

시뮬레이션 기법을 이용한 주문형 멀티미디어 서버의 성능 평가*

A Performance Evaluation of Multimedia-on-demand Server Using Simulation Method

박기진**, 김성수**

Kiejin Park, Sungsoo Kim

Abstract

To evaluate the server performance and forecast capacity requirements, we carry out simulation of Multimedia-on-demand(MOD) server. In multimedia service environment, especially for on-demand service, one of the key problems is capacity planning, which requires ensuring that adequate computer resources will be available to meet the future workload demands in a cost-effective manner. In this paper, we design and implement a simulation model for MOD server with failures of components(e.g., processors, disks and networks). By acquisition of utilization and queue length parameters, we can estimate desirable capacity of server components with various arrival rates of customers and failure rates of components. For a given failure probability, we also compute packet delay probability and reliability of the server. It is possible to derive some important design information of the MOD server by using the above parameters.

* 본 연구는 1998년 정보통신연구관리공단 대학기초연구지원사업에 의한 결과임.

** 아주대학교 정보통신대학 정보 및 컴퓨터공학부

1. 서론

주문형 멀티미디어 서비스는 대량의 영상, 음성 및 문자 정보를 서버에 구축하고 이를 복수의 가입자 요구에 따라 실시간으로 전송해 주는 검색형 서비스이다. 일반적인 멀티미디어 서비스 환경에서는 하나의 서버에 수백에서 수천에 이르는 클라이언트가 접속되고, 대용량의 데이터베이스에 저장된 연속 미디어가 주로 서비스되기 때문에 실시간 특성이 매우 강하다. 따라서 양질의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 고속의 입출력이 가능한 대용량의 저장 장치와 고성능의 데이터 처리 시스템, 그리고 서비스를 신속하게 처리하기 위한 실시간 운영체제가 요구된다[1]. 또한 서버는 구조적으로 볼 때, 가입자 및 저장 장치의 계속적인 증가로 인한 시스템의 부하를 해결하기 위하여 단위 증설(Scalability)이 가능하여야 한다[2].

이와 같은 멀티미디어 서비스 시스템에서는 다수의 클라이언트들이 하나의 서버에 접속되기 때문에 서버의 결합이 미치는 영향은 상당히 크다. 결합은 단지 서버 자체의 장애로 끝나는 것이 아니라, 서버가 사용되던 멀티미디어 서비스 환경 전체의 마비를 초래하여 서비스 이용자들에게 큰 불편을 끼칠 뿐만 아니라 그로 인해 서비스 제공자들에게 유형·무형의 막대한 재산상의 피해를 가져올 수 있다[3].

본 연구의 동기로는, 향후 멀티미디어 서버가 상용화되어 일반 사용이 확산될 때, 사용자가 어느 정도 규모의 모듈을 갖추어야 할까라는 문제가 발생하게 될 때, 여기에 적합한 가이드를 주는데 있다. 즉 이 연구는 이러한 현실적인 문제가 차후에 생길 것에 대비하여 어떠한 대응을 하고, 어떠한 활동을 체계적으로 해야 하는가에 대한 방향을 제시하는데 그 목적이 있다. 멀티미디어 서버의 시뮬레이션 모델링을 통하여, 서버 성능 및 서비스 질에 중요한 영향을 미치는 서버 설계 요소를 파악하고, 고객 요구에 대한 비용 효율적인 서비스 수준과 작업 부하의 변동을 수용할 수 있는 서버 용량에 대한 정보를 얻고자 한다.

용량 계획에 대한 정의는 관점에 따라 다르게 기술되는 경우가 있으나, 본 연구에서는 Jain[4]의 정

의를 기준으로 한다. 성능 관리는 단기적인 성능 활동으로 현재의 시스템에 관한 조율(Tuning)등의 활동을 말하고, 이에 반하여 용량 계획은 예측 활동으로, 예상되는 작업부하에 대해 주어진 예산 내에서 원하는 성능을 얻기 위해서는 얼마만한 용량이 필요한가를 계산하는 활동이다.

예를 들어 경제적 규모의 정상적인 멀티미디어 서비스가 가능한 서버의 디스크 용량으로 초당 전송 속도가 4MB인 1000개의 1GB 디스크를 고려할 경우, 약 300편의 MPEG-II 영화를 저장할 수 있으며, 네트워크 대역폭을 고려하지 않은 경우, 동시에 서비스할 수 있는 고객 수는 약 7000명이 된다.

큐잉 이론과 같은 분석적인 모델링 방법은 상위 수준에서 시스템을 추상화하는데 반해서 시뮬레이션 모델링 기법은 더 낮은 수준에서 시스템을 추상화할 수 있다[5]. 하위 수준의 모델에서는 시스템의 더 정확한 표현이 가능하므로, 기존 분석적 기법들의 많은 한계점(수학적 가정)들을 피할 수 있다. 디스크 어레이의 작업 부하와 같은 복잡한 시스템 속성을 가진 서버 모델도 시뮬레이션 프로그램의 코드에서 직접 구현될 수 있으나, 높은 신뢰도를 가진 결과를 얻기 위해서는, 많은 시뮬레이션 수행 시간을 필요로 하고 모델링의 정확성(Validation)을 확보해야 하는 어려움이 있다[6].

