

# CDMA2000 1xEV-DO 이동통신 망에서 일대일 주문형 비디오 서비스를 위한 비디오 트레이스 기반 무선 MAC 스케줄러

(A Wireless MAC Scheduler based on Video Traces for  
One-to-one Video-on-demand Services in CDMA2000 1xEV-DO)

편 기 현 <sup>\*</sup>

(Kihyun Pyun)

**요 약** CDMA2000 1xEV-DO 이동통신 시스템에서 주문형 비디오 서비스를 고품질로 제공하면서도 합리적 수준의 시스템 성능을 제공하는 무선 MAC 스케줄러를 제안한다. 제안하는 스케줄러는 응용 계층에 존재하는 비디오 데이터 정보를 MAC 계층에 존재하는 스케줄러가 활용하여 주문형 비디오 서비스의 품질이 개선되도록 한다. 우리는 시뮬레이션 실험을 통해서 제안하는 방식이 이전에 제안된 비디오 트레이스 방식과 비교 했을 때 VBR(Variable-Bit-Rate) 비디오의 비디오 프레임 변화가 클수록 더 뛰어난 품질과 성능을 제공함을 보인다.

**키워드** : 계층간 최적화, 스케줄링 알고리즘

**Abstract** A wireless MAC scheduler for CDMA2000 1xEV-DO that provides a high level of quality-of-service(QoS) for video-on-demand(VOD) applications while achieving a reasonable level of system throughput is proposed. The proposed scheduler that exists in the MAC layer utilizes the video data information that resides in the application layer such that it improves the QoS for VOD applications. We show by simulations that our approach is better than the previous scheduler which is also based on video traces for VBR videos that have high variability between video frames.

**Key words** : cross-layer optimization, scheduling algorithm

## 1. 서 론

최근 사용자들은 휴대폰, 스마트폰(smartphone), PDA 등의 모바일 단말(mobile terminal - 이하 단말)을 통하여 웹서핑, 메일 검색 등의 비실시간 서비스에 대해서 높은 수준의 전송 속도를 요구할 뿐만 아니라 동영상 등에 대한 실시간 서비스에 대해서도 고품질을 요구한다. CDMA2000 1xEV-DO[1]나 와이브로와 같은 진보

된 무선 시스템은 단말의 채널 품질을 고려함으로써 고성능 시스템을 성취한다[1]. 그러나 이런 시스템들은 여전히 주문형 비디오(VOD: Video-on-demand) 응용과 같이 실시간 응용의 QoS(Quality-of-service)를 만족시키는 데 어려움을 갖는다.

CDMA2000 1xEV-DO를 포함한 4세대 이동 통신망은 계층간 최적화 기법(cross-layer optimization techniques)을 바탕으로 고성능 및 고품질을 성취하고 있다 [2-24]. 계층간 최적화 기법이란 각 계층에 존재하는 정보를 다른 계층에서 활용하여 시너지(synergy)를 창출해내는 것으로 물리 채널에 가변 변조와 코딩율(adaptive modulation and coding rate)을 지원하는 현재의 이동통신망에서 적용되는 기법이다. 가변 변조와 코딩율을 사용하는 이유는 다중 경로 페이딩(multi-path fading) 등의 영향으로 단말이 주어진 주파수 대역에 데이터를 실을 때 변조된 데이터가 성공적으로 전송될 확률이 달라지기 때문이다. 이런 이유로 CDMA2000

<sup>\*</sup> 종신회원 : 전북대학교 전자정보공학부 교수

khpyun@chonbuk.ac.kr

논문접수 : 2009년 4월 6일

심사완료 : 2009년 5월 7일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제4호(2009.8)

1xEV-DO와 같은 이동통신망은 매 타임 슬롯(time slot)마다 각 단말의 채널 품질을 물리 계층 하드웨어가 측정을 하며, 각 단말의 현재 채널 상태에 대해서 몇 개의 슬롯을 어떤 변조 방식과 코딩율을 사용하여 CDMA2000 1xEV-DO에서 목적으로 하는 BER(Bit Error Rate), 예를 들면 10<sup>-3</sup>을 만족하도록 전송할 수 있는 지를 계산하고 있다. 결과적으로 무선 자원(air resources)인 타임 슬롯을 단말에게 할당할 때 현재 어떤 단말을 선택하느냐에 따라서 동일한 무선 자원에 실을 수 있는 데이터의 양이 달라진다. 물리 채널에 존재하는 각 단말의 채널 품질 정보를 MAC 계층에 존재하는 스케줄러가 활용하게 되면 시스템 성능을 향상시킬 수도 있다. 가령 MAC 스케줄러가 채널 상태가 좋은 단말만을 항상 선택한다면 전체 시스템 성능은 좋아지는 반면 공정성(fairness)은 나빠지는 결과를 낳는다. 물리 계층의 채널 품질 정보를 MAC 계층의 스케줄러가 활용하여 공정성과 시스템 성능을 함께 고려한 것이 PF(Proportional Fair) 스케줄러이며 이 스케줄러는 널리 사용되고 있다. 또한, 상위 계층에 존재하는 RSVP 프로토콜 정보와 물리 계층에 존재하는 단말의 채널 품질 정보를 MAC 스케줄러에서 함께 고려하여 보장 서비스(guaranteed service)를 제공하는 연구도 수행되었다[6]. 이와 같이 서로 다른 계층에 존재하는 정보를 함께 고려하는 계층간 최적화 연구는 최근까지 활발히 진행되고 있다. 계층간 최적화 기법은 어느 계층의 정보들을 어떻게 활용하여 어떤 효과를 얻는 지를 찾아내는 것이 중요한 이슈이고 공헌이 된다. 참고로 유선망, 예를 들면 이더넷(ethernet)의 경우 가변 변조 방식과 코딩율 기법이 사용되지 않기 때문에 항상 일정한 대역폭, 예를 들면 100 Mbps를 제공하며 계층간 최적화 기법을 적용하면 구현 복잡도만 증가할 뿐 이득이 발생하지 않는다.

