

QoS 인지 클러스터 시스템 구조에 관한 연구

최창열⁰ 김성수
 아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과
 (clchoi⁰, sskim)⁰@ajou.ac.kr

A Study on QoS-Aware Cluster System Architecture

Changyoel Choi⁰ Sungsoo Kim
 Graduate School of Information and Communication, Ajou University

요 약

복잡한 소프트웨어가 필요한 응용분야에 기존에 보유하고 있는 컴퓨팅 자원을 사용하여 구축될 수 있는 클러스터 시스템을 적용할 수 있다. 하지만 제공되는 서비스의 질을 예측하여 가용성과 성능 요구사항을 만족하기 위한 QoS 인지 클러스터 시스템 구조에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 차별화된 서비스 제공과 의존도 요구사항을 만족하기 위해 다양한 매커니즘을 장착한 클러스터 시스템 구조를 도출하고 실제 상용 서비스를 제공하는 웹 서버의 로그 분석을 통한 작업 부하 모델링을 수행하여 얻은 시스템 운영 조건에 대한 성능 분석 실험을 수행하였다.

1. QoS 인지 클러스터 시스템 구조

상용 서비스를 제공하고 있는 서버에서는 다중 계층 클러스터 시스템의 구조로 3 계층을 많이 선택하고 있으나 3 계층 이상 다중 계층은 크게 두 가지 작업을 하기 위한 계층으로 묶을 수 있다. 즉, 사용자의 서비스 요청에 대한 인증 작업, 승인 제어, 침입 탐지, 부하 분배와 같은 작업을 위한 각 계층들은 서비스를 제공하기 위한 사전단계로 묶을 수 있고 웹 서버, 응용 서비스 서버, 데이터베이스 서버 등으로 계층을 나눈 것은 서비스 요청을 처리하기 위한 작업들로 묶어 서비스 요청 처리 단계로 묶을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다중 계층 구조의 일반적인 특성을 깨지 않는 범위에서 2 계층 구조로

이뤄진 클러스터 시스템의 구조를 도출하고 이를 관리하기 위한 알고리즘을 장착한 시스템 구성을 제안하며, 웹 서버의 로그 분석을 통한 작업 부하 모델링에 의한 실험을 통해 제안된 구조의 성능을 증명한다.

그림 1은 2 계층 클러스터 시스템의 구조를 채택하고 서비스별 클러스터를 구분하여 차별화된 서비스 제공을 위한 전체 시스템 구성도이다. 1 계층(Tier1)은 접근 제어 및 부하 분배를 위한 계층으로 서비스 요청이 들어오면 우선 7-layer 라우팅 스위치(Routing Switch)에서 URL(Uniform Resource Locator)을 구문 해석하고 DNS(Domain Name Server)의 부하 분배 알고리즘에 의해서 한 노드에게 서비스 처리를 위해 패킷을 라우팅한다. 또한 DNS는 승인 제어(Admission Control)를 수행하는 컴포넌트를 갖추고 있으며, 방화벽(Firewall)에서 침입탐지의 기능을 제공한다. 2 계층(Tier2)은 서비스를 제공하기 위한 계층으로 서비스를 정적, 동적으로 나누고, 정적 서비스를 처리하기 위한 클러스터(S_1, S_2, \dots, S_n)와 동적 서비스를 처리하기 위한 클러스터(D_1, D_2, \dots, D_n)로 클래스를 구분한다. 이때 클러스터를 물리적으로 나누어 구성하면 서버 재구성의 유연성에 제약이 있으므로 논리적으로 클래스별 클러스터를 분리하는데, 이것은 가상 지역망(Virtual Local Area Network)을 사용하여 vLan1, vLan2 가상 지역망에 의해 연결된다. 가상 지역망이란 논리적으로 정의되는 네트워크[1]로써 ISL(Inter-Switch Link) 프로토콜이나 802.1Q 프로토콜을 사용하여 설치한다. 따라서 클래스마다 차별화된 서비스를 제공하고자 시스템의 상태 변화에 따라 해당 클러스터의 서버수를 유동적으로 변동하기 위해 클러스터 시스템의 서버를 연결하는 스위치의 테이블 정보만 수정하면 된다.

