

논문 2009-46TC-11-4

무선 Ad Hoc 네트워크를 위한 개선된 위치정보 기반의 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜

(An Improved Energy Aware Greedy Perimeter Stateless Routing
Protocol for Wireless Ad Hoc Network)

김 학 제*, 윤 원 식*

(Hakje Kim and Wonsik Yoon)

요 약

기존 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing) 프로토콜의 Greedy Forwarding에서는 항상 목적지에 가까운 노드만을 Next-Hop으로 설정하는 방식으로, 어느 특정 노드의 에너지 소모가 커지는 경향이 있는데, 이를 해결하기 위하여 기존의 Greedy Forwarding 방식에 목적지에 가까운 노드를 선택하면서 각 노드의 에너지 잔량을 고려하여 전체 네트워크의 수명(Network Lifetime)을 연장시킬 수 있는 방법을 제안한다. 무선 ad hoc 네트워크를 구성하는 노드들의 한정된 에너지를 효율적으로 사용하기 위하여 네트워크의 수명에 초점을 맞추어 각 노드들의 에너지 잔량을 고려하면서 최단 거리 역시 고려할 수 있는 라우팅 기법인 개선된 EAGPSR(Energy Aware Greedy Perimeter Stateless Routing)을 제안한다. 제한된 프로토콜의 성능 평가를 위하여 ns-2를 사용하였으며, 성능 평가를 통하여 GPSR과 기존의 EAGPSR와 비교하여 네트워크 수명이 향상된 것을 확인할 수 있다.

Abstract

In this paper we propose an improved energy aware greedy perimeter stateless routing protocol (EAGPSR) for wireless ad hoc network. The existing greedy perimeter stateless routing (GPSR) has some problems with overloaded node and void situation. The improved EAGPSR protocol is proposed to remedy these problems. It also gives the solution for the fundamental problem in geographical routing called void communication. It considers two parameters (Residual Energy of battery and distance to the destination) for the next hop selection. In order to use efficiently limited-energy of node in wireless ad hoc network, network lifetime is focused. To evaluate the performance of our protocol we simulated EAGPSR in ns-2. The simulation results show that the proposed protocol achieves longer network lifetime compared with greedy perimeter stateless routing (GPSR) and the existing Energy aware greedy perimeter stateless routing protocol (EAGPSR).

Keywords : Energy Aware Routing, Greedy Perimeter Stateless Routing, Ad Hoc Network.

I. 서 론

무선 ad hoc 네트워크 통신은 유선통신과는 달리 인프라 시설이 없는 상황에서 노드들이 독자적으로 네트워크를 구성하여 통신을 한다. 이러한 무선통신 환경에서는 노드의 전송 가능한 전송 범위와 빈번한 위치변화

에 따른 경로의 단절 등의 많은 고려요소들이 존재한다. 또한 무선 네트워크 노드들은 한정된 자원을 가지고 있으므로 인해, 이들 자원을 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 한정된 자원 중에 고려하여야 할 중요한 요소중의 하나가 각각의 노드들이 가지고 있는 한정된 에너지이다.

본 논문에서는 이러한 한정된 에너지를 효율적으로 사용하기 위하여 네트워크의 수명을 최대화하고 목적지까지의 최단거리를 가지는 위치 정보를 고려한 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

* 정희원, 아주대학교 전자공학부
(Department of Electrical & Computer Eng.,
Ajou University)

접수일자: 2009년7월4일, 수정완료일: 2009년11월10일

서론에 이어 II장에서는 제안하려는 라우팅 프로토콜의 기반이 되는 기존의 라우팅 프로토콜과 제안하는 에너지 소비를 고려하고 위치정보를 기반으로 하는 라우팅 프로토콜에 대하여 자세히 설명하고, III장에서 성능 평가를 실시하며, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. Greedy Forwarding Protocol

무선 ad hoc 네트워크에서는 네트워크 수명을 최대화하기 위해서 각 노드들의 제한된 에너지를 효율적으로 사용하여야 한다. GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)^[1] 프로토콜에서 사용하는 Greedy Forwarding은 그림 1에서와 같이 항상 목적지에 가장 가까운 노드만을 Next-Hop으로 설정하여 네트워크 통신을 행하므로 인해, 특정 노드의 에너지 소모가 급격하게 증가하는 경향을 가지고 있다.

