

논문 2007-44TC-6-1

# 저전력 무선 센서네트워크를 위한 비터비 알고리즘의 적용 및 분석

## ( Analysis of Viterbi Algorithm for Low-power Wireless Sensor Network )

박 우 준\*, 김 건 옥\*

( Woojun Park and Keonwook Kim )

## 요 약

한정된 배터리 전원을 사용하는 무선 센서 네트워크에서 노드의 수명유지를 위해 전력 소모량은 매우 중요한 문제이다. 전력소모를 줄이기 위해 저전력 RF 통신을 사용함으로써 무선 센서 네트워크의 에러 발생률이 증가하게 된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 오류 정정 부호 사용과 그에 따른 전력 소모량을 분석하였다. 오류 정정 부호는 변·복조 과정에서 소모되는 전력 소모가 있지만, 부호화 이득을 통해 전송 에너지를 절약할 수 있다. 센서 노드의 특성상 전송 에너지는 프로세서의 계산에 소모되는 에너지보다 큰 비중을 차지하고 있다. 본 논문에서는 낮은 전송 전력으로 전송한 데이터를 짧은 구축장의 Viterbi 알고리즘을 적용하여 오류 정정을 할 경우 단순한 ARQ(Auto Repeat Request) 방식을 사용할 경우보다 최대 20%의 재전송 횟수의 감소와 18%의 전력 소모의 감소를 분석하였다.

## Abstract

In wireless sensor network which uses limited battery, power consumption is very important factor for the survivability of the system. By using low-power communication to reduce power consumption, error rate is increased in typical conditions. This paper analyzes power consumption of specific error control coding (ECC) implementations. With identical link quality, ECC provides coding gain which save the power for transmission at the cost of computing power. In sensor node, transmit power is higher than computing power of Micro Controller Unit (MCU). In this paper, Viterbi algorithm is applied to the low-transmit-power sensor networks in terms of network power consumption. Practically, Viterbi algorithm presents 20% of reduction of re-transmission in compared with Auto Repeat Request (ARQ) system. Furthermore, it is observed that network power consumption is decreased by almost 18%.

**Keywords:** Viterbi Algorithm, Wireless sensor network, Error control code, Power consumption

## I. 서 론

무선 통신 기술의 발전으로 소형의 단거리 통신이 가능한 저비용, 저전력, 다기능 센서 노드가 널리 개발되고 있으며, 그에 대한 관심도 높아지고 있다. 센서 노드는 주변 환경 감시하고 데이터를 수집하는 용도로 사용

되고 있으며, 다수의 센서 노드들로 구성되는 센서 네트워크는 스마트 홈이나 유비쿼터스 컴퓨팅 분야에서 인간과 주변 사물을 연결시켜줄 핵심 기술로 주목받고 있다.

이와 같은 다양한 환경에서 센서 노드들은 통신 채널에 의한 오류, 하드웨어 잡음에 의한 오류, 센서 수신에 의해 발생할 수 있는 오류 등에 노출되어 있으며, 이러한 오류들에 대해서 신뢰할 수 있는 데이터를 수집하는 것은 무선 통신에서의 가장 중요한 목표 중 하나이다. 더욱이, 초기 설치 이후의 추가적인 관리를 최소화 해

정희원, 동국대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Dongguk University)  
접수일자: 2006년12월7일, 수정완료일: 2007년3월6일

야만 하는 센서 네트워크 분야에서는 더욱 중요한 문제일 수밖에 없다.

