

특집논문-08-13-1-03

WCDMA망상에서 영상통화의 품질향상 기법

김요한^{a)}, 곽형원^{a)}, 신지태^{a)†}

Quality-Enhancement Technique on Video telephony over WCDMA Network

Yo-Han Kim^{a)}, Hyong-Won Kwak^{a)}, and Jitae Shin^{a)†}

요 약

영상통화는 3G 이동통신망에서 가장 대표적인 서비스이며, 많은 여러 분야에서 영상통화의 품질을 향상시키기 위한 노력이 있다. 국내에서도 SKT와 KTF에서 3G와 3.5G망으로 WCDMA 방식을 채택해 전국서비스를 시작하였고, 이미 백만 명 이상의 많은 사용자를 확보한 상태이다. 본 논문에서는 WCDMA 망에서의 영상통화방법에 대해 알아보고, 영상품질을 향상시키기 위해 회선망의 물리계층 정보를 이용하여 영상코덱에서 손실확산을 최소화 할 수 있는 슬라이스 그룹을 만드는 새로운 전송기법에 대해 제안하고 실험을 통해 성능을 평가해 보았다. 실험결과, 기존의 방법들보다 좀 더 회선 망과 영상코덱 사이의 동기화가 잘 이루어지고, 이를 통해 손실의 확산을 줄일 수 있는 결과를 보여준다.

Abstract

Video telephony is a representative service in 3G mobile network. And there have been efforts to improve quality of video telephony service in different fields. In Korea, the leading mobile service provider SKTelecom and KTF service the WCDMA network as 3G mobile network. Now, more than a million people is using the network. In this paper, we study about video telephony over WCDMA network. and propose error minimizing algorithm using cross-layer adaptation between physical layer and video codec. We simulated 3G-324M protocol with MPEG-4 video codec, and simulation results show suggested algorithm improve packet transmission rate for improving quality of video telephony service.

Keyword : WCDMA, Video Telephony, 3G-324M

1. 서 론

3G 무선망의 구축과 함께, 전 세계적으로 이동 통신 사업자들은 음성을 뛰어넘는 넓은 범위의 이동 통신 서비스 스펙트럼을 제공할 수 있게 되었다. 이중 영상통화(Video

Telephony)의 경우 3G망의 장점을 살린 서비스로 각광을 받고 있으며, 각 이동통신사에서 3G에서 특화된 주력 서비스로 사용하고 있다. 전 세계적인 표준으로 자리 잡은 WCDMA방식에서 영상통화는 3G-324M을 따르고 있다. 3G-324M은 유선망에서의 영상통화를 위해 제정된 ITU - H.324에 코덱과 오류처리에 관한 부분을 추가해 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 제안한 표준으로 현재 3GPP TS 26.111에서 Rel-7까지 제정되어 있다.

3G-324M의 경우 64Kbps 대역폭의 회선 교환 (Circuit Switched) 망을 사용하며, 음성과 영상, 그리고 일부의 데이

a) 성균관대학교 정보통신공학부

School of Information & Communication Eng.,
Sungkyunkwan University

† 교신저자 : 신지태 (jtshin@skku.edu)

* 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-331-D00358).

터 전송하게 된다. 이미 정해진 64Kbps의 대역폭에 의해 20ms당 160Bytes 크기로 전송되게 되며, 통신서비스의 경우 실시간 서비스로 이루어지기 때문에 전송지연의 최소화를 위해서 재전송 등의 기법은 사용되지 않는다. 이로 인해, 만약 망에 오류가 생겨 잘못된 자료가 전송 되고, 160Byte 크기의 단위 데이터의 복구가 불가능해 질 경우, 160Byte 전체를 잃어버리게 된다. 이와 같은 특징으로, 오류를 찾아내고(Detection), 찾아낸 오류의 영향을 감추거나(Conceal) 최소화 할 수 있는 연구가 많이 이루어지고 있다.

본 논문에서는, 서킷 망의 일정한 데이터 크기를 고려한 영상코덱에서의 새로운 슬라이스 그룹 방법(Slice Grouping Method)을 통해, 영상통화의 품질을 향상시키고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같이 이루어진다. 2장에서는 관련연구와 기존의 방법들을 알아보고, 본 논문과의 차이점을 알아본다. 3장에서는 새로운 방법에 대해 설명하고자한다. 4장에서 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 평가하며, 마지막으로 5장에서 결론과 앞으로의 연구방향을 모색해 본다.

II. 관련 연구

3G-324M의 전체 구조는 그림 1과 같다. 영상코덱은

기본적으로 H.263을 필수로 하며, 추가적으로 MPEG-4 Simple Profile과 H.261, H.264등을 사용 할 수 있다. 음성 코덱은 G.723.1을 필수로 하며 AMR을 추가적으로 사용할 수 있다.

