

논문 2010-05-06

코드 업데이트 프로토콜에서 에너지 잔존량에 따른 노드선정 기법

(Energy-Aware Node Selection Scheme for Code Update Protocol)

이 승 일, 홍 원 기*

(Seung-Il Lee, Won-Kee Hong)

Abstract : As wireless sensor network are being deployed in a wide variety of application areas, the number of sensor nodes in a sensor field becomes larger and larger. In the past, ISP (In-System Programming) method have been generally used for code update but the large number of sensor nodes requires a new code update method called network reprogramming. There are many challenging issues for network reprogramming since it can make an impact on the network lifetime.

In this paper, a new sender selection scheme for network reprogramming protocol is proposed to decrease energy consumption for code update by minimizing overlapped area between sender nodes and reducing data contention. Simulation results show that the proposed scheme can reduce the amount of message traffic and the overall data transmission time.

Keywords : Sensor network, Code update, Network reprogramming, Data dissemination

1. 서론

무선 센서 네트워크는 다양한 환경에서 동작한다. 이러한 특성상 한번 배치된 노드들은 수거 및 접근성이 좋지 못하다. 그러나 자연환경에 배치된 센서 노드들은 수행 중에 외부 환경의 영향이나 각종 변수들로 인해서 버그나 시스템 장애가 발생할 수 있다. 또한 센서네트워크의 규모가 커지고 사용되는 노드의 증가로 유지 보수의 어려움이 발생한다. 이를 해결하기 위해서 무선센서네트워크를 통한 코드업데이트를 가능하게 하는 네트워크 프로그래밍 기법들이 연구 되고 있다[1].

현재 대표되는 기법들로는 TinyOS에서 지원하는 단일홉의 리프로그래밍 기법인 XNP[2], MOAP

[3]는 UCLA에서 개발한 XNP를 리플방식의 멀티홉으로 개선한 기법이다. MNP[4]는 응답 수에 따른 전송노드 선정기법을 제안하고 노드의 상태모드를 정의하여 불필요한 에너지 소모를 줄인 기법이다. Deluge[5]는 가장 대표되는 기법으로 대규모 네트워크에서 원활한 데이터 전파를 위해 전체 이미지 데이터를 페이지와 패킷으로 나누어 파이프라이닝 기법을 적용하였다. 그 외에도 다양한 기법들이 연구 되고 있다.

[그림 1]은 리프로그래밍의 프레임워크를 보여주고 있다. 이러한 리프로그래밍에서 주고받는 데이터는 일반적으로 전송되는 데이터들과 달리 노드의 시스템 운영에 관련 된 데이터이기 때문에 중요도가 매우 높다. 그로 인해 100%의 신뢰성을 요구한다. 그 외에도 다양한 요구 조건들이 존재하게 된다. 우선 에너지 소모를 최소화하여 네트워크 지속 시간에 영향을 최소화하고 메모리 사용량을 최소화하여 기본적인 동작 성능에 미치는 영향을 줄여야 할 것이다. 이러한 요건을 만족시키기 위해서는 데이터 전송 횟수와 데이터양을 줄이고 수행시간을 줄이는데 초점을 두고 있다. 하지만 기존의 기법들

* 교신저자 (Corresponding Author)

논문접수 : 2009. 12. 21., 수정일 : 2010. 01. 25., 채택확정 : 2010. 02. 02.

홍원기 : 대구대학교 정보통신공학부

이승일 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터

※ 이 논문은 2007학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임

은 수신 대기, 데이터 전송량, 데이터 전송 충돌 등 여러 가지 문제로 데이터 전달에 따른 에너지 비효율성을 보이고 있다.

