

# 다중반송파 CDMA를 사용한 적응형 위성 하향링크 전송

정희원 임광재\*, 김수영\*\*, 이호진\*\*\*

## Adaptive Satellite Downlink transmission using Multicarrier CDMA

Kwangjae Lim\*, Sooyoung Kim\*\*, Ho-Jin Lee\*\*\* *Regular Member*

### 요약

본 논문에서는 위성 하향 링크에서 강우 감쇄와 음영 페이딩에 대한 적응형 전송을 위한 MC-CDMA (multicarrier CDMA) 방식을 제시하고, Ka 대역 이동위성채널에서 페이딩, 강우 감쇄, 재전송 방식에 따른 적응형 MC-CDMA 하향링크의 성능을 비교 분석하였다. 제시된 하향 링크는 광대역 MC-CDMA 전송을 통해 수십 Mbit/s 처리율과 채널 환경에 따라 약 1 bit/s/Hz에서 4.7 bit/s/Hz의 주파수 효율을 제공할 수 있다.

Key Words : multicarrier; CDMA; satellite communication; adaptive transmission.

### ABSTRACT

This paper presents an adaptive MC-CDMA transmission for downlink in mobile satellite system and simulation results on Ka-band mobile satellite channel. The simulation results show that the proposed scheme support a throughput of several tens of Mbit/s and a spectral efficiency range of 1 bit/s/Hz to 4.7 bit/s/Hz according to channel environments due to the adaptive broadband satellite transmission.

### I. 서론

다중빔 정지궤도 위성을 사용하는 이동위성통신 시스템은 넓은 지역에 걸쳐 고속 단말에 광대역 서비스를 제공할 수 있는 등의 장점을 가지기 때문에 3세대 및 향후 지상 이동통신 시스템에 대해 서비스 보완 측면에서 중요한 역할을 수행할 것이다[1]. 특히, 인터넷 서비스, 방송 및 멀티캐스팅(multicasting)과 같이 보다 넓은 하향링크 대역폭을 요구하는 멀티미디어 서비스를 위해 Ku 또는 Ka 대역에서 수십 MHz의 광대역 신호를 사용하는 위성통신시스템은 패킷 방송과 멀티캐스팅에서 보다 나은 서비스를 제공할 수 있다.

지상부문의 3세대 이동통신 시스템에서는[2] 하향

링크의 효율을 높이기 위해 적응형 전송에 대한 연구와 표준화가 수행되고 있으나, 위성부문의 3세대 무선전송기술[3] 분야에서는 아직 적응형 전송에 대한 연구가 미비하다. 비록 위성통신의 경우 링크 특성상 LOS (line-of-sight) 상태에서의 통신에 그 초점을 두어 왔으나, 이동위성통신시스템의 경우 Ku 또는 Ka 대역에서의 강우 감쇄에 의한 페이딩 뿐만 아니라 단말의 이동에 의한 음영 효과(shadowing)에 대한 적응형 전송으로 하향 링크의 시스템 처리율과 서비스 품질을 높일 수 있다. 본 논문은 위성통신 시스템의 하향 링크를 위한 적응형 MC-CDMA 방식을 제시하고, Ka 대역 이동위성채널 모델을 이용한 시뮬레이션을 통하여, 전파 지연이 비교적 큰 정지궤도 위성통신 시스템에서의 적응형

\* 한국전자통신연구원 이동통신연구단 (kylim@etri.re.kr), \*\* 전북대학교 전자정보공학부 (sookim@chonbuk.ac.kr), \*\*\* 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 (hjlee@etri.re.kr)  
 논문번호 : 040072-0209, 접수일자 : 2004년 2월 14일

전송에 대한 타당성을 분석하고자 한다.

이동위성채널에서 LOS 상태의 경우 다중 경로 성분은 직진파 성분에 비해 무시할 수 있으나, 사용자 단말이 음영 페이딩 상태에 있고 특히 수십 MHz 이상의 광대역 전송의 경우 음영 페이딩에 의한 수신 전력 감소 이외에 다중 경로 페이딩에 의한 수신 신호 품질 저하를 겪게 된다. 이와 같이 음영 페이딩의 NLOS (non-LOS) 상태에서의 광대역 전송 또는 도심 지역에서의 지상 증폭기에 의한 간접 수신을 고려할 경우 지상 시스템에서와 같이 다중 경로 페이딩을 고려하여야 하며, 이에 대한 대처를 위해 OFDM (orthogonal Frequency Division Multiplexing) [4] 전송 방식을 사용할 수 있다. 또한, 다중빔에 의한 셀룰러 형식의 커버리지에서 MC-CDMA 방식은 모든 셀에서의 주파수 재사용을 위한 CDMA 방식과 다중경로페이딩에 대한 OFDM 방식의 두 장점을 모두 수용할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 서론에 이어 2장에서는 이동위성통신 시스템에서 고속 하향 링크 전송을 위한 적응형 MC-CDMA 방식을 제시한다. 3장에서는 Ka-band 위성채널모델을 이용한 시뮬레이션을 통하여 적응형 링크의 성능을 분석하고 4장에서 본 논문을 끝맺는다.

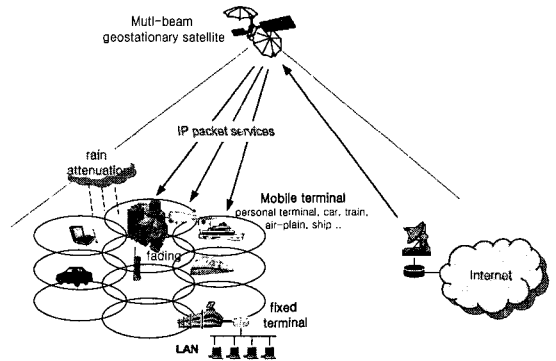


그림 1. 정지궤도 다중빔 위성을 이용한 이동패킷서비스.

