

# 멀티미디어 응용의 수행시간 패턴에 기반한 확률적 QoS 보장

한상철                    조유근  
서울대학교 컴퓨터공학과  
{schan, cho}@ssrnet.snu.ac.kr

## Probabilistic Quality of Service Guarantees for Multimedia Applications Based on Execution Time Pattern

Sang C. Han                    Yookun Cho  
Dept. of Computer Science and Engineering, Seoul National University

### 요 약

멀티미디어 응용이 점점 널리 사용되면서 멀티미디어 응용에 적합한 태스크 모델의 연구가 진행되었으나, 기존의 태스크 모델은 멀티미디어 응용의 특성을 충분히 반영하지 못하였다. 본 논문에서는 멀티미디어 응용의 자원 사용량의 패턴에 기반한 확률적 멀티프레임 태스크 모델(PMF)을 제시하고, PMF를 멀티미디어 응용의 스케줄링에 적용하여 CPU 자원을 효율적으로 이용하면서 멀티미디어 응용에게 통계적 QoS를 제공할 수 있는 방안을 제시한다. 또한, 다양한 스케줄링 기법을 채용한 모의실험을 통해 제시한 태스크 모델이 자원을 최대한 활용하면서 응용에게 QoS를 보장할 수 있음을 보인다.

### 1. 서론

멀티미디어 응용은 자원 사용에 있어서 다음과 같은 특성을 갖는다. 첫째, 일반적으로 멀티미디어 응용은 주기적으로 자원을 요구한다. 둘째, 매 주기의 자원 요구량이 일정하지 않다. 셋째, 각 작업의 마감시간(deadline) 초과가 허용된다. 넷째, 작업들의 자원 요구량은 규칙적인 패턴을 가질 수 있다.

멀티미디어 응용을 위한 고전적인 태스크 모델은 [1]의 주기적 실시간 태스크 모델이다. 이 모델에서는 각 작업의 자원 요구량이 일정하고, 각 작업은 경성 마감시간(hard deadline)을 가진다고 가정한다. 이 모델을 멀티미디어 응용에 적용하기 위해서는 각 작업의 최대 자원 요구량이 미리 알려져 있어야 한다. 뿐만 아니라, 최대 자원 요구량을 기준으로 자원을 할당하므로 자원의 이용률이 낮아진다.

고전적인 실시간 태스크 모델의 단점을 보완하기 위해 태스크 자원 할당을 확률적 또는 통계적으로 보장해 주는 모델이 제안되었다[2][3]. [2]는 태스크의 작업이 마감시간 안에 완료될 확률의 하한값(lower bound)을

제공하려고 한다. 모든 태스크의 상대적 마감시간이 주기보다 작거나 같을 때, 태스크의 작업이 마감시간을 만족할 확률의 하한값을 계산하였다. [3]은 RMS를 확장한 SRMS를 제안하였다. SRMS에서는 태스크의 여러 작업에 집합적으로 예산량(budget)을 할당함으로써, 각 태스크의 가변적인 수행시간의 합이 예산량의 범위 이내에 있도록 한다.

[4]에서는 수행시간이 일정한 패턴을 따르는 멀티프레임 태스크 모델을 제안되었다. 멀티프레임 태스크가 최대 수행시간의 수열을 가지고 있을 때, 스케줄이 가능한 이용률의 한계값이 계산되었다.

본 논문에서는 멀티프레임 태스크 모델을 확장하여, 멀티미디어 응용의 자원 사용량이 일정한 패턴을 갖는 경우, 보다 많은 응용을 수용하여 자원의 이용률을 극대화하면서 응용에게 QoS를 제공할 수 있는 확률적 멀티프레임 태스크 모델(Probabilistic Multiframe Task Model, PMF)을 제시한다. 이 모델에서 태스크의 자원요구량은 확률밀도함수의 리스트로 표현되며, 태스크의 각 작업(job)의 자원사용량 분포는 이 리스트의 확률밀도함수를 따른다. 본 논문에서 태스크가 요구하는 자원을 CPU만으로 국한하였으나, 사용량의 패턴이 존재하는 다른 자원에 대해서도 이 모델을 적용할 수 있다.

이 연구는 한국과학재단의 1997년도 특정기초 연구과제 연구비 지원에 의한 결과임.