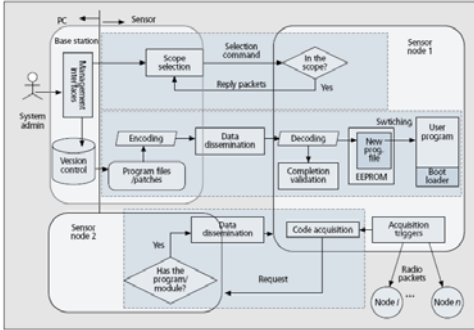


그림 1. 센서네트워크 리프로그래밍 프레임워크
Fig. 1. WSN reprogramming framework

본 논문에서는 에너지 인식 기반의 노드선정을 통한 효율적인 데이터 전달 프로토콜(ECDP : Energy Consideration Dissemination Protocol)을 제안하였다. ECDP는 노드의 남은 배터리량을 고려하여 전송 노드를 선정하여 데이터 전송량과 에너지 소비를 줄이도록 설계하였다. 이는 에너지가 많은 노드가 더 많은 노드에게 전송할 수 있기 때문이다. 또한 휴지(Sleep)상태를 적용하여 불필요한 데이터 전송 및 대기시간을 줄여 에너지 소모를 줄였다. 시뮬레이션 결과 기존의 Deluge에 비해 전체적인 토폴로지에서 평균적으로 업데이트 전달 완료 시간이 23%가량 감소하였고 데이터 전송량은 35% 가까이 감소하였다. 이를 통해 상당부분 에너지 소비를 절감하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2절에서는 기존의 네트워크 리프로그래밍 전파 기법에 대해서 살펴보고 문제점을 분석한다. 3절에서는 2절에서의 문제점을 보완하는 남은 배터리를 고려한 전송노드 선별기법을 제안하고 동작을 설명한다. 4절에서는 시뮬레이션을 통한 프로토콜에 대한 성능을 평가하고 5절에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

WSN (Wireless Sensor Network)에서 일반적인 데이터 전달은 센서 노드들이 수집한 정보를 사용자와의 연결노드까지 전달하는 형식이다. 이를 위

해 다양한 프로토콜들이 존재한다.

이러한 일반적인 데이터 전달 프로토콜들은 센싱한 노드에서부터 목적지까지 가장 짧게 혹은 가장 빠르고 효율적으로 전달할 수 있는 경로를 찾는 데 그 목적을 두고 있다[6].

표 1은 라우팅 기법의 분류방법에 따른 종류를 보여주고 있다.

표 1. 일반적인 데이터 전달 프로토콜
Table 1. Data transmission protocol

평면적 라우팅	flooding, SPIN, Directed Diffusion
계층적 라우팅	LEACH, PEGASIS
위치 기반 라우팅	GAF, GEAR

네트워크 리프로그래밍은 BaseStation노드로부터 네트워크 내의 모든 노드들에게 업데이트 데이터를 전파하는데 목적을 두고 있다. 센서노드는 특정 공간에 배치되어 오랜 시간 동안 스스로 데이터 정보를 수집하고 전송하는 역할을 수행한다. 리프로그래밍 또한 스스로 필요성을 감지하고 데이터 전송을 통하여 자동으로 업데이트를 수행해야 된다. 이를 위해 요구되는 조건들이 있다.

첫째 높은 신뢰성을 요구한다. 무선이라는 네트워크 특성상 데이터 전송 중 손실이 발생할 가능성이 크다. 그렇기 때문에 이를 고려한 오류 복구 기술이 필요하게 된다. 또한 네트워크 내의 모든 노드들이 데이터를 전달 받아야 된다. 두 번째로 에너지 소모를 최소화 해야된다. 이는 리프로그래밍으로 인한 에너지 소모가 네트워크 수명에 미치는 영향을 최소화 하여야 하는 것이다. 세 번째로 메모리와 저장 공간의 제한적 사용이 요구된다. 노드는 자원이 제한적이기 때문에 기본적인 임무 수행에 영향을 최소화하는 선에서 자원사용을 허용한다. 네 번째로 수행시간을 고려해야 된다. 수행시간은 에너지 소비와 밀접한 관련이 있으므로 수행시간을 최대한 단축하는 것이 네트워크의 수명에 효율적이다. 이러한 동작들은 노드 스스로 자동적으로 이루어 져야 한다.

<표 2>는 대표적인 센서네트워크 기반의 리프로그래밍 데이터 전파 프로토콜을 정리하고 있다.

XNP[2]는 TinyOS 1.0부터 제공되는 mica-2 기반의 단일홉 In-Network Programming 프로토콜이다. 하지만 이는 단일 홉이라 WSN에는 적합하지 않다. 이를 보완하기 위해서 다시 다양한 기술들

이 연구 되었는데 MOAP와 MNP가 대표적이다.