## II. 적응형 위성 MC-CDMA 전송

그림 1은 본 논문에서 고려하는 다중빔 정지궤도 위성을 이동위성통신시스템의 서비스 개념도를 보여준다. 정지궤도 위성 시스템의 경우 약 0.5초에 이르는 왕복 지연 시간으로 인하여, 고속 페이딩에 대한 빠른 적응형 전송과 주파수 선택적 페이딩에 대하여 부분송파별로 선택적으로 적응형 전송[3]을 수행한다는 것은 비현실적이다. 따라서, 본 논문에서는 고속 페이딩 보다는 음영 페이딩과 강우감쇄와 같이 전체 대역에서 동일하고 느리게 변화하는 페이딩에 대한 적응형 전송에 초점을 둔다.

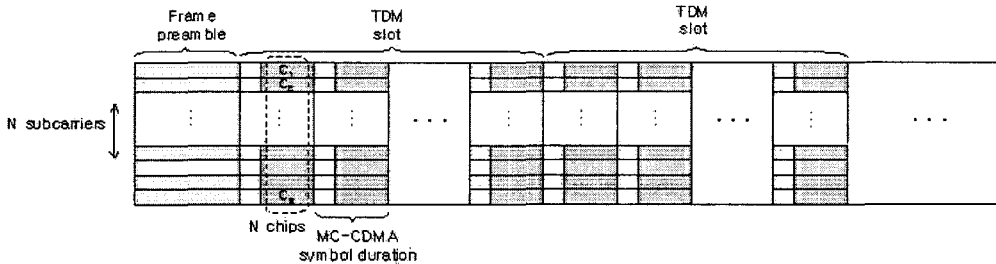


그림 2. MC-CDMA 하향링크 프레임 구성.

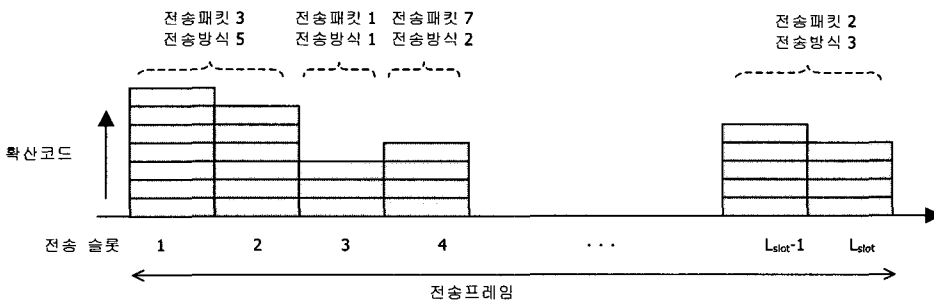


그림 3. 하향링크 전송 프레임에서 적응형 전송 예시.

본 논문에서 고려하는 적응형 위성 시스템에서 하향 링크 신호는 OFDM 방식과 주파수 영역에서의 CDMA 확산을 결합한 MC-CDMA 방식에 의해 전송된다. 그림 2는 하향 링크 전송 프레임의 구성을 보여준다. 일정 길이의 전송 프레임은 프리앰블과 다수의 MC-CDMA 심볼로 구성되고, 각 MC-CDMA 심볼은 주파수 영역으로  $N$ 개의 부반송파를 갖는다. 하나의 변조 심볼은 주파수 영역에서  $N$ 개의 확산 칩에 의해 확산되어  $N$ 개의 부반송파로 구성된 하나의 MC-CDMA 심볼에 의해 전송된다. 전송 프레임에서 제어 패킷과 데이터 패킷은 TDM (Time Division Multiplexing) 및 CDM (Code Division Multiplexing) 방식에 의해 다중화되어 전송된다. TDM 방식에 의해 하나의 전송 슬롯은 다수의 MC-CDMA 심볼들로 구성되고, 각 전송 슬롯 또는 MC-CDMA 심볼 구간에서 CDM 방식에 의해 서로 다른 확산 코드를 갖는 MC-CDMA 심볼들이 다중화되어 전송된다.

하향링크는 단말에서의 동기 및 채널 추정을 용이하게 하기 위한 파일럿 신호를 포함하고, 파일럿 신호는 전송 프레임에서 특정 부반송파와 특정 심볼 위치에서 전송된다. 사용자 단말은 하향링크를 통해 수신된 파일럿 심볼로부터 채널 응답 추정하고, 하향 링크에서 적응형 할당을 위하여 프레임 SINR (signal-to-interference-and-noise ratio) 추정하여 상향링크를 통해 중앙국에 보고한다. 중앙국은 보고된 SINR을 바탕으로 각 사용자 단말로 패킷을 전송하기 위해 각 전송 프레임에 대한 적응형 무선 자원 할당 과정을 수행한다. 중앙국은 각 패킷 전송을 위해 전송 슬롯, 확산 코드, 심볼 변조 및 코딩 방식 (전송 방식), 전송 전력을 할당하고, 할당에 따라 각 사용자 단말로 패킷을 전송한다. 해당 전송 프레임에서 단말로의 패킷 전송과 사용된 확산코드, 전송방식, 전송전력을 알리기 위해 중앙국은 실질적인 데이터 패킷의 전송 이전 프레임에서 제어 패킷을 통해 이를 각 단말에 알린다.

