

다중안테나 시스템의 향상된 간섭제거 순서화를 통한 H.264/AVC 비디오 품질향상

박 상 현*, 김 재 권**

H.264/AVC Video Quality Improvement by Improved Interference Cancellation Ordering in Multiple Antenna Systems

SangHyun Bak*, Jaekwon Kim**

요 약

본 논문에서는 물리계층 다중 안테나 무선채널을 통한 응용계층 H.264/AVC 비디오 전송을 다룬다. 물리계층에서 다중 안테나를 사용할 경우 다수 개의 안테나로부터 전송되는 신호가 서로 간섭으로 작용하여 결국 비디오 품질저하를 초래한다. 본 논문에서는 H.264/AVC 비디오 품질을 향상시키기 위해 개선된 간섭 제거 순서화 방식을 제안한다. 모의실험 결과를 통해 제안된 방식에 의해 우수한 PSNR을 달성함을 확인한다.

ABSTRACT

In this paper, we address H.264/AVC video transmission using multiple antennaed physical layer. When multiple antennas are used, the signals from the other antennas are interferences from the perspective of a target antenna, resulting in lowered video quality. In an effort to improve the video quality, in this paper, we propose a novel detection ordering scheme. We conduct computer simulations to show the efficacy of the proposed scheme.

keywords : MIMO, interference, detection ordering, H.264/AVC, PSNR

1. 서 론

최근 화상회의, 화상전화, 디지털 TV 같은 영상 통신 서비스가 보편화 되고 있다. 또한, 동영상 압축 및 무선통신 기술이 급속히 발전하여 기존 유선채널을 통해서만 가능하다고 여겨졌던 영상통신

기술이 무선채널에도 적용이 가능하도록 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

응용계층의 H.264/AVC 기술은 이렇게 불안정한 무선채널을 통해 동영상을 전송하기에 적합한 동영상 압축기술로써, 압축효율성 뿐만 아니라 효율적 전송을 고려해 기술 표준화가 이루어졌다[2].

* 연세대학교 원주캠퍼스 디지털통신연구실 (sanghyunbak@gmail.com)

** 교신저자 연세대학교 원주캠퍼스 디지털통신연구실 (jaekwon@yonsei.ac.kr)

접수일자 : 2010년 5월 28일, 수정일자 : 2010년 6월 14일, 심사완료일자 : 2010년 6월 18일

H.264/AVC 압축표준은 개념적으로 효율적 영상압축을 담당하는 video coding layer (VCL)와 효율적 영상전송을 담당하는 network abstraction layer (NAL)로 구성되어 있으며, 오류를 제어하는 다양한 방식을 포함한다[3]. 물리계층의 다중안테나 기술은 추가적인 송신전력이나 주파수의 자원을 사용하지 않으면서 데이터 전송속도를 높이거나 또는 불안정한 무선채널을 유선채널과 유사하게 안정화시키는 기술이다. 안테나 다이버시티 기술을 사용하면 무선채널의 불안정성이 완화되지만 전송속도가 단일안테나의 경우와 유사하다. 한편 공간다중화 기술은 각 송신안테나에서 독립적인 신호를 전송하므로 그 전송속도가 안테나의 개수에 비례해서 증가한다. 따라서 많은 양의 데이터 전송이 요구되는 영상전송에는 공간다중화 방식이 적합하다.

