JKSCI

한국컴퓨터정보학회논문지
Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 25 No. 4, pp. 71-77, April 2020
https://doi.org/10.9708/jksci.2020.25.04.071

A study on the performance evaluation items of the private blockchain consensus algorithm considering consensus stability

Youn-A Min*

*Professor, Dept. of Applied Software Engineering, Hanyang Cyber University, Seoul, Korea

[Abstract]

Through the consensus algorithm, which is the core technology of the blockchain, the same data is accurately shared between connected nodes. The use of an appropriate consensus algorithm that considers the user and the usage environment ensures efficient maintenance of data integrity and accuracy. In this paper, we proposed a performance evaluation method for efficient selection of a consensus algorithm among authorized nodes considering the characteristics of a private blockchain platform, and applied the modified item to the existing published formula considering the number of authoritative connected nodes. Through this process, it was possible to simplify the consensus process considering the stability between nodes. The stability of the consensus process can be improved by selecting an appropriate consensus algorithm based on the proposed research.

▸ **Key words**: Blockchain, consensus algorithm

[요 약]

블록체인의 핵심기술인 합의알고리즘을 통하여 연결 노드 간 동일한 데이터를 정확하게 공유한다. 사용자 및 활용 환경을 고려한 적절한 합의 알고리즘 사용은 데이터 무결성 및 정확성 등을 효율적으로 유지하도록 한다. 본 논문에서는 프라이빗 블록체인 플랫폼의 특징을 고려하여 허가된 노드 간 합의 알고리즘 효율적 선정을 위한 성능평가방법을 제시하였으며 권위를 가진 연결 노드의 수를 고려하여 해당 항목을 기존 공개된 수식에 변형하여 적용하였다. 이러한 과정을 통하여 노드 간 안정성을 고려한 합의과정의 단순화가 가능하였다. 제안한 연구내용을 통한 적절한 합의 알고리즘 선정을 통하여 합의 과정의 안정성을 높일 수 있다.

▸ **주제어**: 블록체인, 합의 알고리즘

• First Author: Youn-A Min, Corresponding Author: Youn-A Min
*Youn-A Min (yah0612@hycu.ac.kr), Dept. of Applied Software Engineering, Hanyang Cyber University
• Received: 2020. 01. 30, Revised: 2020. 03. 31, Accepted: 2020. 03. 31.

http://www.ksci.re.kr pISSN:1598-849X | eISSN:2383-9945

I. Introduction

블록체인은 2009년 사토시 나가모토의 연구에 의해 암호화폐 기술로 처음 소개되었으며 네트워크에 연결된 노드 간 동일한 데이터를 공유하고 비가역적으로 관리할 수 있는 분산원장관리 기술이다[1].

블록체인은 데이터 관리 시 제 3의 중개자 없이 탈중앙화의 방식으로 저장·관리되며 데이터의 정확성을 유지하기 위하여 해시 값에 의한 암호화와 인증 과정을 거친다. 이러한 과정을 통하여 데이터의 정확성을 유지하고 전체 또는 선별된 참여 노드의 합의에 의하여 데이터가 공유된다[2].

블록체인은 익명의 노드들이 모두 참여하고 합의하는 퍼블릭 블록체인(Public Blockchain)과 허가된 노드만이 참여하여 합의하는 프라이빗 블록체인(Private Blockchain)으로 구분할 수 있다.

최근에는 프라이빗 블록체인 기반으로 정부기관, 기업 간 신뢰기반 기관간의 데이터 공유, 이력관리, 사용자 인증이 활발하게 활용되고 있다[3].

본 논문에서는 프라이빗 블록체인을 기반으로 한 허가된 기관 간의 데이터 공유 및 관리를 위하여 프라이빗 블록체인의 대표적 합의 알고리즘을 살펴보고 각각의 알고리즘이 가지고 있는 특징을 고려한 수식을 기반으로 사용자 환경에 적절한 합의 알고리즘 선정이 가능하도록 다양한 성능평가항목을 제안하였다.

II. Background

1. Blockchain technology

독일의 전문시장조사기관 Statista는 2018년 보고서에서 2018년 블록체인의 시장규모는 약 6,129억원, 2021년에는 약 2조 5,851억원에 달할 것이라 전망하였다[4]. 또한 미국의 시장조사기관인 Tractica는 2015년 조사한 발표보고서를 통하여 기업용 블록체인 시장 규모가 꾸준히 증가할 것을 Fig.1과 같이 예측하였다[5].

