

논문 2013-50-11-18

6LoWPAN에서 회복력 있는 라우팅 프로토콜 기법 (Resilient Routing Protocol Scheme for 6LoWPAN)

우연경*, 박종태*

(Yeon Kyung Woo and Jong Tae Park[Ⓢ])

요약

IoT (Internet of Things) 환경에서 IPv6 패킷 통신을 지원하기 위한 표준 기술로 IETF 6LoWPAN (IPv6 over Low power WAPN) 표준 기술이 많은 연구가 진행되고 있다. 6LoWPAN에서 패킷 전송을 위한 프로토콜로 주로 AODV (Ad-hoc Distance Vector) 라우팅 프로토콜 기술을 확장한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 제한된 자원을 가진 노드들로 구성된 6LoWPAN에서 네트워크 오류가 발생했을 때 신뢰성 있는 데이터 전송과 빠른 경로 설정 방법이 필요하다. 이를 위해, 본 논문에서는 IETF LOAD (6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing) 을 확장한 최적 복구 경로 알고리즘인 회복력 있는 라우팅 프로토콜 기법 (Resilient Routing Protocol) 을 제안한다. 좀 더 구체적으로, 최적 복구 경로 설정 알고리즘, 상세 프로토콜 신호 흐름도 및 패킷 전송의 신뢰성 검증을 위한 수학적 모델 제시하였다. 제안된 프로토콜 기법의 성능을 분석하기 위해 NS-3 (Network Simulation Tool) 를 통해 성능 분석하였고 성능 분석 결과 기존의 LOAD 라우팅에 비해 종단간 지연시간, 패킷 처리율, 패킷 전송율 및 제어 패킷 오버헤드 등의 성능 면에서 우수함을 증명하였다.

Abstract

IETF 6LoWPAN standard technique has been studied in IoT environment to support the IPv6 packet communication. 6LoWPAN protocol for transmission of packets mainly in the AODV routing protocol and a variety of extended techniques have been investigated. In particular, consisting of nodes with limited resources in a network error occurs when the 6LoWPAN reliable data transfer and fast routing method is needed. To this end, in this paper, we propose resilient routing protocol and extension of IETF LOAD algorithm, for optimal recovery path. More specifically, the optimal recovery path setup algorithm, signal flow, and detailed protocols for the verification of the reliability of packet transmission mathematical model is presented. The proposed protocol techniques to analyze the performance of the NS-3 performance through the simulation results that is end-to-end delay, throughput, packet delivery fraction and control packet overhead demonstrated excellence in comparison with existing LOAD.

Keywords : Resilient 라우팅 프로토콜, 6LoWPAN, 복구 경로 설계, IoT

I. 서론

IoT 환경에서 IPv6 패킷 통신을 지원하기 위한 표준

기술로 IETF 6LoWPAN 표준 기술이 많은 연구가 진행되고 있다. 6LoWPAN 표준은 IEEE 802.15.4로 대표되는 저전력 무선 개인 네트워크 위에서 인터넷 프로토콜을 사용하기 위한 아키텍처 등을 표준화를 진행하고 있는 단체이다^[1]. 또한 6LoWPAN은 IPv6 기반으로 동작하기 때문에 Zigbee나 Bluetooth 등에 비해 적합한 센서 네트워크 환경을 제공하며 지속적인 데이터 수집과 전송을 필요로 하는 유비쿼터스 네트워크 환경 (기상, 해양, 환경, 수질 센서 등과 연계한 IP-USN, U-헬스케어 모니터링 서비스 등)에 많이 활용될 수 있다. 특

* 정회원, 경북대학교

(Kyungpook National University)

Ⓢ Corresponding Author (E-mail: jtpark@ee.knu.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터 지원사업 (NNIPA-2013-H0301-13-2004), 2단계 BK21 프로젝트 및 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

접수일자 : 2013년7월10일, 수정완료일 : 2013년10월25일

히 이러한 네트워크 환경에서 노드 또는 센서 간의 연결이 끊김 없고 신뢰성 있게 데이터를 전송하기 위해서 사용되는 응용에 따라 최적의 라우팅 프로토콜이 사용되어야만 한다.

6LoWPAN에서 패킷 전송을 위한 프로토콜로 주로 AODV 라우팅 프로토콜 기술을 확장한 LOAD 라우팅 프로토콜^[2], DYMO-Low^[3] 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 하지만 그 중 LOAD 라우팅 프로토콜은 복구 경로가 존재하지 않으며 또한, LOAD는 노드의 결함^[4] (하드웨어 결함, 운영체제 오작동, 전력 고갈, 노이즈 등) 이 발생하였을 경우 새로운 경로를 탐색 및 재설정을 하게 된다. 이러한 과정은 불필요한 네트워크 트래픽을 발생시킬 수 있고 긴 중단간 지연시간을 유발시킨다. 이러한 라우팅 방법은 유비쿼터스 네트워크의 응용의 QoS (Quality of Service)를 만족시키지 못한다. 6LoWPAN에서의 응용의 QoS 요구사항은 사용되는 응용에 따라 달라질 수 있다^[5]. 특히, U-헬스케어 서비스 응용은 Time-Critical 하기 때문에 보다 빠른 복구 라우팅 기술을 필요로 한다^[6].

