

계층적 통신을 활용한 무선 분산 합의 기법

이호중, 최완*

한국과학기술원, *서울대학교

dlghwnd1122@kaist.ac.kr, *wanchoi@snu.ac.kr

Wireless Distributed Consensus based on Hierarchical Communications

Lee Ho Jung, Wan Choi*

Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), *Seoul National Univ.

요약

최근 무선 사물 인터넷 장치가 급격히 증가함에 따라 무선 장치들 간 정보 교환이 많이 이루어지고 있다. 사물 인터넷과 같이 중앙장치가 없는 탈 중앙집중 네트워크 환경에서는 신뢰성 있는 정보 교환을 위해 각 장치 간 합의가 필요하다. 기존 유선 환경에서 주로 적용되었던 분산 합의 기법을 무선 통신 환경에 적용할 경우, 다수의 장치가 합의할 때 합의 지연 시간이 급격히 증가하는 확장성 문제가 존재한다. 본 논문에서는 이러한 한계점을 해결하기 위해 분산 합의 기법에 계층적 통신 기법을 적용한다. 다수의 무선 장치가 분포하고 있는 네트워크 환경에서 계층적 통신 기법을 활용한 무선 분산 합의 기법은 기존의 분산 합의 기법과 비교하여 합의에 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

I. 서론

최근 사물 인터넷 장치에 대한 관심이 높아지고 다양한 형태의 사물 인터넷 장치가 보급되고 있다. 이와 관련하여 Cisco에서는 2023년까지 모든 글로벌 네트워크 장치의 50%를 사물 인터넷 장치가 차지할 것이라고 예측하고 있다.^[1] 이에 따라 무선 통신에서 사물 인터넷 장치 간 정보 교환의 비율은 상당량을 차지할 것이다. 중앙 장치가 존재하는 중앙집중 네트워크 (centralized network)에서는 사물 인터넷 간 정보 교환은 중앙 장치를 통해 이루어지면서 신뢰성 문제와 지연 문제를 해결할 수 있다. 하지만 중앙 장치가 존재하지 않는 탈 중앙집중 네트워크 모델에서는 분산되어있는 장치들 간에 신뢰성 있는 정보 교환을 보장할 수 없다는 문제점이 생긴다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 블록체인과 같은 분산 원장 기술(Distributed Ledger Technology)을 사물 인터넷 장치에 접목한 연구도 활발히 이루어지고 있다.^[2] 분산 원장 기술은 중앙 장치 없이도 각 분산 장치의 원장을 관리하고 결함이 있는 장치로부터 시스템을 안전하게 유지하는 기술이다. 사물 인터넷 장치들은 배터리 방전, 컴퓨팅 연산 오류와 같은 이유로 정보 교환 과정에서 오류가 생길 수 있다. 탈 중앙집중 네트워크 모델에서는 이러한 상황에서도 신뢰성 있는 정보 교환을 할 수 있도록 각 장치 간 합의가 필요하다.

유선 환경에서의 적용을 고려했던 기존 분산 합의 기법 (Conventional consensus scheme)은 합의에 참여하는 노드의 수와 네트워크 크기가 증가함에 따라 합의에 소요되는 합의 지연시간이 급격히 증가하여 확장성에 한계가 있다.^[3] 따라서 다수의 무선 통신 노드가 참여하는 네트워크에 적용하기에는 부적합하다. 따라서 본 논문에서는 다수의 무선 통신 단말이 참여하는 네트워크에 적합한 새로운 무선 분산 합의 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 계층적 통신을 기반으로 하여 합의에 도달하기 위한 통신 횟수를 기존 분산 합의 기법에 비해 줄이고 협력 다중 안테나 통신을 활용하여 채널 열화 상황에서 재전송 횟수를 줄일 수 있다. 본 논문에서는

제안하는 계층적 통신 기반 무선 분산 합의 기법 (이하 계층적 분산 합의 기법, hierarchical consensus scheme)을 통해, 합의에 도달하기까지 지연되는 시간을 단축시켜서 짧은 시간 내에 합의에 도달할 수 있음을 보인다.