그림 3은 하향링크 전송프레임이  $L_{slot}$  개의 전송 슬롯으로 구성되어 있을 때, 각 패킷별 다중 코드와 전송방식 할당에 의한 적응형 전송의 예를 보인 것이다. 그림 2에서 데이터 패킷에 대한 적응형 전송에만 초점을 두어 파일럿과 제어 패킷의 전송은 생략되었다. 중앙국은 각 사용자 단말로부터 보고된 프레임 SINR을 바탕으로 전송할 패킷의 길이, 사용 가능한 전력 및 확산 코드를 고려하여 전송 방식 중 최대 전송률을 가질 수 있도록, 슬롯별 확산 코

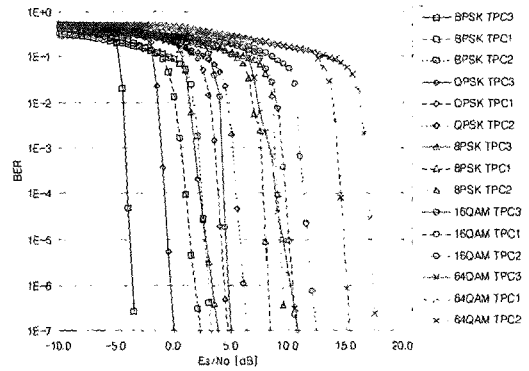


그림 4. 수신 심볼 신호대 잡음비( $E_s/N_0$ )에 따른 전송 방식 별 BER 성능.

드의 수, 전송 방식, 전송 전력을 할당한다. 할당 과정에서 각 전송 방식에 대해 특정 프레임 오류 (FER)을 얻기 위해 요구되는 SINR은 미리 구하여진 링크 성능을 바탕으로 얻어진다.

적응형 전송 자원 할당을 위해서는 먼저 선택적으로 사용될 전송 방식이 정의되어야 한다. 전송 방식은 수신 SNR에 따라 다양한 전송률을 갖는 전송 방식이 선택될 수 있도록 설정된다. 전송 방식은 변조 방식, 코딩 방식, 심볼 반복 회수의 조합으로 정의된다. 그림 4는 64-ary QAM, 16-ary QAM, 8-ary PSK, QPSK, BPSK의 5 가지의 변조 방식과 [5]에서 제시된  $(31, 25)^2$  TPC1 (Turbo Product Code),  $(63, 56)^2$  TPC2,  $(15, 10)^3$  TPC3 의 3가지 채널 코딩 방식 조합에 대한 AWGN 채널 하에서 BER 성능을 보인 것이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 몇몇 변조 및 코딩 방식의 경우 동일한 BER을 얻기 위한 심볼 SNR의 차이가 2 dB 보다 작은 경우가 있다. 사용될 전송 방식은 이러한 조합 중 요구 심볼 SNR 차이가 특정 값 이상이 되도록 몇몇 방식을 선정한다. 이러한 전송 방식과 사용 확산 코드 수의 조합에 의해 여러 전송 모드를 만들 수 있다.

표 1은 전송 방식과 동시 사용 코드 수의 조합 중 전송 모드 간에 요구 수신 SNR이 2.5 dB 이상의 간격이 되도록 선정된 15 가지의 전송 모드를 보인 것이다. 여기서 한 사용자가 사용할 수 있는

최대 코드 수는 16 개로 제한하였고, 각 코드를 위해 사용되는 전력은 동일하다고 가정하였다. 전송 방식 이외에 사용 전송 코드 수의 조합으로 만들어진 전송모드는 다양한 전송률과 - 2 ~ 30 dB의 넓은 범위의 SNR 영역을 갖는다. QAM과 같이 진

표 1. 적응형 전송을 위한 전송 모드

종류	변조	코딩[4]	심볼 반복	확산 코드 수	심볼당 비트 수 <sup>1)</sup>	총 SNR <sup>2)</sup> (dB)
14	64QAM	(63,56) <sup>2</sup> TPC	1	16	75.8	29.5
13	64QAM	(31,25) <sup>2</sup> TPC	1	16	62.4	27.0
12	16QAM	(63,56) <sup>2</sup> TPC	1	16	50.5	24.0
11	8PSK	(63,56) <sup>2</sup> TPC	1	16	37.9	21.5
10	QPSK	(63,56) <sup>2</sup> TPC	1	16	25.2	18.5
9	8PSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	1	16	14.2	15.5
8	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	1	16	9.48	12.0
7	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	1	8	4.74	9.03
6	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	1	4	2.3	6.02
5	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	1	2	1.18	3.01
4	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	1	1	0.59	0.0
3	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	2	1	0.29	-3.01
2	BPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	8	5	0.18	-5.54
1	QPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	8	1	0.07	-9.03
0	BPSK	(15,10) <sup>3</sup> TPC	8	1	0.03	-2.53

1) 사용된 모든 확산 코드들에 대한 비트 수

2) 10<sup>-6</sup>의 비트오류확률을 위해 요구되는 총 심볼에너지 대 잡음전력밀도의 비

폭변조를 수반하는 변조방식은 비선형 증폭기 사용할 경우 비선형 왜곡에 열악하기 때문에 증폭기의 OBO (output backoff) 값 및 비선형 사전 보상기 등의 적용에 따라 사용에 제한을 두어야 한다. 본 논문에서는 이러한 비선형 왜곡과 보상 보다는 적응형 전송에 초점을 둔다.

