

저전력 무선 센서 네트워크를 위한 FEC 성능 분석

이민구* · 박용국* · 정경권* · 유준재* · 성하경*

*전자부품연구원

Performance Analysis of FEC for Low Power Wireless Sensor Networks

Min Goo Lee* · Yong Guk Park* · Kyung Kwon Jung* · Jun Jae Yoo* · Ha Gyeong Sung*

*Korea Electronics Technology Institute

E-mail : emingoo@keti.re.kr

요 약

센서 네트워크는 에너지 제한이 있기 때문에 에너지가 효율적인 오류 정정 방법을 사용하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 낮은 전송 전력으로 전송한 데이터를 FEC (Forward Error Correcting) 코드를 적용하는 방식을 제안한다. RS (Reed-Solomon) 코드는 FEC 방법 중의 하나로 블록 코드를 사용한다. RS 코드는 데이터에 추가한 리던던시로 동작한다. 인코딩 데이터는 저장되거나 전송될 수 있다. 오류가 발생했을 때 인코딩 된 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. 1분마다 32바이트를 전송할 경우 RS(15,13)은 138일, RS(31,27)은 132일, RS(63,57)은 126일, RS(127,115)는 111일, RS(255,239)는 103일의 수명을 예측할 수 있었다.

ABSTRACT

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 FEC (Forward Error Correcting) codes in terms of their power consumption. One method of FEC is RS (Reed-Solomon) coding, which uses block codes. 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. 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 138, 132, 126, 111, and 103 respectively.

키워드

Wireless sensor network, RS code, Error control code, Energy consumption, Lifetime estimation

1. 서론

무선 센서 네트워크는 내장된 배터리만으로 동작하는 저전력 기반의 기기이기 때문에 하드웨어 구성과 운영체제 모두 에너지 소모량을 고려하여 설계되어야 한다. 네트워크를 구성하기 위한 무선 통신은 900MHz 또는 2.4GHz의 ISM(Industrial, Science and Medical)대역을 사용하며 최대 전송 파워 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[1-3].

본 논문에서는 저전력 무선통신을 이용하는 무선 센서 네트워크의 실내 무선 채널 환경에서 데이터를 수집하여 오류발생확률을 비교 분석하고 오류정정부호(Error Control Code)를 사용하였을 때 얻을 수 있는 오류 발생확률의 감소와 오류정정부호를 사용함에 따라 추가적으로 발생하는 마이크로컨트롤러의 계산량으로 인한 에너지 소모량을 분석한다. 분석한 결과를 통해 센서 노드의 수명을 예측하고, 오류정정 없이 단순 재전송(ARQ, Automatic Repeat Request) 할 경우와 비교한다.

II. FEC 코드

선형 블록 코드의 한 종류인 RS코드는 최대 정정 길이내의 연속된 오류에 강인한 특성을 갖는 오류정정 알고리즘으로 낮은 전송과위로 인해 발생하는 오류패턴의 정정에 적합하다. 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[4-5].

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 추가되어 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 오류를 줄일 수 있고 재전송으로 발생하는 전송에너지를 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 오류 감소를 통해 전송거리를 향상 시킬 수 있다.

무선 센서 네트워크에서 1개의 패킷을 전송하기 위한 전력소모량은 다음 식(1)로 표현될 수 있다.

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

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.

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

재전송이 발생할 경우 마이크로컨트롤러에서의 다른 처리 없이 RF 칩에서 송신과 수신만을 반복하게 되므로 식(2)와 같이 송수신시 필요한 에너지가 추가되게 된다.

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

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

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 그림 1과 같은 오류 패턴을 갖는다.

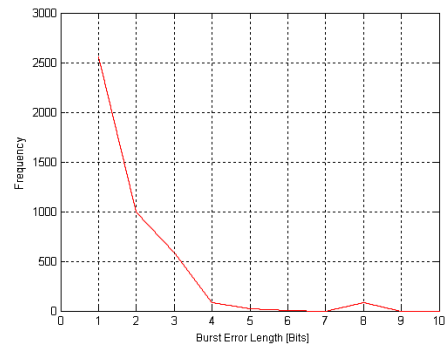


그림 1. 수신 패킷의 burst error

그림 1에서와 같이 대부분의 오류는 8비트 이하의 연속오류(burst error)를 가지며 이를 바탕으로 RS 코드의 효과적인 코드 size를 결정할 수 있다.

본 논문에서는 그림 2와 같은 RS 코드의 종류에 대해서 에너지 소모를 분석한다.

RS(15,13)	13 symbols	2 symbols
RS(31,27)	27 symbols	4 symbols
RS(63,57)	57 symbols	6 symbols
RS(127,115)	115 symbols	8 symbols
RS(255,239)	239 symbols	16 symbols

그림 2. RS 코드 구성

III. 실험 및 검토

무선 센서 노드로 그림 3과 같은 Knote를 사용하였다. 무선 센서 노드는 TI (Texas Instruments)사의 MSP430 프로세서를 사용하며, 무선 통신 칩은 TI사의 CC2420으로 2.4GHz 대역을 사용한다. MSP430은 각 명령어를 1 클럭에 처

리할 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. 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 에너지 소모 요소는 표 1과 같다[6-7].



