

무선 센서 네트워크에서의 멀티미디어 데이터 전송을 위한 최적의 노드 비 겹침 다중경로 탐색 프로토콜

준회원 정성록*, 이정훈*, 종신회원 노병희*

An Optimized Node-Disjoint Multi-path Routing Protocol for Multimedia Data Transmission over Wireless Sensor Network

Sung-Rok Jung*, Jeong-Hoon Lee*^o Associate Members, Byeong-hee Roh* Lifelong Member

요 약

최근 무선 센서 네트워크를 통해 멀티미디어 데이터를 전송하고자 하는 노력이 늘고 있다. 무선 센서 네트워크는 저 전력 소형 노드를 이용하며, 낮은 전송 속도를 갖는 네트워크이다. 하지만 멀티미디어 데이터는 비교적 큰 용량을 가지며, 전송 시 지연에 민감한 특성을 갖는다. 그러므로 무선 센서 네트워크를 이용하여 멀티미디어 데이터를 전송하는 것은 어려운 일이 아닐 수 없다. 따라서 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 위해 경로의 겹침이 없는 노드 독립적인 (Node-Disjoint) Multi-path Routing 방법을 제안한다. 대용량의 데이터 전송 시 기존의 Single-path Routing 방법은 하나의 경로만을 사용하기 때문에 특정 노드에 부하를 가중시켜 데이터 손실이나 지연을 야기시킬 수 있지만, 본 논문에서 제안하는 TinyONDMR(Tiny Optimized Node-Disjoint Multi-path Routing) 방법은 서로 분리된 다른 경로에 데이터를 분산시켜 전송함으로써, 네트워크의 성능을 향상시킨다. 또한 Multi-path를 찾기 위한 라우팅 과정에서 발생하는 라우팅 오버헤드를 줄여 네트워크 부하를 감소시킨다.

Key Words : Wireless Multimedia Sensor Network, Multi-Path Routing, Node-Disjoint, TinyOS

ABSTRACT

In recent years, the growing interest in wireless sensor network has resulted in thousands of publications. Most of this research is concerned with delivering raw data such as temperature, pressure, or humidity. Recently, the focus of sensor network paradigm is changing for delivering multimedia contents. However, most existing routing protocols are not very practical for transmitting multimedia contents in resource constrained sensor networks. In this paper, we propose an optimized node-disjoint multi-path routing protocol for throughput enhancement and load balancing. We focused on how to allocate traffic to independent multiple end-to-end routes. Decentralized transmission using our node-disjoint multi-path routing scheme results in bandwidth aggregation and throughput enhancement. In addition, our scheme provides ways to remove link-joint routes for decreasing routing overhead.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업 (IITA-2008-C1090-0801-0003)과 IT원천기술개발사업 (2008-S001-01, 차세대 전술 국방통신 원천기술 개발)의 일환으로 수행되었음.

* 아주대학교 정보통신전문대학원 (rockyjsr@ajou.ac.k), (solidmeajou.ac.k)(^o: 교신저자), (bhroh@ajou.ac.kr)

논문번호: KICS2008-07-327, 접수일자: 2008년 7월 24일, 최종논문접수일자: 2008년 9월 29일

I. 서 론

무선 센서 네트워크 기술은 일상생활이나 사람이 접근하기 어려운 지역에서 다양한 응용이 적용 가능한 기술로서, 유비쿼터스 환경의 중요한 핵심 기술이며 이동 컴퓨팅과 통신 분야에서 활발한 연구와 관심이 증대되고 있다. 현재 무선 센서 네트워크의 각 노드는 동전 크기 정도로 아주 작으며 기존의 ad-hoc 네트워크와 비교할 때 훨씬 많은 수의 노드가 밀집된 네트워크를 구성하게 된다. 이러한 형태의 네트워크 위에서 센서 노드들은 수집한 이벤트에 대한 정보를 전달하는 방식을 취한다^[14].

그런데 최근에는 기존의 센서 노드들이 수행하던 단순 정보(조도, 습도, 온도)만 수집하여 전달하지 않고 필요에 의해서 센서 노드의 멀티 홉 네트워크를 활용하여 비디오, 오디오 등의 멀티미디어 데이터를 전송하려는 시도가 이루어지고 있다. 즉, 카메라가 부착된 이미지 센서 노드의 성능 향상으로 인해 무선 센서 네트워크를 이용하여 멀티미디어 데이터를 전송하기 위한 WMSN (Wireless Multimedia Sensor Network) 분야가 주목 받고 있다^[2].

이러한 WMSN 을 이용하기 위해서는 멀티미디어 데이터를 원활하게 전송할 수 있는 메커니즘을 보장해 주어야 한다. 하지만 낮은 네트워크 대역폭을 이용하여 대용량의 멀티미디어 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위해서는 노드 장애, 네트워크 에러를 극복할 수 있는 방법이 필요하다^[5].

이렇게 신뢰성을 보장하기 위해서는 기존의 무선 랜에서 사용하고 있는 라우팅 프로토콜이 아닌 새로운 형태의 라우팅 프로토콜이 필요하다. 한 예로, 기존의 무선 ad-hoc 환경에서의 라우팅 프로토콜들은 대체로 단일 최적화 경로를 찾아서 데이터 전송을 하는데, 단일 경로에 기반을 둔 라우팅 프로토콜은 해당 경로에 위치한 센서 노드들의 에너지를 집중적으로 소모하게 한다. 즉, 센서 네트워크를 구성하는 노드 중 일부 노드가 에너지를 모두 소비해서 제 기능을 발휘하지 못하게 된다. 또한 여러 경로에서 들어오는 대용량의 멀티미디어 데이터가 소수의 센서 노드에게 집중된다면 메모리 용량이 작은 수신 큐를 갖는 센서 노드의 특성상 Overflow로 인해 패킷들을 버려야 하는 상황이 발생할 것이다. 이러한 동작으로 멀

티 홉 통신을 이용하는 무선 센서 네트워크에서 홉이 늘어날수록 에러율이 점점 높아지게 된다^[15].

따라서 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 멀티미디어 데이터 전송을 위해 기존의 Ad-hoc 환경에서 사용되는 라우팅 프로토콜이 아닌 센서 네트워크 환경에서 대용량 데이터 전송에 맞는 새로운 라우팅 프로토콜이 필요하고 그러한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 현재 많이 진행되고 있다. 대표적인 라우팅 프로토콜로 Multi-Path를 이용하여 멀티미디어 데이터를 여러 경로로 분산시켜 소수의 센서 노드에 집중되는 현상을 완화시켜주고 중간 노드에서 Overflow가 발생하는 것을 방지할 수 있는 방법들이 제안되고 있다.

본 논문에서는 기존의 무선 센서 네트워크 환경에서 멀티미디어 전송을 원활히 지원할 수 있도록 최적화된 Multi-Path 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 라우팅 프로토콜은 노드 비 겹침 (Node Disjoint) Multi-Path 라우팅 방법으로써 데이터 전송의 신뢰성을 최대한 보장해 주면서 로드 분산(Load Balancing)과 높은 군집 대역폭 (Aggregated Bandwidth)을 제공해준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II장 관련연구에서 Multi-Path 라우팅의 필요성과 관련하여 Multi-Path를 이용했을 때 얻을 수 있는 이득과 그러한 Multi-Path를 지원해주는 라우팅 기법의 종류를 살펴본다. 또한 기존 Multi-Path 라우팅 알고리즘의 메커니즘과 Multi-Path를 통해 전송될 멀티미디어 데이터의 특성에 대해서도 살펴보겠다. III장 제안 방법에서는 본 논문에서 제안하는 TinyONDMR (Tiny Optimized Node-Disjoint Multi-path Routing) 알고리즘을 구체적으로 설명하겠다. 그리고 IV장 실험 및 성능 분석에서는 구체적인 실험 환경에 대한 설명과 실험을 통해 분석한 결과를 비교 설명하겠다. 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 관련연구

최근 많은 연구를 통해 무선 환경에서 대용량 멀티미디어 데이터를 전송하는데 Multi-Path를 이용한 방법들이 많이 소개 되고 있고 그에 따른 Multi-Path 의 장점들이 부각되고 있다. 따라서 본 장에서는 Multi-Path 라우팅의 종류와 구체적인 예를 통한 전송 방법 및 장점 그리고 멀티미디어 데이터의 특징에 대해서 살펴보겠다.

