

KOCEDgrid에서의 하이브리드 시뮬레이션

권현택^o 노동건 이송이 신현식
서울대학교 컴퓨터공학과

{ htkwon^o, dgnoh }@mobisys.snu.ac.kr { yis, shinsh }@snu.ac.kr

KISS 33rd Fall Conference

Hyuntaek Kwon^o, Donggeon Noh, Song-Yi Yi, Heonshik Shin
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요 약

분산공유형 건설연구인프라 구축사업(Korea Construction Engineering Development Collaboratory)은 국내에 분산되어 있는 건설기술연구 및 교육 인프라를 공유하기 위해 제안되었다. KOCED의 인터넷 기반 그리드 시스템과 어플리케이션을 이용함으로써 원격의 사용자는 여러 개의 분산된 시설을 이용하여 실험을 할 수 있고, 이를 각 분야의 전문가들과 공유함으로써 협력작업을 할 수 있다. 이러한 KOCED 그리드 인프라를 사용함으로써 소프트웨어 코드와 물리적 기기를 연동하여 실험하는 하이브리드 시뮬레이션이 가능하다. 본 논문에서는 KOCED 그리드 시스템에서 어떻게 mini-MOST 하이브리드 시뮬레이션이 구현되었는지 기술하고, 하이브리드 시뮬레이션의 실행 속도와 효율성을 개선시키기 위한 방법을 논하고자 한다.

1. 서론

분산공유형 건설연구인프라 구축사업(Korea Construction Engineering Development, 이하 KOCED) [6]은 국내의 지역적으로 분산된 건축공학적인 실험을 위한 그리드 기반 인프라를 제공한다. KOCED 프로젝트의 목적은 대형실험시설을 전국 12개의 대학에 분산하여 건설하고 공유함으로써 건설기술 연구와 네트워크 인프라를 발전시키는 데에 있다. 분산공유 연구시설에는 실시간 하이브리드 다자유도 구조시스템 실험센터, 다지점 가진 대용량 지진모사 실험센터, 대형장대구조물 풍동실험센터 등이 있다. 그림 1과 같이 분산공유형 건설연구인프라 구축사업은 이러한 연구시설, 컴퓨팅 시스템, 전자도서관을 하나로 통합하여 초고속 정보통신망에서 동작하는 그리드 시스템 기반의 가상 실험실을 만든다. 이를 위하여 KOCED는 교육과 연구를 위한 공유환경과 기능을 제공하는 그리드 기반의 백본 네트워크인 KREONET을 사용한다.

이와 같은 인프라를 충분히 활용하기 위해서 KOCEDgrid는 그리드 시스템에서 동작하는 다양한 응용 기술을 개발하고 있다. 이를 이용하여 사용자는 장소에 관계없이 분산된 시설을 이용한 원격 실험을 하고,

실험결과를 공유하며, 다른 장소의 사용자와 협업할 수 있다.

KOCEDgrid의 주된 연구분야 중 하나인 하이브리드 시뮬레이션은 대형실험 장비에 대한 비용효율적인 대안을 제시한다. 하이브리드 시뮬레이션은 하이브리드 모델에 동역학 방정식을 이용함으로써 수치적 시뮬레이션과 하부구조 구성요소의 물리적 실험을 조합한다. 쉽게 결과예측이 가능한 구성요소는 수치적으로 모델링하는 반면, 수치적으로 모델링하기 어려운 구성요소는 물리적으로 만든다. 지역적으로 분산된 모델을 사용함으로써 발생하는 문제점은 인터넷을 통한 통신이 지

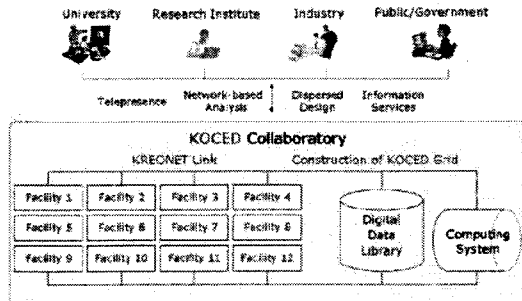


그림 1 분산공유형 건설인프라 구축사업

연될 수 있다는 점이다. KOCEdgrid는 다수의 분산된 시설을 이용하여 연속적인 하이브리드 시뮬레이션을 수행하기 위한 안정적인 환경을 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

