이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 서비스 지원을 위한 적응적 에러 제어 기법

전 용 훈[†] · 김 성 조[††]

요 약

이동 컴퓨팅 환경은 단말기 휴대성, 무선 통신의 사용, 이동성 지원 등의 특성을 가지고 있다. 이러한 특성으로 인해 적은 자원을 가진 단말기, 높은 오류율, 잦은 접속 단절, 이동으로 인한 환경 변화 등의 문제가 있다. 이러한 환경에서 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 적응적으로 에러를 제어하기 위한 기법이 필요하다. 본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 원활한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 AEC(Adaptive Error Control) 기법을 제안한다. AEC 기법은 클라이언트의 버퍼에 저장된 데이터의 크기와 오류율을 기준으로 4개의 그룹으로 나누고, 각 그룹별로 MPEG4의 VOP의 특징에 따라 적절한 에러 제어 기법을 적용한다. 클라이언트 버퍼에 저장된 데이터 크기의 임계값은 전송 속도 및 재생 속도, 평균 VOP 크기를 이용하여 설정되고, 오류율의 임계값은 연속된 패킷에서 에러가 발생하는 경우를 기준으로 설정된다. AEC 기법에 대한 실험은 구축된 클라이언트/서버 환경에서 실제로 동영상을 재생하면서 실행하였다. AEC 기법의 성능을 기존의 에러 제어 기법인 ARQ, FEC, Hybrid ARQ/FEC 기법들과 비교한 결과, ARQ와 FEC 기법보다 더 나은 복구율을 보이고 있으며, Hybrid 기법과 유사한 복구율을 보이고 있다. 또한, 에러 복구 시간은 거의 유사하고, 에러를 복구하기 위해 필요한 데이터의 양은 FEC 및 Hybrid 기법에 비해 23% 정도 줄일 수 있었다. 따라서, AEC 기법은 대역폭이 좁고, 오류율이 가변적인 이동 컴퓨팅 환경에서 좀 더 원활한 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.

키워드 : 이동 컴퓨팅, 멀티미디어 서비스, 에러 제어

Adaptive Error Control Scheme for Supporting Multimedia Services on Mobile Computing Environment

Yong Hun Jeon[†] · Sung Jo Kim[††]

ABSTRACT

Mobile computing has such characteristics as portability, wireless network, mobility, etc. These characteristics cause various problems to mobile terminals like frequent disconnection, high error rate, and varying network status. These problems motivate us to develop an adaptive error control mechanism for supporting multimedia service in mobile computing environment. In this paper, we propose the Adaptive Error Control(AEC) scheme using client's buffer size and current error rate. After categorizing the status into four groups according to client's buffer size and current error rate, this scheme applies an appropriate error control scheme to each status. In this scheme, thresholds of buffer size and error rate are determined by the data transmission time, play rate and average VOP size, and by the probability of error for a sequence of packets. The performance of proposed scheme is evaluated by playing MPEG-4 files on an experimental client/server environment, respectively. The results show that error correcting rate is similar to other schemes while the time for correcting error reduce a little. In addition, the size of data for correcting errors is decreased by 23% compared with FEC and Hybrid FEC, respectively. Theses results demonstrate that the proposed scheme is more suitable in mobile computing environment with small bandwidth and varying environment than existing schemes.

Key Words : Mobile Computing, Multimedia Service, Error Control

1. 서 론

최근 랩탑, 포켓 PC, PDA 등과 같은 이동형 정보 단말기의 사용 증가와 블루투스, IEEE 802.11, 하이퍼랜(HyperLan) 등과 같은 무선 통신 기술의 급격한 발달로 이동 컴퓨팅 시장이 점점 커지고 있다. 이러한 이동 컴퓨팅 시장 규모의 무한한 잠재성 때문에, 관련 기술도 나날이 발전하고 있다. 이에 따라 기존의 유선 인터넷에서 처리되던 텍스트, 이미지, 오디오, 비디오 등의 미디어들의 조합으로 구성된 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 이동 컴퓨팅 시장으로 빠르게

※ 이 논문은 2004년도 중앙대학교 학술연구비(일반연구비) 지원에 의한 것임.
† 정 회 원 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
†† 정 회 원 : 중앙대학교 컴퓨터공학부 석사과정
논문접수 : 2005년 9월 30일, 심사완료 : 2006년 2월 21일

확산되고 있다.

이동 컴퓨팅 환경에서는 이동성 지원을 위해서 무선 네트워크를 많이 사용한다. 무선 네트워크는 유선 네트워크의 오류율(10^{-10}~10^{-8}) 에 비해 상대적으로 높은 오류율(10^{-5}~10^{-3})과 좁은 대역폭을 가지며, 사용자의 이동으로 인하여 이러한 오류율 및 대역폭 등 네트워크 상태가 지속적으로 변한다[1]. 또한, 제한된 대역폭을 가진 이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 데이터 등의 실시간 데이터를 효율적으로 전송하기 위하여 데이터를 압축하는 기법을 사용하고 있다. 이러한 압축된 데이터는 전송 에러에 매우 민감한 특징을 가지고 있어, 이동 컴퓨팅 환경에서는 원활한 멀티미디어 서비스 제공이 어렵다.

IP 기반의 무선 네트워크 환경에서는 인터넷 기반 실시간 멀티미디어 데이터의 전송을 위한 전송 프로토콜로서, 처리 오버헤드와 전송 지연이 적은 UDP를 많이 사용한다. 그러나, UDP를 무선망에서 사용하기 위해서는 무선망의 높은 오류율을 극복하기 위하여 신뢰성 있는 전송, 순차 전송, 혼잡제어, 버퍼링 등의 메커니즘이 필요하다[1], [2]. 따라서, 이동 컴퓨팅 환경에서 실시간 멀티미디어 데이터를 전송하기 위해서는 효율적으로 에러를 제어할 수 있는 기법이 필요하다.

