

IoT 센서 네트워크의 LEACH 프로토콜을 위한 Cluster Head 결정 알고리즘 설계 및 테스트베드 구축

*강원영, 이윤구, 이상현
고려대학교

(*dogs0667, ykleejr, sanghyunlee)@korea.ac.kr

Cluster Head Decision Algorithm Design and Testbed Implementation for LEACH Protocol in IoT Sensor Networks

Kang Won Young, Lee Yoon Ku, Lee Sang Hyun
Korea Univ

요 약

본 논문은 분산 센서 네트워크의 전력 효율성 향상을 위해 LEACH 프로토콜에서의 Cluster Head 결정 문제를 효과적으로 해결하는 알고리즘을 제안한다. 설계한 알고리즘은 오픈소스 하드웨어와 통신 모듈로 구축한 IoT 테스트베드를 통해 그 효율을 검증하였다. 노드간 신호 세기 강도를 input 으로 이용하여 변화하는 환경에 대한 네트워크의 견고성이 증가하였으며, CH 노드를 적절히 채택하여 무선 센서 네트워크의 전력 효율성이 향상됨을 확인하였다.

I. 서 론

스마트 팩토리, 기상 환경 모니터링 등 고도화된 IoT 서비스를 실현하는 데에 AI 알고리즘 등이 적극 활용됨으로 인해 센서 네트워크에 요구되는 연산은 점점 복잡해지는 추세이다. 저전력 센서들이 주가 되는 IoT 네트워크의 특성상, 각 노드에서 부담해야 하는 연산의 복잡성 증가는 시스템의 수명과도 직결되기에 IoT 에 관련한 전력 효율성 연구는 필수적이다. 특히, 장거리 통신은 많은 전력을 소모하기에 적절한 라우팅 전략을 채택하는 것은 IoT 네트워크의 수명 연장에 큰 도움이 된다.

저 에너지 적응형 클러스터링 계층 구조(LEACH) 프로토콜은 네트워크의 전력 효율성 증대를 위해 클러스터링을 진행하여 클러스터 헤드 (CH) 노드를 채택한다[1]. CH는 클러스터의 멤버 노드(CMs)들로부터 데이터를 전달받아 먼 거리에 있는 기지국(BS)과의 통신을 전담한다. 이때 클러스터링을 진행하기 위해서는 노드 간의 상대적인 위치에 대한 정보가 필요하지만, GPS 등 추가적인 센서를 활용하는 것은 비용과 전력 부담의 증가를 의미한다. 본 논문의 분산 알고리즘은 노드 간 전파(propagation)를 기반으로 하여[2], 각 노드의 정확한 위치 좌표 없이도 클러스터링이 가능하기 때문에 전력 효율성 향상을 가능케 한다.

분산 센서 네트워크의 전력 효율성을 높이기 위한 알고리즘을 설계하고, 이를 Fig. 1 과 같이 오픈소스 하드웨어 및 통신 모듈로 임베디드 시스템을 활용한 노드로 분산 센서 네트워크 테스트베드를 구축하였다.

