
센서 네트워크에서의 매체제어를 위한 전송제어 및 신뢰성 있는 통신을 위한 에러 복구 기법

민병웅* · 김동일** · 최삼길**

An Error Recovery Mechanism for Communications with Reliability and Transport Control for Media Access in Sensor Network

Byung-ung Min* · Dong-il Kim** · Sam-gil Choi**

이 논문은 2006년도 동의대학교 교내학술연구 지원사업 연구비(과제번호 2006AA149)를 지원받았음

요 약

센서 네트워크에서 신뢰성 높은 데이터 전송에 대한 중요성이 증가하고 있다. 노드와 싱크로 구성된 센서 네트워크에서, 노드에서 싱크로의 통신은 어느 정도 에러 발생에 민감하지 않으나 싱크에서 노드로의 통신은 관리 및 제어에 대한 메시지 전송이기 때문에 에러 발생에 아주 민감하다. 본 논문에서는 에러에 민감한 전송 영역인 싱크에서 노드로의 통신에 중점을 두고 에러 복구에 대한 기법을 제시한다. 신뢰구간을 end-to-end가 아닌 hop-by-hop으로 형성하여 에러가 발생하거나 데이터 손실이 일어나는 경우 고정 윈도우를 사용하는 선택적 응답으로 에러 복구를 한다. 추가로, 각 노드의 버퍼 상태에 따른 트래픽 혼잡 제어를 지원한다. 시뮬레이션을 통해, 제시하는 기법이 센서 네트워크에서 에러 복구에 우수한 성능을 가짐을 보인다.

ABSTRACT

In sensor network, the importance of transporting data with reliability is growing gradually to support communications. Data flow from sink to nodes needs reliability for the control or management, that is very sensitive and intolerable, however relatively, data flow from nodes to sink is tolerable. In this paper, with emphasis of the data flow from sink to nodes, we proposed the mechanism that establishes confidence interval for transport. Establishing confidence interval hop-by-hop, not end to end, if errors happen or there's missing data, this mechanism recovers them with selective acknowledgement using fixed window. In addition, this mechanism supports traffic congestion control depending on the buffer condition. Through the simulation, we showed that this mechanism has an excellent performance for error recovery in sensor network.

키워드

Sensor Network, Error Recovery, Confidence Interval, Reliability, Selective ACK, Congestion Control

* 동의대학교 대학원 정보통신공학과
** 동의대학교 정보통신공학과 교수

I. 서론

센서 네트워크 분야는 현재 지속적인 관심과 연구로 새롭게 대두되고 있다. 센서 네트워크의 적용 분야로는 환경 감시, 군사 분야, 의료, 로봇 등 다양하다. 특히 기존의 네트워크와 다른 특징으로 많은 연구자들의 관심을 이끌고 있다.

저가의 센서 노드로 구성되며 노드수가 최소 몇 개에서부터 최대 수십만 개까지 다양하게 이루어지며, 저전력 특성 및 자가 설정 등 다양한 기능을 제공하여 준다.

본 논문에서는 센서 네트워크의 다양한 연구 분야 중 효율적이며 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 기법에 대해 연구한다. 기존의 센서 네트워크에서의 연구로 MAC(Media Access Control) 프로토콜 또는 라우팅 프로토콜 등의 분야에 초점이 맞추어져 있으나 데이터 전송에 대한 신뢰성 제공에 대한 연구는 활발하게 이루어지지 않고 있다.

센서 네트워크에서의 통신은 싱크에서 노드, 노드에서 싱크로의 통신으로 구분된다. 노드에서 싱크로의 통신은 센싱된 정보를 보내는 것으로 에러에 비교적 민감하지 않으나, 싱크에서 노드로의 통신은 원격 제어나 관리, Re-Programming 또는 Re-Tasking 을 위해 에러에 아주 민감하다.

