

主題

차세대 무선통신 연구센터: 차세대 고속 무선 전송 핵심 기술 연구

서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수 노종선

차 례

- I. 센터의 개요
- II. 센터의 구성
- III. 연구 소개
- IV. 결론 및 전망

I. 센터의 개요

서울대학교 차세대 무선통신 연구센터는 2000년 8월에 정보통신부의 지원을 받아 서울대학교 내의 뉴미디어통신공동연구소에 설립되었다. 제1세대 아날로그 이동전화시스템, 제2세대 디지털 이동전화시스템의 성공적인 상업화를 거쳐 IMT-2000으로 대표되는 제3세대 이동통신시스템에 관한 기술개발 및 상용화가 전세계 무선 및 이동통신 산업의 큰 관심사로 되어 있다.

이러한 국내외적 환경 속에서 본 연구센터는 향후 초고속의 멀티미디어 데이터의 전송을 위한 차세대 (제4세대) 무선 및 이동통신시스템 기술의 연구개발 계획을 수립하여 심도 있고 폭넓은

기반기술을 발전시켜 차세대 고속 무선전송 기술에 관한 산학연 연구의 구심점을 구축하고 지속적으로 관련분야 고급인력을 양성하는 것을 목표로 하고 있다.

본 연구센터는 5개 대학의 15명의 관련 분야 교수들과 약 150명의 석사과정 및 박사과정 학생들로 구성되어 있으며 차세대 무선통신관련 국제적인 수준의 연구센터로 발돋움하고 있다. 향후 본 연구센터에서는 차세대 무선 및 이동통신시스템의 기반기술을 구축하고 국내 관련분야의 국제적인 위상을 제고하기 위하여 연구결과를 우수한 국제저널에 발표하고 또한 향후 차세대 무선 및 이동통신시스템에 핵심이 되는 특허를 출원하여 국가의 정보통신분야 산업발전에 기여할 것이다.

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부 부호 및 암호 연구실(jsno@snu.ac.kr)

II. 센터의 구성

서울대학교 차세대 무선통신 연구센터는 현재 뉴미디어통신공동연구소에 소속되어 있는 11인의 교수의 연구실들과 단국대학교 최천원 교수의 무선망 연구실과 숭실대 신요안 교수의 통신 및 정보처리연구실, 한양대 신동준 교수의 부호 및 정보이론 연구실, 영남대 박용완 교수의 디지털무선통신연구실 등 5개 대학의 15개 연구실로 구성된다. 신요안 교수가 세부 책임을 맡고 있는 제1세부과제에서는 신요안 교수 외 2인의 교수가 박사과정 5인과 석사과정 18인을 참여시켜 차세대 무선통신을 위한 MIMO-OFDM 전송 핵심기술에 대한 연구를 수행하고 있고, 노종선 교수가 세부 책임을 맡고 있는 제2세부과제에서는 노종선 교수 외 2인의 교수가 박사과정 8인과 석사과정 19인을 참여시켜 차세대 무선통신을 위한 디지털 신호 핵심기술에 대한 연구를 수행하고 있으며, 김성철 교수가 세부 책임을 맡고 있는 제3세부과제에서는 김성철 교수 외 3인의 교수가 박사과정 17인과 석사과정 14인을 참여시켜 차세대 무선통신을 위한 MIMO 통신 시스템의 실험을 통한 채널 특성 연구 및 시스템 성능 분석에 관한 연구를 수행하고 있다. 그리고 박세웅 교수가 세부 책임을 맡고 있는 제4세부과제에서는 박세웅 교수 외 4인의 교수가 박사과정 19인과 석사과정 19인을 참여시켜 차세대 이동 통신망에 적합한 다중 접속 기술 및 자원관리 기술 개발에 대한 연구를 수행하고 있다.

본 차세대무선통신연구센터내의 15개의 연구실에서 수행예정인 4개의 세부과제는 앞서 언급한 바와 같이 차세대 고속무선전송 기술의 핵심요소 기술들로서 서로 유기적인 관계를 갖고 있어 긴밀한 협조 하에서 공동연구를 수행되고 있

다. 제1세부과제의 경우를 보면 제3세부과제의 채널특성분석자료와 제2세부과제의 디지털 신호 관련 연구자료를 활용하여 연구를 수행하고 있다. 그리고 제2세부과제 또한 제4세부과제의 다중접속기술 관련자료와 관련지어 디지털 신호기술에 관한 연구를 하고 있으며, 제3세부과제는 통신의 가장 기초가 되는 채널과 시스템에 관한 연구를 함으로써 다른 모든 세부과제의 연구에 기본이 되는 귀중한 연구 자료를 제공해 주고 있다. 그리고 제4세부과제는 제2세부과제와 제3세부과제의 연구결과를 활용하여 다중접속 기술에 관한 연구를 수행하며 그 결과를 제1세부과제에서 응용하고 있다.

III. 연구 소개

1. 이동통신의 발전과 차세대 무선통신

이동통신은 시간 및 공간의 제약에서 벗어나 “언제, 어디서나, 누구에게나”라고 하는 통신의 꿈을 실현 가능하게 하는 수단이다. 1980년대 말 이후 이동통신은 전세계적으로 그 수요가 급격히 증대하여 2000년대 들어서 그 규모가 고정통신을 능가하게 될 것으로 전망되고 있다. 국내의 경우도 1990년대 초 이래로 무선통신, 이동전화, PCS 등 이동통신 수요가 급속히 증대하여 올해 들어서 이동전화 가입자의 규모가 고정통신을 능가하기에 이르렀다. 이러한 급격히 성장하는 이동통신 수요에 부응하기 위하여 한국은 80년대 취약했던 무선통신 기술의 기반 위에서 1996년에 CDMA 이동전화 시스템의 상용화를 성공하여 일약 세계적 이동통신 기술 선두 대열에 서게 되었다. 이는 특정한 기술의 연구개발을 위한 효과적인 계획 수립과 인력 및 물적자원의 조직적이고 집중적인 투입으로 얻어진 결실이라고 판단된다.

정보통신의 발달에 따라 음성, 데이터, 영상

등 다양한 정보의 전달에 대한 수요가 급속히 증가되고 있는데, 이와 같은 정보들의 이동 중 전달에 대한 요구도 급속히 증대되고 있다. 이러한 수요를 대비하기 위하여 ITU-R (International Telecommunication Union - Radio)에서는 1985년 표준화 작업을 시작하고, 1992년 ITU 산하의 WARC (World Administrative Radio Conference)에서 FPLMITS (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems)을 위한 230 MHz의 주파수대역을 할당하였으며, 1997년 2월에는 그 명칭을 FPLMITS에서 IMT-2000 (International Mobile Telecommunications)으로 변경하였다. IMT-2000 시스템은 이동 중 다양한 통신 서비스에 대한 요구를 부분적으로 충족시킬 이동통신 시스템으로서 뿐만 아니라 동시에 이동통신 분야 최초의 세계표준으로서 관련 기술 및 산업의 발전에 중요한 의미를 갖는다. 이와 같은 중요성으로 인하여 지난 수년간 전 세계적으로 IMT-2000 기술에 대한 제안서 제출과 이를 뒷받침하기 위한 연구개발 및 표준화 작업이 미국·유럽·일본 등 기술 선진국을 중심으로 폭넓게 추진되어 왔다. 국내에서도 1996년 TTA 산하에 제안서 제출을 위한 위원회를 구성하고, 국책연구소, 산업체 및 대학에서 관련 요소 기술 및 시스템 결합 기술에 관한 연구 및 표준화 작업이 꾸준히 수행되고 있다.

