

분산 클라우드 환경에서 블록체인 기반의 전자 건강 기록 관리 모델 설계

정윤수

목원대학교 게임소프트웨어공학과 교수

Designing an Electronic Health Record Management Model Based on Blockchain in a Distributed Cloud Environment

Yoon-Su Jeong

Professor, Department of Game Software Engineering, Mokwon University

요약 최근 의료 서비스 분야는 서비스 품질 및 시간 단축을 위해서 전자 건강 기록을 로컬 환경에서 클라우드 환경으로 변화하고 있다. 그러나, 의료 현장에서 클라우드 기반 EHR 소프트웨어는 일부 위험이 내포되고 있어 이러한 위험들을 대응할 수 있는 추가 방안이 필요하다. 본 논문에서는 분산형 클라우드 환경에서 블록체인 기반의 전자 건강 기록 관리 모델을 제안한다. 제안 모델은 분산 클라우드 환경에서 환자의 전자 건강 기록 정보를 안전하게 보관·처리하기 위한 방법으로 전자 건강 기록들을 블록체인으로 묶어 의료 서비스 품질을 높이고 있다. 또한, 제안 모델은 서로 다른 의료진이 건강 기록들을 공유할 수 있도록 클라우드 환경에서 전자 건강 기록 정보를 루트 해시로 판별할 수 있도록 블록에 저장된 URL '경로'의 위치를 변경하여 손상된 전자 건강 기록 정보를 복구하여 전자 건강 기록 정보의 무결성을 보장한다.

주제어 : 의료 서비스, 사물인터넷, 블록체인, 전자건강기록, 분산 클라우드

Abstract Recently, the medical service sector is changing electronic health records from local environments to cloud environments for service quality and time reduction. However, cloud-based EHR software poses some risks in the medical field, so additional measures are needed to cope with these threats. In this paper, we propose a blockchain-based electronic health record management model in a distributed cloud environment. The proposed model improves the quality of medical services by grouping electronic health records into blockchains as a way to safely store and process patient electronic health record information in a distributed cloud environment. In addition, the proposed model guarantees the integrity of electronic health record information by restoring the damaged electronic health record information by changing the location of the URL 'path' stored in the block so that different medical staff can determine electronic health record information as a root hash in a cloud environment so that health records can be shared.

Key Words : Medical services, IoT, Blockchain, Electronic Health Records, Distributed Cloud

*Corresponding Author : Yoon-Su Jeong(bukmunro@mokwon.ac.kr)

Received August 28, 2024

Revised December 2, 2024

Accepted December 20, 2024

Published December 30, 2024

1. 서론

최근 4차 산업혁명 기술들이 의료 환경에 반영됨으로써 의료 서비스의 품질 및 시간이 줄어들고 있다. 특히, 의료 분야를 포함한 다양한 산업에서 클라우드 기반으로의 전환이 가속화됨으로써 전자 건강 기록(Electronic Health Records, EHR)은 클라우드 기반으로 인터넷을 통해 접근할 수 있도록 원격 서버에 저장되고 있다[1].

전자 건강 기록은 의료 정보 뿐만 아니라 개인 건강과 관련된 모든 정보를 전자 형식으로 저장하고 관리하는 것을 의미하며, 의료진들이 환자의 건강 정보를 쉽게 접근하고 업데이트할 수 있도록 도와준다[2,3].

클라우드 기반의 전자 건강 기록은 벤더에 의해 유지 관리되며, 여러 위치와 장치에서 환자 기록에 쉽게 접근할 수 있고, IT 비용 절감, 자동 소프트웨어 업데이트, 데이터 보안 강화 등의 혜택을 제공한다[4,5]. 그러나, 의료 현장에서 클라우드 기반 EHR 소프트웨어는 혁신적이지만, 일부 위험이 내포되고 있다. 이러한 위험들을 신중하게 대응하고 효과적인 방법으로 해결할 필요가 있다.

