

대형 강입자 충돌가속기(LHC) 실험의 자료 분산 처리

조기현^o, 한대희, 권기환, 김진철, 손동철

경북대학교 고에너지물리연구소

{cho^o, hanbi, kihwan}@knu.ac.kr, jckim@postech.ac.kr, son@knu.ac.kr

Distributed Data Process for LHC(Large Hadron Collider) Experiment

Kihyeon Cho^o, Daehee Han, Kihwan Kwon, Jincheol B. Kim, Dongchul Son
Center for High Energy Physics, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

요 약

고에너지물리학의 거대강입자충돌실험(LHC)에서 생산되는 데이터량은 연간 12~14PetaByte이므로 이러한 데이터를 분석하기 위해서 기존의 전산개념으로는 자료 처리하기가 불가능하다. 그러므로 새로운 개념의 대용량 자료 처리를 위한 분산 처리 시스템이 필요하며, 이와 관련하여 고에너지 물리 실험분야에서는 계층적 구조의 Tier-0, 1, 2의 지역데이터센터의 개념 및 그리드 개념을 도입하였다. LCG(LHC Computing Grid) 및 OSG(Open Science Grid)등의 그리드 팜을 이용하여 자료를 처리한다.

1. 서론

고에너지 물리학(HEP, High Energy Physics)은 물질의 근본 구성 입자와 상호 작용 연구를 통해 궁극적으로 우주 탄생의 비밀을 밝히는 학문이다. 고에너지물리 실험에서 생산하는 데이터 양은 기존의 전산자원의 개념으로 처리하는 것이 불가능하다. 그 예로, 2007년에 시작하는 유럽입자물리연구소(CERN)의 대형 강입자 충돌가속기(LHC, Large Hadron Collider)의 CMS(Compact Muon Solenoid)실험에 참여하는 연구진은 2000여명이며, 생산되는 데이터 양은 연간 수 PetaByte에 달할 예정이다. 그리하여 고에너지물리 분야에서는 데이터 그리드라는 개념을 기반으로 자료 처리를 분산 시스템을 이용하여 처리하게 되었다.

고에너지 물리 데이터 그리드는 그 정의에 맞게 하드웨어 및 미들웨어 기반 시설을 활용하여 전 세계적으로 분산되어 있는 모든 과학기술 자원인 연구자, 가속기, 검출기, 데이터, 자료 분석용 저장 장치 및 연산 장치 등의 자원을 묶어 가상 기관(VO, Virtual Organization)을 구성하여 하나로 통합하고, 상시 활용하여 연구개발 능력을 혁신할 수 있는 새로운 연구 환경의 패러다임을 구축하는 것이다.

2. LHC 실험의 자료

2.1 LHC 실험의 소개

스위스 제네바에 있는 유럽입자물리연구소(CERN)에서는 원주가 27km인 7 TeV 양성자와 7TeV 양성자를 정면 충돌 시킬 가속기인 대형강입자충돌기(LHC)를 2007년 완공 목표로 건설 중이다. LHC실험에서는 지금까지는 볼 수 없었던 높은 에너지 수준에서 양성자와 양성자의 정면충돌을 가속화시킴으로써 대폭발 직후의 초기 우주 상태를 재현하여 이전보다 물질의 성분의 구조를 더욱

자세히 이해할 수 있을 것으로 기대하고 있다. LHC의 4개의 큰 실험(CMS, ATLAS, LHCb, ALICE)중에서 특히 한국의 연구진이 참여하고 있는 CMS 실험은 그 목적이 질량 근원을 밝히는 데 중요한 역할을 할 힉스(higgs) 입자의 탐색과 새로운 이론인 초대칭 이론에서 예견하는 입자들을 발견하여 물질의 궁극적인 입자와 그 상호작용을 이해하는 것이다. 본 CMS 실험에는 한국을 포함한 36개국 159개 연구기관으로부터 2000여명의 과학기술자가 참여하고 있다¹⁾.

2.2 LHC 실험의 자료 처리

LHC실험에서는 연간 12~14PetaByte의 데이터가 생성이 될 것으로 예상하고 있으며, 이것은 일반적으로 사용되고 있는 저장매체인 CD를 예로 들었을 때 1억 2천만 장에 해당하는 양이며, 이 데이터를 분석하기 위해서는 오늘날 가장 빠른 PC 프로세서 7만대가 필요할 것으로 추정된다.