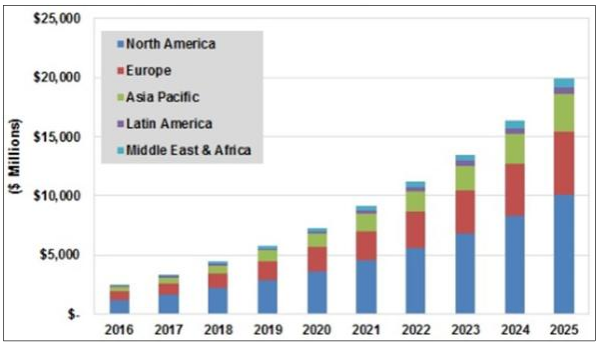

Fig. 1. Blockchain for enterprise Applications[5]

한국의 정부와 기업 역시 다양한 분야에서 블록체인을 활용하기위한 노력을 하고 있으며 제조. 유통, 공공서비스, 문화콘텐츠 등의 산업에 블록체인 기술 적용이 추진되고 있다.

다음은 2019년 KISA에서 발표한 정부의 공공선도 시범사업에서 블록체인 적용 추진 내용이다.

Table 1. 2019 public leading pilot project[6]

Agency	Blockchain pilot project
busan	Disaster Prevention and Response Service
seoul	Part-time workers' rights protection
KFDA	Food Safety Management Certification Service Platform
national Archives	Trust-based records management platform
defense industry	support defense business Builds, platform
military affairs agency	providing certificate-free civil service,, Builds platform
korea post pffice	Email Mailbox Management Platform

블록체인 기술 적용에 대한 글로벌 사례도 증가하고 있다. Table.2는 글로벌 국가단위의 블록체인 적용 추진사례이다.

Table 2. Blockchain applications in countries[7]

Country	Usage details
USA	Health data transparency through collaboration with IBM Watson Health
Estonia	The e-Estonian program is promoting policies to protect national networks, systems and data, including health, law and legislation
Dubai	Efforts to perform all transactions for its own citizens with blockchain
England	Promote blockchain history management of social security services

이와 같이 기업과 정부 등 허가된 노드 간 프라이빗 블록체인기술 적용이 활발해짐에 따라 해당 형태의 블록체인 플랫

폼에서 효율적으로 블록관리가 가능한 합의 알고리즘 선정 과정이 효율적 기술 활용을 위한 중요 요소가 될 수 있다.

2. Blockchain consensus algorithm

블록체인은 분산 네트워크를 통하여 노드를 연결하며 해당 환경에서 각 노드들이 동일한 데이터를 동일한 순서대로 관리할 수 있도록 하는 기술을 합의 알고리즘 이라한다[8].

블록체인의 합의 알고리즘을 통하여 트랜잭션 저장과 블록생성이 합의되며 생성된 데이터를 공유하고 투명하게 관리한다.

1) Public Blockchain Consensus Algorithm

퍼블릭 블록체인의 대표적 합의 알고리즘은 PoW(Proof of Work)와 PoS(Proof of Stake) 이다[8].

PoW는 퍼블릭 블록체인의 보편적인 합의 알고리즘으로써 과도한 컴퓨팅 파워를 이용하여 특정한 난이도의 해시값을 구하고 해당 값을 역함수 해시화하여 넌스(Nonce)값을 계산하고 검증하도록 한다[8].

```
M_value: Maximum value of difficulty (2256 - 1)
D: Difficulty
Hash value of block BO: HASH (BO) <= M_value / D
```

Fig. 2. Blockchain Process[8]

PoS는 PoW의 컴퓨팅파워 낭비에 대한 문제 해결을 위해 개발되었으며 각 노드가 보유한 자산을 기준으로 권한을 부여하고 합의 도출 및 보상을 분배한다[8][9].

2) Private Blockchain Consensus Algorithm

본 논문에서는 신뢰기반 기관의 합의 알고리즘에 적합한 프라이빗 환경의 합의 알고리즘 위주로 특징을 설명한다. 프라이빗 블록체인의 대표적 합의 알고리즘은 Paxos, PBFT, Raft이며 다음과 같이 다음과 같다.

① Paxos

연결 노드 중 Leader를 결정하여 과반수 동의하에 합의를 이루는 방식이다. 퍼블릭 블록체인 대비 매우 간단한 코어를 가지고 있으나 Leader선정과정 및 합의과정에 대한 수식 등 연산의 복잡함 때문에 널리 적용되지 않는다[9].

