

결함 주입 기법을 이용한 멀티미디어 서버의 의존도 시뮬레이션

정지영^o, 김성수

아주대학교 정보통신대학 정보및컴퓨터공학부

Dependability Simulation of Multimedia Servers Using Fault Injection

Jiyoung Chung, Sungsoo Kim

Division of Information and Computer Engineering, Ajou University

요 약

최근 컴퓨터와 통신 기술의 비약적인 발전은 가까운 시일 내에 대규모 멀티미디어 서비스가 실현될 수 있음을 보여주고 있다. 이와 관련하여 멀티미디어 서버의 구조 및 데이터 배치에 따른 다양한 큐잉 모델과 비용 모델이 제안되어 왔으나 의존도(dependability)에 대한 연구는 미미한 실정이다. 시스템의 디자인 단계에서 시뮬레이션은 성능과 의존도 분석을 위한 중요한 실험적인 수단이며 결함 주입 실험은 시스템의 의존도를 구하기 위해 사용되어 왔다. 본 논문에서는 병렬 비디오 서버의 의존도 분석을 위해 결함 주입을 이용한 시뮬레이션 모델을 제안하여 신뢰도(reliability)와 MTTF(Mean Time To Failure)를 구한다.

1. 서론

성능을 향상시키면서 비용을 줄이려는 노력과 이에 따른 기술적인 진보는 많은 자동화된 서비스를 가능하게 해 왔으며 이러한 자동화된 서비스의 증가로 인해 컴퓨터에 의존하는 경향이 더욱 증가하고 있다. 인간이 컴퓨터에게 더 큰 책임을 부여함으로써 그들의 오류로 인한 결과는 심각하게 되었고 심지어 막대한 재정적인 손실이나 인간의 생명을 잃는 결과를 가져오기도 한다. 따라서 시스템 서비스에 대한 요구를 보장하는 것은 더욱 중요하게 되었으며 이를 위해 의존도 평가의 정확한 방법들이 시스템을 디자인하고 개발하는 과정에서 필요하게 된다.

컴퓨터 시스템의 의존도는 신뢰성을 제공하는 서비스의 질로써 정의될 수 있고 이를 측정하는 주된 기준은 MTTF(Mean Time To Failure)와 신뢰도 그리고 가용도(availability) 등이 있다. 최근 들어 기능 수준(function level)에서 시스템을 추상화하여 시뮬레이션 함으로써 신뢰도와 가용도 등의 의존도를 측정하려는 연구가 여러 곳에서 이루어져 왔다. 기능 수준 결함 주입 시뮬레이션은 대개 개별적인 구성요소보다는 대규모의 컴퓨터나 네트워크의 의존도를 연구하기 위해 사용된다. 수학적인 평가방법은 시스템의 행위를 표현하기 위해 단지 확률적인 모델링을 사용하지만 기능 수준에서의 시뮬레이션은 확률적인 모델링을 사용할 뿐만 아니라 미리 정의된 결함의 결과를 필요로 하지 않는 행위적인 모델링(behavioral modeling)도 사용할 수 있으므로 매우 유용하다.

컴퓨터 기술의 발전과 데이터 압축 기법의 향상은 다양한 멀티미디어 서비스를 가능하게 하였으며 통신 기술의 진보는 이러한 서비스의 실시간 제공을 가능하게 하고 있다. 멀티미디어 서버의 경우 수천에서 수만에 이르는 사용자의 요구를 수용하기 위해서는 대용량의 디스크와 더불어 데이터의 전송률 및 대역폭이 보장되어야 한다[1]. 이와 관련하여 확장성 및 신뢰도를 증가시키기 위한 서버의 구조와 스트라이핑(striping) 방식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 가능한 많은 사용자를 수용하기 위해 디스크 스케줄링의 개발이 진행되어 왔다.

