

Advanced FEC Scheme Considering Energy and Link-Quality for Solar-Powered WSNs

Gun Wook Gil[†] · Minjae Kang^{††} · Dong Kun Noh^{†††}

ABSTRACT

In Solar-powered wireless sensor networks(SP-WSN), the battery is periodically charged, so the best use of harvested energy is more important, rather than minimizing energy consumption. Meanwhile, as is well known, the reliability of communication between sensor nodes is very limited due to the resource-constraint of sensor nodes. In this paper, we propose an advanced FEC (forward error correction) scheme which can give SP-WSN more reliability for communication. Firstly, the proposed scheme uses energy modeling to calculate the amount of surplus energy which can be utilized for extra operations, and then determines the number of additional parity bits according to this amount of surplus energy. At the same time, link quality modeling calculates the optimal parity bits for error recovery in the current data communication environment. Finally, by considering these two parity sizes, it is possible to determine the optimal parity size that can maximize the data reliability without affecting the node black out. Performance verification was performed by comparing the amount of data collected at the sink and the number of outage nodes with other schemes.

Keywords : Wireless Sensor Network, Solar-Powered, FEC, Link-Quality

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

길 건 옥^{*} · 강 민 재^{††} · 노 동 건^{†††}

요 약

태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크(SP-WSN) 환경에서는 주기적으로 배터리가 충전되므로 에너지 소모를 최소화하기보다는 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 특성들을 고려하여 SP-WSN에서 신뢰성 있는 통신을 할 수 있는 향상된 순방향 에러정정 기법(FEC) 기법을 제안한다. 제안 기법은 우선 1) 에너지 모델링을 통해 노드가 기본 동작 외에 여분으로 사용할 수 있는 에너지양을 계산하고, 이 에너지를 최대한 활용할 수 있는 에러 복구용 패리티의 크기를 결정한다. 동시에 2) 링크 품질 모델링을 통해 현재의 데이터 통신환경에서 에러 복구에 필요한 최적의 패리티도 계산한다. 최종적으로 3) 이 두 가지 패리티의 크기를 동시에 고려함으로써 노드의 정전시간을 줄이면서, 데이터 신뢰성을 증가시킬 수 있는 패리티 크기를 결정할 수 있다. 싱크에서 수집되는 데이터양과 정전되는 노드 수를 다른 기법들과 비교함으로써 성능검증을 수행하였다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 태양 에너지, FEC, 링크 품질

1. 서 론

일반적으로 무선 센서 노드는 제한적인 하드웨어 성능을 가지기 때문에, 배터리의 에너지 용량 또한 충분하지 않다.

이러한 이유로 에너지 사용을 최소화할 수 있는 많은 기법들이 다양한 분야(예, 네트워크, 시스템, 보안, 데이터베이스 등)에서 연구되어 왔다. 근래에는 주변 환경의 에너지를 이용하여 충전이 가능한 배터리를 도입하여 노드를 영구적으로 사용할 수 있게 하는 에너지 수집형 노드에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 그 중 태양 에너지 기반 무선 센서 노드는 에너지 수집률이 높으며 주기적으로 충전이 되기 때문에 수집되는 에너지양을 예측할 수 있다는 장점이 있다. 만약 태양 에너지 기반 노드에서 평균적으로 소비되는 에너지보다 수집되는 에너지가 많고, 이러한 상황이 지속 되어 배터리가

* 이 논문은 2019년도 한국정보처리학회 추계학술발표대회에서 '태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크에서 에너지와 링크품질을 고려한 향상된 FEC 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

† 준 회 원 : 송실대학교 융합소프트웨어학과 석사과정

†† 비 회 원 : 송실대학교 박사후연구원

††† 중신회원 : 송실대학교 융합소프트웨어학과 교수

Manuscript Received : December 3, 2019

Accepted : January 14, 2020

* Corresponding Author : Dong Kun Noh(dnoh@ssu.ac.kr)

