

Raft 알고리즘의 성능 향상을 위한 연합학습 기반 지도자 선출 기법

김동희, 도인실, 채기준*

이화여자대학교

ddonghe.kim@ewhain.net, isdoh1@ewha.ac.kr, kjchae@ewha.ac.kr*

Federated Learning-based Leader Election Mechanism for Performance Improvement of Raft Algorithm

Donghee Kim, Inshil Doh, Kijoon Chae*

Ewha Womans University

요 약

블록체인에서 합의는 블록을 체인에 추가하고 데이터를 모든 노드가 동일하게 유지될 수 있도록 하는 중요한 과정이다. 최근 하이퍼레저 패브릭과 같은 프라이빗 블록체인에서 높은 효율성과 단순성을 가지면서도 통신비용이 적은 Raft의 사용이 확산되고 있다. 그러나 Raft는 지도자(leader)의 네트워크 성능이 전체적인 합의 성능에 높은 영향이 미치므로 네트워크 안정성을 극대화할 필요가 있다. 본 논문은 연합학습을 적용하여 새로운 지도자 선출 방법을 제안한다. 참여 노드의 네트워크 환경에 따라 성능이 최대화되는 지도자를 선출함으로써 Raft의 성능 향상을 보장할 수 있다.

I. 서 론

4차 산업 혁명의 핵심기술로 발표됨에 따라 미래 혁신에 대한 기대가 높아지면서 기술 적용이 확산되고 있는 블록체인은 분산 네트워크 환경에서 검증과 합의를 통해 정확성과 투명성을 보장하는 데이터 공유 기술을 의미한다[1]. 블록체인을 구성하는 기술은 두 가지가 있다. 네트워크에서 연결된 노드 간에 데이터를 공유하는 기술인 원장과 각각의 노드가 공유하고 있는 원장의 일관성을 유지하는 기술인 합의 알고리즘이다. 합의 알고리즘은 사용자의 환경에 따라 효율적으로 사용될 수 있는 적절한 알고리즘 방식을 적용하여 데이터의 무결성과 정확성을 유지되도록 한다.

블록체인 환경은 누구나 노드로 참여하고 합의 과정에 참여할 수 있는 퍼블릭 블록체인(Public Blockchain)과 제한된 사용자만으로 합의가 이루어지는 프라이빗 블록체인(Private Blockchain)으로 분류할 수 있다. 프라이빗 블록체인에서 사용되는 합의 알고리즘은 PBFT(Practical Byzantine Fault Tolerance)와 Raft가 대표적이다. PBFT는 합의 과정에서 발생하는 통신 메시지의 복잡도가 크고, 이는 확장성에 한계가 있다. 반면, Raft는 지도자(leader)가 모든 클라이언트의 요청을 처리한 내용을 로그에 포함시켜 복제를 통해 노드에 전송하는 지도자 기반 알고리즘으로 PBFT에 비해 적은 통신비용으로 합의가 가능하다. 이러한 이점으로 다수의 프라이빗 블록체인 환경에서는 Raft를 합의 알고리즘으로 적용하고 있다. 그러나 Raft는 노드 장애와 통신 중단으로 인해 노드의 절반 이상이 현재 지도자의 통제를 벗어나는 네트워크 분할(Network Split) 위험이 존재한다. Raft에서 네트워크 분할이 발생하면 새로운 지도자 선출 기간(Term)으로 기간 변경이 진행되는데, 새로운 지도자 선출 기간 동안 지도자는 클라이언트의 새로운 요청에 대한 수용을 중지한다[2]. 합의는 트랜잭션을 처리하여 블록을 생성하는 것이므로 요청을 중지하면 TPS(Transaction Per Second)가 감소하고 블록 생성 시간과 블록 확정 시간이 길어진다. TPS와 블록 생성 및 확정 시간은 블록체인 합의 성능을 판단하는 주요 기준으로서 시간이 적게 걸릴수록 높은 성능이라고 할 수 있다[3]. 따라서 Raft는 네트워크 분할 발생 빈도가 높을수록 블록체인 합의 성능이 저하

된다는 취약점이 존재하므로 성능을 높이기 위해 네트워크 안정성을 보장할 수 있는 지도자 선출이 요구된다. 본 논문은 연합학습을 적용하여 네트워크 안정성과 관계되는 매개변수에 대해 학습하고 이를 기반으로 유동적인 네트워크 환경 상태에 따라 최적의 네트워크 안정성을 갖는 지도자를 선출하는 방법을 제안한다. 이를 통해 블록 생성 시간을 단축함으로써 Raft의 성능 향상을 기대할 수 있다.

