

자원 요구량과 가격 예측 기반의 그리드 자원 거래 모델

(Resource Demand and Price Prediction-based Grid Resource Transaction Model)

김 인 기 [†] 이 종 식 ^{**}
(In Kee Kim) (Jong Sik Lee)

요약 본 논문에서는 그리드 컴퓨팅의 기존 자원 거래망 모델들의 문제점을 분석하고, 해결하기 위한 새로운 자원 거래 모델을 제안한다. 이 모델은 사용자와 자원 공급자 사이의 거래 가격을 예측하고 합리적인 거래 가격을 제시한다. 합리적인 가격 제안을 통해, 사용자와 자원 공급자 사이의 더 많은 자원 거래를 발생시키고, 사용자는 더 짧은 시간에 자원을 공급받게 된다. 본 논문에서 사용자의 자원 요구량 예측 정확도를 향상 시키기 위하여 통계학의 예측 모델을 도입하였고 합리적인 가격 제안을 위해 미시 경제학의 가격 결정 이론을 도입하였다. 본 모델의 성능 평가를 위하여 사용자의 자원 요구량 예측 정확도, 자원 거래를 위한 응답시간, 자원 거래 횟수 그리고 사용자의 자원 활용률을 측정하였다. 실험의 결과로는 자원 예측 정확도는 87.45%의 신뢰성 있는 결과를 얻었고, 기존 모델들에 비해 응답시간은 72.39% 단축 되었다. 또한, 자원 거래 횟수는 162.56% 증가 하였다. 본 논문에서 제안하는 모델의 평균 자원 활용률은 90%에 근접했으며 기존 모델들과 비교해서는 230%이상 자원 활용률이 증가 하였다.

키워드 : 그리드 컴퓨팅, 그리드 자원 거래망, 성능 분석, 자원 가격 결정 이론

Abstract This paper proposes an efficient market mechanism-based resource transaction model for grid computing. This model predicts the next resource demand of users and suggests reasonable resource price for both of customers and resource providers. This model increases resource transactions between customers and resource providers and reduces the average of transaction response times from resource providers. For prediction accuracy improvement of resource demands and suggestion of reasonable resource price, this model introduces a statistics-based prediction model and a price decision model of microeconomics. For performance evaluating, this paper measures resource demand prediction accuracy rate of users, response time of resource transaction, the number of resource transactions, and resource utilization. With 87.45% of reliable prediction accuracy, this model works on the less 72.39% of response time than existing resource transaction models in a grid computing environment. The number of transactions and the resource utilization increase up to 162.56% and up to 230%, respectively.

Key words : Grid computing, Grid resource transaction network, Performance evaluation, Theory of resource price decision

1. 서론

컴퓨터의 응용 분야가 확대됨에 따라서 복잡한 연산

을 요하는 문제에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해 그리드 컴퓨팅[1]에 대한 요구는 폭발적으로 증가하고 있다. 과거에 이러한 문제를 해결하기 위해서는 고비용의 슈퍼 컴퓨팅이나 병렬 컴퓨팅 기술을 사용해야 했지만, 이제는 그리드 컴퓨팅이 그 역할을 대신하고 있다. 그리드 컴퓨팅은 지리적으로 분산된 엄청난 양의 자원을 공유[2]하고 통합하여 자연 과학의 문제나 사회 과학 분야와 같은 현실 세계의 복잡한 연산을 필요로 하는 문제를 해결한다. 초기의

· 본 연구는 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성 지원 사업의 연구결과로 수행되었음

† 학생회원 : 인하대학교 컴퓨터공학과

md10002@naver.com

** 정 회 원 : 인하대학교 컴퓨터공학과 교수

jslee@inha.ac.kr

논문접수 : 2005년 9월 28일

심사완료 : 2006년 5월 12일

그리드 컴퓨팅은 군사용, 과학 계산용 및 기존의 슈퍼컴퓨팅이 해결하지 못하는 난제를 해결하는데 이용되었지만 현재는 비즈니스, 사회과학, 전자 정부, 의학 등의 분야로 응용 범위가 확대되고 있으며 현재에도 그리드에 대한 요구는 날로 증가하고 있다. 그리드 컴퓨팅이 기존의 분산 컴퓨팅이나 클러스터 컴퓨팅과 구별되는 가장 큰 특징[3]은 자원의 이용에 제한이 없고, 이 기종 자원 간의 연동을 기본적으로 고려하고 있으며 마지막으로 동적인 자원의 할당 및 제거가 가능하다는 점이다. 따라서 고객이 필요로 하는 자원을 필요한 때에 합리적인 자원 거래망의 구축은 그리드 컴퓨팅에서 매우 중요하다. 그리드 컴퓨팅에서 대부분의 자원 거래 모델들은 경제학의 시장 메커니즘과 가격 결정 메커니즘을 응용[4]하고 있다. 시장 메커니즘은 그리드의 컴퓨팅 자원을 공유하고, 할당하고, 이용을 표현하는 수단으로, 가격 결정 메커니즘은 그리드 컴퓨팅에서 자원 할당과 조정 수단으로 사용된다.

그리드 컴퓨팅에서 사용되고 있는 유용한 모델 중 하나는 이중 경매 모델[5-8]이다. 이 모델은 현재 실생활에서의 경제 모델과 유사하고, 그리드 사용자와 자원 소유자 사이의 입찰을 통해 거래 가격을 결정하는 특징으로 주목 받고 있다. 하지만 이 모델은 그리드 사용자의 자원 요구량을 예측하는 기능이 없어 급변하는 그리드 사용자의 자원 요구 환경에 동적으로 대응하기 어렵고, 양측이 초기 입찰 가격을 잘못 설정할 경우 거래 성사를 위한 응답 시간이 늦어지는 단점이 있다. 자원 거래를 위한 응답 시간이 늦어지면 그에 따라 컴퓨팅 자원 거래량도 영향을 받는다.

이 논문에서는 이중 경매 모델을 비롯한 기존의 자원 거래망 문제점을 개선한 새로운 모델을 제안한다. 이 모델은 그리드 사용자의 자원 요구량 예측과 가격 결정 이론적 접근을 시도하였다. 본 논문에서는 그리드 사용자의 자원 요구량 예측을 위하여 통계학의 예측 이론을 도입하였고, 가격 결정을 위하여 두 가지 방식의 알고리즘을 적용했다. 그것은 미시 경제학의 이론과 기존의 이중 경매 모델을 발전시킨 것이다. 본 논문에서는 우리가 제안하는 모델의 성능 측정을 위하여 4가지 실험을 실시하였다. 첫 번째로, 랜덤하게 발생하는 그리드 사용자의 자원 요구량 예측 실험을 실시하였다. 두 번째로, 우리가 제안한 모델과 기존 모델들 자원 거래를 위한 응답 시간을 비교하여 응답 시간 감소율을 측정하였고, 세 번째 실험으로 각 모델의 자원 활용률을 측정하고 본 논문에서 제안하는 모델과 기존 모델들과 비교한 자원 활용 증가율을 측정하였다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 모델과 기존의 자원 거래 모델의 자원 거래 회수를 비교하여 자원 거래 상승률을 측정하였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 서는 본 연구와 관련된 배경지식에 대해 알아 본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 모델의 그리드 사용자의 자원 요구량 예측 모델과 가격 결정 알고리즘을 중심으로 알아 보고 4장에서는 서론에서 언급한 4가지 실험을 통해 우리가 제안한 모델의 성능 측정을 실시하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 그리드 컴퓨팅에서 자원 거래망 모델