공간다중화 방식을 사용하면 높은 데이터 전송속도의 장점이 있으나, 다수개의 안테나로부터 전송되는 신호가 서로 간섭으로 작용한다. 특정 송신 안테나의 신호를 검출할 때 나머지 안테나로부터 전송된 신호는 간섭으로 작용하여 다중 안테나 물리계층을 통한 비디오 전송 시 품질저하를 초래한다. 본 논문에서는 공간다중화 기법을 사용하는 다중안테나 시스템의 간섭제거 순서화가 영상전송에 미치는 영향을 알아보고, 간섭제거 순서화 방식을 향상시켜 비디오 전송 품질을 향상시킨다. 공개 소스 JM16.0을 기반으로 제안된 방식에 의한 품질향상을 PSNR관점에서 보인다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 고려하는 영상전송 시스템을 나타낸다. 응용계층에서 $X_{n,s,m}$, $n=1,2,\dots,N$, y_i , $i=1,2,\dots,n_R$, $m=1,2,\dots,M$ 은 n 번째 프레임 내 s 번째 슬라이스에 포함된 m 번째 매크로블럭을 나타낸다. N, S, M 은 각각 총 프레임 수, 각 프레임을 구성하는 슬라이스 수, 한 개의 슬라이스를 구성하는 매크로블럭 수를 나타낸다. H.264/AVC 영상압축 방식에 의해 압축된 동영상은 양자화오류에 의해 원영상과 상이하며 이를 \tilde{X} 로 나타내었다. 본 논문에서는 한 개의 슬라이스를 한 개의 NAL 패키지로 가정하였고, sequence parameter set (SPS) 및 picture parameter set (PPS) NAL 단위는 수신부에 오류없이 수신되었다고 가정한다.

물리계층에서 송신 안테나 개수는 n_T 이고 수신 안테나의 개수는 n_R 이다. 공간다중화 시스템에서는 송신 안테나 개수 n_T 가 미지수의 개수를 나타내고, 수신 안테나의 개수 n_R 이 방정식의 개수를 나타내기 때문에 $n_R \geq n_T$ 의 조건을 만족해야 신호검출이 가능하게 된다. 송신 및 수신신호의 관계는 다음 수식으로 표현 할 수 있다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{z} \quad (1)$$

$$\mathbf{y} = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_{n_R}]^T$$

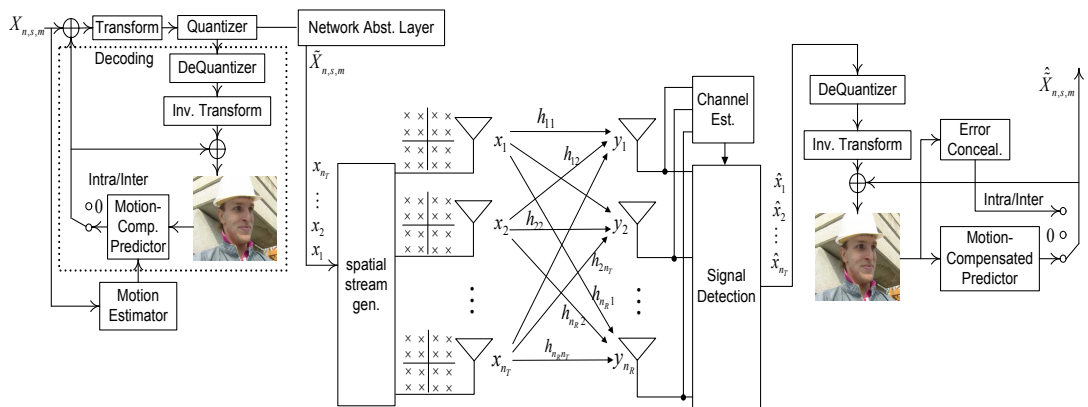


그림 1. H.264/AVC 비디오 전송 시스템 모델

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & \cdots & h_{1,n_T} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & \cdots & h_{2,n_T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n_R,1} & h_{n_R,2} & \cdots & h_{n_R,n_T} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \cdots \ x_{n_T}]^T$$