현재 제안되고 있는 IMT-2000 시스템에 있어서 무선접속방식으로 동기식 광대역 CDMA와 비동기식 광대역 CDMA가 유력한 후보로 부각되었다가 1998년도에는 3GPP (Third Generation Partnership Proposal)이 제안되기에 이르렀다. 3GPP에서는 CDMA를 무선접속으로 채택하고 있다. 이와 같은 추세에 따라 한국은 기존의 CDMA 이동전화 개발을 통하여 축적된 기술력을 활용할 수 있는 기회를 얻게 되었다. 이러한 세계적 추세와 국내적 여건을 감안할 때 광대역

CDMA 관련 기술을 연구개발하고 더욱 발전시켜 기술을 국내에 축적하고 나아가서 국제적 표준으로 반영시키는 것이 필요하다.

차세대 무선 및 이동통신 시스템은 IMT-2000의 표준화와 관련 기술의 개발에서 끝나는 것이 아니고 이를 활용한 다양한 초고속의 멀티미디어 데이터 전송시스템을 구현하는데 까지 이어질 것으로 전망되며 이를 위한 연구개발이 이미 전 세계적으로 진행 중이다. 이른바 다양한 서비스를 포함하는 초고속 멀티미디어 데이터의 전송으로 요약될 수 있는 제4세대 무선 및 이동통신 시스템의 연구개발이라 할 수 있다. 데이터의 전송 속도에 있어서는 현재 IMT-2000이 목표로 하고 있는 최고 2 Mbps의 전송속도를 넘어서 100 Mbps의 전송속도의 달성을 위한 방안까지도 모색되고 있다. 방안의 일환으로 최근 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식이 유무선 채널에서 고속 데이터 전송에 적합한 방식으로 매우 활발히 연구되고 있다. 예를 들어, 유럽에서는 디지털 오디오 방송 (Digital Audio Broadcasting; DAB)과 디지털 지상 텔레비전 방송 (Digital Terrestrial Television Broadcasting; DTTB)의 전송 방식으로 OFDM 방식을 채택하였다. 또한 비대칭 디지털 가입자 회선 (Asymmetric Digital Subscriber Line; ADSL)의 물리계층 표준으로 ANSI T1E1.4 Working Group에서 OFDM을 채택하였으며, 유럽과 미국 등에서 25 Mbps 급 무선 ATM의 전송 방식으로 OFDM을 고려 중이다. 이는 별도로 기술개발이 진행되고 있는 WLAN에서와 같이 초고속 데이터 전송을 위한 단말기를 대상으로 하는 통신에도 적용될 수 있다.

2010년대에 큰 수요 발생이 예상되는 차세대 (제4세대) 무선 및 이동통신 분야의 기술 발전을 위하여 국책연구소 및 산업체에서의 집중적인 연구에 앞서 대학에서 장기적이고 선도적인 기초

핵심기술 및 폭넓은 이론연구 그리고 이러한 기술에 관한 검증 연구는 필수적이라 할 수 있다. 차세대 무선 및 이동통신 기술은 심도 있고 창의적인 이론을 바탕으로 연구 및 발전이 가능한 것으로 젊은 연구인력인 대학원 석·박사과정의 창조적 역량을 활용하여 심도 있는 이론적 연구를 수행하여 차세대 무선 및 이동통신 관련 기반기술을 구축하는 것은 매우 긴요한 것이라 할 것이다. 그런데 이러한 기술들은 대학에서의 공동연구를 통해서만이 미래의 무선 및 이동통신 관련 다양한 기술의 장기적이고 지속적인 연구가 가능하며 이러한 기술 축적을 통하여 산학연 연구의 구심점으로서의 역할이 가능할 것이다. 더욱이 대학에서 무선 및 이동통신 관련 기술에 관한 다양한 연구를 통하여 많은 국제특허를 출원하고 국제적인 이동통신 관련된 저널에 많은 우수한 논문을 발표함으로써 국내외의 이동통신 관련 학문의 수준을 향상시킬 수 있다. 또한 국제적으로 이를 인정받음으로서 국제 이동통신 기술 분야에서 국내 기술의 신뢰성을 높이는 계기를 마련할 수 있을 것이다. 또한 차세대 무선 및 이동통신의 성공적 연구개발을 위해서는 이를 담당할 고급 기술인력의 양성이 필수적인데, 이를 뒷받침하기 위하여 대학에서 고급 기술인력을 연구와 연계시켜 교육 양성하는 것이 필수적이다.

2. 연구목표 및 수행내용

가. 최종목표

제1세대 아날로그 이동전화시스템, 제2세대 디지털 이동전화 시스템의 성공적인 상업화를 거쳐 IMT-2000으로 대표되는 제3세대 이동통신시스템에 관한 기술개발 및 표준화 작업이 전세계 무선 및 이동통신 산업의 큰 관심사로 되어 있는 국내외적 환경 속에서 향후 초고속의 멀티미디어 데이터의 전송을 위한 차세대 (제4세대) 무선 및

이동통신 시스템 기술의 연구개발 계획을 수립하여 심도 있고 폭넓은 기반기술을 발전시켜 차세대 고속 무선전송 기술에 관한 산학연 연구의 구심점을 구축하고 지속적으로 관련 고급인력을 양성하는 것을 목표로 하고 있다.

이러한 목표를 위하여 다음과 같이 4개의 세부과제로 나누어 연구를 수행하고 있다.

- 제1세부과제: 차세대 무선통신을 위한 MIMO- OFDM 전송 핵심기술 연구
- 제2세부과제: 광대역 디지털 신호설계기술
- 제3세부과제: MIMO 통신 시스템의 실험을 통한 채널특성연구 및 시스템 성능 분석연구
- 제4세부과제: 차세대 이동 통신망에 적합한 다중 접속 기술 및 자원 관리 기술 개발

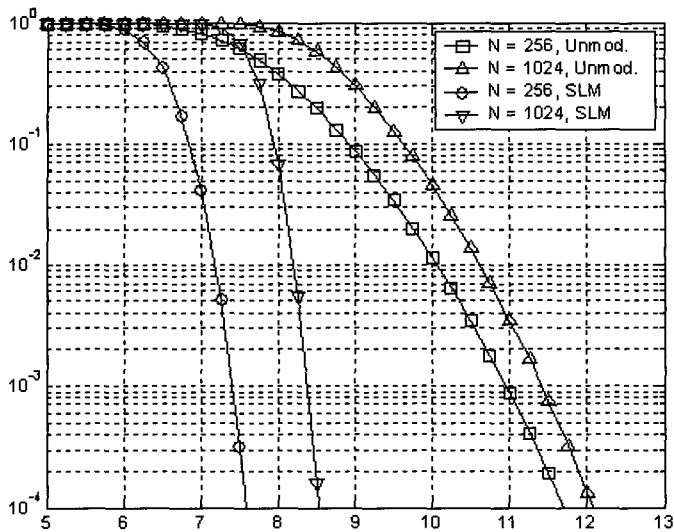
또한 본 연구의 목표를 달성하기 위하여 국내 5개 대학이 컨소시엄을 구성하여 기존의 관련분야 교수들과 함께 유기적인 연구 협력체제를 수립함으로써 조직적 연구계획 하에서 산학연 협력을 통한 차세대 무선 및 이동통신 기술을 위한 목적 지향적인 연구를 효율적으로 수행하고 동시에 관련기술의 교육을 통하여 무선 및 이동통신분야 고급 기술인력을 지속적으로 양성하는 것을 목표로 한다.

