

모바일 다중 홉 기반의 무선 네트워크의 성능 평가

Performance Evaluation of Wireless Network based on Mobile Multi-hop

노재성*, 김완태**

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

요 약

이동통신 네트워크에서 주된 전력의 소모는 송신 전력이다. 따라서 최근에는 모바일 다중 홉 시스템 및 네트워크 분야에서 전력소모가 효율적인 네트워크 구조에 대한 중요성이 증가하고 있다. 본 논문에서는 M-QAM 신호와 FEC를 적용한 모바일 다중 홉 무선 시스템의 성능을 분석하였다. FEC 기술은 부호화 및 복호화를 위한 추가의 전력을 필요로 하며 통신 노드안에 구현하기 위한 복잡한 기능을 필요로 한다. 성능 평가를 위하여 본 논문에서는 채널 파라미터, 홉의 수, 노드사이의 거리를 함수로 하여 h 홉 중계를 거친 수신된 비트 및 부호어의 에러확률을 평가하였다.

Abstract

In mobile communication networks, the main power consumption is due to the actual transmissions power. Therefore, power efficiency network structures have gained considerable importance in mobile multi-hop systems and networks in recent years. In this paper, the performance of mobile multi-hop wireless system with M-QAM signal and forward error control (FEC) technique are analyzed. The FEC technique uses extra processing power related to encoding and decoding, it is need complex functions to be built into the communication node. The probability of receiving a correct bit and codeword for relaying a data frame over h hop relay station to the final station is evaluated as a function of channel parameter and number of hops, and the distance between the different station.

Key words : M-QAM Signal, Multi-hop, Wireless Relay Network, Forward Error Correction

I. 서 론

최근 무선통신 환경에서 통신 시스템의 공통적인 개발목표는 데이터 전송속도의 향상이며 이에 따라서 다양한 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 증가하

면서 고속 데이터 전송 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차세대 이동통신 시스템으로 주목받고 있는 모바일 와이맥스 시스템은 이동중에도 초고속 휴대인터넷 서비스를 제공하려 하고 있으며 시장의 활성화에 따른 IEEE 802.16j 및 IEEE 802.16m에

* 서일대학 정보통신과

** 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

· 제1저자 (First Author) : 노재성

· 투고일자 : 2008년 11월 22일

· 심사(수정)일자 : 2008년 11월 24일 (수정일자 : 2008년 12월 18일)

· 게재일자 : 2008년 12월 30일

대한 표준화가 진행되고 있다. 시스템 규격에서는 음영지역의 해소, 효과적인 통신 커버리지의 확대 (Coverage Extension), 데이터 처리율의 확대 (Throughput Enhancement) 등을 위하여 차세대 이동통신 시스템을 위한 모바일 다중 홉 전송에 대한 관심이 높아지고 있으며 도입이 불가피하게 되었다 [1],[2].

모바일 다중 홉 전송이 도입되는 가장 큰 이유는 차세대 이동통신 시스템에서 요구되는 서비스 QoS를 만족시키면서 서비스 커버리지를 확장시키기 위해서이다. 이를 위해서는 기지국의 신호를 단순히 증폭하는 기능에서 기지국 신호를 디지털 기저대역 신호 수준에서 복조하고 재변조하여 전송하는 방식이 더욱 효과적이다 [3]-[5].

모바일 다중 홉 네트워크 전송중에 데이터 비트들 중 하나 이상에서 에러가 생기면 수신측에서는 에러를 알아낼 방법이 없으므로 잘못된 정보를 받아들리게 된다. 따라서 오류가 생긴 비트를 수신측에서 검출 또는 정정할 수 있도록 하기 위해 송신측에서는 데이터를 채널 부호화하는 과정을 거친다. 채널 부호화한 데이터를 부호어라고 부르며 무선 채널상에서 발생하는 오류를 제어할 수 있도록 하기 위해서는 정보 비트에 리던던시 비트를 의도적으로 부가하여 부호어의 길이를 늘려주며 리던던시 비트들에 의해 무선 채널에서 발생하는 오류가 제어된다. 오류 제어 부호화는 비트 오류를 검출한 수신기가 송신측에 데이터 재전송을 요구하지 않고 오류를 일으킨 비트를 정정할 수 있으며 이를 순방향 오류 정정(Forward Error Correction: FEC)이라고 한다 [6],[7].

