

무선 센서 네트워크에서 경로별 신뢰도와 묵시적 ACK를 사용한 신뢰성 보장 전송기법

Reliable Data Transfer using Path-Reliability and Implicit ACK on Wireless Sensor Network

이 가 원* 이 준 혁** 허 의 남***
Ga-Won Lee Jun-Hyuk Lee Eui-Nam Huh

요 약

다양한 분야가 IT 기술과 접목되어 인간 생활의 질적인 향상을 도모하고 있다. 전 세계적으로 유비쿼터스 기술이 각종 분야에 적용되고 있으며, 이와 같은 유비쿼터스 사회 실현을 위해 센서 네트워크가 점차 다양한 응용 분야에서 활용되고, 그 중요성이 부각되고 있다. 특히 u-사회의 실현을 위해 점차 QoS 요구사항이 증가하고 있으며, 데이터의 정확하고 신뢰성있는 전송이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이에 본 논문에서는, 무선 센서 네트워크의 특성을 고려하여 신뢰성있는 전송을 보장하기 위한 기법을 제시하고자 한다. 전송 신뢰성 향상을 위해 경로별로 신뢰도를 계산하며, 전송 성공 여부를 판단하기 위해 직접 ACK를 경로 품질에 따라 선택적으로 사용한다. 경로 품질이 좋은 경우에는 오버헤더링을 역으로 묵시적 ACK로 사용하여 직접 ACK 사용을 줄이고, 직접 ACK를 위입할 수 있는 방법을 제시함으로써 일반 ACK의 사용으로 인한 에너지 소비 및 트래픽 낭비를 줄이는 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과, 제안 기법은 기존 ACK 기법의 신뢰성은 유지하면서 약 30% 에너지 효율적인 데이터 전송을 하였다.

ABSTRACT

Many applications in Wireless Sensor Networks require collecting all data without loss from nodes. End-to-End data retransmission, which is used in the Internet for reliable transport, becomes very inefficient in Wireless Sensor Networks, since wireless communication, and constrained resources pose new challenges. We look at factors affecting reliability, and search for efficient combinations of the possible options. This paper proposes an efficient Overhearing based reliable transfer protocol in Wireless Sensor Networks by introducing Selective and implicit Acknowledgement. Finally, it is clarified that the proposed scheme is efficient for reliable data transfer in WSN.

☞ KeyWords : 전송 신뢰성, Acknowledgement, Overhearing, 경로별 신뢰도, 에너지 효율, QoS

1. 서 론

최근 과학은 다양한 분야가 IT 기술과 접목되어 인간 생활의 질적인 향상을 도모하고 있다. 인

간 삶의 질 향상을 화두로 문화와 생활 방식들이 변화하고 있으며, 많은 분야에서 IT 기술을 융합한 새로운 서비스 모델들이 발굴 활용되고 있다.

이를 위해 생활과 밀접한 유비쿼터스 사회 연구들이 지속되고 있으며, 특히 미국에서는 NASA, HP, MIT, UC Berkeley 등을 중심으로 유비쿼터스 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 유럽이나 일본도 EYES 프로젝트나 TRON 프로젝트[14] 등의 대규모 프로젝트를 통해 요소기술 및 응용 개발을 하고 있으나 인프라와 개발환경의 부재로 많은 연구가 중복적으로 이루어지고 있는 것이 현

* 준 회 원 : 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석·박사 통합과정 gawon@khu.ac.kr

** 정 회 원 : 한국정보통신기능대학 정보통신설비과 조교수 jhlee@icpc.ac.kr

*** 중신회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 부교수 johnhuh@khu.ac.kr

[2009/09/08 투고 - 2009/09/17 심사(2009/11/13 2차) - 2009/12/15 심사완료]

실이다. 이에 IT 산업의 경쟁력을 강화하고 세계 시장을 선도하기 위해 한국 정부는 행정안전부의 주도 아래 u-KOREA, u-CITY로 대표되는 국가정보통신기반 고도화 계획을 수립하는 등 관련 기술을 선도적으로 주도하고 있다. 이 전략 인프라 중 핵심이 되는 무선 센서 네트워크(WSN)는 첨단 u-Society 실현을 위한 기반 구조로, WSN이 구축된 사회에서는 모든 사물이 지능적, 능동적으로 정보를 모으고 상황을 인지하며 이를 제어할 수 있는 정보 네트워크가 형성된다. 이와 같은 u-Society 실현을 위해 WSN이 점차 다양한 응용 분야와 융합되고, 그 중요성이 부각되고 있다.

센서 노드는 대부분 다른 사물에 내장되거나 그 자체가 매우 작고 배터리로 동작하면서 센싱, 통신하기 때문에 데이터 전송의 설계 시 전력 소모를 줄여 센서 네트워크의 라이프타임을 최대화하는 데에 연구가 집중되었다. 하지만 센서노드의 H/W가 빠르게 발전하고 배터리 수명 연장 연구가 활발히 진행되어 센서 노드의 라이프타임이 증가하고, 이와 더불어 WSN 임무가 이전 단순 환경감시 및 정보 전달에서 휴전선 무인 정찰과 같은 u-밀리터리 시스템과 u-디펜스 무인감시 시스템, 원격 독거노인 건강 모니터링 시스템, 산불 및 문화재 감시, 구조물 모니터링 시스템 등의 국방, 의료, 환경, 보안 전반에 걸쳐 중대한 임무에 사용되기 시작하면서 점차 전송 신뢰성 보장으로 대표되는 QoS 요구사항이 증가하고 있다. 따라서 손실에 매우 민감한 데이터의 신뢰성을 보장하면서도 신뢰성만을 고려하였을 경우 발생하는 센서 노드의 제한적인 에너지에 따른 센서 네트워크의 라이프타임 감소 문제를 해결하기 위해 다양한 무선 센서 네트워크의 특성을 함께 고려하여야 한다.

무선 센서 네트워크는 물리 계층, 데이터 링크 계층, 네트워크 계층, 전송 계층의 4계층으로 나뉘어 연구가 진행되고 있다. 이중 본 논문에서는 전송계층에서의 신뢰성을 다루고자 하는 것이며, 인터넷의 경우 TCP를 통해 종단간의 신뢰성있는

전송을 보장할 수 있지만 WSN의 센서 노드들은 극히 제한된 처리 능력을 가지기 때문에 기존의 ACK기반의 방법 적용이 어렵다. 기존 기법을 WSN에 적용하였을 경우 나타나는 불필요한 트래픽 및 데이터 전송 횟수 증가 문제를 해결하여 WSN에 적용함으로써, WSN에서도 전송 계층에서의 전송 신뢰성을 보장하고자 하는 것이 본 연구의 목표이다.

