creative commons

COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000264249

2014년 2월

석사학위논문

다수 참조 프레임 기반의 H.264/AVC 에러 리질리언스 성능 개선 연구

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

강 희 선

2014년 2월 석사학위논문

다수 참조 프레임 기반의 H.264/AVC 에러 리질리언스 성능 개선 연구

강 희 선

다수 참조 프레임 기반의 H.264/AVC 에러 리질리언스 성능 개선 연구

Research on Performance Enhancement of Error Resilience in H.264/AVC using Multiple Reference Frames

2014년 2월 25일

조선대학교 대학원

정보통신공학과

강 희 선

다수 참조 프레임 기반의 H.264/AVC 에러 리질리언스 성능 개선 연구

지도교수 변 재 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2013년 10월

조선대학교 대학원

정보통신공학과

강 희 선

강희선의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한 승 조 印

위 원 조선대학교 교수 변 재 영 印

위 원 조선대학교 교수 권 구 락 印

2013년 11월

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

그 림 목 차 ····· ii
표 목 차 ····· iii
ABSTRACT ····· iv

Ⅰ. 서 론 ····· 1
A. 연구 배경 및 목적 ····· 1
B. 연구의 목표 ····· 2
C. 논문의 구성 ····· 3
Ⅱ. 영상 부호화 기법 ····· 4
A. 움직임 예측 부호화 ····· 4
B. 율-왜곡 최적화 (rate-distortion optimization) ····· 6
C. 랜덤 인트라 리프레쉬 ····· 7
Ⅲ. 제안하는 참조 선택 알고리즘 ····· 9
A. 제안하는 참조 선택 알고리즘 개요 ····· 9
B. 인트라 리프레쉬와 율-왜곡 비용 기반 참조 선택 기법 ····· 10
Ⅳ. 성능 비교 및 평가 ····· 13
A. 테스트 환경 ····· 13
1. 테스트 환경 및 시나리오 ····· 13
2. 데이터 측정 및 비교방법 ····· 14
B. 실험 결과 및 성능 평가 ····· 15
1. 실험 영상의 품질 비교 ····· 15
2. 제안 기법의 트레이드오프 ····· 31
Ⅴ. 결론 및 향후 연구과제 ····· 32
참고문헌 ····· 33

그 림 목 차

그림1. 에러의 확산이 주변 영상에 미치는 영향 ····· 5
그림2. 참조 프레임 수가 에러에 의한 영상의 품질 변화에 미치는 영향 ····· 8
그림3. 제안하는 참조 매크로블록 선택 알고리즘 ····· 10
그림4. 제안된 참조 매크로블록 선택 알고리즘의 갱신율 계산 방법 ····· 11
그림5. RIR 3, PLR 5%에서 Akiyo 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 15
그림6. RIR 6, PLR 5%에서 Akiyo 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 16
그림7. RIR 9, PLR 5%에서 Akiyo 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 16
그림8. RIR 3, PLR 5%에서 Football 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 17
그림9. RIR 6, PLR 5%에서 Football 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 17
그림10. RIR 9, PLR 5%에서 Football 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 18
그림11. RIR 3, PLR 5%에서 Stefan 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 18
그림12. RIR 6, PLR 5%에서 Stefan 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 19
그림13. RIR 9, PLR 5%에서 Stefan 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 19
그림14. RIR 3, PLR 5%에서 Table tennis 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 20
그림15. RIR 6, PLR 5%에서 Table tennis 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 20
그림16. RIR 9, PLR 5%에서 Table tennis 영상의 프레임별 PSNR 비교 ····· 21
그림17. Akiyo 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3 ····· 22
그림18. Akiyo 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6 ····· 22
그림19. Akiyo 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9 ····· 23
그림20. Football 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3 ····· 23
그림21. Football 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6 ····· 24
그림22. Football 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9 ····· 24
그림23. Stefan 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3 ····· 25
그림24. Stefan 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6 ····· 25
그림25. Stefan 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9 ····· 26
그림26. Table tennis 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3 ····· 26
그림27. Table tennis 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6 ····· 27
그림28. Table tennis 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9 ····· 27
그림29. 에러가 포함된 영상의 복원 결과 비교 ····· 30

표 목 차

표 1. 테스트 영상 ····· 13
표 2. 부호화기 매개변수 ····· 14
표 3. Akiyo 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교 ····· 28
표 4. Football 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교 ····· 28
표 5. Stefan 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교 ····· 29
표 6. Table tennis 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교 ····· 29
표 7. 제안 알고리즘의 추가 부호화 비트량 비교 ····· 31

ABSTRACT

Research on Performance Enhancement of Error Resilience H.264/AVC using Multiple Reference Frames

Gang Hui-Seon
Advisor : Prof. Pyun, Jae-Young, Ph.D.
Department of Information Communication Engineering,
Graduate School of Chosun University

H.264/AVC is a video coding standard widely used in many multimedia services because of its higher coding efficiency and various application possibilities. In order to increase the compression rate, H.264/AVC standard encodes video data by the motion estimation using multiple reference frames and decides the optimal encoding mode by Rate-Distortion Optimization (RDO).

Basically, motion estimation using multiple reference frames can reduce more redundancy in a video data than single reference frame. However, when multiple reference frames are used for the motion estimation, the error can propagate into adjacent frames if error occurs in a frame.

In this paper, analysis of error resilience algorithms with respect to the multiple reference frames is shown and a new error resilience algorithm that is more robust to errors is introduced. The experimental results illustrate that the proposed error resilience algorithm improves efficiency by choosing blocks satisfying both coding efficiency and error robustness at the cost of bit rate overhead.

I. 서 론

A. 연구 배경 및 목적

오늘날 3G, 4G로 명명되는 이동통신 서비스의 확산과 모바일 프로세서의 발전으로 인한 고성능 단말기의 보급으로 인해 소비자들은 시간과 장소의 제약 없이 방송, 영화, 영상통화, UCC 컨텐츠와 같은 멀티미디어 서비스를 이용할 수 있게 되었다. 이러한 추세에 따라 소비자들은 멀티미디어 서비스를 이용하는 것에서 그치지 않고 기존보다 높은 품질의 멀티미디어 서비스를 이용하기를 원하고 있다.

움직이는 영상의 전송은 멀티미디어 서비스 중에서 가장 높은 비용을 요구한다. 동영상은 정지영상, 문자 메시지, 오디오 신호와 같은 데이터에 비해 전송해야 할 데이터의 양이 매우 많기 때문이다. 때문에 제한된 대역폭을 이용하는 네트워크 환경에서 고품질의 영상을 전송하기 위해, 이동통신 서비스의 발전과 함께 영상 데이터를 효율적으로 압축하여 전송 데이터의 양을 크게 줄여주는 영상 압축 기술이 함께 발전해 왔다. H.264/AVC 영상 압축 표준은 ITU-T와 ISO/IEC JTC1의 두 표준화기구가 공동 비디오 팀을 결성하여 표준화를 진행해온 코덱으로, 이전의 압축 표준보다 높은 압축 효율을 가지기 때문에 오늘날 많은 멀티미디어 서비스에서 이용되고 있다 [1].

H.264/AVC 표준은 다수의 참조 프레임을 이용한 움직임 예측 부호화를 수행하며 [2], 영상의 왜곡도와 발생 비트량을 함께 고려하는 율-왜곡 최적화 [3] 기법을 통해 최적의 부호화 모드를 결정하여 영상을 부호화하므로 이전의 영상 압축 표준보다 높은 압축률을 갖는다 [4][5]. 하지만 움직임 예측을 통해 부호화된 영상의 경우 전송 과정에서 일부 데이터가 손실될 경우 손실된 영역을 참조하여 영상을 복호하게 될 주변 영상들로 에러가 확산되어 심각한 화질 열화가 발생한다는 문제점을 안고 있다 [6]. 즉 일부 영상 데이터에 에러가 발생할 경우 에러가 주변 프레임들에 영향을 미치게 되고, 결국 에러가 발생한 장면의 품질만 감소하는 것이 아니라 주변 장면들의 품질 또한 감소하게 되어 작은 에러가 영상의 품질에 큰 손실을 줄 수 있음을 의미한다. 이러한 현상을 완화시켜 다수의 참조 프레임을 사용하면서도 강한 에러 내성을 갖는, 즉 부호화 효율과 에러 내성을 함께 향상시킬 수 있는 방법을 찾고자 본 연구를 시작하였다.

B. 연구 목표

에러의 확산에 의한 심각한 화질 열화를 줄이기 위해 H.264/AVC 표준에서는 부호화기에서 선처리를 수행하는 에러 복원 기법과 복호기에서 후처리를 수행하는 에러 은닉 기법들을 포함하고 있다. H.264/AVC에 포함되어 있는 에러 복원 기법들로 플렉서블 매크로블록 오더링 (FMO), 잉여 슬라이스 삽입 (RSs), 랜덤 인트라 리프레쉬 (random intra refresh; RIR) 등이 있다. 이러한 기법들은 영상 데이터에 추가 정보를 삽입하거나 영상을 부호화하고 저장하는 순서를 임의로 변경하여 전송 과정에서 영상에 에러가 발생했을 때 에러를 분산시키거나 추가 정보로부터 영상의 복원을 돕는 방식으로 화질 열화를 완화시킨다 [5].

H.264/AVC 표준에 정의되어 있는 에러 복원 기법들을 이용하여 영상을 부호화할 경우 영상의 부호화 모드의 변경과 추가되는 정보에 따라 에러 내성은 증가하는 반면 부호화에 요구되는 비트량이 증가하여 부호화 효율은 상대적으로 낮아지게 된다. 하지만 에러 복원 기법을 사용하더라도 모든 상황에서 에러 복원 기법에 의해 발생하는 추가 비트량 만큼 에러 내성이 증가하지는 않는다. 움직임 예측에 사용되는 참조 프레임의 수가 증가하게 되면 영상에 에러가 발생할 경우 해당 에러가 주변 영상에 미치는 영향 또한 함께 커지게 되어 에러 확산 현상이 심화되며, 에러 확산 현상이 심화될수록 에러 복원 기법의 성능이 저하된다는 문제점이 있다. [7][8]에서는 다중 참조 프레임을 사용하는 환경에서 랜덤 인트라 리프레쉬를 함께 사용하더라도 전송 에러에 의한 영상의 화질 열화를 효율적으로 억제해 주지 못함을 보이고 있다.

본 논문에서는 움직임 예측에 다수의 참조 프레임을 사용하면서 기존의 에러 복원 기법인 랜덤 인트라 리프레쉬의 성능을 향상시켜 부호화 효율과 에러 내성을 동시에 갖는 부호화 알고리즘을 제안하고자 한다. 따라서 제안하는 부호화 알고리즘은 에러 복원 기법인 랜덤 인트라 리프레쉬 기법을 이용하며, 기존의 율-왜곡 최적화와 랜덤 인트라 리프레쉬를 동시에 고려하여 최적의 참조 영상을 선택하게 한다. 부호화 효율과 에러 내성을 동시에 고려하여 참조 영상을 선택함으로써 다수 참조 프레임을 사용하고 있는 환경에서도 성능 향상을 기대할 수 있다. 제안된 부호화 알고리즘은 Intra-refresh and Cost based Reference Selection (ICRS) 알고리즘이라 명명한다.

C. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 H.264/AVC에 정의되어 있는 영상 부호화 기법들에 대해 기술하고, 기존의 부호화 기법들이 가지는 문제점과 이를 완화시키기 위한 기존 에러 복원 기법들에 대해 살펴본다. 제3장에서는 본 논문에서 제안된 참조 선택 알고리즘에 대하여 기술하고, 제4장에서는 테스트를 통해 성능 비교 결과를 각 영상의 PSNR 그래프를 이용하여 나타낸 뒤, 제안 알고리즘의 전반적인 성능을 검증한다. 이후 제안 기법이 갖는 트레이드오프에 대해 분석하고, 마지막으로 제5장에서 결론을 맺는다.

II. 영상 부호화 기법

A. 움직임 예측 부호화

영상 압축 기술들은 움직이는 영상 데이터에 존재하는 중복을 제거하여 영상을 압축한다. 영상에 존재하는 중복으로 크게 시간적 중복, 공간적 중복, 통계적 중복이 존재하는데, 이중 가장 큰 비중을 차지하는 부분이 시간적 중복이다. 움직이는 영상의 경우 인접한 장면들 사이에서 유사한 영상들이 연속적으로 나타나는 경우가 많기 때문이다. 한 예로 특정 사물이 움직이고 있는 영상의 경우 움직이고 있는 사물을 제외한 배경 요소들은 변화 없이 연속적으로 나타날 확률이 높다. 영상 압축 기술들은 이 점을 이용하여 특정 영상을 부호화하고자 할 때 인접한 장면에서 유사한 부분을 탐색하여 영상의 움직임 벡터를 저장하고, 영상을 복원할 때 움직임 벡터에 의해 주변 영상을 참조하여 영상을 복원하는 방식으로 시간적 중복을 제거하여 영상 데이터를 크게 압축한다.