모두 충전된다면, 이후에 수집되는 에너지는 버려질 수 있다. 반대로 노드가 소비하는 에너지가 수집되는 에너지보다 많고 이러한 상황이 반복된다면, 에너지가 소진되어 노드가 정전될 수 있다. 따라서 태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크에서 노드가 정전되지 않으면서 버려지는 에너지가 없도록 에너지 사용률(utilization) 최대화에 초점을 두어야 한다. 주의할 것은 기존의 배터리 기반 센서 네트워크에서는 에너지 사용량을 최소로 하는 기법들이 연구되어져 왔다는 점이다. 이러한 이유로 태양에너지 기반 WSN을 위한 기법들은 기존 기법들과 접근 방향이 다르다.

한편, 네트워크 환경에서 일어나는 데이터 전송 오류에 대처하기 위하여 일반적으로 ARQ(automatic repeat request) 기법 또는 FEC(forward error correction) 기법을 사용한다. ARQ는 데이터 전송 후 일정 시간 내에 ACK(acknowledgment)가 수신되지 않으면, 해당 데이터를 재전송하는 기법이다. 반면에 FEC는 데이터 전송 시 원본 데이터를 인코딩하여 패리티를 함께 전송하며, 수신 측에서 패리티를 디코딩하여 오류를 정정하는 기법이다. 하드웨어의 성능이 제한적인 무선 센서 네트워크 환경에서는 잦은 통신 오류가 발생한다. ARQ는 오류가 자주 발생하게 되면 재전송을 많이 하기 때문에 데이터 전송에 많은 에너지를 소비하게 된다. 그러나 FEC 기법은 데이터 전송 시, 함께 보낸 패리티를 이용해 오류를 정정하므로 데이터의 재전송이 요구되지 않는다. 이러한 이유로 무선 센서 네트워크 환경에서는 FEC가 ARQ보다 더 적합하다[2].

주의할 것은 패리티의 크기, 즉 에러 정정률과 에너지는 트레이드-오프의 관계에 있다는 점이다. FEC는 에러정정을 위한 패리티의 크기가 증가할수록 오류 정정률이 높아지기 때문에 패리티 크기를 크게 하여 전송하면 데이터 통신의 신뢰도를 확보할 수 있다. 그러나 패리티 크기가 커지면 그만큼의 데이터를 보내고 받기 위한 송수신 에너지가 더 들기 때문에 무작정 큰 패리티를 사용할 수는 없다. 또 한 가지 고려할 점은, 현재 링크 품질이 매우 좋은 상태라면, 에너지가 충분할지라도 패리티 크기가 큰 FEC를 사용할 필요가 없다는 점이다. 이 경우에는 오히려 링크 품질이 좋으므로 FEC에 사용되는 에너지를 아껴서 다른 서비스 품질(QoS)을 높이는 것이 유용하다.

이처럼, 효율적인 FEC를 위하여서는 에너지뿐 아니라 현재 링크 품질도 함께 고려되어야 한다. 즉, 현재 링크 품질과 가용에너지양을 함께 고려하여 링크 품질이 좋지 않다면 에너지 측면에서 지원 가능한 패리티 중 최댓값을 선택하고, 링크 품질이 좋다면, 에너지가 충분해도 작은 크기의 패리티를 사용하게 해야 한다. 한마디로 신뢰성 있는 데이터 통신을 위해 필요한 패리티 크기 중에서 (에너지의 측면에서) 지원 가능한 패리티를 결정하여야 한다. 이와 같이 에너지를 최대한 아끼며 신뢰성 있는 데이터를 전송하게 하는 FEC 기법에 관한 연구들[3,4]은 활발히 진행 되어왔다. [5]에서는 노드가 사용하는 에너지를 라디오 에너지 소비 모델과 컴퓨팅 소비 모델로 나누어 계산하여 최적의 FEC 코드의 크기를 도출해 낸