본 논문의 2장에서는 관련 연구 결과와 문제를 정의하였고, 3장에서는 성능 평가의 대상이 되는 멀티미디어 서비스 시스템 구조를 설명하였으며, 4장과 5장에서는 제안된 멀티미디어 서버 구조의 시뮬레이션 모델 및 수행 결과를 분석하였다. 마지막으로 결론에서는 개발한 시뮬레이션 모델의 활용 방안에 관하여 논하였다.

2. 기존 연구

주문형 멀티미디어 서버 분야에서 지금까지는 주로 비디오 서버 구조, 디스크 모델링[7] 및 저장 알고리즘[8]에 관한 연구가 이루어졌으며 서버, 클라이언트, 네트워크 모두를 고려한 멀티미디어 서버의 성능 평가 및 용량 계획에 대한 연구는 미미한 실정이다. 서버의 성능 평가 및 용량 계획을 위해서는 서

버를 구성하는 주요 자원들 모두를 고려해야만 서버 성능의 병목이 되는 요소를 파악할 수 있으며, 향후 예상되는 과부하 상태에 능동적으로 대처할 수 있다 [9]. 현재 제공되고 있는 멀티미디어 서버의 서비스 수준을 유지하면서 계속 증가가 예상되는 작업 부하를 수용하려면, 그 용량이 무엇이 되어야 하며, 계획 용량에 해당하는 각 서버를 구성하는 자원 각각의 부분 용량이 무엇인가를 구해야 한다. 시뮬레이션 기법을 활용한 성능 평가를 통해 서버 성능과 병목 원인을 파악할 수 있으며, 서버 구성 자원의 결합을 고려한 이용률, 서비스 지연 확률 및 신뢰도 계산 등을 통하여 보다 정확한 해답을 구할 수 있다.

멀티미디어 서버는 중소형 규모의 서버가 고속 네트워크를 통해 연결된 분산 구조와 대용량 서버로 구축된 단일 구조로 분류되며, 비디오 서버에 동시에 접속할 수 있는 클라이언트가 최대 수십 명 이하인 이더넷 환경하의 소규모 시스템[10]과 대용량 디스크 어레이의 모델링을 통해 다양한 비디오 연산이 가능한 대규모 주문형 멀티미디어 서버의 구현 예를 찾을 수 있다[8].

클라이언트의 도착을 데이터 패킷 전송 요청으로 모델링하여 비디오 서버의 성능을 평가한 사례 [11]에서는 실시간 서버 성능을 측정하기 위해서, 시스템 구조를 M/D/1, M/G/1 단일 서버 큐로 설계하였으나, 자원에 대한 결합 발생을 고려하지 않았으며, [12]에서는 중소형 규모의 비디오 서버를 분산 시스템으로 구축한 후, 각 노드로의 작업 부하가 일정하다고 가정하고, 복수개의 M/M/1 큐가 연결된 네트워크를 통해 비디오 스트림의 연속성 만족 여부

에 대한 분석을 하였지만, 고객과 서비스 수준 변동에 따른 서버 자원의 이용률 및 평균 큐 길이와 같은 용량 계획에 필요한 평가 척도 및 고장 발생에 대한 고려는 없었다. [13]에서는 대용량 멀티미디어 서버의 가용도에 관해서 기술했으며, 디스크만의 결합 발생을 고려한 가용도 모델을 제시하였고, 실시간 성능을 높이기 위해 확장 가능한 디스크 노드와 프로세싱 노드로 단일 시스템을 구분한 2단계 시스템 구조를 가정하였다.

본 논문에서는 멀티미디어 서버의 파라미터 조율(Tuning) 및 용량 산정(Sizing)을 위해 시뮬레이션 모델을 설계하여, 서버의 성능 분석 및 서비스 대상 환경에 적합한 비용 효율적인 서버 용량 예측에 사용하였다.

3. 멀티미디어 서비스 시스템 구조

본 논문의 대상이 되는 멀티미디어 서비스 시스템은 그림 1과 같이 다수의 클라이언트가 고속 네트워크를 통해 대용량 서버에 접속하며, 다수의 프로세서와 디스크 및 네트워크 인터페이스로 이루어진 서버는 이들의 요청에 실시간으로 답하는 구조를 가지고 있다. 수만 명의 클라이언트가 동시에 서버에 접속하여, 디스크에 저장되어 있는 멀티미디어 데이터를 요청하며, 디스크에서 저장된 데이터는 서버의 버퍼로 전송되어 정해진 제약 조건(실시간성)을 만족시키며 전송된다. 이와 같은 시스템 구조를 가정한 이유는 향후 컴퓨터 기술의 발전으로 인한 상용 대용량 서버의 등장이 확실하며, 시스템의 부하에