MOAP(multi-hop Over Air programming)는 플러딩과 비슷한 리플(Ripple)방식으로 멀티 홉을 지원한다. 플러딩 방식의 중복 전송을 개선하기 위해서 publish-subscribe 기법을 이용하여 데이터를 전송한다. 한홉내에 전송완료 후 다음 홉으로 전송하게 되는 neighborhood-by-neighborhood기반의 멀티홉 방식을 사용하고 있다. 또한 신뢰성 있는 데이터 전달을 위하여 슬라이딩 윈도우(sliding window)기법을 통하여 손실된 패킷을 복구한다. 하지만 코드 데이터 전송 중 홉이 외의 노드들은 불필요한 수신 대기기를 통해 에너지소모가 발생한다는 점이 문제가 된다[3].

표 2. 데이터 전파 프로토콜
Table 2. Data dissemination protocol

NP기법	Data Dissemination Protocol 특징
XNP	▪ 단일 홉 지원
MOAP	▪ 멀티 홉 지원 ▪ 리플(ripple) 전달 방식
Deluge	▪ 멀티 홉 지원 ▪ 간단한 전송 노드 선정 방식 ▪ Spatial Multiplexing 기반의 파이프라이닝 전송 방식
MNP	▪ 멀티 홉 지원 ▪ ReqCtr 기반의 Sender selection

다음으로 MNP는 Multihop Network Reprogramming로 3단계의 handshaking 프로토콜로 advertisement-request-data를 통해 데이터 전송이 정해지며, Request메시지 수에 따른 Sender selection 기법을 통해 중복전송을 줄이며 기본 5가지(IDLE, DOWNLOAD, ADVERTISE, FORWARD, SLEEP)를 통하여 불필요한 대기시간에 사용되는 에너지 소비를 줄인다. 데이터 손실을 복구하기 위한 MissingVector와 ForwardVector를 이용하여 효율적인 데이터 재전송을 구현하였다. 하지만 MNP는 데이터 전송을 위한 컨트롤 메시지가 많고 다양한 조건에 의한 복잡도가 높아지는 단점이 있다[4].

Deluge는 [그림 2]와같이 업데이트 코드를 페이지와 패킷 단위로 구분하여 Spatial Multiplexing한 파이프라이닝 전송을 통한 전송속도를 높이고 노드들의 대기시간을 줄인다. 이를 [그림 3]에서 도식화하고 있다.

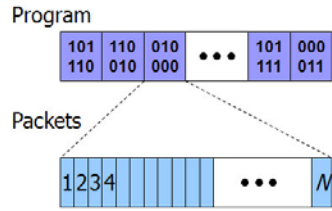


그림 2. Delgue의 페이지와 패킷
Fig. 2. Page and packets format for deluge

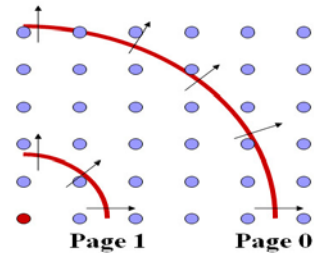


그림 3. 공간 다중화
Fig. 3. Spatial multiplexing

이러한 기존의 코드 업데이트 방식은 최신 코드를 가지고 있는 노드가 주기적으로 광고 메시지를 전송하면 센서 노드들은 업데이트 버전을 자신의 버전과 비교함으로써 업데이트 수신 여부를 결정하게 된다. 업데이트 수신 결정을 내리고 나면 어떠한 노드로부터 받아야 하는지를 선정하게 되는데 광고를 보내는 노드가 하나라면 문제가 없지만 여러 노드로부터 전송을 받았다면 중복 수신을 방지하기 위해서 하나의 노드를 선정해야 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 센서 노드들의 에너지 에너지량을 기준으로 Sender를 선정하는 알고리즘을 설계하며 이를 적용한 프로토콜을 제안한다[5].

이중에서 Deluge를 기반으로 하는 다양한 프로토콜들이 연구 및 개발 되고 있다[7]. 그 외에도 다양한 기준으로 노드를 선정하고 좀 더 간략하고 효율적인 네트워크 리프로그래밍 기법들이 계속적으로 연구 중에 있다[8]. 또한 TDMA방식 등 새로운 접근 방법을 통하여 히든터미널 등 기존의 기법들을 해결하는 기법들도 있다[10].