H.223은 데이터와 제어 프로토콜, 오디오, 비디오 데이터와 같은 상위 계층사이에서의 하나 이상의 정보스트림의 교환을 위해 설계된 패킷기반 멀티플렉싱 프로토콜이다. 오디오와 비디오, 제어정보의 멀티플렉싱의 견고함을 제공하고, 낮은 멀티플렉스지연과 버스티(bursty) 데이터의 처리가 용이하며 다양한 논리채널의 수를 갖고 있으며 바이트단위로 처리하므로 구현이 용이하며 HDLC(High-level Data Link Control)을 사용하여 프레임 처리하는 특징을 갖고 있다.

각각의 코덱을 거친 데이터 들은 AL-SDU라는 단위로 나누어지며, 여기에 추가정보를 더해 AL-PDU로 만들어진다. 각각의 영상과 음성, 유저 데이터는 H.223을 통해 하나의 MUX-SDU로 만들어지며, 여기에 추가정보를 더해 MUX-PDU로 만들어져 물리계층으로 보내진다. 이때 MUX-PDU는 20msec마다 생성되는 오디오 신호에 의해 생성되며, 만들어진 MUX-PDU는 물리계층에서 서킷 망을 통해 20ms에 한번씩 160Byte크기의 RLC-PDU (Radio Link Control - Protocol Data Unit)를 WCDMA 망을 이용

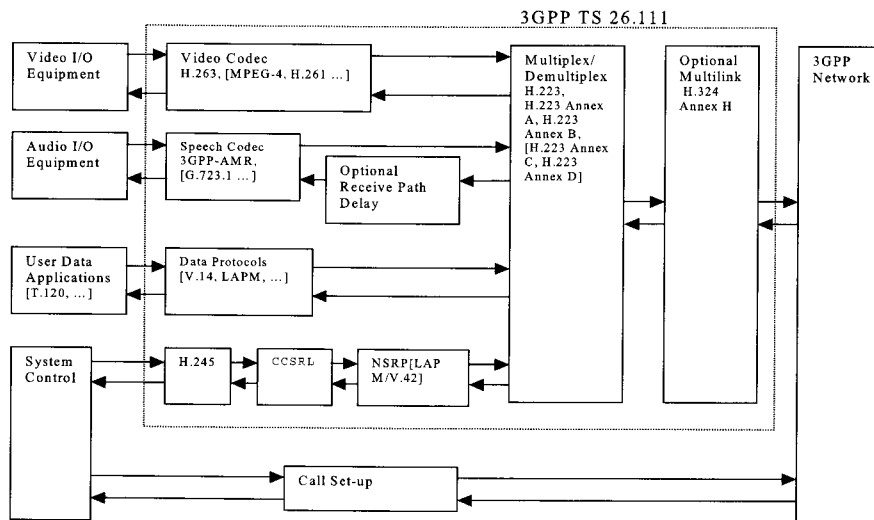


그림 1. 3G-324M의 구조
Fig. 1. Structure of 3G-324M

해 전송하게 된다. 이를 그림 2에 나타내었다.

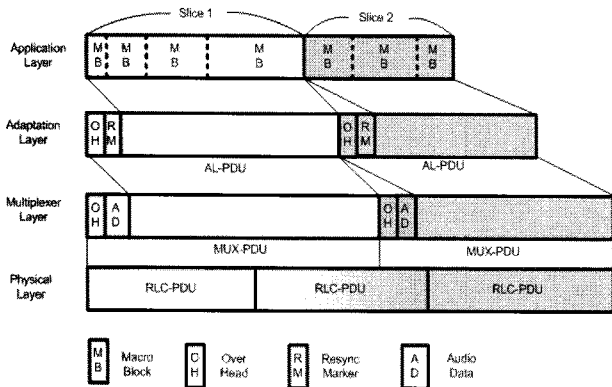


그림 2. 3G-324M의 패킷화 도표
Fig. 2. Packetization of 3G-324M

그림 3에서 일반적인 영상통화시 사용되는 QCIF MPEG-4의 매크로블록(MacroBlock, MB)과 프레임 구조를 나타내었다. 본 논문에서는 MPEG-4 영상코덱을 사용하고자 하며, 16x16화소의 매크로블록단위로 부호화하며, 여러 개의 매크로블록을 하나의 슬라이스 단위로 나눈다. 각각의 슬라이스 단위는 RM(Resync Marker)를 가지며 복호시 RM이 있는 부분은 이전의 정보를 참고하지 않고 복호하게 된다.

