

MC-CDMA 기반의 SVC 전송 시스템에서 계층 간 차등 OVFS 코드 할당 기법에 관한 연구

신형송¹, 김균탁¹, 이규진^{2*}, 이계산¹
¹경희대학교 전자전파공학과, ²세명대학교 전자공학과

A study on Scalable Video Coding Signals Transmission using inter-layer Differential OVFS code allocation scheme in MC-CDMA

Hyung-Song Shin¹, Kyun-Tak Kim¹, Kyu-Jin Lee^{2*}, Kye-San Lee¹

¹Dept. of Electronics and Radio Engineering, Kyunghee University

²Dept. of Electronic Engineering, Semyung University

요 약 본 논문에서는 다양한 채널 환경과 요구 화질 조건에서 사용자의 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위한 영상 전송 방법에 대하여 제안하였다. SVC(Scalable Video Coding) 전송 기법은 비디오 신호를 중요도를 고려한 계층별 신호로 인코딩하여 전송하기 때문에, 비디오 신호 전송에 있어 효과적인 방법이다. 하지만 다양한 채널 환경에 대해서 적응적으로 다수의 사용자가 요구하는 각각의 성능을 선택적으로 만족시키는 기술에 대한 연구는 미비하다. 이에 본 논문에서는 MC-CDMA기반의 SVC 전송 시스템에서 계층 간 차등 OVFS(Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드 할당 기법을 통해 SVC 계층 간 protection order를 보장하고 수신부로부터의 피드백을 통해 MC-CDMA의 sub-block과 각각의 계층 신호에 할당된 OVFS 길이를 조절하여 전송함으로써 다양한 채널 환경에서 각각의 사용자의 전송 환경에 따른 최적의 영상품질을 제공하는 적응 전송 시스템을 제안한다. 모의실험을 통해 제안 시스템의 성능분석을 실시한 결과 BER 성능이 향상되어 사용자의 QoS 만족이 가능함을 확인할 수 있었다.

키워드 : MC-CDMA, SVC, OVFS, 확산 이득, 적응형 영상 전송 시스템

Abstract This paper proposes an adaptive video signal transmission scheme in order to ensure the QoS (Quality of Service) of user requirements. SVC (Scalable Video Coding) is an effective transmission scheme, because that can transmit video signal according to the video layer's weight. However, in previous works, those adaptive transmission systems which are considered about the various channel environments and user requirements have not been insufficiently studied. So, we propose the SVC signal transmission using inter-layer differential OVFS code allocation scheme in MC-CDMA. The proposed scheme is able to obtain each layer signal's protection order and control the sub-block of MC-CDMA by feedback information from receiver. Therefore, our proposed scheme is possible to provide the video quality for each users according to variable channel environments. The simulation results demonstrate the enhancement of proposed system in terms of BER performance.

Key Words : MC-CDMA, SVC, OVFS, Spreading gain, adaptive video transmission system

1. 서론

최근 콘텐츠별 무선 트래픽을 보면 동영상을 포함한 멀티미디어와 같은 서비스가 주된 콘텐츠로 자리 잡고 있다. 5G 이동통신 환경에서는 이러한 고품질 멀티미디어 서비스의 본격화, IoT 서비스 등이 주된 목표로 다양한 종류의 스마트 기기가 연결되는 환경이 구축될 것으로 예상된다[1,2]. 이에 다양한 기기들의 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위한 적응적인 비디오 코딩 및 전송에 관한 기술에 관한 연구가 요구된다.

SVC(Scalable Video Coding) 기법은 이와 같은 요구에 맞춰 다양한 화질의 비디오 신호의 전송이 가능하도록 개발된 코딩 기술이다[3]. SVC 기법은 H.264/MPEG4-AVC 표준 비디오 코덱의 한 종류로써, 기존의 단일 계층 부호화 방식에 비해 다양한 방식의 비디오 scalability를 지원하는 코딩 방식이다. 비디오 신호를 중요도에 따라 계층화 하여 전송함으로써, 사용자의 요구 품질을 적응적으로 만족시킬 수 있다[4].

