

논문 2008-6-5

모바일 Ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 효과적인 경로 안정성을 지원하기 위한 엔트로피 기반 동적 라우팅 프로토콜

An Entropy-based Dynamic Routing Protocol for Supporting Effective Route Stability in Mobile Ad-hoc Wireless Sensor Networks

안병구*

Beongku An*

요약 본 논문에서는 모바일 ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 효과적인 경로 안정성을 지원하기 위한 엔트로피 기반의 동적 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 아이디어 및 특징은 다음과 같다. 첫째, 소스 노드와 목적지 노드 사이의 안정된 라우팅 경로의 설정이다. 본 연구에서는 모바일 노드들의 이동성 정보와 전력 정보를 동적으로 이용한 엔트로피 기반의 안정된 경로 설정방법을 제안 사용한다. 둘째, 경로 설정에 필요한 자원 절약을 지원하기 위해서 노드들의 위치 및 방향성 정보를 이용한 방법을 사용한다. 셋째, 기존의 센서 네트워크는 주로 고정된 노드 환경에서 많은 연구가 되어 왔지만, 본 연구에서는 노드들의 이동성을 고려한 환경에서 연구가 이루어진다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 OPNET (Optimized Network Engineering Tool)을 사용하여 이루어졌으며, 성능평가를 통하여 제안한 프로토콜은 효과적인 경로의 안정성 지원 및 데이터 전송효율 보여 주었다.

Abstract In this paper, we propose an entropy-based dynamic routing protocol for supporting effective route stability in mobile ad-hoc wireless sensor networks(MAWSN). The basic ideas and features are as follows. First, construction of entropy-based stable routing route using mobility of nodes between a source node and a destination node. Second, usage of location and direction information for route construction to support resource saving. Third, We consider a realistic approach, in the points of view of the MAWSN, based on mobile sensor nodes as well as fixed sensor nodes in sensor fields while the conventional research for sensor networks focus on mainly fixed sensor nodes. The performance evaluation of the proposed routing protocol is performed via simulation using OPNET. The simulation results show the proposed routing protocol can effectively support route stability and packet delivery ratio.

Key Words : Ad-hoc and Sensor Networks, Resource Saving, Dynamic Routing

1. 서 론

모바일 ad-hoc 무선 네트워크[1][2]에서 소스 노드와 목적지 노드 사이에 패킷을 전송하기 위해서는 라우팅 경로가 필요하다.

그러면, 어떤 라우팅 경로가 최고의 라우팅 경로인가

? 라우팅 경로가 만족해야만 할 바람직한 특성과 성능을 측정하기 위한 파라미터로 다음과 같은 성능측정 메트릭(metrics) 들이 소개된다[3]. 경로 안정성 (Route stability (i.e., lifetime of routes)), 전력소모(Minimum total power (battery capacity)), 메시지 전달 효율 (Maximum end-to-end throughput), 컨트롤 오버헤드(Minimum overhead (bandwidth)), 경로 설정을 위한 시간지연

*중신회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자 : 2008.11.15, 수정완료일자 : 2008.12.5

(Minimum end-to-end delay), 최단 경로(Shortest path/minimum hop), 포폴로지 변화에 대한 적응성(Adaptability to the changing topology). 본 연구에서는 이러한 여러 가지 라우팅 경로가 만족해야 할 특성 및 성능 측정들 중에 특히 모바일 노드들의 이동성 및 전력의 관점에서 경로의 안정성 (route stability (i.e., life-time of routes))에 초점을 두고 연구를 진행한다[4]. 그 이유는 경로의 안정성을 만족하기 위해서는 궁극적으로 위에서 설명한 여러 성능 측정 메트릭 들을 고려해서 만족함을 의미하는 가장 핵심적인 성능 측정 메트릭이기 때문이다. 또한 안정된 경로는 최소한 모바일 노드들의 이동성과 전력을 동시에 만족해야 하기 때문이다. 본 논문에서는 모바일 노드들의 이동성 및 전력을 동시에 동적으로 고려하는 관점에서 안정된 경로를 효과적으로 지원할 수 있는 라우팅 방법을 제안한다. 본 논문은 다음처럼 구성되어 있다. II장에서는 제안된 동적 라우팅 프로토콜의 알고리즘 및 이론적인 분석에 대해 설명하고, III장에서는 시뮬레이션 환경과 결과 값에 대하여 설명하고 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 결과와 향후과제에 대해 살펴보고 결론을 맺도록 한다.

