

컨벌루션 채널코딩 기능의 센서노드 구현[†]

(Implementation of a Sensor Node with Convolutional Channel Coding Capability)

진영석, 문병현*

(Young Suk Jin and Byung Hyun Moon)

요약 무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 주변 환경을 감시하고 데이터를 수집하는 용도로 사용되고 있다. 여러 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 분야에 핵심 기술로 주목 받고 있다. 센서 노드는 수집된 정보를 처리하기 위한 MCU와 작은 용량의 메모리를 가지고 있다. 배터리로 동작하는 센서 노드는 한번 배치되면 추가적인 에너지 공급이 불가능하기 때문에 전원 관리 능력이 반드시 필요하다. 또한 ISM 밴드 대역의 주파수를 사용하고 다수의 센서 노드들이 배치된 장소에서 동작하여야 하기 때문에 같은 센서 노드와 같은 대역을 사용하는 이중 기기간의 전파 간섭이 발생하는 열악한 통신환경에서 가지고 있다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 오류 제어 기법으로 사용되는 ARQ 기법의 문제점인 오류가 발생했을 시 재전송으로 인한 추가적인 에너지 소비를 줄이기 위해 오류정정기법인 컨벌루션 부호의 적용을 제안하였다. 제안된 컨벌루션 부호를 센서 네트워크 OS를 통하여 센서 노드에 적용하여 전송전력 -19.2dbm과 -25dbm 에서 거리를 10m, 15m, 20m로 두고 BER을 측정하였다. 측정된 BER을 통해 패킷손실률과 평균 재전송 횟수를 계산하여 컨벌루션 부호를 적용하였을 때 그 성능을 분석하였다. 실험결과 -19.2dbm에서는 9~12%의 평균 재전송 횟수 이득을 -25dbm에서는 12%~19%의 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다.

핵심주제어 : DIO가공시스템, 유전자 알고리즘¹⁾

Abstract Sensor nodes are used for monitoring and collecting the environmental data via wireless sensor network. The wireless sensor network with various sensor nodes draws attention as a key technology in ubiquitous computing. Sensor nodes has very small memory capacity and limited power resource. Thus, it is essential to have energy efficient strategy for the sensor nodes. Since the sensor nodes are operating on the same frequency bands with ISM frequency bands, the interference by the devices operating on the ISM band degrades the quality of communication integrity.

In this paper, the convolutional code is proposed instead of ARQ for the error control for the sensor network. The proposed convolutional code was implemented and the BER performance is measured. For the fixed transmitting powers of -19.2 dBm and -25dBm, the BER with various communication distances are measured. The packet loss rate and the retransmission rate are calculated from the measured BER. It is shown that the proposed method obtained about 9~12% and 12~19% reduction in retransmission rate for -19.2 dBm and -25 dBm respectively

Key Words : Convolutional coding, Wireless sensor node

[†] 이 논문은 2012학년도 대구대학교 학술 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* 대구대학교 정보통신공학부, 교신저자 (bhmoon@daegu.ac.kr)

1. 서론

무선 센서 네트워크 기술은 필요한 장소에 각종 센서를 장착한 센서노드를 통하여 주변의 환경정보(온도, 습도, 조도 등) 및 위치정보를 수집하기 위하여 개발되었다. 센서 네트워크 시스템에서 필요한 장소에 한번 배치되어진 센서노드는 추가적인 전원공급이 불가하기 때문에 배터리 자원에 대한 효율적인 전원관리가 필수적으로 요구되어진다. 센서 노드의 동작에 따른 에너지 소모량을 비교해 보면 데이터의 송·수신시에 가장 많은 에너지를 소비한다. 그러나 무선 센서 네트워크의 표준으로 사용하고 있는 IEEE 802.15.4의 오류제어기법은 CRC(Cyclic Redundancy Check)를 이용한 ARQ(Automatic Repeat reQuest)기법을 사용하고 있다.[1] ARQ기법은 CRC를 통해 오류가 발생할 경우 오류가 없는 데이터를 수신할 때까지 데이터를 재전송해야 하므로 데이터의 재전송으로 인하여 추가적인 에너지 소비가 발생한다.

