

## 비구조적 그리드 환경에서 작업량에 따른 부하 균형

구태완<sup>○</sup> 홍성준 현상훈 김병관 정연진 이광모  
한림대학교 컴퓨터공학과

{taewani<sup>○</sup>, teferi, nopine, kwani, yjjung, kmllee}@kiss.or.kr

### Load Balancing in Unstructured Grid Environments using Workloads

Taewan Gu<sup>○</sup>, Sungjun Hong, Sanghun Hyun, Byungkwon Kim, Yeonjin Jung,  
Kwangmo Lee

Dept. of Computer Engineering, Hallym University

#### 요 약

그리드 환경에서는 원격의 이질적인 자원들을 서로 공유하여 상호 접근이 가능하도록 하여 사용자의 작업을 처리 할 수 있는 메커니즘을 제공한다. 하지만 각 노드들은 그리드에 자유롭게 참여 및 탈퇴가 가능하다는 점에서 P2P 네트워크 구조와 매우 유사하기 때문에 기존의 병렬처리 컴퓨터에서의 부하 균형 문제와는 다른 특징을 갖게 된다. 본 논문에서는 동적인 자원 구성의 특징을 갖는 그리드 컴퓨팅 환경에서 발생할 수 있는 부하 균형 문제를 정의하고 이를 해결하기 위해 조정 노드(coordinating node)라고 불리는 부하 탐지 모듈을 설계 및 구현한다. 본 논문에서 제안된 조정 노드는 동적으로 변화하는 그리드 자원들의 상태를 실시간에 탐지하게 되며 각 노드들이 네트워크에 새롭게 참여/탈퇴하여 네트워크 위상이 변화하는 경우에도 부하 균형을 달성 하게 된다.

#### 1. 서 론

그리드 환경에서는 원격의 이질적인 자원들을 서로 공유하여 상호 접근이 가능하도록 하여 사용자의 작업을 처리 할 수 있는 메커니즘을 제공한다[1]. 그리드에서 대상이 되는 컴퓨팅 자원은 개인용 컴퓨터와 같은 워크스테이션을 비롯하여 인터넷에 산재해 있는 여러 컴퓨터들을 포함하게 되는데 각 컴퓨터를 사용하는 사용자들의 요구에 따라 여러 응용 프로그램들도 그리드의 자원이 될 수 있게 된다. 이와 유사하게 네트워크에 참여하는 각종 응용 프로그램을 공유하는 기술에는 P2P 기술이 있는데 그리드에 참여하는 자원의 규모와 사용자의 요구가 지속적으로 증가함에 따라 그리드 환경은 P2P가 지향하는 양상으로 발전하게 된다. 하지만 P2P 기술의 경우 크게 네트워크 구성에 있어 구조적인 속성을 가지는 기술(예를 들어 Chord[2], Tapestry[3], CAN[4] 등)과 비구조적인 속성을 가지는 기술(예를 들어 Gnutella[5], KaZaA[6] 등)로 구분 할 수 있다. 이것은 그리드에 참여하는 각 노드들이 자유롭게 참여/탈퇴가 가능하다는 특성을 고려한다면 비구조적인 구성을 갖는 P2P 네트워크와 유사하다[7].

비구조적인 구성을 갖는 P2P 네트워크에서는 스스로 네트워크를 구성하는데 많은 비용이 소모되며 구조적 구성을 갖는 P2P 네트워크에 비해 현저한 성능저하를 가져오게 된다. 따라서 이를 회피하기 위해 시스템에서 부하 균형(load balancing)은 사용자의 작업이 전체 네트워크에서 고르게 분포를 가지게 하여 시스템의 처리량(throughput)을 증가시키는 것이 목표이며 이것은 그리드 컴퓨팅에서 중요한 이슈가 된다[7].

그러므로 본 논문에서는 동적인 속성과 비구조적 구성을 갖는 대규모 그리드에서 사용자 작업에 대한 부하 균형을

달성하기 위해 조정 노드(coordinating node)라고 불리는 특수한 형태의 그리드 노드를 제안한다. 이러한 조정 노드는 부하 탐지와 자원 멤버십의 2가지 기능을 수행하게 된다. 또한 균형 노드를 이용한 부하 균형 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 이를 실험적으로 검증하여 작업량의 증가에 따른 전체 시스템 부하 균형 시간의 감소를 확인하도록 한다.

#### 2. 관련 연구

보편적인 부하 균형에 관한 연구는 구조적 모델을 기반으로 하는 네트워크 구조를 갖게 된다. 구조적 모델은 시스템 전체의 정보를 한곳에서 관찰할 수 있기 때문에 부하 균형의 성능을 향상 시킬 수 있게 된다[8]. 그러나 네트워크의 규모가 증가함에 따라 이런 중앙 집중적 모델에서의 부하 균형에 대한 비용은 네트워크 규모에 비례하여 기하급수적으로 증가 할 수 밖에 없다.

