

센서 네트워크상에서 에너지 효율성을 고려한 최적 패킷 길이

*최성혜, 조인휘

한양 대학교 *정보통신 대학원

전화 : 031-573-6811 / 핸드폰 : 016-794-6811

Optimal Packet Length with Energy Efficiency for Sensor Networks

Sung-Hye Choi, InWhee Joe

The Graduate School of Information and Communication, Hanyang University

E-mail : cshnol@ihanyang.ac.kr

Abstract

Sensor networks are deployed with a limited energy source. Thus, energy efficient design can be challenging. This paper has been studied optimal packet length with energy efficiency for sensor networks. And using Power Management can not improve energy efficiency. Power Management is turning off transceiver when transceiver is idle statue. We show that BCH code for error control can improve energy efficiency better than Convolutional code.

I. 서론

센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하게 하는 중요한 기술로써 최근 활발히 연구되고 있다. 초기에 센서 네트워크는 주로 직접 접근하기 어려운 지역의 군사동향의 감시를 하는 무인정찰 시스템에 사용되었다. 최근에는 그 응용분야가 외부 환경의 감시나 제어기능을 수행하는 지능형 교통시스템, 생산공정 자동 제어, 환자 상태 원격감지, 지능형 빌딩내의 환경 컨트롤등으

로 확장되는 추세이다.

이러한 분야에서 활용되는 센서 노드들은 주로 한정된 에너지원에 의하여 운영되며, 수개월 내지 수년간 전원의 교체없이 동작해야 한다. 그러므로 저전력 소모 기술은 센서 네트워크에서 핵심적인 기술이라고 할 수 있다. 이 같은 맥락에서 에너지 효율성을 높일 수 있는 방법이 고려되어야 한다.

본 논문에서 에너지 효율성은 최적화된 패킷 길이의 사용으로 개선될 수 있다. 이 같은 최적 패킷 길이는 에너지 효율성이 극대화된 시점에서 구할 수 있다. 또한, Power Management를 적용하지 않은 경우가 적용한 경우가 에너지 효율성이 높음을 입증하고 그에 따른 최적 패킷 길이를 평가하였다. Power Management란 idle상태 노드의 트랜시버를 off시키는 것이다. 다음으로 error control을 위해 BCH code가 Convolutional code보다 효율성을 개선할 수 있음을 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이웃 노드 사이의 거리에 따른 에러 확률을 측정하고, 3장에서 2장의 에러확률을 토대로 Power Management를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교 평가한다. 4장에서는 BCH code와 convolutional code의 에너지 효율성을 비교하고 그 결과 BCH code의 사용이 에너지 효율성을 개선할 수 있음을 보인다. 마지막으로 실험결과를 요약하고 결론을 맺도록 한다.

II. 에러 확률 평가

비트에러 확률(P_b)은 Rayleigh fading 채널 모델에서 FSK 변조방식을 사용할 때 식(1)과 같다.

$$P_b = \frac{1}{2 + \gamma} \dots\dots\dots(1)$$

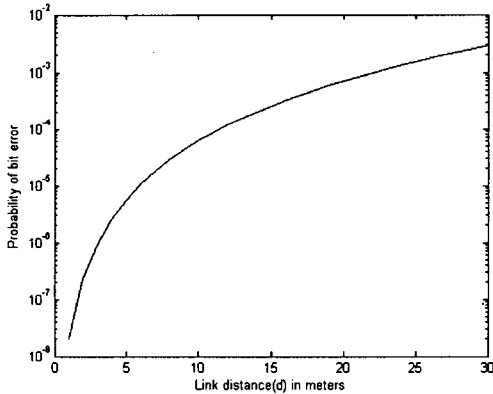
γ : 비트 에너지/ 잡음 밀도 (E_b/N_o)

γ 은 이웃노드와의 거리(d)에 관련이 있다.

평균 -9dBm의 출력 전력, 7.5dB 잡음지수, 6dB 수평손실을 갖는 TFM-TR1000에서 γ 은 식(2)와 같다.

$$\gamma(dB) = 77 - 10\alpha \log(d) \dots\dots\dots(2)$$

α : 경로 손실 지수 = 4.0



그림[1] 이웃노드사이의 거리에 따른 비트 에러 확률

그림[1]은 주어진 식(1)에 의해 이웃노드 사이의 거리변화에 따른 에러확률을 나타낸 것이다.

실제 센서 네트워크상에는 대부분 이웃노드 사이의 거리가 10~20m 사이에 센서노드가 존재한다. 즉, 에러 확률(P_b)가 $2 \times 10^{-4} \sim 3 \times 10^{-3}$ 에서 발생한다는 것을 그래프를 통해 알 수 있다.