2.1 Multi-Path 라우팅의 구분

전송할 데이터를 효과적으로 분산시키고 대역폭을 효율적으로 활용하기 위하여 Multi-Path 라우팅 프로토콜이 사용된다. 이러한 라우팅 프로토콜은 그림 1과 같이 Link-Disjoint한 Multi-Path를 지원해주는 프로토콜과 그림 2와 같이 Node-Disjoint한 Multi-Path를 지원해주는 프로토콜 등, 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째는 그림 1에서 볼 수 있는 Link-Disjoint Multi-Path 라우팅 프로토콜이다. 이 라우팅 프로토콜은 링크의 겹침을 허용하지 않는다. 즉, 공통적인 링크를 사용하지 않는다는 것을 의미한다. 대신, 같은 노드의 사용은 허용한다. 그렇기 때문에 Link Disjoint한 경로를 이용할 경우 링크의 공유를 허용하지 않기 때문에 하나의 링크 고장으로 인해 발생하는 다수의 경로 단절은 방지 할 수 있는 장점은 있으나 하나의 노드의 고장으로 인해 그 노드를 이용하는 다수의 경로의 단절은 막을 수 없다는 단점을 지니고 있다^[16].

두 번째는 그림 2에서 볼 수 있는 중첩된 노드가 없는 Node Disjoint Multi-Path Routing 프로토콜이다. 이 프로토콜은 소스 노드와 목적지 노드를 제외하고 제공되는 경로들 사이에 중첩된 노드가 없는 서로 독립된 Multiple Path를 제공해 준다.

Node Disjoint Multi-Path Routing 프로토콜이 사용된다면 Link Disjoint Multi-Path Routing 프로토콜보다 Multi-Path 전송을 극대화 시킬 수 있다.

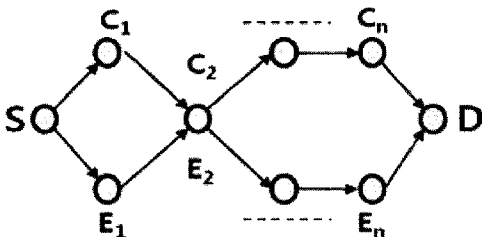


그림 1. Node disjoint multiple paths

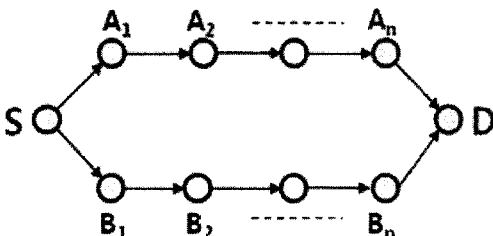


그림 2. Link Disjoint Multiple Paths

예를 들어, 두 개의 경로에 이용되는 중첩된 노드가 과도한 트래픽으로 인해 혼잡 상태에 빠져 버리거나 사용될 수 없는 상태가 되었을 때는 그 노드를 사용하는 두 개의 경로는 더 이상 유지될 수 없을 뿐 아니라 그 경로를 이용하여 전송되던 데이터가 손실되는 상황이 벌어지게 된다.

따라서 중첩된 노드가 없어 경로가 독립되어 중간 노드의 고장에도 다른 경로를 통해 지속적으로 통신을 지원할 있어 Multi-Path 전송을 극대화 시킬 수 있는 Node Disjoint Multi-Path Routing 프로토콜이 보다 효과적이다.

본 논문에서도 제안하는 알고리즘 또한 Node Disjoint Multi-Path Routing 프로토콜에 해당한다.

2.2 Multi-Path Routing 메커니즘

기존 무선 ad-hoc 네트워크 환경에서 Multi-Path를 통한 멀티미디어 전송에 관한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다. 이러한 Multi-Path 전송의 Load balancing 기능으로 인해 네트워크의 부하를 줄이며 성능 향상에 큰 도움을 준다는 사실이 여러 논문을 통해서 증명되고 있다. 본 장에서는 기존에 사용되고 있는 대표적인 Multi-Path 라우팅 프로토콜에 대해서 간단히 살펴보겠다.

SMR(Split Multi-Path Routing)^[10]은 요구 기반 다중 경로 및 송신자 기반의 라우팅 프로토콜이다. SMR은 DSR^[11]과 비슷하지만, 최대 비 겹침 경로들을 구성하는데 사용된다. 하지만 DSR과 달리 중간 노드들은 루트 캐시를 유지하지 않기 때문에 RREQ에 대한 응답을 하지 않는다. 이것은 수신자가 모든 가능한 경로를 받아서 최대 비 겹침 경로를 선택할 수 있도록 한다. 최대 비 겹침 경로들은 공통적인 노드나 링크를 최소화 하는 것을 의미한다.

최대 비 겹침 경로를 설정하기 위하여 중복된 RREQ 들은 무시되지 않는다. 대신에 중간 노드들은 다른 유입 링크로부터 수신하거나 이전에 받은 RREQ보다 홉 카운트가 적은 RREQ들을 포워딩을 하게 된다. 이렇게 하여 수신자는 다수의 경로를 확보하게 된다. 목적지 노드는 처음 받은 RREQ에 대하여 RREP를 전송하게 되고 이는 가장 짧은 지연 경로를 선택함을 의미한다. 그리고 일정 시간을 기다리게 된다. 그 동안 수신된 RREQ들에 대하여 하나 이상의 최대 비 겹침 경로가 존재한다면 이를 선택하게 된다. 이후,

RREP를 선택된 RREQ가 전송된 경로로 응답함으로써 경로의 설정이 이루어진다⁶⁾.

AOMDV(Ad-hoc On-demand Multi-Path Distance Vector)¹³⁾는 AODV¹²⁾와 마찬가지로, 시작 노드가 통신을 하기 위해 목적지 노드까지의 경로가 필요할 때 RREQ를 브로드캐스팅 한다. 이 패킷을 받은 노드는 패킷을 보낸 노드를 역 경로(reverse path)로 간주하고 이 노드가 자신이 갖고 있는 라우팅 테이블에 있는 경로들과 Link Disjoint한지 살펴보고 Link Disjoint 하면 자신의 역 경로 라우팅 테이블에 저장한다. RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅 한다. 이때 AODV의 경우, 다른 중간 노드를 경유해 온 동일한 RREQ 패킷을 수신했다면 그 패킷을 버린다. 하지만, AOMDV의 경우는 이를 수신해 Link Disjoint 한지 판단하여 저장해 또 다른 경로를 확보를 한다¹⁷⁾.

2.3 Multi-Path 전송의 장점

Multi-Path 전송의 장점은 아래와 같이 요약된다.

첫째, Multi-Path 전송은 네트워크의 트래픽 부하를 분산 시킬 수 있다. 예를 들어, I 비디오 프레임과 같은 용량이 큰 데이터 프레임을 여러 서브 프레임으로 쪼개어 서로 다른 경로로 분산시켜 전송함으로써 네트워크의 부하를 분산시킨다. 이러한 Load balancing은 네트워크에 존재하는 트래픽 혼잡을 제어할 수 있는 수단이 되기도 한다. 따라서 라우터의 overflow에 의해 발생할 수 있는 비디오 패킷의 손실을 효과적으로 줄일 수 있다⁷⁾.

