

다양한 형태의 멀티미디어 데이터를 위한 통신 프로세서의 효율적 관리 방법에 대한 연구

종신회원 김 승 욱*, 김 성 천*

Adaptive Online Processor Management Algorithms for QoS sensitive Multimedia Data Communication

Sungwook Kim*, Sungchun Kim* *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 멀티미디어 네트워크상에서 우선순위가 높은 서비스의 QoS를 보장하며 동시에 프로세서의 에너지 효율을 최대화하는 적응적 온라인 프로세서 관리기법을 제안하였다. 이 기법은 현재 네트워크의 트래픽 상황을 기반으로 하여 실시간으로 프로세서를 관리한다. 제안된 방법의 가장 큰 특징은 상호 상충하는 다양한 성능 메트릭들 사이에 적절한 균형을 이루어 안정적으로 시스템을 운영하는데 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존에 제안된 프로세서 관리기법에 비해 본 논문에서 제안된 방법이 다양한 트래픽 상황에서 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words : Real time system, Dynamic Voltage Processor, On-Line Decisions, Adaptive Task Scheduling, Load Balancing

ABSTRACT

In this paper, we propose new on-line processor management algorithms that manage heterogeneous multimedia services while maximizing energy efficiency. These online management mechanisms are combined in an integrated scheme for higher system performance and energy efficiency. The most important feature of our proposed scheme is its adaptability, flexibility and responsiveness to current network conditions. Simulation results clearly indicate the superior performance of our proposed scheme to strike the appropriate performance balance between contradictory requirements.

I. 서 론

프로세서는 시스템에서 가장 많은 에너지를 소비하는 요소 중 하나이다 [1-4]. 특히 네트워크 프로세서는 각 터미널로부터 전송되어온 데이터들을 실시간, 또는 비실시간 형태로 전송하는 라우팅 기능을 수행해야 하므로 유/무선 환경에서 끊임없이 요청되

는 각종 요구사항을 처리하는데 많은 에너지가 소모된다.

최근 들어, 기존의 단순 데이터를 중심으로 한 정보교환에서 이미지, 오디오, 비디오 등 다양한 형태의 멀티미디어 데이터 서비스가 더욱 중요시되고 있는 추세이다. 특히, 멀티미디어 서비스들은 대용량의 전송량과 다양한 QoS (Quality of Service)의

* 본 연구는 2006년도 서강대학교 교내연구비 (과제번호: 20061020) 지원에 의한 것임.

* 서강대학교 컴퓨터학과 (swkim01@sogang.ac.kr, ksc@mail.sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-03-136, 접수일자 : 2006년 3월 20일, 최종논문접수일자 : 2006년 12월 24일

보장을 요구하기 때문에 이의 효율적인 관리에 대한 관심이 증가하고 있다. 멀티미디어 데이터는 일반적으로 class I (실시간) 데이터와 class II (비실시간) 데이터로 구분된다. 일반적으로 이와 같은 지연 허용성을 고려해서 class II 데이터 트래픽보다는 class I 데이터 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여한다¹⁴⁾¹⁶⁾.

동적 전압조절 기법(Dynamic Voltage Scaling: DVS)은 프로세서의 공급 전압을 적절히 조절하여 에너지 소모량을 줄이는 기법이다⁶⁾¹⁸⁾. 일반적으로 전력(P) 소모는 공급 전압에 대해 제곱의 관계를 가지므로, 공급 전압의 감소는 에너지 소모를 줄일 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 하지만, 공급 전압이 낮아질 때에는 회로의 최대 동작 주파수 또한 선형적으로 느려지는 관계로 인해 프로세서의 처리량도 줄어들게 된다. 또한, 저전력 상태에서 프로세서가 서비스 요청을 처리할 준비가 되기 위해 초래하는 시스템 시간지연 (delay- latency)은 지연에 민감한 실시간 (class I) 데이터의 서비스의 QoS 를 보장하지 못한다.