기존 연구의 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 IETF LOAD를 확장한 최적 복구 경로 알고리즘인 회복력 있는 라우팅 프로토콜 기법을 제안한다. 즉, 6LoWPAN에서 노드가 고장이 발생하였을 때 회복력 있는 라우팅 프로토콜을 통하여 새로이 경로를 생성하지 않고 결함노드를 회피하여 최적 경로로 라우팅하는 방법을 제안하였다.

기존의 다른 관련 연구들과 비교하여 본 논문의 독창성을 다음과 같다.

- 노드 고장이 발생하였을 때 최적의 복구 경로를 생성하기 위한 복구 경로 설정 알고리즘 및 상세 프로토콜을 설계하였다.
- 응용의 QoS를 보장하기 위해 최적 경로 선정 시 인접 노드의 LQI 값과 에너지 레벨을 고려하여 경로를 선정한다.
- 제안된 회복력 있는 라우팅 프로토콜의 패킷 전송에 대한 신뢰성 검증을 위한 수학적 모델 제시하였다.
- 제안된 프로토콜 기법의 성능을 분석하기 위해 NS-3를 통해 중단간 지연시간, 패킷 처리율, 패킷 전송율 및 제어 패킷 오버헤드 성능면에 대한 성능 분석을 수행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 6LoWPAN 및 복구 경로 기반 라우팅 프로토콜에 대하여 알아보고 III장에서는 본 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜의 모델 및 구조에 대해 알아본다. IV장에서는 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜 수학적 모델 및 시뮬레이션을 통하여 회복력 있는 라우팅 프로토콜을 구현하였으며 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 6LoWPAN 라우팅 프로토콜

6LoWPAN의 환경적인 측면 때문에 라우팅 프로토콜 선택이 제한되며 AODV 라우팅 프로토콜을 많이 선택한다^[3]. LOAD 라우팅 프로토콜은 6LoWPAN의 환경에 부합되도록 AODV 라우팅 프로토콜을 간략화하고 최적화시킨 프로토콜이다^[2].

LOAD 라우팅 프로토콜에서 경로 탐색은 AODV 라우팅 프로토콜과 같은 온 디맨트 (On-demand) 라우팅 기법에 기반하여 경로가 필요한 시점에 출발지 노드와 목적지 노드 사이의 RREQ (Route Request), RREP (Route Reply) 패킷 송수신을 통하여 경로를 탐색하게 된다. 데이터 전송을 위해 경로가 필요한 경우 RREQ 패킷을 생성하여 이웃 노드로 브로드캐스팅 하는 방식으로 경로를 탐색한다. 또한 경로비용으로 물리 계층으로부터 제공되는 LQI 값을 활용한다^[2]. 여기서 LQI 값은 IEEE 802.15.4 물리계층에서 제공하는 수신 신호 세기를 정량화한 값을 의미한다.

본 논문에서는 LOAD 기반으로 하여 회복력 있는 라우팅 프로토콜을 제안하였으며, 위와 같은 6LoWPAN 요구사항을 고려하여 노드 고장이 발생된 경로상에서 복구를 신뢰성 있게 해결함으로써 전체 네트워크의 부담을 줄일 수 있도록 회복력 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

2. 복구 경로 기반 라우팅 프로토콜

기존 연구^[7]에서 제안한 경로 복구 기법은 지역 경로 복구가 가능한 범위보다 밖에서 생겼을 때는 고장 상위 노드는 RERR 메시지를 이용하여 출발지 노드에게 통보하고 출발지 노드는 새롭게 경로 탐색 과정을 시작하게 된다. 이는 지역 복구 범위를 지정하여 지정한 범위에서만 경로 복구만 가능하다는 점과 특히 지정한 복구

범위를 벗어나는 경우 다시 경로를 탐색함으로써 제어 패킷 오버헤드가 많이 발생하는 단점이 있으며 이것은 라우팅 성능을 저하시킬 수 있다.

한편, 다른 기존 연구^[8]에서는 데이터 전송이 필요할 경우 중단 간의 LQI 를 측정하여 가장 신뢰성이 높은 초기 경로를 설정하여 경로를 탐색한다. 하지만 위의 논문과 달리 본 논문에서 제안한 6LoWPAN을 위한 회복력 있는 라우팅 프로토콜은 초기 경로에 있는 노드 주변의 인접 노드 각각의 LQI 값과 에너지 레벨을 저장하여 신뢰성 있는 복구 경로를 형성하여 QoS가 보장된다.

III. 회복력 있는 라우팅 프로토콜 모델

본 논문에서는 회복력 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 회복력 있는 라우팅 프로토콜 기법은 고장이 발생된 경로에서 처음 경로 설정 시 기록된 인접 노드 정보를 통하여 경로의 고장 발생 시 설정된 복구 경로를 통하여 최소한의 패킷 손실로 데이터를 계속 보낼 수 있도록 하였다. 제안한 기법은 RERR 패킷을 사용하지 않음으로써 전체 네트워크에게 부담을 주지 않으며 패킷 손실을 최소로 하여 데이터를 신뢰성 있고 복구 시간도 단축시킬 수 있다. 회복력 있는 라우팅 프로토콜 방식은 라우팅 테이블에 1-홉 거리에 있는 인접노드 정보만 유지하여 오버헤드를 줄임으로써 6LoWPAN에서 라우팅 성능을 향상시킬 수 있도록 한다.