본 논문에서는 분산 클라우드 환경에서 블록체인 기반의 효율적인 전자 건강 기록 관리 모델을 제안한다. 제안 모델은 전자 건강 기록 정보를 안전하게 보관·처리하기 위해서 전자 건강 기록 관련 데이터(할인구통계학, 병력, 약물복용 및 알레르기·예방접종상태, 검사실 검사결과, 영상의학 이미지, 생체징후, 나이와 성별 같은 개인적인 통계, 그리고 청구정보 등)를 블록체인으로 묶어 처리함으로써 의료 품질을 높이고 통합 관리를 용이성을 향상시킨다. 또한, 제안 모델은 전자 건강 기록들을 클라우드 서버로 수집·처리·저장하여 서로 다른 의료진과 공유할 수 있도록 의료 품질에 영향을 미치는 다양한 요소들을 제공한다. 제안 모델은 전자 건강 기록 정보를 블록체인 과정에서 스마트 계약을 통해 루트 해시를 판별하여 블록에 저장된 URL '경로'의 위치를 변경하여 손상된 전자 건강 기록 정보를 복구하기 때문에 전자 건강 기록 정보의 무결성을 보장한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 클라우드 환경 기반의 의료 서비스 및 기존 연구에 관해서 설명한다. 3장에서는 분산 클라우드 기반의 블록체인 의료 정보 관리 모델을 제안하고, 4장에서는 제안 모델의 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

클라우드 기반 의료 서비스는 스마트 기기/애플리케이션, IoT(IoT), EHR(Electronic Health Record) 소프트웨어 및 웹사이트 등 다양한 디지털 장치를 사용하여 데이터를 클라우드 서버로 수집, 로드, 검색 및 업데이트하여 다양한 조직과 개인이 온라인으로 연결하여 정보에 액세스한다[1].

병원 시스템은 의료 서비스를 보다 효율적으로 이용할 수 있도록 EHR 데이터를 중앙 집중화하고 있다[6]. EHR 데이터는 진단, 치료, 치료법, 영상, 원격 의료 및 임상 연구 목적으로 다양한 의료 제공자와 통합하여 높은 성능으로 의료 정보를 정확하게 접근한다[7]. EHR 데이터와 빅데이터 스토리지 및 블록체인을 통합하면 최소한의 비용으로 확장성, 데이터 보안, 데이터 무결성, 성능, 고가용성 및 중복성을 활용하여 더 저렴한 계산 및 추가 저장 용량을 제공한다[8,9].

의료 데이터셋은 규모가 크고 질병 진단, 임상 실험, 치료 및 치료 권장 사항에 대한 데이터 분석을 위해 저장 및 검색할 분석 및 통계 목적으로 사용된다[10,11]. 블록체인은 데이터 무결성, 보안 및 개인 정보 보호 문제를 해결하는 반면, 빅데이터 스토리지는 2023년까지 데이터 볼륨을 해결하여 의료 분야의 다양한 치료 및 치료에 대한 실시간 데이터 분석을 사용한다[12].

블록체인과 빅데이터 기술의 결합은 환자 중심 데이터를 활용하여 만성 질환을 분석하고 예방한다[13]. 데이터 마이닝, 스마트 계약을 통해 네트워크에서 불법 거래를 탐지할 수 있다[14]. EHR 데이터를 통합하면 의사, 환자 및 보험 회사가 추가 문서 없이 기록의 이력을 확인하고 승인 절차를 신속하게 진행한다[15].

3. 블록체인을 이용한 클라우드 기반 전자 건강 기록 관리 모델

3.1 전자 건강 기록 처리 프로세스

최근 헬스케어 환경은 환자의 전자 건강 기록을 안전하게 보관·처리하기 위해서 로컬 환경에서 클라우드 환경으로 변화하고 있다. 그 이유는 외부로부터 개인 정보를 악의적으로 획득하려는 보안 공격 시도가 다양하게 이루어지고 있기 때문이다.

