9

효율적인 그리드 서비스 구현을 위한 자원 관리 시스템 동향 및 전망

인하대학교 ▌장성호 · 마용범 · 조규철 · 한영신 · 이종식

1. 소 개

최근 네트워크 기술이 발달하고 인터넷이 보편화됨에 따라 기존의 슈퍼컴퓨터를 대체할 차세대 컴퓨팅 플랫폼인 그리드 컴퓨팅(Grid Computing)[1]이 주목을 받고 있다. 또한 시스템이 복잡해지면서 시스템의 미래 상태를 미리 예측하여 분석해보는 시뮬레이션 분야의 연구도 그리드 컴퓨팅 모델을 구성하는 중요한 요소가 된다. 1990년대 말 미국 시카고대학 이안 포스터(Ian Foster) 교수에 의해 창안된 그리드 컴퓨팅은 지리적으로 분산된 컴퓨팅 자원들을 활용하여 고성능의 컴퓨팅 환경을 가능하게 하는 기술이다. 하드웨어, 소프트웨어, 데이터는 물론 네트워크로 연결된 대규모의 인적 자원들을 동적으로 자유롭게 관리하고 활용할 수 있도록 하는 기술로써 휴면 자원의 활용을 통한 효율성 증대, 이기종 자원의 통합, 데이터 접근의 용이성, 빠른 처리 속도 등의 장점을 가진다. 또한, 유지보수에 많은 비용을 소비하고 성능의 한계가 존재하는 슈퍼컴퓨터와 달리 그리드 네트워크에 산재해있는 그리드 자원들을 기반으로 구축하는 가상의 그리드 시스템은 슈퍼컴퓨터와 비교하여 50~90%의 비용 절감을 하면서 그 이상의 컴퓨팅 파워를 구현할 수 있다. 현재 그리드 컴퓨팅 기술은 이러한 장점들로 인해 다양한 그리드 관련 프로젝트를 통해 국내외 수많은 기업들과 연구진들에 의해 빠르게 진보하고 있다.

그리드 컴퓨팅의 목적은 다양한 형태의 그리드 자원들을 하나의 가상 시스템으로 통합하여 그리드 사용자 또는 그리드 어플리케이션에게 전달함으로써 대용량 컴퓨팅 문제 및 대규모 시뮬레이션을 해결하는 것이다[2]. 이러한 그리드의 목표를 이루기 위해서는 고속 네트워크를 통해 분산된 그리드 자원들을 공유하고 사용하기 위한 효율적인 자원 관리 모델이 필요하다. 그리드 컴퓨팅의 핵심 요소인 자원 관리 모델은 분산된 이기종의 그리드 자원들을 관리하여 다양한 그리드 어플리케이션에게 동시 할당하는 기능을 담당한다. 그러나 그리드 시스템에서는 이기종의 분산된 자원들을 이용하게 되므로 자원 관리 시에는 자원 정보 관리의 어려움, 사용 인증의 보안, 자원 요구 사항의 표준화된 정의, 자원 할당의 적합성 등과 같은 다양한 문제점들이 발생한다.

본 기고에서는 현재 이러한 그리드 자원 관리의 문제점을 해결하기 위해 일반적으로 사용되고 있는 국내외 그리드 자원 관리 모델에 대해 소개하고 다양한 사례연구를 통해 이를 보완하기 위해 제안된 그리드 자원 관리 모델들을 살펴보면서 그리드 컴퓨팅의 미래와 도전과제를 도출하고자 한다.

2. 국내외 그리드 자원 관리 모델

일반적으로 그리드 자원 관리 모델은 지리적으로 분산된 이기종의 그리드 자원들을 첨단 IT기술들과 연계하여 그리드 컴퓨팅을 실현하는 그리드 미들웨어에서 제공된다. 그리드 미들웨어에 의해 정의되고 구현되는 그리드 자원 관리 모델[3]은 사용자 요구사항에 적합한 자원을 찾는 Resource discovery, 자원에 할당되는 작업들의 처리 순서를 결정하는 Resource scheduling, 실행되는 작업에 대한 Job monitoring, 처리된 데이터를 수집하여 결과 데이터를 생성하는 Gathering results등과 같은 실질적으로 자원을 할당하고 작업을 처리하는 데 필요한 기능들을 제공한다. 현재 그리드 자원 관리 서비스를 제공하는 국내외의 대표적인 그리드 미들웨어로는 미국 ANL(Argonne National Laboratory)에 의해 개발된 Globus Toolkit[4]과 한국 KISTI (Korean Institute of Science & Technology Information)에 의해 개발된 More Dream[5]이 있다.

