

## e-AIRS : 협업 및 동적 파라미터 실험을 위한 항공 우주 포탈

조정현<sup>o</sup> 김병상 송은혜 김윤희 김중암 정민중  
숙명여자대학교 컴퓨터학과, 한국과학기술정보연구원, 서울대학교 기계항공공학부  
abaekho<sup>o</sup>@sookmyung.ac, bskim@kisti.re.kr, {grace, yulan}@sookmyung.ac.kr, chongam@snu.ac.kr,  
jeong@kisti.re.kr

## e-AIRS : An Integrated Aerospace Portal for Collaborative Experiments and Dynamic Parametric Studies

Jung-hyun Cho<sup>o</sup> Byung Sang Kim Eunhye Song Yoonhee Kim Chongam Kim  
Min Joong JEONG

Dept. of Computer Science, Sookmyung Women's University  
Korea Institute of Science and Technology Information  
Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University

### 요 약

항공우주의 연구를 위해 대용량의 컴퓨팅 자원 이용, 실험 결과의 상호 교류 및 분석, 온라인 상에서의 자동 실행 등의 서비스가 요구된다. 본 논문에서는 이미 개발된 e-AIRS[1],[2]의 활용을 극대화하고 병렬해석에 많이 사용되고 있는 동적 파라미터 실험 서비스를 구현하고자 한다. 동적 파라미터 실험 서비스는 복잡한 현상을 포함한 다양한 계산 수행을 지원하기 위해, 동적으로 파라미터를 생성하고 효율적으로 동시에 작업들을 실행하는 서비스이다. 또한 GT4(Globus Toolkit 4)[3] WSRF를 기반으로 웹 서비스로 구현하여 서비스의 이용 및 접근을 용이하게 하고자 한다. 연구자간의 효과적인 정보 공유 및 협업의 서비스를 제공함으로써 항공 우주 연구 개발에 있어 효율적인 환경을 지원함은 물론 연구자간 협력을 통한 신뢰성 있는 결과 값을 도출할 수 있도록 하고 있다.

### 1. 서 론

항공우주 분야 연구에서는 계산을 통하여 시뮬레이션 값을 얻는 수치해석 연구와 실제 풍동 실험을 통하여 결과 값을 얻는 연구가 활발히 진행 중이다. 이에 대해 수치해석적인 서비스와 원격 풍동 실험을 단일한 환경에서 제공하는 e-AIRS 시스템이 2005년도에 개발되었다. 본 논문에서는 e-AIRS 2005 버전을 기반으로 개선되고 다양한 항공우주 연구 환경을 지원하도록 시스템을 제안한다.

본 논문에서는 수치해석 결과와 풍동 실험 결과 값을 비교, 분석할 수 있는 환경을 제공함은 물론 연구자간 결과 값 공유, 결과 값에 대한 협업이 가능한 협업 연구 환경을 제안한다. 또한 고성능 연구 장비, 대용량의 컴퓨팅 자원, 방대한 데이터 및 네트워크 등의 다양한 자원을 효과적으로 활용할 수 있도록 하는 기술이자 연구에 필요한 자원들을 효과적으로 공유할 수 있는 인프라로써 High Throughput Computing 환경을 제공하고자 한다. 항공 우주 연구 환경에서는 단일한 작업의 실행이 아닌 다양한 변수를 통한 반복적인 실험 혹은 시뮬레이션이 필수적이다. 따라서 다양한 변수가 실험 및 시뮬레이션

에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험 절차 및 가설 설정에 따른 계획적인 실험 기법이 요구된다. e-AIRS 2006 버전에서는 이러한 다양한 실험 환경이 지원되고, 다양한 실험 시뮬레이션의 비교, 분석이 가능하도록 동적 파라미터 실험 서비스를 개발함으로써 더욱 효과적이며, 다양한 계산 서비스가 이루어지도록 하였다.

e-AIRS 2006 버전은 기존 e-AIRS 2005 버전의 GT2 기반에서 GT4 기반으로 업그레이드하여 웹 서비스가 지원되도록 하였다. 파라미터 실험 서비스도 표준 웹 서비스 기반으로 개발되었기 때문에 사용자 환경에 제한을 받지 않으며, 파라미터의 변화에 따른 결과를 요하는 다양한 어플리케이션의 시뮬레이션 부분에 쉽게 적용할 수 있다. 특히, 항공우주 연구자가 다양한 실험요소를 통한 시뮬레이션이 파라미터 실험 서비스 기반에서 이루어지게 하여, 대용량의 계산 자원을 사용할 수 있는 쉽고 효율적인 High Throughput Computing 환경을 이용할 수 있도록 한다.

