Journal of Digital Contents Society Vol. 8 No. 3 Sept. 2007(pp. 323-328)

무선 메쉬 네트워크를 이용한 홈 임베디드 시스템의 성능에 대한 연구

노재성*, 예휘진**

요 약

3G 이후의 통신 시스템은 무선 접속을 위하여 100 Mbps 이상을 제공해야 한다. 스마트 안테나 외에도 무선 멀티 홉 네트워크는 셀 크기와 처리율을 증가시키는 방식이다. 예를 들어 지그비 기술은 기기사이의 저 가격과 저 전력 연결을 제공하며 블루투스에서 제공하는 네트워크 구성보다 큰 메쉬 네트워크를 구축할 수 있다. 무선 메쉬 네트워크를 이용한 홈 임베디드 시스템은 지그비 응용을 위한 큰 시장중의 하나이다. 만약 LOS 경로가 보장되지 않고 높은 주파수를 사용하면 AP와 마지막 노드사이에 직접 연결은 불가능하다. 따라서 멀티 홉 릴레이 기법을 사용하게 되면 AP와 마지막 노드사이의 연결은 가능하게 된다. 본 논문은 AP와 마지막 노드사이의 데이터 릴레이 방식을 연구하였으며 멀티 홉 무선 메쉬 네트워크에서 DSSS/BPSK 시스템의 처리율과 PER 성능을 분석하였다.

A Study on the Performance of Home Embedded System Using a Wireless Mesh Network

Jae-Sung Roh*, Hwi-Jin Ye**

Abstract

Communication systems beyond 3G should provide more than 100 Mbps for wireless access. In addition to smart antennas, wireless multi-hop networks are proposed to increase the cell size and throughput. For example, Zigbee technology is expected to provide low cost and low power connectivity and can be implemented in wireless mesh networks larger than is possible with Bluetooth. Also, home embedded system using wireless mesh network is one of the key market areas for Zigbee applications. If the line-of-sight path is shadowed by home obstacles, a direct connection between the access point (AP) and the node is not possible at high frequencies. Therefore, by using multi-hop relay scheme the end node can be reached to AP. In this paper, the relaying of data between the AP and the end node is investigated and the throughput and PER(Packet Error Rate) are evaluated in multi-hop wireless mesh networks by using DSSS/BPSK system.

Keywords : Multi-hop networks, PER, DSSS/BPSK, Zigbee

1. 서론

미래의 홈 네트워크 서비스는 가전제품, 오락, 정보통신 기기, 보안 장비 등이 서로 연결될 것이다. 소비자는 자신에게 실질적인 혜택을 주는 홈 네트워크 서비스에 관심을 갖게 되며 흥미로운 애플리케이션의 제공 및 사용과 설치가 간편한 시스템과 콘텐츠를 제공하는 것이 홈 네트워크 시장 성장의 관건이 될 것이다.

최근의 표준화 동향 중에 IEEE 802.15에서 무선 메쉬 네트워크 기술을 이용한 홈 네트워크 표준화 그룹이 만들어 졌으며 기존의 홈 네트워크를 중심으로 이루어지는 홈 네트워크 통신을 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network)를

※ 제일저자(First Author): 노재성
접수일자:2007년08월13일, 심사완료:2007년08월17일
* 서일대학 정보통신과
jsroh@seoil.ac.kr
** 한국항공대학교 정보통신과
▣ 이 논문은 서울시 산학연 협력사업의 지원에 의한 것임

통해 장비 간 통신 방식이 논의 중에 있다. 무선 메쉬 네트워크는 이동 무선 네트워크와 달리 노드의 움직임을 가정하지 않는 무선 네트워크로써 무선 메쉬 네트워크의 특성을 최대한 이용하는 여러 관한 연구가 최근 진행되고 있으며 Notel, Philips, Intel, Motorola 등 많은 기업들이 무선 메쉬 네트워크를 위한 표준화 작업에 참여하고 있다[1,2,3,4].