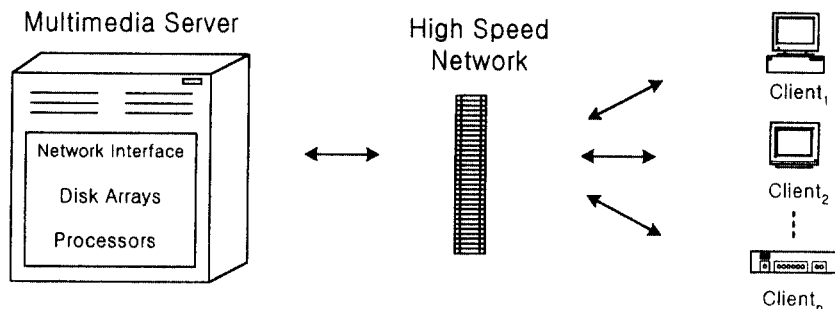


그림 1 대용량 서버로 구성된 멀티미디어 서비스 시스템 구조

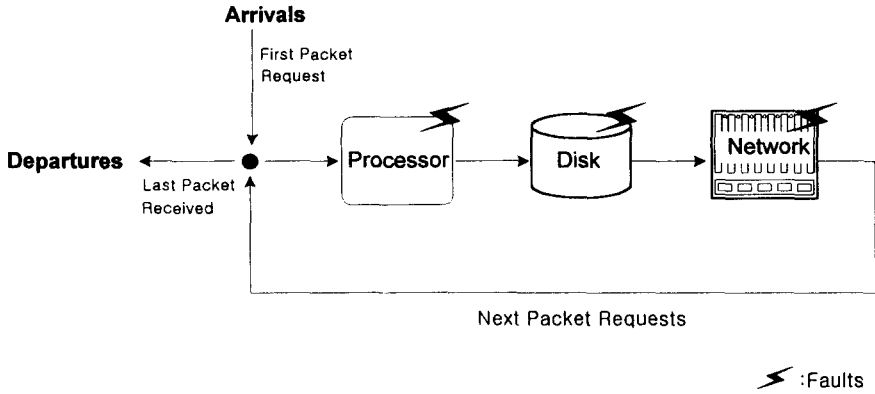


그림 2 결함 발생을 고려한 멀티미디어 데이터 전송 서비스

따라 서버의 용량을 변경하는 확장성이 제공되리라 보기 때문이다[14].

서버의 입장에서 고려하면 멀티미디어 서비스 시스템 안으로의 클라이언트 도착은 디스크에 저장된 MPEG 멀티미디어 파일의 요청으로 인식되고, 파일 요청은 또 다시 단위 시간당 클라이언트에게 전송해야 할 데이터 패킷에 대한 전송 요구로 생각될 수 있다. 한번 연결이 이루어지면 실시간 데이터 전송이 계속해서 보장되어야 하는 멀티미디어 서비스 특성을 고려하여, 클라이언트의 파일 요청에 대한 데이터 패킷의 전달 과정을 그림 2와 같이 피드백을 갖는 운영 구조로 모델링 하였다[15]. 클라이언트의 도착은 멀티미디어 데이터에 대한 전송 요청(First Packet Request)으로 해석되며, 이미 서비스 받고 있는 데이터 요청(Next Packet Requests)과 결합된 후, 멀티미디어 서버내의 자원(프로세서, 디스크, 네트워크)을 할당받아서, 데이터 패킷을 실시간에 전송하게 된다. 요청한 멀티미디어 파일이 모두 전송 완료된 상태(Last Packet Received)에 도달하면 멀티미디어 서비스 시스템과의 접속이 종료되며, 만일 서버 자원에 결함(Fault)이 발생한 경우에는, 서비스 시스템의 데이터 전송 응답 시간이 길어져서, 서비스를 받는 도중에 데이터 패킷의 지연 확률이 높아지게 된다.

본 논문에서는 서버 자원의 결함이 일정 확률을 가지고 발생되며, 각 자원들은 결함 발생시 자동으로 감지·복구된다고 가정한다. 이와 같은 Hot-standby 결함허용 방식을 가정한 이유는 대부분의 서버에서 가용도를 높이기 위해 하드웨어적인 결함허용 방식(H/W Duplication)을 채택하고 있고, 만일 고장이 발생할 경우에는 대기중인 여분의 하드웨어로 실시간에 대체되는 메카니즘을 제공하기 때문이다[16]. 이 경우에 사용자는 서버 자원에 결함이 발생한 사실을 거의 알지 못하며, 단지 약간의 서비스 지연이 발생할 뿐이다.

위와 같은 멀티미디어 서버의 서비스 운영 모델에 기초한 시뮬레이션 모델을 개발하여 클라이언트의 도착률 변동에 대한 디스크와 접근망 자원의 이용률, 평균 큐의 길이 등에 관한 서버 성능 평가 파라미터를 구하고자 한다.

4. 시뮬레이션 모델

초고속 통신망에 연결된 멀티미디어 서버에 파일의 전송 요청과 데이터 패킷 전송 서비스가 포아송 프로세스를 따른다고 가정할 경우, 시스템 내로의 입력, 서버의 디스크 자원에 대한 요청 및 네트워크로의 출력은 그림 3과 같이 피드백을 갖는 열린 큐잉 네트워크로 표현할 수 있다. 서버내 각 자원으로의 도착과 서비스를 포아송 프로세스로 가정함으