신뢰할 수 있는 데이터를 얻기 위해서 사용되는 연결 계층(Link Layer)에서의 Error Control 방식은 ARQ (Auto Repeat Request) 방식과 FEC(Foward Error Correction) 방식으로 분류된다. FEC 방식은 별도의 잉여 비트를 전송해야 하고, 부호를 생성하기 위한 계산 과정에서 소모되는 전력이 필요하지만, 채널 특성에 의해 발생할 수 있는 패킷 손실을 감소시킬 수 있다. 반면에 ARQ 방식은 별도의 인코딩 과정이 필요 없는 장점을 가지고 있지만, 전송이 실패했을 경우, 전체 패킷을 재전송해야 한다. BER(Bit Error Rate)이 증가하여 연속적인 패킷 전송이 실패할 수 있는 경우와 패킷 사이즈가 늘어날 경우에는 ARQ 방식보다 FEC 방식이 파워 소모 측면에서 더욱 효과적일 수 있다.<sup>[4]</sup> 따라서 낮은 복잡도를 갖는 단순한 방식의 FEC는 센서 네트워크의 신뢰성 측면과 에너지 측면에서 바람직한 답안을 제시할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 실제 센서 노드를 이용하여 패킷을 전송하고, 수집한 데이터를 바탕으로 비터비 알고리즘을 적용하였을 때 재전송에 소모되는 전력의 감소와 센서 노드의 MCU(Micro Controller Unit)에서 알고리즘 연산을 위해 소모되는 전력간의 상관관계에 대해 분석한다. 데이터를 해석적으로 분석한 결과 평균 재전송 횟수와 재전송에 소모되는 전력에 대해서 이득을 관찰하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장과 III장에서는 관련 연구와 실험을 위해 사용된 비터비 알고리즘에 대한 전반적인 설명을 하고, IV장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 소개한다. V장에서는 실제 센서 네트워크를 통해 실행한 실험에 대한 분석을 하며, VI장에서는 결론과 향후 과제를 기술한다.

## II. 관련 연구

전송 에러로 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 에러 정정에 관한 연구 중에서도 낮은 전력 소모의 에러 정정에 관한 연구는 무선 랜 분야에서 다양하게 진행되어왔다. 그 중

는 채널 환경을 분석, ARQ와 FEC를 유동적으로 선택함으로써 데이터의 신뢰성과 전력 효율을 높이기 위한 연구가 진행되었다.<sup>[4]</sup> 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 에러 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<sup>[10]</sup>. 그 중에는 통신이 실패할 경우 전송 계층에서 신뢰성을 높일 수 있는 연구<sup>[7]</sup>, 각 노드의 전송 실패를 능동적으로 극복할 수 있는 애드-혹(Ad-hoc) 라우팅 기법을 활용한 연구<sup>[8]</sup>등이 활발하게 진행되었다. 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.<sup>[5][6]</sup> 하지만, 노드의 위치가 변동할 경우 새로운 위치의 오류 패턴을 측정하기 위한 추가 시간이 소모되는 단점을 갖고 있다. 이동성이 높은 센서 노드에 있어서 다양한 장소에 대한 유연성은 커다란 단점으로 작용할 수 있다.

본 논문에서는 이동통신 분야에서 다양하게 활용되고 있는 비터비 알고리즘을 실제 노드간의 통신에서 적용하여 에너지 소모 측면과 성능 향상 측면에서 이를 분석한다.

## III. 컨볼루션 부호기 및 비터비 복호기

오류 정정 부호는 메모리의 유무에 따라, 블록 부호(Block Code)와 컨볼루션 부호(Convolution Code)로 대별된다. 대수적인 연산을 통해 부호 복호를 하는 블록 부호는 군집 오류에 강인한 특성을 갖고 있으며, 트렐리스도의 최단 경로를 구하여 복호하는 비터비 알고리즘은 랜덤 오류에 강인한 특성을 갖고 있다<sup>[1]</sup>.

### 1. 컨볼루션 부호기 (Convolution encoder)

본 논문에서 사용한 (2,1,2) 컨볼루션 부호기는 1비트의 입력비트  $X$ 로부터 2비트의 블록으로 이루어진 출력  $Y$ 로 부호화 한다. 부호화 과정을 살펴보면, 입력비트  $X$ 는 2개의 레지스터에 저장돼있던 값과 modulo-2 연산

을 통해 각각  $Y_1$ 과  $Y_2$ 로 출력되며,  $Y_1$ 과  $Y_2$ 는 스위치를 통해 순차적으로 출력되어 2비트의 출력비트인  $Y$ 값으로 부호화된다. 한 번의 부호화 과정을 거친 후에 입력 비트  $X$ 의 값은 첫 번째 레지스터에 저장되며, 기존의 첫 번째 레지스터에 저장돼있던 값은 두 번째 레지스터로 이동한다. 이와 같은 부호화 동작은 다음과 같은 다항식에 의해 정의된다.

$$g_{(1)}(D) = D^2 + 1 \tag{1}$$

$$g_{(2)}(D) = D^2 + D + 1$$

그림 1과 같이 각 다항식은 입력 비트로부터 각 출력 비트의 생성에 대한 표현이며, 연산자  $D$ 는 single frame delay를 의미하고,  $+$  연산은 modulo-2 연산을 의미한다. 4-state 트렐리스 다이어그램의 한 예를 그림 2가 표현하고 있다.