다. 하지만 앞서 언급한 것처럼 태양 에너지 기반 무선센서 네트워크에서는 주기적으로 에너지가 재충전되는 특성을 가지고 있다. 때문에 태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크에서는 에너지를 아끼는 방향 보다는, 배터리 용량 이상으로 초과 수집되는 에너지가 없게 하며 노드의 정전을 방지하도록 효율적인 에너지 사용을 목표로 한다. 이에 본 논문에서는 태양에너지 기반의 센서 네트워크를 대상으로 에너지와 링크 품질을 동시에 고려한 FEC 기법을 제안하고 있다. FEC 모델을 구현한 RS(Reed-Solomon) 기법[6]을 기반으로, 수집/사용 에너지 모델링을 통해 노드가 정전 없이 사용할 수 있는 패리티 후보를 계산하며, 이와 동시에 링크 품질 모델링을 통해 위의 패리티 후보 중 신뢰성 있는 통신이 가능한 최소의 패리티 크기를 선택한다. 결과적으로 제안 기법은 통신에 사용되는 오류정정 코드를 유동적으로 사용하여 노드의 정전 시간을 최소화하면서 신뢰성 있는 통신이 가능하게 한다.

2. 관련 연구

2.1 태양 에너지 수집 기반 무선 센서 네트워크

무선 센서 네트워크는 주로 사람이 직접 접근하기 힘든 험한 자연환경에 배치되어 군사, 생태 감시, 재난 감지 등의 목적으로 사용된다. 때문에, 배터리 기반 무선센서 네트워크의 센서 노드는 배포될 당시 보유하고 있었던 에너지를 모두 소진하게 될시, 더 이상 그 임무를 수행하기 힘들게 된다. 이러한 한계점을 극복하기 위해 주변 환경에서 에너지를 찾아내어 배터리를 재충전하며, 노드를 영구적으로 사용할 수 있게 하는 에너지 수집에 관한 연구가 진행되었다[1]. 에너지 수집은 주변 환경의 에너지, 즉 태양, 바람, 진동 등의 에너지를 전기 에너지로 변환하여 사용하는 것을 의미한다. 다양한 에너지원 중 태양 에너지는 에너지 수집률이 가장 높으며, 주기적으로 에너지가 충전된다는 장점이 있다.

Noh의 연구에서는[7] 하루 동안의 시간과 날씨에 따라 해당 주기에 노드가 사용 가능한 에너지를 계산하는 에너지 할당 기법을 제안하였다. Yoon[8]은 태양 에너지 수집을 통하여, 사용 가능한 여분의 에너지를 데이터 압축에 사용하여, 송신 노드와 목적지 노드 사이의 중계 노드들이 데이터를 전달하는 데 쓰이는 에너지를 절약하였다. 또한, Kang[9]은 기존의 Ring-routing 기법[10]의 앵커 노드 근처의 에너지 불균형 문제를 해결하기 위해 에너지 수집을 통하여 획득한 여분의 에너지로 다수의 링 구조를 유지하는 Multi-ring-routing 기법을 제안하였다.

2.2 RS(Reed-Solomon) 기법

RS기법은 일반적으로 사용되며, 효율적인 FEC 기법이다. RS의 블록은 페이로드와 패리티로 이루어져 있다[6]. 실제로 전송되어야 할 원본 데이터는 페이로드에 포함되어 있으며, 손상된 데이터를 복원하는 오류정정 코드는 패리티에 포함된다.

RS기법의 블록은 n 개의 심볼로 이루어져 있다. 페이로드

가 k 개의 심볼로 이루어져 있다면 패리티는 $(n-k)$ 개의 심볼로 이루어져 있고, 통상적으로 이를 RS(n, k)로 표기한다. n 개의 심볼로 구성된 RS블록을 전송한다면 수신 노드에서 복구 가능한 최대 심볼 개수는 $(n-k)/2$ 가 된다[11]. RS에서는 기본적으로 송신해야 할 데이터에 추가로 오류 복원 코드를 함께 전송하기 때문에, 그만큼의 추가적인 데이터 송수신 에너지가 소모되게 된다. 또한, 패리티는 원본 데이터인 페이로드를 인코딩하여 생성되기 때문에 송신 측에서는 추가적인 인코딩 에너지가, 수신 측에서는 디코딩 에너지가 요구된다. 패리티를 크게 붙여 보낸다면 그만큼의 복구 가능한 데이터가 많아지므로 통신 신뢰도가 증가하는 반면 그에 상응하는 인코딩, 디코딩 및 송수신 에너지를 소모하게 된다. 따라서 패리티의 크기와 통신 신뢰도는 trade-off 관계에 놓여 있다.