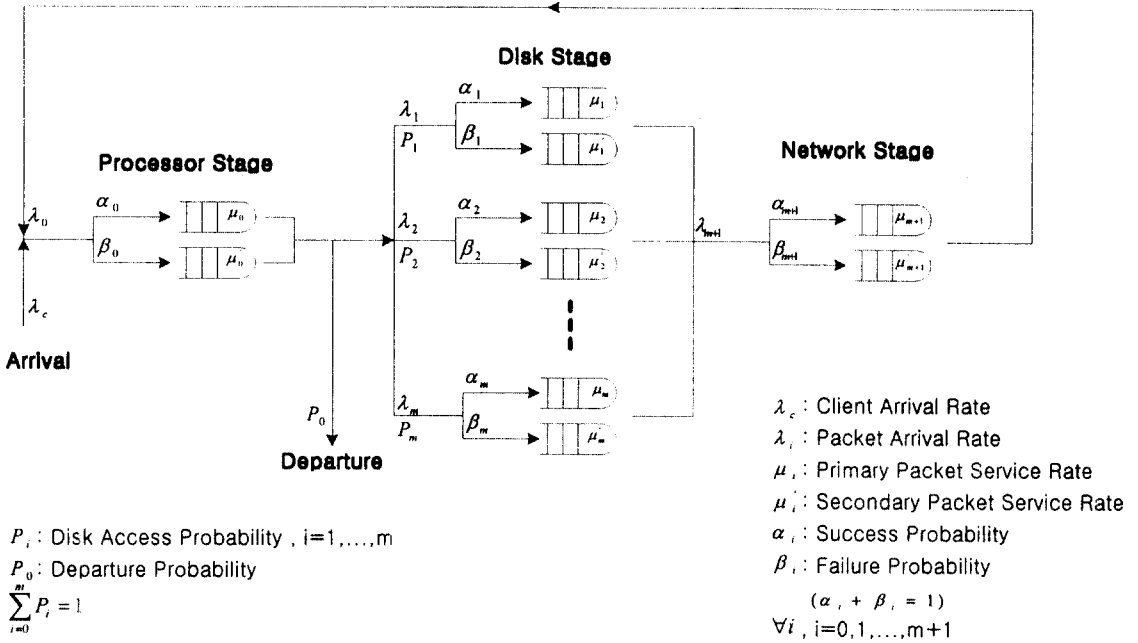


그림 3 멀티미디어 서버의 시뮬레이션 모델

로써, 가변 비트 스트림(Variable Bit Rate)을 잘 표현하게 된다. 대부분의 MPEG 인코딩이 가변 비트를 방식을 사용하고 있으며, 고정 비트를 방법에 비해서 양질의 화상을 제공하고, 디스크 내의 자료 저장 효율도 높일 수 있는 장점이 있다[17].

클라이언트는 λ_c 의 도착률로 멀티미디어 서비스를 요청한 후, 원하는 데이터 패킷을 모두 전송받을 때까지 서버내의 자원(프로세서, 디스크, 네트워크)을 점유하게 되며, P_0 의 확률로 서비스를 종료하게 된다. 프로세서, 디스크, 네트워크 대역폭에 따라 각 자원의 서비스율이 결정되며, 클라이언트가 원하는 데이터 패킷이 저장된 디스크로의 분기 확률은 특정 멀티미디어 데이터의 저장 중복도에 따라 결정된다. 예를 들어 박스 오피스내의 영화는 복수개의 서버 시스템에 중복 저장되며, 서버에 입력된 요청은 접근 확률에 따라 각 디스크 서버 시스템의 큐로 보내진다.

그림 3의 각 서비스 Stage 정상동작 확률(α)에 기초한 멀티미디어 서버의 신뢰도(Primary Packet

Service Rate가 일정 시간동안 유지될 확률) 계산을 위해서, 먼저 각 서비스 Stage에서의 고장률(Failure Rate: λ_f)을 구하면 다음과 같다.

$$Transfer_Time = \frac{Packet_Size}{MPEG_Stream_Rate} * (1-\alpha)^{-1}, \quad \lambda_f = \frac{1}{Transfer_Time}$$

고장률(λ_f)이 주어졌을 경우 일정 수준의 서비스를 계속해서 받을 확률(Stage 신뢰도)은 아래와 같이 정의된다[18].

$$R(t) = e^{-\lambda_f t}, \quad t \geq 0$$

따라서 그림 3의 각각의 서비스 Stage는 서로 독립적으로 작동하므로, 서버 전체의 신뢰도는 다음과 같이 계산된다.

$$R_{system}(t) = e^{-\left(\sum_{i=0}^{m+1} \lambda_{f,i}\right) * t}, \quad t \geq 0 \quad \lambda_{f,i} : Failure_Rate$$