II. 본론

가. 기존 분산 합의 기법

그림 1과 같이 기존 분산 합의 기법에서의 무선 통신은 3단계로 이루어져 있다. 제안자 노드 p 는 다른 검증 노드들 v_1, \dots, v_4 에게 브로드캐스팅으로 의제 A_p 를 제안한다. 의제를 받은 검증 노드들은 제안한 의제를 검증한다. 검증을 마친 검증자 노드들은 검증 결과를 다른 모든 노드들에게 브로드캐스팅으로 전달한다. 이때 전달 순서는 라운드-로빈

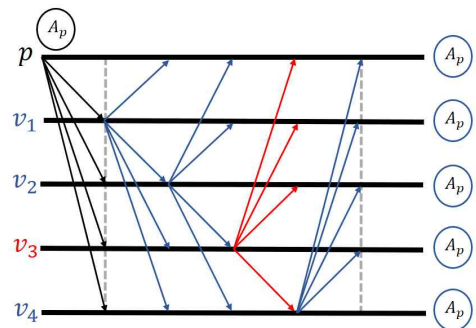


그림 1 기존 분산 합의 기법

(round-robin) 방법으로 돌아가면서 한 노드씩 전달한다. 모든 검증결과가 전달이 마치면 각 노드는 수신한 검증 결과를 토대로 다수결의 원칙에 의해 A_p 의 합의 결과를 생성한다.

위 과정에서 참여하는 노드의 수가 많아질수록 통신 횟수가 증가하며, 네트워크의 크기도 커져 무선 통신 채널의 임의성으로 인해 요구되는 재전

송 횟수도 증가하기에 다수의 단말이 참여하는 네트워크에서의 무선 분산 합의에는 적절하지 않다.

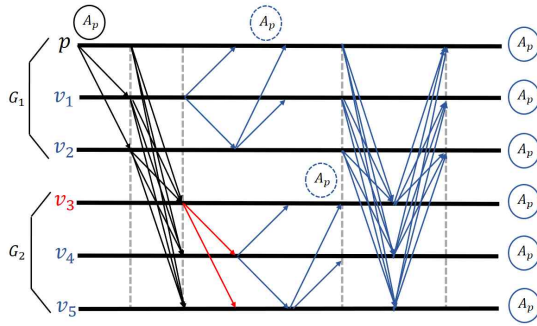


그림 2 계층적 분산 합의 기법

나. 계층적 분산 합의 기법

그림 2는 계층적 분산 합의 기법을 나타낸다. 계층적 분산 합의 기법에서의 무선 통신은 기존 분산 합의 기법과 다르게 5단계로 이루어져 있다. 계층적 통신 시스템을 적용하기 위해 네트워크에 참여하는 전체 노드는 거리가 가까운 노드들끼리 그룹을 이루고 있다 (G_1, G_2). 이때 임의의 제안자 노드 p 는 같은 그룹에 속한 검증자 노드들 (v_1, v_2)에게 브로드캐스팅으로 의제 A_p 를 제안한다. 의제를 받은 같은 그룹 내의 단말들은 다중 안테나 송신 기법을 통해 다른 그룹에 속한 검증자 노드들에게 브로드캐스팅으로 의제를 전달한다. 모든 노드가 의제를 전달 받은 뒤에, 각 노드는 제안한 의제를 검증하고 검증결과를 같은 그룹에 속한 노드들에게 브로드캐스팅으로 전달한다. 모든 그룹이 그룹 내 합의를 마친 뒤, 각 그룹은 다른 그룹에 속한 모든 노드들에게 협력 다중 안테나 통신을 통해 합의 결과를 전달한다. 각 노드가 모든 그룹의 합의 결과를 전달 받으면 각 노드는 수신한 검증 결과를 토대로 다수결의 원칙에 의해 A_p 의 최종 합의 결과를 갱신한다.

