
저전력 애드혹 네트워크를 위한 동적 라우팅 프로토콜

황소영 · 유동희

부산가톨릭대학교

Dynamic Routing Protocol for Low-power and Ad-hoc Networks

Soyoung Hwang · Donhui Yu

Catholic University of Pusan

E-mail : soyoung@cup.ac.kr

요 약

저전력 애드혹 네트워크에서 네트워크 노드들은 한정된 에너지와 자원을 기반으로 동작하기 때문에, 이를 고려한 다양한 라우팅 알고리즘이 제시되었다. 본 논문은 저전력 애드혹 네트워크의 노드 간 데이터 및 명령을 전송하기 위한 경로 설정 기법에 관한 것으로, 저전력 애드혹 네트워크의 속성을 적용한 경로 비용 함수를 정의하고 네트워크의 특성에 따라 제안된 경로 비용 함수가 유연하게 적용될 수 있도록 하는 동적 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 라우팅 프로토콜의 성능 분석은 QualNet 네트워크 시뮬레이터에서 수행되었다.

ABSTRACT

Many routing protocols have been proposed for low-power and ad-hoc networks where energy awareness and reliability are essential design issues. This paper proposes a dynamic routing protocol for low-power and ad-hoc networks. A dynamic path cost function is defined considering the constraints and characteristics of low-power and ad-hoc networks. The cost function can be applied flexibly depending on the characteristics of the networks. The performance of the proposed method is evaluated using a QualNet network simulator.

키워드

low-power and ad-hoc networks, routing protocol, cost estimator

1. 서 론

저전력 애드혹 네트워크로 대표되는 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 노드들은 한정된 에너지 및 자원을 기반으로 동작하기 때문에, 이를 고려한 다양한 라우팅 알고리즘이 제시되었다[1].

TinyOS의 대표적인 라우팅 프로토콜인 CTP (Collection Tree Protocol)는 저전력 애드혹 네트워크의 불안정한 링크 특성을 고려한 링크 품질을 반영한 라우팅 프로토콜이다. 그러나, CTP는 링크 품질을 측정하기 위해 주기적인 hello 메시지를 방송함으로써 네트워크 부하를 가중시키는 단점을 가지고 있으며 기본적으로 many-to-one 트래픽 패턴을 고려하였기 때문에 센서 노드들로

부터 싱크노드로의 데이터 전달이 가능한 반면 임의의 노드 간 라우팅을 위해서는 다른 추가의 작업이 요구되는 단점이 있다.

센서 네트워크 관련 대표적인 표준화 단체인 ZigBee에서 제시한 라우팅 프로토콜은 AODV를 기반으로 동작하며 TinyOS의 CTP에서와 마찬가지로 링크 품질을 반영하기 위해 LQI (Link Quality Indicator) 값을 경로 비용함수로 채택하였다. AODV 기반의 peer-to-peer 라우팅이 가능하다. 그러나, 센서 네트워크의 다양한 특성을 반영하지 못한 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 기존 라우팅 기법의 문제점을 해결하기 위해, 저전력 애드혹 네트워크의 속성을 반영한 경로 비용함수를 정의하고, 이러한 경로

비용함수를 네트워크의 특성에 따라 유연하게 적용할 수 있는 동적 라우팅 방법을 제안한다. 즉, 저전력 애드혹 네트워크의 속성을 노드 속성, 링크 속성, 홉 카운트로 정의하여 이를 적용한 경로 비용함수를 제시하고, 각각의 속성에 가중치를 부여하여 경로를 설정하게 함으로써 기존의 방식보다 보다 효율적으로 네트워크 특성을 반영하여 경로 설정이 가능하도록 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 저전력 애드혹 네트워크를 위한 동적 라우팅 프로토콜에 대해 제시하고 3장에서 제안한 기법의 성능 분석을 다룬다. 마지막으로, 4장에서 논문의 결론을 맺는다.

II. 저전력 애드혹 네트워크를 위한 동적 라우팅 프로토콜

(1) 프로토콜 구조

제안하는 라우팅 프로토콜은 경로 찾기, 경로 설정, 유지 관리의 대표적인 세 단계로 이루어진다. 유지 관리는 응용에 따라 설정된 경로를 주기적으로 갱신하는 등의 절차를 포함하는 단계로 제안하는 라우팅 프로토콜의 구현 분야에 따라 다르게 적용될 수 있다.

