

## 2.4GHz 대역 무선 홈네트워킹 시스템의 성능 비교

<sup>0</sup>김동호\* · 이정도\*\* · 강희조\*

\*동신대학교 전기전자공학과

\*\* (주) 에스퍼 컴텍 연구소

### Performance of Wireless Home Networking Systems in the 2.4GHz band

<sup>0</sup>Dong-Ho Kim\* · Jeong-Do Lee\*\* · Heau-Jo Kang\*

\*Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.

\*\*SP Com Teach Co., LTD

#### 요 약

본 논문에서는 무선 홈네트워킹 시스템으로 대두되고 있는 Wireless LAN(802.11), HomeRF, Bluetooth 성능을 간섭이 고려되지 않는 경우의 실내 무선 환경하에서 시스템의 변조 방식만을 고려하였으며 실내환경에서 발생하는 에러에 대한 제어 기술로 Truncated Type-II Hybrid ARQ를 적용하였다. 무선 홈네트워킹 시스템의 채널 수 및 주파수 대역은 동일하며 실내 무선 환경을 라이시안 페이딩 환경으로 고려하였을 경우, 직직접파 대 반사파 전력비( $K$ )가 6[dB]인 라이시안 페이딩 환경하에서 오율  $10^{-3}$ 을 기준으로 할 때 2FSK가 DQPSK보다는  $E_b/N_0$ 가 약 3[dB] 정도 우수하며 오율  $10^{-6}$ 을 기준으로 비교하여 보면, DPSK 방식이 4FSK 보다 약  $E_b/N_0$ 가 5[dB] 우수하였다. 또한  $K=6$ 인 라이시안 환경하에서 변조 방식만을 고려한 경우보다 성능 개선 기법을 채용한 무선 홈네트워킹 시스템의  $E_b/N_0$ 가 더 우수함을 알 수 있었다.

#### I. 서 론

현재 일반가정의 PC, 주변기기, 휴대폰, 가전제품 등을 PC 또는 다른 장비를 통해 공유할 수 있는 홈네트워킹 기술은 유무선 상에서 많은 정보를 빠른 시간 내에 더 정확하게 얻기 위해 연구와 표준화가 진행되고 있다. 이러한 홈네트워킹 기술은 모든 종류의 가전제품을 하나로 엮는 것으로 일반가정의 제품들을 단일 프로토콜로 제어한다는 개념에서 출발한다[1].

홈네트워킹 시스템이 사용되는 실내 무선 환경은 큰 경로 손실뿐만 아니라 심각한 다중경로 페이딩으로 인해 시스템 구성이 어렵고 실내의 페이딩율은 데이터 비트율보다 늦어 채널 특성 파라미터는 연속적인 2 비트 간격에서는 크게 변동되지 않는다. 또한 실내 건물의 기자재 및 기계로부터 발생하는 임펄스성의 인공잡음 영향도 받을 수 있다[2][3].

본 논문에서 무선 홈네트워킹 기술에 대한 전반적인 내용에 대해 살펴보고 실내 무선 채널 환경에서 각각의 홈네트워킹 시스템 성능 해석을 통해 시스템의 성능을 비교 분석하였다.

#### II. 무선 홈네트워킹 기술

현재 홈네트워킹 전송 기술 방식으로 전화선, 전력선 등 유선을 활용하는 방법과 무선을 활용하는 방법으로 여러 단체에서 표준화가 추진되고 있다. 유선 형태의 대표적인 것은 기존 전화선을 이용하는 HomePNA, IEEE 1394, USB, 전력선 등이 있으며 무선 형태는 Wireless LAN, HomeRF, Bluetooth, IrDA가 있다.

##### 2.1 WLAN(Wireless LAN)

IEEE802.11은 1990년 WLAN 사업자들이 모여 결성한 그룹을 중심으로 이루어져 1997년 표준안을 발표하였다. 현재 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 밴드의 2.4[GHz]를 사용하여 2[Mbps]까지 전송할 수 있으며 물리계층에서 DSSS(Direct Sequencing Spread Spectrum) 방식 DPSK/DQPSK, FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum) 방식 다진(Multilevel) GFSK를 사용한다[4].