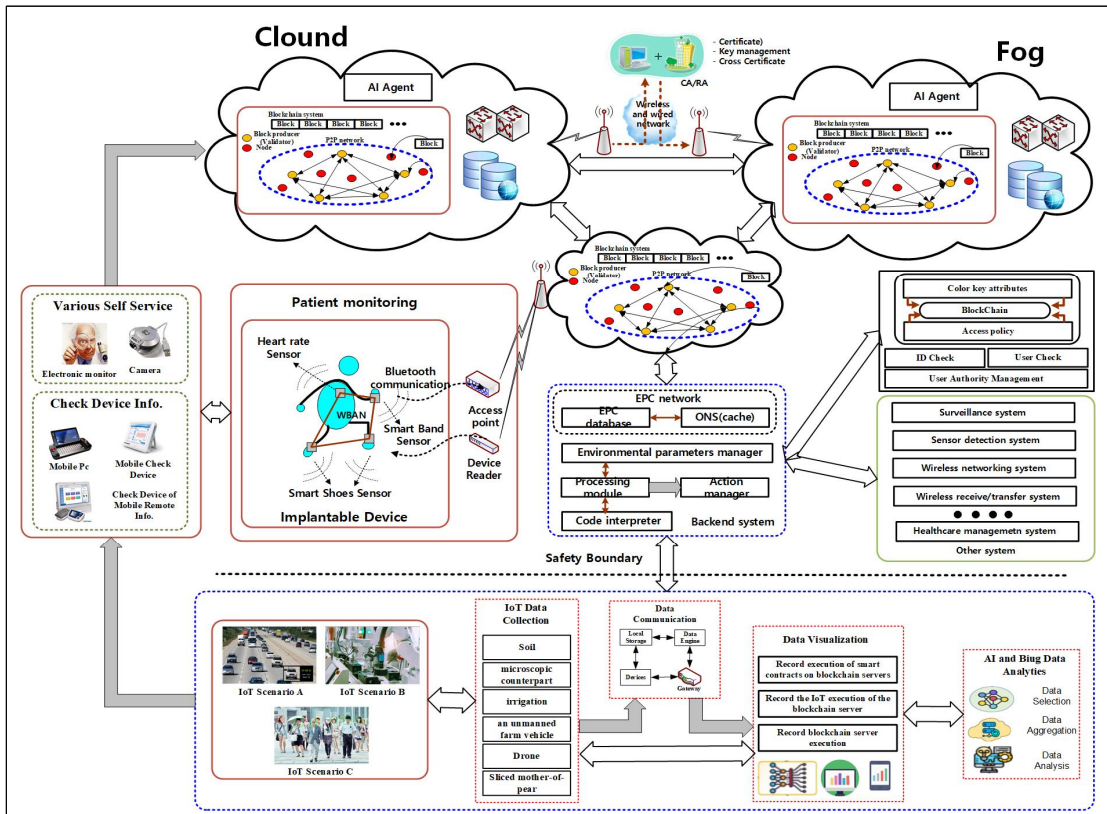


Fig. 1. Proposed scheme based on Blockchain in the Cloud Environment

환자의 전자 건강 기록을 클라우드 환경으로 효율적으로 관리하기 위해서는 클라우드 환경에서 존재하는 서버가 환자의 전자 건강 기록 관련 데이터(할인구통계학, 병력, 약물복용 및 알레르기.예방접종상태, 검사실 검사결과, 영상의학 이미지, 생체징후, 나이와 성별 같은 개인적인 통계, 그리고 청구정보 등)을 안전하게 보관·처리할 필요가 있다.

클라우드 환경 기반의 전자 건강 기록들은 사용 용도·목적·방법에 따라 다양한 형태의 디지털 형태로 변환하여 처리하기 때문에 자료 품질을 높이기 위해서 블록체인 기술을 이용하여 체계적으로 전자 건강 기록들을 수집·처리·저장하여 서로 다른 의료 환경에서 공유하며, 블록체인 기술 기반 의료 정보 관리의 통합을 통해 수익을 늘리고 비용을 절감하며 자료 품질을 향상시킬 수 있다.