그리드 컴퓨팅은 복잡한 연산이 집중되는 문제를 해결하기 위해 엄청난 양의 컴퓨팅 자원을 공유하고 사용한다. 그리드 컴퓨팅에 대한 요구가 증가할수록 컴퓨팅 자원의 동적인 할당 및 이용을 위한 컴퓨팅 자원 관리는 매우 중요하다. 이러한 그리드의 자원 관리를 위해서 많은 모델들이 발표 되어 왔다. Buyya는 자원 할당과 이용 가능한 자원의 공급과 요구를 규제하는 Grid Architecture for Computational Economy (GRACE) [4]라고 불리는 분산된 경제 기반 구조를 제안하고 발전시켰다. GRACE는 경제학의 시장 메커니즘을 도입하여 자원 관리에 응용하고 있다. 시장 메커니즘은 그리드의 자원 할당의 정확한 묘사가 가능하다. 또한, 시장 메커니즘의 가격 결정 메커니즘은 자원 할당의 조정 도구로 매우 유용한 톨로 인식되고 있다. 상품 시장 모델[4]과 같은 초기의 그리드 컴퓨팅의 자원 거래망 모델들은 자원 소유자들이 제공할 자원의 가격을 결정하였다. 그러나, 차츰 입찰/계약 망 모델[4], 경매 모델[4] 등으로 발전해 가면서 자원 소유자와 그리드 사용자 사이에 가격 협상을 통해 합리적인 거래 가격을 결정하는 방식으로 발전 되고 있다.

2.1.1 상품 시장 모델(Commodity Market Model)

상품 시장 모델[4,9]은 자원 제공자가 가격을 결정하고 사용자들이 이용한 자원의 양에 따라 사용 가격을 청구한다. 자원의 제공자들은 컴퓨팅 자원의 가격을 미리 결정하여 그리드 마켓 디렉터리(Grid Market Directory)에 등록한다. 사용자는 컴퓨팅 자원을 사용하기 위해 그리드 자원 중개인(Grid Resource Broker)에게 필요한 자원의 파라미터를 넘겨 주고, 그리드 자원 중개인은 자원 제공자들을 확인하고 그리드 마켓 디렉터리와 그리드 트레이드 서버(Grid Trade Server)의 상호 동작을 통하여 사용자의 요구에 적합한 자원과 가격을 확인하고 사용자와 제공자를 연결시킨다.

2.1.4 입찰/계약 망 모델(Tender/Contract-Net Model)

입찰/계약[4,10] 모델은 자원 거래를 관리하기 위해 경제 분야에서 사용하는 거래 메커니즘을 모델화 한 것으로 분산 컴퓨팅 환경에서 광범위하게 사용된다. 이 모

델은 먼저 사용자가 작업을 수행하기 위한 자원의 가격을 제시하면, 그리드 자원 중개인은 서비스 공급자들을 입찰하게 하여 사용자가 제시한 조건에 적합한 공급자를 찾아 주는 방식이다.

2.1.5 경매 모델(Auction Model)

경매 모델[4,6]은 인터넷 전자 상거래 분야와 같은 실제 상거래에서 다양하게 응용되고 있다. 경매 모델이 그리드 컴퓨팅에서 사용될 경우 자원 제공자, 경매인, 사용자 이렇게 세 부분으로 구성된다. 경매인은 전체 경매에서 사용될 신뢰성 있는 규칙을 결정한다. 자원 제공자는 자원을 제공하고, 사용자들은 자원 사용 가격을 입찰한다. 사용자들은 서로 경쟁하며 지속적으로 자신의 입찰 가격을 높이게 되고, 결과적으로 가장 높은 가격을 입찰한 사용자가 경매에서 낙찰되게 된다.

2.1.6 이중 경매 모델(Double Auction Model)

이중 경매 모델[5-8]은 최근에 그리드 컴퓨팅에서 자원 거래 모델 중 가장 주목 받고 있는 모델이다. 이중 경매 모델은 일반적인 경매 모델과 달리 복수의 자원 제공자와 사용자가 상호 입찰하는 방식이다. 일반적으로 자원 제공자는 높은 가격, 반대로 사용자는 낮은 가격에서 입찰 시작한다. 각각의 참여자들은 자신만의 가격 탄력성을 가지고 있다. 따라서 입찰이 진행될수록 자원 소유자는 자신의 가격 탄력성만큼 낮춰서 입찰하고, 소비자는 자신의 가격 탄력성만큼 높여서 입찰하게 된다. 자원 소유자와 소비자가 입찰한 가격이 상호 균형 가격에 [11] 도달하게 되면 거래는 성사 된다. 이중 경매 모델은 실생활의 시장 거래를 잘 표현하고 있으며 이러한 이유로 이중 경매 모델은 그리드 컴퓨팅의 자원 거래 모델로 주목 받고 있으며, 다른 분산 컴퓨팅이나 트레이딩 에이전트(Trading Agent)와 같은 분야에서도 다양하게 응용되고 있다. 모델로 사용되고 있다.

2.2 통계적 예측 모델

그리드 컴퓨팅에서 사용자의 자원 요구량 예측은 실제 시장 환경에서 상품에 대한 수요 예측과 유사하다. 따라서 실제 경제 시장에서 사용되는 수요 예측 방법에 대해 살펴 보고 적합한 모델을 사용할 필요가 있다. 일반적으로 시장의 수요 예측에는 추세 분석, 분해법 등이 주로 사용되고 있다. 따라서 본 2.2장에서는 이와 같은 수요 예측 방법에 대해 알아 본다.

2.2.1 추세 분석

추세 분석(Trend Analysis)[12]은 단순 회귀 분석의 특수한 형태이다. 단순 회귀 분석과의 차이점은 독립 변수로 시간을 사용한다는 점이다. 이 모델의 목적은 모든 관찰치의 중앙을 지나는 평균선인 추세선(Trend Line)이라 불리는 수학적 모형식을 만들어 시간의 흐름에 따른 결과를 예측하는 방식이다. 일반적으로 추세 분석은

중기 및 장기 예측에 사용되며 추세 분석을 위해 많은 기간의 자료가 필요하다.

2.2.2 분해법

분해법(Decomposition Method)[13]는 시계열 기반 예측 모델 중 가장 오래된 방법으로 시계열을 추세(Trend), 계절성(Seasonal), 순환(Cyclical), 불규칙성(Irregular)의 4가지 성분으로 분해하여 예측하는 모델이다. 이 모델은 특정한 이론적 기반을 가지고 있지 않은 직관적인 예측 방법으로 추세나 순환 유형을 예측하는 경우에 적합하다. 그러나 이 모델은 이론적 기반이 없기 때문에 광범위한 예측 모형을 선택하기 어려워 많은 분야에서 쓰이지는 않는다. 하지만 분해법이 통계적인 기초 방법인 만큼 정확한 예측 결과를 제공하기도 하고 다른 시계열 기반 예측 방법에서 계산할 수 없는 추세-순환형태를 예측할 수 있다