또한, MANET을 위한 위치정보 기반 라우팅 프로토콜들^[2~3]이 제안되었으며, 이들 프로토콜들은 특정 노드의 에너지 소모가 집중된다는 단점을 가지고 있다.

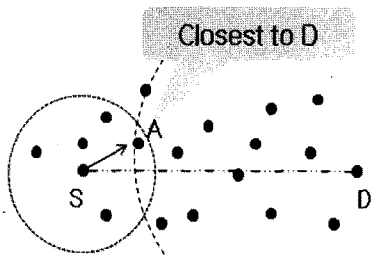


그림 1. Greedy forwarding
Fig. 1. Greedy forwarding.

2. An Improved Energy Aware Greedy Perimeter Stateless Routing Protocol

본 논문에서는 기존의 EAGPSR의 Energy Aware Greedy Forwarding (EAGF) Scheme과 Limited Flooding Scheme의 문제점들을 보완하여 네트워크의 성능과 수명을 향상시킬 수 있는 개선된 EAGPSR을 제안한다.

가. Energy Aware Greedy Forwarding Scheme

(1) 기존의 EAGF Scheme

기존의 Energy Aware Greedy Forwarding Scheme (EAGF)은 EAGPSR 프로토콜의 경로설정

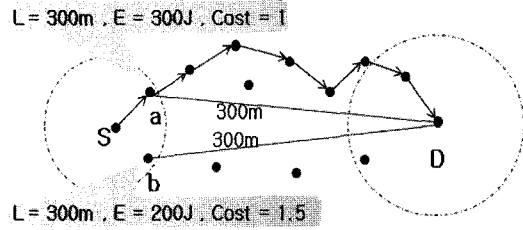


그림 2. Cost 값에 의해 node 선택
Fig. 2. A node selection according to cost value.

본적으로 적용되는 방식으로 각 노드들이 Next-Hop을 선택할 시에 각 노드의 에너지 잔량을 고려하여 선택하는 방식이다.^[4~5] 기존의 EAGF 방식은 GPSR의 목적지에 좀 더 가까운 노드를 Next-Hop으로 설정하는 Greedy Forwarding 방식과 각 노드의 에너지 잔량이 많은 노드를 Next-Hop으로 설정하는 방식으로 두 가지 측면을 모두 고려한 방법이다.

목적지에 가장 근접한 노드를 Next-Hop으로 선택하게 되는 Greedy forwarding에서는 특정 노드로 경로를 설정하게 되어 같은 노드들의 에너지 소모를 극대화시킨다. 즉, 특정 노드의 에너지를 빠른 시간 안에 소모되게 하여 특정 노드가 경로 구성에서 사라지게 되는데, 이로서 네트워크의 단절을 일으키게 된다. 또한 특정 노드의 네트워크 탈퇴로 인하여 사용가능한 경로들의 숫자가 줄어들게 되어, 데이터 전송 장애가 일어나 네트워크의 불균형을 초래하게 된다.

이를 해결하기 위하여 제안된 기존의 EAGF는 네트워크 수명을 최대화하기 위하여 목적지까지의 거리를 고려하고, Next-Hop의 에너지 잔량도 고려하는 Cost 값을 결정하는 수식을 제안하였다.

$$Cost(n_i, n_{i+1}) = \frac{L(n_{i+1})}{E(n_{i+1})} \quad (1)$$

식 (1)에서 n_i 는 Flooding을 실시하는 노드를 의미하고, n_{i+1} 는 n_i 의 1-Hop 거리에 위치한 노드를 나타낸다. $L(n_{i+1})$ 는 n_{i+1} 에서 목적지까지의 거리를 의미하고, $E(n_{i+1})$ 은 노드 n_{i+1} 의 에너지 잔량을 나타낸다. 그림 2와 같이 소스(S) 노드로부터 목적지(D) 노드까지의 경로를 설정하려 할 때, S 노드는 자신의 전송범위에 위치한 노드 A와 노드 B 중 하나의 노드를 선택하여야 한다. 이때, 노드 A와 B는 목적지까지의 거리가 동일하게 300m 떨어져 있고, 노드 A는 300J과 노드 B는 200J의 에너지 잔량을 가진 것을 확인할 수 있다. 그러므로 각 노드들의 Cost 값은 A=1, B=1.5의 값을 가지므로 노