본 논문에서는 무선 장치를 위한 디지털 변조 방식으로는 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 신호와 동기검파방식을 고려하였다. 그림 1은 모바일 다중 홉 네트워크상에서 데이터의 전달 구조를 나타내고 있다. 그림 1에 나타난 바와 같이 기지국의 영역 밖의 지역에도 중계장치(Relay Station)을 통한 신호 전달이 가능해진다. 또한, 기지국 영역 내에 있는 단말에 대해서는 중계국을 통한 높은 수준의 적응변조 및 코딩방식을 가지는 고품질의 경로를 설정할 수 있도록 함으로써 동일한 무선 자원으로 시스템 용량의 증대를 꾀할 수 있다 [6]-[8].

본 연구에서는 부호화를 적용한 모바일 다중 홉 네트워크의 성능을 기지국에서 최종 단말기까지의 직접 전송, 기지국에서 최종 단말기까지 중간 장치를 거치는 h -홉 전송(FEC 복호화는 최종 단말기에서만 수행), 기지국에서 최종 단말기까지 중간 장치를 거쳐서 h -홉 전송(FEC 복호화는 각각의 장치모두 수행)하는 경우를 고려하였다.

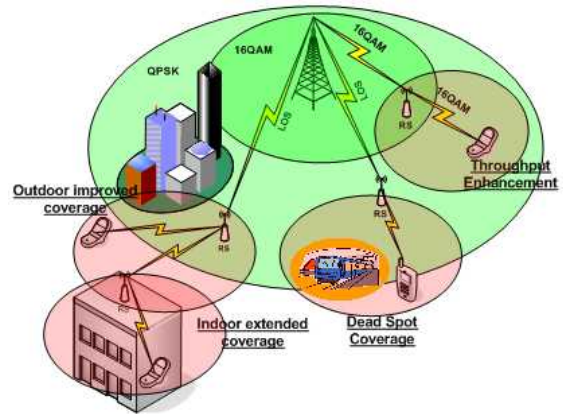


그림 1. 모바일 다중 홉 중계 시스템 모델
Fig. 1. Mobile Multi hop Relay System Model

II. 다중 홉 RF 중계 시스템 모델 및 무선 채널 환경

기지국의 무선신호를 전송받아 증폭하고 단말에 전달하는 RF 중계 시스템은 비용 및 설치의 용이성으로 각광을 받고 있다. 무선통신 환경에서 멀티 홉 전송방식의 종류에는 증폭 후 전달 방식, 디코딩 후 전달 방식, 재구성/재할당 후 전달 방식 등으로 나눌 수 있다.

증폭 후 전달 방식은 기존 중계 시스템에서 사용하던 방식으로 RF 전력을 증폭하여 전달하는 방식이다. 디코딩 후 전달 방식은 수신된 신호를 복호하여 에러를 검출하고 다시 인코딩하여 전달하는 방식으로 증폭 후 전달 방식에 비하여 지능화된 전달 방식으로 많은 연구가 진행되고 있다. 재구성/재할당 후 전달 방식은 중계장치가 기지국의 역할을 수행하는 방식으로 할당받은 무선자원을 채널에 맞도록 재구성하고 재할당하여 시스템의 전체 처리율을 향상시키는 효과를 제공한다.