본 논문에서는 전송 신뢰성은 최대한 유지하면서 에너지 효율 전송을 고려하는 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 ACK/NACK의 신뢰성은 유지하면서 PSFQ[2]의 빠른 오류복구를 가능하게 하며, 선택적으로 묵시적 ACK와 직접 ACK를 사용해 전송 확인을 좀 더 유연하게 하였다. 또한 직접 ACK를 위임할 수 있도록 하여 에너지 효율도 고려할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구에 대해 분석하고, 3장에서는 제안하는 프로토콜의 구성과 동작과정을 상세하게 설명하며, 4장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 제안 프로토콜의 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련연구

WSN에서 전송 신뢰성 요구사항을 만족시키기 위한 다양한 기법들이 연구되었다. 일반적인 네트워크에서 가장 기본이 되는 전송 신뢰성 보장 기법으로는 ACK/NACK 기법이 있으며, 이 기법은 주로 홉 간 또는 종단 간에 Acknowledgement (ACK)를 사용하는 방법이다. 데이터 전송이 성공적으로 이루어졌을 경우 ACK 메시지를 돌려보내 전송이 성공했음을 알리고, 순서있는 패킷에서 데이터가 누락되었을 경우에는 NACK메시지를 보내 누락 데이터를 재요청 할 수 있는 방식이다. 센서 네트워크에서 ACK 기법은 MAC 단에서 사용되지만, User Application Level에서 데이터가 성공적으로 전송되었는지 알 수 없으며 홉 간 전송

만 확인 될 뿐 중단 간 전송 성공 여부는 확인되지 않으므로 소스노드에서 싱크노드까지의 전달 신뢰성 확보라는 QoS 요구사항을 만족시키기 어렵다. 또한 데이터 전달 및 확인을 위해 필요한 중간버퍼가 필요하게 되고, 높은 채널 에러율에서 운영되기 때문에 빈번한 재전송이 야기되며 네트워크에 불필요한 트래픽 유발로 오버헤드를 일으킬 수 있다.

신뢰성을 보장하는 전송기법은 크게 5가지로 분류할 수 있다. ACK 기법, NACK 기법, 다중패킷 기법, 충돌 회피 기법, 신뢰도 반영 기법이 있다. ACK/NACK 기반으로 오류복구를 하는 기법과 요구되는 신뢰도의 기준만큼 다중 패킷을 생성하여 다중경로로 전송하는 기법, 데이터 전송 충돌 회피와 이벤트에 따른 전송 횟수 조절을 통해 신뢰도를 보장하는 기법, 채널 에러율을 고려해 신뢰도를 라우팅에 반영하는 기법이다. 표 1은 기법의 종류별 분류를 나타낸다.

(표 1) WSN 신뢰성 보장 전송기법 분류

종류	기법
ACK 기반	RM2I
NACK 기반	PSFQ GARUDA RMST
ACK/NACK 선택	휴리스틱 알고리즘
다중 패킷 기반	HHR ReInForM ReTrust
충돌 회피	ESRT CODA
신뢰도 반영	Directed Diffusion에 신뢰도 반영 기법

RM2I[1]은 NACK의 문제점을 보강하기 위해 묵시적 ACK를 사용하여 간접 복구하여 재전송 에너지를 절약한다. 묵시적 응답을 활용하므로 직접 응답을 활용하는 기법보다 에너지 소모가 적다. 또한 간접 복구를 사용한 hop-by-hop의 오류 복구로 에러율이 낮은 경우에는 일반 end-to-end

오류복구 기법에 비해 에너지 소모가 적다. 그러나 묵시적 ACK의 오류가 생기는 경우에 명시적 ACK를 사용하는 등의 대안이 제시되지 않았으며 센서 노드를 어떻게 배치하여야 하는지 고려되지 않았다. 그리고 에러율이 높아지면 오류 복구 횟수가 높아져 에너지 효율이 낮아진다. NACK 기반 기법인 PSFQ[2]는 전송은 느리게 할지라도 오류 검출 및 복구는 빠르게 하기 위한 것으로 휴먼 오류를 빠르게 검출하여 복구한다. ACK 기법에 비해 에너지 효율이 높고 빠른 오류검출과 복구가 가능하다. 그러나 첫 번째와 마지막 패킷의 전송 실패가 확인되지 않는 NACK의 문제점을 그대로 가지고 있으며, 복구가 완료될 때까지 버퍼에 수신 데이터가 저장되어있어야 하므로 버퍼 오버플로우의 위험이 있다. 또한 에러율이 높아지는 경우 오류복구가 잦아져 에너지 효율이 낮아진다. GARUDA[3]는 이러한 NACK의 문제인 첫 번째 패킷 전송 실패 경우를 해결하고자 하는 기법으로, WFP를 사용하여 첫 번째 패킷의 전송 신뢰성을 보장하며, 주로 Downstream인 경우를 전제로 Core Node가 복구 서버 역할을 하도록 한다. 그러나 첫 번째 패킷을 전송하는 데에 많은 에너지가 소모된다. RMST[4]는 Directed Diffusion 프로토콜에 적용하여 캐싱 모드와 비캐싱 모드 두 가지를 지원하며 flow 모니터링 타이머를 가지고 복구하도록 하는 기법으로, 캐싱 모드의 경우 복구 담당 노드가 따로 정해진 것이 아니므로 복구 부하가 분산되나 비캐싱모드의 경우 패킷 복구는 소스노드가 담당하게 되므로 소스노드에 부하가 집중되는 특성을 가진다. 그리고 이러한 ACK/NACK 기법을 휴리스틱 알고리즘을 사용하여 비주기적 샘플링을 통해 네트워크 상태에 따라 두 방식의 성능상 우열이 전환되는 전환점을 유도, 상황에 따라 상호보완적으로 사용하는 기법 [5]이 있다. 이는 전체 네트워크에서의 전송 비트 수는 줄어들지만, 한 노드에 전송이 집중되는 특정 경우의 충돌이나 높은 에러율은 고려하지 않아 적용하는데 한계가 있다.

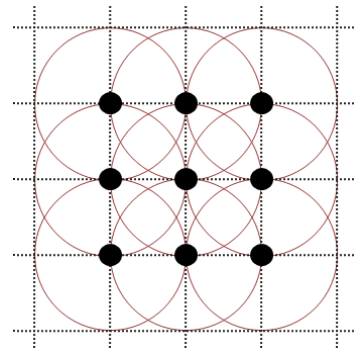
ACK/NACK기법을 기반으로 한 기법 이외에, 주어진 신뢰도에 따라 다중 패킷과 다중 경로를 설정하여 전송하는 HHR[6], ReInForM[7], ReTrust[8]와 이벤트별 신뢰도 적용으로 특정 이벤트 발생 시 신뢰도 조절이 가능한 ESRT[9], 혼잡을 감지하고 제어하는 것으로 충돌을 방지하는 CODA[10]기법이 있으며 신뢰도를 라우팅 경로에 반영하여 경로 신뢰도를 보장하고자 하는 기법[11] 등이 연구되었다. [11] 기법의 경우 채널에러율에 따라 강화된 경로로만 에너지 소모가 집중되어, 네트워크 전체 에너지 잔존량은 많아도 일부 노드가 일찍 에너지가 소모되어 전체 네트워크 라이프타임이 줄어들 수 있는 문제가 있다.

