Solar-CTP : 태양 에너지 수집형 무선 센서 네트워크를 위한 향상된 CTP

정석현*, 강민재**, 고정현***, 노동건*
*숭실대학교 지능시스템학과
**숭실대학교 융합특성화자유전공학부
***숭실대학교 스마트시스템소프트웨어학과
e-mail:beewol@ssu.ac.kr

Solar-CTP : An Enhanced CTP for Solar-powered Wireless Sensor Networks

Seok Hyun Cheong*, Minjae Kang**, Jung Hyun Go***, Dong Kun Noh*
*Dept. of Intelligent Systems, Soongsil University
**School of Convergence Specialization, Soongsil University
***Dept. of Smart Systems Software, Soongsil University

요 약

무선 센서 네트워크(WSN)는 배터리 자원의 제약으로 인해 수명이 짧다는 문제와 많은 이웃 노드와 통신하는 노드의 에너지 소비가 증가하는 에너지 불균형 문제를 가지고 있다. 이를 해결하고자, 최근에는 태양 에너지 수집형 노드를 사용하여 에너지를 지속적으로 수집함으로써 배터리 자원 제약 문제를 해결하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 기존의 배터리 기반의 WSN을 위하여 제안된 유명한 데이터 수집 기법인 CTP(Collection Tree Protocol)도 이와 같은 에너지 제약 및 에너지 사용 불균형 문제는 고려하지 않고 설계되었다. 따라서 정전 노드 발생 및 루프 발생과 같은 네트워크의 안정성이 심각하게 저하되는 문제를 내포하고 있었다. 이를 해결하고자, 본 논문에서는 태양 에너지 수집형 노드로 구성된 WSN을 위한 향상된 CTP 기법(Solar-CTP)을 제안한다. 제안된 Solar-CTP기법에서는 수집 에너지 및 사용 에너지양 예측을 통해 노드 동작 모드를 결정한다. 성능 검증을 통해 기존 CTP에 비해 Solar-CTP의 정전 노드의 수가 매우 적고, 싱크의 데이터 수집량이 많아진 것을 확인하였다.

1. 서론

무선 센서 네트워크(WSN)의 센서 노드들은 저가형으로 생산되어 대량 배포되는데, 따라서 자원의 제약, 그 중에서도 배터리 자원의 제약으로 인해 수명이 짧다는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위해, 지속적으로 주변 환경으로부터 에너지를 수집하는 에너지 수집형 센서에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 특히, 태양에너지는 높은 에너지 밀도를 가지고 있어 센서 노드에 적용하기에 적합하다. 주지할 것은 배터리 기반 센서는 에너지 사용 최소화에 초점을 두는 반면, 태양 에너지 기반 센서에서는 수집 에너지의 활용도를 최대화하는 것이 중요하다는 점이다[2].

CTP(Collection Tree Protocol)[3]는 센서 네트워크의 데이터를 효율적으로 수집하기 위한 기법으로, 현재 널리 사용되고 있다. 이 기법은 배터리 기반의 센서 노드로 구성된 WSN을 위하여 설계되었는데, 링크 품질인 ETX(Expected Transmission Number)를 기반으로 트리 구조의 토폴로지를 구성하여 데이터 전달을 수행하는 프로토콜이다. CTP는 데이터 전달률이 높고, 하드웨어 독립적이라는 장점이 있지만, 노드들의 에너지를 고려하지 않아 노드 간 에너지 사용의 불균형이 클 수 있다는 단점이 있다. 이는 싱크 주변 노드뿐만 아니라 많은 자식 노드들과 통신하는 부모 노드에게도 발생하기 쉽고, 네트워크 전반적으로 에너지 소비가 심해지는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 Solar-CTP라는 향상된 CTP를 제안하였는데, 이 기법이 접근하고 있는 문제점과 해결 방법은 다음과 같다. 부모-자식 노드의 결정 시 노드들의 에너지 수집 및 사용량을 모델링하여 링크 품질과 결합을 통해 정전 노드 발생 문제를 해결한다.

2. 제안 기법(Solar-CTP)

2.1. 초기 CTP 구성

네트워크 시작 단계에서 노드는 브로드캐스팅된 비컨 메시지를 수신하여 자신의 ETX를 계산한다. 노드 i의 ETX는 수식 (1)로 정의된다.

$$ETX_{\mathrm{i}} = ETX_{\mathrm{parent}} + linkETX_{(\mathrm{i,\,parent})} \qquad (1)$$

ETX_{parent}는 부모의 ETX, $linkETX_{(\mathrm{i,\,parent})}$는 노드 i와 부모 노드 간의 링크 ETX이다. 노드 i는 이웃 노드 중 가장 작은 ETX를 가지는 노드를 부모 노드로 선정하고, 자신의 이웃 노드에게 자신의 ETX를 담은 비컨 메시지를 브로드캐스팅함으로 CTP 구성을 진행한다.

2.2. 노드의 동작 모드

노드는 예상 소모 에너지와 할당된 에너지[2]를 기반으로 계산한 예상 잔여 할당 에너지와 자식 노드가 새로운 부모를 찾았는지 여부에 따라 아래 3가지 모드로 동작한다.

(1) 기본 모드 동작 : 기본 모드로 동작하는 노드는 자식 노드들의 데이터를 중계하거나, 자신의 데이터를 자신의 부모 노드에게 전송한다.

(2) 스위치 모드 동작 : 노드의 예상 소모 에너지가 할당된 에너지보다 많아질 것으로 예상되면, 자식 노드에게 센싱 조절률(γ)을 포함한 스위치 메시지를 보내어 새로운 부모를 찾게 함으로써 예상 소모 에너지를 줄여 노드의 정전을 방지한다.