Fig. 1은 클라우드 환경에서 블록체인 기술을 이용한 전자 건강 기록의 효율적인 처리 과정을 보여주고 있다. 그림 1처럼 환자의 전자 건강 기록은 의료 품질에 영향을 미치는 다양한 요소에 대한 정보를 제공함으

로써 의료 종사자와 관련 종사자의 의사 결정을 원활하게 진행할 수 있도록 처리한다. 특히 전자 건강 기록과 관련된 빅데이터는 인구통계학, 병력, 약물복용 및 알레르기.예방접종상태, 검사실 검사결과, 영상의학 이미지, 생체징후, 나이와 성별 같은 개인적인 통계, 그리고 청구정보 등에 대한 최신 정보를 제공한다. 최근 전자 건강 기록의 품질 향상을 위해서 블록체인과 다른 IoT 기술을 활용하고 있으며, 블록체인 기술을 활용하여 클라우드 환경에서 환자의 전자 건강 기록의 신뢰성, 보안, 투명성 및 불변성과 같은 유용한 특성을 구축하고 있다.

또한, 클라우드 환경에서 전자 건강 기록 정보의 블록체인 과정은 환자 정보의 신뢰성과 관련된 여러 문제를 해결하는 데 사용된다. 또한, 클라우드에 환경에 저장된 전자 건강 기록 정보를 빅 데이터화 하여 의료 분석에도 사용할 수 있다. 클라우드 환경 기반의 전자 건강 기록 정보는 의료 서비스에 많은 변화를 가져오고 있으며, 전자 건강 기록의 빅 데이터 사용은 의료 서비스 관리, 의료 서비스 품질 향상, 의료 정보의 정확도가 향상되어 여러 문제를 해결할 수 있다.