1 회복력 있는 라우팅 프로토콜 모델

본 논문에서 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜은 초기 경로 탐색, 복구 경로 탐색, 그리고 경로 유지 과정을 보여준다. 첫째, 초기 경로 탐색 과정은 LLN (Link Layer Notification) 을 활용하여 인접 노드를 탐색하여 라우팅 테이블을 주기적으로 갱신한다. 주기적인 LLN 송수신에 의해 얻은 정보를 통해 1-홉 이내에 있는 노드들에 대한 라우팅 테이블 생성한다. 두번째, 복구 경로 탐색 과정은 목적지 노드에서 RREQ 패킷을 받은 노드로 RREP 패킷을 보내면서 그 경로에 있는 노드의 이웃노드와의 연결정보를 통하여 복구 경로를 형성한다. 세번째, 경로 유지 과정은 6LoWPAN에서 패킷 손실 및 경로 복구 요구 발생할 때 미리 설정된 복구 경로를 통하여 경로를 유지한다.

가. 초기 경로 탐색 과정

초기 경로 탐색 알고리즘은 다음과 같다. 초기 네트워크 설정 단계에서 모든 노드들이 라우팅 테이블 가지지 않고 아직 경로가 형성 되지 않아 목적지 노드까지 경로를 형성하고자 할 때 출발지 노드가 RREQ 패킷을 인접 노드에 브로드캐스트하면서 라우팅 테이블을 형성한다.

중간 노드가 RREQ 패킷을 받게 되면 자신의 라우팅 테이블에 인접 노드의 정보를 기록한 후 다시 RREQ 패킷을 브로드캐스트로 재전송하게 된다. 이때 각 노드의 인접 노드 정보인 LQI 및 에너지 레벨을 계산하여 라우팅 테이블에 저장한다. 목적지 노드가 RREQ 패킷을 받게 되면 라우팅 테이블을 검사하여 이미 받은 패킷 인지를 확인한다. 이미 받은 RREQ 패킷이 있을 경우에는 기존의 RREQ 패킷에 기록된 경로 비용과 비교하여 새롭게 도착한 RREQ 패킷이 더 낮은 경로를 비용을 가질 경우 RREP 패킷으로 응답하게 된다. 이때 RREP 패킷은 RREQ 패킷의 출발지 노드를 목적지 노드로 하여 유니캐스트로 전송된다.

알고리즘 초기 경로 탐색:

/* 소스노드 S와 목적지 노드 D까지의 경로 설정 및 초기 경로는 다음과 같다. <S, P₁, P₂, ..., P_n, D>. */

단계 1: 소스 노드 S가 RREQ 패킷을 1-홉 이내에 있는 인접노드에게 브로드캐스트.

단계 2: RREQ 패킷을 수신한 인접 노드들 중 LQI 값과 에너지 레벨을 고려하여 중간 노드 P₁를 선정.

단계 3: 소스 노드 S는 RREQ 패킷을 수신한 모든 인접 노드 정보를 라우팅 테이블에 저장.

단계 4: 중간 노드 P₁는 모든 인접 노드, 즉 B_{ij} (j = 1, 2, ..., m)를 탐색.

단계 5: RREQ 패킷을 수신한 인접 노드들 중 LQI 값과 에너지 레벨을 고려하여 중간 노드 P₂를 선정.

단계 6: 소스 노드 P₁는 RREQ 패킷을 수신한 모든 인접 노드 정보를 라우팅 테이블에 저장.

단계 7: 중간 노드 P₁는 모든 인접 노드, 즉 B_{ij} (j = 1, 2, ..., m, i = 2, 3, ..., n) 를 탐색(i를 2로 설정).

단계 8: RREQ 패킷을 수신한 인접 노드들 중 LQI 값

과 에너지 레벨을 고려하여 중간 노드 $P_{(i+1)}$ 를 선정.

단계 9: 소스 노드 P_1 는 RREQ 패키트를 수신한 모든 인접 노드 정보를 라우팅 테이블에 저장.

단계 10: P_1 에서 i 를 $(i+1)$ 로 설정. $P_{(n+1)} = D$ 까지 단계 7, 단계 8, 단계 9를 반복.

나. 복구 경로 탐색 과정

복구 경로 탐색 알고리즘은 다음과 같다. RREQ 패키트를 받은 목적지 노드가 RREQ 패키트의 출발지 노드를 목적지 노드로 하여 RREP 패키트와 함께 복구 경로 연결 노드 정보를 유니캐스트로 전송한다. RREP 패키트를 수신한 각각의 노드는 RREP 패키트와 RREQ 패키트 플래그 B가 1로 셋 되면서 BREQ 패키트를 라우팅 테이블에 기록된 인접 노드에 저장되며 연결 노드를 목적지노드로 하여 BREQ 패키트를 전송을 한다. BREQ 패키트를 수신한 연결 노드는 BREP를 중간 노드로 전송한다. BREP 패키트를 수신한 중간 노드는 인접 노드의 연결 정보를 라우팅 테이블에 기록한다. 즉, RREP 패키트를 받은 각각의 중간 노드들은 복구 경로를 추가하고 재전송하게 된다. 생성한 복구경로는 라우팅 테이블에 저장하여 경로 유지 과정에서 고장 노드가 발생할 때 복구 경로를 통하여 목적지 노드까지 데이터를 최종적으로 전달한다.