2.1 Globus의 자원 관리 모델

현재 가장 많이 사용되고 있는 그리드 미들웨어 중

하나인 Globus Toolkit[4]의 자원 관리 모델은 그림 1과 같이 DUROC(Dynamically-Updated Request Online Co-allocator)[6]와 GRAM(Globus Resource Allocation Manager)[7]이라는 모듈로 구성된다. 두 모듈 사이에는 자원 요구 사항 및 작업 환경을 표현하기 위해 RSL(Resource Specification Language)이라는 명세 언어가 사용된다. 그리드 애플리케이션에서 발생되는 작업은 분산처리를 위해 다수의 세부 작업으로 분할되어 여러 그리드 사이트 내의 자원들에게 동시에 할당된다. 이러한 동시 자원 할당을 해결하기 위한 광역 자원 관리자의 기능을 담당하는 모듈이 바로 DUROC이다. DUROC는 그리드 브로커로부터 RSL로 기술된 구체적이고 세분화된 작업 요구 메시지를 전달받아 이를 파싱하고 이를 바탕으로 세부 작업들을 여러 자원들에 전송하는 기능을 수행하며 각 자원의 작업 처리를 모니터링하고 그 결과를 취합한다. 즉, DUROC는 작업의 세분화와 동시 할당을 통해 그리드 애플리케이션으로부터 요청받은 대용량 작업의 병렬 처리를 다룬다. DUROC에 의해 분할된 각각의 세부 작업들은 각 그리드 사이트 내의 GRAM을 통해 할당되고 실행되어진다. GRAM은 실제 그리드 자원이 존재하는 그리드 사이트 내에서 존재하여 자원의 할당 및 사용에 관한 전반적인 과정을 다룬다. GRAM은 DUROC로부터 할당받은 작업들의 처리를 담당하며 각 세부 작업을 자원에게 할당하기 전 전체 작업의 동시 시작과 끝을 알리는 배리어(Barrier)에 머물러 동시 할당 및 처리를 가능하게 한다. GRAM은 자원 사용 인증을 담당하는 게이트키퍼와 작업의 할당 및 모니터링을 담당하는 작업 관리자로 구성된다. 게이트키퍼는 Globus Toolkit의 GSI(Grid Security Infrastructure)를 이용하여 허가받지 않은 사용자의 그리드 자원 접근에 대한 보안 기능을 제공한다. 게이트 키퍼는 이러한 인증과정을 통해 작업 관리자에게 작업을 전송한다. 작업 관리자는 그리드 자원에 작업을 할당하고 작업 처리 도중 작업 처리 상태를 모니터링하고 제어한다.