II. 제안된 동적 라우팅 프로토콜 알고리즘

제안된 라우팅 프로토콜의 동작은 그림 1에서 설명된 것처럼 다음과 같다.

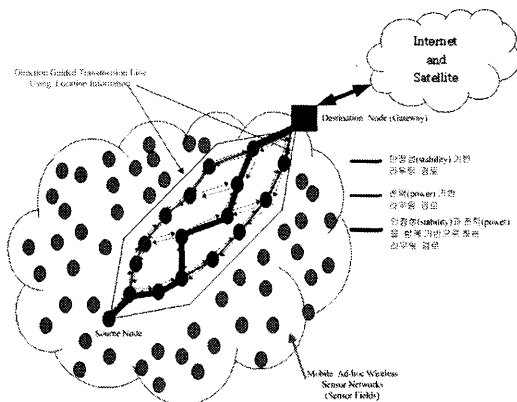


그림 1. 제안된 라우팅 프로토콜의 동작과정
Fig.1. The operation of the proposed routing protocol

Step 1: 소스 노드 S 는 경로 요청(Route_Request: Route_REQ) 메시지를 생성하여 이웃 노드들에게 전송한다. Route_REQ 메시지는 소스노드의 ID, 이동성(mobility) 및 위치정보, 목적지를 향한 방향성 정보[5], 전력(power) 정보, 소스 노드로부터의 시퀀스 넘버(sequence number) 등이 포함되어 있다.

Step 2: 방향성 가이드 라인 내부에 위치한 어떤 i^{th} 노드가 같은 경로로 전송되지 않은 Route_REQ 메시지를 받으면 Route_REQ 테이블에 소스노드 ID와 Route_REQ 메시지를 송신한 노드 및 현재 노드의 이동성 정보, 전력 정보, 시퀀스 넘버를 저장한다. 다음 Route_REQ 메시지를 이웃 노드들에게 전송한다. 여기서 Route_REQ 메시지에 포함된 정보는 소스노드 및 현재 노드의 ID, 이동성 정보, 전력 정보, 시퀀스 넘버 등의 정보가 포함된다.

Step 3: 목적지 노드가 같은 경로를 경유하지 않은 Route_REQ 메시지를 수신하면, 목적지 노드는 Route_REP (Route Reply: Route_REP) 메시지를 생성하고 업스트림 방향(소스 노드 방향)으로 전송한다. Route_REP 메시지는 목적지 노드 ID, Route_REP를 전송하는 노드의 이동성 및 전력 정보, 목적지 노드로부터의 시퀀스 넘버 등을 포함한다.

Step 4: 방향성 가이드 라인 내부에 위치한 어떤 노드가 다운스트림 노드(목적지 방향 노드)로부터 Route_REP 메시지를 받았을 때, 그 노드는 다음과 같은 동작을 수행한다.

- REPLY TABLE(REPT)에 그 자신의 노드 ID, 목적지 노드로부터의 시퀀스 넘버, 다운 스트림 노드의 이동성 및 전력 정보등을 저장한다.
- 현재 노드 (i^{th})의 시퀀스 넘버가 2보다 크 (i.e., No. of downstream nodes ≥ 2), 경로 안정성 (route stability: RS (i.e., γ^1 & γ^2))들이 이동성과 전력의 관점에서 각각 식 (1)와 식(2)을 사용하여 계산된다[4].
- 만약 RS 가 어떤 경계 값보다 크면 (i.e., $RS \geq TH_{RS}$), 노드는 경로 안정성 값을 REPT에 저

장한다. 만약 하나 이상의 경로가 존재하면 모든 경로에 대해서 RS 가 계산되고 그 값에 따라서 우선순위가 지정되어 REPT 에 저장된다. 그 노드는 Route_REP 메시지를 소스 노드 방향으로 전송한다.