$$\mathbf{z} = [z_1 \ z_2 \ \cdots \ z_{n_R}]^T$$

여기서 $x_j, j = 1, 2, \dots, n_T$ 은 j 번째 송신 안테나로부터 송신된 신호를 나타내고, $y_i, i = 1, 2, \dots, n_R$ 은 i 번째 수신 안테나에서 수신된 신호를 나타내며, $h_{i,j}, i = 1, 2, \dots, n_R, j = 1, 2, \dots, n_T$ 는 j 번째 송신 안테나와 i 번째 수신 안테나 사이의 채널 이득을 나타낸다. 크기가 $n_R \times n_T$ 인 채널 행렬 \mathbf{H} 의 각 원소들은 서로 independent and identically distributed (i.i.d.) Rayleigh 페이딩 채널이득이라고 가정한다. 잡음 $z_i \sim CN(0, \sigma_z^2), i = 1, 2, \dots, n_R$ 은 환형 대칭 가우시안 잡음으로 가정하고, 본 논문에서는 송신 신호 $x_j, j = 1, 2, \dots, n_T$ 는 16-QAM 변조된 심볼이라고 가정한다. 수신부에서는 수신신호 \mathbf{y} 벡터가 주어졌을 때, 훈련신호를 통해 채널행렬 \mathbf{H} 를 먼저 추정하는 다음 송신신호 벡터 \mathbf{x} 를 찾아야 한다. 그러나 본 논문에서는 간섭제거 순서화를 집중적으로 다루며 채널추정은 고려하지 않고, 채널 추정이 완벽하게 수행되어 가용하다고 가정한다. 따라서 일반적으로 추정치를 나타내는 $\hat{\mathbf{H}}$ 대신 \mathbf{H} 를 사용한다.

물리계층에서 복원된 신호는 응용계층으로 전달되고 H.264/AVC 디코더에 의해 영상이 복원된다. 물리계층에서 발생하는 오류를 극복하기 위해 H.264/AVC에서는 intra/inter 프레임 보간기법으로 나눌 수 있는 오류은닉(error concealment) 방식을 사용한다. 본 논문에서는 슬라이스 단위로 오류가 검출되었을 때 가장 최근 슬라이스로 대체시키는 방식을 사용하였다.

III. 다중안테나 시스템의 간섭제거 순서화

본 절에서는 물리계층의 다중 안테나 시스템의 근본적인 문제점이라 할 수 있는 간섭제거 방식에 대해 기술한다. 서론 부분에 언급된 바와 같이 공간다중화 방식 다중안테나 시스템에서는 각 송신 안테나 관점에서 타 송신안테나로부터 전송된 신호는 간섭신호로 여겨진다. 이러한 간섭신호를 고려한 다양한 신호검출기법들이 연구되어 왔다.

최근 공간다중화 MIMO 시스템을 위한 한 부류의 신호검출기법으로서 한 개의 공간 레이어에는 모든 가능한 성상점을 추정 신호로 시도하고 나머지 레이어는 순차적 간섭제거를 수행하여 후보 벡터를 생성한 후 마지막으로 각 후보 벡터의 ML 메트릭을 계산하여 송신 벡터를 추정하는 기법들이 제안되었다[4][5]. 이러한 신호검출기법들에는 기존 V-BLAST의 순서화와는 다른 순서화를 적용해야 된다는 점이 지적되었다. 본 논문은 이러한 신호검출기법을 위한 새로운 순서화방법을 제안하고, 이에 따라 [4][5]의 순서화 방법을 적용했을 때에 비해 성능이득을 달성할 수 있음을 모의실험을 통해 보인다.

3.1 기존 간섭제거 순서화 방법

첫 번째 레이어 추정 시 모든 성상점들을 추정신호로 추정하고, 나머지 레이어는 순차적 간섭제거 방식으로 추정하여, 후보벡터들을 생성한 후 ML메트릭을 계산하여 송신신호벡터를 추정하는 방식 중 하나인 QR-MRL수신기법을 먼저 기술한다[4]. QR-MRL방식에서는 가장 높은 신뢰도를 갖는 레이어에 대하여 모든 성상점들을 추정신호로 시도한다.

행렬 $\mathbf{H} = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \cdots \ \mathbf{h}_{n_T}]$ 는 채널이득 행렬이며, $\mathbf{h}_i, i = 1, 2, \dots, n_T$ 는 채널행렬의 i 번째 열벡터이다. \mathbf{H} 행렬의 pseudo inverse를 구하여 행벡터로 구분하여 표현하면 다음과 같다.