3. 신뢰성 보장 전송 기법

신뢰성 보장은 ACK 기법처럼 데이터 전송 성공 여부를 매번 확인하면 달성할 수 있다. 에너지가 높은 무선 채널을 사용하면서 저전력, 소형으로 동작하는 센서 네트워크 환경에서는 각 센서 노드가 가진 파워를 효율적으로 사용하는 것이 중요하다. 센서 노드의 파워 소모는 데이터 처리보다 데이터 전송에 훨씬 큰 영향을 받으며, 데이터 손실은 재전송을 야기하므로 이를 최소화 할 필요가 있다. 이에 따라, 본 논문에서 제안하는 신뢰성 보장 전송 기법은 센서 노드의 파워레벨과 주변상황을 대표하는 RSSI(Received Signal Strength Indication)값에 센서 네트워크 채널 에러율을 이용하여 각 노드 경로별 신뢰도를 계산한다. 또한 무선 전송의 문제점으로 지적되는 Overhearing 문제를 묵시적 ACK_{imp}로 간주함으로써, 쓸데없는 에너지 소모가 아닌 신뢰성 보장을 위한 방법의 하나로 사용하여 지속적인 ACK 확인 작업 대신 선택적으로 직접 ACK와 묵시적 ACK_{imp}를 신뢰도에 따라 적용함으로써, 기존 ACK 기법에 에너지 효율을 고려할 수 있도록 한다. 마지막으로 직접 ACK를 신뢰도에 따라 위임하는 방법을 추가하여 에너지 효율 극대화 방법을 모색한다.

3.1 기본 구조

초기 센서 노드 배치는 불필요한 전력 손실을 감소시키고, 설치하는 노드의 수를 줄임으로써 기술적, 경제적 측면에서 이득을 얻을 수 있으므로 정해진 Grid 형태로 이루어진다고 가정한다. 또한 센서 배치를 통해 본 논문에서 신뢰도 계산 정보 및 이웃노드의 정보 저장 시 이웃노드의 최대 수를 제한적으로 확보할 수 있어 일반적인 랜덤 배치에서의 이웃노드의 수에 따라 저장 정보가 한없이 늘어나는 것을 방지할 수 있는 역할을 한다.



(그림 1) 노드 배치 구조 및 전송 범위

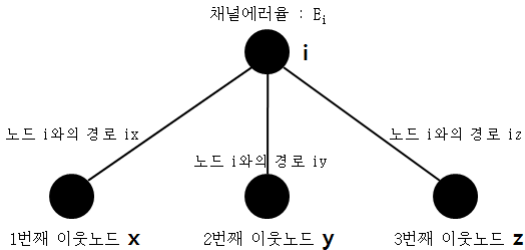
센서 노드가 배치된 후 각 센서 노드는 토폴로지 및 라우팅 경로를 통해 이웃 노드와 RSSI값을 주고받고, 이 과정에서 RSSI값과 채널 에러율을 이용해 각 노드별 경로 신뢰도를 계산하게 된다. 초기 성공 신뢰도 값이 기준 신뢰도로 설정되며, 이후 데이터 전송 시 기준 신뢰도와 현재 신뢰도를 비교하여 기준보다 현재의 신뢰도가 낮으면 직접 ACK를 요청하고, 기준보다 현재 신뢰도가 높으면 묵시적 ACK_{imp}만 사용하여 전송 성공 여부를 확인한다. 또한 현재 경로보다 다음 전송 경로 신뢰도가 기준보다 높은 경우, 즉 직접 ACK를 요청했으나 다음 경로에서 전송 성공 확률이 높은 경우 직접 ACK를 다음 노드에 위임할 수 있는 기법을 적용함으로써 ACK/NACK로 인한 불필요한 트래픽 및 오버헤드를 줄이면서 에너지 효율 방안을 모색한다. 본 기법은 홑 간 에러 검출이

가능하므로 빠른 에러 복구가 가능하며, 신뢰도 계산 과정에서 이전의 연구들과는 달리 각 노드 경로별로 현재의 신뢰도를 계산할 수 있다.

3.2 신뢰도 계산

신뢰도를 라우팅 경로에 반영하여 경로 신뢰도를 보장하고자 하는 기법[11]과 같은 이전의 연구들은 채널 에러율을 이용한 신뢰도 계산에 집중되었다. 하지만 채널 에러율은 단순히 노드 하나의 전체 채널에 대한 에러율만 고려할 뿐, 여러 이웃노드가 있을 때 각각의 노드에 대한 경로 에러율을 고려할 수는 없다.

그림 2와 같이 노드 i , x , y , z 가 같은 경로상에 있을 때, 노드 i 의 채널에러율 E_i 는 주변 x , y , z 노드와의 채널 에러율을 모두 합한 값 $E_i = E_{ix} + E_{iy} + E_{iz}$ 가 된다. 즉, 식 1에서와 같이 노드 i 의 채널에러율은 주변 노드 n 개와의 각각의 경로에 대한 채널에러율의 합으로 표현할 수 있다.



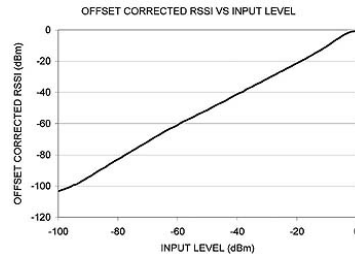
(그림 2) 노드 i 의 채널에러율

- i : 신뢰도를 계산하고자 하는 현재 노드
- n : i 노드의 이웃 노드의 개수
- E_i : i 노드의 채널에러율
- E_{ij} : $i \rightarrow j$ 경로 채널에러율
- R_{ij} : $i \rightarrow j$ 경로 신뢰도

$$E_i = \sum_{k=1}^n E_{ik} \quad (1)$$

기존 기법에서는 신뢰도를 단순히 라우팅 경로

설정에 반영한 것으로 변화되는 채널 에러율과 현재 네트워크 상태를 반영할 수 없었다. 이에 본 제안기법에서는 채널의 주파수 대역 에너지 크기를 전압으로 바꾸어 ADC값으로 얻어지는 RSSI를 이용하여 각 노드 경로별 신뢰도를 반영하고자 한다. 그림 3과 같이 RSSI값은 입력 전력에 대해 비례하므로[13] RSSI값을 사용하여 신뢰도 값을 계산하는 것은 센서 노드의 잔류전원에 따른 경로의 신뢰도 변화까지 반영할 수 있다.



(그림 3) CC2520 RSSI값 vs. 입력 power

또한 각 RSSI값을 사용하여 식 1에서의 특정 경로 채널에러율 E_{ij} 를 다음 식 2, 3과 같이 구할 수 있다. 먼저, RSSI값은 기본적으로 -값으로 들어오므로 이를 식 (2)과 같이 양자화 해준다.

$$QRSSI_{ij} = 1 - \left| \frac{RSSI_{ij}}{MaxRSSI} \right| \quad (2)$$

신뢰도는 한 노드의 전체 채널에러율에 각 이웃노드에서 받은 RSSI 신호값을 반영하여 식 (3)과 같이 각 경로별 신뢰도를 계산하게 된다.

$$신뢰도 R_{ij} = (1 - E_i) \times \frac{QRSSI_{ij}}{\sum_{k=1}^n QRSSI_{ik}} \quad (3)$$

초기 RSSI 전송 성공 후 신뢰도 계산이 끝나면 최초 전송 성공 시 신뢰도를 기준신뢰도로 설정한다. 즉, 이웃노드에 RSSI 정보가 제대로 전달되었는지 초기에 직접 ACK를 사용하여 확인한 후,

제대로 전송되었을 경우에는 그 신뢰도를 기준 신뢰도로 설정하며 정해진 시간 내에 직접 ACK가 돌아오지 못하면 전달되지 않은 것으로 판단하여 기준 신뢰도를 0으로 설정하여 다음 기준 신뢰도 변동이 있을 때 까지 무조건 직접 ACK를 사용하도록 한다. 이 때 한 노드에는 이웃노드의 RSSI 신호값과 자신의 채널에러율, 이 두 정보를 토대로 계산된 경로 신뢰도와 설정된 기준 신뢰도가 저장되며 표 2와 같다.

