

사설 네트워크 (NPN) 컴퓨팅 자원 공유를 위한 Multi-Armed Core ROuting (MACRO) 알고리즘

국수진*, 서세진*, 김성륜^o

Multi-Armed Core Routing (MACRO) Algorithm for Sharing Non-Public-Network (NPN) Computing Resources

Sujin Kook*, Sejin Seo*, Seong-Lyun Kim^o

요약

본 레터에서는 사설 네트워크 (NPN; Non-Public-Network)에서 코어 연동을 통하여 컴퓨팅 자원을 공유함으로써 데이터 처리 시간을 단축할 수 있는 방법에 대하여 제안한다. MAB (Multi-Armed Bandit) 문제를 기반으로 컴퓨팅 자원에 대한 사전 정보의 공유 없이 최적의 자원을 선택할 수 있는 방식을 설계하였다. 모의실험을 통하여 컴퓨팅 자원을 공유하는 구조에서 제안하는 알고리즘을 사용할 때 데이터 처리 시간에서 약 32%의 이득이 있는 것을 확인하였다.

Key Words : Smart Factory, Private 5G, Non-Public Network, Core Switching, MEC, UCB algorithm

ABSTRACT

This letter proposes a way to shorten the data processing time by sharing computing resources through core inter-working in a non-public network

(NPN). Our proposed algorithm adopts MAB for selecting optimal resources without any prior information on computing resources. Through simulations, we show there is a benefit of about 32% in data processing time.

1. 서론

최근 통신 기술의 발달과 함께, 스마트공장에 대한 수요가 증가하고 있다. 스마트공장에서는 일의 효율성 증대 및 생산성의 향상을 위하여 다양한 센서 정보를 측정하고, 데이터를 수집하는 것이 주요한 요소이다. 수집된 정보의 질적 향상을 위해 딥러닝을 활용한 처리 방식이 늘어나고 있으며, 딥러닝을 지원하기 위한 컴퓨팅과 네트워크 장비의 배치는 중요한 문제로 활발히 연구되고 있다¹⁾.

스마트공장에서는 대규모의 데이터 무선 전송, 저지연 서비스 지원을 필요로 하는데 비해, 현재 공중망 (Public Network)에서는 스마트공장에서 요구하는 조건을 맞추기 어렵다. 이런 통신의 장애 요소를 해결하기 위하여 최근 3GPP에서 정의한 사설 네트워크 (NPN)의 도입이 많이 고려되고 있다²⁾. 사설 네트워크는 특정 지역 및 사업장에서 독립적인 네트워크를 구성할 수 있게 해주는 기술이며, 필요에 따라 맞춤형 서비스를 지원할 수 있게 해준다.

본 논문에서는 사설 네트워크³⁾ 내의 코어 연동을 통하여 컴퓨팅 자원을 공유하는 시스템에 대하여 다룬다. 연동된 코어망에 연결된 다양한 컴퓨팅 자원을 효율적으로 활용하여, 데이터 처리 지연시간을 단축하기 위한 연구를 진행하였다. 다중 코어 구조에서 컴퓨팅 자원의 성능에 대한 정보 없이 사용자의 데이터를 처리할 컴퓨팅 자원을 어떻게 선택할 것인지가 본 연구의 중요한 문제이다.

강화학습에서 다루어지는 Multi-Armed Bandit (MAB) 문제⁴⁾를 다중 코어 시스템에서 컴퓨팅 자원 선택 문제에 적용해 보고, 사용자의 데이터를 처리할 컴퓨팅 자원을 선택하는 Multi-Armed Core ROuting (MACRO) 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘이 연동된 코어와 컴퓨팅 자원 사이의 효율적인 라우

* 이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (1711134613, 2021-0-00270, 식품공장 생산성 향상 및 유연 포장 자동화-최적화를 위한 5G MEC 프레임워크 개발)

• First Author : (ORCID:0000-0003-3300-7906) School of EEE, Yonsei University, sjkook@ramo.yonsei.ac.kr, 학생(통합과정), 학생회원

◦ Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-5228-9913) School of EEE, Yonsei University, slkim@ramo.yonsei.ac.kr, 정교수, 중신회원 (ORCID:0000-0002-3779-6108) School of EEE, Yonsei University, sjseo@ramo.yonsei.ac.kr, 학생(통합과정)

* 논문번호 : 202111-315-B-LU , Received November 17, 2021; Revised December 10, 2021; Accepted December 13, 2021

팅이 가능하게 함으로써, 데이터 처리 지연시간을 감소할 수 있음을 모의실험을 통하여 보이고자 한다.

