

블록체인 기반의 전파 공유 기술과 전파 정책

신나연¹, 남지현², 최예진³, 이일구^{4*}

¹성신여자대학교 융합보안공학과 학생, ²성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 학생,
³성신여자대학교 미래융합기술공학과 학생, ⁴성신여자대학교 융합보안공학과 조교수

Technology and Policy for Blockchain-based Spectrum Sharing

Na Yeon Shin¹, Ji-Hyun Nam², Ye Jin Choi³, Il-Gu Lee^{4*}

¹Student, Dept. of Convergence Security Engineering, Sungshin University

²Student, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

³Student, Dept. of Future Convergence Technology Engineering, Sungshin University

⁴Professor, Dept. of Convergence Security Engineering, Sungshin University

요약 제한된 네트워크 자원과 불균등한 전파 자원 분배로 인해 전파자원 부족 문제와 서비스 품질 열화가 발생하고 있다. 또한, 기존 중앙집중식 전파 공유 방식은 전파 공유 활성화를 위한 근본적인 해결책이 되지 못하고 있으며 비용, 편의성, 보안성 관점에서 비효율적이다. 본 논문에서는 전파자원을 분배하고 공유할 수 있는 저비용, 고신뢰, 고효율 플랫폼으로서 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 플랫폼을 제안하고 이를 실현하기 위한 법적 쟁점을 분석하였다. 스펙트럼 셰어링 플랫폼에서는 와이파이 AP 전파 정보와 LTE 모바일 핫스팟 전파 정보를 블록체인에 등록하고, 전파 공유자와 전파 사용자가 스마트 컨트랙트 통해 개인 간 (P2P) 전파 공유 계약을 빠르고 효율적으로 체결한다. 전파 공유에 대한 대가와 품질 관리에 대한 보상인 암호화폐는 선순환적인 전파 공유 오픈 플랫폼 생태계를 활성화할 것이며, 스펙트럼 셰어링 플랫폼을 통해 편리하고 효율적인 공공 무선 인프라를 제공할 수 있다.

주제어 : 스펙트럼 셰어링, 블록체인, 스마트 컨트랙트, 분산앱, 전파 정책

Abstract The restricted network or the unbalanced distribution of spectrum is causing the problems of lack of spectrum resources and deterioration of the service quality. In addition, the existing centralized radio sharing method has not been a fundamental solution for radio sharing and is inefficient in terms of cost, convenience, and security. In this paper, we propose a blockchain-based spectrum sharing as a low-cost, trustworthy, high-efficiency platform that can distribute and share spectrum resources, and propose policies to realize this. In the spectrum sharing platform, spectrum information about Wi-Fi AP and LTE mobile hotspot is registered in the blockchain, and spectrum sharers and users can conclude peer-to-peer spectrum sharing contract quickly and efficiently through smart contract. The pay for the shared spectrum resources and reward for spectrum quality management open platform ecosystem to activate the circulation-sharing and it can provide a convenient and efficient public wireless infrastructure.

Key Words : Spectrum Sharing, Blockchain, Smart Contract, dApp, Spectrum Policy

*This work was supported by the Sungshin Women's University Research Grant of 2019-1-86-013/1

본 연구는 성신여자대학교 연구과제 (2019-1-86-013/1) 지원으로 수행하였음.

*Corresponding Author : Il-Gu Lee(iglee@sungshin.ac.kr)

Received May 29, 2019

Accepted October 20, 2019

Revised September 18, 2019

Published October 28, 2019

1. 서론

무선 서비스 및 네트워크 기술의 눈부신 발전으로 인해 데이터를 수집, 가공, 저장, 공유하기 위해 네트워킹하는 사물들이 기하급수적으로 늘어났고, 이에 따라 면허 대역 스펙트럼 (Licensed Band Spectrum)은 점점 혼잡해지고 희소하게 되었다. 2017년도 한국의 인터넷 평균 속도와 보급률은 세계 1위를 차지했지만[1], 4G LTE (Long Term Evolution) 데이터 1기가 바이트 (Giga Byte) 당 가격은 OECD 국가 중 한국이 13.4 유로로 가장 높았다[2]. 저비용의 편리한 정보통신 인프라는 빅데이터와 지능형 사물인터넷이 주도하는 4차 산업 혁명의 원동력으로, 정보통신 기술을 주도하기 위해 언제 어디서든 편리하고 안전하게 활용할 수 있는 전파 활용관리 플랫폼 개발이 시급한 상황이다.

이를 가로막는 가장 큰 문제는 다음과 같다. 첫째, 주파수의 불균등한 활용이다. 면허 주파수 대역은 주파수 자원이 제한되어있고 이용 시 높은 비용이 소요된다. 반면 면허 주파수 대역은 면허 주파수 대역보다 저렴하지만 활용할 수 있는 지역이 매우 적다. 정부 주도로 비면허 주파수 중계기를 확충하기 위한 노력을 하고 있지만, 인프라 구축비용 문제와 유지보수 및 관리 비용으로 많은 어려움을 겪고 있다[3].

둘째, 사물인터넷의 보편화와 밀집화로 인한 품질저하 문제이다. 밀집 사물 관계망의 규모가 점점 더 커지고 있는 상황에서 실시간각각 변하는 관계망 토폴로지와 트래픽에 대해 중앙집중 방식은 효과적인 품질 보장에 어려움이 있다. 실시간각각 변하는 대규모의 관계망에서 고품질을 보장하기 위해서는 참여자의 자발적인 참여로 인한 자정 작용이 가능해야 한다[4].