본 논문에서는 NEESgrid [9]에서 구현했던 mini-MOST 하이브리드 시뮬레이션을 어떻게 인터넷기반의 KOCEdgrid 시스템으로 이식하였는지를 보이고, 이 실험의 속도와 효율성을 개선시킬 수 있는 하이브리드 시뮬레이션 기술을 논한다.

2. 그리드 시스템을 이용한 하이브리드 시뮬레이션 프로토타입: MOST와 mini-MOST

NEES(Network for Earthquake Engineering Simulation) 프로젝트 [7]에서 수행된 MOST 실험은 성공적인 하이브리드 시뮬레이션의 한 예이다. MOST(Multi-sites Online Simulation Test) [14] 실험은 단층 건물에 대한 지진의 영향을 분석하기 위해 하이브리드 기법을 사용하였다. 실험에 사용된 구조는 그림 2에서와 같이 다층 건물의 내부와 같은 2개의 칸으로 되어 있는 단층 철 골조를 나타낸다. 실험구조를 분산시키기 위해 MS-PSDS(Multi Site Pseudo-Dynamic Substructure) [15] 기법을 사용하여 실험할 구조물을 여러 개의 하부 구조물로 나누고, 나누어진 각각의 하부 구조물을 동시에 다른 지역에서 물리적으로 실험하거나 수치적으로 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 코디네이터는 NEESgrid 서비스 컴포넌트를 사용하여 실험 사이트, 시뮬레이션 컴퓨터와 통신하고 전반적인 실험을 관장한다. 이 기법을 사용하여 실험실의 용량을 초과하는 광범위의 큰 구조물을 모델링한 실험이 가능하게 되었다.

MOST 실험의 성공에 이어서 보다 작고, 이동가능하며, 일반적인 실험실에 설치할 수 있는 저비용의 실험에 대한 필요성이 제기되었다. Mini-MOST 실험의 주

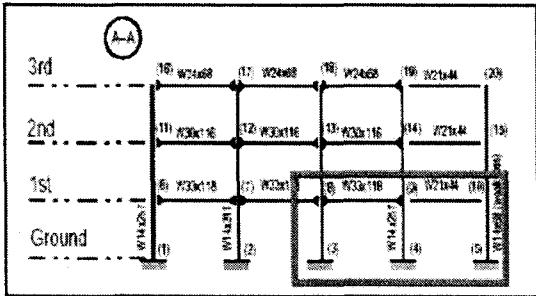


그림 2 MOST 실험의 건물구조

된 목적은 작은 규모의 실험장치를 이용해서 주요한 NEESgrid 서비스 컴포넌트의 성능을 보여주는 것이다. 이 실험에 쓰인 소프트웨어는 MOST 실험에 쓰였던 것과 비슷하고, 같은 수준의 기능과 그리드 서비스를 제공한다. 따라서 mini-MOST 실험은 학생과 연구원들로 하여금 큰 규모의 실험을 접하기에 앞서 NEESgrid 소프트웨어에 친숙해질 수 있는 바람직한 플랫폼을 제공한다. Mini-MOST 프로젝트는 콜로라도 주립대학의 MOST의 일부를 본뜬 테이블 크기의 장비와 MatLAB을 사용하여 수치적 시뮬레이션을 하는 두 개의 컴퓨터인 노드로 구성된다. Mini-MOST와 NEESgrid에 대한 보다 자세한 정보는 [4][7]에서 찾을 수 있다.

