

저전력 무선 센서 네트워크를 위한 RS 코드의 성능 분석

정 경 권*, 최 우 승**

Performance Analysis of RS codes for Low Power Wireless Sensor Networks

Kyung Kwon Jung*, Woo-Seung Choi**

요 약

무선 센서 네트워크에서는 센서 노드로부터 전송된 데이터는 채널의 노이즈 등의 요인으로 오류가 일어나기 쉽다. 센서 네트워크는 엄격한 에너지 제한이 있기 때문에 에너지가 효율적인 오류 정정 방법을 사용하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 낮은 전송 전력으로 전송된 데이터를 RS 코드를 적용하는 방식을 제안하고, 시뮬레이션과 실험을 수행한다. RS 코드는 데이터에 추가한 리던던시로 동작한다. 인코드 데이터는 저장되거나 전송될 수 있다. 오류가 발생했을 때 인코드된 데이터는 복원된다. 추가된 리던던시는 디코더에서 수신된 데이터에서 오류가 있는 부분을 감지하고 정정하는 데에 사용된다. RS 코드가 정정할 수 있는 오류의 수는 추가되는 리던던시에 의해 결정된다. 실험 결과 저전력 통신에서의 높은 안정성을 확인하였다. 1분마다 32바이트를 전송할 경우 RS(15,13)은 173.7일, RS(31,27)은 169.1일, RS(63,57)은 163.9일, RS(127,115)는 150.7일, RS(255,239)는 149.7일의 수명을 예측할 수 있었다. 패킷 수신 확률(PRR) 실험에 RS(255,239)를 적용하여 약 3m 전송거리가 증가함을 확인하였다.

Abstract

In wireless sensor networks, the data transmitted from the sensor nodes are susceptible to corruption by errors which caused of noisy channels and other factors. In view of the severe energy constraint in Sensor Networks, it is important to use the error control scheme of the energy efficiently. In this paper, we presented RS (Reed-Solomon) codes in terms of their BER performance and power consumption. RS codes work by adding extra redundancy to the data. The encoded data can be stored or transmitted. It could have errors introduced, when the encoded data is recovered. The added redundancy allows a decoder to detect which parts of the received data is corrupted, and corrects them. The number of errors which are able to be corrected by RS code can determine by added redundancy. The results of experiment validate the performance of proposed method to provide high degree of reliability in low-power communication. We could predict the lifetime of RS codes which transmitted at 32 byte a 1 minutes. RS(15, 13), RS(31, 27), RS(63, 57), RS(127,115), and RS(255,239) can keep the days of 173.7, 169.1, 163.9, 150.7, and 149.7 respectively. The evaluation based on packet reception ratio (PRR) indicates that the RS(255,239) extends a sensor node's communication range by up about 3 meters.

• 제1저자 : 정경권 교신저자 : 최우승
• 투고일 : 2009. 12. 09, 심사일 : 2009. 12. 27, 게재확정일 : 2010. 03. 30.
* 동국대학교 밀리미터파신기술연구소 연구원 ** 경원대학교 교양대학 교수
※ 이 연구는 2010년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

▶ Keyword : 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network), RS 코드(Reed-Solomon code), 오류 정정 코드(Error Control Code), 에너지 소모(Energy Consumption)

I. 서론

무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)는 방대한 지역에 임의로 뿌려진 센서 노드에 의해 물리적 정보를 분석, 수집하기 위해 개발되었다. 무선 센서 노드는 정보의 수집을 위한 다양한 센서, 수집된 정보의 처리를 위한 마이크로컨트롤러와 수 KB 크기의 RAM, 무선 통신을 위한 RF 통신 모듈로 구성된다. 무선 센서 노드는 독립된 전원으로 동작하는 기기로 한번 배치된 노드에 추가적인 전원공급이 불가능하기 때문에 전원 관리가 반드시 필요하다. 무선 센서 네트워크는 위의 특징을 지닌 다수의 센서 노드들이 멀티홉(multi-hop) 통신 방식으로 광범위한 통신망의 형성하여 정보를 수집하게 된다[1-2, 18].