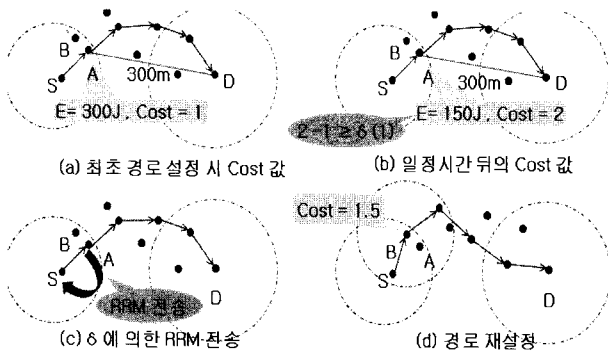


그림 3. $\delta = 1$ 로 설정하였을 때, 경로 재설정 과정
 Fig. 3. For $\delta = 1$, route reset process.

드 S는 Cost 값이 작은 노드 A를 Next-Hop으로 선택하여 경로를 구성하게 된다.

또한, 식 (2)에서와 같이 노드 n_i 에서 Cost 값이 Threshold 값(σ)을 넘어서게 되면 경로를 재설정하기 위하여 Route Repair Message(RRM)를 전송하게 된다. 노드는 다른 경로를 찾을 때까지 기존의 경로를 계속 사용하고, 다른 경로를 찾지 못할 경우에는 노드 n_i 의 에너지를 모두 소비할 때까지 사용하던 경로만을 사용하게 된다.

$$C_n - C_d \geq \delta \tag{2}$$

C_n 은 node의 현재 Cost 값, C_d 는 route 발견시 node의 Cost 값, δ 는 Threshold 값을 나타낸다. 그림 3에 경로 재설정과정을 도시하였다.

(2) An Improved EAGF Scheme

기존의 EAGF 프로토콜에서 Cost 값을 이용한 경로 구성방법은 경로를 구성함에 있어서 비효율적인 경로 설정이 될 수 있는 문제점을 가지고 있다. Cost 값이 가장 작은 노드를 Next-Hop으로 선택할 경우, 그림 4와 같이 경로 1(S→A→B→C→D)을 설정하게 된다. 하지만, 노드 A와 노드 B는 모두 노드 S의 전송범위 안에 위치하고 있다. S 노드가 Next-Hop의 노드를 노드 B로 설정하였다면, 경로 2(S→B→C→D)와 같은 경로가 선택된다. 이와 같이 노드 B를 선택하였을 경우에, 경로를 구성하는 Hop 수가 더 적은 것을 확인할 수 있다. 그러므로 노드의 불필요한 에너지소모를 방지하여 전체 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있다.

이와 같은 문제점의 인식으로 부터 기존의 EAGPSR의 EAGF Pseudo code에 Cost값을 이용하여 Next-Hop을 설정하는 부분에 n_i 와 목적지까지의 거리 $L(n_i)$ 과 n_{i+1} 에서 목적지까지의 거리 $L(n_{i+1})$ 을 비교

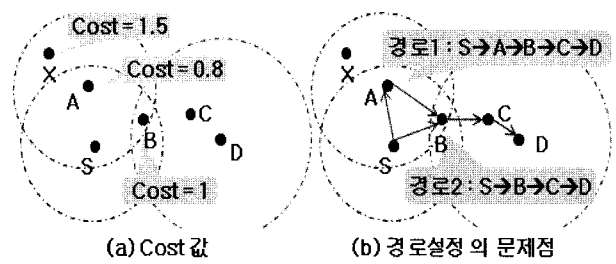


그림 4. 기존 EAGF의 경로 설정 문제점
 Fig. 4. Route selection of existing EAGF.

하여 Next-Hop을 결정하는 방법으로 식 (3)과 식(4)을 제안하였다.

$$L(n_i) \geq L(n_{i+1}) \tag{3}$$

$$L(n_i) < L(n_{i+1}) \tag{4}$$

Cost 값이 결정되고, Next-Hop을 결정하기 전에 $L(n_i)$ 과 $L(n_{i+1})$ 를 비교한다. 비교한 값이 식 (3)과 같을 때, Cost 값에 의해 결정된 노드를 Next-Hop을 결정한다. 반면, 식 (4)과 같은 경우가 발생하였을 때에는 $L(n_i)$ 의 값을 가지는 node들 중에서 가장 낮은 Cost 값을 가지는 node를 Next-Hop으로 선택하여 경로를 결정하도록 제안하였다.