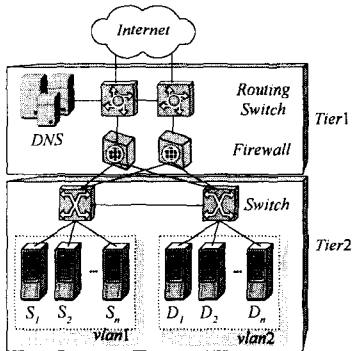


그림 1 2 계층 QoS 인지 클러스터 시스템 구조

이 논문은 2003년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

표 2 구간별 표본 추출 (반올림: 소수 셋째자리)

구간	2003/01/22	2003/01/23	2003/01/24	2003/01/25	2003/01/26	2003/01/27
1:00 - 8:00	31.5	26.75	19.71	19.40	29.13	3.36
9:00 - 16:00	135.75	137.75	42.52	44.39	136.75	1.41
17:00 - 24:00	93.37	82.00	15.88	16.23	87.63	7.95

의 서버가 휴지 상태로 있거나, 일정 서비스를 동일 클러스터 시스템의 다른 서버가 작업을 인계해도 서비스 수준 계약 준수를 할 수 있다면 다른 서비스를 제공하기 위해 서버를 다른 클러스터 시스템으로 재구성한다. 또한 가용도와 같은 의존도 요구사항을 만족하지 못하였을 경우에도 재구성을 수행한다. 클러스터 시스템은 동시에 다수의 서버 가동으로 인한 가용도 저하 문제가 발생하는데, 이를 해결하기 위해 2 계층의 각 서버들은 소프트웨어 재할 메커니즘[2]을 장착한다.

이를 갖는다는 결과를 얻었다(표 1 참조). 또한 9:00-16:00 사이에 발생한 요청수가 일별 총 요청수의 52%와 56%를 차지한다. 따라서 오직 서비스 요청 도착률만을 고려하여 클러스터의 재구성을 수행하면, vLan1과 vLan2의 각 서버간의 잦은 작업 전이로 인한 시스템의 오버헤드를 최소화하기 위해 서비스 도착률에 대한 표본 추출을 시간별로 수행하는 것 보다 일정 구간으로 나누어 구간별 분석을 통한 재구성을 하면, 하루에 3번의 클러스터 시스템의 재구성을 수행해도 된다는 예측이 가능하다. 또한 서비스 요청수의 평균과 표준편차를 일별 비교를 해보면 거의 비슷한 양상을 보이는데 이는 양일간 표준 편차가 각각 3.36, 1.14, 7.95로 적기 때문이다. 즉, 서비스를 시작하면서 발생한 로그파일의 분석을 통해서 향후 발생할 사용자의 패턴을 예측하여 보다 효율적으로 클러스터 시스템을 관리할 수 있음을 보여준다. 또한 ClarkNet 웹 서버에 대해서 주간 로그파일을 생성하였는데 발생한 총 서비스 요청수는 3,328,587개이며, [4]에서 두개의 로그파일을 공개하고 있는데, 즉 2 주간의 로그 정보이다. 표 1에서 보였듯이 특정일의 데이터를 사용하는 것보다 평균을 낸 데이터를 사용하는 것이 분석의 일반성을 높일 수 있으므로, 시간을 기준으로 두 로그 정보를 평균 내어 작업 부하 모델링을 수행하였다. 표 1에서 얻은 평균 서비스 요청수를 해당 시간으로 나누어 평균 서비스 도착률을 설정하고, 웹 트래픽 패턴의 다양성과 자기 유사성(Self-Similarity)은 Pareto 분포와 같은 Heavy-Tailed 분포에 따라 디자인한다. 서비스 처리률은 정적 서비스의 경우 파일의 크기에 비례한다고 가정하고 동적 서비스의 경우 Hyper-exponential 분포를 따른다고 가정한다. 또한, 시스템 운영 파라미터는 기존 연구[2,5]에서 정의한 것과 동일하게 기본 설정한다. 한 서버의 고장률은 1년에 두 번 발생하며, 수리를 위해선 12시간이 필요하다. 재할 메커니즘을 수행하는 주기는 한달에 한번이며, 소프트웨어 노화현상이 발생할 시점은 서비스가동 후 15일이다. 작업전이와 소프트웨어 재할에 필요한 시간은 각각 10분, 20초이며, 한 서버에서 서비스가 가능한 트래픽선 수는 1200개이다. 또한, 서비스 수준 계약에 명시된 정적 서비스 응답 시간과 동적 서비스의 첫 응답시간은 최대 1분이여야 하며 이는 네트워크에 의한 지연은 제외한 시간이고, 클러스터 시스템에 도착한 요청 중 90% 이상이 해당 계약을 준수해야한다. 또한 차별화된 서비스 제공을 위한 2 계층 클러스터 시스템을 결합하여 시스템으로 설계하기 위해 99.99%의 가용도를 유지해야한다.