3. KOCEdgrid에서의 mini-MOST 실험의 구현

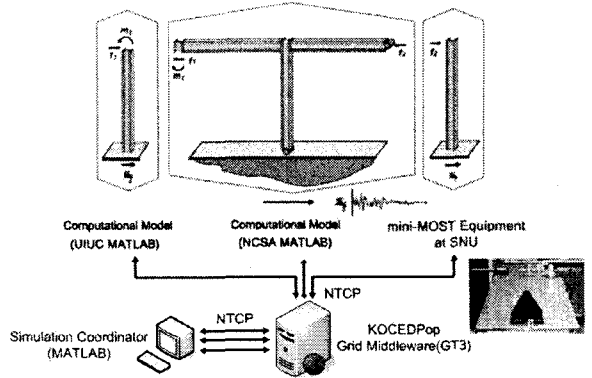


그림 3 mini-MOST의 구성

그림 3은 mini-MOST 실험의 구조적 구성을 보여준다. 우리는 4개의 주요 파트, 다시 말해 KOCEdPop, 컴퓨테이션 노드, DAQ 기기, 그리고 mini-MOST 장비를 구현하였다. KOCEdPop은 시스템의 상태와 제어정보를 교환하기 위해 DAQ 기기, 컴퓨테이션 노드와 통신하는 NTCP(NEESgrid Teleoperation Control Protocol) [11] 서버를 포함한다. KOCEdPop이 제공하는 주요 그리드 서비스는 표 1과 같다. DAQ 기기는 mini-MOST 장비를 제어하고 측정된 데이터를 수집한다. Mini-MOST 장비는 서울대학교에 설치되었다.

Mini-MOST 실험은 현재 시뮬레이션 상태에 근거해 반복적으로 NTCP 요청을 보내는 MatLAB 코드로 작성된 시뮬레이션 코디네이터에 의해 관리된다. 시뮬레이션 코디네이터는 모든 하부 구조물의 결과정보를 모아서 다음 명령을 결정한다. DAQ 기기, NCSA, UIUC MatLAB 시뮬레이션 코드와 시뮬레이션 코디네이터의 상호작용은 NTCP 프로토콜을 이용하여 이루어진다.

표 1 KOCEDPop의 주요 그리드 서비스

Service	Description
Grid Core Services	OGSA-based globus services such as GSD(Globus Service Deploy) and GridAuth service
Remote Control Protocol	NTCP OGSI service, MatLAB plug-in and Labview plug-in
Data Streaming	RBNB(Ring Buffered Network Bus) Data turbine
Data Collaboration	KMDS(KOCEd MetaData Service) and KFMS(KOCEd File Management Service)

컴퓨테이션 노드는 실험종료 후 입력으로 주어진 지진파에 의해 생긴 힘에 대한 구조적 반응을 그래픽으로 보여준다. DAQ에서 수집된 비디오 데이터와 센서 데이터는 KOCEDPop의 CHEF (CompreHensive collaborativE Framework) [1]에 저장되어 실험에 대한 분석이 필요할 시 언제든지 인터넷을 통하여 다시 볼 수 있다.

서울대학교에서의 mini-MOST 실험의 총체적인 목적은 다양한 그리드 서비스 컴포넌트의 성능과 KOCEdgrid상에서 하이브리드 시뮬레이션의 확장성을 보이는 것이다. 이 작업은 KOCEdgrid 시스템에 대한 교육 및 훈련을 위한 플랫폼을 제공하였다.

4. KOCEdgrid에서의 mini-MOST 실험의 변화

4.1 실시간 원격 제어 및 뷰어

원격의 사용자가 mini-MOST 실험을 수행할 때 원격으로 장비를 제어하고 실시간으로 실험 데이터와 실험 모습을 볼 필요성이 있다. 따라서 우리는 KOCEdgrid 상에서 위와 같은 기본적인 기능을 하는 SRCV(SNU Remote Controller and Viewer)라는 어플리케이션을 개발하였다. SRCV는 자바를 이용함으로써 플랫폼에 대한 독립성을 제공하였고, NEESgrid 소프트웨어 패키지의 일부를 수정함으로써 구현되었다. SRCV에 GSI(Grid Security Infrastructure) [2]를 사용함으로써 다른 그리드 소프트웨어와의 일관된 권한과 보안정책을 유지할 수 있게 되었고 신뢰성을 개선할 수 있었다.