그러나 실제 통신 채널 환경에서는 Frequency Selective Fading에 의한 성능 열화가 발생한다[5]. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 다중 반송파를 이용한 전송 기술에 대한 연구가 진행되었다. 그중 하나인 MC-CDMA(Multi-Carrier Code-Division Multiple Access) 방식은 주파수 영역에서 확산코드를 사용하여 데이터를 확산하여 전송함으로써 주파수 다이버시티 이득의 도모하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 방법이다[6,7]. 하지만, 기존의 MC-CDMA 시스템에서는 일반적으로 Walsh-Hadamard 직교코드를 이용하여 확산을 실시하기 때문에, 이를 이용하여 SVC 신호를 전송할 경우, 각 계층의 Protection order을 보장할 수 없다. 또한 Walsh-Hadamard 코드는 다양한 전송률을 제공할 수 없다. 이와 같은 이유로 Walsh-Hadamard 기반의 MC-CDMA 시스템에서는 단말기의 요구 해상도에 따른 선택적인 서비스 제공이 어렵다.

이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 MC-CDMA 기반의 SVC신호 전송 융합 시스템에서 계층 별 차등 OVFS 코드 할당기법에 대해 제안한다. 제안 시스템에서는 서로 다른 길이의 코드끼리도 직교성을 유지할 수 있는 OVFS (Orthogonal Variable Spreading Factor) 코드를 이용함으로써 다양한 채널 환경 및 사용자 요구 화질에 따라 SVC 신호를 선택적으로 전송할 수

있다. 송신부에서는 수신부의 요구 품질에 따른 계층 정보와 CSI (Channel State Information)정보의 피드백을 기반으로 MC-CDMA의 sub-block과 확산코드의 길이를 조절하여 전송함으로써 다양한 채널 환경이나 기기별 요구 화질에 대한 적응적인 신호 전송을 실시하여, 각기 다른 사용자의 QoS를 만족시킨다[8].

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 SVC(scalable video coding)의 개념과 특징에 대해 소개한다. 이후 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법인 MC-CDMA 기반의 SVC 계층별 차등 OVFS 할당 기법에 대해 설명한다. 이어 4장에서는 제안 시스템의 성능을 모의실험을 통해 평가한다. 마지막으로 5장에서는 모의 실험 결과를 토대로 논문의 결론을 도출한다.

2. 관련 연구

SVC(Scalable Video Coding)는 영상 신호를 중요도에 따라 서로 다른 프레임 율, 화질, 공간 해상도를 지원하기 때문에 사용자가 요구하는 QoS를 제공하는데 용이하다. SVC 계층 신호는 두 분류로 구성된다. 먼저 비디오 재생을 위한 필수적인 신호로 구성되는 Base Layer sequence와 Base Layer sequence와 결합하여 비디오 신호의 품질을 향상시키는 역할을 담당하는 N개의 Enhanced Layer로 구성된다. Fig. 1은 SVC 계층 간 관계를 나타낸다[5]. Fig. 1에서, 하위 Layer로 갈수록 중요도는 높아지기 때문에, 상대적으로 더 좋은 BER 성능이 요구된다.

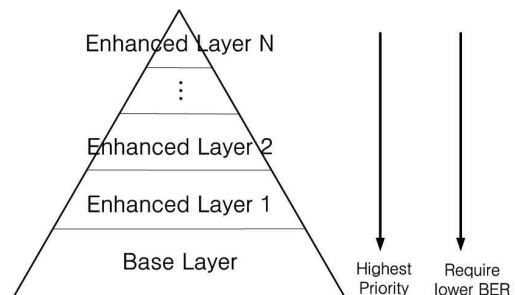


Fig. 1. Scalable Video coding structure

또한, SVC 계층 신호들은 디코딩 할 때, 하위 계층 신호의 정보를 기반으로 실시하기 때문에, 하위 계층의 신호가 검출이 안될 경우 나머지 상위 계층의 신호들도 디