계층간 최적화 중에 많은 연구들이 멀티미디어 데이터 전송을 효율적으로 수행하기 위해 연구되었다[12-24]. 멀티미디어 데이터들이 무선 인터넷에서 차지하는 비중이 점점 높아지고 있어 이러한 데이터들을 효율적으로 다루는 연구가 필요하기 때문이다. 또한 멀티미디어 데이터는 고용량이며 많은 대역폭을 필요로 하기 때문이기도 하다. 멀티미디어 전송은 크게 방송과 같이 실시간 비디오 데이터가 바로 생성되어 전송되는 온라인(on-line) 멀티미디어 전송과 미리 생성된 비디오 데이터를 파일로 저장한 뒤 사용자가 주문하면 전송하는 주문형 비디오 서비스와 같은 오프라인(off-line) 멀티미디어 전송으로 나눌 수 있다. 그런데 대부분의 멀티미디어 관련 계층간 최적화 연구들은 온라인 멀티미디어와 오프라인 멀티미디어를 구분하지 않고, 이들을 모두 온라인 멀티미디어 전송 기법을 적용하는 방식을 취하고

있다. 이런 방식은 두 타입의 멀티미디어 데이터에 모두 적용할 수 있는 장점이 있는 반면 데이터가 바로바로 생성되는 온라인 멀티미디어 데이터와 달리 데이터가 미리 생성된 오프라인 멀티미디어 데이터의 특성을 활용하여 멀티미디어 데이터 전송에 활용하지는 못한다. 오프라인 멀티미디어 데이터는 뮤직 비디오, 영화, e-러닝(learning) 등에서 널리 활용되고 그 중요성이 날로 커지고 있다.

우리가 아는 한 오프라인 멀티미디어 데이터만의 특성을 활용하여 계층간 최적화 기법을 바탕으로 고품질로 전송하는 연구는 [4]가 유일하다. 오프라인 멀티미디어 데이터 자체만 해도 전체 트래픽에 차지하는 비중이 크고 날로 커지고 있다. 이 연구에서는 오프라인 비디오가 미리 저장되어 있는 점에 착안하여 비디오의 트레이스 정보, 즉, 인코딩(encoding)된 매 비디오 프레임(frame)이 몇 바이트씩 차지하고 있는지의 정보를 미리 저장해 놓는다. 그 후 응용 계층 정보인 비디오 트레이스 정보를 기지국의 MAC 스케줄러가 활용함으로써 기존의 PF(Proportional Fair) 스케줄러를 사용할 때 보다 주문형 비디오 응용의 품질을 향상시킬 수 있음을 보였다[4]. 또, SP(Static Priority) 스케줄러[26]에 비해서는 시스템 성능이 더 뛰어난 모습을 보였다. [4]는 최초로 비디오 트레이스 정보를 계층간 최적화 방식으로 MAC 스케줄러에서 활용할 것을 제안했다는 점에서 공헌이 있다.

본 논문에서는 비디오 트레이스에 기반을 둔 새로운 MAC 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이 스케줄링 알고리즘을 통하여 기존의 [4]에서 제안한 방식보다 주문형 비디오 응용에게 더 나은 QoS를 제공하며 동시에 시스템 성능 측면에서도 [4]의 방식보다 더 뛰어난 모습을 시뮬레이션을 통해 보인다. 새롭게 제안하는 방식이 [4]와 동일한 비디오 트레이스 정보에 기반을 두면서도 더 좋은 성능을 보이는 이유는 [4]에서는 전송된 시점까지의 비디오 데이터만을 고려하였는데 본 논문에서는 비디오 트레이스에 이미 존재하는 미래에 전송될 비디오 데이터를 고려하여 패킷을 스케줄링 하기 때문이다. 본 논문은 시뮬레이션을 통해서 제안하는 알고리즘에 기존 방식보다 뛰어난 모습을 보인다.

## 2. 시스템 모델 및 성능 기준

본 논문은 [4]에서 고려한 것과 동일한 시스템 모델을 사용한다. 전체 시스템은 전통적인 무선 주문형 비디오 시스템과 비슷하게, 비디오 서버, 기지국, 그리고 단말로 구성된다. 각 단말  $i$ 는 비디오 데이터를 저장하는 고정 크기 버퍼  $B_i$ 를 갖는다. 초기에 단말  $i$ 는 버퍼  $B_i$ 에 축

척된 데이터양이, 재생 시작 위치라 불리는 임계값  $s_i$ 를 넘을 때까지 비디오를 재생하지 않는다. 축척된 데이터 양이  $s_i$ 를 넘을 때 단말  $i$ 는 버퍼  $B_i$ 에 쌓인 데이터를 소모하면서 비디오 재생을 시작한다. 이 버퍼링 기법은 도착하는 비디오 데이터 비율이 순간적으로 소모되는 비율보다 적다할지라도 단말의 지속적인 비디오 재생을 가능하게 만든다. 그러나 만일 버퍼  $B_i$ 가 비게 되면 비디오 재생은 계속될 수 없다. 이 경우 단말은 비디오 재생을 중단하고, 다시 버퍼  $B_i$ 에 축척된 데이터양이 임계값  $s_i$ 를 넘을 때까지 버퍼링을 재시작 한다. 우리는 단말이 데이터를 소모하지 않고 버퍼링만 하는 경우를 단말이 버퍼링 기간 내에 있다고 말한다. 그렇지 않은 경우, 즉, 단말이 비디오 데이터를 소모함으로써 비디오 재생을 수행하는 경우 단말이 재생 기간 내에 있다고 말한다. 주목할 점은 단말  $i$ 의 행위는 두 인자, 즉,  $B_i$ 의 값과  $s_i$ 의 값에 의해서 특성화 된다는 점이다.

비디오 서버는 비디오 데이터 파일을 저장한다. 또한 비디오 서버는 각 비디오 파일에 대응되는 비디오 트래이스 파일(video trace file)을 저장한다. 비디오 트래이스 파일은 초당 비디오 프레임 수(fps : frames per second)를 포함하는 헤더와 비디오 프레임 크기들의 나열로 구성된다. 비디오 트래이스 파일은 대개 실제 MPEG 비디오 대체하는 시뮬레이션 실험을 수행할 때 사용된다. 그러나 이 논문은 계층 간 최적화 관점에서 비디오 트래이스 데이터를 활용한다.