3. 그리드 자원 거래 모델 구성

이미 많은 종류의 그리드 컴퓨팅을 위한 거래망 모델들이 발표 되었다. 초기의, GRACE 기반의 경제 모델들은 자원 소유자가 가격을 결정하는 방식에서 차츰 자원 소유자와 그리드 사용자가 서로 가격을 조정해서 합리적인 거래 가격을 결정하는 방식으로 발전 되어 왔다. 그러나, 현재까지 발표된 모델들은 다음의 2가지 문제점을 가지고 있다. 하나는 기존의 모델 그리드 사용자의 자원 요구량 예측 기능이 없어서 급변하는 그리드 사용자의 자원 요구량 변화에 동적으로 대응할 수 없다는 점이다. 그리고 다른 하나는 합리적인 기준 거래 가격이 없기 때문에 자원 소유자나 그리드 사용자가 초기 입찰 가격을 잘못 설정할 경우 거래가 성립 될 때까지의 시간이 오래 걸리거나 거래가 성립 되지 않을 수 있다. 이중 경매 모델 역시 초기 입찰 가격을 잘못 설정하게 되면, 거래가 성립 될 때까지의 응답 시간이 늘어나게 되고, 그로 인해 컴퓨팅 자원 거래 회수도 영향을 받는다. 경매 모델의 경우 소비자에게 일괄적으로 입찰 받아 가장 높은 가격을 입찰한 참여자와 거래(영국식 경매)[6] 하거나 또는 가장 높은 입찰 가격을 제외한 두 번째로 높은 입찰 가격을 제시한 참여자와 거래(Vickrey 경매)[6]를 하게 되는 방식이다. 하지만 자원의 생산 원가에서 거래 가격이 형성되는 경우 자원 공급자가 거래를 취소하고 다시 경매에 참여하게 될 수 있다. 따라서 경매 모델의 경우에도 합리적인 거래 가격이 설정되지 않으면 자원거래에 따른 응답시간이 늘어 나게 되고 그에 따라 자원 거래 회수도 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 기존 모델들의 문제점을 해결하기 위하여 그리드 자원 요구량과 가격 예측 기반의 그리드 자원 거래 모델(이하, 요구량과 가격 예측 기반 모델)을 제안한다. 우리

는 이모델에 그리드 사용자의 자원 요구량 예측 기능을 도입하였다. 이 자원 요구량 예측은 과거와 현재의 데이터를 가지고 다음에 발생할 그리드 사용자의 자원 요구량을 예측하여 공급한다. 예측을 통해 공급된 자원과 실제 그리드 사용자의 자원 요구량을 가지고 가격을 결정한다. 가격 결정은 그리드 사용자의 다양성을 고려하여 2가지 종류의 가격 결정 알고리즘을 적용하였다. 우리가 제안한 그리드 자원 요구량과 가격 예측 기반의 그리드 자원 거래 모델은 합리적인 거래 가격을 제시하여 기존 모델들에 비해 빠른 응답 시간을 갖고 그로 인해, 더 많은 거래 회수를 갖는 것을 목표로 하였다.

3.1 그리드 사용자의 자원 요구량 예측 모델

본 논문에서 제안한 모델에서 그리드 사용자의 자원 요구량을 예측하기 위해 R. G Brown에 의해 개발된 Second-Order Exponential-Smoothing 예측 모델을 도입하였다. 이 예측 모델을 적용하여 과거와 현재의 데이터만을 사용하여 신뢰성 있는 예측이 가능하다. Second-Order Exponential-Smoothing 예측 모델은 식 (1)[14]과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{D}(d+T) &= (2 + \frac{\alpha T}{1-\alpha})S_t - (1 + \frac{\alpha T}{1-\alpha})S_t(2) \\ S_t &= \alpha D(d) + (1-\alpha)S_{t-1}, \\ S_t(2) &= \alpha S_t + (1-\alpha)S_{t-1}(2) \end{aligned} \quad (1)$$

\hat{D} : 예측된 그리드 사용자의 자원 요구량

D : 실제 그리드 사용자의 자원 요구량

d : 현재 시간

T : 시간의 흐름

α : Smoothing 상수

S_t : First-Order Exponential Smoothing 예측 모델

$S_t(2)$: Double-smoothed 통계량

\hat{D} 는 그리드 사용자의 자원요구량을 예측한 것이고 D 는 그리드 사용자의 자원 요구량이다. d 는 현재 시간을 나타내고 T 는 시간의 흐름을 나타낸다. α 는 smoothing 상수이며 일반적으로 $0 < \alpha < 1$ 의 값을 갖는다. S_t 는 First-Order Exponential Smoothing 예측 모델이며, $S_t(2)$ 는 double-smoothed 통계량이다. 역시 식 1에 표현되어 있다. 이 예측 모델은 T 의 값이 증가할수록 예측 정확도는 반비례한다. 따라서 우리는 가장 신뢰성 있는 예측을 위하여 T 의 값을 우리가 취할 수 있는 최소값인 1로 하여 실험하였다. 이것은 현재 그리드 사용자의 자원 요구량 발생 시점을 기준으로 바로 다음에 발생할 그리드 사용자의 자원 요구량을 예측하는 것이다.

3.2 가격 결정 알고리즘

본 논문에서 제안하는 모델에서 그리드 사용자는 자

원 소유자가 자원을 제공한 대가로 사용 자원의 가격을 지불한다. 이 지불 가격에 대한 가격 결정 알고리즘은 2가지 종류를 적용하였다. 그것은 예측된 그리드 사용자의 자원 요구량을 기준으로 준비된 자원의 양과 실제 그리드 사용자의 자원 요구량을 비교하여 가격을 결정하는 변형 푸르노 모델[15,16]과 변형 푸르노 모델의 제시 가격을 입찰 기준 가격으로 하는 기준 가격 기반 이중 경매 모델이다. 본 논문에서 제안한 모델에 복수개의 가격결정 알고리즘을 적용한 이유는 그리드 사용자의 다양성을 고려하였으며 빠른 시간에 자원을 사용하고 싶어하는 그리드 사용자와 시간이 좀 걸리더라도 더 낮은 가격에 자원을 사용하고 싶어하는 그리드 사용자가 존재한다고 가정하였다. 본 논문의 실험에서는 전체 그리드 사용자중 초기 거래 사용자는 본 논문에서 제안한 모델에서 제시하는 변형 푸르노 모델이라는 미시 경제 이론에 기반한 거래 가격에 의해 거래하며, 나머지 사용자는 변형 푸르노 모델의 제시 가격보다 더 낮은 가격에 자원을 공급받기 위해 서로간 흥정을 시도한다고 가정하였다. 이 두 가지 방법은 서로를 보완한다. 변형 푸르노를 통해 모델에서 제시 가격을 선택할 경우 그리드 사용자는 빠른 시간 안에 자원을 이용할 수 있다. 반면에 기준 가격 기반 이중 경매 모델을 사용할 경우 자원 사용을 위한 응답시간이 길어진다. 다시 말해, 자원 사용을 위해 그리드 사용자가 기다리는 시간이 늘어났다. 하지만 변형 푸르노 모델의 제시 가격보다 싼 거래 가격에 자원을 이용할 수 있다.