사용자 단말에서 MC-CDMA 신호를 수신할 때 전체 부반송파에 걸친 채널 주파수 응답의 추정과 이를 이용한 등화 과정을 수행한다[3]. 시스템 또는 사용자 단말마다 서로 다른 등화 방식을 수행할 수 있으며, 등화 방식에 따라 주파수 선택적 페이딩에 대한 확산 코드 사이의 간섭과 잡음 증폭의 정도가 다르다[3]. 따라서, 서로 다른 채널 환경과 수신 능력에 대해 적절한 적응형 전송을 위해서는 등화 과

정 이후의 심볼 SINR에 대한 추정과 이를 이용한 적응형 할당이 요구된다. 이를 위해 각 단말은 수신 파일럿 심볼로부터 채널응답 추정과 등화 방식에 따라 등화 계수(equalizing coefficient)를 결정하고 해당 프레임에서 수신된 데이터 패킷의 수신 SINR을 추정한다. 단말은 추정된 SINR을 일정 보고 주기에 따라 중앙국에 보고하고 중앙국은 보고된 SINR을 이용하여 적응형 할당과 전송을 수행한다. 사용자 단말  $u$ 에서  $i$ 번째 확산 코드를 사용한 임의의  $k$ 번째 수신 심볼에 대한 SINR  $\gamma_{u,k,i}$ 는 다음 식 (1)에 의해 표현될 수 있다.

$$\gamma_{u,k,i} = \frac{S_{u,k,i}}{I_{u,k,i} + N_{u,k,i}} \quad (1)$$

식 (1)에서,  $S_{u,k,i}$ ,  $I_{u,k,i}$ ,  $N_{u,k,i}$ 는 각각 수신 심볼 전력, 동일 빔에서 타 확산코드를 사용하는 신호로부터의 간섭 전력, 타 빔으로부터의 간섭을 포함한 배경 잡음 전력을 의미하고, 각각은 수학적 유도에 의해 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$S_{u,k,i} = E_{k,i} \left( \sum_{n=1}^N H_{u,k,n} W_{u,k,n} \right)^2 \quad (2)$$

$$I_{u,k,j} = \sum_{j=1, j \neq i}^N E_{k,j} \left( \sum_{n=1}^N C_{j,n} C_{i,n} H_{u,k,n} W_{u,k,n} \right)^2 \quad (3)$$

$$N_{u,k,i} = N_0 \sum_{n=1}^N |W_{u,k,n}|^2 \quad (4)$$

위 식에서  $N$ 은 확산 코드의 총 수로 확산 코드의 칩 길이와 확산률(spreading factor)과 같다.  $E_{k,i}$ 는  $i$ 번째 확산 코드를 사용한  $k$ 번째 전송 심볼에 대한 심볼 에너지,  $H_{u,k,n}$ 는 사용자 단말  $u$ 의 채널 추정 과정에서 추정된  $n$ 번째 칩 또는 부반송파에 해당되는 채널 응답,  $W_{u,k,n}$ 는 사용자 단말에서 채널등화를 위해 등화 방식에 따라 계산된  $n$ 번째 칩에 해당되는 샘플에 부가되는 등화 계수값,  $C_{i,n}$ 는  $i$ 번째 확산 코드에서  $n$ 번째 칩에 해당되는 칩,  $N_0$ 는 잡음 전력 밀도로 배경 잡음 전력과 근접 셀로부터 기인하는 셀간 간섭 전력을 포함한다.

사용자 단말은 타 확산 코드의 사용과 해당 코드에 대해 사용된 심볼 에너지를 하향 링크에서 전송되는 제어 패킷으로부터 얻을 수 있다. 등화 방식 중 우수한 성능을 보이는 MMSEC (Minimum Mean Squared Error Combining)을 사용할 경우 등

화 계수값은 추정된 채널응답으로부터 다음과 같이 계산될 수 있다[6].

$$W_{u,k,n} = \frac{H_{u,k,n}^*}{|H_{u,k,n}|^2 + N_0/E_{k,i}} \quad (5)$$

각 사용자 단말은 식 (1)에 의해 추정된 각 수신 심볼 SINR로부터 해당 프레임에서의 평균 SINR을 계산하고, 측정 보고 주기에 해당되는 수 프레임 구간동안 프레임 SINR에 대해 다시 평균화하여 중앙국에 보고한다. 중앙국은 보고된 프레임 SINR과 각 전송 방식에 대해 AWGN 하에서 구하여진 링크 성능(BER)을 바탕으로 적응형 할당을 수행한다. 이와 같은 수신 SINR 추정에 의해, 시스템은 적응형 할당을 위해 서로 다른 페이딩 조건과 서로 다른 수신 방식의 조합에 따른 수 많은 환경에서의 링크 레벨 성능 대신에 각 전송 방식에 대한 AWGN 하에서의 링크 성능을 이용하여 적응형 할당을 수행할 수 있다.

### III. 시뮬레이션 성능 분석

적응형 위성 MC-CDMA 하향 링크에 대한 성능 분석을 위해 Ka-band 채널 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 표 2는 시뮬레이션에서 사용된 시뮬레이션 환경과 파라미터를 보인 것이다. Ka-band 강우감쇄 발생을 위해 [7]에서의 강우감쇄 모델을 사용하였으며, 음영 페이딩은 LOS 조건, Medium shadowing, heavy shadowing의 3가지 상태를 가지며 [8]에서 제시된 상태 천이 확률에 따라 Markov chain 으로 모델링되었다. 표 3, 표 4, 표 5는 시뮬레이션에서 사용된 도심(urban) 환경과 도외(suburban) 환경에서의 페이딩 모델 파라미터와 정상상태확률 및 상태천이확률을 보인 것이다. 다중 경로페이딩을 위한 지연 프로파일로 동일 크기를 갖는 2개의 다중경로를 가정하였으며, 음영 페이딩의 상태와 그 값에 따라 직진파 성분과 다중경로 성분의 비가 변화한다. 재전송 방식으로 재전송이 없는 경우, SR-ARQ (selective repeat ARQ)을 사용하는 경우, SR-ARQ에 추가적으로 단말에서 Chase 합성을 사용하는 경우로 3가지 방식을 고려하였다.

먼저, 적응형 링크에 대한 시뮬레이션 결과를 보이기 앞서, II 장에서 제시된 수신 SINR의 추정의 타당성을 보이기 위해 다중 경로 페이딩 채널

표 2. 시뮬레이션 환경 및 파라미터.