그림 1은 복구 경로 탐색 과정을 보여준다. 목적지 노드에서 노드 P_3 로 RREP 패키트를 보낸다. RREP 패키트를 받은 노드 P_3 는 노드 P_3 의 인접 노드인 B_{31}, B_{32}, B_{33} 에게 목적지 노드의 연결정보를 요구한다. 이때 목적지

노드와 연결정보를 가지고 있고 인접 노드들 중 초기 경로 탐색 시 저장된 LQI 값이 가장 높은 노드, 즉 인접 노드 B_{31} 을 복구 경로의 노드로 정하여 라우팅 테이블에 기록한다. 여기서 LQI 값을 선택할 때 $\text{Min}\{LQI\}$ 가 가장 MAX인 B_{31} 를 선택한다. 만약에 $\text{Min}\{LQI\}$ 값이 같은 인접 노드가 존재한다면 그 중 가장 에너지 레벨이 높은 노드가 복구 경로의 노드가 된다. 즉, 노드 P_1 는 복구 인접 노드 B_{11} , 노드 P_2 는 복구 인접 노드 B_{21} , 그리고 노드 P_3 은 복구 인접 노드 B_3 을 라우팅 테이블에 저장한다. 출발지 노드에 RREP 패키트가 도착하게 되면 해당 RREP 패키트가 거쳐 온 경로를 경로로 하여 라우트 테이블에 기록하게 된다.

알고리즘 복구 경로 탐색:

/* 목적지 노드 D와 출발지 노드 S 사이의 복구 경로 설정 및 복구 경로는 다음과 같다 <S, $B_{11}, B_{21}, \dots, B_{n1}, D$ > */

- 단계 1: 목적지 노드 D가 RREP 패키트를 1-홉 이내의 중간 노드 P_n 에게 D의 연결 정보와 함께 유니캐스트.
- 단계 2: RREP 패키트를 수신한 중간노드는 인접노드 B_{nj} ($j=1, 2, \dots, m$)에게 BREQ 패키트를 브로드캐스트.
- 단계 3: 인접 노드 B_{nj} 가 D의 연결 정보를 알고 있으면 BREQ 패키트를 받은 D는 P_n 에게 BREP 패키트를 유니캐스트.
- 단계 4: BREP 패키트를 수신한 P_n 는 $P_{(n-1)}$ 에게 RREP 패키트와 B_{nj} 의 연결정보를 유니캐스트.

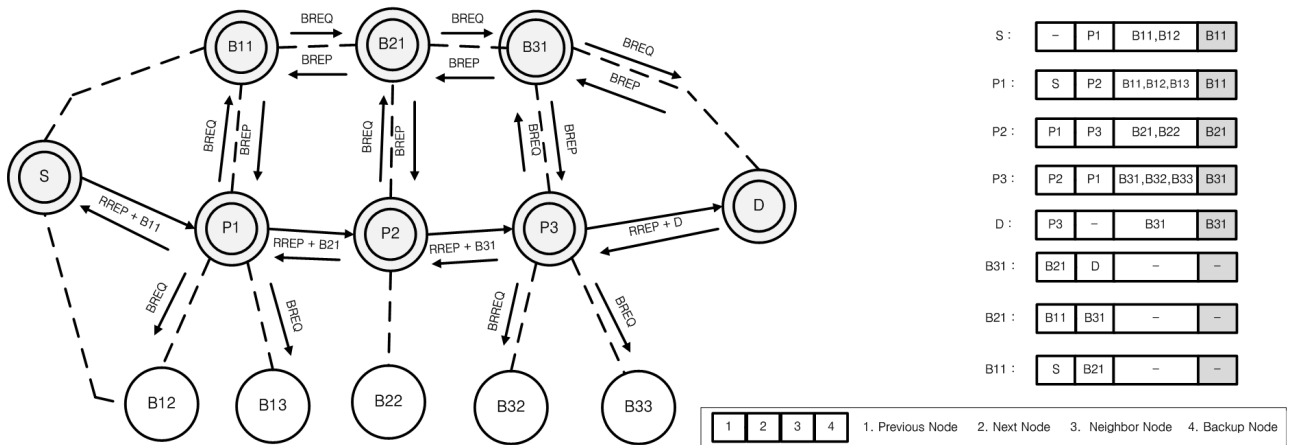


그림 1. 복구 경로의 신뢰성 있는 라우팅 프로토콜 토폴로지
Fig. 1. Resilient routing protocol topology in the backup path.

단계 5: 중간 노드 P_i 는 (P_i, B_{ij}) 과 $(B_{ij}, B_{(i+1)j})$ ($i = 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$) 사이에 있는 LQI 값과 인접 노드의 에너지 레벨을 고려하여 B_{ik} 를 선정.