3.2.1 변형 푸르노 모델

변형 푸르노 모델을 통한 가격 결정 알고리즘은 알고리즘 1에 설명되어 있다. 우리는 이 알고리즘을 도입하기 위해 Trading Agent Competition (TAC)/Supply Chain Management (SCM) 게임[17]을 참고하였다. 이 알고리즘은 TAC/SCM에 참여한 호주의 웨스턴 시드니 대학교의 Jakaroo 프로젝트[15]팀에서도 사용하였다. PD는 그리드 자원 중개인(Broker)에서 Second-Order Exponential-Smoothing 예측 모델을 이용하여 예측된 그리드 사용자의 자원 요구량이고, UD는 실제 그리드 사용자의 자원 요구량이다. P_0 는 가격 상수이다. 이것은 PD와 UD가 같을 때, 다시 말해 자원의 수요와 공급이 동일한 시장 균형(Market Equilibrium)이 발생했을 경우의 이론적 가격이다. PD가 UD이하일 경우에 초기에 참여하는 그리드 사용자가 거래하는 가격은 P_0 가 된다. 그리고 PD가 UD보다 크고, $UD + P_0/\gamma$ 보다 작은 경우, 거래 가격은 $P_0 - \gamma \times (PD - UD)$ 가 된다. 여기서 γ 은 가격 하락 계수(depreciation coefficient)이고 항상 0보다 크다.

```

If ( PD <= UD) Price = P0
else if( UD < PD&& PD <= UD + P0/γ )
{
    Price = P0 - γ×(PD-UD)
}
else Price = 0
    
```

PD : 예측된 그리드 사용자의 자원 요구량
 UD : 실제 그리드 사용자의 자원 요구량
 P0 : 가격 상수
 γ : 가격 하락 계수
 Price : 변형 푸르노 모델에 의한 결정 가격

알고리즘 1 변형 푸르노 모델의 가격결정 알고리즘

3.2.2 기준 가격 기반 이중 경매 모델

본 논문에서 제안하는 모델을 사용할 경우 초기에 참가하는 그리드 사용자들은 변형 푸르노 모델로 거래하게 되고 나머지 그리드 사용자들은 기준 가격 기반 이중 경매 모델을 이용하여 거래하게 된다. 기존의 이중 경매 모델과의 차이는 경매 기준 가격을 변형 푸르노 모델을 통해 결정된 가격을 사용한다는 점이다. 따라서 그리드 사용자는 변형 푸르노 모델을 통해 결정된 거래 가격을 기준으로 초기 거래가와 입찰 최고가를 정한다. 입찰 최고가는 변형 푸르노 모델을 통해 거래된 가격 이하로 설정하게 된다. 초기 거래가로 입찰을 시작하여 그리드 사용자의 가격 탄력성만큼 가격을 올려가며 입찰하게 된다. 자원 소유자도 역시 변형 푸르노 모델을 통한 거래 가격을 기준으로 하지만, 초기 거래가격을 변형 푸르노 모델로 결정된 가격에 맞춘다. 그 후 프로세스는 자원 소유자의 가격 탄력성만큼 가격을 낮춰 가며 입찰하게 된다. 입찰을 통해 그리드 사용자의 입찰 가격

과 자원 소유자의 입찰 가격이 시장 균형을 이룰 때 거래는 성립된다.

3.3 요구량과 가격 예측 기반 모델

3.3.1 요구량과 가격 예측 기반 모델 구성

위에서 언급한 그리드 사용자의 자원 요구량을 예측과 가격 결정 알고리즘을 기반으로 전체 모델을 구성해 보면 그림 1과 같다. 우리가 제안한 모델은 자원 제공자(Resource Provider), 그리드 자원 중개인(Grid Resource Broker), 고객(Customer)라 불리는 메인 컴포넌트로 구성되고, 각각의 메인 컴포넌트는 여러 개의 내부 컴포넌트로 구성되어 있다.

자원 제공자(Resource Provider) - 고객에게 필요한 자원을 제공하는 역할을 한다. 내부 컴포넌트로는 자원 소유자(Resource Owner), 자원 관리자(Resource Manager)와 자원 제공 조정자(Resource Provide Coordinator)가 있다. 자원 소유자는 실제 자원을 소유하며, 자원을 제공하는 집단이다. 자원 관리자는 그리드 자원 중개인의 자원 요구량 예측 컴포넌트로부터 예측된 고객의 자원 요구량을 가지고, 실제로 자원을 공급하기 위해 자원을 모으고, 관리하는 역할을 한다. 자원 제공 조정자는 입찰을 통한 거래를 수행하고 자원 공급량이 부족한 경우 자원 관리자에게 추가 자원 공급을 요청한다.

그리드 자원 중개인(Broker) - 고객의 자원 요구량을 예측, 초기 자원의 거래 가격을 결정, 그리고 고객과 자원 제공자 사이의 자원 거래를 수행한다. 내부 컴포넌트로는 자원 요구량 예측 컴포넌트(Resource Demand Prediction Component), 가격 결정 컴포넌트(Price Component), 거래 컴포넌트(Trading Component)가 있다. 자원 요구량 예측 컴포넌트는 3.1장에서 설명한 Second-Order Exponential-Smoothing 예측 모델을 이용하여 고객의 자원 요구량을 예측하여 자원 제공자의 자원 관리자에게 보내고, 동일한 정보를 가격 결정 컴포넌트와 거래 컴포넌트에도 보낸다. 가격 결정 컴포

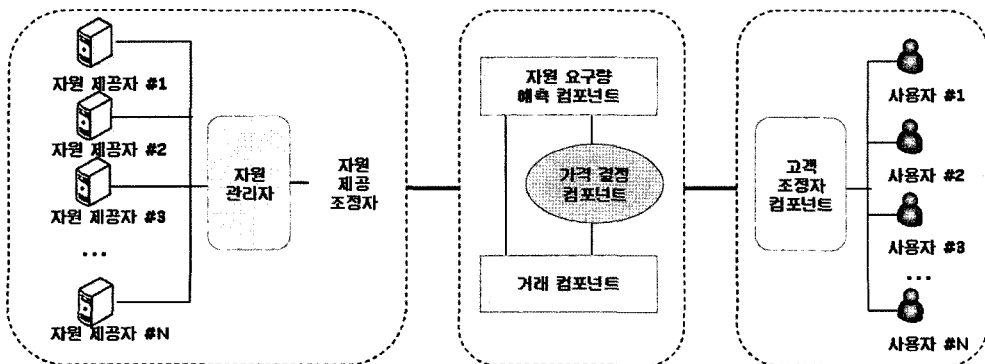


그림 1 요구량과 가격 예측 기반 모델 구성도

넛트는 자원 제공자가 자원 요구량 예측 컴포넛트의 예측 결과를 통해 공급한 자원과 실제 고객이 요청한 자원 요구량을 가지고 가격을 결정한다. 가격 결정시 변형 꾸르노 모델을 사용한다. 거래 컴포넛트는 고객과 자원 제공자 사이의 실제 자원 거래를 수행하며 고객과 자원 제공자의 입찰을 관리 한다.

고객(Customer) - 각각의 그리드 사용자(Grid User)들의 자원 요구량을 받아 그리드 자원 중개인에게 전체 자원 요구량을 요청하고, 가격 입찰을 통해 거래 한다.