둘째, Multi-Path 전송은 멀티미디어 세션에 대해서 좀 더 나은 capacity를 제공해 준다. 특히, 무선 환경에서는 링크의 대역폭이 제한되어 있기 때문에 Single path의 경우 용량이 큰 데이터 flow를 지원해 주는데 충분한 대역폭을 제공하기 힘들다.

Multi-Path 전송의 경우 데이터 flow를 여러 개의 용량이 작은 sub-flow로 분할하여 다양한 경로로 분산하여 전송함으로써 제한된 대역폭을 효과적으로 사용할 수 있다⁷⁾.

셋째, Multi-Path 전송에 사용되는 다양한 경로들이 서로 독립된 Disjoint-path로 이루어져 있다면 각각의 경로에서 발생하는 패킷 손실은 서로 다른 경로에 영향을 미치지 않는다는 장점이 있다. 즉, 하나의 경로가 끊어졌을 경우에도 또 다른 경로는 단절된 경로와 상관없이 여전히 정상적으로 데이터를 전송할 수 있는 상태이기 때문에 수신자는 항상 데이터를 수신할 수 있다.

비디오 데이터와 같은 멀티미디어 데이터 전송과 관련하여, 적절한 오류 은닉 (Error Concealment) 알고리즘이 적용되어 있다면 경로 단절로 인해 발생할 수 있는 비디오 복원 실패를 피할 수 있을 것이다. 물론, 비디오의 품질이 떨어지는 것은 감수해야 한다⁷⁾.

넷째, Multi-Path 전송은 서버-클라이언트 환경에서 서버의 Load balancing을 위해 사용된다. 즉, 하나의 클라이언트가 여러 서버로부터 멀티미디어 데이터를 전송 받고자 할 때 Multi-Path 전송이 사용될 경우 네트워크의 부하를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 클라이언트에 대한 Response time을 줄일 수 있다⁷⁾.

무선 환경에서 멀티미디어 전송을 위해 Multi-Path를 이용한다는 것은 효과적으로 패킷 손실률을 줄일 수 있으며 좀 더 나은 확장성을 제공해 줄 수 있다. 또한 무선 환경에서 자주 발생하는 링크 단절과 같은 불가피한 상황으로 발생할 수 있는 멀티미디어 복원의 실패와 같은 심각한 오류를 방지할 수 있는 효과적인 방법이 될 수 있다.

2.4 멀티미디어 데이터의 특징

비디오, 오디오 등의 멀티미디어 데이터는 대용량의 데이터이다. 또한 멀티미디어 데이터는 사용자가 느끼는 만족도를 통해 통신 성능이 결정되는 경향이 있기 때문에 전송 되는 데이터의 품질(QoS) 보장이 매우 중요한 요소로 작용된다. 이러한 QoS 보장을 위해 일반적으로 표 1과 같은 QoS 요구사항을 만족 시켜줘야 한다. 따라서 대용량의 멀티미디어 데이터의 전송에 있어서 네트워크 관리 즉, 전송 속도나 전송 지연 등의 요소를 최적화시키는 것이 중요한 관리 요소가 된다.

또한 멀티미디어 데이터 전송에 있어서 신뢰성 보장이 필수 요소로 작용한다. 신뢰성의 의미는 보통의 데이터 통신에서 사용되는 개념과 약간

표 1. Multimedia Application QoS Requirements

Application	Delay	Jitter	Packet Loss Ratio
Voice	100ms	60ms	10 ⁻³
Video Streaming	1000ms	60ms	10 ⁻³
Video Conferencing	100ms	60ms	10 ⁻³

차이가 있다. 일반적으로 데이터 통신에서는 신뢰성의 의미를 데이터가 송신 측으로부터 수신 측까지 무사히 전송(End-to-End Reliable Transmission)되는 것으로 보고 있으나, 멀티미디어 통신에서 신뢰성의 의미는 데이터가 송신 측으로부터 수신 측까지 정해진 시간(Delay or Latency Constrained) 동안 무사히 도착하는 것을 의미한다. 즉, 멀티미디어 데이터 통신은 Delay 또는 Latency Sensitive 한 특징을 가지고 있다.

따라서 멀티미디어 데이터 통신에서 QoS를 보장하기 위해서는 신뢰성이 보장되어야 하며 그런 신뢰성은 혼잡(Congestion)이 발생하지 않도록 보장해 주는 메커니즘이 필요하다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 내에서 멀티미디어 데이터의 신뢰성 있는 전송을 보장해주는 최적화된 비 겹침 Multi-Path 라우팅 알고리즘을 제안한다.

III. 제안 프로토콜

3.1 최적의 노드 비 겹침 Multi-Path 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안하는 최적화된 노드 비 겹침 Multi-Path 라우팅의 주요 목적은 경로를 탐색하는 동안 라우팅 오버헤드를 줄이면서 여러 개의 노드 독립적인(Node-Disjoint) 경로를 찾는 것이다. 본 라우팅 알고리즘은 AODV^[12]와 DSR^[11] 메커니즘을 바탕으로 RREQ(Route Request)가 거처 온 노드에 대한 노드 ID를 하나씩 RREQ에 명시해 포워드 시켜줌으로써 이 RREQ를 수신한 목적지 노드가 여러 개의 노드 독립적인 경로를 선택할 수 있게 하는 방법이다.

이러한 방법을 센서네트워크 상황에 맞도록 최적화된 노드 비 겹침 Multi-Path 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 TinyONDMR (Tiny Optimized Node-Disjoint Multi-Path Routing) 이라 명명하겠다.

3.2 노드 ID 리스트를 통한 경로 탐색 방법

제안하는 TinyONDMR은 라우팅 오버헤드를 최대한 줄이면서 노드 독립적인(Node-Disjoint) 다중 경로를 찾는 것이 주요 목표이다. 따라서 오버헤드를 줄이기 위해 포워딩 되는 RREQ를 최대한 줄이면서 목적지 노드가 여러 개의 경로 중에서 노드 독립적인(Node-Disjoint) 경로를 선택할 수 있도록 각 경로 별로 해당 경로를 형성하고 있는

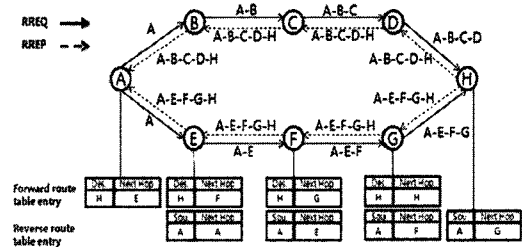


그림 3. 노드 ID 리스트를 이용한 RREQ 및 RREP 전송

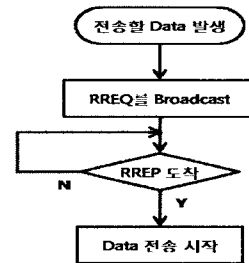


그림 4. Source Node에서의 경로 탐색 과정

노드들의 ID 리스트를 알고 있어야 한다.