단계 6: 중간 노드 P_i 는 B_{ik} 를 라우팅 테이블에 저장.

단계 7: P_i 에서 i 를 $(n-2)$ 로 설정, $P_{(n-2)} = S$ 까지 단계 1, 단계 2, 단계 3, 단계 4, 단계 5, 단계 6을 반복.

다. 경로 유지 과정

전송 과정에서 고장이 발생한 경우에는 먼저 고장을 감지한 중간 노드가 경로 복구를 시도한다. 노드 고장은 LLN이 명시된 시간 경과 후, 새로운 LLN 패킷이

전달되지 않으면 노드가 고장난 것으로 판단한다. 노드 고장이 발생하면 노드 고장이 발생한 노드에 패킷이 전송되지 않고 노드 고장을 인지한 중간 노드가 복구 경로를 통하여 경로 복구를 시도한다. 복구 경로 탐색 시 라우팅 테이블에 저장된 인접 노드를 통하여 목적지 노드로 메시지를 전송한다. 최종적으로 데이터를 목적지 노드로 보낼 때 노드 P_1 또는 P_2 고장 발생 시 TTL 시간동안 노드 P_1 또는 P_2 의 LLN 응답을 수신하지 못한 초기 경로에 있는 이전 노드는 라우팅 테이블에서 초기 경로를 삭제하고 복구 경로에서 연결 정보를 알고 있는 인접 노드를 통하여 목적지 노드까지 데이터를 전송한다. 그림 2는 초기 경로 과정, 복구 경로 과정 그리고 경로 유지 과정을 보여주는 회복력 있는 라우팅 프

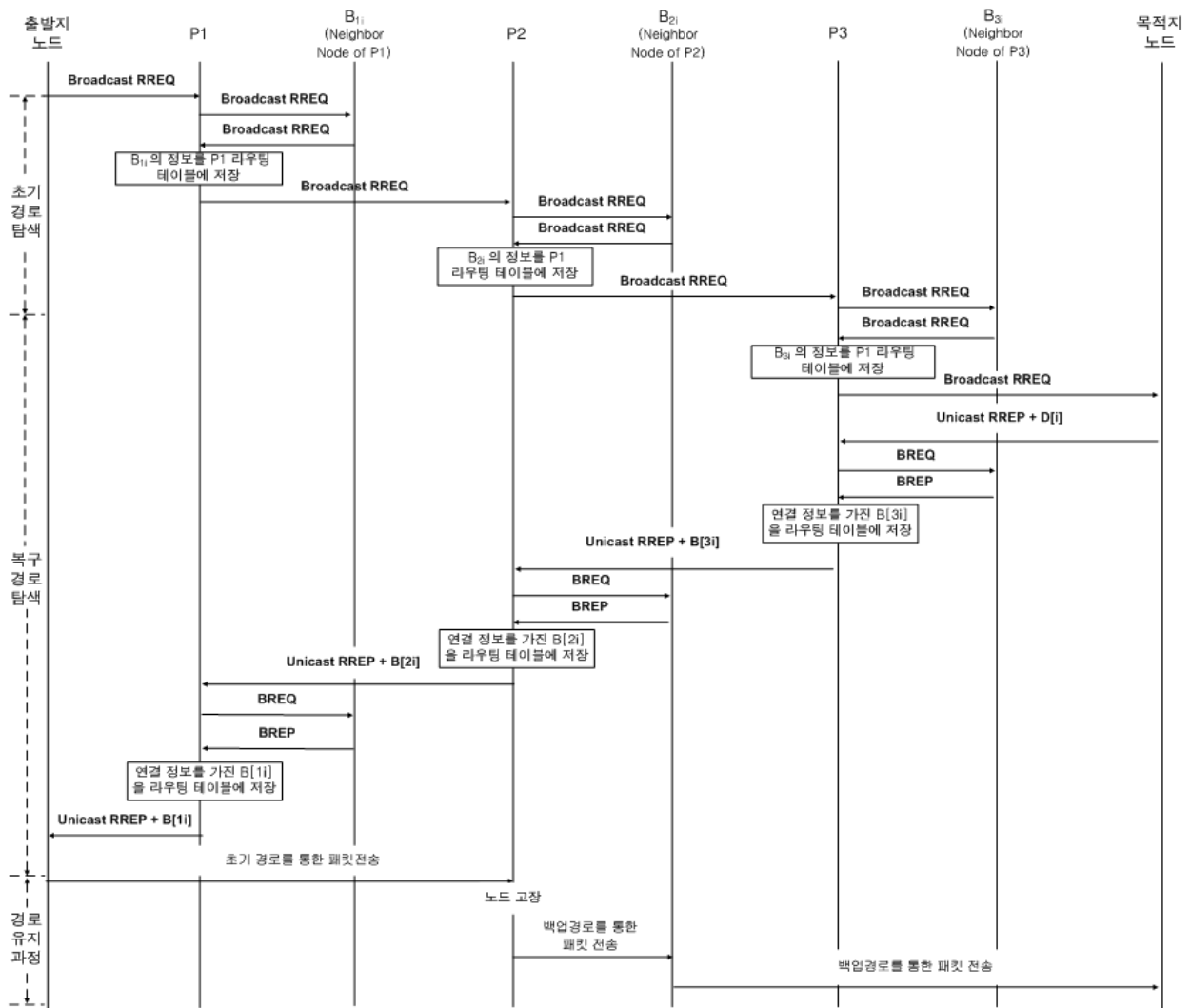


그림 2. 회복력 있는 라우팅 프로토콜 순서도
Fig. 2. Resilient routing protocol signaling flow diagram.