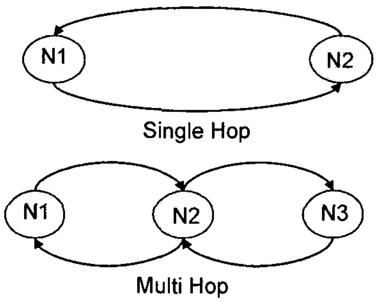
무선 메쉬 네트워크는 멀티 홉(Multi-hop) 경로를 통하여 무선 사용자들에게 광대역 인터넷 접속 서비스를 제공할 수 있으며 대규모 무선 인프라 구축이 비용적인 측면에서 쉽지 않을 경우 유용한 대안으로 고려되고 있다. 특히, 홈 네트워크 서비스 환경에서 무선 메쉬 네트워크를 이용한 홈 네트워크 구현은 매우 유용한 서비스 환경을 제공 할 수 있으며 홈 네트워크 시장의 확산에도 크게 기여가 될 것이다[5,6,7,8,9].

또한, 지그비 기술은 미국에서 표준화 작업 중인 근거리 무선방식 IEEE 802.15.4에 근거한 표준화 작업이며 무선 통합 리모컨, 가전 기기 컨트롤러, 산업 제어 및 홈 오토메이션, 장난감 등에 사용하기 위한 저속, 저가격, 저소비 전력의 무선전송기술의 표준을 제정하기 위한 그룹이다. PHY와 MAC 프로토콜의 표준을 다루는 IEEE 802.15.4 LR (Low Rate)-WPAN 표준화가 완료되어 현재 응용 서비스를 위한 시스템 개발에 필요한 MAC 상위 계층에 대한 표준화 작업이 지그비 Alliance에서 진행 중이다. 현재 IEEE 802.15.4 사양은 시장에서 입지를 다투고 있는 여러 무선 네트워킹 표준들과 비교할 때 빠른 성장을 보이고 있다 [3,4].

본 논문에서는 지그비 홈 임베디드 시스템의 성능 분석을 위하여 DSSS/BPSK 시스템 모델을 무선 메쉬 네트워크에 적용하였고 무선 채널로는 AWGN, 간섭 및 나카가미 페이딩 환경에서 PER 및 처리율 성능을 평가하였다.

2. 멀티 홉 무선 메쉬 네트워크

최근의 무선통신은 다양한 공간에 펼쳐져 있는 각종 기기의 센서와 네트워크를 연결시켜 실시간으로 유용한 정보를 생성하여 사용자에게 전달하는 유비쿼터스 네트워크로 발전하고 있다.



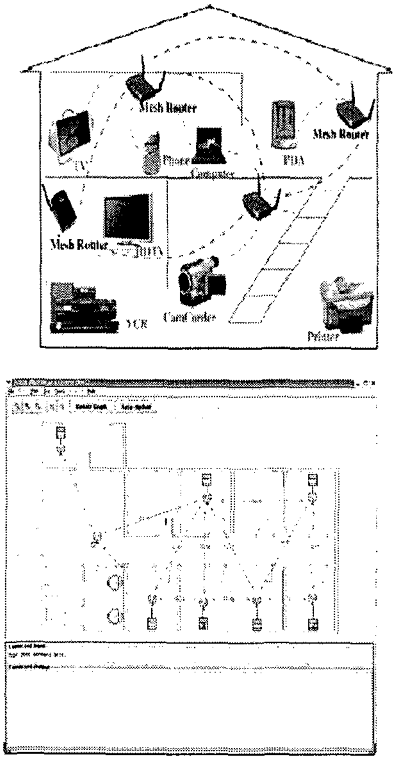
(그림 1) 멀티 홉 무선 네트워크 모델

또한, 기존 무선 LAN의 한계를 극복하기 위한 새로운 기술인 무선 메쉬 네트워크가 등장하고 있다. 현재 IEEE 802.11에서는 TGs에서 표준화를 다루고 있으며 홈 네트워크 분야의 IEEE 802.15에서는 TG5에서 무선 메쉬 네트워크 표준화를 연구하고 있다.

