
실내환경에서 무선 센서 네트워크 구축을 위한 패킷 전송 성능 평가

이좌형* · 정인범**

Analysis of Packet Transmission Performance for Construction
of Wireless Sensor Networks in Indoor Environment

Joa-hyoung Lee* · In-bum Jung**

이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-D00424(I00901))

요 약

무선 센서 네트워크는 사람을 대신해 다양한 환경에서 감시와 정보수집 역할을 수행한다. 센서네트워크는 제한된 하드웨어 자원과 낮은 무선 네트워크 대역폭을 사용한다. 이러한 특성은 통신 중 높은 에러율을 발생시키며 데이터 신뢰도 향상을 위한 오류정정 기법의 필요성이 높다. 센서노드의 환경에 따른 CRC 에러와 패턴에 대한 연구는 오류정정 기법의 적절한 기법 선택을 위한 자료가 된다. 본 논문에서는 실내환경에서 시스템 구성시 데이터 전송률에 영향을 미치는 전송주기와 센서노드간의 거리, 전송 패킷의 크기, RF의 크기에 대한 실험을 실시한다. 실험한 결과를 바탕으로 시스템 구성에서 고려해야 하는 요소를 알아본다.

ABSTRACT

Wireless sensor networks do the monitoring and collecting information in the environment instead of human. Sensor networks are consisted of small sensor nodes with very limited hardware resource and very low network bandwidth. The wireless communication environment causes lots of communication errors so that the sensor network requires error correction technique to increase the reliability of network. The performance of error correction technique could be increased by the researches about the error pattern of CRC. In the paper, we did the performance evaluation - transmission interval, distance between sensor nodes, packet size, and RF power - that affects to the success ratio of data transmission in the indoor environment. we propose the performance metrics of system configuration based on the analysis of performance evaluation.

키워드

센서네트워크, 실내환경, 패킷전송, 성능측정

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정
** 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수 (교신저자)

접수일자 2009. 03. 31
심사완료일자 2009. 04. 27

I. 서론

최근 유비쿼터스 서비스의 수요 증가에 따라 센서네트워크 기술의 발전이 가속화되고 있다. 센서네트워크는 사람이 없는 환경에서 스스로 데이터를 수집하고 실시간 정보를 수집한다. 센서노드는 전원유닛과 외부 신호 감지를 위한 센서유닛, 데이터 연산을 위한 컴퓨팅유닛, RF전송을 위한 통신유닛을 포함한다. 하지만 제한된 하드웨어와 낮은 무선 네트워크 대역폭은 환경의 변화에 따라 데이터의 신뢰도를 변화시킨다. 센서네트워크에서의 에러율은 센서노드의 설정이나 거리에 따라 일정한 형식을 갖기 때문에 그 변화를 알아보는 것은 중요하다.

센서네트워크 시스템 구성 시 데이터의 중요도와 데이터의 양에 따라 전송주기를 다르게 설정한다. 만약 데이터의 양이 많을 때는 한 번에 많은 양을 전송하는 것이 효율적이기 때문에 데이터의 패킷 크기를 조절하여 사용한다. 홈네트워크와 같은 거리의 변화가 없거나 제한적인 시스템에서는 센서노드에서 차지하는 전력소모 비중이 높은 RF (Radio Frequency)의 파워를 낮추어 사용하는 것이 효율적이다.

네트워크에서는 데이터에 대한 신뢰도 향상을 위해 에러제어 (Error Control) 기법을 사용한다. 센서네트워크에서는 일반적으로 FEC (Forward Error Correction)와 ARQ (Automatic Repeat Request)가 사용되는데 이 방법들은 에러비트의 특성에 따라 성능이 다르다. 에러제어 성능을 효율성을 높이기 위해 상황 변화에서 나타나는 비트에러패턴을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다.

그동안 많은 논문에서 센서노드의 성능평가를 수행하였으나 대부분 실외환경에서 테스트가 이루어졌다. 실외환경은 실내에 비해 장애물과 반사체가 적어 에러가 적으며 보다 멀리 패킷이 전달될 수 있다. 하지만 많은 센서네트워크들이 실내에서 구축되는 것을 목표로 하고 있는 상황에서 실외에서 측정된 성능평가를 기반으로 실내에서 센서네트워크를 구축하는 것에는 무리가 있다. 실내환경은 실외 환경과 달리 장애물이 많으며 벽으로 인하여 전파가 반사되는 문제점이 있다. 또한 여러 전자장비로 인한 간섭문제가 발생할 수도 있다. 이러한 환경에서 센서네트워크를 구축하기 위해서는 실내 환경에서 이루어진 성능평가가 필요하다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 폭넓게 사용되는 Mica2 모드를 이용하여 실내환경에서 전송주기와 패킷의 크기, RF의 파워에 따른 패킷 전송률을 거리와 노드의 개수에 따라 알아보고 비트에러 패턴을 분석한다. 이를 이용하여 센서 네트워크 시스템 구축시 고려할 사항과 알아보도록 하겠다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 관련연구에 대하여 설명한다. 3장에서는 실험에서 사용된 하드웨어와 실험 구조에 대해 설명한다. 4장에서는 실험 그래프를 이용하여 그 결과를 분석한다. 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고 향후 연구 계획을 설명한다.