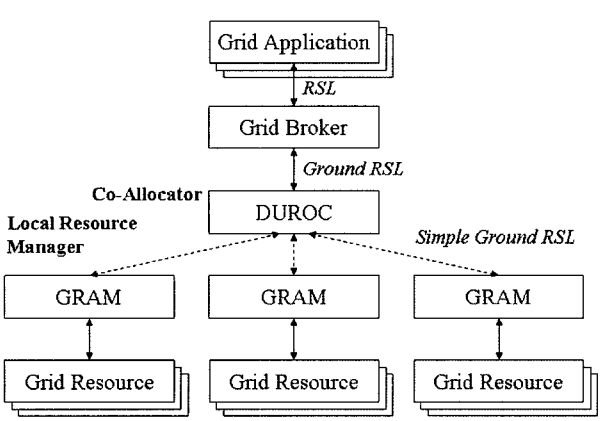

그림 1 Globus 자원 관리 모델

2.2 MoreDream의 자원 관리 모델

국내에서 KISTI에 의해 개발된 그리드 미들웨어인 More Dream[5]는 GRASP(Grid Resource Allocation Services Package)[8]이라는 자원 관리 모델을 제공하고 있다. 그림 2와 같이 GRASP은 그리드 컴퓨팅의 실현을 위한 그리드 자원에 대한 공유 및 통합을 위해 필요한 다양한 서비스를 제공한다. 제공되는 서비스로는 복수의 자원에 다수의 세부 작업을 동시에 전송하고 그리드 자원 상에서 실행되고 있는 작업의 처리 상태를 모니터링하고 조절하는 Job Submission Service, 로컬 그리드 사이트 내의 개별적인 소유자와 관리정책을 가지는 각 그리드 자원 상에서 작업 처리를 가능케 하는 인증 기능과 자원 할당 기능을 제공하는 Resource Manager Service, 로컬 그리드 사이트 내의 그리드 자원들 중 그리드 사용자의 요구사항에 적합한 자원을 찾아주고 사용권한을 예약하는 Resource Reservation Service, 작업의 병렬 처리를 위해 다수의 그리드 자원들 상에서 실행되는 작업의 처리 순서를 선정하는 Grid Scheduling Service, 작업 처리 중 자원이나 네트워크 등의 문제가 발생하였을 경우 이를 다른 가용 자원 및 네트워크로 대체하여 작업 처리를 돕는 Fault Tolerant Service등으로 구성되어 있다. GRASP는 이와 같이 서비스 형태로 구현되어 앞서 설명한 GlobusToolkit과 호환이 가능하고 웹서비스 형태로 제공될 수 있다.

3. 발전된 그리드 자원 관리를 위한 연구 동향

앞서 설명한 GlobusToolkit의 GRAM과 MoreDream의 GRASP와 같은 기존 그리드 자원 관리 모델들은 다양

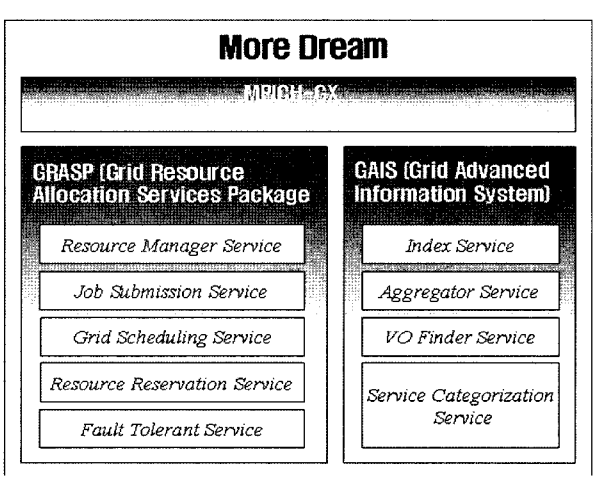

그림 2 MoreDream 자원 관리 모델

한 서비스와 기능으로 인해 국내외 여러 그리드 프로젝트에 이용되고 있다. 그러나 이러한 기존 그리드 자원 관리 모델들은 그리드 미들웨어를 기반으로 한 계층적인 구조를 띄고 있으며 자원의 상세 정보를 실시간으로 사용하기 어렵기 때문에 개별적인 자원 관리와 할당에 비효율적이며 자원 관리자에 집중되는 통신 메시지와 작업 부하의 처리에 약점을 보이고 있다. 또한 거래 메커니즘의 부재로 인해 상업적인 자원을 제공하는 그리드 자원 공급자들을 만족시키기에 역부족이고 동적으로 변화하는 자원 요구량에 적절히 대처하기 어렵다. 이러한 기존 그리드 자원 관리 모델의 문제점들을 해결하기 위해 현재 여러 국내외 연구진들에 의해 다양한 IT 기술을 접목한 새로운 자원 관리 모델들이 제시되고 있다. 이 장에서는 다양한 사례 연구를 통해 발전된 그리드 자원 관리 모델들에 대해 알아본다.

3.1 사례연구 1: 그리드 자원 관리를 위한 분산화된 중개자 기반 모델

본 사례 연구에서는 GRACE(Grid Architecture for Computational Economy)[9] 기반의 자원 거래 구조를 그림 1과 모델링하고 로컬 자원 중개자 기반의 분산된 자원 관리를 자원 거래에 적용한 분산화된 중개자 기반 모델[10]을 제시하였다.