III. 에너지량을 고려한 노드 선정 기반의 데이터 전달 프로토콜 설계

본 절에서는 노드의 남은 배터리 량을 고려하여 전송 노드 선정 방식에 대해서 논하고 ECDP 동작을 설명한다.

일반적으로 멀티캐스트(Multicast)방식으로 전송되는 데이터 량은 식 1에서 보는 것과 같이 수신 노드 수에 비례해서 증가한다. 이는 데이터 전송을 가장 먼저 시작한 노드들에 과부하가 일어 날 가능성을 이야기한다.

$$\begin{aligned} \text{데이터 전송량} &= N_{\text{packet}} + \sum_{k=1}^{\infty} (N_{\text{Receiver}} \times N_{\text{Packet}} \times l^k) \quad (1) \\ &= N_{\text{Packet}} \times \left(1 + N_{\text{Receiver}} \times \left(\frac{l}{1-l}\right)\right) \quad (0 < l < 1) \end{aligned}$$

N_{Packet} : 패킷 수
 N_{Receiver} : 수신노드 수
 l : 패킷 손실률

본 논문에서 제안하는 배터리의 남은 에너지를 고려한 전송 노드 선정 방식(ECDP)은 에너지 잔존량이 많은 노드를 전송 노드로 선정함으로써 영향력 있는 노드를 통해 한 번에 많은 수신노드에게 업데이트 데이터를 전파 한다. 에너지 잔존량에 따라 등급을 나누고 그 등급을 광고 메시지와 함께 보낸다. [그림 4]에서 노드 A,B,C는 상위 코드 버전의 데이터를 가진 상위 노드으로써 전송 노드로 선정이 가능한 하다. 상위 노드들은 광고시 에너지 잔존량 등급을 포함하여 보내고 하위 노드들은 수신 받은 메시지들중 가장 등급이 높은 노드를 선택하고 데이터 전송을 요구하게 된다. 요구 메시지에는 상위 노드의 ID와 에너지 등급 정보를 포함하여 전송노드 선정을 완료한다.

전송 노드 경쟁에서 탈락한 상위 노드는 선정된 전송노드의 데이터 전송에 방해가 되지 않도록 하기 위해 휴지(Sleep)상태로 전환한다.

에너지 잔존량 기반의 전송 노드 선정방식은 별도의 제어 패킷 없이 기존의 광고 메시지(advertise message)와 요구 메시지(request message)에 추가적으로 필요한 정보를 포함하여 수행하도록 설계하였다.

센서 네트워크 내의 모든 노드들은 주기적으로 현재 코드버전 정보를 광고메시지로 이웃하는 노드들에게 알린다. 이러한 과정으로 노드들은 서로의 코드를 비교하고 하위 코드버전 노드가 상위 코드버전 노드에게 코드 업데이트 데이터를 요구하는 메시지를 송신한다.

전송 노드 선정을 위해 각 노드들은 광고 메시지에 현재 자신의 에너지 잔존량 정보를 포함하여 브로드캐스트한다. 그리고 이웃하는 동일 상위 코드

버전 노드간의 광고 메시지 교환으로 에너지 잔존량이 낮은 노드는 휴지(sleep) 상태로 전환되어 경쟁에서 제외 된다. 그러나 에너지 잔존량이 많아도 이웃하는 하위 코드 버전 노드가 존재하지 않을 경우에는 전송 노드 선정에 불필요하므로, 두 번이상의 광고 메시지를 전송하여 주변의 수신 노드의 존재 여부를 파악하여 이에 대한 정보도 광고 메시지에 함께 포함 시킨다. 이렇게 여러 차례 광고 메시지 교환으로 주변에 코드 업데이트 데이터를 전달 받을 하위 코드 버전 노드가 존재하고 에너지 잔존량이 가장 많은 노드가 전송 노드로 선정된다. 여기서 전송 노드 선정 시간 동안의 각 노드의 광고 메시지의 반복 전송 주기는 에너지 잔존량이 많으면 짧고, 에너지 잔존량이 적으면 길게 하여 광고 메시지의 전송 횟수를 조절한다. 이것은 보다 효과적으로 에너지 잔존량이 많은 노드를 전송 노드로 선정하게 한다. 이러한 방식으로 이웃하는 동일 상위 코드 버전 노드 중 에너지 잔존량을 고려하여 선택적으로 전송 노드 선정 경쟁에서 제외시킴으로써 중복된 데이터 전송 및 데이터 충돌 회피를 위한 통신 지연 시간을 줄일 수 있다.