셋째, 불투명한 주파수 플랫폼이다. 주파수 사용자는 사용한 만큼의 합리적인 통신비용을 지급하고, 네트워크의 발전과 수익 창출에 기여한 경우에는 수익을 분배받거나 이를 고려해 좀 더 저렴한 통신비용을 산정 받아야 한다. 그러나 현재는 일방적인 통신비용 산정만 존재하고 네트워크 발전에 참여 및 보상을 받을 수 있는 환경이 조성되어있지 않아 빅데이터와 사물인터넷 시대의 성장을 가로막는 요인이 된다[3].

최근에는 이러한 스펙트럼의 비효율성 문제를 해결하기 위한 동적 스펙트럼 접근 방식에 관한 연구가 진행되었으며[5], 셀룰러 다운링크 전송에서 두 통신사업자 간의 스펙트럼 공유에 관한 연구가 진행되었다[6]. 그러나 이러한 중앙집중식 접근 방식으로는 수요자의 다양한 요

구사항과 급증하는 트래픽을 수용하기 어렵고, 비효율성, 품질저하, 불투명성의 문제가 존재한다.

사토시 나카모토의 비트코인 논문[7]으로 많은 관심을 받게 된 블록체인 기술은 분산형 데이터베이스 관리 시스템을 기반으로 수학과 암호학에 기초하여, 높은 기밀성, 가용성, 무결성을 제공하면서 기존의 중앙관리식 시스템의 문제를 해결할 수 있는 기술로 평가받고 있다[8,9]. 블록체인 기술을 활용해 사물인터넷들 간에 신뢰성을 보장하며 인증하는 연구가 진행되었고[10], 블록체인 환경에서 프라이버시와 익명성을 강화하는 기법에 대한 연구가 진행되었다[11]. 그리고 블록체인을 융합 산업에 적용하기 위한 정책 연구도 진행되었다[12,13]. 이러한 블록체인 기술을 활용하여 본 논문에서는 효과적으로 전파 자원을 분배하고 공유할 수 있는 블록체인 기반의 플랫폼을 제안하고자 한다.

본 연구에서는 중앙집중식 전파 공유를 벗어나 새로운 방식의 탈중앙화 전파 공유 플랫폼을 제시한다. 이는 제한된 전파자원을 효율적으로 활용할 수 있도록 해 밀집 네트워크 내에서의 서비스 품질을 향상시킬 수 있으며, 편리하고 효율적인 공공 무선 인프라를 확보할 수 있다. 본 논문은 다음의 구조로 구성된다. 본 논문의 2장에서는 종래의 전파 공유 시스템의 개념, 특징과 한계점에 관해 설명한다. 3장에서는 제안하는 분산형 전파 공유 플랫폼의 개념, 특징, 구조, 동작 원리와 기대효과에 관해 설명한다. 4장에서는 분산형 전파 공유 플랫폼 도입에 장애가 되는 법적 쟁점 및 과제에 대한 분석과 해결방안을 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 종래의 스펙트럼 공유 시스템

2.1 전파 공유 시스템의 개념과 특징

본 장에서는 전파 공유 시스템의 개념과 특징 그리고 구조 및 동작 원리를 와이파이 AP (Access Point)의 전파 공유 방식인 인터넷 IP 주소 공유 시스템을 예시로 설명하고자 한다. 또한, 다수의 이용자가 동일한 범위의 주파수를 공동으로 사용하는 주파수 공동사용에 대해 설명한다.

네트워크 무선 연결에 대한 수요 증가로 스펙트럼을 사용하는 새로운 방법이 요구되기 시작하였다. 기본적으로 주파수는 제한된 자원이기 때문에 네트워크에 연결하려는 기기의 수만큼 KT, SKT, LGU+ 등의 통신서비스 제공업체에 사용료를 지불하고 IP 주소를 추가로 발급받

아 사용하고 있다[14]. 네트워크를 이용하고자 하는 새로운 기기가 많아질수록 주파수 부족 문제가 심화 될 것이며 주파수를 할당받기 위한 비용 또한 증가할 것이다. 이러한 비효율을 해결하기 위한 기술이 바로 인터넷 IP 주소 공유 시스템이다.

인터넷 IP 주소 공유 시스템은 면허 대역을 사용하는 시스템의 비효율을 해결하기 위해 스펙트럼을 비면허 대역 (Unlicensed band)으로 이용할 수 있게 한다. 또한, 비면허 운영에 대한 스펙트럼을 얻기 위해 기존 전파 사용자에게 대한 간섭을 제한한다는 조건 아래에 보조 사용자가 전파를 공유하고 사용할 수 있도록 새로운 공유 개념이 도입되었다[15]. 즉, 인터넷 IP 주소 공유 시스템은 둘 이상의 스펙트럼 사용자가 동일한 범위의 스펙트럼을 상호 배제하지 않고 사용하는 시스템이다.

또한 제한된 전파 자원을 효율적으로 사용하기 위해 기존에 있던 주파수를 공동으로 사용하는 주파수 공동사용에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 2015년, 미국 FCC (the Federal Communications Commission)에서는 군사용 주파수로 사용되었던 3.5GHz 대역을 시민 광대역 무선 서비스를 시행했다[16]. 뿐만 아니라 국내에서도 2016년, 방송 대역(470~698MHz)내 사용하지 않는 주파수 대역인 TVWS (TV white space)를 주파수 공동 사용을 위해 관련 기준을 제정하였다[17].

2.2 전파 공유 시스템의 한계점

기존의 중앙집중식 전파 공유 시스템은 다음의 세 가지 이유로 요금제 유통체계 개선과 공공 와이파이 확대에 대한 근본적인 해결책이 되지 못하고 있다.

첫째, 사용 가능한 주파수 및 와이파이 AP 수가 수요보다 부족하다[4]. 통신서비스제공업체에서 제공되는 AP는 특정 지역에 편중되어 있거나 그 수가 부족하다[18]. 또한, 전파를 사용하는 모바일 기기와 사물인터넷 기기의 수가 급증하고 있지만, AP 증가량이 그 속도를 따라가지 못해 주파수 자원의 부족 문제가 심화 되고 있다.

