

무선 센서 네트워크의 생존성 향상을 위한 데이터 중계경로 설정 알고리즘

빈정민, 김수민, 김준수*

한국공학대학교

been1996@tukorea.ac.kr, suminkim@tukorea.ac.kr, *junsukim@tukorea.ac.kr

Data Routing Protocol for Lifetime Extension of Wireless Sensor Network

Gyoungmin Been, Su Min Kim, Junsu Kim*

Tech University Of Korea

요약

다중 홉 무선 센서 네트워크의 동작 수명은 여러 센서 노드 중 최초로 전력이 고갈된 노드가 발생하는 시점에 의해 결정된다. 센서 노드들은 데이터 중계에 참여하게 되며, 싱크노드에 근접한 노드일수록 데이터 중계에 빈번하게 참여하여 결과적으로 에너지가 고갈된 상태, 즉 에너지 홀(energy hole)이 될 가능성이 높다. 처음으로 에너지 홀이 발생하는 시점이 무선 센서 네트워크의 동작이 중단되는 시점이며, 이때까지의 시간을 네트워크 동작 수명이라 정의한다. 본 논문에서는 노드가 에너지 제약을 받는 다중 홉 무선 센서 네트워크에서 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 메시지 중계 경로 설정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 싱크 주변 노드의 부담을 줄여 네트워크의 수명을 연장시키고 더 많은 양의 데이터를 수집한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 검증한다.

I. 서론

에너지 효율을 높이기 위한 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)는 분산된 각각의 센서노드에서 수집한 데이터를 전달하는 역할을 수행한다. 대부분의 센서 네트워크에서는 전달한 데이터를 하나의 싱크노드에서 수집하며, 다중 홉 환경에서 이러한 다대일 무선 네트워크는 에너지 홀 문제가 발생하게 된다. 이는 싱크 주변의 노드들이 상대적으로 더 많은 에너지를 소비하고 일찍 사망하여 네트워크의 나머지 부분이 싱크와 연결이 끊기는 상황이다. 센서 네트워크의 노드들은 배터리로 구동하기 때문에 네트워크의 수명은 제한적이고, 배터리를 교체하는 과정에 지속적인 추가 비용이 요구된다. 이 문제를 해결하기 위해서 단순히 싱크 주변에 더 많은 센서 노드를 배치하는 방법이 있지만 이는 노드가 추가되면서 비용이 증가하는 문제가 발생한다. 따라서 이러한 네트워크의 가장 중요한 고려사항은 배터리 에너지를 절약하는 것으로 각 메시지 전송마다 일부 배터리 에너지가 소모되기 때문에 에너지 인식 및 에너지 절약 라우팅 알고리즘을 사용해야 한다. 본 논문은 에너지 제약이 있는 다중 홉 무선 센서 네트워크에서 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 새로운 메시지 라우팅 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 성능을 검증한다.

II. 시스템 모델

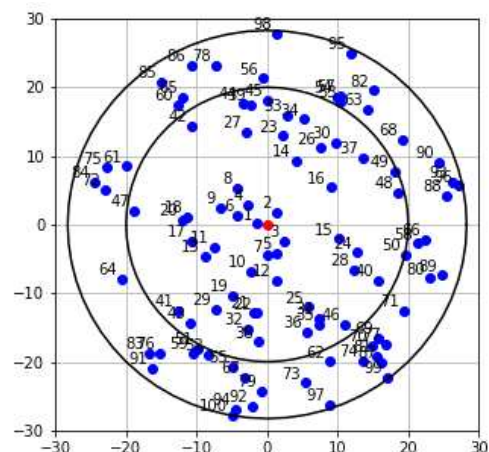
본 논문은 하나의 싱크노드와 다수의 센서 노드로 구성된 무선 센서 네트워크를 고려한다. 싱크노드를 제외한 모든 센서 노드들은 각각의 위치에서 측정한 데이터를 싱크노드로 전송한다. 이때 센서 노드에는 작은 배터리가 장착되어있으며 각 노드는 배터리 전력에 의존해 센싱과 전송을 수행한다. 따라서 하나의 센서 노드가 데이터를 송신할 수 있는 도달 거리는 매우 제한적이므로 싱크 노드에 근접한 센서 노드들을 제외한 나머지 노드들은 싱크 노드까지 위치하는 다른 노드들의 협력 중계를 통해 데이터를 전송해야 한다. 데이터의 중계 전송 또한 전력을 소모하므로, 중계에 빈번하게 참여하는 노드일수록 배터리 전력이 빠르게 고갈된다.