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_1 \\ \mathbf{g}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{g}_n \end{bmatrix} = (\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^H \quad (2)$$

$$\begin{aligned} l_{MRL} &= \arg \max_i SNR_i \\ &= \arg \min_i \|\mathbf{g}_i\|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 SNR_i 는 i 번째 레이어의 검출 후 signal-to-noise ratio (SNR)을 나타낸다. 식 (2)에서 행벡터 \mathbf{g}_i 의 norm 값의 제곱의 크기가 잡음상승의 정도이므로, 이 값이 가장 작은 레이어가 가장 신뢰도가 높은 레이어이다. 따라서 이 해당 레이어를 most reliable layer (MRL)로 명명하며 l_{MRL} 로 표현한다. 신호검출기법으로 minimum mean squared error (MMSE)기법이 사용될 경우에는 식 (3)의 SNR 대신 검출 후 SINR을 기준으로 유사하게 l_{MRL} 을 선택하면 된다. 이와 같이 한 개의 레이어에 모든 성상점을 대입하여 기존 V-BLAST 기법에 비해 큰 성능이득을 얻을 수 있다[4].

QR-MRL과는 달리 QR-LRL방식에서는 모든 성상점들을 추정신호로 시도하는 첫 번째 레이어로 가장 신뢰도가 낮은 레이어 least reliable layer (LRL)을 선택한다[5]. 또한 두 번째 레이어의 성공적인 추정 여부가 전체적인 성능에 영향을 크게 미치므로 두 번째 레이어에 가장 신뢰도가 높은 레이어를 사용한다.

$$\begin{aligned} l_{LRL} &= \arg \min_i SNR_i \\ &= \arg \max_i \|\mathbf{g}_i\|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

식(4)에서 l_{LRL} 은 잡음상승이 가장 커서 신뢰도가 가장 낮은 레이어를 나타낸다. QR-MRL에 비

해 QR-LRL 에서 l_{LRL} 을 제외 했을 때 나머지 레이어들의 최소 신뢰도가 크게 상승하게 되어 결국 성능이득을 달성한다[5].

3.2 제안된 간섭제거 순서화 방법

기존 QR-LRL이 QR-MRL에 비해 우월한 성능을 달성하는 이유는 l_{MRL} 대신 l_{LRL} 을 제외한 나머지 레이어들의 최저 신뢰도 값이 향상되기 때문이다. 이 관찰에 근거해서, 본 논문에서는 첫 번째 레이어를 제외한 나머지 레이어들의 추정 시 잡음상승을 가장 작도록 한다. 따라서 제외되었을 때 나머지 레이어들의 최고 잡음상승이 가장 작게 하는 레이어를 첫 번째 레이어로 정한다. 임의의 j 번째 레이어를 제외한 채널이득행렬을 $\mathbf{H}^{(j)} = [\mathbf{h}_1 \ \mathbf{h}_2 \ \cdots \ \mathbf{h}_{j-1} \ \mathbf{h}_{j+1} \ \cdots \ \mathbf{h}_{n_T}]$ 와 같이 표현하면 다음과 같이 pseudo inverse 식을 표현할 수 있다.

$$\mathbf{G}^{(j)} = (\mathbf{H}^{(j)H} \mathbf{H}^{(j)})^{-1} \mathbf{H}^{(j)H} \quad (5)$$

위 식(5)를 기준으로 최고의 잡음상승을 가장 작게 하는 레이어를 minimum maximum layer (MML)라 하면 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} l_{MML} &= \arg \max_j \min_i SNR_i^j \\ &= \arg \max_j \min_i \frac{1}{\|\mathbf{g}_i^{(j)}\|^2} \\ &= \arg \min_j \max_i \|\mathbf{g}_i^{(j)}\|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $SNR_i^j, j = 1, 2, \dots, n_T, i = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, n_T$ 는 j 번째 레이어를 제외했을 때 i 번째 레이어의 검출 후 SNR을 나타내며, $\mathbf{g}_i^{(j)}$ 는 $\mathbf{G}^{(j)}$ 행렬의 i 번째 행벡터를 의미한다. 제안된 QR-MML을 적용하기 위해서는 식 (5)로 표현되는 pseudo inverse를 각 j 에 대해 구해야 하는 단점이 있다. 식 (5)의 계산은 채널이득이 변경

될 때마다 수행해야 하므로 복잡도 증가정도가 채널의 시변성에 의존하게 된다.