그러나 이러한 멀티미디어 서버에서의 신뢰도와 가용도 같은 의존도에 대한 고려는 아직 시작단계에 불과하며 그 중요성에 비추어 볼 때 더욱 활발한 연구가 필요하다. 이에 본 논문에서는 멀티미디어 서버를 대상으로 결함주입 실험을 이용하여 의존도를 분석하고자 한다.

본 논문의 구성으로는 2장에서 관련연구에 대하여 살펴보고 3장에서 결함주입 실험과 멀티미디어 서버의 결함 허용에 대하여 살펴본다. 4장에서는 멀티미디어 서버의 의존도 분석을 위해 개발된 시뮬레이터의 구조, 시스템 모델, 결함 모델 그리고 결함 주입 등에 대해 설명한다. 이어서 5장에서는 시뮬레이터를 이용한 실험의 결과를 설명하고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

결함 주입은 시스템 응답을 측정하기 위해 시스템이나 모델 안의 고의로 결함의 샘플을 집어넣는 절차로서 대규모 시스템에서는 시간의 제약 때문에 가능한 모든 결함 중에서 조심스럽게 선택된 부분집합만을 이용한다.

멀티미디어 서버의 구조 및 데이터 배치에 따른 성능을 평가하기 위한 연구로 피드백을 갖는 큐잉 네트워크 모델링을 제안하여 고객 도착률에 따른 시스템 이용률과 용량 등을 측정한 연구가 있으며[2] 각 노드가 독립적으로 서비스를 수행하는 시스템을 대상으로 열린 큐잉 네트워크 모델링을 제안하여 패킷 손실률과 같은 실시간 성능을 측정할 수 있게 한 연구도 있다.

이 외에도 다양한 큐잉 모델이 개발되어 멀티미디어 시스템의 데이터 손실률과 디스크 이용률 등을 구한 연구가 있으며 시뮬레이션 모델을 개발하여 실시간 성능을 측정한 연구가 있으나[3] 결함의 영향을 고려한 논문은 아직 부족한 실정이다.

또한 디스크와 노드 각각의 오류를 고려한 수학적인 모델을 통해 멀티미디어 서버의 패킷 손실률 등을 구하고 비용 모델을 제시한 연구가 있으나 신뢰도나 MTTF와 같은 의존도를 고려하지 않았다[4]. 이와 같이 멀티미디어 서버를 대상으로 의존도를 구한 논문은 찾아보기 힘들며 이에 대한 연구는 서두에서 언급한 바와 같이 이제 시작단계에 불과하다.

본 연구는 1999년도 정보통신부 정보통신 우수시범학교 지원사업에 의한 결과임.

또한 시뮬레이션 기반의 결합 주입 실험에 관한 연구로는 REACT[5], DEPEND[6] 등을 들 수 있는데 이러한 예들은 모두 고 수준에서 시스템을 추상화함으로써 일반적인 결합 허용 시스템에서 신뢰도 같은 고수준의 의존도를 구할 수 있으나 멀티미디어 시스템의 특성을 고려하지 않았다.

본 논문은 데이터가 시스템의 모든 노드에 스트라이핑 되어 있고 여러 개의 서버 노드로 이루어진 병렬 비디오 서버 구조를 대상으로 기존 수준의 결합 주입 방법을 이용하여 시뮬레이션 하였다는 점에서 기존연구들과 차이가 있으며 특히 신뢰도와 MTTF를 구함으로써 시스템의 디자인 단계에서 유용한 정보를 제공한다.

3. 결합 주입 실험과 멀티미디어 서버

결합 주입을 통해 얻어진 실험상의 결과는 분석적인 의존도 모델에 의해 만들어진 예측을 증명하기 위하여 사용될 수 있다. 결합 주입은 시스템 개발 동안 프로토타입(prototype)의 기능적인 시험을 위해 사용될 때 디자인에 도움을 주고 결합 허용 메커니즘에서 에러를 식별하는데 도움을 준다. 또한 결합이 있는 구성요소 각각의 타입과 관계된 오류 증상을 관찰하기 위해 사용될 수 있으며 의존도 명목을 식별하게 한다.