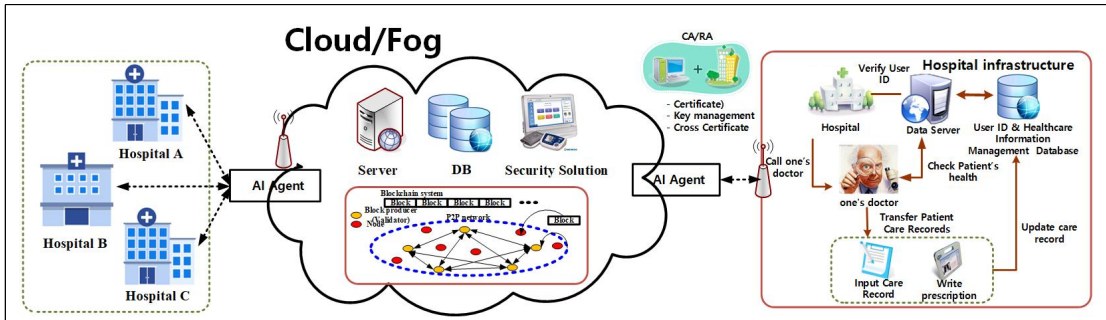


Fig. 2. Health History Sharing Process Between Clouds

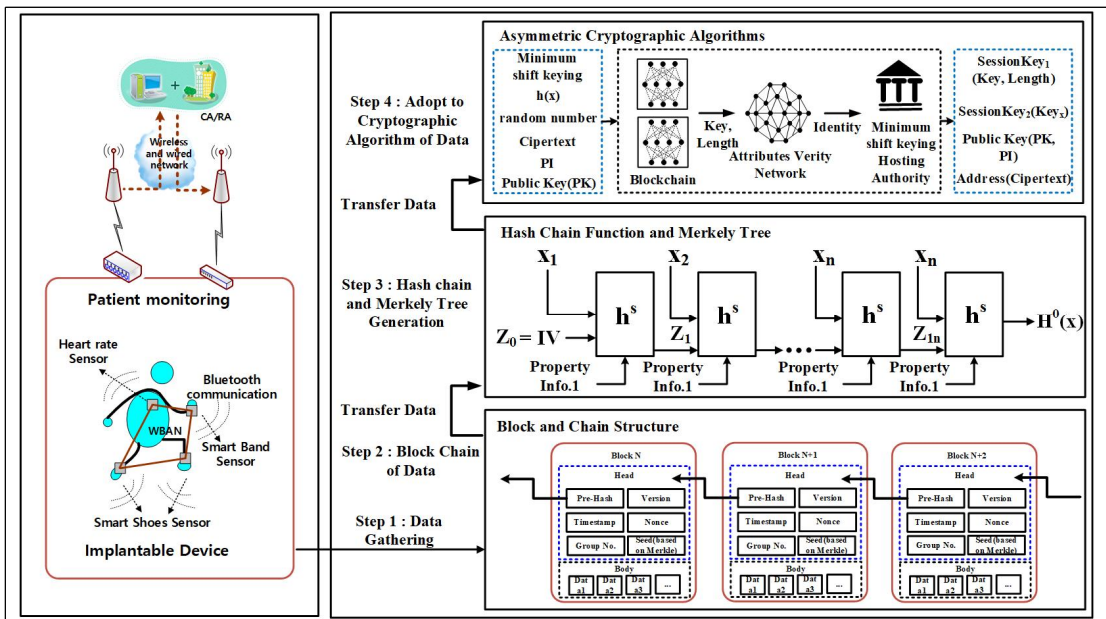


Fig. 3. Integrity Verification Using Cloud-Based Blockchain Information

3.2 클라우드 간 건강 기록 정보 공유 처리

클라우드 환경의 전자 기록 정보를 공유하기 위해서 서버에 저장된 전자 건강 기록 정보는 Fig. 2처럼 여러 VM(가상 머신)을 활용하여 블록체인으로 처리한다. 클라우드 서버에서는 전자 건강 기록 정보를 ML(Machine Learning) 모델을 선택하여 정확한 블록체인 정보를 통해 분석한다. 이 때, 클라우드 서버는 전자 건강 기록 정보를 제어하고 더 높은 처리량을 통해 높은 의료 서비스 품질 및 낮은 의료 지연 시간을 제공한다.

Fig. 2는 클라우드 환경에서 전자 건강 기록 정보의 메타데이터(현재 유형 번호, 백블록 주소, 날짜, 난수, 현재 블록 정보, 머클리 블록 정보등)를 추가하여 블록들을 특정 순서로 연결하여 체인 구조를 형성한다. 전

자 건강 기록 정보의 메타 데이터는 블록 헤더와 함께 블록 내 정보를 타임스탬프 기반으로 순차적으로 순서를 배열 형태로 상호 연결된 블록으로 완성되어 블록체인의 독특한 체인 구조를 형성하여 프로세스를 식별한다. 전자 건강 기록 정보를 포함한 모든 정보를 수집하여 클라우드 환경에서 공유되는 전자 건강 기록 정보의 오류를 줄임으로써 의료진이 더 나은 의사 결정을 유도할 수 있다.

3.3 클라우드 기반 블록체인 정보를 이용한 무결성 검증

제안 모델에서는 클라우드 환경에서 전자 건강 기록 정보를 모든 의료진이 공정하게 공유될 수 있도록 유연성을 유지한다. 전자 건강 기록 정보를 효율적으로 관

리하기 위해서는 전자 건강 기록 정보를 클라우드 환경에서 어떻게 통합하여 공유할 것인지가 주요 과제이다. 제안 모델에서는 Fig. 3과 같이 전자 건강 기록의 블록체인 정보를 분산 합의 알고리즘을 사용하고 클라우드 환경에 따라 블록 체인 정보의 사용 목적 및 방법에 따라 다양한 알고리즘을 적용한다.

Table 1은 전자 건강 기록 정보의 블록체인 연계 알고리즘이다. Table 1은 환자의 전자 건강 기록 정보를 Fig. 3과 같은 무결성 처리 과정을 통해 블록체인을 묶어 해시 체인으로 연결하여 서로 공유한다. 이 때, Table 1은 서로 다른 블록체인을 로컬 블록으로 구성하도록 함으로써 블록처리 효율성을 향상시키도록 관리한다.