그림 4는 SRCV, mini-MOST DAQ 시스템, RDV(Real-time Data Viewer) [13], RBNB(Ring Buffered Network Bus) [12], 그리고 DaqToRbnb와 같은 KOCEdgrid 컴포넌트 사이의 제어와 데이터 흐름을 보여준다.

사용자는 SRCV를 이용하여 가상적 실험환경에서 소프트웨어와 실험 모델의 조합을 면밀하게 관찰할 수 있다. 또한 장비의 오류를 재빨리 인지하고 대처할 수 있을 뿐만 아니라 실험의 전체적인 제어와 분석이 가능하다.

4.2 새 버전의 그리드 미들웨어로의 이전

새로운 GT4(Globus Toolkit version 4) [3]의 출현으로 인해 KOCEDPop에서 실행되는 모든 그리드 서비스를 GT3 (GT version 3)에서 GT4로 이전할 필요성이 제기되었다. GT3는 OGSA(Open Grid Service Architecture)에 기반하는 반면, GT4는 WSRF(Web Service Resource Framework)에 기반하고 있기 때문에 GT4로의 이식은 복잡한 작업을 의미한다.

특히 NEESgrid의 mini-MOST 실험은 제어 프로토콜로써 NEESit가 개발하고 지원하는 NTCP를 사용한다. 그러나 NTCP는 GT3에 기반하고 있기 때문에 GT4와 호환되지 않는다. 따라서 우리는 NTCP를 GT4에 기반한 GTCP로 이식하는 작업을 수행하였다. GTCP는 NEESit가 아닌 Globus Alliance에 의해 관리되기 때문에 GTCP를 사용하는 어플리케이션의 범위가 넓어질 것이라 기대된다.

또한 NEESgrid의 mini-MOST 실험은 데이터 전송 컴포넌트로서 RBNB를 사용한다. 하지만 RBNB는 GSI(Grid Security Infrastructure) [2]와 통합될 수 없기 때문에 심각한 보안적 취약점을 가지고 있다. 게다가 오픈 소스가 아니기 때문에 기능 개선을 위한 수정도 불가능하다. 그러므로 우리는 Narada brokering system [8]을 채택하였다. Narada brokering system은 오픈 소스일 뿐만 아니라 GSI와 통합될 수 있으며, RBNB가 제공하는 모든 스트리밍 기능을 제공하는 효과적인 발행/등록(publish/subscribe) 시스템이다.

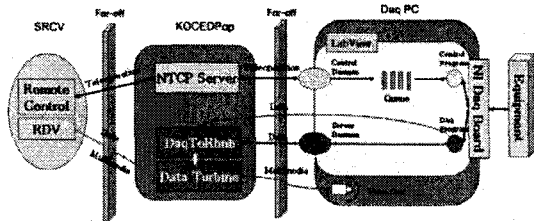


그림 4 컴포넌트 사이의 제어 및 데이터 흐름

4.3 실험 모델 개수의 증가

KOCED는 하이브리드 시뮬레이션에 있어서 물리적 디바이스와 컴퓨터이션 노드 간의 유연한 조합을 제공하는 것을 목적으로 한다. 예를 들면 KOCEDgrid 시스템의 사용자는 수치적 시뮬레이션 대신 사용 가능한 물리적 디바이스가 있다면 좀 더 정확한 실험을 할 수 있다. 이를 원하는 사용자들 지원하기 위해 우리는 mini-MOST 실험을 확장하여 사용자가 물리적 디바이스의 숫자를 임의로 변경할 수 있도록 수정하였다.

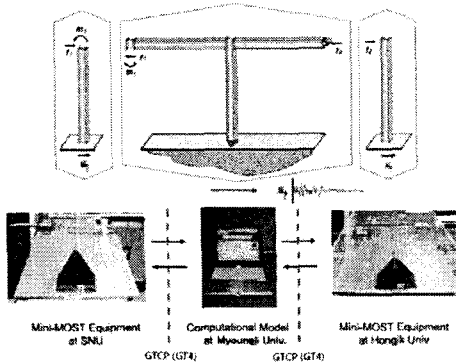


그림 5 확장된 mini-MOST 실험

우리는 하이브리드 실험을 그림 5와 같이 두 개의 실험 모델과 한 개의 수치 모델로 만들었다. 두 개의 mini-MOST 기기를 하나는 서울대학교에, 다른 하나는 홍익대학교에 설치하고 한 개의 수치적 모델은 명지대학교에 두고 KOCEDgrid 네트워크상에서 실험을 진행하였다.