II. 시스템 모델

본 레터에서 고려하는 사설 네트워크 다중 코어 시스템은 그림 1과 같이 N개의 코어로 구성되어 있으며, 코어의 연동을 통하여 각 컴퓨팅 자원을 공유한다. 사용자는 우선권을 지닌 코어를 통하여 컴퓨팅 자원을 활용하며, 연동된 코어의 좋은 컴퓨팅 자원을 탐색하여 데이터를 전달하여 처리한다. 연결된 컴퓨팅 자원을 활용하기 위하여 코어를 변경하는 것을 코어 스위칭 기술이라고 정의한다.

코어 사이의 연결은 유선으로 되어있고, 컴퓨팅 자원은 하드웨어 성능에 의존하며, 시간에 따라 일정 범위 내에서 변한다. 코어 스위칭 기술에 따른 데이터 처리 지연시간은 통신 지연시간, 데이터 처리시간, 코어 스위칭 시간으로 구성된다.

통신 지연시간은 각 노드 사이의 유선 구간의 거리로 인하여 발생하며, 유선 구간의 거리에 따라서 비례하여 증가한다. 데이터 처리 시간은 컴퓨팅 자원의 성능에 따라 변하며, 컴퓨팅 자원의 CPU cycle frequency에 영향을 받는다. 코어 스위칭 시간은 기존에 연결된 코어와 다른 코어에 연결을 진행함으로써 발생하는 지연시간이다. 코어 스위칭을 해야 다른 코어에 연결된 컴퓨팅 자원으로 사용자의 데이터를 라우팅 할 수 있다.

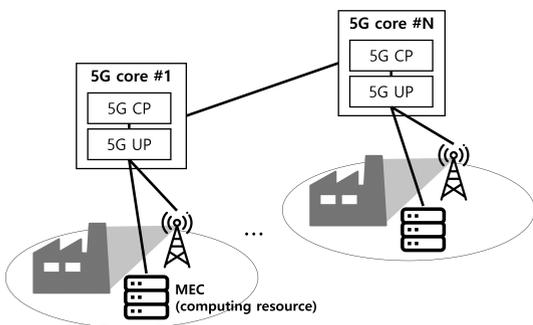


그림 1. 사설 네트워크 다중 코어 시스템
Fig. 1. Non-Public-Network Multi-core system.

III. Multi-Armed Core ROuting (MACRO) 알고리즘

선택해야 하는 자원에 대한 정보를 알 수 없는 상

태에서, 컴퓨팅 자원에 대한 탐색과 활용 (Exploration and Exploitation)을 통하여 최적의 컴퓨팅 자원을 선택하기 위하여 Multi-Armed Bandit (MAB) 문제를 차용하였다. 대부분의 MAB 문제에서는 사용자가 얻을 수 있는 기대효과를 최대화하기 위한 방식으로 알고리즘이 동작한다. 본 연구에서 제안하는 MACRO 알고리즘은 사용자의 데이터 처리 지연시간을 단축하고자 하는 목표에 따라, 지연시간의 기댓값이 최소화 되는 방향으로 자원을 선택할 수 있도록 설계하였다.

MAB 문제에서는 자원을 탐색하면서 얻은 정보를 통하여 자원의 기대효과를 예상하므로 기대효과에 대한 일정 범위의 불확실성이 발생한다. 기대효과와 불확실성에 대한 범위를 기대효과에 대한 신뢰구간이라고 이야기한다. 자원을 선택할 때, 선택에 따른 기대효과와 신뢰구간을 함께 고려하기 위하여 UCB (Upper Confidence Bound) 알고리즘이 사용되고 있으며,^[5] 다음과 같이 알고리즘을 수식화하여 표현할 수 있다.

$$A_t = \operatorname{argmax}_a \left[Q_t(a) + \alpha \sqrt{\frac{\log t}{N_t(a)}} \right] \quad (1)$$