코딩이 불가능하다. Fig. 2와 같이 N번째 계층이 손실 되었을 경우 N-1 Enhanced Layer Sequence까지의 신호가 결합되어 영상 신호의 품질을 결정하고, 만약 Base Layer Sequence가 손실되었을 경우, 모든 계층의 영상 신호 디코딩이 불가능하다. 따라서 SVC 영상 신호 전송 시에 Base Layer 신호는 가장 중요한 역할을 담당하고, Enhance Layer 신호는 Base Layer 신호를 기반으로 디코딩 되어 영상 신호의 화질을 결정한다. 이와 같은 SVC 영상 신호의 특징들은 채널 환경이나 다양한 단말기들의 요구 화질에 대해 적응적으로 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.

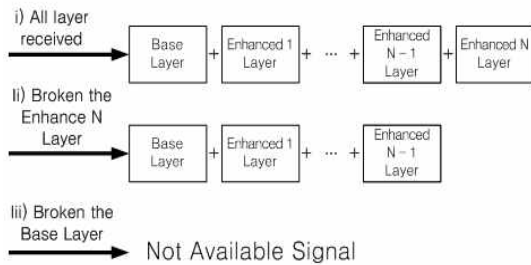


Fig. 2. Available Signal decision in Scalable Video coding

3. 시스템 모델 및 제안 기법

OVFS코드 기반의 MC-CDMA시스템에서는 각각의 비디오 계층신호에 UEP(Unequal Error Protection)을 실시한다. OVFS코드는 OVFS코드는 확산코드의 한 종류로써 위와 같은 다양한 데이터 주기를 가지는 신호 전송 시 직교성을 유지하기 위한 코드체계이다. OVFS코드는 다음 Fig. 3과 같이 트리형태의 생성구조를 가진다.

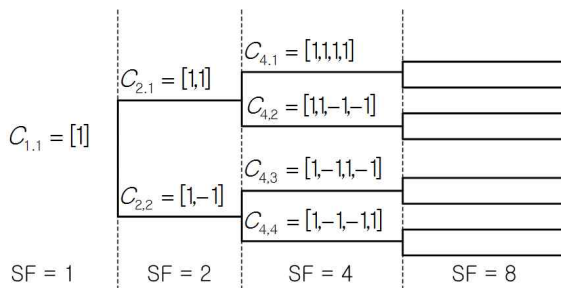


Fig. 3. OVFS code tree

먼저 기본 코드 $C_{1,1}$ 을 토대로 하위 코드의 첫 번째

가지는 $C_{2,1} = [C_{1,1}, C_{1,1}]$ 로, 두 번째 가지는 $C_{2,2} = [C_{1,1}, -C_{1,1}]$ 로 생성된다. SF는 확산 코드의 길이를 나타내며 2의 거듭제곱 형태로 증가한다. 이에 따라 직교코드는 $C_{1,1}$ 부터 $C_{SF,SF}$ 까지 생성이 가능하다[8]. 생성된 OVFS 코드들은 코드 간 모-자 부호 관계를 가진다. 코드 선택 시에 모-자 관계에 있는 코드끼리는 직교성이 보장되지 않기 때문에, 함께 사용이 불가능하기 때문에 다른 가지의 코드를 선택해야 한다[9]. Fig.4은 생성된 OVFS 코드 트리에서 코드 선택에 대한 예시를 나타낸다.

