

ARQ 방식을 적용한 무선 센서 네트워크의 QoS 해석

QoS Analysis of Wireless Sensor Network with ARQ Scheme

노재성*, 김완태**

Jae-Sung Roh*, Wan-Tae Kim**

요 약

심각한 에너지의 제한과 저전력 소모 조건은 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 에러제어 메커니즘의 중요성을 요구하고 있다. 본 논문에서는 에러 제어 기법의 해석을 위하여 ARQ 기법이 제시되었으며 패킷길이의 영향, 변조방식, 무선채널에서 간섭의 영향을 분석하였다. 더욱이, ARQ 에러 제어의 해석은 무선 센서 네트워크에서 주요한 Mica2 and MicaZ 센서 노드를 대상으로 고려하였다. 본 논문에서는 다중간섭 채널에서 선택 재전송 ARQ 방식을 적용한 비동기 FSK 신호와 DSSS-OQPSK 신호의 처리율 성능을 분석하였고 목적 노드로부터 수집 노드까지 올바르게 수신된 비트와 패킷의 수신 확률을 채널 파라미터, 무선 센서 노드의 수, 확산지표에 따라서 평가하였다.

Abstract

Severe energy constraints and the low power consumption require the significance of the energy efficient error control mechanisms in wireless sensor network (WSN). In this paper, an automatic repeat request (ARQ) methodology for the analysis of error control schemes in WSN is presented such that the effects of packet length, the modulation scheme and the interference effect of the wireless channel are investigated. Moreover, an analysis of ARQ error control is provided by considering two major architectures for wireless sensor network, i.e., Mica2 and MicaZ sensor nodes. And the throughput performance of WSN with asynchronous FSK signal and DSSS-OQPSK signal with selective repeat ARQ scheme are analyzed in multiple interference environment, and the probability of receiving a correct bit and packet from target node to sink node is evaluated as a function of the channel parameter, the number of wireless sensor node, and the spreading factor.

Key words : Wireless Sensor Node, SR-ARQ Scheme, Throughput, FSK & OQPSK System

I. 서 론

최근에 유비쿼터스 환경을 실현하는 기술로써 다양한 센서 장치와 무선통신 모뎀을 활용하여 필요한

정보를 원격지에서 수집, 분석, 처리하는 무선 센서 네트워크 기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 무선 센서 네트워크는 최근 일상생활에 산재한 사물과 물리적 대상이 점차 정보의 대상으로 확대됨에 따라 인

* 서일대학 정보통신과

** 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

· 제1저자 (First Author) : 노재성

· 투고일자 : 2010년 1월 22일

· 심사(수정)일자 : 2010년 1월 24일 (수정일자 : 2010년 2월 11일)

· 게재일자 : 2010년 2월 28일

간과 컴퓨터, 사물이 유기적으로 연계되어 다양하고 편리한 새로운 서비스를 제공해 주는 유비쿼터스 컴퓨팅의 핵심 인프라로 주목받고 있다 [1]-[3].

또한, 무선 센서 네트워크 기술은 필요한 모든 사물이나 장소에 센서나 태그를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보, 온도, 습도, 조도 등 주변의 환경정보 및 위치정보를 탐지한 후 이를 실시간으로 유무선 네트워크에 연결하여 정보를 처리 및 관리하는 것으로, 궁극적으로 모든 사물에 컴퓨팅 및 통신 네트워크 기능을 부여하여 언제, 어디서나, 어떤 사물과도 통신이 가능한 환경을 구현하는 것이다.

센서 네트워크는 센서의 종류, 응용분야, 운용되는 환경 및 형태에 따라 분류될 수 있으며 이러한 것들을 효율적으로 운용하기 위하여 IEEE 802.15.4 LR-WPAN(Low Rate-Wireless Personal Area Network)에서는 저전력으로 적은 데이터량을 송·수신할 수 있는 PHY와 MAC 프로토콜의 표준화를 완료하였고, 현재 다양한 응용 서비스를 위한 시스템 개발에 필요한 MAC 상위계층에 대한 표준화 작업이 지그비 연합(ZigBee Alliance)에서 진행 중에 있다 [4]-[6]. 그림 1과 2는 지그비 응용 예와 지그비 무선 프로토콜의 구조를 나타낸다.