시스템의 개발 단계에 따라 결합 주입 기법을 분류하면 디자인 단계의 시뮬레이션 기반 결합 주입과 프로토타입 단계에서의 결합주입으로 나눌 수 있다. 디자인 단계에서의 시스템은 유연성이 좋고 완전한 제어가능성(controllability)과 관찰가능성(observability)을 제공한다. 하지만 이러한 방법은 제공하기 어려운 정확한 입력 파라미터를 요구하고 시뮬레이션 모델의 상세함에 한계가 있으며 시뮬레이션 시간의 제약은 받는다.

프로토타입 기반의 결합 주입 방법은 시스템 디자인에 대한 어떠한 가정없이 시스템을 평가할 수 있게 하며 더 정확한 결과를 산출하나 MTTF와 신뢰도 같은 의존도를 제공할 수 없고 제어가능성과 관찰가능성에 제한이 있다. 비록 이러한 실험 방법들은 각각의 한계를 가지고 있지만 그들의 독특한 특징은 서로를 보완하므로 필요와 상황에 맞게 적절히 결합되어야 한다.

멀티미디어 서버 시스템에서 확장가능성과 결합 허용의 문제를 동시에 효과적으로 해결하기 위하여 시스템이 다수의 프로세싱 노드의 집합으로 구성되어 있고 각각의 노드에 디스크 배열이 연결되어 있는 병렬 비디오 서버 구조가 연구되어 왔는데 이러한 구조는 단일 서버에 비해 확장성이 용이하며 서버 노드들 중에 하나가 오동작을 일으켰을 경우에도 단지 그 노드에 연결되어 있는 사용자만이 서비스를 받지 못하게 된다. 이러한 결합 허용 구조의 예로서 각각의 노드를 데이터의 전달을 담당하는 전달 노드와 데이터의 저장을 제공하는 저장 노드로 나누어 서비스하는 이단 구조가 제안되기도 하였다.

확장 가능한 비디오 서버 구조를 위해 제안된 서버 아레이는 여러 개의 서버 노드에 각각의 비디오를 스트라이핑하여 저장하는 방식으로 디스크 배열 개념을 노드수준에서 고려하였다. 만일 스트림이 단일 노드 서버에 따로 저장되어 있다면 서버의 고장은 곧 그 서버에 연결되어 있는 모든 연결을 잃어버리지만 이러한 구조에서 사용자는 단지 적은 양의 품질 손실만을 경험할 뿐이며 단일 서버 노드가 가지고 있는 시스템 버스 대역폭의 한계를 벗어날 수 있다.

결합 허용을 위해 데이터를 배치하는 방법에 있어서도 각 서버 노드에 독립적으로 배치하는 방법과 시스템의 모든 노드에 데이터를 스트라이핑하는 방법이 있다. 각 노드에 데이터를 독립적으로 배치하는 방법은 구현이 용이하고 관리하기에 좋은 장점이 있으나 사용자의 요청이 인기 있는 비디오에 집중 될 경우 노드들의 부하가 일정하지 않게 된다. 만일 비디오가 여러 디스크에 스트라이핑 되어 있지 않다면 동시에 서비스 받을 수 있는 고객의 수는 최악의 경우 비디오를 저장하고 있는 디스크의 대역폭에 의해 영향을 받는다.

이에 반해 시스템의 모든 노드에 비디오를 배치하는 방법은 특정 비디오에 인기가 집중된다 할지라도 모든 노드가 균일한 작업부하를 가지므로 실제적으로 높은 대역폭을 가질 수 있는 장점이 있다. 또한 이러한 서버 수준에서의 스트라이핑 방법은 서버노드가 고장나더라도 나머지 서버들에 저장되어 있는 패리티 정보를 이용해 복구 가능하며 최악의 경우라 할지라도 단지 품질의 저하만 가져오게 된다. 물론 이 경우 디스크 배열과 마찬가지로 고장난 서버는 가능한 빨리 복구되는 것이 요구된다.