그러므로 LHC실험에서는 기존의 전산개념으로는 자료를 처리하기가 불가능하다. 새로운 개념의 대용량 자료 처리를 위한 분산해석이 필요하므로 이와 관련하여 그리드 개념이 도입되었으며, 계층적 구조의 Tier-0, 1, 2의 지역데이터센터의 개념을 도입하였다. 그림 1은 CMS 실험에서의 계층적 구조의 지역데이터 센터 개념을 보여준다.²⁾ 가속기가 있어 실제 실험 데이터가 생산되는 CERN이 Tier-0 지역데이터 센터가 되며, CERN에서 생산되는 데이터는 전 세계 10여개의 Tier-1 지역데이터 센터로 분산되어 데이터가 저장된다. 한국도 Tier-1 지역데이터 센터를 구성하기 위하여 노력 중이다. Tier-1 지역데이터센터는 인근 지역의 Tier-2 지역데이터 센터로 자료를 전송하며, 다른 Tier-1 지역데이터 센터와 자료를 공유한다.

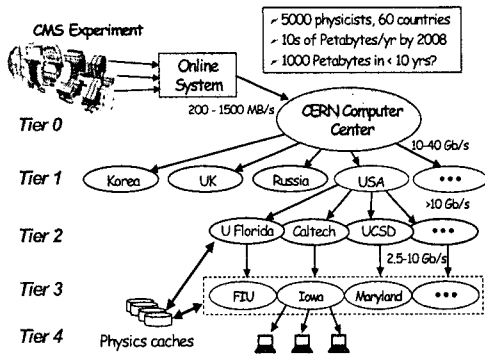


그림 1 고에너지물리 CMS 실험의 지역데이터센터의 계층적 구조(Tier-0, Tier-1 및 Tier-2 개념).

3. 연구 목적 및 내용

3.1 연구 목적

본 연구는 궁극적으로 CMS실험의 분산 자료처리를 위한 지역데이터센터를 구성하는 것이다. 이를 위한 연구 내용에는 크게 네트워크, 저장장치 및 연산자원 등의 세 가지이다. 구체적인 내용으로는 지역 데이터센터를 구축하기 위한 기본 전제인 초고속 네트워크에 대한 연구, SRB를 이용하여 이기종의 저장 장치에 존재하는 데이터의 관리 연구, 그리고 각각 유럽과 미국에서 추진 중인 그리드 프로젝트인 LCG 및 Grid3의 최적화 연구로 적극적 서비스를 제공하는 것을 포함한다.

3.2 연구 내용

첫 번째로 지역 데이터 센터를 건설하기 위해서는 네트워크 인프라가 잘 갖춰져야 하며, 또한 이런 네트워크를 잘 이용할 수 있어야 할 것이다. 이런 취지에서 네트워크에 대한 연구가 이루어지고 있다. 한국 그룹은 한국-미국, 한국-유럽간의 실험을 통해 주어진 네트워크를 최대한 이용할 수 있는 기술을 습득하여 SC2004(Super Computing 2004)에서 미국의 Caltech그룹과 함께 기존의 세계 기록을 깨는 시연을 보였다. 이 시연은 Caltech, 유럽입자물리연구소(CERN), 미국의 페르미연구소(FNAL), 스탠포드 선형가속기 연구소(SLAC)등이 주축이 되어 각 호스트 연구소와 브라질을 포함하는 협력기관들 간에 초고속으로 대량의 물리 데이터를 전송하여 성공함으로써, 2007년부터 시작되는 LHC실험의 준비가 잘 수행되고 있음을 보여주었다. LHC실험에서는 연간 수십 PetaByte의 데이터가 생성됨으로 이것을 각 협력 기관에 분산하여 처리할 수 있는 데이터 그리드를 구성하고 있으며, 이것은 필수적으로 초고속 네트워크를 필요로 한다. 이 시연에서는 LHC 실험의 계층적 구조(Tiered Architecture)에 근거하여 최신 기술의 광대역 네트워크 인프라와 그리드 웹서비스를 이용하고 실시간으로 거대한 물리 데이터의 전송을 요구하는 이벤트 분석 응용을 보여 주었다. 이것을 위하여 NLR(National Lambda Rail)에서 제공하는 몇 개의 10Gbps의 람다 웨이브들이