**2. 확률적 멀티프레임 태스크 모델**

본 논문에서 제안한 확률적 멀티프레임 태스크 모델 (PMF)은 [4]의 멀티프레임 태스크 모델(Multiframe Task Model)을 확장했다. PMF 태스크 모델에서 태스크의 자원 요구량은 가변적이다. 태스크의 요구 QoS는 태스크의 일부로 간주되며, 태스크의 중요도를 나타낼 수 있다. 이 모델에서 시간은 실수이며, 각 작업의 자원 요구량은 연속분포를 따른다고 가정하였다. 본 모델의 태스크 정의는 다음과 같다.

정의 1. 주기적 태스크,  $\tau=(P, F, Q)$  이다. P는 태스크의 주기이며, F는 자원 요구량의 패턴이며, m개의 확률밀도함수의 배열이다. 즉,  $F=(f^1, f^2, \dots, f^m)$ . Q는 요청 QoS(Quality of Service)으로서,  $\tau$ 의 임의의 작업,  $\tau^j$ 가 마감시한(deadline)을 만족할 확률이다. 각 작업의 상대적 마감시한(relative deadline)은 태스크의 주기와 같다.

태스크의 모든 작업의 자원 요구량은 분포만 주어지고 그 값은 알 수 없다. 태스크의 모든 작업의 자원 요구량은 독립이며, 하나의 작업이 자원을 100% 요구하는 것은 불가능하다.  $f^k(x)=0$ , for  $x<0$  or  $x>P$ . 태스크의 j번째 작업,  $\tau^j$ 의 자원 요구량  $e^j$ 는 확률변수로서, 그 분포는 확률밀도함수,  $f^k$ 를 따른다(단,  $k=j+1 \text{ mod } m$ ). 즉,

$$P(e^j \leq c) = \int_0^c f^k(x) dx, \text{ where } k=j+1 \text{ mod } m$$

예 1. 주기가 5이고, 자원 요구량이 최소값 1, 최대값 3인 균등분포(Uniform distribution)를 따르고, 마감시한을 만족할 확률이 0.9인 태스크는 다음과 같다.

$$\tau_1 = (5, (f_1^1), 0.9), \text{ where } f_1^1(x) = \begin{cases} 0, & x < 1 \\ \frac{1}{2}, & 1 \leq x \leq 3 \\ 0, & x > 3 \end{cases}$$

예 2. 어떤 MPEG 데이터의 프레임 패턴이 IBBPBB이고, I-프레임, B-프레임, P-프레임의 디코딩시간이 각각 확률밀도함수  $f^1, f^b, f^p$ 를 따른다고 하자. 초당 25프레임(주기 40ms)으로 이 MPEG 데이터를 디코딩하고, 각 프레임이 마감시한을 만족할 확률이 0.9인 MPEG 재생기는  $\tau=(40, (f^1, f^b, f^b, f^p, f^b, f^b), 0.9)$ 이다.

정의 2. 확률적 멀티프레임 태스크의 이용률은 다음과 같다.  $U = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \frac{1}{P} \int_0^P x f^k(x) dx$

정의 3. 태스크의 집합,  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ 은 각 태스크  $\tau_i$ 에 대해,  $\tau_i$ 의 임의의 작업이 마감시한 이내에 완료할 확률이  $Q_i$ 보다 크거나 같으면 스케줄 가능하다.

**3. 스케줄링**

PMF는 스케줄링 정책과는 별개의 태스크 모델이므로, 다양한 스케줄링 정책을 채택할 수 있다. 본 논문에서는 PMF 태스크 모델에 비율 단조 스케줄링(Rate Monotonic Scheduling) 정책을 채택한 방안을 PMF-RMS으로 표기하고, PMF 태스크 모델에 마감시한 우선 스케줄링(Earliest Deadline First Scheduling) 정책을 채택한 방안을 PMF-EDF로 표기한다. PMF에서 채택한 RMS와 EDF는 PMF 태스크 모델에 맞게 변형된다. 각 작업은 예정량(budget)을 할당받으며, 예정량이 모두 소비되면 작업이 완료되지 않아도 선점(preemption)된다. 즉, 우선순위에 의해서만 선점이 발생하는 것이 아니라, 예정량이 0이 되는 시점에서도 선점이 발생한다.

