

# 웹서비스 자원 프레임워크에 기반한 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템의 설계 및 구현

곽재혁<sup>o</sup> 이필우

한국과학기술정보연구원

jhwak<sup>o</sup>@kisti.re.kr, pwlee@kisti.re.kr

## Design and Implementation of Grid Information and Monitoring System

Jae-Hyuck Kwak<sup>o</sup> Pill Woo Lee

Korea Institute of Science and Technology Information

### 요 약

그리드는 지역적으로 분산된 이기종 컴퓨팅 자원을 하나의 가상 컴퓨팅 환경으로 통합하는 차세대 분산 컴퓨팅 기술이다. 그러나, 그리드는 다양한 형태의 하드웨어 및 소프트웨어 자원을 포함하고 있기 때문에 이러한 자원의 이기종 특성은 그리드에 대한 자원 모니터링과 자원 정보 수집을 어렵게 만든다.

본 논문에서는 국제 그리드 표준을 준수하는 그리드 미들웨어인 글로벌스 툴킷에 기반하여 그리드를 구성하는 다양한 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 자원 정보를 통합하고 이를 제공할 수 있는 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 설계 및 구현하였다.

### 1. 서 론

그리드[1]는 지역적으로 분산된 슈퍼컴퓨터, 클러스터 등의 고성능 컴퓨팅 자원을 초고속 네트워크로 연동하여 사용자에게 일관되고 통합된 접근을 허용하는 가상 컴퓨팅 환경으로 정의할 수 있다. 그리드 자원은 서로 다른 하드웨어 플랫폼과 소프트웨어 스택으로 구성될 수 있는데, 여기에는 프로세서 아키텍처의 차이 이외에도 운영 체제의 차이, 큐잉 시스템의 차이, 응용 라이브러리의 차이 등이 존재하게 된다. 이러한 그리드 자원의 이기종 특성은 사용자나 서비스 제공자가 그리드 자원에 대해 통합적으로 파악하는 것을 어렵게 만들므로서 그리드에 쉽고 편리하게 접근하여 사용하는데 장애 요소로서 나타날 수 있다.

본 논문에서는 그리드의 확장 가능한 자원 모니터링 기능을 제공하고 이를 기반으로 그리드 자원에 대한 통합적인 자원 정보를 제공할 수 있는 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 설계하고 구현하였다. 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템은 국제 그리드 표준을 준수하는 그리드 미들웨어인 글로벌스 툴킷[2]의 정보 서비스에 기반하여 모니터링 정보의 확장과 자원 정보의 교환이 용이하다. 따라서, 그리드 서비스를 구성하는 타 컴포넌트들, 예를 들면, 그리드 작업 관리 서비스 혹은 그리드 파일 관리 서비스 등을 위한 기본 서비스로서 사용될 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장은 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 설계하기 위한 요구 사항을 분석하였다. 3장은 본 논문에서 구현하는 시스템의

기반 프레임워크인 글로벌스 툴킷의 정보 서비스에 대해서 소개하였다. 4장은 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 설계하고 구현하였으며, 5장은 이를 타 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템과 비교하였다. 마지막 6장은 결론과 향후 연구 사항을 제시한다.

### 2. 요구사항 분석

그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템은 기존의 클러스터 자원 모니터링 시스템 등과는 구분되는 다음과 같은 요구 사항을 만족시킬 필요가 있다.

- 이기종성(heterogeneity):  
그리드는 프로세서 아키텍처, 운영체제, 큐잉시스템, 응용 라이브러리 수준에서 서로 다른 형태의 자원을 가질 수 있으므로 다양한 형태의 자원을 수용할 수 있어야 한다.
- 통합(integration):  
그리드 자원의 이기종성은 단일 인터페이스로 추상화될 필요가 있다. 각각의 자원을 고유의 인터페이스를 통해서 접근할 경우, 결과적으로 소프트웨어 유지·보수의 문제를 야기시킬 수 있기 때문이다.
- 확장성(scalability):  
그리드에서는 자원이 추가되거나 삭제되는 일이 빈번하게 발생할 수 있으므로 자원의 추가 및 삭제가 용이하도록 확장성 있게 설계되어야 한다.

● 클라이언트 다양성(diversity):

그리드에는 웹포털, GUI 클라이언트 같은 다양한 클라이언트가 존재하므로 국제 그리드 표준에 기반하여 이를 지원할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 이러한 요구 사항을 수용하기 위해서 글로벌 툴킷의 정보 서비스를 기반으로 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 설계 및 구현하였다. 3장은 글로벌 툴킷의 정보 서비스 구조에 대해서 간단히 살펴본다.