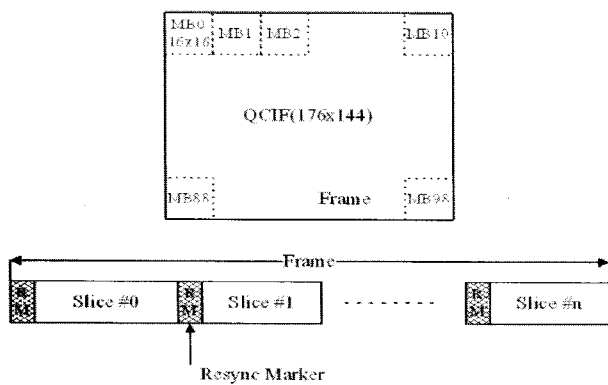


그림 3. 매크로블록 및 프레임구조
Fig. 3. Structure of MacroBlock & Frame

현재 영상통화의 품질개선을 위한 연구는 크게 3가지 방향에서 접근한다. 우선 오류를 정확히 찾아내고, 찾아낸 오

류정보를 통해 영상코덱에서 잘못된 정보를 복호(Decode) 하지 않도록 하는 기법들에 대한 연구이다. 두 번째로, 오류가 난 부분의 영상을 인지하고, 이전의 정보들을 이용하여, 손실된 정보의 영향을 감추려는 방법에 대한 연구이다. 마지막으로, 오류의 확산을 막고, 오류의 영향을 최소화시키는 방법에 대한 연구이다.

첫 번째 방법의 경우 [4]에서 AL-PDU의 헤더에 RLC-PDU의 경계(Boundary)에 대한 정보를 추가하여, 영상코덱이 오류가 있는 부분에 대해 복호하지 않음으로, 오류가 있는 정보로 인한 잘못된 영상표시를 방지하는 방법을 제시하였다.

두 번째로, [5]에서 일반적으로 영상통화시 움직임이 많고, 세밀한 영상을 보여줘야 하는 화면의 중앙부분의 화면 갱신률(refresh rate)을 높여서 실제 사용자에게 좋은 화면을 보여 줄 수 있는 방법을 제시하였다.

세 번째 방법은, 본 논문에서 제시하고자 하는 방법으로 물리계층의 서킷 망과 상위 패킷망의 동기화를 통해 오류의 확산을 막고자 한다.

III. 제안된 방법

3G-324M에서 물리계층으로 보내진 데이터는 서킷 방식으로 전송되며, 전송 중 오류가 있을 경우 160Byte크기의 RLC-PDU는 전체를 잃어버리게 된다. 오류가 생긴 경우, RLC-PDU가 MUX-PDU, MUX-SDU를 거쳐 AL-PDU, AL-SDU로 되고, 영상코덱으로 전달되어 복호 될 때, 160Byte의 RLC-PDU는 이보다 더 큰 오류로 확산되어 진다. RLC-PDU가 손실되어 하위계층에서 복원되어질 수 없으면 손실로 이어지며 이것은 결과적으로 비디오데이터스트림의 하나의 슬라이스를 모두 버려지게 되는 결과를 초래하게 된다. 그림 4에서 RLC-PDU를 손실했을 경우 디코더는 손실된 RLC-PDU로부터 시작된 모든 슬라이스를 버리게 되며 만일 버리지 않고 복원하게 되더라도 잘못된 데이터를 복호하게 된다. 따라서, 하나의 슬라이스가 여러 RLC-PDU에 나뉘어 전송되는 경우, 앞의 RLC-PDU 데이터가 손실되었다면, 뒤에 전송되는 RLC-PDU

는 정상적으로 수신되더라도 사용할 수 없게 되어 버려지게 된다.

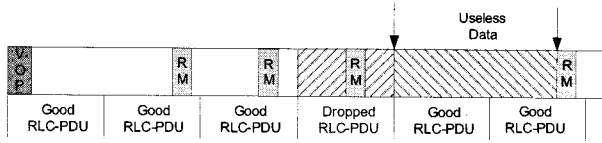


그림 4. 손실 확산
Fig 4. Error Propagation

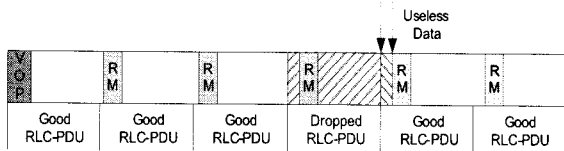


그림 5. 제안된 기본 알고리즘
Fig. 5. Proposed Algorithm

이를 방지하기 위해서는 슬라이스의 데이터 크기가 RLC-PDU의 크기와 동일할 경우 하나의 패킷 손실은 다른 패킷의 디코딩에 영향을 미치지 않게 된다. 그림 5에서 제안하는 기본 알고리즘을 나타내었다. 손실된 RLC-PDU의 슬라이스는 다음 RLC-PDU에 존재하지 않거나 적은 량만 존재하게 되므로 버려지는 데이터가 최소화된다. 이때, 각 비디오 코덱은 인코딩의 최소단위로 매크로블록을 사용하므로 슬라이스의 크기를 임의대로 RLC-PDU에 맞출 수는 없다. 따라서 각 슬라이스를 RLC-PDU에 최대한 근접한 크기로 만들고 슬라이스의 시작이 RLC-PDU의 앞부분에 위치하도록 하면 손실된 패킷과 관계없이, 전송된 패킷에서 바로 슬라이스를 시작해서 디코딩 가능하기 때문에 버려지는 데이터를 최소화 할 수 있다.