블록체인은 노드 합의 시 악의를 가진 노드를 선별하기 위하여 전체 연결 노드 중 51%이상 노드의 합의 시 합의가 진행되는 BFT(Byzantine Fault Tolerance)기반으로 비잔틴 장군문제를 해결함으로 데이터의 무결성을 유지한다[9][15].

Paxos는 BFT 기반으로 처리되지 않기 때문에 Leader의 부정한 행위를 인식하지 못한다는 단점도 존재한다.

② PBFT(Practical Byzantine Fault Tolerance)

PBFT는 PoW와 PoS의 단점으로 부각되는 합의의 최종성(Finality)에 대한 불확실성을 개선하고 합의 과정의 성능을 보완하였다. 이를 위하여 투표 메카니즘에 의한 3단계 프로토콜로 합의를 이룬다. PBFT는 합의과정의 효율성 등의 이유로 초기 공개된 하이퍼레져 페브릭(Hyperledger Fabric)과 Eris 등에 채택되어 사용하였다[10].

PBFT를 통하여 블록체인 네트워크 상에 악의적 노드가 있어도 블록을 생성하고 전송하는 등의 관리가 가능한 상태를 구성한다.

PBFT는 하나의 Primary 노드와 여러개의 Repliza 노드로 구성되어 다음과 같은 과정을 거쳐 Request, Pre-Prepare, Prepare, Commit, Reply의 과정으로 합의가 진행된다.

PBFT는 합의과정이 퍼블릭 블록체인 대비 합의의 최정성을 보장할 수 있으나 중복된 브로드캐스트를 통하여 모든 노드의 합의를 진행하므로 네트워크의 통신비용이 증가한다[10].

이러한 상태에서 악의적 노드가 없다는 가정 하에 Primary를 제외한 Replica 노드들은 (N-1)*2번의 통신을 하게 되고(N은 노드의 수) 전체 통신량은 client와의 통신까지 포함하여 2N ^ 2번 발생한다.

결과적으로 노드 수 증가에 따라 네트워크가 부담하는 통신량의 부담이 점점 커진다[10].

③ Raft

Raft는 연산과정이 복잡한 Paxos의 보완 형태로 투표 및 타임아웃을 통한 리더 및 후보자 선출이 단순화된 것이 특징이다. Raft는 클라이언트의 요청을 하나의 Leader 노드가 처리하며 업데이트된 로그를 다른 Replica에게 반영되도록 동작이 된다. 또한 Leader가 문제가 있을 경우 새로운 Leader를 신속하게 선출 가능하다. Raft는 하이퍼레져 패브릭 업데이트 버전 등에 채택되어 사용되고 있다[10][11].

Raft는 여러 개의 노드가 있는 분산 환경에서 장애허용(Fault tolerance)를 위하여 합의 알고리즘을 진행하며 프라이빗 네트워크 환경의 특성에 적합하도록 신뢰기반의 블록을 생성하고 체인에 추가되는 즉시 블록의 Finality를 보장하도록 구현되었다.

Raft는 Leader, Follower, Candidate 세 가지 상태가 있으며 Leader의 오류발생 시에는 Leader선출알고리즘이 동작된다[10][11].

3) Case Study on Performance Evaluation of Blockchain Consensus Algorithm

보통 블록체인의 합의 알고리즘 평가를 위하여 TPS(Transaction per second)와 블록생성 및 확정시간을 고려한다.

TPS의 경우 소프트웨어와 하드웨어 설계 및 네트워크 성능 등에 따라 성능차이가 발생할 수 있으므로 블록체인 성능을 평가하기 위한 항목으로 적절하지 않다.

블록체인 생성시간은 블록이 생성되는 시간을 말하며 트랜잭션이 처리 및 저장되는데 걸리는 최소 대기시간에 영향을 미치기 때문에 블록체인 플랫폼 기술에 의존한다.

블록체인 확정시간은 요청되는 트랜잭션이 최신 블록에 포함되어있다는것은 확인해주는 시간으로써 블록생성시간과 합의 알고리즘에 의한 확정속도에 의존한다[11].

따라서 보편적 상황에서 합의 안정성을 높여줄 수 있는 합의 알고리즘 선정을 위하여 다양한 성능평가 항목 제시가 필요하다.

III. Factors for Blockchain Performance Evaluation

기업 간, 정보기관 등 허가된 노드 간 블록체인 기술 적용사례가 증가함에 따라 최적의 합의 알고리즘 적용은 데이터 관리의 중요한 요소가 될 수 있다[12].

