

데스크톱 그리드 컴퓨팅을 위한 자원 그룹핑 설계 및 결합포용으로의 적용 방안

손진곤*, 길준민**

요약

데스크톱 그리드 컴퓨팅은 이질성과 휘발성을 갖는 데스크톱 자원을 활용하여 대용량의 컴퓨팅 작업을 수행한다. 그러나 이러한 컴퓨팅 환경에서는 서로 다른 성능을 갖는 데스크톱 자원의 연산 참여와 이탈이 자유롭기 때문에 연산 수행의 안정성과 신뢰성을 보장하지 못한다. 따라서 본 논문에서는 데스크톱 그리드 컴퓨팅에 연산 수행의 안정성과 신뢰성을 제공하기 위한 방안으로 k-means 클러스터링 알고리즘을 이용한 자원 그룹핑 기법을 설계한다. 아울러, 실제 데스크톱 그리드 시스템의 연산 수행 로그 데이터에 기반하여 자원 그룹핑을 수행하고, 데스크톱 자원 그룹에 대한 결합포용으로의 적용 방안을 제시한다.

키워드 : 데스크톱 자원, 자원 그룹핑, 클러스터링 알고리즘, 데스크톱 그리드 컴퓨팅

Design of Resource Grouping for Desktop Grid Computing and Its Application Methods to Fault-Tolerance

Jin Gon Shon*, Joon-Min Gil**

Abstract

Desktop grid computing is the computing paradigm that can execute large-scale computing jobs using the desktop resources with heterogeneity and volatility. However, such the computing environment can not guarantee the stability and reliability of task execution because the desktop resources with different performance can freely participate and leave in task execution. Therefore, in this paper, we design resource grouping scheme using k-means clustering algorithm with an aim to provide desktop grid computing with the stability and reliability of task execution. Moreover, we conduct resource grouping using the execution log data of actual desktop grid systems and present application methods of desktop resource groups to fault-tolerance.

Keywords : Desktop resources, Resource grouping, Clustering algorithm, Desktop grid computing

1. 서론

데스크톱 그리드 컴퓨팅(desktop grid computing)은 인터넷에 연결된 유휴 데스크톱 자원을 활용하여 대용량의 컴퓨팅 작업을 수행하는 컴퓨팅 패러다임으로 정의되며[1], 비교적 낮은 비용으로 컴퓨팅 파워를 얻을 수 있는 병렬 컴퓨팅 기술[2]로 알려져 왔다.

이제까지 데스크톱 그리드 컴퓨팅을 위한 플랫폼으로 BOINC[3], XtremWeb[4], Korea@Home[5], SZTAKI[6], QADPZ[7] 등이 개발되어 왔다. 또한, 상업용 플랫폼으로 Entropia[8]와 United Devices[9]가 출시되어 다양한 응용 분야에 적용되어 왔다.

※ 교신저자(Corresponding Author): Joon-Min Gil
접수일:2013년 05월 30일, 수정일:2013년 06월 13일
완료일:2013년 06월 13일

* 한국방송통신대학교 컴퓨터학과
Tel: +82-2-3668-4656, Fax: +82-2-3673-2384
email: jgshon@knou.ac.kr

** 대구가톨릭대학교 IT공학부
Tel: +82-53-850-3719, Fax: +82-53-850-2740
email: jmgil@cu.ac.kr

■ 이 논문은 2012년도 한국방송통신대학교 학술연구비 지원을 받아 작성된 것임.

일반적으로, 데스크톱 그리드 컴퓨팅은 인터넷에 연결된 유휴 데스크톱 자원을 활용하므로, 각 데스크톱 자원은 서로 다른 성능을 갖고 이들 자원의 자발적 참여에 의해 연산을 수행한다. 이러한 관점에서 데스크톱 그리드 컴퓨팅은 이질성(heterogeneity)과 휘발성(volatility)을 갖는 연산 자원의 고유한 특징을 가진다. 이는 전통적인 그리드 컴퓨팅[1]과 달리 데스크톱 그리드 컴퓨팅에서의 데스크톱 자원은 연산 참여가 자유롭고 연산 중간에도 언제든지 연산 이탈을 할 수 있다. 따라서 데스크톱 그리드 컴퓨팅은 연산 수행이 언제든지 휘발되고 중지되어 연산 실패가 빈번히 발생하는 불안정적이고 비신뢰적인 연산 환경에 기반한다.

