

태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크에서 에너지와 링크 품질을 고려한 향상된 FEC 기법

길건욱*, 강민재**, 고정현***, 노동건*

*송실대학교 지능시스템학과

**송실대학교 융합특성화자유전공학부

***송실대학교 스마트시스템소프트웨어학과

e-mail : gil6399@soongsil.ac.kr

Advanced FEC Scheme Considering Energy and Link-quality for Solar-powered WSNs

Gun Wook Gil*, Minjae Kang**, Jung Hyun Go***, Dong Kun Noh*

*Dept. of Intelligence Systems, Soong-sil University

**School of Convergence Specialization, Soong-sil University

***Dept. of Smart Systems Software, Soong-sil University

요약

태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크(SP-WSN) 환경에서는 주기적으로 배터리가 충전되므로 에너지 소모를 최소화하기 보다는 수집된 에너지의 효율적인 사용이 중요하다. 한편, 잘 알려진 것처럼 SP-WSN을 포함하여 모든 센서 네트워크들은 사용되는 센서 노드의 특성상 성능이 제한적이므로 노드 간의 통신 신뢰도가 낮을 수밖에 없다. 본 논문에서는 위의 특성을 고려하여 SP-WSN에서 신뢰성 있는 통신을 할 수 있는 향상된 순방향 에러정정 기법(FEC) 기법을 제안한다. 싱크에서 수집되는 데이터양과 정전되는 노드 수를 다른 기법들과 비교함으로써 제안 기법의 성능 검증을 수행하였다.

1. 서론

태양 에너지 기반 무선 센서 노드는 에너지 수집률이 높으며 주기적으로 충전이 되기 때문에 배터리 기반 센서의 에너지 제약을 극복하는 좋은 대안으로 떠오르고 있다. 주지할 것은 배터리 기반 센서는 에너지 사용 최소화에 초점을 두는 반면, 태양 에너지 기반 센서에서는 수집된 에너지의 활용도를 최대화하는 중요하다는 점이다.

한편, 무선 센서 네트워크(WSN) 환경의 링크 계층 데이터 전송 기법 중 하나인 FEC는 데이터 전송 시 원본 데이터를 인코딩하여 패리티를 함께 전송하며, 수신 측에서 패리티를 디코딩하여 에러를 정정한다. 이때, 패리티의 크기(에러 정정률)과 데이터의 송수신 에너지는 트레이드오프 관계에 놓여있다.

그런데, 현재 링크 품질이 매우 좋은 상태라면, 에너지가 충분할지라도 패리티 크기가 큰 FEC를 사용할 필요가 없다. 이 경우에는 오히려 링크 품질이 좋으므로 FEC에 사용되는 에너지를 아껴 다른 QoS를 높이는 것이 유용하다. 이처럼, 효율적인 FEC를 위하여서는 에너지 뿐 아니라 현재 링크 품질도 함께 고려되어야 한다. 즉, 현재 링크 품질과 가용 에너지양을 함께 고려하여 신뢰성 있는 데이터 통신을 위해 필요한 패리티 크기 중에서 (에너지의 측면에서) 지원 가능한 패리티를 결정하여야 한다. 이에 본 논문에서는 태양에너지 기반의 센서 노드를 대상으로 에너지와 링크 품질을 동시에 고려한 FEC 기법을 제안하고 있다.

2. 제안 기법

2.1. 에너지 모델링

Yang의 연구는[1] 태양 에너지 기반 노드에서, 노드의 현재 잔여 에너지가 E_{residual} 일 때, 정전 없이 동작하면서 추가적인 동작을 위해 사용될 수 있는 에너지 ΔE 를 다음과 같이 표현하고 있다.

$$\Delta E = E_{\text{residual}} - E_{\text{threshold}} \quad (1)$$

여기서 $E_{\text{threshold}}$ 는 노드가 정전을 회피하는 범위 내에서 지나고 있어야 할 에너지 문턱 값 $E_{\text{threshold}}$ 을 나타낸다.

2.2. 링크 품질 모델링

링크 품질에 따라 요구되는 정확한 패리티 크기를 계산하기 위해서 본 논문에서는 네트워크 환경에서 일반적으로 사용되는 여러 링크 품질 지표 중 BER(bit error rate)을 선택하였다. QPSK(quadrature phase shift keying) 변조 방식에 한하여 BER는 다음 수식으로 표현된다[2].

$$BER = Q \cdot \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \quad (2)$$

E_b/N_0 는 비트 당 SNR(signal to noise ratio) 즉, 비트당 수신된 신호의 세기 대비 잡음의 세기를 나타내며, Q 는 오차 함수로서, 가우시안 확률 분포 함수를 나타낸다.

2.3. 에너지에 따른 패리티 후보군 선정

보낼 수 있는 데이터의 크기는 송신에 소비되는 에너지에 따라 다음과 같이 표현될 수 있다[3].

$$D_{tx} = \frac{E_{tx}}{\beta \cdot (d)^\alpha} \quad (3)$$

E_{tx} 는 데이터 전송에 소비되는 에너지를, D_{tx} 는 전송될 데이터의 크기를 의미한다. β 는 1bit를 1m 거리로 전송할 때 소비되는 에너지이며, d 는 통신 거리를 나타낸다.