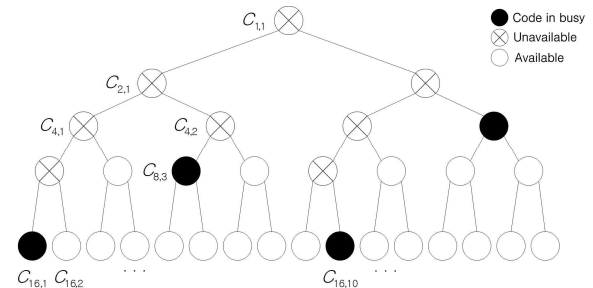


Fig. 4. An example of OVFS select in Code tree

Fig. 4에서, OVFS 코드를 할당할 때 길이가 서로 다른 코드 집합 사이에서도 모-자 부호 관계만 고려하여 할당하면 직교성을 보장할 수 있다[9]. 따라서 이와 같은 OVFS 코드의 특징을 기반으로 SVC 계층 신호간의 Protection order를 보장할 수 있고, 계층신호 별로 다양한 데이터율을 제공할 수 있다. 또한, 신호의 중요도를 고려한 신호 전송 뿐 만 아니라 다양한 채널 환경에서의 사용자 단말기의 요구 화질에 따른 적응적인 비디오 전송이 가능하다.

Fig. 5는 본 논문에서 제안하는 시스템의 송신부를 나타낸다. 먼저, 입력된 영상 Sequence는 SVC Encoder를 통해 우선순위 및 중요도를 고려하여 각각의 계층 신호로 나누어진다. 이후 계층 신호들은 MC-CDMA의 분할된 서브블록에 할당된다. 할당된 계층 신호들은 중요도에 따라 OVFS 코드의 길이를 다르게 하여 주파수 축으로 확산한다. 확산된 각 신호들은 확산코드의 길이에 따라 서로 다른 주파수 다이버시티 이득을 가진다[10,11]. 예를 들어 가장 중요한 Base Layer sequence에는 가장 긴 코드 길이를 할당하고, 중요도가 가장 낮은 Enhanced Nth Layer sequence에는 가장 짧은 확산 코드를 적용한다. 이후 변조된 데이터 심벌은 S/P(Serial-to-Parallel) 과정을 거쳐 N_c 개의 반송파에 할당되고, GI(Guard

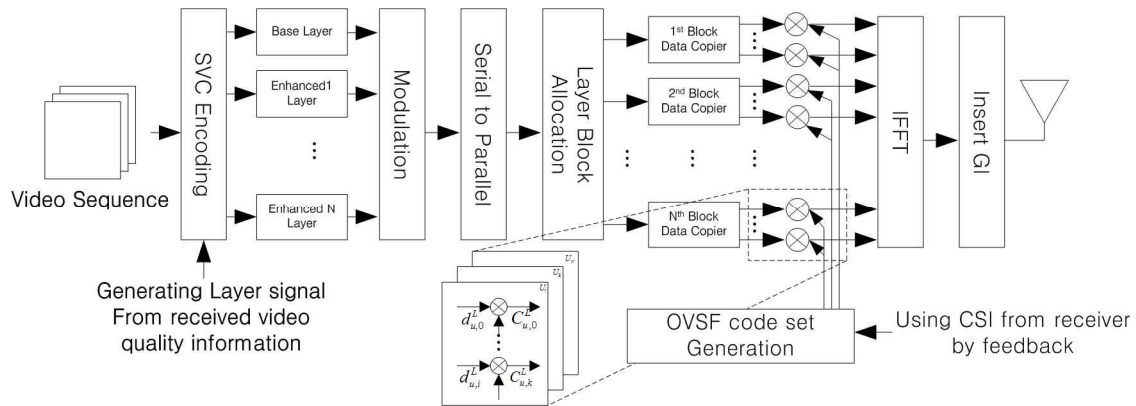


Fig. 5. Transmitter of the MC-CDMA with differential OVSF on inter-layer

Interval)을 삽입하여 전송함으로써, ISI (Inter-Symbol Interference)의 영향을 완화시킬 수 있다.

SVC 전송 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [10-12].

$$S_n(t) = \sum_{k=0}^K C_{n,k} \cdot d_{n,k} \exp(j2\pi k \frac{t}{K}) \quad (1)$$

식(1)에서 $S_n(t)$ 는 시간 영역에서 n번째 계층 신호를 의미하고, $C_{n,k}$ 는 n번째 계층에 할당되는 k 길이의 확산 코드를 의미하며, $d_{n,k}$ 는 k번째 sub-carrier를 통해 전송되는 n번째 전송 데이터를 의미한다.