A_t 는 현재 시행까지 얻어진 정보를 고려하여, 다음 시행에서 탐색 되는 자원을 의미한다. $Q_t(a)$ 는 현재 시행까지 a 라는 자원을 선택하여 얻은 기대효과, $N_t(a)$ 는 현재 시행까지 a 라는 자원이 선택된 횟수를 의미한다. t 는 전체 시행 횟수를 의미하며, α 는 탐색에 대한 정도를 결정하는 하이퍼 파라미터이다. (1)의 식의 왼쪽 항은 기대효과가 높은 것을 선택하게 함으로써 현재까지의 자원 정보를 활용하게 하고, 오른쪽 항은 불확실성에 대한 upper bound를 더해줌으로써 다른 자원에 대한 탐색을 하게 한다.

MACRO 알고리즘은 지연시간이 가장 짧은 자원을 선택하기 위하여, UCB 알고리즘에서 활용한 upper bound가 아닌 lower bound를 활용하였다. MACRO 알고리즘에서 다음 시행의 자원을 선택하는 수식은 다음과 같다.

$$A_t = \operatorname{argmin}_a \left[Q_t(a) - \alpha \sqrt{\frac{\log t}{N_t(a)}} + \frac{T_{\text{switching}}}{N_r} \right] \quad (2)$$

$T_{\text{switching}}$ 은 코어 스위칭 시간, N_r 은 남은 데이터 처리 횟수를 의미한다. (2)의 두 번째 항은 기대효과에 대한 신뢰구간의 lower bound와 관련되어 있다.

탐색에 대한 정도를 α 로 설정하여, 신뢰구간에 대한 가중치를 부여한다. α 가 증가하면, 신뢰구간의 비중이 증가하여 샘플링에 의해 구해진 평균 기대효과보다 탐색으로 얻을 수 있는 기대효과가 더 크게 계산된다. 다시 말하여, α 가 큰 경우 탐색에 대한 비중이 높아져 샘플링이 적은 컴퓨팅 자원에 대하여 적극적으로 탐색을 하게 한다. 마지막 항은 코어 스위칭 패널티를 의미하며, 코어 스위칭을 고려하여 자원에 대한 탐색을 진행하기 위하여 설정하였다. 남은 데이터가 많은 경우 기꺼이 스위칭 지연시간을 감수하고 성능이 좋은 컴퓨팅 자원을 찾기 위하여, 코어 스위칭 패널티를 $T_{switching}$ 을 남은 데이터 처리 횟수로 나누어 설정하였다. MACRO 알고리즘에서는 기대효과가 낮은 것을 선택하여 자원의 정보를 활용, 신뢰구간의 lower bound와 코어 스위칭 패널티에 의하여 자원에 대한 탐색을 진행한다.

IV. 실험

본 절에서는 모의실험을 통하여 코어 스위칭 기술과 제안한 MACRO 알고리즘에 대한 성능을 도출하였다. 모의실험에서는 한국과 유럽 사이의 연결⁶⁾되어 있는 두 개의 코어를 연동하였고, 각 코어에 두 개의 컴퓨팅 자원이 연결된 상황을 가정하였다. 사용자가 데이터를 전송하였을 때, 데이터 처리 지연시간에 대한 결과를 확인하였으며 그림 2를 통해 확인할 수 있다.

그림 2에서 'No core switching'은 코어 스위칭을 하지 않고, 하나의 컴퓨팅 자원만을 사용하는 경우이며, 4개의 컴퓨팅 자원을 각각 사용하였을 때 발생한 지연시간에 대한 평균값을 의미한다. 'Random'은 컴퓨팅 자원에 대한 아무런 고려 없이, 무작위로 컴퓨팅 자원을 선택하는 경우를 의미한다. ' ϵ -greedy'⁷⁾는 MAB 문제에서 많이 다루어지는 방식으로, 기본적으로 샘플링을 통하여 얻어진 기대효과를 통하여 다음 자원을 결정하나, 일정 확률 (ϵ)로 다음 자원을 무작위로 결정하는 경우이다. 'MACRO'는 제안하고 있는 알고리즘에 대한 결과 값으로, 탐색의 정도를 조절하는 α 값을 각각 0.1과 1로 설정하여 탐색의 정도에 따른 결과를 차이를 확인하였다. 'Upper bound'는 사용자가 컴퓨팅 자원을 선택할 때, 모든 컴퓨팅 자원의 성능에 대하여 알고 있다고 가정하고 가장 빠른 컴퓨팅 자원을 선택한 결과이며, 결론적으로 이론적 한계치를 의미한다.