제안하는 시스템에서 어떻게 주문형 비디오 서비스 연결이 설정되고 시작되는 지를 살펴보자. 단말  $i$ 가 비디오를 시청하기를 원한다고 가정하자. 이 경우 단말  $i$ 는 기지국에 요청 메시지를 보낸다. 요청 메시지에 덧붙여서, 단말  $i$ 는 행위 인자  $B_i$ 의 값과  $s_i$ 의 값을 기지국에 보낸다. 이 인자들은, 3절에 기술했듯이, 기지국내의 스케줄러가 단말이 재생 기간인지 혹은 버퍼링 기간인지를 추정하여 판단하는데 사용된다. 기지국은 비디오 프락시 서버(video proxy server)의 역할을 해서 요청 메시지를 비디오 서버에게 릴레이 한다. 만일 비디오 서버가 그 요청을 승인할 수 있으면, 승인 메시지를 보내기 이전에, 해당 비디오 트래이스 파일을 기지국에 보낸다. 비디오 트래이스 파일은 수 KB 정도에 지나지 않아 TCP로 전송한다. 빠른 서비스 시작을 위해서 비디오 트래이스 파일의 일부만 전송하고 나머지는 나중에 전송할 수도 있는데, 비디오 트래이스 파일 전송 프로토콜에 관한 것은 이 연구의 범위를 넘고 향후 연구로 남긴다. 만일 비디오 서버가 단말  $i$ 의 요청을 승인할 수 없으면, 거절 메시지가 기지국에 보내진다. 승인 메시지가 단말  $i$ 에 도착하면, 이 단말은 준비완료 메시지를 기지

국에 보내고, 그 메시지는 비디오 서버에게 릴레이 된다. 그러면 비디오 서버는 기지국에 비디오 데이터 전송을 시작하고, 기지국은 그 데이터를 비디오 프락시 버퍼에 버퍼링한 후 단말  $i$ 에게 릴레이 한다. 우리는 기지국 내에 각 비디오 연결 당 존재하는 비디오 프락시 버퍼가 항상 비어있지 않다고 가정한다. 그 이유는 비디오 서버와 기지국은 고속의 유선으로 연결되어 있고, 우리는 단말과 기지국간의 병목에 초점을 맞추기 때문이다. 주문형 비디오 응용을 실행하는 단말을 비디오 단말이라 부르고 그렇지 않은 단말을 일반 단말이라고 부르기로 한다.

이 논문에서 제안하는 방식은 적응 변조와 가변 코딩 기법을 사용하는 임의의 무선 시스템에 적용될 수 있다. 그러나 우리는 구성을 위해 단말과 기지국 사이는 CDMA2000 1xEV-DO 무선 시스템을 고려한다. 이 경우 채널은 타임 슬롯의 연속으로 나누어진다. 한 타임 슬롯의 기간은 1.67 ms이다. 기지국내의 스케줄러는 동일한 수준의 PER(packet-error-rate)을 성취하기 위해서 변조 방식, 코딩 비율, 그리고 타임 슬롯의 개수를 단말의 채널 품질에 따라서 서로 다르게 할당한다[1,5]. 논의를 단순화시키기 위해서, 실시간 패킷들은 소실되는 경우 재전송되지 않는 것으로 간주한다.

이 논문의 목적은 일반 단말에 대해서 서비스 속도가 심각하게 방해받지 않으면서 비디오 단말에 대해서 고수준의 QoS를 제공하는 스케줄러를 설계하는 것이다. 우리는 단말이 겪게 되는 버퍼링 기간의 수가 적으면 그 단말이 더 나은 QoS를 받았다고 정의한다. 또한, 버퍼링 기간의 수가 동일한 경우 단말의 평균 서비스 단절 시간이 짧을수록 더 나은 QoS를 받고 있다고 간주한다. 또 다른 성능 기준은 시스템 성능(system throughput)이다.

### 3. 제안하는 스케줄러

단말  $i$ 가  $N$ 개의 비디오 프레임으로 구성된 비디오 파일을 요청했다고 하자. 그 프레임의 크기를 각각  $NV_{F_0}, \dots, NV_{F_{N-1}}$ 라고 하자. 이 값들은 대응되는 비디오 트래이스 파일에 쓰여진다. 이 트래이스 파일은 헤더에  $r_i$ 로 표기하는 초당 프레임 수, 즉, frs(frame rate per second)를 포함한다. 그러면 비디오 프레임 간 시간 구간은  $\tau_i = 1/r_i$ 가 된다. 또, 연결 설정 동안 기지국은 두 행위 인자  $B_i$ 와  $s_i$ 의 값을 단말  $i$ 로부터 받고, 비디오 서버로부터는 해당 비디오 트래이스 파일을 전송받는다.

제안하는 스케줄러는 우선순위에 기반 한다. 임의의 시간  $t$ 에 각 단말  $i$ 의 헤드 패킷에 대해서 우선순위  $P_i(t)$ 를 할당한다. 그러면 스케줄러는 무선 자원 할당을

위해 가장 높은 우선순위를 갖는 단말을 선택한다. 서로 다른 우선순위 할당 방법이 서로 다른 우선순위 스케줄러를 낳게 된다.

제안하는 스케줄러는 단말이 비디오 단말이던지 그렇지 않던지 관계없이 통일된 방식으로 우선순위를 할당한다. 비디오 단말에게 높은 수준의 QoS를 제공하면서 시스템 성능과 공평성을 충분히 제공하기 위해서  $P_i(t)$ 는 다음과 같이 결정한다.