- 만약 RS 값이 어떤 경계 값보다 작으면 (i.e., $RS \leq TH_{RS}$), 그 노드는 더 이상 Route_REP 메시지를 전송하지 않는다.
- 이러한 동작은 Route_REP 메시지가 소스 노드에 도착 될 때까지 계속된다.

Step 5: 소스 노드가 Route_REP 메시지를 받으면 REPT 테이블에 소스 및 목적지 노드 ID, 목적지 노드까지의 경로 안정성 결과, 시컨스 넘버 등을 저장한다. 여러 개의 다른 경로들로부터 수신된 Route_REP 메시지에 포함된 경로안정성 결과를 비교하여 각각에 대해서 라우팅 우선권 순서(routing priority entry)을 부여하여 REPT 에 저장한다. 데이터 메시지를 REPT 에 있는 라우팅 우선권 순서에 따라서 다음처럼 전송한다.

- 먼저 REPT 에 있는 라우팅 우선권 순위 중에서 이동성 측면에서 우선순위가 가장 앞서는 경로를 선택한 후 그 경로의 전력 측면에서의 우선순위를 확인한다.
- 표 1에서 보여주는 것처럼 경로 2가 이동성과 전력측면에서 모두 우선순위가 앞서면 경로 2를 최종적으로 라우팅 경로로 선택하고 그 위로 데이터 메시지를 전송한다.
- 표 2처럼 이동성 측면에서 우선순위가 가장 앞서는 경로 2가 전력 측면에서 우선순위가 가장 낮으므로 경로 2는 선택에서 배제되고, 다시 라우팅 우선순위를 비교 확인하여 최종적으로 경로 1이 라우팅 경로로 선택되어 그 위로 데이터 메시지를 전송하게 된다.

Step 6: 어떤 노드(i^{th})가 안정된 라우팅 경로를 경유하여 사전노드(previous node to source node)데이터 메시지를 받았을 때, 그 노드는 데이터 메시지를 REPT 에 있는 라우팅 우선순위(routing priority number)에 따라서 목적지를 향해서 다음처럼 (소스 노드에서와 같은 동작으로)전송한다.

- 먼저 REPT 에 있는 라우팅 우선권 순위 중에서 이동성 측면에서 우선순위가 가장 앞서는 경로를 선택한 후 그 경로의 전력 측면에서의 우선순위를 확인한다.
- Table 1에서 보여주는 것처럼 경로 2가 이동성과 전력측면에서 모두 우선순위가 앞서면 경로 2를 최종적으로 라우팅 경로로 선택하고 그 위로 데이터 메시지를 전송한다.
- Table 2처럼 이동성 측면에서 우선순위가 가장 앞서는 경로 2가 전력 측면에서 우선순위가 가장 낮으므로 경로 2는 선택에서 배제되고, 다시 라우팅 우선순위를 비교 확인하여 최종적으로 경로 1이 라우팅 경로로 선택되어 그 위로 데이터 메시지를 전송하게 된다.

이러한 동작은 목적지 노드가 데이터 메시지를 받을 때까지 계속된다.

표 1. 동적 라우팅 예제 1

Table 1. Example 1 of dynamic routing

라우팅 경로	라우팅 우선순위	
	이동성	전력
경로 1	2	3
경로 2	1	1
경로 3	3	2

표 2. 동적 라우팅 예제 2

Table 2. Example 2 of dynamic routing

라우팅 경로	라우팅 우선순위	
	이동성	전력
경로 1	2	1
경로 2	1	3
경로 3	3	2

본 연구에서는 소스 노드와 목적지 노드 사이의 경로 안정성을 측정하기 위해서 이동성 기반 경로 안정성 (Mobility-based Rote Stability (MRS)) 측정 모델을 다음처럼 제안 설명한다. $\gamma_m = MRS_{s,g}(t, \Delta_t)$, 여기서 Δ_t 는 경로 안정성 측정 시간 구간을 나타낸다. 제안된 라우팅 프로토콜에 사용된 엔트로피[6] 기반 경로 안정성 측정 및 평가를 위한 기본적인 개념은 다음 논문 [4]에 상세하게 설명되어 있다.