이러한 EAGF 방법은 그림 5와 같은 void 상황을 만나게 되면 더 이상 진행할 수 없게 되고, void 상황을 벗어나면 다시 EAGF 방식을 선택하여 Next-Hop을 선택하게 된다. Void 상황을 해결하기 위하여 void 상황을 극복하면서 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 다음 절에서 제안하였다.

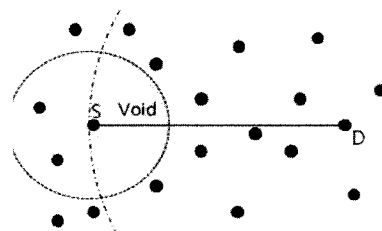


그림 5. GPSR에서의 Void 상황
 Fig. 5. Void situation in GPSR.

나. Limited Range Flooding Scheme

Void 상황을 극복하기 위하여 GPSR에서는 Right-Hand Rule이라는 Perimeters Routing을 이용하였는데, 이러한 방법은 한쪽 방향 노드들에게 부담을 주어 일정한 부분의 노드들이 빠르게 에너지를 소모하게 하여 네트워크의 단절을 초래할 수 있는 문제점을

안고 있다. 본 논문에서 제안하는 Limited Range Flooding 방법은 이러한 문제점들에 초점을 맞추어 해결책을 제안하였다.

(1) Existing Limited Flooding Scheme

기존의 Limited Flooding Scheme에서 제안하는 프로토콜은 노드가 void 상황에 직면하게 되면 전체 네트워크로 Flooding을 실시하지 않고 제한적인 Hop Count (HC)로 설정된 범위 내에서 Flooding을 실시한다. 이로써 일반적인 Flooding 방법에 비하여 전체 네트워크의 트래픽을 줄여 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있게 된다.

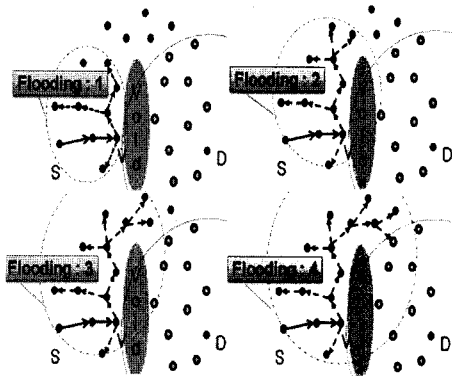


그림 6. 기존 EAGPSR의 limited flooding
Fig. 6. Limited flooding of existing EAGPSR.

$$C_a = \sum_{i=1}^{HC} C_i \quad (5)$$

식 (5)에서 C_a 는 Cost의 가중 합을 나타내고, C_i 는 void 상황에 직면한 노드로부터 i 번째 Hop을 나타낸다. HC를 초기에 설정하여 설정된 HC-Hop까지 떨어진 노드로 Flooding을 실시한 후, void 상황을 가지는 노드는 t 시간 동안 Route Reply Message를 기다리게 된다. 기존의 EAGPSR의 Limited Flooding 방법에서는 void 상황을 직면한 노드보다 목적지까지 가까운 노드를 발견하였다면, Route Reply Message를 수신한다. 하지만, 일정시간 t 까지 RRM을 수신하지 못하면, 설정된 HC를 1씩 증가시켜서 Flooding을 실시한다. 이와 같은 상황은 void 노드보다 목적지까지 가까운 노드를 발견하기 전까지 반복 실행된다.

(2) Limited Range Flooding Scheme

본 논문에서는 기존의 Limited Flooding보다 Flooding의 횟수를 줄일 수 있는 방법을 제안하였다.