제안하는 알고리즘의 구체적인 방법은 다음과 같다.

그림 6에서 나타낸 기존 시스템의 방법은 99개의 매크로블록(QCIF 영상 해상도로 한 프레임에 99개의 MBs)을 3등분 하여 33개의 매크로블록을 하나의 슬라이스로 만드는 방법이다. 그림 7은 제안하는 방법의 플로 차트로 물리계층에서는 현재 패킷화 되는 RLC-PDU에 영상 데이터의 크기를 산출하여 비디오 인코더에 알려주게 된다. 비디오 인코더는 매크로블록단위로 비디오를 인코딩하며, 인코딩

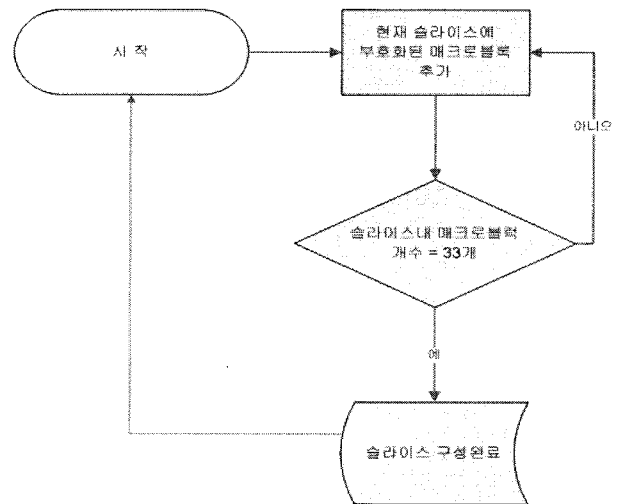


그림 6. 기존 시스템의 슬라이스 구성방법
Fig. 6. General Slicing Method

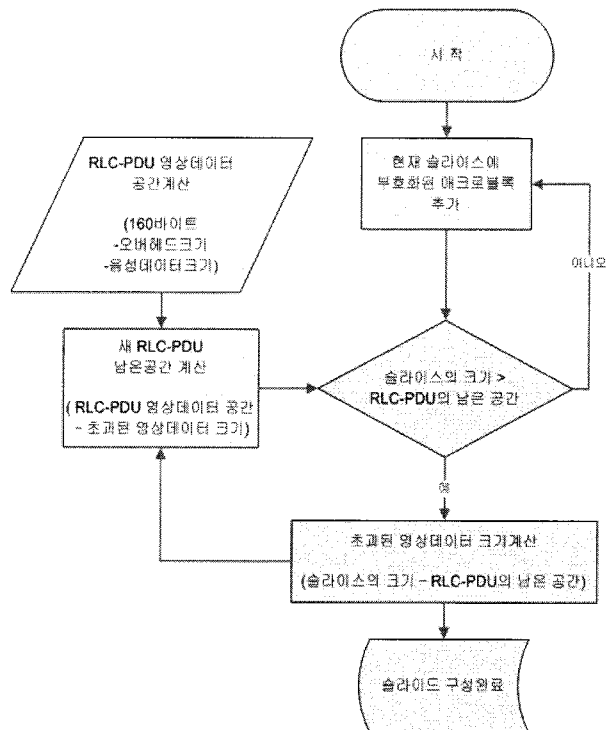


그림 7. 제안된 방법
Fig. 7. Proposed Method

된 매크로블록의 크기를 누적하게 된다. 누적된 크기가 물리계층에서 넘겨준 크기보다 크게 되면 현재 인코딩된 매크

크로블록까지를 슬라이스로 만들고 패킷화 시킨다. 이때 슬라이스의 크기가 패킷화 될 크기보다 크기 때문에 슬라이스 뒷부분의 정보는 남게 되며 이 크기를 인코더에서 가지고 있다가 다음패킷에 대한 크기가 물리계층에서 입력되면 현재 남은 크기를 감안하여 다음 슬라이스의 크기를 결정하게 된다. 이와 같이 슬라이스를 구성할 매크로블록의 개수를 슬라이스마다 조절함으로써, 각 슬라이스의 데이터 양 또는 둘 이상의 슬라이스의 양의 합을 20msec 주기의 RLC-PDU에서 영상데이터에 할당된 크기에 근접시킬 수 있다.