Table 1. Crop Big Data Hash Processing

```

Input: Patient Electronic Health Record Information
Output: Block hash chain information for electronic records
Begin
for every EHR information
  Select some EHR information  $i \in [1, n]$ 
  if( EHR is valid), then
    if ( EHR's Block_hash != prev_EHR_Block_Hash) then
      check and reconfirm EHR's Block Hash information
      return false:
    else
      store the EHR's Block Hash information
      generate EHR Block Hash Information
      add offset to each EHR block Hash
Information to create new EHR block Hash linking information
      update EHR block linking information
    end if
  end for
End
    
```

4. 평가

4.1 환경 설정

실험 환경은 인텔 코어 2.7GHz 28 프로세서와 32GB 램으로 동작하는 실험 환경에서 텐서플로우 4.1과 파이썬 3.7으로 시뮬레이션하였다. 제안 모델은 클라우드 서버 간 충분한 저장장치를 가지며, 포아송 분포를 따르는 계산이 가능하다고 가정한다.

Table 2는 클라우드 기반의 의료 서비스 환경에 필요한 매개 변수를 모델별로 분류하여 설정값을 정의하

Table 2. Simulation parameters

Parameters	Upstream bandwidth (MBps)	Downstream bandwidth (MBps)	Storage capabilities / RAM (GB)	Processing capabilities / CPU (MIPS)	Communication latency (ms)	Blockchain Instructions (M)	Blockchain Processing Power(Idle-Max)(W)
Cloud Networks	50	40	32	10000-15000	15-20	12	20-40
Fog Networks	25	20	16	2500-10000	5-10	6	10-20
Local Networks	10	10	4-8	100-2000	2-4	-	-

였다. 제안 모델은 클라우드 전자 건강 기록별로 사용 유·무 및 의료 서비스 애플리케이션의 요구 사항에 따라 달라진다. 제안 모델은 클라우드 간 전자 건강 기록의 지연 시간을 이용하여 추적 경로(trace route)를 사용하였으며, 전자 건강 기록 정보를 메타데이터(현재 유형 번호, 백블록 주소, 날짜, 난수, 현재 블록 정보, 머클리 블록 정보등) 블록으로 구성한 후 블록들을 특정 순서로 연결하여 체인 구조를 형성한다. 전자 건강 기록 정보는 블록 내 정보를 타임스탬프 기반으로 순차적으로 순서를 배열 형태로 상호 연결된 블록으로 프로세스 식별한다. 전자 건강 기록 정보를 포함한 모든 정보를 수집하여 클라우드 환경에서 공유되는 전자 건강 기록 정보의 오류를 줄이도록 의사 결정을 유도한다.

4.2 성능 평가

4.2.1 처리시간

제안 모델은 클라우드 환경에서 전자 건강 기록을 블록체인으로 묶어 서로 연결하는 동안 오류 없이 서버에서 분석하기 위해서 전자 건강 기록 간 특별한 FI 상관관계가 없도록 하였으며, 정확도가 높은 수준으로 유지하도록 하였다. Fig. 4은 네트워크 별 전자 건강 기록의 블록체인 연계 과정에서 처리 시간이 평균 13.7% 낮은 결과를 얻었다. 제안 모델에서는 전자 건강 기록의 블록체인 연계 확률값에 따라 시드를 자율적으로 선택하도록 확률 정보에 대한 가중치를 이용하여 지연시간을 낮추었다.

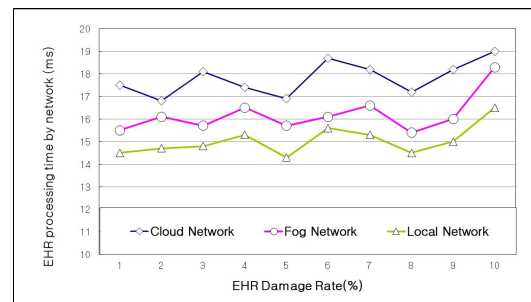


Fig. 4. EHR processing time by network

4.2.2 효율성

Fig. 5에서 클라우드 별로 전자 건강 기록의 처리 효율성을 평가한 결과는 평균 21.5% 증가하였다. Fig. 5는 서브넷 게이트웨어 서버 수에 따라 전자 건강 기록을 처리하는 서버 별 처리 효율성은 서브넷 게이트웨어 서버 수가 증가함에 따라 계산 시간이 선형적으로 증가하였다. 제안 모델에서는 전자 건강 기록을 동기화하도록 n-1 계층부터 n+1계층 사이에 전자 건강 기록 정보의 확률가중치를 이용하여 처리 오류율을 낮추었다.