3. 글로벌 툴킷의 정보 서비스 구조

글로벌 툴킷의 정보 서비스는 Monitoring and Discovery System(MDS)[4]이라고 불리며, 국제 그리드 표준인 웹서비스 자원 프레임워크(Web Services Resources Framework, WSRF)[5]를 기반으로 구현되었다. 글로벌 툴킷의 정보 서비스는 다양한 형태의 자원 모니터링 환경을 통합하고 다양한 형태의 상위 모니터링 서비스 혹은 클라이언트 개발이 가능하도록 Aggregator Framework라는 데이터 수집 프레임워크에 기반하고 있다. Aggregator Framework는 다음과 같이 Query Aggregator Source, Subscription Aggregator Source, Execution Aggregator Source의 세가지 Aggregator Source로부터 정보를 수집하게 된다. Query Aggregator Source와 Subscription Aggregator Source는 WSRF 서비스로부터 자원 속성 정보를 수집하는 자바 인터페이스를 구현하고 있으며, Execution Aggregator Source는 커스텀 정보 프로바이더의 실행을 통해서 자원 정보를 수집할 수 있는 자바 인터페이스를 구현하고 있다. 본 논문에서 구현하는 그리드 자원 정보 프로바이더는 Execution Aggregator Source를 통해서 글로벌 툴킷의 정보 서비스에 통합되며, Aggregator Framework에 의해서 구현된 Index Service나 Trigger Service에서 제공하는 다양한 클라이언트 API(C, Java 등)를 통해 검색될 수 있다.

4. 설계 및 구현

본 논문에서는 그리드 환경의 이기종성과 복잡성을 단순화하기 위해서 글로벌 툴킷의 정보 서비스에 기반한 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 설계 및 구현하였다. 3장에서 살펴본 바와 같이 글로벌 툴킷의 정보 서비스는 그리드 상의 자원을 모니터링하고 발견하기 위한 WSRF 기반의 표준화된 인터페이스를 제공하며, 자원 모니터링 정보의 확장이 용이한 구조를 가지고 있다. 본 논문에서 구현하는 시스템은 크게 그리드 자원 정보 프로바이더와 그리드 자원 모니터링 매니저, 그리드 자원 모니터링 및 정보 서비스로 구성된다.

본 논문에서는 그리드 자원 정보를 크게 큐잉 시스템 정보, 시스템 정보, 소프트웨어 정보, grid-mapfile 정보로 구분하였으며, 이에 맞게 GLUE 스키마[7]를 확장하였다. GLUE 스키마는 그리드 자원 모델링을 통해 그리드 정보 서비스를 위한 표준화된 스키마를 정의하고 있으며, 현재 Globus, EGEE, OSG 등의 대부분의 그리드 프로젝트에서 사용되고 있다. 각각의 자원 정보는 다음과 같은 모니터링 항목으로 구성되어 있다.

구분	모니터링 항목
큐잉시스템 정보	GRAM version, GRAM hostname, GRAM port/url, LRMS type, LRMS version, Total CPUs, Free CPUs, Queue status, Total jobs, Running jobs, Waiting jobs, Policy information
시스템 정보	Processor type, Processor speed, Total memory, Operating system, SMP size, Storage device name, Storage device size, Storage device available space
소프트웨어 정보	S/W name, S/W version, S/W description, S/W exec-path, S/W lib-path
grid-mapfile 정보	subject DN-local account mapping info