TinyONDMR에서는 소스 노드에서 목적지 노드까지 독립된 경로에 대해서 그 경로들을 형성하고 있는 노드들의 리스트를 목적지 노드가 비교할 수 있게 하기 위해 DSR^[11] 프로토콜과 같이 기본적으로 RREQ가 포워드 될 때 해당 RREQ를 포워드 시키는 노드의 노드 ID를 RREQ에 추가하도록 하였다. 즉, 그림 3과 같이 8개의 노드가 두 개의 경로를 형성하고 있을 때, 노드 A가 노드 H에게 데이터를 보내고자 할 때 먼저 노드 A는 RREQ를 브로드캐스팅하게 되고 그것을 받은 노드 B와 E는 자신의 노드 ID를 RREQ에 추가하여 다시 브로드캐스팅 시킨다. 이런 방법으로 노드 C, D, F, G도 해당 RREQ를 브로드캐스팅 시키면 목적지 노드는 2개의 RREQ를 수신함으로써, 2개의 경로를 형성하고 있는 노드 ID 리스트를 확인할 수 있다. 이 노드 ID 리스트를 비교함으로써 해당 경로들이 겹치는지의 여부를 판단할 수 있다. 목적지 노드 H는 2개 경로 [A-B-C-D], [A-E-F-G]가 노드 독립 (Node-Disjoint)된 경로임을 확인한 다음 그 경로를 2형성하고 있는 노드들의 리스트를 담고 있는 RREP를 소스 노드에게 유니 캐스트 방법으로 역 경로(Reverse route path)를 통해 전달한다. 그림 4는 소스 노드의 RREQ 전송에서 RREP 수신까지의 과정을 간단히 보여주고 있다.

3.3 라우팅 오버헤드 감소 방법

AODV와 DSR의 경우 만약 소스 노드가 목적지 노드까지의 경로를 모른다면, 소스 노드는 경로 탐색(Route Discovery)을 실행한다. 이때 소스 노드는 경로 탐색을 위한 RREQ 패킷을 브로드캐스팅 한다. 이 패킷을 받은 중간 노드들은 패킷을 보낸 노드를 잠재적인 역경로(reverse path)로 간주한다. 그 이후에 들어오는 중복되는 RREQ 패킷은 모두 버리게 된다.

즉, 다른 경로로부터 들어오는 중복되는 RREQ 패킷을 버림으로써 다중의 경로를 확보하지 않고 하나의 경로만을 확보한다.

본 논문에서 제안하고 있는 TinyONDMR의 경우 RREQ 패킷 브로드캐스팅을 통해 다중의 경로를 검색하는데, AODV 또는 DSR과 같은 방법을 그대로 이용할 경우 단일경로(Single Path) 밖에 확보 할 수 없기 때문에 다중의 경로를 확보하기 위해서는 AODV 또는 DSR과 달리 다른 경로로부터 들어오는 중복되는 RREQ도 버리지 않고 브로드캐스팅 해 주는 방법을 쓴다. 하지만, 중복되는 RREQ를 브로드캐스팅 함으로써 루프(Loop)나 브로드캐스팅 스톰(Broadcasting Storm)을 발생 시킬 수 있다. 그 만큼 오버헤드를 증가 시키는 단점이 있다. 특히, 무선 센서 네트워크의 환경과 같이 노드가 밀집되어 있는 환경에서는 라우팅 오버헤드가 더욱 증가할 것이다.

제안하는 TinyONDMR은 브로드캐스팅 스톰을 방지하기 위해서 임의의 홉 수를 TTL(Time to Live)값으로 지정하여 RREQ에 포함시킴으로써 설정된 TTL값 이상 RREQ가 브로드캐스팅 될 때에는 소멸되게 하였다. 여기서 TinyONDMR에 쓰인 TTL값은 TinyOS 환경에 맞게 구현된 TinyAODV에서 7홉까지 브로드캐스팅을 지원해 주기 때문에 7홉을 임의의 TTL값으로 설정하였다.

이와 더불어 TinyONDMR은 루프 발생을 방지하고 라우팅 오버헤드를 줄이면서 최적의 노드 독립적인(Node-Disjoint) 경로를 확보하기 위해 가장 짧은 라우팅 홉을 지닌 경로만을 유지해준다. 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

중간 노드가 처음으로 RREQ 패킷을 수신하면 RREQ 패킷이 거쳐 온 경로의 노드 리스트를 확인한 후 소스 노드로부터 홉 수를 확인한다. 즉, 노드 ID의 개수가 홉 수가 된다. 예를 들어, II장 그림 3에서 노드 D가 받은 RREQ 에 추가된 노드 ID 리스트는 A-B-C 이다. 이것으로 소스 A에

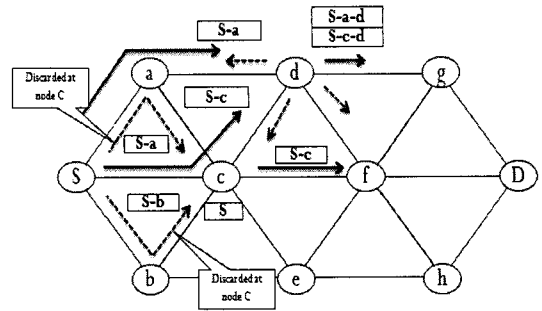


그림 5. RREQ의 선택적 브로드캐스팅

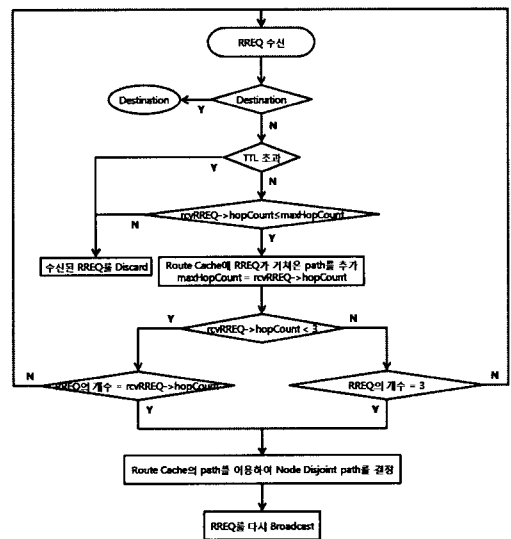


그림 6. 루프 방지와 최적 경로 탐색 과정

서 노드 D까지의 홉 수가 3임을 알 수 있다. 이렇게 해당 노드는 RREQ를 통해 홉 수를 확인한 다음 이 홉 수가 가장 작은 경우이면 이 홉 수를 기준으로 삼는다. 만약, 해당 노드가 중복된 RREQ를 수신하게 됐는데 기준이 된 홉 수보다 크면 해당 RREQ는 폐기된다. 그렇지 않고 홉 수가 같거나 작은 경우라면 RREQ에 자신의 노드 ID를 추가하여 브로드캐스팅하게 된다. 예를 들어, 그림 5에서 소스 S가 RREQ를 브로드캐스팅 하게 되면 노드 c 는 주변 노드들로부터 노드 ID 리스트를 포함한 RREQ를 수신하게 된다. 즉, 노드 c 는 노드 S 가 보낸 노드 ID 리스트 [S]를 수신하게 되고 그 후 노드 a와 b로부터 노드 ID 리스트 [S-a], [S-b]를 포함하는 RREQ를 수신하게 된다. 그런데, 처음 수신한 RREQ는 노드 ID 리스트가 [S] 이므로 홉 수가 1이고 그 이후에 수신한 RREQ들은 각각 [S-a], [S-b]이기 때문에 홉

수가 2로서 처음 수신한 홉 수 1 보다 크기 때문에 폐기하게 된다. 그 후 노드 c 는 수신한 RREQ에 자신의 노드 ID를 추가하여 RREQ [S-c]를 주변에 있는 노드에 브로드캐스팅 한다. 이렇게 홉 수가 가장 작은 RREQ를 기준으로 경로를 설정하게 되면 RREQ 패킷의 루프를 방지 할 수 있고 짧은 거리를 갖는 최적의 경로를 찾을 수 있게 된다. 그림 6은 위에서 설명한 루프 방지와 최적 경로를 탐색하는 전반적인 과정을 간략하게 나타내고 있다.