(3) 조절 모드 동작 : 스위치 모드로 동작한 노드의 모든 자식 노드가 새로운 부모를 찾지 못한다면, 자식 노드들의 센싱률을 조절하여 예상 소모 에너지를 줄여 노드의 정전을 방지한다.

2.3. 노드의 동작 모드 선택

노드 i는 주기 t의 시작마다 예상 소모 에너지와 할당된 에너지를 기반으로 예상 잔여 할당 에너지인 $E_{\mathrm{remain}}^{\mathrm{alloc}}$을 계산한다. 노드 i는 계산된 $E_{\mathrm{remain}}^{\mathrm{alloc}}$에 따라 노드의 동작을 결정한다. 주기 t에서의 노드 i가 수식 (2)을 만족한다면, 예상 소모 에너지가 할당된 에너지보다 많은 것이다. 이는 할당된 에너지가 부족한 것이므로 스위치 모드로 동작하여 자식 노드가 새로운 부모를 찾게 함으로 예상 소모 에너지를 줄인다. 반면, (2)을 만족하지 못할 경우, 예측 소모 에너지가 할당된 에너지보다 적은 것이므로, 기본 모드로 동작한다.

$$E_{\mathrm{remain}}^{\mathrm{alloc}}(i,t) \le 0 \qquad (2)$$

2.4. 자식 노드의 새로운 부모 선택

노드 i가 부모 노드로부터 스위치 메시지를 수신하면, 새로운 부모를 찾아 선택해야 한다. 새로운 부모를 선택하기 위해, 이웃 노드 중 다음 수식 (3)을 만족하는 이웃 노드를 새로운 부모로 선택한다.

$$ETX_{\mathrm{newParent}} + linkETX_{(\mathrm{i,newParent})} < ETX_{\mathrm{originParent}} + \min(linkETX_{(\mathrm{child,i})}) \qquad (3)$$

$ETX_{\mathrm{newParent}}$는 새로운 부모 노드의 ETX, $linkETX_{(\mathrm{i,newParent})}$는 노드 i와 새로운 부모 노드 간의 링크ETX, $ETX_{\mathrm{originParent}}$는 원래 부모 노드의 ETX, $\min(linkETX_{(\mathrm{child,i})})$는 노드 i와 노드 i의 자식 노드 간의 링크ETX 중 최솟값을 의미한다.

노드 i는 기존 부모 노드와 새로운 부모 노드의 센싱 조절률(γ)을 비교하여 더 높은 노드를 선택하여 동작한다.

2.5. 노드의 센싱률 조절

노드 i가 자식 노드에 스위치 메시지를 보내거나, 조절 모드로 동작할 시 사용하는 센싱 조절률(γ)은 수식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma = S_{\mathrm{tx}}^{\mathrm{max}} / S_{\mathrm{all}} \qquad (4)$$

여기서, S_{all}는 모든 자식 노드로부터 수신할 예상 데이터량과 자신의 센싱 데이터량을 더한 것이고, $S_{\mathrm{tx}}^{\mathrm{max}}$[4]는 주기 t에서 전송할 수 있는 최대 데이터 사이즈이다.

노드가 조절 모드로 동작한다면, 예상 소모 에너지를 줄이기 위해 보낼 데이터 사이즈를 γ만큼 줄여서 보낸다.

3. 실험 결과

우리는 성능 평가를 위해 제안 기법과 CTP를 비교하는 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션은 50m×50m의 필드 영역에 각 기법에 총 80개의 노드를 배치하였고, 총 30일 동안 진행하였다.

제안 기법과 기존 CTP를 적용할 경우 싱크 노드의 데이터 수집량을 비교한 결과, 제안 기법이 약 420% 정도 데이터 수집이 많이 된 것을 알 수 있었다.

4. 결론

기존 CTP는 데이터 전달률이 높고 하드웨어 독립적이라는 장점이 있지만, 정전 노드 발생으로 인해 루프 발생과 같은 문제가 있으며, 싱크 노드 주변의 노드 및 많은 자식 노드와 통신을 하는 노드와 일반 노드 간의 에너지 불균형 문제에도 굉장히 취약하다. 본 논문에서는 위의 문제점을 고려해 태양 에너지 수집형 무선 센서 노드로 구성된 무선 센서 네트워크에 적합한 향상된 CTP를 제안하였다. 이 기법을 적용한 결과, CTP 보다 정전 노드 발생 수가 적고, 싱크 노드로 수집되는 데이터양이 더 많아 제안 기법이 CTP에 비해 더 좋은 성능을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었음(2018-0-00209)

참고문헌

[1] S. Sudevalayam, and P. Kulkarni, “Energy Harvesting Sensor Nodes: Survey and Implications,” IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 13, no. 3, pp. 443-461, Third Quarter, 2011.

[2] D. K. Noh and K. Kang, "Balanced energy allocation scheme for a solar-powered sensor system and its effects on network-wide performance," Journal of Computer and System Sciences, vol. 77, no. 5, pp. 917-932, 2011.

[3] O. Gnawali, R. Fonseca, K. Jamieson, D. Moss, and P. Levis, “Collection tree protocol,” in SenSys ’09. ACM, pp. 1-14, 2009.

[4] I. J. Yoon and D. K. Noh, “Energy-Aware Control of Data Compression and Sensing Rate for Wireless Rechargeable Sensor Networks”, Sensors, vol. 18, no. 8, 2018.