IV. 실험조건 및 실험결과

기본적으로 WCDMA 망에서 RLC-PDU의 크기는 160 Byte이다. 이는 영상정보와 음성정보, 기타 정보를 포함한 크기이며, 이중 음성정보의 경우 14.4Kbps로 고정된 크기의 정보량을 가진다. 이는 RLC-PDU에서 약 35Bytes의 크기로 환산되며 여기에 기타 정보량과 여분을 포함해 40Bytes 정보를 음성 정보 및 기타 정보에 할당된 것으로 보고 영상정보에 할당된 크기를 120Bytes로 가정하기로 한다.

본 실험에서는 SKTelecom의 WCDMA망을 사용하여 실제 RLC-PDU에서의 PER(Packet Error Rate)및 Burst 정보를 취득하여 길버트 채널에 적용하기로 한다. 현재 SKTelecom에서 사용하는 영상부호기는 MPEG-4 Simple Profile이며 64Kbps, 20ms Interleave Size를 사용한다. 실험의 방법은 3GPP TR 26.912 Quantitative performance evaluation of H.324 Annex C over 3G 문서를 참조하였다. 표 1에서 측정방법을 나타내었다. 영상부호기는 Mcubework에서 제작한 WCDMA단말기용 MPEG-4 Simple Profile codec을 사용하였다.

실험 장소는 고정상태 : 성균관대학교 옥외(강전계), 제1공학관2층(중전계), 제1공학관지하(약전계), 이동상태 : 과천-수원 고속화도로 (복수원 - 과천)에서 이루어졌다. 결과는 표 2와 같다.

표 1. WCDMA 채널 상태 측정방법

Table 1. WCDMA Channel state measurement condition

Layer	Entity	Instance
Application Layer	Video codec	ISO MPEG-4 Simple Profile
	Speech codec	dummy data
MUX Layer	Multiplexer De-multiplexer	H.223/M (mobile extension of ITU-T H.223 multiplexing protocol)
Physical Layer	IMT-2000 Air-Interface spec.	- bitrate : 64Kbps (SK Telecom) - channel 강전계 (SNR: ~ -85 dBm) 중전계 (SNR: -85 ~ -95 dBm) 약전계 (SNR : -95 ~ dBm) - velocity 정지시 저속 (30~50km/h) 중속 (50~70km/h) 고속 (70km/h~)

표 2. WCDMA 채널 상태 측정결과

Table 2. WCDMA Channel state measurement results

측정조건	전송패킷수	손실패킷수	PER	Burst Length	
고정시	강전계	714008	970	0.001359	1.0073
	중전계	300995	703	0.002336	1.0095
	약전계	319476	3555	0.011128	1.0102
이동시	저속	236605	237	0.001002	1.0075
	중속	231990	370	0.001595	1.0121
	고속	273972	474	0.00173	1.0112

WCDMA 망에서 오류의 패턴을 만들기 위해 길버트 채널을 사용하였으며, 실험 결과에서와 같이 PER은 10^{-3} 에서 10^{-2} 범위에서, 연속성(Burst length) = 1.01로 실험하도록 하였다. PER과 연속성 수치는 그림 8에 길버트 모델에서 P0과 P1로 변환되어 에러패턴(error pattern)을 생성하게 된다.