무선 센서 네트워크는 내장된 배터리만으로 동작하는 저전력 기반의 기기이기 때문에 무선 센서네트워크의 하드웨어 구성과 운영체제 모두 에너지 소모량을 고려하여 설계되어야 한다. 네트워크를 구성하기 위한 무선 통신은 900MHz 또는 2.4 GHz의 ISM(Industrial, Science and Medical)대역을 사용하며 최대 전송파워 0~1dBm의 낮은 출력의 RF통신을 이용한다. 이에 무선 센서 네트워크는 센서 노드간의 거리와 전파 환경에 민감하게 반응하며 이에 따라 무선 채널의 특성과 환경에 따른 변화에 대한 연구가 필요하다[3].

본 논문에서는 저전력 무선통신을 이용하는 무선 센서 네트워크의 실내 무선 채널 환경에서 데이터를 수집하여 오류발생확률을 비교 분석하고 오류정정부호(ECC, Error Control Code)를 사용하였을 때 얻을 수 있는 오류 발생확률의 감소와 전송거리의 향상에 대해 분석한다. 또한 오류정정부호를 사용함에 따라 추가적으로 발생하는 마이크로컨트롤러의 계산량으로 인한 에너지 소모량을 분석한다. 분석한 결과를 통해 센서 노드의 수명을 예측하고, 재전송의 경우와 비교 검토한다.

논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 관련연구에 대해 설명하고 III장에서는 오류 정정 부호를 적용하였을 때 발생하는 이득과 손실에 대해 설명하고 논문에서 사용된 오류 정정 부호인 RS (Reed-Solomon) 코드에 대해 설명한다. IV장에서는 실험 결과를 비교·분석하며 V장에서 논문의 결론을 설명하고 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

II. 기존 연구

IEEE 802.14.5에 의해 정의 되는 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜은 Data link layer와 Physical layer간의 연결 통로로써 프레임의 구성을 정의하고 데이터의 크기와 정보의 우선순위를 결정해 준다. 또한 노드간의 원활한 통신을 위해 채널의 상태를 파악하고 순위를 결정하게 된다. 특히 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜은 전력 소모를 줄이면서 노드간의 효율적인 통신을 유지하기 위해 Sleep 주기를 갖도록 한다. 센서 노드는 긴 시간 동안 최소한의 전력만을 사용하는 Sleep 상태를 유지하다가 매우 짧은 시간의 Active 주기에 깨어나 정보를 수집하고 교환하게 된다.

전송 오류로 인해 발생하는 데이터 손실을 막기 위해 동일 데이터를 반복적으로 재전송 하는 것은 배터리의 제한을 갖고 있고, 전송에 소모되는 전력이 전력 소모의 대부분을 차지하고 있는 센서 노드에 있어서 적합하지 않다.

무선 네트워크에 적용하기 위한 오류 정정에 관한 연구 중에서도 낮은 전력 소모의 오류 정정에 관한 연구는 무선 랜 분야에서 다양하게 진행되어왔다. 그 중에는 채널 환경을 분석, ARQ와 오류정정부호를 유동적으로 선택함으로써 데이터의 신뢰성과 전력 효율을 높이기 위한 연구가 진행되었다[4]. 패킷의 크기, 요구되는 QoS(Quality of Service), 채널 조건의 변화에 따라 가장 에너지 효율이 높은 오류 정정 방식을 선택하는 방법을 제안했다. 하지만 위의 방식은 다양한 종류의 오류 정정 방식을 사용하기 위해 요구되는 충분한 메모리와 많은 계산이 필요하다. 노드들의 전력 소모를 최소화 시켜야 하는 센서 네트워크에서는 안정적으로 전력을 공급받을 수 있는 무선 랜 시스템과는 달리 오류 정정을 위한 연산 또한 단순화 시킬 필요성이 있다.