Total transmission power	150 W
Center frequency	20 GHz
Round trip delay	510 ms
Clear-sky LOS channel SNR	20 dB
Rain attenuation	Ka-band model [7]
Shadowing	Ka-urban and suburban [8]
Multipath fading	Ricean fading (Two-path equal-power)
Doppler spectrum	CLASS
Mobile speed	70 km/h
Number of subcarriers	32
Frequency spreading factor	32
Max. number of codes per user	16
Guard time	0.2 s
Symbol duration	2.0 s
Spreading factor	32
Signal bandwidth (3-dB)	16 MHz
Frame duration	10 ms
Number of slots	10 slots
Target FER	0.05
Chip combining	MMSEC
Retransmission	No-retx, SR-ARQ, Chase
Maximum retransmission	Up to 3

<sup>1)</sup> 1st path: amplitude=0.707, excess delay = 0 ns, 2nd path: amplitude=0.707, excess delay = 150 ns

표 3. 음영페이딩 채널 모델 파라미터 [7].

		Suburban	Urban
Line-of-sight	평균 (dB)	0.0	0.0
	표준편차 (dB)	0.5	0.5
	다중경로 (dB)	-25.0	-25.0
Medium shadowing	평균 (dB)	-9.0	-11.0
	표준편차 (dB)	3.0	4.0
	다중경로 (dB)	-25.0	-25.0
Heavy shadowing	평균 (dB)	-21.0	-28.0
	표준편차 (dB)	4.0	8.0
	다중경로 (dB)	-25.0	-25.0

에서 MC-CDMA 링크 레벨 시뮬레이션을 수행하여 BER을 비교하였다. 그림 5는 추정된 수신 SINR과 AWGN 하에서의 BER 성능을 이용하여 얻어진 평균 BER(그림 5에서 Estimated로 표기)과 실제 링크 시뮬레이션에서 얻어진 BER(그림 5에서 Simulated로 표기)을 신호대 잡음비에 따라 비교하여 나타낸 것이다. 그림 5에서 두 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 또한, 그림 6은 QPSK 방식에서 수신 SNR이 15 dB일 때, 동시 사용 코드 수에 따른 두

표 4. 도외 지역에 대한 정상상태확률과 상태천이확률 [7].

Type	Position	상태	정상상태 확률	상태천이확률		
				LOS	Medium	Heavy
Suburban 0	0° satellite side	LOS	0.9834	0.9944	0.0028	0.0028
		Medium	0.0055	0.5000	0.500	0.0000
		Heavy	0.0111	0.2500	0.000	0.7500
Suburban 1	0° opposite side	LOS	0.9880	0.9985	0.0000	0.0015
		Medium	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		Heavy	0.0120	0.1250	0.0000	0.8750
Suburban 2	45° satellite side	LOS	0.8633	0.9412	0.0108	0.0480
		Medium	0.0197	0.4736	0.2632	0.2632
		Heavy	0.1170	0.3540	0.0442	0.6018
Suburban 3	45° opposite side	LOS	0.9404	0.9711	0.0067	0.0222
		Medium	0.0115	0.4546	0.2727	0.2727
		Heavy	0.0481	0.4565	0.0435	0.5000
Suburban 4	90° satellite side	LOS	0.8705	0.9504	0.0276	0.0220
		Medium	0.0795	0.3333	0.6379	0.0288
		Heavy	0.050	0.3333	0.0954	0.5713
Suburban 5	90° opposite side	LOS	0.7799	0.9005	0.0345	0.0650
		Medium	0.0691	0.3894	0.4746	0.1360
		Heavy	0.1510	0.3355	0.0625	0.6020

표 5. 도심 지역에 대한 정상상태확률과 상태천이확률 [7].

Type	Position	상태	정상상태 확률	상태천이확률		
				LOS	Medium	Heavy
Urban 0	0° satellite side	LOS	0.9814	0.9964	0.0024	0.0012
		Medium	0.0093	0.2501	0.7499	0.0000
		Heavy	0.0093	0.1234	0.0000	0.8766
Urban 1	0° opposite side	LOS	0.9898	0.9923	0.0052	0.0025
		Medium	0.0052	0.9980	0.0020	0.0000
		Heavy	0.0052	0.5005	0.0000	0.4995
Urban 2	45° satellite side	LOS	0.1333	0.7081	0.0436	0.2483
		Medium	0.1531	0.0509	0.9157	0.0334
		Heavy	0.7136	0.0436	0.0099	0.9465
Urban 3	45° satellite side	LOS	0.4716	0.7908	0.0766	0.1326
		Medium	0.1536	0.1900	0.6914	0.1186
		Heavy	0.3748	0.1852	0.002	0.7846
Urban 4	90° satellite side	LOS	0.3036	0.8324	0.0537	0.1139
		Medium	0.1034	0.2226	0.6529	0.1245
		Heavy	0.5930	0.0471	0.0330	0.9199
Urban 5	90° satellite side	LOS	0.8728	0.9794	0.0039	0.0167
		Medium	0.0101	0.4444	0.5556	0.0000
		Heavy	0.1171	0.1154	0.0096	0.8750

결과를 비교한 것으로, 사용 코드 수에 관계없이 일치하는 것을 볼 수 있다.