3.3.2 구동 프로세스

본 논문에서 제안하는 요구량과 가격 예측 기반 모델의 구동 프로세스는 그림 2와 같다. 먼저 그리드 자원 중개인은 자신의 내부 컴포넛트인 자원 예측 컴포넛트를 이용하여 고객이 요청할 자원 요구량을 예측한다. 이 예측 결과를 자원 제공자에게 보내고, 자원 제공자는 예측 결과에 따라 자원을 준비 한다. 그 후 고객은 자신의 실제 자원 요구량을 그리드 자원 중개인에게 보내고 그리드 자원 중개인은 변형 꾸르노 모델을 이용한 초기 거래 자원의 결정 가격을 고객에게 통보한다. 그 뒤 자원 제공자는 고객에게 초기 거래 자원을 고객에게 제공한다. 자원을 획득한 고객은 해당 자원에 대한 이용료를 자원 제공자에게 지불한다. 이후 나머지 자원 거래를 위해 기준 가격 기반 이중 경매 방식의 입찰이 시작된다. 양측은 자신들의 거래 가격을 그리드 자원 중개인에게 입찰하며, 자신들의 가격 탄력성 범위 내에서 입찰 가격

을 조정한다. 입찰 가격을 받은 그리드 자원 중개인은 거래 성립 여부를 결정하여 양측에 전달한다. 거래 성립에 실패한 경우 그림 2의 8~10의 단계가 반복된다. 입찰을 통해 거래가 성립 되면 자원 제공자는 나머지 자원을 고객에게 제공하고 고객은 획득한 자원의 이용료를 자원 제공자에게 지불하고 거래를 마치게 된다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 요구량과 가격 예측 기반 모델의 성능 측정을 위하여 기존의 이중 경매 모델 그리고 경매 모델과 비교 실험을 실시하였다. 실험을 위해 세 가지 모델을 이산사건 시스템(Discrete Event System Specification, DEVS) 형식론[18,19]에 적합하도록 구현하였다. 구현에는 JAVA언어와 JBuilder를 이용하였으며, Pentium-4 2.8GHz의 CPU와 512Mbytes의 메모리를 갖는 장비를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 시나리오는 다음과 같다. 먼저 그리드 사용자의 자원 요구량을 발생시킨다. 사용자의 자원 요구량은 포아송 프로세스(Poisson Process)[20]에 따라 발생시킨다. 자원 요구량은 매 시간마다 발생하여 하루에 24번 발생시켰다. n 번째 시간에 발생한 자원 요구량을 $n-1$ 번째 발생한 자원 요구량의 75%~125% 사이로 발생시켰으며, 전체적으로 100일간 자원 요구량을 발생시켰다. 그리고 발생된 자원 요구량을 가지고 다음의 5가지 실험을 진행한다. 첫 번

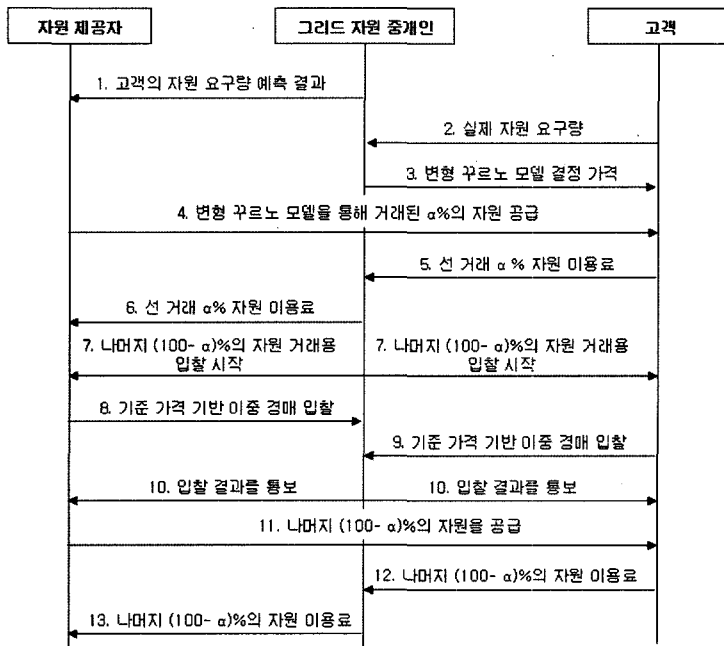


그림 2 그리드 자원 관리 모델의 구동 프로세스

제 실험은 100일간 발생한 자원 요구량과 본 논문에서 제안하는 모델의 예측 결과를 비교하는 실험이다. 두 번째 실험은 본 모델에서 제안하는 가격 결정 알고리즘 중 변형 푸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델의 최적화된 거래 비율을 결정한다. 세 번째 실험은 하루에 발생하는 그리드 사용자의 자원 요구량을 변화시켜 가며 우리가 제안하는 모델과 기존 모델들의 응답 시간을 비교하였다. 네 번째 실험은 하루에 발생하는 자원 요구량 변화에 따른 세 모델의 자원 활용률을 측정하고 본 논문이 제안하는 모델의 기존 모델들에 대한 자원 활용 증가율을 측정하였다. 마지막으로 100일 동안 발생한 세 모델의 거래 성사 횟수를 비교하였다.

4.1 실험 1: 그리드 사용자의 자원 요구량 예측 정확도 측정

본 실험에 앞서, 우리는 예측 모델로 사용한 Second-Order Exponential-Smoothing 모델의 Smoothing 계수의 결정 작업을 수행했다. 이론상 Smoothing 상수는 0부터 1사이의 값을 취하도록 되어 있다. 우리는 0.1에서 0.9까지 0.1단위로 상수 값을 조정하며 결과값을 비교하였다.

표 1은 Smoothing 상수 변화에 따른 평균 예측 정확도를 나타낸다. 가장 높은 예측 정확도는 Smoothing 상수를 0.4로 하였을 때였고 해당 예측 정확도는 88.76%였다. 하지만 본 실험에서는 0.7로 예측 실험을 진행하였다. 그 이유는 0.1에서 0.9까지 상수를 변화시켰을 때 전체 평균 예측 정확도는 87.34%였고 평균값에 가장 근접한 상수가 0.7이었기 때문이다.

그림 3은 실제 그리드 사용자의 자원 요구량과 우리가 제안한 모델이 Second-Order Exponential-Smoothing 예측 모델을 이용하여 예측한 그리드 사용자의

자원 요구량을 비교한 것이다. 실제 발생한 그리드 사용자의 자원 요구량과 중간 자원 증개인에서 예측한 자원 요구량을 시간의 흐름에 따라 비교하였다. 점선으로 표시된 부분은 100일 동안 그리드 사용자의 실제 자원 요구량이고 진하게 표시된 부분은 예측 모델을 통해 예측된 자원 요구량이다. 그래프를 보면 본 논문에서 사용한 예측 모델을 통한 결과가 실제 그리드 사용자의 자원 요구량 변화와 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 실제 가장 근접했던 예측 정확도는 99.10%였고 가장 낮았던 예측 정확도는 70.10%였다. 전체 평균 예측 정확도는 87.45%였다. 본 논문에서 도입한 예측 모델이 87.45%라는 신뢰성 있는 자원 요구량 예측이 가능해져 사용자의 자원 요구에 빠른 시간에 자원을 준비하여 공급할 수 있게 되었다.

4.2 실험 2: 최적화된 변형 푸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델의 사용비율 측정

본 논문에서 제안하는 모델은 변형 푸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델이라는 2가지 종류의 가격 결정 알고리즘을 사용한다. 본 실험에서는 두 가지 가격 결정 알고리즘의 최적화된 사용 비율을 측정하였다. 이 실험에서 변형 푸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델의 사용 비율을 50:50, 60:40, 70:30, 80:20의 비율로 하여 실험을 수행하였다. 90:10의 비율은 실험에서 제외하였다. 그 이유는 90:10의 비율은 변형 푸르노 모델 사용에 너무 편중되어 있어 현실적이지 못하다고 판단하였다. 본 실험에서 150일간 하루 평균 7500개의 그리드 사용자의 자원 요구량을 발생시켰고 그리드 자원 제공에 따른 평균 응답시간을 측정하여 최적화된 사용 비율을 결정하였다.