로토콜의 순서도이다. 회복력 있는 라우팅 프로토콜의 초기 경로 탐색 과정에서 출발지 노드가 목적지 노드로 중간 노드를 통하여 RREQ 패킷을 보낸다. 이때 RREQ 패킷을 수신한 목적지 노드는 소스 노드로 RREP 패킷을 전송한다. 예를 들어 목적지 노드 D가 자신의 정보를 RREP 패킷과 함께 P₃로 전송을 하면 P₃는 목적지 노드인 D로 인접 노드인 B₃를 통하여 BREQ 패킷을 보낸다. 목적지 노드 D가 BREQ 패킷을 수신하면 다시 P₃로 BREP 패킷을 보내면서 복구 경로를 형성한다. 경로 유지 과정에서 노드 P₂가 고장이 발생하면 이전 노드인 노드 P₁은 라우팅 테이블에 저장된 복구 인접노드 B₁₁를 통하여 목적지 노드까지 데이터를 전송한다.

2. 회복력 있는 라우팅 프로토콜 수학적 모델

초기 경로에서 노드가 고장이 발생할 확률은 다음과 같다. N_i 과 같다. 즉, 초기 경로에서 노드가 고장이 발생하지 않을 확률 D_i 는 수식 (1)과 같다.

$$D_i = 1 - N_i \quad (1)$$

노드가 고장이 발생하지 않을 때 전체 경로에서 확률 P는 수식 (2)과 같다.

$$P = D_{12} * D_{23} * D_{34} * \dots * D_{(n-1)n} \\ = \prod_{i=1}^n D_{ij} \quad (2)$$

출발지 노드에서 목적지 노드 사이의 모든 중간 노드는 고정되어 있다고 가정하고 각각의 노드 또는 링크의 고장 확률이 같다고 가정한다. 중간노드가 고장이 아닐 때의 확률은 수식 (2)와 같으므로 따라서 중간 노드가 고장이 발생 할 때의 확률 F_1 는 수식 (3)과 같다.

$$F_1 = 1 - P = 1 - \prod_{i=1}^n D_{ij} \quad (3)$$

이때 출발지 노드와 목적지 노드에서 초기 경로와 복구 경로가 병렬로 연결된 경우 각각의 확률 R_p 와 R_B 는 수식 (4)과 수식 (5)과 같다.

$$R_p = \prod_{i=1}^n D_{Pij} \quad (4)$$

$$R_B = \prod_{i=1}^n D_{Bij} \quad (5)$$

그리고 회복력 있는 라우팅 프로토콜에서 초기 경로와 복구 경로가 모두 고장이 발생할 확률 F_2 는 수식 (6)과 같다.

$$F_2 = (1 - R_p) * (1 - R_B) \\ = (1 - \prod_{i=1}^n D_{Pij}) * (1 - \prod_{i=1}^n D_{Bij}) \quad (6)$$

결론적으로 모든 경로에서 i, j 를 임의로 n 과 같다고 가정하면 복구 경로에서의 노드가 고장이 발생하지 않을 확률 F_1 과 F_2 는 수식 (7)과 수식 (8)과 같이 정리된다.

$$F_1 = 1 - D^{n-1} \quad (7)$$

$$F_2 = (1 - D^{n-1})^2 = (F_1)^2 \leq F_1 \quad (8)$$

따라서 제안된 회복력 있는 라우팅 프로토콜에서 데이터를 전송할 때 한 개의 경로가 있을 때보다 초기 경로와 병렬로 복구 경로가 연결되어 있을 때 더 신뢰성이 높다는 것을 확인할 수 있다.

IV. 구현 및 결과

본 논문에서 제안한 복구 경로를 이용한 회복력 있는 라우팅 프로토콜에 대한 성능 평가를 위하여 NS-3을 이용하여 기존의 LOAD 라우팅 프로토콜과 비교하여 모의실험을 수행하였다^[9]. 모의실험을 위한 환경으로는 시뮬레이션 시간은 100 초로 설정하였고 그리고 각 모델은 16 노드 (4*4), 25 노드 (5*5), 36 노드 (6*6), 49 노드 (7*7), 64 노드 (8*8), 81 노드 (9*9), 100 노드

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters.

파라미터	값
시뮬레이션 시간	100초
노드의 갯수	100
시뮬레이션 범위	500m * 500m
패킷 크기	1024 bytes
채널주파수	2.45 GHz
MAC layer	IEEE 802.15.4

(10*10)를 노드의 움직임은 가정하지 않는 메쉬 토폴로지 구성하여 시뮬레이션 환경을 만들었다. 또한 각 구성마다 초기 경로에서 최종적으로 데이터를 보낼 때 한 개의 노드가 고장이 발생하도록 하였다. 기타 모의 실험에 사용한 파라미터 및 환경은 표 1과 같다.