II 관련 연구

1. 연합학습(Federated Learning)

분산된 훈련 데이터를 사용하여 심층 신경망(DNN, Deep Neural Networks)을 훈련하는 기계학습 방법인 연합학습은 동일한 학습 모델을 분산하여 학습하고 한곳에 모아 더 정교한 모델을 만들어 예측 결과의 정확도를 높인다[4]. 연합학습은 클라이언트가 분산 학습을 진행하여 서버에서 하나의 연합학습 모델을 구축하므로 단일장애지점(SPOF, Single Point Of Failure)과 같은 중앙집중형 네트워크의 한계가 발생하는 것을 방지할 수 있고 서버의 저장공간에 대한 부담이 적으며 입력값의 차원을 축소시켜 모델의 복잡도를 낮출 수 있다는 이점을 갖는다. 또한 분산 네트워크인 블록체인에서 사용되었을 때, 클라이언트가 서버에 합의를 위임하는 의미를 가지기 때문에 연합학습이 중앙 서버에서 모델을 학습하는 방법보다 블록체인 네트워크 환경에 적합한 학습이라고 할 수 있다.

2. Raft의 지도자 선출 방법

Raft는 노드를 1) 지도자(leader) 2) 후보자(candidate) 3) 추종자(follower)의 세 가지 역할로 나누어 합의를 진행한다[5]. 합의에 참여하는 각 노드는 반드시 하나의 역할을 수행하며 그림 1과 같이 타임아웃에 의해 역할이 전환된다. 이때, 여러 후보자가 동시에 추종자로 전환될 확률을 감소시키기 위해 타임아웃의 타이머는 무작위로 설정된다.

지도자의 생존 응답이 없는 추종자가 발생하면 해당 노드는 후보자로 전환되고 다른 추종자들에게 지도자 선출을 요청한다. 지도자의 생존 응답이 없다고 판단되는 다른 추종자는 새로운 지도자 선출에 동의하는 응답

을 보낸다. 동의하는 응답이 절반을 넘지 않으면 후보자는 추종자로 다시 전환되고 지도자 선거 기간을 중지한다. 과반수가 동의한 경우, 새로운 지도자 선출을 시작한다. 네트워크 내에서 후보자가 하나라도 발생하면 새로운 지도자 선거 기간을 시작한다.

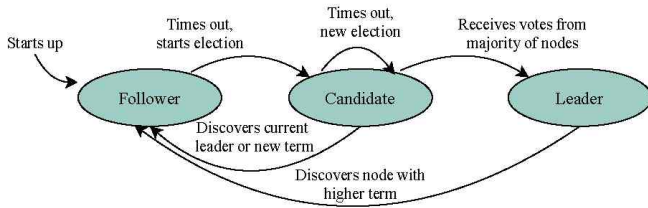


그림 1. Raft에서 노드의 상태 전환

III. 연합학습 기반 지도자 선출 방법 제안

제안하는 방법은 Raft가 프라이빗 블록체인에 사용되는 특성에 따라 네트워크 내에 악의적인 노드는 없으며, 참여 노드의 수는 합의를 진행하는 동안 고정된다고 가정한다. 또한 지도자 선출 방법을 제외한 과정은 Raft의 기존 합의 방식과 동일하다. 먼저, 노드에 대한 네트워크 안정도를 계산하기 위해 매개변수를 선정한다. 매개변수를 측정하여 각 매개변수가 네트워크 안정도에 영향을 주는 정도를 계산한다. 영향을 주는 정도에 따라 매개변수에 가중치를 주어 현재 가장 높은 네트워크 안정도를 보장할 것으로 예측되는 최적의 노드를 지도자로 선출하는 과정을 따른다. 본 논문에서 제안하는 총 4가지의 매개변수는 다음과 같다. 1) 네트워크 분할 횟수: 현재 기간 동안 해당 노드의 생존을 확인하지 못한 횟수를 측정하면 두 노드 사이의 네트워크 분할 빈도를 확인할 수 있다. 후보자가 발생한 횟수를 측정해 지도자 노드의 네트워크 안정성에 대해 평가한다. 2) 데이터가 담긴 체인의 정확성: 만약 다른 노드와의 네트워크 분할 발생 빈도가 높은 노드라면 정확한 체인을 유지할 수 없으므로 해당 노드보다 최신이거나 같은 체인을 가졌는지 확인이 필요하다. 3) 설정된 타임아웃 기간: 랜덤으로 설정되는 타임아웃 타이머가 해당 노드의 네트워크 안정도에 영향을 미치는지 고려할 필요가 있다[2]. 4) 네트워크 응답 속도: 해당 노드의 컴퓨팅 성능과 네트워크 안정도 상태를 확인할 수 있다.

