

논문 2008-45SC-6-1

견마로봇 시스템의 상향링크 고속신호 전송을 위한 시스템 WiBro(IEEE802.16e) 통신변수 설계 및 분석

(Design and Analysis of Transmission Parameters for DH(Dog-Horse)
Systems Based on IEEE802.16e (WiBro))

이 일 신*, 유 재 호*, 이 윤 주**, 권 동 승**, 정 재 학***

(Ⅱ Shin Lee, Jae Ho Yoo, Yoon-Ju Lee, Dong-Seung Kwon, and Jaehak Chung)

요 약

견마로봇의 통신시스템은 견마로봇이 경계작전을 통해 얻은 멀티미디어 데이터를 지휘국으로 전송하는 상향링크 위주의 시스템으로, 현재의 하향링크 위주의 와이브로 시스템을 견마로봇 통신시스템에 이용하기 위해서는 많은 데이터를 전송하는 상향링크 위주의 전송변수를 갖는 시스템으로 재설계해야 한다. 본 논문은 상향링크에 중점을 둔 견마로봇 시스템에 적합한 전송변수를 결정하였다. WiBro 프레임 내의 슬롯의 개수는 하향링크시 6개 상향링크시 30개로 하였고, AMC, PUSC 전송방식 등을 이용하여 견마로봇의 요구 데이터율을 만족하는 변조율과 부호화율에 맞는 Nep(실효부호패킷의 크기)를 결정하였다. 전산모의실험은 ITU-R M1225 채널모델을 기반으로 각 전송방식별 Nep와 견마로봇의 이동속도에 따른 전산모의실험을 하였고 설계한 통신변수의 성능분석을 하였다.

Abstract

This paper presents transmission parameters of DH(Dog-Horse) systems based on IEEE802.16e(WiBro) systems. DH requires higher uplink multimedia data rate, which is different from commercial WiBro systems. This paper designs some transmission parameters satisfying the DH system requirements and demonstrates link performance evaluation based on the parameters. For the transmission parameters, the number of down/up link OFDM symbols are determined by 6 / 30, respectively. For reliable transmission of control signals, downlink modulation and coding rate are selected by QPSK, 1/2 coding rate and that of uplink is chosen by 16QAM 1/2 and 3/4 coding rate. Based on these parameters, computer simulations demonstrate the system performance of DH system.

Keywords : DH(Dog-Horse) robot, IEEE802.16e(WiBro), AMC, PUSC, PER, SNR

I. 서 론

국내에서는 국가차원에서 지능형 로봇을 차세대 성장 동력산업으로 지정하고 본격적인 연구개발에 투자하

고 있지만 핵심기술이나 부품기술이 취약하여 아직은 시장창출이 부족한 상태이다. 미국의 경우 위험작업이나 인명보호를 목적으로 부분적으로 활용해온 로봇을 본격적으로 활용하기 위하여 많은 연구개발에 투자하고 있으며, 2012~2014년 실전배치를 목표로 다양한 무인차량을 연구개발 중에 있다. 이러한 상황에서 야지 및 험지에서 무선 네트워크 기반으로 감시정찰, 위험물 탐지, 노약자 및 장애자를 위한 도우미, 물자 이송 기능 등이 가능한 민·군 겸용의 다목적 견마로봇 기술의 개발이 시급한 상황이다^[1~5].

특히 군사 목적의 다목적 견마로봇은 전시에 효율적인 작전수행을 목적으로 하고 있으며, 전시에 정확한

* 학생회원, *** 정회원, 인하대학교
(Inha University)

** 정회원, 한국전자통신연구원
(ETRI)

※ 본 연구는 방위사업청/민군겸용기술센터와 정보통신부/정보통신연구진흥원의 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [06-DU-LC-01, 네트워크 기반 다목적 견마형 로봇 기술 개발]

접수일자: 2008년10월20일, 수정완료일: 2008년10월22일

감시 및 경계작전을 수행함으로써 지휘관에게 실시간으로 정확한 정보를 제공함으로써 작전의 효율성을 극대화 한다. 또한 지뢰 제거 등의 큰 위험이 수반되는 작전을 인간을 대신해 수행함으로써 신속하고 효율적인 작전수행을 가능하게 한다^[1~3].

이러한 군사 목적의 다목적 견마로봇은 다양한 응용분야에서 연구가 진행되고 있다. 그 중에서 견마로봇을 제어하는 운용자와 견마로봇 간에 상호 제어신호 전달 및 감시, 경계작전을 통해 획득한 정보를 안정적이며 효율적으로 전달하기 위한 무선 통신환경을 구축하는 것이 시급하다. 이러한 무선 통신환경을 구축하기 위해 서는 고속의 데이터를 실시간으로 전송하는 시스템 설계가 필수적이다^[1~3].

WiBro(Wireless Broadband) 표준은 고속 데이터의 실시간 전송을 요구하는 견마로봇의 통신시스템을 만족하는 시스템이며 이미 국내에 상용화되어 성능이 검증되었다. 또한 IEEE 802.16j 및 IEEE802.16m 등의 후속 표준화를 통한 계속적인 성능 향상이 진행 중이다^[6~7].

WiBro 표준은 상/하향링크비율이 가변적으로 조정 가능하며 다양한 변조율 및 부호화율을 지원함으로 고속의 데이터 전송 및 가변적인 운용의 장점을 가지고 있다. WiBro 표준에는 다중안테나를 이용한 멀티플렉싱, 다이버시티 및 빔 형성기술 포함되어 있어, 견마로봇 시스템 설계에 다중안테나를 이용한 성능향상에 용이하다^[11~14]. 이를 통하여 군사 목적의 견마로봇 시스템의 상/하향링크 비대칭적 전송률 특성을 용이하게 조절하여 사용할 수 있다.