이러한 불안정적이고 비신뢰적인 연산 환경을 안정적이고 신뢰적인 연산 환경으로 바꾸기 위해서는 비교적 높은 성능과 낮은 휘발성을 갖는 데스크톱 자원을 연산 수행에 더 많이 참여시키는 것이 유리하다. 다시 말해, 높은 성능을 갖는 자원은 낮은 성능을 갖는 자원에 비해 작업 당 더 빠른 완료 시간을 가진다. 또한, 낮은 휘발성을 갖는 데스크톱 자원은 높은 휘발성을 갖는 데스크톱 자원에 비해 연산 실패의 가능성이 줄어든다. 따라서 본 논문에서는 이질성과 휘발성을 갖는 데스크톱 자원에 상관없이 데스크톱 그리드 컴퓨팅에 연산 수행의 안정성과 신뢰성을 제공하기 위해 데스크톱 자원의 그룹핑 기법을 설계한다. 보다 조직적이고 세련된 자원 그룹핑을 위해 k-means 클러스터링 알고리즘을 도입한다. k-means 클러스터링 알고리즘은 주어진 기준에 맞추어 서로 간에 유사성이 있는 자원들끼리 묶어줌으로써 자원 간의 비유사성을 최소화시키는 장점과 다양한 분야로의 적응성 때문에 도입되었다. 아울러, 본 논문에서는 실제 데스크톱 그리드 시스템인 Korea@Home 시스템[5]의 연산 수행 로그 데이터를 활용하여 자원 그룹핑을 수행하고 데스크톱 자원 그룹에 대해 결합포용으로의 적용 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 본 논문에서 가정하고 있는 데스크톱 그리드 컴퓨팅 환경에 간략히 기술한다. 3절에서는 데스크톱 자원의 연산 수행 흐름과 데스크톱 자원의 분류를 위해 사용되는 기준으로 이용률(availability)과 결과 반환 확률(result return probability)에

대해서 기술한다. 4장에서는 클러스터링 알고리즘으로 사용되는 k-means 클러스터링 알고리즘과 이를 이용하여 얻은 데스크톱 자원의 그룹핑 결과를 보여준다. 5장에서는 자원 그룹핑에 대해 체크포인트와 복제 관점에서 결합포용으로의 적용 방안을 제시한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 데스크톱 그리드 컴퓨팅 환경

전형적으로 데스크톱 그리드 컴퓨팅 환경은 작업제출자(task submitter), 중앙서버(central server), 그리고 데스크톱 자원(desktop resource)으로 이루어진 중앙 집중형 데스크톱 그리드 모델(centralized desktop grid model)에 기반한다[1]. 이 모델에서 작업제출자는 중앙 서버로 자신의 응용을 제출하는 개체이다. 중앙 서버는 자원과 작업을 중재하는 역할을 수행하며, 주로 작업 관리, 자원 관리, 작업 할당, 결과 검증 등의 기능을 수행한다. 데스크톱 그리드 컴퓨팅 환경은 보통 수백~수천의 데스크톱 자원이 동시에 연산에 참여하며, 각 데스크톱 자원은 중앙 서버에서 보내준 연산 작업을 자신의 유휴 시간대에 수행한 후에 연산 결과를 중앙 서버로 되돌려주는 역할을 한다. 모든 작업의 연산 수행이 데스크톱 자원들에 의해 종료되면 중앙 서버는 모든 작업의 연산 결과를 모으고 이를 다시 작업제출자에게 되돌려 준다.