둘째, 제공되는 전파 정보가 지엽적이다. 와이파이 이용자는 중계기 종류와 위치 정보 외에 와이파이의 간섭 정도, 전파 품질 정보와 현재 접속한 사용자 수 등 중계기의 상태 정보는 알 수 없다. 따라서 시시각각 변하는 간섭, 성능, 용량의 한계로 인해 와이파이 이용이 제한되더라도 이용자는 이러한 사실을 알 수 없고, 관리도 어렵다. 또한, 와이파이 AP의 서비스 이용 가능한 상태와 조건에 대한 정보가 제공되지 않아서 이용자는 어느 위치

부터 전파 자원을 이용할 수 있는지 알 수 없기 때문에 사용 편의성과 관리 관점에서 비효율적이다.

셋째, 기밀성, 가용성, 무결성 등의 중요 보안성 지표를 판단할 수 없다. 현재 운영되고 있는 공공 와이파이에는 1만 2000여 곳[19]이며, 공공와이파이 구축 현황 자료를 분석한 결과에 의하면 이 중 약 40%인 5000여 곳은 암호화 등의 보안 접속 기능이 지원되지 않고 있다[20]. 따라서 사용자들은 보안에 취약한 와이파이 네트워크 공유기에 접속할 때 기밀성, 가용성, 무결성을 보장받을 수 없는 열악한 환경이다[21]. 인터넷 쇼핑, 금융 거래, 개인·민감 정보 저장 행위가 점점 더 데스크톱에서 모바일 기기와 사물인터넷으로 옮겨가고 있는 현실점에서 보안성 측정과 관리가 필수 요소가 되고 있다.

3. 분산형 전파 공유 플랫폼

3.1 스펙트럼 셰어링의 개념과 특징

본 연구의 스펙트럼 셰어링 (Spectrum Sharing)은 블록체인 기반의 전파 공유 플랫폼 (Blockchain-based Spectrum Sharing Platform)이다. 블록체인이란 신뢰할 수 있는 중앙 시스템 없이 분산 네트워크에서 수학적·암호학적인 검증을 통해 안전하게 데이터를 공유하고 분산 데이터베이스에 저장해 위변조 가능성을 줄일 수 있는 기술이다[7]. 따라서 스펙트럼 셰어링은 분산 데이터베이스를 기반으로 독립적이며 개방된 공통 전파 활용·관리 플랫폼으로 정의할 수 있다. 분산된 데이터베이스에 저장하고 수학적·암호학적으로 검증한 후 활용하므로 개인 간 전파를 안전하게 관리할 수 있고, 제 3자의 존재에 의존하지 않고 전파를 활용 할 수 있는 독립성을 특징으로 한다.

스마트 컨트랙트 (Smart Contract)는 블록체인 기술을 기반으로 프로그래밍 되어 자동으로 계약이 이행되며, 신뢰가 필요한 다양한 블록체인 애플리케이션에 활용되고 있다. 스펙트럼 셰어링은 고효율, 고신뢰의 전파 사용 계약을 수행하기 위해 스마트 컨트랙트를 사용하고, 저비용 전파 공유 인프라를 제공하기 위해 사유 (private) 모드와 공유 (public) 모드의 듀얼모드 전파 중계 장치를 지원함으로써 공공 전파자원의 확장과 효율성 및 신뢰성을 높일 수 있다. 스마트 컨트랙트를 통해 기록된 정보는 블록체인으로 분산 저장되기 때문에 안전하고 투명하게 전파를 공유할 수 있다.

3.2 스펙트럼 셰어링의 구조

스펙트럼 셰어링은 블록체인 네트워크 위에서 동작하며 전파 공유자와 전파 사용자를 네트워크로 연결한다. 블록체인 네트워크 내에는 와이파이 AP 정보와 LTE 모바일 핫스팟 등과 같은 전파 정보와 간섭, 트래픽 량, 보안성 등과 같은 상태정보를 블록체인에 등록하고, 전파 공유자와 전파 사용자는 스마트 컨트랙트로 개인 간의 계약을 빠르고 효율적으로 체결한다.

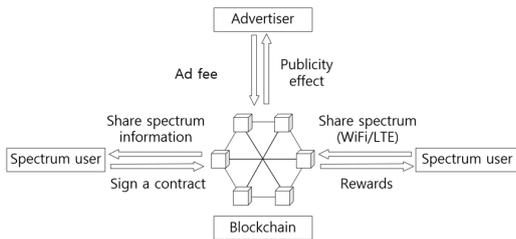


Fig. 1. Spectrum sharing application service structure

그림 1과 같이 전파 공유자는 전파 제공에 대한 보상으로 암호화폐를 받으며, 전파 사용자는 전파 품질 평가에 대한 보상으로 암호화폐를 받고 거래에 대한 대가로 수수료를 지불한다. 전파 공유자와 전파 사용자가 전파 공유의 규칙 및 계약에 반하는 행위를 하는 경우에는 패널티로 플랫폼 참여에 제한을 받고 암호화폐 보상이 저하된다. 여기서의 암호화폐는 스펙트럼 셰어링 플랫폼 내에서 개발된 것이며, 필수적 요소가 아닌 플랫폼 생태계를 활성화시키기 위한 보상의 한 요소로써 이용된다.

추가적으로 광고주는 스펙트럼 셰어링 플랫폼 내에서 광고를 제공함으로써 광고 효과를 얻을 수 있으며, 이때 발생하는 수익은 통신서비스제공업체에 통신료를 지불할 수 있도록 하여 플랫폼 사용자들의 통신비 납부에 대한 부담을 줄일 수 있다.