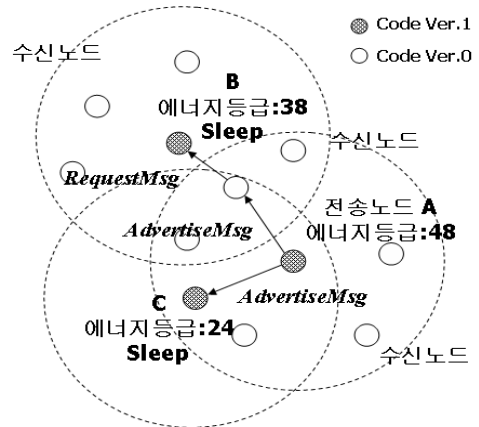


그림 4. 전송 노드 선정 과정

Fig. 4. Sender selection process

그러나 이웃하지 않는 상위 코드 버전 노드들은 서로의 광고 메시지를 교환 할 수가 없어, 위의 전송 노드 선정 알고리즘을 적용하기 어렵다. 이러한 경우에는 중첩 영역 내에 존재하는 하위 코드 버전 노드의 요구 메시지를 이용한다. 기존의 하위 코드 버전을 가진 노드의 요구 메시지는 상위 코드 버전을 가진 노드에게 유니캐스트 방식으로 송신되지만 제안하는 방식은 이웃하지 않는 상위 코드 버전 노

드들의 정보 교환을 위해 브로드캐스트로 주변의 모든 노드에게 요구 메시지를 송신하는 특징이 있다. 중첩 영역 내에 존재하는 하위 코드 버전 노드들은 상위 코드 버전 노드들이 전송한 여러 광고 메시지를 수신하여 광고 메시지에 포함된 에너지 잔존량들을 비교하고 가장 에너지 잔존량이 많은 상위 코드 버전 노드의 ID 정보를 요구 메시지에 포함하여 이웃하는 모든 노드들에게 브로드 캐스트한다. 이로써 간접적으로 상위 코드 버전 노드들은 서로의 에너지 잔존량을 비교하게 된다. 중첩 영역 내 수신 노드의 요구 메시지에 포함된 노드의 ID가 자신이 아닐 경우, 상위 코드 버전 노드는 휴지 상태로 전환되고 전송 노드 경쟁에서 제외된다. 이러한 요구 메시지를 통해 전송 노드 선정 방식은 코드 업데이트 데이터를 전송하는데 있어서 데이터 충돌 문제(Hidden Terminal Problem)를 해결할 수 있다.

대로 전환된다. 상위 코드 버전 노드 B는 동일 상위 코드 버전 노드 A의 광고 메시지를 전송받은 중첩 영역 내 수신 노드가 요구 메시지를 브로드캐스트 하여 노드 B에게 에너지 잔존량이 많은 노드 A를 전송노드로 선택하였다고 알려준다.

그리고 b)의 과정을 통해서 노드 B는 휴지 상태로 전환 된다. 마지막으로 상위 코드 버전 노드 A는 전송 노드 선정 경쟁 시간 동안 휴지 상태로 전환 되지 않아 전송 노드로 선정되고 이웃하는 하위 코드 버전 노드에게 보유하고 있는 새로운 상위 버전의 코드 데이터를 전달한다.

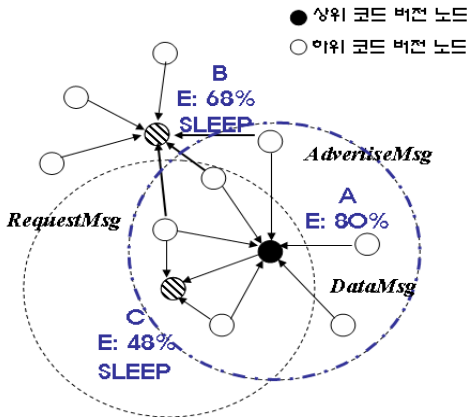
IV. 성능평가

성능 검증을 위하여 C++을 이용하여 시뮬레이터를 설계하였다. N by N 크기의 격자 형태의 토폴로지를 구성하여 크기에 따른 데이터 메시지 전송 횟수와 소요시간을 측정하여 기존의 Deluge와 비교 평가 하였다. 실험환경에 대한 구체적인 요소는 표3과 같다.