3. 제안 기법

본 장에서는 태양 에너지 모델과 링크 품질 모델을 통하여 패리티 크기를 결정하는 기법에 관하여 기술한다.

3.1 에너지 모델링

Yang의 연구에서는[12], 태양 에너지 기반 센서 네트워크의 노드가 정전을 회피하는 범위 내에서 사용 가능한 에너지의 양을 다음과 같이 제안한다.

$$E_{\text{residual}} = \frac{P_{\text{sys}}}{P_{\text{solar}}} \cdot C \quad (1)$$

P_{solar} 는 단위 시간 당 태양 에너지 수집량, P_{sys} 는 단위 시간 당 노드의 에너지 소비량, E_{residual} 은 현재 배터리에 남아 있는 에너지양, C 는 배터리 총량을 나타낸다. 즉, 배터리에 E_{residual} 만큼의 에너지가 남아있다면 노드는 정전이 발생되지 않으며, 이는 노드가 최소한으로 가지고 있어야 할 에너지 문턱 값 $E_{\text{threshold}}$ 로 나타낼 수 있다. 노드의 현재 잔여 에너지를 E_{residual} 로 표현하고, 정전 없이 추가로 사용될 수 있는 에너지 ΔE 는 다음으로 표현할 수 있다.

$$\Delta E = E_{\text{residual}} - E_{\text{threshold}} \quad (2)$$

3.2 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. BER는 다음 수식으로 표현된다[13].

$$BER = Q \cdot \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \quad (3)$$

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 확률분포 함수를 나타낸다. 라디오 송수신기에서 수신된 신호의 세기와 설정된 잡음의 세기를 통하여, SNR을 계산하고, 송수신 노드의 링크 BER을 도출해 낸다.

3.3 에너지에 따른 패리티 후보군 선정

보낼 수 있는 데이터의 크기는 송신에 소비되는 에너지에 따라 다음과 같이 표현될 수 있다[14].

$$D_{\text{tx}} = \frac{E_{\text{tx}}}{\beta \cdot (d)^\alpha} \quad (4)$$

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.

한편, 패리티가 증가하게 되면 인코딩 및 디코딩 에너지 또한 증가하게 되므로 패리티를 보내는 데에 소비되는 에너지는 데이터 송신 에너지뿐만 아니라 해당 패리티를 인코딩할 에너지도 고려해 주어야 한다[11].

제안 기법에서는 3.1절에서 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 Equation (5)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\Delta E = E_{\text{tx}} + E_{\text{encoding}} \quad (5)$$

통신에서 심볼은 처리되는 하나의 조작 단위이며 보통 이 단위로 변조, 코딩, 전송 등의 과정이 일어나게 되는데, 하나의 심볼은 m 개의 비트로 구성된다. RS에서는 심볼 단위로 패리티가 붙기 때문에 비트 단위로 계산된 Equation (4)을 m 으로 나누어 주어 다음과 같이 심볼 단위로 나타낼 수 있다.

$$D_{\text{parity}}(\text{energy}) = \frac{\Delta E}{m \cdot \beta \cdot (d)^\alpha} \quad (6)$$

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

3.4 타깃 노드의 에너지를 고려한 패리티 선정

송신 노드의 패리티 크기만 고려하여 보낼 시 수신 노드는 그만큼의 패리티를 디코딩할 충분한 에너지가 없을 수도 있다. 때문에 각 노드는 자신의 디코딩 할 수 있는 패리티 크기를 이웃 노드에게 알려 준다. 즉, 송신 노드(i)는 자신이 보낼 수 있는 패리티 크기 $D_{\text{parity}}^i(\text{energy})$ 와 타깃 노드(j)의 디코딩 가능한 패리티 크기 $D_{\text{parity}}^j(\text{energy})$ 를 비교하여, 더 작은 크기의 패리티 $D_{\text{parity}}(\text{energy})$ 를 후보군으로 선정한다.