3.4 중첩된 구간이 없는 경로 선택 방법

지금까지 노드 독립적인(Node-Disjoint) 경로를 찾기 위해서 홉 수를 이용하여 루프를 방지하고 불필요한 RREQ 패킷 포워딩을 줄임으로써 라우팅 오버헤드를 감소 시켰다. 이와 더불어 이제는 소스 노드와 목적지 노드 사이에 있는 중간 노드로 들어오는 RREQ 패킷을 필터링하여 라우팅 오버헤드를 줄이고 중첩되는 구간이 없는 경로를 보장해 주는 방법 살펴보겠다.

위에서 설명한 바와 같이, 홉 수가 작은 RREQ를 다시 브로드 캐스팅하여 목적지 노드까지 전송 될 때 중간 노드에서는 홉 수가 같은 노드 ID 리스트를 갖는 RREQ 들을 모두 브로드캐스팅 하게 된다. 하지만, 브로드캐스팅을 하기 이전에 홉 수가 같은 경로들 중에서 중간 경로가 겹치는 경우를 고려하여 제거해 주는 과정을 거치게 된다. 다시 말해, 중간 노드에서 최대한 RREQ 브로드캐스팅 횟수를 줄여 네트워크의 부하를 감소시키고, 필터링 된 RREQ만을 최종 목적지 노드에게 전달함으로써 목적지 노드가 쉽게 다중의 노드 독립적인 경로(Node disjoint multiple path)를 선택할 수 있게 도와주는 것이다.

예를 들어, 그림 7에서 노드 g의 경우, 노드 ID 리스트가 [S-a-d], [S-c-d], [S-c-f] 이며 홉 수

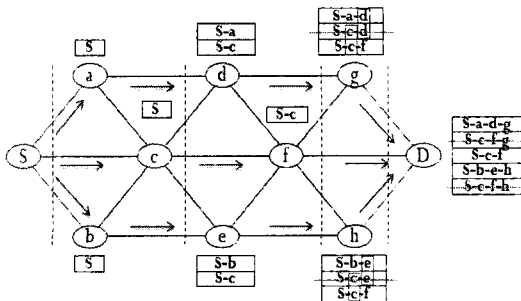


그림 7. 중첩되지 않는 경로 선택 과정

가 3인 3개의 RREQ를 평균 전파지연(Propagation Delay) 보다 조금 큰 값인 임의의 time-out 시간 동안 수신하게 된다. 이렇게 수신된 RREQ 패킷들은 RREQ 루트 캐시에 저장되고 이 패킷들을 브로드캐스팅하기 전에 경로가 겹치는 RREQ를 폐기 시킨다.

즉, 수신된 특정 RREQ의 노드 ID 리스트를 다른 RREQ 노드 ID 리스트와 비교 했을 때 특정 RREQ의 노드 ID가 2개 이상 다른 RREQ 노드 ID 리스트에 존재하면 중첩된 경로가 있는 것으로 판단하여 해당 RREQ를 브로드캐스팅 하지 않고 삭제한다.

그림 7에서 노드 g까지 홉 수에 따른 최적의 경로들은 다음과 같이 [S-a-d-g], [S-c-d-g], [S-c-f-g] 3개의 경로이다. 그런데 경로 [S-c-d-g]는 경로 [S-a-d-g]와 구간 [d-g]에서 겹치고 [S-c-f-g]와는 구간 [S-c]에서 겹치게 된다. 따라서 경로 [S-c-d-g]를 갖는 RREQ 패킷을 브로드캐스팅하지 않고 삭제하게 되면, 노드 g까지는 겹치는 구간이 전혀 없는 완전히 독립된 경로 [S-a-d-g], [S-c-f-g] 2개가 확보 된다. 이제 노드 g는 확보된 2개의 독립된 경로에 대한 RREQ 에 자신의 노드 ID만 추가하여 주변 노드에 다시 브로드캐스팅하면 된다.

그림 8은 지금까지 설명한 중첩되지 않는 경로 선택 과정을 간단하게 Pseudo Code로 표현하였다.

Node-disjoint path selection algorithm

```

A node receives RREQ packets within the time-out
for i is less than the number of received RREQ packets
  for j is less than the number of received RREQ packets
    if rcvRREQ[i] != rcvRREQ[j] then
      Compare rcvRREQ[i] -> Intermediate_Node_IDs and
        rcvRREQ[j] -> Intermediate_Node_IDs
      if Duplicate Intermediate_Node_ID exists then
        Increase Duplicate_Node_ID_Count
      end if
    end if
  end for
  if Duplicate_Node_ID_Count is less than 2 then
    Discard rcvRREQ[i]
  else
    Broadcast RREQ[i] or Set a path
  end if
end for
    
```

그림 8. Node Disjoint Path를 결정하는 Algorithm의 Pseudo Code

3.5 목적 노드의 비 겹침 다중 경로 선택 방법

TinyONDMR 프로토콜은 지금까지 설명한 방법대로 각 노드에서 최적의 홑 수를 갖고 독립된 경로를 유지하는 RREQ를 선택적으로 주변 노드에 브로드캐스팅 시키게 된다. 결국 목적지 노드까지 도착하는 RREQ 패킷 수를 최소화시킴으로써 라우팅 오버헤드를 줄임과 동시에 목적 노드가 쉽게 완전히 독립된 경로를 선택할 수 있도록 도와준다.

예를 들면, 그림 7에서 목적지 노드 D는 이웃 노드인 g, f, h로부터 경로 [S-a-d-g], [S-c-f-g], [S-c-f], [S-b-e-h], [S-c-f-h]를 나타내는 RREQ 4개를 최종적으로 수신하게 된다. 이제 최종 목적지 노드는 이 RREQ 들에 대해 겹치는 노드가 있는지 비교하여 겹치는 노드 ID 리스트를 갖는 RREQ를 폐기 시키고 완전히 독립된 경로를 갖는 RREQ를 선택하게 된다.

결국 목적지 노드 D는 완전히 독립된 경로인 [S-a-d-g-D], [S-c-f-D], [S-b-e-h-D]를 갖는 RREQ를 노드 독립(Node-Disjoint)된 Multi-Path로 선택하고 해당하는 각각의 RREQ에 대해 RREP를 보냄으로써 실제 데이터가 전송될 수 있는 경로가 설정된다. 그림 9는 목적지 노드가 RREQ를 수신하고 Multi-path를 선택하여 RREP를 전송하는 과정을 간단하게 보여준다.