II. 관련연구

많은 논문들에서 무선센서네트워크의 패킷전송평가의 기준으로 삼고 있는 SPaC (Simple Packet Combining)는 무선센서네트워크 상에서 발생하는 패킷 에러와 이에 따른 BER (Bit Error Rate)에 관한 실험이다[1]. 위치상으로는 실내와 실외로 구분하고, 다양한 패킷 크기에 따라 실험하였다.

실외실험은 실내실험보다 BER 수치가 낮아 비트에러가 적은 것으로 보였으며 실내실험에서는 연속된 비트에러보다 짧은 길이의 비트에러가 더 자주 발생하는 것으로 보였다. 크기를 128 Bytes로 늘인 패킷에서는 16 Bytes인 패킷보다 BER가 높은 결과를 얻을 수 있었다.

하지만 이 논문에서는 최대 34.8Kbps의 성능을 갖는 저사양의 Mica2dot 버전으로 실험을 수행하였다. 센서네트워크가 네트워크 대역폭이 낮게 제공되는 것이 일반적이기는 하지만 최근 250Kbps의 네트워크 대역폭을 제공하는 센서노드들이 널리 보급되어 연구에 사용되는 상황에서 낮은 대역폭을 갖는 모드로 이루어진 실험 데이터를 사용하기에는 무리가 있다고 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 최근 보급되고 있는 250Kbps의 대역폭을 갖는 센서노드를 이용하여 성능평가를 수행하고자 한다.

III. 센서노드의 네트워크 성능 측정

3.1 실험환경

센서노드의 네트워크 성능 측정 실험은 그림 1과 같은 하드웨어 구성을 가진다.

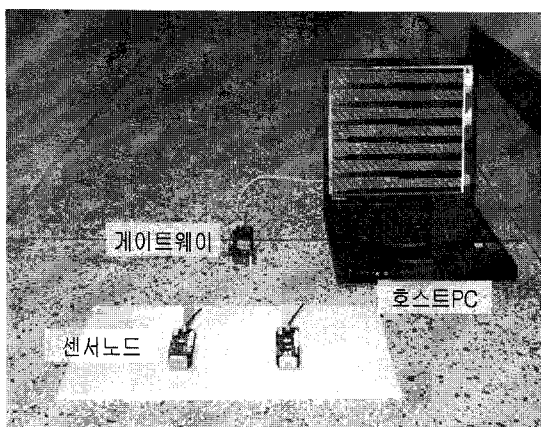


그림 1. 하드웨어 구성
Fig 1. Hardware Configuration

실험은 패킷전송을 위한 센서노드와 패킷수신을 하는 하나의 게이트웨이 노드, 패킷을 검사하고 DB 저장 기능을 위한 호스트PC로 이루어진다. 실험의 소프트웨어 구성도는 그림 2와 같다. 센서노드에는 CRC에러 측정을 위한 checkCRC가 각각 설치되며 게이트웨이에 패킷을 전송하는 동작을 한다. 게이트웨이 노드에는 TOSBase를 설치하였다. 센서노드로부터 패킷을 수신하는 기능을 하는 TOSBase는 패킷 수신여부를 확인하기 위해 Ack를 이용한다.

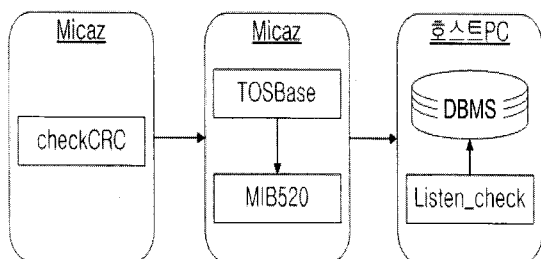


그림 2. 소프트웨어 구성도
Fig 2. Software Configuration

호스트PC와의 통신은 프로그래밍 보드인 MIB520를 통한 UART 방식으로 이루어진다[3]. 호스트PC에서 실행되는 Listen_check는 센서노드에서 전송한 패킷수와 호스트PC에서 수신한 패킷수, CRC 에러수, 비트에러패턴을 DB에 저장하는 동작을 한다.