4. 시뮬레이터 설계

본 논문을 통해 개발된 시뮬레이터는 결합 허용 구조를 지닌 병렬 비디오 서버를 대상으로 결합 주입 방법을 이용하여 시뮬레이션 함으로써 분석적인 접근보다 용이하게 의존도의 주요 요소인 신뢰도와 MTTF를 구하기 위한 도구이다.

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 하나 이상의 디스크(D)들이 프로세싱 노드(N)에 각각 연결되고 이러한 노드들이 서로 네트워크를 통해 연결되어 있는 구조를 지니고 있다. 특히 프로세싱 노드와 디스크들은 구조적인 수준에서 추상화되고 이들 각각의 동작은 확률모델에 의해 다루어진다.

결합은 시뮬레이션 프로그램 내에서 각 구성요소에 독립적으로 발생하는 것으로 가정되고 그들의 발생 시간은 Weibull 분포로부터 랜덤하게 샘플링 되도록 하였으며 노드와 디스크의 상태는 그림 2의 결합 모델을 따르는 것으로 가정하였다. 모든 노드와 디스크들은, 시뮬레이션 시작과 함께 무결함 상태에서 실행되는데 이 상태에서는 에러가 발생하지 않으며 Weibull 분포로부터 주어지는 시간 후에 영구적이거나 일시적인 결함을 발생시킨다. 일시적인 결함이 발생할 확률(λ_{trans})과 영구적인 결함이 발생할 확률(λ_{perm}) 그리고 Weibull 분포의 형태를 결정하는 파라미터(α)는 사용자의 입력에 의해 정해진다.

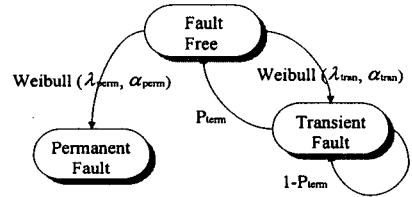


그림 1 결합 모델

비디오 상영의 주기적인 특성으로 인해 멀티미디어 서버는 고정된 시간의 라운드마다 요구된 패킷들을 서비스하는데 하나의 라운드에서 디스크로부터 읽혀진 패킷들은 그 다음 라운드에서 동시에 서비스된다. 그림 1에서 보여지듯이 일시적인 결함상태에서는 매 라운드마다 주기적으로 P_{perm}의 확률에 의해 무결함 상태로 돌아가게 된다. 또한 영구적인 결함상태에서는 매 라운드마다 오류가 발생되며 다른 것으로 교체되거나 복구되어야만 무결함 상태로 돌아갈 수 있다.

시뮬레이터 내의 결합 주입기는 자동으로 영구적이고 일시적인 결함을 결합 모델에 따라 프로세싱 노드와 디스크에 주입하는데 사용자로부터 주어진 입력 파라미터에 의해 발생한 결함을 시스템 상태 배열(System State Array)에 삽입하여 구성요소의 상태를 변화시킨다.

이때 시뮬레이션 주 수행부에서는 이를 참조하여 시스템의 결합 여부를 판단하고 시뮬레이션 하게 된다. 즉 각각의 노드나 디스크에 일시적이거나 영구적인 결함이 발생하면 시뮬레이션 주 수행부에서는 결합 허용 메커니즘 코드 모듈을 통해 복구 과정을 수행하도록 구현되었다. 결합 주입기는 결함의 발생 장소와 유형 그리고 주입시간을 시스템 상태 배열에 삽입한다.