다음으로 적응형 링크에 대한 시뮬레이션 결과를 보인다. 그림 7과 그림 8은 표 4의 Suburban-3 채널 환경에서 측정 보고 주기가 1 프레임이고 SR-ARQ 방식을 사용하였을 때, 페이딩 변화에 따른 FER (Frame Error Rate), 전송률, 처리율

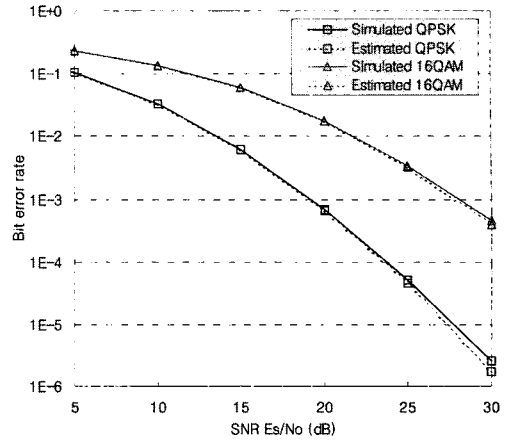


그림 5. 수신 신호대 잡음비에 따른 수신 SINR 추정에 의한 BER과 링크 시뮬레이션에 의한 BER 비교 (사용코드 수 32).

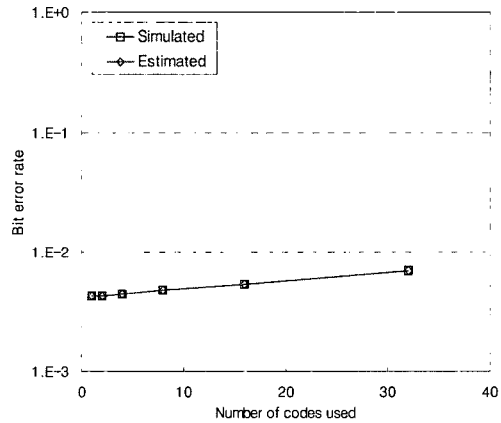


그림 6. 동시 사용 코드 수에 따른 수신 SINR 추정에 의한 BER과 링크 시뮬레이션에 의한 BER 비교 (QPSK, Es/No=15dB).

(throughput)의 변화를 보인 것이다. 처리율은 단위 시간 동안 성공적으로 전송된 비트 수이다. 먼저, 음영 페이딩은 수십 dB에 걸쳐 급격한 변화를 보이고, 이에 따른 적응형 전송에 의해 전송률은 약 37 Mbit/s에서 1 Mbit/s에 걸쳐 변화하는 것을 볼 수 있다. 특히, 페이딩이 깊은 상태로 변화할 때, 왕복 지연 시간에 의한 높은 프레임 오류를 볼 수 있다. 이는 위성 링크의 약 0.5 초의 왕복 지연 시간으로 인해 채널 변화에 적응형 전송이 즉각적으로 대응할 수 없기 때문이다.

그림 9는 Suburban-3 및 Suburban-4 채널 환경에서 사용자 측정 보고 주기에 따른 처리율을 보인 것이다. Suburban-3는 LOS 상태가 약 94%에 이

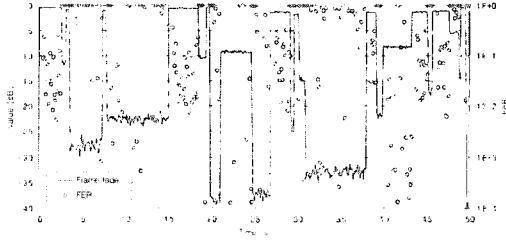


그림 7. 시간 진행에 따른 페이딩과 프레임 오류 변화 (Suburban-3).

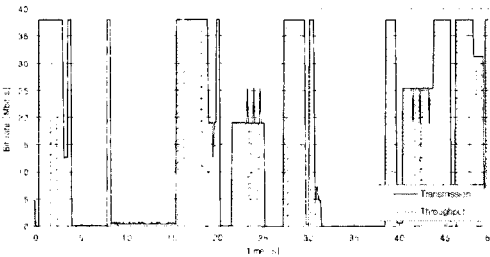


그림 8. 시간 진행에 따른 전송률과 처리율 변화 (Suburban-3).

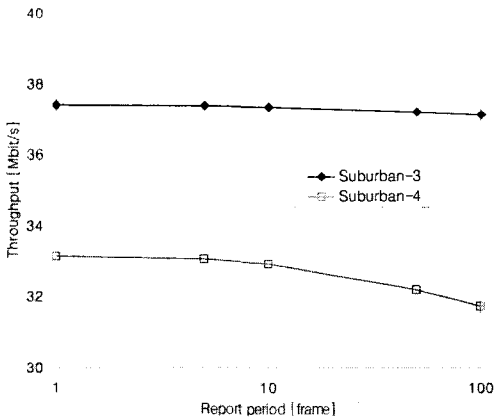


그림 9. 사용자 측정보고 주기에 따른 처리율.

르는 비교적 양호한 채널 환경으로 처리율 성능은 측정 보고 주기에 거의 영향 받지 않는 반면에, Suburban-4는 상대적으로 음영 페이딩 변화가 크기 때문에 측정 보고 주기에 따른 처리율 변화를 볼 수 있다. 결과에서 처리율 저하를 고려할 때, 보고 주기로 10 frames (=100 ms) 이하로 설정하여야 할 것이다. 그러나, 더 짧은 보고 주기는 역방향 링크에서의 보고 메시지 전송을 위한 시그널링 오버