매개변수는 노드의 네트워크 환경에 따라 네트워크 안정도에 대한 영향력의 크기가 달라진다. 이전 지도자들에 대한 네트워크 안정도와 매개변수의 관계를 학습하여 매개변수 영향력의 크기를 계산한다. 이 결과로 네트워크 환경에 적합한 매개변수 가중치를 두어 노드의 네트워크 안정도를 판단한다. 각 노드는 지도자 노드에 대해 다른 매개변수 측정값을 가진다. 따라서 노드가 지역적 데이터 집합에 대해 학습하기 위해 자체적으로 학습 모델을 가지는 연합학습을 적용한다.

연합학습을 적용한 지도자를 선출하는 기법의 전체 과정은 그림 2와 같다. 추종자들은 지도자가 블록을 생성하는 동안 이전 지도자들의 매개변수 데이터 집합을 사용하여 모델을 학습하면서 다른 추종자에 대한 매개변수를 측정하여 데이터 집합을 만든다. 후보자 상태 전환과 지도자 선거 기간의 시작은 Raft 알고리즘과 같다. 과반수 이상의 추종자가 동의하여 지도자 선출이 합의되면 후보자는 다른 추종자에게 파라미터값 집합을 전송받아 평균값으로 파라미터가 설정된 연합학습 모델을 만든다. 모델에서 계산한 매개변수 영향력의 정도에 따라 후보자가 블록 생성 기간 동안 수집한 데이터 집합에 각 매개변수에 가중치를 두어 네트워크 안정도 값을 계산하고 이를 근거로 추종자를 오름차순으로 정렬한다. 우선순위가 높은 추종자에게 새로운 지도자 지정 신호를 보내고 생존이 확인되면 다른 추종자들에게 새로운 지도자 선출 결과와 모델의 파라미터 집합을 전송하며 지도자 선거 기간을 종료한다.

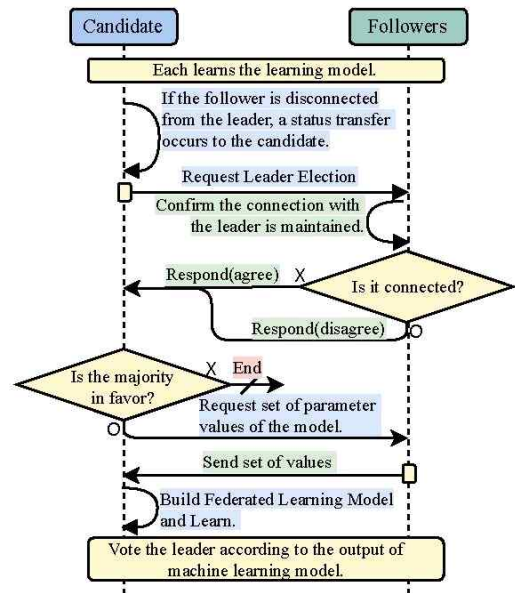


그림 2. 연합학습 기반의 지도자 선출과정

IV. 결론

프라이빗 블록체인에서 사용되는 Raft 알고리즘은 지도자의 네트워크 성능이 전체적인 합의 성능에 큰 영향을 미치므로 높은 네트워크 안정성을 보장하는 지도자를 선출하는 것은 알고리즘 성능 향상을 위한 중요한 요인이 된다. 본 연구에서는 연합학습 기반의 네트워크 안정도 평가에 따라 새로운 지도자를 선출하는 방안을 제안하였다. 그러나 모델 학습 소요 시간에 따라 지도자 선출 시간이 기존 Raft 알고리즘보다 길어질 수 있는 문제점이 있다. 향후 연구로 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법의 합의 성능에 대해 검증하며 지도자 선출 시간을 단축하는 방안과 고도의 효율성을 보장할 수 있는 연합학습 모델 동기화 방안에 대한 연구를 진행하여 더욱 발전시켜 나갈 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1F1A1A063194).

참고 문헌

- [1] 백영태, 민연아. (2020). "IoT 빅데이터와 블록체인 기술의 효과적 융합을 위한 수정된 PBFT연구," 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집, 28(1), 193-194.
- [2] D. Huang, X. Ma and S. Zhang, "Performance Analysis of the Raft Consensus Algorithm for Private Blockchains," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, vol. 50, no. 1, pp. 172-181, Jan. 2020, doi: 10.1109/TSMC.2019.2895471.
- [3] 김도균, 최진영, 김기영, 오진태. (2018). "평가항목 제안 및 분석을 통한 블록체인 분산합의 알고리즘 성능 개선," 한국산업경영시스템학회지, 41(4), 179-188.
- [4] <https://ai.googleblog.com/2017/04/federated-learning-collaborative.html>
- [5] D. Ongaro and J. Ousterhout, "In search of an understandable consensus algorithm," 2014 USENIX ATC pp. 305-319., 2014.