##### 2.2 HomeRF

HomeRF는 1997년 초반에 가정내의 PC와 가전

제품을 무선으로 연결하기 위하여 기존의 WLAN 밴드와 PC 및 가전제품 제조업체들이 창설하였다 [5]. SWAP 규격의 물리계층은 IEEE802.11 규격을 따라 2.4 [GHz]의 ISM 주파수대를 사용하고 50 Hops/초를 갖는 FHSS방식을 통해 데이터 전송율이 1Mbps(2FSK)/2Mbps(4FSK)을 사용한다. HomeRF는 가정 내에서의 사용을 목표로 두고 있기 때문에 WLAN에 비하여 저가의 제품이 요구된다.

### 2.3 Bluetooth

Bluetooth SIG(Special Interest Group)는 초소형화 및 초저가를 목표로 1998년 2월 Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba, Intel 등의 기업에 의해 결성되었다[6]. 현재의 규격인 Bluetooth V1.0은 HomeRF와 유사하게 2.4 [GHz]대 ISM 무선 주파수에서 보통 1[mW] 출력, 1[MHz] 밴드폭으로 FHSS방식을 통해 79채널을 초당 1,600번으로 1[Mbps]의 비교적 저속의 음성 및 데이터를 제공한다. 변조 방식은 GFSK이며 duplex 통신을 위하여 TDD(Time Division Duplex) 방식을 사용하는 무선 디지털 데이터 통신으로 일반적인 데이터뿐만 아니라 음성신호에 대해서도 디지털 변조하여 전송할 수 있다.

## III. 실내 환경에서 무선 홈네트워킹 시스템의 성능

### 3.1 실내 무선 환경

본 논문에서는 실내 무선 환경으로 라이시안(Rician) 페이딩 환경을 고려한다. 라이시안 페이딩은 직접파와 같은 하나의 강한 정상파 성분과 다중파가 중첩되어 수신될 때 수신 신호의 순시 진폭의 변동을 나타내며, 라이시안 페이딩 통신로에서 비트 당 순시 반송파 대 간섭 전력비(CNR),  $\gamma$ 에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 나타내진다.

$$p(\gamma) = \frac{(K+1)}{\gamma_0} \exp\left[-K - \frac{\gamma(K+1)}{\gamma_0}\right] \cdot I_0\left[2\sqrt{\frac{\gamma K(K+1)}{\gamma_0}}\right] \quad (1)$$

단,  $\gamma$ : 순시 CNR,  $\gamma_0$ : 평균 CNR

$K$ : 직접파 대 반사파 전력비

$I_0(\cdot)$ : 0차 변형 베셀함수

### 3.2 가우스 잡음하에서 오율성능

가우스 잡음에 의한 무선 홈네트워킹 시스템 변조 방식의 오율식은 모두 대역필터 출력에 있어서의  $E_b/N_0$ 비  $\gamma$ 의 함수로서 다음 식과 같이 표시된다.

DPSK/PQPSK 오율식 (WLAN)은

$$P_{eDPSK} = 1/2 \exp(-\gamma) \quad (2)$$

$$P_{eDQPSK} = 2\text{erfc}(\sqrt{\gamma} \sin \pi/M) \quad (3)$$

이며, 2FSK/4FSK 오율식 (HomeRF)은

$$P_{e2FSK} = 1/2 \exp(-\gamma/2) \quad (4)$$

$$P_{e4FSK} = 1/3 \exp(-\gamma/2) \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다.

GFSK 방식 (Bluetooth)은 수신기의 가우스형 필터의 정규화된 대역폭이  $B_b T$ 가 0.5인 경우이다.

$$P_{eGFSK} = 1/2 \text{erfc}(\sqrt{a \cdot \gamma}) \quad (6)$$

여기서  $a$ 는 감쇄상수로 가우스 저역 필터에 따라서 변하는 파라메타를 나타낸다. 즉  $a$ 는  $B_b T$ 의 함수이다[7].