3. 주요 연구 성과

본 장에서는 본 연구센터에서 현재까지 수행한 연구 결과 중에서 각 세부과제별로 대표적인 것들을 몇 가지 요약해서 설명하고자 한다.

가. 제1세부과제: 차세대 무선통신을 위한 MIMO-OFDM 전송 핵심기술 연구

1) Partial Transmit Sequence를 이용한 PAPR 감소기법의 복잡도 감소방안



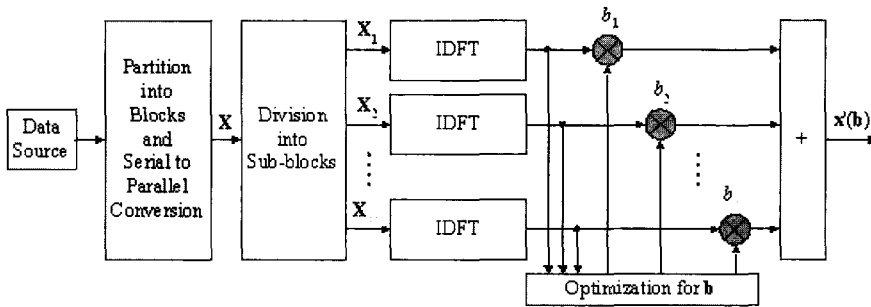
〔그림 1〕 Nyquist 샘플링된 OFDM 신호의 여주적분포함수

현대 무선 통신에서는 음성 신호뿐만 아니라 다양한 영상 및 멀티미디어 등 고속 고품질의 대용량 데이터 서비스를 필요로 하고 있다. OFDM 기술은 대용량의 데이터를 서로 직교하는 협대역의 부반송파에 나누어 실어 전송함으로써 무선 광대역 데이터 전송의 문제점인 다중 경로 페이딩 채널(multi-path fading channel)에 의한 인접 심볼 간섭(inter-symbol interference)을 극복하여 고속의 대용량 무선 통신을 가능하게 한다. OFDM은 유럽에서의 디지털 음악 방송, 디지털 TV 방송 등에 이용되고 있으며 wireless LAN (IEEE 802.11a), wireless MAN (IEEE 802.16) 등에 표준으로 채택되는 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

OFDM 시스템은 단일 반송파 시스템과는 달리 여러 개의 부반송파를 통하여 정보를 전송하게 되므로 부반송파의 신호가 동일 위상으로 더해지게 되는 경우에 신호의 평균전력(average signal power)에 비하여 최대전력(peak signal

power)이 매우 커질 수 있다. 모든 부반송파에 같은 변조기법이 사용되고 동일한 전력을 배분하는 경우 OFDM 시스템의 최대전력 대 평균전력의 비 (PAPR: peak-to-average power ratio)는 최대 부반송파수와 같은 값을 가질 수 있다. PAPR이 큰 신호가 전력증폭기를 통과하는 경우 전력증폭기의 비선형 특성으로 인하여 신호의 대역폭 내 뿐만 아니라 인접 주파수 대역에도 간섭을 발생시키게 되고 또한 전력증폭기의 효율을 크게 감소시키는 요인이 된다.

이에 따라 OFDM에서 PAPR을 감소시키기 위하여 다양한 방법이 제안되었다. 그 중에서 부분 전송 열을 이용하는 PTS(partial transmit sequence) 기법은 시스템 내에서 사용되는 변조 기법이나 부반송파의 수에 관계없이 적용 가능하며, OFDM 뿐만 아니라 OFDMA에도 적용이 가능한 PAPR 감소기법이다. 하지만 기존의 PTS 기법을 사용하는 경우 부 블록(sub-block)의 개수의 증가에 따라 연산의 복잡도(computational



[그림 2] PTS 기법이 사용된 OFDM 전송단의 블록도

complexity)가 급격히 증가하게 되는 단점이 있다.

이에 대한 연구를 수행한 결과 OFDM 시스템에서 기존의 PTS 기법과 비교하여 연산 복잡도가 낮은 PTS 기법을 제안할 수 있었다. 그리고 본 발명에서 제공하는 기법을 실제 OFDM 시스템을 위한 PAPR 감소 기법으로 사용하면 기존의 PTS 기법을 사용하였을 때와 비교하여 계산량을 감소시킬 수 있는 장점이 있었다.

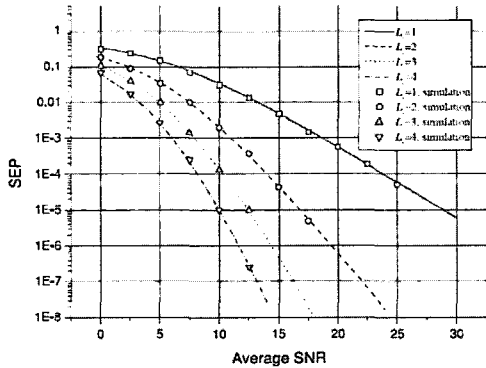
2) Peak Reduction Subcarrier를 사용한 PAPR 감소기법의 복잡도 감소방안

OFDM은 무선 채널에서 고속 전송을 위한 기술로 각광받고 있다. OFDM의 장점으로 들 수 있는 것은 높은 주파수 효율, 임펄스 잡음 및 다중패스 페이딩의 영향에 대한 강인함, 간단한 등화기 구조, 푸리에 변환 및 역푸리에 변환을 이용한 효율적인 변조 및 복조 등이다. 여기에 최근 디지털 신호 처리 기술의 급속한 발달로 인하여 고속 푸리에 변환을 이용한 효과적인 OFDM 시스템의 구현도 가능해 진 것도 큰 장점으로 꼽힌다. 하지만 OFDM의 전송단에서 발생할 수 있는 가장 큰 문제점중의 하나는 높은 PAPR이다. 이러한 높은 PAPR을 만드는 높은 첨두치들은 각 부반송파를 통하여 전송되는 신호들의 서로 같은 위치에서 같은 위상을 가진 상태에서 더해

지는 경우 발생하게 된다. OFDM신호의 경우 평균 신호의 전력에 비하여 이러한 첨두치들의 순간 전력이 매우 크게 되어 PAPR도 커지게 된다. 이러한 첨두치들의 존재는 실제 OFDM 시스템의 구현에 큰 장애가 될 수 있다.