본 논문에서는 싱크에서 노드로의 통신에 중점을 두어, 에러 발생 또는 데이터 손실에 대한 복구 기법을 연구한다. II절에서는 관련연구를, III절에서는 에러 복구 기법에 대해 상세히 다루며, IV절에서는 시뮬레이션을 통해 에러 복구 기법의 성능을 평가한다. V절에서는 결론을 통해 논문을 마무리 한다.

II. 관련 연구

이 절에서는 기존에 연구되었던 센서 네트워크를 위한 안정적인 전송 방식에 대해 분류하여 비교 분석한다.

2.1. PSFQ

PSFQ(Pump-Slowly, Fetch-Quickly)는 싱크에서 노드로의 안정적인 통신에 목적을 두었다. 싱크에서 노드로 hop-by-hop으로 보내고자 하는 데이터의 속도를 비교적 늦게 하여 전송하며, 데이터 전송시 에러가 발생하거나

데이터 손실이 있는 경우 복구 모드인 Fetch 상태로 전환하여 빠르게 복구하도록 한다. 그리고 에러 발생을 지역적으로 국한시켜 한 지점에서 발생한 에러를 다른 지점에 영향을 끼치지 않도록 하는 방식이다[1].

PSFQ는 크게 세 가지의 기능을 제공한다. Pump 기능, Fetch 기능, 그리고 리포트 기능이 있다. PSFQ의 동작방식은 싱크에서 목적지까지 브로드캐스팅을 통해 주변 노드로 주어진 시간 T 동안 지속적으로 전송한다. 전송시 데이터 패킷에 필수적으로 포함되는 요소는 파일 아이디, 파일 길이, 시퀀스 넘버, TTL(Time To Live), 그리고 리포트 비트이다. 데이터 전송 중 에러가 발생하거나 데이터 손실이 있는 경우, Fetch 기능을 사용한다. Fetch 기능은 에러 복구 모드로, 시퀀스 넘버의 차이를 통해 에러가 발생했음을 알게 된다. 에러 발생을 인지하고, 부정응답(Negative Acknowledgement)을 보내 에러가 발생한 데이터나 손실된 데이터 재전송을 요구한다. 전체 데이터 전송을 마치고 피드백(Feedback)을 이용하여 리포트를 노드에서 싱크로 보내 신뢰성 있는 데이터 전송을 확인한다.

2.2. RMST

RMST(Reliable Multi Segment Transport)는 노드에서 싱크로의 데이터 전송에 대한 신뢰성을 제공한다. RMST 역시 hop-by-hop으로 동작하며 DD(Directed Diffusion)[2] 라우팅 위에서 동작하도록 디자인 되어있다. DD 라우팅을 통해 데이터 전송의 최적의 경로를 설정하여 설정된 경로를 기반으로 안정적인 데이터 전송을 하도록 한다[3]. RMST는 타이머를 이용하여 에러 및 손실을 복구하며, PSFQ와 같이 NACK를 통해 재전송을 요구한다.

2.3. ESRT

ESRT(Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Network)는 PSFQ, RMST와는 달리 end-to-end 방식으로 노드에서 싱크로의 안정적인 데이터 전송을 지원한다[4].

ESRT는 싱크에서 주어진 시간 간격동안 성공적으로 수신된 데이터에 대한 신뢰성을 파라미터인 r 를 통해 계산한다. 그리고 필요한 데이터 보다 더 많은 데이터가 노드로부터 싱크로 전달되는 경우 전송 주파수 f 를 감소시켜 트래픽 혼잡 가능성을 줄이며 동시에 에너지 효율성

을 증대시키며, 필요한 데이터에 비해 적은 양의 데이터가 전송된 경우 전송 주파수를 증가시켜 데이터 전송을 활발히 하도록 조절한다.

표 1. 기존의 전송 신뢰성 지원 기법
Table. 1. Comparison of existing transport protocols

속성	PSFQ	RMST	ESRT
신뢰성	제공	제공	제공
혼잡 제어	없음	없음	수동적
혼잡 인지 방식	없음	없음	버퍼 사이즈
데이터 흐름	싱크→노드	노드→싱크	노드→싱크
End-to-End / Hop-by-Hop	Hop-by-Hop	Hop-by-Hop	End-to-End
ACK / NACK	NACK	NACK	ACK
시퀀스 넘버	있음	있음	없음

기존의 신뢰성을 제공하는 기법을 살펴보았다. 각 기법들의 연구를 통해 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해서는 신뢰성의 보장 및 추가적으로 트래픽 혼잡을 제어하는 방법이 요구됨을 알 수 있다.