$$P_i(t) = \frac{DRC_i(t)}{R_i(t)} U_i(t) \quad (1)$$

식 (1)에서  $DRC_i(t)$ 는 시간  $t$ 에 단말  $i$ 에게 채널 품질에 비례해서 전송할 수 있는 데이터양을 나타낸다[5]. 시간  $t$ 에  $DRC_i(t)$ 의 값은 채널 품질, 즉, PSNR (Peak-Signal-to-Noise-Ratio) 값에 따라서 표 1의 한 항을 선택한다. 표 1의 각 항들은 PSNR 값에 따라 동일한 BER(Bit Error Rate)를 갖도록 타임 슬롯(time slot), 변조 방식, 그리고 코딩율을 적용한 것이다. 예를 들어 시간  $t$ 에 측정된 단말  $i$ 의 PSNR 값에 따라 2번째 항을 선택해야 한다면  $DRC_i(t)$  값은 슬롯 당 16바이트를 전송할 수 있으므로 16이 된다.  $R_i(t)$ 는 현재 시간  $t$ 로부터 과거 일정한 고정된 시간 구간 동안 전송되었던 평균 데이터양을 의미한다.  $U_i(t)$ 는 현재 시간  $t$ 에 일반 단말에 대한 단말  $i$ 의 상대적 서비스 긴급성을 나타낸다. [2]에 보인 바와 같이, 식 (1)의  $DRC_i(t)/R_i(t)$ 는 시스템 성능과 공평성 간의 적절한 절충(trade-off)을 제공한다. 이제 본 논문에서 제안하는 스케줄러의 핵심인  $U_i(t)$ 에 대해서 살펴보자.

식 (1)의  $U_i(t)$ 는 단말  $i$ 가 끊임없는 재생을 위해서 얼마나 많은 잠재적 위험을 갖는 지를 나타낸다. 일반

단말  $i$ 에 대해서는 실시간 요구가 없기 때문에  $U_i(t)$  값은 상수 값인 1로 설정된다. 이 경우 식 (1)은 PF 스케줄러의 우선순위 할당 방식과 동일하게 된다. 그러나 비디오 단말  $i$ 에 대해서  $U_i(t)$  값은 비디오 단말  $i$ 가 끊임없는 재생을 위해서 일반 단말에 비해서 얼마나 긴급한지를 나타내게 되며 시간  $t$ 에 대해서 가변적이다. 그러나 비디오 단말  $i$ 가 재생 기간 내에 있으면 일반 단말과 동일시하여  $U_i(t)$  값은 상수 값인 1로 설정된다. 제안하는 스케줄러는 단말  $i$ 가 안정적으로 끊임없이 재생하기 위해서 상수  $I$  시간에 해당되는 비디오 데이터가 그 단말의 버퍼에 저장되어 있어야 한다고 가정한다. 이때 상수  $I$ 는 비디오 프레임 간 재생 구간의 배수로 정한다. 가령 24 frs인 비디오의 경우  $I = 4.5$  초(=1/24\*108 frames)로 정할 수 있다. 현재 시점  $t$ 에서 단말이  $I$  시간만큼 재생할 수 있을 버퍼링 양을  $T_i^I(t)$ 라고 표기하자.  $I$ 의 값은 상수이지만  $T_i^I(t)$  값은 VBR(Variable-Bit-Rate) 비디오를 고려하므로 가변적이다. 또 비디오 단말  $i$ 의 경우 단말  $i$ 가 현재 시간  $t$ 로부터 끊임없이 재생을 계속할 수 있는 시간을  $C_i(t)$ 로 나타내자. 그러면 제안하는 스케줄러는 비디오 단말  $i$ 가 재생 기간 내에 있을 때 다음과 같이  $U_i(t)$ 를 계산한다.

$$U_i(t) = \frac{T_i^I(t)}{R_i(t) \cdot C_i(t)} \quad (2)$$

식 (2)의  $R_i(t) \cdot C_i(t)$ 는 과거에 서비스 받은 대역폭을 기준으로 했을 때 현재 남은 시간이 지났을 때 기대되는 데이터양을 의미한다. 결국 식 (2)는 일반 단말에 대한 긴급성  $U_i(t)$ 는 안정적인 재생을 위해서 앞으로 받아야 할 데이터양  $T_i^I(t)$ 에 비해서 현재 속도로 서비스 받을 때 기대되는 데이터양  $R_i(t) \cdot C_i(t)$ 의 비율을 의미한다.  $T_i^I(t)$ 의 값은  $R_i(t)$ 나  $C_i(t)$  달리 미래에 전송될 데이터양을 의미하므로 현재 시점에서 일반적으로는 알 수 없는 값이다. 그러나 제안하는 스케줄러는 비디오 트레이스 파일을 기저국이 미리 가지고 있으므로 이 파일 정보를 이용하여 계산할 수 있다. 특히 비디오가 VBR인 경우 데이터 요구량이 화면 변환에 따라 급격하게 변할 수 있는데 본 연구가 제안하는 스케줄러는 미리 그 상황을 알고 우선순위에 그 변화가 "일찍" 반영되기 때문에 비디오 단말의 품질을 더욱 만족시킬 수 있다. [4]의 방식은 전송된 "과거"의 데이터양을 기반으로 우선순위를 정하기 때문에 우선순위 변화가 상대적으로 그만큼 "늦어지게" 된다. 반면 본 연구는 전송될

표 1 CDMA 2000 1xEV-DO 다운링크에서 변조와 코딩율에 대한 인자값 표[5]

데이터 전송율 (Kbps)	슬롯수	바이트수	바이트/슬롯	코딩율	변조 방식
38.4	16	128	8	1/4	QPSK
76.8	8	128	16	1/4	QPSK
153.6	4	128	32	1/4	QPSK
307.2	2	128	64	1/4	QPSK
614.4	1	128	128	1/4	QPSK
307.2	4	256	64	1/4	QPSK
614.4	2	256	128	1/4	QPSK
1228.8	1	256	256	1/2	QPSK
921.7	2	384	192	3/8	8-PSK
1843.2	1	256	256	1/2	8-PSK
1228.8	2	512	256	1/2	16-QAM
2457.8	1	512	512	1/2	16-QAM

“미래”의 데이터양도 함께 고려하기 때문에 더 좋은 QoS를 제공할 수 있다.