센서 네트워크 데이터의 신뢰성을 보장하기 위한 다양한 기술들이 제안되고 있다[5]. 그 중에는 통신이 실패할 경우 전송 계층에서 신뢰성을 높일 수 있는 연구, 각 노드의 전송 실패를 능동적으로 극복할 수 있는 애드-혹(Ad-hoc) 라우팅 기법을 활용한 연구 등이 활발하게 진행되었다[6-7]. 오류 정정 방식을 이용한 연구로는 센서 노드를 통해 일정 시간동안 수집한 샘플 데이터를 분석하여, 앞서 발생한 오류 패턴을 기반으로 한 오류 정정 알고리즘에 대한 연구도 진행되었다 [8-9, 19]. 하지만, 노드의 위치가 변동할 경우 새로운 위치

의 오류 패턴을 측정하기 위한 추가 시간이 소모되는 단점을 갖고 있다. 이동성이 높은 센서 노드에 있어서 다양한 장소에 대한 유연성은 커다란 단점으로 작용할 수 있다.

현재 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜에서 오류 검사와 재전송을 위해 대표적으로 사용되는 방식은 [그림1]에서와 같이 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 이용하여 수신된 packet의 오류 여부를 확인하고 오류 발생시 Ack를 보내 재전송하는 방식으로 구성되어 있다.

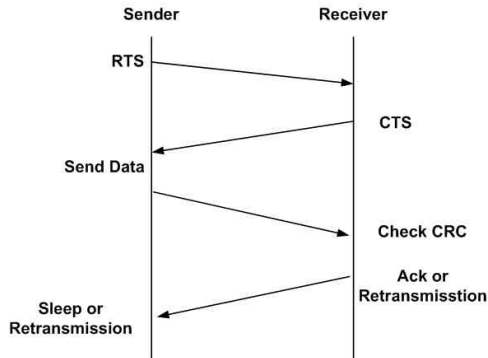


그림 1. 무선 센서 네트워크 송수신부 흐름도
Fig. 1. Flow Chart of Transmit and Receive of Wireless Sensor Networks

III. 센서 네트워크에 적용한 RS 코드

선형 블록 코드의 한 종류인 RS코드는 최대 정정 길이내의 연속된 오류에 강한 특성을 갖는 오류정정 알고리즘으로 낮은 전송과워로 인해 발생하는 오류패턴의 정정에 적합하다 [10-11,17]. 또한 RS 코드는 심볼 단위의 연산으로 오류를 정정하기 때문에 bit 단위로 오류 정정을 하는 다른 오류정정 알고리즘에 비해 적은 계산량으로 높은 효율의 오류 정정이 가능하다. 특히 저속의 프로세서를 사용하는 센서 노드의 계산능력은 한정된 배터리의 에너지 소모량에 밀접한 관계를 갖기 때문에 알고리즘의 계산량이 중요한 파라미터로 작용하게 된다.

RS 코드의 코드워드의 길이 n 심볼, 데이터의 길이는 k 심볼을 가지며, 패리티 심볼의 수는 $n - k = 2t$, 오류 정정능력은 t 심볼로 표현된다. 심볼의 크기, m bit가 결정되면 2^m 의 Galois field를 생성하고 생성 다항식 $g(x)$ 를 이용하여 패리티가 더해진 코드워드를 생성한다. 인코딩된 데이터는 계산된 Syndrome 값을 토대로 Berlekamp Massey 알고리즘을 통해 오류 위치 다항식을 계산하고, 이를 이용해 정정 가능한 오류의 개수와 위치를 파악하게 된다[12].

센서 네트워크상에서 RS 코드로 인한 에너지는 소모는 크게 추가 bit를 전송하기 위한 RF에너지, RS 코드 인코딩 에너지, 그리고 RS 코드 디코딩 에너지로 나눌 수 있다. 추가적인 비트를 전송하기 위한 RF 에너지는 전체 패킷 전송에 추가 되어 소모된다. RS 코드를 인코딩하기 위한 에너지는 디코딩을 위해 사용되는 에너지에 비해 작은 양이 사용된다. 이는 RS 코드의 크기에 따라 차이를 갖지만 최소 2배 이상의 차이를 갖게 된다.