그림 1. 지그비 무선통신 응용 예
Fig. 1. Example of ZigBee wireless communication applications.

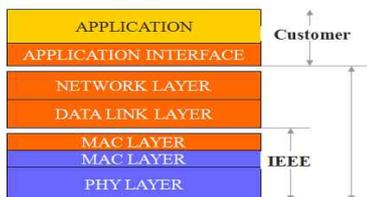


그림 2. 지그비 무선 프로토콜의 구조
Fig. 2. Structure of ZigBee wireless protocol.

특히, 최근 국내에서는 u-City와 u-Port 사업 등 유비쿼터스 환경을 실현하고자 하는 많은 사업이 시행되고 있으며 무선 센서 네트워크 기술에 대한 관심이 더욱 증대되고 있는 상태이다. 현재 국내에서는 성장 단계를 지나 성숙기 초반 시장을 형성하고 있으며 2011년까지 4G 및 광대역 통신망(BcN : Broadband convergence Network)의 연동을 목표로 하고 있다. 그림 3은 외부 인터넷과의 연동을 위한 무선 센서 네트워크의 전송 구조를 나타낸다.

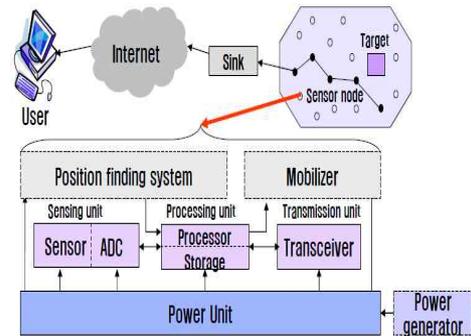


그림 3. 무선 센서 네트워크의 전송 구조
Fig. 3. Transmission structure of wireless sensor network.

무선 센서 네트워크는 일반적으로 환경의 센싱과 액추에이터 기능을 수행하며 자연 현상 내부 또는 자연 현상에 매우 근접한 곳에 조밀하게 설치된 대규모의 센서노드들로 구성된다. 센서노드는 계획되거나 미리 결정될 필요없이 다양한 곳에 배치될 수 있으며 특히 접근이 어려운 지역이나 재난구조 활동이 필요한 지역에 용이하게 배치될 수 있다. 이런 특성은 센서노드들이 스스로를 관리하는 능력을 가지고 인접 노드들과의 협력으로 보통 용량의 배터리 전력으로 사용 및 관리할 수 있어야 한다.

무선 채널의 평균 BER(Bit Error Rate)은 약 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ 으로 평가되고 있으며 오류 방지나 복구 방법을 채택하지 않는 경우에는 대부분의 패킷들은 전파 오류에 의해 손실된다. 본 연구에서 분석하려는 무선 센서 네트워크에서는 잡음 및 신호 간섭이 존재하는 환경에서 무선패킷이 손상되는 정도를 분석하였다. 현재 사용되고 있는 Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템의 변조방식은 각각 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK을 적용하고 있으며 무선 채널의 BER

은 송수신자의 이동 또는 주위 환경 변화에 따라서 큰 폭으로 변화하기 때문에, 이러한 변화에 대응하기 위하여 FEC 기술과 ARQ 기술을 적용하여 수신 데이터의 처리율을 분석하였다.

II. 무선 센서노드 시스템의 구조

IEEE 802.15.4-2006에서는 868/915MHz 대역은 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조 혹은 O-QPSK(Offset-Quadrature Phase Shift Keying) 변조 후 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 방식으로 확산하는 방식을 사용한다. 또한, 2.45 GHz은 O-QPSK 변조 후 DSSS 확산 방식을 사용한다. 868/915 MHz 대역은 각각 유럽 및 북미에서 주로 사용하는 주파수 대역으로 2.45 GHz 대역보다는 상대적으로 간섭 신호 특성이 좋다고 할 수 있다. 그림 4는 무선 센서노드 시스템의 구조를 나타내며 임베디드 프로세서부, 메모리부, 무선통신부, 센서부 및 전원부로 구성된다[7]-[10]. 그림 5는 CC2420 RF transceiver 기반 MicaZ 센서노드 시스템의 블록도를 나타낸다.