식 (2)의  $C_i(t)$ , 즉, 단말  $i$ 가 현재 시간  $t$ 로부터 끊임없이 재생을 계속할 수 있는 시간을 어떻게 기지국이 계산할 수 있는지를 살펴보자. 비디오 재생 버퍼는 단말에 존재하지만, 행위 인자  $B_i$ 와  $s_i$ , 그리고 비디오 트레이스 파일을 이용하여 기지국은 단말의 행위를 이뮬레이션(emulation)할 수 있다. 즉, 단말이 비디오 데이터를 버퍼링하고 있는지, 재생을 시작했는지, 어디까지 재생했는지 등을 알 수 있다. 이를 위해 제안하는 스케줄러는 세 개의 핵심 변수,  $t_p$ ,  $N_i$ ,  $N_p$ 를 유지한다. 변수  $t_p$ 는 가장 최근 재생되는 있는 프레임의 재생 시작 시간 시점을 저장한다. 변수  $N_i$ 는 기지국에서 그 단말로 프레임 단위로 전송 완료된 가장 최근 비디오 프레임 번호를 저장한다. 만일 현재 시간  $t$ 까지 기지국에서 단말  $i$ 에게 전송된 양을  $A_i(t)$ 로 나타낸다면, 변수  $N_i$ 의 값은  $\sum_{j=0}^l F_j \leq A_i(t)$ 를 만족하는 가장 큰  $l$ 의 값으로 계산될 수 있다. 마지막으로, 변수  $N_p$ 는 단말이 재생 기간 내에 있을 때 현재 재생되고 있는 비디오 프레임 번호를 저장한다. 변수  $N_p$ 의 값은 현재 시간  $t$ 까지 단말  $i$ 가 재생 행위를 통해서 소모한 비디오 데이터의 양을  $W_i(t)$ 로 나타낼 때,  $\sum_{j=0}^l F_j > W_i(t)$ 을 만족하는 가장 작은  $l$ 로 계산될 수 있다. 우리는 각 비디오 프레임이 프레임 주기의 끝 시점에서 소모된다고 간주한다. 그러면,  $C_i(t)$ 는 버퍼 내에 존재하는 비디오 프레임의 수와 현재 비디오 프레임 재생 구간의 끝 시점까지 남은 시간으로부터 계산될 수 있다. 즉,

$$C_i(t) = \max(0, (N_i - N_p - 1)\tau_i + (\tau_i - (t - t_p))). \quad (3)$$

식 (3)에서  $C_i(\cdot)$ 의 값이 감소할수록, 단말  $i$ 가 재생 기간에서 버퍼링 기간으로 전환할 잠재적 위험성이 증가한다.

이제 식 (2)의  $T_i^I(t)$  값을 어떻게 계산하는 지를 살펴보자. 우선 I 시간에서  $C_i(t)$ 를 뺀 후 그 값을 프레임 간 재생 구간의 값, 즉,  $\tau_i$ 로 나누면 몇 개의 비디오 프레임을 더 받아야 비디오 재생 버퍼의 총 재생 시간이 I 시간이 될 수 있는지를 알 수 있다. 즉,  $T_i^I(t)$  값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$T_i^I(t) = \begin{cases} 0 & , (I - C_i(t)) \leq 0 \\ R_{N_i+1} + \sum_{j=N_i+2}^{N_i+2+(I-C_i(t))/\tau_i-1} F_j & , (I - C_i(t)) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)는  $I - C_i(t)$  값이 0이하이면, 즉, 현재 버퍼에 저장된 데이터를 통해서 재생할 수 있는 시간인  $C_i(t)$ 가 I보다 같거나 크다면  $T_i^I(t)$ 의 값을 0으로 만들어 이 단말이 서비스를 다른 단말에게 양보하게 한다.  $I - C_i(t)$ 의 값이 0 이상인 경우를 살펴보자.  $N_i$ 는 전송을 완료한 비디오 프레임 번호를 나타내므로  $N_i+1$ 은 현재 전송 중인 비디오 프레임 번호를 나타낸다. 식 (4)의  $R_{N_i+1}$ 는 현재 전송 중인 비디오 프레임  $N_i+1$ 에서 전송이 아직 되지 않고 남은 양을 나타낸다.  $N_i+2$ 는 현재 전송 중인 프레임의 다음 프레임 번호를 의미하며  $(I - C_i(t))/\tau_i - 1$ 은  $N_i+2$  비디오 프레임부터 몇 개의 프레임을 더 전송해야 버퍼가 I 시간 동안 재생할 수 있는지를 나타내게 된다. 식 (2), (3), (4)로부터 단말  $i$ 에게 할당되는 서비스 긴급성  $U_i(t)$ 는 네트워크 제공받고 있는 현재 속도와 안정적인 재생을 위해 받아야 되는 속도에 따라 일반 단말에 비해 얼마나 더 높은 우선순위를 받게 되는 지가 결정된다.

위 알고리즘의 구현 비용은 기존 PF 스케줄러와 비교하면 다소 증가한다. CDMA 시스템에 널리 사용되고 있는 PF 스케줄러의 경우 알고리즘의 복잡도가  $O(N)$ 이며, 여기서 N은 단말의 수이다. 스케줄링 시점에 각 단말의 과거 서비스 받은 양을 갱신해야 되기 때문이다. 제안하는 스케줄러의 구현 복잡도는  $O(K \cdot N)$ 이며 여기서 K는  $T_i^I(t)$ 을 계산할 때 드는 값인데 최악의 경우 “미래를 보아야 할 프레임의 수”가 K의 값이 된다. 이 값은 상수이므로 복잡도 측면에서는  $O(N)$ 으로 간주할 수도 있다. 일반적으로 하나의 기지국이 동시에 서비스를 제공하는 단말의 수는 수십 개 이하로 제한되며 특히 주문형 비디오 서비스를 제공하는 단말의 수는 용량을 고려했을 때 10개미만의 소수로 간주할 수 있다. 따라서 유선망의 라우터와 달리 다소 복잡한 알고리즘도 기지국에는 사용할 수 있으며  $O(N)$ 은 허용할 수 있는 복잡도이다.