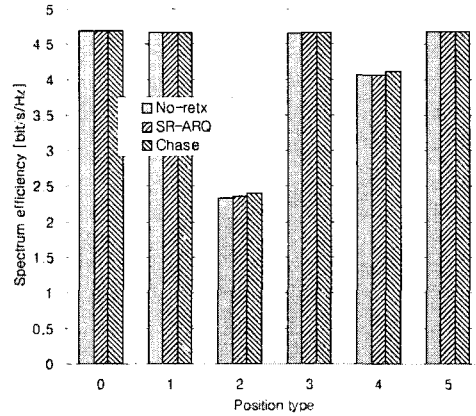


그림 10. Ka-band 도의 환경에서 주파수 효율 비교

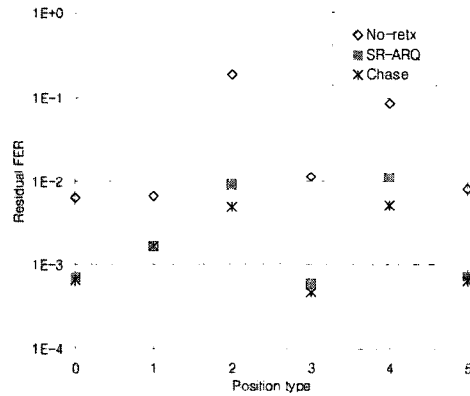


그림 11. Ka-band 도의 환경에서 잔여 FER 비교

헤드가 증가로 이어지기 때문에, 처리율 감소와 시그널링 증가를 동시에 고려하여 보고 주기가 설정되어야 한다.

그림 10과 그림 11은 도외지역의 6가지의 채널 모델과 재전송 방식에 따른 각각 주파수 효율과 재전송 이후의 잔여 FER을 비교하여 나타낸 것이다. 결과 그림에서 position 번호는 표 4에서의 채널 종류 번호를 의미한다. 주파수 효율은 사용된 무선 자원을 Hz로 환산하였을 때의 성공적으로 전송된 bit/s/Hz 효율을 의미한다. 먼저, 채널 환경이 LOS 상태가 비교적 높은 Suburban-0, 1, 3, 5의 경우 4.5 bit/s/Hz 이상의 높은 주파수 효율을 보이고 있다. 채널 환경이 NLOS 상태가 비교적 높은 Suburban-2, Suburban-4의 처리율과 FER 성능이 상대적으로 열악한 것을 볼 수 있으며, 이 경우 재

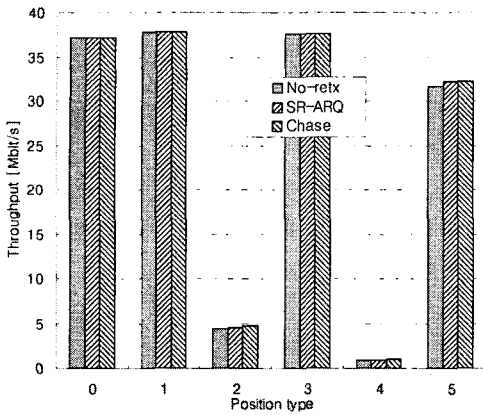


그림 12. Ka-band 도심 환경에서 처리율 비교

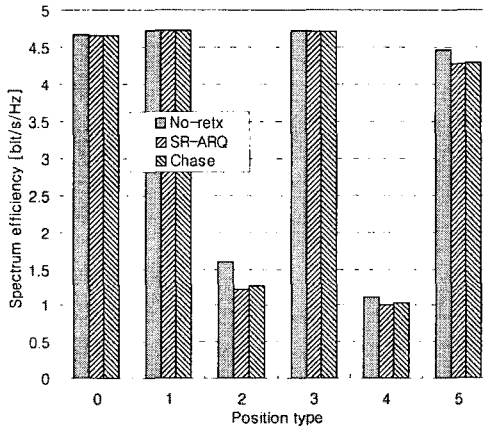


그림 13. Ka-band 도심 환경에서 주파수 효율 비교

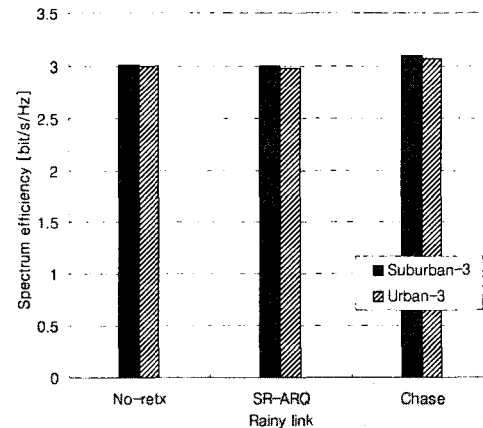


그림 14. 강우 감쇄가 있는 환경에서 주파수 효율 비교

전송에 의한 성능 개선을 볼 수 있다. 반면, LOS 상태가 높은 다른 채널 환경의 경우에는 재전송에 대한 성능 개선은 거의 볼 수 없다.

그림 11에서 LOS 상태가 많은 양호한 채널 환경의 경우,  $10^2$  정도의 FER을 재전송에 의해  $10^3$ 의 잔여 FER까지 개선시킬 수 있다. 그러나, 이 경우 chase-combing과 같은 HARQ 기법의 성능 개선은 기대할 수 없다. NLOS 상태가 비교적 많은 열악한 채널 환경의 경우 재전송과 HARQ 기법에 의해 약 10% FER 향상을 얻을 수 있다. LOS 상태에서 음영 페이딩 상태로 채널 상황이 변화할 경우, 보고 지연에 의해 즉각적인 적응형 전송이 어렵게 되고, 이 때 채널 페이딩 값의 변화 폭이 수십 dB에 이르기 때문에 재전송과 패킷 결합에 의해 이를 극복하기 어렵기 때문이다.

그림 12와 그림 13은 도심 지역 채널 환경에서 6가지의 채널 모델과 재전송 방식에 따른 각각 처리율과 전송 효율을 비교하여 나타낸 것이다. 먼저, 그림 12의 처리율 측면에서 채널 조건이 열악한 경우(Urban-2와 Urban-4)에 처리율이 5 Mbit/s 이하로 떨어지고, 이 경우 재전송 방식 측면에서 재전송에 의한 처리율 향상을 기대할 수 있다. 그러나, 채널 조건이 열악한 경우 재전송에 의한 무선 자원 사용이 증가하기 때문에, 그림 13에서 볼 수 있듯이 전송 효율은 재전송 방식이 사용되는 경우가 오히려 감소한다. 그림 12에서 도심 환경에서도 Urban-0, 1, 3 채널 환경의 경우 4.5 bit/s/Hz 이상의 주파수 효율을 보이고, 열악한 채널 환경인 Urban-2 및 4의 경우 1 bit/s/Hz 이상의 주파수 효율을 보이고 있다.