최적패킷길이

센서 네트워크는 수많은 노드들로 구성되어 있기 때문에 여러 개의 다중 경로가 발생되고, 이에 따른 다수의 비활성(Idle)노드가 생성될 수 있다. 이 같은 비활성(Idle)노드에서의 전력 소모가 크기 때문에 실제 data 전송시만 라디오 트랜시버를 시킴으로서 에너지의 소비를 줄일 수 있다.

식(3)은 에너지 효율성을 나타낸 식이다.

$$\eta = E_{th} \cdot R \dots\dots\dots(3)$$

η : 에너지 효율성

E_{th} : 에너지 처리량

R : reliability

식(4)은 Power Management를 적용한 식이고, 식(5)는 적용하지 않은 경우의 식이다.

$$\eta = \frac{E_c l}{E_c(l + \alpha) + E_s} \cdot (1 - PER) \dots\dots\dots(4)$$

$$\eta = \frac{l}{l + \alpha} \cdot (1 - PER) \dots\dots\dots(5)$$

E_c : 통신시 소비 에너지

E_s : start-up시 소비 에너지

l : payload 길이

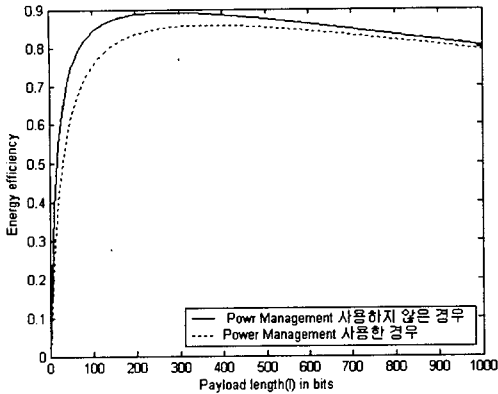
α : 헤더 길이

PER : packet error rate

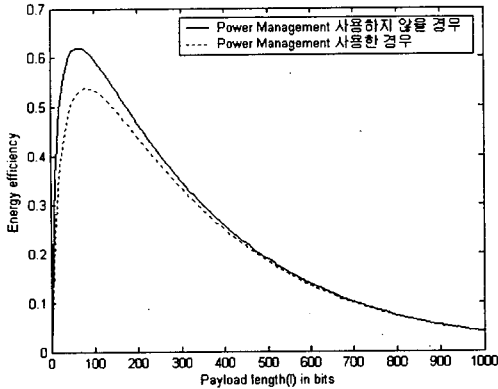
식(4)을 이용한 그림[2]은 2장에서 측정된 이웃노드의 거리가 10m일때, 식(5)를 이용한 그림[3]는 이웃노드 사이의 거리가 20m일때, Power Management를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우를 각각 비교 측정하였다.

실험결과 Power management를 적용하지 않은 경우가 적용한 경우 (Idle 상태에서 off시킨 경우) 보다 에너지 효율성이 개선됨을 알 수 있었다. Power Management를 사용하지 않은 경우가 에너지 효율성은 높지만, 계속 전력이 on상태이므로 에너지 낭비가 심하다.

III. Power Management와



그림[2] Payload 길이의 변화에 따른 에너지 효율성 (이웃노드와의 거리가 10m, $\alpha = 16\text{bits}$)



그림[3] Payload 길이의 변화에 따른 에너지 효율성 (이웃노드와의 거리가 20m, $\alpha = 16\text{bits}$)

또한, 에너지 효율성이 극대화된 시점에서 최적 패킷길이는 이웃노드의 거리가 10m, 20m일 경우 각각 280bits, 60bits로, 에너지 효율성은 0.88, 0.62로 측정 되었다.

IV. 채널 코딩과 최적 패킷 길이

본 논문에서는 Decoding 에너지가 작은 Convolutional code와 BCH code의 에너지 효율성을 비교하였다. Error control 중 BCH code의 사용이 Convolutional code를 사용하는 경우보다 에너지 효율성을 개선할 수 있었다. 또한 error control를 사용한 BCH, Convolutional code와 사용하지 않은 경우를 비교 측정하였다.

식(6)은 Convolutional code의 에너지 효율성을 나타낸 식이다.

$$\eta = \frac{E_c(\frac{n}{2} - \alpha)}{E_c n + E_s + E_{dec}} \cdot (1 - P_b')^n \dots\dots\dots(6)$$

P_b' : Convolutional code 에러 확률

식(7)은 Convolutional code의 에러 확률을 나타낸 식이고,

$$P_b' < \frac{1}{k} \sum_{d=d_{free}}^{\infty} \beta d P(d) \dots\dots\dots(7)$$

식(8)은 BCH code의 에너지 효율성을 나타낸 식이다.

$$\eta = \frac{E_c(n - \alpha - \tau)}{E_c n + E_s + E_{dec}} \cdot \sum_{j=0}^t \binom{n}{j} P_b (1 - P_b)^{n-j} \dots\dots\dots(8)$$

두 경우 모두 에러 확률을 10^{-3} 으로 하여 평가하였다.