오류정정부호의 사용은 마이크로컨트롤러의 계산량 증가와 전송 비트의 증가로 인한 전송에너지의 증가를 가져온다. 하지만 보다 전송된 에너지의 오류를 줄일 수 있고 ARQ방식의 사용으로 인한 재전송으로 발생하는 전송에너지를 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 오류의 감소를 통해 전송거리를 항상 시킬 수 있다.

무선 센서 네트워크에서 1개의 패킷을 전송하기 위한 전력 소모량은 다음 식(1)로 표현 될 수 있다.

$$E_{tot} = E_{TX} + E_{RX} + (E_{process} \times bit) \dots\dots\dots (1)$$

E_{tot} 은 1개의 패킷을 전송하기 위해 필요한 총 에너지를 나타내며, E_{TX} 는 패킷 송신에 필요한 에너지, E_{RX} 는 패킷 수신에 필요한 에너지, $E_{process}$ 는 마이크로컨트롤러가 1비트를 처리하는데 필요한 에너지가 된다.

패킷이 오류가 발생할 경우 재전송을 요구하는 무선 센서 네트워크의 특징을 에너지 소모 관점에서 적용하면 다음과 같다.

$$E_{tot} = 2(E_{TX} + E_{RX}) + (E_{process} \times bit) \dots\dots\dots (2)$$

재전송이 발생할 경우 마이크로컨트롤러에서의 다른 처리 없이 RF 칩에서 송신과 수신만을 반복하게 되므로 식(2)와 같이 송·수신시 필요한 에너지가 추가 되게 된다.

RS 코드를 추가하여 식(1)을 재구성하면 식(3)과 같이 표현될 수 있다.

$$E_{RS} = E_{TX} + E_{RX} + (E_{process} \times bit) + E_{enc} + E_{dec} \dots\dots (3)$$

식(3)에서 E_{RS} 는 RS 코드를 포함 하였을 때 필요한 전체 에너지 소모량이며 E_{enc} 는 RS 코드를 인코딩하는데 필요한 에너지, E_{dec} 는 수신부에서 디코딩하는데 사용되는 에너지를 나타낸다.

RS 코드를 적용하기 위해 수신된 데이터를 분석한 결과는 [그림2]과 같은 오류 패턴을 갖는다.

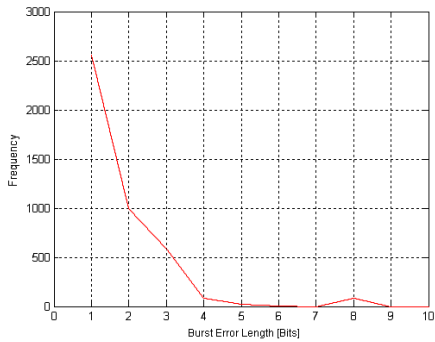


그림 2. 수신 패킷의 burst error
Fig. 2. Burst Error of Received Packets

[그림2]에서와 같이 대부분의 오류는 8비트 이하의 연속 오류(burst error)를 가지며 이를 바탕으로 RS 코드의 효과적인 코드 size를 결정할 수 있다.

본 논문에서는 [그림3]과 같은 RS 코드의 종류에 대해서 에너지 소모를 분석한다.

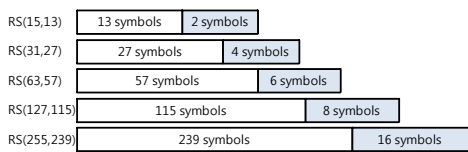


그림 3. RS 코드 구성
Fig. 3. RS Code Configurations

IV. 실험 및 분석

무선 센서 노드로 [그림4]와 같은 TIP50CM을 사용하였다. TI (Texas Instruments)사의 MSP430 프로세서를 사용하며, 무선 통신 칩은 TI사의 CC2420으로 2.4GHz 대역을 사용한다. MSP430은 각 명령어를 1 클럭에 처리할 수 있도록 설계되어 있으며 Active 모드에서의 250 μ A의 매우 작은 양의 전력으로 동작한다. Sleep 상태에서 전력소모 역시 0.1 μ A로 적은 전력을 사용한다. 256KByte의 메모리를 이용해 다양한 응용프로그램이 가능하며 보다 많은 정보의 저장도 가능하다. 최대 정보 전송률 250Kbps를 갖는 CC2420은 Offset-QPSK의 변·복조 방식을 사용할 수 있다. 또한 CC2420은 송신 시 17.4mA, 수신시 19.7mA의 전력을 사용하여 낮은 전력으로 무선 통신을 가능하게 한다. 센서 노드의 사양은 [표1]과 같고 센서 노드의 에너지 소모 요소는 [표2]와 같다[13-14].