기존의 에러 제어 기법으로는 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 기법과 FEC(Forward Error Correction) 기법, 그리고 ARQ 기법과 FEC 기법을 결합한 Hybrid ARQ/FEC 기법 등이 있다. ARQ는 수신자가 수신된 데이터에 대해 ACK 또는 NACK를 전송하여 손실된 데이터에 대한 재전송을 요구하는 기법이다. 그러나, ARQ 기법은 RTT(Round Trip Time)가 아주 작지 않으면 실시간 데이터 전송에는 적합하지 않다. FEC 기법은 전송할 데이터에 부가적인 데이터를 추가하여, 에러가 발생하면 수신측에서는 부가적인 데이터를 이용하여 데이터를 복구할 수 있는 방법이다. FEC 기법은 별도의 재전송을 필요로 하지 않고, 부가적인 데이터의 크기를 동적으로 조절하여 네트워크 상황을 반영할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 복호화 및 부호화에 대한 부가 연산과 에러가 발생하지 않았을 경우에도 부가적인 정보를 전송하므로 대역폭을 낭비하며, 오류율이 일정 한계 이상이면 복구를 하지 못하는 단점을 가지고 있다. Hybrid ARQ/FEC 기법은 ARQ 기법과 FEC 기법의 장점만을 이용하기 위해서, FEC 기법을 시행한 후 FEC 기법으로 복구되지 않는 데이터만을 ARQ 기법을 이용하여 재전송하는 기법이다. 그러나, 이동 컴퓨팅 환경에서는 셀간 핸드오프, 군집 에러, 가변적인 오류율 등으로 인하여 기존의 에러 제어 기법을 적용하기가 어렵다. 현재 이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 서비스를 위한 많은 적응형 기법이 연구되고 있으나[3], [4], 에러 제어 기법에서는 단순히 FEC의 부가적인 데이터의 크기를 동적으로 조절하여 에러를 제어하는 기법만이 연구되고 있다. 이에 따라 이동 컴퓨팅 환경에서 효율적으로 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 적응적인 에러 제어 기법이 필요하다.

본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 서비스를 위한 클라이언트/서버 구조를 구축하고, 이동 컴퓨팅 환경의 높고 가변적인 오류율 및 좁은 대역폭으로 인한 문제를 해결하기 위해 수신 버퍼의 상태, 오류율, MPEG-4의 I/P/B VOP(Video Of Plane)의 중요도에 따라 효율적으로 에러를 제어할 수 있는 적응적인 에러 제어 기법(Adaptive Error Control : AEC)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동 컴퓨팅 환경의 특징 및 멀티미디어 표준인 MPEG-4의 특징 등에 대하여 설명하며, 기존의 에러 제어 기법에 대하여 살펴본다. 3장에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 멀티미디어 서비스를 위한 시스템 구조를 설명하고, 효율적인 에러 처리 기법을 제시한다. 4장에서는 구현된 에러 처리 기법에 대한 실행 결과 및 성능을 분석하고, 5장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.

2. 관련 연구

2.1 이동 컴퓨팅 환경의 특징 및 문제점

최근 위성망, 블루투스, 무선랜, 무선 ATM 등과 같은 무선 네트워크 관련 기술들의 급격한 발전은 이동 중인 사용자에게 고품질의 서비스를 제공할 수 있는 이동 컴퓨팅을 가능하게 하였다. 이러한 이동 컴퓨팅은 휴대성, 무선 통신, 이동성 등의 특징을 갖는데[5], 그 특징으로 인하여 발생하는 문제점에 대하여 자세히 살펴보면 다음과 같다.

- 휴대성 : 데스크탑 컴퓨터와는 달리, 이동 컴퓨팅에서 사용되는 기기는 사용자가 휴대하고 이동할 수 있어야 하므로, 작고 가벼워야 하며, 전력소모가 적어야 한다. 이로 인해 기기의 화면이나 입력을 위한 키보드 같은 사용자와의 인터페이스를 위한 장치는 소형화되고, 프로세서의 성능은 낮고, 메모리나 하드디스크 등의 저장 장치도 작아, 사용할 수 있는 자원에 제한이 있다. 따라서, 이동 컴퓨팅 기기에서의 어플리케이션은 이러한 제한적인 자원만을 이용하여서도 동작해야 한다.
- 무선 통신 : 이동 컴퓨팅 환경에서 사용자는 무선 통신 기술을 이용하여 인터넷에 연결되어 있는 AP(Access Point)를 통해 통신을 한다. 무선 통신은 유선에 비해 잡음, 간섭, 페이딩 등으로 인하여 가변적인 채널 할당, 가변적이며 높은 전송 오류율, 빈번한 단절 현상 등이 발생함에 따라 안정적으로 데이터를 전송하기 어렵다. 또한, 무선에서의 데이터는 누구나 쉽게 접근할 수 있기 때문에, 보안 유지가 어려운 단점도 있다. 따라서, 이동 컴퓨팅 환경에서는 이러한 무선의 단점을 보완하기 위하여 보안 유지 및 안정적인 데이터 전송을 지원하는 기법이 필요하다.
- 이동성 : 이동 컴퓨팅 환경에서 사용자는 네트워크에 연결된 상태에서 장소를 이동하면서 통신을 한다. 이러한 이동으로 인하여 지리적 위치와 주변 환경이 변하게 되고, 이러한 변화로 인하여 대역폭, 오류율, 접속된 AP

등의 네트워크 상황도 변하게 된다. 또한, 사용자가 네트워크에 연결된 상태에서 이동성을 지원하기 위해서는 주소의 변환이 이루어 지거나, 모바일 IP와 같이 현재 주소를 유지할 수 있는 기법이 필요하다. 이러한 주소 변환이나 주소 유지를 위해서는 기존 유선망과의 제어 정보를 주고 받기 위한 오버헤드가 발생한다.

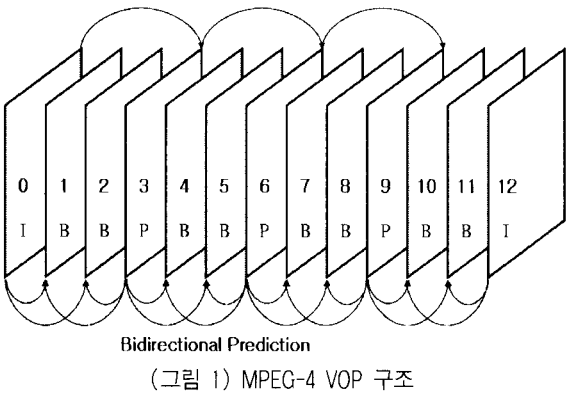
이동 컴퓨팅 환경은 이러한 특징들로 인하여 오류율, 대역폭, 네트워크 주소 등의 네트워크 상황이 자주 변하게 된다. 따라서, 이동 컴퓨팅 환경에서의 어플리케이션은 이러한 네트워크 상황의 변화에 따라 적응적으로 대처할 수 있어야 한다.