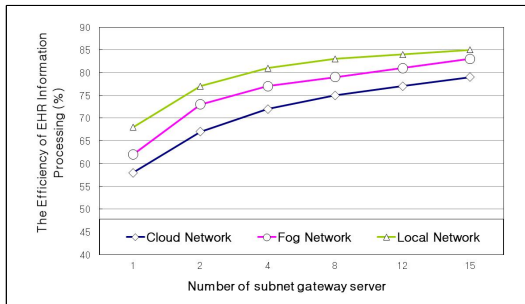


Fig. 5. EHR processing time by network

4.2.3 무결성

Fig. 6은 전자 건강 기록 수에 따른 네트워크 별 무결성 검증율을 비교한 결과, 전자 건강 기록 요청 수가 증가할수록 무결성 검증율이 선형적으로 증가하였다. 이 같은 결과는 전자 건강 기록의 블록 헤드에 블록 속성 정보를 포함하여 처리하기 때문에 추가적인 처리가 발생하지 않기 때문에 블록체인에 대한 손상 서버리터 비율이 증가하더라도 안전성을 보장할 수 있었다.

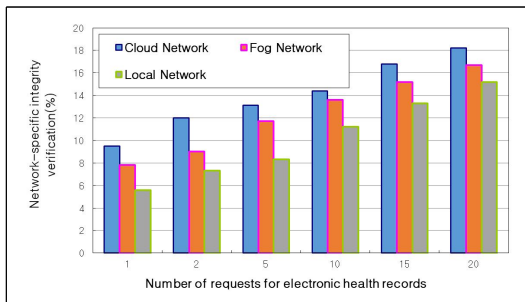


Fig. 6. EHR Integrity by network

5. 결론

최근 IoT 기술이 발전하면서 의료 서비스가 로컬에서 클라우드 환경으로 많이 변화하고 있다. 그러나, 의료 현장에서 클라우드 기반 EHR 소프트웨어는 일부 위험이 내포되고 있어 이에 대한 보안 방안이 필요하다. 본 논문에서는 분산형 클라우드 환경에서 블록체인 기반의 전자 건강 기록 정보의 무결성을 보장할 수 있는 클라우드 관리 모델을 제안하였다. 제안 모델은 전자 건강 기록 정보를 안전하게 보관·처리하기 위해서 전자 건강 기록을 블록체인으로 묶어 서로 다른 의료진과 환자의 건강 기록들을 공유하도록 머클 해시를 생성한다. 생성된 머클 해시를 판별할 수 있도록 블록에 저장된 URL '경로'의 위치를 변경하여 손상된 전자 건강 기록 정보를 복구하여 전자 건강 기록 정보의 무결성을 보장한다. 향후 연구에서는 기존 연구 결과를 기반으로 다양한 클라우드 환경에 적용하여 연구를 지속해서 수행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] Taloba, A. I., Rayan, A., Elhadad, A., Abozeid, A., Shahin, O. R., & Abd El-Aziz, R. M. (2021). A framework for secure healthcare data management using blockchain technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(12), 639-646. DOI : 10.14569/IJACSA.2021.0121280
- [2] Kumar, N., & Dakshayani, M. (2020, February). Secure sharing of health data using hyperledger fabric based on blockchain technology. *In 2020 International Conference on Mainstreaming Block Chain Implementation (ICOMBI)* (pp. 1-5). IEEE. DOI : 10.23919/ICOMBI48604.2020.9203442
- [3] Antwi, M., Adnane, A., Ahmad, F., Hussain, R., ur Rehman, M. H., & Kerrache, C. A. (2021). The case of HyperLedger Fabric as a blockchain solution for healthcare applications. *Blockchain: Research and Applications*, 2(1), 100012. DOI : 10.1016/j.bcr.2021.100012
- [4] Chentharu, S., Ahmed, K., Wang, H., Whittaker, F., & Chen, Z. (2020). Healthchain: A novel framework on privacy preservation of electronic health records using blockchain technology. *Plos one*, 15(12), e0243043. DOI : 10.1371/journal.pone.0243043