### 3.3 라이시안 페이딩에 적용된 오율식

실내 무선 환경에서 사용되는 홈네트워킹 시스템 변조 방식의 확률밀도함수는 가우시안 잡음하에서의 오율식 (2) ~ (6)에 라이시안 페이딩의 확률밀도함수 식 (1)을 곱하여 적분을 취하면 구할 수 있다.

$$P_e = \int_0^\infty P_{eG} \cdot p(\gamma) d\gamma \quad (7)$$

단,  $P_{eG}$ 는 무선 홈네트워킹 시스템 오율식

$p(\gamma)$ 는 라이시안 페이딩 확률밀도함수

### 3.4 ARQ 시스템

정보 원천으로부터의 정보는 전송단말기에서 제어 신호가 첨부되어 부호화기로 보내고 채널을 통하여 전송된다.

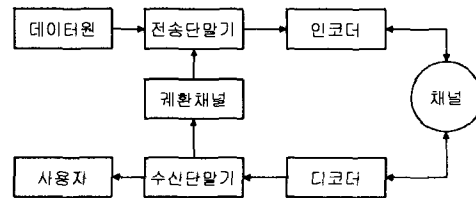


그림 1. ARQ 시스템

그림 1의 채널에는 변복조 시스템이 포함되어 있다고 간주한다. 수신단에서는 복호기를 통하여 수신된 부호어의 패리티 비트를 검사하여 에러가 없으면 수신자에게 정보를 전송하고 전송 단말기에 대하여 유효 수신하였음을 제한 채널을 통하여 알린다. 만약 에러가 있다면 전송단말기에 알리게 되며 그 정보를 재전송하게 된다. 이러한 시스템 성능을 평가하는 방법으로는 전송효율(Throughput efficiency)을 구하는 방법을 사용한다.

본 논문에서 채용된 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법은 ARQ 기법과 같이 특정채널 환경에서 Throughput 열화와 같은 단점을 보완하여 전송횟수 제한으로 높은 전송효율을 얻을 수 있다.

3.5 Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시 오율 특성

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시 전송 효율  $\mu$ 를 고려한 방식의 오율[8][9]은 무선 홈네트워킹 시스템 오율식  $P_{ec}$ 에서  $E_b/N_0$ 비  $\gamma$ 의 함수를  $\gamma_c$ 로 대신하여 취하면 얻을 수 있다. 여기서,  $\gamma_c = (1/\mu)\gamma$ 이다.

전송효율  $\mu$ 는 다음식으로 정의되며, 이의 역수는 throughput을 나타낸다.

$$\mu = \frac{n}{k} [ P_c + 2(1 - P_c - P_b) P_i ] \quad (8)$$

여기서,  $k/n$ 은 부호율이다.

$$P_c = (1 - P_{ec})^n$$

: 수신 신호에 오류가 없을 확률,

$$P_b \leq [1 - (1 - P_{ec})^k] 2^{-(n-k)}$$

:  $C_0$ 부호를 수신한 후 검출 불가능한 오류를 가질 확률,

$$P_i = P_c + (1 - P_c - P_b) \frac{q_0 - y}{1 - y}$$

: 패리티 비트를 수신한 후 변환과정을 통해 원래의 신호로 복호 가능한 확률,

$$\text{단, } q_0 = \sum_{j=0}^{2n} \binom{2n}{j} P_{ec}^j (1 - P_{ec})^{2n-j}$$

$$y = (1 - P_{ec})^n \left[ 2 \sum_{l=0}^{2n-1} \binom{2n}{l} P_{ec}^l (1 - P_{ec})^{2n-l} - (1 - P_{ec})^n \right]$$

Truncated Type-II Hybrid ARQ 기법 채용시 수신 에러 확률을  $P_r(E)$ 라 할 때 본 논문에서는 한번만 재전송하는 경우를 고려하므로 오율식은 다음과 같다.

$$P_r(E) = P_b + P_d ( P_b + P_d (1 - \frac{q_0 - y}{1 - y}) ) \quad (9)$$

단,  $P_b$  : 수신신호가 검출 불가능한 에러를 가질 경우

$P_d$  : 수신신호가 검출 가능한 에러를 가질 경우 ( $= 1 - P_c - P_b$ )

IV. 계산 결과 및 해석

간섭이 존재하지 않는 실내 공간을 라이시안 페이딩 환경하에서 성능개선 기법을 채용한 경우의 오율식을 비트에너지 대 잡음전력 스펙트럼 밀도비 ( $E_b/N_0$ ), 직접파대 반사파 전력비( $K$ ),  $M$ -ary( $M$ ) 변수로 하여 비트 오율 성능을 구하였다.