(표 2) 신뢰도 계산 후 노드 i에 저장된 정보

정보 종류	실제 저장 내용	설명
수신된 RSSI	$RSSI_{x_i}$ $RSSI_{y_i}$ $RSSI_{z_i}$	이웃 노드 x, y, z로부터 수신된 노드 i의 RSSI값
송신할 RSSI	$RSSI_{i_x}$ $RSSI_{i_y}$ $RSSI_{i_z}$	노드 i에서 측정된 이웃노드 x, y, z의 RSSI값
에러율	E_i	노드 i의 채널 에러율
신뢰도	R_{ix} R_{iy} R_{iz}	각 노드 경로 ix, iy, iz별 신뢰도
기준 신뢰도	BR_{ix} BR_{iy} BR_{iz}	경로별 기준 신뢰도

3.3 데이터 전송

데이터 전송 시에는 기준 신뢰도와 현재 경로 신뢰도를 비교하여 직접 ACK 및 묵시적 ACK_{imp} 사용 여부를 결정하도록 한다. 그림 4와 같이 초기 경로 설정 후 신뢰도를 계산하고 기준을 설정한 다음, 노드 A가 다음 노드로 보낼 데이터가 있을 때는 그림 5와 같이 ACK 선택 비교 알고리즘이 실행된다.

- R_{ix} : i-x 경로 현재 신뢰도
- BR_{ix} : i-x 경로 기준 신뢰도
- n : 이웃노드의 개수

```

/* 경로 설정 후 RSSI Signal 주고받음 */
{
  for (k=1; k<=n; k++)
    send  $RSSI_{i,j}$ ;
  for (k=n; k>=1; k--)
    Recv  $RSSI_{j,i}$ 
}

/* i-x 경로 Reliability 계산 및 기준설정 */
{
  If(Recv  $RSSI_{j,i}$ )
    Calculate_Reliability( $R_{ix}$ )
    Set i-x Base Reliability  $BR_{ix}$ ;
     $R_{ix} = BR_{ix}$ ;
}
Else
  ReqACK(); // 전송 성공시까지 ACK 요청
    
```

(그림 4) 신뢰도 계산 및 기준신뢰도 설정 알고리즘

```

/* 경로 신뢰도 비교 알고리즘 */
If( $R_{ix} > BR_{ix}$ )
  nonACKreq(); // 묵시적  $ACK_{imp}$  사용
Else //  $R_{ix} \leq BR_{ix}$  인 경우
  ReqACK(); // 직접 ACK 요청
    
```

(그림 5) 직접 ACK / 묵시적 ACK 선택 알고리즘

경로 신뢰도 비교 알고리즘에 따라 직접 ACK, 묵시적 ACK_{imp} 사용 여부가 결정되면 직접 ACK 요청 여부를 표시하여 데이터 전송을 하게 된다. 데이터 전송 성공, 실패 여부에 따라 기준 신뢰도가 변경되며 이는 현재 네트워크 상태 또는 노드의 상태가 반영되어 다음 전송에 영향을 주게 된다. 노드 i-x간 기준 신뢰도 변경 알고리즘은 그림 6과 같다.

```

/* 기준 신뢰도 변경 알고리즘 */
// 기준보다 품질 좋아 묵시적 ACK만 사용한 경우
If( $R_{ix} > BR_{ix}$ )
  if(B RecvData(A))
  {
     $BR_{ix} = R_{ix}$ ; //전송성공: 기준 유지
    ClearBuffer(A); //전송성공: A 버퍼 클리어
  }
  else
     $BR_{ix} = R_{ix}$ ; //전송실패: 기준 높임

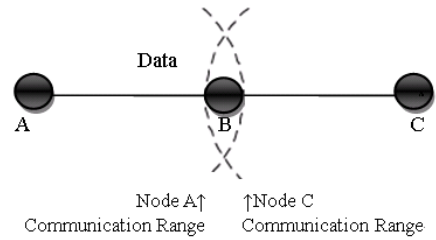
// 기준보다 품질 나빠 직접 ACK 사용한 경우
Else //  $R_{ix} \leq BR_{ix}$ 
  if(B RecvData(A)) //전송성공: 기준 낮춤
  {
     $BR_{ix} = R_{ix}$ ;
    ClearBuffer(A); //전송성공: A 버퍼 클리어
  }
  else
     $BR_{ix} = BR_{ix}$ ; // 전송실패: 기준 유지
    
```

(그림 6) 기준 신뢰도 변경 알고리즘

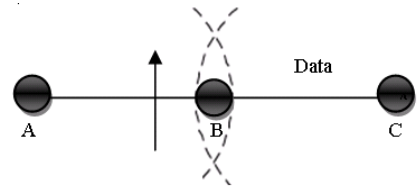
3.4 묵시적 ACK

WSN에서 같은 전송 범위에 있는 노드는 모두 그 신호를 수신 할 수 있다. 이를 오버헤어링 문제라 하며, 일반적으로는 오버헤드 또는 필요 없는 중복전송으로 보일 수 있으며 오버헤어링으로 인한 비효율적 문제를 해결하기 위한 다양한 MAC 알고리즘이 제시되어 왔다. 그러나 본 기법에서는 이 오버헤어링 문제를 역으로 이용하여 묵시적 ACK_{imp} 로 활용하고자 한다.

데이터 전송 과정에서 살펴본 것처럼, 경로 품질이 기준치 이상인 경우의 데이터 전송은 성공 확률이 높으므로 직접 ACK를 불필요하게 요청하지 않고 묵시적 ACK_{imp} 만으로도 데이터 전송을 확신할 수 있다. 경로 품질이 기준치 이하인 경우에는 묵시적 ACK도 전달되지 않을 수 있기 때문에 직접 ACK를 요청하여 전송 신뢰성을 보장하고 휴 간 빠른 오류 복구를 가능하게 한다.



(a) A → B로의 데이터 전송



A Overhear B → C Data Transfer : **Implicit ACK**
 (b) B → C로의 데이터 전송 시 A의 오버헤어링 과정
 (그림 7) 오버헤어링 이용 묵시적 ACK 과정

3.5 위임

노드 A-B-C로 데이터가 전달되는 경우, 현재 경로 신뢰도와 기준 경로 신뢰도를 비교하여 다음과 같이 4가지 경우로 나눌 수 있다.

(1) $R_{AB} > BR_{AB}$ 이고 $R_{BC} > BR_{BC}$ 일 때

이 경우 모든 경로의 품질이 기준치 이상이므로 직접 ACK를 요청하지 않는다. 하지만 B가 A로부터 데이터를 받아 C로 전달할 때, 멀티캐스트로 전송하게 되고 A는 이를 오버헤어링 하므로 실제 A는 B가 C로 데이터를 전송한 것을 듣게 되고, 이를 묵시적 ACK_{imp} 로 받아들여도록 한다.