분산화된 중개자 기반 모델은 그림 3과 같이 로컬 자원 중개자라는 지역별 중개자를 도입하여 다수의 자원 공급자와 자원 사용자 간의 거래를 조정하고 시장 경제의 원리를 통한 자원 관리 방식을 적용하고 있다. 기존의 자원 관리 모델에서 자원 거래는 자원 사용자와 자원 공급자 사이에 위치한 그리드 자원 중개자를 통해 이루어졌으나 분산화된 중개자 기반 모델은 기존의 그리드 자원 중개자의 역할을 하는 글로벌 자원 중개자를 통해 자원 거래가 이루어진다. 자원 사용자들은 지역별로 분산되어 있고 각기 다른 성향을 가져 성향에 따라 그룹화되며 자원 공급자들은 역시 자원 공급 전략을 사용하는 두 그룹으로 분류된다. 자원 공급 전략은 요청된 주문으로부터 기대되는 이익인 Profit이 최대화되는 거래를 우선적으로 선택하는 MaxEProfit[11]과 거래 요청 가격을 거의 고려하지 않고 단지 주문량이 최대인 거래를 우선적으로 선택하는 DemandDriven[11]으로 나뉜다. 로컬 자원 중개자는 그룹화되어 전달되는 사용자의 주문 정보를 조정하여 글로벌 자원 중개자에게 지역별 주문을 전달하며 자원 사용자와 자원 공급자 사이에서 자원 발견과 선택, 모니터링의 기능을 수행한다. 각 로컬 자원 중개자로부

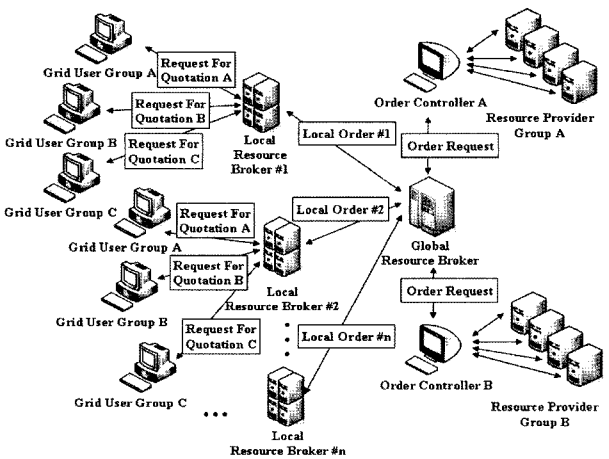

그림 3 분산화된 중개자 기반 자원관리 모델

터 받은 주문을 적절한 자원 공급자에게 요청하며 자원의 상태 변화를 모니터링하기 위해 지속적으로 자원 공급자의 갱신된 상태 정보를 수신한다. 그리드 자원 사용자로부터 동시에 요청된 주문은 글로벌 자원 중개자의 조정을 통해 두 그룹의 자원 제공자에게 적절하게 배분된다.

해당연구에서는 분산화된 중개자 기반 모델의 시뮬레이션 모형을 구축하고 다양한 실험을 통해 제안된 모델이 중앙 집중형 자원 관리 모델과 비교하여 자원 거래량 및 자원 활용도를 증가시키고 응답 속도 및 처리 시간을 향상시켜 분산화된 그리드 자원 관리의 효율성을 보여주고 있다.

3.2 사례연구 2: 사용자 요구 예측 기반 그리드 자원 관리 모델

본 사례 연구에서는 그리드 자원을 효과적으로 관리하기 위해 그리드 자원의 사용률을 사용자의 수요 경향에 따라 미리 예측하는 사용자 요구 예측 기반 그리드 자원 관리 모델을 연구 중이다. 해당 연구는 그리드 환경에서 고성능의 자원 관리와 할당 그리고 유용한 자원의 공급과 요구를 규제하기 위해 제안된 GRACE의 경매 모델 방식[9]을 채택하고, 효율적인 중개자를 찾는 방법으로 다수의 자원 공급자와 자원사용자간의 보유 자원을 활용하여 경쟁을 통해 이윤을 극대화하는 TAC/SCM(Trading Agent Competition/Supply Chain Management)[12]을 적용한다.

