

무선 통신 기반 분산 컴퓨팅에서 낙오 효과를 고려한 연산 처리 속도 향상 기법

문용근, 양희철
금오공과대학교

masuriji@kumoh.ac.kr, hc.yang@kumoh.ac.kr

Speeding up data processing in wireless distributed computing with stragglers

Yongguen Moon, Heecheol Yang
Kumoh National Institute of Technology

요 약

본 논문은 무선 분산 컴퓨팅에서 낙오 효과를 고려하여 동작 속도를 향상시킬 수 있는 기법을 다룬다. 무선 분산 컴퓨팅의 가변적이고 비대칭적인 채널 상태를 고려하여 채널 상태에 따른 통신 전력 할당 기법과 우선 제거 기법을 제시하였다. 또한, 실험을 통해 기존 기법보다 연산 처리 시간이 감소함을 확인하였다.

I. 서 론

본 논문에서는 무선 통신 기반 분산 컴퓨팅에 대하여 다룬다. 분산 컴퓨팅이란 하나의 연산을 마스터(master)와 여러 개의 워커(worker)를 이용해 처리하는 시스템을 말한다. 마스터는 하나의 큰 연산을 여러 개의 작은 연산으로 나눠 각 워커에 전송한다. 각 워커는 할당된 연산을 끝낸 뒤 연산 결과를 다시 마스터에게 전송한다. 마스터는 수신한 연산 결과를 통해 전체 연산 결과를 복구한다. 하지만, 모든 워커의 연산 값을 받아야 전체 연산 결과를 복구할 수 있어 가장 느린 워커의 동작 시간이 전체 연산 시간을 결정짓게 된다. 이러한 현상을 낙오 효과(straggling effect)라고 한다.

낙오 효과에 의한 속도 저하는 Maximum Distance Separable (MDS) 부호를 이용하여 줄일 수 있다는 것이 밝혀졌다 [1]. MDS 부호를 데이터 부호화에 적용할 경우, 마스터가 N개의 워커 중 K개 워커의 연산 결과만으로 전체 연산 결과값을 복구할 수 있다. 이 때, 개별 워커의 계산량이 늘어남에 따라 계산 시간 또한 늘어나게 된다. 하지만, 가장 빠른 K개 워커의 연산 결과만을 기다림으로써 낙오 효과를 감소시킬 수 있다.

무선 통신 환경에서 가변적 채널 상태로 인해 마스터와 워커 간 데이터 전송을 위해 필요로 하는 통신 시간

이 수시로 변하는 특징을 가진다. 본 논문에서는 MDS 부호를 도입한 무선 통신 기반 분산 컴퓨팅에서 통신 시간을 고려한 전력 할당 기법과 우선 제거 기법을 통해 평균 동작 시간을 감소시키는 방안에 대해서 연구한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 하나의 마스터와 N개의 워커로 구성되어 있고 MDS 부호를 도입한 분산 컴퓨팅에서 $y = Ax$ ($A \in \mathbb{R}^{q \times r}$, $x \in \mathbb{R}^{r \times 1}$)의 선형 연산을 수행하는 환경을 고려하였다. 워커 i의 동작 시간은 마스터에서 워커에 데이터를 보내는 통신 시간 T_{s1}^i , 워커의 계산 시간 T_c^i , 워커에서 마스터에 연산 결과를 보내는 통신 시간 T_{s2}^i 의 합으로 결정된다. 계산 시간 T_c 는 $\Pr[T_c \leq t] = 1 - e^{-\mu K(t - \frac{\alpha}{K})}$ [2]로 결정된다. 이 때 μ 는 낙오 효과의 크기를 나타내는 낙오 상수, α 는 계산 시간의 크기를 나타내는 계산 상수이다. 워커 i와의 통신 시간은 $T_s^i = \frac{D_i}{C_i}$ [s]로 결정된다. 이 때 D_i 는 데이터 크기 D[bits], C_i 는 마스터와 워커 i간의 채널 용량 [bits/s]이다. 채널 용량 C_i 는 $C_i = B_i \log_2(1 + \frac{P_i \times h_i}{B_i \times N_i})$ 로 정의된다. 이 때 B_i 는 대역폭[Hz], N_i 은 잡음 전력[watt], h_i 는 채널 상태, P_i 는 전력[watt]이다.

III. 속도 향상 기법

본 논문에서는 마스터가 통신에 사용할 수 있는 최대

전력량 $P = \sum_{i=1}^N P_i$ 가 제한되어 있다고 가정한다. 또한 마스터가 각 워커들의 채널 상태를 알고 있다는 가정 하에 다음과 같은 2가지 속도 향상 기법을 제시한다.