표 2는 변형 푸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경

표 1 Second-Order Exponential Smoothing 예측 모델의 Smoothing 상수 변화에 따른 평균 예측 정확도 (단위: %)

Smoothing 상수	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	평균
평균 예측 정확도(%)	85.74 (%)	87.71 (%)	88.53 (%)	88.76 (%)	88.49 (%)	87.82 (%)	87.45 (%)	86.41 (%)	85.13 (%)	87.34 (%)

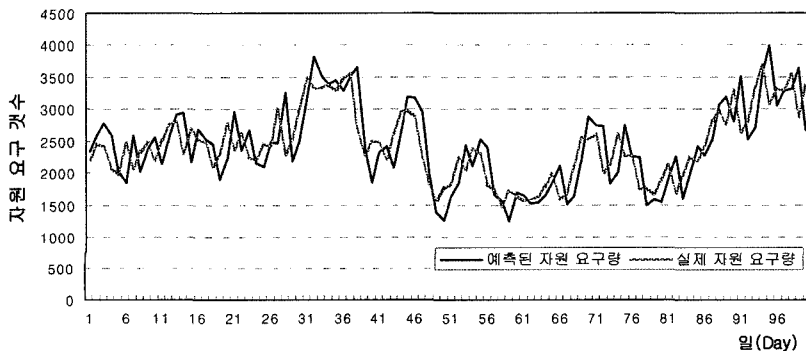


그림 3 실제 그리드 사용자의 자원 요구량 변화와 예측 자원 요구량 비교

표 2 변형 꾸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델 사용 비율 변화에 따른 그리드 사용자의 자원 요구에 대한 평균 응답 시간 (단위: hour)

변형 꾸르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델 사용 비율	50:50	60:40	70:30	80:20
그리드 사용자의 자원 요구에 따른 평균 응답 시간(단위: hour)	26.08	10.45	4.97	2.26

매 모델 사용 비율 변화에 따른 그리드 사용자의 자원 요구에 대한 평균 응답시간을 나타낸 것이다. 두 알고리즘의 비율을 80:20으로 하였을 때 가장 빠른 응답시간을 보였고, 본 논문에서 제안하는 모델에서의 최적화된 사용비율은 80:20의 비율이라는 것을 알 수 있다. 이 실험 결과에 따라서 향후 진행되는 실험에서는 두 알고리즘의 사용 비율을 80:20의 비율로 사용하여 실험을 진행하였다.

4.3 실험 3: 자원 거래를 위한 응답 시간 비교

본 논문에서 제안하는 모델과 기존 모델들의 자원 거래를 위한 응답 시간을 비교하기 위하여, 100일간의 불규칙적인 그리드 사용자의 자원 요구량의 발생시켰고, 매일 발생하는 그리드 사용자의 자원 요구량 발생 수를 3700, 4200, 5000, 6000, 7500, 10000, 15000, 30000개로 늘려 가며 실험을 진행했다. 자원 거래를 위한 응답 시간은 그리드 사용자가 자신의 컴퓨팅 작업을 위하여 필요한 자원을 계산하는 시점부터 그리드 사용자가 요청한 자원을 획득해 해당 필요한 자원에 대한 거래가 종료될 때까지의 시간의 합을 말한다. 이 응답 시간은 그리드 사용자가 필요한 자원 요구량을 계산하는 시간, 중간 자원 중개인에게 필요한 자원을 요청하는 시간, 자원

소유자가 제공할 자원을 준비하는 시간, 입찰을 통해 거래 가격을 결정할 때 상대방의 입찰 가격을 기다리는 시간, 실제 컴퓨팅 자원 공급시간, 전체 통신 시간 등이 모두 포함하고 있다.

실험 결과는 그림 4를 통해 확인할 수 있다. 하루에 3700개의 자원 요구량이 발생했을 경우 요구량과 가격 예측 기반 모델은 자원 거래를 위한 응답 시간이 0.95시간 인데 반해, 경매 모델은 약 100시간, 이중 경매 모델은 1.65시간이 걸렸다. 이러한 차이는 지속적으로 커져서 하루에 30000개의 자원 요구량이 발생할 경우에 각각 52.75시간, 235.17시간, 101.49시간이 걸렸다. 실험 결과를 통해 보면 하루에 발생하는 그리드 사용자의 자원 요구량이 증가할수록, 다시 말해 그리드 사용자의 자원 요구량이 들어오는 시간의 간격이 짧을수록 본 논문에서 제안한 요구량과 가격 예측 기반 모델과 기존 모델이 더 짧은 응답 시간이 걸렸다.

이 실험의 자원 거래를 위한 응답 시간 감소율을 분석하기 위해 식 (2)를 사용하였다. 분석 결과는 본 논문에서 제안하는 모델이 기존 그리드 컴퓨팅 환경의 자원 거래망 모델 중 이중 경매 모델에 대한 자원 거래를 위한 응답 시간 감소율은 71.39%였고 경매 모델에 대한 응답 시간 감소율은 93.46%였다. 이 결과는 본 논문에서 제안한 모델은 그리드 사용자의 자원 요구량이 발생하기 전에 사용자의 자원 요구량을 예측하여 공급할 자원을 준비하고, 그리드 사용자나 자원 소유자가 납득할 만한 자원 거래 가격을 제안하기 때문에 실험에 참가한 다른 모델들에 비교하여 빠른 응답시간을 갖는 것이다.

4.4 실험 4: 자원 활용률 비교

본 실험은 요구량과 가격 예측 기반 모델과 기존 모

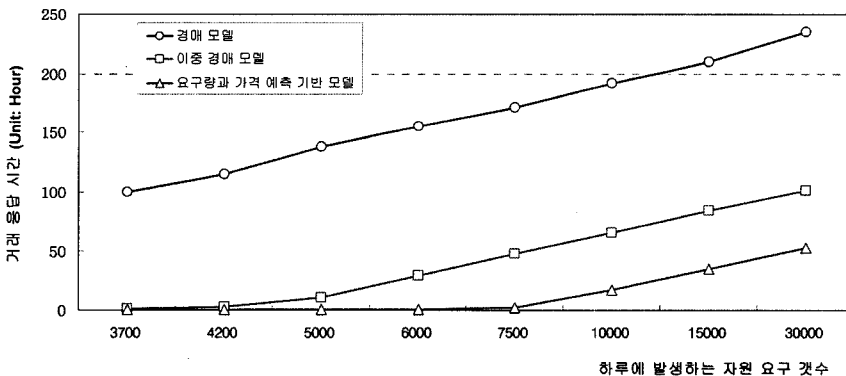


그림 4 그리드 사용자의 자원 요구량 발생 횟수 변화에 따른 그리드 자원 요구량과 가격 예측 기반의 그리드 자원 거래 모델과 기존 모델들의 자원 거래를 위한 응답 시간 비교

$$\text{응답시간감소율} = \text{Average} \left(\sum \left(\left(1 - \frac{\text{요구량예측과가격결정기반모델의 평균 응답 시간}}{\text{기존 거래망 모델의 평균 응답 시간}} \right) \times 100 \right) \right) (\%) \quad (2)$$

델들의 자원 활용률을 비교한 것이다. 그리드 사용자의 자원 요구량을 증가시켜 가며 요구량 증가에 따른 자원 활용률을 측정하였다. 자원 활용률 계산은 식 (3)을 이용하였다. 자원 활용률은 전체 작업 처리 시간 중 획득된 자원을 작업 처리에 이용했는가를 나타낸다. 이것은 자원 거래 모델이 얼마나 효율적으로 그리드 사용자에게 자원을 공급해서 사용자가 원하는 작업을 원활하게 처리 했는가를 평가할 수 있는 척도가 된다.