현재 사용 중인 민수용 WiBro 시스템은 인터넷과 같은 데이터를 사용자가 이용할 수 있도록 하는 하향 링크에 중점을 둔 통신시스템 변수를 가지고 있다. 견마로봇 시스템으로부터 얻은 고화질의 멀티미디어 정보를 지휘국으로 전송하기 위해서는 상향링크에 중점을 둔 전송변수로 재설계해야 한다. 이를 위해서 견마로봇의 상/하향링크 당 요구 데이터 전송률과 전송 방식별 변조율, 부호화율 및 실효 부호패킷 크기 등을 고려한 전송 변수의 결정이 필요하다. 구해진 견마로봇의 시스템 전송변수들은 운용되는 시스템의 성능이 견마로봇 시스템에서 요구하는 사항들과 적합한지 검증해야 한다. 본 논문은 민수용 WiBro 시스템을 기반으로 한 견마로봇 시스템의 전송 변수를 도출하고 이를 통하여 견마 시스템의 전송성능을 평가 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서 견마로봇 시스템 전송변수설계를 통한 새로운 OFDMA 프레임

구조를 설계하고 Ⅲ장에서 새롭게 구성된 OFDMA의 프레임을 이용하여 전송률에 따른 견마 시스템의 성능 검증을 전산모의실험을 통하여 보여주고, 제 Ⅳ장에서 결론을 맺는다.

II. 견마로봇 시스템 전송변수설계

현재 민수용으로 사용중인 WiBro는 9MHz의 채널대역폭을 사용하며, TDD(Time Division Duplexing)방식을 이용한 OFDMA 다중접속방식을 그 특징으로 한다. 그리고 최대 60km/h의 속도에서 끊김없이 상향링크시 1Mbps와 하향링크시 3Mbps를 보장해야하며 서비스 커버리지는 최대 1km를 만족시켜야 한다^[8~9].

5ms 길이의 프레임은 총 42개의 OFDM 심볼과 TTG/RTG로 구성된다. 하향링크 전송은 한 개의 프리 앰블 심볼, FCH 및 DL-MAP, 데이터 심볼 순서로 총 27개의 OFDM 심볼을 사용하며, 상향링크 전송의 경우 처음 3개의 심볼이 ranging, channel quality indicator 등의 제어정보를 위해 사용되고 나머지는 데이터 심볼로 총 15개의 OFDM 심볼을 사용한다. 데이터 전송방식으로는 다이버시티 전송방식(PUSC, OPUSC, FUSC)과 band AMC 전송방식이 있다^[13~14].

위와 같은 특성을 지닌 WiBro 시스템을 기반으로 하는 견마로봇의 무선통신시스템이 요구하는 데이터 전송률은 아래의 표 [1]과 같다.

표 [1]를 통해 견마로봇은 한 기지국내에 총 4대가 고려되며, 견마로봇의 무선통신시스템은 민수용 WiBro 시스템과 다르게 하향링크 보다 상향링크에서 더 많은 데이터 전송률을 요구하는 것을 확인할 수 있다.

상기 결과는 민수용 WiBro 시스템이 실시간 감시와 경계를 통해 지휘국(기지국)으로 정보를 제공하는 상향 링크 위주의 견마로봇의 무선통신시스템으로 사용되기에 적절하지 못하다는 것을 나타내고 있다. 그러므로

표 1. 견마로봇 상/하향링크 별 요구되는 데이터 전송률

Table 1. Required data rate of DH robot systems at uplink and downlink.

	하향링크	상향링크
제어로봇(RCU)	200Kbps	3.8Mbps
집중감시로봇(IGU)	200Kbps	3.8Mbps
감시로봇1(GU)	200Kbps	1.1Mbps
감시로봇2(GU)	200Kbps	1.1Mbps
총	800Kbps	9.8Mbps

이를 수정하기 위해 상/하향링크의 비율을 검토할 필요가 있다. 또한 결정된 상/하향링크를 기반으로 상/하향링크별 데이터 전송을 위한 전송방식, 변조율 및 부호화율을 결정하여야 한다.

1. AMC 전송모드 상/하향링크 OFDM 심볼수 산출

AMC 전송모드는 단말의 이동성이 적고 채널이 안정되어 있는 경우에 특정한 주파수 대역에 우수한 채널 특성을 보이는 주파수 대역을 활용하여, 우수한 채널 특성을 보이는 인접한 부반송파들로 구성된 band AMC 부채널을 사용함으로써 전송속도를 높이는 효과를 얻고자 하고 있으며, 이는 단말의 이동속도가 적은 경우에 유용하다^[8].

AMC 부반송파를 구성하는 기본단위는 빈(bin)으로서 동일 심볼에서 인접한 9개의 부반송파로 구성된다. AMC 부반송파 구간은 다수의 밴드로 구성되고, 하나의 밴드에서는 4개의 빈이 존재한다. 각 AMC subchannel은 동일 밴드에 존재하는 6개의 인접한 빈으로 구성된다. 여기서 파일럿 부반송파의 위치는 빈의 위치와 심볼의 위치에 따라 결정된다^[8].

부반송파 할당에 있어서 AMC 전송모드는 전체 1024 개의 부반송파 중에서 864개를 신호전송을 위한 부반송파로 사용하며 나머지 부반송파는 OFDM의 side-lobe 를 제거하기 위한 부반송파로 데이터를 전송하지 않는다. 이 864개의 부반송파 중 768개의 부반송파는 데이터 전송을 위한 부반송파로 사용되고 96개의 부반송파는 채널추정을 위한 파일럿 부반송파로 사용된다^[11~14].

기지국에서 전송하는 하향링크 컨트롤 심볼은 견마로봇을 제어하기 위해 사용되기 때문에 안정적인 신호 전송이 요구된다. 그러므로 하향링크 컨트롤 심볼의 변조율 및 부호화율을 각각 QPSK, 1/2로 결정한다. 이 경우 AMC 전송모드를 이용한 하향링크 OFDM 심볼 수는 식 (1)과 같이 결정된다.

$$[N_{sym,DL}] = \frac{D_R \times L_F}{N_S \times MPR} \quad (1)$$

식 (1)에서 D_R 은 요구되는 전송률을 나타내고, L_F 은 OFDMA한 프레임의 길이를 N_S 는 WiBro의 전송방식에서의 데이터 서브캐리어 개수를 나타내며, MPR은 변조율과 부호화율의 곱의 값이다.