2.2 MPEG-4의 특징

MPEG-4는 ISO의 MPEG(Moving Picture Experts Group)에 의해 정의된 디지털 미디어 표준이다. MPEG-4는 무선망과 같은 64Kbps 이하의 저 비트율 환경을 주요 대상으로 한 동영상 압축 표준으로서, 미디어 스트리밍 같은 응용에 많이 사용되고 있다. 또한 MPEG-4는 고 압축률을 제공하며, 기존의 프레임 기반 인코딩 방식인 MPEG-1, MPEG-2와 달리 대화형 서비스를 위하여 객체 기반 인코딩 방식을 새롭게 지원하여 무선 환경에서 사용하기에 적합하다[6].

MPEG-4는 장면 처리의 기본 단위를 VOP(Video Object Plane)라 하며, 이러한 VOP에는 (그림 1)과 같이 I/P/B VOP의 세가지 종류가 있다. (그림 1)은 MPEG-4를 구성하고 있는 VOP의 구조를 나타낸다. I/P/B VOP의 특징은 다음과 같다.

- I-VOP(Inter coded VOP) : 다른 화면을 사용하지 않고, 독립적으로 인코딩 되어 있어, 디코딩도 독립적으로 이루어 질 수 있다.
- P-VOP(Predictive coded VOP) : 과거의 I-VOP나 P-VOP를 기준으로 화면을 구성한다. 디코딩을 위해서는 과거의 I-VOP나 P-VOP가 필요하다.
- B-VOP(Bidirectional-predictive coded VOP) : 과거나 미래의 I/P-VOP의 양방향에서의 VOP를 기준으로 화면을 구성하고, 다른 화면의 인코딩에는 사용되지 않는다. 디코딩을 위하여 전·후의 I/P-VOP가 존재 해야 한다.



(그림 1) MPEG-4 VOP 구조

이러한 I/B/P의 특징으로 인하여 I-VOP에서 에러가 발생하게 되면 이후 P/B-VOP의 재생에도 영향을 미치게 되고, B-VOP은 에러가 발생하여도 다른 프레임에 영향을 미치지 않는다. 따라서, MPEG-4에는 VOP의 이러한 인코딩의 연관성에 따라 I-VOP, P-VOP, B-VOP 순으로 중요도를 부여할 수 있다[6], [7]. 기존의 연구에서 이러한 MPEG-4의 각 VOP의 중요도에 따른 우선 순위화 기법을 활용하여 전송 효율을 높이는 연구가 이루어졌으며[4], MPEG-4의 인코딩 객체 단위 방식의 특성을 이용한 우선 순위화 방법도 연구되었다[8].

2.3 기존의 에러 제어 기법

네트워크 상에서 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 전송 중 발생한 에러를 제어할 수 있는 기법이 필요하다. 본 절에서는 현재의 유·무선망에서 많이 사용되고 있는 기존의 에러 제어 기법인 ARQ, FEC, Hybrid ARQ/FEC 기법에 대하여 살펴본다.

2.3.1 ARQ

ARQ 기법은 수신측에서 에러가 발생한 패킷에 대하여 ACK 및 NACK 정보를 송신측으로 전송하여, 송신측에서 에러가 발생한 패킷을 재전송하는 기법이다[9][10]. ARQ 기법은 다른 에러 복구 기법보다 에러의 검출 확률이 높고, 에러가 발생한 패킷 전부를 재전송하기 때문에, 에러가 발생한 패킷을 완전히 복구할 수 있다. 그러나, 재전송으로 인해 대역폭이 낭비되며, 재전송 패킷에서 에러가 발생하면 여러 번 재전송 되어야 한다. ARQ 기법은 동작방식에 따라 Stop-and-Wait, Go-Back-N ARQ, Selective-Repeat의 3가지로 구분될 수 있다. 이러한 ARQ 기법은 재전송을 요구하기 때문에, 전송 시간이 짧지 않으면 실시간성을 요구하는 멀티미디어 서비스에는 사용되기가 어렵다. 그러나, FEC 기법처럼 많은 양의 부가적인 데이터를 필요로 하지 않으므로 대역폭 낭비를 줄일 수 있고, 재전송 시간이 짧은 경우 및 핸드 오프 등으로 인한 버스트(burst) 에러나 FEC 기법으로 복구할 수 없을 정도로 많은 에러가 발생하는 경우에는 FEC 기법 보다 효율적이다[11].

2.3.2 FEC

FEC 기법은 송신측에서 에러 복구를 위한 부가적인 정보를 데이터와 같이 전송하고, 수신측에서는 부가 정보를 이용하여 에러가 발생한 부분을 복원하는 기술이다. FEC 기법은 부가 정보를 만들고, 에러를 복원하기 위한 지연 시간이 필요하지만, 대부분의 경우 ARQ 기법의 재전송 지연 시간 보다 훨씬 짧은 시간만을 요구한다. 그러나, 에러가 발생하지 않은 경우에도 부가적인 데이터 전송에 따른 대역폭 낭비가 발생하며, 일정 한계 이상의 에러가 발생하면 복구가 불가능하다는 단점이 존재한다. 일반적인 멀티미디어 서비스에서는 완전한 복구보다는 실시간성이 더 중요하므로 FEC 기법이 많이 사용되고 있다. FEC 기법은 부가 데이터

의 생성 방법에 따라 해밍 코드와 같이 XOR(eXclusive OR) 연산을 이용한 방법, 비터비 코드와 같이 보내고자 하는 송신 데이터를 블록으로 나누어 처리하지 않고 순서대로 입력시켜서 몇 가지 혼합된 로직을 거쳐 출력 부호를 생성하는 길쌈부호를 이용하는 방법, BCH(Bose Chaudhuri Hocquenghem) 코드나 RS(Reed Solomon) 코드와 같이 일정한 길이의 송신 데이터의 블록에 부가 데이터를 삽입하는 블록부호를 이용하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 RS 코드[12]를 이용하여 FEC 관련 기법들을 구현하였다. RS 코드는 BCH 부호의 하나로서, 산발적인 에러뿐 아니라 연속된 에러에 대한 복구가 뛰어나 위성 통신, 위성 방송, 이동 통신 시스템 같은 통신 시스템과 컴퓨터 기억 장치, 디지털 녹음기 같은 저장 매체의 에러 정정에 널리 적용되고 있으며, DVB(Digital Video Broadcast)에서는 전송 표준으로 채택하고 있다.