3.5 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.

$$D_{error} = BER \cdot D_{tx} \quad (7)$$

RS에서는 복구에 필요한 데이터 크기를 심볼로 나타내므로 비트 단위로 계산된 Equation (7)를 하나의 심볼을 이루는 비트 수 m 으로 나누어 준 아래의 Equation (8)으로 표현한다.

$$D_{parity}(link) = \frac{D_{error}}{m} \cdot 2 \quad (8)$$

계산된 $D_{parity}(link)$ 는 링크 품질에 따라 요구되는 패리티의 크기를 심볼 단위로 나타내며 Equation (8)의 가장 뒤에 2를 곱해준 이유는 위에서 설명한 바와 같이 $(n-k)$ 개의 심볼에 대하여 $(n-k)/2$ 만큼이 복구되기 때문이다.

3.6 패리티 선정과 데이터 전송 여부 결정

최종적으로 $D_{parity}(energy) > D_{parity}(link)$ 를 만족할 때, $D_{parity}(link)$ 만큼의 패리티로 데이터를 전송하게 된다. 하지만 그 반대인 $D_{parity}(energy) < D_{parity}(link)$ 의 상황에서는 신뢰성 있는 통신에 요구되는 패리티 크기를 충족시킬 수 없으므로 데이터 전송을 보류하여 에너지를 아끼고, 다음 전송주기에 $D_{parity}(energy) > D_{parity}(link)$ 를 만족할 때 데이터를 보낸다.

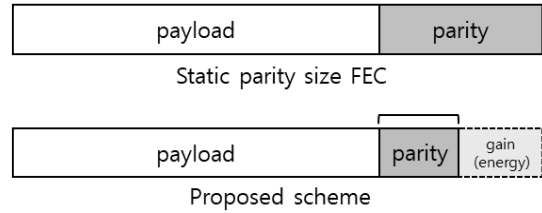
3.7 고정된 패리티 크기의 RS와 비교

Fig. 1은 기존의 고정된 패리티를 사용하는 일반적인 RS와 제안 기법을 두 가지 상황에서 비교한 그림이다. 노드의 잔여 에너지가 적으며 현재 채널 상태가 좋은 첫 번째 상황에서 고정된 패리티의 RS는 데이터 전송에는 성공을 할 수 있으나, 필요 이상의 패리티를 사용하게 되어 에너지측면에서 손해가 발생한다. 그러나 제안 기법에서는 현재 채널에서 요구되는 패리티 크기를 알기 때문에 적절한 패리티를 사용하여 데이터 전송의 성공과 동시에 에너지를 보존할 수 있다. 반대로 두 번째 상황에서는 여분의 에너지가 많으며 채널 상태가 좋지 못한 상황이다. 고정된 패리티의 RS는 충분한 패리티를 사용하지 못하기 때문에 데이터 전송에 성공할 가능성이 낮으며, 데이터 전송 실패에 따른 에너지 또한 낭비될 수 있다. 반면, 제안 기법은 현재 사용할 수 있는 여분의 에너지를 사용하여 패리티를 더 크게 보내기 때문에 데이터 전송에 성공할 수 있으며 여분의 에너지 사용 측면에서도 이득을 볼 수 있다.