그림 2는 실내환경을 라이시안으로 고려하였을 경우, 직접파대 반사파 전력비( $K$ )가 6일 때 오율  $10^{-3}$ 을 기준으로 비교하면 DPSK 방식이 4FSK와

GFSK 보다 약  $E_b/N_0=4$ [dB], DQPSK와는 약  $E_b/N_0=11$ [dB] 그리고 2FSK 보다 약  $E_b/N_0=28$ [dB] 정도 우수하였다.

그림 3은 성능 개선 기법을 채용한 MDPSK 시스템의 경우  $M$ 과  $K$ 에 의한 비트 오율 특성 그래프이다. MDPSK 방식은  $M=2$ 일 때, 오율  $10^{-6}$ 을 기준으로  $K$ 가 2와 6 경우 약  $E_b/N_0=23$ [dB] 성능을 나타내며,  $M=4$ 일 경우 오율  $10^{-3}$ 을 기준으로 비교할 때 약  $E_b/N_0=3.5$ [dB] 정도  $K$ 가 6일 경우 우수하였다.

그림 4는 성능개선 기법을 채용한 MFSK 변조를 행할 때 비트 오율 특성 그래프이다. MFSK 방식은  $K$ 와  $M$  값이 증가함에 따라서 개선됨을 알 수 있는데,  $M=2$ 인 경우 오율  $10^{-3}$ 을 기준으로 비교하면  $K=6$ 이  $K=2$ 일 때보다 약  $E_b/N_0=5.7$ [dB],  $M=4$ 일 경우 오율  $10^{-6}$ 을 기준으로 보면 약  $E_b/N_0=0.4$ [dB] 정도 오율 성능이 우수하였다.

그림 5은 그림 3, 4와 동일한 조건하에서 GFSK를 사용한 경우의 비트 오율 특성 그래프이다. GFSK 방식은  $K=2$ 에서  $K=6$ 으로 증가함에 따라 약  $E_b/N_0=5$ [dB] 우수하게 나타났다.

그림 6는 그림 3-5을 통한 비교 분석을 위하여  $K=6$ 인 경우 무선 홈네트워킹 시스템에 사용되는 변조방식의 오율 성능을 나타내고 있는데,  $E_b/N_0$  성능을 살펴보면 실내 무선 환경에서 오율  $10^{-3}$ 을 기준으로 보면, 2FSK가 DQPSK 보다 약  $E_b/N_0=3$ [dB] 우수하고  $10^{-6}$ 을 기준으로 DPSK가 4FSK 보다 약  $E_b/N_0=5$ [dB] 우수하였다. 또한 라이시안 환경하에서 변조 방식만을 고려한 경우보다 성능 개선 기법을 채용한 무선 홈네트워킹 시스템의  $E_b/N_0$ 가 더 우수함을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 홈네트워킹 기술의 표준화 동향을 살펴보고 실내 무선 환경이 라이시안 페이딩 환경인 경우에 성능개선기법을 채용한 변조 방식만 고려한 홈네트워킹 시스템 성능을 비교 분석하였다. 이론적 결과의 해석을 통해 무선 홈네트워킹 시스템은 직접파 대 반사파 전력비 ( $K$ ) 값이 클수록 오율 성능이 개선됨을 알 수 있었고 실내 무선 환경에서 발생할 수 있는 큰 경로 손실뿐만 아니라 심각한 다중경로 페이딩을 고려하여 성능개선기법을 채용한 경우, WLAN 시스템의 DPSK 방식이 다른 시스템 보다 우수함을 알 수 있었다. 따라서 WLAN 시스템은 기업이나 사무실 정도의 실내 전송거리가 먼 (100m 이내) 장소에 사용이 유리하고 HomeRF와 Bluetooth 시스템은 일반 가정과 같은 근거리 (50m 이내)에 사용될 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] <http://www.datanet.co.kr>
- [2] J. Wang & M. Moeneclaey, "Hybrid DS/SFH spread spectrum multiple acces with predetection diversity and coding for indoor radio," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10. no. 4, pp. 705-713, May 1992.
- [3] T. S. Rappaport, "Indoor radio communications for factories to the future," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 25, pp. 15-24, May 1989.
- [4] ETSI BRAN, Broadband Radio Access Networks(BRAN) HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC) Layer Part 2: Radio Link Control (RLC) sublayer, TS 101 761-2, v1.1.1 Apr. 2000.
- [5] K. J. Negus, A. P. Sttephens, & J. Lansford, "HomeRF: Wireless Networking for the Connected Home," *IEEE P. Commun.*, vol. 7 No. 1, pp. 20-27, 2000.
- [6] J. C. Haartsen, "The Bluetooth Radio System," *IEEE P. Commun.*, vol. 7, No. 1, pp. 28-36, 2000.
- [7] K. Murota & K. Hirade, "GMSK modulation for digital mobile radio telephone," *IEEE Trans. Commun.*, COM-29, pp. 1044-1050, July 1981.
- [8] S. Lin and P. S. YU, "A hybrid ARQ scheme with parity retransmission for error control of satellite channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-30, pp. 1701-1719, July 1982.
- [9] Y. M. Wang and S. Lin, "A modified selective-repeat type-II hybrid ARQ system and ite performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. Com-31, pp. 598-608, May 1983.