2.3.3 하이브리드 ARQ/FEC

하이브리드 ARQ/FEC 기법은 ARQ 기법과 FEC 기법을 적절히 조합한 기법이다[13]. 이 기법은 다양한 방식이 있지만, 대부분 Type-I과 Type-II의 두 가지 기법을 기반으로 하고 있다. Type-I 기법은 에러가 정정되지 않는 경우에 데이터와 부가 정보를 모두 재전송을 하는 기법이다. 에러 정정에 관계된 패리티 검사 때문에 낮은 오류율에서는 처리량이 ARQ만 사용할 때보다 낮지만, 오류율이 높을 경우에는 처리량이 개선된다. Type-II 기법은 낮은 오류율에서 처리량을 향상시킴으로써 Type-I의 단점을 극복한다. 이 기법은 에러가 발생하면, 이것을 저장했다가 이후에 재전송된 부가 정보를 이용하여 에러를 정정하는 기법이다. 따라서, Type-II 기법은 에러가 발생한 패킷에 대한 저장 공간이 추가로 필요하다. 본 논문에서는 수신측에 추가적인 버퍼가 필요하지 않은 Type-I의 Hybrid 기법을 사용한다.

3. 멀티미디어 전송을 위한 적응적 에러 제어

본 논문에서는 실시간 멀티미디어 전송을 위해 클라이언트/서버 구조를 채택했다. 서버는 MPEG-4 VOP 리딩 모듈, 에러 제어 코드 인코딩 및 패킷 분할 모듈, 패킷 전송 모듈 등으로 이루어져 있고, 클라이언트는 패킷 수신 모듈, 에러 제어 코드 디코딩 및 패킷 조합 모듈, 버퍼링 모듈, MPEG 디코딩 모듈 등으로 이루어져 있다. 본 장에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 클라이언트/서버 구조 기반 실시간 멀티미디어 전송을 위해 전송 속도 및 오류율 등의 네트워크 정보와 현재 클라이언트 버퍼에 저장된 데이터의 크기 등의 정보를 이용하여 적응적으로 에러를 제어할 수 있는 AEC 기법을 제안한다.

3.1 적응적 에러 제어 정책

본 논문에서 적응적 에러 제어 기법의 제안을 위해 사용된 기호와 그 의미는 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 기호와 의미

기호	의미
ρ	바이트 오류율
ρ_{th}	바이트 오류율 임계값(threshold)
B_{cur}	현재 버퍼에 저장된 데이터의 크기 (Byte)
B_{th}	버퍼 크기 임계값(threshold)
λ_t	전송율 (Byte/sec)
λ_p	재생율 (Byte/sec)
λ_f	프레임율 (VOP/sec)
S_d	VOP의 평균 데이터 크기 (Byte/VOP)
S_{App}	RTCP의 App 메시지 크기 (Byte)
S_I, S_P, S_B	I/P/B VOP 각각의 평균 크기 (Byte)
N_I, N_P, N_B	I/P/B VOP 각각의 개수
T_r	재전송에 필요한 시간 (sec)
T_p	현재 버퍼에 있는 데이터의 재생 시간 (sec)

본 논문에서 제안하는 에러 제어 정책은 현재 클라이언트의 버퍼에 저장된 데이터의 크기와 오류율에 따라 <표 2>와 같이 4가지 모드로 나뉘고, MPEG-4 VOP의 중요도에 따라 에러 제어 기법을 달리한다.

ARQ 기법은 재전송을 위한 시간이 필요하지만, 재전송으로 인한 복구 시간은 오류율에 영향을 받지 않는다. FEC 기법은 재전송에 따른 비용이 없지만, 부가 데이터로 인해 대역폭이 낭비될 수 있다. Hybrid 기법은 FEC가 복구할 수 없는 에러도 재전송을 통해 복구할 수 있지만, 재전송 시간이 필요하다. 버퍼에 저장된 데이터 양이 적은 경우 ARQ 기법이 사용되면, 재전송으로 인한 시간 지연 때문에 멀티미디어 데이터를 지속적으로 재생하기 어렵다. 따라서, 클라이언트 버퍼에 저장된 데이터의 양이 일정 임계값(threshold) 미만이고, 오류율이 작을 때에는 FEC 기법만을 이용하면 에러가 완전히 복구될 수 있다. 오류율이 큰 경우에는 FEC 기법만을 사용하면 에러가 완전히 복구될 수 없고, I-VOP 데이터는 멀티미디어 재생에 미치는 영향이 커 복구가 더 잘 이루어져야 하므로, FEC 기법과 ARQ 기법을 조합하여 에러를 복구하는 Hybrid ARQ/FEC 기법을 사용한다. P/B-VOP는 클라이언트의 버퍼에 저장된 데이터 양이 적기 때문에, 재전송으로 인한 지연을 방지하기 위해 FEC 기법만을 사용하고, 복구가 불가능한 경우에는 패킷을 버린다.

〈표 2〉 적응적 에러 제어 정책

상태		적용 기법
$B_{cur} <= B_{th}$	$\rho <= \rho_{th}$	I/P/B-VOP : FEC
	$\rho > \rho_{th}$	I-VOP : Hybrid ARQ/FEC P/B-VOP : FEC
$B_{cur} > B_{th}$	$\rho <= \rho_{th}$	I /P/B - VOP : ARQ
	$\rho > \rho_{th}$	I/P-VOP : Hybrid ARQ/FEC B-VOP : FEC

재생되기 위해 버퍼에 저장된 데이터가 임계값 이상이면, ARQ 기법으로 인해 에러가 발생한 패킷을 재전송하는 시간 보다 버퍼에 저장된 데이터를 재생하는데 시간이 더 걸리기 때문에 재전송으로 인한 문제가 발생하지 않는다. 따라서, 에러가 발생한 패킷을 재전송 하는 ARQ 기법을 이용해도 재생과 상관없이 에러를 복구할 수 있다. 버퍼에 저장

된 데이터가 많고 오류율이 낮은 경우, ARQ 기법을 이용하여 에러를 복구함으로써 부가 정보로 인한 대역폭 낭비를 줄인다. 오류율이 큰 경우, I/P-VOP는 FEC 만으로는 에러 복구가 불가능한 경우가 있으므로, Hybrid 기법을 이용하여 데이터를 복구하고, B-VOP는 상대적으로 중요도가 낮기 때문에 FEC 기법만을 이용하여, 복구가 불가능한 에러가 발생한 패킷은 재전송으로 인한 비용을 줄이기 위해 버린다.