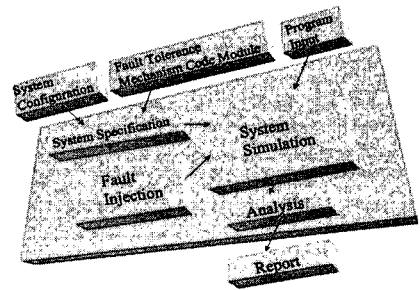


그림 2 시뮬레이터 구조

그림 2는 시뮬레이터의 동작에 대한 개략적인 구조를 보여주고 있는데 사용자의 입력 파라미터에 따라 결합 발생률, 시뮬레이션 시간, 실험 수 등이 결정되고 결합 허용 메커니즘을 표현하는 코드 모듈이 정해지면 결합 주입과 더불어 시스템 시뮬레이션이 이루어진다. 시스템 사양은 노드의 수와 디스크의 수 그리고 라운드 시간 등이 입력된다.

시뮬레이션이 시작되면 입력 모듈은 사용자의 입력을 요구하게 되고 주어진 실험 수만큼 실험을 하게 되는데 각각의 실험에서는 먼저 실험을 위한 초기화가 수행되고 초기 결합이 주입된다. 시뮬레이션이 진행되는 과정에서 결합이 발생하면 결합 허용 메커니즘을 통해 복구 과정이 실행되고 이에 실패하면 시스템이 오류를 일으킨 것으로 간주한다. 결합 허용 메커니즘 코드 모듈에서는 패리티 기법이나 미러링(mirroring) 등의 결합 허용 메커니즘을 통해 노드와 디스크의 오동작을 복구할 수 있도록 구현되었다. 모든 실험이 끝나고 시뮬레이션이 완료되면 분석 모듈에서 신뢰도와 MTTF가 계산되어 출력된다.

5. 시스템 성능평가

이 장에서는 개발된 시뮬레이터를 이용하여 다양한 입력 파라미터 값에 따른 병렬 비디오 서버의 신뢰도와 MTTF를 측정된 그림들을 나타내었는데 멀티미디어 서버를 대상으로 신뢰도를 구한 기존의 연구가 없어서 직접적인 비교는 불가능하였다. 시뮬레이터 내에서 신뢰도는 주어진 시뮬레이션 시간동안 오동작을 일으킨 실험의 수에서 전체 실험 수를 나누어 계산하며 MTTF는 매 실험에서 처음으로 오동작을 일으킨 시간들의 평균값을 취하여 제공된다. 그림 3에서 5는 표 1의 입력 파라미터에 패리티 기법 결합허용 모듈을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

표 1 입력 파라미터

Input Parameters	Value
Number of nodes	20
Number of disks per node	10
Node permanent fault rate (faults/hour)	0.00001
Weibull shape parameter for Node permanent	1
Node transient fault rate (faults/hour)	0.0001
Weibull shape parameter for Node transients	1
Disk permanent fault rate (faults/hour)	0.00001
Weibull shape parameter for disk permanent	1
Disk transient fault rate (faults/hour)	0.0001
Weibull shape parameter for disk transients	1
Error activity termination probability	0.1
Number of experiments	100000
Experiment censoring time (hours)	5000

그림 3은 시간이 점차 증가함에 따라 신뢰도가 감소하는 모습을 보여주고 있는 그래프로 노드의 수를 10개와 20개 그리고 30개까지 증가시켜가며 신뢰도를 측정하였는데 노드의 수가 많아질수록 신뢰도는 낮아짐을 볼 수 있다.

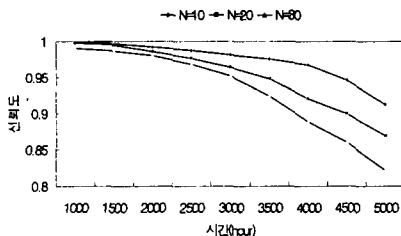


그림 3 노드 수 증가에 따른 신뢰도의 변화

그림 4는 표 1의 입력 값에 디스크의 결합률을 변화시켜 가며 신뢰도를 측정된 그림으로 disk1의 결합률은 표 1과 같고 disk2와 disk3의 결합률은 각각 5배와 10배씩 증가시켜 실험하였는데 결합률의 증가에 따라 시스템의 신뢰도가 감소함을 볼 수 있다. 그림 5는 노드 영구 결합률의 증가비율로 다른 모든 결합률도 증가시켜가며 MTTF를 측정한

것으로 결합률이 증가함에 따라 MTTF가 감소하는 모습을 볼 수 있다. 또한 노드의 수가 20개일 때보다 40개일 때 MTTF가 더 작다.