중앙 서버에서 데스크톱 자원으로의 작업 할당은 데스크톱 자원의 이질성과 휘발성 특징으로 인해 기본적으로 풀 기반의 작업 할당(pull-based task allocation) 방식을 사용한다[10]. 이러한 작업 할당 방식은 데스크톱 자원이 자신의 유휴 시간대에만 연산을 수행하기 때문에 사용된다. 그래서 중앙 서버는 데스크톱 자원에 대한 어떠한 제어를 갖지 않고 데스크톱 자원 자신이 연산 참여가 가능할 때 연산 요청을 함으로써 연산이 개시된다.

한편, 작업제출자에 의해 중앙 서버로 제출된 응용은 BoT(Bag of Tasks) 방식[11]의 연산 유형을 가진다. 이 연산 유형은 하나의 응용이 수천~수만의 작업들로 구성되어 있으며 각 작업은 하나의 데스크톱 자원에서 수행되기에 충분

히 작다. 그리고 각각의 작업은 서로 간에 의존성이 없다는 특징을 갖고 있다.

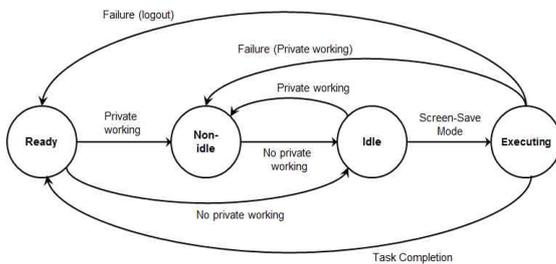
3. 데스크톱 자원의 연산 수행 특징

본 절에서는 데스크톱 자원의 연산 수행 흐름을 제시함으로써 데스크톱 자원의 연산 수행 특징을 살펴보고, 데스크톱 자원의 분류 기준으로 활용되는 이용률과 결과 반환 확률에 대해서 기술한다.

3.1 연산 수행 흐름

앞서 기술하였듯이, 데스크톱 자원은 자신이 유휴할 때 중앙 서버로 작업을 요청함으로써 작업을 개시한다. 데스크톱 자원은 이질성과 휘발성에 따라 연산 수행 특징이 달라지므로 각 데스크톱 자원의 연산 수행 흐름의 파악이 중요하다. 데스크톱 자원은 공통적으로 (그림 1)과 같은 연산 수행에 대한 상태 전이를 가진다.

(그림 1) 데스크톱 자원의 상태 전이[12]



(Figure 1) State transition of desktop resources[12]

(그림 1)에서 볼 수 있듯이, 데스크톱 자원은 특정 순간에 다음과 같은 상태 중에 하나의 상태를 가진다.

- 준비(Ready): 초기 상태로서 연산 수행의 준비 상태를 나타낸다.
- 비유휴(Non-idle): 데스크톱 자원의 개인 작업(예를 들어, 웹브라우저, 문서작업 등)으로 인해 연산을 수행하지 못하는 상태를 나타낸다.
- 유휴(Idle): 데스크톱 자원이 개인 작업을 수

행하지 않고 아무런 연산을 수행하지 않고 있는 상태를 나타낸다.

- 연산(Executing): 중앙 서버로부터 전송받은 작업에 대한 연산을 수행하고 있는 상태를 나타낸다.

초기에 각 데스크톱 자원은 “준비” 상태를 가진다. 그런 다음, 데스크톱 자원 소유자의 개인 작업이 있다면 데스크톱 자원의 상태는 “비유휴” 상태로 전이한다. 이 상태에서는 중앙 서버로부터 전송받은 작업의 연산을 수행하지 않는다. 더 이상 개인 작업이 존재하지 않으면 데스크톱 자원은 “유휴” 상태로 전이한다. “유휴” 상태에서 다시 개인 작업이 수행되면 곧바로 “비유휴” 상태로 전이한다. “유휴” 상태에서 스크린-세이브(screen-save) 모드에 의해 데스크톱 자원이 일정 시간 동안 아무런 작업이 없다고 판단되면 데스크톱 자원은 “연산” 상태로 전이한다. 그러면 데스크톱 자원은 중앙 서버로 하나의 작업을 요청하고 요청받은 작업을 전송받은 후에 바로 작업에 대한 연산을 수행한다. “연산” 상태에서 작업이 완료되면 초기 상태인 “준비” 상태로 전이하여 다음 작업의 수행을 위한 준비를 한다. 한편, “연산” 상태에서 개인 작업이 발생하면 “비유휴” 상태로 전이하게 되는데, 이때 연산중인 작업은 중지되고 연산 실패가 된다.