만약, 채널 상황을 L개의 독립적인 전파경로를 가지는 채널을 가정하면, 채널의 임펄스 응답 $h_n(t)$ 는 다음과 같다[12,13].

$$h_n(t) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l \delta(t - \tau_l) \quad (2)$$

여기서, h_l 과 τ_l 은 경로이득과 시간지연을 나타낸다.

Fig.6은 채널 상황과 사용자의 수신 단말기의 요구 화질에 따른 적응적인 수신을 위한 OVSF 할당 과정을 나타내며, 다음과 같은 과정을 통해 동작한다.

- Step1: MC-CDMA시스템에서 SVC Encoding을 통해 생성할 계층 신호의 수 L_n 을 설정한다.
- Step2: L_n 에 따라 각 신호들을 MC-CDMA의 sub-block에 할당하고 Base layer 신호부터 Enhanced N 신호까지 확산 코드를 사용하여

주파수 영역으로 확산시킨다. 이때 하위 계층 신호일수록 보다 긴 확산 코드를 할당한다.

- Step3: 확산된 계층별 영상 신호를 전송하고 수신부에서 인코딩을 실시한다. 이때 가장 먼저 Base Layer 신호에 대한 손상 여부를 파악한다. 만약 Base Layer 신호가 손상되었을 경우, 송신부로 피드백 CSI와 디코딩 정보를 피드백하여, 각각의 sub-block에서의 확산코드를 증가시킨다.
- Step4: 만약 손상된 신호가 Enhanced N Layer 신호라면 피드백정보를 이용하여, Enhanced N Layer의 sub-block에 Enhanced N-1 Layer의 확산 코드를 늘려 할당하여 전송을 실시한다.
- Step5: 채널 환경에서 사용자의 요구 계층 신호의 수신 상황을 만족하는 경우까지 반복한다.

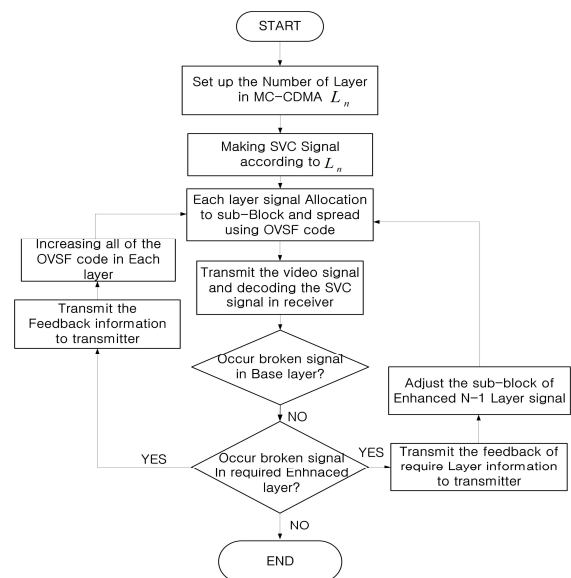


Fig. 6. Adaptive sub-block and OVSF allocation scheme process

제안 알고리즘은 SVC 전송 시 채널 상황이 열악하거나 사용자의 기기에서 요구하는 비디오 신호의 화질이 비교적 상위 레이어 정보가 필요하지 않을 경우 sub-block과 OVSF 코드의 길이를 조절함으로써 효과적인 비디오 신호의 전송이 가능하다.

4. 모의실험 변수 및 성능 분석

제안시스템의 효과적인 성능 분석을 위해 컴퓨터 모의실험을 실시하였다. 모의실험 파라미터는 다음 표1로 설정하였다.

먼저, 비디오 신호의 품질을 결정하는 Layer는 Base Layer부터 Enhanced 3 Layer까지의 4개의 계층으로 설정하였다. MC-CDMA 시스템의 부반송파의 개수는 256개를 사용하였고, 확산 코드는 OVSF 직교 코드를 사용하였다. 사용된 확산 코드의 길이는 SF= 64, 32, 16, 8로 가변 사용하여 진행하였다.