실험 결과는 그림 5를 통해 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 요구량과 가격 예측 기반 모델은 하루에 발생하는 자원 요구량을 증가시켜도 평균 90%에 가까운 자원 활용률을 보인다. 그에 반해, 경매 모델은 평균 10% 미만의 자원 활용률을 보이고 이중 경매 모델은 초기에는 60% 이상의 자원 활용률을 보이지만 하루에 4200개를 초과하는 자원 요구량을 보일 경우 자원 요구량 상승에 따라 현저히 자원 활용률이 감소하는 것을 알 수 있다. 이 실험의 결과는 본 논문이 제안하는 모델이 그리드 사용자의 프로세서의 전체 작업 처리 시간 중 자원 획득을 위한 휴면 시간이 차지하는 비중이 경매나 이중 경매 모델과 비교해 상대적으로 크지 않다는 것을 나타낸다.

이 실험의 결과를 가지고 본 논문이 제안하는 모델의 타 모델들에 대한 자원 활용 증가율을 계산하기 위해 식 (4)를 이용하였다. 자원 활용 증가율 계산한 결과는

이중 경매 모델과 비교하여 280.78%의 증가율을 보였고, 경매 방식과 비교한 결과는 1000%가 넘는 결과를 보였다.

4.5 실험 5: 자원 거래 횟수 비교

실험을 통한 3개 모델의 자원 거래 횟수 비교 실험 결과는 그림 6에서 확인할 수 있다. 4.3장에서 실시한 응답 시간 비교 실험과 마찬가지로 요구량과 가격 예측 기반 모델이 기존 모델들에 비해 우수했다. 우리는 자원 거래 횟수 증가율을 분석하기 위하여 식 (5)를 사용하였다. 이 실험에서 본 논문에서 제안한 모델과 기존 모델 중 이중 경매 모델을 비교한 자원 거래 횟수 증가율은 162.56%였고 경매 모델과 비교한 결과는 343.67%였다. 그림 6에서 보는 것과 같이 시간이 흐를수록 본 논문이 제안한 모델과 기존 모델들의 자원 거래 횟수의 차이는 지속적으로 증가하고 있다. 본 논문의 제안한 모델과 이중 경매 모델은 처음에 동일한 조건에서 시작하였지만 50일이 지난 후에는 54953개의 자원 거래 횟수의 차이를 보였고, 100일이 지났을 때에는 89386개의 자원 거래 횟수의 차이를 보였다. 또한, 경매 모델과 비교해서는 50일이 지났을 때는 91659개의 차이를 보였고 100일이 지났을 때는 165575개의 차이를 나타냈다. 이는 본 논문에서 제안한 모델이 그리드 사용자의 자원 요청 처리를 위한 응답 시간이 기존 모델들보다 빠르기 때문에 그리드 사용자의 자원 요청을 먼저 처리하게 된다. 따라

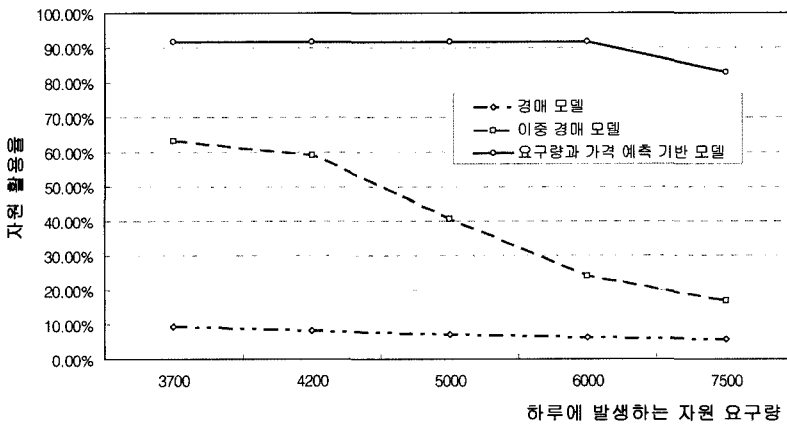


그림 5 요구량과 가격 예측 기반 모델과 기존 모델들의 자원 요구량 증가에 따른 자원 활용률 비교

$$\text{자원 활용률} = \frac{\text{획득 자원 활용시간}}{\text{작업 처리를 위해 사용된 전체 시간(자원을 획득시간 + 획득 자원 활용시간)}} \times 100(\%) \quad (3)$$

$$\text{자원 활용 증가율} = \text{Average} \left(\sum \frac{\text{요구량 예측과 가격 결정 기반 모델의 자원 활용률}}{\text{기존 모델의 자원 활용률}} \right) \times 100(\%) \quad (4)$$

$$\text{자원 거래 횟수 증가율} = \frac{\text{요구량 예측과 가격 결정 기반 모델에서 발생한 자원 거래 횟수}}{\text{기존 모델에서 발생한 자원 거래 횟수}} \times 100(\%) \quad (5)$$

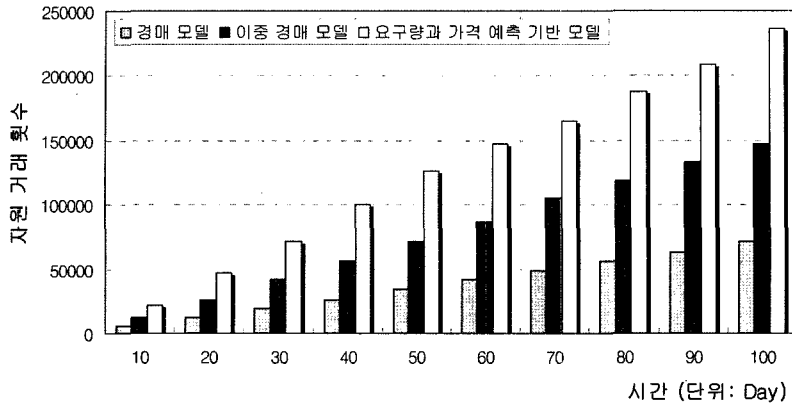


그림 6 요구량과 가격 예측 기반 모델과 기존 모델들의 시간의 흐름에 따른 자원 거래 횟수 비교

서 점차 시간이 흐를수록 두 모델의 자원 처리량의 차이는 현저히 증가한다. 이 결과는 신뢰성 있는 그리드 사용자의 자원 요구량 예측과 합리적인 거래 가격의 제안으로 본 모델이 빠른 응답시간을 보이므로 경매나 이중 경매 모델에 비해 더 많은 거래 횟수를 갖게 된다.