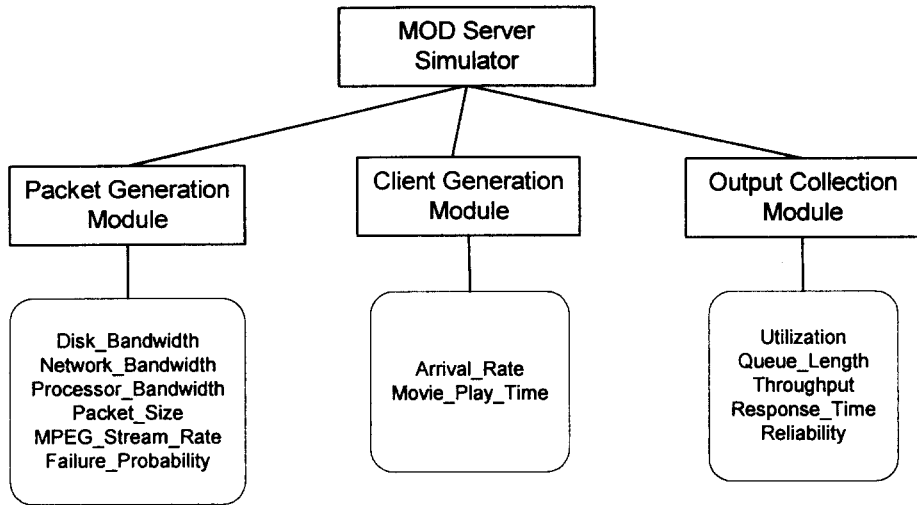


그림 4 멀티미디어 서버의 시뮬레이션 모듈

멀티미디어 서버 자원에 결함이 발생할 경우, 각 서비스 Stage의 서비스율이 저하되는 결과를 초래하게 된다. 이와 같은 결함 발생 상태를 고려하기 위해서, 데이터 패킷 요청에 대한 서비스 시간의 변화를 그림 3의 각 서비스 Stage와 같은 병렬-선택 구조로 표현하였다. 예를 들면, $\alpha_i = 0.999999$ 일 경우 1,000,000개중 1개의 패킷은 디스크 서비스 Stage의 일시적 결함으로 인해 서비스율이 μ_i' 로 변화되는 것을 의미한다. 즉 정상 동작 상태일 경우, 각 서비스 Stage에 입력되는 데이터 패킷 요청은 α_i 의 확률로 μ_i 의 서비스율을 선택하게 되지만, β_i 의 확률로 결함이 발생하였을 경우에 μ_i' 로 서비스율이 변경된다. 즉 서비스 지연 비율을 0.5로 할 경우, 서비스 시간이 2배 증가된다.

클라이언트의 도착을 발생시키는 모듈(그림 4 참조)에서는 클라이언트의 도착률과 영화 상영시간을 필요로 하고 있으며, 패킷 생성 모듈에 데이터 패킷의 전송을 시뮬레이션하기 위한 디스크, 네트워크의 대역폭 및 데이터 패킷의 크기에 관한 정보를 포함시켰다. 시뮬레이션 결과를 수집하는 모듈에서는 서버의 성능 평가 척도에 대한 자료를 수집하게 된다.

5. 시뮬레이션을 통한 성능 평가 및 결과

멀티미디어 서버의 성능을 평가하기 위해서, 표 1의 파라미터[8,10,19]에 기초하여, Simscript II.5 패키지를 사용하여 Pentium PC상에서 시뮬레이션을 수행하였다. λ_c 의 도착률로 클라이언트가 도착하며, 한 명의 클라이언트는 영화 상영길이 만큼의 데이터 패킷 요청을 발생시킨다. 데이터 패킷 요청 ($MPEG_Stream_Rate/Packet_Size$)에 의해 발생된 패킷은 서버내 각 자원의 사용을 위해 큐에 입력되고, 이미 서비스를 받고 있는 패킷이 있으면 큐에 대기하게 된다. 패킷 경로는 Disk_Group에 의해 나누어지는 각 디스크 어레이로의 분기 확률에 따라 결정되며, 시스템에서 패킷이 떠나는 확률 P_0 에 의해 서비스 요청이 중지된다. 각 자원의 사용 시간(Service Time)과 대기 시간(Waiting Time)으로부터 시스템의 응답 시간이 계산된다. 결함 확률(β)과 서비스 지연 비율(Service_Delay)이 멀티미디어 서비스 시스템의 자원 이용률, 큐 길이 및 패킷 지연 확률에 미치는 영향을 그림 5에서 그림 10에 나타냈으며, 그림 11에는 결함 확률에 대한 접속 시간 길이별 시스템 신뢰도를 나타냈다. 네트워크 대역폭의

표 1 성능 평가에 사용된 파라미터

항목	값	비고
Arrival_Rate(λ_c)	0.10 - 0.33	초당 도착하는 클라이언트 수
Movie_Play_Time	7200 sec	영화 상영 길이 (2시간)
Processor_Bandwidth	15 Gbps	프로세서 처리 속도
MPEG_Stream_Rate	4.3 Mbps, 4.5 Mbps	초당 요청 데이터량
Packet_Size	128 KB, 256 KB, 1024 KB	전송되는 데이터 패킷의 크기
Disk_Group	4	디스크 그룹의 수
Disk_Bandwidth	1.5 Gbps	디스크당 15MB의 대역폭(100개)
Network_Bandwidth	10 Gbps	네트워크 처리 속도
Failure_Probability(β)	10^{-4} , 10^{-5}	패킷 당 고장 확률
Service_Delay	0.1, 0.9	서비스 지연 비율

한계로 인하여 $\lambda_c = 0.308$ 근처에서 시스템이 발산하게 되므로(그림 5, 그림 6 참조), 만약 고객 증가가 예상될 경우 우선적으로 네트워크 용량을 증설해야 함을 알 수 있다.

