

# 스마트 더스트 IoT 환경의 블록체인을 위한 물리적/논리적 네트워크 통합 설계

박준수\*, 박기현\*  
\*계명대학교 컴퓨터공학과  
joonsuupark@stu.kmu.ac.kr, khp@kmu.ac.kr

## A Design of Lightweight Blockchain for Smart Dust IoT Environment

Joonsuu Park\*, KeeHyun Park\*  
\*Dept. of Computer Engineering, Keimyung University

### 요 약

스마트 더스트 IoT 환경은 먼지처럼 작은 크기, 대량 살포, 낮은 연산 능력을 특징으로 가지는 기기들이 서로 통신하는 IoT 시스템 중 하나이다. 이러한 스마트 더스트 IoT 환경은 상기의 특성으로 인해 데이터 위·변조와 같은 데이터 신뢰성을 위해 일반적인(순수한) 블록체인을 사용하기 어렵다. 따라서 본 연구팀은 이전 연구를 통해 스마트 더스트 IoT 환경에 적합한 경량화된 블록체인을 연구·개발했다. 하지만 이전 연구는 스마트 더스트 IoT 환경의 동적인 물리적 연결을 배제한 채 스마트 더스트 IoT의 기기적 특성만이 고려되었다. 본 논문에서는 스마트 더스트 IoT 환경의 동적인 물리적 연결을 고려하여 스마트 더스트 IoT 환경에의 물리적 네트워크와 논리적 네트워크를 통합하는 설계를 제안한다.

### 1. 서론

스마트 더스트(smart dust)는 온도, 습도, 압력 같은 주변의 정보를 감지하기 위해 건물, 도로, 의류, 인체와 같은 물리적 공간/대상에 먼지처럼 작은 센서를 부착하거나 흩뿌리는 개념이다 [1-4]. 스마트 더스트는 아주 작은 기기를 다루는 IoT(Internet of Things)로 생각될 수 있다. 즉, 스마트 더스트 IoT 시스템은 계산 능력이 매우 낮고 크기가 매우 작은 스마트 더스트 기기를 다루는 특수한 IoT 시스템 중 하나로 생각할 수 있다 [1, 2, 4, 5].

여러 방면에서 IoT 시스템의 보안 문제에 관한 다양한 연구가 수행되었다 [6-9]. 하지만 이러한 연구들은 기기의 수나 기기의 계산 능력이 제한되는 환경을 고려하지 않았기 때문에 아주 많은 기기의 수를 가지고 각 기기들의 계산 능력이 제한되는 스마트 더스트 IoT 환경에 적용되기 힘들다. 또한 스마트 더스트 IoT 환경이 가지는 방대한 수의 기기라는 특성은 또 다른 보안 문제를 발생시킬 수 있다.

일반적으로 블록체인은 데이터의 위·변조 같은 데이터의 신뢰성 문제에 좋은 해결책으로 간주된다 [10-12]. 따라서 본 연구팀은 스마트 더스트 IoT 환경에 내제된 인증, 데이터 위·변조 등의 문제를 해결하기

위해 블록체인을 적용하고자 한다. 일반적인 블록체인의 노드는 선형적으로 구성기 때문에 원장의 검증 속도는 체인에 참여하는 기기 수에 비례한다 [13]. 즉, 엄청난 양의 기기들을 가정하는 스마트 더스트 IoT 환경에서는 블록체인의 일반적인 선형적 작업 증명이 수행될 때, 기기 수에 비례하는 상당한 처리 속도 저하를 경험한다.

상술한 문제를 해결하기 위해, 본 연구팀은 이전 연구 [4]에서 스마트 더스트 IoT 환경에서 사용할 수 있는 경량화 블록체인을 제안했다. 하지만 이전 연구는 스마트 더스트 IoT 기기들의 네트워크(물리적 네트워크)를 고려하지 않고, 블록체인 네트워크(논리적 네트워크)만을 고려한다.

따라서 본 논문에서는 스마트 더스트 IoT 환경의 블록체인 네트워크뿐만 아니라, 스마트 더스트 IoT 기기 네트워크를 모두 고려하는 전체 스마트 더스트 IoT 환경의 경량화 블록체인 시스템의 설계를 제안한다.