또한 [7]에서는 비구조적 구성을 갖는 네트워크 모델을 기반으로 하여 부하 균형을 위해 P2P 전달 기법을 사용하고 있다. P2P 전달 기법을 사용하면 대규모 그리드에서의 확장성을 효과적으로 보장할 수 있게 된다. 하지만 네트워크에 참여하는 전체 노드에 대한 정보를 수집하고 부하 균형을 위한 연산을 각각 수행해야 하므로 부하 균형 연산 횟수 역시 전체 노드의 규모에 비례하여 증가하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 중앙 집중적 모델이 갖는 성능 향상의 장점과 대규모 네트워크 모델에서 필요로 하는 확장성을 함께 고려하고자 한다. 또한 비구조적 P2P를 기반으로 하는 네트워크에는 노드 구성을 위한 멤버십 프로토콜을 필요로 하는데 본 논문에서는 새롭게 추가/탈퇴하는 노드 정보를 파악하는 멤버십 프로토콜을 사용한다. 본 논문

에서는 [10]에서 제안된 가십(gossip) 프로토콜을 기반으로 비구조적 그리드 환경에서의 노드 멤버십 프로토콜을 수행한다. 하지만 [9]에서는 VO(Virtual Organization)내에서 임의의 노드를 접촉 노드(contact node)로 선정하여 네트워크에 참여하기 위한 멤버십 연산을 수행하게 된다. 하지만 이러한 방법은 VO 내에서 전체 노드들이 접촉 노드로서의 기능을 수행 할 수 있어야 하므로 각 이웃 노드들의 식별자를 모두 알고 있어야 한다. 본 논문에서는 P2Pd의 슈퍼노드와 같은 역할을 수행하는 특수한 노드를 제안하고 이 노드만에서만 멤버십과 부하 균형 연산을 함께 수행하는 노드를 구성하도록 하며 이것을 부하 조정 노드(coordinating node)라고 부르기로 한다.

### 3. 부하 조정 노드

네트워크에 참여하는 모든 노드들은 일반 노드와 부하 조정 노드로 구분할 수 있다. 부하 조정 노드는 자신의 이웃한 노드들의 식별자를 참조하고 있게 된다. 이때 일반 노드를  $N_c$ 라 하고 조정 노드를  $N_c$ 라고 하면 네트워크에서 전체 조정 노드(TCN)는 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$TCN = \bigcup_{i=1}^m N_c$$

이때  $m$ 은 부하 조정 노드의 전체 개수이며 각 조정 노드들은  $\{N_{c_1} \cap \dots \cap N_{c_m}\}$ 의 속성을 가지게 된다. 또한 각 조정 노드는 이웃 노드들의 식별자를 포함하게 되며 이때 이웃 노드들의 부하 정보도 함께 저장하게 되므로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$N_c \supset \{N_{g_1}, N_{g_2}, \dots, N_{g_i}\}$$

그리고 부하 조정 노드에 포함되어 있는 이웃 노드의 목록이 더 이상 존재하지 않을 때 부하 조정 노드는 그 기능을 상실하게 된다.

#### 3.1 네트워크 멤버십 프로토콜

새로운 노드가 추가되었을 때 해당 노드는 네트워크에 참여하기 위해 이웃의  $n$  개의 부하 조정 노드에 메시지를 전송하게 된다. 또한 새롭게 추가되는 노드는 해당 부하 조정 노드들의 이웃 노드 중 일부를 자신의 이웃으로 설정하게 함으로써 새로운 노드의 추가가 이루어지며 네트워크 탈퇴는 부하 균형 노드의 이웃노드로 추가되어 있는 노드 리스트에서 탈퇴하고자 하는 노드의 정보를 삭제하기만 하면 간단히 탈퇴가 이루어 진다.

#### 3.2 부하 균형 알고리즘

네트워크에 발생하는 부하를 처리하기 위해 부하 조정 노드에서는 자신이 가지고 있는 이웃 노드들의 정보를 활용하게 된다. 이러한 정보는 주기적인 정보의 갱신을 통해 각 노드에서 발생하는 부하의 규모를 파악 할 수 있는 구조를 가진다. 그리고 부하 균형 노드의 이웃 노드의 부하가 급증하여 부하를 분산 시켜야 할 때에는 [표 1]과 같은 순서로 부하 조정 연산을 수행하게 된다. 이 연산을 수행하는데 사용되는 가정에는 전체 부하 균형 노드의 개수를 나타내는  $n$ 과 부하 량지 메시지 전송되어야 하는 TTL 값을 의미하는  $k$ 가 있다. 여기서

부하 량지 메시지만 부하 조정 노드에서 유지하는 노드에서 처리 가능한 부하의 규모를 초과하는 부하가 발생 하였을 때 이를 부하 조정 노드에 알려주는 메시지를 의미한다.