스펙트럼 셰어링은 전파를 사용하는 다양한 기기에서 활용할 수 있지만, 본 연구에서는 일상생활에서 가장 활발히 이용되고 있는 와이파이 AP와 모바일 기기를 예시로 들어 설명한다.

3.2.1 듀얼모드 가정용 AP를 이용한 전파 공유

스펙트럼 셰어링은 블록체인을 활용해 가정용 와이파이 AP를 듀얼모드로 사용할 수 있다. 듀얼모드 가정용 AP는 그림 2와 같이 사유 모드와 공유 모드를 구분하여 AP 공유자가 AP를 사용하는 시간대에는 사유 모드를 지

원하고, AP를 사용하지 않는 시간대에는 공유 모드를 지원한다. 공유 모드를 지원하는 시간은 스마트 컨트랙트로 프로그래밍 가능하다.

AP 공유자는 사유 모드에서 통신네트워크 웹 서비스 등 기존의 인터넷 서비스를 이용할 수 있고, AP를 사용하지 않는 시간대에는 공유 모드에서 AP를 공유하여 전파를 제공하고 암호화폐로 보상을 받는다. AP 사용자는 광고를 시청하고, AP 공유자와 AP 사용자, 통신서비스 제공업체는 광고 수익을 암호화폐로 나눠 갖는 구조이다. AP 사용자가 광고를 보고 싶지 않다면 암호화폐를 지불하고 AP를 사용할 수 있다. AP 공유자와 AP 사용자는 암호화폐를 모아서 통신서비스제공업체에 통신료로 지불할 수 있다.

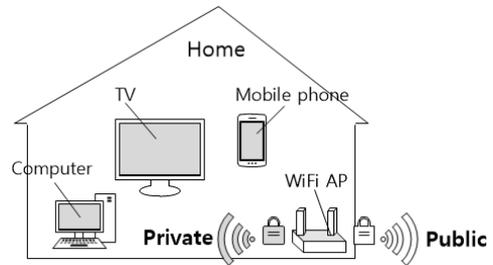


Fig. 2. Dual mode home AP

활용 예로서 하나의 실시 예를 들어 설명하면, 그림 3과 같은 커피숍에서는 새로운 AP를 설치하지 않고 주변의 스펙트럼 셰어링으로 공유된 가정용 AP 여러 대를 사용함으로써 통신비를 절감할 수 있다. 또한, 그림 4의 아파트와 같이 과도한 AP가 비효율적으로 밀집되어 많은 통신료가 부과되는 곳은 공간분할 다중화 (Spatial Division Multiplexing, SDM)[18]를 사용해 이웃 간에 AP를 공유하는 방식으로 AP 수와 사용되는 주파수는 줄이면서 넓은 커버리지를 효율적으로 확보할 수 있다.

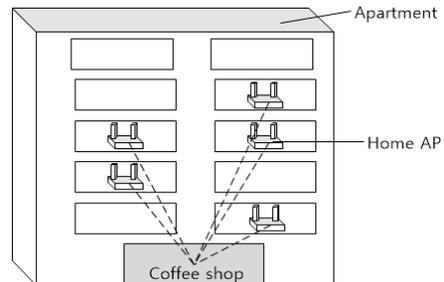


Fig. 3. Home AP used like public hotspot

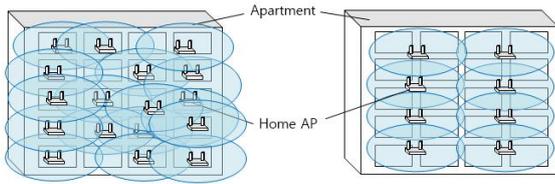


Fig. 4. Existing apartments (left) and apartments with spectrum sharing (right)

3.2.2 LTE 모바일 핫스팟을 이용한 전파 공유

스펙트럼 셰어링은 일정 시간 동안 특정 장소에서 LTE 모바일 핫스팟 기능을 이용한 전파 공유를 가능하게 한다. 모바일 핫스팟 공유자와 사용자는 dApp (Decentralized Application, 분산앱)을 설치하고 스마트 컨트랙트를 통해 LTE 기반의 모바일 핫스팟을 이용한다. 스펙트럼 셰어링 dApp을 설치한 모바일 기기는 그림 5와 같이 사유 모드와 공유 모드를 구분하여 핫스팟 공유자가 데이터를 사용하는 시간대에는 사유 모드를 지원하고, 데이터를 사용하지 않는 시간대에는 공유 모드를 지원한다. 모바일 기기 또한 공유 모드를 지원하는 시간은 스마트 컨트랙트로 프로그래밍 가능하다. 사유 모드에서 핫스팟 공유자는 3G, 4G, 5G를 사용하여 기존의 인터넷 서비스를 이용할 수 있고, 공유 모드에서는 핫스팟 사용자가 WPAN (Wireless Personal Area Network) 및 WLAN (Wireless Local Area Network)에 연결할 수 있도록 BLE (Bluetooth Low Energy)와 와이파이 기능을 제공한다.



Fig. 5. Spectrum sharing in mobile Device

이는 무제한 요금제를 사용하거나 정액제로 정해진 기간 동안 가용할 수 있는 데이터가 충분한 모바일 기기에서의 모바일 핫스팟 기능을 통해 유료 데이터 요금제 사용자들에게 전파를 임대하고 암호화폐로 보상을 받는 구조이다. 이때 유료 데이터 요금제 사용자는 광고를 시청하거나 암호화폐를 지출해 일정 시간 동안 모바일 핫스팟을 빌려 사용한다. 광고 수익은 블록체인의 스마트 컨트랙트에서 암호화폐로 정산되어 핫스팟 공유자와 핫스팟 사용자, 통신서비스제공업체에 일정 비율로 전달된다.