사용되고, 모나리사(MonaLisa)라는 툴을 사용하여 광대역 네트워크의 모니터링을 실시하며, 분석소프트웨어는 Caltech과 플로리다대에서 개발한 그리드용 분석도구가 사용되었다. 이 시연동안 미국 피츠버그 SC2004 장소로 전송되는 물리 데이터 전송의 최고 대역 폭은 101.13Gbps를 기록하여 세계 기록을 갱신하였다. 이와 함께 글로벌 과학기술협업연구망(GLORIAD: Global Ring Network for Advanced Applications Development) 구축 사업을 통해 지구 한바퀴를 초고속 광통신망으로 연결시켜주는 프로젝트가 진행 중에 있다. GLORIAD망은 국제 협력을 통한 과학기술 연구 개발을 위해 한국, 미국, 캐나다, 네덜란드, 러시아, 중국 등 6개국이 콘소시엄으로 참가, 공동 투자하여 지구 전체를 10기가(Gbps)급 환경의 람다(Lambda, 광통신)망으로 연동하는 세계 최초의 글로벌 과학 기술연구 망이다. 2005년 8월 현재 한국-미국 구간은 10Gbps의 망이 개통되었다. 유럽 CERN에서 생산된 CMS실험에서 생산되는 연간 PetaByte급의 데이터는 GLORIAD망을 통하여, 유럽, 미국, 한국 등의 Tier-1 기관에 데이터를 전송될 수 있을 것이다.

두 번째로 이기종의 저장장치에 존재하는 많은 양의 데이터를 관리하는 것이다. 데이터 그리드의 핵심 요소로서 SRB를 이용하여 KISTI 등과 저장 자원을 공유하여 자원 이용의 효율성을 증대시키고 대량의 데이터를 분산시킴으로써 데이터 관리에 대한 연구를 진행하였다. 이러한 SRB 연동 장치는 국내에서는 KISTI와 기초과학지원연구소(KBSI)와 연동하였을 뿐만 아니라 해외로는 일본의 KEK, 호주, 대만, 한국, 폴란드의 저장 시스템을 SRB를 이용하여 연동하여 저장장치를 효율적 이용하고 있다.

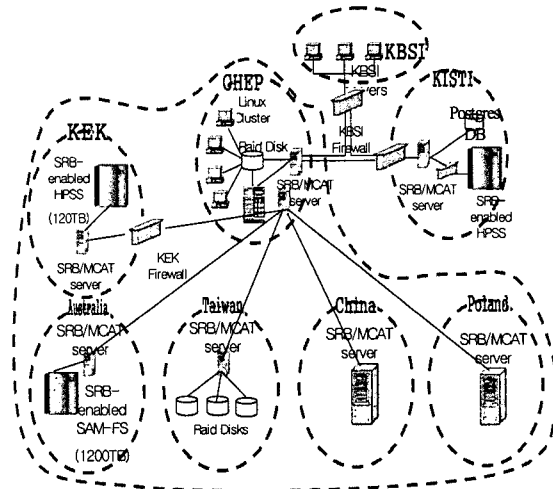


그림 2 SRB로 연동된 모습. 국내적으로는 고에너지물리연구소(CHEP), 기초과학지원연(KBSI) 및 KISTI가 연동되어 있으며 국제적으로는 일본의 KEK, 호주, 대만, 중국 및 폴란드가 연동되어 있다.

국내의 CMS실험은 경북대학교 고에너지물리연구소를

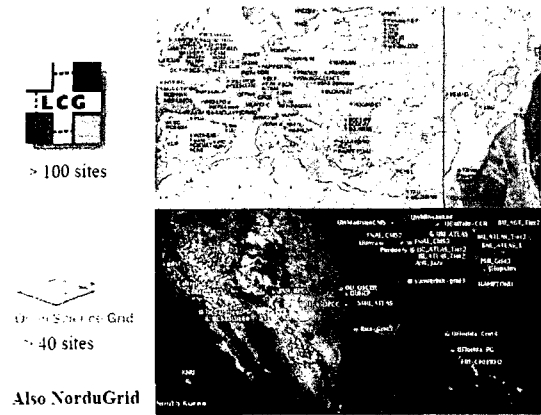


그림 3. 전 세계적으로 중요한 그리드 팜. 한국의 경북대학교(KNU) 고에너지물리연구소는 LCG(LHC Computing Grid) 팜 및 OSG(Open Science Grid) 팜을 동시에 갖고 있다.