표 1. 그리드 자원 정보 구분

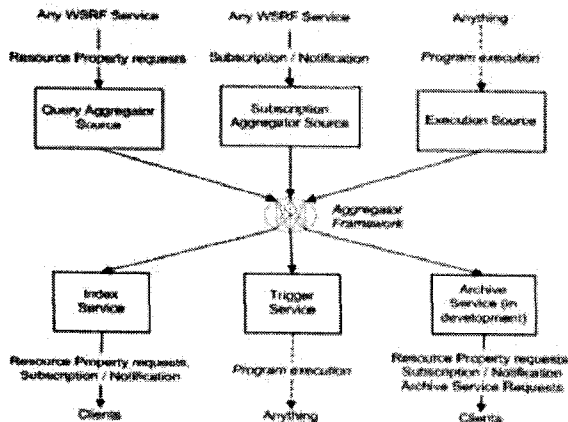


그림 1. aggregator framework의 정보 흐름

큐잉시스템 정보는 그리드 자원의 큐잉시스템이 가지는 큐별로 제공되는 자원 정보이다. 큐잉시스템은 서비스 레벨에 따라 여러 개의 큐를 가지게 되며, 큐잉시스템 정보는 각각의 큐 운영과 관련된 CPU 및 작업 상태를 모니터링하게 된다. 큐잉시스템 정보 프로바이더는 \$GLOBUS\_LOCATION/libexec/globus-scheduler-provider-\* 형태로 존재해야 하며, 글로벌 툴킷이 정의하는 스케줄러 스키마 형태로 큐잉 시스템 정보를 출력하게 되는데, 글로벌 툴킷의 정보 서비스는 이것을 다시 GLUE 스키마로 변환하여 큐잉시스템 정보를 제공한다.

시스템 정보는 그리드 자원의 하드웨어 정보이며, 프로세서, 메모리, 운영체제, 파일시스템 정보 등을 포함한다. 시스템 정보는 GLUE 스키마에 기반한 커스텀 정보

프로바이더로서 구현하였다. 커스텀 정보 프로바이더는 \$GLOBUS\_LOCATION/libexec/aggrexec에 있어야 하며 JNDI를 통해서 글로버스 툴킷의 정보 서비스에 등록되어 제공된다.

소프트웨어 정보는 그리드 자원이 가지는 응용소프트웨어에 대한 정보이며, 소프트웨어의 실행 경로, 라이브러리 경로 등을 포함한다. 소프트웨어 정보 역시 커스텀 정보 프로바이더로 구현되었는데, 자원 관리자가 정의한 소프트웨어 목록 파일의 리스트를 읽어서 제공한다.

```
<ns1:SoftwareConfiguration
ns1:Name="neptune.gridcenter.or.kr"
ns1:UniqueID="neptune.gridcenter.or.kr"
xmlns:ns1="http://mds.globus.org/glue/ce/1.1">
<ns1:Entry ns1:Name="qt" ns1:Version="3.3">
  <ns1:Description>
    <![CDATA[
      The shared library for the Qt GUI toolkit
    ]]>
  </ns1:Description>
  <ns1:Exec-path location="/usr/local/qt-3.3/bin"/>
  <ns1:Lib-path location="/usr/local/qt-3.3/lib"/>
</ns1:Entry>
...
</ns1:SoftwareConfiguration>
```

표 2. software 자원 정보 예시

grid-mapfile 정보는 그리드 자원의 사용자 권한 맵핑 정보를 나타내며, 사용자 인증서와 로컬 계정의 맵핑 정보를 포함한다. grid-mapfile 정보 역시 커스텀 정보 프로바이더로 구현되었으며, /etc/grid-security에 있는 grid-mapfile의 리스트를 읽어서 제공한다.

```
<ns1:GridmapConfiguration
ns1:Name="neptune.gridcenter.or.kr"
ns1:UniqueID="neptune.gridcenter.or.kr"
xmlns:ns1="http://mds.globus.org/glue/ce/1.1">
<ns1:Entry
ns1:SubjectDN="/O=Grid/OU=GlobusTest/OU=simpleCA-neptune.gridcenter.or.kr/OU=gridcenter.or.kr/CN=globus admin at neptune" ns1:LocalAccount="globus"/>
<ns1:Entry
ns1:SubjectDN="/O=Grid/OU=GlobusTest/OU=simpleCA-neptune.gridcenter.or.kr/OU=gridcenter.or.kr/CN=Jae-Hyuck Kwak" ns1:LocalAccount="jhkwak"/>
...
</ns1:GridmapConfiguration>
```

표 3. grid-mapfile 정보 예시

그리드 자원 프로바이더는 자원 레이어에서 정보 서비스(local MDS)에 등록되며, 이것은 서비스 레이어의 정보 서비스(global MDS)로 포워딩된다. 결과적으로 global MDS는 그리드 안의 모든 자원에 대한 자원 정보를 유지하게 된다. 글로버스 툴킷의 정보 서비스는 그리드 자원 정보를 메모리에 저장하기 때문에 그리드 자원 정보의 히스토리를 유지할 수 없게 된다. 그리드 자원 모니터링 매니저는 global MDS를 주기적으로 쿼리하여 그리드 자원 정보를 데이터베이스에 저장하게 된다. 그리드 자원 정보 및 모니터링 서비스는 서비스 레이어에 위치하며, 데이터베이스에 저장된 그리드 자원 정보를 얻기 위한 WSRF기반의 인터페이스를 제공하게 된다.