결합 확률이 크다는 의미는 여분 자원이 계속해서 가동될 경우가 많은 것을 의미하므로, 그림 5에서 처럼 $\beta = 0.0001$ 일 경우에 이용률이 더 높게 나타났으며, 서비스 지연 비율이 높을 경우, 서비스율의 저하 즉 서비스 시간이 길어지게 되므로 자원 이용률이 높아지는 것을 그림 6에서 확인할 수 있다. 결합 확률과 서비스 지연 비율이 큐 길이에 주는 영향은 미미했다(그림 7, 그림 8 참조). 패킷 지연 확률은 결합 확률에 민감하게 반응하였으나 서비스 지연 비율에 대한 관련은 적었다(그림 9, 그림 10 참조). 그림 11은 클라이언트가 서비스 시스템에 접속하고 있는 동안 패킷의 전송 지연이 발생하지 않는 확률을 의미하며, 데이터 패킷의 전송 지연을 방지하기 위해서는 최소한 10^{-6} 정도의 결합 확률을 유지해야 함을 알 수 있다. 결합 확률에 비해 서비스 지연 비율은 시스템의 성능에 그리 중요한 영향을 주지 못하는 것으로 판단되며, 시스템을 설계할 때, 각 구성 자원의 수리율을 높이기보다는 결합 확률이 작아지도록 해야 한다. 한편 고객 도착률을 변동함으로써 자원 용량의 병목 구간을 용이하게 파악할 수 있다.

단위 시간에 전송되는 패킷의 크기가 클수록, 패킷 지연 확률이 감소되는 것을 그림 12에 나타내었으며, 고객 도착률 변동에 대한 영향은 미미했다. 이는 패킷이 전송되어 상영되는 시간 간격(Play Round)은 커지나, 각 Stage에서의 지연 시간이 동시에 커지기 때문인 것으로 판단된다. 그림 13에서는 단위 시간당 필요한 데이터량(MPEG_Stream_Rate)을 약 5%를 감소시킬 경우, 클라이언트를 7% 더 수용 가능한 것을 나타내고 있다.