H.264/AVC 영상 압축 표준은 보다 효율적으로 영상을 부호화하기 위해 다수의 참조 프레임을 이용하여 움직임 예측을 수행한다. 시간 t의 프레임 F_t를 부호화할 때, 이전 프레임 F_{t-1}뿐만 아니라 F_{t-1}에서 F_{t-n}사이의 프레임들로부터 유사한 영상을 탐색하기 때문에 최적의 참조 영상이 이전 장면에서는 특정 물체에 의해 가려져 있거나 화면 전체의 움직임에 의해 나타나지 않는 경우에도 다른 영상으로부터 최적의 참조 영상을 찾을 수 있기 때문에 영상을 효율적으로 압축할 수가 있다[9]. 따라서 움직임 예측 시에 사용되는 참조 프레임의 수가 증가할수록 부호화 효율은 증가하지만 영상의 탐색 범위가 증가하기 때문에 부호화기의 연산량은 증가하게 된다.

움직임 예측 부호화는 영상 데이터에 존재하는 중복을 효율적으로 제거하여 영상 데이터의 양을 크게 줄여주기 때문에 오늘날 영상 압축 표준의 핵심 기술로 사용되고 있다. 특히 제한된 대역폭으로 고품질의 영상을 전송해야 하는 네트워크 환경에서 압축률은 매우 중요하기 때문에 오늘날 다수의 참조 프레임을 이용한 움직임 예측 부호화로 높은 압축률을 갖는 H.264/AVC 표준이 여러 멀티미디어 서비스에서 이용되고 있다. 하지만 무선과 같은 에러에 취약한 환경에서 영상 전송 중 패킷 손실로 인해 일부 데이터가 손실될 경우, 손실된 영상을 참조하여 영상을 복원하게 될 인접 영상들까지 에러에 의한 영향을 받게 되는 에러 확산 현상을 초래한다. 즉, 움직임 예측에 의해

부호화된 영상은 인접한 장면 내 유사한 영상을 참조하여 영상을 복원하므로 참조 영상이 손실되어 버린 경우 영상을 올바르게 복원할 수 없게 된다. 따라서 움직임 예측에 사용된 참조 프레임의 수가 증가할수록 에러가 주변 영상들에 영향을 미치는 범위가 커지게 되므로 에러의 확산 또한 커지게 된다 [7].

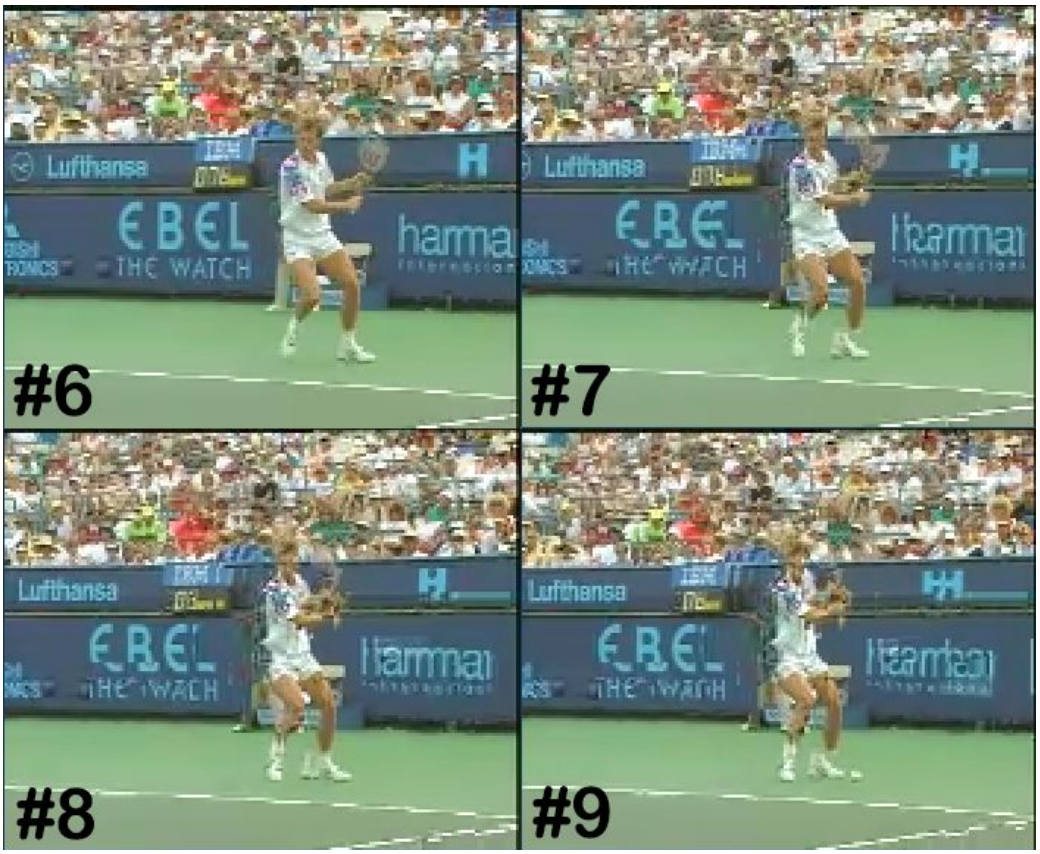

그림 1. 에러의 확산이 주변 영상에 미치는 영향

그림 1은 에러의 확산이 주변 영상의 품질에 영향을 미치는 것을 시각적으로 보여주고 있다. 첫 번째 영상은 손실이 발생하기 전의 6번 장면이고, 6번 장면에 손실이 발생했을 때 7번은 물론 이후의 8, 9번 장면 또한 에러의 확산에 의해 심각한 화질 열화가 발생했음을 알 수 있다. 이처럼 다수의 참조 프레임을 사용하는 움직임 예측 부호화는 특정 영상에 손실이 발생할 경우 에러의 확산을 초래하여 인접한 장면들의 복원에도 영향을 미치게 된다.

B. 율-왜곡 최적화 (rate-distortion optimization)

H.264/AVC 표준은 부호화단위인 매크로블록을 효율적으로 부호화하기 위해 가변 블록 모드를 사용한다. 인터 모드 예측 부호화를 위해 16x16, 16x8, 8x16, 8x8 크기의 매크로블록 모드를 사용하며 8x8 매크로블록 모드의 경우 다시 8x4, 4x8, 4x4 크기의 서브 매크로블록 모드로 나누어 사용하고 있다. H.264/AVC 부호화기는 율-왜곡 최적화를 통해 영상의 왜곡도와 발생 비트량을 함께 고려하여 최적의 모드를 결정하여 영상을 부호화하므로 이전의 영상 압축 표준보다 높은 부호화 효율을 갖는다 [10].

H.264/AVC 부호화기는 움직임 예측 단계에서 각 모드별로 각각 움직임 예측을 수행하여 후보 움직임 벡터를 얻는다. 인터 모드 예측에서 각 모드별 최적의 참조 매크로블록을 결정하기 위해 부호화기는 라그랑주 계수를 이용한 J_{motion} 함수를 사용한다.

$$J_{motion} = SAD(s, r(MV, REF)) + \lambda_{motion} \bullet R(MV, REF) \tag{1}$$

$$SAD = \sum_{x \in H, y \in V}^{H, V} |s(x,y) - r(x - m_x, y - m_y)| \tag{2}$$

식 (1)은 비용 함수 J_{motion}을 나타내며, SAD (sum of absolute difference)는 부호화하고자 하는 블록과 후보 참조 블록과의 차이의 절대 값의 합을 의미한다. λ_{motion}은 라그랑주 계수로 양자화 계수에 의존하는 값을 가진다. $R(MV,REF)$은 움직임 벡터를 적용한 참조 영상의 부호화에 필요한 비트수로, 미리 정의한 표를 참조하여 얻어진다. 식 (2)는 SAD 값을 구하는 함수를 나타내며, 여기서 s와 r은 각각 부호화하고자 하는 블록과 후보 참조 블록을 나타낸다. H와 V는 가변 블록의 넓이와 높이이며 m_x와 m_y는 움직임 벡터이다. 각 매크로블록 모드별 움직임 벡터가 결정되면 다음의 비용 함수 J_{mode}를 이용하여 이들 중 최적의 매크로블록 모드를 결정하게 된다 [11].

$$J_{\mathrm{mode}} = SSD(s, r, M) + \lambda_{\mathrm{mode}} \bullet R(s, r, M) \tag{3}$$

$$SSD = \sum_{x \in H, y \in V}^{H, V} (s(x,y) - r(x - m_x, y - m_y))^2 \tag{4}$$

여기서 M은 매크로블록 모드, R은 M에 해당하는 모드로 부호화할 때 발생하는 비트수를 나타내며 부호화기는 실제 부호화 과정을 통해 이 값을 얻게 된다. SSD (sum of square difference)는 부호화하고자 하는 블록과 후보 참조 블록의 차이의 제곱의 합을 의미한다. 식 (1)과 (3)에서, SAD와 SSD는 모두 영상의 왜곡을 나타내며, R은 비트율을 나타낸다. 식 (4)는 SSD 값을 구하는 함수로, 부호화하고자 하는 영상과 복호된 후보 참조 블록의 차이에 대한 제곱의 합을 나타낸다.

C. 랜덤 인트라 리프레쉬

H.264/AVC 표준에서는 영상 데이터가 전송 과정에서 발생하는 패킷 손실과 같은 에러에 의한 영상의 심각한 화질 열화를 방지하기 위해 부호화기에서 에러 복원 기법을 사용하고 있다 [12]. 랜덤 인트라 리프레쉬는 H.264/AVC 표준에 정의되어 있는 에러 복원 기법으로, 부호화할 영상의 일부 매크로블록들의 부호화 모드를 강제로 인트라 모드로 변경하여 영상이 독립적으로 부호화되도록 하는 방법이다 [13]. 이렇게 부호화된 매크로블록들은 영상을 복호할 때 주변 영상에 손실이 발생해도 독립적으로 복호되기 때문에 에러 확산에 의한 영향을 받지 않게 되어 에러 내성이 증가하게 되지만, 매크로블록이 높은 부호화 효율을 갖는 인터 모드가 아닌 인트라 모드로 부호화되기 때문에 그만큼 발생 비트량이 증가하여 부호화 효율이 상대적으로 낮아지게 된다.

인트라 리프레쉬 매크로블록의 수는 부호화기의 입력 설정 값에 의해 결정되며 위치는 부호화기 내에서 난수 함수를 이용하여 임의의 위치에 할당된다. 부호화기는 인트라 리프레쉬 매크로블록의 수와 난수 함수에 의해 결정되는 임의의 주기와 패턴을 가지며, 한 주기 내에서는 서로 중복되지 않는 임의의 위치를 가진다. 따라서 인트라 리프레쉬 매크로블록의 수가 커질수록 주기는 짧아지며, 영상에 손실이 발생해도 인트라 리프레쉬의 한 주기가 지나면 하나의 장면에 해당하는 만큼의 인트라 매크로블록들에 의해 영상이 온전하게 복원이 가능해진다.

인트라 리프레쉬는 인트라 모드로 부호화하는 매크로블록의 수가 늘어나는 만큼 부호화 효율을 희생하지만, 에러 복원능력은 에러가 영향을 미치는 범위에 의한 영향을 받는다. 즉, 움직임 예측에 다수의 참조 프레임을 사용할 경우 에러가 영향을 미치는 범위가 참조 프레임 수만큼 커지는 에러 확산을 초래하여 에러 복원능력의 향상이 잘 이루어지지 않게 된다는 문제가 있다. 시간 t의 프레임 F_t에서 손실이 발생할 경우, 이

후 프레임 F_{t+1}에서 일부 영역이 정상적으로 복원되었다 하더라도 그 이후의 프레임 F_{t+2}부터 F_{t+n}사이의 영상에서 프레임 F_t의 손실된 영역을 다시 참조하여 영상을 복호하면서 에러가 다시 전파될 가능성이 있기 때문이다.

그림 2. 참조 프레임 수가 에러에 의한 영상의 품질 변화에 미치는 영향

그림 2는 영상에 손실이 발생했을 때 참조 프레임 수의 증가가 에러 복원능력에 미치는 영향을 시각적으로 보이고 있다. 테스트 영상의 70번 장면에 손실이 발생하였고 인트라 리프레쉬가 9프레임의 주기를 가질 때, 매 주기가 지날 때마다의 복원 영상을 나타내었다. 그림을 통해 움직임 예측에 참조 프레임을 7개를 사용할 때 참조 프레임을 하나만 사용할 때 보다 영상의 복원이 더 늦게 이루어지는 것을 볼 수 있었다. [7][8]에서는 실험 결과를 통해 이와 같은 현상을 입증하고 있다.

III. 제안하는 참조 선택 알고리즘

A. 제안하는 참조 선택 알고리즘 개요

본 장에서는 다수의 참조 프레임을 사용하면서 확산 에러에 의한 화질 열화를 줄여 부호화 효율과 에러 내성을 동시에 갖는 새로운 참조 영상 선택 알고리즘을 소개한다. 움직임 예측 부호화 과정에서 H.264/AVC 표준 부호화기는 비트율과 왜곡도라는 변수를 이용하여 최적의 참조 매크로블록 및 부호화 모드를 결정하도록 하고 있다. 이 두 변수의 합이 최소가 되는 참조 매크로블록이 부호화 효율 측면에서 가장 적합하기 때문이다. 하지만 참조 영상에 손실이 발생할 경우 에러에 직접적인 영향을 받게 된다.