이미 선정한 변조율 및 부호화율을 이용하여 MPR을 계산하면 2*1/2로 1의 값을 얻을 수 있다. 이렇게 산출한 MPR과 요구 전송률 800Kbps, WiBro 프레임 길이

5ms, AMC 전송모드의 데이터 부반송파수 768을 이용하여 식(1)에 대입하면 5.2를 얻을 수 있다. 그러나 하향링크 OFDM 심볼수는 양의 자연수가 되어야 함으로 AMC 전송모드에서 하향링크시 필요한 OFDM 심볼은 식(1)에서 산출된 5.2를 올림한 값인 6이 된다.

식(1)의 결과에서 올림한 값을 바탕으로 선정된 6개의 하향링크 OFDM 심볼 수를 기반으로 실제 전송 가능한 최대 전송률을 계산하면 식 (2)와 같다.

$$\frac{N_S \times MPR \times N_{sym,DL}}{L_f} = \frac{768 \times 1 \times 6}{5msec} = 921.6 Kbps. \quad (2)$$

산출된 하향링크 OFDM 심볼 수와 AMC 전송모드의 데이터 부반송파 개수를 이용하여 AMC 전송모드의 부채널 수를 구할 수 있다. 결과는 식 (3)과 같다.

$$\frac{N_S \times N_{sym,DL}}{48} = \frac{768 \times 6}{48} = 96. \quad (3)$$

즉, 각 견마들은 96개의 부채널을 통해 하향링크 제어신호를 전송 받게 되며, 각 견마들로 전송되는 하향링크 제어신호의 전송률이 모두 200Kbps로 동일하므로 각 견마당 하향링크 제어신호 전송에 필요한 부채널의 수는 24개가 된다. 각 견마당 할당되는 부채널수를 이용하여 각 견마들에게 전송되는 데이터 전송률을 식 (2)를 이용하여 산출하면 230.4Kbps가 된다.

위의 결과를 통해 새롭게 산출한 하향링크 6개의 OFDM 심볼수는 하향링크시 각 견마당 요구하는 전송률 200Kbps보다 높은 230.4Kbps가 전송가능하며 이를 통해 안정된 제어 심볼을 전송할 수 있음을 확인할 수 있다.

총 42개의 OFDM 심볼중 하향링크 프레임은 프리앰플 심볼, FCH 및 DL-MAP과 산출된 6개의 심볼을 합쳐 총 9개의 OFDM 심볼을 사용하므로 나머지 33개의 OFDM 심볼을 상향링크를 위해 사용할 수 있다. 그러나 상향링크 프레임의 처음 3개의 OFDM 심볼은 ranging, channel quality indicator등의 제어정보를 위해 사용되기 때문에 이를 고려한다면 상향링크를 통해 전송할 수 있는 데이터 OFDM 심볼은 30개로 제한된다.

이렇게 얻어진 상향링크 OFDM 심볼은 견마로봇이 요구하는 상향링크 데이터 전송률을 만족하는지에 대한 확인이 필요하다.

상향링크 30개의 OFDM 심볼과 AMC 전송모드의 데이터 부반송파 개수를 이용하여 식 (3)에서 상향링크 총 부채널수를 계산하면 480개의 부채널을 얻을 수 있다. 이 부채널수를 이용하여 AMC 전송모드의 상향링

크 요구 전송률을 만족하는 MPR을 계산하면 식 (4)와 같다.

$$\frac{\frac{N_{Sh} \times 48 \times MPR}{5msec}}{9.2Mbps} \geq 9.2Mbps \quad (4)$$

$$MPR \geq \frac{9.2Mbps \times 5msec}{N_{Sh} \times 48} = \frac{9.2Mbps \times 5msec}{480 \times 48} = 1.9965.$$

위의 식(4)에서 N_{Sh} 은 상향링크 30개의 OFDM 심볼을 식(3)에 대입하여 산출한 총 부채널의 개수를 48은 단위 부채널을 구성하는 부반송파의 수를 나타낸다. 위의 식의 결과에 의해 산출된 MPR 1.9965를 사용하여 AMC 전송모드의 상향링크 변조율 및 부호화율을 구하면 각각 16QAM, 1/2 (MPR=2)로 결정할 수 있다.

결정된 MPR을 다시 식 (4)의 위 식에 대입하여 총 데이터 전송률을 산출하면 9.216Mbps로 상향링크 역시 AMC 전송모드에서 요구하는 데이터 전송률인 9.2MHz 보다 높은 데이터 전송률을 보장해 주며 이를 통해 안정된 멀티미디어 심볼을 전송할 수 있음을 확인할 수 있다.

2. PUSC 전송모드 상/하향링크 OFDM 심볼수 산출

PUSC 전송모드는 기본 모드로서 단말의 이동 속도가 큰 경우에 주로 사용되며, 주파수 다이버시티 및 시간 다이버시티를 동시에 얻고자 하는 방법이다. PUSC 전송모드는 AMC전송모드와 달리 상/하향링크 당 다른 전송구조를 갖는다. 하향링크의 경우 2개의 OFDM 심볼을 묶어 데이터 할당의 기본단위로 사용하며 상향링크의 경우 3개의 OFDM 심볼을 묶어 데이터 할당의 기본단위로 사용한다^[8].

하향링크의 PUSC 부반송파는 2개의 심볼에 걸쳐 정의되며, 하나의 PUSC 부반송파는 4개의 파일럿 부반송파와 48개의 데이터 부반송파로 구성된다. 상향링크의 PUSC subchannel을 구성하는 기본 단위는 3개의 연속된 심볼 구간에서 4개의 인접한 부반송파를 모아 구성한 타일(tile)이다^[8].