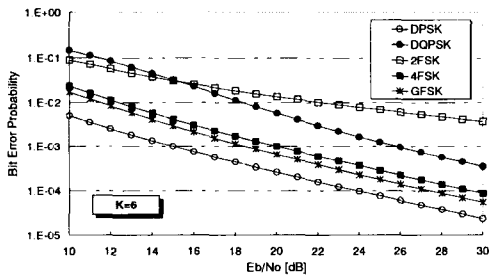


그림 2. 직접파대 반사파 전력비(K)가 6일 경우 변조 방식을 고려한 무선 홈네트워킹 시스템의 오율 특성 비교

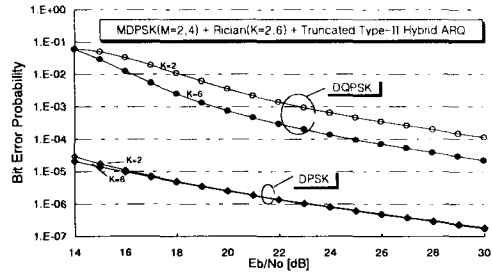


그림 3. 성능개선기법(Truncated Type-II Hybrid ARQ)을 채용한 WLAN 시스템의 오율 특성

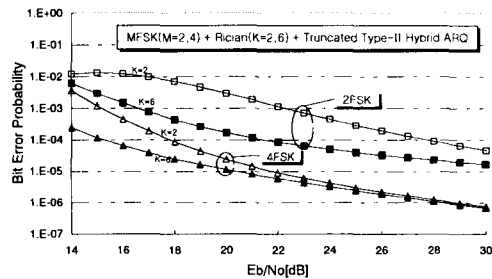


그림 4. 성능개선기법 채용에 따른 HomeRF 시스템의 오율특성

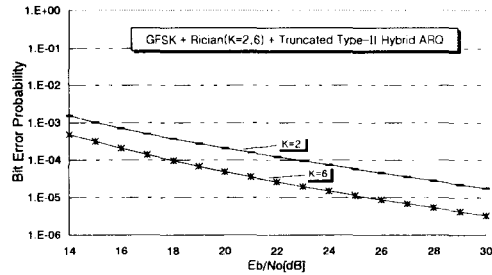


그림 5. Bluetooth 시스템에 성능개선기법을 채용시 오율특성

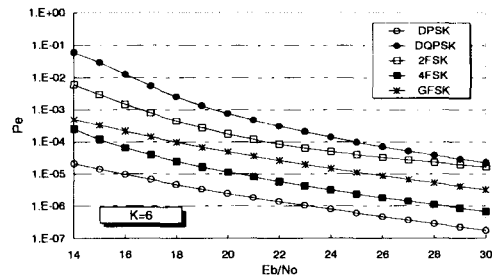


그림 6. 직접파 대 반사파 전력비 (K)가 6[dB] 일 경우 성능개선기법을 채용한 무선 홈네트워킹 시스템의 오율 특성 비교