이러한 High Throughput Computing 환경을 이용한 항공우주분야의 연구 환경을 구축하기 위해 본 논문에서는 수치 해석과 실험 연구가 모두 가능한 통합 연구 환경으로서 e-Science Aerospace Integrated Research Systems(e-AIRS) 서비스를 제안하고 이의 설계 및 구현

\* 본 연구는 2006년 국가 e-Science 구축 사업의 지원으로 수행되었음

에 대해 서술한다. 이를 위해 CFD(Computational Fluid Dynamics)[4]를 이용하여 수치해석을 수행할 수 있도록 다양한 해석 문제 해결 환경으로서의 가상 풍동 환경을 제안한다.

끝으로, 항공 우주 연구자간의 종합적인 협업을 지원하기 위한 협업 환경을 구축하여 수치 해석 연구자와 풍동 실험 연구자가 서로의 자료의 공유가 가능하고, 단순한 토론을 능가하는 본격 화상 회의 시스템을 구현하는 것을 서술한다.

본 논문에서는 2장에서 관련 연구를 설명하고, 3장에서는 파라미터 실험 서비스의 특징 및 구조에 관해서 논한다. 4장에서는 GT4를 기반으로 제공되는 서비스들에 대해 차례대로 논한다. 5장에서는 본 시스템에서 제공하고 있는 협업 환경을 설명하고, 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 과제를 정리한다.

## 2. 관련연구

DARWIN[5]은 NASA Ames 센터에서 개발한 공기역학 해석 서비스로서, 항공우주 분야 설계 공학자들에게 CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학) 해석과 풍동 실험을 제공할 목적으로 만들어졌다. 원격으로 풍동 실험을 요청하고 결과를 받아볼 수 있는 DARWIN 시스템은 항공우주 설계 공학자들에게 비행 테스트, 풍동 실험, CFD 해석 결과, 비행 시뮬레이션 등의 다양한 data를 동시다발적으로 제공하는 system을 목표로 하고 있으며, 이를 위해 분산된 실시간 원격 접근 환경을 제공하고 데이터 분석, 가시화, 협업 시스템 등을 아울러 포괄하고 있다. 원격 접속을 위해서 DARWIN은 DRAM(Distributed Remote Access Machine)이라는 접근 시스템을 구성하였는데, client-server-server 형태로 구성되어 있다. 이 시스템은 웹 사이트를 기반으로 실험, 계산의 진행 상황의 모니터링, 데이터의 업/다운로드, 협업을 위한 각종 메일과 파일의 교환 서비스를 제공하여 보다 유연한 협업을 구현할 수 있었다.

GEWITS(Grid-Enabled Wind-Tunnel Test System)[6]는 그리드를 활용하여 풍동 장비의 통합 구동을 수행한다. 그리드 환경을 통해 원격 연구자들이 실험의 제어를 수행할 수 있으며 정상 및 비정상 압력 분포를 확인할 수 있다. 원격의 가상 연구실을 구현하여 다수의 공동 연구자들이 다수의 풍동 장비를 연계 활용한다. 원격 실험장비 제어 가능성, 데이터 안전성, 방화벽 및 신뢰성이 본 연구의 주요 쟁점이다. 각 연구자는 풍동 연결을 위한 소프트웨어 도구를 설치하여 실험 결과를 확인할 수 있으며, 실험 장비를 담당하는 연구자가 실험을 제어하게 되나, 비디오 회의 장비를 통해 상호간 피드백과 의견 교환이 가능하다.

## 3. 동적 파라미터 실험 서비스

CFD는 유체의 동적인 움직임을 해석하는데 컴퓨터를 이용하여 수치해석적인 방법으로 계산을 수행하는 것을

말한다. CFD해석을 위해서는 전처리기에서 생성된 격자 데이터에 실험을 위해 필요한 실험 조건 데이터가 함께 입력되어야 하는데, 이때 연구자는 동일한 해석 대상에 다양한 파라미터를 적용시킴으로써 조건 변화에 따른 다양한 실험 결과 데이터를 얻기를 원한다. CFD 해석자를 이용한 계산 수행은 고성능 계산 자원을 요하고, 계산 작업 수행시간이 길기 때문에 작업 할당에 있어, 효율적인 작업 수행이 이루어지도록 고려해야한다.