부반송파 할당에 있어서 PUSC 전송모드는 전체 1024개의 부반송파 중에서 840개를 신호전송을 위한 부반송파로 사용하며 나머지 부반송파는 OFDM의 side-lobe를 제거하기 위한 부반송파로 데이터를 전송하지 않는다. 하향링크에서는 840개의 부반송파 중에서 720개의 부반송파는 데이터 전송을 위해 사용하고 나머지 120개의 부반송파는 채널 추정을 위한 파일럿 부반송파로 사용한다. 상향링크에서는 840개의 부반송파 중에서

560개의 부반송파를 데이터 전송을 위해 사용하고 280개의 부반송파를 채널 추정을 위한 파일럿 부반송파로 사용한다^[11~14].

PUSC 전송모드는 AMC 전송모드와 동일하게 안정적인 하향링크 제어신호 전송을 위해 변조율 및 부호화율을 각각 QPSK, 1/2로 결정한다. 선정한 변조율 및 부호화율을 이용하여 MPR을 계산하면 2*1/2로 1의 값을 얻을 수 있다. 이렇게 산출한 MPR과 요구 전송률 800Kbps, WiBro 프레임 길이 5ms, PUSC 전송모드의 하향링크 데이터 부반송파수 720을 이용하여 식 (1)에 대입하면 5.56를 얻을 수 있다.

PUSC 전송모드를 이용한 하향링크 OFDM 심볼수는 식 (1)에 의해서 AMC 전송모드와 동일한 6개가 된다. 산출한 6개의 하향링크 OFDM 심볼수를 식(2)에 대입하여 전송 가능한 전송률을 계산하면 864.0Kbps를 얻을 수 있다.

또한 산출한 하향링크 OFDM 심볼수 및 PUSC 하향링크의 할당 특성을 이용하여 PUSC 하향링크 부채널 수를 산출할 수 있다. 식 (3)을 이용하여 산출한 결과 PUSC 하향링크의 총 부채널 수는 90개가 된다.

각 견마들은 90개의 부채널을 통해 하향링크 제어신호를 전송 받게 되며 AMC 전송모드와 동일하게 각 견마들로 전송되는 하향링크 제어신호의 전송률이 모두 동일하므로 각 견마당 하향링크 제어신호 전송에 필요한 부채널의 수는 22.5개가 된다. 각 할당의 단위가 되는 부채널수는 양의 자연수이므로 각 견마들이 할당 받는 실제 부채널 수는 23개가 된다. 각 견마당 할당되는 부채널수를 이용하여 각 견마들에게 전송되는 데이터 전송률을 산출하면 식 (5)에 의해서 216.0Kbps가 된다.

위의 결과를 통해 PUSC 하향링크 역시 각 견마들로 전송되는 동안 요구되는 전송률 200kbps보다 높은 216.0kbps로 전송할 수 있음을 확인할 수 있다.

PUSC 전송모드의 하향링크 OFDM 심볼수가 AMC 전송모드의 하향링크 OFDM 심볼수와 동일하기 때문에 PUSC 전송모드에서 데이터 전송을 위해 사용 가능한 상향링크 데이터 OFDM 심볼수도 30개로 제한된다. 산출한 30개의 OFDM 심볼과 560개의 데이터 전송을 위한 부반송파를 이용하여 상기 식 (3)에서 PUSC 전송모드의 상향링크 총 부채널 수를 계산하면 350개의 부채널을 얻을 수 있다.

이 부채널 수를 이용하여 식 (4)에서 PUSC 전송모드의 상향링크 요구 전송률을 만족하는 MPR을 계산하면 2.9167이상이 되어야 한다. 위의 MPR를 만족하는

PUSC 전송모드의 상향링크 변조율 및 부호화율은 각각 16QAM, 3/4으로 결정할 수 있다. 변조율 및 부호화율을 각각 16QAM, 3/4로 결정할 경우 MPR은 3이 된다. 위의 결정된 MPR을 사용하면 PUSC 전송모드의 상향링크 역시 견마로봇이 요구하는 데이터 전송률을 만족함을 알 수 있다.

지금까지 산출한 AMC와 PUSC의 상/하향링크 OFDM 심볼수 바탕으로 결정된 변조율 및 부호화율을 이용하여 컨벌루션 터보 부호화를 수행하기 위한 Nep(실효부호패킷 크기)를 결정해야 한다. Nep는 컨벌루션 터보 부호화의 기본 부호화 단위이며 Nep가 너무 작은 경우 채널 부호화를 통한 에러의 보정효율이 떨어지게 되며 Nep가 너무 큰 경우 프레임에 데이터를 할당 효율이 감소하게 되어 전송효율의 떨어질 수 있다.

3. 견마로봇 하향링크 전송변수선정

하향링크시 각 전송방식에서 각 견마에게 요구되는 최소 전송률은 200Kbps이다. 이를 만족하는 부채널 수는 앞의 식 (3)의 결과로 견마 각각 AMC 전송모드인 경우 24개, PUSC 전송모드인 경우 23개로 결정 하였다. 이를 이용한 하향링크 전송방식의 변조율 QPSK, 부호화율 1/2을 만족하는 Nep는 아래의 표 [2]와 같다 [13~14].

각 견마당 할당 받을 수 있는 최대 부채널수는 AMC 전송방식일 경우 24개, PUSC 전송방식일 경우 22개이기 때문에 AMC 전송방식의 Nep의 최대 크기는 384를 넘을 수 없고, PUSC 전송방식의 Nep의 최대 크기는 144를 넘을 수 없다. 또한 최대의 부호화 이득을 얻기 위해 가장 큰 Nep를 적용하면 AMC 전송모드의 Nep는 384가 되고 PUSC 전송모드의 Nep는 144가 된다.

표 2. 하향링크 QPSK, 1/2 실효부호패킷(N_{ep})

Table 2. Downlink Nep using QPSK and 1/2.