콘볼루션 부호기를 구성하는 파라미터들은 다음과 같다.

(1) 입력 프레임 (Input frame)

:  $k_0$ , 한 번에 부호기로 입력되는 비트 수.

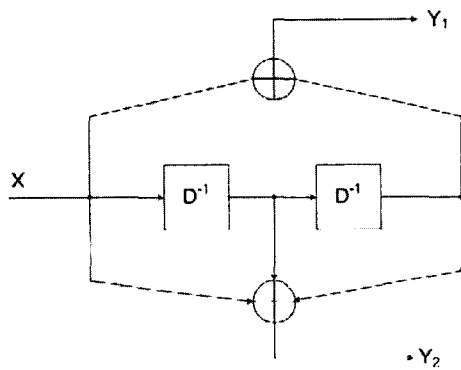


그림 1. (2,1,2) 콘볼루션 부호기  
Fig. 1. (2,1,2) Convolution encoder.

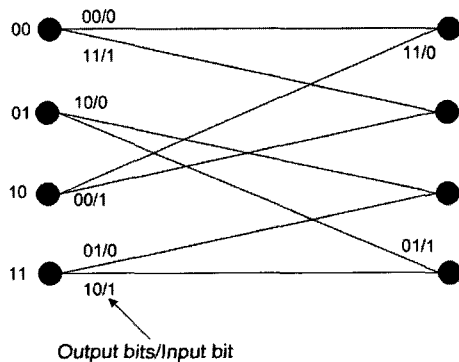


그림 2. (2,1,2) 4-state 트렐리스 다이어그램  
Fig. 2. (2,1,2) 4-state trellis diagram.

(2) 출력 프레임 (Output frame)

:  $n_0$ , 한 번에 부호기로부터 출력되는 비트 수.

(3) 메모리 차수 (Memory order)

:  $m$ , 출력 비트가 출력되기 위해 통과하게 되는 최대 메모리 개수.

(4) 입력 구속장 (Input constraint length)

:  $K, m+k_0$ , 입력 비트 수와 메모리 개수의 합.

2. 비터비 복호기 (Viterbi decoder)

비터비 복호기의 기본적인 복호 방식은 채널을 통과한 수신된 시퀀스와 발생 가능한 모든 시퀀스를 비교하여 가장 비슷한 (Maximum Likelihood) 시퀀스를 찾아내는 것이다<sup>[2][3]</sup>. 수신된 부호의 유사성을 비교하는 방법으로는 해밍 디스턴스(Hamming distance)와 유클리디언 디스턴스(Euclidean distance) 연산을 통해 시퀀스 간의 거리를 계산하여 각각의 상태에 해당하는 생존 경로(survivor path)를 결정한다. 유사성을 비교하는 과정에서 해밍 디스턴스를 이용한 경우를 경판정(Hard Decision) 방식으로, 유클리디언 디스턴스를 이용한 경우를 연판정(Soft Decision) 방식으로 분류한다. 두 방식의 차이점은 경판정 방식에서는 잡음에 의해 발생하는 왜곡에 대해 양자화를 시킨 2진수 데이터로 유사성을 비교한다. 반면 연판정 방식은 양자화를 거치지 않은 왜곡된 데이터 자체로 연산을 한다. 연판정 방식을 사용할 경우, 양자화 과정에서 발생하는 손실을 줄일 수 있으므로 경판정 방식에 비해 이득을 얻을 수 있지만, 배타적 논리합(exclusive OR) 연산을 통해 유사도를 계산하는 경판정 방식에 비해 연산량이 많다는 단점을 갖고 있다.

비터비 알고리즘의 장점은 구조가 비교적 간단하며, 100Mbps 정도의 높은 속도에서도 복호가 가능하다. 비터비 알고리즘의 계산량은 콘볼루션 부호기의 파라미터인 구속장  $K$ 값의 두 배,  $2K$ , 에 비례하며,  $K$ 가 10보다 작은 경우에 매우 효율적이다.

그림 3의 비터비 복호기의 블록 다이어그램과 각 블록의 역할은 다음과 같다.

(1) Branch Metric Storage : 각각의 스테이지의 Branch Metric(BM) 값을 계산, 저장하는 블록. BM값은 수신된 심벌과 수신 가능한 모든 경우의 심벌간의 해밍 디스턴스 연산을 통해 산출한다.