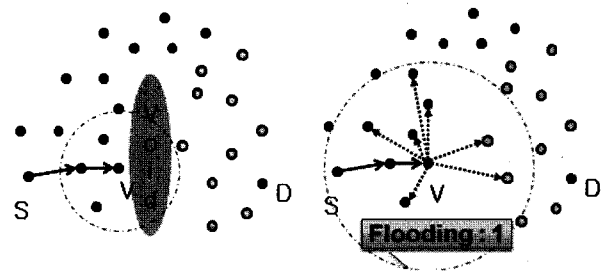


그림 7. 개선된 EAGPSR의 limited range flooding
Fig. 7. Limited range flooding of an improved EAGPSR.

줄어든 Flooding으로 인하여 불필요하게 사용되는 전력 사용을 줄일 수 있다. 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있는 방법으로 식 (6)을 제안하였다.

$$R_v = (P_v \times (1 + 0.5 \times i))^2 \quad (6)$$

식 (6)에서 P_v 는 void 상황에 처한 노드의 초기 전송 전력을 나타내고, R_v 는 void 상황에 직면한 노드의 전송범위를 나타낸다. void 상황에 처한 노드는 자신의 전송전력을 0.5의 배수로 증가하여 전송범위를 증가하게 된다. 이와 같이 증가된 전송범위로 void 상황을 해결하게 된다. 기존의 방법과 같이, 증가된 전송범위까지 Flooding을 실시한 후, void 상황을 가지는 노드는 t 시간 동안 Route Reply Message를 기다리게 된다. Void 상황을 직면한 노드보다 목적지까지 가까운 노드를 발견하였다면, Route Reply Message를 수신한다. 하지만, 일정시간 t 까지 RRM을 수신하지 못하면, i 를 1씩 증가시켜서 전송전력을 0.5배씩 증가시켜 Flooding을 실시한다. 이와 같은 상황은 void 노드보다 목적지까지 가까운 노드를 발견하기 전까지 반복 실행된다.

III. 성능 평가

본 논문에서 제안한 Energy Aware Greedy Forwarding Scheme과 Limited Range Flooding Scheme을 하나의 시뮬레이션 상황에 적용하였다. 제안하는 라우팅 프로토콜의 효과를 확인하기 위하여 NS-2를 사용하여 네트워크의 성능을 평가하였다.

본 논문에서는 네트워크 수명 시간에 중점을 두었다. 각 노드의 에너지 잔량을 모두 소모하는 경우를 노드의 네트워크 탈퇴라고 정하고, 시간에 따라 네트워크를 탈퇴하는 노드의 발생시간을 GPSR, EAGPSR, 개선된 EAGPSR 프로토콜에서 각각 비교 분석하여 성능평가를 실시하였다.

1. 시뮬레이션 환경

네트워크는 1km²의 평면 공간에 50개의 노드를 배치하였다. 각 노드의 전송범위는 100m, 초기 에너지와 전송 및 수신 전력을 표 1과 같이 각각 설정하였으며, 총 8000초 동안 시뮬레이션을 실행하였다.

표 1. 시뮬레이션 시나리오 설정
Table 1. Simulation Scenario Configuration.

구분		설정 값
네트워크 크기 (m × m)		1000x1000
노드의 수 (개)		50
시뮬레이션 시간 (sec)		8000
노 드	초기 에너지 (J)	1000
	Transmission power (w)	1.6
	Receiving power (w)	1.3
	Idle power (w)	0.1

2. 성능 분석 및 결과

그림 8은 기존의 EAGPSR에서 개선된 EAGF 방법을 적용하여 기존의 EAGF 방법과 개선된 EAGF 방법의 성능비교를 나타낸 그래프이다. 기존의 방법보다 개선된 EAGF에서 네트워크 탈퇴 시간의 간격이 증가한 것을 확인할 수 있다.

그림 9에서는 기존의 Limited Flooding 방법과 개선된 Limited Range Flooding 방법의 성능평가를 나타낸 것이다. 첫 번째로 발생하는 dead node가 더 일찍 발생한 것은 void 상황에 처한 노드의 전송전력이 증가하여 발생한 것이다. 하지만 이러한 방법은 특정노드의 에너지 사용을 일정시간동안만 증가시키기 때문에 전체 네트워크의 성능은 더욱 상승되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림 10에서 그림 8과 그림 9에서 확인한 개선된 두 개의 방법들로 총체적으로 개선된 EAGPSR과 기존