무선 메쉬 네트워크는 기존의 점대 점, 점대 다점의 무선통신의 방식과는 달리, 유선망의 메쉬형태의 네트워크 구조를 무선망에서도 같은 구조를 가짐으로 망의 신뢰도 및 적은 출력을 이용한 무선망의 확장 등의 장점을 가지고자 하는 기술로 네트워크의 확장성, 신뢰성, 이동성 측면에서 무선 메쉬 네트워크는 장점을 가지고 있으며, 차세대 이동통신, 홈 네트워크, 공공안전 및 특수 목적 네트워크 분야에서 활용이 가능하다.

향후 무선 메쉬 네트워크 기술은 유비쿼터스 환경을 위한 차세대 소출력 무선기술로서 중요한 역활을 할 것으로 예상된다.

무선 메쉬 네트워크 기술은 기존의 점 대 다점의 이동통신의 환경의 문제점인 고가의 기지국 및 네트워크 설치 비용과 cell 설계의 복잡성을 해소 할 수 있다. 특히 무선 메쉬 네트워크의 공간 주파수 재사용 효과로 서비스 커버리지 확장 및 시스템 가용성을 증가할 수 있다. 무선 메쉬 네트워크는 저가의 무선 라우터와 무선 접속 장치로 구성되며 자체 구성기능 및 자체 관리기능을 통해 무선 메쉬 통신을 하게 된다. 이러한 무선 메쉬 통신은 휴대인터넷 및 세대 이동통신 등에도 활용 될 수 있을 것이다.



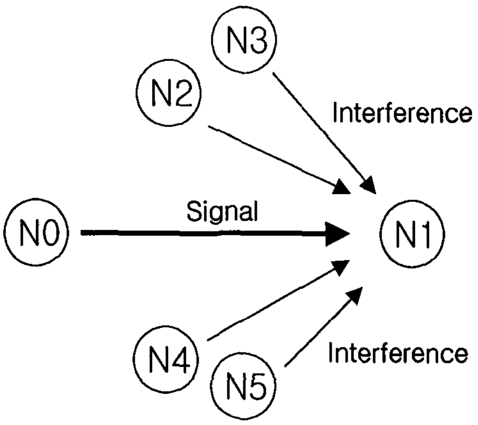
(그림 2) 무선 메쉬 홈 네트워크

3. 지그비 홈 임베디드 시스템을 위한 물리계층 모델

IEEE 802.15.4 표준은 3가지 대역에서 서로 다른 데이터 속도를 명시한다. 저속을 제공하는 868/915 MHz 물리계층은 BPSK 변조 방식을 사용하며 고속을 제공하는 2.4 GHz은 O-QPSK 변조 방식을 사용한다. 868/915 MHz 대역의 지그비 물리계층에서는 DSSS/BPSK 변조 방식을 사용하고 있으며 다수의 노드중에서 k-번째 노드로부터 데이터 수집노드에 수신된 신호의 식은 다음과 같다 [10,11].

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

여기서, $d_k(t)$는 k번째 노드의 데이터 열, $a_k(t)$는 k번째 노드의 확산(chip) 열, τ_k는 기준 노드로부터 k번째 노드의 상대적인 지연, P_k는 k번째 노드의 수신 전력, ϕ_k는 기준 노드 0으로부터 k번째 노드의 상대적인 반송파 위상 차를 의미한다. (그림 3)은 지그비 모뎀을 사용한 네트워크에서 물리계층의 성능 해석 모델을 나타낸다.



