가장자리 노드 재전송 기반의 소프트웨어 업데이트 이미지 데이터 전달 프로토콜

김정은*
*대구대학교 정보통신공학과
e-mail:jekim@icl.daegu.ac.kr

Border Node Re-transmission based Software Updating Image Data Dissemination Protocol

Jung-Eun Kim*
*Dept of Information & Communication Engineering, Daegu University

요 약

무선 센서 네트워크에서 한번 배치된 노드들은 회수가 불가능하기 때문에 버그 수정이나 새로운 기능 추가 등을 위해 OTA 프로그래밍이 개발되었다. OTA 프로그래밍 기법들은 업데이트 이미지 데이터를 네트워크 내 모든 노드에게 전달하는 데이터 전달 프로토콜을 사용하는데, 이러한 프로토콜들은 다수의 수신노드들에게 여러 전송 노드가 동시에 데이터를 전송하고 중첩 영역이 발생함으로써 데이터 충돌 및 전송량이 늘어나 에너지 소모가 증가하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 전송노드 선정 알고리즘을 이용한 BNRP 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션 결과 BNRP는 기존 수신 노드 요구 메시지에 의해서 전송 노드가 선정되는 방식보다 평균 11%이상 데이터 전송량이 감소하였고, 노드의 분포 밀집도가 10%인 영역에서는 16%이상 데이터 전송량 감소 결과를 보였다.

1. 서론

무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network)에서 대부분의 센서 노드는 특정 환경에 임의적으로 배치되고 자가 네트워크를 구성하여 특정 임무를 수행한다. 이러한 센서 노드들은 한번 배치되면 대게 회수가 불가능하여 주어진 자원을 효율적으로 사용하는 것이 중요시 되고 있다.

그러나 자연 환경에 배치된 센서 노드들은 수행 중 외부 환경의 영향으로 버그나 시스템 장애가 발생하여 네트워크 내 모든 노드들의 임무 수행에 있어 성능 저하를 가져올 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 센서 노드들의 버그 수정, 새로운 기능 추가 등을 위해 S/W 업데이트 기능이 필요하며, 이와 같은 기능을 수행하기 위해서는 회수가 불가능한 센서노드의 무선 네트워크를 이용한 OTA 프로그래밍(Over-The Air Programming)기법이 요구된다[1].

수 킬로바이트(Kbyte)의 S/W 업데이트 이미지 데이터를 자연 환경에 배치된 노드들에게 전달하기 위한 데이터 전달 프로토콜은 센서 네트워크의 S/W 업데이트 과정에서 무선 통신에 대한 에너지 소비량을 결정하는 중요한 부분이다. 이러한 데이터 전달 프로토콜의 설계에 있어서 고려해야 할 사항은 다음과 같다[1].

1. 네트워크 내의 모든 노드들에게 전달되어야 하며 전달된 데이터는 신뢰성이 보장되어야 한다.
2. 센서 노드들의 에너지는 제한적이므로 저비용의 에너지 소비 기반으로 설계되어야 한다.

그러나, 대규모 센서 네트워크를 위한 멀티-홉이 지원되는 기존 OTA 프로그래밍 기법들은 전송 노드 선정에 있어서 특정한 기준 없이 주변에 수신 노드의 요구에 의해서 다음 홉으로 데이터를 전달하는 전송 노드를 선정한다. 이러한 전송 노드 선정 방식은 데이터 충돌 및 중복된 데이터 전송으로 에너지 소비가 많은 문제점을 보인다.

본 논문에서는 현재 전송 노드로부터의 수신된 RSSI (Received Signal Strength Indication/전파 수신세기)를 이용하여 다음 전송 노드 선정 방식을 제안한다. 이러한 전송 노드 선정 방식은 다음 전송 노드간의 경쟁을 방지하여 데이터 충돌 및 중복된 데이터를 감소시킨다.

서론에 이어 2절에서는 기존 OTA 프로그래밍에 대한 관련 연구를 살펴본다. 3절에서는 2절의 문제점을 제기하고 이를 해결하기 위해 4절에서 BNRP(Border Node Retransmission Protocol)를 제안하고 운영과정을 설명한다. 5절에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 프로토콜의 성능평가를 하고, 6절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

OTA 프로그래밍 기법은 국·내외적으로 많은 연구와 개발이 진행되어 왔다.