본 논문에서는 모든 센서 노드들이 Round Robin 방식, 즉 차례로 자신의 데이터를 전송하는 것으로 가정하며 중앙제어장치 또는 싱크노드에 의해 데이터 전송 경로가 설정된다.

다중 홉 무선 센서 네트워크에서 송신 노드와 수신 노드(싱크 노드) 사이의 경로를 설정하는 대표적인 방법으로 Ad-hoc On-demand Distance Vector (AODV)와 Capacity Maximization (CMAX) 알고리즘을 들 수 있다[1][2]. AODV는 싱크까지 최소 홉으로 경로를 형성하는 라우팅 방식이다[1]. 또한 CMAX는 에너지 인식 라우팅 체계로 잔여 에너지가 높은 노드들을 포함하여 최소 홉으로 경로를 형성하는 라우팅 방식이다[2].

III. 제안하는 기법 및 성능

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 그림 1과 같이 싱크 노드를 중심으로 두 영역으로 나누고, 각 영역에 속한 노드들의 데이터 전송 경로를 서로 다르게 적용한다.



[그림 1] 네트워크 모델

일반적인 최소 홉 전송의 경우 싱크 인근 노드들의 에너지 소비가 심해지기 때문에 내부 원에서는 최다 홉 전송을 하여 거리에 따른 에너지 소모량을 최소화 하고, 외부 원에서는 최소 홉 전송을 하여 상대적으로 에너지가 남는 외부 노드의 에너지를 효율적으로 사용하여 네트워크의 수명을 연장시킨다. 또한 에너지 전송에 필요한 송신 에너지 E_{tx} 는 다음과 같다.

$$\bar{R} = \log_2 \left(1 + \frac{d^{-\alpha} P_{tx}}{\sigma_n^2} \right) \quad (1)$$

이를 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{tx} = d^\alpha (2^{\bar{R}} - 1) \quad (2)$$

$$E_{tx} = P_{tx} T \quad (3)$$

여기서 \bar{R} 는 data rate이며 d 는 전송거리, α 는 경로감쇄 지수를 나타낸다. P_{tx} 는 송신 파워이며, T 는 time slot length이다.

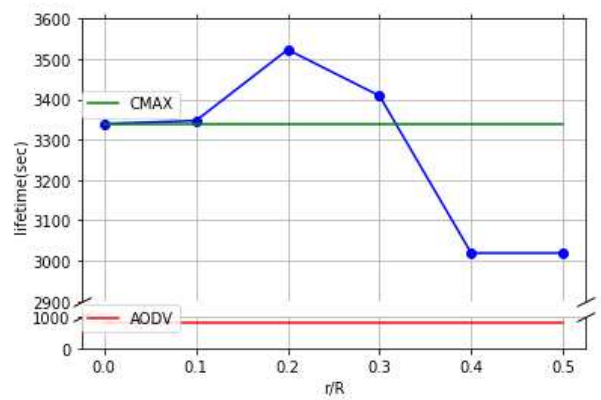
시뮬레이션에서 사용하는 모델의 물리 계층은 경로감쇄 지수 α 가 3인 path loss 모델을 가정하며, 네트워크 크기는 $60m \times 60m$ 크기로 설정한다. 네트워크의 모든 데이터를 수집하는 싱크는 네트워크의 정 중앙에 위치한다. 또한 센서 노드는 100개의 노드가 네트워크에 uniform하게 분포하고 있으며, 각 노드의 최대 전송 거리는 10m로 설정하였다. 네트워크의 각 노드별 시작 에너지는 0.05J을 가지며, 싱크 노드와 가까운 순으로 노드 번호를 부여하였다. 각각의 라우팅 알고리즘별 시뮬레이션은 100번씩 반복하였으며, 각 시뮬레이션별 싱크를 제외한 노드는 무작위로 재배치된다. 전송에 사용된 패킷의 길이는 128 bytes를 사용하였으며 time slot은 100ms로 설정하였다. 네트워크의 수명은 First Death Lifetime (FDL)로 한 개의 노드의 수명이 다하는 순간으로 설정하였다.