사용자 요구 예측기반 자원 관리 모델은 그림 4와 같이 자원 사용자, 자원 중개인, 자원 공급자로 구성되어 있으며, 자원 공급자는 내부에 자원 저장고와 자원 관리자로 구성되어 있다. 자원 중개인은 이윤을 목적으로 하는 유휴 그리드 자원을 보유하는 자원 공급자들을 경매 방식을 통해 경쟁 입찰하게 하고 최저가

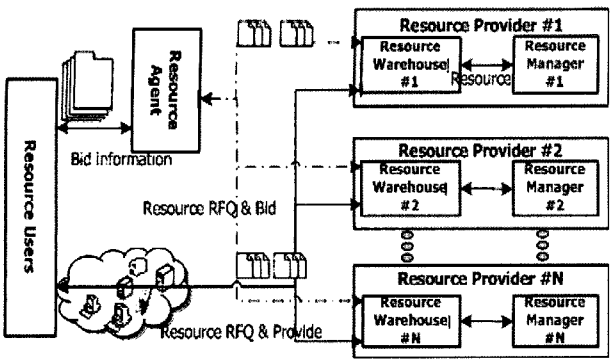

그림 4 그리드 컴퓨팅 환경에서의 사용자 요구 예측 기반 자원관리 모델

정책을 제시한 자원 공급자를 자원 사용자에게 알려주어 거래가 진행되게 한다. 자원 공급자는 관할 자원 저장고를 이용하여 유휴 그리드 자원을 관리하며 해당 자원의 정보를 사용자에게 제공하고 해당 자원 공급자의 이윤을 위해 이전에 낙찰된 자원 공급 가격과 현재의 자원 보유 현황에 따라 자원 사용가격을 책정한다. 또한 자원 관리자는 사용자에게 공급한 그리드 자원이나 보유 자원들을 지속적으로 관찰하고 유휴 자원으로 변경 시 자원 저장고를 통해 관리한다. 자원 공급자는 Bayesian network 모델[13]을 통해 자원 사용자의 자원 거래량과 자원의 소비 성향을 판단하고 시뮬레이션을 통해 사용자 수요 예측을 전개함으로써 예측된 수요에 적합한 자원들을 제공한다. 즉, 시뮬레이션을 통해 그리드 자원을 필요로 하는 사용자들의 수요를 예측하여 자원을 유동적으로 관리함으로써 유휴 그리드 자원의 활용도를 높이고 보유 자원을 효율적인 관리하는 방법을 제시하고 있다.

3.3 사례연구 3: 서비스 에이전트 기반 그리드 자원 관리 모델

본 사례 연구에서는 기존의 계층적 그리드 자원 관리의 단점을 해결하고 그리드 성능을 개선하기 위해 가상화를 이용한 서비스 에이전트 기반 자원 관리 모델[14]을 제안하였다. 에이전트 기반 시스템은 고속 네트워크상의 그리드 자원들을 통합하고 할당하는 능력을 포함하며 분산 자원 관리의 기술적 문제점을 해결하는데 아주 유용하다. 해당 연구에서는 가상화 기법과 에이전트 기반 시스템을 이용하여 로컬 지역 내의 그리드 자원들을 필터링하고 통합하여 하나의 가상 컴퓨팅 시스템을 구성한다. 또한, 그리드 자원 공급자의 이익을 창출하고 그리드 사용자에게 개선된 QoS를 제공하기 위해 그리드 자원의 상업적 특징을 고려하여 자원 거래 메커니즘과 분산 자원 할당 메커니즘을 제공한다.

서비스 에이전트 기반 그리드 자원 관리 모델의 핵심 구성 요소인 그리드 서비스 에이전트는 그림 5와 같이 자원 할당 모듈, 자원 거래 모듈, 동기화 모듈, 자원 모니터링 모듈, 및 통신 모듈로 구성되어 다음과 같은 기능을 수행한다. 첫 번째, 로컬 그리드 중개자에 의해 구성된 클러스터 내 그리드 자원들을 LUN(Logical Unit Number) 맵핑, LUN 마스킹 등의 기술을 통해 논리적으로 연결하여 가상 컴퓨팅 시스템을 구성함으로써 분산 자원을 모니터링하고 관리한다. 두 번째, 자원의 위치, 소유자, 성능 등에 대한 메타데이터를 관리하고 서비스 자원의 상태 정보 변경 시이를 동적으로 갱신하고 공지함으로서 기존 자원 관리 모델의 문제점인 획일적인 메타데이터 변경 및 전달 주기를 개선한다. 세 번째, 그리드 사용자와 그리드 자원 공급자 간의 자원 거래를 담당한다. 클러스터 내의 모든 그리드 자원의 판매와 할당을 서비스 에이전트가 전담함으로써 그리드 자원 거래에 소모되는 통신비용과 유지비용을 감소시킨다. 네 번째, 그리드 자원에게 자원 성능을 고려한 우선순위를 부여하고 이를 바탕으로 차등적인 자원 할당을 실시한다. 마지막으로, 그리드 자원들의 동기화를 통해 병렬 작업 처리의 시작과 끝을 조절한다.