본 논문에서는 다양한 멀티미디어 데이터 전송을 처리하는 네트워크 프로세서를 위한 효율적인 온라인 프로세서 관리방법을 제안한다. 이 방법은 최소한의 전력소비로 최대한의 시스템 성능을 제공하도록 노력한다. 그런데, 시스템의 성능을 평가하는 각 메트릭들은 상호 상충(trade-off) 적인 특징이 있으므로 각 성능 메트릭간에 균형을 통해 안정적인 네트워크 운용하는 것은 매우 중요한 사항이다. 이와 같은 목적을 만족시키기 위해 본 논문에서 제안된 방법의 가장 큰 특징은 각 알고리즘들이 실시간 온라인 기법을 바탕으로 에너지 효율성과 QoS의 보장이라는 상호 상충되는 요구를 동시에 만족시키며 상호 보완적으로 작동되어 최적화된 시스템 성능에 접근하면서 동시에 적절하게 시스템 성능이 균형을 이루도록 설계되었다는 점이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 온라인 프로세서 관리기법에 대하여 자세히 살펴보고, 3장에서는 시뮬레이션을 통하여 제시된 기법의 우수성을 검증한다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 논의한다

II. 제안된 온라인 프로세서 관리기법

본 논문에서 제안된 온라인 프로세서 관리기법은 우선순위가 높은 서비스 (class I)의 QoS를 보장하

면서 동시에 효율적으로 네트워크 프로세서의 에너지 효율을 유지하여 전체 네트워크의 성능이 최대화되도록 노력한다. 따라서, 일반 사용자뿐 아니라 네트워크 서비스 제공자의 입장도 고려해서 균형된 시스템 성능을 유지하도록 프로세서 관리 알고리즘을 설계하였다.

다양한 처리속도에 따라 네트워크 프로세서는 서로 다른 전력을 필요로 한다. 즉, 프로세서의 각 전력 상태는 서로 다른 성능과 에너지소비 상태로 정의된다. 이것은 사용되는 에너지가 프로세서 전력상태에 비례하여 결정되는 물리 법칙¹¹⁾¹⁴⁾을 기반으로 설명된다. 따라서, 가능한 프로세서에서 사용되는 전력이 적을수록 에너지를 적게 사용하게 되므로 시스템의 에너지 효율을 고려한 적절한 전력/속도 조절이 필요하다. 하지만 동적인 프로세서 전력/속도 조절에는 추가적인 오버헤드가 존재한다¹¹⁾¹⁶⁾¹⁷⁾. 본 논문에서는 프로세서의 속도가 단계적으로 변할 때마다 전력상태 변화에 대한 오버헤드 (T_e)는 고정된 것으로 가정한다. 따라서, $i < j < k$ 의 프로세서 전력/속도 상태에서 i 에서 j 로의 오버헤드 비용과 j 에서 k 로의 오버헤드 비용의 합은 i 에서 k 상태로 프로세서 전력/속도가 바로 변할 때의 오버헤드 비용과 동일하다.

본 논문에서는 효율적인 시스템 성능을 제공하기 위하여 총 에너지 소비량 (E)을 최소화하도록 시도한다. 또한, 서로 다른 QoS를 요구하는 다양한 멀티미디어 통신 서비스 요구를 고려해서 class I 서비스에 대해 시스템 지연을 줄이면서 에너지 효율성을 최대화하도록 한다. 이를 위해, 제안된 온라인 방법은 실시간으로 현재 시스템의 상황을 고려해서 적응적인 프로세서의 전력/속도를 결정한다.

2.1 QoS 제어 알고리즘

우선순위가 높은 서비스를 지원하기 위한 시스템 자원의 예약법은 널리 알려진 기법이다. 본 논문에서는 class I 서비스를 위해 일정량의 네트워크 프로세서 용량을 예약해둔다. 하지만 미래의 서비스 요청에 대한 정확한 정보를 현재 시점에서 알 수 없으므로 최적화된 예약량을 예측하기는 불가능하다. 본 논문에서는 트래픽 윈도우(traffic window)를 정의하여 예측량을 적응적으로 조절해 나간다. 트래픽 윈도우는 서비스 요구 패킷을 알 수 있도록 class I 서비스 요청(W_{class_I})을 시간순으로 기록하여 유지한다. 트래픽 윈도우의 크기 [$t_c - t_{win}, t_c$]는 현재 시간 t_c 와 윈도우의 길이 t_{win} 로 정의되