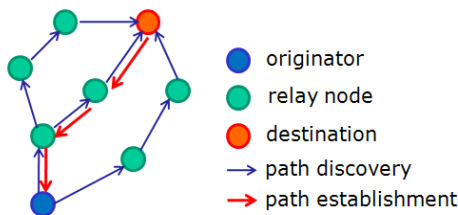


그림 1. 라우팅 프로토콜 동작 개요

그림 1에서와 같이 소스 노드 (originator node)는 자신의 주소, 목적지 주소, 경로 탐색 ID를 포함한 경로 탐색 메시지 (path discovery message)를 네트워크에 방송한다. 해당 메시지를 수신한 중계 노드는 자신의 노드 속성, 링크 속성, 홉 카운트를 메시지에 포함하여 중계하고 목적지 노드에 이르기까지 경로 탐색 메시지에 각각의 속성이 누적되어 목적지에 도달하게 된다. 이때, 소스 주소 및 경로 탐색 ID를 통해 중계 노드는 해당 메시지의 중복 수신을 인지하고, 이미 처리한 메시지의 중복 처리를 막는다. 목적지 노드는 기 정의된 시간 동안 (path discovery reception time) 경로 탐색 메시지를 수신하고 정해진 가중치를 부여하여 경로 비용을 계산하여 선정된 경로로 경로 설정 응답 메시지 (path establishment message)를 송신한다. 소스 노드는 정의한 경로 탐색 시간 (path discovery time) 동안 경로 설정 응답 메시지를 수신하지 못하면 경로 탐색 시간을 새로운 값으로 갱신하고 정의한

경로 탐색 재시도 회수 (path discovery retries) 내에서 앞서 기술한 탐색 과정을 재수행 한다.

그림 2는 제안하는 라우팅 프로토콜에서 사용되는 메시지 형식 및 테이블 구성 요소를 나타낸 것이다.

octets: 1	1	2	2	1	1	1
Message type	Discovery ID	Originator address	Destination address	Node cost	Link cost	Hop count

(a) Path discovery message

octets: 1	1	2	2	1
Message type	Discovery ID	Originator address	Destination address	Path cost

(b) Path establishment message

Discovery ID	Originator address	Sender address	Forward cost	Expiration time

(c) Discovery table

Destination address	Status	Next-hop address	Use

(d) Routing table

그림 2. 메시지 형식 및 테이블 구성 요소

(2) 경로 비용 함수

제한된 자원과 처리 능력을 가진 노드로 구성되는 저전력 애드혹 네트워크는 종래의 유선 및 애드혹 네트워크와는 다른 특성을 가진다. 기존 라우팅 프로토콜이 홉 카운트 및 링크 특성을 고려하여 설계되었으나 저전력 애드혹 네트워크에 그대로 반영하기는 어렵다[2,3]. 따라서, 본 논문에서는 저전력 애드혹 네트워크에 적용할 수 있는 현실적인 라우팅 메트릭을 고려하여 새로운 경로 비용 함수를 정의하였다.

$$p^* = \arg \min_{p \in P} \{ \omega_n p_n + \omega_l p_l + \omega_h p_h \},$$

$$(\omega_n + \omega_l + \omega_h = 1)$$

$$p_n = \arg \sum_{n \in N_p} \min \left\{ 1, \frac{REF_CNT(n)}{TABLE_SIZE} \right\}$$

$$p_l = \arg \sum_{l \in L_p} \min \left\{ 1, \frac{LQI_LEVEL(l)}{MAX_LEVEL} \right\}$$

$$p_h = HOP_CNT(H_p)$$

최종 경로 p^* 를 선정하는 경로 비용함수는 위의 식에서와 같이 p_n , p_l , p_h 로 구성되고, 각각의 함수에 가중치 ω_n , ω_l , ω_h 를 부여하여 네트워크 특성을 고려하여 선정하도록 한다.

첫번째 경로 함수 p_n 은 노드의 속성을 반영한 것이다. TABLE_SIZE는 해당 노드가 유지할 수 있는 전체 라우팅 테이블의 크기 이고, REF_CNT(n)은 해당 노드가 현재 참여하고 있는 라우팅의 수이다. 제한된 에너지와 메모리, 처리 능력을 가진 노드의 특성을 고려하여 가급적 라우팅의 참여수가 적은 노드를 선정하게 함으로써, 통신 부하와 빈번한 라우팅 테이블의 교체를 줄임으로써 노드의 처리 부하를 절감시키는 효과가 있다.