본 논문에서는 사용자가 반복적인 계산에 따른 다양한 실험 결과를 얻을 수 있음은 물론, 조건 값의 변화에 따른 세밀한 수치해석 결과를 얻을 수 있도록 동적 파라미터 실험 서비스를 제안한다. 동적 파라미터 실험 서비스는 반복적으로 실험하고자 하는 파라미터의 범위 값을 지정해주고, 범위 내에 생성될 작업의 개수를 설정하여 한 번에 여러 개의 작업을 실행할 수 있다. 각 파라미터의 작업을 순차적으로 실행할 경우 사용자 작업이 실행되어야 할 효율적 자원을 고려하고, 순차적으로 수행한 작업을 다시 통합하는 과정을 고려한다. 그러나 동적 파라미터 실험 서비스는 여러 개의 파라미터의 작업이 스케줄링 기법에 따라 자원에 최적화 되도록 할당하여줌은 물론 그리드 자원을 이용하여 대용량의 계산을 병렬적으로 수행함으로써 여러 개의 파라미터의 작업을 순차적으로 실행하는 것에 비해 빠른 시간 안에 많은 결과를 얻어 낼 수 있다. 이를 통해 CFD에 대한 High Throughput Computing을 실현한다. 또한 사용자가 파라미터 값을 반복적으로 입력하는 번거로움을 줄여주고, 파라미터 설정에 있어 적용하고 싶은 범위를 할당하여 줌으로써 특정 범위 내의 파라미터 변화에 대한 세밀한 정보를 얻을 수 있도록 지원하고 있다.

이때 파라미터 설정에 따른 다양한 실험 수행 및 실험 결과 값의 관리를 용이하게 하기 위하여 Project와 Case 개념이 적용된 계층적 인터페이스를 개발하였다. 초기에 사용자는 격자 데이터 및 해석을 위한 해석자의 타임을 선택하여 Project를 생성한다. 생성된 Project에 대해서 하부적으로 Case를 생성하게 된다. 이때 Case는 조건 값에 따른 작업의 수행 단위를 일컬으며, 생성된 Case들 중에 원하는 조건 데이터의 최대/최소 값을 가진 Case를 선택하여 새로운 Case를 생성할 수 있도록 지원하고 있다.

파라미터 연구는 Nimrod-G/O[7], Condor[8] 등에서 그 중요성이 인정되어 왔으며 많은 부분 과학적 현상을 분석하기 위한 중요한 해석 기법으로 사용되어져 왔다. 하지만 상기의 시스템들은 주로 지역적으로 제한되어 있는 클러스터환경에서 사용되어 있으며 그리드와 같은 원격 거리의 작업을 실행하는 환경에서는 적절하지 않다. 또한 일반적인 사용자들보다는 전문적인 지식을 통하여 복잡한 내부적인 구조를 이해함으로써 작업의 실행이 가능하다는 한계점을 가지고 있다.

본 논문에서 제안하는 동적 파라미터 실험 서비스는 표준 웹 서비스 프로토콜을 통한 Service Oriented

Architecture(SOA) 기반으로 구현되어 다양한 클라이언트 환경과 사용자를 지원해 줄 수 있다. 따라서 파라미터의 변화에 따른 결과를 요하는 다양한 어플리케이션의 시뮬레이션 부분에 쉽게 적용할 수 있게 하였으며, 단순한 파라미터의 변형 뿐 아니라 모든 경우의 수를 모두 실험하지 않고 목적식을 이용하여 최대/최소/최적 값을 가져오는 변수들의 값을 발굴하는 기법 즉, 실험 계획법(Design of Experiment: DOE)을 적용하여 진보된 과학적 연구를 지원하기 위한 실험 환경 제공을 목적으로 한다. 본 서비스는 다른 응용 분야에 적용이 가능한 공통 소프트웨어로서도 유용하게 사용될 것으로 보인다.