세번째로, 연산자원을 그리드로 연동하는 것이다. 고에너지물리 분야에서 그리드 프로젝트는 유럽과 미국을 중심으로 양대 산맥을 이루고 있다. 유럽을 중심으로 LCG(LHC Computing Grid) 프로젝트가 진행되고 있으며, 미국을 중심으로 Grid3에 바탕을 둔 OSG(Open Science Grid) 프로젝트가 진행되고 있으며, 한국은 두 개의 팜을 동시에 설치하여 운영하고 있다. Grid3 프로젝트는 2003년 미국이 아닌 유일한 사이트로 한국의 경북대학교 고에너지물리연구소가 참여하였으며 2004년에는 경북대학교 고에너지물리연구소의 84CPU의 이중운영시스템(dual operating system)으로 구성된 Grid3 팜을 전 세계 30여개 연구기관의 고에너지물리, 천문, 생물, 전산등 다양한 분야의 과학자들에게 서비스를 제공하여 실제 활용하였으며, 2005년에는 OSG(Open Science Grid)로 확대하여 운영하고 있다.

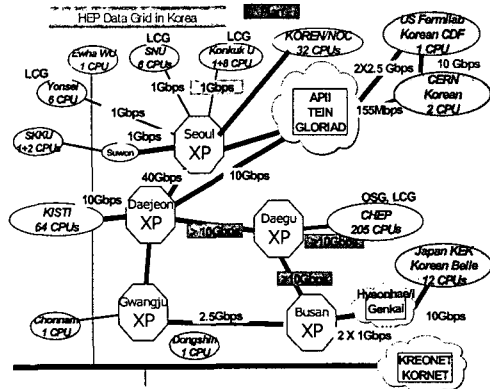


그림 4 국내 고에너지물리 데이터 그리드의 연동 개요.

중심으로 서울대, 연세대, 성균관대, 건국대, 전남대, 동신대등이 참여하여 데이터 그리드를 활용하고 있다. 그림 4는 현재 국내 고에너지물리데이터 그리드 연동의 개요도를 보여준다. 국내 연구기관끼리는 KREONET 및 KOREN망과 연동되며, 미국 페르미연구소, 일본의 KEK, 유럽의 CERN 등의 외국 연구기관과는 APPI, TEIN, GLORIAD, 현해-겐카이 등의 망을 통하여 연동된다.

4. 연구 결과

LCG팜은 전세계 CMS 실험 그룹 사용자들뿐만 아니라 ATLAS, ALICE, LHCb실험등에 실제 데이터 분석과 모의시뮬레이션 데이터 생산에 사용될 예정이다. 그림 5는 LCG 팜을 이용하여 QCD jet 붕괴반응의 대표적인 모의시뮬레이션 결과로서 붕괴된 입자 운동 궤적을 CMKINView로 보여준 것이다.

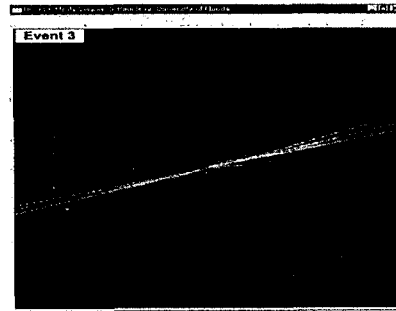


그림 5 LCG 팜을 이용한 모의시뮬.

5. 결론

LHC 실험의 대용량자료의 분산 처리를 위하여 고에너지물리 분야에서는 자료의 계층적 구조와 그리드 개념을 도입하여 구현하였다. 국내에서도 Tier-1급 지역 데이터 센터를 구축하기 위하여 네트워크, 저장장치 및 그리드를 활용한 연산 장치의 최적화를 연구하고 있다. Tier-1급 지역 데이터 센터가 구축이 되면 외국과 똑같은 환경으로 국내 연구 활동을 할 수 있게 되며, 전 세계적으로 2000여명의 물리학자들이 활용하게 된다.

6. Acknowledgement

This work was supported by grant No. R08-2003-000-10258-0 from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation / Korea Research Foundation.

7. 참고 문헌

- [1] <http://cmsinfo.cern.ch/Welcome.html/>
- [2] Paul Avery, "U.S. Grid Projects: Grid3 and Open Science Grid", International ICFA workshop on HEP Networking & Digital Divide Issues for Global e-Science, May 23-28, 2005, Daegu, Korea.