그림 14는 Suburban-3 및 Urban-3 채널 환경에서 강우 감쇄와 페이딩이 동시에 발생할 경우 재전송 방식에 따른 주파수 효율을 비교하여 나타낸 것이다. Urban 환경에서도 앞서의 그림 10의 강우 감쇄가 없는 조건과 달리 Chase 방식에 의한 전송 효율에 대한 개선이 증가됨을 볼 수 있다. 감우 감쇄의 경우 음영 페이딩의 변화와 달리 상대적으로 급격한 변화 없이 느리게 변화하기 때문에 재전송이나 패킷 결합에 의한 성능 향상을 기대할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 고정 및 이동 단말에 대하여 정지 궤도 위성을 이용한 적응형 MC-CDMA 하향링크 방식을 제시하고 Ka 대역 채널 모델에서의 그 성능



을 분석하였다. 제시된 하향 링크는 광대역 MC-CDMA 전송을 통해 수십 Mbit/s 처리율을 제공하고, 강우 감쇄와 음영 페이딩에 의한 채널 특성 변화에 대처하여 최대의 전송률 유지할 수 있도록 적응형 전송을 수행한다. 도시 외곽 채널 모델의 경우 높은 LOS 상태 확률에 따라 4.5 bit/s/Hz 이상의 주파수 효율을 제공할 수 있으며, 음영 페이딩이 가장 심각한 도심 채널 환경에서도 약 1 bit/s/Hz 이상의 효율을 보였다. 더욱이, 이러한 적응형 전송은 시스템 측면에서 채널 상태가 다른 사용자들 사이에 적응형 전송으로 사용자 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며 이는 시스템의 용량과 주파수 효율의 증대로 이어진다. 비선형 증폭기에 의한 품질 저하와 함께 이러한 시스템 레벨의 적응형 전송에 대한 성능 분석은 위성 링크에서 음영 페이딩에 대한 적응형 전송의 타당성 검토를 위해 추후 연구되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kwangjae Lim, Kunseok Kang, and Sooyoung Kim, "Adaptive MC-CDMA for IP-based Broadband Mobile Satellite Systems," *Proc. VTC2003 Fall*, 2003.
- [2] Third Generation Partnership Project (3GPP) Technical Report 25.848, "Physical layer aspects of UTRA high speed downlink packet access," 2001.
- [3] Kwangjae Lim, Kwonhue Choi, Kunseok Kang, Sooyoung Kim Shin, Ho-Jin Lee, "A satellite radio interface for IMT-2000," *ETRI J.*, vol. 24, no. 6, Dec. 2002, pp. 415-428.
- [4] Richard Van Nee and Ramjee Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House Publishers, 2000.
- [5] S. Kim, W. S. Yang, and H. Lee, "Trellis-based decoding of high dimensional block turbo codes", *ETRI Journal*, vol. 25, pp.1-8, Feb. 2003.
- [6] D.N. Kalofonos, M. Stojanovic, and J.G. Proakis, "On the performance of adaptive MMSE detectors for a MC-CDMA system in fast fading Rayleigh channels," *Proc. PIMRC98*, pp. 1309-1313, 1998.
- [7] Sooyoung Kim Shin, Kwangjae Lim, Kwonhue Choi, Kunseok Kang, "Rain attenuation and the Doppler shift compensation for satellite communication systems using high frequency bands," *ETRI Journal*, vol. 24, pp.31-42, Feb. 2002.
- [8] Fernando Pérez Fontán, Maryan Vázquez-Gastro, Cristina Enjamio Cabado, Jorge Pita García and Erwin Kubista, "Statistical modeling of the LMS channel," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 50, no. 6, pp. 1549-1567, Nov. 2001.

임 광 재 (Kwangjae Lim)

정회원



1992년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사  
1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 석사  
1999년 2월 : 인하대학 전자공학과 박사  
1999년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원

2001년 ~ 2002년 : 한국정보통신협회 차세대이동통신 프로젝트그룹 위성실무반 의장  
<관심분야> 이동 및 위성 통신 시스템, 다중 접속, 무선자원관리 등.

김 수 영 (Sooyoung Kim)

정회원



1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과 학사  
1994년 2월 ~ 1991년 9월 : 한국전자통신연구소 위성통신시스템연구부 연구원  
1992년 10월 : Univ. of Surrey, U.K 공학 석사

1995년 2월 : Univ. of Surrey, U.K 공학 박사  
1994년 11월~1996년 6월 : Research Fellow, Univ. of Surrey, U.K  
1996.8~2004.2 : 한국전자통신연구원 광대역무선전송 팀장  
2004.2~현재 : 전북대학교 전자정보공학부 조교수  
<관심분야> 오류정정 부호화 방식, 이동/위성통신 전송 방식 연구 등

이 호 진 (Ho-Jin Lee)

정회원



1981년 서울대학교 전자공학과 학사  
1990년 서울대학교 전자공학과 박사  
1996년 ~ 1997년 미국 TRW 사 파견연구원  
1983년 ~ 현재 한국전자통신연구원 디지털방송연구단 통신위성연구그룹장 (책임연구원)

2003년 ~ 현재 한국통신학회 위성통신연구회 위원장  
<관심분야> 위성통신시스템, 위성지구국 및 멀티미디어 시스템, 이동(형) 광대역 위성통신, 위성방송 및 항법