 반경 R 의 반지름을 갖는 원과 육상국 기준으로 $R_V - d_V - d_{hop}$ 의 반지름을 갖는 원이 겹치는 점을 각각 P_1 과 P_2 라 하자. 식 (1)에서 $2\alpha_1$ 과 $2\beta_1$ 는 Q_1 과

Q_2 가 각각 노드와 육상국이 이루는 각도를 의미하며, 또한 $2\alpha_2$ 와 $2\beta_2$ 는 P_1 와 P_2 가 각각 노드와 육상국이 이루는 각도를 의미한다. 이때 $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ 는 각각 다음을 만족한다.

$$\begin{aligned} \cos \alpha_1 &= \frac{(R_V - r)^2 + R_V - R^2}{2(R_V - r)R_V}, \\ \cos \beta_1 &= \frac{R^2 + R_V^2 - (R_V - r)^2}{2R_V R}, \\ \cos \alpha_2 &= \frac{(R_V - d_V - d_{hop})^2 + R_V^2 - R^2}{2(R_V - d_V - d_{hop})R_V}, \\ \cos \beta_2 &= \frac{R_V^2 + R^2 - (R_V - d_V - d_{hop})^2}{2R_V R} \end{aligned} \quad (2)$$

영역 i 에 존재하는 노드의 분포는 평균이 λ_i 인 PPP분포이므로, 홉 영역 $(i+1)$ 에 존재하는 노드 V 가 홉 영역 i 의 중계 영역에 존재하는 중계 노드에게 성공적으로 경로 탐색 메시지를 보낼 확률 $P(R, r)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$P(R, r) = 1 - \exp\{-\lambda_i \Omega(R, r)\} \quad (3)$$

즉, $P(R, r)$ 은 중계 영역 내에 적어도 한 개 이상의 중계 노드가 존재할 확률을 의미한다. 전송의 성공 확률과 라우팅 오버헤드는 서로 득실 관계를 가지므로, 홉 영역 $(i+1)$ 에 존재하는 노드가 목표로 하는 라우팅 성공 확률 $P_{target}^{(i)}$ 를 만족하면서 라우팅 오버헤드 r 를 최소화하는 r 을 찾을 수 있다. $P_{target}^{(i)}$ 이 주어졌을 때 홉 영역 $(i+1)$ 에 존재하는 노드의 라우팅 변수 r 은 다음과 같이 설정된다.

$$r = \max\{\tilde{r} | P(R, \tilde{r}) \geq P_{target}^{(i)}, \tilde{r} \in [d_V, R]\} \quad (4)$$

밀도에 따라 라우팅 성공 확률의 목표값을 만족하는 라우팅 변수를 적응적으로 결정함으로써 Adaptive GAODV 방식을 구현할 수 있다.

IV. 성능 분석

그림 3은 홉의 간격, 선박국의 통신 반경이 각각 $d_{hop} = 30\text{km}$, $R = 48\text{km}$ 일 때 선박국의 밀도를 변화시켜가며 경로 탐색 메시지의 개수를 비교한 그래프이다. Fixed GAODV 방식에서는 라우팅 중계 영역을 결정하는 라우팅 변수 r 을 통신 반경 R 의 40%, 50%, 60%, 80%으로 각각 설정하였으며, 제안한 Adaptive GAODV에서는 라우팅 성공 확률 $P_{target}^{(i)}$ 을 각각 0.9, 0.999, 0.99999로 설정하였다. 선박국의 밀도가

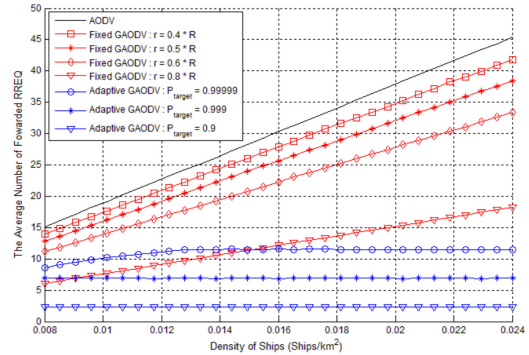


그림 3. 선박 밀도에 따른 RREQ 메시지의 수 비교
Fig. 3. The number of forwarded RREQ message as varying the node density

증가할수록 라우팅 중계 영역의 크기가 고정인 Fixed GAODV 방식의 특성상 경로 탐색 메시지가 선형적으로 증가하는 특성을 보인다. 반면 Adaptive GAODV 방식은 선박국의 밀도에 따라서 적응적으로 라우팅 중계영역의 크기를 설정하여 전송하기 때문에 선박국의 밀도가 증가하여도 전달하는 경로 탐색 메시지의 숫자에는 큰 변화가 없다.

V. 결론

본 논문에서는 다중-홉 해양통신망에서 AODV 라우팅 프로토콜이 가지는 오버헤드 문제점을 해결하기 위해 제시된 GAODV 라우팅 프로토콜을 고려하며, 라우팅 성공 확률을 만족하는 동시에 오버헤드를 최소화하는 방법을 제시하였다. 한편, 시뮬레이션을 통해 기존 AODV 방식과 성능을 비교하였다. 본 논문에서는 하나의 홉 영역만을 고려하나, 향후 중단간 성능을 최적화하기 위한 연구가 필요하다.

References

[1] C. H. Yun and Y. K. Lim, "ASO-TDMA: Ad-hoc self-organizing TDMA protocol for shipborne ad-hoc networks," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2012, no. 1, pp. 626-629, Dec. 2012.

[2] Y. C. Choi and Y. K. Lim, "Geographical AODV protocol for multi-hop maritime communications," *OCEANS*, pp. 1-3, Bergen, Norway, Jun. 2013.