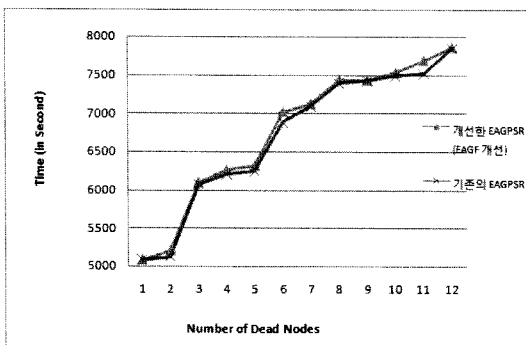


그림 8. 개선된 EAGPSR로 인한 시간 대비 dead nodes의 수
Fig. 8. Number of dead nodes vs time in an improved EAGPSR.

의 EAGPSR 그리고 GPSR의 프로토콜을 비교하여 dead node의 발생시간을 나타내었다.

이와 같이 그림에서 확인할 수 있듯이 기존의 EAGPSR보다 개선된 EAGPSR의 노드들의 에너지 소모량을 감소시킴으로서 각 노드가 네트워크에서 탈퇴되기까지 걸리는 시간이 증가한 것을 확인할 수 있다. 또한 네트워크를 탈퇴하는 노드의 수가 증가함에 따라 GPSR과 EAGPSR의 시간 차이가 더 벌어지게 되는 것

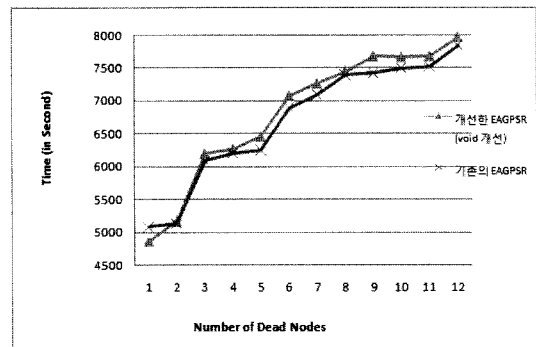


그림 9. 개선된 limited range flooding로 인한 시간 대비 dead nodes의 수
Fig. 9. Number of dead nodes vs time(s) in an improved limited range flooding.

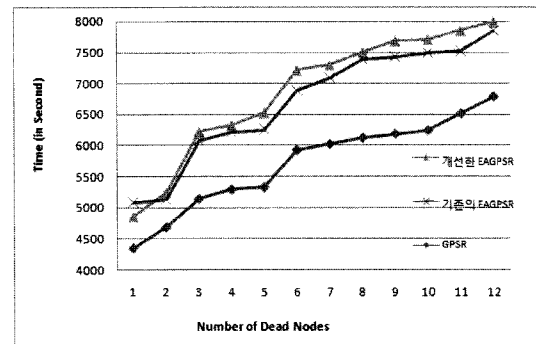


그림 10. 시간 대비 dead nodes의 수
Fig. 10. Number of dead nodes vs time.

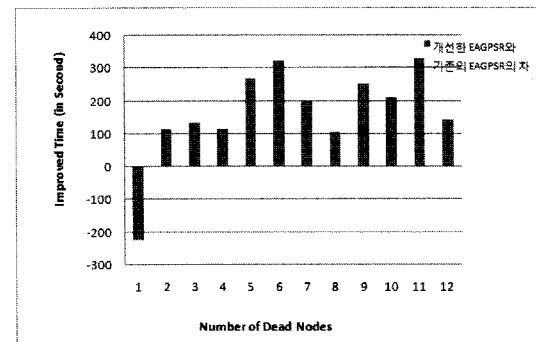


그림 11. 시간 대비 dead nodes의 수에서 개선된 EAGPSR의 이득
Fig. 11. Benefit of improved EAGPSR in number of dead nodes vs time.

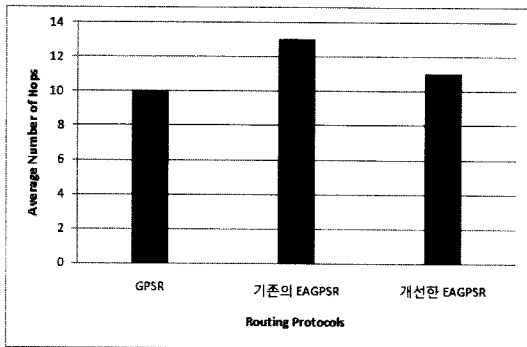


그림 12. 목적지까지의 평균 Hop 수
 Fig. 12. Average number of hops to destination.