본 논문에서는 센서노드에 ARQ기법을 대신하여 오류정정부호인 컨벌루션 부호를 센서네트워크 OS 플랫폼을 이용하여 구현하였다. 여러 센서네트워크 OS 중 본 논문에서는 경북 유비쿼터스 신기술 연구센터(UTRC)에서 개발한 SenWeaver OS 플랫폼을 사용하였다. SenWeaver OS를 사용하여 구현한 컨벌루션 부호의 성능을 분석하기 위하여 BER(Bit Error Rate) 성능을 측정하고 측정된 BER성능을 바탕으로 패킷손실률 및 하나의 패킷을 오류가 없이 수신할 때까지의 평균 전송 횟수를 분석하였다. 본 논문의 구성은 2장에서는 본 논문에서 사용된 컨벌루션부호기 및 비터비 복호기에 대하여 설명하고 3장에서는 센서노드에서 컨벌루션 부호기를 사용할 경우에 데이터 전송 시 오류확률과 패킷 전송률에 대한 실험 및 성능분석에 대하여 설명하였다. 마지막으로 4장에서는 결론을 설명하였다.

2. 컨벌루션부호 및 비터비 복호기

오류 정정 부호는 블록 부호(Block Codes)와 컨벌루션 부호(Convolution Codes)로 나누어 지며, 두 부호를 나누는 기준은 기억의 존재 유·무에 있다. 1955년 Elias에 의해 처음 소개된 컨벌루션 부호는 랜덤

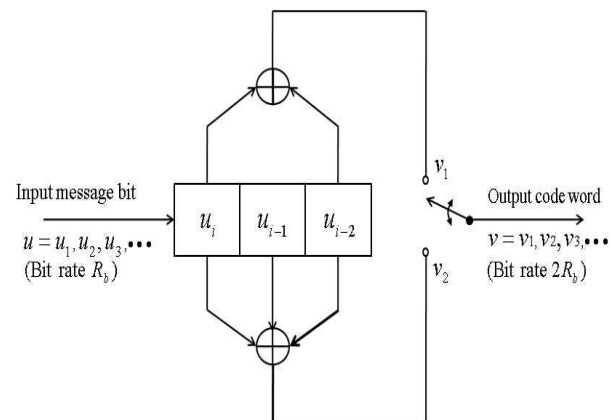
오류에 강한 특성을 보이며 이동 통신 분야에 널리 사용되고 있으며, 가장 응용범위가 넓은 오류 정정 부호이다.[2]

2.1. 컨벌루션 부호기

(n,k) 컨벌루션 부호기는 m개의 메모리와 k개의 입력, n개의 출력을 갖는 선형 시퀀셜 회로(Linear sequential circuit)로 정의된다. 본 논문에서는 n=2, k=1 즉, 부호율이 1/2인 컨벌루션 부호기를 사용하였다. 그림 1은 컨벌루션 부호기의 블록도이다. 그림 1에서 현재의 입력 1비트가 이전의 입력과 modulo-2연산을 통하여 2비트의 출력으로 나오게 된다. 이와 같은 부호화 동작은 다음과 같은 생성다항식으로 표현된다.

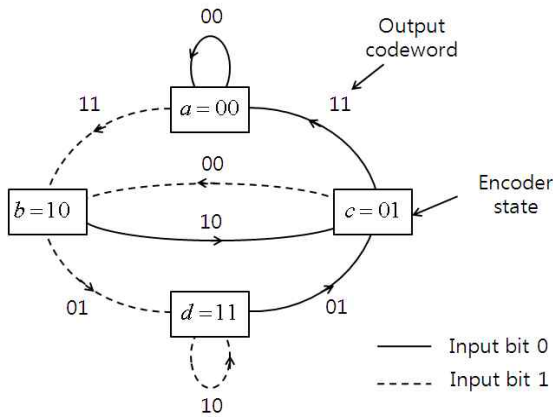
$$g^{(1)} = X^2 + 1 \quad (1)$$

$$g^{(2)} = X^2 + X + 1 \quad (2)$$



<Fig. 1> (2,1) Convolution Encoder

그림 1은 식 (1)과 (2)와 같은 생성다항식을 가지는 컨벌루션 부호기를 나타내었다. 그림 2는 그림 1과 같은 컨벌루션 부호기의 상태도를 나타내었다.