핫스팟 공유자와 핫스팟 사용자, 통신서비스제공업체가 광고 수익과 전파사용 수수료를 암호화폐로 나눠 갖는 구조이다. 핫스팟 공유자와 핫스팟 사용자는 암호화폐를 모아서 통신서비스제공업체에 통신료로 납부할 수 있다.

스펙트럼 셰어링은 전파 도달 거리에 따른 듀얼모드 활용 방안으로서 그림 6과 같이 사유 전용의 단거리 전파와 공유/사유 모드 선택이 가능한 장거리 전파로 나누어 적용할 수 있다. 단거리 전파 (5 GHz 이상의 고주파 대역)는 신호 도달 거리와 보안, 서비스 품질을 고려해 private 전용으로 사용하고, 장거리 전파 (Sub 1 GHz 혹은 2 GHz 대역)는 시간을 스케줄링하여 공유/사유 모드를 선택적으로 적용할 수 있다. 또한, 스펙트럼 셰어링은 비면허 대역의 전파 통신의 공유와 확장을 활성화할 수 있다.

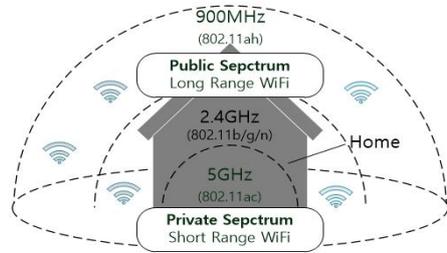


Fig. 6. Private short range spectrum and public/ private long range spectrum

3.3 스펙트럼 셰어링의 동작 원리

3.3.1 블록체인 기반의 중계 장치 관리

스펙트럼 셰어링 상에서 블록체인 기반의 중계장치 관리리는 그림 7과 같은 프로세스로 동작한다.

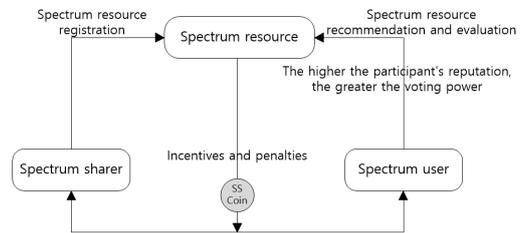


Fig. 7. Blockchain based Relay Device Management Process

먼저, 와이파이 AP 및 모바일 기기와 같은 전파중계 장치의 상태 정보와 서비스 품질을 dApp으로 관리한다. 다음으로 모바일 기기가 사용되는 위치마다 전파 품질을 실시간으로 레포팅하게 되며, 레포팅 된 정보를 바탕으로

전파 사용자의 위치에 따른 전파 서비스 품질 통계를 공유한다. 이때 전파 서비스 품질 통계에는 중계기 상태, RSSI (Received Signal Strength Indicator, 수신 신호 강도 지표), 전파 사용자 수, 평균 트래픽량, 전파 간섭 정보 등에 대한 품질 통계가 포함될 수 있다. 마지막으로 전파 서비스 품질에 대한 레포팅을 장려하기 위해 전파 환경 정보를 제공할 때마다 전파 사용자에게 암호화폐로 보상한다. 만일 전파 공유자가 중계기 전파 품질을 충분히 관리하지 않거나, 위변조된 정보를 레포팅하는 경우 또는 전파 사용자가 해킹과 같은 악의적인 행위를 하는 경우에 패널티로 플랫폼 참여에 제한을 받는다. 또한, 안정적이고 고품질의 전파를 공유하는 전파 공유자에게는 인센티브로서 더 많은 암호화폐를 지급함으로써 전파 공유자가 보다 높은 품질의 중계기를 사용하도록 유도한다.

3.3.2 블록체인 기반의 보안성 관리 및 평가

블록체인 기반의 보안성 관리 및 평가는 주로 다음 세 가지 측면에서 이루어진다[7-9].

첫째, 기밀성 보장이다. 스펙트럼 셰어링은 기밀성 보장을 위해 Open, WEP (Wired Equivalent Privacy), WPA2 (Wi-Fi Protected Access) 등의 와이파이 보안 방식에 따라 공유 전파의 보안성 등급을 적용한다. 또한, 스마트 계약을 이용해 비밀번호를 공유함으로써 기밀성을 보장한다.

둘째, 가용성 향상이다. 스펙트럼 셰어링은 가용성 향상을 위해 전파 사용자들의 평판과 서비스 중단 빈도에 따라 공유된 전파의 가용성 등급을 평가한다. 또한, 스펙트럼 셰어링을 통해 이용 가능한 전파의 수와 범위가 확장되어 가용성이 향상된다.

셋째, 무결성 보장이다. 스펙트럼 셰어링은 무결성 보장을 위해 전파 공유 정보 등의 중요 이벤트는 블록체인에 기록하고 관리한다. 이를 통해 가짜 전파 및 AP 공격을 방지할 수 있다.

3.4 스펙트럼 셰어링의 기대효과와 파급력

스펙트럼 셰어링은 상술한 블록체인의 장점을 활용해 다음의 네 가지 주요한 기대효과를 갖는다[7,8].

첫째, 저비용이다. 스펙트럼 셰어링은 전파 공유자의 듀얼모드 전파 중계 장치를 활용한 전파 공유를 통해 기존에 사적 소유의 대상이었던 와이파이 AP, 모바일 데이터 등을 공유한다. 이러한 방식으로 공공 인프라 비용을 획기적으로 줄일 수 있으며 동시에 전체적인 전파자원의

수를 증가시키는 효과를 준다. 또한, 전파 공유자는 전파 공유에 대한 보상 암호화폐로 통신비를 지불하고, 전파 사용자는 전파 품질 평가에 대한 보상 암호화폐로 통신비를 지불함으로써 통신비를 절감할 수 있다.