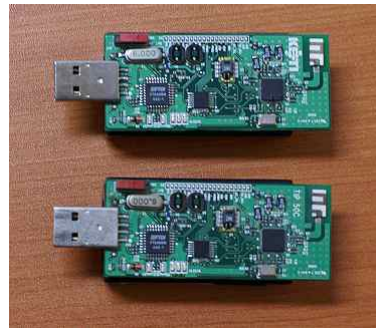


그림 4. 센서 노드
Fig. 4. Sensor Nodes

표 1. 센서 노드 사양
Table 1. Specification of Sensor Nodes

항목	내용
Processor	MSP430(16bit RISC, 8MHz)
Program Memory	256KByte
Operating System	TinyOS
Radio	2.4GHz
Data Rate	250Kbyte
Sensor	Temperature, Humidity and Light
Network	Multi-hop and Ad hoc
Interface	USB(UART)
Power	3.0V

표 2. 센서 노드의 에너지 소모량
Table 2. Energy Consumption of Sensor Nodes

에너지 소모 요소	내용
MSP430 명령어 실행 에너지 소모	148 μ J/instruction
MSP430 3V 동작시 에너지 소모	444 μ J/instruction
MSP430 명령어 크기	16 bits
MSP430 1 bit 처리 에너지 소모 (Eprocess)	27.75 μ J/bit
명령어 실행 성능 (8MHz)	8 MIPS
CC2420의 packet 전송(Tx)	17.4 mA
CC2420 Tx 동작 시간	0.005 sec
CC2420 Tx 동작 에너지 소모 (Etx)	0.261 mJ
CC2420의 packet 수신(Rx)	19.7 mA
CC2420 Rx 동작 시간	0.995 sec
CC2420 Rx 동작 에너지 소모 (Erx)	58.8 mJ
Sleep 상태 전류 소모	250 μ A
Sleep 상태 시간	59 sec
Sleep 상태 에너지 소모(Esleep)	44.25 mJ

4.1 RS 코드의 인코딩과 Decoding 에너지

3장에서 RS 코드 사용 시 발생하는 에너지 소모량에 대해 무선 센서 노드가 사용하는 에너지 소모량을 이용하여 계산한다. 5가지의 RS 코드에 대해서 MSP430 내부 타이머를 이용하여 인코딩과 디코딩 시간을 측정하는 방법으로 실행되는 명령어 당 소모되는 에너지를 이용하여 전체 루틴에서 소모되는 에너지를 계산하였다.

Cygwin 환경에서 MSP430-GCC를 이용하여 RS 코드 프로그램을 작성하였다[15]. 계산량을 줄이기 위해서 Galois field를 이용한 패리티는 미리 계산하여 헤더 파일로 구성하였다.

인코딩 루틴에 대한 에너지 소모는 [표3]과 같다.

표 3. 인코딩 에너지 소모
Table 3. Encoding Energy Consumption

RS 코드	타이머값	인코딩 에너지 [mJ]
(15,13)	280	0.124
(31,27)	1195	0.531
(63,57)	3749	1.664
(127,115)	14788	6.566
(255,239)	30210	13.41

디코딩은 각 RS 코드마다 정정할 수 있는 비트수에 따른 에너지 소모를 실험한 결과는 [표4]와 같다.