본 논문에서는 허가된 신뢰기반 기관 간 합의라는 특징을 고려하여 프라이빗 블록체인의 대표적 합의 알고리즘인 PBFT, Raft, Paxos의 특징을 분석하여 해당 합의 알고리즘의 신뢰도 측정이 가능한 수식을 제안하여 해당 수식을 기반으로 사용자 환경을 고려한 합의 알고리즘 선정이 가능하도록 하였다.

본 논문에서 제안하는 성능평가항목으로는 권위를 가진 연결노드의 수(A), A를 고려한 합의안정성이다.

1) Number of authoritative nodes authorized

프라이빗 블록체인 합의 알고리즘 중 PBFT 는 합의과정에 모든 노드가 참여하는 방법을 사용한다. Raft와 Paxos는 부분적 노드 선별을 통한 합의가 가능하도록 한다.

본 논문에서는 합의 과정에 참여한 모든 노드와 더불어, 권위를 가지고 참여하는 노드의 활동횟수를 체크한다.

합의과정에 중복하여 모든 노드를 대상으로 검증과 합의를 진행하는 경우 네트워크 통신 비용이 증가하게 된다. 허가된 노드만이 존재한다는 가정을 가진 프라이빗 블록체인의 경우 권위가 있는 노드 중 일부를 선정하여합의 과정을 진행할 수 있다. 또한 합의에 참여하는 노드에 의한 악의적 합의를 방지하기 위하여 합의참여노드를 랜덤으로 선출할 수 있다.

2) Consensus stability considering the number of authoritative nodes

블록체인 네트워크에 참여하는 노드의 신뢰가 높아질수록 합의 과정의 안정성이 높아질 수 있다.

본 논문에서는 기 공개된 블록체인 생성가능성을 합의가능성으로 간주하고 합의가능성과 권위 있는 노드의 비율을 연산하여 합의안정성이 계산될 수 있도록 수식을 제안하였다.

사토시 나카모토가 제안한 블록체인 생성가능성을 활용한 식[1]울 활용하여 블록체인 생성가능(P) 관련 수식을 계산할 수 있다. P를 통하여 블록 블록생성의 확률을 측정할 수 있으며 식의 계산을 위하여 블록의 수를 변수를 활용하여 포아송 분포를 활용하였다[1].

$$P = 1 - \sum_{k=0}^{z} \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} (1 - (q/p)^{(z-k)}) \times Z \times \text{Total consensus} \times \text{Settleable time of agreement}$$

- p is the probability that an honest node generates a block
- q: probability of a malicious node generating a block
- z: Number of blocks waiting for confirmation
- $\lambda = z * (q / p)$
- Z = number of authoritative nodes / number of all nodes

(수식 3.1)

PBFT의 경우 33%, Paxos와 Raft의 경우 51%의 장애허용이 가능하도록 블록체인 네트워크를 설계된다.

3) Evaluation of Performance Evaluation Items

본 논문에서 제안한 성능평가 요소에 대한 타당성 평가를 위하여 노드 수(전체 노드 수, 권위를 가진 노드 수)를 달리하여 해당 환경의 최적의 합의 알고리즘 선출과정을 제시한다[11].

전체노드 N개에 대하여 다음의 가정을 사용하도록 한다.

assumption :
f: number of nodes with malicious Node
at: the number of nodes that can have authority

Fig. 3. Assumptions in Cases

Table 3. Performance Evaluation Factor Expressed by Equation

Evaluation factor	Paxos	PBFT	Raft
The number of connection nodes with authority	N = 2f+1 at=(N+1)/2	N=3f+1 at=(2N+1)/3	N = 2f+1 at=(N+1)/2
	● The higher the better		
Consensus stability	Z * Minimum (N / 2) + 1 time	Z * at least N times	Z * Minimum (N / 2) + 1 time
	● The higher the better		

○ Case 1

- 전체 노드가 최소한의 개수로 구성된 경우 :

다음과 같이 노드의 개수를 5개로 설정하고 고성능 연산장치를 갖춘 프라이빗 블록체인 환경에서 1개의 악의를 가진 노드가 연결되어 있을 경우를 살펴본다. 다음과 같은 식에 의해 적합한 합의 알고리즘을 선정할 수 있다.