중계장치에 대한 규격이 향후 표준화의 핵심 사안이 될 것이며 중계장치는 물리계층과 매체접근계층의 동작을 수행하는 일종의 가입자 단말로 생각할 수 있다. 현재 연구중인 모델에는 고정 중계장치뿐만 아니라 특정 지역에 대한 일시적인 서비스 제공을 위한 모바일 중계장치와 자동차나 지하철 등에 장착될 수 있는 중계장치까지 고려되고 있다.

많은 무선 채널 모델이 존재하지만 이 중에서 레일리 페이딩 채널은 레일리 분포에 따라서 신호의 강도는 통신 채널을 통과하면서 랜덤하게 변화한다. 레일리 분포는 같은 정도의 크기의 포락선을 가지며 위상이 넓은 범위에 걸쳐 랜덤하게 변동하는 다수의 전파가 합성된 경우의 심한 페이딩을 나타낸다. 수신된 파가 주로 전리층 반사파로 이루어지는 단파의 원거리 전파, 마이크로파 회선의 다중중로 전파, 시가지에 있어서의 이동 무선의 수신 전계 등에 대한 짧은 주기의 포락선 변동의 확률 분포로서 널리 이용되고 있다. 그림 2는 송신기와 수신기 사이의 직접파 성분 및 레일리 다중경로 페이딩의 전파 경로 프로파일을 나타내고 있다 [6],[7].

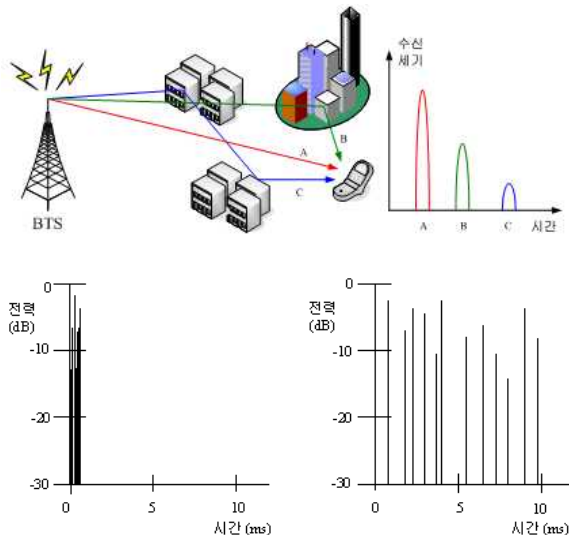


그림 2. 다중경로 페이딩 환경 및 프로파일
Fig. 2. Multipath Fading Environment and Profile

디지털 데이터를 아날로그 채널을 통해 전송하기 위해서는 해당 아날로그 채널의 특성에 맞도록 변조가 요구된다. 협대역 채널을 통해 데이터를 전송함에 있어서 전송 속도를 높일 수 있는 가장 좋은 방법은 진폭 변조와 위상 변조를 결합하는 것이며 이를 직교

진폭변조(QAM)라 한다. 두 개의 비트를 하나의 다발로 묶는 QPSK의 경우, 위상점은 원주상에서 네 점이 균등한 간격으로 자리잡고 있다. 이를 확장하여 만일 세 개의 비트를 한 다발로 묶게 되면 원주상에서 8개의 점이 균등한 간격으로 자리잡는 8진-PSK가 된다. 더 많은 비트를 한 다발로 묶을 경우 전송 대역폭은 비례하여 줄지만 위상점 상에서 각 점의 간격이 좁아지기 때문에 비트 오류가 일어날 확률이 높아진다. 이러한 문제점을 완화시키기 위해 QAM은 진폭 변조와 위상 변조를 결합함으로써 위상점 상에서 점들의 위치를 달리 하는 변조 방법이다. 이러한 변조 방식의 예로서 16-QAM 신호는 네 개의 비트를 한 묶음으로 하여 16개의 값을 갖도록 하면 이 값들은 매 $4T_b$ (T_b 는 한 비트의 구간)마다 변하므로 대역폭은 BPSK에 비해 1/4 정도로 줄일 수 있다. 16-PSK 방식을 사용하면 위상점들은 원주상에서 서로 22.5° 밖에 분리되지 않는 반면 16-QAM 경우는 반송파의 진폭과 위상이 모두 변조되기 때문에 점들이 더 이상 하나의 원주상에서만 존재하지 않게 된다. 그림 3과 같이 16개의 점들이 균일한 사각형 격자 상에 분포하게 되며 각 점에 대응되는 신호는 다음과 같은 신호의 형태가 된다. 16-QAM 시스템은 네 개의 비트를 묶어 하나의 반송파 버스트(burst)로 전송하며 반송파의 진폭(A_i)과 위상(θ_i)이 모두 변조된다.