데스크톱 자원이 실제로 중앙 서버에서 보내준 작업에 대한 연산을 수행하는 기간은 “연산” 상태에 머무르는 시간의 총합이다. 그러나 “연산” 상태에 머무르는 시간의 총합이 길다 하더라도 “연산” 상태와 “비유휴” 상태를 번갈아 전이하면 연산 중지가 빈번히 발생하게 되고 결국 많은 연산 실패로 이르게 된다. 그러나 “연산” 상태와 “비유휴” 상태로의 반복적 전이는 데스크톱 자원의 특징에 따라 달라질 수 있다. 즉, 데스크톱 자원 소유자의 개인 작업이 빈번하면 이러한 반복적 전이가 많아져 결국 많은 연산 실패로 귀결될 가능성이 높아진다. 반면, 데스크톱 자원 소유자의 개인 작업이 적으면 개인 작업에 의해 발생하는 연산 중지가 적어져 연속적으로 오랜 기간 동안 “연산” 상태에 머무르게 되어 작업을 종료할 가능성이 높아진다. 다음 소절에 이러한 상태 전이에 바탕을 둔 데스크톱 자원의 분류 기준을 살펴본다.

3.2 이용률과 결과 반환 확률

데스크톱 그리드 컴퓨팅에서 연산 실패는 중앙 서버로 사전 공지 없이 언제든지 발생할 수 있다. 앞서 기술하였듯이 데스크톱 자원이 “연산”과 “비유휴” 상태를 번갈아 전이하면서 연산 실패를 반복하게 된다. 따라서 하나의 작업에 대해 연산 실패를 최소화하면서 작업 종료를 유도하기 위해서는 “연산” 상태의 지속 기간이 중요하다. 이러한 관점에서 데스크톱 자원의 이용률이 개별 데스크톱 자원의 특징을 나타내는 하나의 요인이 될 수 있다. 또한, 데스크톱 자원마다 이질적인 특징을 갖고 있으므로 데스크톱 자원은 중앙 서버가 전송한 작업을 언제까지 수행할지에 대한 반환시간(deadline)을 가져야 한다. 따라서 결과 반환 확률이 데스크톱 자원을 분류하는 또 다른 요인이 된다.

본 논문에서는 개별 데스크톱 자원의 연산 수행 특징에 따라 데스크톱 자원을 분류하기 위해 다음과 같이 정의되는 이용률[13, 14]과 결과 반환 확률[14, 15]을 고려한다.

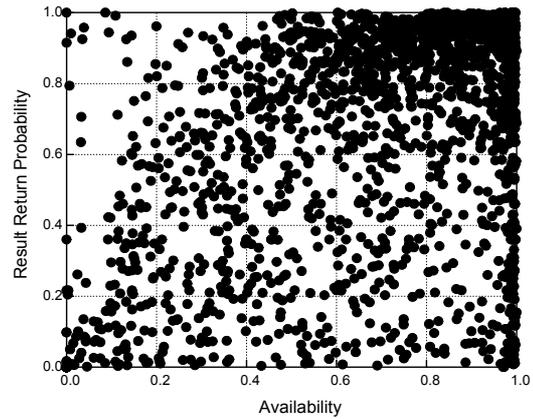
정의 1. 이용률: 개인 작업에 의한 연산 실패가 존재함에도 불구하고 데스크톱 자원이 작업 하나에 대해 연산을 종료할 수 있는 확률로서 현재 시간에서 과거의 특정 시간까지의 기간 대비 두 개의 연속적인 이용가능 시간의 비율로 정의된다.

정의 2. 결과 반환 확률: 연산 실패가 발생하더라도 데스크톱 자원에 주어진 반환시간까지 연산 결과를 되돌려줄 확률을 나타낸다.