또한, 모의실험 환경에서 고려된 채널 환경은 [14,15]에서 제안된 Jake's 모델을 수정하여 적용하였으며, Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 각 경로 샘플은 1sample (25nsec)이고, 18개의 다중 경로 환경이며, 각 경로마다 α dB 신호 감쇄를 가진다. 이러한 채널 구조는 심각한 Frequency selective fading 환경을 의미한다. SVC 계층의 구성은 Base layer, Enhance 1 layer, Enhance 2 layer, Enhance 3 layer로 총 4개의 계층으로 부호화를 실시하였다.

Table 1. Simulation Parameters

parameter	values
Number of SVC Layer	4
FFT/IFFT Point	256
Spreading Code	OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor)
Data Modulation Type	QPSK
Number of Symbol	64
Number of Pilot	4
Guard Interval	25%
Fading Channel	18-path Exponential Rayleigh Channel

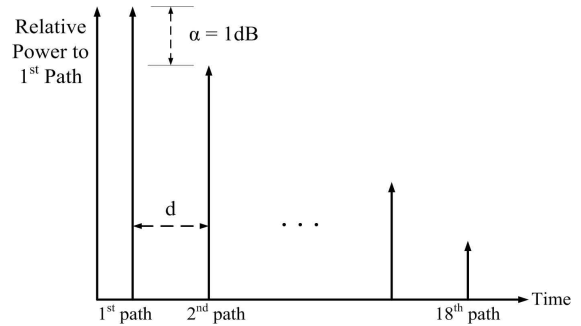


Fig. 7. Multi-path channel Model

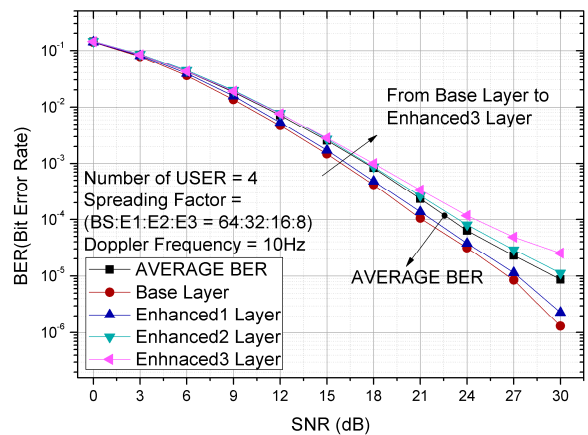


Fig. 8. BER Performance of each video layer in MC-CDMA with doppler frequency 10Hz, attenuation value 1dB

Fig. 8 MC-CDMA를 이용하여 SVC 비디오 신호 전송 시 계층별 중요도에 따라 확산코드의 길이를 차등하게 전송했을 때의 성능을 나타낸다. 이때, 설정된 채널 환경에서 Doppler Frequency는 50Hz 이며, 각각의 경로가 $\alpha=1$ dB, $d = 1$ sample인 Multi-path fading channel을 적용하였다. 또한 계층 신호별 protection order를 고려하기 위해 Base Layer부터 Enhanced 3 Layer 까지 각각 64, 32, 16, 8의 확산코드를 할당하였다. 따라서, 비교적 긴 확산코드를 사용하여 전송한 Base layer 신호와 Enhanced1 layer 신호는 Average BER에 비해 높은 BER 성능을 나타낸다. 확산 코드의 길이가 증가할수록 주파수 다이버시티 이득이 증가하고, MAI(Multiple Access interference)에 대해 강한 특성을 가지기 때문이다.