표 4. 디코딩 에너지 소모
Table 4. Decoding Energy Consumption

RS 코드	정정 비트수	타이머값	디코딩 에너지 [mJ]
(15,13)	0	323	0.143
	1	609	0.270
	정정불가	629	0.279
(31,27)	0	1379	0.612
	1	1891	0.840
	2	2360	1.048
	정정불가	2243	0.996
(63,57)	0	4382	1.946
	1	5331	2.367
	2	6201	2.753
	3	7130	3.166
(127,115)	정정불가	6822	3.029
	0	17554	7.794
	1	19426	8.625
	2	21095	9.366
	3	22813	10.129
	4	24523	10.888
	5	26274	11.666
6	28274	12.554	

	정정불가	25870	11.486
(255,239)	0	35011	15.545
	1	38402	17.050
	2	41388	18.376
	3	44417	19.721
	4	47583	21.127
	5	50742	22.529
	6	53970	23.963
	7	57268	25.427
	8	60375	26.807
	정정불가	56964	25.292

[그림5]는 RS 코드 종류에 따른 인코딩과 디코딩의 에너지 소모를 나타낸다. 각 RS 코드에서 정정 가능한 구간의 에너지 소모는 평균값으로 표시하였다. 정정 가능한 비트가 증가할수록 에너지 소모도 증가한다.

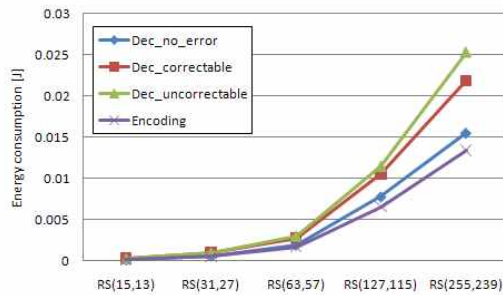


그림 5. 인코딩과 디코딩의 에너지 소모
Fig. 5. Energy Consumption of Encoding and Decoding

식(2), 식(3)을 이용하여 하나의 패킷에 오류가 발생했을 경우 재전송(E_{tot})과 RS 코드(E_{RS})의 에너지 소모는 [그림6]과 같다.

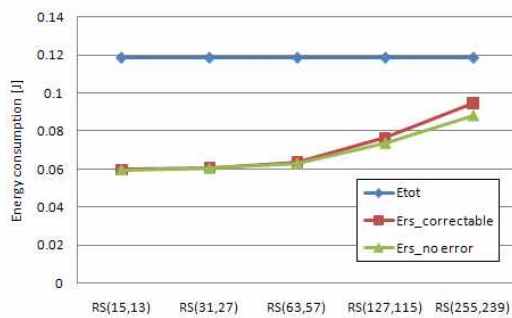


그림 6. 재전송과 RS 코드의 에너지 소모
Fig. 6. Energy Consumption of Retransmit and RS code

4.2 RS 코드 적용을 통한 센서 노드의 수명 예측

본 절에서는 RS 코드를 사용하는 경우 오류 정정을 통해 재전송 회수를 줄이고, 센서 노드의 배터리 수명 예측 실험을 수행한다.

RS 코드의 종류에 따라 전송 데이터의 길이가 달라지기 때문에 데이터의 길이를 256비트(32바이트)로 통일하여 진행하였다.

표 5. 데이터 크기
Table 5. Data size

RS 코드	데이터 크기(bit)	데이터 개수 N (개)
(15,13)	15	17
(31,27)	31	8
(63,57)	63	4
(127,115)	127	2
(255,239)	255	1

1시간 동안 데이터를 보내기 위해 사용하는 전체 에너지는 다음과 같다.

$$W = (E_{TX} + E_{RX} + E_{process} \times bit \times N + E_{Sleep}) / 60 \dots \dots \dots (4)$$

E_{Sleep} 은 마이크로컨트롤러와 무선칩이 sleep 모드로 동작하는 구간의 에너지 소모이다.

1.5V의 알카라인 건전지 2개를 사용할 경우 전체 전류 용량을 이용하여 다음과 같이 센서 노드의 수명을 계산할 수 있다. 1.5V의 알카라인 건전지는 보통 2500mAh의 용량을 갖고 있다.

$$T = (3V \times 2500mAh) / W \dots \dots \dots (5)$$

RS 코드를 적용한 센서 노드의 수명은 [그림7]과 같다.