기존 연구 [8]에서는 인트라 모드로 부호화된 매크로블록의 위치와 움직임 예측에 의해 결정된 후보 참조 매크로블록의 위치를 비교하여 두 매크로블록이 공간상에서 중복되는 정도를 갱신율 (refresh ratio; RR)이라는 변수로 정의하고, 다수 참조 프레임을 사용하는 환경에서 갱신율을 고려하여 참조 매크로블록을 결정하고 부호화한 영상의 에러 복원능력을 기존 부호화기와 비교하여 성능을 입증하였다. 이를 통해 갱신율이 높은 참조 매크로블록은 에러 내성 측면에서 보다 나은 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만 높은 갱신율과 함께 높은 비트율, 왜곡도 값을 갖는 참조 매크로블록의 경우 원 영상과 참조 영상간의 변화량이 매우 크기 때문에 부호화 효율이 더 많이 희생되며, 참조 영상이 부분적으로 정상 복원된 영상일 경우 영상에 왜곡을 초래할 수 있어 부호화 효율과 에러 내성 모두에 좋지 않은 영향을 줄 수 있다 [14].

본 논문에서는 기존의 H.264/AVC 부호화기에서 부호화 효율을 위해 고려하는 비트율-왜곡도와 기존 연구 [8]에서 에러 복원능력 향상을 위해 사용한 갱신율을 함께 고려하여 부호화 효율과 에러 내성을 동시에 갖는 참조 선택 알고리즘이 제안되었다. 움직임 예측 과정에서 각각의 후보 참조 매크로블록들의 갱신율을 계산하는 과정을 추가하고, 최적의 참조 매크로블록을 선택하는 과정에서 높은 갱신율을 갖는 매크로블록들을 찾고 이들 중에서 낮은 비트율-왜곡도를 갖는 후보 매크로블록을 최적의 참조 매크로블록으로 선택하게 한다. 이와 같은 과정을 거쳐 선택된 매크로블록들을 부호화하면 부호화 효율과 에러 내성 측면에서 더 나은 특성을 갖게 될 것이다.

B. 인트라 리프레쉬와 율-왜곡 비용 기반 참조 선택 기법

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 목적은 움직임 예측에 다수 참조 프레임을 사용하면서도 율-왜곡 최적화를 통해 탐색된 각각의 참조 프레임과 부호화 모드별 후보 참조 매크로블록들 중에서 보다 나은 에러 복원능력을 갖는 매크로블록을 선택하여 부호화하도록 함으로써 부호화 효율과 에러 내성을 갖는 영상을 부호화하는데 있다. 보다 나은 에러 복원능력을 갖는 참조 매크로블록을 찾기 위해, 제안 알고리즘은 움직임 예측 과정에서 탐색된 움직임 벡터를 적용한 후보 참조 매크로블록의 갱신율을 계산하며, 갱신율과 비트율-왜곡도를 함께 고려하여 최적의 참조 매크로블록을 결정한다.

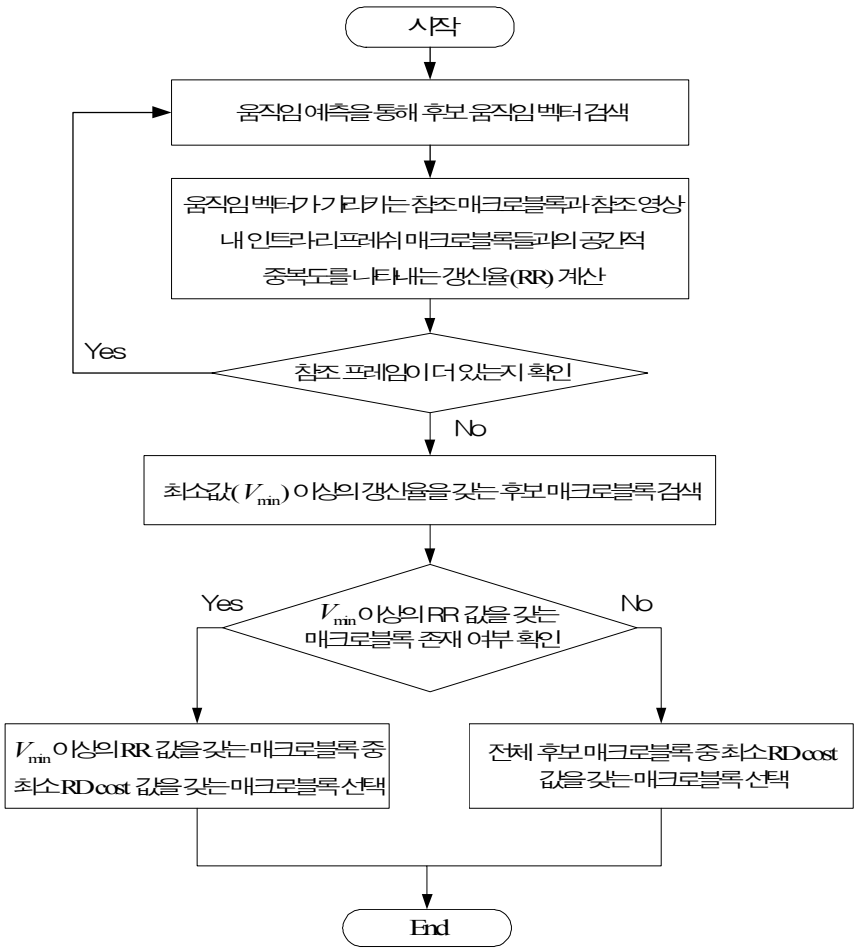

그림 3. 제안하는 참조 매크로블록 선택 알고리즘

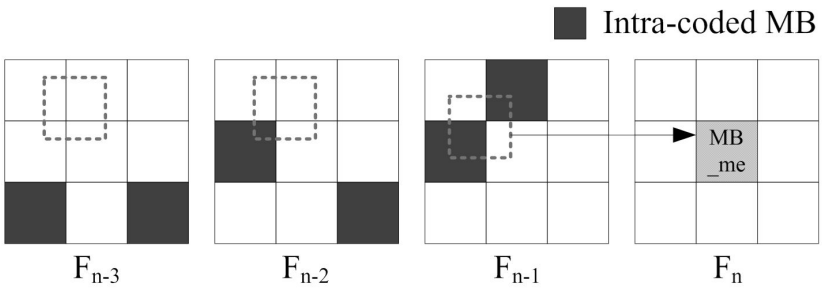

그림 4. 제안된 참조 매크로블록 선택 알고리즘의 갱신율 계산 방법

그림 3은 제안 알고리즘이 최적의 참조 매크로블록을 결정하는 과정을 나타내고 있다. 제안 알고리즘은 율-왜곡 비용 함수를 이용하여 각각의 참조 프레임별 후보 움직임 벡터를 탐색하는 과정, 후보 움직임 벡터들의 갱신율을 계산하는 과정, 그리고 율-왜곡 비용과 갱신율을 함께 고려하여 최적의 움직임 벡터를 결정하는 과정으로 이루어져 있다. 우선 기존의 H.264/AVC 부호화기의 율-왜곡 최적화 과정을 통해 참조 프레임마다 움직임 예측을 수행한다. 움직임 예측을 통해 검색된 움직임 벡터를 이용하여 후보 참조 매크로블록의 위치를 얻은 다음 참조 프레임 내 인트라 모드로 부호화된 매크로블록들의 위치와 비교하여 중복되는 정도를 계산한다. 그림 4는 제안 알고리즘이 참조 프레임별 후보 매크로블록의 갱신율을 계산하는 과정을 시각적으로 나타내고 있다. 그림 4에서 점선으로 표시된 영역은 참조 프레임별 움직임 벡터가 가리키는 참조 매크로블록의 위치를 가리키며, 참조 매크로블록의 영역 내에서 인트라 모드로 부호화된 매크로블록과 중복되는 영역 내의 픽셀 수에 매크로블록의 전체 픽셀 수를 나누어 0과 1사이의 값을 갖는 백분율 값으로 갱신율 값을 얻는다. 이렇게 얻어진 갱신율은 참조 매크로블록과 인트라 모드로 부호화된 매크로블록이 공간상에서 중복된 정도를 나타내기 때문에 높은 값을 가질수록 에러 복원능력이 향상된다. 참조 프레임별 움직임 벡터와 갱신율을 모두 계산한 다음 비트율-왜곡도와 갱신율을 비교하여 최적의 참조 매크로블록을 선택하게 된다.

인트라 매크로블록의 수는 전체 매크로블록의 수의 일부로 그 수가 많지 않기 때문에 갱신율 값이 뚜렷하게 나타나는 매크로블록 또한 전체 매크로블록 중 일부에서만 발생하게 된다. 또한 움직임 벡터를 얻는 과정은 기본적으로 참조 프레임 내에서 가장 유사한 참조 영역을 탐색한 결과로 나오는 것이기 때문에 인트라 영역과의 중복이 크게 나타날 수도 있는 반면 작은 일부에서만 발생할 가능성이 있다. 참조 매크로블록을

선택하는 과정에서 모든 후보 매크로블록들이 모두 낮은 갱신율을 가질 경우, 갱신율만을 고려하여 선택하게 되면 참조 매크로블록이 낮은 갱신율과 높은 율-왜곡 비용을 갖는 매크로블록이 선택될 가능성이 있다. 높은 율-왜곡 비용은 원 영상과 참조 영상과의 변화량과 부호화에 소요되는 비트량이 높다는 것을 의미한다. 따라서 요구 비트량에 의해 부호화 효율이 저하되며, 영상의 변화가 크기 때문에 복호되는 과정에서 많은 왜곡이 발생하여 품질 향상에 도움이 되지 않는다는 문제가 있다 [14]. 갱신율과 율-왜곡 비용 사이에서 최적의 범위를 결정하는 것은 영상에서 발생하는 변화량과 전송 과정에서 발생하는 에러에 따라 달라질 수 있기 때문에, 제안 알고리즘에서는 율-왜곡 비용에 비해 너무 낮은 갱신율을 갖는 후보 매크로블록이 선택되지 않도록 참조 선택 과정에서 후보로 고려하는 갱신율의 최소 요구치를 나타내는 변수 $V_{\min}$을 추가하였다. 모든 참조 매크로블록마다 후보 매크로블록들 중에서 갱신율 값이 최소 요구치 $V_{\min}$ 보다 큰 매크로블록들을 검색하고, $V_{\min}$ 보다 큰 매크로블록들이 존재할 경우 이들 중에서 비트율-왜곡도가 가장 작은 것을 최적의 참조 매크로블록으로 선택한다. 모든 후보 매크로블록들에 뚜렷한 갱신율이 나타나지 않을 경우 기존과 동일하게 가장 작은 비트율-왜곡도 값을 갖는 것을 최적의 참조 매크로블록으로 선택하게 한다. 여기서 갱신율의 최소 요구치의 적정 값은 0.2(20%)를 기본 값으로 정의하였다. 해당 값을 너무 작게 설정할 경우 에러 복원능력 향상에 도움이 되지 않을 정도의 미비한 갱신율을 갖는 매크로블록이 선택되거나, 너무 높게 설정할 경우 적정수준의 갱신율 값을 갖는 매크로블록이 선택되지 않을 가능성이 있기 때문이다.

IV. 성능 비교 및 평가

A. 테스트 환경

1. 테스트 환경 및 시나리오

제안 알고리즘의 성능 비교 및 평가를 위해, 본 논문에서는 제안하는 인트라 리프레쉬와 율-왜곡 비용 기반 참조 선택 알고리즘 (intra-refresh and cost based reference selection; ICRS)과 율-왜곡 최적화를 사용하는 H.264/AVC 표준 부호화기 (rate-distortion based reference selection; RDRS)를 이용하여 동일한 테스트 영상들을 각각 부호화하고 동일한 환경에서의 테스트 결과를 그래프와 표를 이용하여 비교하였다. 표 1에 테스트에 사용된 영상들을 나타내었다.

표1. 테스트 영상

영상	Akiyo	Football	Stefan	Table tennis
프레임 수	300	260	300	150
움직임	느림	빠름	빠름	보통
장면 변화	없음	없음	없음	있음
해상도	QCIF (176 × 144)			

다양한 환경에서의 성능 향상 여부를 보기 위해, 각기 다른 특성을 갖는 영상들을 이용하여 테스트를 진행하였다. Akiyo 영상의 경우, 배경과 객체의 움직임 변화량이 매우 작은 특성을 지니며, Football과 Stefan 영상의 경우 배경과 객체 모두의 움직임이 빠르고 변화량이 매우 크며, Table tennis 영상의 경우 보통의 움직임 변화량을 갖는 반면 중간에 급격한 장면 변화가 발생한다. 본 논문에서는 테스트 영상들을 ICRS와 RDRS 두 알고리즘에 동일한 부호화 매개변수 값을 적용하여 부호화하였고, 테스트에 사용된 부호화 매개변수 값은 표 2에 나타내었다. 두 알고리즘의 부호화 설정 값은 동일하되, 제안 알고리즘의 경우 최적의 참조 매크로블록을 선택하는 과정에서 새로운 변수 $V_{\min}$이 추가되었고 이 값에 따라 성능이 다르게 나올 수 있기 때문에 설정 값으로 추가되었다. 이 값은 갱신율이 적정 값 범위 내에 있는지를 판단하기 위한 하한선

을 나타내며 갱신율이 계산 과정에서 0부터 1의 범위를 갖는 백분율로 계산되었기 때문에 기본값인 0.2는 20%를 의미한다. 즉 $V_{\min}$ 값이 0.2일 경우 20%이상의 갱신율을 갖는 후보 매크로블록들 중에서 낮은 율-왜곡 비용을 갖는 매크로블록이 최적의 참조 매크로블록으로 선택됨을 의미한다. 본 논문에서는 다양한 영상에서 참조 선택에 고려되는 갱신율의 범위를 달리하며 테스트를 진행하고자 설정 값을 20%, 35%, 50%의 세 구간으로 나누어 테스트를 진행하였다.