Micaz 모트는 센서노드와 게이트웨이로 사용되며 Micaz 모트의 사양은 표 1과 같다[2].

표 1. Micaz 모트의 사양.
Table 1. Spec of Micaz Mote

MCU	ATMEGA 128L 8Mhz
Memory	4K RAM / 128K FLASH
I/O and Sensors	Large expansion 51 pin connector
RF Transceiver	2.4GHz Frequency band 250Kbps Transmit rate -24dBm to 0 dBm RF 20m to 30m indoor Range

3.2 CRC에러 측정

CRC 에러와 패턴측정 실험에서는 센서노드의 거리와 개수를 변화시켜 이에 따른 결과를 알아보았다.

checkCRC는 CRC 에러와 패턴 측정을 위해 게이트웨이에 40ms의 주기로 패킷을 전송한다. checkCRC에서 사용하는 패킷의 구조는 그림 4와 같다. sampleNum은 센서노드에서 전송된 패킷의 수, successNum는 Ack를 통하여 수신이 확인되었음을 나타낸 값이다. checkCRC는 Payload의 값이 0으로 할당된 패킷을 전송하며 전송 중 변형된 비트를 Listen_check에서 검사하여 비트에러 여부를 판단하도록 하였다.

시스템 구현 시 전송 데이터가 많으면 패킷의 크기를 늘려 사용한다. RF 파워가 높지 않아도 되는 시스템에서는 전원사용을 줄이기 위한 방법으로 RF를 조절하여 사용한다[2]. CRC에러와 패턴은 패킷의 크기와 RF 파워의 세기에 따라 달라질 수도 있기 때문에 실험으로 결과를 알아보기로 하였다. 패킷의 크기는 16~128Bytes 이내로, RF 파워의 크기는 1~31 이내로 사용해야 한다[3]. 패킷의 크기와 RF 파워 크기에 따른 CRC 에러를 실험하기 위해 각각의 센서노드의 패킷 크기를 115Bytes로 변경하고 RF 파워의 크기를 1~31로 조절하여 전송시의 CRC 에러 발생을 알아보았다.

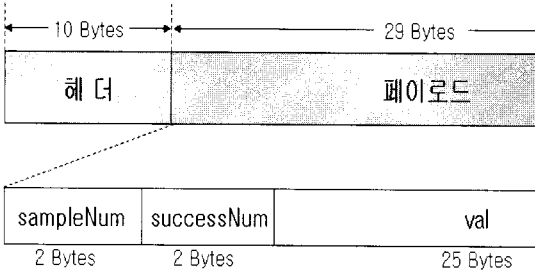


그림 3. checkCRC의 패킷구조.
Fig 3. Packet architecture of CheckCRC

3.3 비트에러 패턴 측정

비트에러 패턴 분석은 에러제어 기법인 FEC와 ARQ을 수행하기 위한 기본자료로 필요하다. FEC는 비교적 짧은 비트에러에, ARQ는 길게 연속되어 나타난 에러에 적합한 방식이다. 비트에러 패턴을 알아봄으로써 어떠한 방식으로 처리하는 것이 효율적인지에 대한 판별이 가능하다.

센서노드에서 동작하는 checkCRC는 패킷의 데이터를 0으로 초기화하여 전송한다. 전송 중 신호의 에러가 발생하면 0으로 할당되어 전송되었던 비트 값이 1로 변형되는 경우가 있는데 호스트PC에서 동작하는 Listen_check는 이러한 비트의 개수를 세서 DB에 저장하는 기능을 한다.

IV. 실험 결과 및 분석

4.1 CRC 에러 측정

Micaz 모트의 거리에 따른 패킷전송률 결과는 그림 4와 같다.

TinyOS에서 사용하는 패킷의 구조체인 TOS_Msg는 39Bytes 크기를 갖는다. 패킷 크기에 따른 변화를 알아보기 위해 TOS_Msg의 패킷 크기를 115Byte로 변경하여 패킷의 전송률을 알아보았다. 39Bytes 크기의 패킷 전송 실험에서는 1개와 2개의 모트를 이용한 패킷 전송률은 서로 비슷한 결과를 보여 다. 이는 두 개의 모트를 이용한 실험에서는 패킷의 충돌로 인한 성능 저하가 크지 않다는 것을 보여준다.