3.2 오류율 및 버퍼 크기 임계값 설정

적응적 에러 제어 기법에서는 적용될 기법의 구분을 위한 임계값 결정이 중요하다. 본 절에서는 이러한 임계값 설정을 위한 방법을 제시한다.

3.2.1 버퍼 크기 임계값 설정

버퍼 크기 임계값은 재전송에 걸리는 시간과 현재 버퍼에 저장된 데이터의 크기에 따른 재생시간으로 결정될 수 있다. 재전송으로 에러를 복구하는 ARQ 기법이 재생에 영향을 주지 않기 위해서는 재전송 시간이 재생 시간 보다 길어야 한다. 따라서, 버퍼 크기의 임계값은 재생 시간과 재전송 시간이 같을 때의 버퍼 크기 값이 될 것이다. 평균 데이터 크기는 (식 1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_d = \frac{S_I \times N_I + S_P \times N_P + S_B \times N_B}{N_I + N_P + N_B} \quad \text{(식 1)}$$

(식 1)의 평균 데이터 크기를 이용하여, 재전송 시간을 계산하면 (식 2)와 같다.

$$T_r = \frac{(S_d + S_{App})}{\lambda_t} \quad \text{(식 2)}$$

또한, 현재 버퍼에 저장된 데이터를 재생 하는 시간은 (식 3)과 같이 현재 버퍼에 저장된 데이터의 크기를 재생율로 나눈 것과 같다.

$$T_p = \frac{B_{cur}}{\lambda_p} \quad \text{(식 3)}$$

여기서 재생율 λ_p는 (식 4)과 같다.

$$\lambda_p = S_d \times \lambda_f \quad \text{(식 4)}$$

버퍼 크기 임계값(B_{th})은 재전송 시간과 재생 시간이 일치하는 경우이므로, $T_r = T_p$일 때의 버퍼 크기를 버퍼 크기 임계값으로 설정하면 된다. 따라서 (식 2), (식 3), (식 4)과 $T_r = T_p$의 관계를 이용하여 버퍼 임계값을 계산하면 (식 5)가 된다.

$$B_{th} = \frac{(S_d + S_{App}) \times (S_d \times \lambda_f)}{\lambda_t} \quad \text{(식 5)}$$

3.2.2 오류율 임계값 설정

패킷에서 연속적으로 에러가 발생하는 경우 ARQ 기법으로는 에러가 복구될 수 없으므로, 오류율의 임계값은 에러가 연속적으로 발생하는 경우의 오류율로 정할 수 있다. 전체 전송되는 바이트 중에서 오류가 발생하는 바이트 수의 비율을 ρ(<표 1> 참조)라고 했을 때, 전송되는 하나의 패킷에서 오류가 발생할 수 있는 경우는 $\rho \cdot S_d$ 값이 1 보다 클 경우이다. 그리고, 패킷에서 연속적으로 에러가 발생할 경우는 $\rho \cdot S_d$의 제곱값으로 계산될 수 있고, 이 값이 1 보다 클 경우 연속적으로 에러가 발생했다고 할 수 있다. 따라서, 바이트 오류율 임계값(ρ_{th})은 (식 6)과 같으며, 이 값을 기준으로 <표 2>에서와 같이 적용되는 에러 제어 정책을 달리 할 수 있다.

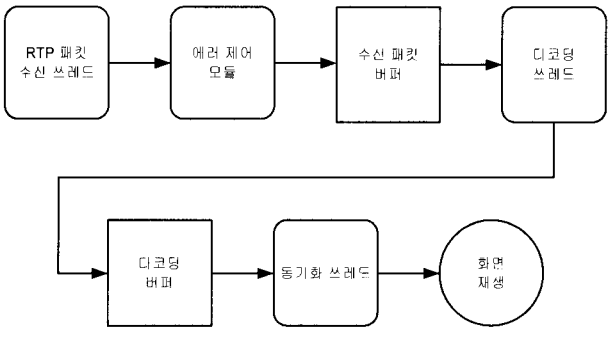
$$\rho_{th} = \frac{1}{S_d} \quad \text{(식 6)}$$

3.3 적응적 에러 제어 기법 구현

3.3.1 클라이언트 구현

본 논문에서의 클라이언트는 MPEG4IP 프로젝트[14]의 MPEG4IP 플레이어를 수정하여 구현되었다. MPEG4IP 프로젝트는 MPEG-4 코덱의 멀티미디어 데이터를 재생하는 클라이언트 및 기타 응용을 개발하기 위한 오픈 프로젝트로서 각 응용과 라이브러리의 소스 코드가 모두 공개되어 있다. 클라이언트는 RTSP 처리 모듈, RTP 패킷 수신 쓰레드, 에러 제어 모듈, 수신 패킷 버퍼, 디코딩 쓰레드, 디코딩 버퍼, 동기화 쓰레드, 화면에 재생하는 모듈 등으로 구성되어 있다. 클라이언트를 이루는 구성 요소들의 기능은 다음과 같다.

- RTSP 처리 모듈 : DESCRIBE, SETUP, PLAY, PAUSE, TEARDOWN 메시지 및 응답 메시지 등의 RTSP 메시지를 처리하여 세션을 관리하고, 멀티미디어 재생을 조절한다.
- RTP 패킷 수신 쓰레드 : 서버로부터 전송되어 오는 RTP 패킷을 수신하여 에러 제어 모듈로 넘겨준다.
- 에러 제어 모듈 : RTP 패킷에서 발생한 에러를 현재 상태에 적절한 기법에 따라 처리하고, 에러 제어 코드를 제거한 멀티미디어 데이터를 버퍼에 저장한다.
- 디코딩 쓰레드 : 버퍼에 저장된 멀티미디어 데이터를 디코딩하여 디코딩 버퍼에 저장한다.
- 동기화 쓰레드 : 디코딩 버퍼에 저장된 영상 및 음성 데이터를 동기화 시키다.
- 화면 재생 모듈 : 동기화를 통해 제어된 데이터들을 해당 재생 시간에 맞게 화면에 재생한다.