표2. 부호화기 매개변수

부호화기	RDRS	ICRS
프로파일 레벨	Baseline (66)	
GOP 구조	IPPP...	
참조 프레임 수	7	
인트라 리프레쉬 개수	3, 6, 9 MBs/frame	
비트율	VBR (QP=28)	
고속 탐색 모드	UMHexagon	
엔트로피 코딩 모드	CAVLC	
패킷화 구조	Real-time Protocol (RTP)	
참조 부호화기 버전	JM 17.2 [15]	
갱신율 최소 요구치 $V_{\min}$		0.2, 0.35, 0.5

2. 데이터 측정 및 비교 방법

제안 알고리즘의 에러 복원능력은 각각의 알고리즘을 이용하여 부호화된 영상들에 동일한 패킷 손실율과 손실 패턴을 적용한 다음, 손실된 영상들을 복호하여 결과 영상의 품질을 나타내는 PSNR 측정치를 이용하여 성능 평가를 진행하였다. 패킷 손실은 H.264/AVC 참조 소프트웨어의 RTP_loss 모델을 이용하여 적용하였고 [15], 손실 영상 복호 과정에서 에러 은닉 기법으로 Frame Copy 모드를 이용하였다. 패킷 손실율은 1%부터 10%까지 순차적으로 적용하였고 테스트 영상 각각의 PSNR 측정치는 그래프를 이용하여 시각적으로 나타낸 결과와 표를 이용하여 정량화된 수치로 나타낸 결과를 이용하여 비교할 수 있도록 진행하였다. 그리고 제안 기법의 부호화 과정에서 발생하는 추가 비트량은 표를 이용하여 각각의 알고리즘을 이용하여 부호화된 영상들의 크기를 비교하여 수치로 나타내었다.

B. 실험 결과 및 평가

1. 영상의 품질 비교

영상의 품질 비교는 다음과 같이 진행된다. 우선 일부 테스트 영상의 프레임 단위 PSNR 측정 결과를 그래프를 이용하여 손실 발생 이후에 각각의 알고리즘 간의 에러 복원능력의 차이를 시각적으로 나타낸다. 이후 모든 테스트 영상에 대한 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 측정 결과를 그래프를 통해 시각적으로 나타내고, 이어서 PSNR 측정 결과를 수치로 나타낸 표를 이용하여 정량적인 성능 차이를 확인한다. 그래프에 표시되는 PLR은 패킷 손실율 (Packet Loss Rate)을 의미하며, RIR은 랜덤 인트라 리프레쉬 (Random Intra-Refresh)의 설정 값으로, 강제적으로 인트라 모드로 부호화되는 매크로블록의 수를 의미한다.