(그림 3) 물리계층 해석 모델

위 모델에서 물리계층에는 K-개의 노드가 존재하며 그중에서 N0은 소스노드이고 N1은 수집노드이다. N1 수집노드에서 상관 수신기 입력단의 신호 표현은 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k(t-\tau_k) + n(t) \quad (2)$$

여기서 $n(t)$는 AWGN을 나타내며 주변의 모든 노드에서 수신된 잡음과 간섭신호 성분은 다음과 같다.

$$\sigma_T^2 = \frac{NT_c^2}{6}\sum_{k=1}^{K-1} P_k + \frac{N_o T_b}{4} \quad (3)$$

DSSS/BPSK 시스템의 최종 오율식은 다음과 같다.

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{\frac{P_o}{2}T_b^2}{\frac{NT_c^2}{6}\sum_{k=1}^{K-1}P_k + \frac{N_o T_b}{4}}}\right) \quad (4)$$

가우시안 근사화 방법을 이용하고 전력 제어가 완벽하다고 가정하면 위 식은 다음과 같이 정리된다.

$$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{1}{\frac{K-1}{3N} + \frac{N_o}{2E_b}}}\right) \quad (5)$$

본 논문에서는 나카가미 페이딩 분포를 페이딩 모델로 채택하였다. 나카가미 분포는 하나의 분포로서 one-sided 가우시안 분포로부터 페이딩이 없는 상황까지 모델링할 수 있다. 나카가미 분포는 실제 측정된 실험치에 잘 맞으며 라이시안 분포에 비하여 해석하기가 편리하다. 나카가미 페이딩에서 신호 전력 대 잡음 전력비에 대한 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f(\gamma_i) = \frac{1}{\Gamma(m)}\left(\frac{m}{\Omega}\right)^m \gamma_i^{m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega}\gamma_i\right) \quad (6)$$

여기서, Ω는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비, γ_i는 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, m은 나카가미 페이딩 파라미터를 나타낸다.

각각의 홉에서의 비트 오율식을 고려하면 다중 홉을 통하여 전달되는 무선 네트워크 구조에서 최종적인 단말의 비트 오율은 다음과 같다.

$$P_{et} = 1 - (1 - P_{e01}) \cdot (1 - P_{e12}) \cdot\cdot\cdot (1 - P_{e(n-1)n}) \quad (7)$$

여기서 다음과 같이 전달되는 패킷 크기 ($n_B = 54\,bytes$)가 정해지면, 최종적인 단말에서의 패킷 에러 오율은 다음과 같다.

$$PER = 1 - (1 - P_{et})^{n_B \cdot 8} \quad (8)$$

전체 네트워크의 처리율은 다음과 같다.

$$T_p = (1 - PER) \quad (9)$$

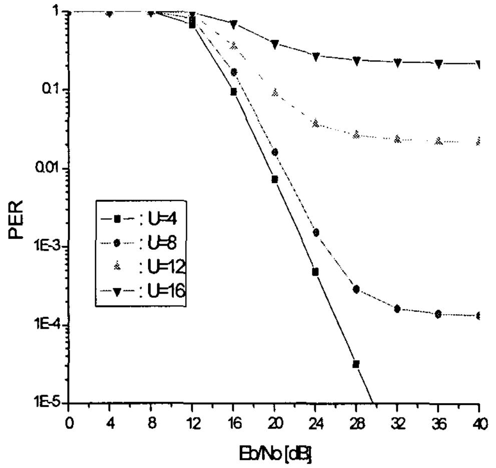
본 논문에서는 지그비 홈 임베디드 시스템의 성능 분석을 위하여 DSSS/BPSK 시스템을 적용하였고 무선 채널로는 AWGN, 간섭 및 나카가미 페이딩 환경에서 PER과 처리율 성능을 평가하였다. 성능 분석을 위한 파라미터로는 나카가미 페이딩 채널의 채널 변화를 나타내는 m-페이딩 파라미터, 비트 당 칩의 수, 간섭 노드의 수, 그리고 평균 신호 대 잡음 전력비 등을 사용하였다.