III. 에러 복구 기법

본 논문에서 제안하는 에러 복구 기법은 기존의 방식에서 부분적으로 제공했던 기능들을 보완하여 센서 네트워크에서 효율적으로 사용될 수 있도록 지원한다.

Handshaking, hop-by-hop의 선택적 응답, 및 버퍼 상태를 체크하여 혼잡 제어를 지원하게 하는 등 중요한 기능을 제공 및 이용함으로써 에러 복구 및 혼잡제어를 가능하게 한다.

3.1. Handshaking

본 논문에서 데이터 흐름의 중요성을 싱크에서 노드로 두었기 때문에, DSR(Dynamic Source Routing)[5] 기반의 Handshaking을 통해 경로를 설정한다.

싱크에서 Handshaking 메시지를 목적지 노드로 브로드캐스팅을 통해 전송하며, 목적지 노드에서는 Handshaking 메시지에 대한 응답을 싱크로 보내게 된다. 경로 설정 후, 데이터를 목적지 노드로 전송하며 데이터 전송이 끝남을 알리는 메시지를 전송하고 거기에 대한 응답을 받음으로써 통신을 마치고도록 한다.

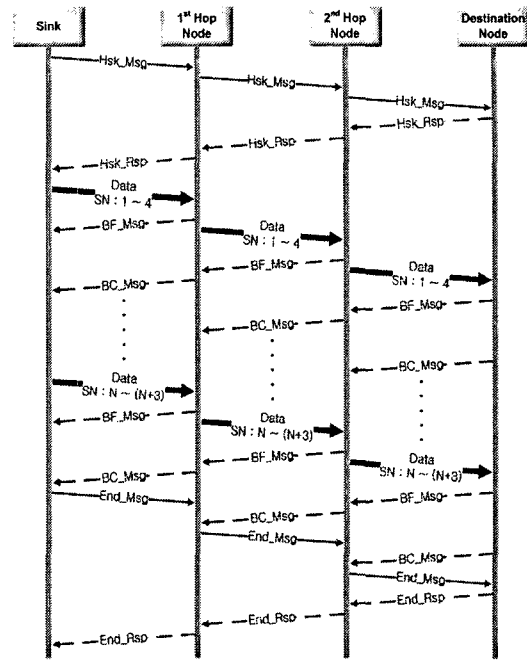


그림 1. Handshaking을 이용한 경로 설정 및 데이터 전송 과정

Fig. 1. Data Transmission Procedure in Mechanism

3.2. Hop-by-Hop의 선택적 응답

Hop-by-Hop의 선택적 응답은 데이터 재전송에 따른 중복을 피하고 에러를 효율적으로 복구하기 위한 기능이다. 기존의 제안된 선택적 반복(Selective Repeat)[6]을 수정한 방식으로 에러 복구에 사용되는 제어 패킷을 ACK를 사용하며, 고정 윈도우를 이용하여 시퀀스 넘버 차이를 전송함으로써 복구하게 된다.

<그림 2>에서, 싱크는 목적지 노드로 데이터를 전송하고 있다. 2번째 홉 노드와 목적지 노드간 통신에서 시퀀스 넘버가 3인 데이터에 대한 에러가 발생하였다. 이를 복구하기 위해 목적지 노드는 버퍼상태를 체크하며, 시퀀스 넘버 4인 데이터 까지 받은 후, 고정 윈도우를 사용한 선택적 응답을 이용하여 2번째 홉 노드에게 시퀀스 넘버 3인 데이터에 대한 재전송을 요구한다. 선택적 응답으로 시퀀스 넘버 2,4를 전송함으로써 에러가 발생한 데이터의 시퀀스 넘버가 3임을 알게 되며, 재전송된 시퀀스 넘버 3인 데이터를 받고 버퍼 상태를 확인하여 버퍼가 꽉 찼음을 2번째 노드에게 제어 메시지를 통해 알려주게 된다.