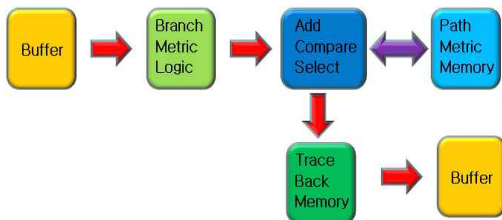
<Fig. 2> State Diagram of Fig. 1 Encoder

2.2. 비터비 복호기

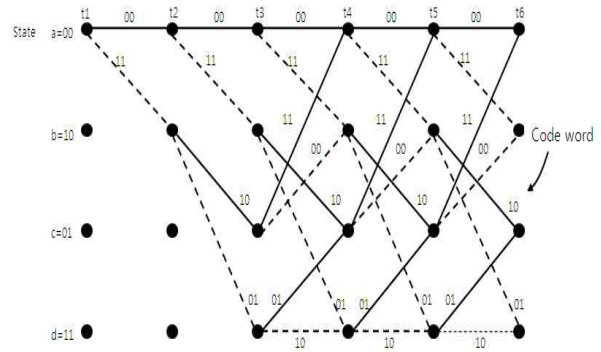
비터비 복호기는 입력값에 대한 가장 유사한 복호 시퀀스를 찾아내는 것이다. 확률값의 누적치인 상태값을 발생 가능한 모든 경로에 대해 계산하고 두 개의 경로가 만났을 때 큰 경로 값을 갖는 경로를 선택한다.

복호 과정으로는 BML(Branch metric logic)에서 수신되는 부호어 값과 각 상태 천이에 따른 부호어 값의 거리를 계산하는 과정이고 ACS(Add-compare-select)에서는 가지값과 누적된 상태값을 이용하여 상태값을 갱신하여 PMM(Path metric memory)로 보내는 과정이다. path metric은 현 상태에 이르는 전 경로의 누적치이다. TraceBack은 ACS에서 결정된 생존 경로에 대한 정보를 메모리에 저장하고, 최소 상태를 시작 주소로 역추적을 하여 원래 입력 정보와 같을 확률이 높은 값을 복호하는 과정이다.[2-5]

그림 3과 4는 비터비 복호기 블록도와 그림 1에서 나타난 컨벌루션부호기의 트렐리스 다이어그램을 나타내었다. 그림 4에서 실선은 입력이 0인 경우를 나타내고 점선의 경우는 입력이 1인 경우를 나타내었다.



<Fig. 3> Viterbi Decoder Block Diagram



<Fig. 4> Trellis Diagram of Fig. 1 Encoder

3. 실험 및 성능분석

본 논문에서 제안한 컨벌루션 부호를 UTRC의 SenWeaver OS를 활용하여 그림 5의 ATmega128기반의 센서노드에 구현하였다. 사용된 센서노드의 프로세서는 Atmel사의 ATmega128을 RF칩으로는 2.4GHz 대역을 사용하는 TI사의 CC2420을 안테나는 삼우전자의 Multilayer 칩안테나인 SWBBL1로 구성되어있다. 센서노드의 상세한 스펙은 표 1에 나타내었다.