둘째, 고품질이다. 스펙트럼 셰어링은 참여자의 품질 평가에 대한 보상 체계를 통해 전파 서비스 품질 향상에 기여한다. 기존의 전파 공유는 와이파이 AP 위치 정보만으로 이루어졌다. 위치 정보만으로는 AP의 서비스 이용 가능 범위에 대한 정보를 알 수 없기 때문에 기존의 방식으로는 고품질의 전파 공유가 어려웠다. 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 플랫폼에서 참여자들은 독립적으로 전파 품질을 평가할 수 있고, 평가 결과는 평판 정보로 기록된다. 참여자들의 평가 참여에 대해 암호화폐로 보상하고 거짓된 평가에는 패널티를 부과함으로써 가치 평가와 보상을 투명하게 수행한다. 이를 통해 전파 사용자들이 중계기 상태, 전파 강도, 간섭 정보의 내용을 확인하고 고품질의 전파를 선택하여 사용 및 평가함으로써 전파 품질에 대한 자정작용이 발생한다. 추가적으로 스펙트럼 셰어링에 등록된 전파자원에 대한 참여자들의 자발적인 평가 방식으로 관리 비용이 절감된다.

셋째, 고신뢰이다. 스펙트럼 셰어링은 전파에 대한 중요 보안성 지표를 공유하고 평가하고 관리함으로써 사용자에게 안전한 전파 환경을 제공할 수 있다. 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 플랫폼을 활용하면 전파 보안 방식에 따라 보안 등급을 적용하고 블록체인의 비대칭키 알고리즘을 적용함으로써 개인정보 및 영업비밀 정보의 기밀성을 보장할 수 있다. 또한, 중요 이벤트를 블록체인에 기록하고, 탈중앙화된 여러 노드들이 동일한 전파 원장을 소유하고 관리함으로써 무결성을 보장할 수 있다. 그리고 분산 P2P 네트워크 기술을 이용한 분산 원장 방식으로 이용 가능한 전파의 수와 범위가 확장되어 서비스 가용성이 강화될 수 있다[7].

넷째, 고효율이다. 중앙집중식 전파 활용관리는 복잡한 구조, 부족한 융통성과 적응성으로 비효율적일 수밖에 없었다. 스펙트럼 셰어링은 분산 방식으로 P2P 거래가 가능하고 공중의 평가가 가능한 오픈 플랫폼이기 때문에 처리속도 및 효율성의 획기적인 향상과 시장 확장이 가능할 것이다.

이러한 특징과 장점을 활용해 스펙트럼 셰어링은 기술적, 사회적, 산업적 경제적 분야에서 다음의 주요한 파급력을 갖는다.

블록체인 기반 전파 공유 공공 인프라인 스펙트럼 셰어링을 위한 공유/사유 듀얼모드 전파 중계기술을 활용

해 공중이 전파 관리와 활용의 주체가 되는 오픈 플랫폼의 역할을 한다. 또한, 사회적으로 공공 인프라 서비스 품질 및 만족도를 향상시킬 수 있으며 블록체인에 내재된 암호학적, 수학적 정보보증 기법으로 신뢰할 수 있는 공공 인프라 체계를 마련할 수 있다. 이를 통해 스펙트럼 셰어링은 전파 공유자와 전파 사용자가 자유롭게 투명하게 전파자원을 활용하고 관리할 수 있는 생태계를 조성할 수 있다. 그뿐만 아니라, 스펙트럼 셰어링 서비스 활용으로 중앙집중적 시스템 대비 분산 시스템이 갖는 이점인 시스템 구축·관리비와 수수료 절감이 가능해진다.

4. 법적 쟁점과 과제

본 연구에서는 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링 플랫폼을 활성화하기 위한 관한 주요 쟁점을 분석하였다.

4.1 2차 임대 (전대차)

먼저 대역 주파수를 공유하는 경우 2차 임대 즉, 전대차에 대한 문제가 발생하게 된다. 스펙트럼 셰어링을 도입하기 위해서는 전파법에 전파에 대한 전대차 조항이 신설되어야 하며 건물에 대한 전대차 관련 조항이 존재하는 민법을 참고할 수 있다. 민법 전대차 조항에 정의된 임대인, 임차인, 그리고 전차인은 전파법 전대차 조항에서 다음의 전파법 상 전대차 조항 예시와 같이 각각 주파수 임대인, 주파수 임차인, 주파수 전차인으로 대응 및 정의될 수 있다.

- (전파 임차권의 양도, 전파 전대의 제한) 전파 전대차에는 전파 임대인의 동의가 있어야 하는바 전파 임대인의 동의 없이 전대하면 전파 임대인은 전파 임대차를 해지할 수 있다[23].
- (전파 전대의 효과) 승낙이 있는 적법한 전파 전임차에서는 전파 전차인은 전파 임대인에 대하여 직접 차임지급 등의 의무를 진다[24].
- (전파 전차인의 권리 확정) 전파 임대인과 전파 임차인의 합의로 계약을 종료시키는 때에는 전파 전차인의 권리는 소멸하지 않는다[25].

이와 같이 스펙트럼 셰어링 상에서는 각각 통신서비스 제공업체, 전파 공유자, 전파 사용자로 대응된다. 이처럼 민법상의 전대차 관련 법령을 참고하여 전파법에 전파 전대차에 관한 법령이 추가된다면 스펙트럼 셰어링을 통한 전파 공유가 활성화되어 전파를 보다 효율적으로 이

용할 수 있고, 더 나아가 새로운 기술 및 서비스 개발에 도움이 될 것이다.