3.6 RREP 전송 및 경로 설정 방법

앞에서 목적지 노드 D는 다중경로(Multi-Path)로 [S-a-d-g-D], [S-c-f-D], [S-b-e-h-D]를 선택했기 때문에 해당하는 3개의 경로의 RREP에 해당 경로를 모두 명시해서 역 경로로 전송한다. 즉, 그

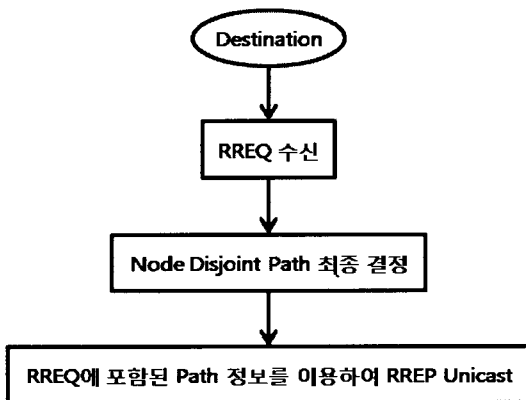


그림 9. Destination Node에서의 경로 선택 및 RREP 전송 과정

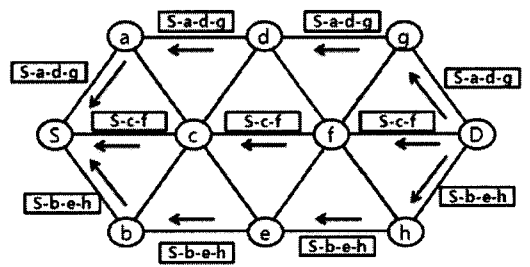


그림 10. RREP 전송 및 선택된 Node Disjoint Paths

	Source Node	Node a	Node d	Node g	Destination Node
Route 1	Forward Route D a	Node ID List D	Node ID List D	Node ID List D	Node ID List D
	Reverse Route	Node ID List S	Node ID List S	Node ID List S	Node ID List S
Route 2	Forward Route D c	Node ID List D	Node ID List D	Node ID List D	Node ID List D
	Reverse Route	Node ID List S	Node ID List S	Node ID List S	Node ID List S
Route 3	Forward Route D e	Node ID List D	Node ID List D	Node ID List D	Node ID List D
	Reverse Route	Node ID List S	Node ID List S	Node ID List S	Node ID List S

그림 11. Node-Disjoint Paths 의 경로 테이블

그림 10과 같이 3개의 RREP를 전송하게 된다.

전체 경로에 대한 노드 ID 리스트가 RREP에 포함되어 있기 때문에 각각의 중간 노드들은 RREP를 수신하게 되면 필요한 경로 정보를 자신이 갖고 있는 테이블에 저장하게 되는데, 처음에는 목적지 노드까지의 포워드 경로(Forward Route)를 설정하고 그 다음에 소스 노드까지의 역 경로(Reverse Route)를 설정하게 된다.

이렇게 필요한 경로 정보를 RREP에서 획득한 다음 RREP를 이웃 노드에 전달한다. 이렇게 소스 노드까지 RREP가 전달이 되면 새로운 경로가 설정이 되고 이 경로를 통해 데이터를 전송할 수 있게 된다. 그림 11은 그림 10의 토폴로지와 관련하여 각각 노드별로 설정된 경로를 보여 주고 있다.

IV. 실험 및 성능 분석

4.1 Mote (Telos B) 사양

본 실험에서는 U.C. Berkeley 에서 개발한 Telos rev. B 와 동일한 플랫폼의 무선 센서 네트워크 노드를 사용하였으며 실험에 사용한 센서 노드의 사양은 표 2와 같다.

U.C. Berkeley 에서 개발한 Telos rev. B 계열 플랫폼의 무선 센서 네트워크 노드의 특징은 2.4

표 2. Telos rev. B 사양

Item	Specification
MCU	TI MSP420F1611
Processor Performance	8Mhz 16bit RISC
Flash / RAM	48Kbytes / 10Kbytes
ADC / DAC	12bit ADC/DAC
Current Draw	1.8mA(Active) / 5.1uA(Sleep)
RF Transceiver	TI CC2420
Frequency Band / Data Rate	2.4GHz ISM Band / 250Kbps
RF Power	-24dBm ~ 0dBm
Receive Sensitivity	-90dBm(min) / -94dBm(typ)
Current Draw	23mA(Active) / 21uA(Idle) / 1uA(Sleep)

GHz 대역의 주파수를 사용하고 IEEE 802.15.4 표준을 준수하는 저 전력 RF Transceiver 칩을 사용하였으며, Atmel의 Atmega128(L) MCU를 사용한 Mica 시리즈에 비해 RAM의 크기가 큰 MCU를 사용함으로써 메모리가 많이 필요한 어플리케이션을 동작시키는데 무리가 없다. 다만 Telos rev. B에서 사용하는 MSP430F1611 MCU의 내부 플래시 메모리 크기가 Mica 시리즈의 MCU Atmega128(L)에 비해 작은 관계로 1024K bytes 크기의 외부 플래시 메모리가 추가되었다.

4.2 테스트 베드

본 실험에서는 그림 12와 같은 실험 환경을 이용하여 진행되었으며, 실험에 사용된 네트워크의 토폴로지는 그림 13과 같다.

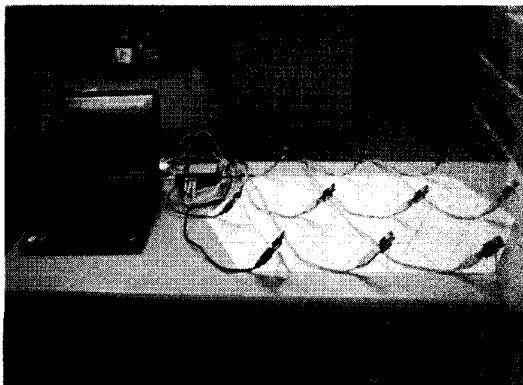


그림 12. 실험환경

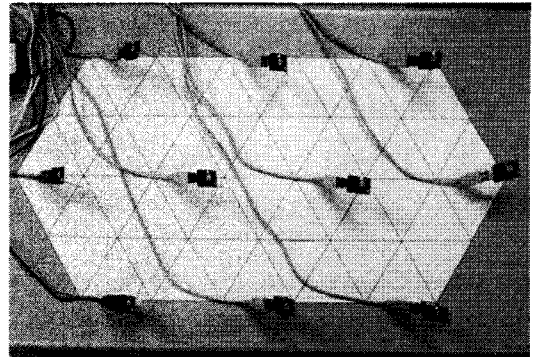


그림 13. 실험 토폴로지

4.3 실험방법

앞에서 구성한 테스트 베드를 바탕으로 실험을 실시하였다. 아래 그림 14는 그림 13에서 보여준 실제 실험 토폴로지를 도식화 한 것으로 이것을 바탕으로 실험 방법을 설명하겠다.

실험은 두 가지 알고리즘을 이용하였다. Single-Path 라우팅 프로토콜의 경우, TinyOS 환경에서 구현된 TinyAODV를 이용하였고, Multi-Path 라우팅 프로토콜의 경우는 본 논문에서 제시한 TinyONDMR을 이용하였다.

실제 실험 토폴로지를 도식화한 그림 14에서 보는 것과 같이 TinyAODV를 이용하여 소스 노드 S에서 목적지 노드 D까지 Single-Path를 따라 데이터를 전송하였고, TinyONDMR을 이용하여 노드 S에서 노드 D까지 Multi-Path를 따라 데이터를 전송하였다.

전송된 데이터는 한 패킷 당 100Byte 이고, 이 패킷 256개를 전송 간격을 10ms씩 달리하여 10ms에서 차례로 50ms까지 변화를 주어서 TinyAODV와 TinyONDMR을 이용하여 전송하였다. TinyONDMR의 경우는 데이터 전송 시 3개의 경로를 통해서 경로 1, 2, 3의 순서로 차례로 전송하였다.

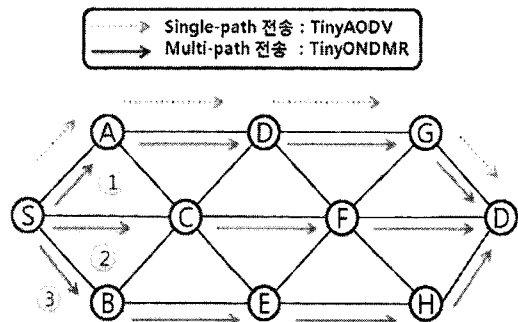


그림 14. 실험 토폴로지

4.4 실험결과

실험 결과는 위 IV.3절에서 제시한 실험 방법을 10회 반복하여 평균값을 바탕으로 도출하였다. 결과는 다음과 그래프와 같이 나타났다.