(2) $R_{A-B} > BR_{AB}$ 이고 $R_{BC} \leq BR_{BC}$ 일 때

이 경우 A는 경로 품질이 기준치 이상이므로 직접 ACK를 요청하지 않지만, B-C 경로 신뢰도가 기준치 이하이므로 B는 C에게 직접 ACK를 요청한다. 데이터를 받은 C는 B에게 직접 ACK를 전달함으로써 전송 성공을 알리고, A 오버헤어링을 통해 묵시적 ACK_{imp} 를 받을 수 있다.

(3) $R_{AB} \leq BR_{AB}$ 이고 $R_{BC} > BR_{BC}$ 일 때

이 경우 A는 경로 품질이 기준치 이하이므로 직접 ACK를 요청하지만, B-C 경로 신뢰도가 기준치 이상이므로 B는 C에게 직접 ACK를 요청하지 않는다. 다만, B가 A에게 직접 ACK를 바로 돌려주지 않아도 다음 경로 B-C 품질이 좋아 전송 성공이 예상되므로 B는 C에게 직접 ACK를 위임하게 된다. ACK를 요청했던 A는 B가 C에게 직접 ACK를 위임하는것을 묵시적 ACK_{imp} 를 통해 알 수 있으므로 전송 성공을 알 수 있다.

(4) $R_{AB} \leq BR_{AB}$ 이고 $R_{BC} \leq BR_{BC}$ 일 때

이 경우 A는 경로 품질이 기준치 이하이므로 직접 ACK를 요청하고, B-C 경로 신뢰도도 기준치 이하로 전송 성공 확률이 낮으므로 전송 성공 시 B는 A로 직접 ACK를 바로 전송한다. 이는 경로 품질이 나빠 묵시적 ACK_{imp} 도 전송 실패 확률이 높기 때문에 신뢰도를 보장하기 위해서이다.

제안하는 기법의 데이터 전송 과정에서, 위의

(3) 경우와 같은 경우 직접 ACK를 다음 노드로 위임하도록 한다. 즉, 이전 경로는 품질이 좋지 않아 직접 ACK를 요청하였으나 다음 경로의 품질은 기준치 이상이므로 직접 ACK 없이도 전송될 확률이 높기 때문에 묵시적 ACK_{imp} 만으로 데이터 전송을 확인하고 직접 ACK의 전송은 다음 품질이 나쁜 경로를 만나기 전까지 미루어 두도록 설계하였다.

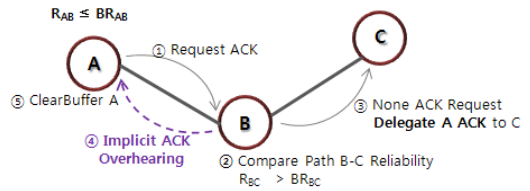
3.6 전송 과정

RTOD 데이터 전송 과정은 선택적 ACK의 사용으로 크게 두가지로 나눌 수 있다. 직접 ACK를 요청하는 경우와 묵시적 ACK_{imp} 만 사용하는 경우이며, 성공 여부에 따라 기준신뢰도 변경 및 위임 여부가 바뀌게 된다.

(1) ACK를 요청하여 A→B 데이터 전송 ($R_{AB} \leq BR_{AB}$)

가) ACK 위임이 발생하는 경우

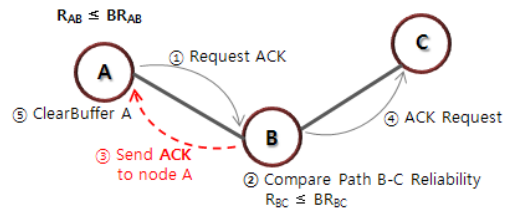
노드 B는 데이터 전송이 성공하면 위임 여부를 결정하게 된다. B-C 경로품질이 B-C 기준신뢰도보다 높은 경우, 즉 $R_{BC} > BR_{BC}$ 인 경우에 위임이 이루어지게 된다. 이 때 ACKA는 노드 C에게 위임된다. 그리고 위임이 발생한 것은 A에서 B로의 데이터 전송이 성공한 것이므로 경로 품질이 좋지 않은데도 데이터 전송을 성공하였으므로 기준신뢰도 BR_{AB} 을 현재 신뢰도 R_{AB} 로 낮추어준다. 또한 데이터 전송이 성공하였으므로 A에 남아있던 데이터는 버퍼에서 지워진다.



(그림 8) ACK 위임 발생

나) ACK를 수신한 경우

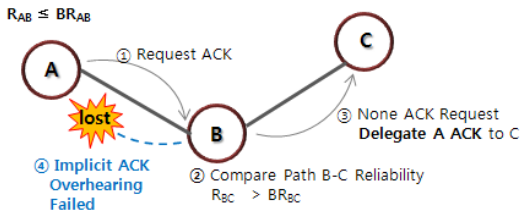
노드 B가 데이터 전송이 성공적으로 이루어져 위임 여부를 결정할 때, B-C 경로품질이 B-C 기준신뢰도보다 낮은 경우라 위임이 일어나지 않고 바로 ACKA를 노드 A에게 돌려주는 경우이다. 즉 $R_{BC} \leq BR_{BC}$ 이므로 B→C 데이터 전송시 ACKB를 요청해야 한다. A→B 데이터 전송이 성공하였으므로 A에 남아있던 데이터는 버퍼에서 지워진다.



(그림 9) 직접 ACK 수신한 경우

다) 일정 시간 기다렸으나 무소식인 경우
B가 Data 수신을 하지 못한 경우이거나, 가)의

경우처럼 ACK 위임이 발생하였으나 A가 오버허어링 하지 못하는 경우이다. ACKA를 요청하여 데이터를 전송하였으므로 ACK가 반드시 돌아오거나 묵시적 ACK_{imp} 를 받아야 하는데, 받지 못한 경우이다. 이 경우에는 A가 B에게 ACK를 요청하여 데이터를 재전송 한다. 에러율이 높아졌으므로 현재 A-B 경로 신뢰도는 낮아지게 될 것이다.

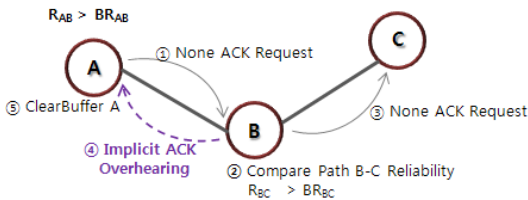


(그림 10) ACK 소식이 없는 경우

(2) ACK를 요청하지 않고 A→B 데이터 전송 ($R_{AB} > BR_{AB}$)

가) 묵시적 ACK_{imp} 를 수신하는 경우

노드 B→C 로의 데이터 전송을 오버허어링하여 묵시적 ACK_{imp} 를 수신한 것이므로 A→B 데이터 전송은 성공적임을 알 수 있다. A→B 데이터 전송이 성공하였으므로 A에 남아있던 데이터는 버퍼에서 지워진다.