4. 실험 결과

제안 기법의 성능을 평가하기 위해 싱크 노드에서 수집되는 데이터의 양과 네트워크 토폴로지 전반에서 정전되는 노드 수를 측정하였다. 실험에는 CC2420 라디오 통신 모듈 환경을 사용하였으며, 75개, 100개, 125개의 노드를 2500m²의 필드에 무작위로 배포 하였다. 링크 품질은 0.03에서 0.3 사이의 BER 값으로 나타내었으며, QPSK 방식의 심볼 크기로 약 3주(20일) 동안 실험을 하였다. 제안 기법은 링크품질

Case 1. Low residual energy when bad channel status



Case 2. High residual energy when good channel status

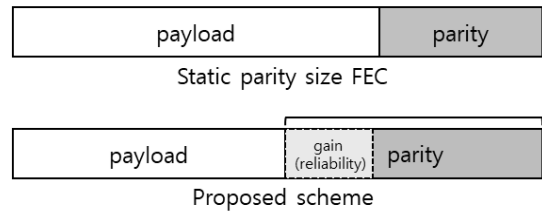


Fig. 1. Comparison of the Proposed Scheme with a Static Parity-size FEC

Table 1. Experiment Environment

Parameter	Value
Experiment Time	20 (days)
Hardware	MicaZ
RF Module	CC2420
Number of Nodes	75, 100, 125
Size of Field	50 (m) × 50 (m)
Round	1 (min)
Transmission Range	10 (m)
Link Status (BER)	0.03~0.3
Maximum Data Size	128 (bit)
Avg. Harvesting Energy per 1 Day	49.2 (J)
Encoding Energy (Per Symbol)	0.018 (mJ)
Decoding Energy (Per Symbol)	0.064 (mJ)
Data Transmission Energy	52.2 (mJ/s)
Data Reception energy	59.1 (mJ/s)

과 보유 에너지양에 따라 유동적인 크기의 패리티를 선정하여 보낸다. 패리티크기의 유동성에 따른 이득을 보여주기 위하여, 기존의 고정된 패리티를 전송하는 RS 기법과 비교 하였다. 비교 기법으로는 태양 에너지 수집 기반의 센서 기기에서 고정된 패리티를 사용하는 RS(54, 38)을 채택하여 실험을 진행하였다.

4.1 데이터 수집량

Fig. 2는 100개의 노드를 배포하여 3주 동안 싱크노드에서 수집된 데이터의 총량을 나타내고 있다. 비교 기법인 RS(54, 38)은 고정된 크기의 패리티를 삽입하여 데이터를 전송하기 때문에, 링크 상태가 좋은 경우에는 데이터가 정상적으로 수집

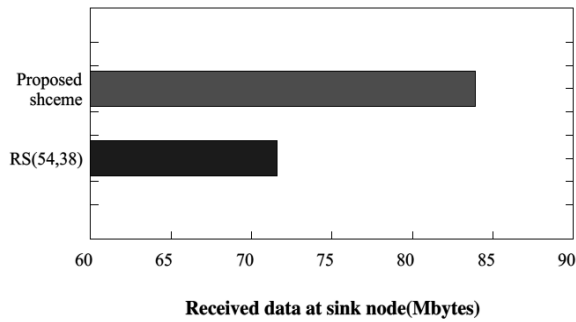


Fig. 2. Amount of Received Data at Sink Node

된다. 하지만 링크 품질이 좋지 못할 경우, 신뢰성 있는 통신을 위해 요구되는 패리티의 크기를 충족시키지 못해, 통신 신뢰도에 문제가 생길 수 있다. 제안 기법에서는 링크 품질에 따라 요구되는 패리티를 계산하여 보내므로 데이터 송신 시, 신뢰성 있는 통신을 보장한다. 따라서 싱크에서 수집되는 에너지량이 비교기법보다 약 120% 증가하였음을 알 수 있다.

4.2 정전 노드 수

제안기법에서는 링크 품질에 따라서 요구되는 패리티 크기를 측정하여 보내기 때문에 에너지가 많더라도 필요 이상의 패리티를 생성하여 보내지 않기 때문에 에너지를 절약할 수 있다. 반면에 비교 기법은 링크 품질이 충분히 좋은 경우에도 필요 이상의 패리티를 삽입하여 에너지 낭비가 심해 정전 노드 수가 많은 것을 볼 수 있다. 이는 노드 100개를 배포하여 정전 노드 수를 측정한 Fig. 3을 참고하여 확인할 수 있다. 제안 기법은 비교기법보다 약 40% 이하의 정전노드수를 보인다.