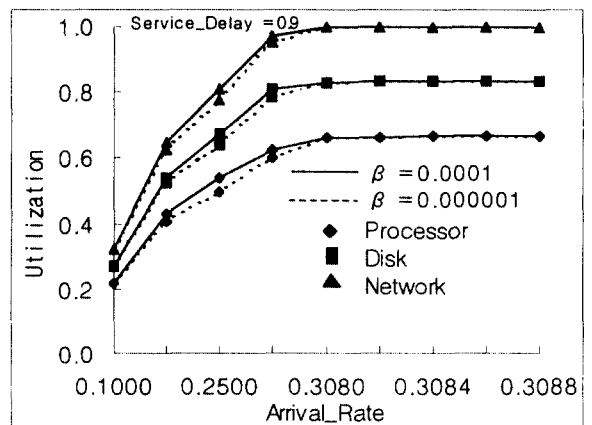


그림 5 고장률에 대한 이용률의 변화

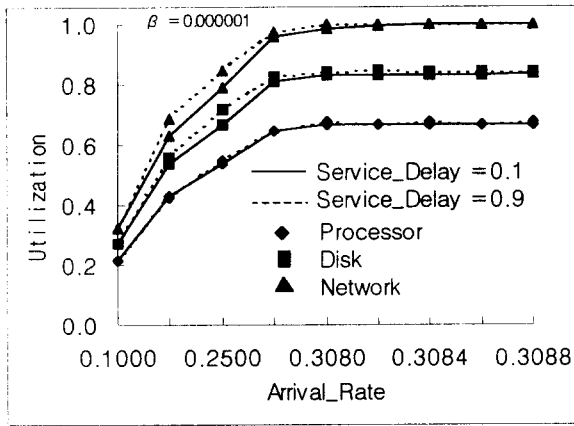


그림 6 서비스 지연률에 대한 이용률의 변화

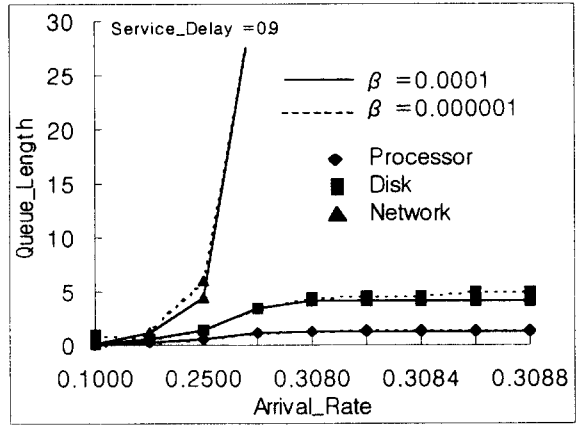


그림 7 고장률에 대한 큐길이의 변화

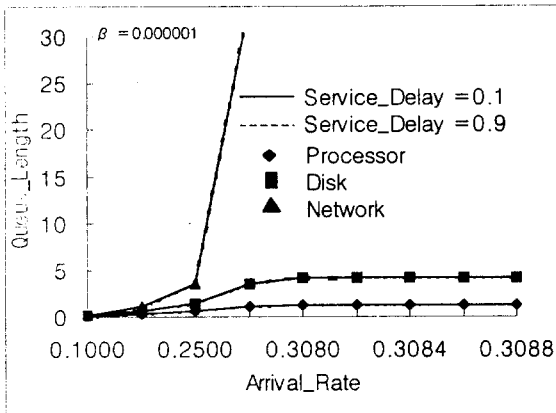


그림 8 서비스 지연률에 대한 큐길이의 변화

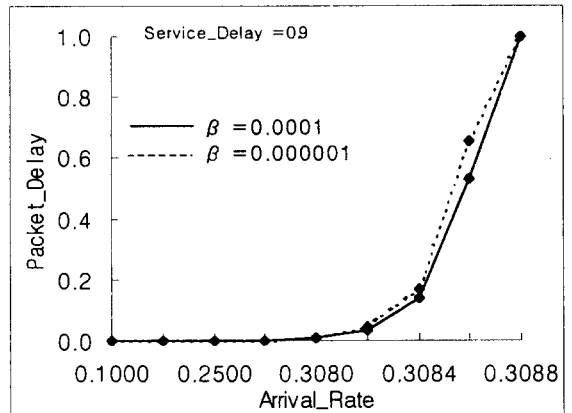


그림 9 고장률에 대한 패키지연확률의 변화

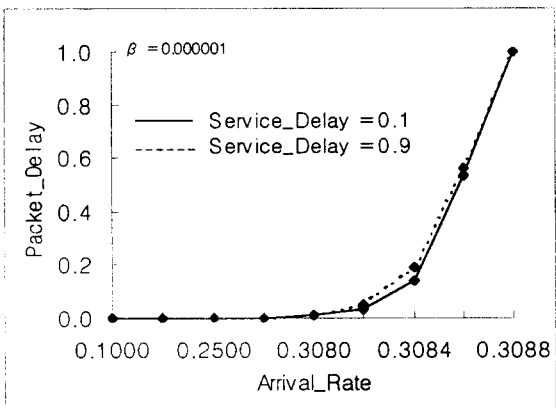


그림 10 서비스 지연률에 대한 패키지연확률의 변화

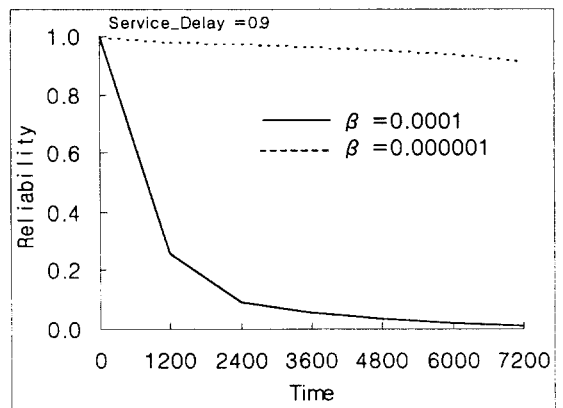


그림 11 시간에 대한 신뢰도 변화

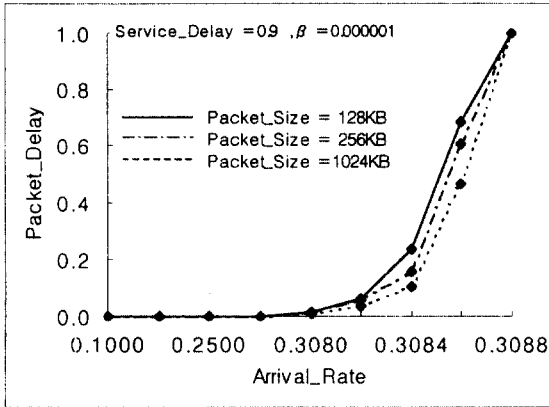


그림 12 패킷 크기에 대한 패킷지연확률의 변화

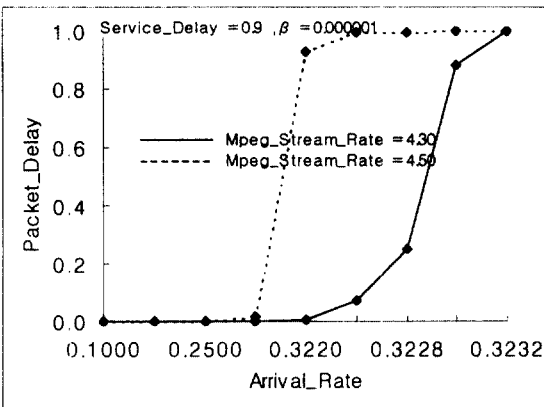


그림 13 Stream_Rate에 대한 패킷지연확률의 변화

6. 결론 및 활용 방안

결함 발생을 고려하는 멀티미디어 서버의 성능 평가를 위하여, 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 고객 도착률과 자원 고장률 변동에 대한 프로세서, 디스크, 네트워크 등과 같은 시스템 자원의 이용률과 큐의 길이 및 데이터 패킷 응답 시간 분포 및 고장률 변화에 따른 시스템의 신뢰도를 계산함으로써 비용 효율적인 시스템 구성 자원의 부분별 용량 산정에 필요한 수치를 구하였다. 시스템의 신뢰도와 패킷 지연 확률이 결함 확률에 민감하게 반응하였으며, 서비스 지연 비율은 그리 큰 영향을 주지 못하였다. 다양한 도착률의 변화를 통해 병목이 예상되는 시스템 자원을 파악하였으며, 접속 시간 동안 패킷을 안정적으로 서비스 받을 수 있는 신뢰도를 계산하였다. 또한 패킷 크기 및 데이터률의 변화에 대한 패킷 지연확률의 변동을 파악하였다.