E_{add} 과 $E_{\mu lt}$ 은 $GF(2^m)$ 에서 ($m = \lceil \log_2 n + 1 \rceil$) 각각 addition과 multiplication이다. 식(9)은 Decoding 에너지를 나타낸 식이다.

$$E_{dec} = (2nt + 2t^2)(E_{add} + E_{\mu lt}) \dots\dots\dots(9)$$

$$E_{add} = 3.3 * 10^{-5} m (mW/MHz)$$

$$E_{\mu lt} = 3.7 * 10^{-5} m^3 (mW/MHz)$$

$$\tau = mt (\tau \leq mt)$$

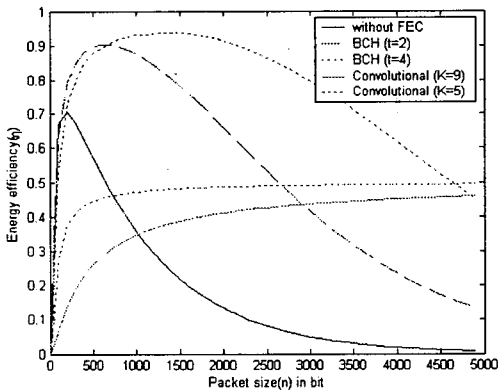
τ : 패리티 비트 개수

t : 에러 수정 가능성

그림[4]는 Convolutional code의 에너지 효율성의 식(6)과 BCH code의 에너지 효율성의 식(8)을 이용한 것이다.

실험 결과를 통해 첫째로, FEC(Forward Error Correction)사용이 사용하지 않은 경우보다 에너지 효율성을 높일 수 있음을 알 수 있었다. 둘째

로, Convolutional code의 에너지 효율성은 BCH code에 비해 거의 절반정도의 에너지 효율성을 보였다. Convolutional code가 낮은 에너지 효율성을 보이는 이유는 Convolutional code는 오버헤드가 크고, Packet의 1/2은 실제 data을 쓰고 나머지는 redundancy로 사용하는, 1/2 rate을 기본으로 하기 때문이다. 반면에 BCH code는 전체 코드에 대해서 Convolutional code에 비해 redundancy가 적다. 그러므로, 높은 에너지 효율성이 필요한 센서 네트워크상에서 BCH code의 사용은 적합하다고 할 수 있다. 셋째로, 에러 수정 가능성(t)이 증가할수록 에너지 효율성의 감소율이 작아짐을 알 수 있었다. 넷째로, Convolutional code의 경우 constraint length가 작은 $K=5$ 일때 높은 에너지 효율성을 나타냈다. 다섯째로, BCH code의 에러 수정 가능성(t)이 2와 4일 경우, 최적 패킷 길이가 각각 700bits, 1400bits에서 에너지 효율성이 0.90, 0.93이었다.



그림[4] Packet 길이 변화에 따른 에너지 효율성 (BCH와 Convolutional code의 비교, $\alpha = 16$ bits)

V. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크상에서의 에너지 효율성은 최적 패킷 길이로서 극대화할 수 있었고, Power Management를 적용하지 않은 경우가 적용한 경우보다 에너지 효율성을 개선할 수 있었다. Power Management를 사용하지 않은 경우가 에너지 효율성은 높지만, 계속 전력이 on상태

이므로 에너지 낭비가 심하다. 또한, BCH code의 사용이 Convolutional code를 사용하는 경우보다 에너지 효율성이 높음을 입증하였다.

앞의 실험결과를 통해 에너지 효율성을 높일 수 있었지만 reliability는 보장이 안 되므로, data 중심의 센서 네트워크에서 향후 과제는 에너지 효율성을 높이면서 reliability를 보장할 수 있는 방안이 연구되어야 한다.

참고문헌

- [1] Y.Sankarasubramaniam, I.F. Akyildiz and S. W. McLaughlin "Packet Size Optimization and its Implications on Error Control for sensor Networks" IEEE Personal Communications, 2003, pp.1-8
- [2] Eugens Shih, BentonH. Calhoun, Seong Hwan Cho, and Anantha P. Chandrakasan "Energy-Efficient Link Layer for Wireless Microsensor Networks" IEEE Personal Communications, 2001, pp.16-21
- [3] Katayoun Sohrabi, Jay Gao, Vishal Aila-wadhi, and Gregory J. Pottie, UCLA " Protocols for self-Organization of a Wireless Sensor Network" IEEE Personal Communications, Oct.2000, pp.16-27