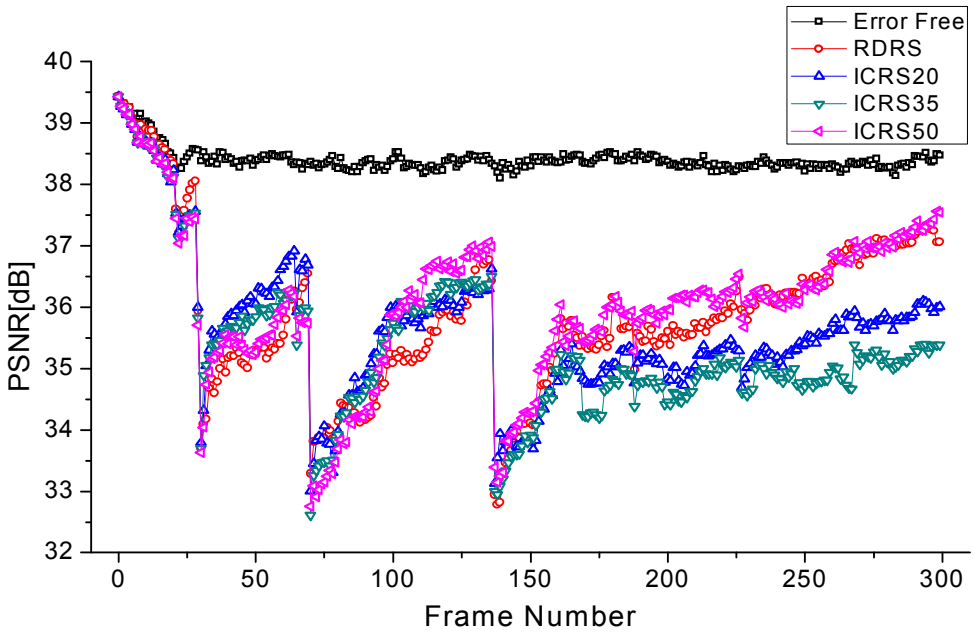

그림 5. RIR 3, PLR 5%에서 Akiyo 영상의 프레임별 PSNR 비교

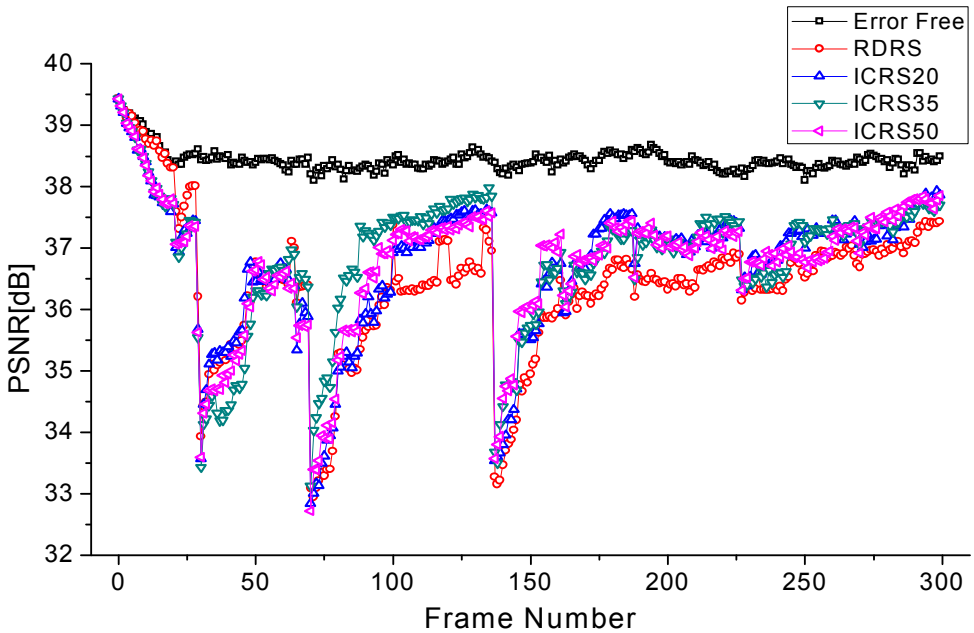

그림 6. RIR 6, PLR 5%에서 Akiyo 영상의 프레임별 PSNR 비교

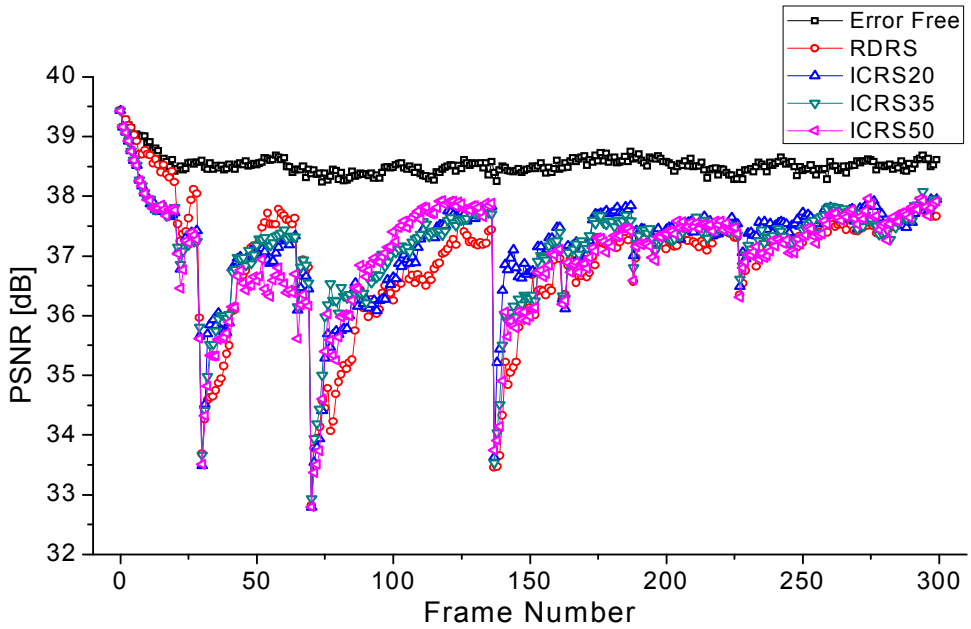

그림 7. RIR 9, PLR 5%에서 Akiyo 영상의 프레임별 PSNR 비교

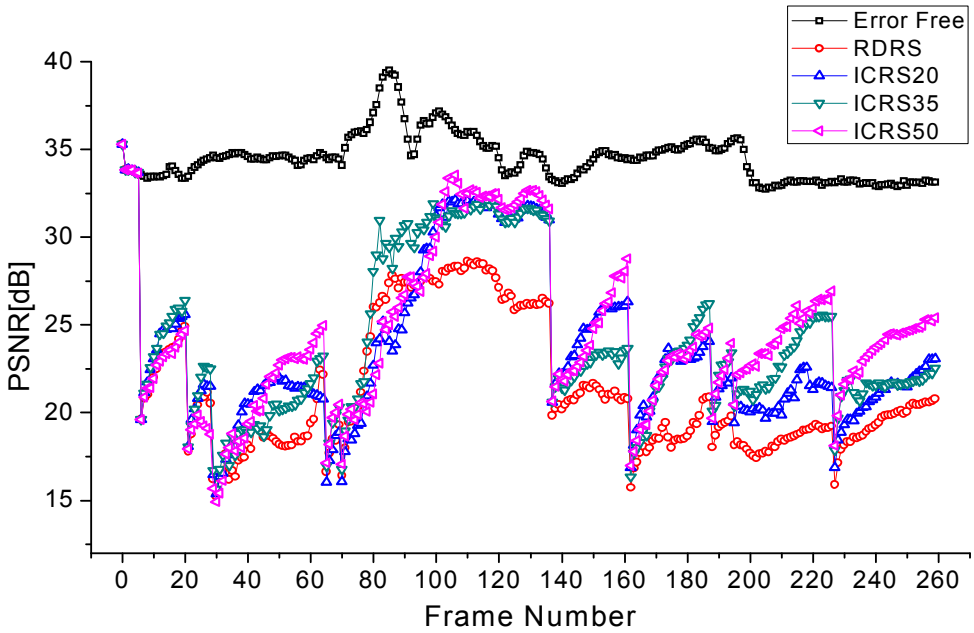

그림 8. RIR 3, PLR 5%에서 Football 영상의 프레임별 PSNR 비교

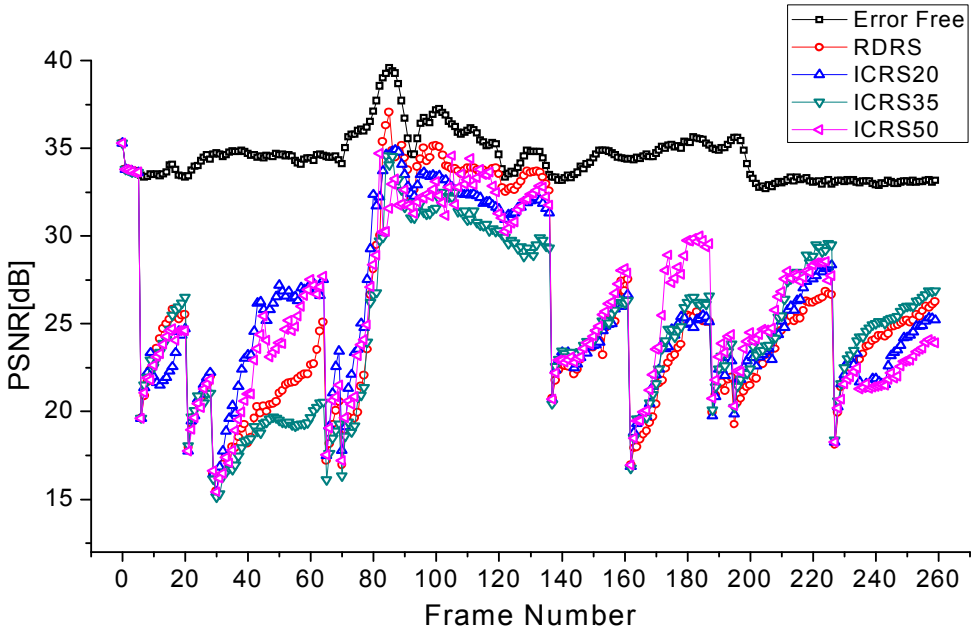

그림 9. RIR 6, PLR 5%에서 Football 영상의 프레임별 PSNR 비교

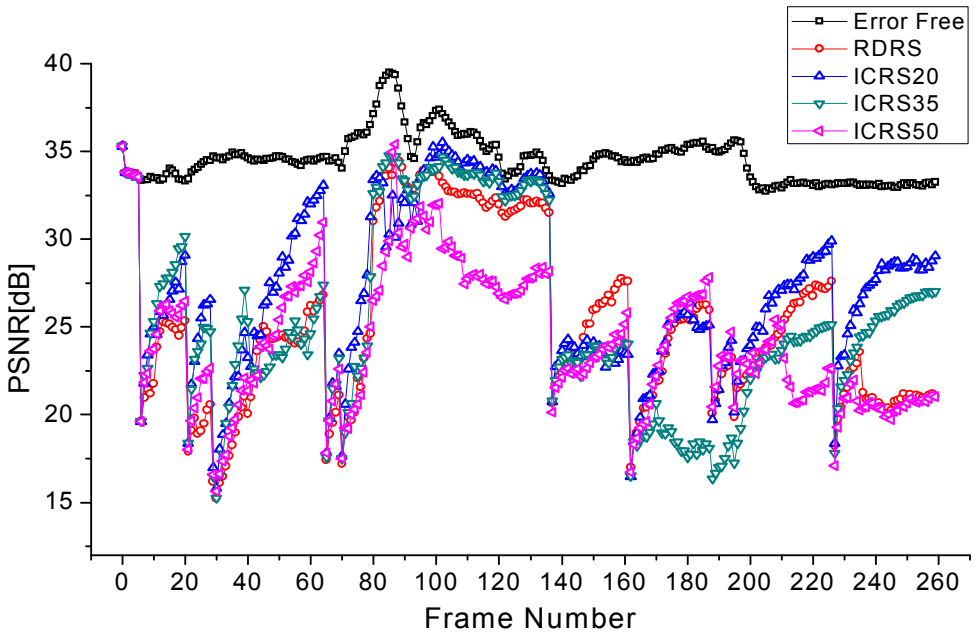

그림 10. RIR 9, PLR 5%에서 Football 영상의 프레임별 PSNR 비교

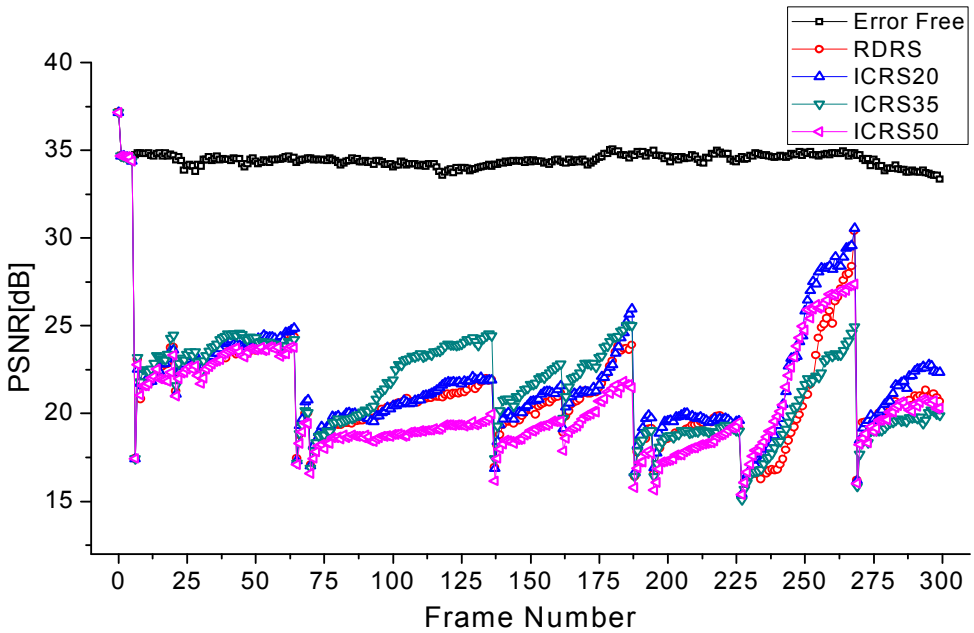

그림 11. RIR 3, PLR 5%에서 Stefan 영상의 프레임별 PSNR 비교

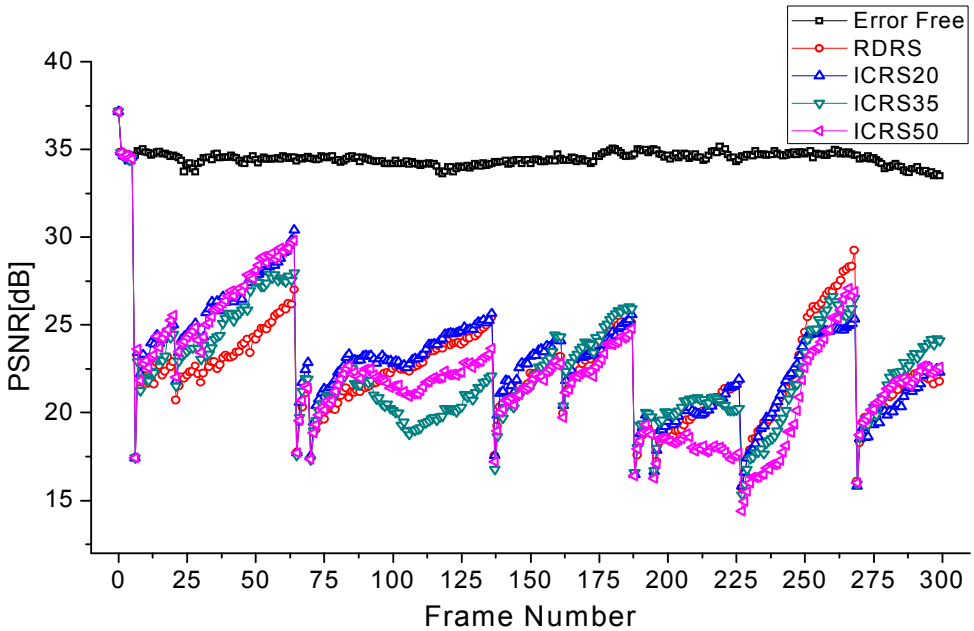

그림 12. RIR 6, PLR 5%에서 Stefan 영상의 프레임별 PSNR 비교

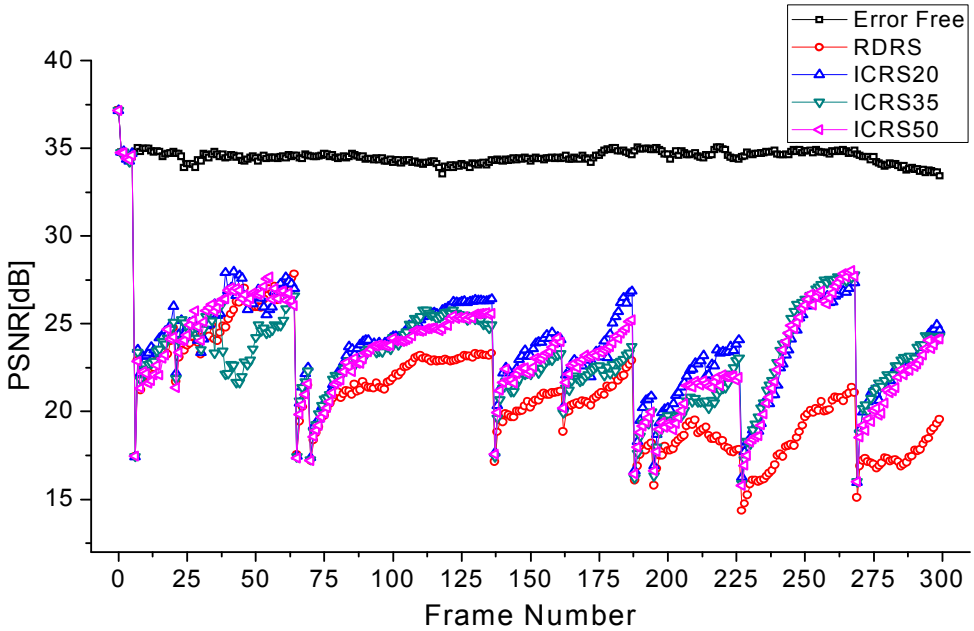

그림 13. RIR 9, PLR 5%에서 Stefan 영상의 프레임별 PSNR 비교