(2) Path Metric Storage : 현재 스테이지에서 각 상태의 Path Metric(PM) 값을 저장하는 블록. PM 값은 과거의 스테이지에서 산출한 BM 값의 누적 합이다.

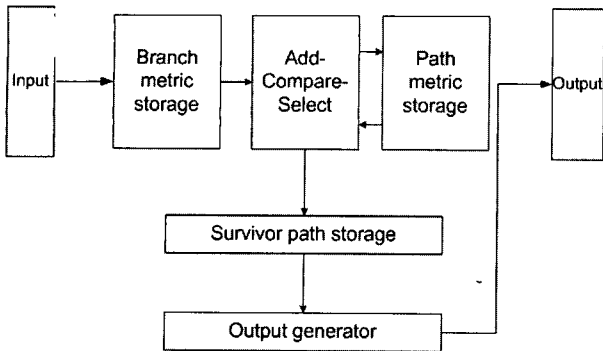


그림 3. 비터비 복호기의 블록 다이어그램  
Fig. 3. Block diagram of viterbi decoder.

(3) Add-Compare Select (ACS) : 각각 두개의 BM 값과 PM 값을 입력받아, 더한 값을 비교하여 두 개의 결과 중에 작은 값을 선택한다. 결과 값이 동일 할 경우 사용자가 정의한 방법에 따라 결정한다.

(4) Survivor Path Storage : 각 상태에서 ACS 블록을 통해 선택된 생존 경로를 레지스터에 저장. 레지스터는 각각의 상태마다 할당되어지고, 레지스터의 길이는 프레임 길이와 같다.

#### IV. 센서네트워크에 적용하기 위한 비터비 알고리즘

논문에서는 높은 에러율을 갖고 있으며, 전력 소모에 대한 제약을 갖는 센서 노드에서 활용하기 적합한 ARQ와 비터비 복호기를 이용한 하이브리드 알고리즘을 적용, 분석하였다. 전송을 위한 입력 패킷은 먼저 재전송이 필요한 경우를 위해 재전송 버퍼에 저장한다. 기본적인 오류 정정을 위해 사용된 비터비 알고리즘은 MCU의 연산에 의해 발생하는 부하를 최소화시키기 위해 1/2의 부호율을 갖는 4-state 콘볼루션 부호기와 비터비 복호기를 사용하였다. 채널을 통과한 후 비터비 복호화 과정이 끝난 후에, CRC(Cyclic Redundancy Check) 체크를 통해 정정이 성공적으로 이뤄졌는지 확인한다. 오류 정정에 실패한 경우, 컨트롤 블록은 NACK(Negative Acknowledgement)를 전송하여 재전송 버퍼에 저장되어 있는 입력 패킷을 재전송한다. 재전송 하는 패킷은 전송에 소모되는 전력의 부하를 줄이기 위해 콘볼루션 부호기를 거치기 전 입력을 버퍼에 저장하여 재전송하게 된다. 반대로 복호 과정을 거쳐 오류 정정에 성공한 경우, ACK(Acknowledgement)를 전송하여 다음 입력 패킷에 대한 전송을 요청한다. ACK와 NACK를 통하여 오류가 발생한 패킷을 재전송

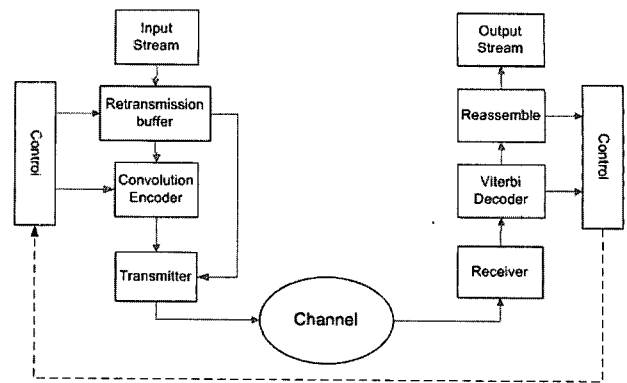


그림 4. 저전력 통신을 위한 비터비 알고리즘  
Fig. 4. Viterbi algorithm for low-power communication.