두번째 경로 함수 p_l 은 노드의 링크 속성을 반영한 것이다. 저전력 애드 혹 네트워크는 매우 불안정한 링크 특성을 가지고 있다. 따라서, 링크의 품질을 적용하여 경로를 설정하게 함으로써 보다 높은 품질을 가진 경로 선정을 통해 데이터 및 명령의 전달에 신뢰성을 제고할 수 있다. MAX_LEVEL은 링크 품질 값 (LQI)을 미리 정의한 구간 수 (등급 수) 에 해당하고, LQI_LEVEL(l)은 현재 링크의 품질 등급을 나타낸다. IEEE 802.15.4에서는 LQI 값이 0x00 ~ 0xff 사이의 값을 가지며 이 값을 8개의 등급으로 나누어 사용할 것을 권고 하고 있다. 이런 경우 MAX_LEVEL은 7이 되고, LQI_LEVEL(l)은 0에서 7사이의 정수 값을 갖게 된다[4]. 본 논문에서는 0값을 최고 품질 등급으로 정의한다.

세번째 경로 함수 p_h 은 소스 노드에서 목적지 노드까지 홉 카운트를 나타낸 것이다. 적은 홉카운트를 갖는 경로를 선정하게 함으로써 명령 혹은 데이터 전달의 지연을 최소화 하는 효과를 갖는다.

III. 성능 평가

제안한 라우팅 프로토콜의 성능 분석을 위해 QualNet 네트워크 시뮬레이터 4.5 버전에서 구현하여 성능 분석을 진행하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션 파라미터	설정값
Radio Type	802.15.4 Radio
-Transmission power (dBm)	-20.0
-Packet reception mode	PHY802.15.4
-Modulation scheme	O-QPSK
-CCA mode	Carrier-Sense
MAC Protocol	802.15.4
-Beacon order	15
-Superframe order	15
Device Type	Full Function Device
-FFD Mode	Coordinator

시뮬레이션 환경 구성은 다음과 같다. 25개의 센서 노드를 100m × 100m의 영역에 배치하고

PHY/MAC의 구성은 IEEE 802.15.4 표준을 따라 적용하였다. 3개의 소스 노드가 각각 3개의 목적지 노드로 경로를 설정하게끔 구성하였으며 CBR (constant bit rate) 응용의 트래픽을 적용하였다. 자세한 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 정리하였다.

제안한 기법을 위한 가중치는 $\omega_h = 1$ 인 경우와 $\omega_n = 0.9$, $\omega_l = 0.1$ 인 두가지로 설정하였으며 성능 분석을 위해 end-to-end 패킷 전송 성공률과 end-to-end 전송 지연을 측정하였고, ZigBee 메쉬 라우팅 기법인 AODVjr와 성능을 비교하였다 [5,6].

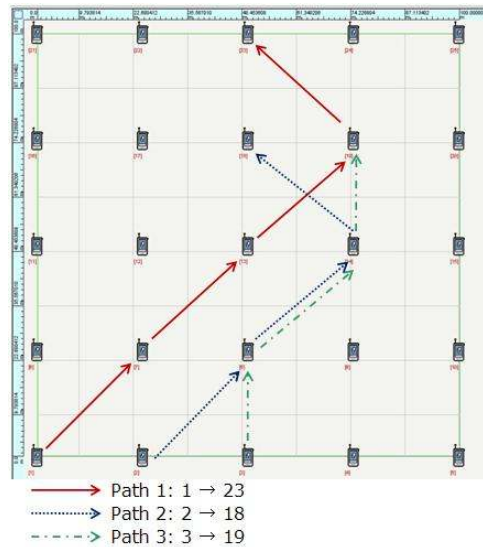


그림 3. AODVjr의 경로 설정 결과

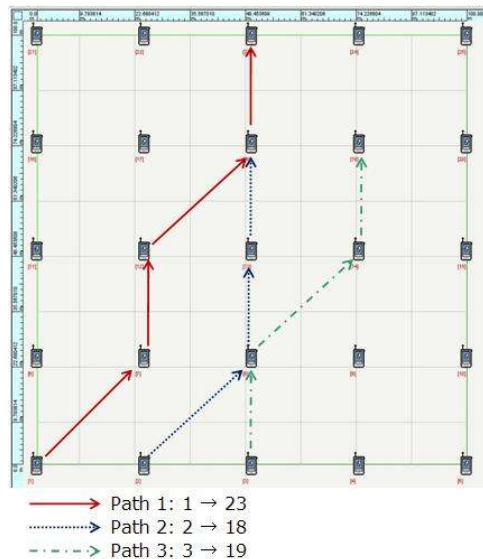


그림 4. 제안한 라우팅 기법의 경로 설정 결과 ($\omega_h = 1$)

그림 3은 AODVjr에서 개별 경로 설정 결과를 나타낸 것이고, 그림 4와 5는 제안한 라우팅 프로토콜의 경로 설정 결과를 나타낸 것이다.