III-A. 채널 상태에 따른 전력 할당 기법

마스터의 최대 전력량이 제한되어 있으므로 각 워커와의 통신에 효율적으로 전력을 할당한다면 전체 연산 시간을 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 마스터와 워커 간 채널 상태에 따른 3가지 전력 할당 방법을 고려하였다

1) 동등 전력 할당: 채널 상태와 관련없이 모든 워커에 동일한 양의 전력을 할당한다. 이때 각 워커와의 통신에 사용되는 전력은 $\frac{P}{N}$ 로 일정하다.

2) 채널 상태 반비례 전력 할당: water-filling 알고리즘과 유사한 방법으로 각 워커의 채널 상태에 반비례하게 전력을 할당한다. 이 경우, 마스터와 각 워커 간 통신 시간 T_s 는 모두 동일하다.

3) 채널 상태 비례 전력 할당: 기존의 최적 통신 전력 할당 기법과 유사하게 좋은 채널 상태를 가지는 워커와의 통신에 많은 전력을 할당한다.

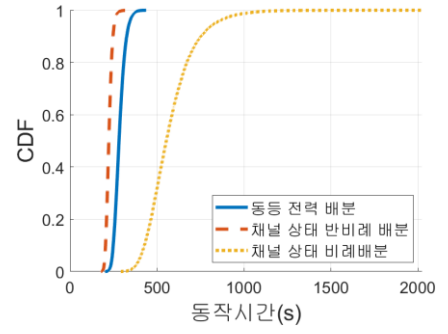
III-B. 채널 상태에 따른 우선 배제 기법

채널 상태가 좋지 않은 워커를 배제하고 연산을 할당하지 않는 경우, 채널 상태가 좋은 워커에 더 많은 전력을 할당할 수 있다. 따라서, 채널 상태에 따라 일부 워커를 우선적으로 배제하는 기법을 적용하였다. 만약 M개의 워커를 배제할 경우, $(N - M, K)$ MDS 부호를 적용할 수 있다. M개의 워커를 배제함에 따라 나머지 워커에 전달되는 연산 크기가 커지고 낙오 효과 또한 증가하지만, 더 많은 전력을 할당함으로써 통신 시간의 이득이 있다.

IV. 실험 결과

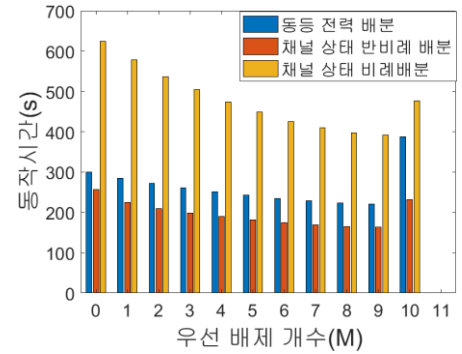
본 장에서는 시뮬레이션을 통해 앞서 제안한 속도 향상 기법의 성능을 검증하였다. MDS 부호를 적용하여 50개의 워커 중, 40개의 연산 결과를 받는 분산 컴퓨팅 환경을 설정하였다. 또한, $\mu = 0.1, \alpha = 1500, B = 20 \times 10^8, N = 10, P = 100, D = 1000$ 로 가정하였으며, h_i 는 레일리 분포를 따르고, 마스터가 알 수 있다고 가정한다.

[그림 1]에 따르면 채널 상태 반비례 전력 할당 기법이 통신 시간의 비대칭으로 따른 낙오 효과를 줄여 평균 동작시간이 가장 빠르다는 것을 알 수 있다.



[그림 1] 전력 할당 기법에 따른 평균 동작 시간

[그림 2]에 따르면 우선 배제 기법을 통해 일부 채널 상태가 나쁜 워커를 배제하여 동작 시간이 줄일 수 있음을 알 수 있다. 추가로, 10개의 워커를 무시할 경우 낙오 효과를 줄이는 MDS 부호의 이득을 얻을 수 없어 동작 시간이 증가하는 것을 알 수 있다.



[그림 2] 우선 배제 기법에 따른 평균 동작 시간

V. 결론

본 논문에서는 (N, K) MDS 부호를 도입한 분산 컴퓨팅에서 채널 상태에 따른 전력 할당 기법과 우선 배제 기법을 제안하였고, 이에 따라 동작 시간을 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 한국연구재단(NRF-2020R1G1A1003759),

금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음.

참 고 문 헌

- [1] K. Lee, M. Lam, R. Pedarsani, D. Papailiopoulos, and K. Ramchandran "Speeding up distributed machine learning using codes" *IEEE Trans. on Inf. Theory*, vol. 64, no. 3, pp1514-1529, Mar. 2018.
- [2] J. Dean and L. A. Barroso, "The tail at scale," *Commun. ACM*, vol. 56, no. 2, pp. 74-80, Feb. 2013.