는데, 이 길이는 온라인 관리기법에 의해 적응적으로 관리된다. 본 논문에서는 시간을 단위시간 (*unit_time*) 으로 나누고 트래픽 윈도우의 크기는 단위시간의 정수배로 설정하여, 현재 네트워크의 신규 서비스 실패률 (Call Blocking Probability: CBP) 에 기초하여 조절한다. 만약, 현재 네트워크의 CBP 가 미리 설정된 목표치 (*Ptarget*) 보다 큰 경우 트래픽 윈도우의 크기는 단위시간의 크기만큼 증가되고, 그 반대의 경우에는 단위시간의 크기만큼 감소된다. 트래픽 윈도우가 동작하는 동안의 class I 작업을 위한 요청 프로세서 재량의 합을 예약 용량 (*RESpc*)이라하며, 이 값은 식 (1)처럼 계산된다. 따라서 현재 시스템 상태에 의거하여 예약량이 최적화된 값에 가깝도록 *RESpc* 값을 적응적으로 조절해 나간다.

$$RES_{pc} = \sum_{i \in W_{class-I}} (B_i \times N_i) \quad (1)$$

N_i 와 B_i 는 각 트래픽 서비스 타입 i 의 갯수와 이 서비스가 요구하는 프로세서 용량(속도)이다. 제안된 방법에서는, 매 단위시간별로 현재 시스템 상태를 고려해 *RESpc* 값을 최적화된 값에 가깝게 조절해 나간다.

2.2 서비스 허용 알고리즘

네트워크 시스템의 트래픽 부하가 심한 경우, 예를 들어 요청된 서비스의 총 전송량이 네트워크 프로세서의 총 용량을 초과하는 경우, 새로운 서비스 요청에 대해 허용 여부를 결정해야 한다. 제안된 서비스 허용 알고리즘은 현재 프로세서의 *RESpc* 에 기초하여 class I 서비스에 높은 우선순위를 부여한다. 새로운 class I 서비스 요청에 대해 시스템은 만약 가용 프로세서 용량 (*RESpc* + unused capacity) 이 요청된 요청되는 class I 서비스의 통신량 보다 큰 경우 새로운 서비스 요청을 허용한다. class II 서비스의 경우, *RESpc* 를 제외한 프로세서 용량만을 사용할 수 있다.

2.3 서비스 스케줄링 알고리즘

class I 서비스에 비해, class II 서비스는 실행시간과 데이터 전송비율을 적절히 조절할 수 있으므로 시스템 상황에 맞게 class II 서비스들을 적응적으로 스케줄 할 수 있다. 본 논문에서는 네트워크 상황에 적응적인 온라인 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 그런데, 앞에서 언급된 바와 같이, 동적 전력

조절 기법에는 전력변동시 에너지 오버헤드가 발생한다. 따라서, 이런 프로세서 파워/속도 변화에 따른 시스템 오버헤드를 최소화 하기 위하여 제안된 알고리즘은 프로세서의 트래픽 부하가 시간상 일정하게 되도록 스케줄링한다. 따라서 새로운 서비스 요청이 허용되거나 완료되는 경우, 스케줄링 알고리즘은 적절한 서비스 재스케줄링을 통해 프로세서의 전력/속도가 가능하면 시간상 균형을 상태를 유지하도록 노력한다. 온라인 스케줄링 기법과 동적 전력 조절 기법에 기초하여 시스템 성능과 에너지 효율을 최대화하기 위한 기본 아이디어는 다음과 같다.

- 동적 전력조절 기법의 추가적인 오버헤드 때문에 시스템의 트래픽 부하를 시간상 균형되게 스케줄하여 프로세서의 전력/속도를 일정하게 유지하도록 한다.
- 에너지 효율을 위해 각 서비스의 시간제약을 만족시키는 범위 안에서 가능하면 프로세서의 전력/속도 상태를 낮게 유지하려 노력한다. 즉, 프로세서 전력/속도의 최대값 (*PPs*)이 최소화되도록 한다.

일정한 프로세서 전력/속도를 유지하기 위하여 온라인 스케줄링 방법은 현재의 프로세서 파워/속도 상태 (*Sp(ct)*) 와 *PPs* 의 차이를 최소화하도록 한다. 이를 위해, 새로운 서비스 요청이 허락되거나 서비스가 완료되었을 때, 제안된 스케줄링 기법은 class II 서비스들을 위해 할당된 프로세서의 용량을 적절히 스케줄하여 *PPs* 값이 최소화되도록 한다.

궁극적으로 프로세서의 급격한 전력변동상황이 발생하지 않도록 함으로써 시스템 오버헤드를 최소화하도록 한다.