2. 웹 트래픽 특징 분석 및 시스템 작업 부하 모델링

상용 서비스를 제공하고 있는 한 서버(http://www.cgiserver.net)의 사용자 패턴 분석에 대한 추적 데이터(trace data)를 분석하여 실험을 위한 웹 트래픽의 변화의 특징을 얻는다(그림 2 참조). M. E. Crowell은 웹 트래픽이 매우 유동적이면서 폭발적으로 증가하는 성질[3]을 가지고 있다는 결과를 장시간 네트워크 분석을 통해 얻었는데, 본 논문에서 수행한 추적 데이터의 분석에서도 동일한 결과를 얻었다.

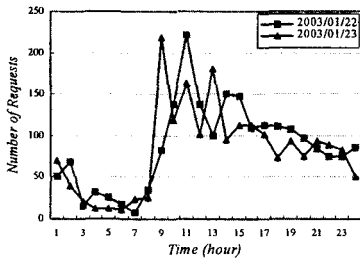


그림 2 일별 웹 서버의 트래픽 히스토그램

또한 서비스 최대 요청수가 발생한 시간대는 2003/01/22에는 9:00-10:00 사이이고 2003/01/23에는 11:00-12:00 사이로 최대 요청수가 발생하는 시간대가 다르다. 하지만 하루 동안 총 서비스 요청수에 대한 해당 시간의 요청수 비율은 각각 약 10%, 11%로 일별 차지하는 비중이 비슷하다. 이와 같은 사실을 바탕으로 하루를 3 구간으로 나누어 구간별 요청수의 합을 구해본 결과 동일한 구간(9:00-16:00)에서 발생한 서비스 요청수가 극히 적은 차

3. 실험 분석 결과

그림 3과 4는 2장에서 수행한 시스템 모델링과 작업 부하 모델링에 따라 시뮬레이션을 수행한 분석 결과이다.