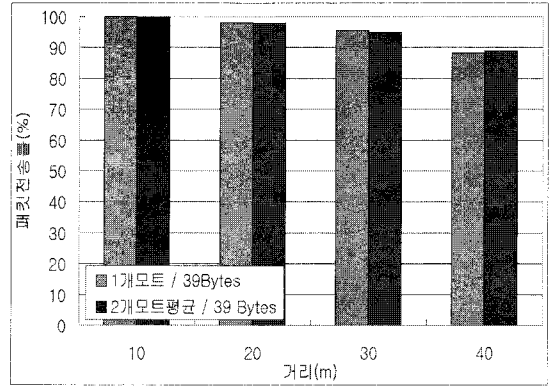


그림 4. 거리에 따른 패킷 전송률.
Fig 4. Packet Transmission rate with distance variation

하지만 그림 5와 같이 패킷의 크기가 115Bytes인 센서노드의 최대전송률 실험에서는 39Bytes 크기의 패킷을 사용할 때보다 전송률이 낮았으며 거리가 멀어질수록 전송률의 저하가 크게 나타났다. 39Bytes 패킷 사용보다 115Bytes 크기의 패킷 사용에서 CRC 에러율이 높게 나타났다으며 특히 먼 거리 통신에서는 큰 크기의 패킷을 사용하는 것이 좋지 않음을 알 수 있다.

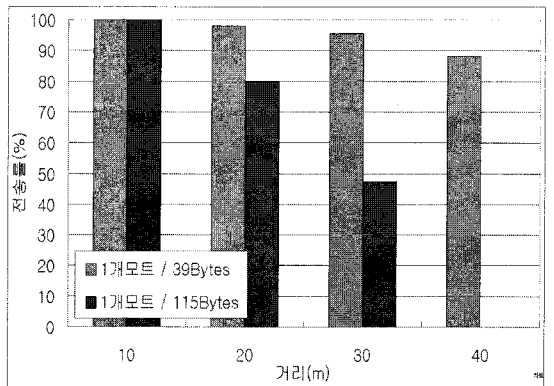


그림 5. 패킷 크기에 따른 전송률.
Fig 5. Packet Transmission Rate with packet size variation.

BER은 패킷에서 발생한 비트에러율을 나타내는 값으로 통신 중 에러가 발생한 비트수를 총 전송한 비트수로 나눈 값이다. 그림 6은 거리에 따른 BER을 측정된 결과이다. BER은 센서노드의 거리와 개수에 따라 BER가

높은값을 가진다는 것은 정상적으로 전송되는 패킷의 수가 그만큼 적음을 전송률이 낮다는 것을 의미한다.

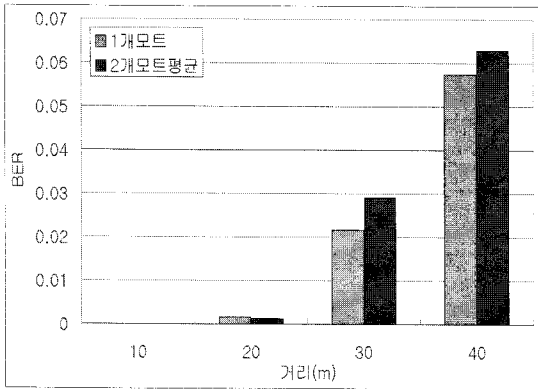


그림 6. 거리에 따른 비트에러율.
Fig 6. Bit error rate with distance variation

Micaz 모드의 RF값은 기본으로 31로 설정되어 있는데 그 값을 1~31 크기로 조절하여 사용할 수 있다. RF는 설정 값이 높을수록 파워가 높아지는데 그림 7은 RF를 1 부터 증가시키며 센서노드로 패킷전송률을 실험한 결과이다. RF파워가 16 이하면 20m의 거리에서 패킷 전송이 거의 불가능하였고 16이상이면 패킷전송이 이루어지며 전송률도 같이 높아지는 모습을 볼 수 있다. Micaz 모드의 구성 요소 중 RF의 전원소모가 가장 크기 때문에 낮은 RF 파워 사용하면 배터리의 소모를 줄이는데 많은 도움이 된다[4].