4. GT4 기반의 웹 서비스

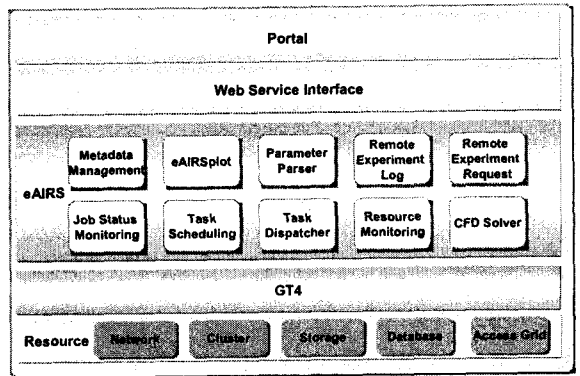


그림 2. e-AIRS 구조

e-AIRS 2006 시스템은 웹 서비스를 통해 표준화된 인터페이스를 제공하기 위해 eAIRS 2005 버전의 GT2 기반에서 GT4의 WSRF로 미들웨어 프레임워크를 변화시켰다. 따라서 기존의 환경에서 제공되었던 서비스를 웹 서비스 형태로 변환하고, 새로이 추가된 서비스들에 대해서도 웹 서비스로 제공한다. 웹 서비스는 서비스로의 접근 및 서비스 이용이 용이하며, 웹 서비스 기반의 시스템은 확장과 이식에 있어 효율적이다. 따라서 e-AIRS 서비스는 사용자에게 기능적으로 분산되어있는 여러 서비스를 통합적으로 제공함은 물론 여러 모듈의 통합 및 연계를 통해 하나의 서비스로 제공되도록 하고 있다. 그중에 대표적인 서비스를 설명하면 다음과 같다.

먼저 동적 파라미터 실험 서비스에 미들웨어 자원 정보 및 클러스터 자원 정보를 지원하여 주는 서비스로 그리드 정보 서비스가 있다. MDS를 기반으로 하여 자원 정보 및 모니터링 서비스를 제공함으로써 동적 파라미터 실행에 있어 최적의 자원에 작업을 실행시킴으로써 효율적인 작업이 실행되도록 한다.

메타데이터 관리 서비스는 수치해석 정보, 원격실험 정보 및 협업 실험 정보를 통합적으로 관리해주는 서비스이다. 수치해석 과정에 적용된 Project 및 Case 연계가 가능하고 Case에 대한 파라미터 정보를 가지고 있기 때문에 사용자가 수치해석 정보에 대한 재분석 및 재사용이 가능하도록 지원한다. 또한 원격 실험 서비스 정보를 관리하고, 수치해석 결과와 원격 실험 결과를 비교할 수 있도록 체계적으로 구성하였다. 이같이 메타데이터 관리 서비스는 서비스들에게 정보를 제공하고, 서비스간 정보연결이 가능하도록 지원하는 역할을 한다. 또한 데이터의 보안 문제 및 관리를 위하여 외부에 공개하지 않고 내부적으로만 사용되도록 내부 웹 서비스로 개발되었다.

eAIRSplot 서비스는 CFD 기반 수치해석 작업 중 발생하는 계산 반복 횟수에 따른 계산 값 차 수렴 정도를 확인할 수 있는 텍스트 형태의 Convergence History 파

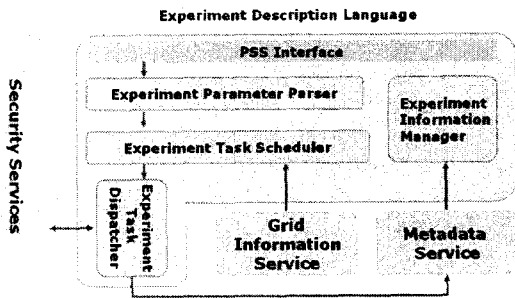


그림 1. PSS 구조

그림1은 동적 파라미터 실험 서비스의 내부 구조를 나타내고 있다. 구조상에서 보듯이 네 개의 핵심 내부 모듈과 그리드 서비스와 연동하는 세 개의 외부 모듈로 구성되어 있으며 실험에 대해 기술할 수 있는 언어를 포함하고 있다.