하는 ARQ 방식은 ACK를 보내는 방식에 따라 Immediate ACK와 Block ACK으로 나눌 수 있다. 전자는 수신단과 송신단이 ACK(NACK) 신호와 데이터를 순차적으로 주고받는 방식이며, 후자의 경우에는 일정 블록의 크기만큼 ACK 신호를 모아서 전송을 하는 방식이다. Block ACK 방식의 경우 노드간의 RTT(Round-trip Time)가 긴 경우에 유용하게 쓰일 수 있지만, 전송 중 오류가 생길 경우 중복 전송의 단점을 갖고 있다. 본 논문에서는 적절한 RTT를 갖고 있으며 패킷 전송을 최소화 해야 하는 센서 네트워크에 적합한 Immediate ACK 방식과 비터비 알고리즘을 혼합하여 분석을 진행하였으며, 해당 블록 다이어그램은 그림 4와 같다.

#### V. 실험 및 분석

센서 노드를 이용하여 데이터를 수집하기 위한 실험은 Maxfor사의 TIP50CM을 통해 진행하였다. TIP50CM은 2.4GHz 대역을 사용하는 Motevi사의 Telos와 동일한 스펙으로 제작된 노드로써, 프로세서와 RF 칩은 TI사의 MSP430과 CC2420으로 구성되어있다. 실내 환경에서 저전력 데이터 전송과 MCU의 FEC 연산을 위한 전력소모를 감안하여 CC2420의 전송 파워를 최대 파워의 절반에 해당하는 두 단계로 실험을 진행하였으며, 일반 실내 건물의 복도에서 측정 거리는 10~14m 구간에서 1m 단위로 실행하였다. 실험 구간은 실내의 센서 노드 배치에 빈번하게 쓰이는 거리로 결정하였다. 각 지점에서 초당 2개의 패킷을 전송하여, 28,800개의 패킷을 수신하였다. 각 패킷은 프리앰블(Preamble) 10byte와 페이로드(Payload) 38byte로 구성하였다. 송신 전력의 조절은 CC2420칩의 내부 레지

표 1. 각 지점에서의 BER

Table 1. BER of each distance.

	10m	11m	12m	13m	14m
PA_Level 8 (-13.75dBm)	0.000843	0.000852	0.00084	0.001143	0.001799
PA_Level 6 (-17.5dBm)	0.000838	0.000991	0.00119	0.001358	0.001949
PA_Level 8 with viterbi (-13.75dBm)	0.000567	0.000572	0.000562	0.000758	0.001066
PA_Level 6 with viterbi (-17.5dBm)	0.000557	0.0007	0.000847	0.000989	0.00133

스터인 TXCTRL\_PA\_LEVEL 레지스터를 통해 0~31까지 제어할 수 있으며<sup>[9]</sup>, 본고에서는 PA\_LEVEL 값을 8과 6으로 설정하여 실험을 진행하였다.

각 지점에서 센서 노드간의 전송에 의해 발생한 에러 확률은 표 1에 나타났다.

각 지점에서 비트 당 에러 확률을 이용하면 패킷의 손실률을 다음 식으로 계산할 수 있다. 전송 비트의 에러 확률이  $P_b$  일 때 패킷의 오류가 발생할 수 있는 확률  $P_c$ 는 패킷을 구성하는  $N$  비트 중 한개 이상의 비트에서 에러가 발생할 확률이다.

$$P_c = 1 - (1 - P_b)^N \quad (2)$$

패킷 오류 확률  $P_c$ 를 토대로 하나의 패킷을 성공적으로 수신할 수 있는 평균 전송 횟수  $R$ 을 구할 수 있다.

$$R = (1 - P_c) \sum_{k=0}^{\infty} (k+1) P_c^k = \frac{1}{1 - P_c} \quad (3)$$

식 (3)를 이용해서 각 지점의 평균 전송 횟수를 분석해보면, 비터비 알고리즘을 적용했을 때 평균 6.6% 최대 19.5%의 이득을 얻을 수 있다. 거리와 전송 전력에 따른 평균 전송 횟수의 이득은 식(4)를 이용하여 비교하였으며, 각 지점에 따라 변화하는 값을 그림 5를 통해 나타났다. 그림 5와 표 1에서 나타나는 결과를 살펴보면 안정적인 전송을 하고 있는 10~11m 구간과 오류가 증가하는 12~14m 구간의 전송횟수 이득의 차이를 확인할 수 있다. 평균 전송 횟수 이득은 다음 식과 같다.

$$R_{gain} = 1 - \frac{R_{VA}}{R_{uncoded}} \quad (4)$$

오류 정정 부호 적용을 통한 재전송 횟수의 감소는 센서 노드의 전력 소모의 가장 큰 부분을 차지하고 있는 데이터 전송에 소모되는 전력 감소와 직결되는 부분이다.