기존 NEES의 mini-MOST 실험에서의 수치적 모델 중 하나를 실험 모델로 대체함으로써 전체적인 실험의 정확성의 개선을 기대할 수 있었다. 왜냐하면 물리적 모델을 더 사용하는 것은 하이브리드 시뮬레이션의 범위성을 증가시키고 유효한 물리적 디바이스의 효율적인 사용을 가능하게 해주기 때문이다.

하지만 실험 모델은 대체로 하드웨어와 소프트웨어의 지연으로 인해 수치적 모델보다 결과를 얻는데 더 오랜 시간이 걸리기 때문에 실험 모델의 숫자를 늘리는 것은 실험의 수행시간을 증가시키는 것을 의미할 수 있다. 따라서 하이브리드 시뮬레이션에 사용되는 물리적 디바이스의 개수를 결정할 때 정확성과 실행 시간의 균형을 고려할 필요가 있다.

4.4 Mini-MOST 실험의 속도 향상

기존 NEES의 mini-MOST 실험의 경우 15초의 지진을 1500개의 스텝으로 나누었는데, 한 개의 스텝당 약 8초(0.125 스텝/초)가 걸렸다. 동일한 15초의 지진모사 실험을 KOCEDgrid에서 실행하였을 경우에도 스텝당 약 6.4초가 소모되어, 전체적으로 3시간 30분이란 시간이 소요되었다.

다소 빨라지기는 하였지만 각 사이트의 컴퓨터이션 오버헤드와 전체적인 네트워크의 트래픽 양을 고려하였을 때 이는 매우 느리게 보였다. 이에 실험의 전반적인 흐름을 관리하는 시뮬레이션 코디네이터를 분석한 결과, 그 코드가 신뢰성과 안정성을 매우 많이 고려하여 작성된 것을 발견하였다.

시뮬레이션 코디네이터는 그림 6과 같이 각 스텝마다 수치적 모델과 실험 모델에 관련된 작업을 수행한다. 이 작업은 각 모델에게 트랜잭션에 대한 신청을 보낸 후, 신청이 수락되면 실행 메시지를 보내고, 결과를 받아 유효성과 허용오차를 검사한 후 다음 스텝으로의 진행이 이루어진다.

이와 같이 모든 중간과정에 체크루틴을 넣는 신중한 코딩 스타일은 원자 조작(atomic operation)의 통일성을 통해 안정성을 극대화해야 하는 분산처리에서 의미를 갖는다. 일반적 건축공학의 하이브리드 시뮬레이션에서는 이처럼 높은 수준의 신뢰성을 요구하지는 않기 때문에 각 트랜잭션마다 존재하는 체크 루틴을 최소화함으로써 실험을 가속화시킬 수 있었다. 코디네이터 자신이 각 실험의 성격과 목적에 맞는 신뢰성과 실행 속도 사이의 균형을 맞추도록 만드는 것도 유용할 것으로 고려된다.

추가적으로 멀티쓰레드 프로그래밍 기술을 이용함으로써 mini-MOST 실험을 더 빠르게 만들 수 있다. 이를 위해 우리는 MatLAB을 위한 플러그인과 코디네이터를 멀티쓰레드 프로그래밍을 지원하는 Opensees [10] 환경으로 이식하였다.