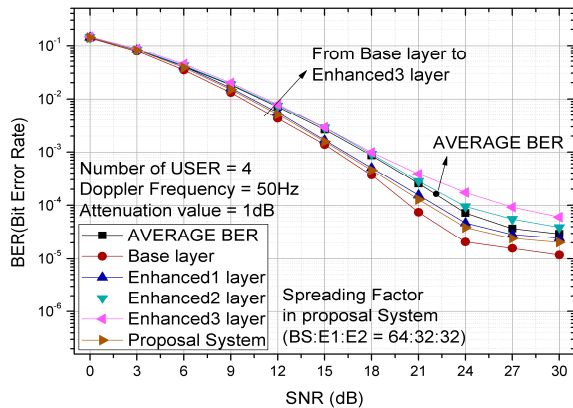


Fig. 9. BER Performance of each video layer in MC-CDMA with doppler frequency 50Hz, attenuation value 1dB

Fig. 9는 사용자의 이동속도가 증가된 채널 상황을 고려하여 Doppler Frequency를 50Hz 로 증가시켰을 경우를 고려한 모의실험 결과이다. 해당 채널 환경에서 제안 시스템을 사용하여 sub-Block 할당과 확산 코드의 길이 Base Layer부터 Enhanced2 Layer까지 각각 64, 32, 32로 조절한 결과 BER 성능이 10^{-4} 일 때, 약 1.5dB의 성능 향상을 유도할 수 있다.

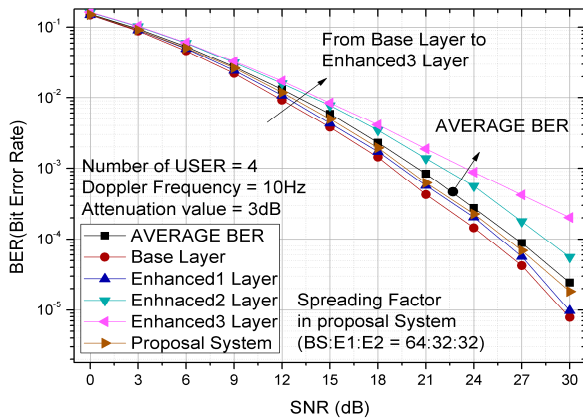


Fig. 10. BER Performance of each video layer in MC-CDMA with doppler frequency 10Hz, attenuation value 3dB

Fig. 10은 Multi-path channel model 에서 $\alpha=3dB$ 로 설정했을 경우의 결과를 나타낸다. attenuation value를 증가하면, RMS Delay Spread 값을 감소한다. 이에 따라 주파수 선택성을 줄어 들게 되고 MC-CDMA의 주파수 다이버시티 이득을 감소된다. 해당 상황에서의 성능평가 결과, 제안 시스템을 통해 10^{-4} 에서 약 0.7dB의 성능 향상을 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 논문은 MC-CDMA 환경에서 SVC 비디오 신호 전송 시에 계층 간 차등 OVFS 코드를 적용하여 전송하는 기법에 대하여 연구하였다.

SVC 계층 별로 OVFS 코드의 길이를 다르게 할당함으로써 계층 별 Protection order를 확보하고, 수신단의 피드백을 통해 sub-block을 재할당하고 확산코드의 조절을 실시함으로써 제한된 채널 상황과 수신기의 요구 화질에 대해 BER 성능을 개선시켰다.

본 논문에서 제안한 융합 시스템은 이동통신 환경에서의 다양한 채널 상황에 대하여 사용자의 요구 해상도에 대한 QoS를 제공에 기여할 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2016-H8501-16-1007).

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2016-R2718-16-0012).

REFERENCES

- [1] M. A. M Alvreem, “5G Wireless Communication systems :vision and challenges,” *Proceedings of the 2015 International Conference on Computer, Communications, and Control Technology(IACT)*, pp. 493-497, 2015.
- [2] H. J. Mun, G. H. Choi and Y. Hwang “Countermeasure to Underlying Security Threats in IoT communication,” *Journal of Convergence Society for SMB*, Vol. 6, No. 2, pp. 37-44, Jun. 2016.
- [3] H. Schwarz, D.Marpe and T. Wiegand, “Overview of the Scalable Video Coding Extension of the H.264/AVC standard,” *IEEE Transaction on Circuits and systems for Video technology*, Vol 17, No 9, pp. 1103-1120, Sep. 2007.
- [4] N. Conci, G. B. Scorza and C. Sacchi, “A Cross-Layer Approach for Efficient MPEG-4 Video Streaming Using Multicarrier Spread-Spectrum Transmission and

Unequal Error Protection,” *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing 2005*, Vol. 1, pp. 6, 2005.