- [5] Miyachi, K., & Mackey, T. K. (2021). hOCBS: A privacy-preserving blockchain framework for healthcare data leveraging an on-chain and off-chain system design. *Information processing & management*, 58(3), 102535.
DOI : 10.1016/j.ipm.2021.102535
- [6] Al-Karaki, J. N., Gawanmeh, A., Ayache, M., & Mashaleh, A. (2019, June). DASS-CARE: a decentralized, accessible, scalable, and secure healthcare framework using blockchain. In *2019 15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)* (pp. 330-335). IEEE.
DOI : 10.1109/IWCMC.2019.8766714
- [7] Chen, M., Hao, Y., Hwang, K., Wang, L., & Wang, L. (2017). Disease prediction by machine learning over big data from healthcare communities. *Ieee Access*, 5, 8869-8879.
DOI : 10.1109/ACCESS.2017.2694446
- [8] Aich, S., Sinai, N. K., Kumar, S., Ali, M., Choi, Y. R., Joo, M. I., & Kim, H. C. (2022, February). Protecting personal healthcare record using blockchain & federated learning technologies. In *2022 24th international conference on advanced communication technology (ICACT)* (pp. 109-112). Ieee.
DOI : 10.23919/ICACT51234.2021.9370566
- [9] Rahman, M. A., Hossain, M. S., Islam, M. S., Alrajeh, N. A., & Muhammad, G. (2020). Secure and provenance enhanced internet of health things framework: A blockchain managed federated learning approach. *Ieee Access*, 8, 205071-205087.
DOI : 10.1109/ACCESS.2020.3037474
- [10] Agbo, C. C., & Mahmoud, Q. H. (2019). Comparison of blockchain frameworks for healthcare applications. *Internet Technology Letters*, 2(5), e122.
DOI: 10.1002/itl2.122
- [11] Parameswari, C. D., & Mandadi, V. (2020, July). Healthcare data protection based on blockchain using solidity. In *2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)* (pp. 577-580). IEEE.
DOI : 10.1109/WorldS450073.2020.9210296
- [12] Bhuiyan, M. Z. A., Zaman, A., Wang, T., Wang, G., Tao, H., & Hassan, M. M. (2018, May). Blockchain and big data to transform the healthcare. In *Proceedings of the international conference on data processing and applications* (pp. 62-68).
DOI : 10.1145/3224207.3224220
- [13] S. Allam, (2021). Research on intelligent medical big data system based on Hadoop and blockchain, *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 8(4), 1393-1397, DOI: 10.1186/s13638-020-01858-3
- [14] Rathee, G., Sharma, A., Saini, H., Kumar, R., & Iqbal, R. (2020). A hybrid framework for multimedia data processing in IoT-healthcare using blockchain technology. *Multimedia Tools and Applications*, 79(15), 9711-9733.
DOI : 10.1007/s11042-019-07835-3
- [15] Chakraborty, S., Aich, S., & Kim, H. C. (2019, February). A secure healthcare system design framework using blockchain technology. In *2019 21st international conference on advanced communication technology (ICACT)* (pp. 260-264). IEEE.
DOI : 10.23919/ICACT.2019.8701983

정 윤 수(Yoon-Su Jeong)

[정회원]



- 1998년 2월 : 청주대학교 전자계산학과(공학사)
- 2000년 2월 : 충북대학교 전자계산학과(이학석사)
- 2008년 2월 : 충북대학교 전자계산학과 박사(이학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 게임소프트웨어공학과 부교수
- 관심분야 : 유·무선 통신 보안, 정보보호, 바이오인포매틱, 헬스케어, 빅 데이터, 클라우드 컴퓨팅
- E-Mail : bukmunro@mokwon.ac.kr