기존 기법과 달리 전체 노드가 그룹별로 우선 합의를 진행 한 후 그룹 내 합의 결과를 바탕으로 전체 노드가 합의하기 때문에 노드의 수가 많을수록 기존 기법에 비해 합의에 필요한 통신 횟수가 적다.

다. 시뮬레이션

그림 3은 기존 무선 분산 합의 기법과 계층적 무선 분산 합의 기법을 사용했을 때 합의를 이루는데 소요되는 평균 시간을 참여 노드의 수에 따라 나타낸 그래프이다. 전체 노드는 간격이 10m인 사각 그리드 형태로 분포하고 있으며, 각 장치는 $P_t = 100mW$ 의 전력으로 정보를 전송한다. 노이즈 세기는 $P_n = 10^{-10}mW$ 이다. 무선 통신 채널은 레일리 분포를 따르며^[4] 경로 감쇄 상수는 $\eta = 3$, 반송 주파수는 $2.4GHz$ 로 가정하였다. 앞서 설명한 바와 같이 기존 분산 합의 기법은 전체 노드의 수가 증가함에 따라 합의 지연 시간이 급격히 증가하는 반면, 계층적 분산 합의 기법을 사용할 경우 상대적으로 짧은 합의 지연 시간을 가짐을 확인할 수 있다. 이는 필요한 통신 횟수의 감소와 더불어 먼 거리의 노드에게 정보를 전달할 시에 협력 다중 안테나 통신을 통해 한번 정보를 전달하기 위한 재전송 횟수 역시 감소하는 효과가 있기 때문에 합의 지연 시간이 상대적으로 천천히 증가함을 볼 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 계층적 통신을 기반으로 한 계층적 분산 합의 기법을 제안하였다. 계층적 통신 기법은 기존의 분산 합의 기법과 다르게 전체 노드

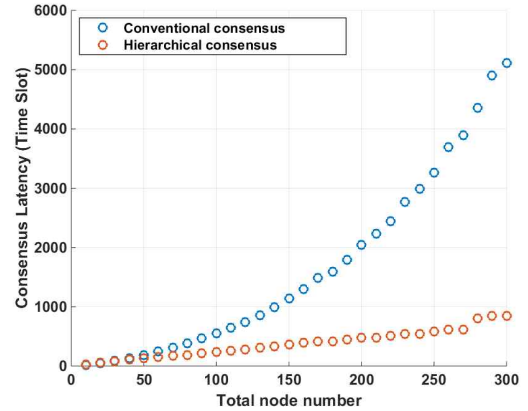


그림 3 전체 노드 수에 따른 합의 지연 시간 비교

를 그룹으로 나누어, 그룹 단위로 합의를 진행 한 후에 상위 계층에서 전체 그룹 간 합의를 진행한다. 이로써 정보 교환 횟수의 감소와 협력 다중 안테나 통신으로 인한 재전송 횟수의 감소를 통해 합의 지연 시간을 줄일 수 있었다. 다수의 노드가 참여하는 제안된 기법은 분산 네트워크 환경에서 중앙장치 없이 빠르게 합의에 도달하는 것이 필요한 사물 인터넷에 적용될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITP-2020-0-01787)

참고 문헌

- [1] Cisco public, Cisco Annual Internet Report (2018-2023), *CISCO White Paper*, Feb. 2020.
- [2] Anik Islam, Soo Young Shin, "BUAV: A BLockchain Based Secure UAV-Assisted Data Acquisition Scheme in Internet of Thing," *Journal of Communications and Networks (JCN)*, vol.21, no.5, pp.491-502, June 2017.
- [3] L. Lamport, R. Shostak, "The byzantine general problem," *ACM TOPLAS*, vol.4, pp.382-401, July 1982.
- [4] D. Tse, P. Viswanath, "Fundamentals of Wireless Communication," *Cambridge, U.K: Cambridge Univ, Press*, 2005.