$$S_{QAM}(t) = A_i(t) \cos(\omega_c t + \theta_i) \quad (1)$$

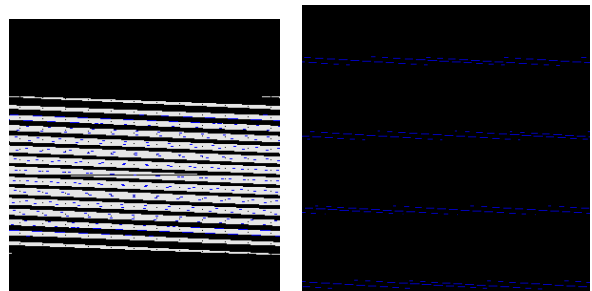


그림 3. QPSK 신호 및 16-QAM 신호의 위상
Fig. 3. QPSK Signal and 16-QAM Signal Phase

본 논문에서 사용한 잡음 채널에서 통신 거리 d 및 전파계수 η 에 따른 M-QAM 변조 방식의 오율 상한식은 다음과 같다.

$$P_{gMQAM} \leq 2\text{erfc}\left(\sqrt{\frac{3E_b}{2(M-1)N_o}d^{-\eta}}\right) \quad (2)$$

여기서, $\text{erfc}(\cdot)$ 는 에러 보 함수이고 위 식에서 E_b/N_o 가 큰 경우, M-QAM 변조 방식의 오율식은 다음과 같다.

$$P_{gMQAM} \approx \exp\left(\frac{-3E_b}{2(M-1)N_o}d^{-\eta}\right) \quad (3)$$

여기서, M 은 심볼의 수이고 레일리 페이딩의 확률밀도함수와 레일리 페이딩 채널에서 M-QAM 변조 방식의 평균 오율식은 다음과 같다.

$$f\left(\gamma = \frac{E_b}{N_o}|\Gamma\right) = \frac{1}{\Gamma} \exp\left(\frac{-\gamma}{\Gamma}\right) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P_b(\Gamma, d) &\approx \int_0^\infty \exp\left(\frac{-1.5\gamma d^{-\eta}}{M-1}\right) f(\gamma|\Gamma) d\gamma \quad (5) \\ &= \int_0^\infty \exp\left(\frac{-1.5\gamma d^{-\eta}}{M-1}\right) \frac{1}{\Gamma} \exp\left(\frac{\gamma}{\Gamma}\right) d\gamma \\ &= \left(1 + \frac{1.5\Gamma d^{-\eta}}{M-1}\right)^{-1} \end{aligned}$$

여기서 γ 은 순시 신호 전력 대 잡음 전력비, Γ 는 평균 신호 전력 대 잡음 전력비이다.

III. 다중 홉 무선 네트워크의 성능

디지털 통신시스템에서는 많은 양의 데이터를 전송하기 위해 신호원을 압축하여 전송하며 무선 채널에서 발생한 비트 오류는 전체 시스템에서 큰 영향을 미친다. 채널에서 발생하는 오류를 줄이기 위해서는 송신전력을 증가시키면 되지만 전력이 증가되면 송신기의 효율화로 인한 비용 상승, 채널간 간섭 등의 문제가 야기된다. 따라서 디지털 통신 시스템에서는 전력을 증가시키지 않고 채널에서 발생하는 오류를 제어하기 위해서 에러 정정(error correction) 제어 방식을 사용한다. 일반적으로 길이 k 의 정보어에 n - k 개의 리던던시 비트를 더하여 길이 n 의 부호어로 만든 구조를 (n, k) 블록 부호라 하며 부호율($R_c = k/n$)

이 작을수록 비효율적인 전송이 되지만 오류 제어의 기능은 증가한다.