본 논문에서는 개별 데스크톱 자원의 이용률과 결과 반환 확률을 실제 데스크톱 그리드 시스템인 Korea@Home 데스크톱 그리드 시스템에 축적된 연산 수행 로그 데이터로부터 추출하였다. (그림 2)는 2008년 3월 기준으로 한달 동안 축적된 연산 수행 로그 데이터를 활용하여 분류된 데스크톱 자원의 분포를 보여준다. 이 그림에서 x와 y 축은 각각 이용률과 결과 반환 확률을 나타낸다. 이 기간 동안 총 2404대의 데스크톱 자원이 자발적으로 Korea@Home 시스템의 연산 수행에 참여했으며, 실패 시간까지 포함하여 작업 하나당 평균 수행 시간은 약 746초로 산출되

었다. 다음 절에서 (그림 2)의 데스크톱 자원 분포 데이터를 활용하여 데스크톱 자원의 그룹핑을 수행한다.

(그림 2) 이용률과 결과 반환 확률에 의한 데스크톱 자원의 분포



(Figure 2) Distribution of Desktop Resources by Availability and Result Return Probability

4. 데스크톱 자원의 그룹핑

본 절에서는 데스크톱 자원의 그룹핑을 위해 도입된 k-means 클러스터링 알고리즘에 대해서 기술하고, 데스크톱 자원의 그룹핑 결과를 제시한다.

4.1 k-means 클러스터링

일반적으로, 클러스터링(clustering)은 전체 데이터를 유사 데이터의 클래스로 분류하기 위해 마케팅, 생물학, 패턴 인식, 웹 마이닝, 소셜 네트워크 분석 등 다양한 분야에 적용되어져 왔다 [16]. 여러 클러스터링 기법 중에 본 논문에서는 k-means 클러스터링 알고리즘을 데스크톱 자원의 그룹핑을 위해 선택한다. 이 알고리즘은 비교사 학습 알고리즘(unsupervised learning algorithm)의 하나로 다른 클러스터링 알고리즘에 비해 단순하지만 효율적인 분류가 가능하다는 장점이 있다. 수학적으로 k-means 클러스터링 알고리즘은 다음과 같이 표현된다.

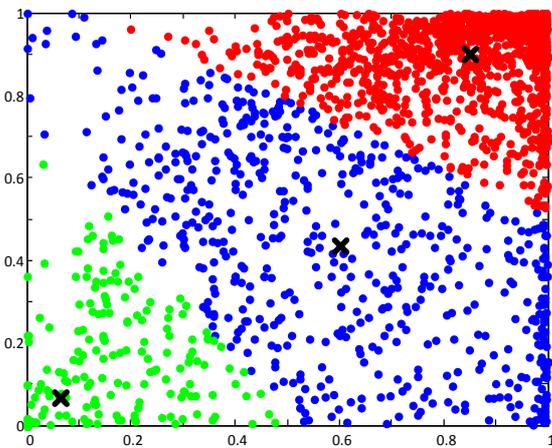
$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in C_i} \|x_j - c_i\|^2 \quad (1)$$

여기서, k 는 클러스터의 수를 나타내며, x_j 는 i 번째 클러스터 C_i 에서 j 번째 데이터 항목을 나타낸다($i=1, 2, \dots, k$). 그리고 c_i 는 클러스터 C_i 의 중심 값(centroid value)을 나타낸다. 수식 (1)에서 $\|x_j - c_i\|^2$ 은 x_j 와 c_i 사이의 거리를 의미하며, 유클리디안 함수(Euclidean function)가 두 데이터 항목 사이의 거리 측정을 위해 사용한다.