II. 본론

본 논문의 알고리즘은 임의의 위치의 노드들이 서로 통신하여 LEACH 프로토콜을 기반으로 운용되는 센서

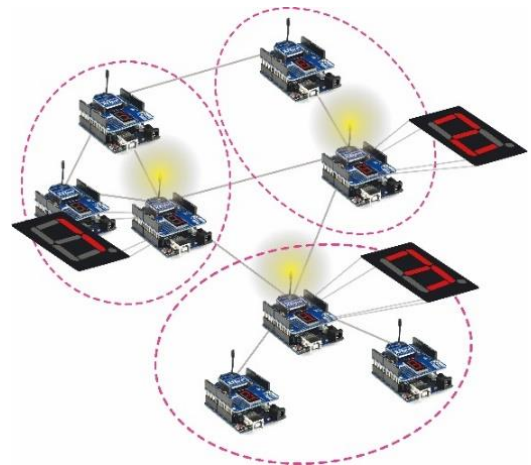


Fig. 1. 분산 센서 네트워크 시스템

네트워크를 가정하고 있다. LEACH 프로토콜의 적용을 위해선 센서 노드 간의 클러스터링이 선행되어야 하며, 이때 클러스터의 설정은 노드의 위치가 아닌 실제 통신 가능성을 바탕으로 이루어지는 것이 효율적이다. 이를 위해 노드간 거리 및 장애물 유무 등을 고려한 통신 환경 전반의 정보를 얻을 수 있는 신호 강도 세기 표시(RSSI)를 입력으로 받는 알고리즘을 구축하였다. 네트워크의 각 노드가 서로 간의 RSSI 정보를 전파하는 과정을 반복하여 세 가지 파라미터 값을 업데이트하고, 이를 바탕으로 적절한 CH 노드 채택 및 클러스터링을 진행하는 방식이다.

세 가지 파라미터를 갱신하기 위해서는 행렬 s 가 우선 정의되어야 한다. 행렬 s 의 대각 성분을 제외한 $s(i, k)$ 에 노드 i 는 노드 k 와의 통신 성능을 저장하며, 이는 추출한 RSSI 값에 음의 부호를 취한 것으로 표현된다. 대각

성분은 비대각 성분 전체의 중간값을 저장한다. 이는 모든 노드가 하나의 CH에 의존하거나, 모든 노드가 CH로 설정되는 상황을 예방하기 위함이다. 정리하면, 행렬 s 는 다음과 같이 정의된다.

$$s(i, k) = \begin{cases} -\|rss\| & \text{for } i \neq k \\ -\|p\| & \text{for } i = k \end{cases}$$

완성된 s 로부터 파라미터 행렬 a , r , c 가 계산되는데, 행렬 a 의 성분 $a(i, k)$ 는 노드 i 가 노드 k 를 CH 노드로 신뢰하는 정도에 대한 값을 수치로 표현한다. 초기 값은 0으로 설정한다. 행렬 r 의 성분 $r(i, k)$ 는 노드 k 가 노드 i 로부터 전달받는 정보이며, 노드 k 가 다른 노드들보다 노드 i 의 CH 노드로 얼마나 적합한지에 대한 값을 수치로 표현한다. 마지막으로 행렬 c 는 a 와 r 의 합으로 정의된다.

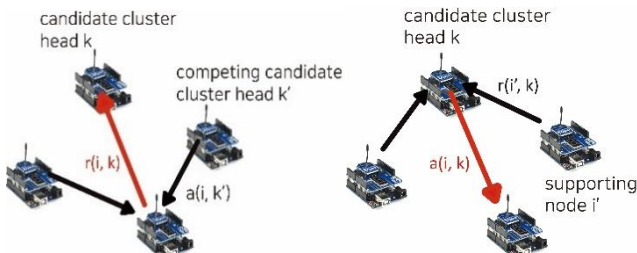
세 파라미터 값을 초기화한 이후 Fig. 2.와 같이 노드들은 서로 각 행렬의 요소에 해당하는 실수 값을 주고받는 과정을 반복하며 s , a , r 세 행렬 요소의 값들을 갱신한다. 반복적인 과정(iteration)을 거쳐 세 파라미터가 모두 수렴할 때에, 행렬 c 를 바탕으로 각각의 노드는 자신의 대표가 되는 CH 노드를 채택한다. 반복하며 파라미터 값을 업데이트하고, 행렬 c 를 결정하는 과정은 다음과 같다.

$$r(i, k) \leftarrow s(i, k) - \max_{k' \text{ s.t. } k' \neq k} \{a(i, k') + s(i, k')\}$$

$$a(i, k) \leftarrow \min \left\{ 0, r(k, k) + \sum_{i' \text{ s.t. } i' \notin \{i, k\}} \max\{0, r(i', k)\} \right\}$$

$$a(k, k) \leftarrow \sum_{i' \text{ s.t. } i' \neq k} \max\{0, r(i', k)\}$$

$$\hat{c}_i = \operatorname{argmax}_k [a(i, k) + r(i, k)]$$



실제로 테스트베드에 구현할 때에, 본 알고리즘은 input 행렬 s 를 추출해야 한다. 다수의 XBee 간 RSSI

Fig. 2. 메시지 패싱 기반 네트워크 토폴로지

패킷을 주고 받아야하기 때문에 메시 네트워크를 구성했다. 메시 네트워크 형태의 프로토콜을 지원하는 XBee[Series 2]를 활용하였다.