(그림 2) RTP 패킷 처리 과정

클라이언트에서의 RTP 패킷 처리하는 과정은 (그림 2)와 같다. RTP 패킷을 수신 쓰레드에서 수신을 하고, 에러 제어 모듈을 통해 에러 제어를 수행한다. 에러 제어 모듈에서는 에러가 발생하지 않거나, 에러 제어가 완료된 패킷은 수신 버퍼에 저장되고, 저장된 데이터는 디코딩 쓰레드에 의해 디코딩된다. 디코딩된 데이터는 디코딩 버퍼에 저장이 되고, 동기화 쓰레드에서 영상과 음성의 동기화를 통해 화면에 재생된다.

3.3.2 서버 구현

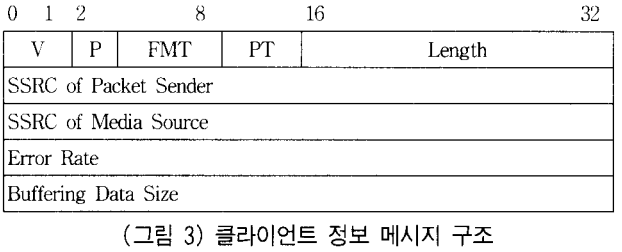
서버는 RTP/RTCP의 세션을 맺기 위한 정보를 주고 받는 RTSP 패킷의 처리 및 MPEG-4의 VOP를 읽고, RTP/RTCP를 이용한 스트리밍 서비스 등을 제공한다. 서버는 크게 스트리밍 관리, 패킷 수신 관리, 세션 관리, 기타 기능 등으로 이루어져 있다.

스트리밍 관리는 MPEG-4 파일에서 VOP 정보를 읽고, 읽어 온 데이터를 전송하기 위한 데이터로 만들며, 프레임율에 따라 데이터를 전송한다. 또한, 전송된 데이터를 버퍼에 저장하여, 재전송이 필요한 경우 해당 패킷을 버퍼에서 읽어서 바로 재전송할 수 있게 하였다. 패킷 수신 관리는 RTP 세션 생성 및 삭제를 위한 정보를 주고 받거나 재생과 관련된 제어 메시지를 전달하는 RTSP 패킷 수신 관리 모듈 및 클라이언트로부터 RTCP 패킷을 수신하기 위한 RTCP 패킷 수신 관리 모듈을 가지고 있으며, 세션 관리에 패킷이 도착했음을 통보하여 패킷이 처리될 수 있도록 한다. 세션 관리는 RTSP 및 RTP 세션을 관리하고, RTSP와 RTCP 패킷을 처리하는 모듈을 가지고 있다. 기타 모듈로는 CRC 정보 생성기와 RTSP 메시지를 파싱하기 위한 스트링 파서, FEC 정보를 생성하기 위한 모듈, 시뮬레이션을 위한 에러 생성 모듈 등으로 구성되어 있다.

3.3.3 에러 제어 기법 구현

각 에러 제어 기법 구현에서 ARQ 기법은 에러 검출 능력이 뛰어나면서, 상대적으로 필요한 데이터 양이 적은 CRC-16[15]을 이용하고, FEC 기법은 연속적인 에러 검출 능력이 뛰어난 RS 기법 중 RS(255, 239) 코드를 사용한다.

본 논문에서 제안한 에러 제어 기법을 구분하기 위하여 RTP 패킷의 페이로드 타입을 이용한다. RFC 3551[16]에는 현재 정의되어 있는 페이로드 값들이 나타나 있다. 따라서, 페이로드 타입 중에서 할당되지 않은 77-95 사이의 값을 이용하여 각 기법을 구분하는데 사용한다. 클라이언트의 현재 상태에 대한 모니터링 정보를 서버로 알려주기 위하여, RTCP의 App 메시지를 수정하여 Client_Info(CI) 메시지를 만들었다. (그림 3)은 CI 메시지의 구조를 나타낸다. CI 메시지에서 SSRC 필드 전의 값들은 RTCP App 메시지에서 공통으로 사용되는 것이며, 'Error Rate' 필드는 현재 클라이언트에서 측정된 오류율을 나타내고, 'Buffering Data Size' 필드는 현재 클라이언트의 버퍼에 저장된 데이터의 크기를 나타낸다.



(그림 3) 클라이언트 정보 메시지 구조

4. 성능 평가

본 장에서는 오류율과 클라이언트 버퍼의 크기에 따라 적응적인 에러 제어 기법을 실제 어플리케이션을 통해 실험하고, 기존의 에러 제어 기법인 ARQ, FEC, Hybrid ARQ/FEC 기법과 성능을 비교 평가한다.

4.1 실험 환경

본 논문에서는 제안한 에러 기법의 성능 평가를 위하여 클라이언트/서버 구조를 이용하였다. 실험 환경은 스트리밍을 제공할 서버와 스트리밍 서비스를 제공 받을 클라이언트로 이루어져 있다. 일반 데스크탑 컴퓨터인 서버는 리눅스를 운영체제로 사용하며, 유선 네트워크에 연결 되어 있다. 랩탑 컴퓨터인 클라이언트도 리눅스를 운영체제로 사용하고, Orinoco PCMCIA Wireless Lan Silver 카드와 무선 AP를 통해 인터넷에 연결된다.