4.2 데스크톱 자원의 그룹핑 결과

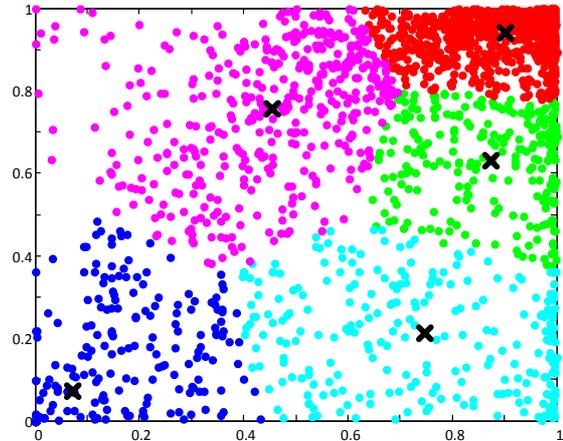
데스크톱 자원을 유사 자원들의 그룹으로 묶기 위해 앞서 살펴본 k-means 클러스터링 알고리즘을 적용하였다. (그림 2)에서 제시된 데스크톱 자원 분포를 활용하고 이용률과 결과 반환 확률의 의해 데스크톱 자원을 분류하였다.

(그림 3) 3개의 클러스터가 사용된 경우의 데스크톱 자원 그룹핑 ($k=3$)



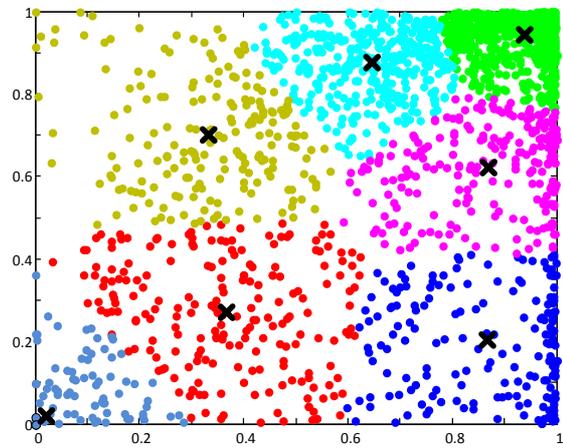
(Figure 3) Desktop Resource Grouping when three clusters are used ($k=3$)

(그림 4) 5개의 클러스터가 사용된 경우의 데스크톱 자원 그룹핑 ($k=5$)



(Figure 4) Desktop Resource Grouping when five clusters are used ($k=5$)

(그림 5) 7개의 클러스터가 사용된 경우의 데스크톱 자원 그룹핑 ($k=7$)



(Figure 5) Desktop Resource Grouping when seven clusters are used ($k=7$)

(그림 3), (그림 4), (그림 5)는 클러스터의 수를 각각 3, 5, 7로 설정하였을 경우(즉, $k=3, 5, 7$), k-means 클러스터링 알고리즘의 수행에 의해 생성된 데스크톱 자원의 그룹핑 결과를 보여준다. 이들 그림에서 'x' 기호는 각 클러스터의 중심 값을 나타낸다. 이들 그림에서 볼 수 있듯이, 데스크톱 자원의 그룹핑은 클러스터의 수가

증가할수록 각각의 클러스터들이 좀 더 정교해지고 세련된 모양을 가짐을 알 수 있다.

5. 결합포용으로의 적용 방안

이제까지 데스크톱 그리드 컴퓨팅에 안정적이고 신뢰적인 연산 수행을 제공하기 위해 k-means 클러스터링에 기반한 데스크톱 자원 그룹핑에 대해서 살펴보았다. 데스크톱 자원의 이질성과 휘발성 특징으로 인해 발생하는 연산 수행의 실패는 전체 작업의 반환 시간(turnaround time)을 증가시키고 데스크톱 자원의 낭비를 초래한다. 본 논문에서 제시된 자원 그룹핑은 연산 수행의 실패 발생 시에 대처하기 위한 결합포용으로 적용될 수 있다.

데스크톱 그리드 컴퓨팅에서 연산 수행의 실패에 대처할 수 있는 대표적인 방안으로 체크포인트(checkpoint)와 복제(replication)가 주로 사용되어져 왔다[17]. 체크포인트는 일정 기간마다 연산 수행의 중간 결과를 저장해 두었다가 연산 수행의 실패가 발생한 경우 가장 최근에 저장된 체크포인트 지점으로 롤백하여 연산을 재개시키는 방안이다. 한편, 복제는 하나의 작업을 여러 데스크톱 자원에 중복 할당하여 연산을 수행시키는 방법으로, 중복된 연산이 수행하는 데스크톱 자원 중에 하나에서 연산 수행의 실패가 발생하더라도 다른 데스크톱 자원에서 연산 수행이 이루어지므로 연산 수행의 실패에 대처한다.