그림 15는 실험 방법에서 설명했듯이 전송 간격을 다르게 두고 Single-Path와 Multi-Path에서의 패킷 손실률(Loss Ratio)을 알아보았다. 실험 결과를 보면 Multi-Path를 지원해 주는 TinyONDMR이 Single-Path를 지원하는 TinyAODV보다 패킷 손실이 적다는 것을 볼 수 있다. 이것은 TinyONDMR이 완전히 독립된 Multi-Path를 이용하여 데이터를 분산 전송하는 Load balancing 기능을 수행함으로써 제한된 대역폭을 효과적으로 사용할 뿐 아니라 한 곳에 집중되는 부하를 줄이기 때문이다.

그림 16은 Single-Path와 Multi-Path에서의 패킷지연(Delay)에 대한 실험 결과이다. Multi-Path를 지원해 주는 TinyONDMR이 Single-Path를 지원하는 TinyAODV 보다 더 낮은 지연율을 보여 주고 있다. 이것은 Single-Path를 이용했을 경우,

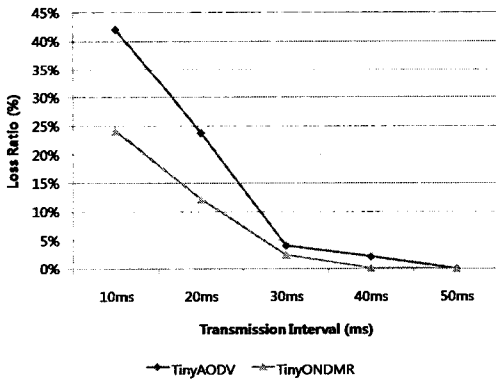


그림 15. Single-Path와 Multi-Path의 Packet Loss 비교

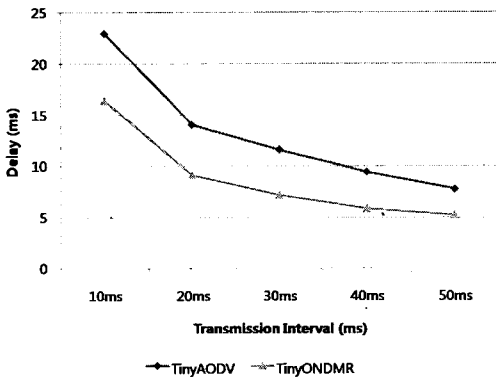


그림 16. Single-Path와 Multi-Path의 Delay 비교

어느 특정 노드에 부하가 가중 되고 그에 따른 혼잡(Congestion)이 발생함으로써 전체적으로 네트워크의 성능을 저하 시킬 뿐 아니라 지연을 증가시키기 때문이다. 반면, Multi-Path를 이용했을 경우, 패킷을 분산 시켜 전송하기 때문에 어느 특정 노드에 부하가 가중 되는 것을 피할 수 있고 그에 따른 혼잡(Congestion)의 발생 빈도도 상당히 감소하게 된다. 또한 첫 번째 실험에서 보았듯이 Single-Path를 이용하면 Multi-Path를 이용하는 것보다 상대적으로 패킷 손실률이 크기 때문에 그만큼 재전송 횟수도 증가하게 되고 그에 따른 지연도 증가하게 될 것이다. 따라서 Multi-Path를 적용한 TinyONDMR을 이용했을 때 전체적인 네트워크의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 17은 TinyONDMR를 이용할 때 완전히 독립된 Node-Disjoint한 Multi-Path를 몇 개를 찾느냐에 따른 패킷 손실률을 살펴본 실험 결과이다. 경로의 개수가 1개일 때 즉, Single-Path인 경우와 경로가 2개인 경우의 패킷 손실률이 크게 차이가 난다. 즉, 경로가 1개일 때 보다 2개인 경우가 성능 향상에 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 하지만, 경로가 3개로 늘어난 경우는 성능 향상의 비율이 1개와 2개인 경우보다는 크지 않다는 사실을 알 수 있다. 이것은 경로의 개수에 비례하여 성능이 동등하게 향상되지 않다는 사실을 말해준다. 따라서 센서 네트워크 환경 하에서 토폴로지의 변경이나 네트워크 환경의 변화에 따른 적절한 경로 선택의 전략이 필요함을 알 수 있다.

그림 19는 그림 18과 같은 토폴로지를 상에서 소스라우팅 기법인 DSR[11]을 기반으로 한 SMR^[10] 프로토콜과 TinyONDMR 프로토콜을 이

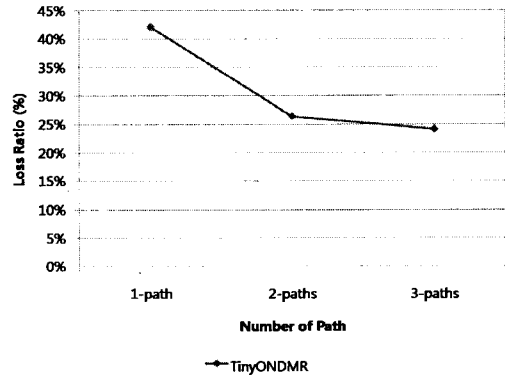


그림 17. Path의 개수에 따른 Packet Loss Ratio

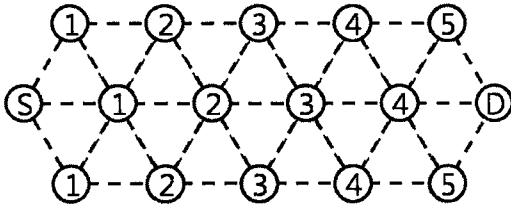


그림 18. 확장된 실험 토폴로지

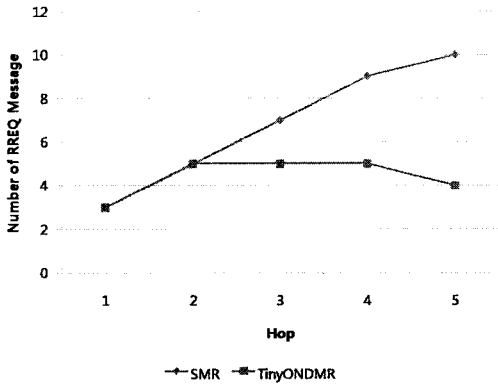


그림 19. Hop 수에 따라 발생하는 RREQ Packet의 개수

용하여 경로 탐색(Route Discovery)을 수행하였을 때 전송되는 RREQ 패킷 수를 비교하여 라우팅 오버헤드를 살펴본 결과이다. 그림 19와 같이 SMR은 홉 수가 증가함에 따라 발생하는 RREQ 패킷의 개수도 Linear하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면, TinyONDMR은 홉 수가 증가하더라도 2홉 이상에서는 발생하는 RREQ 패킷의 수가 일정함을 확인할 수 있다. 이것은 SMR의 경우 모든 경로에서 들어오는 RREQ를 목적지 노드까지 전달해 주고 목적지 노드에서 필요한 경로를 선택하는 구조로 되어 있기 때문이다. 이에 반해 TinyONDMR의 경우 중간 노드에서 겹치는 경로를 버리고 노드 독립적인 RREQ만을 목적지 노드에 전달해 주기 때문에 홉 수가 증가하더라도 최소의 RREQ 패킷만을 전달하여 라우팅 오버헤드를 감소시킨다.