〈표 3〉 실험에 사용된 MPEG-4 파일

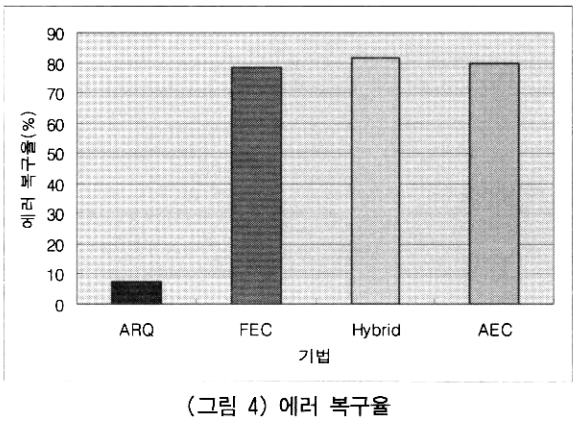
영상	영상 크기 (pixel)	비트율(kbps)	프레임율(fps)	평균 프레임 크기 (bytes)
샘플1	200×128	80	10	1004
샘플2	176×110	125	15	1048
샘플3	320×136	156	15	1325
샘플4	176×120	180	15	1514
샘플5	160×120	69	30	287

실험은 오류율 및 전송 지연 시간에 따른 복구율 및 복구 시간, 그리고 복구를 위한 부가 데이터의 크기를 측정하였다. 복구율은 에러가 발생한 패킷 중 복구된 패킷의 비율을 나타내고, 복구 시간은 모든 패킷에 대하여 에러를 검출하

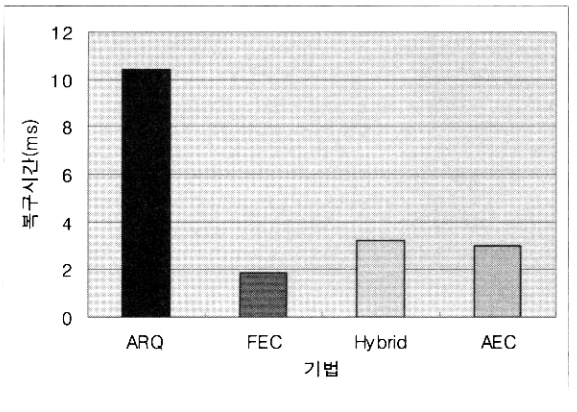
고 복구하는데 소요되는 시간이다. 우선, 오류율과 전송 지연 시간이 고정된 환경에서 실험을 하였고, 최종적으로 이동 컴퓨팅 환경을 실험하기 위하여 오류율과 전송 지연시간을 가변적으로 변화시키면서 실험을 하였다. 실험 결과는 다양한 비트율과 프레임율을 가진 <표 3>의 동영상들을 재생한 결과 값들의 평균이다.

4.2 성능 분석

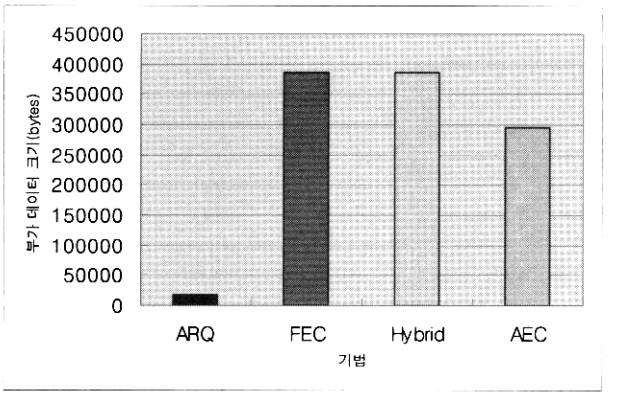
오류율에 대한 영향을 알아보기 위해 우선 오류율과 전송 지연 시간을 각각 고정 시키고 테스트를 실행하였다. 그 결과 오류율이 10^{-5}보다 작고 10^{-1} 보다 큰 경우와 전송 지연 시간이 1ms 보다 작고 1000ms 보다 큰 경우, 기법들 간 차이는 없었다. 따라서, 가변적인 환경을 테스트 하기 위하여 오류율은 $10^{-5} \sim 10^{-1}$의 범위에서 램덤하게 변화를 시키고, 전송 지연 시간은 1ms ~1000 ms 사이에서 랜덤하게 변화시켰다. 802.11b의 경우 서비스 반경이 100m 정도이고, 이동 노드의 속도를 4km/h라고 가정할 때, 서비스 반경을 벗어나 다른 AP로 이동을 할 때 네트워크 상태가 바뀔 확률이 높으므로, 셀 변경이 일어나는 시점인 10초를 변화 주기로 정하였다. 또한, 무선 환경에서의 버스트 에러를 고려하여, 버스트 에러를 랜덤하게 발생시켰다. 실험에서는 랜덤한 값에 영향을 받으므로 각 동영상 샘플당 5번의 실험을 거쳐 그 평균값을 결과로 사용하였다.



(그림 4) 에러 복구율



(그림 5) 에러 복구 시간



(그림 6) 에러 복구를 위해 부가되는 데이터 크기

(그림 4)은 각 기법에 따른 에러 복구율을 나타낸다. (그림 4)에서 볼 수 있는 바와 같이, 제안된 AEC 기법의 에러 복구율은 Hybrid 기법에 비해 약간 떨어지지만, ARQ나 FEC 보다는 복구율이 더 좋다. 이것은 ARQ로 인한 재전송 시 오류율로 인해 재전송 패킷도 에러가 발생했기 때문이다. (그림 5)는 에러 복구 시간을 보여주고 있다. 에러 복구 시간은 재전송 시간이 없는 FEC 기법이 가장 빠른 것으로 나타났고, AEC, Hybrid, ARQ 순으로 나타났다. 제안된 기법이 Hybrid 기법보다 복구 시간이 빠른 것은 재전송을 요청하지 않는 FEC 기법이 사용되었기 때문이다. (그림 6)는 에러 복구를 위해 부가되는 데이터의 크기를 나타낸다. FEC 기법과 Hybrid 기법은 에러 복구를 위해 모든 데이터에 에러 복구 코드를 삽입해야 하므로, 부가 되는 데이터 크기가 크다. 그러나, 제안된 기법은 모든 데이터에 추가 되는 것이 아니므로, FEC나 Hybrid 기법에 비해 23% 정도 적은 데이터만을 필요로 한다. ARQ 기법은 단지 에러 검출을 위한 CRC 정보만이 필요하기 때문에 가장 적은 부가 데이터를 필요로 한다. 그러나 ARQ 기법은 복구 시간이 많이 필요하며, 복구율이 현저히 떨어지기 때문에 단순히 부가 데이터가 적은 것만으로는 의미가 없다.