포탈에서 입력되는 정보는 Parameter parser 에서 이해 할 수 있도록, 어휘가 정의 되어야 한다. 이를 위해 Experiment Description Language (EDL)를 개발하여 그 기능을 지원하도록 한다. 이는 의도하고 있는 시뮬레이션 정보를 포함하며, GT4의 RLS를 GGF의 JDSDL-WG 참조로 확장하였다. Experiment Parameter Parser(EPP)는 포탈에서 제공되는 EDL을 이해하고 효과적인 실험 계획 및 단위 작업들을 생성한다. EDL은 XML Schema 기반으로 정의하며, General Java XML Parser인 SAX 혹은 DOM Parser API를 이용하여 별도의 Parser로 확장하였다. Experiment Task Scheduler(ETS)는 EPP에서 생성된 단위 작업들에 가용한 자원을 할당해야 기능을 지원한다. ETS는 그리드 자원의 성능과 상태에 따라 작업을 유연하게 통제하여 효과적인 실행환경을 제공하는 것을 목표로 한다. 따라서 ETS는 자원의 사용 비용, 시간 등을 고려한 다양한 스케줄(Matchmaking) 기법이 적용될 수 있으며, 하부의 그리드 미들웨어의 자원정보 서비스와 연계되는 부분이다. Experiment Task Dispatcher는 (ETD)는 ETS에서 정의된 단위 작업 / 자원을 하부 자원에 실행 명령하며, 하부의 그리드 미들웨어의 작업 실행 서비스와 연계된다. 현재 ETD는 GT4에서 제공하고 있는 ManagedJobFactoryService(MJFS)를 확장하여 구현하고 있다.

일을 JPEG 형태의 이미지 파일로 변환 생성하여 제공한다. 계산 상태 정보를 이미지화 하여 제공하기 때문에 사용자의 인식력을 높이는 효과를 가져온다.

5. 협업 연구 환경 지원

협업 환경에서는 사용자들이 원격지에서 정보를 교환하고 협력할 수 있는 환경을 제공한다. 이를 통해 자신의 데이터를 시각화 툴이나 상호 작용 조정 소프트웨어 등을 통해 공유하고 영상 및 음성을 통한 원격 화상 회의가 가능하다.

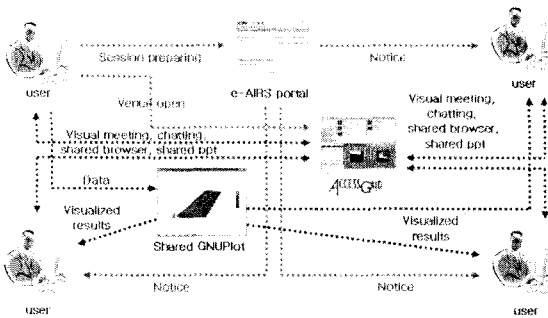


그림 3. 협업 서비스 진행도

협업 환경의 진행도는 그림 5에 나타나 있다. 협업 구성을 위해 사용자는 포탈 인터페이스를 통해 세션을 생성하고 공유할 실험 결과 파일과 협업 시작 시간, 세션 참여자들을 설정하고 세션 참여자들에게 메일을 통해 세션을 생성되었음을 통보한다. 세션에 참여되었음을 통보 받은 참여자들은 포탈 인터페이스를 통해 공유될 파일 등을 제공받고 별도의 협업 어플리케이션을 통해 각 연구 및 사용자 그룹에 대한 유연하고 진보된 협력 시스템을 구축하였다.

따라서 사용자는 e-AIRS 협업 연구 환경을 통하여, 수치 풍동 계산한 결과와 실제 풍동 실험 결과를 비교할 수 있는 환경을 지원받게 된다. 이러한 환경의 제공을 통하여 사용자는 수치해석 결과와 풍동 실험 결과를 비교함으로써 결과의 신뢰도를 높이는 효과를 얻게 된다. 또한, 연구 결과를 공유할 수 있으므로 자신의 연구와 다른 연구자와의 중복 연구를 방지하는 물론, 연구 결과에 대한 원활한 협의 환경이 지원되므로 항공우주 연구의 질적 향상을 가져올 것으로 기대한다. 궁극적으로는 협업 연구 환경을 통해 지리적으로 분산되어 있는 국내 연구자간 뿐 아니라 국제 연구자간의 협력으로 발전될 가능성과 항공우주 관련 다분야 연구자간의 진보된 연구 환경을 지원하도록 한다.