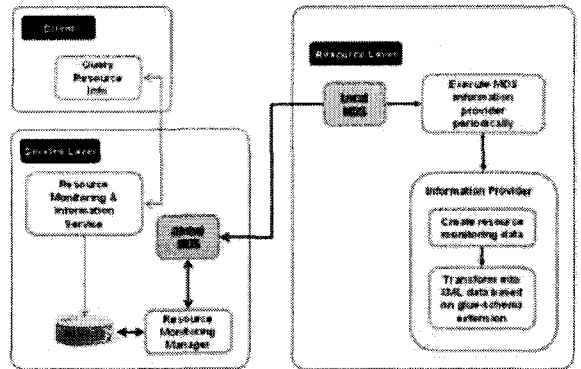


그림 2. 그리드 자원 정보 및 모니터링 서비스의 구현

다음은 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템의 전체 구조를 보여주고 있다. 그리드 자원 및 모니터링 서비스는 WSRF 기반의 인터페이스를 제공함으로써 그리드 작업 관리 서비스 등의 그리드 서비스 컴포넌트에 그리드 자원 정보를 통합적으로 제공할 수 있고, 다양한 형태의 클라이언트가 구현되는 것을 가능하게 한다.

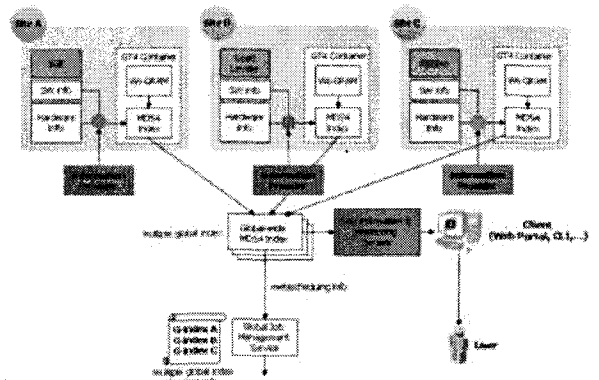


그림 3. 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템의 구조

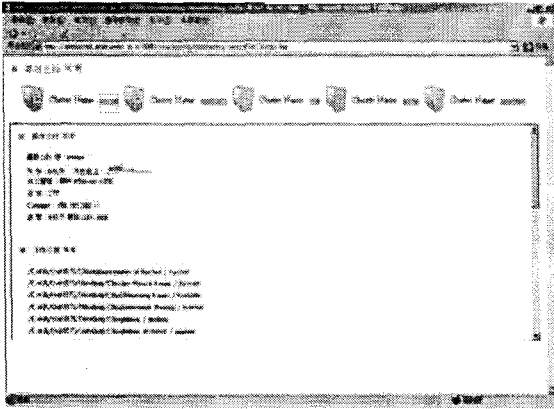


그림 4. 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템의 웹 클라이언트 프로토타입

### 5. 타 그리드 자원정보 및 모니터링 시스템과의 비교

본 논문에서 개발된 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템을 타 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템과 비교하면 다음과 같다. Ganglia[8]는 멀티캐스트 프로토콜을 사용하는 계층적인 모니터링 구조로 되어 있어서 확장성을 제공한다. 또한, 사용자가 정의한 자원 정보 요소의 추가가 가능하며, 수집된 자원 정보는 RRD(Round-Robin Database)에 저장된다. 그러나, Ganglia는 WSRF를 지원하지 않으며, 복잡한 형태의 자원 정보 요소 추가가 어렵다는 문제가 있다. 또한, 데이터베이스를 사용하지 않으므로 자원정보 히스토리 보관에 한계를 가진다. MonALISA(Monitoring Agents using a Large Integrated Services Architecture)[9]는 Jini 기반의 확장 가능한 모니터링 프레임워크를 제공한다. 모듈을 통해 다양한 자원 모니터링 시스템과 큐잉 시스템을 통합할 수 있으며, 외부 데이터베이스를 지원하여 자원 정보 히스토리 관리가 가능하다. 그러나, MonALISA 역시 아직까지 WSRF를 지원하지 않는다. R-GMA[10]는 OGF(Open Grid Forum)에서 정의한 GMA(Grid Monitoring Architecture)를 구현한 것으로 관계형 모델에 기반하여 그리드 모니터링 서비스와 자원 정보 서비스를 통합한 프레임워크를 제공한다. R-GMA는 자원 정보 히스토리 관리를 지원하며, 분산된 자원 정보가 하나의 RDBMS에 저장된 것처럼 접근이 가능하다. 그러나, R-GMA는 성능 상의 오버헤드가 존재하며, 역시 WSRF를 지원하지 않는다.