표 3. 실험 환경

Table 3. Experimental environment

실험 환경	값
업데이트 코드 크기	22080byte(파이프라이닝 전달 방식) (20pageX48packetX23byte)
전송 속도	120kbps
DataMsg 전송지연	500ms
전송 범위	2 hop (가로, 세로)
패킷 손실률	10%
패킷 수신 (E)	432 (nJ/bit)
패킷 송신 (E)	1080 (nJ/bit)
Idle-listen/msec(E)	1350 (nJ/msec)



```

a)
if (received.AdvMsg.isReceiver == Yes &&
    received.AdvMsg.Energy >= this.Energy)
    go to sleep;
b)
else if (received.ReqMsg.SenderID!=this.ID &&
    received.ReqMsg.SenderEnergy>=this.Energy)
    go to sleep;
c)
else if(end of sender selection time)
    select sender;
    
```

그림 5. 전송 노드 선정 알고리즘
Fig. 5. Sender selection algorithm

[그림 5]는 제안하는 전송 노드 선정 알고리즘의 기본 과정을 나타낸 것이다. 상위 코드 버전 노드 C는 이웃하는 동일 상위 코드 버전 노드 A의 광고 메시지를 전송받아서 a) 과정을 통해 휴지 상

[그림 6]은 토폴로지 크기를 변화시켜 가면서 데이터 전송량을 체크한 결과이다. 이때 ECDP가 Deluge와 비교하여 전송량이 적은 이유는 센터 선택 기법을 활용하여 데이터를 전송하는 센터의 수가 줄어들었고 이로 인하여 중복 전송이 감소하였기 때문이다. ECDP의 기법을 사용한 결과 기존의 Deluge보다 35%의 데이터 전송량을 감소시키는 효과를 보여주고 있다.

또한 단일 전송 노드 선정으로 인해서 데이터 전송시 충돌로 인한 지연을 감소시키고, 재전송 메시지를 감소시켜 수행시간을 줄일 수 있게 설계하

였다. 실험결과 [그림 7]과 같이 Deluge의 데이터 전달 소요시간보다 ECDP의 전달 소요시간이 평균 23% 빠른 것으로 나타났다. 이러한 데이터 전달 소요시간 감소는 불필요한 수신 대기 시간을 줄여 수신대기에 따른 에너지 소모를 줄여준다.

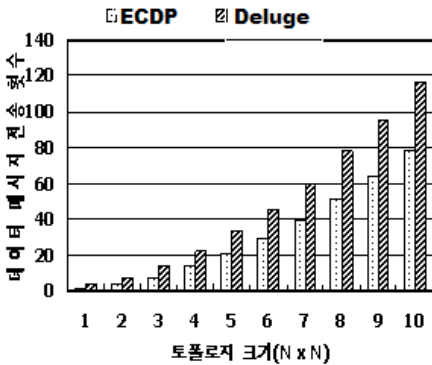


그림 6. 데이터 메시지 전송 횟수
Fig. 6. The number of message transmissions

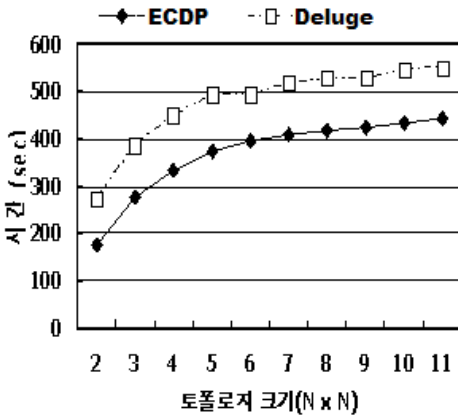


그림 7. 데이터 전달 소요 시간
Fig. 7. Transmission time

V. 결론

기존의 네트워크 프로그래밍 기법에서 중첩영역의 데이터 중복 전송과 데이터 충돌 및 전송량 증가라는 문제점을 확인하고 이를 해결하기 위해 새로운 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 방