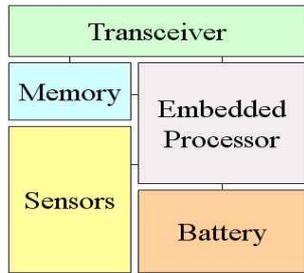


그림 4. 무선 센서노드의 구조
Fig. 4. Structure of wireless sensor node.

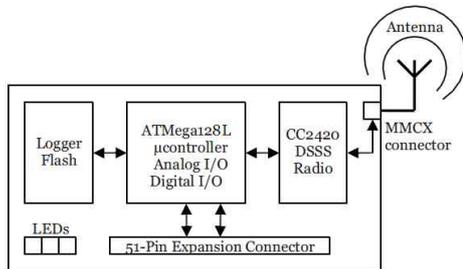


그림 5. MicaZ 센서노드 시스템의 블록도
Fig. 5. Block diagram of MicaZ sensor node system.

무선 센서노드의 구성은 제어부, 무선통신부, 센서부 및 전원부로 구성되며, 현재 응용 서비스에서의 센서노드는 다수의 노드를 광범위한 환경에서 분산 배치하여 이용되므로 노드의 전원을 자주 교환하는 것이 어렵기에 저전력 센서노드의 개발이 요구된다. 무선통신부는 송수신 형태 및 주파수, 기능에 따라 다양한 형태로 이루어지고 있으며, IEEE 802.15.4-2006 표준과 ZigBee를 기반하여 제안된 주파수 대역은 868~868.8 MHz 대역의 유럽 주파수 대역과 902~928 MHz 대역의 북미 주파수 대역, 그리고 ISM 밴드로서 세계 공용으로 사용 가능한 2.45 GHz 대역으로 구분하고 있다.

RF Transceiver System on Chip	TI CC2420	TI CC2430	TI CC2450
Microcontroller	-	8051 core	8051 core
Program memory(KB)	-	32/64/128	8/16/32
Sleep mode(μA)	1	0.9	0.5
Frequency(MHz)	2450	2450	2450
Data rate(kbps)	250	250	500
Sensitivity(dBm)	-94	-94	-100
Transmit power(dBm)	0	0	1
Rx current(mA)	19.7	27	22
Tx current(mA)	17.4	25	23
Crystal frequency(MHz)	16	32	26/48
Communication	SPI	8-14bit ADC	8-14bit ADC
Structure	Single-chip	SoC	SoC

그림 6. 지그비 무선 통신시스템을 위한 chip 기술
Fig. 6. RF transceiver chip technology for ZigBee wireless communication system.

III. ARQ방식이 적용된 센서노드 시스템의 처리율

2.4 GHz 대역에서 지그비 PHY 계층에서 DSSS-OQPSK 변조 방식을 사용하고 있으며 다수의 센서 노드를 통하여 데이터 수집노드에 수신된 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t - \tau_k) = \sqrt{2P_k} a_k(t - \tau_k) d_k(t - \tau_k) \cos(\omega_c t + \phi_k) \quad (1)$$

여기서, $d_k(t)$ 는 k 번째 노드의 데이터 열,

$a_k(t)$ 는 k 번째 노드의 확산(chip) 열, τ_k 는 기준 노드로부터 k 번째 노드의 상대적인 지연, P_k 는 k 번째 노드의 수신 전력, ϕ_k 는 기준 노드 0으로부터 k 번째 노드의 상대적인 반송파 위상 차를 의미한다.

본 장에서는 Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템의 비트(bit)와 패킷(Packet) 오류를 평가한다. Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템의 변조방식은 각각 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK 방식을 적용하여 구현되었다. 다음 식은 잡음 채널에서 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK 변조방식의 비트당 오류율을 나타낸다 [11], [12].

$$P_b^{FSK} = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{E_b/N_o}{2}\right) \quad (2)$$

$$P_b^{DS-OQPSK} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{N_C \cdot E_b/N_o}{N_C + 4E_b/N_o(N_S - 1)/3}}\right) \quad (3)$$

여기서, E_b/N_o 는 비트당 신호대 잡음비, N_C 는 DSSS방식을 적용한 경우에 비트당 chip의 수, N_S 는 동시에 송신하는 센서노드의 수, $\operatorname{erfc}(\cdot)$ 는 에리 보함수를 의미한다. 그림 7은 수신된 QPSK 신호와 OQPSK 신호의 수신 신호 모양을 나타낸다.