그 동안 여러 종류의 멀티미디어 서버 개발을 위한 연구가 있었지만 시스템 수준의 의존도(Dependability) 측정(또는 예측)에 대한 연구는 절대적으로 부족했다. 각 서버 구성 요소들의 의존도 측정은 물론, 시스템 레벨에서의 의존도 측정이 가능하여야 하며 멀티미디어 서버 시스템의 설계와 주요 결정사항에 대한 성능 평가를 위한 의존도 모델과 시뮬레이터에 대한 연구가 요청된다.

큐잉 이론과 같은 해석적 방법을 적용할 경우, 시뮬레이션의 단점인 수행 시간 및 모델 검증 문제를 해결할 수 있을 것이라 생각되며, 향후 이에 대한 연구 또한 필요하리라고 본다.

참고문헌

- [1] P. Shenoy, P. Goyal, and H.M. Vin, "Issues in Multimedia Server Design," *ACM Computing Surveys*, Vol. 27, No. 4, pp. 636-639, Dec. 1995.
- [2] Kai Hwang, *Advanced Computer Architecture*. p.770, McGraw-Hill Inc., 1993.
- [3] H.M. Vin, P.J. Shenoy and S. Rao, "Efficient Failure Recovery in Multi-Disk Multimedia Servers," in *Proc. of FTCS-25*, June 1995, pp. 12-21.
- [4] R. Jain, *The Art of Computer Systems Performance Analysis*. p. 685, John Wiley & Sons Inc., 1991.
- [5] Jeffrey Clark, "*Dependability Analysis of Fault-Tolerant Multiprocessor Architectures through Simulated Fault-Injection*," 「Ph. D. Thesis」, University of Massachusetts, 1993.
- [6] Averill Law and W. Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*. p. 400, McGraw-Hill Inc., 1982.
- [7] B. Ozden, R. Rastogi, P.J. Shenoy and A. Silberschatz, "Fault-tolerant Architecture for Continuous Media Servers," in *Proc. of the ACM SIGMOD Conference*, June 1996, pp. 79-90.
- [8] S. Berson and L. Golubchik, "Fault Tolerant Design of Multimedia Servers," in *Proc. of SIGMOD Conference*, 1995, pp. 364-375.
- [9] 박승규, 병렬 컴퓨터의 성능 및 용량관리 연구. p. 57, 연구보고서, 아주대학교, 1996.
- [10] M. Vernick, C. Venkatramani and T. Chiueh, "Adventures in Building the Stony Brook Video Server," *ACM Multimedia*, pp. 287-295, 1996.
- [11] R. Tewari, D. Dias and H. Vin, "Design and Performance Tradeoffs in Clustered Video Servers," in *Proc. of International Conference on Multimedia Computing and Systems*, 1996, pp. 144-150.
- [12] 조진성, 신현식, "대규모 주문형 비디오 서버의 큐잉 모델," 「정보과학회 학술발표논문집(A)」, 1997.4, pp. 383-386.
- [13] R. Tewari, D. Dias, R. Mukherjee and H. Vin, "High Availability in Clustered Multimedia Servers," *ICDE*, pp. 645-654, 1996.
- [14] T. Mudge, "Strategic Directions in Computer Architecture," *ACM Computing Surveys*, Vol. 28, No. 4, pp. 671-678, Dec. 1996.
- [15] 박기진, 정지영, 김용규, 박주용, 김성수, "대규모 주문형 멀티미디어 서비스 시스템의 큐잉네트워크 모델 설계," 「1998년 한국정보과학회 춘계학술발표논문집」, Vol. 25, No 1, 1998. 4, pp. 237-239.
- [16] D. Pradhan, *Fault-Tolerant Computer System Design*. p. 550, Prentice Hall, 1995.
- [17] E. Chang and A. Zakhor, "Cost Analysis for VBR Video Servers," *IEEE Multimedia*, pp. 56-71, Winter 1996.
- [18] B. Johnson, *Design and Fault-Tolerant Analysis of Digital Systems*. p. 584, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [19] K. Trivedi, *Probability and Statistics with Reliability, Queueing, and Computer Science Applications*. p. 624, Prentice-Hall, 1982.

● 저자소개 ●



박기진

- 1989년 한양대학교 산업공학과(공학사)
- 1991년 포항공과대학교 산업공학과(공학석사)
- 1991년-1996년 삼성종합기술원 기반기술연구소(전임연구원)
- 1996년-1997년 삼성전자(주) 소프트웨어센터 선임연구원
- 1997-현재 아주대학교 컴퓨터공학 박사과정
- 관심 분야 멀티미디어 시스템, 결합 허용 시스템, 성능 평가, 시뮬레이션



김성수

- 1982년 서강대학교 전자공학과(공학사)
- 1984년 서강대학교 전자공학과(공학석사)
- 1995년 Texas A&M University, 전산학과(공학박사)
- 1983년-1986년 삼성전자(주) 종합연구소 컴퓨터연구실(주임연구원)
- 1986년-1996년 삼성종합기술원 수석연구원
- 1991년-1992년 Texas Transportation Institute 연구원
- 1993년-1995년 Texas A&M University, 전산학과, T.A.
- 1997년-1998년 한국정보과학회, 한국정보처리학회 논문지 편집위원
- 1996년-현재 아주대학교 정보통신대학 정보및컴퓨터공학부 조교수
- 관심 분야 멀티미디어, 성능 평가, 결합 허용, 이동 컴퓨팅, 테스트