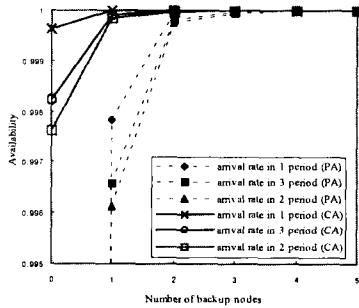


그림 3 서비스 요청률에 따른 가용도 분석

그림 3은 시스템의 가용도를 재정의하여, 기존에 성능 척도를 배제한 가용도(CA) 정의와 달리 클러스터 시스템에서 제공 가능한 성능 전부를 서비스할 수 있으면 가용하다고 하며 그렇지 못할 경우 가용하지 않다고 하는 가용도 (PA)를 정의하고 이를 바탕으로 여분서버수와 서비스 요청율에 따른 가용도 분석 결과이며 주서버수는 4로 설정한 것이다. 또한 2장에서 표본 추출한 작업 부하 모델링을 통해 얻은 서비스 도착률에 대한 결과이다(1 period = 1:00-8:00, 2 period = 9:00-16:00, 3 period = 17:00-24:00). 결과에서 보듯이 주서버수가 4대일 경우 여분서버가 2대 이상이면 시스템 요구사항을 만족할 수 있는데 3대 이상으로 여분서버를 추가하는 것은 큰 이득을 얻을 수 없으므로 낭비가 된다. 따라서 주서버수에 따라 필요한 최소 여분서버수를 결정해야한다.

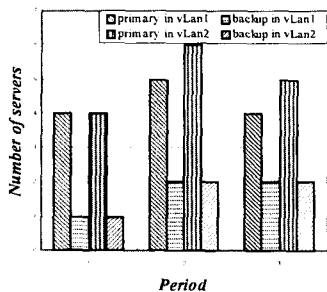


그림 4 vLan1,vLan2의 주/여분서버수

그림 4는 차별화된 서비스 제공을 위한 QoS 인지 클러스터 시스템 구성을 위해 고려해야할 사항들을 종합하여 얻은 결과를 토대로 정적, 동적 서비스를 위한 클러

스터 시스템의 구성에 필요한 서버수를 결정하는 예를 보여준다. 이때 두 클러스터 시스템을 위한 총 서버수는 16개라고 설정한다. 9:00-16:00 사이에 정적 서비스를 위한 클러스터 시스템은 서비스 수준 계약에 명시된 사항을 준수하기 위해서 주서버 5대, 여분서버 2대가 필요하며, 동적 서비스를 위한 클러스터 시스템은 주서버 6대, 여분서버 2대가 필요하였다. 이와같이 정적 서비스와 동적 서비스를 제공하기 위해 필요한 주서버가 다른 이유는 정적 서비스의 경우 I/O 집약적인 트랜잭션이 많기 때문에 상대적으로 적은 서버수만으로 계약 준수가 가능하고 동적 서비스의 경우 CPU 집약적인 트랜잭션이 많기 때문에 계약 준수를 위해서는 보다 많은 서버수가 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

최근 웹 콘텐츠 사업이나 전자상거래와 같은 다양한 응용분야에서 사용자와 서비스 제공자간에 서비스 수준 계약(SLA, Service Level Agreement)을 체결하여 차별화된 서비스를 제공하고자 하며, 이를 위해 클러스터 시스템은 고성능, 고가용성을 제공하기 위한 대표적인 비용 효율적인 솔루션이다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 요구사항을 만족하기 위한 메커니즘을 장착시킨 QoS 인지 클러스터 시스템 구조를 도출하고 제안한 시스템의 성능을 평가하였다. 또한 제공하기 위한 서비스를 유형별로 나눠 각각의 처리를 위한 클러스터 시스템을 구성하여 다른 시스템의 시스템 요구사항과 서비스 수준 계약에 영향을 미치지 않는 한도에서 클러스터 시스템 간에 작업전이를 하여 전체 시스템의 가용도 및 성능을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

- [1] Cisco System Inc., <http://www.cisco.com>
- [2] V. Castelli, et al., "Proactive Management of Software Aging," IBM Journal of Research and Development, Vol. 45, pp. 311-332, 2001.
- [3] M. E. Crovelli and A. Bestavros, "Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, No. 6, pp. 835-846, 1997.
- [4] ClarkNet WWW Server, <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/ClarkNet-HTTP.html>
- [5] K. Park and S. Kim, "Availability Analysis and Improvement of Active/Standby Cluster Systems using Software Rejuvenation," The Journal of Systems Software, Vol. 61, pp. 121-128, 2002.