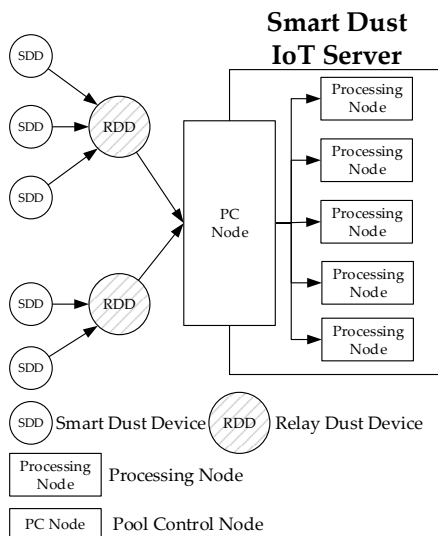
### 2. 이전 연구

본 논문의 네트워크의 노드들은 본 연구팀의 이전 연구들[3, 4, 14, 15]처럼 다음의 세 종류의 노드들로 구성된다:

- **SDD(Smart Dust Device):** 필드로부터 데이터를 수집하는 디바이스
- **RDD(Relay Dust Device):** SDD의 모든 역할을 포함하며, SDD로부터 수집된 데이터를 서버로 전달하는 역할 또한 수행하는 디바이스
- **스마트 더스트 IoT 서버(Smart Dust IoT Server):** RDD로부터 시스템 내의 노드들로부터 데이터를 전달받아 시스템에 목적에 맞는 서비스를 제공하는 노드

스마트 더스트 IoT 시스템은 방대한 양의 데이터들이 생성되는 스마트 더스트 IoT 환경의 데이터를 효과적으로 전송하기 위해 노드들(SDD, RDD 스마트 더스트 IoT 서버)을 계층적으로 배치함으로써, 병목현상 등의 문제를 해결한다 [3, 4, 14, 15].

다음 그림 1은 스마트 더스트 IoT 환경의 계층화된 노드 구성을 보인다.

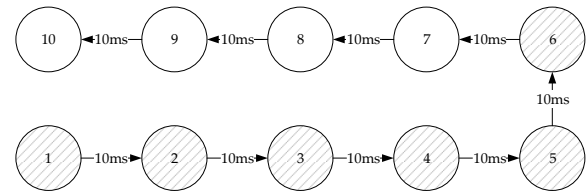


(그림 1) 스마트 더스트 IoT 시스템의 계층화 구성도

그림 1의 Processing Node는 서비스를 제공하기 위해 데이터를 처리하는 노드이며, PC Node는 Processing Node를 제어하는 노드이다. 둘다 스마트 더스트 IoT 서버를 구성하는 요소들이며, 실제 구성 요소이기에 계층화 구성도에는 포함되었지만 본 논문에서 다루는 부분이 아니기에 자세한 설명을 생략한다.

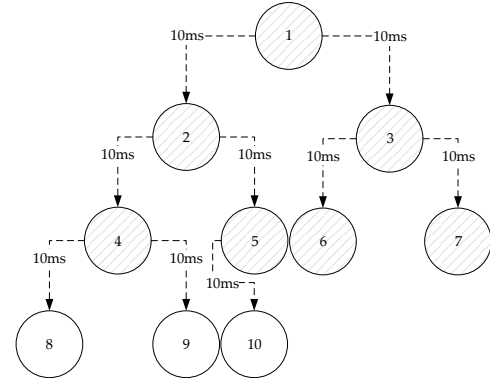
이 후, 본 연구팀의 상기의 계층화 시스템을 기반으로 스마트 더스트 IoT 환경의 특성을 고려하여 선형적 구조의 체인을 트리 구조로 변경하고 트리와 관련된 액션을 추가함으로써 스마트 더스트 IoT 환경에서 기기들의 부족한 계산 능력과 리소스에도 불구하고 동작할 수 있는 트리 기반 경량화 블록체인을 제안했다 [14].

그림 2는 선형적으로 구성된 노드에 대한 예시이다.



(그림 2) 선형적인 노드 구성 예시

그림 3은 트리 기반의 노드 구성 예시이다.