PMF 스케줄러는 태스크의 작업이 도착하면 그 작업에 예정량을 할당하고, 준비 큐(ready queue)에 삽입한다. 예정량의 결정은 태스크 수용 검사(Task admission test)에서 이루어진다. 작업은 한 주기의 수행을 완료하거나, 예정량을 모두 소비하거나, 마감시한이 될 때까지 준비 큐에 있으면서 자원을 할당받아 수행한다. 자원을 할당받아 수행한 작업은 할당받은 자원만큼 예정량을 감소한다. 스케줄러는 매 스케줄링 시점(scheduling point)마다 준비 큐를 검사하여 자원을 할당할 작업을 스케줄링 정책에 부합하게 선택한다. 준비 큐에 있는 작업 중에 예정량을 모두 소비하였으나 한 주기의 수행을 완료하지 못한 작업은 오버런 큐(overrun queue)에 삽입되고, 완료한 작업은 대기 큐(wait queue)에 삽입된다.

예정량을 초과하여 수행하는 작업은 오버런 작업이라고 하며, 이 작업은 오버런 큐에 삽입되어 오버런 서버(overrun server)에 의해 수행된다. 오버런 작업은 예정량을 모두 소비한 시점에 비주기 요청(aperiodic request)이 되어 오버런 큐에 보내지고 오버런 서버에 의해 남은 작업을 수행한다. 오버런 작업은 마감시한 이전에 오버런 서버에 의해 한 주기의 수행을 마치거나, 마감시한을 넘기면 대기 큐에 삽입된다. 준비 큐 또는 오버런 큐에 있는 작업 중에 예정량이 남아 있으나 마감시한을 지키지 못한 작업은 수행이 연기되어 다음 작업의 예정량을 소비하여 수행한다. 오버런 서버는 준비 큐가 비어있을 때 오버런 작업을 수행한다. 오버런 서버는 기본 스케줄러와는 다른 정책에 의해 오버런 큐에서 수행할 작업을 선택할 수 있다.

**4. QoS 보장**

태스크의 QoS 보장은 자원사용량의 패턴에 따른 예정량의 결정과 태스크 수용 검사(Task Admission Test)로 이루어진다. 패턴  $F=(f^1, f^2, \dots, f^m)$ 를 갖는 태스크의 예정량 B는 각 작업의 예정량의 패턴이다. 작업  $\tau^j$ 의 자원 요구량은 확률밀도함수  $f^k$ (단,  $k = j+1 \text{ mod } m$ )를 따른다. 확률변수이다. 태스크의 모든 작업이 마감시한을 만족할 확률이 적어도 Q가 되기 위해서는, 각 작업의

요구량이 예정량  $b^k$  이하가 될 확률이 Q보다 크거나 같도록  $b^k$ 를 결정해야 한다.

$$B = (b^1, b^2, \dots, b^m), \quad Q \leq \int_0^{b^k} f^k(x) dx \text{ for } k=1, \dots, m$$

예 3. 태스크  $\tau = (5, (f^1, f^2), 0.9)$ 이며,  $f^1$ 은 최소값 1, 최대값 2의 균등분포를 따르고,  $f^2$ 는 최소값 3, 최대값 4의 균등분포를 따를 때,  $\tau$ 의 예정량은 (1.9, 3.9)이다.

$\tau^j$ 의 요구량  $e^j$ 가 예정량  $b^k$ (단,  $k = j+1 \text{ mod } m$ )을 초과하면, 남은 수행시간  $e^j - b^k$ 는 오버런 서버에 의해 수행되거나,  $\tau^{j+1}$ 가 도착할 때까지 연기되어  $\tau^{j+1}$ 의 예정량을 소비하여 수행한다. 따라서, 예정량을 초과하는 수행시간은 다른 태스크의 수행을 방해할 수 없다. 예정량이 결정된 태스크  $\tau$ 는 멀티프레임 태스크  $\tau' = (B, P)$ 와 대응하므로, 태스크의 각 작업이 예정량만큼의 수행을 보장받기 위한 조건은 [4]의 정리 5와 같다.

정리 1([4]의 정리 5). 크기가  $n$ 인 멀티프레임 태스크 집합의 이용률 한계  $\hat{U}_{MF}$ 는

$$\hat{U}_{MF} = rn \left( \left( \frac{r+1}{r} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right), \quad r = \min_{i=1}^n (b_i^1 / b_i^2)$$

5. 모의실험 및 평가

PMF 모델의 유용성을 평가하기 위해 이 모델을 적용한 주기 태스크 시스템을 실행하는 시뮬레이터를 작성하였다. 시뮬레이터는 MPEG 재생기의 각 프레임 디코딩 시간과 주기, 패턴의 길이, QoS를 입력받아 작업의 마감시간 만족 비율을 계산하였다.