기존의 LOAD와 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜을 비교하기 위하여 패킷 처리율, 출발지 노드에 의해 보내진 패킷의 개수와 목적지 노드에 도착한 패킷의 개수 비율, 즉 패킷 전송율, 전체 노드 수에 따른 소스 노드와 목적지 노드 사이의 패킷을 전송하는데 소요되는 시간, 그리고 제어 패킷 오버헤드를 측정하여 비교하였다.

그림 3, 4, 그리고 5는 노드 수의 증가함에 따른 패킷 전송율, 패킷 전송율, 그리고 End-to-end delay 을 나타낸 것으로 모든 경우에서 본 논문에서 제안하는 방법이 기존의 LOAD 라우팅 프로토콜보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 3과 4의 시뮬레이션 결과는 패킷 처리율과 패킷 전송율이 LOAD 라우팅 프로토콜보다

더 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 이는 회복력 있는 라우팅 프로토콜이 노드 고장 발생할 때 복구 경로를 통하여 데이터를 전송하기 때문에 복구 경로가 없는 LOAD 라우팅 프로토콜보다 성능이 향상된 결과를 보여준다. 이에 반하여, LOAD 라우팅 프로토콜의 경우 데이터 전송 기간에 노드 고장이 발생하면 급격하게 결과값이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 패킷 지연시간을 비교하였는데 노드가 고장이 발생하였을 경우 빠르게 경로가 복구되는 것을 알 수 있다. 6LoWPAN에서 노드 연결성이 끊김 없고 신뢰성 있게 데이터를 전송하기 위해서는 라우팅 프로토콜은 노드 고장이 발생할 때 미리 정해진 가장 좋은 경로를 선택하는 것은 필수적이다.

그림 6에서는 100 (10*10) 의 메쉬 토폴로지 구성된 네트워크 환경에서 노드 고장 발생에 따른 제어 패킷 오버헤드를 비교하여 나타내었다. 제어 패킷 오버헤드의 경

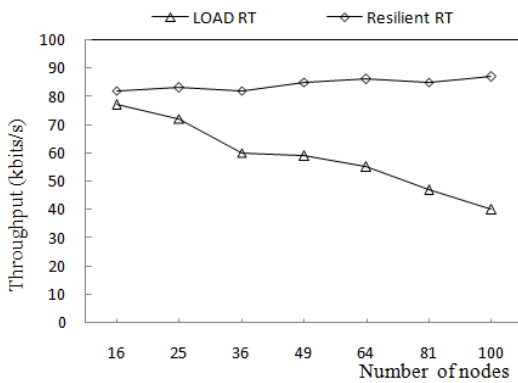


그림 3. 노드 수에 따른 패킷 처리율
Fig. 3. Throughput with the increased number of nodes.

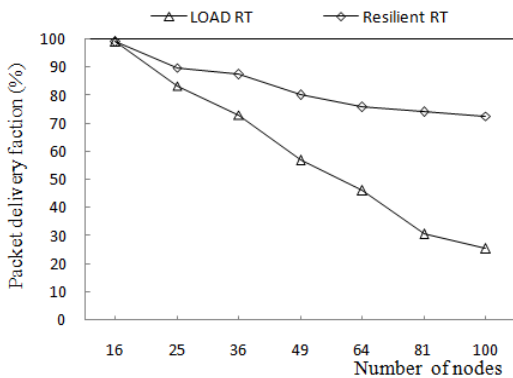


그림 4. 노드 수에 따른 패킷 전송율
Fig. 4. PDF with the increased number of nodes.

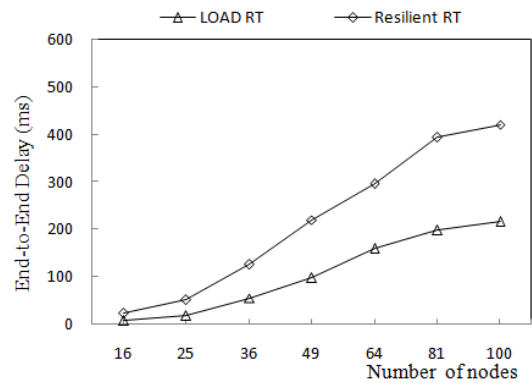


그림 5. 노드 수에 따른 패킷 지연시간
Fig. 5. End-to-end delay with the increased number of node failures.

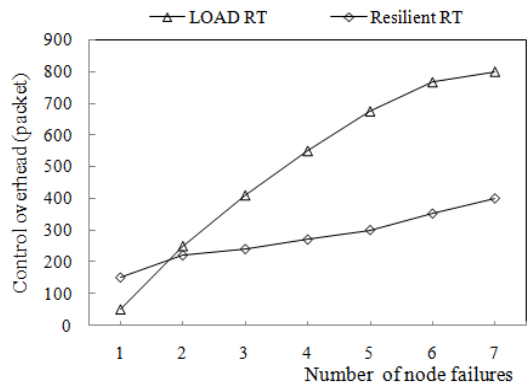


그림 6. 노드의 고장 수에 따른 제어 패킷 오버헤드
Fig. 6. Control overhead with the increased number of node failures.