○ Assumptions of Case 1
(Total number of nodes): 5
f (number of malicious nodes): 1
at (number of nodes that can have authority): 4
Z: 80%

Fig. 4. Assumptions in Case1

Table 4. Performance Evaluation Results of Case1

Evaluation factor	Paxos	PBFT	Raft
The number of connection nodes with authority	Min, at≥3	Min, at≥3.7	Min, at≥3
Consensus stability	Min, Stability Factor >2.2	Min, Stability Factor≥2.5	Min, Stability Factor>2.2

위의 평가요소를 적용하였을 때 Paxos의 합의 안정성은 2.2, PBFT는 2.5, Raft는 2.2로 계산되었다. 해당 계산식을 통하여 전체노드가 적을 경우 PBFT가 적합함을 알 수 있다.

○ Case 2

- 전체 노드가 최대한의 개수로 구성된 경우 :

다음과 같은 노드의 개수를 50개로 설정하고 기타 환경적 특이점을 갖지 않는 프라이빗 블록체인 환경에서 5개의 악의를 가진 노드가 연결되어 있을 때 다음과 같은 식에 의해 적합한 합의 알고리즘을 선정할 수 있다.

○ Assumptions in Case 2
N (total number of nodes): 50
f (number of malicious nodes): 5
at (the number of nodes that can have authority): 45
Z: 90%

Fig. 5. Assumptions in Case2

Table 5. Performance Evaluation Results of Case2

Evaluation factor	Paxos	PBFT	Raft
The number of connection nodes with authority	Min, at≥25.5	Min, at≥33.7	Min, at≥25.5
Consensus stability	Min, Stability Factor >3.59	Min, Stability Factor≥3	Min, Stability Factor>5.2

위의 평가요소를 적용하였을 때 Paxos의 합의 안정성은 3.59, PBFT는 3, Raft는 5.2로 계산되었다. 해당 계산식을 통하여 전체노드가 많을 경우 Raft가 적합함을 알 수 있다.

○ Case 3

- 전체 노드 수 대비 권위를 가진 노드 수가 적을 경우:

다음과 같이 권위를 가진 노드의 개수를 전체 노드 개수 대비 40%로 설정하고 기타 환경적 특이점을 갖지 않는 프라이빗 블록체인 환경에서 10개의 악의를 가진 노드가 연결되어 있을 때 다음과 같은 식에 의해 적합한 합의 알고리즘을 선정할 수 있다.

○ Assumptions of Case 3
N (total number of nodes): 10
f (number of malicious nodes): 6
at (number of nodes that can have authority): 4
Z: 40%

Fig. 6. Assumptions in Case3

Table 6. Performance Evaluation Results of Case3

Evaluation factor	Paxos	PBFT	Raft
The number of connection nodes with authority	Min, at≥5.5	Min, at≥7	Min, at≥5.5
Consensus stability	Min, Stability Factor >3.1	Min, Stability Factor≥4.2	Min, Stability Factor >3.1

위의 평가요소를 적용하였을 때 Paxos의 합의 안정성은 3.1, PBFT는 4.2, Raft는 3.1로 계산되었다. 해당 계산식을 통하여 전체 노드 수 대비 권위 있는 노드수가 적을 경우 PBFT가 적합함을 알 수 있다.

○ Case 4

- 전체 노드 수 대비 권위를 가진 노드 수가 많은 경우:

다음과 같이 권위를 가진 노드의 개수를 전체 노드 개수 대비 90%로 설정하고 기타 환경적 특이점을 갖지 않는 프라이빗 블록체인 환경에서 10개의 악의를 가진 노드가 연결되어 있을 때 다음과 같은 식에 의해 적합한 합의 알고리즘을 선정할 수 있다.

○ Assumptions in Case 4
N (total number of nodes): 10
f (number of malicious nodes): 1
at (number of nodes that can have authority): 9
Z: 90%

Fig. 7. Assumptions in Case3

Table 7. Performance Evaluation Results of Case4

Evaluation item	Paxos	PBFT	Raft
The number of connection nodes with authority	Min, at≥5.5	Min, at≥7	Min, at≥5.5
Consensus stability	Min, Stability Factor >5.51	Min, Stability Factor≥6.2	Min, Stability Factor >7.51

위의 평가요소를 적용하였을 때 Paxos의 합의 안정성은 5.51, PBFT는6.2, Raft는 7.51로 계산되었다. 해당 계산식을 통하여 전체 노드 수 대비 권위 있는 노드수가 많을 경우 Raft가 적합함을 알 수 있다

위의 4가지 사례를 통하여 허가된 노드로 구성된 신뢰기관 간 합의 알고리즘 적용 시 성능평가 요소로 적용되어 잘못된 합의 알고리즘을 선택함으로써 감수해야하는 시행착오를 피할 수 있다.