N_{ep}	144	192	288	384	480	960	1920	2880	3840	4800
N_{Sch}	3	4	6	8	10	20	40	60	80	100
N_{alloc}	7	6	4	3	3	2	1	1	1	1
N_{total}	21	24	24	24	30	40	40	60	80	100

4. 견마로봇 상향링크 전송변수선정

각 전송방식별 상향링크 성능분석을 위해 상향링크 역시 각 견마들에게 요구되는 전송률과 채널 부호화의 최소 단위가 되는 Nep를 결정해야 한다. 이를 만족하는 최소 부채널수를 아래의 식 (5)를 이용하여 계산한다.

표 3. AMC 전송방식 상향링크 16QAM, 1/2 실효부호패킷(N_{ep})

Table 3. Uplink Nep for AMC using 16QAM and 1/2.

N_{ep}	192	288	384	480	960	1920	2880	3840	4800
N_{Sch}	2	3	4	5	10	20	30	40	50
$N_{alloc,RCU}$	84	56	42	34	17	9	6	5	4
$N_{alloc,IGU}$	99	66	50	40	20	10	7	5	4
$N_{alloc,GU}$	29	20	15	12	6	3	2	2	2
N_{total}	482	486	488	490	490	500	510	560	600

$$N_{Sch,\min} = \left\lceil \frac{D_R \times L_F}{48 \times MPR} \right\rceil \quad (5)$$

위의 식 (5)로부터 각각의 견마에 요구되는 상향링크 최소 부채널 수를 산출하며 AMC 전송모드인 경우, 견마에 할당되는 부채널수는 제어로봇 167개, 집중감시로봇 198개, 감시로봇 58개 총 481개를 얻어 II장 1절에서 산출한 상향링크 총 부채널 개수 480개를 초과한다. 상향링크 AMC 전송방식에 의해 결정된 변조율 16QAM, 부호화율 1/2을 만족하는 실효 부호 패킷은 표 [3]과 같다 [13~14].

표 [3]을 통해 알 수 있듯이 변조율 및 부호화율을 각각 16QAM, 1/2로 선정한 경우 단일 프레임을 통해 각 견마들의 상향링크 데이터를 모두 전송할 수 없다. 이 경우 다중 프레임 할당(multi frame allocation)을 이용하여 해결할 수 있는데, 다중 프레임 할당을 이용할 경우 각 견마들의 상향링크 데이터들은 견마들로부터 기지국까지의 물리계층 End-to-End 지연시간이 프레임 길이의 정수배로 증가하는 단점이 발생한다. 만일 다중 프레임 할당에 의한 물리계층 End-to-End 지연시간이 10 프레임 동안의 허용치를 갖는다고 가정할 때 AMC 전송방식 상향링크 16QAM, 1/2의 적용 가능한 실효 부호 패킷들은 192, 288, 384, 480, 960, 1920 이다.

PUSC 전송모드인 경우, 견마에 할당되는 부채널수는 제어로봇 132개, 집중감시로봇 132개, 감시로봇 39개로 총 342개가 되어 II장 2절에서 산출한 상향링크 총

표 4. PUSC 전송방식 상향링크 16QAM, 3/4 실효부호패킷(N_{ep})

Table 4. Uplink Nep for PUSC using 16QAM and 3/4.

N_{ep}	144	288	2880
N_{Sch}	1	2	20
$N_{alloc,RCU}$	132	66	7
$N_{alloc,IGU}$	132	66	7
$N_{alloc,GU}$	39	20	2
N_{total}	342	344	360

부채널수 350개 보다 작게 된다. 상향링크 PUSC 전송 방식의 변조율 16QAM, 부보화율 3/4을 만족하는 Nep는 표 [4]와 같다^[13~14].

표 [4]를 통해 알 수 있듯이 실효 부호 패킷이 2880인 경우 총 부채널 수 350개를 초과하여 할당할 수 없다. PUSC 전송방식 상향링크 16QAM, 3/4의 적용 가능한 실효 부호 패킷들은 144, 288 이다.

III. 전산모의실험

본 절에서는 II장에서 산출한 AMC, PUSC 전송모드의 시스템 전송변수를 바탕으로 각 전송모드별 상/하향링크에서 ITU-R M.1225(PedA-3km, PedB-3km, VehA-30km, VehA-50km)채널모델을 사용하여 링크성능분석을 위한 PER(Packet Error Rate)분석을 전산모의실험을 통해 실시한다. 전산모의실험을 위한 모의실험환경은 표 [5]와 같다.

그림 [2]는 PedA-3km, PedB-3km, VehA-30km, VehA-50km에서 AMC 전송모드의 변조율 QPSK, 부

표 5. 모의실험환경

Table 5. Simulation environment.

시스템 모델	1x2 SIMO-OFDM system (AMC, PUSC)
상/하향 OFDM 심볼수	DL(9), UL(33)
변조방식/채널코딩	QPSK, 16QAM / CTC(1/2), CTC(3/4)
Nep 크기	96, 144, 192, 288, 384, 480, 960, 1920, 2880
채널모델	ITU-R M.1225

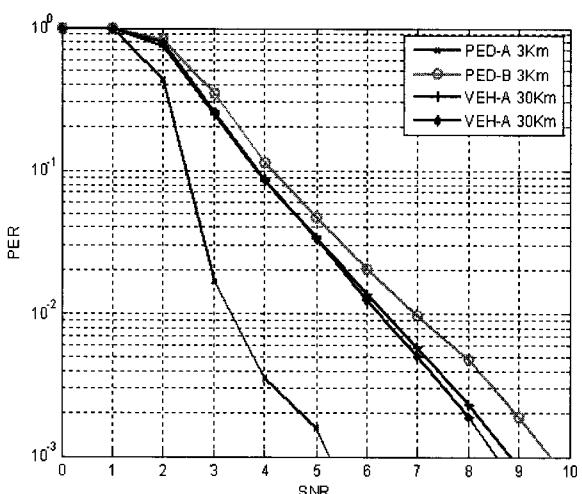


그림 2. AMC Nep 384 견마로봇 하향링크 PER
Fig. 2. PER performance of downlink AMC (Nep 384).

표 6. AMC 전송모드 하향링크 성능평가 결과 (Nep: 384)

Table 6. Required SNR of downlink AMC at PER 1% (Nep:384).