위에서 볼 수 있는 바와 같이 제안된 기법은 Hybrid 기법에 비해 에러 복구율이 약간 떨어지지만, 에러 복구 시간이 짧기 때문에 실시간성이 필요한 멀티미디어 서비스를 더 효율적으로 제공할 수 있고, 에러를 복구하기 위해 부가되는 데이터 양 또한 Hybrid 기법이나 FEC 기법에 비해 23% 정도 적게 사용함으로써, 이동 컴퓨팅 환경에서의 대역폭 요구량을 줄일 수 있다. 또한 I/P/B VOP의 중요도에 따라 다른 에러 제어 기법을 적용함으로써, 이동 컴퓨팅 환경에서 좀 더 원활한 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

이동 컴퓨팅 환경은 기존의 유선 네트워크 환경에 비해 상대적으로 좁은 대역폭을 제공하며, 단말기는 휴대성이라는 특징으로 인하여 데이터 처리 능력, 저장장치, 입·출력 장치 등의 성능이 낮다. 또한 사용자의 이동에 따른 데이터

지연 현상과 가변적이며 높은 오류율로 인하여 멀티미디어 서비스를 제공하기가 어렵다. 이와 같은 이동 컴퓨팅 환경에서 원활한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 가변적인 환경을 고려한 적응적인 에러 제어 기법이 필요하다.

본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 사용자 단말기의 버퍼에 저장된 데이터의 크기와 현재 네트워크상의 오류율을 기준으로 적응적으로 에러를 제어할 수 있는 AEC 기법을 제시하고, 구축된 클라이언트/서버 환경에서 실험을 통해 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해서 기존의 유·무선 네트워크에서 많이 사용되는 ARQ, FEC, Hybrid ARQ/FEC 기법을 사용되었다.

실험 결과 AEC 기법은 Hybrid 기법에 비해 에러 복구율이 약간 떨어지지만, 타 기법에 비해 짧은 에러 복구 시간을 가지며, FEC 및 Hybrid 기법에 비해 부가되는 데이터의 크기가 23% 정도 감소되었다. 또한 MPEG-4의 VOP 특징에 따라 적용되는 에러 기법을 달리함으로써 보다 나은 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있었다. 따라서, 본 논문에서 제시한 AEC 기법은 Hybrid 기법에 비해 복구율이 약간 떨어지는 단점이 있지만, 이동 컴퓨팅 환경과 같이 대역폭이 좁고, 가변적인 환경에서 좀 더 효율적으로 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있다.

향후 복구가 안된 패킷 처리를 위해 에러 은닉 기법을 적용하고, 분실된 패킷에 대한 처리가 추가되면, 이동 컴퓨팅 환경에서 보다 효율적 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] L. Larzon, M. Degermark, and S. Pink, "Efficient Use of Wireless Bandwidth for Multimedia Applications," *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMUC)*, pp.187~193, November, 1999.

[2] H. Zheng, J. Boyce, "An Improved UDP Protocol for Video Transmission over Internet-to-Wireless Networks," *IEEE Transaction on Multimedia*, Vol.3, No.3, pp.356~364, September, 2001.

[3] T. K. Kwon, Y. H. Choi, S. K. Das, "Bandwidth Adaptation Algorithms for Adaptive Multimedia Services in Mobile Cellular Networks," *Wireless Personal Communications: An International Journal*, Vol.22, No.3, pp.337~357, 2002.

[4] F. Chi-Woon and S. C. Liew, "End-to-End Frame Rate Adaptive Streaming of Video Data," *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, Vol. 2, pp.66~71, 1999.

[5] M. Satyanarayanan, "Fundamental Challenges of Mobile Computing," *Proc. 15th ACM Symp. Principles of Distributed Computing*, pp.1~7, 1996.

[6] A. Puri and A. Eleftheriadis, "MPEG-4: An Object-based Multimedia Coding Standard Supporting Mobile Applications", *Mobile Network and Applications*, August, 1998.

[7] "Information Technology Coding of Audio-Visual Objects Part 2: Visual, ISO/IEC14496-2", ISO/IEC/SC29/WG11, Dec., 2001.

[8] T. Ahmed and A. Mehaoua, "Adaptive MPEG-4 Streaming Based on AVO Classification and Network Congestion Feedback," in *Proc. Packet Video Workshop*, 2003.

[9] S. Lin, D. J. Costelo, and M. Miller, "Automatic Repeat Request Error Control Schemes," in *IEEE Communications Magazine*, pp.5~17, 1984.

[10] P. Sweeney, *Error Control Coding from Theory to Practice*, WILEY, 2002.

[11] S. Wang, H. Zheng, J. A. Copeland, "A QoS Enhanced Hybrid SR-ARQ for Mobile Video Communications," *ICC 2000-IEEE International Conference on Communications*, No.1, pp.526~530, June, 2000.

[12] Reed-Solomon Codes, http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm

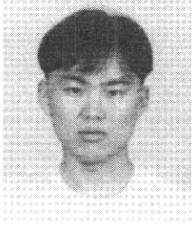
[13] H. Liu, M. E. Zarki, "Performance of H.263 Video Transmission over Wireless Channels Using Hybrid ARQ," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.15, No.9, December, 1997.

[14] MPEG4IP, "MPEG4IP - Open Streaming Video and Audio," http://www.mpeg4ip.net

[15] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*, Prentice-Hall, 2003.

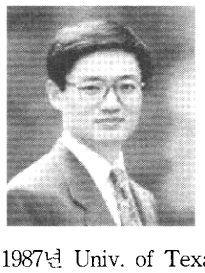
[16] H. Schulzrinne, *RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control*, RFC 3551, July, 2003.

전 용 훈



e-mail : yonghun.jeon@gmail.com
2003년 중앙대학교 컴퓨터공학과(공학사)
2003년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학과 (석사과정)
관심분야 : 이동컴퓨팅, 임베디드 시스템, RTOS

김 성 조



e-mail : sjkim@cau.ac.kr
1975년 서울대학교 응용수학과(공학사)
1977년 한국과학기술원 전산과(이학석사)
1977년~1980년 ADD(연구원)
1980년~현재 중앙대학교 컴퓨터공학부 교수
1987년 Univ. of Texas at Austin(공학박사)
1887년~1988년 Univ. of Texas at Austin(Research Fellow)
1996년~1997년 Univ. of California-Irvine(Visiting Professor)
관심분야 : 이동컴퓨팅, 임베디드 소프트웨어, 유비쿼터스컴퓨팅