이러한 OFDM 신호의 높은 PAPR을 감소시키기 위하여 많은 연구들이 진행되어 왔다. 기존의 기법은 선형 증폭기를 사용하거나 아니면 비선형 증폭기의 동작점을 선형 영역으로 이동하는 것인데 이러한 방법들은 증폭 효율에 있어서 큰 손실이 발생하기 때문에 실제 사용에 부적절하다. 따라서 여러 다른 방법들이 제안되어 왔다. 증폭기를 통과시키기 전에 신호를 클리핑하는 것은 가장 간단한 방법 중의 하나이다. 하지만 클리핑에 의해 신호대역 내 및 신호대역 외에 각각 신호왜곡 및 간섭신호가 발생할 수 있다. 다른 기법으로는 부호화 기법이 사용 가능한데 부호화 기법은 데이터 시퀀스를 더 길이가 긴 데이터 시퀀스로 대응 시키는 과정에서 PAPR이 낮은 시퀀스만을 선택적으로 사용하는 방법이다. 이 기법은 PAPR을 감소시킬 수는 있지만 전송효율을 크게 감소시키게 된다. 이러한 경향은 부반송파의 수가 늘어날 경우 더욱 심해진다. 최근에는 PTS기법, SLM기법등과 같은 다중 신호 표현 기법들이 제안되었는데 이 기법에서는 입력된 OFDM 데이터 블록에 대해 여러 개의 변형된 데이터 블록

을 생성한 후 가장 낮은 PAPR을 가지는 것을 선택하여 전송하게 된다. 이 기법들은 PAPR의 특성을 크게 개선시킬 수 있는 장점이 있으나 수신단과 전송된 OFDM 데이터 블록을 복원하기 위해서는 수신단과 송신단 사이에 정보 교환이 요구된다.



(그림 3) QPSK를 갖는 Alamouti 방식 C_1 의 심볼 오류 확률

최근 연구되고 있는 새로운 PAPR 감소 기법 중의 하나는 전체 부반송파중의 일부를 PAPR 감소를 위한 목적으로 사용하는 것이다. 이 PAPR 감소를 위한 부반송파들의 크기와 위상을 적당하게 조절하여 전체 OFDM 데이터 블록의 PAPR을 줄이게 된다. 이 기법에서는 부반송파의 일부가 PAPR 감소를 위해 이용되므로 전송률의 손실이 발생하게 된다. 하지만 모의실험 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 약간의 전송률 손실로 큰 PAPR 감소 성능을 달성할 수 있는 기법이다. 기존의 기법에서는 PAPR 감소를 위한 부반송파들의 크기와 위상을 구하기 위해 코드북이 사용되었다. 즉, 특정한 입력 데이터 블록에 대해 코드 북의 해당 부분을 참고하여 PAPR 감소를 위한 부반송파들의 크기와 위상을 구해내게 된다. 하지만 전체 부반송파의 수가 많아져 PAPR 감소를 위한 부반송파의 수도 많아지게 되면 코드

북의 크기가 기하급수적으로 증가하게 되어 실제 적용에 문제가 될 수 있다. 코드 북을 사용하지 않는 경우에는 모든 가능한 값의 조합에 대하여 PAPR을 계산하는 과정이 요구되므로 이러한 접근 방법들은 부반송파의 수가 16이하인 시스템 정도에만 실제로 사용이 가능하게 된다.

본 연구에서는 간단하게 PAPR 감소를 위한 부반송파의 크기와 위상을 결정하는 방법을 제안하고 성능을 기존의 기법과 비교하였다. 모의실험 결과 제안된 기법이 코드 북을 사용하는 최적 기법에 비해 크게 복잡도를 감소시키면서도 매우 근접한 성능을 달성하게 되는 것을 확인할 수 있었다.

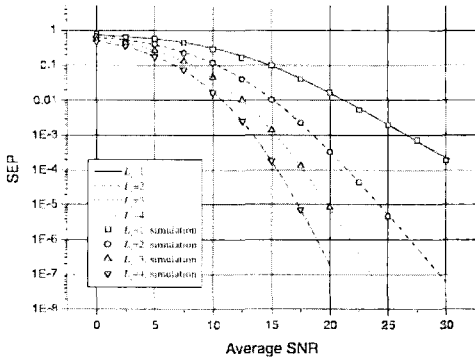
나. 제2세부과제: 광대역 디지털 신호설계기술

1) 느린 레일리 페이딩 채널에서의 QAM을 이용한 직교 시공간 블록 부호의 심볼 오류 확률

Alamouti는 두 개의 송신 안테나를 가진 간단한 송신 다이버시티 구조를 제안하였고, 제안된 구조는 2x2 복소 직교 디자인을 사용하고 있다. 여러 개의 송신 안테나를 가진 시공간 블록 부호의 일반화된 구조는 Tarokh의 논문에서 제시되었다. 시공간 블록 부호에 있어 최대의 다이버시티를 갖으면서 낮은 복호도를 갖는 것이 중요하고, 이는 직교 시공간 블록 부호에 의해 만족될 수 있다.

그리고 시공간 부호의 정확한 성능 분석보다 부호 설계 기준 혹은 더 나은 성능을 가진 부호를 찾는 것에 관한 연구도 이미 수행되었다. Tarokh은 쌍 오류 확률에 관한 상한을 유도하였다. 최근 시공간 부호에 대한 쌍 오류 확률의 정확한 식과 시공간 트렐리스 부호에 대한 비트 오류 확률의 근사치를 Simon, Taricco, Biglieri, Byun이 유도하였다. 유니터리 시공간 변조에 대

한 쌍 오류 확률의 정확한 식을 Hochwald가 유도하였다. 어떤 직교 시공간 블록 부호에 대한 BPSK와 QPSK의 정확한 쌍 오류 확률과 정확한 비트 오류 확률은 Lu, Wan, Kumar, Chung에 의해 유도되었다.

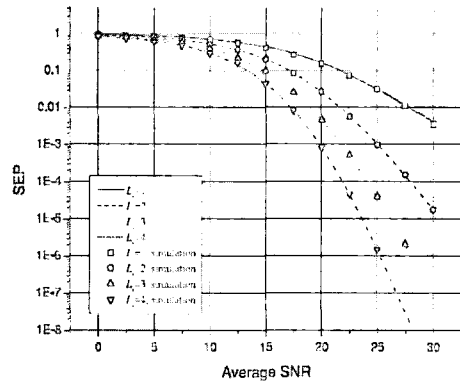


(그림 4) 16-QAM을 갖는 Alamouti 방식 C_1 의 심볼 오류 확률

고속 무선 데이터 송신 방식에서 QAM과 직교 시공간 블록 부호의 사용을 고려하고 있다는 것이 잘 알려져 있다. 본 연구를 통해서, 두 개의 송신 부호에 행렬사이의 부호에 심볼 거리보다는 두 개의 메시지 벡터사이의 메시지 심볼 거리로 유도된 쌍 오류 확률에 대한 정확한 수식을 사용하여 느린 레일리 페이딩 채널에서 어떠한 선형 직교 시공간 블록부호의 심볼 오류 확률의 정확한 폐수식을 QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM에 대해서 유도할 수 있었다.