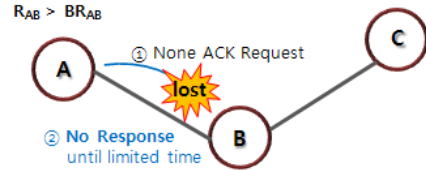


(그림 11) 묵시적 ACK_{imp} 수신

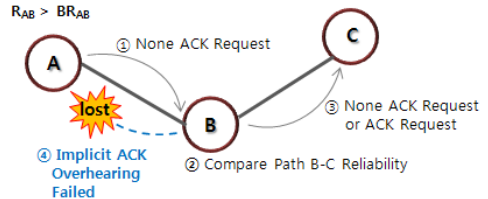
마) 일정 시간 기다렸으나 무소식인 경우

그림 12-a와 같이 B가 Data 수신을 하지 못한 경우이거나, 그림 12-b와 같이 A→B로 데이터가 성공적으로 보내진 후 B→C 전송이 이루어지는 중에 A가 B→C로의 전송에 대한 묵시적

ACK_{imp} 오버허어링에 실패하는 경우이다. 이 경우에는 A가 B에게 ACK를 요청하여 데이터를 재전송 하며 기준 신뢰도 BR_{AB} 을 현재 신뢰도 R_{AB} 로 높여준다. 에러율이 높아졌으므로 현재 A-B 경로 신뢰도는 낮아지게 될 것이다.



(a) B로 데이터가 전달되지 못한 경우



(b) 묵시적 ACK 전송 실패한 경우
(그림 12) ACK 소식 없는 경우

4. 성능 평가 및 결과 분석

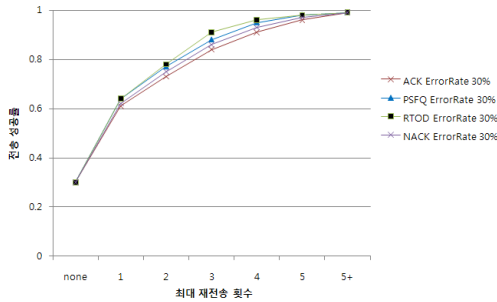
4.1 실험 환경

제안하는 신뢰성 보장 전송 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용된 센서 네트워크는 100m x 100m 공간에 그리드 형태로 배치되며, 센서 노드의 개수는 0~100개까지 늘려 실험하였다. 기타 응용계층 및 네트워크 인터페이스, 오류 및 에너지 모델 등은 NS-2에서 기본적으로 제공하는 것을 사용하였다. 초기 에너지는 1J로 하여 ACK 기법과 비교하였다. 트래픽 타입은 어플리케이션에서 일정한 주기로 패킷을 발생하여 실험 결과 분석에 용이하도록 CBR(Constant Bit Rate)을 사용하였다. IEEE 802.15.4 기반의 ns2 패키지를 이용하여 시뮬레이션 했으며, 최대 전송

대역폭은 250kbps를 사용하였고, 프레임은 초당 1개를 생성하여 전송하였다. 전력 소모량 분석에 사용된 파라미터는 다음 표와 같으며, 각 주파수 대역별 chip rate와 bit rate를 고려하여 파라미터 값을 결정하였다.[5, 15]

(표 3) 전력 소모량 분석에 사용된 파라미터

구분	868MHz	915MHz	2.4GHz
전력 소모량	P_{DOZE}	5 μ W	
	$P_{Receive}$	1.8mW	
	P_{Send}	27mW	



(그림 13) 재전송 횟수 제한에 따른 전송 성공률

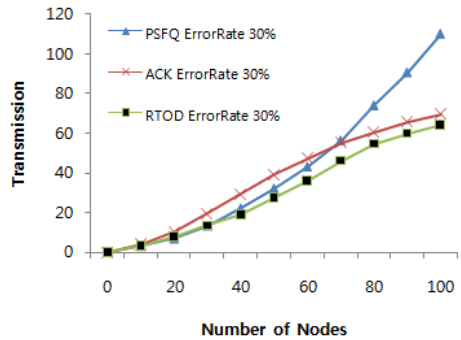
각 재전송 횟수별 전송 성공률을 비교 실험한 결과, 비교하는 기법 모두 재전송 횟수 5회시 전송 성공률 1에 수렴하는 결과를 얻을 수 있었으며 이에 모든 재전송 횟수를 5회로 제한하여 실험이 이루어졌다.

4.2 실험 결과 및 분석

센서 노드들은 패킷을 정해진 라우팅 경로를 통해 싱크노드로 전송하게 된다. 비교하고자 하는 ACK, PSFQ 기법의 경우 에러율을 초기 셋팅하여 실험하였고, 신뢰도가 변화하는 제안 기법은 시작 에러율만 셋팅하여 실험하였다. 실험은 재전송 횟수와 일반 전송 횟수를 포함한 총 전송횟수를 노드 수와 시간에 따라 실험하고, 패킷 길이를 늘려봄으로써 오류복구를 시뮬레이션 하였다. 또한 ACK기법과 에너지 소모율을 비교하였다.

4.2.1 신뢰성

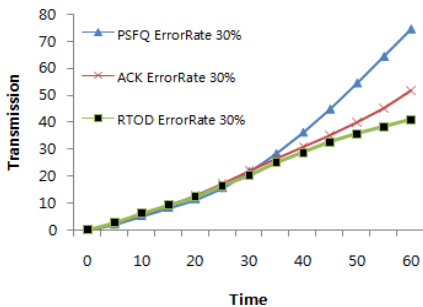
본 절에서는 실험을 통해 전송 신뢰성을 측정한다. 재전송 횟수를 포함한 총 전송 성공 횟수를 신뢰성의 척도로 사용한다. 그림 14는 초기 채널 에러율이 30%이고 노드 수를 0~100개로 증가시켰을 때 재전송 횟수를 포함한 총 전송횟수를 나타내고 있다. 홉 수(노드 수)가 30개 이하로 적은 경우에는 세 기법의 총 전송횟수 차가 10% 이하로 비슷하지만, 홉 수가 50개를 넘어가면서 홉 간 오류복구를 하는 PSFQ는 재전송 횟수가 급격히 늘어나는 것을 볼 수 있다. 제안하는 RTOD 기법은 ACK 기법보다 전송횟수가 5~10% 적은 것으로 나타난다. 이는 노드 수에 상관없이 경로별 신뢰도를 반영함으로써 전송 성공 확률이 높은 경우 데이터 전송 성공 여부를 확인하지 않아 불필요한 전송이 줄었기 때문이다. 재전송 횟수 제한 없이 재전송을 포함한 전송횟수이므로 전송 성공할 때 까지의 총 전송횟수로, 위 실험을 통해 제안 기법의 데이터 전송 성공률이 ACK에 뒤지지 않고 신뢰성이 보장됨을 알 수 있다.