레일리 페이딩 채널에서 t -비트 에러를 정정할 수 있는 FEC 복호를 거친 후의 부호어 에러 확률은 다음과 같다.

$$P_w(P_b(\Gamma, d)) = \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} P_b^i(\Gamma, d) (1 - P_b(\Gamma, d))^{n-i} \quad (6)$$

무선 채널 환경에서 기지국에서 최종 단말기까지의 성능 분석을 위한 오율 성능은 다음과 같이 2가지 경우로 얻어질 수 있다.

$$\begin{aligned} P_e^{(1)}(\Gamma) &= P_w(1 - (1 - P_b(\Gamma/h, 1/h))^h) \\ P_e^{(2)}(\Gamma) &= 1 - (1 - P_w(P_b(\Gamma/h, 1/h)))^h \quad (7) \end{aligned}$$

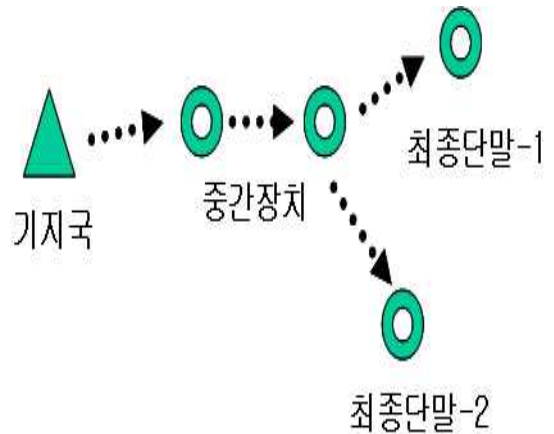


그림 4. 기지국에서 최종 단말기까지의 멀티 홉 전송
Fig. 4. Multi-hop Transmission between Base Station and Final Terminal

그림 5는 신호전력 대 잡음전력비에 따른 다중 홉 16-QAM 무선 네트워크의 오율 성능을 나타낸다. 그림에서는 기지국에서 최종 단말기까지 중간 장치를 거치는 다중 h -홉 전송(FEC 복호화는 최종 단말기에서만 수행)하는 경우에 해당한다. 다중 홉의 수 h 은 3에서 6까지 변화하며 전파계수 η 는 4인 경우이다. 다중 홉의 수가 증가함에 따라서 전송거리가 짧아지며 이에 따른 오율 성능은 개선됨을 알 수 있다.

그림 6은 그림 5와 유사한 환경으로 신호전력 대 잡음전력비에 따른 다중 홉 16-QAM 무선 네트워크의 오율 성능을 나타낸다. 그림에서는 기지국에서 최

중 단말기까지 중간 장치를 거쳐서 다중 h -홉 전송하는 경우이며 FEC 복호화는 각각의 장치에서 모두 수행하는 경우에 해당한다. 다중 홉의 수 h 는 3에서 6까지 변화하며 전과계수 η 는 4인 경우이다. 다중 홉의 수가 증가함에 따라서 전송거리가 짧아지며 이에 따른 오율 성능은 개선되었으며 그림 5에 비하여 FEC 복호화 수가 증가함에 따라서 성능이 개선되었다. 예를 들어, 다중 h -홉 전송에서 오율 성능 10^{-4} 을 기준으로 홉의 수 h 가 4, 5, 6으로 증가함에 따라서 경우 1 대비 경우 2의 개선 양은 5.6 dB, 6.5 dB, 7.5 dB로 증가하고 있음을 알 수 있었다.