그림 1은 QoS가 각각 0.95, 0.90인 두 태스크의 시간에 따른 마감시간 만족비율의 변화를 보여준다. 이 태스크 집합의 이용률은 0.887이며  $\hat{U}_{MF} = 0.915$ 이다. PMF-RMS를 스케줄링 정책으로 채택했을 때, 태스크 2가 일시적으로 마감시간 만족비율이 0.90 미만이었으나, 평균적으로는 0.90 이상을 유지하였다.

그림 2는 수용제어를 하지 않고, 시스템의 부하를 늘려 자원 이용률을 최대화할 때 마감시간 만족비율을

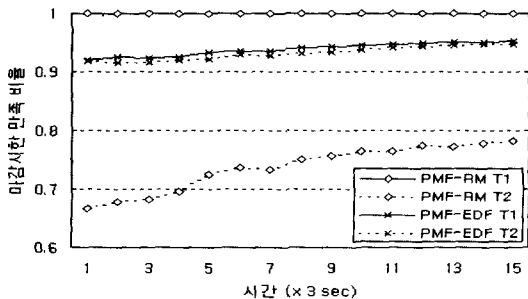


그림 1. 수용제어를 통한 QoS 보장

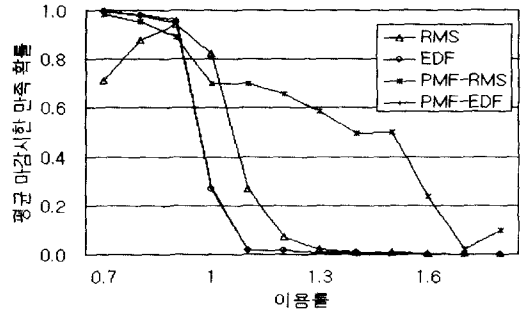


그림 2. 과부하 상태에서의 스케줄링 정책 비교

보여준다. 이용률이 1보다 작을 때는 EDF와 PMF-EDF를 채택하였을 때, 가장 높은 만족 비율을 보였다. 그러나 시스템의 이용률이 1에 가까워질수록 EDF와 PMF-EDF는 급격한 성능 저하를 보고, 이용률이 1을 넘으면 거의 모든 작업이 마감시간을 만족하지 못하였다. 과부하 상태에서는 PMF-RMS가 가장 좋은 성능을 보였다.

6. 결론

본 논문에서는 멀티미디어 응용에 적합한 태스크 모델인 PMF를 제시하였다. 기존의 태스크 모델은 멀티미디어 응용의 주요 특성인, 주기성, 자원 사용량의 가변성, 반복적 패턴을 충분히 표현하지 못하였다. PMF는 이 특성들을 모두 포함하는 태스크 모델이다. PMF에서 태스크는 주기와, 각 작업의 자원 사용 패턴, 각 작업의 QoS로 나타낸다. 작업의 자원 사용 패턴은 확률밀도 함수의 배열이며, 이 배열을 반복함으로써 자원 요구량의 패턴이 주어진다.

본 논문에서는 PMF의 유용성을 보이기 위해 RMS와 EDF를 채용한 스케줄링에 대해 모의실험을 하였다. MPEG 재생기의 실제 디코딩 시간을 입력으로 한 모의실험의 결과, 자원의 이용률이 1보다 작을 때는 PMF-EDF가 좋은 성능을 보였으며, 이용률이 1보다 큰, 과부하 조건에서는 PMF-RMS가 가장 좋은 성능을 보였다.

7. 참고문헌

- [1] C.L. Liu, and J.W. Layland, "Scheduling algorithms for multiprogramming in a hard-real-time environment", JACM pp.46-61, Jan. 1973
- [2] T.S. Tia, Z. Deng, M. Shankar, M. Storch, J. Sun, L.C. Wu, and J.W.S. Liu, "Probabilistic performance guarantee for real-time tasks with varying computation times", RTAS, pp.164-173, May. 1995
- [3] A.K. Atlas, A. Bestavros, "Statistical rate monotonic scheduling," RTSS, pp.123-132, Dec. 1998,
- [4] A.K. Mok and D. Chen, "A multiframe model for real-time tasks," RTSS, pp.22-29, Dec. 1996,
- [5] John Lehoczky, Lui Sha, and Ye Ding, "The rate monotonic scheduling algorithm: Exact characterization and average case behavior," RTSS, pp.166-171, 1989