현재 국내에서 센서 노드에 OTA 프로그래밍기법을 지원 하는 센서 노드 플랫폼으로 대표적인 것은 ETRI에서 개발된 Nano-Qplus[2]가 있으며, RadioPulse와 같은 무선

칩 업체들도 OTA 프로그래밍 기법을 지원하도록 칩을 생산하고 있다[3]. 이들은 OTA 프로그래밍을 지원하기 위한 플랫폼 환경만을 제공하고 있어 단일 홉에서 1:1 또는 1:N만 가능하다. 이러한 기능적 제한 때문에 개발 단계에서만 디버깅용으로 사용하고 있는 실정이다.

국외에서 OTA 프로그래밍 기법으로 대표적인 것은 UCLA의 MOAP[4]와 UCBerkeley의 Deluge[5]가 있다.

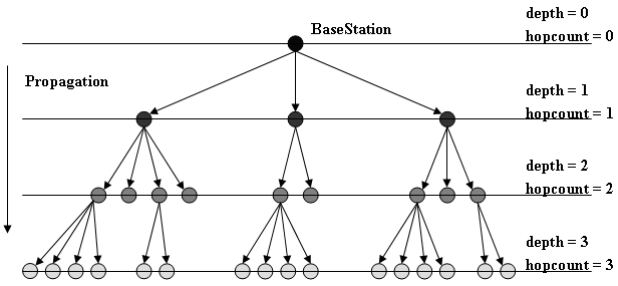
MOAP (Multi-hop Over-the-Air Programming)[4]는 멀티-홉이 지원되는 OTA 프로그래밍 기법이다. 비교적 크기가 큰 S/W 업데이트 이미지를 효율적으로 전달하기 위해 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 전송 방식과 플러딩(Flooding)을 개선한 리플(Ripple) 데이터 전달 방식을 사용한다. MOAP는 각 노드의 S/W 버전 정보가 담긴 광고 메시지를 주기적으로 브로드캐스팅(Broadcasting)하면 광고 메시지의 정보를 통해 이를 허용(Subscriber)하는 노드가 있을 시, 데이터를 슬라이딩 윈도우방식으로 전달한다. 멀티-홉을 지원하기 위해 이러한 데이터 전달 과정을 홉 대 홉으로 반복적으로 진행한다. 이것을 리플 데이터 전달 프로토콜이라고 한다.

Deluge[5]는 Crossbow사에서 개발한 XNP(Crossbow Network Programming)[6]기법으로 멀티-홉을 지원 할 수 있도록 설계한 것이다. Deluge는 S/W 업데이트 이미지를 페이지(Page)와 패킷(Packet)으로 표현한다. 이렇게 이미지를 분할하여 표현함으로써 대용량 이미지 데이터 관리에 편이성을 가지며, 특징적으로 전달 과정에서 파이프라이닝(Pipelining) 전송을 가능하게 하여 전달 시간을 줄인다. 각 노드는 MAINTAIN, REQUEST, TRANSMIT의 3가지 상태로 전이되면서 업데이트 과정을 수행한다. MAINTAIN에서는 S/W 이미지 버전 정보, 페이지 비트 벡터(Bit-Vector) 정보를 포함하는 광고메시지를 주기적으로 브로드캐스팅하고 REQUEST에서는 수신된 광고메시지의 S/W 버전 정보 및 각 페이지 정보를 읽어 업데이트 요구가 있을시 요구 메시지를 광고메시지를 전송한 노드에게 전송한다. 이러한 방법을 통해 업데이트 이미지를 전송할 노드와 수신할 노드를 결정한다. 이렇게 결정된 전송 노드는 TRANSMIT로 상태 전이 되어 하나의 페이지를 수신 노드에게 전달한다.

3. 기존 데이터 전달 프로토콜의 문제점

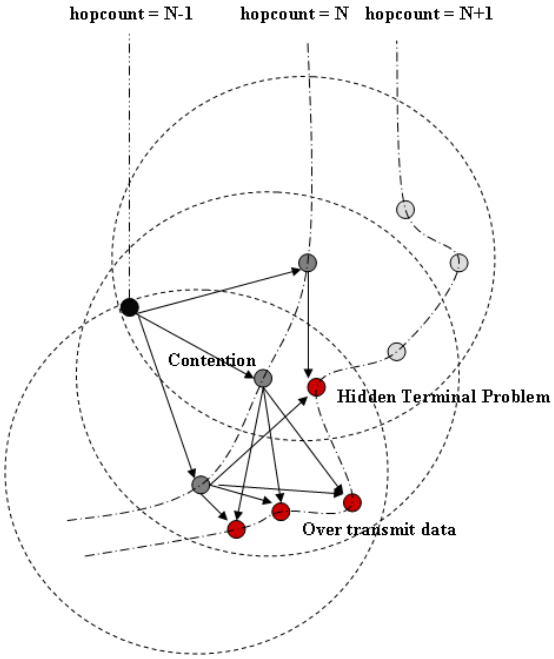
OTA 프로그래밍에서 S/W 업데이트 이미지 데이터는 사용자 측인 베이스스테이션(BaseStation)에서 센서 네트워크 내 모든 노드들에게 전달된다. 이동성이 없는 노드일 경우 데이터가 전달되는 모습은 그림 1과 같이 베이스스테이션이 루트 노드(Root Node)가 되는 트리 형태를 형성하게 된다.