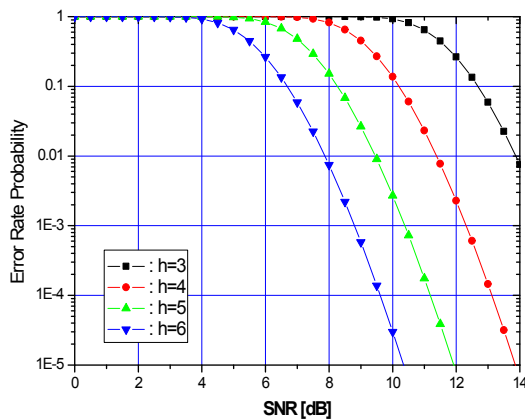


그림 5. 홉의 수 h 에 따른 다중 홉 16-QAM 네트워크에서의 성능 (경우 1)

Fig. 5. Performance of Multi-hop 16-QAM Network according to the number of hop h (Case 1)

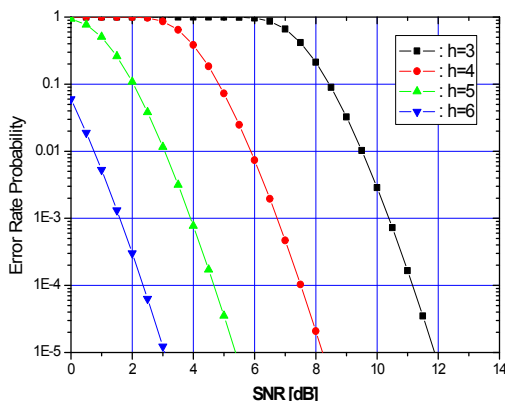


그림 6. 홉의 수 h 에 따른 다중 홉 16-QAM 네트워크에서의 성능 (경우 2)

Fig. 6. Performance of Multi-hop 16-QAM Network according to the number of hop h (Case 2)

IV. 결 론

초고속 인터넷 시장이 성숙하면서 정지 및 이동중에 언제, 어디서나 인터넷에 접속하여 고속의 멀티미디어 인터넷 서비스를 제공받으려는 사용자의 욕구가 증대되고 있다. 본 논문에서는 FEC 부호화를 적용한 다중 홉 무선 네트워크의 오율 성능을 분석하고 경우에 따른 성능을 비교하였다. 성능 분석 결과, 기지국에서 최종 단말기까지 중간 장치를 거치는 다중 h -홉 전송에서 홉의 수 h 가 증가함에 따라서 오율 성능은 개선되고 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2007년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] 김영일 외 4인, "IEEE 802.16 MMR 동향", *ETRI 전자정보통신동향분석*, 제21권, 제3호, June, 2006.
- [2] IEEE 802.16's Relay Task Group, (<http://www/ieee802.org/16/relay>)
- [3] 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.
- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks," *In 21st Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, vol. 3, pp.1567-1576, June 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] S. Lin and D. J. C. Jr., *Error control coding: fundamentals and applications*, Prentice-Hall, 1983.
- [7] John G. Proakis, *Digital Communication*, Fourth

Edition, McGraw-Hill, 2001.

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

노재성(盧在成)



1990년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학사)

1992년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2000년 : 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학박사)

2000~현재 : 서일대학 정보통신과 부교수

관심분야 : 모바일 임베디드 SW, 모바일 인터넷 응용, 멀티미디어 콘텐츠 개발, USN/RFID 통신시스템

김완태(金完泰)



2005년 : 한국항공대학교 정보통신과 졸업

2005년 1월~2007년 2월 :

(주)모드맨 CDMA 단말기 개발.

2007년 3월 ~ 현재 : 한국항공 대학교 대학원 박사과정

관심분야 : 휴대인터넷, 무선통신,

이동통신, WiBro, WPAN