(그림 3) 트리 기반 노드 구성 예시

블록체인 구성의 대상이 되는 RDD를 선형적으로 구성할 경우, 노드의 과반 이상에 트랜잭션/블록을 통과하기 위해서는 총 6개의 노드(그림 2에서 음영 처리되어있는 1-6 원형 참조)의 전달이 필요하며, RDD를 트리 구조로 구성할 경우 7개의 노드(그림 3에서 음영 처리되어있는 1-7 원형 참조)에 의해 전달되기 때문에 자칫 더 느린 것으로 생각될 수 있다. 하지만 그림 3에서 확인할 수 있듯, 1에서 2와 1에서 3의 전파는 동시에 일어나며, 2에서 4, 2에서 5, 3에서 6, 3에서 7이 동시에 일어날 수 있기 때문에 전체 노드 전파 시간(한 홉당 10ms라고 가정할 때)은 선형적인 노드 구성에서 50ms, 트리 기반의 노드 구성에서 20ms의 시간을 요하므로, 대규모의 데이터 전파에 용이하다.

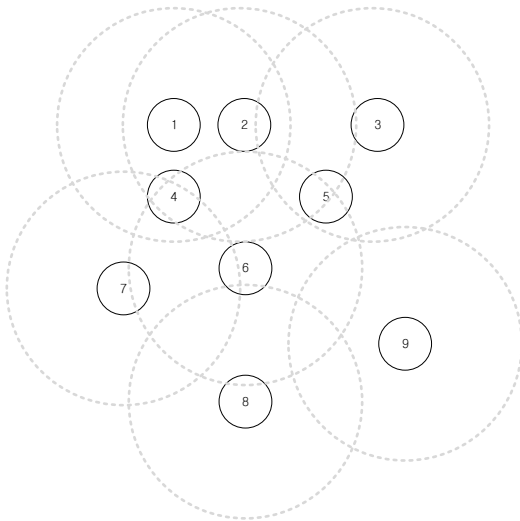
### 3. 물리적 네트워크와 논리적 네트워크 통합

본 연구에서 다루고 있는 시스템의 네트워크는 스마트 더스트 IoT 기기들이 필드에 배포되고 연결되는 네트워크(물리적 네트워크)와 실제로 연결되는 경로를 의미하진 않지만, 트랜잭션 배포에 사용되는 트리 구조의 오버레이 네트워크(논리적 네트워크)로 나뉠 수 있다.

논리적 네트워크의 구성은 본 연구팀의 이전 연구 [4]의 구조를 동일하게 취한다. 하지만 물리적 연결을 다루고 있는 본 연구팀의 이전 연구[15]은 블록체인이 고려되어 있지 않아 직접적으로 사용할 블록체인에 적합한 경로를 논리적인 네트워크에 제공할 수 없다. 따라서 우리는 블록체인 네트워크에게 노드 경로 정보를 줄 수 있도록 물리적 네트워크의 절차들을 설계했다.

그림 4는 물리적 연결이 수행되기 전의 노드 상태를 보인다. 각 원형은 RDD들을 의미하며, 회색 점선

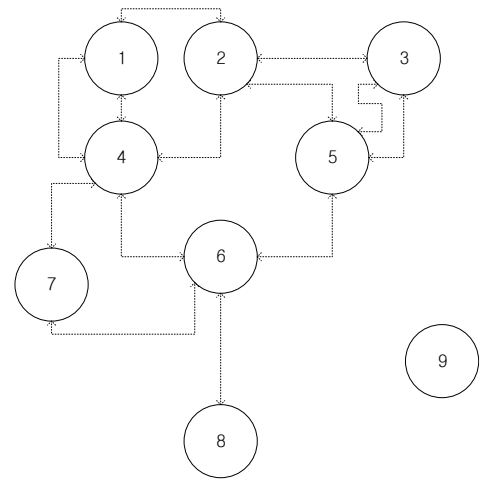
은 중심에 있는 노드의 연결 범위를 의미한다.