III. 성능 평가

이 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 온라인 프로세서 관리방법과 기존에 존재하는 타 방법과의 성능을 비교, 분석하였다. <그림 1>-<그림 4>는 신규 서비스 요청비율이 0에서 3까지 변할 때 본 논문에서 제안된 전력조절 기법과 기존의 OPMMS^[1], APMMLC^[2], DSSPS^[3] 그리고 OSVVP^[8] 방법들과의 각 성능 메트릭에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

<그림 1>은 각 방법들의 class I 데이터 서비스가 최초로 시스템에 진입하고자 하는 요청이 실패

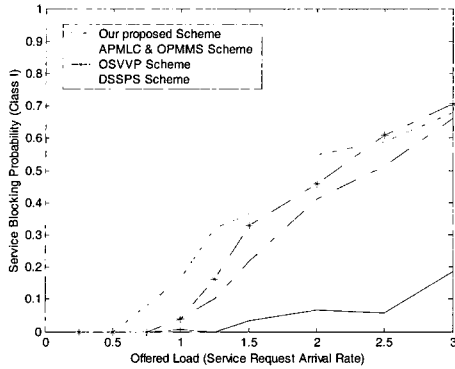


그림 1. CBP of class I call requests.

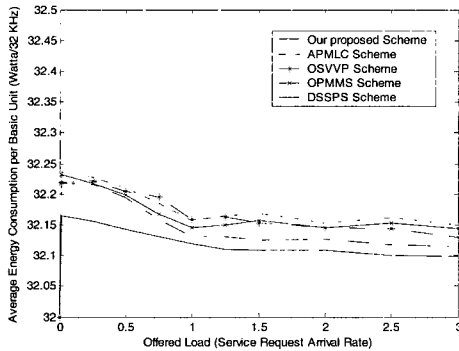


그림 2. Power consumption per basic unit

할 확률인 신규 서비스 실패율 (CBP)을 나타낸다. 트래픽 부하가 적을 때는, 모든 방법이 차이가 없거나 거의 동일한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 각 프로세서가 충분한 가용 용량을 가지기 때문에 사용자의 서비스 요구를 모두 수용할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나, 서비스 요청이 점점 증가할수록 프로세서의 가용 용량이 점점 줄어들게 되어 신규 서비스 요청이 실패하는 비율이 증가하게 되므로 CBP가 증가하게 된다. 그러나 본 논문에서 제안된 방법은 QoS 관리 알고리즘으로 인해 우선순위가 높은 class I 서비스의 CBP가 타 기법들에 비해 탁월한 성능을 보여준다.

<그림 2>와 <그림 3>은 시스템의 평균 에너지 소비율과 프로세서 이용률을 나타낸다. 시뮬레이션 결과, 모든 방법들이 동일한 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 하지만 트래픽의 부하균형을 제공하는 스케줄링 알고리즘의 장점으로 인해 본 논문에서 제안된 방법이 시스템의 추가적인 오버헤드를 줄일 수 있어 다양한 트래픽 상황에서 더욱 효율적인 것을 알 수 있다. <그림 4>는 실시간 데이터 서비스의 요청에 대한 평균적인 시스템 지연을 나타낸다.

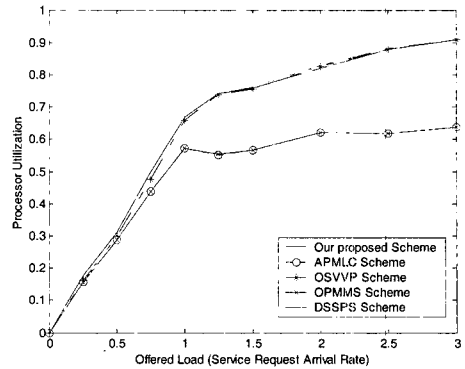


그림 3. Processor utilization

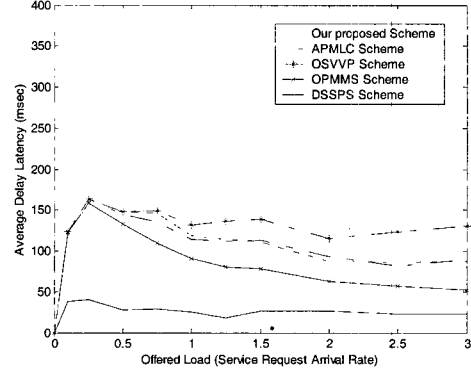


그림 4. Delay latency for class I call

시뮬레이션 결과는 제안된 방법의 온라인 지연 제어 알고리즘이 시스템을 적응적으로 관리하여 타 기법에 비해 시스템 지연을 감소시키는 것을 알 수 있다.