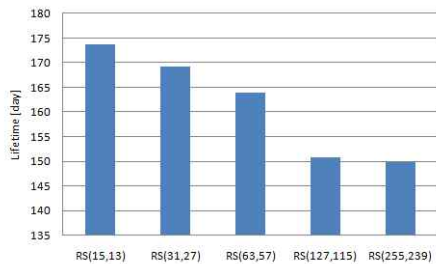


그림 7. 센서 노드의 수명
Fig. 7. Lifetime of Sensor node

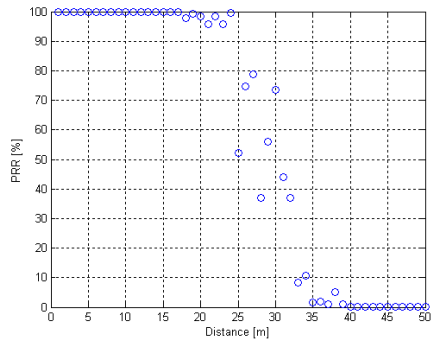
1분에 32바이트를 전송할 경우 RS(15,13)은 173.7일, RS(31,27)은 169.1일, RS(63,57)은 163.9일, RS(127,115)는 150.7일, RS(255,239)는 149.7일의 수명을 예측할 수 있었다.

4.3 RS(255,239) 코드 적용을 통한 연결영역의 향상

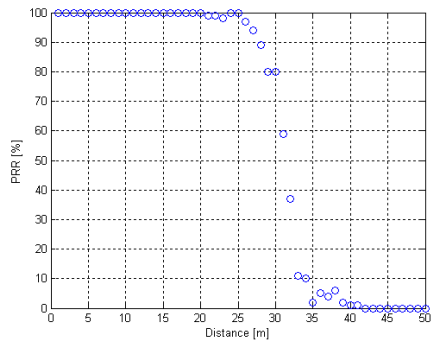
본 절에서는 RS(255,239) 코드를 사용하여 8비트의 오류를 정정한다. RS(255,239) 코드는 전체 크기 255비트를 가지며 데이터 239비트, 패리티 16비트, 최대 정정거리 8비트를 갖는 코드로 프로그램에서 구성하기 쉬운 장점이 있다.

실험은 실내 두 지역에서 신호가 수신되지 않는 거리까지 매 1m 마다 센서 노드의 최대 파워인 1mW(0dBm)로 전송하여 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터를 분석하여 RS(255,239) 코드를 사용할 경우 얻을 수 있는 통신 거리 향상을 분석하였다[16].

RS(255,239) 코드를 적용한 실내 환경의 연결영역 결과는 [그림9]와 같다.



(a) RS 코드 미 적용



(b) RS 코드 적용

그림 9. 실험 결과
Fig. 9. Experimental Results

[그림9]의 결과에서 패킷수신률(PRR)이 90% 이상인 연결영역은 24m에서 27m로 3m 증가하였다. 8비트 이내의 오류가 정정이 되어 연결영역이 늘어난 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 오류 정정 부호의 사용으로 얻는 이득과 손실에 대해 실험을 통해 확인하였다. 무선 센서 네트워크에 오류 정정부호의 한 종류인 RS 코드를 적용한 결과 실내 환경에서 통신이 원활하게 이루어지는 연결영역이 3m 증가함을 확인 할 수 있었다. RS 코드를 사용함으로써 오는 추가적인 에너지 소모량은 패킷의 재전송 횟수와 밀접한 관계를 갖는다. 재전송이 없는 경우 RS 코드를 사용함으로써 에너지를 추가적으로 사용하게 되는 단점이 있지만, 추가적 에너지 사용을 통해 3m의 전송 거리 향상과 패킷수신률의 향상을 얻을 수 있다면 중요한 정보를 요구하는 응용분야에 적용하여 보다 큰 이득을 얻을 수 있다.

향후 오류 정정 부호의 응용은 이동성을 갖춘 무선 센서 노드나 큰 정보량을 갖는 무선 센서 네트워크 응용분야에 활용된다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이고, 다양한 오류 정정 부호 알고리즘을 적용하여 센서 네트워크에 적합한 알고리즘의 검토가 필요하다.