4.2 스마트 컨트랙트의 법적 효력

스마트 컨트랙트는 자동으로 계약의 체결과 이행을 실행하기 때문에 여러 분야에서의 활용 가능성을 인정받고 있다[27,28]. 하지만 스마트 컨트랙트는 실제 계약과 같은 법률적 효력을 인정받지 못한다. 스펙트럼 셰어링 플랫폼은 스마트 컨트랙트를 이용하여 이용자들의 계약이 이루어지기 때문에 관련 법령이 제정되거나 개정되어야 할 것이다. 미국 애리조나주는 최초로 스마트 컨트랙트의 개념을 법률에 도입하였으며, 플로리다주와 테네시주 또한 스마트 컨트랙트의 법적 효력을 인정하고 있다[29]. 국내에서도 스마트 컨트랙트의 법적 효력이 진행된다면, 스펙트럼 셰어링 계약을 효율적으로 진행 할 수 있으며, 다양한 분야에서 비용 절감 및 수요 창출 효과를 얻을 수 있을 것이다.

4.3 전파 간섭

스펙트럼 셰어링을 통해 공공장소 및 가정에서 와이파이 AP의 밀도가 높아짐에 따라 전파 간섭과 경합이 발생하여 사용자 처리량의 저하 문제가 발생 할 수 있다[28]. 하지만 스펙트럼 셰어링을 활용한다면 커버리지 확보로 인한 이점이 전파 간섭 문제로 인한 결점보다 더 클 것으로 예상된다.

스펙트럼 셰어링은 동적 주파수 선택(Dynamic Frequency Selection, DFS) 방식을 통해 전파 간섭을 최소화함과 동시에 수용량을 높일 수 있다. 또한, 간섭에 관한 공공 주파수 데이터를 활용하여 전파 사용자들이 간섭, 전파의 세기 등과 같은 전파 품질에 대해 이용하고 자발적으로 평가함으로써 고품질의 스펙트럼 환경을 조성할 수 있다[30-32].

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 블록체인 기반의 스펙트럼 셰어링과 전파 공유를 활성화 할 수 있는 방안을 제시했다. 스펙트럼 셰어링은 전파의 배포 및 공유를 활성화하여 언제 어디서나 네트워크에 연결되어야만 하는 현대 사회에 이로운 영향을 미칠 수 있는 기술이 될 것이다. 스펙트럼 셰어링은 분산되고 독립적이며 개방된 공동 전파 활용·관리 데

이더베이스 플랫폼으로서 기존 중앙집중식 전파 활용관리 방식에서의 복잡한 구조, 부족한 융통성과 적응성, 그리고 처리속도와 편의성 관점에서의 비효율성을 해결하고, 고밀집 네트워크의 보편화와 과도한 통신 요금의 문제를 해결할 수 있다. 스펙트럼 셰어링을 활성화하기 위해서는 크게 전파법 상 제2차 입대와 스마트 컨트랙트에 대한 법정정책 변화가 있어야 할 것이다. 이와 같은 조건이 충족된다면 스펙트럼 셰어링 플랫폼의 이용을 통해 비면허 주파수의 활용도가 높아지는 효과를 볼 수 있으며 동시에 잉여 LTE 데이터와 같은 면허 주파수를 더욱 가치 있게 활용할 수 있을 것이다. 또한, 계약을 효율적으로 체결 할 수 있으며, 다양한 분야에서 비용을 절감하고 수요창출을 할 것으로 예상된다.

사물인터넷과 빅데이터 시대에는 데이터가 제 2의 오일이 될 것이다. 따라서 공중이 편리하고 값싸게 접근할 수 있는 공공 전파 인프라가 구축되면 데이터 생태계가 활성화되고, 결과적으로 ICT와 국가 경제 발전으로 이어질 것으로 기대된다. 후속 연구로서 본 연구에서 제시한 스펙트럼 셰어링의 프로토타입을 구현하고 확장성, 효율성, 편의성, 안전성을 실험할 예정이다. 또한 스펙트럼 셰어링을 이용 시 발생하는 전파 커버리지의 확산으로 인한 간섭에 대해 해결방안을 제시하고, 이동성을 고려한 스펙트럼 셰어링 효율성 향상 방법 및 정책에 대한 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] W. J. Ryu & S. Y. Shin. (2017). On performance improvement of optical camera communication using RGB LEDs by applying histogram equalization, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 42(8), 1654-1661. DOI : 10.7840/kics.2017.42.8.1654
- [2] Rewheel. (2017). The state of 4G pricing. *Digital Fuel Monitor*, 8, 1-18
- [3] S. Y. Jun & I. J. Jeong. (2014). LTE Spectrum Policy: Focused on the OECD 12 Countries. *Journal of Digital Convergence*, 12(8), 1-18.
- [4] W. J. Jeong, J. H. Yoo, T. H. Kim, M. D. Kim, H. K. Chung, S. H. Bae & J. K. Pack. (2010). MIMO Channel Modeling Using Concept of Path Morphology. *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 21(2), 179-187.
- [5] L. Duan, L. Gao & J. Huang. (2014 Jan). Cooperative spectrum sharing: A contract-based approach, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 13(1), 174-187. DOI : 10.1109/TMC.2012.231
- [6] E. A. Jorswieck, L. Badia, T. Fahldieck, E. Karipidis & J. Luo. (2014). Spectrum sharing improves the network efficiency for cellular operator. *IEEE Communications Magazine*, 52(3), 129-136.
- [7] S. Nakamoto. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. bitcoin. www.bitcoin.org
- [8] D. Tapscott & A. Tapscott. (2016). *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin.
- [9] M. Swan. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. Sebastopol : O'Reilly Media.
- [10] S. H. hong & S. H. Park. (2017). The Research on Blockchain-based Secure IoT Authentication. *Journal of the Korea Convergence Society*, 8(11), 57-62.
- [11] Y. H. Kang. (2018). A Study on An Enhancement Scheme of Privacy and Anonymity through Convergence of Security Mechanisms in Blockchain Environments. *Journal of the Korea Convergence Security*, 9(11), 75-81.
- [12] M. G. An, Y. S. Park. (2019). A Study on the Effectiveness of Blockchain an Legal System and Policy Tasks for SMEs. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9(7), 14-24.
- [13] J. H. Yang. (2018). A Study on the Effect of Block Chain Application and Legal Issue in Logistics industry. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(1), 187-199.
- [14] J. H. Hyun, J. Li, C. T. Im, J.H. Yoo & W. K. Hong. (2015). Connection Procedure Analysis of the Smartphone for the Different IP Version in IPv6-only LTE Network. *KICS 2015 Winter Synthesis Conference*, 868-869
- [15] D. Cabric, I. D O'Donnell, M. W. Chen & R. W. Brodersen (2006). Spectrum sharing radios. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 6(2), 30-45 DOI : 10.1109/MCAS.2006.1648988.
- [16] FCC 15-47. (2015). Report and order and second further notice of proposed rule making, in the matter of amend-ment of the commission's rules with regard to commercial operations in the 3550-3650MHz, *GN Docket*, 3959-4145.
- [17] K. M. Kang, J. C. Park, S. N Chio, S. J. You, S. H. Hwang & W. J. Byun. (2018). Spectrum policy and standardization trends on frequency sharing. *Electronic Communication Trend Analysis*, 33(3), 1-10 DOI:10.22648/ETRI.2018.J.330301
- [18] S. K Kim, M. G. Park, S. H. Park & J. H. Oh. (2017). WiFind: automatic detection app for optimal wifi signal, *KCC Collection of papers*. 1957-1959.
- [19] B. J. Seo & S. W. Na. (2017). Study on network development strategy for intelligent information age. *Information and Communications Magazine*, 34(8), 30-37.