본 연구에서는 경로 안정성을 측정하기 위한 두 가지 다른 모델들, $\gamma_m^1 = MRS^1_{s,g}(t, \Delta_t)$ 와 $\gamma_m^2 = MRS^2_{s,g}(t, \Delta_t)$, 을 다음처럼 제시한다.

$$\gamma_m^1 = MRS^1_{s,g}(t, \Delta_t) = \prod_{i=1}^{N_r} [H_i(t, \Delta_t)] \quad (1)$$

$$\gamma_m^2 = MRS^2_{s,g}(t, \Delta_t) = \min_{i=\{1,2,3,\dots,N_r\}} H_i(t, \Delta_t) \quad (2)$$

여기서, N_r 두 노드들(즉, 소스 노드 S와 목적지 노드 G(즉, Gateway) 사이에 존재하는 중간 노드들(intermediate nodes)의 개수를 나타낸다.

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 시나리오 및 파라미터 값들

제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 모델링과 OPNET (Optimized Network Engineering Tool)을 사용한 시뮬레이션을 통하여 이루어진다. 1 km x 1 km 크기의 사각형 구조의 각 노드들은 무한 버퍼, 이동 ad-hoc 무선 센서 네트워크에 50개의 노드들로 랜덤하게 구성되어 있다. 각 노드들은 무한 버퍼(infinite-buffer), 저장 및 전달 큐잉 구조(store-and-forward queuing station)로 구성되어 있으며 GPS 시스템을 사용하여 각자의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 노드들의 라디오 거리는 $Z=250m$ 로 가정한다. 본 시뮬레이션에서는 랜덤 이동성 모델(random mobility model)을 사용하였다. 랜덤 이동성 모델에서 각 이동 노드들의 속력은 $[0, v_{max}]$ km/h의 범위, 방향은 $[0, 2\pi]$ 범위에서 일정하게 분포(uniformly distributed)되어 있다. 모바일 노드가 네트워크의 가장자리에 도착하면, 그 이동 노드는 다시 네트워크의 안으로 반사되어서 되돌아온다.

4.2 시뮬레이션 결과 (Simulation Results)

그림 2는 경로 형성에 요구되는 지연 시간을 나타낸다. 경로를 형성할 때 노드들의 이동성이 증가함에 따라서 경로 형성을 위한 REQUEST, REPLY의 횟수가 증가함으로 경로 형성에 요구되는 지연시간이 증가함을 볼 수 있다. 그림 2에서 보는 것처럼 3가지 방법(Mobility,

Power, Mobility+Power)의 결과가 비슷함을 알 수 있다. 이것은 3가지 방법이 경로 형성을 위한 REQUEST 및 REPLY의 횟수가 비슷하므로 경로를 형성하기 위한 지연 시간이 비슷하기 때문이다.

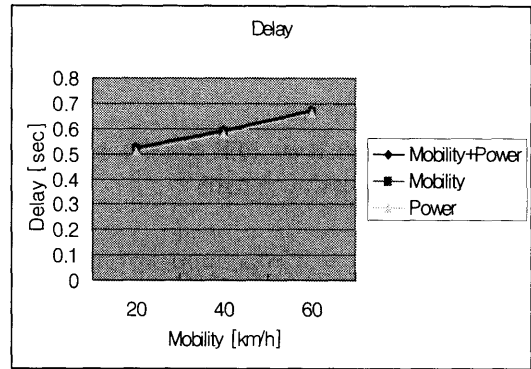


그림 2. 시간지연/경로설정
Fig. 2. delay/route_setup

그림 3은 경로를 형성하기 위해서 요구되는 노드 당 컨트롤 오버헤드(Control overhead)를 나타내며 노드 이동성이 증가함에 따라서 REQUEST 및 REPLY의 횟수가 증가함으로 컨트롤 오버헤드가 증가함을 볼 수 있다. 그림 3에서 보는 것처럼 3가지 방법(Mobility, Power, Mobility+Power)의 결과가 비슷함을 알 수 있다. 이것은 3가지 방법이 경로 형성을 위한 REQUEST 및 REPLY의 횟수가 비슷하기 때문이다.