해당 연구에서는 DEVS(Discrete Event System Specification)JAVA기반의 시뮬레이션엔진[15]을 이용하여 서비스 에이전트 기반 그리드 자원 관리 모델의 성능평가를 실시하였다. 그 결과 자원 활용률 및 거래량을 증가시키고 지연 시간 및 통신 메시지 수를 감소시켜 그리드 사용자에게 개선된 QoS를 제공한다는 사실을 보여주고 있다.

4. 결 론

본 기고에서는 그리드컴퓨팅 모델에 대해 소개하고 다양한 사례연구를 통해 이를 보안하기 위해 제안된 그리드 자원관리모델들을 살펴보았다. 사례연구에서는

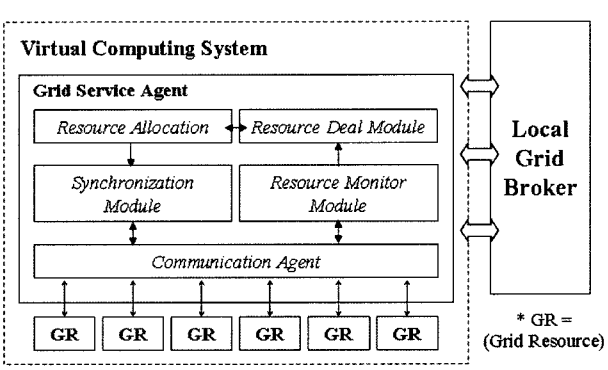

그림 5 DEVSJAVA기반의 서비스 에이전트 자원 관리 모델

분산화된 중개자 기반 모델의 시뮬레이션 모형을 구축하고 시뮬레이션을 통해 사용자 수요 예측을 전개함으로써 예측된 수요에 적합한 자원을 제공하고, DEVSJAVA기반의 시뮬레이션엔진을 이용하여 서비스 에이전트 기반 그리드 자원관리 모델의 성능평가를 실시하였다.

현재 그리드 컴퓨팅은 미니홈피, 파일공유 사이트, 실시간 콘텐츠 사이트 등과 같은 우리 주변의 다양한 IT 분야에 적용되고 있다. 이에 따라 그리드 컴퓨팅 기술은 비약적인 발전과 함께 차세대 인터넷 기술로 인정받고 있다. 그러나 그리드 컴퓨팅의 최종 목표인 글로벌 액세스의 구현은 아직 상당 기간을 필요로 할 것으로 보인다. 그 이유는 바로 그리드 컴퓨팅의 핵심 기술인 자원 관리의 어려움에 있다. 멀티 프로토콜, 멀티 벤더 환경의 이 기종 자원들을 효율적으로 관리하기에는 아직 많은 기술적 장벽과 표준화 작업, 보안 강화와 같은 다양한 문제점들이 존재한다. 현재 글로버스 포럼과 같은 여러 단체를 중심으로 그리드 아키텍처의 표준화가 진행되고 있으며 에이전트 시스템, 인공지능 시스템과 같은 신기술을 적용하여 기존의 자원 관리 모델을 보완하고 발전시키기 위한 연구가 끊임없이 진행되고 있다. 이러한 노력으로 볼 때 가까운 미래에 전 세계 IT자원의 공유와 활용을 가능케 하는 궁극적인 그리드 자원 관리 모델이 현실화 될 수 있으리라 기대한다.

참고문헌

[1] I. Foster, C. Kesselman, The Grid2: Blueprint for a New Computing Infrastructure, Morgan Kaufmann, November 2003.

[2] F. Berman, Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality, John Wiley & Sons, April 2003.

[3] J. Nabrzyski, J. M. Schopf, J. Weglarz. Grid Resource Management. Kluwer Publishing, Fall 2003.