(그림 4) 물리적 네트워크 구성 전의 RDD 네트워크 예시

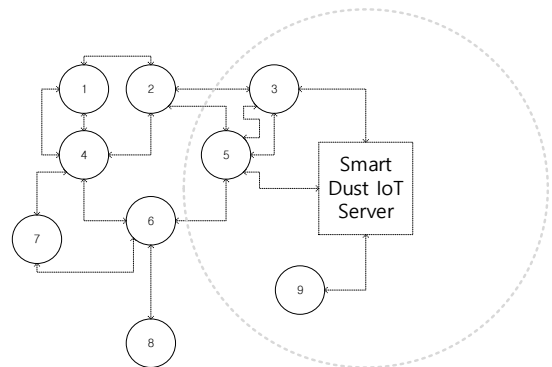
우선 각 RDD 들은 필드에 배포됨과 동시에 자신의 연결 범위에 있는 모든 RDD 에게 연결 신호를 송신한다. 그 후, 다른 RDD 로부터 연결 신호를 수신한 각 RDD 들이 자신에게 연결 신호를 송신한 모든 RDD 들의 리스트를 작성한 후 신호 강도 순으로 정렬한다. 정렬된 리스트의 각 RDD 들은 자신의 연결 리스트 최상단의 2 개의 RDD 를 선택하여 연결을 요청한다(연결 요청 RDD 를 2 개로 제한하는 이유는 다중 경로를 확보함과 동시에 경로 탐색에 소요되는 시간을 줄이기 위함이다). 연결 요청을 수신한 RDD 는 연결을 허용/불허에 따라 결과를 반환한다. 연결 요청이 불허된 RDD 는 앞에 작성된 정렬된 RDD 리스트에서 불허된 RDD 를 리스트 끝으로 옮겨 우선순위를 최하위로 낮추고 다음 순위(3 순위)의 RDD 에게 연결을 요청하는 과정을 반복한다. 자신의 상위에 연결된 노드가 2 개가 되면, 각 RDD 들은 자신에게 연결된 노드들의 연결 정보를 자신이 연결된 노드에게 송신한다. 이 과정은 아래에서 위로 지속적으로 반복되면, 하위 노드로부터 데이터를 수신하는 노드는 지속적으로 상위 노드로 이 정보를 송신하여, 리스트의 변화가 없을 때까지 이를 반복한다.

그림 5 는 그림 4 의 RDD 네트워크에서 물리적 네트워크가 구성되고 난 후의 모습을 보인다.



(그림 5) 서버를 제외한 물리적 네트워크가 구성된 RDD 네트워크 예시

그림 6 은 스마트 더스트 IoT 서버가 연결된 RDD 의 물리적 네트워크를 보인다(회색 점선은 스마트 더스트 IoT 서버의 수신 범위).



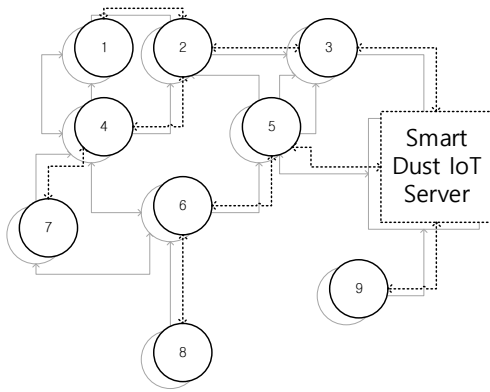
(그림 6) 최종 물리적 네트워크 구성 예시

물리적 네트워크가 구성되고 난 후, 끝 작업으로, 여전히 존재하는 사이클은 지역적으로 판별할 수 없는 사이클이기 때문에 그대로 두며, 이는 다중 경로 탐색 시 중복 노드 발견에 의해 경로 탐색에서 배제된다.

물리적 네트워크를 구성할 때, 가장 첫 단계에서 각 RDD 들은 자신의 연결 범위 내에 있는 모든 RDD 에게 연결 신호를 송신했다. 이 신호는 스마트 더스트 IoT 서버에게도 전달되며, 이를 수신한 서버는 모든 RDD 들의 연결을 수용한다.

앞서 밝힌 바와 같이, 논리적 네트워크는 본 연구팀의 이전 연구[15]와 동일한 메커니즘을 사용한다.

그림 7 은 [15]의 메커니즘을 사용하여 논리적 네트워크의 구성이 끝난 뒤의 물리적/논리적 네트워크 구성을 보인다.



(그림 7) 최종 논리적/물리적 네트워크 예시

위 그림 7에서 회색 실선은 물리적 네트워크를 의미하며, 검은색 점선은 논리적 네트워크를 의미한다.