2) DS-CDMA 시스템에서의 도착 방향 추적기 (Direction-of-Arrival Tracking) 기술: DLL (Direction Lock Loop)

무선 통신 서비스에 대한 수요는 폭발적으로 증가하였다. 무선 통신 시스템의 수용량을 증가시키기 위해서, SDMA (space division multiple access) 시스템이 스마트 안테나와 SFIR (spatial filtering interference reduction)을 이용하여 고안



(그림 5) 64-QAM을 갖는 Alamouti 방식 C_1 의 심볼 오류 확률

되었다. 최근에는, DOA (direction of arrival)에 기반 한 스마트 안테나 시스템이 빔 패턴에 의해 형성된 다른 방향에서의 원하지 않는 신호를 효과적으로 감소시킬 수 있도록 개발되어왔다.

스마트 안테나 시스템에서, 다중 이동원에 의한 도착 방향 추정 문제는 많은 관심을 끌었고 많은 DOA 추정 기술이 개발되었다. MUSIC나 ESPRIT같은 고유 구조(eigen structure) 방법은 신호의 도착 방향 추정에 많이 이용되었다. 이 알고리즘은 어레이 데이터의 일시적인 적분의 이득을 이용하는 것이다. 따라서 보통 이동원에 대해서는 소스의 이동 때문에 생기는 어레이 공간 스펙트럼(array spatial spectrum)의 확산 현상에 의한 해상도의 열화 때문에 성능이 떨어지게 된다. 또한 고유 분석(eigen analysis)에 따른 계산량이 안테나 수의 증가에 따라 매우 커지게 된다.

공간 스펙트럼의 확산 현상과 고유 분석 방법에 의한 계산 량 조건을 극복하기 위해서, PASTd (projection approximation subspace tracking with deflation algorithm) 같은 알고리즘이 제안되었다. 이 알고리즘은 신호의 부 공간을 순환적으로 추적한다.



(a) 송신 시스템



(b) 수신 시스템

[그림 6] 제작된 4×4 MIMO 채널 측정 시스템의 송신 시스템

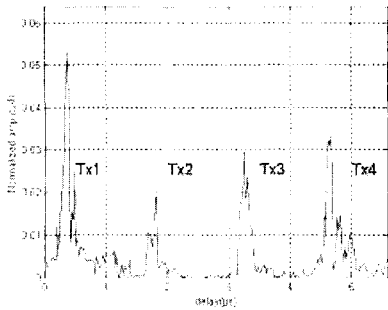
일반적으로, 이 알고리즘의 계산량은 $4NK + O(K)$ 이고 여기서 N 은 안테나의 개수, K 는 신호원의 수이다. 역확산 후 신호의 파워가 다중 접속 간섭(MAI: multiple access interference)보다 훨씬 크다고 가정할 때 DS/CDMA 시스템에서는 계산량이 $3NK + O(K)$ 로 줄어들 수 있다. 이 알고리즘을 사용하여 고유벡터를 순환적으로 추적할 수 있다.

최근에는 매개 변수 추적 알고리즘을 포함하여 안테나 어레이를 이용하여 이동 자원의 DOA를 추정하는 문제를 다룬 몇 가지 접근법이 개발되기도 했다. 이런 기술들에서는 일반적으로 소스가 근사적으로 제한된 적분 시간 구간에서는 정적상태라고 가정하였다.

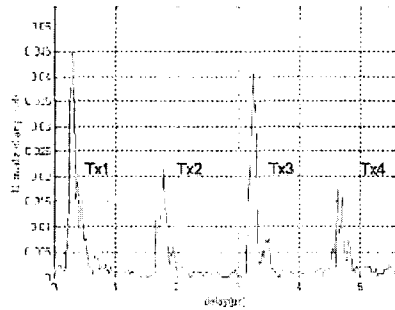
본 연구에서는 DS/CDMA 시스템에서 DOA 추적 기술을 제한하였다. 이 기술이 DS/CDMA 시스템에서 코드 추적을 위한 DLL(delay lock loop)와 유사하기 때문에, 본 연구에서는 이 기술

을 DiLL(direction lock loop)로 언급하였다. 다른 논문에서 빠른 이동 신호원을 위한 빔 추적 알고리즘에서 DLL 개념이 적용되었다. 그러나 이 알고리즘은 신호의 DOA를 추적하기 위한 것이 아니라 빔 패턴을 위한 것이다. 그러므로 다른 곳에서 제안된 알고리즘으로는 신호의 DOA를 추적할 수 없었다. DOA 추적을 위한 오류 신호는 입력 신호의 공간 상관도와 현재 DOA 추적 값에서부터 방향이 $\pm 1\theta$ 만큼 이동한 어레이 응답에서 발생한다. 오류 신호는 반복적으로 DOA 추적 값을 업데이트 한다. DiLL은 동기/비동기 모드 모두에서 수행될 수 있다. 두 가지 DiLL 기술의 계산량은 동기 모드에서는 $NK + O(K)$ 이고 비동기 모드에서는 $2NK + O(K)$ 으로 PASTd 알고리즘 보다 작다. 그러나 원하는 신호가 1 chip 기간 안에서 2개 혹은 여러 방향에서 입사하면 DiLL은 정확히 추적할 수 없다.

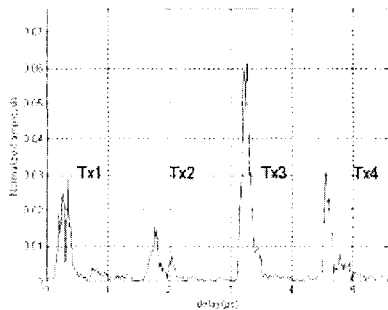
DiLL 기술은 타이밍 동기에서의 DLL 제어 범



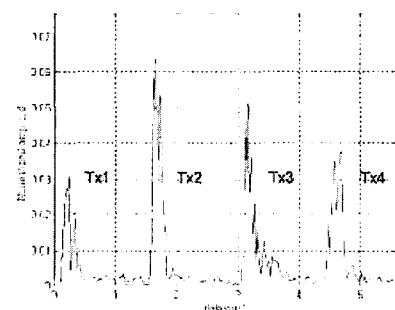
(a) Rx antenna 1



(b) Rx antenna 2



(c) Rx antenna 3



(d) Rx antenna 4

(그림 7) 서울대 301동 Rx 5의 EW 방향 충격 응답 (TX 간격 1λ, RX 간격 2λ)

위 같은 특정한 범위 안에서 초기 DOA 추적 값이 존재해야 한다. 그러므로 초기 DOA 추적 기술이 DILL 기술에서 필요한데 이것은 DS/CDMA 시스템의 타이밍 동기 포착에 의해 진행되는 DLL 기술과 유사하다. 본 연구에서는 DLL 기술을 수정함으로써 초기 DOA 추적 기술도 제안했다.

다. 제3세부과제: MIMO 통신 시스템의 실험을 통한 채널특성연구 및 시스템 성능 분석연구

1) 차세대 무선통신을 위한 MIMO 채널 특성 분석

이동 통신의 발전 방향이 3세대 이동 통신을 넘어 4세대를 향해 나아감에 따라 다양한 통신

서비스에 대한 요구가 늘어나고 있고, 이와 더불어 제한된 주파수에 대하여 더 많은 사용자 용량에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 FDMA (frequency division multiple access), TDMA (time division multiple access), CDMA (code division multiple access) 등의 기존 기술에 덧붙여 스마트 안테나(smart antenna) 등을 이용한 SDMA (space division multiple access) 기술 및 다른 다양한 기술을 통해 한정된 주파수 자원 안에서 더 많은 용량을 제공하려는 시도가 이루어지고 있다.