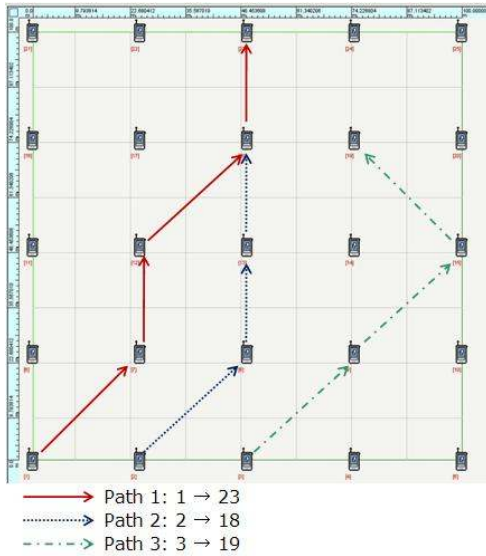


그림 5. 제안한 라우팅 기법의 경로 설정 결과 ($\omega_n = 0.9, \omega_h = 0.1$)

제안한 동적 라우팅 프로토콜에서는 경로 비용 함수를 가중치에 따라 유연하게 적용할 수 있다. 따라서, 적용한 가중치에 따라 경로 설정 결과가 다르게 나타나게 된다.

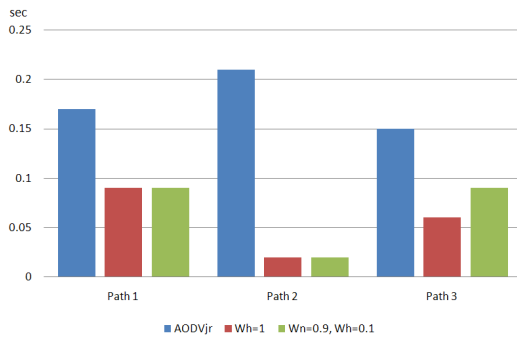


그림 6. End-to-end 전송 지연

표 2. End-to-end 패킷 전송 성공률

라우팅 프로토콜	성공률 (%)
AODVjr	78%
$\omega_h = 1$	87%
$\omega_n = 0.9, \omega_h = 0.1$	78%

그림 6은 각 경로에 따라 패킷 전송 지연 결과를 나타낸 것이고, 표 2에서는 end-to-end 패킷 전송 성공률을 분석하였다. 결과에서 보는 바와 같이 제안한 라우팅 프로토콜이 AODVjr 보다 향상된 성능을 보인다.

IV. 결론

본 논문에서는 저전력 애드혹 네트워크를 위한 동적 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제한된 자원과 처리 능력을 가진 노드로 구성되는 저전력 애드혹 네트워크의 특성을 고려하여 경로 비용 함수를 정의하고 이러한 경로 비용 함수에 가중치를 부여하여 네트워크의 특성에 따라 유연하게 적용할 수 있도록 하였다. 제안된 라우팅 기법의 성능 분석을 위해 QualNet 네트워크 시뮬레이터에서 구현하여 end-to-end 전송 지연과 전송 성공률을 ZigBee의 AODVjr와 비교 분석하였다.

참고문헌

- [1] K. Akkaya, M. Younis, "A Survey on routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Elsvier Ad Hoc Networks Journal* 3(3), pp.325-349, 2005.
- [2] <http://tools.ietf.org/wg/roll>.
- [3] JP. Vasseur, M. Kim, K. Pister, N. Dejean, D. Barthel, "Routing Metrics used for Path Calculation in Low Power and Lossy Networks," draft-ietf-roll-routing-metrics-19 (work in progress), March 2011.
- [4] IEEE 802.15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).
- [5] <http://www.zigbee.org>.
- [6] ZigBee Specification: Document 053474r17, January 2008.