'MACRO' 알고리즘의 경우 이론적 한계치와 유사

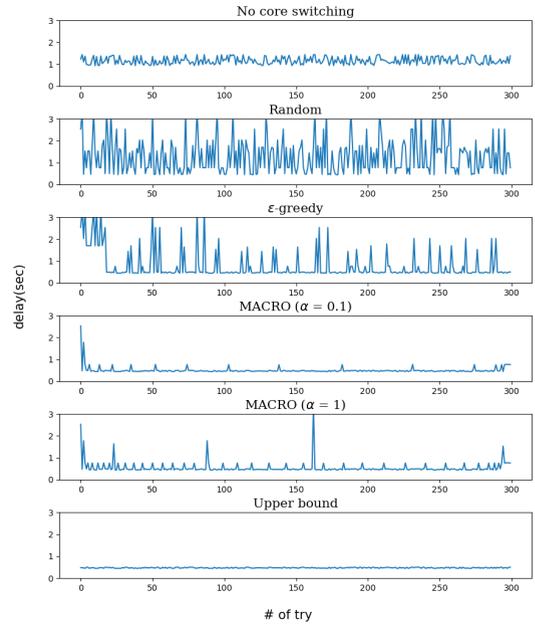


그림 2. MACRO 알고리즘의 데이터 처리 지연시간 성능
Fig. 2. Data processing delay time performance of MACRO algorithm

한 지연시간을 보였다. 탐색의 정도를 조절하는 α 를 0.1과 1로 바꾸어 그림 2에서 MACRO 알고리즘의 성능 차이를 나타내었다. 식 (2)에서 설명하였듯이, α 의 값이 클수록 샘플링이 적은 컴퓨팅 자원에 대하여 더욱 활발히 탐색하는 현상을 확인하였다.

V. 결론

본 레터에서는 사설 네트워크 다중 코어 시스템에서 데이터 처리 지연시간을 단축할 수 있도록 컴퓨팅 자원을 선택하는 라우팅 알고리즘에 대하여 제안하였다. 코어 스위칭을 통하여 컴퓨팅 자원을 공유함으로써 데이터 처리 지연시간을 감소할 수 있음을 보였다. 제안한 MACRO 알고리즘이 코어 스위칭을 하지 않는 경우보다 평균 약 32%의 지연시간 단축하였으며, 이론적 한계치와 비교해 약 94%의 성능을 성취함을 실험적으로 확인하였다.

References

- [1] S. Seo, S.-W. Ko, J. Park, S.-L. Kim, and M. Bennis, "Communication-efficient and personalized federated lottery ticket learning," *IEEE SPAWC 2021*, Lucca, Italy, Sep. 2021

- [2] K. Sung, et al., PriMO-5G Deliverable D1.2 “*End-to-End PriMO-5G network architecture*,” (2020), Retrieved Nov. 12, 2021, from <https://primo-5g.eu/download/609/>
- [3] H.-D. Kim, “A study on the interoperability of private 5g mobile network with commercial network,” *J. Inst. Inf. and Telecommun. Facility Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 32-36, 2019.
- [4] A. Peter, et al., “The nonstochastic multiarmed bandit problem,” *SIAM J. Comput.*, vol. 32, no. 1, 2002.
- [5] S. Seo, S. Kim, S. Kook, S.-H. Baek, and S.-L. Kim, “Constructing 3-dimensional 5G coverage map for real-time aerial missions,” *ACM MobiCom 2020*, London, UK, Sep. 2020.
- [6] R. Jantti, et al., PriMO-5G Deliverable D5.3 “*Final report - End-to-End immersive demonstrations*,” Retrieved Nov. 12, 2021 from <https://primo-5g.eu/download/713/>
- [7] R. S. Sutton and A. G. Barto, “*Reinforcement learning: An introduction*,” MIT press, 2018.