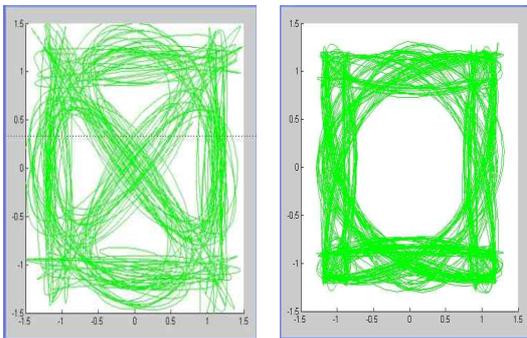


그림 7. 수신된 QPSK와 OQPSK 신호

Fig. 7. Received QPSK와 OQPSK signal.

비트 오류율을 바탕으로 ARQ와 FEC 기법이 적용

된 Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템의 패킷 오류율은 다음과 같이 얻어질 수 있다. 먼저, ARQ 방식을 적용한 경우에는 CRC-16 에러검출 메커니즘이 Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템에 구현되었다. 패킷전송과정에서 모든 가능한 에러를 검출할 수 있다고 가정한다면 L_P 비트로 구성된 패킷의 패킷전송 에러확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{PER}^{CRC}(L_P) = 1 - (1 - P_b)^{L_P} \quad (4)$$

또한, 송수신 과정에서 완전한 인터리빙을 가정할 경우, (n, k, t) 블록부호를 적용한 센서노드 시스템의 블록 오류율은 다음과 같다.

$$P_{BLER}(n, k, t) = \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} P_b^i (1 - P_b)^{n-i} \quad (5)$$

특히, 작은 크기의 블록길이를 적용한 센서노드 시스템인 경우, 패킷의 길이는 블록의 길이보다 크기 때문에 FEC를 적용한 센서노드 시스템의 패킷전송 에러확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{PER}^{FEC}(L_P, n, k, t) = 1 - (1 - P_{BLER}(n, k, t))^{\lceil L_P/k \rceil} \quad (6)$$

여기서, $\lceil L_P/k \rceil$ 는 L_P 비트를 송신하는데 필요로 하는 블록의 수를 나타내며 $\lceil \cdot \rceil$ 는 ceil 함수이다.

Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템에서 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK 방식으로 데이터를 전송하는 경우, 채널상태의 오류 P_e 에 따른 평균 전송 수(Average number of transmission)은 다음과 같다.

$$N_T = (1 - P_e) \sum_{i=1}^{\infty} (i+1) P_e^i \quad (7)$$

마지막으로 선택 재전송 ARQ방식이 적용된 센서 시스템의 데이터 처리 효율(Data throughput efficiency)는 송신된 채널 심볼 당 평균적으로 수신된 정보의 수를 의미하며 다음과 같다.

$$\eta = \frac{1}{(1 - P_e) \sum_{i=1}^{\infty} (i+1) P_e^i} \quad (8)$$

그림 8은 잡음 채널에서 Mica2 및 MicaZ 센서노드 시스템에서 사용되는 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK 방식으로 데이터를 전송하는 경우, 비트당 신호대 잡음비에 따른 비트 오류 성능을 나타낸다. N_C 는 DSSS방식을 적용한 경우에 비트당 chip의 수를 나타내며 본 논문에서는 제품규격에 따라서 $N_C=15$ 를 적용하였다. 그림에서 E_b/N_0 는 비트 당 신호대 잡음비, N_S 는 동시에 송신하는 센서노드의 수를 의미한다. 결과 그림에서 신호 대 잡음 전력비가 증가할수록 비동기 FSK 신호와 $N_S=2$ 인 DSSS-OQPSK 시스템의 비트 오류 성능은 개선되고 있음을 알 수 있다. 하지만 $N_S=3$ 이상인 DSSS-OQPSK 시스템에서는 센서노드의 수 N_S 가 증가하면 동일 주파수 신호 간섭이 증가하여 BER 성능 개선의 폭은 감소하면서 유지됨을 볼 수 있다.