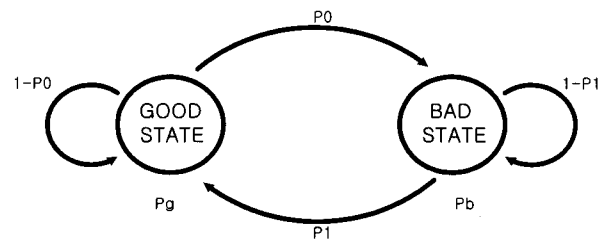


그림 8. 길버트 모델

Fig. 8. Gilbert Channel Mode

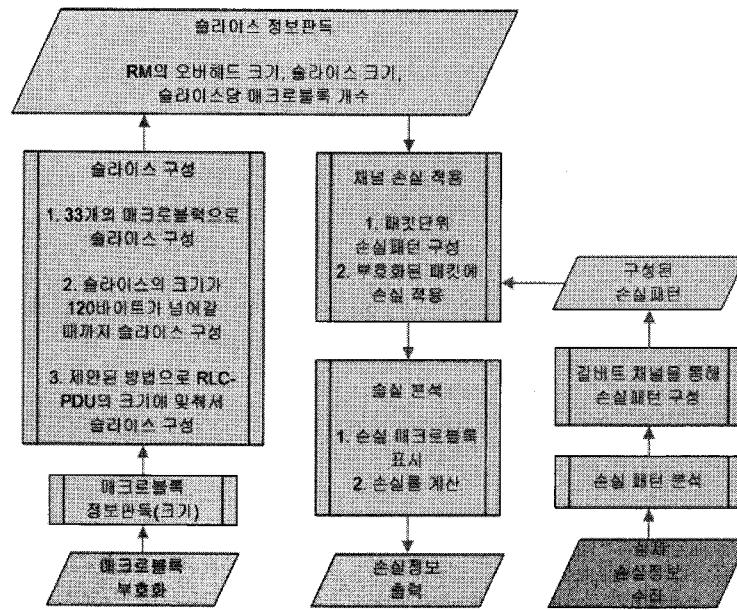


그림 9. 실험방법
Fig. 9. Simulation Method

전체 실험방법은 그림 9와 같다.

우선 "Foreman"과 "Akiyo"를 MPEG-4로 부호화 하여 각각의 매크로블록의 부호화 정보를 가지고 3가지 방법으로 슬라이스를 나누었다.

첫 번째로, 33개의 매크로블록 단위로 슬라이스를 만들

었다. 두 번째로, 최소 120Byte의 크기를 가지도록 슬라이스를 나누었다. 마지막으로, 각 슬라이스의 시작부분이 RLC-PDU의 앞부분 즉, 120Byte로 나누었을 때 최대한 앞부분에 위치하도록 슬라이스를 나누었다. 이렇게 나누어진 슬라이스를 10^{-3} 에서 10^{-2} 까지 오류 값을 바꾸어가며 오

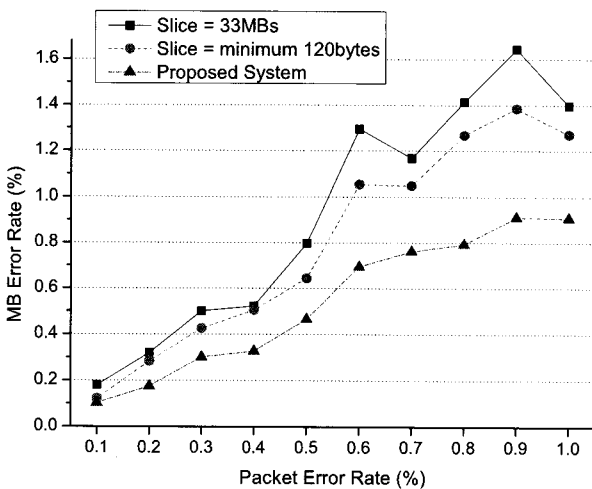


그림 10-1. "Foreman" 매크로블록 오류율 비교
Fig. 10-1. "Foreman" MacroBlock Error Rate

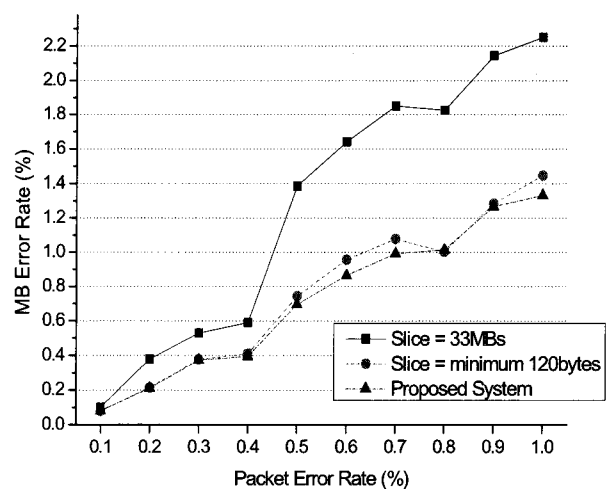


그림 10-2. "Akiyo" 매크로블록 오류율 비교
Fig. 10-2. "Akiyo" MacroBlock Error Rate

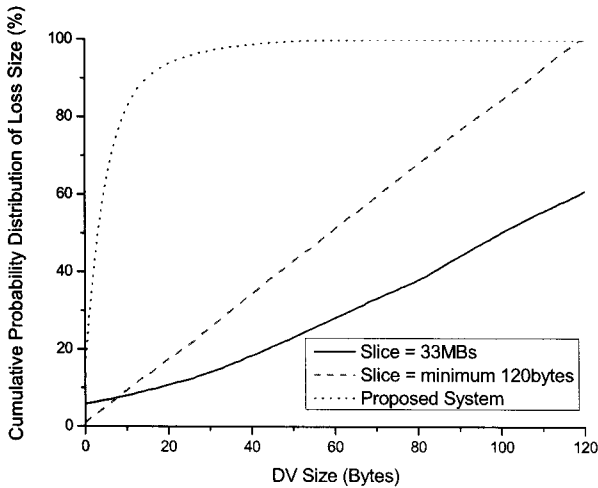


그림 11. "Foreman" 추가 손실 크기의 누적확률분포
 Fig. 11. "Foreman" Cumulative Probability Distribution of Loss Size