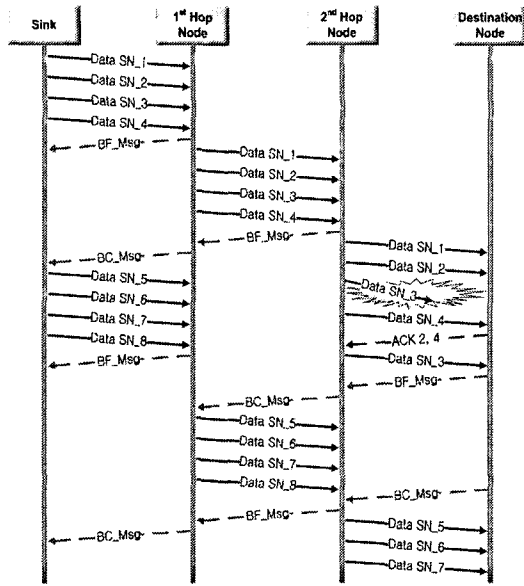


그림 2. 에러 복구 과정
Fig. 2. Error Recovery Procedure in Mechanism

3.3 혼잡 제어

트래픽 혼잡 제어는 버퍼 상태와 타이머를 이용하여 제공된다. 노드들은 제한된 버퍼를 가지고 있다. 따라서 제어 메시지를 이용하여 버퍼가 꽉 차있거나 비어있다는 정보를 버퍼 상태에 따라 전송하게 된다. 버퍼 상태에 대한 메시지의 교환으로 트래픽의 혼잡을 피할 수 있다. 에러가 많이 일어나는 환경에서 이러한 제어 메시지조차 손실되거나 에러가 발생하는 경우 타이머를 이용하여 주어진 시간내에 제어 메시지가 없을 경우 일정 시간 후 다시 제어 메시지를 전송하도록 한다.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션은 TinyOS[7]의 TOSSIM[8]을 이용하였으며, 기본적인 파라미터는 MICA2[9]의 속성을 적용하였다.

성능 분석은 end-to-end와 hop-by-hop간의 비교와 에러 발생 환경을 0%, 10%를 두었다. 총 9홉을 가지는 환경으로 싱크에서 목적지까지 100 Packets 을 보내도록 설정하였다.

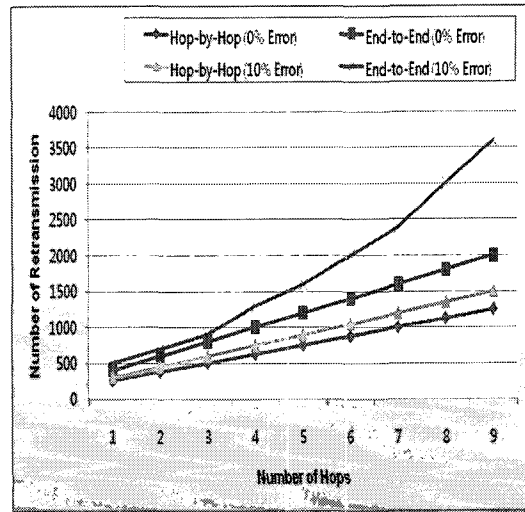


그림 3. 홉간 재전송 횟수
Fig. 3. Number of re-transmission in No and 10% Error (End-to-End vs. Hop-by-Hop)