[4] Globus toolkit, http://www.globus.org/

[5] MoreDream, http://www.moredream.org/

[6] K. Czajkowski, I. Foster, C. Kesselman, "Resource Co-Allocation in Computational Grids". Proc. of the 8th IEEE Int'l Symp. on High Performance Distributed Computing, pp.219 - 228, 1999.

[7] K. Czajkowski, I. Foster, N. Karonis, C. Kesselman, S. Martin, W. Smith, and S. Tuecke, "A Resource Management Architecture for Metacomputing Systems," Proc. of JSSPP 1998, pp. 62-8, 1998.

[8] GRASP, http://kmi.moredream.org/doc/GRASP-Admin-Guide.pdf

[9] R. Buyya, D. Abramson, and J. Giddy, "An Economy Driven Resource Management Architecture for Global Computational Power Grids", Proc. of PDPTA 2000, pp.26-29, 2000.

[10] 마용범, 이종식, "그리드 컴퓨팅 환경에서의 자원 관리를 위한 분산화된 브로커 기반 모델", 한국시뮬레이션학회 논문지, 제16권 2호, 2007. 6.

[11] W. Ketter, et al Analysis and Design of Supply-Driven Strategies in TAC SCM, Workshop on Trading Agent Design and Analysis, Columbia University, New York, 2004.

[12] R. Arunachalam, N. Sadeh, J. Eriksson, N. Finne, S. Janson, "Design of the Supply Chain Trading Competition", IJCAI-03 Workshop on Trading Agent Design and Analysis, August 2003.

[13] F.V. Jensen, An Introduction to Bayesian Networks, Springer-Verlag.1996.

[14] Sung Ho Jang and Jong Sik Lee, "Service Agent-Based Resource Management Using Virtualization for Computational Grid", LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE, Vol. 4488, pp.966-969, 2007.

[15] B. P. Zeigler, "DEVS Today: Recent Advances in Discrete Event-Based Information Technology", Proc. MASCOTS 2003, pp. 148 - 161, 2003.

장 성 호

2004 용인대학교 컴퓨터공학과(학사)
2006 인하대학교 컴퓨터정보공학과(석사)
2006~현재 인하대학교 정보공학과(박사)
관심분야 : 그리드 컴퓨팅, 유비쿼터스 컴퓨팅, 분산 시뮬레이션, RFID M/W
E-mail : ho7809@hanmail.net

마 용 범

2005 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)
2007 인하대학교 컴퓨터정보공학과(석사)
2007~현재 인하대학교 정보공학과(박사)
관심분야 : 소프트웨어모델링, 그리드 컴퓨팅, 바이오 컴퓨팅
E-mail : myb@selab.inha.ac.kr

조 규 철

2005 인하대학교 컴퓨터공학과(학사)
2007 인하대학교 컴퓨터정보공학과(석사)
2007~현재 인하대학교 정보공학과(박사)
관심분야 : 패턴인식, 그리드 컴퓨팅, 소프트웨어 공학
E-mail : kccho@selab.inha.ac.kr

한 영 신

1994 상명여자대학교 경제학과(학사)
1997 이화여자대학교 전산정보학과(석사)
2004 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과(박사)
2004~2005 이화여자대학교 컴퓨터그래픽스/가상현실 연구센터 박사후연구원
2005~2007 성결대학교 멀티미디어학부 전임강사
2007~현재 인하대학교 컴퓨터공학부 BK 계약교수
관심분야 : 컴퓨터시뮬레이션, 공장 자동화, 그리드 컴퓨팅, 패턴인식, 데이터엔지니어링
E-mail : hys@inha.ac.kr

이 종 식

1993 인하대학교 전자공학과(학사)
1995 인하대학교 전자공학과(석사)
2001 애리조나 대학교 전기,컴퓨터공학과(박사)
2001~2002 캘리포니아 주립대학교 전기 · 컴퓨터 공학과 전임강사
2002~2003 클리블랜드 주립대학교 전기 · 컴퓨터 공학과 조교수
2003~2006 인하대학교 컴퓨터공학부 조교수
2006~현재 인하대학교 컴퓨터공학부 부교수
관심분야 : 시스템 모델링 & 시뮬레이션, 그리드 컴퓨팅, 분산 컴퓨팅, 컴퓨터 네트워킹
E-mail : jslee@inha.ac.kr