	PedA-3km	PedB-3km	VehA-30km	VehA-50km
PER1%	3.33	6.96	6.38	6.24

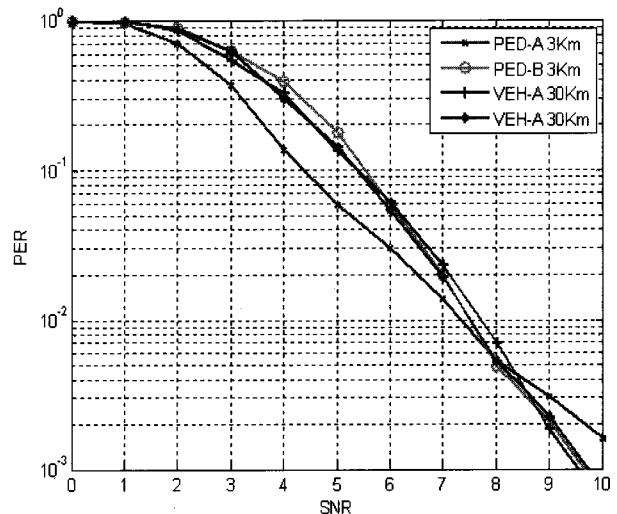


그림 3. PUSC Nep 144 견마로봇 하향링크 PER

Fig. 3. PER performance of downlink PUSC (Nep: 144).

호화율 1/2, 실효부호패킷의 크기 384를 적용한 하향링크 성능평가 결과로 아래의 표 [6]과 같다.

위의 표 [6]의 결과는 PedA-3km의 경우 채널변화가 VehA-30km, VehA-50km보다 상대적으로 적기 때문에 약 3dB정도 우수한 성능을 나타내었다. 반면 PedB-3km의 경우, 채널 특성상 delay spread가 OFDM guard interval을 벗어나기 때문에 발생하는 ISI(Inter Symbol Interference)로 인하여 같은 속도로 움직이는 PedA-3km보다 약 3.6dB, 채널의 변화가 더 빠른 VehA-30km나 VehA-50km 보다 약 0.6dB 좋지 않은 링크 성능을 확인할 수 있었다. 그러나 VehA-30km와 VehA-50km는 거의 유사한 성능을 확인할 수 있었다.

그림 [3]은 PedA-3km, PedB-3km, VehA-30km, VehA-50km에서 PUSC 전송모드의 변조율 QPSK, 부호화율 1/2, 실효부호패킷의 크기 144 적용한 하향링크 성능평가 결과로 아래의 표 [7]과 같다.

표 7. PUSC 전송모드 하향링크 성능평가 결과 (Nep:144)

Table 7. Required SNR of downlink PUSC at PER 1% (Nep:144).

	PedA3km	PedB3km	VehA30km	VehA50km
PER 1%	7.34	7.50	7.71	7.51

위의 표 [7]의 결과는 PedA-3km의 경우 채널 변화가 가장 적기 때문에 VehA-30km와 VehA-50km에 비해서 우수한 성능을 나타낸다.

PUSC 전송모드는 AMC전송모드와 다르게 채널의 변화에 따른 링크성능 차이가 크지 않다. 그 이유는

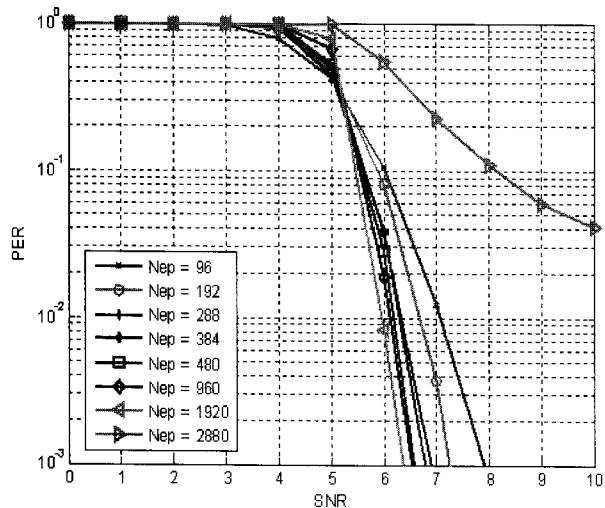


그림 4. AMC PedA-3km Nep별 견마로봇 상향링크 PER

Fig. 4. PER performance of uplink AMC at PedA-3km (Nep: 96, 192, 288, 384, 480, 960, 1920, 2880).

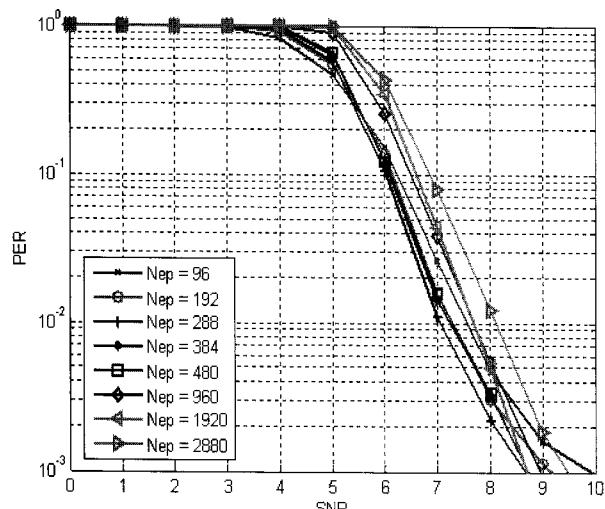


그림 5. AMC VehA-50km Nep별 견마로봇 상향링크 PER

Fig. 5. PER performance of uplink AMC at VehA-50km (Nep: 96, 192, 288, 384, 480, 960, 1920, 2880).

표 8. AMC 전송모드 상향링크 성능평가 결과
(Nep: 192, 288, 384, 480, 1920)

Table 8. Required SNR of uplink AMC at PER 1% (Nep: 192, 288, 384, 480, 1920).