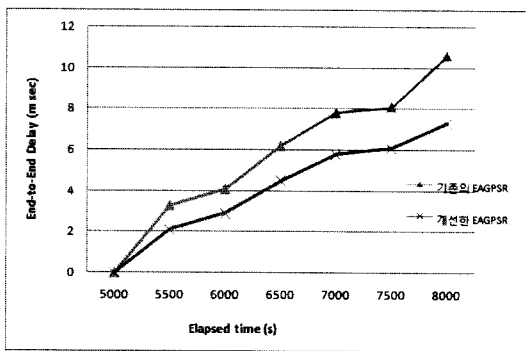


그림 13. 시간에 따른 end-to-end delay
 Fig. 13. Elapsed time vs end-to-end delay.

을 확인할 수 있고, 기존의 EAGPSR과 개선된 EAGPSR의 네트워크 탈퇴 시간의 간격이 넓어지는 것을 확인할 수 있다.

그림 11에서는 개선된 EAGPSR의 각 dead nodes의 수에서 시간상의 이득을 나타낸다. 첫 번째로 발생한 dead node에서만 개선된 EAGPSR의 네트워크 탈퇴 시간이 기존의 EAGPSR보다 짧은 것을 확인할 수 있다. 기존의 EAGPSR보다 개선된 EAGPSR의 dead node의 발생시간이 평균적으로 약 165초 정도 느리게 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그림 12는 GPSR과 기존의 EAGPSR 그리고 개선된 EAGPSR의 경로 구성의 평균 Hop의 수를 비교하여 나타내고 있다. 기존의 EAGPSR 보다 목적지에 가까운 Node를 선택하여 경로를 구성하는 방법을 사용한 개선된 EAGPSR이 경로를 설정하는 Hop 수가 적게 되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 13은 end-to-end delay를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 초기의 dead nodes의 발생 전의 end-to-end delay는 개선된 EAGPSR와 기존의 EAGPSR는 거의 동일하나, 시간이 지남에 따라 제안한 EAGPSR의 delay 특성이 좋아지는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 GPSR의 Greedy Forwarding 방식에 에너지 잔량을 고려하는 방법과 void 상황을 해결하는 방법들로 개선된 EAGPSR을 제안하였다. 네트워크 수명을 최대화하면서, 특정 노드의 급격한 에너지 소모로 인하여 네트워크의 경로가 줄어들고 결국에는 네트워크의 단절을 막기 위하여 제안한 EAGPSR은 ns-2를 이용한 시뮬레이션의 결과로 확인할 수 있듯이 전반적인 노드의 네트워크 탈퇴시간이 늦추어진 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 EAGPSR은 GPSR과 기존의 EAGPSR보다 네트워크 수명의 증가로 인한 네트워크의 성능이 향상된 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] B. Karp and H.T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," In ACM MOBICOM, Boston, MA, August 2000.
- [2] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia, "Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks," Wireless Networks, pp. 609-616, 2001.
- [3] Z.J. Haas, J. Deng, B. Liang, P. Papadimitratos and S. Sajama, "Wireless ad hoc networks," Encyclopedia of Telecomm., J.G. Proakis, ed., Wiley, 2002.
- [4] M. Maleki, K. Dantu, and M. Pedram, "Power-aware source routing protocol for mobile ad hoc networks," Proc. of Symp. on Low Power Electronics and Design, pp. 72-75, August 2002.
- [5] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," Technical Report Computer Science Department Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, UCLA, May 2002.

저 자 소 개

김 학 제(정회원)

2007년 청주대학교 전자공학부 학사 졸업.

2009년 아주대학교 전자공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크>



윤 원 식(정회원)

1984년 서울대학교 제어계측 공학과 학사 졸업.

1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.

1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1991년 금성전기 선임연구원

1994년 금성정밀 책임연구원

1995년 University of Victoria 방문교수

2001년 콘텔라 CTO

2007년 University of Florida 방문교수

1994년~현재 아주대학교 전자공학부 교수

<주관심분야 : 이동통신, 무선네트워크>