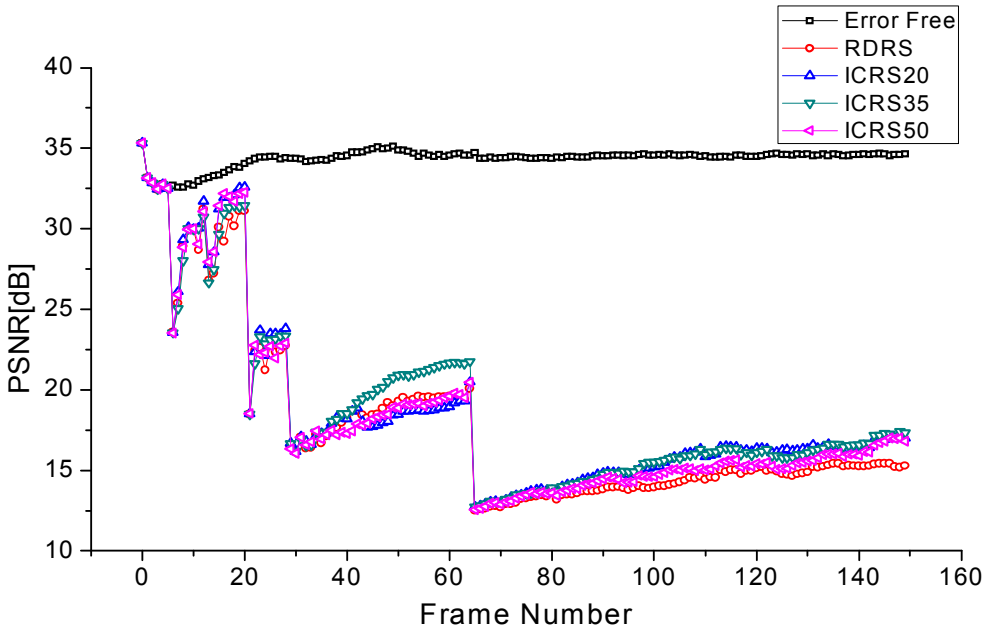

그림 14. RIR 3, PLR 5%에서 Table tennis 영상의 프레임별 PSNR 비교

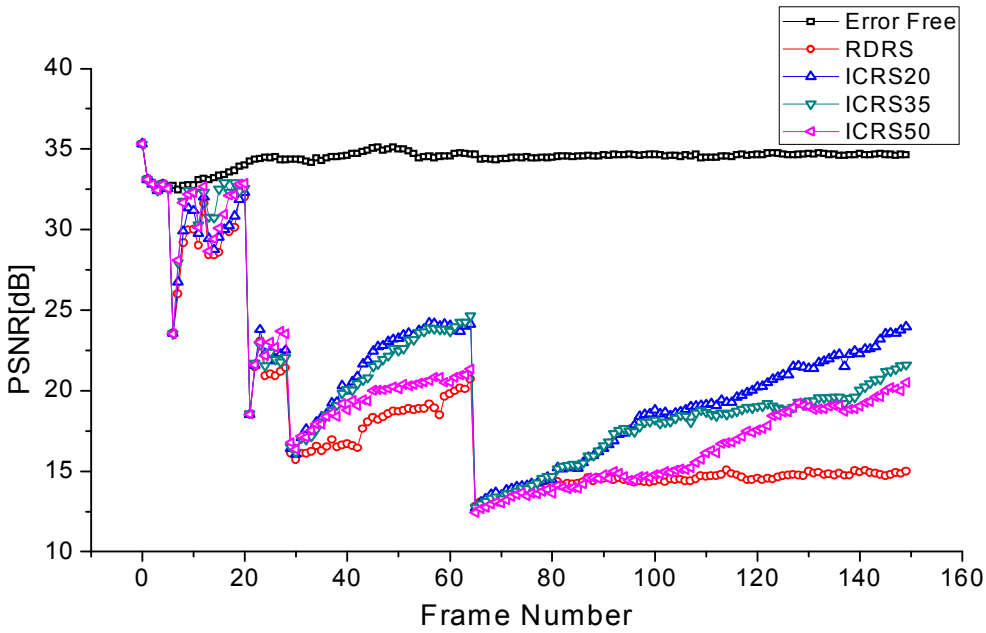

그림 15. RIR 6, PLR 5%에서 Table tennis 영상의 프레임별 PSNR 비교

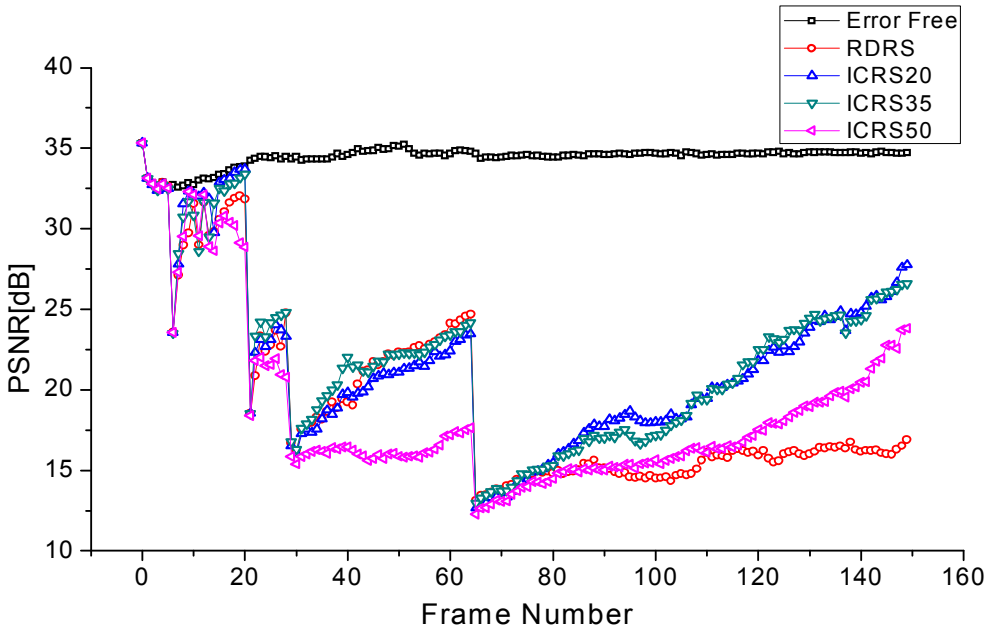

그림 16. RIR 9, PLR 5%에서 Table tennis 영상의 프레임별 PSNR 비교

그림 5부터 그림 16까지의 그래프는 동일한 패킷 손실율에서 RIR 개수를 달리하여 측정한 프레임별 PSNR 측정 결과를 보여주고 있다. 전반적으로 RIR 개수가 증가할수록 대부분의 환경에서 PSNR 값이 증가하였으나, 갱신율의 최소 요구치인 $V_{\min}$을 0.2(20%)로 설정한 제안 알고리즘으로 부호화한 영상이 손실 이후에 에러가 가장 빠르게 복원되는 것을 볼 수 있었고, $V_{\min}$값이 0.35(35%), 0.5(50%)로 증가할수록 성능 변화의 폭이 크게 나타나 성능이 향상되기도 하는 반면 일부에선 떨어지기도 하는 모습을 보였다. 특히, 장면 변화를 포함하고 있는 Table tennis 영상의 경우 장면 변화가 일어나는 부분에서 손실이 발생한 뒤로 RDRS 알고리즘은 영상의 복원이 거의 이루어지지 않는 반면, 제안 알고리즘은 지속적으로 영상의 복원이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