6. 결론 및 향후과제

본 논문은 기존 e-AIRS 시스템을 기반으로 개선된 e-AIRS 시스템을 제안한다. 기존의 미들웨어는 웹을 기

본적으로 고려하지 않고 단순히 웹을 통한 대상으로 고려하였다. 그러나 웹 서비스는 어디서나 쉽게 사용할 수 있는 인터넷 표준 프로토콜(HTTP)과 표준 데이터 포맷(XML)을 사용하여 어디서나 접근 및 사용이 가능하도록 한다. 또한 각 서비스 간에도 서로 연관성을 가지고 사용될 수 있음은 물론, 확장 및 이식이 용이하다는 장점도 가진다. e-AIRS 2006 시스템은 WSRF를 기반으로 기존의 Grid 환경에서 제공되었던 서비스를 웹 서비스 형태로 사용자에게 제공한다. 즉, 웹 서비스 인터페이스를 통해 사용자는 기능적으로 분산되어있는 여러 서비스를 통합적으로 제공 받으며, 지리적으로 분산되고 이기종적인 자원 상태를 모니터링하여 효과적인 유휴자원을 선택하여 사용하게 함으로써 강력한 계산 자원을 이용할 수 있는 High Throughput Computing 환경을 제공받는다. 또한 메타데이터 관리와 분산 데이터 통합으로 데이터의 효율적인 전송, 복제 및 저장 기능을 통하여 그리드로 저장된 데이터를 손쉽게 관리하도록 한다. 마지막으로 계산 작업을 위해 필요한 인증, 자원정보, 데이터관리 및 작업 제출 모듈을 각 서비스단위로 개발하여 제공하도록 한다.

동적 파라미터 실험 서비스는 다양한 변수를 이용하여 반복적인 계산수행을 수행함에 High Throughput Computing 환경을 연구자에게 편리하게 사용할 수 있도록 한다. 즉, 웹 서비스 및 사용자 편의 인터페이스를 통하여 파라미터 변화에 따른 효과적인 시뮬레이션 결과값을 도출하도록 한다.

본 연구에서는 여러 연구자 간의 실질적 협력을 도모하고 연구 결과의 공유 분석을 수행하기 위한 협업 시스템으로 Access Grid 노드 구축을 추진하였다. 각 연구기관에 크기는 회의실 규모의 room 노드로부터 작게는 개인 PC급의 PIG(Personal Interface to access Grid)노드를 구축하여 구축하고 AGTK[9]의 SharedApplication 중 여러 수학 함수 또는 데이터를 이용하여 2차원 및 3차원의 그림표를 그릴 수 있는 명령어 입력 형식의 프로그램인 gnuplot[10] 프로그램을 공유할 수 있는 SharedGnuPlot를 이용하여 실험 결과를 가시적으로 공유할 수 있는 환경을 구성하였다.

향후에 서비스 이용 및 접근에 대해서 보안을 강화하여 서비스를 제공하도록 한다. 또한 항공우주 연구의 결과 데이터가 방대하므로 데이터 그리드를 이용하여 효율적인 데이터 관리가 이루어지도록 한다. 이러한 결과 데이터에 대해서 검색 및 이용에 있어 논리적인 알고리즘 적용 및 서비스를 개발하여 사용자가 데이터를 효율적으로 사용, 관리할 수 있도록 한다.

[1] Yoonhee Kim, Eun-kyung Kim, Jee Y. Kim, Jung-hyun Cho, Chongam Kim, Kum W. Cho "e-AIRS: An e-Science Collaboration Portal for Aerospace Applications", The 2006 International Conference on High Performance Computing and Communications

- [2] 김은경, 조정현, 김지영, 송은혜, 김윤희, 김종암, 조금원, "e-AIRS : 항공 우주 협업을 위한 e-Science 포탈", HPC 연구회 학술발표회 논문집, 제17권 제1호, P.101-108, 2006
- [3] <http://www.globus.org/>
- [4] [www.cfd-online.com/](http://www.cfd-online.com/)
- [5] <http://www-darwin.arc.nasa.gov/docs/darwinweb/dis.html>
- [6] [www.nesc.ac.uk/events/sc2004/talk](http://www.nesc.ac.uk/events/sc2004/talk)
- [7] D.Abramson, R.Sosic, J.Giddy and B.Hall, " Nimrod: A Tool for Performing Parametised Simulations using Distributed Workstations", The 4th IEEE Symposium on High Performance Distributed Computing, Virginia, August 1995.
- [8] Rajesh Raman, Miron Livny, and Marvin Solomon, "Matchmaking: Distributed Resource Management for High throughput Computing", Proceedings of the Seventh IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing, July 28-31, 1998, Chicago, IL.
- [9] <http://www.accessgrid.org>
- [10] <http://www.gnuplot.info/>