시뮬레이션 결과 그림 2, 3과 같으며 그림 2는 제안한 알고리즘을 내부 원 범위의 반지름인 r 별로 lifetime을 측정한 결과이다. r/R 이 0일 땐 CMAX와 같은 성능을 보이며 r/R 의 길이가 일정부분 늘어날 때 lifetime이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 r/R 의 길이가 0.3을 넘어가는 순간 성능은 큰 폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 일정 범위 이상의 노드가 최다 홉을 사용할 경우 특정 노드를 더욱더 많이 사용하여 에너지의 소모가 더욱 커져 에너지 홀 문제가 심화되기 때문에 발생하는 문제이다. 따라서 적절한 범위의 조절이 성능 향상에 큰 도움이 되는 것을 확인할 수 있다. 또한 AODV, CMAX와의 성능 비교하면 AODV는 매우 낮은 lifetime을 보인다. 제안한 알고리즘은 CMAX보다 좋은 성능을 보이며 최소 홉 기반인 AODV와 비교하여 약 4배 정도의 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

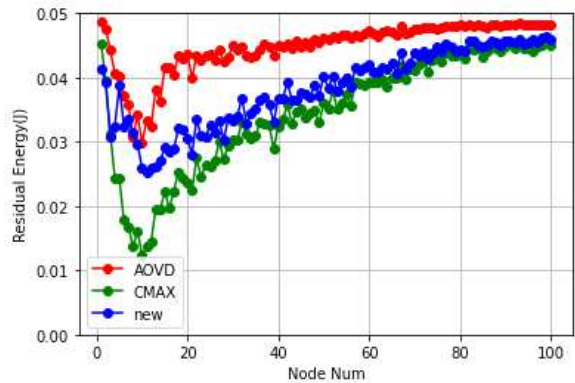
그림 3은 노드 번호별 잔여에너지의 평균을 확인할 수 있다. AODV와 CMAX의 경우 싱크 인근의 특정 노드의 에너지가 눈에 띄게 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 100번의 반복횟수 동안 싱크 인근의 특정 노드는 매번 낮은 에너지를 보이기 때문에 발생하는 현상이다. 반면에 제안한 알고리즘의 경우 전체적으로 에너지가 비교적 균등하게 분포하는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 제안한 알고리즘이 에너지 홀 문제를 완화시켜 네트워크의 동작수명 향상에 도움이 되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 다중 홉 무선 센서 네트워크 환경에서 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 새로운 알고리즘을 제시하고 이를 AODV와 CMAX와의 성능을 비교함으로써 제안한 알고리즘의 성능이 우수함을 확인하였다. 또한 제안한 알고리즘의 내부원의 크기별 성능을 비교하였고 최적의 범위를 확인하였으며, 노드 번호별 평균 잔여 에너지를 통해 에너지 홀 문제를 호



[그림 2] r/R 에 따른 Network lifetime



[그림 3] 노드 번호에 따른 평균 잔여 에너지

과적으로 개선한 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) funded in part by the Korea government (MSIT) (No. 2021R1A2C1013150) and in part by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICAN(ICT Challenge and Advanced Network of HRD) program (IITP-2023-RS-2022-00156326) supervised by the IITP(Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation).

참 고 문 헌

- [1] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector (aodv) routing," in IETF RFC 3561, Jul. 2003.
- [2] K. Kar, M. Kodialam, T. V. Lakshman, and L. Tassiulas, "Routing for network capacity maximization in energy-constrained ad-hoc networks," in Proc. IEEE INFOCOM, 2003.