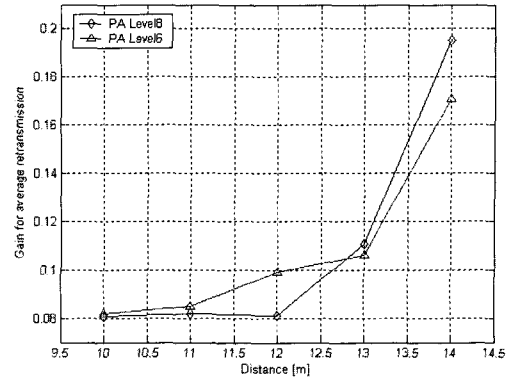


그림 5. 평균 전송 횟수 이득

Fig. 5. Gain for average number of retransmission.

표 2. MSP430 동작 상태

Table 2. Operation state of MSP430.

	Normal	Max	Unit
Low frequency crystal frequency	32.768		kHz
Active current at Vcc = 3v, 1MHz	500	600	μA
Sleep current in LPM3 Vcc=3V, 32.768kHz active	2.6	3.0	μA
Wake up from Low Power Mode		6	μs

표 3. 비터비 알고리즘의 연산

Table 3. Frequency of Viterbi algorithm.

	연산자	빈도/bit	연관 파라미터
콘볼루션 부호기	XOR	16	$N_s^2$
	Add	16	$N_s^2$
	Compare	4	$N_s$
비터비 복호기	OR	900	$depth^2 \times N_s$
	Sub	225	$depth^2$
	Shift	56	$(depth-1) \times 4$
	Compare	60	$depth \times 4$

이와 함께 고려되어야 할 점은 오류 정정 부호 적용을 위해 필요한 MCU에서의 전력 소모이다. 실험에 사용된 TIP50CM에 탑재되어있는 MCU는 TI사에서 개발된 MSP430 시리즈로 센서 노드에 사용하기 알맞게 설계된 저전력 마이크로 컨트롤러이다. 표2에서 보는 것처럼 MSP430 시리즈는 활동 모드(Active mode)에서 3V-1MHz로 동작하면서 평균 500μA의 전류를 소모하며, 수면 모드(Sleep mode)에서는 평균 2.6μA의 전류를 소모하며, 수면 모드에서 활동 모드로의 빠른 전환이 가능하다.<sup>[11]</sup>

실험에 사용된 (2,1,2) 비터비 알고리즘 연산에 필요한 MCU 전력 소모를 얻기 위해 한 비트를 부호화 복

호화 연산을 하기 위해 MSP430의 소모 클럭을 측정했다. 먼저 비터비 알고리즘 내에서 한 비트의 데이터를 부호화 및 복호화하기 위해 필요한 연산자와 사용 빈도, 사용빈도에 영향을 미치는 파라미터에 대해 분석하였다.

표 3의 연관 파라미터를 살펴보면 비터비 복호기의 상태의 개수를 나타내는  $N_s$ 와 생존 경로를 결정을 위한 경로 메모리의 길이를 나타내는  $depth$ 가 연산자의 사용 빈도와 밀접한 관계를 나타내고 있다.

$N_s$ 는 컨볼루션 복호기의 입력 비트의 개수인  $B$ 와 구속장의 길이를 나타내는  $K$ 의 수식으로 나타낼 수 있으며 식은 다음과 같다.

$$N_s = 2^{B(K-1)} \quad (5)$$

또 다른 파라미터인  $depth$ 는 채널의 BER과 구속장의 길이인  $K$ 의 비례하여 적용하며, 본 논문에서 사용한 비터비 복호기에는  $5K$ 인 15로 결정하였다. 표 3의 분석을 통해 비터비 복호기의 복잡도는  $depth$ 의 길이에 큰 영향을 받게 되므로, 적절한 값을 선택해야만 한다.

위의 데이터를 기반으로 센서 노드에 오류 정정 부호를 적용, MSP430에서 비터비 알고리즘을 연산하는데 몇 클럭이 소모 되는지 측정하였고, 1 비트의 데이터를 부호, 복호하는 연산에 평균 37.3 클럭이 사용되었다. 실험을 통해 얻은 값을 토대로 식(6)에 적용하면 오류 정정을 위해 MCU에서 소모되는 전력을 구할 수 있다.

$$E_{FEC} = V_{CC} \times I \times t \quad (6)$$

오류 정정 연산을 위해 소모되는 전력은 표 2의 활동 모드에서의 전압과 전류를 통해 연산하였으며, 15.307mJ의 전력소모를 함을 알 수 있었다.