다양한 상황에서 해당 평가요소를 적용함으로 효율적 합의 알고리즘 선택이 가능하며 제안하는 평가요소에 대한 연산시간 고려되지 않을 정도임을 확인할 수 있다.

IV. Conclusions

기존 중앙집중시스템 형태와 달리 탈중앙화된 분산 네트워크를 통하여 노드와 데이터를 관리하는 블록체인 기술이 빠르게 성장하고 있다. 특히 정부 및 기업 등 허가된 기관 간 블록체인 추진사례가 증가하며 프라이빗 블록체인의 합의과정에 대한 중요성이 증가하고 있다. 프라이빗 블록체인과 같이 허가된 노드들로만 연결된 블록체인 네트워크는 악의적 노드를 배제한 상태이므로 합의를 위한 과도한 작업이나 지분이 필요 없다.

해당 환경에서 효과적 블록생성 및 관리를 위하여 필요한 것은 안전한 블록의 지속성과 빠른 처리 속도이다.

기존의 블록체인 성능평가항목으로는 TPS, 블록생성속도, 블록합의속도 등이 제시되었으나 프라이빗 블록챙니 환경의 특징과 다양한 사용자 환경을 고려한 합의안정 최적화가 가능한 합의알고리즘 선택이 중요한 요소가 되었으며 최적의 합의알고리즘 적용을 통하여 블록체인 성능이 평가될 수 있다.

본 논문에서는 신뢰기반 허가된 기관 간 거래의 효율적 합의를 위하여 프라이빗 블록체인 기반의 대표적 합의 알고리즘인 PBFT, Raft, Paxos의 특징을 분석하고 성능평가를 위한 수식을 제안하여 사용 환경을 고려한 적합한 알고리즘의 선택을 위한 다양한 평가요소를 제안하였다. 제안한 합의 알고리즘 평가요소는 권위를 가진 연결노드의 수와 이를 반영한 합의안정성이다.

제안한 평가요소의 적합성을 증명하기 위하여 기존의 공개된 수식을 변형하여 다양한 사례를 통하여 평가요소 적용과정을 보여주었다.

결과적으로 다양한 합의알고리즘 중 사용자 환경을 고려한 최적의 합의알고리즘 선정이 가능하였으며 해당 합의알고리즘의 선정과정을 살펴볼 수 있었다.

본 논문에서는 네트워크 상황에서 발생 가능한 돌발 상황 등에 대해서는 고려하지 않았으나 향후 대표적 돌발 상황을 고려한 추가 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

[1] Satoshi Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,” *http://bitcoin.org/bitcoin. pdf*

[2] Suhwan Park, "Blockchain based consensus rule for internet of things data integrity", pp. 10, 2017

[3] Yim J C, Yoo H K, Kwak J Y, Kim S M. "Blockchain and Consensus Algorithm" Telecommunication Trend Analysis VOL.33 NO.1, pp. 45-56, 2018. DOI : 10.22648/ETRI.2018.J.330105

[4] *https://www.statista.com/*

[5] *https://www.tractica.com/research/blockchain-for-enterprise-applications/*

[6] *https://www.nkeconomy.com/news/articleView.html?idxno=1295*

[7] *http://www.ciokorea.com/news/38904*

[8] Impossibility of Distributed Consensus with One faulty Process, *https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext /u2/a132503.pdf*

[9] Miguel Castro, Barbara Liskov. Practical Byzantine Fault Tolerance and Proactive Recovery. ACM Transactions on Computer Systems, Vol. 20, No.4, pp. 398-461, November 2002. DOI : 10.1145/571637.571640

[10] Jinseok Kim, “A Design of Secure and Efficient PBFT Consensus Algorithm in Blockchain”, 2019

[11] Do Gyun Kim,.Jin Young Choi,Kiyoung Kim,Jintae Oh,J. Soc. ‘Performance Improvement of Distributed Consensus Algorithms for Blockchain through Suggestion and Analysis of Assessment Items’ Korea Ind. Syst. Eng Vol. 41, No. 4 : 179-188, December 2018. DOI : 10.11627/jkise.2018.41.4.179

Authors

Youn-A Min received a Ph.D. in computer science from Dongguk University, Korea, in 2008, 2013. Dr. Min Youn A is a professor of applied software engineering at Hanyang Cyber University, 2020. She is also a visiting professor at Hanyang University. She is interested in embedded system security and blockchain.