우는 초기에 경로를 설정 할 때 복구 경로를 형성하기 때문에 제안한 방법이 기존 방법보다 제어 패킷 오버헤드가 높지만 노드 고장 발생 수를 증가시키는 경우 복구 경로 때문에 기존의 AODV 보다 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜에서 제어 패킷 오버헤드가 거의 증가 하지 않는 것을 알 수 있다. 즉 기존의 AODV 라우팅 프로토콜은 제어 패킷 오버헤드가 많이 발생하여 라우팅 성능을 저하시킬 수 있는 반면 본 논문에서 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜 방식은 노드 고장 발생 RERR 패킷을 사용하지 않고 처음부터 경로 탐색을 하지 않기 때문에 제어 패킷 오버헤드를 줄일 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서 제안한 회복력 있는 라우팅 프로토콜 기법은 경로 단절이 발생할 때 노드 연결성이 끊김 없고 신뢰성 있게 데이터를 수신자까지 전송하도록 복구 경로를 제안하였다. 제안한 기법은 패킷 손실을 최소화 하여 데이터를 신뢰성 있게 전달함을 성능 분석을 통하여 비교할 수 있었으며 복구 경로를 미리 정하여 문제를 신속하게 해결함으로써 6LoWPAN에서 라우팅 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

전세계적으로 IoT 기반한 다양한 유비쿼터스 응용 서비스를 제공하고자 하는 많은 연구들이 진행되고 있다. 특히, 6LoWPAN의 라우팅 기술은 이러한 IoT 기반 네트워크 환경에서 신뢰성있는 데이터 전송을 위해 반드시 필요한 기술이다. 이에 본 논문에서는 6LoWPAN을 위한 회복력 있는 라우팅 프로토콜 기법을 제안하였다. 상세하게는 6LoWPAN에서 노드 고장이 발생할 때 각 노드 간의 효율적이고 신뢰성 있는 통신을 제공하기 위한 복구 경로 방법을 제시하였다. 제안된 프로토콜을 NS-3을 통해 다양한 성능면에 대해 성능 분석하였다. 성능 결과에 보였듯이, 제안된 프로토콜은 기존의 LOAD 라우팅 프로토콜에 비해 성능이 우수함을 보였다.

REFERENCES

[1] D. Singh, L. Hoon-Jae and C. Wan-Young, "Global Healthcare Monitoring System using 6LoWPAN Networks," *Advanced Communication Technology*, Vol. 1, 2009.

[2] K. Kim, S. D. Park, G. Montenegro, S. Yoo and

N. Kushalnagar, "6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (LOAD)," *InternetDraft, work in progress, draft-daniel-6lowpan-load-adhoc-routing-03*, Jun. 2007.

[3] K. Anuj Gupta, S. Harsh and K. Anil Verma, "Performance analysis of AODV, DSR and TORA routing protocols," *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Article No. 125, Vol. 2 No. 2, pp. 226-231, April 2010.

[4] E. Kim, T. D. Kaspar and C. Gomez Gilmanle, C. Bormann, "Problem Statement and Requirements for 6LoWPAN Mesh Routing," *InternetDraft, work in progress, draft-dokaspar-6lowpan-routreq-06*, Jan. 2009.

[5] A.radiansyah, M. Efendi, O. Seungkyo and D. Choi, "6LoWPAN-based Wireless Home Automation: From Secure System Development to Building Energy Management," *Smart Computing Review*, Vol. 3, No. 2, April 2013.

[6] E. Kim, D. Kaspar, N. Chevrollier and JP. Vasseur, "Design and Application Spaces for 6LoWPANs," *InternetDraft, work in progress, draft-ietf-6lowpan-usecases-10*, Jan. 2012.

[7] N.S. Kulkarni, I. Gupta and B. Raman, "On Demand Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks: A Review," In *Proceedings of IEEE International Advance Computing Conference IACC*, pp. 586-591, Patiala, Mar. 2009.

[8] A. Dana, A. K. Zadeh and S. A. Sadatnoon, "Backup path set selection in adhoc wireless network using link expiration time," *ELSEVIER*, Vol. 34, pp. 503-519, Nov. 2008.

[9] The ns-3 network simulator, <http://www.nsnam.org>.

— 저 자 소 개 —



우 연 경(정회원)
2011년 2월 영남대학교 전자공학과(공학사)
2012년~현재 경북대학교 정보통신학과(공학석사)
<주관심분야 : U-healthcare network, Wireless body area network, HL7, IEEE 11073, Network management, Wireless communication



박 종 태(정회원)
1978년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
1981년 2월 서울대학교 전자공학과(공학석사)
1987년 8월 Univ. of Michigan EECS(공학박사)
1989년~현재 경북대학교 전자공학과 교수
2000년~2003년 IEEE Technical Committee on Information Infrastructure(TCII) 의장
1988년~1989년 삼성전자 컴퓨터시스템 사업부 수석연구원
1987년~1988년 미국 AT&T Bell 연구소 연구위원
1984년~1987년 미국 CITI 연구원
<주관심분야 : 이동통신, 모바일, 차세대 통신망 운용, 네트워크 보안, 헬스케어 서비스>