노드간 송수신되는 메시지는 수신 노드와 송신 노드의 주소 및 노드간 RSSI 값이 포함된 데이터 패킷으로, Arduino-Uno 통해 제어된다. 패킷의 손실과 같은 통신 오류를 패킷의 시작 바이트와 체크섬(checksum) 바이트를 통해 확인한다. 노드간 패킷을 송신하기 전에 상대 노드가 수신 모드임을 체크하는 ack를 보내는 방식으로 노드간 패킷 충돌 빈도를 줄이고, 메시지 송신 사이의 지연을 추가하여 패킷 손실을 최소화하였다. 오류가 발생하더라도 짧은 시간 내에 클러스터링이 재개될 수 있도록 패킷을 송수신 하여 s 행렬 요소의 RSSI 값들이 다시 업데이트 되는 과정을 추가하였다.

세 파라미터가 수렴한 이후, 각각의 노드는 자신의 대표가 되는 CH 노드(exemplar)와 자신의 클러스터 번호를 output으로 LED와 7-segment로 표현한다. Fig. 3.의 CMs 노드는 붉은색, CH 노드는 노란색이다. 노란 LED는 각 클러스터의 대표 노드를, 7-segment는 각 클러스터의 번호로 같은 숫자는 동일한 클러스터에 포함되어 있음을 의미한다. 좌측 그림에서 흰 노드의 위치가 우측 그림의 화살표를 따라 바뀌었을 때, 새로운 CH 노드가 선정되었음을 확인할 수 있다. 이는 제안한 알고리즘이 노드 간 통신 성능에 변화가 발생할 때에, 이를 감지하여 네트워크를 대표할 수 있는 새로운 CH 노드를 채택하여 유연하게 대처할 수 있는 능력을, 즉 견고함(robustness)을 가지고 있음을 보여주는 사례이다.

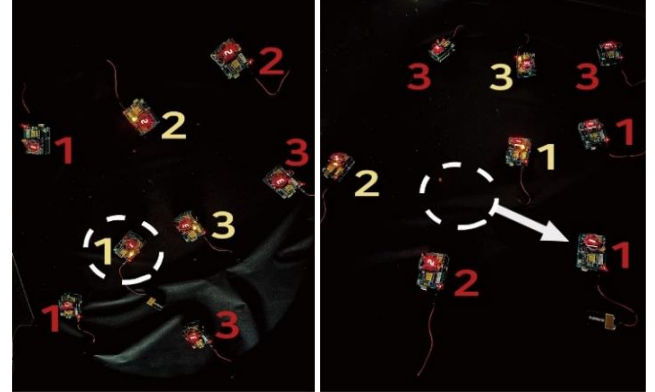


Fig. 3. IoT 테스트 베드 구축 및 알고리즘 구현

III. 결론

LEACH 프로토콜의 CH 노드를 정하는 문제를 전력 효율성을 고려하여 효율적으로 접근하는 알고리즘을 개발하고, 오픈소스 하드웨어 Arduino Uno와 통신 모듈 Zigbee(XBee S2C)를 이용해 테스트베드를 구축하여 알고리즘의 유효함을 확인하였다. 전력 효율성 향상 뿐만 아니라 네트워크의 견고성 또한 실험을 통해 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Grant through the Ministry of Science and ICT (MSIT), Korea Government, under Grant 2022R1A5A1027646

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원(IITP)의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00260, 저궤도 군집 소형 위성 간 통신 기술 개발)

참고 문헌

- [1] W. B. Heinzelman et al., "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.
- [2] Frey, Brendan J., and Delbert Dueck. "Clustering by passing messages between data points." science 315.5814 (2007): 972-976.