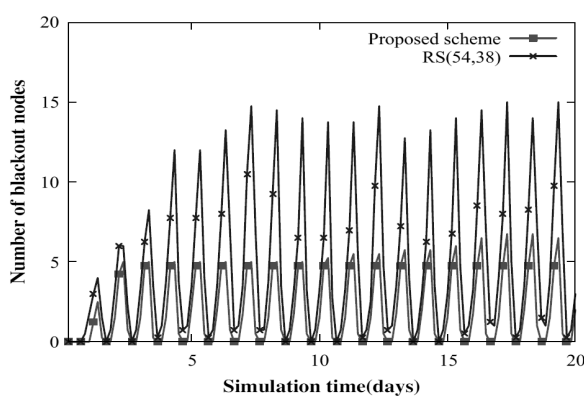


Fig. 3. Number of Black Out Nodes

4.3 확장성(Scalability)

Fig. 4는 제안 기법에 노드의 수를 변화시키며 정전 노드의 수를 측정한 결과이다. 네트워크 환경에 노드수가 상대적으로 적은 50개일 때에는 비교 기법과 제안 기법의 정전 노드 수와 수집된 데이터의 양의 차이가 크게 나지 않는다. 이

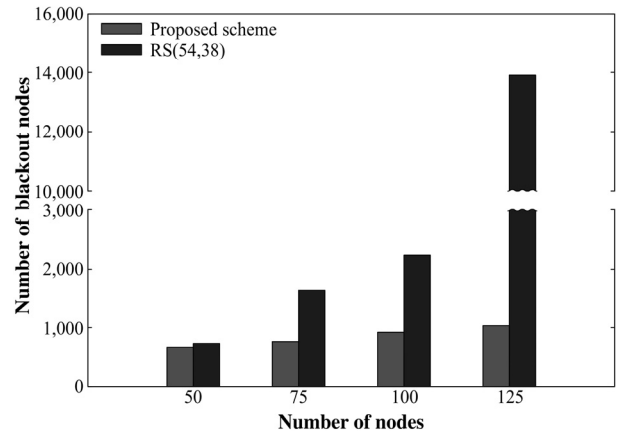


Fig. 4. Number of Blackout Nodes by Node Count

는 적은 노드 수만큼 적은 양의 데이터가 수집되며, 그에 따라 데이터 전송 횟수 또한 적기 때문에 두 기법 모두 충분한 에너지를 유지할 수 있는 상태이기 때문이다. 그러나 노드의 수가 증가함에 따라 제안 기법은 일정한 정전 노드 수를 유지하는 반면, 비교 기법인 RS(54, 38)은 노드 수가 증가함에 따라 급격히 정전 노드 수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안 기법은 요구되는 패리티의 크기를 측정하여 그에 맞게 유동적으로 패리티를 선정하여 보내기 때문에 패리티를 붙여 보내는 에너지 소비를 최소화한다. 반면에, 고정적인 크기의 패리티를 사용하는 비교 기법은 증가한 노드 수만큼 데이터 통신이 증가하게 되고 고정적인 패리티를 전송하는 오버헤드 또한 증가하게 되어 정전 노드 수가 급격히 증가하게 된다.

5. 결 론

본 논문에서는 태양 에너지 기반 무선 센서 네트워크 환경에서 태양 에너지 수집을 통하여 노드가 정전되지 않는 범위 내에서 사용 가능한 여분의 에너지를 모델링 하였고, 그 에너지는 통신의 신뢰도를 높이기 위한 추가적인 패리티 생성에 사용되었다. 또한, 링크 품질을 모델링 하여, 신뢰성 있는 데이터 전송에 요구되는 정밀한 패리티의 크기를 예측하였고, 예측된 패리티만큼 전송하여, 수집된 에너지를 효율적으로 사용하게 하였다. 결과적으로 제안 기법은 노드의 정전을 최소화하며, 데이터 통신의 신뢰도를 높였다.

References

- [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, 2011.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *Computer Networks*, Vol.38, No.4, pp.393-422, 2002.