그림 20 실험 결과는 그림 18과 같은 토폴로지 상에서 SMR과 TinyONDMR을 사용하였을 때 최종 목적지 노드에서 최적의 Multi-path를 선택하기 위하여 비교되는 RREQ의 개수를 보여주고 있다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 SMR은 목적지 노드가 가능한 모든 RREQ를 수신 하지만 TinyONDMR의 경우 중간 노드에서 이미 필터링 되어 최대한 노드 독립적인 경로를 갖는 RREQ만

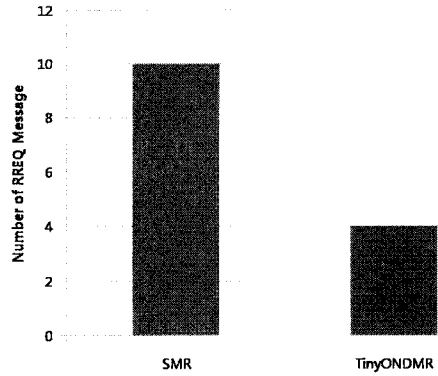


그림 20. 최적의 path를 찾기 위해 사용되는 RREQ Packet의 개수

을 수신하기 때문에 목적지 노드가 쉽게 완전히 독립된 경로를 선택할 수 있음을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 멀티미디어 데이터를 다중 경로를 통해 분산 전송시키기 위한 방법으로 TinyONDMR 프로토콜을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 무선 센서네트워크 환경 하에서 소스 노드에서 목적지 노드까지 완전히 독립된 경로를 제공해 준다. 즉, Load balancing을 가능하게 하여 특정 노드에 가중되는 부하를 줄여서 데이터 손실률을 낮추고 멀티미디어 데이터의 QoS를 보장해 준다.

실제 센서 네트워크 노드를 이용한 실험을 통해서 Multi-Path를 지원해주는 TinyONDMR을 이용했을 경우 Single-Path를 지원하는 TinyAODV를 이용하는 것 보다 나은 성능을 보여주는 것을 확인하였다. 또한 TinyONDMR이 경로 탐색(Route Discovery)시 라우팅 오버헤드가 상대적으로 낮음을 알 수 있었다.

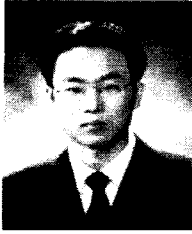
하지만, 그림 17에서 나타났듯이 전송 경로가 다양해짐에 따라 반드시 성능이 비례하여 향상되는 것이 아니라는 사실을 추측할 수 있었다. 즉, 센서 네트워크라는 환경에서 멀티미디어 데이터와 같은 대용량 데이터를 효율적으로 전송하기 위해서는 Multi-Path 방법 이외에 Path간에 간섭을 극복할 수 있는 Multi-Channel과 같은 방법을 접목시켜 볼 필요가 있다. 이것은 Future Work로서 추후 진행 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Wai-Hong Tam, "Joint Muti-Channel Link Layer and Multi-Path Routing Design for Wireless Mesh Networks", IEEE INFOCOM 2007 proceedings.
- [2] IAN F. AKYILDI, "Wireless multimedia sensor networks: A Survey", IEEE Wireless Communications, December 2007.
- [3] S. Ramasubramanian, H. Krishnamoorthy, and M. Krunz, "Disjoint multipath routing using colored trees," Accepted for publication in Elsevier COMNET, Vol.51, June 2007.
- [4] P. Thulasiraman, S. Ramasubramanian, and M. Krunz, "Disjoint multipath routing to two distinct drains in a multi-drain sensor network," in Proceedings of INFOCOM, Anchorage, Alaska, USA, May 2007.
- [5] Huaming Wu, Alhussein A. Abouzeid, "Error resilient image transport in wireless sensor networks", 2005 Published by Elsevier B.V.
- [6] Xuefei Li and Laurie Cuthbert, "On-demand Node-Disjoint Multi-Path Routing in Wireless Ad-hoc Networks", Proceeding of the 29th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks 2004.
- [7] Yihan Li, "The Case for Multi-Path Multimedia Transport over Wireless Ad-hoc Networks", Proceedings of the First International Conference on Broadband Networks 2004.
- [8] Nitin Goaget, "Supporting Image and Video Applications in a Multihop Radio Environment Using Path Diversity and Multiple Description Coding", IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, Vol.12 No.9, September 2002.
- [9] Deepak Ganesan, "Highly-Resileint, Energy-Efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks", ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2001.
- [10] S. Lee and M. Gerla, "Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks," in Proceedings of IEEE ICC, 2001.
- [11] D.B Johnson and D.A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," In Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth. Chapter 5, Kluwer Academic Publishers, 1996, pp.153-181.
- [12] C. E. Perkins and E. M. Royer. "Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing," In Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications(WMCSA), 1999.
- [13] M.K. Marina and S.R. Das, "On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks," Proceedings of the International Conference for Network Procotols (ICNP), pp.14-23, Nov. 2001.
- [14] 황도연, 임재성, "무선 센서 네트워크에서 다중 경로 선정에 기반한 에너지 인식 소스 라우팅 프로토콜", 한국통신학회 논문지, 2006-01.
- [15] 선주호, 권영완 "무선 센서 네트워크에서의 신뢰성 있는 비동기적 이미지 전송 프로토콜 설계 및 구현", 2007년도 한국정보과학회 가을 학술발표논문집 Vol.34, No.2(D).
- [16] 김기일, 김상하, "MANET에서의 다중경로 라우팅 프로토콜 연구동향", 정보통신연구진흥원 주간기술동향 1203호, 2005년 발행.
- [17] 이지훈, "AOMDV(Ad-hoc On-demand Multi-Path Distance Vector)에서의 전력을 고려한 경로 선택 기법", 서강대학교, 2005.
- [18] 조영태, "CMOS 이미지 센서를 이용한 멀티미디어 센서 네트워크의 설계 및 구현", 2007년 한국정보과학회 가을 학술발표논문집 Vol.34.No.2(D).
- [19] 이창국, "SurgeTelos Routing Protocol(Network Protocol) 분석".
- [20] Philip Levis, "TinyOS Extension Proposal TEP 111; message_".
- [21] Ben Greenstein and Philip Levis, "TinyOS Extension Proposal TEP 113; Serial Communication". Draft-Version 1.9, Jul-11-2007.
- [22] Philip Levis, "TinyOS Extension Proposal TEP 116; Packet Protocols", ver. 1.10, Dec-10-2004.

정 성 록 (Sung-Rok Jung)

준회원



2004년 아주대학교 정보및컴퓨터공학부(학사)

2004년~2006년 LG 전자

2007년~현재 아주대학교 정보통신전문대학원(석사)

<관심분야> 모바일 멀티미디어 네트워크, 유비쿼터스 센서

네트워크, 국방전술통신네트워크

노 병 희 (Byeong-hee Roh)

종신회원



1987년 한양대학교 전자공학과(학사)

1989년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (석사)

1998년 한국과학기술원 전기및전자공학과 (박사)

1989년~1994 한국통신 통신망연구소

1998년~2000년 삼성전자

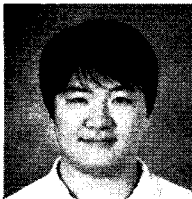
2000년~현재 아주대학교 정보통신전문대학원 부교수

<관심분야> 모바일 멀티미디어 네트워크 및 응용, BcN QoS 및 트래픽 엔지니어링, 유비쿼터스 센서

네트워크(RFID/USN), 인터넷 보안, 국방전술통신네트워크

이 정 훈 (Jeong-Hoon Lee)

준회원



2006년 아주대학교 정보및컴퓨터공학부(학사)

2007년~현재 아주대학교 정보통신전문대학원(석사)

<관심분야> 모바일 멀티미디어 네트워크, 유비쿼터스 센서 네트

트워크, 국방전술통신네트워크