	PER 1%	192	288	384	480	960	1920
PedA3km		6.67	6.29	6.32	6.17	6.11	5.95
VehA50km		7.28	7.06	7.25	7.30	7.69	7.28

PUSC특성상 AMC에 비해 파일럿 부반송파의 개수가 단위 OFDM 심볼당 24개가 더 많기 때문이다. 그러므로 PUSC 전송모드가 AMC 전송모드보다 채널 변화가 빠른 상황에서 더 정확한 채널추정을 할 수 있다. 뿐만 아니라 PUSC 전송모드는 다이버시티(diversity)모드이기 때문에 빠른 채널변화에 의한 다이버시티 이득 역시 얻을 수 있다. 위와 같은 이유로 인하여 PUSC 전송모드는 VehA-50km와 같이 채널변화가 큰 환경과 PedA-3km와 같이 채널변화가 크지 않은 환경에서 링크성능의 차이가 크지 않음을 확인할 수 있었다.

반면 링크성능은 AMC 전송모드에 비해 떨어지는데 이는 상기 언급하였던 것처럼 PUSC 특성상 파일럿 부반송파의 개수가 AMC 전송모드에 비해서 단위 OFDM 심볼당 24개가 많아 전송할 수 있는 데이터 서브캐리어 개수가 적기 때문이다. 이로 인하여 Nep결정에 있어 PUSC는 AMC에 비해 상대적으로 Nep가 작게 되어 AMC에 비해 부호화 이득을 얻기 어렵다.

그림 [4]~[5]는 PedA3km, VehA50km에서 AMC 전송모드의 변조율 16QAM, 부호화율 1/2을 적용한 상향 링크 Nep성능평가 결과로 표 [8]과 같다.

표 [8]의 결과를 살펴보면 PedA-3km의 경우 Nep가 커질수록 링크성능이 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 채널 변화가 적은 PedA-3km와 같은 환경에서는 Nep가 커질수록 부호화 이득을 많이 얻을 수 있기 때문에 상기와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 채널변화가 빠르게 변화함에 따라서 Nep가 커질수록 링크성능이 떨어지는데, 이는 채널변화가 커질수록 파일럿에 의한 채널정보를 추정하기 어렵기 때문에 발생하는 결과이다. 그만큼 채널이 빠르게 변화하는 경우 Nep가 커지면 Nep가 작은것에 비해 채널 추정이 더 어려워지기 때문에 상기와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

같은 Nep별 속도에 따른 링크성능은 PedA-3km가 VehA-50km보다 각 Nep별 약 1dB정도 우수한 결과를 확인할 수 있었다.

그림 [6]~[7]은 PedA3km, VehA50km에서 PUSC 전송모드의 변조율 16QAM, 부호화율 3/4을 적용한 상향 링크 Nep성능평가 결과로 표 [9]와 같다.

표 [9]의 결과에서 PedA-3km는 Nep가 커질수록 성능이 좋아진다. 이는 채널이 느리게 변화하고 있으며 이로 인하여 Nep가 커지면 커질수록 부호화 이득을 많이 얻을 수 있기 때문이다. 또한 AMC 전송모드와 다르게 PUSC는 특성상 파일럿의 개수가 많기 때문에 VehA-50km와 같이 빠르게 채널이 변화하는 상황에서

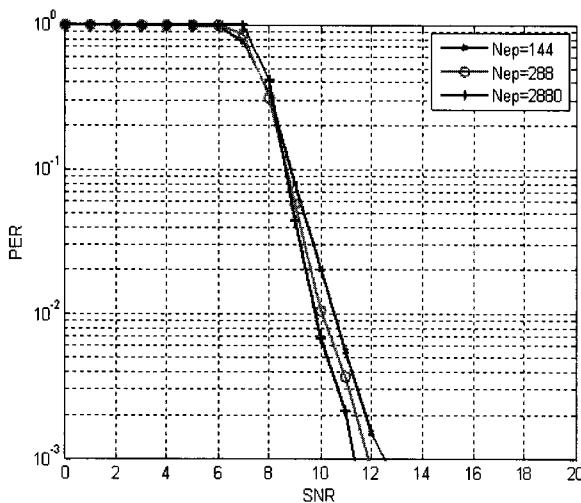


그림 6. PUSC PedA-3km Nep별 견마로봇 상향링크 PER

Fig. 6. PER performance of uplink PUSC at PedA-3km (Nep: 144, 288, 2880).

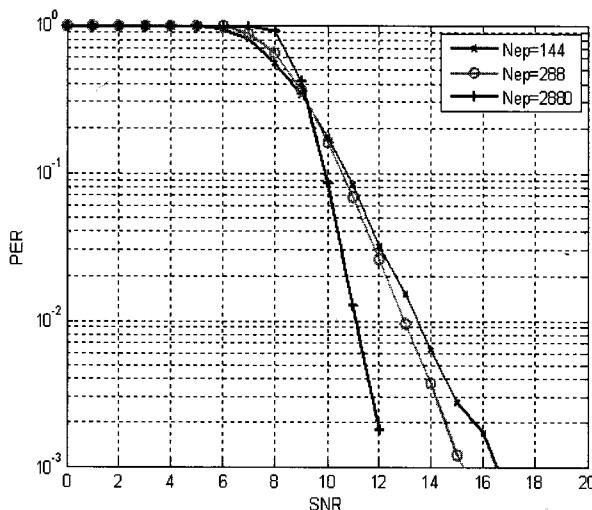


그림 7. PUSC VehA-50km Nep별 견마로봇 상향링크 PER

Fig. 7. PER performance of uplink PUSC at VehA-50km (Nep: 144, 288, 2880).

표 9. PUSC 전송모드 상향링크 성능평가 결과
(Nep: 144, 288, 2880)

Table 9. Required SNR of uplink PUSC at PER 1%
(Nep: 144, 288, 2880).