(그림 4)는 $m = 3$인 나카가미 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 시스템의 패킷 에러 오율 특성을 나타낸다. $n_B = 54\,bytes$이고 비트 당 칩의 수는 63이고 간섭노드의 수는 4, 8, 12, 16개가 동작하는 환경이다. 노드의 수가 증가함에 따라서 DSSS의 특성상 간섭의 양도 증가된다. 노드의 수는 4인 경우는 간섭이 존재하지 않는 환경으로 PER이 급속하게 감소함을 볼 수 있다. 간섭노드의 수는 4, 8, 12, 16개 중에서 가장 우수한 통신 성능을 나타낸다. 노드의 수가 8이상으로 증가함에 따라서 PER 성능은 급격히 열화되며 신호 대 잡음 전력비가 증가하여도 PER 성능에 변화가 없는 현상이 발생한다. 또한 PER= 1×10^{-4} 이하를 얻기 위해서는 노드의 수가 4개 이하가 되어야 함을 알 수 있었다.

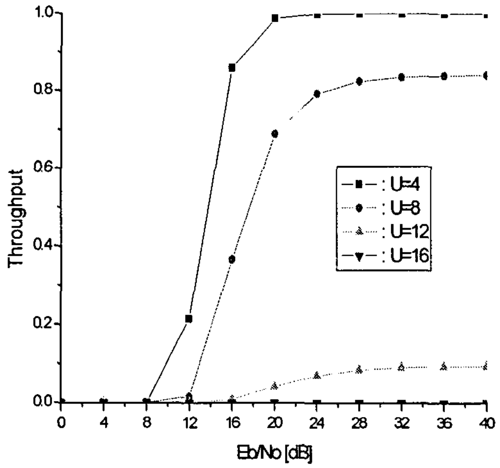
(그림 5)는 $m = 3$인 나카가미 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 시스템의 처리율 성능을 나타낸다. 비트 당 칩의 수는 31이고 간섭노드의 수는 4, 8, 12, 16개가 동작하는 경우에 신호 대 잡음 전력비에 따른 DSSS/BPSK 시스템의 처리율 성능을 나타낸다. 노드의 수와 BER 특성사이의 관계를 표현하고 있다. 간섭노드의 수는 4, 8인 경우에는 신호 대 잡음 전력비가 증가할수록 처리율 성능은 개선됨을 알 수 있었다. 하지만 노드의 수가 12, 16개로 증가할수록 시스템의 처리율 성능은 많은 열화가 있음을 알 수 있었다. 결국, 비트 당 칩의 수가 31인 경우에는 시스템의 처리율 성능은 영향이 많음을 알 수 있었다.

(그림 6)은 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 시스템의 처리율 특성을 나타내고 있다. 무선 채널 환경은 AWGN, 간섭, 그리고 페이딩이 동시에 존재하고 있는 상황이다. (그림 5)에 비하여 비

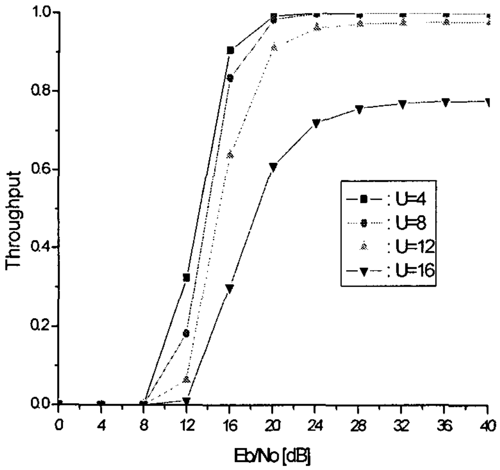
트 당 칩의 수가 63으로 증가한 경우이다. 이 경우에는 간섭노드의 수가 4, 8, 12, 16개로 증가하며 동작하여도 신호 대 잡음 전력비에 따른 DSSS/BPSK 시스템의 처리율 성능은 0.7이상임을 알 수 있었다.