류로 인해 잃어버리는 영역을 구하였다. 그림 10-1, 10-2에서 각 전송오류율에 따른 실제 매크로블록 오류율을 나타내었다. 기존의 방법인 33개의 매크로블록을 하나의 슬라이스로 나누는 경우 오류의 확산으로 인해 전송오류율보다 매크로블록의 오류율이 약 1.5배의 값을 가지게 된다. 하지만 RLC-PDU의 크기에 맞춘 120Byte로 나눈 경우 이보다 좋은 결과를 나타내며, 최종적으로 RLC-PDU와 동기화를 이룬 경우 전송오류율과 매크로블록 오류율이 거의 같게 된다.

그림 11은 "Foreman"에서 각각의 슬라이스가 오류가 생길 경우 오류가 확산되는 정도를 누적확률분포로 나타내었다. X축은 앞의 RLC-PDU가 손실되었을 경우 다음 RLC-PDU에서 추가로 손실되는 크기를 나타내고 Y축은 추가 손실되는 크기가 작은 경우부터 큰 경우까지의 누적확률분포이다.

그림 11에서 기존의 방법의 경우 오류가 났을 경우 오류가 확산되는 크기의 분포가 넓게 분포된 반면, 120Byte로 자를 경우 오류의 확산은 120Byte까지로 줄어들게 되고, 제안된 방법으로 동기화를 시킬 경우 90%가 넘는 슬라이스가 오류의 확산을 20Byte 이내로 줄이게 된다.

그림 12에서는 "Foreman"에서 오류가 있는 매크로

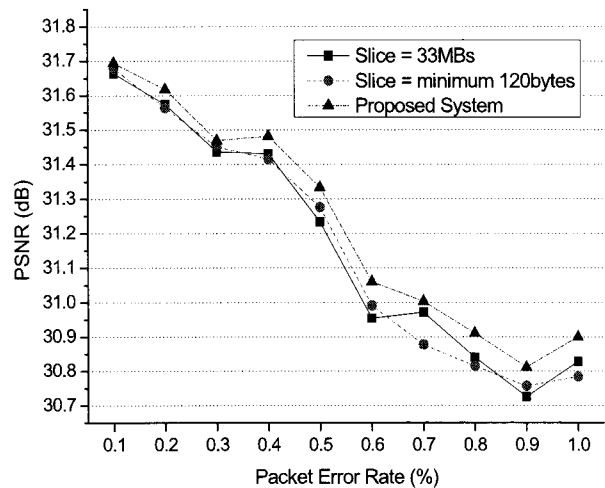


그림 12. "Foreman" PSNR 비교
 Fig. 12. "Foreman" PSNR

블록을 검게 표시한 후 PSNR을 구한 결과를 나타내었다.

그림에서와 같이 전송 오류율이 낮을 경우 PSNR에서 큰 차이를 보이지 않으나, 전송 오류율이 높을수록 점차 차이를 보이며 제안된 방법이 좋은 PSNR을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 12의 PSNR의 차이가 그림 10-1의 오류율보다 상대적으로 차이가 덜한 이유는 실제 영상코덱의 경우 오류가 날 경우 오류가 난 부분을 참조하는 모든 매크로블록에 오류가 생기게 되나, 실험의 간략화를 위해 단순히 오류가 난 부분의 영상만 손실된 것으로 가정했기 때문이다. 즉, 영상 오류 전파부분을 무시하고 직접적인 손실부분만 영상 품질 측정에 반영했다.

그림 13은 기존의 방법과 제안된 방법이 동일한 패킷손실로 인해 얼마나 많은 매크로블록을 손실하게 되는지 비교한 그림이다. 기존의 33개의 매크로블록으로 슬라이스를 구성하는 방법에서는 화면을 상 중 하 3분할하여 에러가 난 패킷 이후의 매크로블록은 3분할된 지점까지 모두 손실되지만, 제안된 방법에서는 추가로 손실되는 매크로블록을 최소화 할 수 있다.



그림 13-1. "Foreman" 기존방법에서의 손실
Fig. 13-1. "Foreman" with "Slice = 33MB"



그림 13-2. "Foreman" 제안된 방법에서의 손실
Fig. 13-2. "Foreman" with "Proposed"

기존의 방법과 제안된 방법의 추가용량(overhead)은 표 3과 같다.