PER 1%	144	288	2880(N/A)
PedA3km	10.55	10.06	9.79
VehA50km	13.48	12.96	11.12

도 정확한 채널추정이 가능하고 다이버시티 이득을 얻을 수 있기 때문에 Nep가 커질수록 그 성능이 좋아지는 결과를 확인할 수 있었다. 같은 Nep별 속도에 따른 링크성능은 PedA-3km가 VehA-50km보다 각 Nep별 약 2.9dB정도의 결과를 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 견마로봇의 무선통신환경에 적합한 통신시스템 전송변수설계를 위해 현재 하향링크 위주의 WiBro 프레임을 상향링크 위주의 프레임으로 재설계하였다.

AMC 및 PUSC 전송방식을 이용해 하향/상향링크의 데이터 전송률을 만족시키기 위해 변조율 및 부호화율을 결정하였으며, 이에 따른 실효 부호 패킷의 크기 또한 결정하였다. 결정한 파라미터를 이용하여 전산 모의실험을 수행하였으며 수신단 패킷 오류율 1%를 만족하는 수신단에서 요구되는 신호대 잡음비를 산출하였다.

AMC 전송방식을 이용한 데이터 전송의 경우 저속이동 무선채널 환경에서는 실효 부호 패킷 크기를 상대적으로 크게 할수록 수신단 신호대 잡음비는 낮은 값을 나타내었고, 고속이동 무선채널 환경에서는 실효 부호 패킷의 크기를 상대적으로 작게 할수록 수신단 신호대 잡음비는 낮은 값을 나타내었다. 저속 및 고속이동 무선채널 환경에 모두 적합한 설계를 위해 변조율 및 부호화율이 각각 16QAM, 1/2인 경우 실효 부호 패킷의 크기는 384로 결정하였다.

PUSC 전송방식을 이용한 데이터 전송의 경우 저속 및 고속이동 무선채널 환경에서 모두 실효 부호 패킷의 크기를 크게 할수록 수신단 신호대 잡음비는 낮은 값을 나타내었다. PUSC 전송방식의 변조율 및 부호화율은 각각 16QAM, 3/4인 경우 실효 부호 패킷의 크기는 288로 결정하였다. PUSC 전송방식을 이용한 변조율 16QAM, 부호화율 3/4의 Veh-A 50km/h 채널 환경에서 요구되는 수신단 신호대 잡음비는 12.96dB이다.

참 고 문 헌

- [1] 박용운, 강태하, “국방로봇과 자율화기술의 발전전망,” 기계저널 제46권 제5호, 2006년 5월
- [2] 박용운 외 “다목적 견마 로봇개발 현황,” 로봇과 인간, 4권 2호 2007년 5월
- [3] 박용운, 채정숙, “견마형로봇 연구개발 현황”, 대한전자공학회, 하계종합학술대회, 제31권 제1호, 2008년
- [4] 진태석, “미국의 국방로봇 최신 동향,” 주간기술동향, 통권 1312호, 2007년 9월
- [5] 고정호, 박용운, “지상 무인전투체계 기술발전 방향,” 국방과학연구소, 국방과학기술 플러스, Vol. 43, 2007년 9월
- [6] WiMAX forum“, WiMAX and IMT-2000”, white

- paper, 2007.
- [7] 김형석, “IEEE 802.16 표준화 및 기술동향,” 전자공학회지, 제 34권 제 3호, 2007년 3월
 - [8] 차재선, 윤철식, “IEEE 802.16d 및 802.16e 표준,” 주간기술동향, 통권 1337호, 2008년 3월
 - [9] 황승구, 권동승, 예충일, “2.3GHz 대역의 초고속 휴대 인터넷 서비스,” 한국전파진흥협회, 전파진흥, 2003년 6월
 - [10] IEEE Std 802.16 - 2004, “802.16 part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems”, 2004. Oct.
 - [11] IEEE Std 802.16e, “part 16: 802.16 part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bans,” Jun. 2005.
 - [12] IEEE Std 802.16e/D9, “part 16: 802.16 part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bans,” Jun. 2005.
 - [13] TTA, TTAS KO-06.0082R1, “2.3GHz 휴대인터넷 표준-물리 계층 및 매체접근제어 계층,” 한국정보통신기술협회, 2005년 12월
 - [14] TTA, TTAS KO-06.0064R1, “휴대인터넷표준-물리계층,” 한국정보통신기술협회, 2004년 12월

저 자 소 개



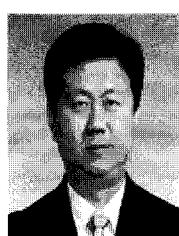
이 일 신(학생회원)
2007년 8월 인하대학교
전자공학과 학사 졸업.
2007년 ~ 현재 인하대학교
전자공학과 석사
<주관심분야 : MIMO, OFDM, 차세대 이동통신>



유 재 호(학생회원)
2008년 2월 인하대학교
전자공학과 학사 졸업.
2008년 ~ 현재 인하대학교
전자공학과 석사.
<주관심분야 : 4G, OFDM-MIMO, UWB, 수중통신>



이 윤 주(정회원)
1974년 2월 숭실대학교
전자공학과 학사 졸업.
1989년 2월 숭실대학교
전자공학과 석사
1998년 2월 숭실대학교
전자공학과 박사
1975년 ~ 1978년 (주) 대한통신
1979년 ~ 현재 한국전자통신연구원
<주관심분야 : 디지털 스위칭, 데이터통신, 차세대 이동통신,>



권 동 승(정회원)
1985년 연세대학교
전자공학과 학사 졸업.
1987년 연세대학교
전자공학과 석사.
1988년 ~ 현재 한국전자통신
연구원 근무
2004년 연세대학교 전자공학과 박사.
<주관심분야 : 차세대 이동통신 무선전송 기술>



정재학(정회원)
1988년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업.
1990년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
2000년 University of Texas at Austin 전기전산 학과 박사
2000년 ~ 2001년 post doctoral fellow, University of Texas at Austin
2001년 ~ 2005년 수석연구원, 삼성종합기술원
2005년 ~ 현재 조교수, 인하대학교
<주관심분야 : cognitive radio, 차세대 무선 이동통신, MIMO-OFDM, UWB, cross layer 설계>