#### 4. 시뮬레이션과 고찰

시뮬레이션 실험은 CDMA2000 1xEV-DO를 가정하고, 한 개의 중앙 셀과 이를 둘러싸는 6개의 셀이 있어 중앙 셀을 간섭하는 신호를 생성한다. 채널 모델은 경로 감소 지수가 4인 Rayleigh fading을 따른다고 가정하였다. 각 실험은 총 20개의 단말이 서로 다른 시간 구간에 대해서 서로 다른 속도로 중앙 셀 내를 이동한다. 20개의 단말 중 비디오 단말의 수는 실험마다 변경된다. 각 비디오 단말은 평균 134 Kbps의 비트율을 갖고 frs가

24인 동일한 VBR 비디오를 요청한다. 비디오 단말의 버퍼 크기는 400 킬로바이트이고, 재생 시작 위치는 200 킬로바이트로 설정되었다. [4]의 알고리즘의 경우 old라고 표기하기로 하며 [4]에서 사용한 것과 동일하게 안정 시간은 100 비디오 프레임 구간, 즉,  $100/24 = 4.17$  초로 설정하였다. 제안하는 알고리즘은 new라고 표기하며 I 값을 old와 비슷하게 100 비디오 프레임 구간으로 설정하였다. 비디오 단말이 아닌 다른 모든 단말들은 배경 트래픽을 생성하기 위해 항상 충분한 패킷을 생성한다고 가정한다. 시뮬레이션 시간은 각 실험별로 17분이고, 4 종류의 스케줄러, 즉, PF, SP, [4]에서 제안한 스케줄러 (old), 그리고, 그리고 제안하는 스케줄러(new)를 고려하였다. 서비스 연결에 사용되는 메시지는 처음 한번만 전송되므로 별도로 고려하지 않고 시뮬레이션 시작 시점에 서비스가 연결되어 비디오 데이터가 전송되는 것으로 가정하였다.

그림 1은 총 20개의 단말 중 비디오 단말의 수의 비중이 증가함에 따라, 비디오 단말 당 버퍼링 기간의 평균 수(최초 버퍼링은 제외)를 나타낸 것이다. 그림 2는 그림 1에 대응되도록, 버퍼링의 재시작으로 인한 비디오

단말 당 평균 서비스 중단 시간을 나타낸다. 두 그림에서 제안하는 스케줄러는 다른 모든 스케줄러들보다 거의 대부분의 경우 더 나은 QoS, 즉, 버퍼링 기간 수의 수와 서비스 중단 시간 측면에서 우수하다. old 스케줄러의 경우 SP 스케줄러나 PF 스케줄러보다 더 나은 QoS를 제공하지만 new 스케줄러보다는 좋지 못하다. 그 이유는 제안하는 스케줄러의 경우 데이터 필요량에 따라 미리 우선순위가 높아지지만 old 스케줄러는 버퍼의 남은 시간이 줄기 시작할 때 우선순위가 높아짐으로 데이터 요구량의 속도를 “미리” 따라 가지 못하기 때문이다.

그림 1에서 단말의 수가 10을 넘어설 때 SP 스케줄러의 버퍼링 기간의 평균수가 적어지는 것은 QoS가 더 좋은 것처럼 보이지만 사실은 재생 기간 내에 있는 비디오 단말의 수가 감소되어 버퍼링 기간의 평균수가 적어지는 것뿐이다. 비디오 단말의 수가 많아지면 우선순위를 갖는 패킷이 많아지게 되어 비디오 단말의 재생이 중단될 확률이 커지게 된다. SP 스케줄러는 재생 기간 내에 있는 비디오 단말에 전송되는 패킷을 실시간 패킷으로 간주하고 버퍼링 기간 내에 있는 비디오 단말에 전송되는 패킷은 일반 패킷으로 간주하게 된다. 따라서 비디오 단말의 수가 많은 상황에서 일단 비디오 재생이 중단되는 비디오 단말은 다시 재생 기간 내로 돌아가기 까지 많은 시간이 걸리게 된다. 이러한 현상은 비디오 단말의 수가 많아질수록 심화되며 그림 2에서 확인할 수 있다. 그런데 비디오 재생이 중단되지 않은 비디오 단말들은 비디오 재생이 중단되는 다른 비디오 단말의 수가 증가할수록 자신의 비디오 재생이 중단될 확률은 줄어들게 된다. 결국 SP 스케줄러의 경우 비디오 단말의 수가 많아질수록 만일 비디오 단말의 재생이 중단된다면 다시 재생을 시작되기 까지 더 많은 시간이 걸린다. 따라서 주어진 시간, 즉, 실험에서 사용한 17분 동안 측정된 비디오 단말 당 평균 비디오 재생 중단 수는 적게 나타나게 된다. 실제로 위 실험에서 실험 시간이 10분이 경과했을 때 비디오 단말의 개수가 10인 경우 SP 스케줄러의 경우 재생 기간 내에 있는 단말의 수가 고작 2개에 지나지 않았지만, 제안하는 스케줄러의 경우 9개의 비디오 단말이 재생기간 내에 있었다.

그림 3은 평균 시스템 성능을 비교한다. PF 스케줄러는 가장 높은 성능을 성취한다. 그러나 제안하는 스케줄러는 old 스케줄러나 SP 스케줄러보다 더 뛰어난 시스템 성능을 제공하며 PF 스케줄러에 필적할 만한 성능을 보인다. 제안하는 스케줄러는 합리적인 수준의 시스템 성능을 제공하여 PF 스케줄러와의 성능차이가 작으면서도 그림 1과 2에 보인바와 같이 QoS 제공에 더 나은 이점을 갖는다.