최종적으로 비터비 알고리즘을 이용했을 경우의 FEC 연산을 위해 소모되는 전력과 재전송에 필요한 총 전력의 합을 계산할 수 있다. 전력의 총합을 구하기 위해서 필요한 파라미터는 식 (6)에서 구한  $E_{FEC}$ 와 재전송에 소모되는 평균 전력인  $E_{rtr}$ 이 필요하다.

TIP50CM의 RF 전송칩인 CC2420의 비트당 전송률은 250kbps이며 전송 중에 공급되는 평균 전압은 2.1V, PA\_Level 8에서의 평균 전류 소모는 10.33mA, PA\_Level 6의 경우에는 9.43mA의 전류를 소모한다.

재전송에 필요한 전력과 비터비 알고리즘을 통해 소모되는 전력의 총합과 에러 정정 부호를 사용하지 않고 전송하는 경우의 총 전력 소모를 비교해 볼 수 있다.

$$E = R \times E_{rtr} + E_{FEC} \quad (7)$$

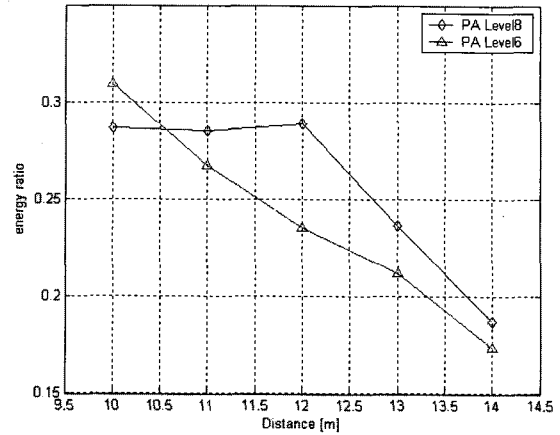


그림 6. 전송 에너지와 FEC 연산에너지 비

Fig. 6. Ratio of transmission energy to calculation energy.

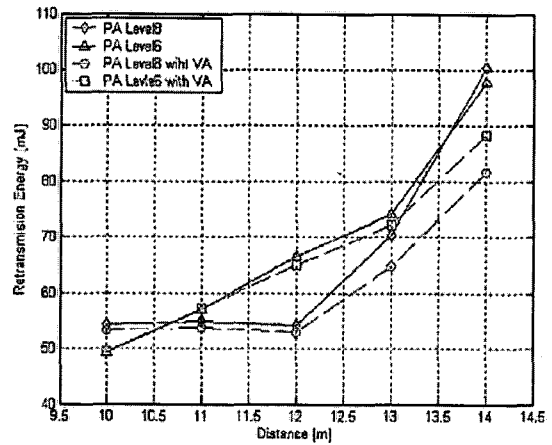


그림 7. 거리에 따른 재전송으로 소모되는 에너지

Fig. 7. Retransmission energy for given distance.

그림 6에서는 에러 정정 부호를 이용하여 소비되는 전력에서 전송 에너지와 연산 에너지의 비를 그래프로 나타내었다. 거리가 멀어짐에 따라 에러 확률은 증가하며, 재전송에 소모되는 에너지가 증가하는 반면 MCU의 연산 에너지는 고정되어 있으므로 전체 에너지 소모 중 재전송 에너지의 비중이 거리에 따라 확연하게 늘어나는 것을 관찰할 수 있다.

$$E_{ratio} = \frac{E_{FEC}}{E_{rtr} + E_{FEC}} \quad (8)$$

표 1에서 얻었던 결과를 기반으로 식 (7)을 통해 각 경우의 재전송에 소모되는 에너지의 총합을 그래프로 나타내보면 그림 7과 같이 나타난다.

점선으로 나타낸 값들은 각 송신 파워에서 비터비 알고리즘을 적용했을 때의 값들을 나타내며, 실선으로 표

시된 값들은 에러 정정 부호를 사용하지 않은 경우를 나타낸다.