식은 노드의 에너지 잔존량을 비교하여 영향력이 큰 노드를 전송노드로 선정하는 기법을 제안하고 있다. 이의 성능을 검증하기 위해서 기존의 Deluge 프로토콜과 시뮬레이션을 통하여 비교 하였는데 데이터 전송량은 35%가량이 감소하였고 전달 완료 시간은 23%가량 줄어 이로 인한 에너지 소비를 줄여 네트워크를 리프로그래밍으로 수행에 효율적인 결과를 보였다.

하지만 에너지 잔존량 만으로는 전송 노드를 선정하면 데이터 전파 속도 측면에서 문제점이 발생할 확률이 높아진다. 예를 들어 일렬로 배치된 선형 토폴로지에서 최악의 경우 각 홉에 위치한 노드들이 전송 노드가 되어 전체적인 전파 시간이 길어지고 네트워크 트래픽이 증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 전송 노드 선정 요소로 전송 노드로 부터의 홉-수를 고려할 계획이다. 즉, 에너지 잔존량과 홉-수가 높은 상위 노드가 전송 노드로 선정 되게 하고, 대규모 네트워크에서의 전파 시간을 줄이기 위해 파이프라인 전송을 고려할 것이다.

참고문헌

[1] Q. Wang, Y. Zhu, and L. Cheng, "Reprogramming wireless sensor networks : challenges and approaches", IEEE Network, May/June. 2006.
 [2] Crossbow Technology, Inc. "Mote In-Network Programming User Reference" Version 20030315, 2003. <http://webs.cs.berkeley.edu/tos/tinyos-1.x/doc/Xnp.pdf>.
 [3] Thanos Stathopoulos, John Heidemann, Deborah Estrin, "A remote code update mechanism for wireless sensor networks", University of California, LA, Tech.Rep CENS-TR-30, 2003.
 [4] S.S. Kulkarni, L. Wang. "MNP multihop network reprogramming service for sensor networks", 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 285-286, 2004.
 [5] A. Chlipala, J. Hui, G. Tolle, "Deluge : data dissemination for network reprogramming at scale", CS262/CS294-1, Fall Class Project,

2003.

- [6] K. Akkaya, and et. al., "A survey on routing protocols for wireless sensor network", Elsevier Ad Hoc Network Journal, Vol.3, No.3, pp. 325-349, 2005.
- [7] Andrew Hagedom, David Starobinski, Ari trachtenberg, "Rateless Deluge: Over-the-air programming of wireless sensor networks using random linear codes", 7th international conference on Information processing in sensor networks, pp. 457-466, 2008.
- [8] De.P. Tonghe Liu, Das, S.K. "ReMo: an energy efficient reprogramming protocol for mobile sensor networks", 2008. PerCom 2008. Sixth Annual IEEE International Conference, pp. 60-69, 2008.
- [9] U.C. Berkeley as a part of the TinyOS Project. "Deluge 2.0 - tinyOS network programming", <http://www.cs.berkeley.edu/~jwhui/deluge/documentation.html>, July. 2005.
- [10] Vinayak Naik, Anish Arora, Prasun Sinha, and Hongwei Zhang, "Sprinkler: a reliable and energy efficient data dissemination service for extreme scale wireless networks of embedded devices", IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.6, No.7, Jul. 2007.

저 자 소 개

이 승 일



2005년 2월 : 대구대학교
정보통신공학부 학사.

2007년 2월 : 대구대학교
정보통신공학부 석사.

2007년~현재, 경북대학교
임베디드 소프트웨어 연구센터 연구원.

관심분야 : 무선센서네트워크, 임베디드시스템.

Email : andai2@nate.com

홍 원 기



1995년 2월 : 연세대학교
전산학과 학사.

1997년 2월 : 연세대학교
컴퓨터학과 석사.

2001년 8월 : 연세대학교
컴퓨터학과 박사.

현재, 대구대학교 정보통신공학부 부교수.

관심분야 : 무선센서네트워크, 임베디드시스템.

Email : wkhong@daegu.ac.kr