기존의 체크포인트와 복제를 사용한 결합포용 방식은 단순히 정적 개수의 체크포인트 연산 수행과 정적인 복제 수를 활용하는 것이 주를 이루었다. 이는 시시각각 변하는 데스크톱 그리드 컴퓨팅 환경을 적절히 반영하지 못하여 필요 이상의 체크포인트와 복제 연산을 수행함으로써 불필요한 연산과 자원 낭비를 초래한다. 한편, 연산 수행의 실패에 대처하지 못할 정도로 적은 수의 체크포인트와 복제 연산을 수행할 경우에도 전체 시스템 성능을 심각하게 저하시키는 요인이 된다. 본 논문에서 제시한 데스크톱 자원 그룹핑을 활용한다면 다음과 같이 데스크톱 자원 그룹의 특성에 따라 체크포인트 연산과 복제의 개수를 서로 다르게 설정할 수 있다. 이에 대한 단계는 다음과 같다.

단계 1: 각 클러스터의 중점 값을 이용률과 결과 반환 확률의 평균값으로 내림차순 정렬한다.

단계 2: 정렬된 값에 따라 각 클러스터 별로 랭킹을 설정한다.

단계 3: 가장 높은 랭킹을 갖는 클러스터의 체크포인트 연산과 복제의 개수를 각각 1로 설정한다.

단계 4: 높은 랭킹으로부터 낮은 랭킹 순서로 체크포인트 연산과 복제의 개수를 각각 α_1 과 α_2 만큼 증가시킨다.

위와 같은 단계에 의해 각 클러스터별 체크포인트 연산과 복제의 개수가 각각 결정되면, 중앙 서버는 특정 데스크톱 자원으로부터 작업 요청이 들어올 때마다 요청한 데스크톱 자원이 속한 클러스터의 체크포인트 연산과 복제의 개수에 따라 작업을 할당한다. 한편, 각 클러스터별 체크포인트 연산과 복제의 개수를 클러스터 랭킹에 따라 α_1 과 α_2 만큼 증가시키는데, 이 값들은 데스크톱 그리드 컴퓨팅의 현재 상황, 즉 데스크톱 자원의 연산 참여 수와 실패 빈도, 작업의 시급성, 데스크톱 자원 그룹 내의 자원 수, 평균 실패율, 평균 수행 시간 등에 따라 서로 다른 값이 적용될 수 있을 것이다.

6. 결론

본 논문에서는 안정적이고 신뢰적인 데스크톱 그리드 컴퓨팅 환경을 제공하기 위해 k-means 클러스터링에 기반한 데스크톱 자원 그룹핑 기법을 설계하였다. 실제 데스크톱 그리드 컴퓨팅 시스템인 Korea@Home 시스템의 연산 수행 로그 데이터를 활용하여 얻은 데스크톱 자원 그룹핑의 결과는 클러스터 수가 증가할수록 보다 정교하고 세련된 모양의 클러스터를 얻을 수 있음을 보여주었다. 본 논문의 데스크톱 자원 그룹핑 기법은 전체 데스크톱 자원을 유사 특징을 갖는 데스크톱 자원 그룹으로 분류함으로써 각 자원 그룹별 특징에 맞는 결합포용 방식을 적용할 수 있는 실마리를 제공한다.