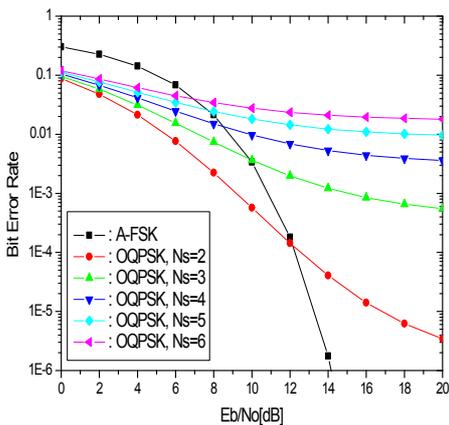


그림 8. AWGN 채널에서 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK 신호의 비트 오류 성능

Fig. 8. BER of Async. FSK and DSSS-OQPSK Signal in AWGN channel.

그림 9와 그림 10은 CRC 에러검출 메커니즘과 ARQ 방식이 적용된 경우에 Mica2와 MicaZ 센서 노드 시스템의 패킷전송 에러확률을 나타낸다. MicaZ 센서 노드 시스템에서는 $N_C=15$ 와 $N_S=2$ 인 DSSS-OQPSK 시스템을 적용하였다. 무선 패킷전송 과정에서 발생 가능한 에러를 검출할 수 있다고 가정하고 L_P 비트로 구성된 패킷 페이로드 길이 변화에 따른 패킷 성능 분석을 수행하였다. Mica2와 MicaZ 센서 노드 시스템에서 동일하게 페이로드 길이가 증가함에 따라서 패킷전송에 따른 에러확률은 증가함을 알 수 있다. 하지만 Mica2 센서 노드 시스템에서는 $PER=10^{-3}$ 을 기준시 $L_P=4 \sim 20$ Byte 사이에서 약 1[dB]의 변화를 보였으나 MicaZ 센서 노드 시스템에서는 약 4[dB]의 변화폭을 가짐을 확인 할 수 있다. 이것은 MicaZ 센서 노드 시스템이 Mica2 센서 노드 시스템보다 패킷 페이로드 길이 변화에 따라서 무선 패킷전송 성능에 민감함을 의미한다.

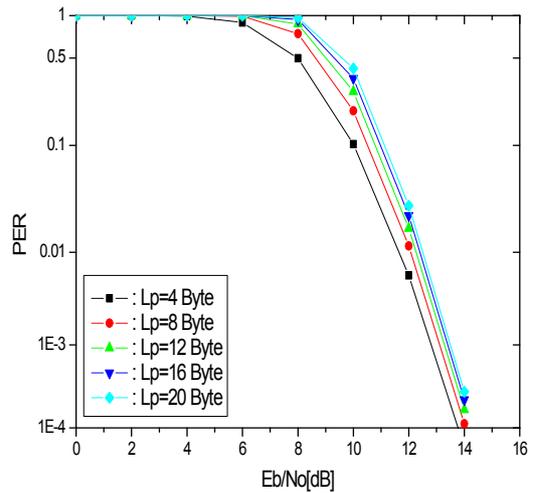


그림 9. AWGN 채널에서 Mica2 노드를 위한 비동기 FSK 신호의 패킷 오류 성능

Fig. 9. PER of Async. FSK Signal for Mica2 node in AWGN channel.

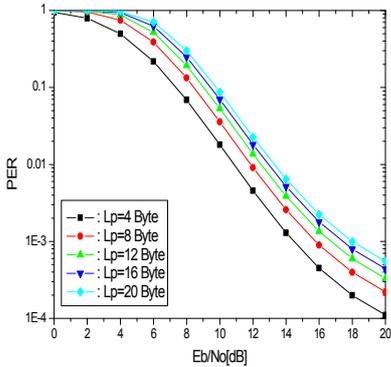


그림 10. AWGN 채널에서 MICAz 노드를 위한 DSSS-OQPSK 신호의 패킷 오류 성능
Fig. 10. PER of DSSS-OQPSK Signal for MICAz Node in AWGN channel.