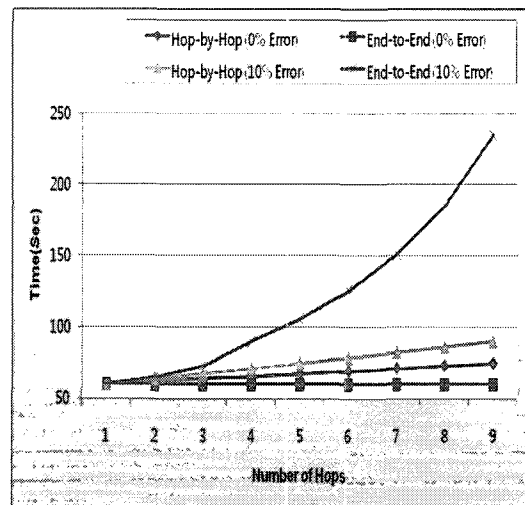


그림 4. 홉간 데이터 처리시간
Fig. 4. Throughput in No Error and 10% Error (End-to-End vs. Hop-by-Hop)

<그림 3,4>를 통해 에러가 없는 환경에서는 end-to-end 방식의 성능이 우수함을 보이나 실질적인 센서 네트워크 환경에서 에러 발생률이 있음을 감안하면, hop-by-hop 방식이 더 우수하다.

V. 결 론

시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안하는 에러 복구 기법이 센서 네트워크에 적합함을 알 수 있다. Hop-by-Hop 방식으로 데이터 전송에 대한 신뢰 구간을 형성하며, Handshaking, 선택적 응답, 혼잡 제어 기능의 제공으로 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송 및 에러 복구에 적합함을 검증하였다.

본 논문에서는 DSR 라우팅을 이용하였으나, 추후 다른 라우팅 기법의 적용과 Data Link Layer에 적합한 다양한 MAC 프로토콜, 그리고 MICA2 CC1000 RF 칩이 아닌 CC2420 칩을 이용한 환경에서 적용하고자 한다.

참고문헌

- [1] C. Wan, A and Campbell "PSFQ: Pump Slowly, Fetch Quickly", September 2002
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin. Directed Diffusion: A scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks. In *Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 56-67, Boston, MA, USA, August 2000. ACM.
- [3] F. Stann and J. Heidemann, "RMST: Reliable Data Transport in Sensor Networks", May 2003
- [4] Y. Sankarasubramaniam, O. Akan, and I. Akyidiz "ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks", June 2003
- [5] D. B. Johnson and D. A. Maltz. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In T. Imielinski, H.Korth, editor, *Mobile Computing*. Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [6] M. Mathis, "RFC2019: TCP Selective Repeat Option", October 1996
- [7] TinyOS : www.tinyos.net
- [8] "TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications." In *Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003)*.
- [9] Mica2 : www.xbow.com

저자소개



민 병 응(Byung-Ung Min)

2006년 동의대학교 컴퓨터공학과 공학사
2006년-현재 동의대학교 정보통신공학과 석사과정

※관심분야 : 센서 네트워크, 무선망 QoS, MPLS, Mobile IP



김 동 일(Dong-Il Kim)

1992년 2월 광운대학교 전자통신공학과 공학박사
1983년 3월 - 1991년 8월 LG 정보통신연구소 교환연구단 연구실장

1998년 11월 - 1999년 12월 한국전자통신연구원 표준연구센터 초빙연구원

1991년 9월 - 2007년 현재 동의대학교 정보통신 공학과 교수

2003년 8월 - 2007년 현재 동의대학교 전산정보지원원장

1997년 7월 - 2007년 현재 한국해양정보통신학회 이사

2002년 2월 - 2007년 현재 한국통신학회 논문지편집위원

2002년 3월 - 2007년 현재 정보통신부 IT 기술표준 국제전문가
※관심분야: 통신망 성능분석, 무선망 프로토콜, IT기술 표준화



최 삼 길(Sam-Gil Choi)

1969년 2월 광운대학교 무선통신공학과 공학사

1988년 2월 동아대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 동아대학교 전자공학과 공학박사

1973년 3월 - 1985년 2월 동의과학대학 통신공학과 교수

1981년 2월 - 1982년 1월 미국 미시간 대학교 방문교수

2003년 8월 - 2005년 7월 동의대학교 공과대학장

1985년 3월 - 현재 동의대학교 정보통신공학과 교수

※관심분야: 디지털 신호처리, 네트워크 프로토콜