IV. 모의실험

본 절에서는 모의실험을 통해 기존 간섭제거 순서화 기법에 비해 제안된 기법에 의한 비디오 전송품질 향상을 확인한다. 기존 간섭신호 제거 기법들 중에서는 더 우수한 성능을 달성하는 것으로 알려진 QR-LRL을 사용한다.

응용계층에서는 H.264/AVC 참조 소프트웨어 JM16.0부호기 및 복호기를 사용하였으며, CIF급 30 fps Foreman 동영상을 사용하였으며, 총 프레임 개수 $N=64$, 한 개의 프레임을 구성하는 슬라이스의 개수 $S=4$, 한 개의 슬라이스에 포함된 매크로블럭의 개수 $M=99$ 로 하였다. IDR-picture 주기는 I-picture 주기와 동일하게 8로 설정하였다. I 프레임과 P 프레임에 대한 양자화 계수는 28로 동일하게 설정하였고, B 프레임은 사용하지 않았다. Motion vector 해상도는 1/4 픽셀로 하였으며, search range는 ± 16 로 하였고, 참조영상의 개수는 1로 하였다. 엔트로피 코딩방식은 CABAC을 사용하였다. SPS 및 PPS NAL 단 위들은 매 GOP마다 삽입하였다.

표 1. 압축된 CIF급 30 fps Foreman 동영상

NAL type	크기 (바이트)	n/s
7(SPS)	14	n/a
8(PPS)	8	n/a
5(IDR)	2392	1/1
5(IDR)	1874	1/2
5(IDR)	1544	1/3
5(IDR)	1784	1/4
1(NIDR)	260	2/1
1(NIDR)	414	2/2
1(NIDR)	314	2/3
1(NIDR)	483	2/4
⋮	⋮	⋮

표 1은 압축된 동영상의 NAL type 및 크기를 나타낸다. 본 논문에서는 한 개의 슬라이스를 한 개의 물리계층 패킷으로 가정하였으며 각 패킷마

다 31비트 cyclic redundancy check (CRC)비트를 삽입하여 해당 슬라이스의 오류여부를 판단한다. 오류은닉을 위해 처음 8개 프레임은 오류없이 수신되었다고 가정하였으며 이 후 프레임에 대해서는 오류 발생 시 최근 슬라이스로 대체시키는 방식을 사용하였다.

물리계층에서는 3GPP LTE에서 하향링크의 경우 최대 송신안테나 개수를 8로 정함에 따라 송신 안테나의 개수 n_T 를 수신 안테나의 개수 n_R 과 동일하게 8로 설정하였다. 정상도로 16-QAM을 사용하고, iid Rayleigh 페이딩 채널을 가정할 때 수식 (1)로 표현되는 무선채널의 E_b/N_0 는 아래와 같이 표현된다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{4} \frac{E_x}{\sigma_z^2} \frac{E\{|H|_F^2\}}{8} \quad (7)$$

본 모의실험에서는 $E_b/N_0 = 20\text{dB}$ 로 하였다. 일반적으로 물리계층에서 오류성능을 평가할 때 Monte-carlo 모의실험 방법을 사용하여 오류가 충분히 발생할 때까지 반복적으로 모의실험을 수행하여 얻는 평균적인 오류율이 기준이 된다. 그러나 본 모의실험은 그 반복횟수를 충분히 크게 하면 소요시간이 커진다는 어려움이 있다. 따라서, 본 논문에서는 동일한 채널 및 잡음에 대해 기존 순서화 방법과 제안된 순서화 방법을 각각 적용하여 성능을 비교하였으며, 이러한 절차를 3회 수행하였다.