- 1) 부하 균형 노드에서 업데이트된 이웃 노드들의 부하 정보를 바탕으로 분산 시킬 노드를 선택한다.
- 2) 부하 균형 노드에서 유추 노드를 찾기 위한 메시지(LD\_Msg)를 생성한다.
- 3) LD\_Msg 는 먼저 해당 부하 균형 노드에서 가지고 있는 이웃노드들의 정보를 이용해서 부하를 분산 시킬 수 있는 노드를 찾는다. 그리고 해당 부하 균형 노드에 연결된 다른 부하 균형 노드로 이동하여 2)와 3)의 과정을  $k$  번째 부하 균형 노드에 이르기까지 반복하여 수행하며 여기서 얻어진 노드는 최저 부하 노드 목록에 추가된다.
- 4) 이때 반복하여 수행되는 부하 균형 노드에서 찾아지는 노드 목록은 지속적으로 갱신되며 이때 각 부하 균형 노드를 검색 할 때마다 보다 더 작은 부하를 갖는 노드로 목록이 갱신된다.
- 5) 최저 부하 노드 목록이 결정되면 원래의 부하 균형 노드로 되돌아 오게 되는데 이때 각 방문했던 부하 균형 노드에 대한 경로의 역순으로 추적하게 된다.
- 6) 최저 부하 노드가 검색되고, 이에 대한 경로가 유지되었으므로 분산될 부하는 최저 부하 노드로 해당 경로를 따라 전송을 시작한다.

[표 1] 부하 균형 기법

이때 최저 부하 노드 목록이란 각 부하 균형 노드에서 부하 량지 메시지를 이용하여 얻어지는 최저 부하를 갖는 노드의 목록을 의미한다. 그리고 경로 저장소는 부하 량지 메시지가 부하 균형 노드로 전송 될 때 방문하게 되는 노드와 최초 전송 노드의 식별자를 저장하는 것으로써 추후 최저 부하 노드 목록이 작성되어 부하가 이전 될 때 해당 경로를 따라서 목적 노드에 도착 할 수 있게 한다. 이것이 갖는 장점은 불필요한 부하 균형 노드의 재방문을 방지 함으로써 전체 네트워크에 발생할 수 있는 트래픽의 규모를 감소 시킬 수 있으며, 또한 순회 시 발생하는 경로의 사이클을 방지 할 수 있게 된다.

### 4. 실험

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 부하 균형 노드를 이용한 대규모 그리드의 부하 균형 기법의 성능을 측정하기로 한다. 본 실험을 수행하는데 사용된 시뮬레이션 도구는 자체적으로 제작한 시뮬레이션 도구를 사용하기로 하며 시뮬레이션에서는 부하 조정 노드를 사용하는 경우와 일반적 모델인 방사형(flooding) 전달 모델을 비교하도록 한다. 따라서 전체 그리드의 규모가 증가함에 따라 그리드에 발생하는 부하의 규모에 대해 시뮬레이션을 수행하게 되며 이를 처리하는데 소요되는 처리 시간을 측정하도록 한다.

그리고 시뮬레이션을 구성하는 환경은 다음의 [표 2]에서 보는 바와 같이 그리드 네트워크의 규모가 증가함에 따른 네트워크 작업량의 변화를 이용하여 실험을 진행하게 되며 부하의 크기 SizeOfLoad 는 총 시스템 처리율을 100 으로

가정했을 때 네트워크에서 분산될 수 있는 부하의 크기를 비례적으로 선정한 값이다. 또한 시뮬레이션을 수행함에 있어 각 노드간의 트래픽은 없으며 네트워크에 참여하는 각 노드는 로컬 사용자에게 의해 임의적인 사용자 작업을 가지고 있음을 가정한다.