지금까지 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 제안된 온라인 프로세서 관리기법이 멀티미디어 네트워크의 다양한 트래픽 상황에 적응적으로 대응하여 효율적으로 시스템을 관리하는 것을 알 수 있다. 따라서 기존에 존재하는 프로세서 관리기법들에 비해 더 좋은 성능을 나타낼 뿐 아니라, 서로 상충되는 여러 성능 메트릭들 사이에서 적절한 성능 균형을 제공한다.

IV. 결론

본 논문에서는 멀티미디어 네트워크상에서 우선순위가 높은 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장하면서 동시에 높은 에너지 효율을 가지도록 네트워크 프로세서를 적응적으로 관리하는 새로운 온라인 프로세서 관리기법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 현재 네트워크의 트래픽 상황을 기반으로 하여 실

시간으로 시스템을 관리하는 스케줄링 알고리즘, QoS 제어 알고리즘, 그리고 서비스 허용 알고리즘 등이 상호 보완적으로 운영되도록 설계되었다. 시뮬레이션을 통하여 성능을 비교, 분석해본 결과, 다양한 네트워크 트래픽 상황에서 제안된 온라인 기법이 기존에 존재하는 프로세서 관리기법들에 비하여 우수한 성능을 가지는 것을 확인 할 수 있었다. 향후 연구 과제로는, 효율적으로 시스템을 운영하기 위해 프로세서간 통신, 시스템 자원관리, 실시간 통신 등 다른 여러 분야에도 본 논문에서 제안한 적응적 온라인 기법을 적용하는 방법에 대한 연구가 이루어 질 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] Dinesh Ramanathan, Sandy Irani, and Rajesh K. Gupta, "An Analysis of System Level Power Management Algorithms and Their Effectson Latency," *IEEE Transactions on Computer Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, Vol.21, No. 3, pp.291-305, 2002.

[2] Sandy Irani, Sandeep Shukla, and Rajesh Gupta, "Algorithms for Power Savings," *Symposium on Discrete Algorithms*, pp.37-46, 2003

[3] Sandy Irani, Sandeep Shukla, and Rajesh Gupta, "Online Strategies for Dynamic Power Management in Systems with Multiple Power-Saving States," *ACM Transactions on Embedded Computing Systems* 2(3), pp.325-346, 2003.

[4] Kinshuk Govil, Edwin Chan, and Hal Wasserman, "Comparing Algorithms for Dynamic Speed-Setting of a Low-Power CPU," *International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.13-25, 1995.

[5] Chi-Hong Hwang and Allen C.-H. Wu, "A Predictive System Shutdown Method for Energy Saving of Event-Driven Computation," *International conference on Computer-aided design (ICCAD'97)*, pp.28-32, 1997.

[6] Padmanabhan Pillai and Kang G. Shin, "Real-Time Dynamic Voltage Scaling for

Low-Power Embedded Operating Systems," *Proceedings of the 18th ACM Symposium on Operating System Principles (SOSP'2001)*, pp.89-102, 2001.

[7] Bren Mochocki, Xiaobo Sharon Hu, and Gang Quan, "A Realistic Variable Voltage Scheduling Model for Real-Time Applications," *International Conference on Computer Aided Design (ICCAD-02)*, pp.726-731, 2002.

[8] Inki Hong, Miodrag Potkonjak, and Mani B. Srivastava, "On-Line Scheduling of Hard Real-Time Tasks on Variable Voltage Processor," *International Conference on Computer Aided Design (ICCAD-98)*, pp. 653-656, 1998.

김 승 욱 (Sungwook Kim)

중신회원



1993년 2월 서강대학교 전자 계 산학과과 학사
1995년 2월 서강대학교 전자 계 산학과과 석사
2004년 Syracuse University, Computer science 박사/ Post- Doc.
2005년 중앙대학교 컴퓨터공학

부 전임강사

2006년~현재 서강대학교 컴퓨터공학과 조교수
<관심분야> QoS, 실시간 제어처리, 셀룰러 네트워크 자원관리

김 성 천 (Sungchun Kim)

중신회원



1975년 서울대학교 공과대학 공 학사
1979년 Wayne State University, M.S.
1982년 Wayne State University, Ph.D.
1985년~현재 서강대학교 컴퓨터

공학과 교수

<관심분야> 다중 프로세서 내부연결망, 병렬 컴퓨터 구조, 프로세서처리, 네트워크 분산 구조