그림 2는 위의 기술된 방법에 따라 모의실험을 수행한 결과를 나타낸다. 그림 2(a), (b), 및 (c)는 다른 random 채널 및 잡음에 대한 PSNR성능을 나타내며 그림 2(d)는 평균 PSNR성능을 나타낸다. 처음 8개의 프레임은 오류은닉을 위해 오류가 발생하지 않았다고 가정하였으므로 두 가지 간섭제거 순서화방식과는 무관하게 높은 동일한 PSNR을 나타냄을 확인할 수 있다.

세 번의 모의실험동안 첫 번째 모의실험 도중 33프레임부터 40프레임 까지는 기존 간섭제거 순

서화 방식이 더 우수한 성능을 보였다. 이는 3절에서 제안된 새로운 순서화방식이 기존 간섭제거 순서화방식과 비교할 때 통계적인 기준에서 우수하도록 설계되었고 모든 순간 채널 이득 및 잡음에 대해서 우수한 것은 아니기 때문이다. 그러나 그림 2(d)에서 볼 수 있듯이 평균적인 PSNR성능관점에서는 예상과 같이 제안된 간섭제거 방식이 더 우수한 PSNR을 달성함을 확인할 수 있다.

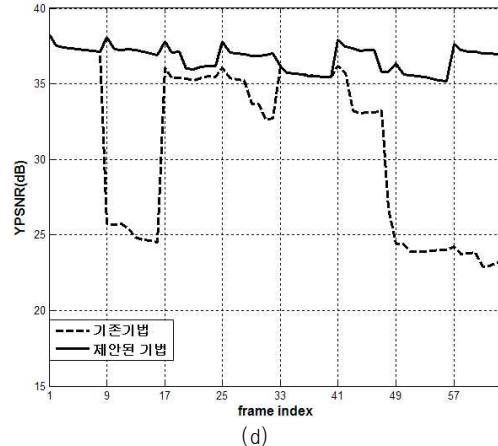
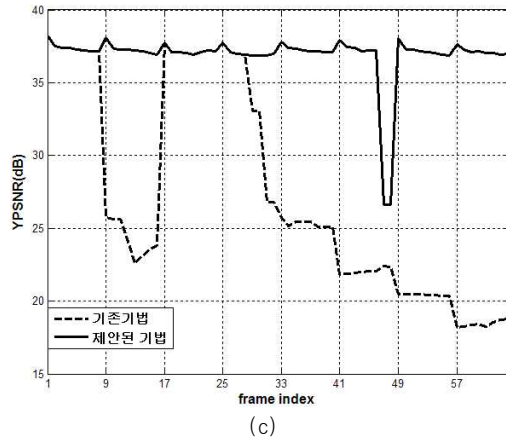
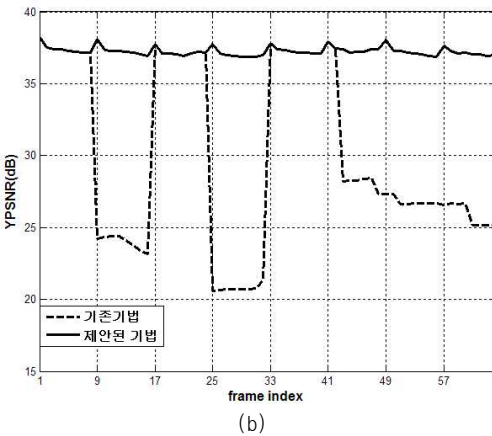
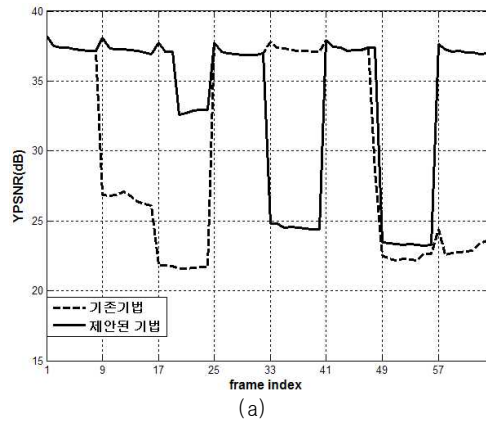