[5] M. Li, Z. chen and Y-P. Tan, “Scalable Resource Allocation for SVC Video Streaming ovsr multiuser MIMO-OFDM Network,” *IEEE Transaction on multi media*, Vol 15, No. 7, pp. 1519-1531, Jul. 2013.

[6] K. J. Lee, D. H. Cha and K. S. Lee, “Scalable Video Coding(SVC) Signal Transmission scheme using UAPA in a MIMO-OFDM System,” *Journal of IEICE Transactions on Communications*, Vol. E95-B, No. 11, pp. 3519-3526, Nov. 2012.

[7] S. Hara and R. Prasad, “Overview of Multicarrier CDMA,” *Journal of IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, Issue 12, pp. 126-138, Dec. 1997.

[8] S. Hara and R. Prasad, “Design and performance of multicarrier CDMA system in frequency-selective Rayleigh fading channel,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 4, pp. 1584-1595, Oct. 1999.

[9] S. Kaiser, *Multi-Carrier CDMA Mobile Radio Systems: Analysis and Optimization of Detection, Decoding, and Channel Estimation*, VDI-Verlag, 1998.

[10] R.Assarut, M. G Husada, U. Yamamoto and Y. Onozato, “Data rate improvement with dynamic reassignment of spreading codes for DS-CDMA,” *Computer Communications*, Vol. 25, Issue 17. pp. 1575-1583, Nov. 2002.

[11] K. Hasegawa, R. Shimura and I. sasase, “OVFS Code allocation and Two-stage combining method to reduce inter-code interference in OFCDM system,” *Journal of the Electronic and Communication in Japan*, part 1, Vol. 90 No. 9, pp. 1275-1283, Jul. 2007.

[12] H. D. Seo and K. J. Lee, “Effective scalable video streaming transmission with TBS algorithm in an MC-CDMA system,” *Information Systems*, Vol. 48, pp. 313-319, Mar 2015.

[13] M. Schell and S. Kaiser, “Diversity Considerations for MC-CDMA system in Mobile Communication,” *Proceedings of the IEEE 4th International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications (ISSSTA '96)*, pp. 131-135, 1996.

[14] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice Hall, p. 187, 1978.

[15] P. Dent, G. E Bottemly and T. Croft, “Jakes Fading Model Revisited”, *IEEE Electronics Letter*, Vol. 29, No. 13, pp. 1162-1163, Jul. 1993.

저 자 소 개

신 현 송(Shin-Hyun Song)

[정회원]



- 2014년 2월 : 경희대학교 전자·전파 공학과 학사
- 2016년 8월 : 경희대학교 전자·전파 공학과 석사

<관심분야> : 비디오 신호 전송, OFDM, MC-CDMA

김 균 탁(Kyun-Tak Kim)

[정회원]



- 2010년 8월: 전북대학교 전자공학과 학사
- 2013년 2월 : 경희대학교 전자전파 공학과 석사
- 2013년 ~ 2014년 : 전자부품연구원 연구원

▪ 2014년 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 박사과정

<관심분야> : 이동통신, 가시광통신

이 규 진(Kyu-Jin Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학사
- 2007년 2월 : 경희대학교 전파통신공학과 공학석사
- 2011년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학박사

▪ 2011년 ~ 2013년 : 경희대학교 전자전파공학과 학술 연구교수

▪ 2013년 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 이동통신, 메쉬네트워크, 가시광통신

이 계 산(Kye-San Lee)

[정회원]



- 2002년 : 게이오대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ~ 2003년 : 일본 KDDI 연구원
- 2003년 ~ 2003년 : 일본 게이오대학교 교수

▪ 2003년 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 교수

<관심분야> : 이동통신, 메쉬네트워크, 가시광통신