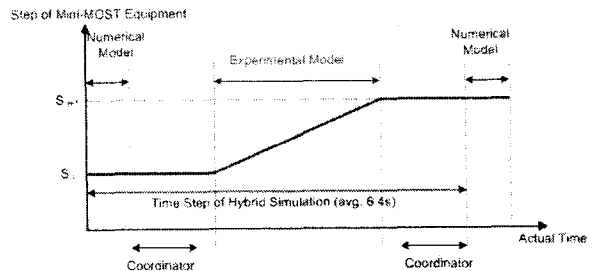


그림 6 mini-MOST 실험의 단계별 시간 분석

5. 결론

KOCED는 국내 분산된 건축공학 실험을 위한 인터넷 기반 그리드 인프라를 제공하였다. 본 논문에서는 KOCEDgrid에서의 하이브리드 시뮬레이션의 사례 연구를 보였다.

우리는 mini-MOST 실험을 KOCEDgrid상에서 실행하였고, mini-MOST에 대한 사용자의 관측 및 제어를 확장하기 위한 실시간 제어 및 뷰어를 개발하였다. 또한 mini-MOST 실험 프레임워크를 새로운 버전의 그리드 미들웨어로 이식하였으며, mini-MOST의 실험 모델의 개수를 늘림으로써 하이브리드 모델을 확장시켰다. 아울러 전체 실행시간을 단축시키기 위한 시뮬레이션 코드 분석과 해결방법을 도출하였다.

현재 우리는 KOCEDgrid 시스템에서 보다 유연하고 확장가능하며 효율적인 하이브리드 시뮬레이션 환경을 위해 Opensees 기반의 새로운 하이브리드 프레임워크를 구축하고, 이를 사용하기 위한 사용자 친화적 응용 프로그램을 개발하고 있다.

6. 감사의 글

이 연구는 건설교통부의 KOCED 사업단의 지원을 받아 이루어졌다.

참고문헌

[1] Comprehensive collaborativE Framework (CHEF) project website. <http://chefproject.org>.
 [2] I. Foster, C. Kesselman, G. Tsudik, and S. Tuecke, "A Security Architecture for Computational Grids," 5th ACM Conference on Computer and Communications Security, pages 83-91, 1998.
 [3] Globus Toolkit Version 4.0 website. <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0>.
 [4] C. Kesselman, R. Butler, I. Foster, J. Futrelle, D. Marcusiu, S. Gulipalli, L. Pearlman, and C. Severance, "Neesgrid System Architecture," Technical report, NEESGrid, 2003.
 [5] C. Kesselman, L. Pearlman, and G. Mehta, "Design for NEESgrid Telepresence Referral and Streaming Data Services," Technical Report NEESGrid-2003-09, NEESGrid, 2003.
 [6] Koced webpage, <http://www.koced.net>, The Overview of KOCED Collaboration.
 [7] N. Nakata, G. Yang, and B. F. Spencer, "System Requirements for Mini-MOST Experiment," University of Illinois at Urbana-Champaign, Nov 2004.
 [8] The Narada Brokering Project @ Indiana University Website,

<http://www.naradabrokering.org/>.
 [9] Neesit Website, <http://it.nees.org>, The Overview of NEES Internet Technology.
 [10] OPEN System for Earthquake Engineering Simulation website, <http://opensees.berkeley.edu/OpenSees/manuals/usermanual/index.html>.
 [11] L. Pearlman, M. D'Arcy, E. Johnson, C. Kesselman, and P. Plaszczak, "Neesgrid Teleoperation Control Protocol (NTCP)," Technical Report NEESGrid-2003-07, NEESGrid, 2003.
 [12] Ring Buffered Network Bus (RBNB) website, <http://rbnb.creare.com/rbnb/WP/WebTurbine.htm>.
 [13] Real-time Data Viwer (RDV) website, <http://it.nees.org/software/rdv/index.php>.
 [14] B. Spencer, A. Elnashai, N. Nakata, H. Saliem, and G. Yang, "The MOST Experiment: Earthquake Engineering on the Grid," Technical Report NEESGrid-2004-41, NEESGrid, 2004.
 [15] E. Watanabe, K. Sugira, K. Nagata, T. Yamaguchi, and K. Niwa, "Multi-phase Interaction Testing Systems by means of the Internet," 1st International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics, pages 43-54, 1999.