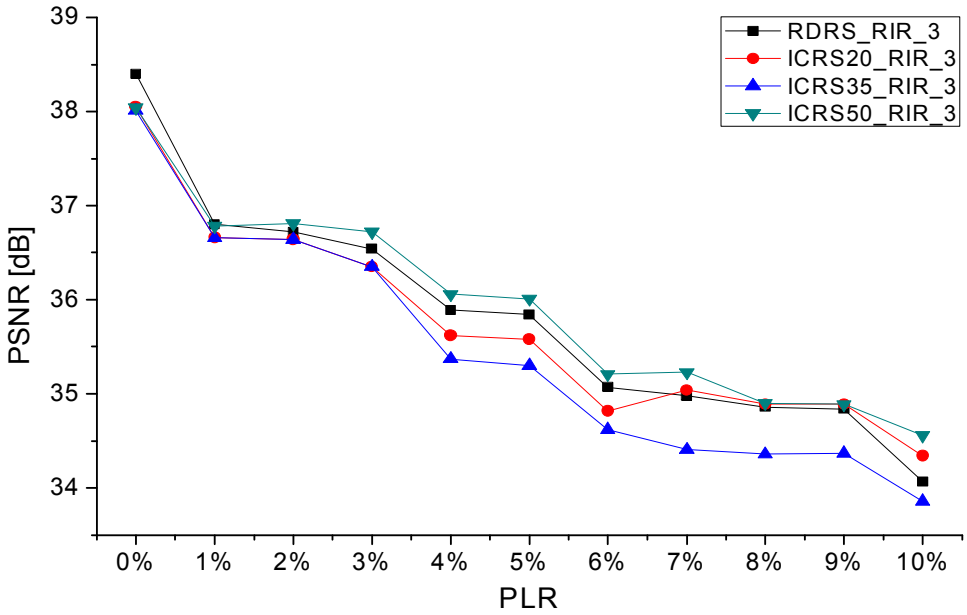

그림 17. Akiyo 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3

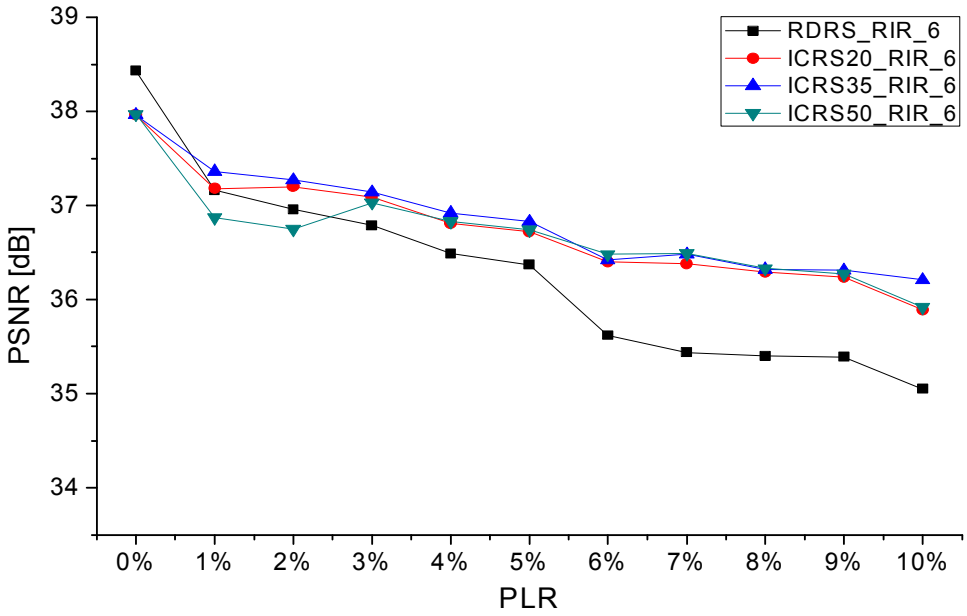

그림 18. Akiyo 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6

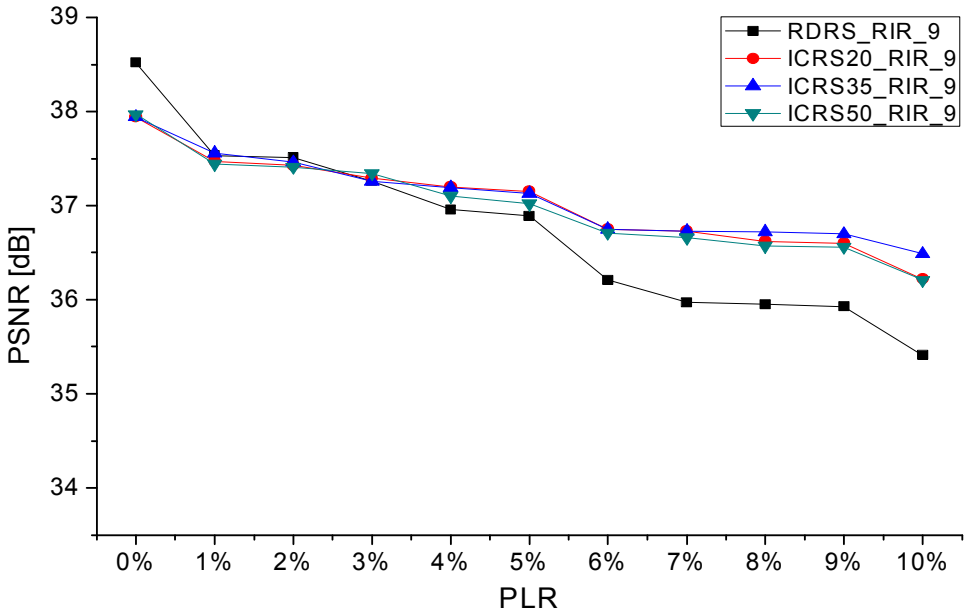

그림 19. Akiyo 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9

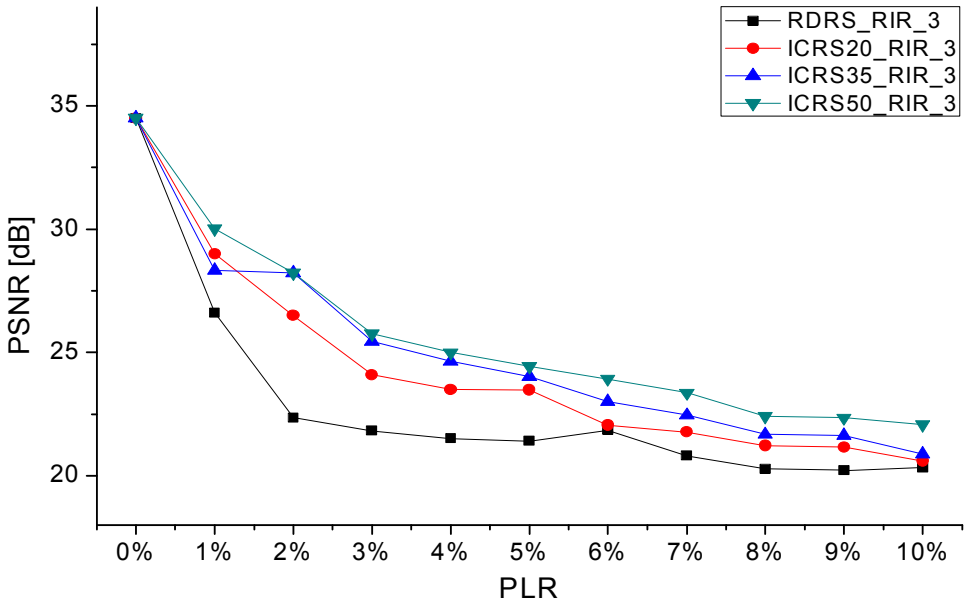

그림 20. Football 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3

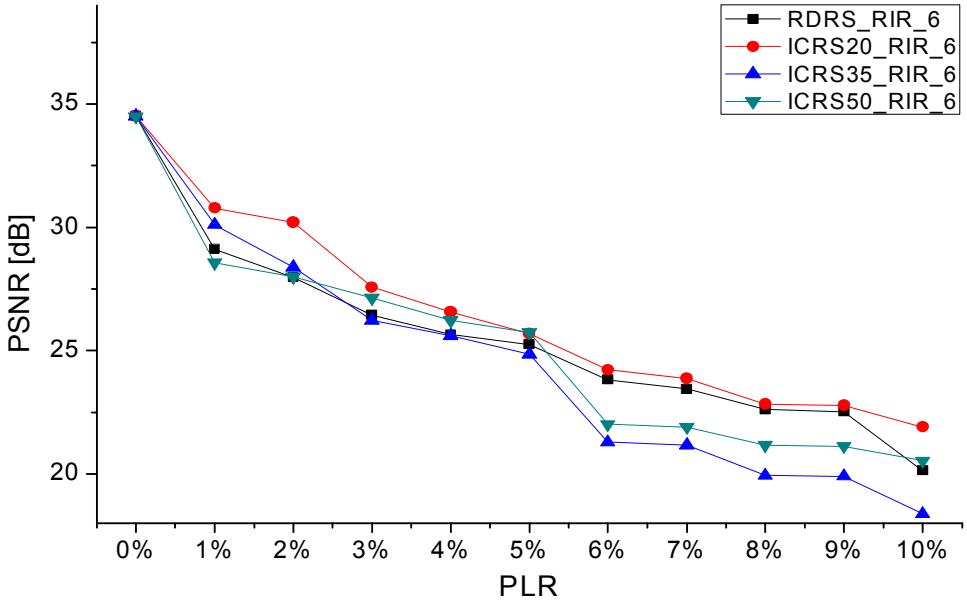

그림 21. Football 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6

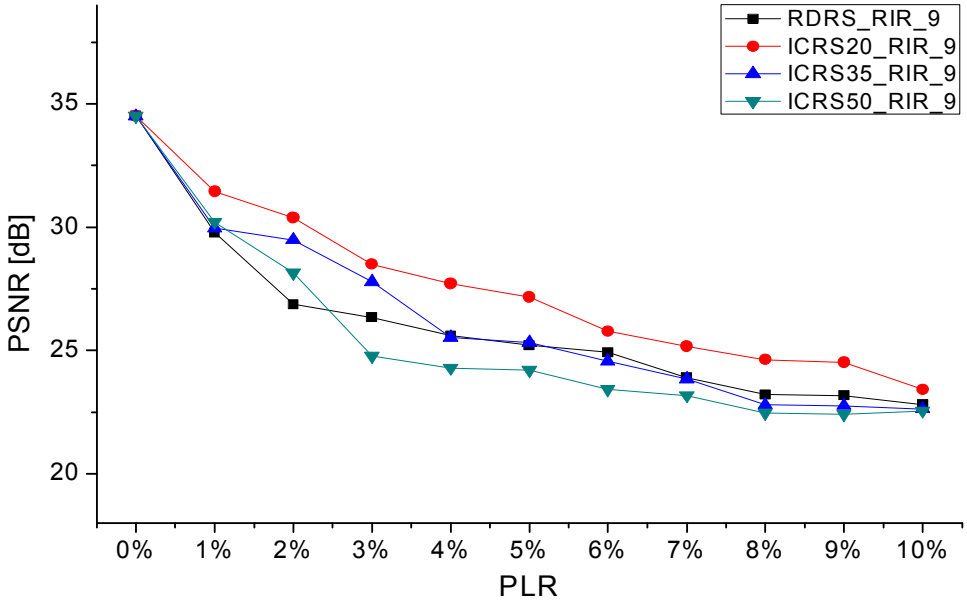

그림 22. Football 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9

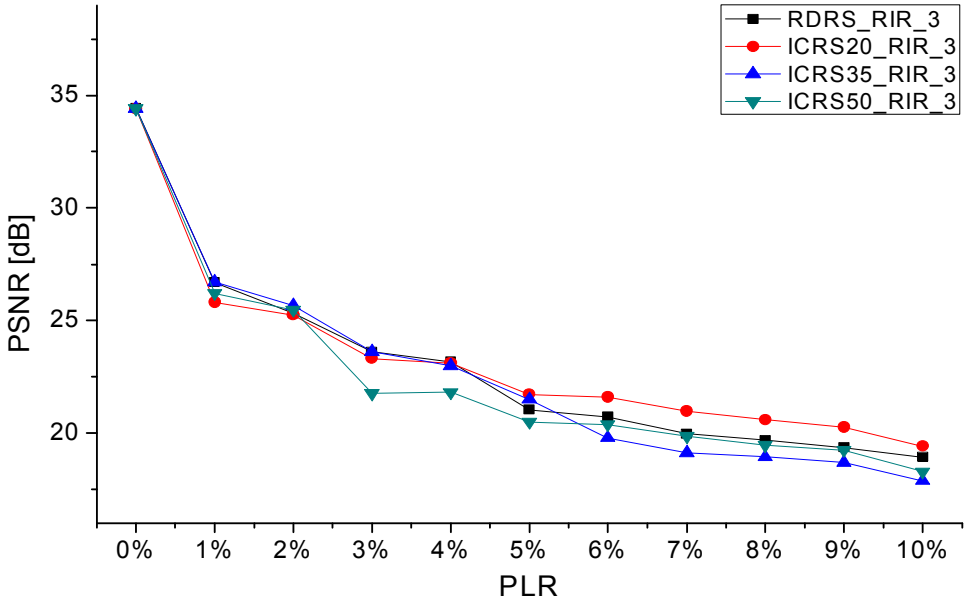

그림 23. Stefan 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3

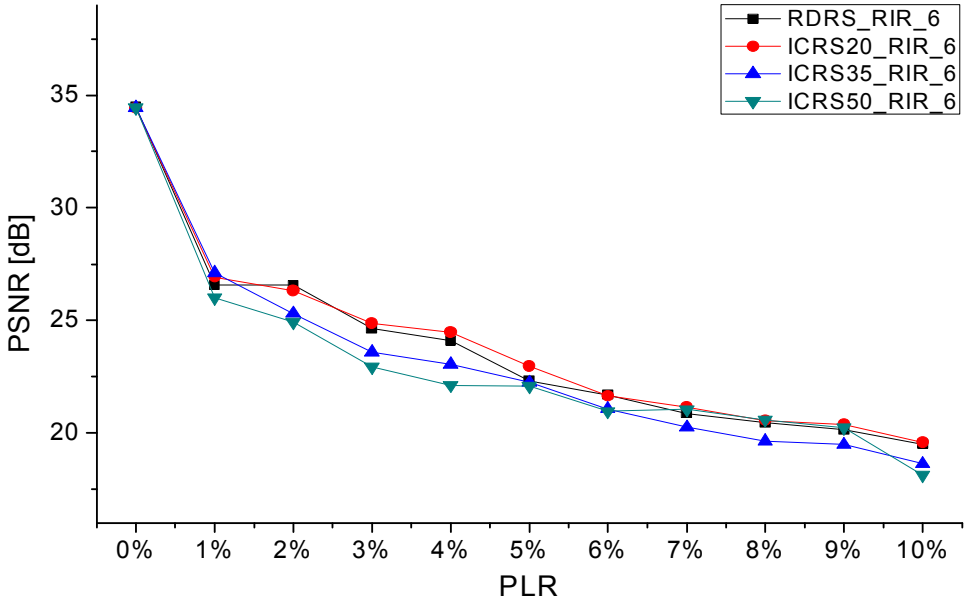

그림 24. Stefan 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6

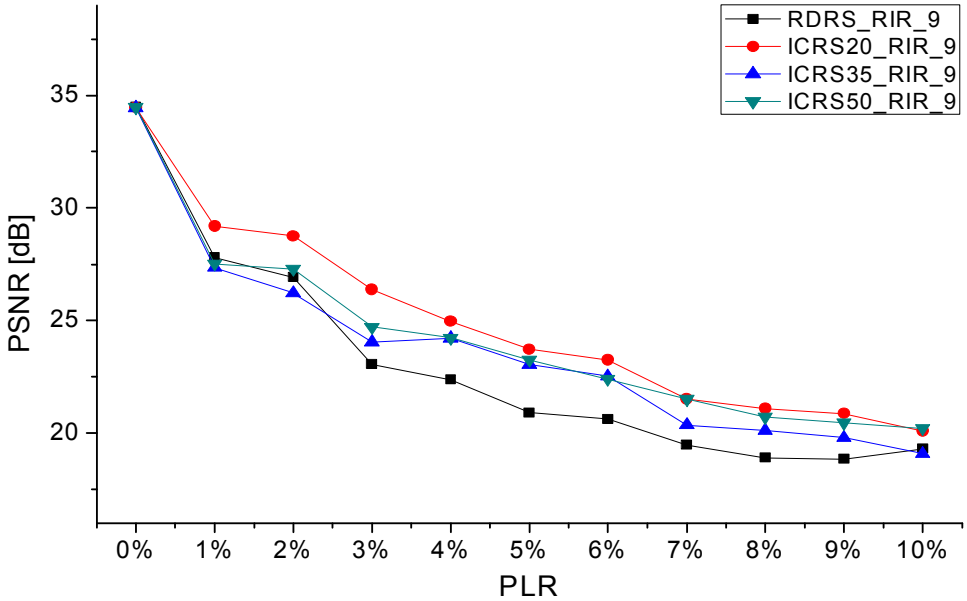

그림 25. Stefan 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9

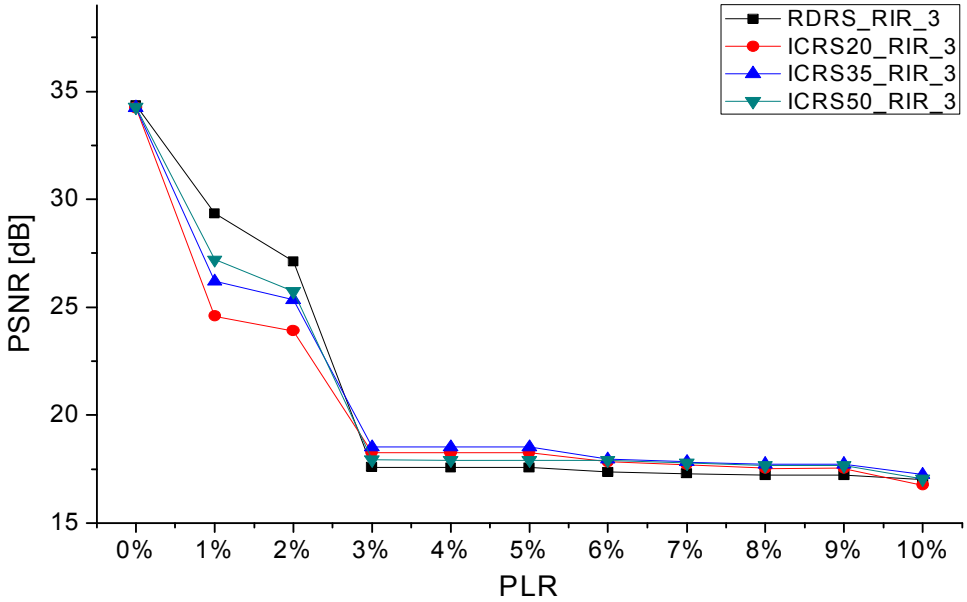

그림 26. Table tennis 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 3

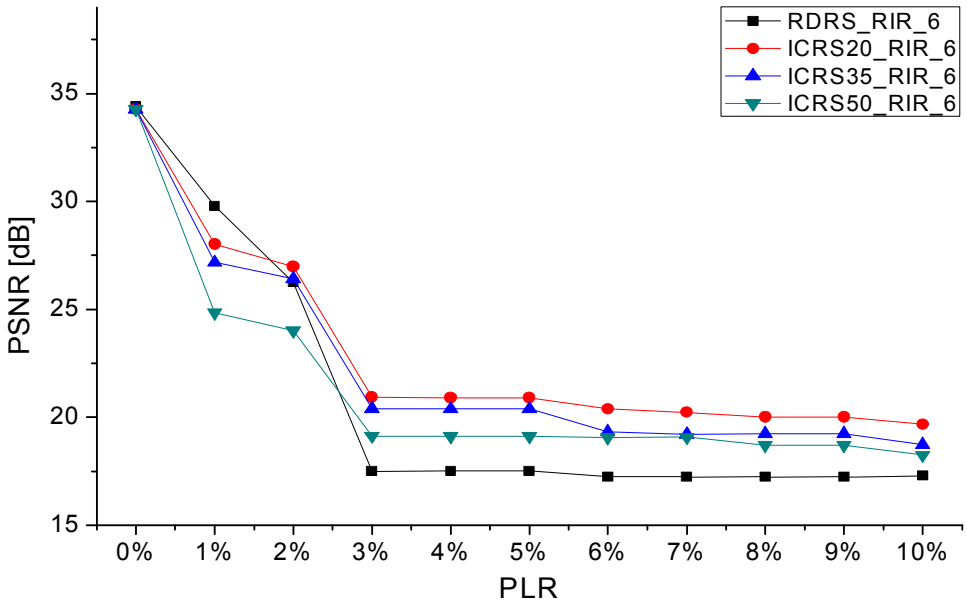

그림 27. Table tennis 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 6

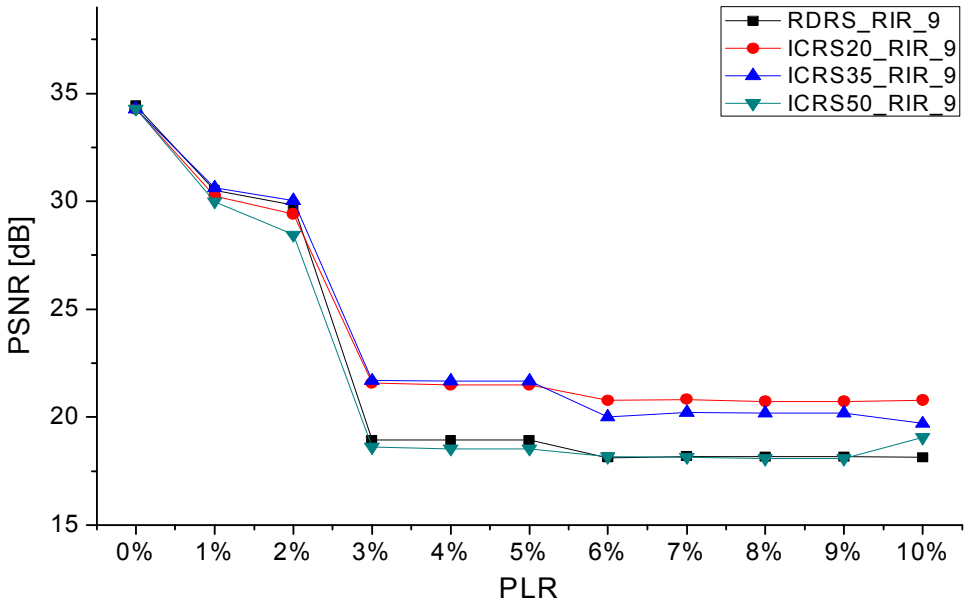

그림 28. Table tennis 영상의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 비교, RIR 9

표 3. Akiyo 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교

[단위 : dB]

PLR	ICRS20 (20%)			ICRS35 (35%)			ICRS50 (50%)		
	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9
0%	-0.35	-0.47	-0.58	-0.39	-0.47	-0.58	-0.36	-0.46	-0.55
1%	-0.14	0.02	-0.06	-0.14	0.20	0.03	-0.02	-0.29	-0.09
2%	-0.08	0.24	-0.08	-0.08	0.31	-0.05	0.09	-0.21	-0.10
3%	-0.19	0.30	0.03	-0.19	0.35	0.00	0.18	0.24	0.08
4%	-0.27	0.32	0.24	-0.52	0.43	0.23	0.17	0.34	0.14
5%	-0.26	0.35	0.26	-0.54	0.46	0.24	0.17	0.37	0.13
6%	-0.25	0.78	0.54	-0.45	0.80	0.54	0.14	0.86	0.50
7%	0.06	0.94	0.76	-0.57	1.04	0.76	0.25	1.05	0.69
8%	0.03	0.89	0.67	-0.50	0.92	0.77	0.04	0.93	0.62
9%	0.05	0.85	0.67	-0.47	0.92	0.77	0.05	0.88	0.63
10%	0.27	0.84	0.81	-0.21	1.16	1.08	0.49	0.87	0.80