그림 7의 그래프를 살펴보면 10m 구간을 제외한 전 구간에서 PA\_Level 8에서 비터비 알고리즘을 이용한 경우가 가장 적은 에너지 소모를 나타내고 있으며, 전반적으로 비터비 알고리즘을 적용한 경우의 전력 소모가 적용하지 않은 경우보다 효율적인 것을 살펴볼 수 있다. 에러 정정 부호를 적용했을 경우의 에너지 효율은 거리가 멀어짐에 따라 더 큰 폭의 차이가 나는 것을 관찰할 수 있으며, 동일 송신 파워에서 최대 18%의 재전송 에너지를 절약할 수 있다.

## VI. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 센서 노드간의 통신에서 신뢰성을 높이고 전력 효율을 높일 수 있는 방법의 일환으로 복잡도를 낮춘 비터비 알고리즘을 적용하였다.

비터비 알고리즘을 적용할 때의 전력 효율을 확인하기 위하여 오류 발생으로 인한 재전송에 소모되는 에너지와 오류 정정 연산으로 소모되는 에너지를 분석해보았다. 그 결과 오류 정정 부호를 사용하지 않은 데이터의 재전송 에너지가 비터비 알고리즘을 사용한 데이터의 재전송 에너지와 비터비 연산에 소모되는 에너지의 합보다 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 비터비 알고리즘을 사용하기 위해 소모되는 에너지가 오류 정정 부호를 사용하지 않을 경우에 발생하는 재전송에 소모되는 에너지보다 작다는 것을 실험적으로 증명했다. 데이터 전송에 소모되는 에너지가 매우 큰 비중을 차지하는 센서 노드의 특성상 단순화된 연산을 통한 오류 정정 부호는 신뢰성 높은 데이터 전송과 효율적인 전력 소모 두 가지를 모두 충족시켜 줄 수 있다.

향후 채널 분석을 통해 에러 정정 부호의 적용 여부와 종류를 선택하여 전력 효율을 향상시킬 수 있는 알고리즘에 관한 연구를 계획하고 있으며, 메모리 소모와 전력 소모 부분에서 센서 네트워크에 좀 더 최적화된 비터비 복호기에 관한 연구도 진행되어야 한다.

## 참고 문헌

[1] Peter Sweeney, "Error Control Coding from Theory to Practice", John Wiley & Sons, Ltd., pp. 35~54

[2] S. Lin and D. J. Costello, Jr., "Error control coding : fundamentals and applications," Pentice-Hall, 1983.

[3] Hui-Ling Lou, "Implementing the Viterbi Algorithm", IEEE Signal processing magazine, 1995.

[4] P. Lettieri, C. Fragouli and M. Srivastava, "Low power error control for wireless links" in Proceedings of 3rd annual ACM/IEEE Intl. conference on Mobile computing and networking(MOBICOM), 1997.

[5] S. Mukhopadhyay, D. Panigrahi, and S.Dey, "Data aware, low cost error correction for wireless sensor network" in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2004

[6] S. Mukhopadhyay, D. Panigrahi, and S.Dey, "Model Based Error Correction for Wireless Sensor Networks" in Proc. Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004.

[7] F. Stann, J. Heidemann, "RMST : Reliable Data Transport in Sensor Networks" in Proc. 1st IEEE International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications (SNPA), 2003.

[8] C. Intanagonwivat, et al., "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Network", in Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 1997.

[9] SmartRFCC2420 Datasheet (rev 1.3)  
<http://www.chipcon.com>

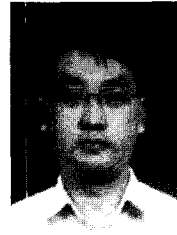
[10] Holger Karl, Andreas Willing, "Protocols and architecture for wireless sensor networks", 1st ed., :John Wiley & Sons, Ltd., 2005, pp.150~167

[11] <http://www.moteiv.com> Tmote Sky : Datasheet

## — 저 자 소 개 —



박 우 준(정회원)  
 2005년 동국대학교 전자공학과  
 학사  
 2007년 동국대학교 전자공학과  
 석사  
 <주관심분야 : 센서 네트워크, 통  
 신, 컴퓨터 구조>



김 건 욱(정회원)-교신저자  
 1995년 동국대학교 전자공학과  
 학사  
 1997년 University of Florida  
 석사  
 2001년 University of Florida  
 박사  
 2001년~2003년 Florida State University 조교수  
 2003년~현재 동국대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : 어레이 신호처리, 병렬 신호처리  
 시스템 설계, 센서 네트워크 응용>