그림 2. 물리계층 간섭제거 순서화 방식에 따른 PSNR 성능비교: (a) 첫 번째 실험, (b) 두 번째 실험, (c) 세 번째 실험, (d) 평균 PSNR

그림 3은 두 번째 모의실험에서 9번째 프레임이 기존 간섭제거 순서화 기법과 제안된 기법에 의해 복원된 결과이다. 기존 순서화 기법에 의해서는 위에서 두 번째 슬라이스에 오류가 발생하였으나 제안된 방법에 의해서는 오류가 발생하지 않았음을 관찰할 수 있다.



(a)



(b)

그림 3. 간섭제거 순서화 방식에 따른 복원된 프레임 비교(두 번째 실험의 9번째 프레임)
 (a) 기존 간섭제거 순서화 기법
 (b) 제안된 간섭제거 순서화 기법

V. 결론

본 논문에서는 다중안테나 무선채널을 통한 H.264/AVC 비디오 전송시스템을 다루었다. 다중안테나를 사용하면 추가적인 주파수 대역폭이나 송신전력을 사용하지 않으면서도 송신안테나의 개수에 비례해서 전송속도를 높일 수 있어 고속 데이터 전송이 요구되는 동영상 전송에 적합하다. 그러나, 다중안테나 시스템은 물리계층 수신부에서 간섭을 제거해야 하는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 물리계층에서 간섭을 제거하는 순서가 영상 PSNR에 큰 영향을 미친다는 것을 관찰하였고 제안된 간섭제거 순서화방식에 의해 성능을 개선시켰다. 모의실험을 통해 제안된 간섭제거 순서화

방식의 개선된 성능을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] T. Sockhammer, M. M. Hannuksela, T. Wiegand, "H.264/AVC in wireless environment," IEEE Trans. Circuit Syst. Video Tech., vol. 13, no. 7, pp.657-673, July 2003.
- [2] JVT G050r1, "Draft ITU-T recommendation and final draft international standard of joint video specification," May 2003.
- [3] S. Kumar, L. Xu, M. Mandal, S. Panchanathan, "Error resiliency schemes in H.264/AVC standard," Elsevier J. Visual Commun. & Image Rep., vol. 17(2), April 2006.
- [4] J. Kim, D. Kim, and S. Yun, "Mitigating Error Propagation in Successive Interference Cancellation," IEICE Trans. Commun., vol. E89-B, No. 10, pp. 2956-2960, Oct. 2006.
- [5] S. Bahng, Y. Park, J. Kim, "QR-LRL signal detection for spatially multiplexed MIMO systems," IEICE Trans. Commun., vol. E91-B, no. 10, pp. 3383-3386, Oct. 2008.

저자약력

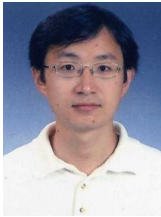
박 상 현(Sanghyun Bak) **학생회원**



2009년 2월 : 연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터정보 통신공학부 학사
2009년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 원주캠퍼스 전산학과 석사 과정

<관심분야> 디지털 통신, OFDM, MIMO, 실용적인 신호검출 기법

김 재 권(Jaekwon Kim) **정회원**



1995년 8월 : 중앙대학교 전기공학 학과 졸업
2000년 2월 : 중앙대학교 전기공학 학과 석사
2004년 5월 : The University of Texas at Austin 공학박사

2004년 8월 ~ 2005년 8월 : 삼성종합기술연구원 4G 시스템 Lab.

2005년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부 조교수

<관심분야> 디지털 통신, OFDM, MIMO, 실용적인 신호검출 기법