- [20] H. G. Park. (2017). *Public Wi-Fi without security devices, national hacking risk exposure*. http://theminjoo.kr/inspectionDetail.do?bd_seq=85916.
- [21] J. Xiong & K. Jamieson. (2013, September). Securearray: Improving wifi security with fine-grained physical-layer information. *In Proceedings of the 19th annual international conference on Mobile computing & networking*. 441-452
- [22] R. V. Nee, A. V. Zelst & G. Awater (2000, May). Maximum likelihood decoding in a space division multiplexing system. *2000 IEEE 51st Vehicular Technology Conference Proceedings*, 1, 6-10.
- [23] KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUT (2017). Civil act no.14965 article 629. https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawView.do?hseq=45912&lang=ENG
- [24] KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUT (2017). Civil act no.14965 article 630 (Effect of Sub-lease). https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawView.do?hseq=45912&lang=ENG
- [25] KOREA LEGISLATION RESEARCH INSTITUT (2017). Civil act no.14965 article 631. https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawView.do?hseq=45912&lang=ENG
- [26] W. S. Stornetta & S. Haber. (1990, August). How to time-stamp a digital document. *In Conference on the Theory and Application of Cryptography* (pp. 437-455). Berlin : Heidelberg.
- [27] N. Szabo. (1996). Smart contracts: building blocks for digital markets. *Extropy : The Journal of Transhumanist Thought*, (16), 18.
- [28] V. Butain. (2017). *Ethereum white paper*, Ethereum Community, <https://www.ethereum.org/pdfs/EthereumWhitePaper.pdf>
- [29] J. W. Kim. (2018). Legal issues of the 'smart contract'. *Korean lawyers association*, 67(1), 150-200.
- [30] B. Kauffmann, F. Baccelli, A. Chaintreau, V. Mhatre, K. Papagiannaki & C. Diot. (2007, May). Measurement-Based Self Organization of Interfering 802.11 Wireless Access Networks. *26th IEEE International Conference on Computer Communications*, 7, 1451-1459.
- [31] J. S. Lee, Y. W. Su & C. C. Shen. (2007). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. *Industrial electronics society. 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 5, 46-51.
- [32] S. Roy, J. R. Foerster, V. S. Somayazulu & D. G. Leeper. (2004). Ultrawideband radio design: The promise of high-speed, short-range wireless connectivity. *Proceedings of the IEEE*, 92(2), 295-311.

신 나 연(Na-Yeon Shin)

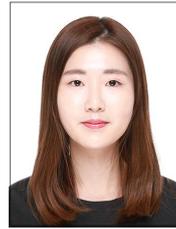
[학사학위]



- 2017년 2월 ~ 현재 : 성신여자대학교 융합보안공학과 학사과정
- 관심분야 : 블록체인, 정보보호, 융합보안
- E-Mail : skdus9963@gmail.com

남 지 현(Ji-Hyun Nam)

[학사학위]



- 2019년 2월 : 성신여자대학교 융합보안학과 (사학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : 네트워크 보안, 시스템 보안, 정보보호
- E-Mail : jhnam19@o365.skku.edu

최 예 진(Ye Jin Choi)

[학사학위]



- 2018년 2월 : 성신여자대학교 정보시스템공학과 (공학사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 성신여자대학교 미래융합기술공학과 석사과정
- 관심분야 : 블록체인, 정보보호
- E-Mail : hs1yejin@gmail.com

이 일 구(Il-Gu Lee)

[석사학위]



- 2003년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
- 2005년 2월 : 한국과학기술원 정보통신대학원 (공학석사)
- 2012년 2월 : 한국과학기술원 지식재산대학원 (경영학석사)
- 2016년 2월 : 한국과학기술원 정보보호대학원 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 성신여자대학교 융합보안공학과 조교수
- 관심분야 : 융합보안, 정보보호, 정보통신
- E-Mail : iglee@sungshin.ac.kr