#### 4. 결론 및 향후연구

본 연구팀은 다년간에 걸친 지난 연구들에서 개별 기기들의 성능/자원이 매우 제한되고 이러한 기기들이 방대한 수 존재하여 서로 통신하는 스마트 더스트 IoT 시스템에 관해 연구했다. 그 과정에서 발생할 수 있는 여러 문제들을 해결하기 위해 스마트 더스트 IoT 시스템에 RDD의 개념을 도입해 시스템을 계층화 했으며, 계층화된 시스템에 적용할 수 있는 경량화된 블록체인을 고안했다. 하지만 우리가 이전 연구를 통해 제안한 경량화된 블록체인은 스마트 더스트 IoT 환경의 여러 문제들을 고려했고 해결했지만, 여전히 스마트 더스트 IoT 네트워크의 물리적 연결과 유기적으로 통합될 수 없었다.

본 논문에서 우리는 이러한 물리적/논리적 네트워크를 통합할 수 있는 시스템을 제안했다. 우리는 이를 통해 스마트 더스트 IoT 환경의 실제적 구현에 더욱 다가설 것으로 기대한다. 그럼에도 불구하고 본 논문에서 다루고 있는 내용은 단순 설계이기 때문에, 향후 연구를 통해 실제 구현을 통해 스마트 더스트 IoT 환경에 적합한 경량화 블록체인의 성능 검증이 필요하다.

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2018R1D1A1B07043982)

#### 참고문헌

- [1] Anderson, R.; Chan, H.; Perrig, A. Key infection: Smart trust for smart dust. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols, Berlin, Germany, 2004, pp. 206-215.
- [2] Kahn, J.M.; Katz, R.H.; Pister, K.S.J. Next century challenges: Mobile networking for "smart dust". Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, Seattle, WA, USA, 1999, pp. 271-278.
- [3] Park, J.; Park, K., A Dynamic Plane Scaling Method for Smart Dust Environments. In Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing, Singapore, 2018, pp.

- 381-384.
- [4] Park, J.; Park, K., A Lightweight Blockchain Scheme for a Secure Smart Dust IoT Environment. Appl. Sci. 10, 24, 8925, 2020.
- [5] Kahn, J.M.; Katz, R.H.; Pister, K.S.J. Emerging challenges: Mobile networking for "Smart Dust". J. Commun. Netw. 2, 3, 188-196, 2000.
- [6] Alcaide, A.; Palomar, E.; Montero-Castillo, J.; Ribagorda, A. Anonymous authentication for privacy-preserving IoT target-driven applications. Comput. Secur. 2013, 37, 111-123, 2013.
- [7] Granjal, J.; Monteiro, E.; Silva, J.S, Security for the Internet of Things: A Survey of Existing Protocols and Open Research Issues. IEEE Commun. Surv. Tutor. 17, 3, 1294-1312, 2015.
- [8] Kalra, S.; Sood, S.K. Secure authentication scheme for IoT and cloud servers. Pervasive Mob. Comput. 24, 210-223, 2015.
- [9] Nguyen, K.T.; Laurent, M.; Oualha, N. Survey on secure communication protocols for the Internet of Things. Ad Hoc Netw. 32, 17-31, 2015.
- [10] Dai, H.-N.; Zheng, Z.; Zhang, Y. Blockchain for Internet of Things: A Survey. IEEE Internet Things J. 6, 5, 8076-8094, 2019.
- [11] Nguyen, G.T.; Kim, K. A Survey about Consensus Algorithms Used in Blockchain. J. Inf. Process. Syst. 14, 1. 101-128, 2018.
- [12] Portmann, E. Rezension "Blockchain: Blueprint for a New Economy". HMD Prax. Wirtsch. 55, 1362-1364, 2018.
- [13] Wright, C.S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. SSRN Electron. J. 2008.
- [14] Park, J.; Park, K., A Two-Class Data Transmission Method Using a Lightweight Blockchain Structure for Secure Smart Dust IoT Environments. Sensors, 20, 6078, 2020.
- [15] Park, J.; Park K., "Construction of a Remote Monitoring System in Smart Dust Environment," Journal of Information Processing Systems, 16, 3, 733-741, 2020.