표 4. Football 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교

[단위 : dB]

PLR	ICRS20 (20%)			ICRS35 (35%)			ICRS50 (50%)		
	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9
0%	-0.01	-0.02	-0.03	0.00	-0.02	-0.04	0.00	-0.03	-0.03
1%	2.38	1.66	1.67	1.72	0.99	0.18	3.41	-0.55	0.43
2%	4.16	2.22	3.51	5.88	0.40	2.61	5.88	0.01	1.28
3%	2.28	1.13	2.17	3.64	-0.21	1.45	3.94	0.69	-1.56
4%	1.99	0.91	2.11	3.14	-0.05	-0.08	3.49	0.57	-1.31
5%	2.08	0.44	1.96	2.62	-0.39	0.11	3.03	0.50	-1.01
6%	0.19	0.39	0.85	1.15	-2.53	-0.36	2.07	-1.81	-1.49
7%	0.96	0.42	1.26	1.64	-2.28	-0.05	2.55	-1.55	-0.72
8%	0.94	0.22	1.41	1.40	-2.66	-0.42	2.14	-1.43	-0.76
9%	0.94	0.25	1.34	1.41	-2.62	-0.41	2.12	-1.40	-0.76
10%	0.27	1.77	0.62	0.57	-1.75	-0.17	1.75	0.40	-0.25

표 5. Stefan 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교

[단위 : dB]

PLR	ICRS20 (20%)			ICRS35 (35%)			ICRS50 (50%)		
	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9
0%	-0.03	-0.05	-0.05	-0.02	-0.04	-0.04	-0.02	-0.04	-0.03
1%	-0.89	0.37	1.39	0.02	0.55	-0.45	-0.47	-0.56	-0.28
2%	-0.08	-0.24	1.84	0.35	-1.25	-0.70	0.15	-1.63	0.38
3%	-0.29	0.24	3.32	0.01	-1.04	1.00	-1.85	-1.70	1.66
4%	-0.05	0.38	2.59	-0.17	-1.02	1.84	-1.35	-1.96	1.86
5%	0.69	0.65	2.81	0.46	-0.07	2.15	-0.53	-0.22	2.35
6%	0.88	-0.04	2.62	-0.93	-0.62	1.89	-0.34	-0.73	1.77
7%	1.01	0.28	2.05	-0.83	-0.62	0.89	-0.10	0.17	2.03
8%	0.91	0.11	2.19	-0.73	-0.82	1.22	-0.22	0.13	1.81
9%	0.90	0.24	2.02	-0.66	-0.66	0.96	-0.12	0.09	1.62
10%	0.48	0.08	0.78	-1.06	-0.87	-0.21	-0.65	-1.37	0.91

표 6. Table tennis 영상에서 제안 알고리즘의 PSNR 성능 이득 비교

[단위 : dB]

PLR	ICRS20 (20%)			ICRS35 (35%)			ICRS50 (50%)		
	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9	RIR-3	RIR-6	RIR-9
0%	-0.11	-0.12	-0.16	-0.09	-0.13	-0.15	-0.08	-0.12	-0.14
1%	-4.76	-1.78	-0.26	-3.14	-2.62	0.12	-2.14	-4.95	-0.53
2%	-3.21	0.73	-0.40	-1.77	0.18	0.23	-1.38	-2.25	-1.37
3%	0.68	3.44	2.63	0.94	2.91	2.76	0.35	1.64	-0.32
4%	0.69	3.40	2.57	0.95	2.87	2.74	0.35	1.60	-0.40
5%	0.69	3.40	2.57	0.95	2.87	2.74	0.35	1.60	-0.40
6%	0.48	3.14	2.66	0.59	2.07	1.91	0.56	1.81	0.05
7%	0.42	2.98	2.65	0.55	1.97	2.05	0.50	1.84	-0.02
8%	0.32	2.79	2.56	0.52	2.01	2.03	0.46	1.48	-0.08
9%	0.32	2.79	2.56	0.52	2.01	2.03	0.46	1.48	-0.08
10%	-0.25	2.39	2.64	0.24	1.46	1.57	0.04	0.97	0.92

그림 17부터 28까지의 그래프는 테스트 영상들의 패킷 손실율에 따른 평균 PSNR 측정 결과를 시각적으로 나타내며 표 3-6은 제안 알고리즘의 테스트 영상별 PSNR 성능 이득을 수치로 나타내고 있다. RIR 개수가 적은 경우 일부 결과에서 성능이 소폭 떨어지기도 하지만, 전반적으로 갱신율 최소 요구치를 의미하는 $V_{\min}$ 설정값을 기본값인 20%로 설정한 제안 알고리즘의 PSNR 성능이 기존보다 높게 나오는 것으로 나타났다. 영상별로 비교할 경우 움직임이 적은 Akiyo 영상에서는 35%에서 가장 높은 향상을 보였고 20%와 50%는 비슷한 향상을 보였다. 움직임이 빠른 스포츠 영상인 Football 영상과 Stefan 영상에서는 20%일 경우에만 눈에 띄는 향상을 보였으며, 적절한 움직임과 장면 변화를 포함한 Table tennis 영상에서는 20%와 35%에서 크게 향상되는 것을 볼 수 있었다. 실험 결과를 통해 갱신율을 후보로 고려하는 최적의 범위는 영상과 테스트 환경에 따라 달라질 수 있음을 알 수 있다. 그림 29는 손실 영상을 복원한 결과를 시각적으로 보여주고 있다.

그림 29. 에러가 포함된 영상의 복원 결과 비교

2. 제안 기법의 트레이드오프

기존의 에러 복원 기법들과 마찬가지로, 제안 알고리즘 또한 부호화 효율을 일정 부분 희생하여 에러 내성을 강화하는 기법에 속한다. 본 장에서는, $V_{\min}$의 설정값에 따라 부호화 과정에서 발생하는 추가 비트량을 수치로 비교하였다.

표 7. 제안 알고리즘의 추가 부호화 비트량 비교

[단위 : %]

	ICRS20 (20%)			ICRS35 (35%)			ICRS50 (50%)		
	RIR3	RIR6	RIR9	RIR3	RIR6	RIR9	RIR3	RIR6	RIR9
Akiyo	3.96	4.57	5.66	2.39	4.21	4.96	2.01	2.99	3.45
Football	3.24	5.69	7.52	2.50	4.21	6.07	1.29	2.25	3.40
Stefan	4.62	8.20	10.10	3.61	6.48	8.53	1.99	3.82	5.33
Table tennis	3.27	5.93	7.16	2.47	4.39	6.04	1.37	2.43	3.66

표 7의 결과에서, 가장 높은 에러 복원능력을 보였던 ICRS20에서 가장 많은 추가 비트량을 요구했고, $V_{\min}$값이 증가할수록 요구되는 비트량은 줄어들었다. 참조 선택 과정에서 고려하는 최소 갱신율 값을 높게 설정할수록 보다 높은 갱신율 값과 낮은 비트율-왜곡도를 고려하기 때문이다. 하지만 PSNR 측정 결과 비교에서, 최소 요구 갱신율 값을 높게 잡을수록 성능 변화의 폭이 크게 나타나 에러 내성 측면에서의 성능 향상을 예측하기 어려워진다. 제안 알고리즘 또한 기존 에러 복원 기법들과 마찬가지로 추가 발생 비트량에 비례하여 성능이 증가하는 특성을 보이지만, 적정 설정 값을 사용하면 에러 내성 측면에서 기존보다 나은 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

V. 결론 및 향후 연구과제

H.264/AVC 표준 영상 부호화기는 움직임 예측 부호화에 다수의 참조 프레임을 사용하며, 율-왜곡 최적화를 통해 최적의 부호화 모드와 참조 영상을 선택하도록 하여 기존의 영상 압축 표준보다 높은 부호화 효율을 갖게 되었다. 하지만 움직임 예측 부호화에 의해 생성된 압축 영상 데이터는 전송 과정에서 손실이 발생할 경우 에러가 인접한 프레임에 영향을 미치는 에러 확산 현상에 취약해지는 문제가 있었다. 특히, 다수의 참조 프레임을 사용할 경우 에러가 영향을 미치는 범위는 더 커지기 때문에 에러의 확산은 더욱 심화되며, H.264/AVC 표준에 정의되어 있는 에러 복원기법을 적용하여 영상을 부호화하여도 확산 에러에 의한 영상의 화질 열화를 효과적으로 억제해 주지 못하는 문제가 발생하였다.

본 논문에서는 비트율-왜곡도에 에러 복원능력을 고려한 갱신율이라는 변수를 함께 고려하여 최적의 참조 매크로블록을 결정하는 알고리즘을 제안하였고 실험 결과를 통해 에러 확산에 취약한 부호화 환경에서 기존의 에러 복원 기법인 랜덤 인트라 리프레쉬의 성능을 향상시켜 제안 알고리즘으로 부호화한 영상이 에러에 강인함을 보였다. 추가로 최적의 참조 매크로블록을 선택하는 과정에서 적정 갱신율 값으로 고려하는 최소 요구치를 달리하여 에러 내성과 부호화 측면에서의 특성을 비교한 결과, 설정값을 높게 설정할수록 부호화 효율 측면에서 우수한 특성을 보인 반면, 에러 내성 측면에서는 일부 영상에선 성능의 향상이 일어나는 반면 일부 영상에서는 성능이 하락함을 확인하였다.

본 연구를 바탕으로 최소 갱신율 요구치를 상황에 맞게 지능적으로 선택하여 최적의 갱신율과 비트율-왜곡도 값을 만족하는 참조 매크로블록을 선택하도록 알고리즘을 개선한다면 보다 향상된 에러 복원능력과 부호화 효율을 갖는 영상 부호화기의 개발이 가능해질 것이다. 또한 전송 채널의 상태를 모니터링하면서 채널 오류가 감지된 상황에서 선택적으로 제안된 참조 선택 알고리즘을 사용하는 전송 기법을 개발한다면 제한된 대역폭을 사용하며 에러에 취약한 무선 네트워크와 같은 환경에서 고품질의 영상 스트리밍 서비스를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] ITU-T, "Advanced video coding for generic audiovisual services", ITU-T Recommendation H.264, May 2005.

[2] Y. Su and M -T. Sun, "Fast Multiple Reference Frame Motion Estimation For H.264/AVC", IEEE Trans. on Circuits Systems Video Tech., Vol. 16 No. 3, pp. 447-452, March 2006.

[3] S. Ma, W. Gao, and Y. Lu, "Rate-Distortion Analysis for H.264/AVC Video Coding and its Application to Rate Control", IEEE Trans. on Circuits Systems Video Tech., Vol 15 No. 2, pp. 1533-1544, Dec. 2005.

[4] 호요성, 김승환, "H.264/AVC 알고리즘 이해와 프로그램 분석", 두양사, 2009.

[5] 카도노 신야, "H.264/AVC 비디오 압축 표준", 홍릉과학출판사, 2007.

[6] Kwee -Li Cheng, N. Uchihara, and H. Kasai, "Analysis of Drift-Error Propagation in H.264/AVC Transcoder for Variable Bitrate Streaming System", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 57, No. 2, May 2011.

[7] M. G. S. Moiron, I. Ali, and M. Fleury, "Limitations of multiple reference frames with cyclic intra-refresh line for h.264/avc", ELECTRONIC LETTERS, Vol. 47, pp. 103-104, Jan. 2011.

[8] S. I. Chowdhury, J. -N. Hwang, P. -H. Wu, G. -R. Kwon, and J. Y. Pyun, "Error Resilient Reference Selection for H.264/AVC streaming video over erroneous network", IEEE International Conference on Consumer Electronics, pp. 418-419, Jan. 2013.

[9] Y. J. Sohn and S. S. Kang, "Method for Improving the Efficiency of the Adaptive Packet-level FEC Algorithm Considering the Video Compression Characteristics in the Wireless Networks", Korean Institute Of Information Technology, Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 11 No. 2, pp. 95-102, Feb. 2013.

[10] 신세일, 오정수, "H.264/AVC의 인터 예측 부호화를 위한 고속 율왜곡 최적화 알고리

증", 한국통신학회논문지 '09-01 Vol. 34 No.1, 2009.

[11] Yuan Zhang, Wen Gao, Yan Lu, Qingming Huang, and Debin Zhao, "Joint Source-Channel Rate-Distortion Optimization for H.264 Video Coding Over Error-Prone Networks", IEEE Tans. on Multimedia, Vol. 9, No. 3, April 2007.

[12] Y. C. Ysai, C. M. Tsai, and C. W. Lin, "H.264 Error Resilience Coding Based on Multi-hypothesis Motion Compensated Prediction and Adaptive Intra-refresh", International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Dec. 2006.

[13] R. M. Schreier and A. Rothermel, "Motion Adaptive Intra Refresh for the H.264 Video Coding Standard", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 1, pp. 249-253, Feb. 2006.

[14] T. H. Vu and S. Aramvith, "An error resilience technique based on FMO and error propagation for H.264 video coding in error-prone channels", IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2009.

[15] K. Suhering and G. Sullivan, "H.264/AVC reference software, JM 17.2.", http://iphome.hhi.de/ suhering/ tml/, 2010.