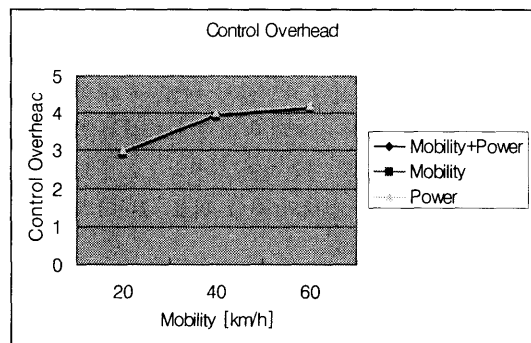


그림 3. 컨트롤 오버헤드/경로설정/노드
Fig. 3. control overhead/route_setup/node

그림 4는 패킷 전송률(PDR, packet delivery ratio)을 나타낸다. 그림 4에서 보는 것처럼 노드들의 이동성 정보를 사용하여 안정된 경로 위로 데이터를 전송함으로써 랜

덤 모빌리티(random mobility) 상에서 비교적 높은 패킷 전송률(PDR)을 나타내고 있음을 보여준다. 특히 이동성과 전력(Mobility+Power)을 동시에 고려한 동적라우팅 방법(DRP)이 상대적으로 우수한 PDR을 보여 주고 있다. 이유는 다음과 같다. 노드들의 이동성이 비슷한 경로를 이용하는 이동성 기반 방법(Mobility)은 설정된 경로위로 데이터를 전송할 때 경로 위에 있는 어떤 노드의 전력이 고갈되면 이동성이 유사하다고 해도 경로가 단절되고 데이터 전송이 되지 않는다. 마찬가지로 노드들의 전력이 우수한 경로를 이용하는 전력 기반 방법(Power)은 설정된 경로위로 데이터를 전송할 때 경로 위에 있는 노드들의 전력이 우수하다고 해도 노드들의 이동성이 랜덤하기 변화하면 설정된 경로가 단절되고 데이터 전송이 되지 않는다. 따라서 이동성과 전력을 동시에 고려한 동적 라우팅 방법(Mobility+Power)을 사용할 때 이와 같은 문제점을 보완할 수 있으므로 3가지 방법 중에서 가장 우수한 성능을 보여 주고 있다.

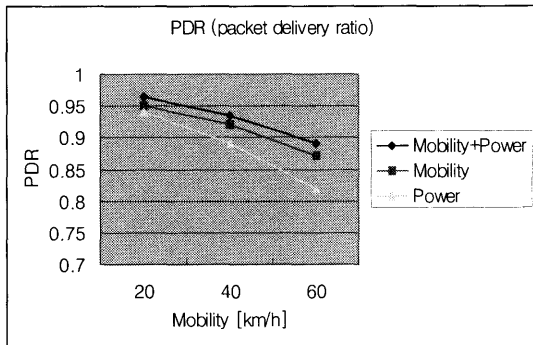


그림 4. 패킷전달 효율
Fig. 4, packet delivery ratio

그림 5는 경로의 생존시간(Route Life-Time)을 나타낸다. 그림 5에서 보는 것처럼 이동성과 전력을 동시에 고려한 동적 라우팅 방법(Mobility+Power)을 사용할 때 이동성(Mobility)이나 전력(Power) 중에서 하나의 방법만 사용할 때의 이문제점을 보완할 수 있으므로 3가지 방법 중에서 가장 우수한 성능을 보여 주고 있다. 그림 5에서 보는 것처럼 노드들의 이동성이 증가함에 따라 경로 생존시간이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 그림 4와 5에서 보는 것처럼 경로 lifetime이 줄어들면서 데이터 전송률이 감소하는 것을 볼 수 있다.