<Fig. 5> Picture of Sensor Node

<Table 1> Specification of a Sensor Node

	모델명	사양
MCU	ATmega128L	8bit 128KByte Flash, 4KByte SRAM
외부램	CS18LV02563	32KByte
RF Chip	CC2420	2.4Ghz, IEEE 802.15.4/ZigBee-ready RF Transceiver
ANT	SWBBL1	Multilayer chip antenna 2400 ~ 2485 Mhz, BW : 100Mhz
전원	USB를 통한 전원 공급 또는 AA Size 건전지 2개 사용	

실험 장소는 그림 6에서 보는 바와 같이 대구대학교 공과대학 복도 환경에서 진행되었다. 성능측정을 위해 센서노드에 부착된 RF모듈인 CC2420의 여러 채널 중 16번 채널인 2.43GHz의 주파수를 사용하였다. 또한 실험환경 내부의 잡음의 전력을 조정할 수 없는 관계로 CC2420의 전송전력을 -25dbm, -19.2dbm, -15dbm, -10dbm, -7dbm으로 변화시키고, 송·수신기 간의 거리는 10m로 두고 측정되었다. 전송 패킷은 'WirelessComm'의 12바이트를 15000번 전송하여 성능을 측정하였다. 표 2는 측정된 BER성능을 나타낸 것이다.



<Fig. 6> Location of Sensor Nodes for Measurement

<Table 2> BER performance

TX Power	Uncoded case	Coded case
-7dbm	2.15278×10^{-5}	0
-10dbm	2.43056×10^{-5}	6.25000×10^{-6}
-15dbm	1.23611×10^{-4}	4.30556×10^{-5}
-19.2dbm	1.26181×10^{-3}	1.77083×10^{-4}
-25dbm	3.31458×10^{-3}	1.97153×10^{-3}

측정한 BER성능을 보면 비트오류확률이 개선됨을 확인할 수 있다. BER성능을 바탕으로 패킷손실률을 계산하여 패킷손실률을 바탕으로 하나의 패킷을 오류 없이 수신하기 위한 평균전송횟수를 계산하였다. 먼저 패킷을 구성하는 비트의 수가 L 비트일 때 L 비트 중 하나이상의 비트에서 오류가 발생할 확률을 패킷손실률 P_{ep} 라고 정의하면 패킷손실률은 BER을 바탕으로 식 (3)을 이용하여 계산할 수 있다.[6]

$$P_{ep} = 1 - (1 - BER)^L \quad (3)$$

표 3은 10m거리에서 측정된 BER성능을 식 (3)에 대입시켜 패킷손실률을 계산한 결과이다.

<Table 3> PER performance

TX Power	Uncoded case	Coded case
-7dbm	2.06455×10^{-3}	0
-10dbm	2.33064×10^{-3}	5.99822×10^{-4}
-15dbm	1.17973×10^{-2}	4.12489×10^{-3}
-19.2dbm	1.14152×10^{-1}	1.68578×10^{-2}
-25dbm	2.72927×10^{-1}	1.72589×10^{-1}

식 (4)를 이용해서 패킷손실률 P_{ep} 을 토대로 하나의 패킷을 오류 없이 성공적으로 수신할 수 있는 평균 전송횟수 R 을 구할 수 있다.

$$R = (1 - P_{ep}) \sum_{k=0}^{\infty} (k+1) P_{ep}^k = \frac{1}{1 - P_{ep}} \quad (4)$$

식 (4)를 이용하여 컨벌루션 부호를 적용하지 않았을 경우와 적용했을 경우의 평균 전송 횟수를 구할

수 있다. 또 한, 식 (5)를 사용하여 평균 전송 횟수를 줄임으로써 얼마의 평균 전송 횟수 이득 R_{gain} 을 얻을 수 있는지를 구하였다.

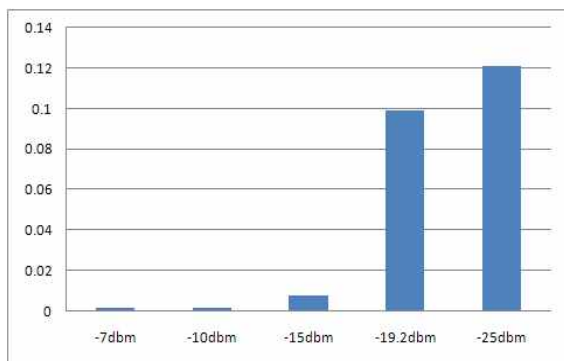
$$R_{gain} = 1 - \frac{R_{coded}}{R_{uncoded}} \quad (5)$$

식 (5)에서 R_{coded} 은 컨벌루션 부호를 적용하였을 경우의 평균 전송 횟수 이득이고 $R_{uncoded}$ 는 컨벌루션 부호를 적용하지 않았을 경우 평균 전송 횟수 이득이다. 이를 바탕으로 표 4에 그 결과 값을 나타내었다.