기존의 스마트 안테나 시스템은 원하는 통신 채널의 신호 공간에 빔 패턴을 고정함으로써 사용자 용량을 증가시키고 수신 거리의 한계를 증가할 수 있다. 이러한 개념을 증명하기 위해서 여러 기관과 다양한 프로그램을 통해서 많은 실

힘이 수행되었고 상용화를 목전에 두고 있다. 그러나 스마트 안테나는 기지국에서만 안테나 배열을 사용하기 때문에 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하기에는 여전히 부족한 사용자 용량을 해결할 수 없을 것으로 보인다. 이러한 관점에서 최근에는 송수신 양쪽에서 안테나 배열을 사용함으로써 스마트 안테나의 개념을 확장하고 있다. 이렇게 송수신 양쪽에 안테나 배열을 사용하는 시스템의 통칭을 MIMO (multiple input multiple output) 시스템이라고 한다. MIMO 시스템은 특히 전파의 다중 경로가 많은 환경에서 용량의 이득이 더욱 증가하는 본질적인 특징을 가지고 있다. 따라서 미래의 통신 시스템에서 주파수 부족을 해결하는 중요한 수단이 될 것으로 보인다.

일반적으로 다중 안테나는 다중 경로가 많은 환경에서 최적 결합 (optimum combining)을 통하여 이득을 높일 수 있다고 알려져 있다. 이러한 공간 다이버시티(diversity)는 송수신 양쪽에 다중 안테나를 설치하여 그 개념을 확장할 수 있다. 특히 송수신 안테나가 각각 최소 n 개로 이루어졌을 때 송수신 안테나 각각에 해당하는 채널이 서로 독립적인 경로를 갖게 되면 주파수 효율이 n 배로 증가한다. 또한 수신 SNR이 큰 경우 그 채널 용량은 안테나의 개수에 따라 선형적으로 증가한다.

Bell Labs은 처음으로 MIMO 채널을 이용할 수 있는 아키텍처를 제안하였고 복귀 알고리즘을 제시했다. BLAST(bell labs layered space-time)라는 이름의 이 시스템은 상호간 서로 독립적인 송수신 간의 평행한 경로를 통하여 송신 안테나의 각각에서 데이터를 송신하며 이를 복구하는 알고리즘의 특징에 따라서 Diagonal (D-BLAST)과 Vertical (V-BLAST)로 나뉜다. 그러나 BLAST의 주파수 효율성은 MIMO 채널의 상태에 따라서 많은 차이를 보이며 채널이 급격히 변화하는 경우 부호 오류율(bit error rate)

이 크게 나빠질 수 있다. 이에 대안으로 시공간 부호 기법이 있다. 시공간 부호 기법은 부호를 통하여 다이버시티 차수를 늘리고 부호이득을 얻어서 MIMO 채널의 변화가 있어도 시스템에 영향을 크게 미치지 않도록 한다.

주파수 부족을 해결하고 더 나은 통신 서비스를 위하여 새로운 주파수 대역의 할당도 중요한 이슈가 된다. 주파수 대역에 있어서는 3세대 이동통신에서는 2 GHz 대역을 사용하며 무선 LAN은 801.11a와 HIPERLAN 등의 표준을 통하여 전세계적으로 5 GHz 대역을 사용할 계획이다. 이미 유럽에서는 5.15~5.35 GHz와 5.47~5.725 GHz 대역을 HIPERLAN 대역으로 미국에서는 5.15~5.35 GHz와 5.725~5.825 GHz 대역을 U-NII 대역으로 할당하였다. 한국은 ISM(industrial, scientific and medical) 대역인 5.725~5.825 GHz를 무선 LAN을 위한 대역으로 지정하였다. 그러나 아직 5.8 GHz 대역에서의 전파 특성에 대한 연구가 미비한 실정이다. 따라서 5.8 GHz 대역에서의 무선 랜 시스템에 대한 연구가 진행되기 전에 전파 특성에 대한 연구가 선행되어야 할 필요가 있다고 하겠다. 본 연구에서는 의사 잡음 상관을 이용한 MIMO 채널 측정 기법에 대하여 살펴보고 측정을 통하여 구축한 데이터를 바탕으로 실내 환경에서의 4x4 MIMO 광 대역 무선 채널의 특성, 수신안테나의 간격에 따른 채널의 특성을 살펴보고 채널의 용량을 구하여 보았다.

2) MIMO 무선 시스템에서 개선된 수신알고리즘

고속 데이터 전송을 위한 차세대 이동통신을 위해 MIMO(multi input multi output) 통신 시스템이 도입되고 있다. MIMO 통신 시스템은 여러 개의 송신 안테나와 여러 개의 수신안테나를 이용한 통신으로 다이버시티 이득과 시공간 처리

기술을 사용하여 코딩 이득을 얻을 수 있기 때문에 기존의 통신 시스템보다 더 빠른 전송 속도와 더 큰 용량을 지원 할 수 있다.

이것을 수행하기 위한 기존의 수신 알고리즘으로는 V-BLAST가 제안 되었다. V-BLAST의 수신 알고리즘은 SSC (successive symbol cancellation)와 parallel symbol cancellation (PCS) 기법이 제안되었다. 그러나 SSC 검출 기법은 각각 검출 레이어(layer)간 전력 reordering 통해 수신 전력이 높은 즉, 채널 특성이 좋은 신호를 먼저 검출함으로써 높은 BER 특성을 얻을 수 있지만, 안테나 수가 증가함에 따라 시스템의 지연(delay)이 불가피 하게 된다. 그리고 PSC 검출 기법은 전력 reordering을 사용하지 않기 때문에 시스템 지연을 막을 수 있는 반면 BER 특성이 좋지 못하고 시스템 복잡도가 증가하게 된다.

본 연구에서는 차세대 MIMO 통신 시스템을 위한 V-BLAST 수신 알고리즘 성능을 개선하기 위한 그룹 분할 심벌 제거 검출 기법 (group partitioned symbol cancellation detection algorithm)을 제안하였다. 이 기법은 기존의 SSC와 PSC 기법을 하이브리드(hybrid) 한 기법으로 HSC (hybrid symbol cancellation)이라 하고 HSC는 SSC의 장점과 PSC 기법의 장점을 결합하여 시스템 지연과 BER 성능을 개선시킬 수 있었다. 각 검출 레이어는 그룹수로 나누어지고, 각각의 그룹 내에서는 PSC 검출 기법, 그룹간은 SSC를 적용하게 된다. 이 기법은 시스템 지연과 검출 복잡성 사이를 절충함으로써 융통성을 갖고 좋은 성능을 나타낼 수 있었다.

라. 제4세부과제: 차세대 이동 통신망에 적합한 다중 접속 기술 및 자원 관리 기술 개발

1) MAC 기술 : Wireless MAN에서 Best

Effort 서비스를 위한 대체접근기술.