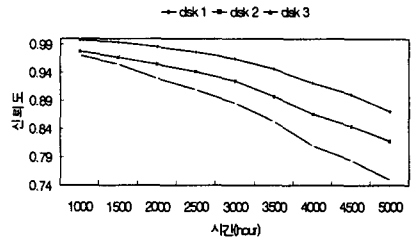


그림 4 디스크 결합률 변화에 따른 신뢰도의 변화

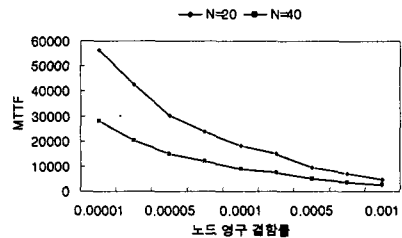


그림 5 결합률 증가에 따른 MTTF

6. 결론

최근 컴퓨터와 통신 기술의 비약적인 발전은 가까운 시일 내에 대규모 멀티미디어 서비스가 실현될 수 있음을 보여주고 있으나 시스템의 신뢰도 측정과 같은 결합허용성에 관한 연구는 미미한 실정이다. 멀티미디어 서비스를 하는데 있어 고객이 갖은 시스템의 오류를 경험하게 되면 다시 그 곳을 찾지 않을 것이다. 즉 시스템을 얼마나 믿을 수 있는가를 나타내는 요소인 신뢰도는 매우 중요하며 디자인 단계에서 미리 시뮬레이션을 통해 요구되는 신뢰도를 만족시키는 시스템을 설계하는 것은 곧 비용 문제와 직결된다. 이에 본 논문에서는 병렬 비디오 서버를 대상으로 결합 주입 기법을 이용한 시뮬레이션을 수행함으로써 시스템의 신뢰도와 MTTF를 측정하였다.

추가되어야 할 문제로는 노드와 디스크 등 구성요소의 더욱 정확한 시뮬레이션 모델링을 들 수 있으며 실험을 수행하는데 걸리는 시뮬레이션 시간을 단축시키기 위한 연구가 필요하다. 또한 사용자의 편의를 위한 그래픽 인터페이스가 추가되어야 한다.

참고문헌

- [1] J. Gemmel, H.M. Vin, D.D. Kandlur and P.V. Rangan, "Multimedia Storage Servers: A Tutorial," *IEEE Computer*, Vol. 28, No. 3, pp. 40-49, May 1995.
- [2] 박기진, 김성수, "결합 발생을 고려한 대규모 주문형 멀티미디어 서비스 시스템의 큐잉 네트워크 모델," *정보과학회논문지(A)*, 한국정보과학회, pp. 291-300, 제26권 제3호, 1999. 3.
- [3] 정지영, 김성수, "실시간 멀티미디어 서버 시험환경 개발," 99 한국정보과학회 춘계학술발표논문지, Vol. 26, No. 1(A), pp. 36-38, 1999. 4.
- [4] R. Tewari, .D. Dias, R. Mukherjee and H. Vin, "High Availability for Clustered Multimedia Servers," *Proc. of International Conference on Data Engineering*, Feb. 1996.
- [5] J.A. Clark and D.K. Pradhan, "REACT: A Synthesis and Evaluation Tool for Fault-Tolerant Multiprocessor Architectures," *Proc. Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Atlanta, Georgia, USA, pp. 428-435, 1993.
- [6] K.K. Goswami and R.K. Iyer, "DEPEND: A Simulation-Based Environment for System Level Dependability Analysis," *IEEE Transactions on Computer*, Vol. 46, No. 1, pp. 60-74, Jan. 1997.