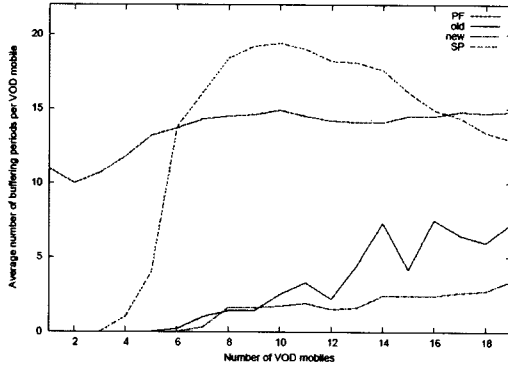


그림 1 비디오 단말 당 버퍼링 기간의 평균 수

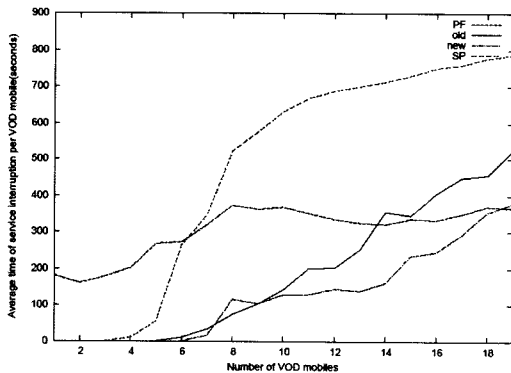


그림 2 비디오 단말 당 평균 서비스 중단 시간

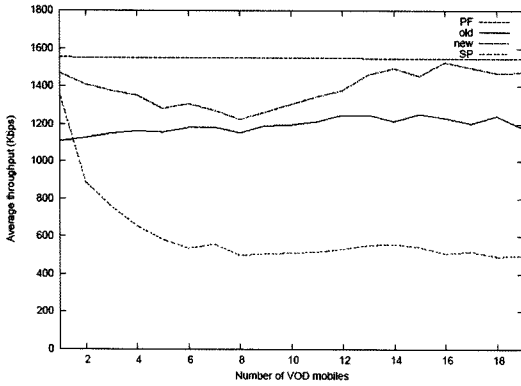


그림 3 시스템 성능 비교

그림 3에서 PF 스케줄러의 경우 비디오 단말 수 증가와 무관하게 시스템 성능은 별다른 차이가 없음을 볼 수 있다. PF 스케줄러는 단말이 비디오 단말이던지 일반 단말인지를 전혀 고려하지 않고 채널 품질과 과거에 서비스 받은 양의 비율에 따라서 패킷의 우선순위를 정한다. 각 실험은 비디오 단말의 개수가 달라지는 점을 제외하면 실험 환경은 동일하므로 그림 3에서 PF 스케줄러의 성능은 비디오 단말의 개수와 별다른 연관성이 없다.

그림 3에서 제안하는 스케줄러가 비디오 단말의 수가 8개를 넘어갈수록 성능이 더 증가하는 이유는 비디오 재생이 중단되는 단말의 수가 늘어나기 때문이다. 그림 1에서 보듯이 비디오 단말의 개수가 6개까지는 한 번도 재생이 중단되지 않다가 7개를 넘어서면서부터 비디오 단말의 재생이 중단되는 횟수가 조금씩 증가하게 된다. 비디오 재생이 중단되면 버퍼링 기간 내에 있게 되고, 버퍼링 기간 내에 있는 비디오 단말은  $U_i(\cdot)$  값이 1이 되어 일반 단말과 동일하게 된다. 일반 단말들은 채널 품질이 좋을수록 선택될 확률이 높아지므로 결과적으로 시스템 성능이 높게 나오게 된다.

표 2는 다른 비디오에 대한 비디오 단말의 버퍼링 기간의 평균수를 보여 주며 그림 1의 경우와 비슷한 결과를 나타내었다. 그런데 Talk 비디오의 경우 버퍼링 기간의 평균수가 비디오 단말의 수가 10일 때 동일하며 시스템 성능이 오히려 old의 경우가 더 좋은 것으로 나타났다. 그것은 Talk 비디오의 경우 장면 변화가 별로 없어 비디오 프레임간 데이터 크기의 변화가 크지 않아서 VBR 데이터 특성이 잘 나타나지 않는다. 이런 경우 old와 new는 비슷한 성능을 보이게 된다. 그러나 비디오 프레임간 변화가 크고 비디오 단말의 수가 많아질수록 표 1에서 보는 바와 같이 제안하는 스케줄러 방식이 더 우월하게 된다.

표 2 비디오에 따른 비디오 단말 당 버퍼링 기간의 평균수와 성능

비디오	비디오 단말 수	스케줄러	버퍼링 기간의 평균 수	성능 (throughput)
Simpsons (108 Kbps)	5	PF	11.4	1551
		SP	2.6	568
		old	0.0	1149
		new	0.0	1274
	10	PF	13.2	1551
		SP	18.4	511
		old	1.9	1193
		new	0.6	1269
Talk (85 Kbps)	5	PF	2.6	1536
		SP	0.0	529
		old	0.0	1116
		new	0.0	1246
	10	PF	4.7	1531
		SP	12.2	511
		old	0.2	1169
		new	0.2	1130

### 5. 결론

본 논문은 VOD 응용에 대해서 합리적 수준의 시스템 성능을 성취하면서도 고품질을 제공하는 MAC 스케줄러를 제안하였다. 제안한 스케줄러는 기존에 [4]에서 제안된 스케줄러보다 훨씬 증진된 QoS와 시스템 성능을 제공한다. 제안하는 스케줄러는 계층 간 최적화 기법을 기반으로 응용과 MAC 계층 간에 활용하여, 주문형 비디오 응용의 QoS 제공 측면에서 PF 스케줄러나 SP 스케줄러보다 더 우수하면서도 시스템 성능이 크게 떨어지지 않음을 보였다.

현재 이 연구는 VOD 응용 서비스 중 MAC 스케줄러에 초점이 맞추어져 있다. 향후 연구로 비디오 트래이스 파일을 전송하는 프로토콜에 대한 연구와 제어 메시지 프로토콜에 대한 연구를 추진할 예정이다.

또 다른 향후 연구로는 다른 종류의 응용도 현재 MAC 스케줄러에 포함시키는 것이다. 기존의 PF 스케줄러는 모든 응용을 동일하게 취급하는 반면 현재 제안하는 MAC 스케줄러는 주문형 비디오 응용과 일반 응용의 두 가지로 분류하여 서비스하고 있다. 제안하는 MAC 스케줄러는 기본적으로 일반 응용에 비해서 상대적으로 얼마나 응급한지 그 값을  $U_i(t)$ 에 할당하여 일반 응용에 대해 상대적 우선 값을 가질 수 있도록 한 것이다. 만일 다른 응용들도 일반 응용으로 간주되지 않고 더 나은 서비스를 제공하고자 한다면  $U_i(t)$  값을 적절히 취함으로써 제안하는 MAC 스케줄러와 융화할 수 있을 것으로 기대되며 이 부분을 향후 연구로 남긴다.