(그림 14) 노드 수에 따른 총 전송횟수

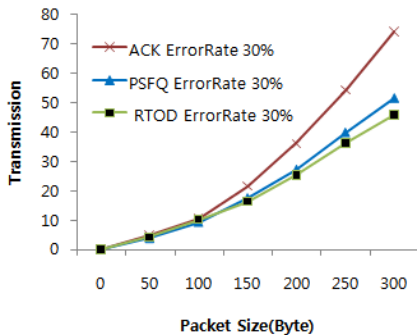
그림 15는 시간에 따른 총 전송횟수 비교이다. 노드 수를 10개로 한정하여 선형으로 배치한 후 전송 시 시간에 따른 총 전송 횟수를 비교한 것이다. 초반에는 빠른 오류 복구를 하는 PSFQ가 유리하지만 실험 시작 40분 이후에는 제안 RTOD 기법이 재전송 횟수 면에서 가장 유리한 것을 알

수 있다. PSFQ에 비해 평균 25%, ACK 기법에 비해서는 약 7% 재전송 횟수 절감이 있었다. PSFQ는 중간 버퍼에 데이터가 복구 완료 될 때 까지 저장되어야 하며 이에 따른 버퍼 오버플로우 문제 등이 나타났다. 반면 계속 버퍼에 데이터가 누적되지 않는 ACK와 제안 RTOD 기법은 PSFQ보다 총 전송횟수가 적은 것으로 나타났다. 같은 시작 에러율인 경우 ACK보다 RTOD가 성능이 약간 좋은 것으로 나타났다.



(그림 15) 시간에 따른 총 전송횟수

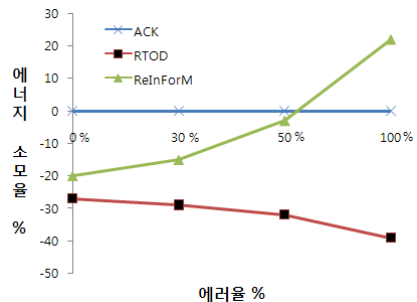
그림 16은 패킷 크기에 따른 총 전송횟수를 보여주고 있다. ACK 기법은 패킷 길이를 고려하지 않지만 PSFQ기법은 빠른 오류복구를 제공하므로 다른 실험과 달리 PSFQ 기법이 ACK 기법보다 유리한 것을 알 수 있다. 한편, 제안 RTOD 기법은 패킷 길이가 길어짐에 따라 에러율이 높아진다 하더라도 기본적으로 에러율을 신뢰도에 반영하므로 가장 우수한 수치를 보인다.



(그림 16) 패킷 크기에 따른 총 전송횟수

4.2.2 에너지 효율성

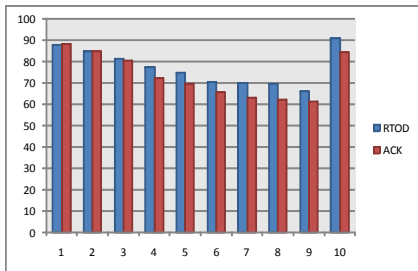
서로 다른 각각의 알고리즘에서의 에너지 소모율을 측정하기 위해, 각 노드의 평균 소모 에너지 (J)를 사용하여 측정하였다. NS-2에 구현되어있는 기본 에너지 모델을 사용하였으나 라우팅 등의 다른 계층 에너지 소모를 제외하고 측정하였다. 초기 에너지는 1J로 설정하고, 유틸 전력은 5μW, 메시지 수신 시 파워는 1.8mW, 메시지 송신 시 파워 소모량은 27mW로 설정하여 실험하였다. 그림 17은 각 에러율 0%, 30%, 50%에 따라 ACK와 제안 RTOD 기법의 에너지 소모율을 비교한 것이다. 이전 실험들을 통해 제안 기법의 신뢰도 보장이 기존 기법에 뒤지지 않음을 보였다면, 이번 에너지 실험은 에너지 효율성을 증명하여 본 제안 기법이 신뢰성과 에너지 효율성 모두 기존 기법보다 우수함을 보이기 위한 것이다. ACK 에너지 소모율을 100%이라고 했을 때 상대적 제안기법 RTOD와 ReInForM 기법의 에너지 소모율을 나타낸 것으로, 0% 에러율에서 ACK에 비해 RTOD가 27%, ReInForM이 20%, 30% 에러율에서 각각 29%, 15%의 에너지 소모를 줄였으며 50% 에러율에서 32%, 2%, 100% 에러율에서 RTOD는 39%의 성능향상을, ReInForM은 22%의 에너지 소모 증가를 보였다. ReInForM 기법은 에러율이 높아질수록 오버헤드가 급격히 늘어나 에러율 50% 이상에서 급격한 에너지 소모를 나타냈으며, 제안하는 RTOD 기법은 ACK 기법에 비해 꾸준히 에너지 소모가 약 25% 줄어드는 양상을 나타냈다.



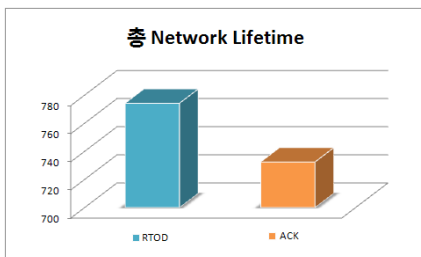
(그림 17) 에너지 소모율 비교

특히 에러율 50% 이상에서는 에너지 소모율이 ACK 기법에 비해 약 35% 이상 크게 줄어드는 것을 알 수 있었다. 이는 채널에러율이 높기 때문에 ACK의 경우 재전송 횟수가 급격히 늘어나고 ReInForM의 경우 신뢰도를 유지하기 위한 다중경로를 급격히 많이 생성하게 되는데 비해, 제안하는 기법은 묵시적 ACK_{imp}와 직접 ACK의 위임 기법이 있으므로 다른 기법에 비해 ACK 메시지 전송 횟수가 적기 때문이다. 또한 초기 채널 에러율이 낮을수록 채널 에러율의 증가가 서서히 일어나는데 비해, 초기 채널 에러율이 높은 경우 데이터 전송이 시작되면 채널 에러율이 급격히 증가하기 때문에 타 기법들보다 ACK의 사용량이 적은 본 기법이 유리했음을 알 수 있다.

노드 10개를 선형 토폴로지로 배치하고 초기 채널 에러율을 20%로 설정하여 100분 후 노드별 에너지 잔존량, 즉 Network Lifetime을 실험하였다. 10개 노드의 에너지 잔존량은 그림 18과 같고, 총 에너지 잔존량의 합은 그림 19와 같이 표현할 수 있다. 제안하는 RTOD 기법이 ACK 기법보다 약 26% Network Lifetime이 긴 것을 알 수 있다.



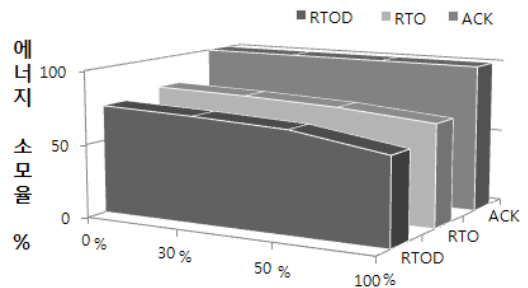
(그림 18) 10개 노드의 에너지 잔존량



(그림 19) 총 Network Lifetime 합

그림 20에서는 제안 신뢰성 보장 전송 기법을 묵시적 ACK만 적용한 기법 RTO(Reliable Transmission using Overhearing)과 RTOD(Reliable Transmission using Overhearing and Delegation)의 두 가지 경우로 나누어 ACK 기법 대비 에너지 효율을 실험하였다.