제안 기법에서는 2.1절에서 계산된 사용할 수 있는 에너지 ΔE 를 통하여 보낼 수 있는 패리티 크기의 최댓값을 구한다. 이때 ΔE 는 인코딩에 사용되는 에너지 $E_{encoding}$ 을 고려하여야 하므로 (4)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\Delta E = E_{tx} + E_{encoding} \quad (4)$$

통신에서 심볼은 처리되는 하나의 조작 단위이며 보통이 단위로 변조, 코딩, 전송 등의 과정이 일어나게 되는데, 하나의 심볼은 m개의 비트로 구성된다. RS에서는 심볼 단위로 패리티가 붙기 때문에 비트 단위로 계산된 식 (3)을 이용하여 다음과 같이 심볼 단위로 나타낼 수 있다.

$$D_{parity}(energy) = \frac{\Delta E}{m \cdot \beta \cdot (d)^\alpha} \quad (5)$$

결론적으로, $D_{parity}(energy)$ 는 ΔE 를 통해 얻을 수 있는 패리티 크기의 최댓값을 의미한다.

2.4. 타겟 노드를 고려한 패리티 선정

송신 노드의 패리티 크기만 고려하여 보낼 시 수신 노드는 그 만큼의 패리티를 디코딩할 충분한 에너지가 없을 수도 있다. 이는 수신 노드의 $E_{threshold}$ 를 초과하는 에너지를 소모하게 되어 노드가 정전될 수 있으므로, 각 노드는 자신의 디코딩 할 수 있는 패리티 크기를 이웃 노드에게 알려 준다. 즉, 송신 노드(i)는 자신이 보낼 수 있는 패리티 크기 $D_{parity}^i(energy)$ 와 타겟 노드(j)의 디코딩 가능한 패리티 크기 $D_{parity}^j(energy)$ 를 비교하여, 더 작은 크기의 패리티 $D_{parity}(energy)$ 를 후보군으로 선정한다.

2.5. 링크 품질에 따른 패리티 선정

BER은 송신한 비트에 대한 수신된 오류 비트의 비율로써, 보낼 예정인 데이터 D_{tx} 를 BER과 곱해주면 수신 노드에서 오류가 날 데이터양 D_{error} 을 알 수 있다.

$$D_{error} = BER \cdot D_{tx} \quad (6)$$

한편, RS기법의 블록은 n개의 심볼로 이루어져 있으며, 데이터 블록인 페이로드와 오류 복원 코드 블록인 패리티로 구성된다. 통상적으로 페이로드가 k개의 심볼로 이루어져 있고 패리티는 $(n-k)$ 개의 심볼을 가지게 되어, n개의 심볼로 구성된 RS블록을 전송한다면 수신 노드에서 복구

가능한 최대 심볼 개수는 $(n-k)/2$ 가 된다[4]. RS에서 복구에 필요한 데이터 크기를 심볼로 나타내므로 비트 단위로 계산된 (6)를 하나의 심볼을 이루는 비트 수 m으로 나누어 준 아래의 식 (7)으로 표현한다.

$$D_{parity}(link) = \frac{D_{error}}{m} \cdot 2 \quad (7)$$

계산된 $D_{parity}(link)$ 는 링크 품질에 따라 요구되는 패리티의 크기를 심볼 단위로 나타낸다.

2.6. 패리티 선정과 데이터 전송 여부 결정

최종적으로 $D_{parity}(energy) > D_{parity}(link)$ 를 만족할 때, $D_{parity}(link)$ 만큼의 패리티로 데이터를 전송한다.

3. 실험 결과

제안 기법의 성능을 평가하기 위해 싱크 노드에서 수집되는 데이터의 CC2420 라디오 통신 모듈 환경을 사용하였으며, 100개의 노드를 $2500m^2$ 의 필드에 무작위로 배포하였다. 링크 품질은 0.03에서 0.3 사이의 BER 값으로 나타내었으며, QPSK 방식의 심볼 크기로 총 3주(21일) 동안 실험을 하였다. 또한, 고정된 패리티를 사용하는 RS기법을 비교 군으로 선정하여 실험을 진행하였다.

싱크노드에서 수집한 데이터양을 비교해 보면, 제안 기법이 3140KB, 비교기법이 2319KB로써, 제안기법이 약 135%이상 많은 데이터를 수집한 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 각 노드에서 수집되는 에너지양과 현재 링크 품질을 함께 고려한 에너지 효율적인 FEC 기법을 사용 하게 하였다. 결과적으로 제안 기법은 노드의 정전을 최소화하며, 데이터 통신의 신뢰도를 높였다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고문헌

- [1] Yang, Yong, et al. "Solarstore: enhancing data reliability in solar-powered storage-centric sensor networks." Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services. ACM, 2009.
- [2] Simon, Marvin K., and Mohamed-Slim Alouini. Digital communication over fading channels. Vol. 95. John Wiley & Sons, 2005.
- [3] Melodia, Tommaso, Dario Pompili, and Ian F. Akyildiz. "Optimal local topology knowledge for energy efficient geographical routing in sensor networks." IEEE INFOCOM 2004. Vol. 3. IEEE, 2004. 265–273.
- [4] Reed, Irving S., and Gustave Solomon. "Polynomial codes over certain finite fields." Journal of the society for industrial and applied mathematics 8.2 (1960): 300–304.