## 참고 문헌

- [1] "CDMA2000 High Data Rate Packet Data Air Interface Specification," October 2002, 3GPP2 C.S0024-0 v4.0.
- [2] M. Andrews, "Instability of the Proportional Fair Scheduling Algorithm for HDR," *IEEE Tran. Wireless Communications*, vol.3, no.5, pp.1422-1426, 2004.
- [3] S. Shakkottai, T. S. Rappaport, and P. C. Karlsson, "Cross-Layer Design for Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.41, no.10, pp.74-80, 2003.
- [4] 편기현, 조성익, "계층간 최적화를 위해 비디오 트래이스에 기반한 무선 MAC 스케줄러", *전기공학회 논문지*, 55D권, 5호, pp.236-239, 2006년 5월.
- [5] Young-June Cho, Saewoong Bahk, "Scheduling for VoIP service in cdma2000 1x EV-DO," *2004 IEEE International Conference on Communications*, vol.3, pp.1495-1499, June, 2004.
- [6] Kihyun Pyun, Dong-Ho Cho, and Hyun-Il Lim, "Groupers for Deterministic Guaranteed Service in an FH-OFDM Wireless System," *IEEE Communications Letters*, pp.369-371, vol.9, no.4, April 2005.
- [7] P. Bender, P. Black, M. Grob, R. Padovani, N. Sindhushyana, S. Viterbi, "CDMA/HDR: a bandwidth efficient high speed wireless data service for nomadic users," *IEEE Communications Magazine*, vol.38, no.7, pp.70-77, July 2000.
- [8] H. Rutagemwa, S. Pack, Xuemin, J.W. Shen Mark,, "Robust Cross-Layer Design of Wireless-Profiled TCP Mobile Receiver for Vertical Handover," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.56, no.6, pp.3899-3911, Nov. 2007.
- [9] Peifang Zhang, S. Jordan, "Cross layer dynamic resource allocation with targeted throughput for WCDMA data," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol.7, no.12, pp.4896-4906, December 2008.
- [10] T. Taleb, K. Kashibuchi, A. Leonardi, S. Palazzo, K. Hashimoto, N. Kato, Y. Nemoto, "A Cross-Layer Approach for an Efficient Delivery of TCP/RTP-Based Multimedia Applications in Heterogeneous Wireless Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.57, no.6, pp.3801-3814, Nov. 2008.
- [11] Ju-Lan Hsu, M. van der Schaar, "Cross Layer Design and Analysis of Multiuser Wireless Video Streaming Over 802.11e EDCA," *IEEE Signal Processing Letters*, vol.16, no.4, pp.268-271, April 2009.
- [12] S. Mohapatra, N. Dutt, A. Nicolau, N. Venkatasubramanian, "DYNAMO: A Cross-Layer Framework for End-to-End QoS and Energy Optimization in Mobile Handheld Devices," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.25, no.4, pp.722-737, May 2007.
- [13] M. van Der Schaar, N Sai Shankar, "Cross-layer wireless multimedia transmission: challenges, principles, and new paradigms," *IEEE Wireless Communications*, vol.12, no.4, pp.50-58, Aug. 2005.
- [14] J. Villalon, P. Cuenca, L. Orozco-Barbosa, Yongho Seok, T. Turetli, "Cross-Layer Architecture for Adaptive Video Multicast Streaming Over Multi-rate Wireless LANs," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.25, no.4, pp.699-711, May 2007.
- [15] A. Argyriou, "Cross-Layer Error Control for Multimedia Streaming in Wireless/Wireline Packet Networks," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol.10, no.6, pp.1121-1127, Oct. 2008.
- [16] T. Quazi, H.J. Xu, F. Takawira, "Quality of service for multimedia traffic using cross-layer design," *IET Communications*, vol.3, no.1, pp.83-90, January 2009.
- [17] Wanghong Yuan, K. Nahrstedt, S.V. Adve, D.L. Jones, R.H. Kravets, "GRACE-1: cross-layer adaptation for multimedia quality and battery energy," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.5, no.7, pp.799-815, July 2006.
- [18] Hsien-Po Shiang, M. van der Schaar, "Multi-user video streaming over multi-hop wireless networks: a distributed, cross-layer approach based on priority queuing," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.25, no.4, pp.770-785, May 2007.
- [19] M. van der Schaar, D. S. Turaga, "Cross-Layer Packetization and Retransmission Strategies for Delay-Sensitive Wireless Multimedia Transmission," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol.9, no.1, pp. 185-197, Jan. 2007.
- [20] Linghang Fan, Hongfei Du, U. Mudugamuwa, B.G. Evans, "A Cross-Layer Delay Differentiation Packet Scheduling Scheme for Multimedia Content Delivery in 3G Satellite Multimedia Systems," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol.54, no.4, pp.806-815, Dec. 2008.
- [21] M. van der Schaar, D.S. Turaga, Raymond Wong, "Classification-Based System For Cross-Layer Optimized Wireless Video Transmission," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol.8, no.5, pp.1082-1095, Oct. 2006.
- [22] S. Misra, M. Reisslein, Guoliang Xue, "A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.10, no.4, pp.18-39, Fourth Quarter 2008.
- [23] Xi Zhang, Qinghe Du, "Cross-Layer Modeling for QoS-Driven Multimedia Multicast/Broadcast over Fading Channels in Advances in Mobile Multimedia," *IEEE Communications Magazine*, vol.45, no.8, pp.62-70, August 2007.
- [24] Qingwen Liu, Xin Wang, G.B. Giannakis, "A cross-layer scheduling algorithm with QoS sup-



port in wireless networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.55, no.3, pp.839-847, May 2006.

- [25] J. Wroclawski, "The Use of RSVP with IETF Integrated Services," *RFC 2210*, Sep. 1997.
- [26] H. Zhang, "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet-Switching Networks," *Proc. IEEE*, vol.3, no.4, pp.391-430, 1995.



편 기 현

1995년 인하대학교 전자계산공학과(학사)  
1997년 KAIST 전산학과(석사). 2002년  
KAIST 전산학과(박사). 2002년~2003년  
KAIST 전기및전자공학, 박사후 연구원  
(Post Doctor). 2004년~현재 전북대학  
교 전기전자컴퓨터공학부 컴퓨터공학전

공(주소:전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14) 조교수. 관  
심분야는 유무선 고품질 서비스, 유무선 패킷 스케줄링, 시  
스템 소프트웨어, 모바일 소프트웨어