IEEE 802.16 wireless MAN은 BWA (broadband wireless access) 서비스의 제공을 위해 유선을 대신할 수 있는 경제적 해결책을 제공하기 위한 표준안으로, 10~66 GHz 주파수 대역과 2~11 GHz 주파수 대역을 대상으로 하며, 다중 서비스를 제공하는 point-to-multipoint BWA 시스템의 MAC (medium access control) 계층과 물리 계층을 포함한 무선 접속을 규정하고 있다. 초기에는 서로 다른 RF 시스템간의 BWA 서비스 공존과 주파수 확장을 위해 IEEE에서 BWA 표준화를 제안하였다. 그 후 IEEE의 LAN/MAN 표준 위원회에서 BWA 무선 접속 규격의 개발을 목적으로 802.16 WG(working group)가 설립되었고, 2002년에 10~66 GHz 대역의 광대역 접속 서비스를 위한 IEEE 802.16 wireless MAN 표준 규격이 제정되었다. 현재는 wireless MAN의 확장된 표준화 작업이 진행 중이다.

IEEE 802.16 wireless MAN에서 SS (subscriber station)와 BS (base station) 사이에 지원되는 서비스 클래스로는 UGS (unsolicited grant service), rtPS (real-time polling service), nrtPS (non-real-time polling service), BE (best effort)가 있다. 이 중 BE 서비스를 지원하기 위한 대표적인 MAC 방식으로는 multicast polling과 broadcast polling이 있으며, BE 서비스의 성능은 SS 별 자원 요청(resource request)에 대한 제약 사항, 자원 요청 시 요구하는 자원의 양, 상향 프레임 당 전송 기회(transmission opportunity)의 수, 자원 요청에서 충돌이 발생할 경우 경합 해소 (contention resolution) 방법, 그리고 BS에서 자원 요청의 스케줄링 방식 등에 의해 영향을 받는다.

BE 서비스의 성능에 영향을 미치는 상기 요소에 관한 방안으로, 첫째, SS 당 자원 요청을 통

제하는 방식으로 단일 요청 방식(single request scheme)과 다중 요청 방식(multiple request scheme)을 제안하고, 둘째, 요청 당 요구하는 자원의 양을 조절하는 방식으로 고갈형 방식(exhaustive scheme)과 제약 형 방식(limited scheme)을 제안한다. 이어서 이러한 각 요소 방식을 결합하여 MAC 방식을 구성하고 모의실험을 통해서 각 MAC 방식에 따른 MAC PDU(protocol data unit)의 지연성능을 계량적으로 평가한다.

한편 BE 클래스에 가장 낮은 우선권이 주어지므로 다른 서비스 클래스에 의해 대부분의 자원이 선점된 후 희박한 자원만이 best effort 서비스를 위해 남을 수 있다. 따라서 best effort 서비스를 지원하는 MAC 방식의 설계에서 지연성능이 반드시 고려되어야 한다. 따라서 best effort 서비스를 사용하는 SS간의 지연 공평성(delay fairness)에 집중한다. 각 MAC 방식의 지연 공평성을 평가하기 위해 지연 공평성의 두 가지 정의를 제시하고 각 정의에 따라 지연 공평성에서 최적인 MAC 방식을 선별하는 기준을 제안한다. 또한 BE 클래스는 서비스 클래스 중 가장 낮은 우선순위를 부여받고 예약 ALOHA(reservation ALOHA) 기반 MAC 방식의 지원을 받는다. 예약 ALOHA 방식에 기초한 MAC 방식의 기본 틀에서 각 SS는 버퍼에 남아있는 MAC PDU(protocol data unit)를 전송 할 수 있는 자원을 상향 프레임(uplink subframe)의 요청 기회(request opportunity)를 이용하여 요청하고, BS는 성공한 요청에 대해 자원을 할당한 후 그 내용을 하향 프레임(downlink subframe)에 담아 해당 SS에게 알린다. 만일 하나의 요청 기회에 둘 이상의 SS가 요청을 시도하면 자원 요청 간에 충돌이 발생하게 되고 이를 해소하기 위한 방식이 필요하다. 이러한 자원 요청의 충돌을 해소하기 위하여 IEEE 802.16 wireless MAN 표준안

에서는 binary exponential backoff 방식에 기초한 충돌 해소 방식을 채택하고 있다.

만일 하나의 자원 요청 기회에 둘 이상의 SS가 요청을 시도하면 자원 요청 간에 충돌이 발생하고 결과적으로 자원 요청은 실패한다. 이 때 자원 요청 충돌의 반복을 피하기 위해 SS는 임의 수의 자원 요청 기회를 고의로 포기한 후 자원 요청을 재 시도한다. 포기하는 자원 요청 기회가 증가함에 따라 자원 요청의 충돌 가능성은 감소하나 자원 요청을 재 시도하기까지 소요되는 시간이 증가한다. 따라서 수율성능의 극대화를 위해서 포기하는 자원 요청 기회의 수를 최적화해야 한다.

Ethernet에서 패킷의 재 전송을 위한 이진 지수형 backoff 방식이 널리 알려져 있으며 다양한 backoff 방식이 제안되어 ALOHA 시스템을 대상으로 평가되었다. 본 연구에서는 wireless MAN의 best effort 서비스에서 자원 요청 기회를 포기하는 방식으로 일반화된 지수형 포기 방식과 선형 포기 방식을 고려한다. 최대 수율은 SS의 수, 상향 부 프레임 당 자원 요청 기회의 수, 다른 서비스 클래스에 의해 선점된 자원의 양 등의 영향을 받으며 또한 자원 요청 기회를 포기하는 방식의 파라미터의 영향을 받는다.

본 연구에서는 주어진 wireless MAN 환경에서 최대 수율을 최대화하는 포기 방식의 최적 파라미터 값을 찾는다. 그 후 제시한 근사계산 방법의 정확성을 모의실험 결과와의 비교를 통해 검토하고 적합도 검정(goodness-of-fit test)을 통해 근사 방법과 모의실험 방법으로 구한 최대 수율에 차이가 나는 원인을 규명한다.

Wireless MAN의 자원 요청 충돌 해소 방식으로 사용되는 binary exponential backoff 방식은 capture 작용으로 인해 수율성능의 저하를 불러올 수 있음이 지적되었다. 따라서 best effort 서비스를 지원하는 MAC 방식에서 수율성능과

지연성능을 향상시키기 위한 자원 요청의 충돌 해소 방식으로 p -persistence 방식과 m -ary tree 방식을 고려하였다. Wireless MAN에서 best effort 서비스의 수율성능은 요청 기회의 수, 다른 서비스 클래스에 의해 선점된 자원의 양, SS의 수 등에 의해 영향을 받으며 또한 충돌 해소 방식의 파라미터 p 와 m 에 의해 영향을 받는다. 이러한 파라미터가 수율과 지연 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 모의실험 방법으로 각 충돌 해소 방식에 따른 수율성능을 분석하였다. 특히 주어진 네트워크 환경에서 수율성능과 지연 성능을 극대화하는 파라미터 p 와 m 의 값을 찾았다.