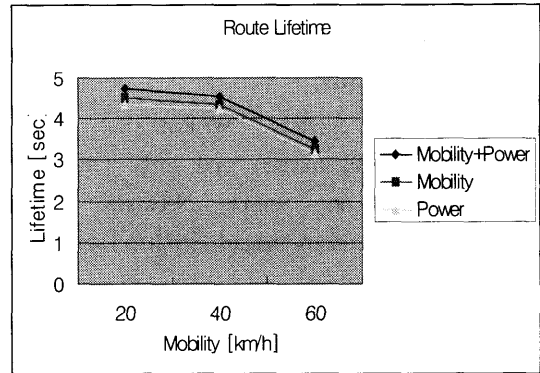


그림 5. 경로 라이프타임
Fig. 5. route lifetime

V. 결론 (Conclusion Remarks)

본 연구에서는 이동 ad-hoc 무선 센서 네트워크에서 안정된 경로의 설정 및 설정된 경로의 lifetime을 효과적으로 지원하여 데이터 전송효율을 향상시키기 위한 엔트로피 기반 동적 라우팅 프로토콜(DRP)을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 기본 아이디어 및 특징은 다음과 같다. 첫째, 소스노드와 목적지 노드 사이의 안정된 라우팅 경로의 설정이다. 본 연구에서는 엔트로피 기반의 안정된 경로 설정방법을 제안 사용한다. 둘째, 엔트로피 기반 경로 설정 시 안정된 경로를 효과적으로 지원하기 위해서 노드들의 이동성 정보 및 전력 정보를 이용한 동적인 라우팅 경로 설정방법의 사용이다. 셋째, 기존의 센서 네트워크는 주로 고정된 노드 환경에서 많은 연구가 되어 왔지만, 본 연구에서는 노드들의 이동성을 고려한 환경에서 연구가 이루어진다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능평가는 OPNET을 사용하여 이루어졌으며 성능평가를 통하여 제안한 프로토콜은 안정된 경로의 설정 및 데이터 전송효율을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 특히 제안된 라우팅 프로토콜은 그룹이동성 환경에서의 성능이 우수할 것으로 예측하는데 이에 대한 연구는 현재 진행 중에 있다.

참고문헌

- [1] R. Ramanathan and M. Steenstrup, "Hierarchically Organized, Multihop Mobile Wireless Networks

- for Quality-of Services Support," ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, vol.3, no.1, pp.101-119, 1998.
- [2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramanian, and Erdal Cayici, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications magazine, pp.102-114, August 2002.
- [3] C.-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad-hoc Networks," IEEE Communications Magazine, June 2001.
- [4] Beongku An, Symeon Pappavassiliou, "An Entropy-Based Model for Supporting and Evaluating Stability in Mobile Ad-hoc Wireless Networks," IEEE Communications Letters, vol.6, issue 8, pp.328-330, August 2002.
- [5] Beongku An and Symeon Papavassiliou, "Geomulticast: Architectures and Protocols for Mobile Ad-hoc Wireless Networks," Journal of Parallel and Distributed Computing(JPDC), vol.63. pp. 182-195, 2003.
- [6] Akira Shiozaki, "Edge Extraction Using Entropy Operator," Computer Vision, Graphics, and Image Processing 36, 1-9, 1986.

※ Acknolodgement: 이 논문은 2008학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원 되었음

저자 소개

안 병 구(중신회원)



- 1988년 경북대학교 전자공학과 (BS)
- 1996년 (미) Polytechnic University, Dept. of Electrical & Computer Engineering (MS)
- 2002년 (미) New Jersey Institute of Technology (NJIT), Dept. of Electrical & Computer Engineering (Ph.D)

- 1990년-1994년 포항산업과학연구원(RIST), 선임연구원
- 1997년-2002년 NJIT, Lecturer & RA
- 2003년-현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- 2005년-2008년 Marquis Who's Who in Science & Engineering was listed.
- 2007년-2008년 Marquis Who's Who in the World was listed.

<주관심분야 : Ad-hoc & Sensor Networks, QoS Routing, Multicast, Cooperative Communication, Cross-Layer Technology, Ubiquitous Convergence Technology>