<Table 4 > The mean number of transmission and gain

TX Power	Uncoded case	Coded case	R_{gain}
-7dbm	1.00207	1	0.0021
-10dbm	1.00234	1.00060	0.0017
-15dbm	1.01194	1.00414	0.0077
-19.2dbm	1.12886	1.01715	0.0990
-25dbm	1.37538	1.20859	0.1213

표 4에서 전송 전력에 따른 평균 전송횟수가 컨벌루션 부호를 적용하였을 경우 -7dbm, -10dbm, -15dbm의 전송 전력을 사용하였을 경우에는 약 0.2% ~ 0.7%로 많은 이득을 보지 못했지만 -19.2dbm, -25dbm의 전송 전력에서는 약 9% ~ 12%의 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 그림 7은 표4의 평균 전송 횟수 이득을 그래프로 나타낸 것이다.



<Fig. 7> Mean number of transmission gain

4. 결론

센서 네트워크 시스템에서 센서 노드는 제한된 배터리 자원을 가지고 송·수신시 가장 많은 에너지를 소비하는 특징을 가지고 있다. 기존의 센서 노드는 오류가 발생했을 시 데이터를 재전송하는 ARQ 기법을 사용하여 추가적인 에너지 소모가 발생하였다.

이에 본 논문에서는 기존 센서 노드의 ARQ 기법을 대신하여 오류 정정 기법중의 하나인 컨벌루션 부호를 구현하고 구현된 센서노드를 가지고 BER 성능을 측정하여 평균 재전송 횟수 이득을 분석하였다. 분석한 결과 통신이 원활한 환경에서는 큰 이득을 보지 못했지만 통신이 원활하지 않은 환경에서는 최대 12% 정도의 이득을 볼 수 있음을 확인하였다. 이를 바탕으로 통신이 원활하지 않은 환경에서는 ARQ기법 보다 오류 정정 기법중의 하나인 컨벌루션 부호를 사용함으로써 송·수신시 가장 많은 에너지를 소모하는 센서 노드에서 재전송의 횟수를 줄임으로써 제한된 배터리로 좀 더 장시간 센서 네트워크 시스템을 운용할 수 있다.

References

- [1] IEEE Standard for Information technology (2005), Telecommunication and information exchange between system - Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN).
- [2] J. Massey, *Coding and Modulation in Digital Communications*, Proceedings of the International Zurich Seminar on Digital Communications, 1984.
- [3] S. Haykin, *Communications Systems*, 4th edition, John Wiley and Sons, 2001.
- [4] B. Sklar, *Digital Communications: fundamentals and applications*, 2nd edition, Prentice Hall, 2001..
- [5] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4th edition, McGraw Hill, 2001.
- [6] P. Lettieri, C. Fragouli & M. Srivastava (1997),

"Low power error control for wireless links", in Proceedings of 3rd annual ACM/IEEE Intl. conference on Mobile computing and networking (MOBICOM).



진 영 석 (Young Suk Jin)

- 2010년 3월 : 대구대학교 통신공학전공 (공학사)
- 2012년 3월 : 대구대학교 대학원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2012년 월~현재 : DGIST연구원



문 병 현 (Byung Hyun Moon)

- 정회원
- 1985년 6월 : Southern of Illinois University 전자공학과 (공학사)
- 1987년 6월 : University of Illinois(Urbara-Campaign) 전자공학과 (공학석사)
- 1990년 12월 : Southern Methodist University 전자공학과 (공학박사)
- 1991년 9월~현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수
- 관심분야 : 통신이론, 무선통신

논문 접수일 : 2013년 09월 23일

1차수정완료일 : 2013년 11월 29일

2차수정완료일 : 2014년 01월 25일

게재확정일 : 2014년 02월 17일