5. 결론 및 향후 연구

그리드 컴퓨팅에 대한 사용자의 요구가 증가함에 따라, 그리드 컴퓨팅에서의 자원 거래 모델 역시 매우 중요하다. 기존의 GRACE 기반의 경제 모델들은 초기에 자원 공급자가 거래 가격을 공시하는 방식에서 자원 공급자와 자원 소비자 사이의 조율을 통해 합리적인 가격을 결정하는 방식으로 발전하고 있다. 하지만, 이미 발표된 모델들, 예를 들면 경매나 이중 경매 등의 모델들은 시장 예측 기능이 없어서 급변하는 시장 환경에 동적으로 대응하기 힘들다. 또한, 이 모델들은 그리드 사용자나 자원 소유자가 서로간의 입찰을 시작하는 초기 기준 가격을 잘 못 설정할 경우 거래를 위해 많은 시간을 기다려야 한다. 다시 말해 자원 거래를 위한 응답시간이 증가하는 문제점이 발생한다. 자원 거래를 위한 응답 시간이 증가하면 자원 거래 발생 횟수 역시 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결한 그리드 사용자의 자원 요구량 발생 횟수 변화에 따른 요구량과 가격 예측 기반 모델을 제안했다. 이 모델은 통계학의 Second-Order Exponential-Smoothing 예측 모델을 이용하여, 과거와 현재의 그리드 사용자의 자원 요구량을 분석하여 앞으로 발생할 요구량을 예측하여 공급한다. 그 후 예측 결과를 통해 공급된 자원과 실제 그리드 사용자의 요구량을 비교하여 미시 경제학의 변형 쿠르노 모델과 기준 가격 기반 이중 경매 모델을 이용하여 자원 거래 가격을 결정한다.

본 논문에는 우리가 제안한 모델과 기존 모델들(이중

경매와 경매 모델)의 성능 평가를 위해 3가지 모델을 구현하여 다음의 실험을 실시하였다. 100일간 불규칙적인 그리드 사용자 자원 요구량 발생에 따른 예측 정확도를 측정하였고, 하루에 발생하는 그리드 사용자의 자원 요구량을 변화시켜 가며 기존 모델들과 본 논문에서 제안하는 모델의 자원 거래를 위한 응답 시간을 비교하였고, 100일간의 3 가지 모델의 자원 거래 횟수를 실험하여 비교하였다. 첫 번째 실험에서는 그리드 사용자의 자원 요구량의 평균 예측 정확도는 87.45%의 신뢰성 있는 결과를 얻었다. 두 번째 실험 결과는 우리가 제안한 모델이 기존 모델들에 대한 자원 거래를 위한 응답 시간 감소율은 이중 경매 모델과 비교하여 71.39% 줄어 들었고 경매 모델과 비교해서는 93.46%의 감소율을 보였다. 세 번째 실험의 자원 거래 횟수 증가율은 이중 경매 모델과 비교하여 162.56%였고 경매 모델과 비교하면 343.67% 증가했다. 마지막으로 본 모델의 자원 활용률은 평균 약 90% 이었고, 이중 경매 모델과 비교한 자원 활용 증가율은 230%이었으며, 경매 모델과 비교해서는 1000%가 넘는 자원 활용률을 보였다.

현재 본 논문은 기존의 거래량 모델을 개선한 새로운 모델을 제안하였다. 하지만, 본 연구 결과가 시뮬레이션 결과이기 때문에 본 논문에서 제안하는 그리드 자원 요구량과 가격 예측 기반의 그리드 자원 거래 모델을 실제 그리드 환경에서 구현하여 변화하는 사용자의 자원 요구량을 받아서 성능을 입증할 필요가 있다.

참고 문헌

[1] Foster, I., Kesselman, C., Tuecke, S., "The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations," International Journal of High Performance Computing Application, Vol.15, No.3, pp.200-222, 2001.

[2] Foster, I., Kesselman, C., "The Grid. Blueprint for a new computing infrastructure," Morgan Kaufmann, 1999.

[3] Berman, F., Fox, G., Hey, A., "Grid Computing, Making the Global Infrastructure a Reality," WILEY, 2002.

[4] Buyya, R., "Grid Economy: A Market Paradigm for Distributed Resource Management and Scheduling for Service Oriented Grid Computing," PhD Thesis, Monash University, Australia, 2002.

[5] Joita, L., Rana, O., Gray, W., Miles, J., "A Double Auction Economic Model," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3149, Springer-Verlag, pp.409-416, 2004.

[6] Klemperer, P., "Auctions: Theory and Practice," Princeton University Press, 2004.

[7] Weng, C., Lu, X., Xue, G., Deng, Q., Li, M., "A Double Auction Mechanism for Resource Allocation," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3251, Springer-Verlag, pp.269-276, 2004.

[8] Chen, M., Yang, G., Liu, X., "Gridmarket: A Practical, Efficient Market Balancing Resource for Grid and P2P Computing," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3033, Springer-Verlag, pp.612-619, 2004.

[9] Wolski, R., Plank, J., Brevik, J., Bryan, T., "Analyzing Market-based Resource Allocation Strategies for the ComputationalGrid," International Journal of High performance Computing Applications, Vol. 15(3), Sage Publications, pp.258-281, 2001.

[10] Smith, R., Davis, R., "The Contract Net Protocol: High Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver," IEEE Transactions on Computers, Vol. 29, No. 12, pp.1104-1113, 1980.

[11] Lindsay, C., "Applied Price Theory," Dryden Press, 1984.

[12] 윤용운, "예측 방법론의 이해", 자유 아카데미, 1995.

[13] Bowerman, B., O'Connell, R., Koehler, A., "Forecasting, Time Series and Regression," 4th Edition, Thomson Books/Cole, 2004.

[14] McClave, J., Benson, P., Sincich, T., "Statistics for Business and Economics," Prentice Hall, 2004.

[15] Zhang, D., Zhao, K., "Economic model of TAC SCM game," in Proceedings of 2004 IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology(IAT2004), pp.273-280, 2004.

[16] Besanko, D., Braeutigam, R., "Microeconomics: An Integrated Approach," WILEY, 2001.

[17] Sadeh, N., Arunachalam, R., Eriksson, J., Finne, N., Janson, S., « TAC-03 : A supplychain trading competition," AI Magazine, vol. 24, 2003.

[18] Zeigler, B., Kim, T., Praehofer, H., "Theory of Modeling and Simulation," Academic Press, 1998.

[19] Zeigler, B., et al., "The DEVS Environment for High-Performance Modeling and Simulation,"

IEEE C S & E, Vol. 4, No3, pp.61-71, 1997.

[20] Law, A., Kelton, D., "Simulation Model and Analysis," 3rd Edition, McGraw-Hill, 1999.



김 인 기

2001년 인하대학교 컴퓨터공학과 졸업
2005년~인하대학교 컴퓨터공학부 석사
과정. 관심분야는 그리드 컴퓨팅, 고성능
컴퓨팅 시스템



이 중 식

1993년 인하대학교 전자공학과 학사. 1995
년 인하대학교 전자공학과 석사. 2001년
University of Arizona, 컴퓨터 공학박
사. 2001년~2002년 California State
University, 전기 컴퓨터공학과 전임강
사. 2002년~2003년 Cleveland State
University, 전기 컴퓨터공학과 조교수. 2003년~2006년 인
하대학교 컴퓨터공학부 조교수. 2006년~현재 현재 인하대
학교 컴퓨터공학부 부교수. 관심분야는 시스템 모델링 및
시뮬레이션, 그리드 컴퓨팅, 미들웨어, 유비쿼터스 컴퓨팅