그림 3. 센서 노드

표 1. 센서 노드의 에너지 소모량

에너지 소모 요소	내용
MSP430 명령어 실행 에너지 소모	148 pJ/V/instruction
MSP430 3V 동작시 에너지 소모	444 pJ/instruction
MSP430 명령어 크기	16 bits
MSP430 1 bit 처리 에너지 소모 (Eprocess)	27.75 pJ/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 uA
Sleep 상태 시간	59 sec
Sleep 상태 에너지 소모 (Esleep)	44.25 mJ

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[8]. 계산량을 줄이기 위해서 Galois field를 이용한 패리티는 미리 계산하여 헤더 파일로 구성하였다.

인코딩 루틴에 대한 에너지 소모는 표 2와 같다.

표 2. 인코딩 에너지 소모

RS 코드	타이머값	인코딩 에너지 [mJ]
(15,13)	273	0.121
(31,27)	1126	0.500
(63,57)	3582	1.590
(127,115)	14302	6.350
(255,239)	38863	17.255

디코딩은 각 RS 코드마다 정정할 수 있는 비트수에 따른 에너지 소모를 실험한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 디코딩 에너지 소모

RS 코드	정정 비트수	타이머값	디코딩 에너지 [mJ]
(15,13)	0	349	0.000155
	1	571	0.000254
	정정불가	544	0.000242
(31,27)	0	1381	0.000613
	1	1799	0.000799
	2	2180	0.000968
	정정불가	2021	0.000897
(63,57)	0	4164	0.001849
	1	5044	0.00224
	2	5687	0.002525
	3	6419	0.00285
정정불가	6114	0.002715	
(127,115)	0	16687	0.007409
	1	18298	0.008124
	2	19664	0.008731
	3	21096	0.009367
	4	22532	0.010004
	5	23920	0.01062
	6	25081	0.011136
정정불가	24065	0.010685	
(255,239)	0	43787	0.019441
	1	46808	0.020783
	2	49399	0.021933
	3	52123	0.023143
	4	54874	0.024364
	5	57611	0.025579
	6	60403	0.026819
	7	63183	0.028053
	8	65979	0.029295
정정불가	64302	0.02855	

각 RS 코드에서 정정 가능한 구간의 에너지 소모는 평균값으로 표시하였다. 정정 가능한 비트가 증가할수록 에너지 소모도 증가한다.

RS 코드를 사용하는 경우 오류 정정을 통해하여 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 4. 데이터 크기

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

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

$$W = (E_{TX} + E_{RX} + (E_{enc} + E_{dec}) \times N + E_{sleep}) / 60 \tag{4}$$

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 2000mAh의 용량을 갖고 있다.

$$T = (3V \times 2000mAh) / W \tag{5}$$

RS 코드를 적용한 센서 노드의 수명은 그림 4와 같다.

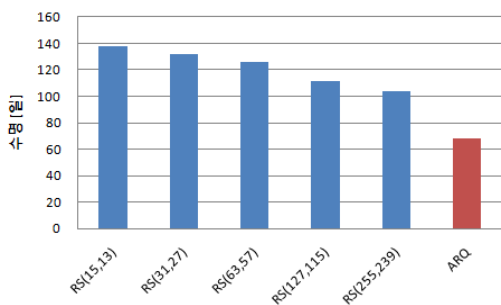


그림 4. 센서 노드의 수명

1분에 32바이트를 전송할 경우 RS(15,13)은 138일, RS(31,27)은 132일, RS(63,57)은 126일, RS(127,115)는 111일, RS(255,239)는 103일의 수명

을 예측할 수 있었다. RS 코드를 사용하지 않고 1번의 재전송(ARQ)이 발생한다면 센서 노드의 수명은 68일로 예측할 수 있다.

RS 코드를 사용한 경우가 평균 122일로 재전송의 경우보다 약 79.6%의 수명을 연장할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 오류 정정 부호의 사용으로 얻는 이득과 손실에 대해 실험을 통해 확인하였다. 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, 패킷수신률의 향상을 얻을 수 있고, 센서 노드의 사용 수명을 약 79.6% 증가시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] Akyildiz, I.F., Weilian Su, Sankarasubramaniam, 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] Leilei Song, Keshab K. Parhi, "Low-energy software Reed-Solomon Codes using specialized Finite Field Datapath and Division-free Berlekamp-Massey Algorithm," ISCAS '99, Vol. 1, pp.84~89, May 1999.
- [5] Robert H. Morelos-Zaragoza, "The Art of Error Correcting Coding," Wiley, pp.39~86, 2006.
- [6] Intech, <http://www.tinyosmall.co.kr>
- [7] Texas Instruments, <http://www.ti.com>
- [8] The Error Correcting Codes (ECC) Page, <http://www.eccpage.com/>