### 6. 결론 및 향후 연구

그리드는 지역적으로 분산된 자원들을 묶어서 통합적으로 활용할 수 있는 연구 환경을 제공한다. 그러나, 그리드가 가지는 하드웨어 및 소프트웨어 이기종 특성은 사용자 혹은 그리드 서비스 제공자에게 장애 요소로 작용할 수 있다. 본 논문에서 구현한 그리드 자원 정보 및

모니터링 시스템은 국제 그리드 표준의 통합된 그리드 자원 모니터링을 가능하게 함으로서 이러한 복잡성을 극복할 수 있는 기반을 제공한다.

그리드에서 성능 이슈는 간과할 수 없는 중요한 문제로 인식된다. 특히, 그리드 자원 정보 및 모니터링 서비스가 이기종성과 확장성을 보장한다고 하더라도 자원 추가나 자원 모니터링 요소의 확장에 따른 성능 저하가 심각하다면 실제로 그리드에 적용되어 사용되기에는 어려움이 있을 것이다. 본 논문에서 구현한 자원 정보 및 모니터링 시스템의 기반 프레임워크인 글로벌스 툴킷의 정보 서비스의 경우는 TeraGrid[6, 9]와 같은 대규모 그리드 환경에서 실제로 활용되고 있어서 어느 정도도 성능 이슈를 증명하고 있지만, 국내 그리드 환경을 대상으로 한 그리드 자원 정보 및 모니터링 시스템의 성능 이슈에 대한 고찰은 향후 연구 주제로 남아 있다.

### 참고 문헌 및 사이트

- [1] The Anatomy of the Grid: Enabling scalable virtual organizations, International Journal of Supercomputer Applications, 2001, 15(3), 2001.
- [2] Globus Toolkit Version 4: Software for Service-Oriented Systems, I. Foster, IFIP International Conference on Network and Parallel Computing, Springer-Verlag LNCS 3779, pp2-13, 2006.
- [3] Globus Alliance, <http://www.globus.org/>
- [4] GT4 Information Services, <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/info/>
- [5] The WS-Resource Framework, K. Czajkowski, D. F. Ferguson, I. Foster, J. Frey, S. Graham, I. Sedukhin, D. Snelling, S. Tuecke, W. Vambenepe, March 5, 2004.
- [6] J.M.Schopf, Ioan Raicu, Laura Pearlman, Neill Miller, Carl Kesselman, Ian Foster, Mike D'Arcy, Monitoring and Discovery in a Web Services Framework: Functionality and Performance of Globus Toolkit MDS4, Argonne National Laboratory Technical Report No. ANL/MCS-P1315-0106, 2006.
- [7] GLUE Schema, <http://glueschema.forge.cnaf.infn.it/Spec/V11>
- [8] M.L. Massie, B.N. Chun, D.E. Culler, Ganglia Distributed Monitoring System: Design, Implementation, and Experience, Parallel Computing 30 (2004) 817-840.
- [9] H.B. Newman, I.C. Legrand, P. Galvez, R. Voicu, C. Cirstoiu, MonALISA: a distributed monitoring

service architecture, in: Computing in High Energy and Nuclear Physics (CHEP03), La Jolla, CA, 2003

[10] A. Cooke, A.J.G. Gray, L. Ma, W. Nutt, J. Magowan, M. Oevers, P. Taylor, R. Byrom, L. Field, S. Hicks, J. Leake, M. Soni, A. Wilson, R. Cordenonsi, L. Cornwall, A. Djaoui, S. Fisher, N. Podhorszki, B. Coghlan, S. Kenny, D. O'Callaghan, R-GMA: an information integration system for grid monitoring, in: Proceedings of the 10th International Conference on Cooperative Information Systems, 2003.

[11] OGF, <http://www.ogf.org>

[11] TeraGrid, <http://www.teragrid.org>

[12] K\*Grid, <http://www.gridcenter.or.kr>