참고문헌

- [1] Akyildiz, I.F., Weilian Su, Sankarasubramanian, Y., Cayirci, E., "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, Issue 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] Tubaishat M., Madria S., "Sensor networks: an overview," *IEEE Potentials*, Vol. 22, Issue 2, pp. 20-23, Apr. 2003.
- [3] Meguerdichian S., Koushanfar F., Potkonjak M., Srivasrava M. B., "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks," *INFOCOM 2001*. Vol. 3, pp. 22-26, 2001.
- [4] P. Lettieri, C. Fragouli and M. Srivastava, "Low power error control for wireless links," *Proceedings of 3rd annual ACM/IEEE Intl. conference on Mobile computing and networking(MOBICOM)*, pp.139-150, 1997.
- [5] Holger Karl, Andreas Willing, "Protocols and architecture for wireless sensor networks," John Wiley & Sons, Ltd., pp. 151-166, 2005.
- [6] F. Stann, J. Heidemann, "RMST : Reliable Data Transport in Sensor Networks," *Proc. 1st IEEE International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications (SNPA)*, pp. 102-112, 2003.
- [7] C. Intanagonwiwat, et al., "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Network," *Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pp. 56-67, 1997.
- [8] S. Mukhopadhyay, D. Panigrahi, and S. Dey, "Data aware, low cost error correction for wireless sensor network," *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 2492-2497, 2004.
- [9] S. Mukhopadhyay, D. Panigrahi, and S. Dey, "Model Based Error Correction for Wireless Sensor Networks," *Proc. Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 575-584, 2004.
- [10] Sukun Kim, R. Fonseca, D. Culler, "Reliable Transfer on Wireless Sensor Networks," *IEEE SECON 2004*, pp. 449-459, Oct. 2004.
- [11] Leilei Song, Keshab K. Parhi, "Low-energy software Reed-Solomon Coders using specialized Finite Field Datapath and Division-free Berlekamp-Massey Algorithm," *ISCAS '99*, Vol. 1, pp. 84-89, May 1999.
- [12] Robert H. Morelos-Zaragoza, "The Art of Error Correcting Coding," Wiley, pp. 39-86, 2006.
- [13] Maxfor homepage, <http://www.maxfor.co.kr>
- [14] Texas Instruments homepage, <http://www.ti.com>
- [15] The Error Correcting Codes (ECC) Page, <http://www.eccpage.com/>
- [16] 정경권, 최우승, "무선 센서 네트워크 채널 분석," *한국 컴퓨터정보학회논문지*, 제 13권, 제 5호, 1-8쪽, 2008년 9월.
- [17] Z Guo, B Wang, P Xie, W Zeng, JH Cui, "Efficient error recovery with network coding in underwater sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Volume 7, Issue 4, pp. 791-802, 2009.

- [18] 장윤식, 박남규, 오충식, 최승권, 이창조, 조용환, “무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 고려한 MP-DD 라우팅 알고리즘,” 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 14권, 제 7호, 97-103쪽, 2009년 7월.
- [19] 김민호, “이동 무선 환경에서의 TCM 및 MTCM의 성능 비교 평가,” 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 5권, 제 4호, 90-95쪽, 2000년 12월.

저 자 소 개



정 경 권

1998년 : 동국대학교 전자공학과
(공학사)
2000년 : 동국대학교 전자공학과
(공학석사)
2003년 : 동국대학교 전자공학과
(공학박사)
2008년-2009년 :
한림대학교 전자공학과전임강사
2009년-현재 :
동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터 연구원
관심분야 : 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 인공지능



최 우 승

1977년 : 동국대학교 전자공학과 졸업
1994년 : 동국대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
1998년-2000년 :
한국컴퓨터정보학회 학회장
2000년-현재 : 한국컴퓨터정보학회 고문
1981년-현재 :
경원대학교 교양대학 교수
관심분야 : 센서네트워크, 유비쿼터스 임베디드 시스템, 영상처리