실험 결과와 같이 경로 신뢰도에 묵시적 ACK만 적용한 경우 기존 ACK 기법에 비해 약 22%정도 성능 향상이 있었고, 경로 신뢰도에 묵시적 ACK와 위임까지 적용한 경우 약 30%의 성능 향상이 있는 것으로 나타났다. 특히 에러율 50% 이상에서 위임까지 적용한 RTOD 기법이 35%이상 성능이 우수한 것으로 나타났음을 알 수 있다.



(그림 20) 제안 기법 적용 방법 별 에너지 소모율 비교

5. 결론

본 논문에서는 증가하는 QoS 요구사항을 만족시키기 위해 신뢰성을 보장하며 데이터를 전송하는 동시에 네트워크 라이프타임을 고려하여 에너지 효율을 기존 기법보다 높일 수 있는 무선 센서 네트워크(WSN) 데이터 전송 기법을 제안하였다. 센서 노드의 파워 소모는 데이터 처리보다 데이터 처리에 훨씬 큰 영향을 받으며, 데이터 손실은 재전송을 야기하므로 데이터 전송 및 재전송을 줄일 필요가 있다.

제안하는 기법의 특성은 (1) 경로별 신뢰도 계산 (2) Overhearing을 묵시적 ACK_{imp}로 활용 (3) 선택적 ACK 전송 및 위임이다. 이전의 연구에서 단순 채널 에러율만을 활용하였던 신뢰도 계산 기

법을 RSSI값까지 반영하여 노드 경로별로 각각 신뢰도를 계산할 수 있도록 확장하였다. 오버헤어링 문제를 묵시적 ACK_{imp}로 간주하는 방법은 RM21[1]에서 제안되었으나, 본 기법에서는 직접 ACK를 사용하지 않는 경로 품질이 좋은 경우에만 묵시적 ACK_{imp}를 보조적으로 사용하도록 하여 데이터의 전송 성공 여부를 판별하도록 하였으며 이에 직접 ACK를 경로 품질에 따라 선택적으로 사용하고 직접 ACK의 횟수를 줄이기 위해 위임 여부를 결정할 수 있도록 함으로써 에너지 및 트래픽 낭비를 막고자 하였다. 기존 NACK기법 및 PSFQ[2] 기법에서 드러난 버퍼 오버플로우의 문제 역시 본 기법에서는 ACK 기법을 기반으로 하여 오류복구에 따른 중간버퍼 오버플로우의 위험을 줄일 수 있었다.

NS-2를 이용한 제안된 전송 기법의 성능평가를 통해 신뢰도 보장에 있어 기존 기법보다 유리하거나 비슷한 수준을 보이면서도 에너지 소모율은 적어 에너지 효율적임을 알 수 있었다. 특히 초기 에러율이 높을수록 제안 기법의 효율성이 높아지는 것을 볼 수 있었다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국정보사회진흥원(NIA)의 광대역 통합연구개발망(KOREN) 과제 지원사업(2009-협약-위18)과, 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0069457), 교신저자 : 허의남

참 고 문 헌

- [1] 김성훈, 양현, 박창윤 “묵시적 응답 및 간접 복구를 이용한 무선 센서 네트워크에서의 신뢰성 있는 멀티캐스팅”, 정보과학회논문지 제35권 제3호, pp. 215~226, 2008
- [2] Chieh-Yih Wan, Andrew T. Campbell, Lakshman Krishnamurthy, “Pump-Slowly, Fetch-Quickly (PSFQ) : A Reliable Transport Protocol for Sensor Networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.23, No.4, pp.862-872, 2005
- [3] Sukun Kim, Rodrigo Fonseca, David Culler, “Reliable Transfer on Wireless Sensor Networks.”, 1st IEEE International Conference on Sensor and Adhoc Communications and Networks, pp.449-459, 2004
- [4] A. El-Hoiydi and J. -D. Decotignie, “WiseMAC: An ultra low power MAC protocol for the downlink of infrastructure wireless sensor networks,” IEEE symposium on computers and communication ISCC, pp. 244-251, 2004
- [5] 임근수, 박정태, 고건, “무선 센서 네트워크를 위한 네트워크 환경에 적응하는 신뢰성 있는 전송규약”, 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, 제 30권 제 1호, pp.277~279, 2003
- [6] Budhaditya Deb, Sudeept Bhatnagar, Badri Nath, “Information Assurance in Sensor Networks”, 2nd ACM international conference on Wireless sensor networks and applications , pp.160-168, 2003
- [7] Budhaditya Deb, Sudeept Bhatnagar, Badri Nath “ReInForM: Reliable Information Forwarding using Multiple Paths in Sensor Networks”, Proceedings of the 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, pp.406-415, 2003
- [8] 이보형, 윤형욱, 박종호, 정민영, 이태진, “센서 네트워크의 고 신뢰성을 위한 중계 노드 기반 전송”, 한국통신학회논문지, 제 30권 제 9A호, pp.850-857, 2005
- [9] Yogesh Sankarasubramaniam Özgür B. Akan Ian F. Akyildiz, “ESRT: Event to Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks”, IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), pp. 1003-1016, 2005

- [10] Chieh-Yih Wan, Shane B. Eisenman, Andrew T. Campbell, "CODA: Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks", ACM SenSys conference, pp.266-279, 2003
- [11] 최재원, 이광휘, "무선 센서 네트워크에서 Directed Diffusion을 이용한 신뢰성 있는 데이터 전달 기법", 대한전자공학회 논문지, 제 43권 제 8호, pp.77-83, 2006
- [12] Prithwish Basu, Jason Redi, "Effect of Overhearing Transmissions on Energy Efficiency in Dense Sensor Networks.", 3rd Information Processing in Sensor Networks, ACM, pp.196-204, 2004
- [13] Peder Rand "What's required for RF4CE" http://www.eetasia.com/ART_8800550485_480400_NT_4a9289f5.HTM
- [14] 김기일, "센서 네트워크 기술 - 에너지 효율성 측면에서의 이슈 기술 분석", 한국과학기술정보연구원 KISTI 동향정보 분석팀 미래 선도기술 이슈분석 보고서, 200
- [15] 유영대, 최정훈, 원김남, "IEEE 802.15.4 무선 스타 센서 네트워크에서 비콘 신호 주기에 따른 센서 노드 전력 소모량 분석", 한국통신학회논문지, 제 31권 제 9B호, 2006

● 저 자 소 개 ●



이 가 원

2005년 서울여자대학교 멀티미디어통신공학과 졸업(학사)
2007년 ~ 현재 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석·박사 통합과정
관심분야 : 센서 네트워크, 라우팅 프로토콜, 모바일 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, etc.
E-mail : gawon@khu.ac.kr



이 준 혁

2009년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(박사)
2003년 ~ 현재 한국정보통신기술대학 정보통신설비과 조교수
관심분야 : 네트워크 신뢰도/ 가용도, 네트워크 설계/분석, etc.
E-mail : jhlee@icpc.ac.kr



허 의 남

2002년 The Ohio University 전산학과 졸업(박사)
2002년 ~ 2003년 삼육대학교 컴퓨터공학과 조교수
2003년 ~ 2005년 서울여자대학교 컴퓨터공학과 조교수
2005년 ~ 현재 경희대학교 컴퓨터공학과 부교수
관심분야 : 클라우드/그리드 컴퓨팅, 센서 네트워크, 네트워크 보안, 모바일 컴퓨팅, etc.
E-mail : johnhuh@khu.ac.kr