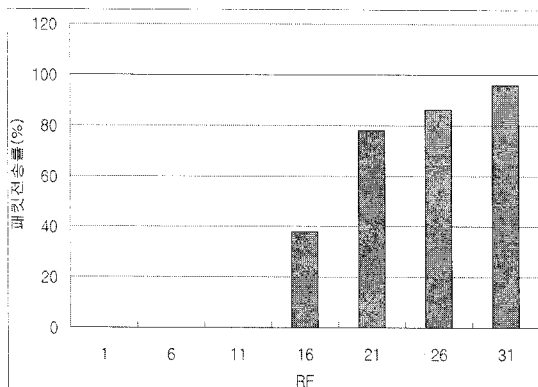


그림 7. RF 파워에 따른 패킷전송률.
Fig 7. Packet transmission rate with RF power variation

4.2 CRC 패턴 측정

노드의 거리에 따라 나타나는 비트에러 패턴은 그림 8과 같다. 비트에러는 노드간의 거리가 멀어질수록, 연속된 비트에러보다 짧은 길이에서 나타나는 비트에러가 더 많았다. 비트에러가 발생했을 때 오류제어 기술을 사용하여 복구를 적용하는데 그 종류로는 대표적으로 FEC와 ARQ가 있다. FEC는 오류 정정 부호에 의하여 오류를 정정하는 방식이며 ARQ는 오류 검출 부호를 사용하여 재송신을 하는 방식이다. FEC는 개별적으로 발생하는 비트에러 복구에, ARQ는 연속된 비트에러 복구에 적합하다. FEC와 ARQ 적용은 에러패턴의 종류에 따라 효율이 달라지기 때문에 상황에 맞는 적절한 방법을 선택하여야 높은 성능을 유지할 수 있다[5, 6].

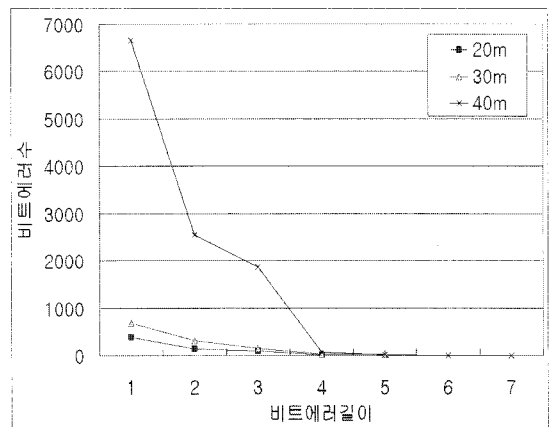


그림 8. 거리에 따른 비트에러패턴.
Fig 8. Bit error pattern with distance variation

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서의 센서노드의 성과 그 에러패턴에 관해 알아보았다. 앞에서 알아본 실험결과는 센서네트워크 시스템 구축 시 네트워크로 인하여 발생하는 문제를 줄이고 센서의 자원을 효율적 사용하기 위한 참고자료가 된다.

향후 연구에서는 실내 실험 성능에 영향을 미치는 환경요소를 알아보고 실외실험을 추가하여 좀 더 다양한

환경에서의 성능평가에 대한 연구를 진행하고자 한다. 또한 비트에러 수신시 그에 대한 복구 방법으로써 FEC와 ARQ, HYBRID형의 동작방식을 알아보고 센서네트워크에서의 에러복구에 어떤 방법이 적합한지를 분석하겠다.

참고문헌

- [1] D.F. Henri, E. Deborah, V. Martin, "Packet Combining in Sensor Networks", 3rd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2005) (2005)
- [2] Crossbow Inc, <http://www.xbow.com/>
- [3] UC Berkeley, <http://www.tinyos.net/>
- [4] Berkeley WEBS, <http://webs.cs.berkeley.edu/>
- [5] J.S. Ahn, S.W. Hong, J. Heidemann, "An Adaptive FEC Code Control Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks", USC/Information Sciences Institute
- [6] L. Wang, S. S. Kulkarni, "Proactive Reliable Bulk Data Dissemination in Sensor Networks", The IASTED International Workshop on Distributed Algorithms and Applications for Wireless and Mobile Systems (DAAWMS), November 2005.

저자소개



이좌형 (Joa-Hyoung Lee)

2003년 강원대학교
정보통신공학과(공학사)
2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과(공학석사)

2005년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
(박사과정)

※관심 분야: 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



정 인 범(In-Bum Jung)

1985년 고려대학교 전자공학과
학사.

1985년~1995년 (주) 삼성전자 컴퓨터
시스템사업부 선임 연구원.

1994년 한국과학기술원 정보통신공학과 석사

2000년 한국과학기술원 전산학과 박사

2001년 ~ 현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공
교수

※관심분야: 멀티미디어 시스템, 센서네트워크