[3] Z. Tian, D. Yuan, and Q. Liang, "Energy Efficiency Analysis of Error Control Schemes in Wireless Sensor Networks," *2008 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, IEEE, 2008.

[4] N. Abughalieh, K. Steenhaut, and A. Nowe, "Low Power Channel Coding for Wireless Sensor Networks," *2010 17th IEEE Symposium on Communications and Vehicular Technology in the Benelux (SCVT2010)*, IEEE, 2010.

[5] A. Angelin, B. Revathi, T. Gayathri, and M. D. Balakumaran, "Channel Coding in WSN for Energy Optimization," *International Journal of Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol.3, No.3, pp.7873-7878, 2014.

[6] I. S. Reed and G. Solomon, "Polynomial Codes Over Certain Finite Fields," *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, Vol.8, No.2, pp.300-304, 1960.

[7] D. K. Noh and T. F. Abdelzاهر, "Efficient Flow-Control Algorithm Cooperating with Energy Allocation Scheme for Solar-powered WSNs," *Wireless Communications and Mobile Computing*, Vol.12, No.5, pp.379-392, 2012.

[8] I. Yoon, H. Kim, and D. K. Noh, "Adaptive Data Aggregation and Compression to Improve Energy Utilization in Solar-powered Wireless Sensor Networks," *Sensors*, Vol.17, No.6, pp.1226, 2017.

[9] M. Kang, I. Yoon, and D. K. Noh, "Efficient Location Service for a Mobile Sink in Solar-Powered Wireless Sensor Networks," *Sensors*, Vol.19, No.2, pp.272, 2019.

[10] C. Tunca, S. Isik, M. Y. Donmez, and C. Ersoy, "Ring Routing: An Energy-efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks with a Mobile Sink," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.14, No.9, pp.1947-1960, 2014.

[11] J.-S. Ahn, J.-H. Yoon, and K.-W. Lee, "Performance and Energy Consumption Analysis of 802.11 with FEC Codes Over Wireless Sensor Networks," *Journal of Communications and Networks*, Vol.9, No.3, pp.265-273, 2007.

[12] Y. Yang, L. Wang, D. K. Noh, H. K. Le, and T. F. Abdelzاهر, "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.

[13] M. K. Simon and M.-S. Alouini, "Digital Communication Over Fading Channels," Vol.95. John Wiley & Sons, 2005.

[14] T. Melodia, D. Pompili, and I. F. Akyildiz, "Optimal Local Topology Knowledge for Energy Efficient Geographical Routing in Sensor Networks," *IEEE INFOCOM 2004*. Vol.3. IEEE, 2004.



길 건 옥

<http://orcid.org/0000-0001-9426-9964>

e-mail : gil6399@ssu.ac.kr

2019년 송실대학교 정보통신전자공학과
(학사)

2019년 ~ 현 재 송실대학교

융합소프트웨어학과 석사과정

관심분야 : Sensor Network, Internet of Things, Embedded System Software



강 민 재

<https://orcid.org/0000-0002-1183-8752>

e-mail : minjaekang@ssu.ac.kr

2011년 배재대학교 컴퓨터공학과(학사)

2019년 송실대학교 전자공학과(박사)

2019년~2020년 송실대학교

융합특성화자유전공학부 외래교수

2020년~현 재 송실대학교 박사후연구원

관심분야 : Cyber-Physical System, Mobile Network, Ubiquitous Sensor Network



노 동 건

<https://orcid.org/0000-0003-2068-633X>

e-mail : dnoh@ssu.ac.kr

2000년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)

2002년 서울대학교 전자컴퓨터공학부(석사)

2007년 서울대학교 전자컴퓨터공학부(박사)

2007년 ~ 2010년 University of Illinois at Urbana-Champaign 박사후연구원

2018년 ~ 2019년 University of Wisconsin at Madison 방문연구원

2012년 ~ 현 재 송실대학교 융합소프트웨어학과 교수

관심분야 : Cyber-Physical System, Mobile Computing, Internet of Things