References

- [1] A. Abbas, *Grid Computing: A Practical Guide to Technology and Applications*, Charles River Media, 2004.
- [2] J. Yoon, J. Choi, C. Park, K.-S. Kong, "Evaluation of DES key search stability using Parallel Computing," *J. of Digital Contents Society*, Vol.14, No.1, pp.65-72, Mar. 2013.
- [3] Berkeley open infrastructure for network computing (BOINC), <http://boinc.berkeley.edu/>.
- [4] F. Cappello, S. Djilalia, G. Fedaka, T. Heralta, F. Magniettea, V. Nérib, and O. Lodygensky, "Computing on large-scale distributed systems: XtremWeb architecture, programming models, security, tests and convergence with grid," *Future Generation Computer Systems*, Vol.21, No.3, pp.417-437, Mar. 2005.
- [5] Korea@Home, <http://www.koreaathome.org/eng/>.
- [6] P. Kacsuk, J. Kovacs, Z. Farkas, A. C. Marosi, G. Gombas, and Z. Balaton, "SZTAKI Desktop Grid (SZDG): A flexible and scalable desktop grid system," *J. of Grid Computing*, Vol.7, No.4, pp.439-461, Dec. 2009.
- [7] Monica Vlădoiu ZC. "Development journey of QADP Z - a desktop grid computing platform," *Int. J. of Computers, Communications & Control*, Vol.4, No.1, pp.82-91, Mar. 2009.
- [8] A. Chien, B. Calder, S. Elbert, and K. Bhatia, "Entropy: architecture and performance of an enterprise desktop grid system," *J. of Parallel and Distributed Computing*, Vol.63, No.5, pp.597-610, May 2003.
- [9] United devices, <http://www.univa.com/>.
- [10] S. Choi, H. Kim, E. Byun, M. Baik, S. Kim, C. Park, and C. Hwang, "Characterizing and classifying desktop grid," *Proceedings of the 7th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid*, pp. 743-748, 2007.
- [11] S. K. Kwan and J. K. Muppala, "Bag-of-Tasks applications scheduling on volunteer desktop grids with adaptive information dissemination," *Proceedings of 2010 IEEE 35th Conference on Local Computer Networks(LCN)*, pp.544-551, Oct. 2010.
- [12] U.-S. Song, J.-M. Gil, and S.-H. Hong, "Checkpoint Sharing-Based Replication Scheme in Desktop Grid Computing," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol.181, pp.477-484, Sept. 2012.
- [13] D. Kondo, G. Fedak, F. Cappello, A. A. Chien, and H. Casanova, "Characterizing resource availability in enterprise desktop grids," *Future Generation Computer Systems*, Vol.23, No.7, pp.888-903, Aug. 2007.
- [14] K. S. Trivedi, *Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications*, John Wiley & Sons Inc., 2002.
- [15] J. M. Gil, C. Park, and Y. S. Jeong, "Adaptive result verification based on fuzzy inference model in desktop grid environments," *Journal of Internet Technology*, Vol.13, No.1, pp.147-158, Jan. 2012.
- [16] R. Xu and D. Wunsch, *Clustering*, John Wiley & Sons Inc., 2008.
- [17] R. Zheng and J. Subhlok, "A quantitative comparison of checkpoint with restart and replication in volatile environments," *Technical report*, University of Houston, 2008.



손진곤

1988년 : 고려대학교 대학원 (이학 석사)

1991년 : 고려대학교 대학원 (이학 박사-전산학)

1991년~현재 : 한국방송통신대 컴퓨터학과 교수
1997년~1998년: State University of New York (Stony Brook) Visiting Professor

2010년~2010년: 한국정보처리학회 부회장

2006년~현재 : 이러닝학회 부회장

관심분야 : 컴퓨터통신망, 분산시스템, 그리드 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, e-Learning, 정보기술 표준화 등



길준민

1996년 : 고려대학교 대학원 (이학 석사)

2000년 : 고려대학교 대학원 (이학 박사-분산컴퓨팅)

1998년~2001년: 고려대학교 기초과학연구소 전문연구원

2001년~2002년: 일리노이대학교(시카고), Post-Doc.

2002년~2006년: KISTI 슈퍼컴퓨팅센터 선임연구원

2006년~현재 : 대구가톨릭대학교 IT공학부 교수

관심분야 : 클라우드 컴퓨팅(Cloud Computing), 그리드 컴퓨팅(Grid Computing), 결함포용 시스템(Fault-Tolerant System) 등