표 3. 추가용량 비교

Table 3. Comparison of Added data (overhead)

video	총용량 (Byte)	추가용량 (Byte) / 총용량 대 추가용량 비율 (%)		
		slice = 33MB	min 120Bytes	Proposed
foreman	1666589	187235 / 11.2	232623 / 13.9	243781 / 14.6
Akiyo	450494	73523 / 16.3	107982 / 24.0	116383 / 25.8

결과적으로 기존의 방법이 Foreman의 경우 11.2~13.9%의 추가용량을 가지며, 제안된 방법은 14.6%의 용량을 가지는 것으로 큰 차이를 보이지 않는다. Akiyo의 경우 기존의 방법이 16.3~24.0%의 추가용량을 가지며, 제안된 방법은 25.8%를 가진다. Akiyo의 경우 33개의 매크로블록으로 슬라이스를 만드는 방법의 PER이 다른 방법에 비해 월등히 높은 점을 생각할 경우, 기존의 방법들에서 가지는 추가용량에 대비하여 제안된 방법에서 추가되는 용량은 조금 증가하는 것에 그친 것을 알 수 있다.

V. 결론 및 추후 연구

본 논문에서 전송오류의 확산을 최소화시켜 영상통신의 성능을 향상시키는 방법을 제시하였다. 제안된 방법의 경우 오류를 찾고, 오류를 감추는 기존의 연구와 함께 사용할 수 있고, 알고리즘의 복잡도가 높지 않기 때문에, 많은 곳에 적용이 가능할 것으로 보인다. 또한, 회선방식의 망에 패킷방식의 정보가 이동하는 다른 망에서도 적용이 가능 할 것으로 보인다.

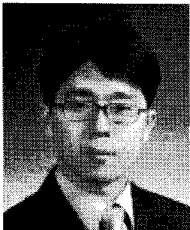
차후 추가 연구에는 H.264와 같은 새로운 부호기로 추가로 실험하고, 오류확산 및 개선된 오류은닉을 적용하여 정확한 산출을 통해 좀 더 나은 실험 결과를 얻을 필요가 있다.

참고 문헌

[1] 3GPP TS 26.110 v6.0.0 : Codec for circuit switched multimedia telephony service : General description(Release 6).
[2] 3GPP TS 26.111 v6.1.0: Codec for circuit switched multimedia telephony service: Modification to H.324(Release 6).

- [3] 3GPP TR 26.912 Quantitative performance evaluation of H.324 Annex C over 3G
- [4] ITU-T Recommendation H.223: Multiplexing protocol for low bit rate multimedia communication
- [5] Yen-Chi Lee, Ming-Chang Tsai and El-Maleh, K. "Efficient video data recovery for 3G-324M telephony over WCDMA networks," GLOBECOM '05. IEEE Vol 1, pp 5, Nov. 2005.
- [6] Sang-Wook Sohn, Hun Choi, Jae-Won Suh and Hyeon-Deok Bac, "Error Concealment for 3G-324M Mobile Videophones," IMTC '06. Vol 1. pp 478-482. Apr. 2005.
- [7] W. Jia, H. Fu, B. Han and P. Au, "'Efficient Data Transmission Multiplexing in 3G Mobile Systems'", Proc. of Globe Mobile Congress 2004, Oct. 2004.

저 자 소 개



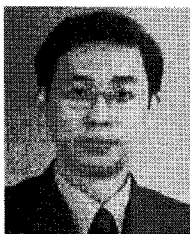
김 요 한

- 2001년 : 아주대학교 전자공학부 학사
- 2003년 : 아주대학교 전자공학과 석사
- 2003년 ~ 2004년 : Gran Wireless H/W1팀 연구원
- 2005년 ~ 2006년 : Pantech 중앙연구소 UMTS H/W3팀 연구원
- 2007년 ~ 현재 : 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정
- 주관심분야 : WCDMA, SVC, 멀티캐스트, FEC



곽 형 원

- 2005년 : 고려대학교 전기전자전파공학부 학사
- 2005년~2006년 : 현대자동차 연구소 하이브리드프로젝트팀 연구원
- 2007년~현재 : 성균관대학교 휴대폰학과 석사과정
- 주관심분야 : WCDMA, WiMAX/4G, HARQ/ARQ



신 지 태

- 1986년 : 서울대학교 전기공학과 학사
- 1988년 : KAIST 원자력공학과 석사
- 2001년 : Univ. of Southern California, 전기전자공학과 석사/박사
- 1988년 3월 ~ 1991년 10월 : 한국전력공사 고리원자력발전소 계측제어부 전문원
- 1991년 11월 ~ 1996년 8월 : 한국원자력연구소 계측제어설계부 선임연구원
- 2001년 8월 ~ 2002년 2월 : 경희대학교 정보통신전문 대학원 교수
- 2002년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신/네트워크, 이동휴대 방송기술, 유무선 통신네트워크 시스템, 영상처리