그림 11과 그림 12는 Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템에서 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK 방식으로 데이터를 전송하는 경우, ARQ방식이 적용된 센서 시스템의 데이터 처리 효율을 분석하였다. MicaZ 센서노드 시스템에서는 $N_C=15$ 와 $N_S=2$ 인 DSSS-OQPSK 시스템을 적용하였다. 센서 시스템의 데이터 처리 효율은 송신된 채널 심볼 당 평균적으로 수신된 정보의 수를 의미하며 $L_P=4\sim 20$ Byte의 변화에 따른 데이터 처리 효율을 나타낸다. Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템 모두에서 전송되는 패킷의 길이 L_P 가 증가함에 따라서 데이터 처리 효율은 감소함을 볼 수 있다. MicaZ가 Mica2 센서노드 시스템보다 패킷의 길이 L_P 에 따라서 데이터 전송시 효율적임을 그림을 통하여 알 수 있다.

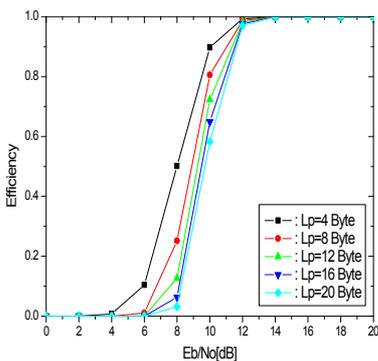


그림 11. Mica2 노드를 위한 비동기 FSK 신호의 데이터 처리 효율
Fig. 11. Data throughput efficiency of Async. FSK Signal for Mica2 node.

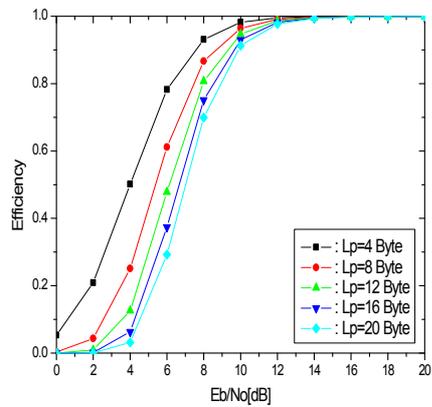


그림 12. MicaZ 노드를 위한 DSSS-OQPSK 신호의 데이터 처리 효율
Fig. 12. Data throughput efficiency of DSSS-OQPSK Signal for MICAz node.

그림 13과 그림 14는 패킷의 길이 L_P 에 따른 센서노드 시스템의 데이터 처리 효율을 분석하였다. 그림 13에서는 비트 당 신호대 잡음비가 증가함에 따라서 비동기 FSK 신호의 데이터 처리 효율은 개선되었으며, 그림 14에서는 동시에 송신하는 센서노드의 수 N_S 가 감소함에 따라서 $N_C=15$ 와 $E_b/N_o=10$ [dB]를 적용한 DSSS-OQPSK 신호의 데이터 처리 효율은 개선됨을 알 수 있었다.

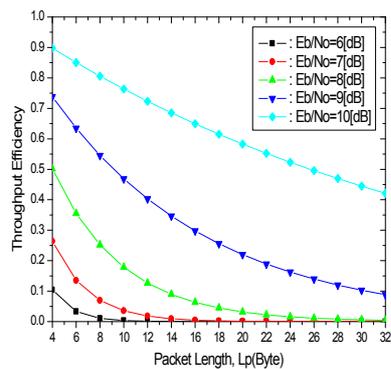


그림 13. E_b/N_o 에 따른 비동기 FSK 신호의 데이터 처리 효율
Fig. 13. Data throughput efficiency of Async. FSK Signal according to E_b/N_o .

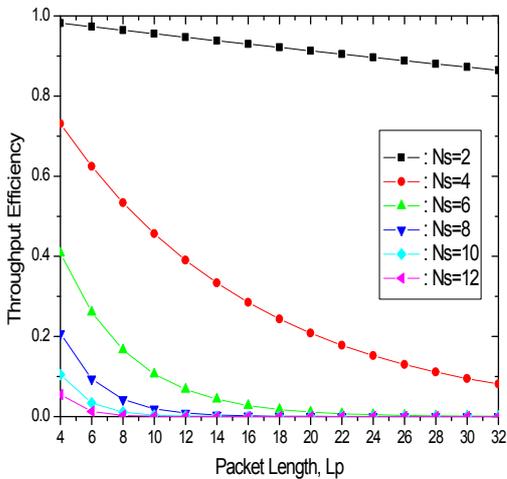


그림 14. N_s 에 따른 DSSS-OQPSK 신호의 데이터 처리 효율
 Fig. 14. Data throughput efficiency of DSSS-OQPSK Signal according to N_s .