2) 일대다 ARC 기술 : 일대다 ARQ에서 경합 기반 수신 확인을 조절하는 기술

멀티캐스트(multicast)는 하나의 송신국이 동시에 둘 이상의 수신국에게 동일한 데이터를 전달하는 통신 기법이다. 이러한 멀티캐스트 기법의 활용 영역은 위성 통신 망, 이동 통신 망, 무선 LAN 등으로 확장되고 있으며, 단문 방송 서비스(short message broadcast service)와 같이 신뢰성(reliability)에 민감하지 않은 서비스에서 높은 신뢰성을 요구하는 서비스로 멀티캐스트의 응용 서비스는 다양해지고 있다. 멀티캐스트 서비스에서 높은 신뢰성을 보장하기 위한 한 가지 방안으로 일대다(point-to-multipoint) ARQ (automatic repeat request) 방식을 도입할 수 있다.

ARQ 방식에서 수신국은 패킷을 받고 오류 검사를 수행한 후 긍정적 혹은 부정적 수신 확인 메시지를 송신국에게 전달해야 한다. 일대다 ARQ에서는 각 수신국이 feedback 채널을 통해 이러한 수신 확인 메시지를 송신국에게 전달해야 한다. 단일 feedback 채널만이 마련될 경우 수신국은 단일 채널을 공유하여 수신 확인 메시지를 전송하여야 하고 이로 인해 메시지간의 충돌이

발생할 수 있다. 한편 각 수신국에게 개별 feedback 채널이 봉납될 경우 충돌은 피할 수 있으나 단일 채널이 주어지는 경우에 비해 보다는 많은 자원이 수신 확인을 위해 소모되며 세션(session)에 따른 수신국 집단의 크기 변화에 민첩한 적응이 어렵다. 지금까지 발표된 일대다 ARQ 방식에 관한 대부분의 연구는 수신 확인을 위해 개별 feedback 채널이 마련된 환경이나 단일 채널을 TDMA 등의 방식으로 수신국이 나누어 사용하여 실질적으로는 각 수신국에게 별개의 feedback 채널이 주어진 환경에서 이루어졌다.

멀티캐스트 서비스에서 신뢰성을 보장하기 위한 방안으로 각 수신국이 ALOHA 유형의 경합(contention)을 기반으로 긍정적 수신 확인의 전송을 시도하는 일대다 stop-and-wait ARQ 방식을 고려한다. 본 연구에서는 첫째, 이러한 경합 기반 일대다 ARQ의 기본 방식을 제시하였다. 기본 방식에서 전송된 각 패킷에 대해 수신국에 일정 수의 슬롯(slot)이 설정된다. 각 수신국은 전송된 패킷에서 오류가 검출되지 않으면 슬롯 중 하나를 임의로 선택하고 이를 통해 긍정적 수신 확인 메시지의 전송을 시도하였다. 한편 송신국은 수신 확인을 위해 모든 슬롯에 실린 내용을 판독하고 만약 모든 수신국으로부터 수신 확인을 받지 못했다면 패킷을 재 전송한다. 둘째, 송신국이 패킷의 재 전송 여부를 확정하기 위해 반드시 모든 슬롯을 판독할 필요가 없다는 점에 착안한 수정 방식(modified scheme)을 제안하고 수율성능의 향상을 도모하였다. 셋째, 기본 방식 및 수정 방식에서 최대 수율을 계산하는 해석 방법을 개발하였다. 마지막으로 개발한 해석 방법을 이용하여 여러 파라미터가 최대 수율에 미치는 영향을 조사하고 ALOHA 유형의 경합 기반 일대다 ARQ 방식과 TDMA 유형의 일대다 ARQ 방식의 최대 수율을 비교하였다.

IV. 결론 및 전망

본 연구 센터에서 수행한 연구 성과로 얻게 되는 기술은 다음과 같은 사회, 문화, 경제적 중요성을 지니며 시스템의 성능 향상 및 문제점의 해결과 보완에 이바지할 것으로 기대된다.

- 1) 본 연구의 수행결과로 기대되는 MIMO 및 OFDM 기술은 차세대 초고속 무선통신의 핵심 기반 기술로 이 기술의 확보로 인해 현재의 2세대 및 3세대 무선통신 시스템에 비해 현저히 증가한 데이터 전송률을 지원하게 되어 현재의 음성통신 위주의 서비스에서 진일보하여 다양한 고품질의 멀티미디어 서비스의 지원이 가능하게 되고, 또한 제한된 통신 자원하에서 보다 많은 가입자를 수용할 수 있게 되어 통신 서비스의 경쟁력 강화가 기대된다. 본 연구에서 개발된 OFDM 및 MIMO 기술은 실제 ASIC으로 만들어 질 수 있도록 계산 량과 복잡도가 현실적인 알고리즘으로 재구성될 예정이다. 이러한 현실적인 알고리즘들은 직접 ASIC으로 만들어지거나, 차세대 통신 시스템 소프트웨어의 일부로 구현될 예정이다.
- 2) 반복 복호 부호(Iteratively decodable code)와 시공간 부호, MC-CDMA 기술은 차세대 초고속 무선통신을 위한 디지털 신호전송 기술의 핵심 요소 기술로 이 기술을 이용할 경우 제한된 대역폭에서 보다 신뢰할만한 양질, 고속의 신호 전송이 가능해진다. 특히 앞으로의 무선통신에 있어서 데이터의 비중이 점차 증대될 것으로 기대되기 때문에 이러한 신호전송 기술이 더욱 중요시 될 것이다. 또한, 본 연구에서 개발되는 반복 복호 부호 및 시공간부호, MC-CDMA 관련 기술은 국내 산업체의 장비 개발에 이용 될 수 있다.
- 3) MIMO 통신 시스템은 고효율과 고속의 데이터 통신을 요구하는 차세대 통신 시스템에는 반드시 적용될 기술이다. 따라서 본 연구 수행을 통해 얻게되는 MIMO 채널 모델은 MIMO 시스템의 각 부분의 개발뿐 아니라 전체 시스템 개발에 기초가 되는 원천적인 기술인 뿐 아니라, MIMO 시스템의 수신 알고리즘 개발과 MIMO 채널 특성 분석을 통한 최적화된 안테나 개발은 그 각각이 산업화될 수 있는 아이템이다. 따라서 본 연구 수행은 전체 시스템 개발에 원천 기술을 제공 하면서 동시에 제품 생산이 가능한 결과를 제공할 수 있다.
- 4) 매체 접속 기술 또는 자원 관리 기법을 위한 기술인 스케줄링, 핸드오프, 호 수락 제어, 자원 재분배 등은 차세대 무선망에 필요시 되는 기술들로서 고속의 물리계층과 다양한 멀티미디어 서비스 특성을 고려하여 개발되어야 한다. 따라서 본 연구를 통해서 전체 시스템에 효율적인 기술을 제공하는 방식으로의 관련 알고리즘 개발 및 연구는 특허 및 상업화에 기여할 수 있을 것이다.



노 종 선

1981년 2월 : 서울대학교 전자공
학과 학사

1984년 2월 : 서울대학교 대학원
전자공학과 석사

1988년 5월 : University of
Southern California, 전기공학

과 공학박사

1988년 2월 ~ 1990년 7월 : Hughes Network
Systems, Senior MTS

1990년 9월 ~ 1999년 7월 : 건국대학교 전자공학과
부교수

1999년 8월 ~ 현재 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부
교수

2000년 8월 ~ 현재 : 서울대학교 차세대무선통신연구
센터 소장

<관심분야> 시퀀스, 오류정정부호, 시공간부호,
OFDM, LDPC 부호, 암호학, 이동통신