(그림 4) $m=3$ 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 시스템의 PER 성능 ($PN=63$)



(그림 5) $m=3$ 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 시스템의 Throughput 특성($PN=31$)



(그림 6) $m=3$ 페이딩 채널에서 DSSS/BPSK 시스템의 Throughput 특성($PN=63$)

4. 결 론

무선 메쉬 네트워크는 차세대 이동통신, 홈 네트워크, 공공안전 및 특수 목적 네트워크 분야에서 활용이 가능하며 유비쿼터스 환경을 위한 차세대 소출력 무선기술로서 중요한 역할을 할 것으로 예상되고 있다. 따라서 본 논문은 잡음과 간섭 그리고 페이딩 기반의 다중 홉 무선 메쉬 네트워크 환경에서 DSSS/BPSK 시스템의 PER 및 처리율 성능을 분석하였다. 그리고 다중 홉 무선 메쉬 네트워크 환경에서 채널모델은 AWGN, 간섭 및 페이딩으로 구성되며 이러한 무선채널의 특성에 따른 성능 분석을 수행하였다.

분석 결과, 노드의 수가 8이상으로 증가함에 따라서 PER 성능은 급격히 열화되며 신호 대 잡음 전력비가 증가하여도 PER 성능에 변화가 없는 현상이 발생하였다. 또한 PER=1×10^{-4} 이하를 얻기 위해서는 노드의 수가 4개 이하가 되어야 함을 알 수 있었다. 비트 당 칩의 수는 31인 경우, 간섭노드의 수가 4, 8인 경우에는 신호 대 잡음 전력비가 증가할수록 처리율 성능은 개선됨을 알 수 있었다. 하지만 노드의 수가 12, 16개로 증가할수록 시스템의 처리율 성능은 많은 열화가 있음을 알 수 있었다. 하지만 비트 당

칩의 수가 63으로 증가한 경우에는 간섭노드의 수가 4, 8, 12, 16개로 증가하며 동작하여도 신호 대 잡음 전력비에 따른 DSSS/BPSK 시스템의 처리율 성능은 0.7이상임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] C. K. Toh, Ad-Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002.

[2] A. Azzam, N. Ransom, Broadband Access Technologies, McGraw-Hill, 1999.

[3] ZigBee Alliance, http://www.caba.org/standard/zigbee.html.

[4] 이원준, 이춘화, 저속 WPAN, 홍릉과학출판사, 2005.

[5] G. N. Aggelou and R. Tafazolli, "On the Relaying Capability of Next-generation GSM Cellular Networks," IEEE Personal Communications, pp. 40-47, Feb. 2001.

[6] Y. D. Lin and Y. C. Hsu, "Multihop cellular: a new architecture for wireless communications,"IEEE INFOCOM-2000, vol. 3, Mar. 2000.

[7] Y. Yamao, T. Otsu, A. Fujiwara, H. Murata, and S. Yoshida, "Multi-hop radio access cellular concept for fourth-generation mobile communications system," IEEE PIMRC-2002, vol. 1, Sep, 2002.

[8] O. C. Mantel, N. Scully, and A. Mawira, "Radio aspects of hybrid wireless ad-hoc networks," IEEE VTC-2001, vol. 2, May 2001.

[9] H. Li, M. Lott, M. Weckerle, W. Zirwas, and E. Schulz, "Multihop communications in future mobile radio networks," IEEE PIMRC-2002, vol. 1, Sep. 2002.

[10] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.

[11] R. Prasad, Universal wireless personal communications, Artech House Publishers, 1998.

노 재 성

1990년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (학사)

1992년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (석사)

2000년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2000년~현 재 : 서일대학 정보통신과 부교수

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

예 휘 진

2002년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (학사)

2004년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (석사)

현 재 : 한국항공대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야 : QoS, IPv6, 무선 데이터 통신