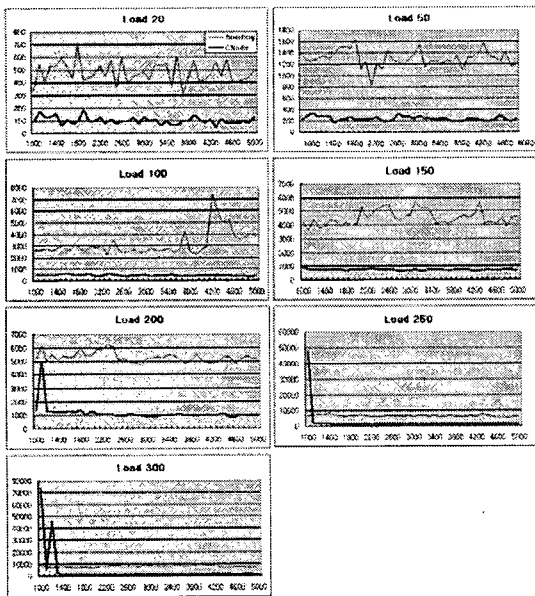
| Name          | Contents   | Value         |
|---------------|------------|---------------|
| ScalOfNetwork | 네트워크 크기    | 1000 ~ 5000   |
| NumOfLoad     | 네트워크 작업량   | 20 ~ 300      |
| k             | 메시지 전송 TTL | 5             |
| n             | 조정 노드 개수   | 20 ~ 50       |
| SizeOfLoad    | 부하의 크기     | 20 ~ 80 (100) |

[표 2] 시뮬레이션 파라미터

증가도 문제가 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 비구조적 P2P 기반의 그리드를 구성함에 있어 필요한 멤버쉽 요소에 부하 균형 노드 속성을 추가하여 대 규모 그리드 네트워크에서의 부하 균형 기법을 제안하였다. 이러한 부하 균형 노드를 추가하여 네트워크를 구성하고 임의의 노드에 적절한 부하를 생성하여 이에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며 그 결과 일반적 방식(flooding) 기법에 비해 부하 조정 노드를 이용한 제안된 알고리즘의 사용이 그리드 환경에서의 성능을 개선하고 있음을 알 수 있다. 향후 연구과제로서는 본 논문에서 고려되지 못한 그리드 환경에서의 다양한 부하 균형 요소를 정의하고 각 요소들을 고려한 개선된 부하 균형 기법에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 본다.

참고 문헌

[1] Foster I., Kesselman C. Eds. "The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure", Morgan Kaufmann, 1999.  
 [2] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek, and H. Balakrishnan, "Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Service for Internet Applications", In Proceedings of the 2001 conference on applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications(SIGCOMM), P. 149~160. ACM Press, 2001.  
 [3] B. Y. Zhao, L. Huang, J. Stribling, S. C. Rhea, A. D. Joseph, and J. Kubiatowicz, "Tapestry: A Resilient Global-Scale Overlay for Service Deployment", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22(1):41-53, 2004.  
 [4] S. Ratnasamy, P. Francis, M. Handley, R. Karp, and S. Shenker, "A Scalable Contents-Addressable Network", In Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM, P. 161~172, ACM Press  
 [5] Gnutella. <http://gnutella.wego.com/>  
 [6] KaZaA. <http://www.kazaa.com>  
 [7] Abhishek Gupta, Divyakant Agrawal, and Amr El Abbadi, "Distributed Resource Discovery in Large Scale Computing Systems", In Proceedings of the 2005 Symposium on Applications and the Internet(SAINT'05), 2005.  
 [8] Richard Hsiao, Sheng-De Wang, "Jelly: A Dynamic Hierarchical P2P Overlay Network with Load Balance and Locality", 24<sup>th</sup> International Conference on Distributed Computing Systems Workshops(ICDCSW'04), P. 534~540  
 [9] Carlo Mastrianni, Domenico Talia, and Oreste Verta, "A P2P Approach for Membership Management and Resource Discovery in Grids", International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05)-Volume II, P.168~174  
 [10] A. Montresor, "A Robust Protocol for Building Superpeer Overlay Topologies", Proc. of the International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P 2004), Zurich, Switzerland, August 2004.



[그림 1] 그리드 규모 증가에 따른 작업량의 부하 균형 시간

[그림 1]에서 의미하는 바와 같이 그리드 규모가 증가함에 따라 부하 규모를 함께 증가시켰을 때 전체 시스템의 부하 균형에 소요되는 시간은 감소하게 되며 그리드의 부하 규모가 커짐에 따라 제안된 시스템의 성능이 개선되고 있음을 알 수 있다. 하지만 증가되는 부하의 규모에 대한 값이 임의의 값을 선택하고 있으므로 부하 균형 후의 부하 정도는 향후 연구 과제로 남기기로 한다.

5. 결론 및 향후 연구

그리드에서 자원으로 참여하는 노드의 수가 증가하고, 참여하는 각 노드들의 참여가 자유로운 P2P 네트워크 기반의 컴퓨팅 환경은 참여하는 노드 수에 비례하여 발생하는 부하의 규모도 증가하게 된다. 또한 네트워크 구성의 비구조적인 특징으로 인해 전체 자원의 정보를 방식(flooding)하는 메시지 전달 구조로 인한 트래픽의