IV. 결 론

유비쿼터스 환경을 구현하기 위한 기술로는 다양한 센서 장치와 무선통신 모뎀을 활용하여 필요한 정보를 원격지에서 수집, 분석, 처리하는 무선 센서 네트워크 기술이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 잡음 및 다중 간섭이 존재하는 통신환경에서 무선 센서 네트워크에서 사용되는 무선 센서 노드의 패킷이 손상되는 정도와 데이터 처리율을 정량적으로 해석하였다. 현재 사용되고 있는 Mica2와 MicaZ 센서노드 시스템의 변조방식은 각각 비동기 FSK와 DSSS-OQPSK을 적용하고 있으며 무선 채널의 BER은 송수신자의 이동 또는 주위 환경 변화에 따라서 큰 폭으로 변화하기 때문에, 이러한 변화에 대응하기 위하여 FEC 기술과 ARQ 기술을 적용하여 수신 데이터의 처리율을 분석하였다. 분석결과, 신호 대 잡음 전력비가 증가할수록 비동기 FSK 신호와 $N_s=2$ 인 DSSS-OQPSK 시스템의 비트 오류 성능은 개선되고 있음을 알 수 있었지만 $N_s=3$ 이상인 DSSS-OQPSK

시스템에서는 센서노드의 수 N_s 가 증가하면 동일 주파수 신호 간섭이 증가하여 BER 성능 개선의 폭은 감소하면서 유지됨을 볼 수 있었다. 무선 패킷전송 과정에서 L_p 비트로 구성된 패킷 페이로드 길이 변화에 따른 패킷 성능을 분석한 결과, Mica2와 MicaZ 센서 노드 시스템에서 동일하게 페이로드 길이가 증가함에 따라서 패킷전송에 따른 에러확률은 증가하였으며 MicaZ 센서 노드 시스템이 Mica2 센서 노드 시스템보다 패킷 페이로드 길이 변화에 따라서 무선 패킷전송 성능에 민감함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김지은 외 4인, “USN 센서노드 기술 동향,” *ETRI 전자통신동향분석 제22권 제3호*, pp.90~103, 2007년 6월
- [2] 이현정, 허재두, 박광로, “유비쿼터스 홈네트워킹 기술,” *ETRI, 제21권 제3호*, pp.54-65, 2004년 3월
- [3] 이근호, “u 센서 네트워크 기반 M2M 비즈니스 개요와 전망,” *한국전자통신학회지, 제4권*, 2004년 2월
- [4] I.F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug 2002.
- [5] Y. Sankarasubramaniam, I. F. Akyildiz, and S. W. McLaughlin, “Energy efficiency based packet size optimization in wireless sensor networks,” *Proceedings of 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications SNPA'03*, 2003.
- [6] R. Min and A. Chandrakasan, “Energy-centric enabling technologies for wireless sensor networks,” *IEEE Wireless Comm.*, vol. 9, no. 4, pp. 28-39, Aug. 2002.

- [7] F. Walther, "Energy modelling of MICAz: A low power wireless sensor node," *Technical Report, University of Kaiserslautern*, Feb. 2006.
- [8] <http://www.chipcon.com>.
- [9] <http://www.crossbow.com>.
- [10] <http://www.ZigBee.org>.
- [11] S. Lin and D. J. C. Jr., *Error control coding: fundamentals and applications*, Prentice-Hall, 1983.
- [12] John G. Proakis, *Digital Communication, Fourth Edition*, McGraw-Hill, 2001.

김 완 태 (金完泰)



2005년 : 한국항공대학교 대학원
정보통신공학과 졸업
2005년 1월~2007년 2월 : (주)모드멘
CDMA 단말기 개발.
2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교
대학원 정보통신공학과 박사과정

관심분야 : 휴대인터넷, 무선통신, 이동통신, WiBro,
WPAN

노 재 성 (盧在成)



1990년 : 한국항공대학교
정보통신공학과 (학사)

1992년 : 한국항공대학교
정보통신공학과 (석사)

2000년 : 한국항공대학교
정보통신공학과 (공학박사)

2000~현재 : 서일대학 정보통신과
부교수

관심분야 : 모바일 임베디드 SW, 휴대인터넷, 멀티미디어
콘텐츠, USN/RFID 통신시스템