그림 1에서 동일 깊이(Depth)에 위치한 즉, 동일한 홉-수를 가진 노드는 비슷한 시간대에 S/W 업데이트 이미지를 전달 받고 이웃하는 다른 수신 노드에게 전달한다. MOAP와 Deluge는 이러한 과정에서 수신 노드의 요구에 의해서만 전송 노드가 결정된다.



(그림 1) S/W 업데이트 이미지 데이터 전달 형태

그림 2와 같이 같은 홉-수를 가진 노드들이 서로의 통신 범위 내에 존재하고 이웃하는 노드들로부터 S/W 업데이트 데이터를 서로가 동시에 요구 받았다면, 경쟁 상태로 돌입하여 데이터 전송의 지연 및 중복 데이터 전송, 데이터 충돌 현상이 발생하게 된다.



(그림 2) 기존 프로토콜의 문제점

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 특정 기준으로 전송 노드간의 경쟁을 중재하는 전송 노드 선정 방식이 요구된다.

4. 제안하는 프로토콜

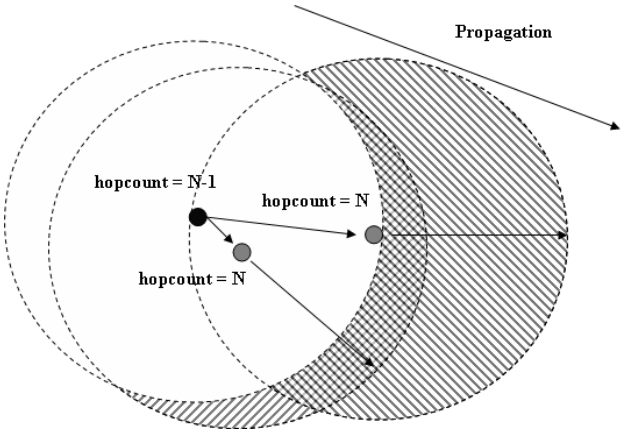
3절에서 언급한 기존 OTA 프로그래밍 기법에서 데이터 전달 프로토콜의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 가장자리 노드가 전송 노드로 우선시 선정되는 BNRP (Border Node Re-transmission Protocol)를 제안한다.

BNRP는 수신된 데이터 패킷의 RSSI를 값을 바탕으로 상위 홉의 전송 노드로부터 거리를 계산하고, 거리 정보를

광고 메시지에 포함해서 브로드케스팅한다. 이러한 광고 메시지는 이웃하는 동일한 홉-수 노드들과 정보를 교환하며 전송 노드 선정에 대한 우선권을 결정한다.

4.1 거리 계산

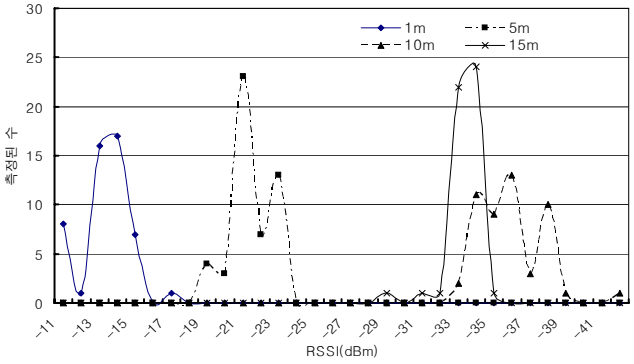
S/W 업데이트 이미지 데이터를 전송하기 위해 가장자리 노드를 선정하는 것은 전파 성능을 높일 수 있다. 앞서 전송 노드에서 거리가 먼 노드가 될수록 다음 전송 노드로 선정될 경우 그림 3과 같이 전달 방향으로 많은 통신 범위가 미치므로 보다 많은 수신 노드들을 확보 할 수 있어 업데이트 과정에서의 전체 네트워크 데이터 전송량을 줄일 수 있다.



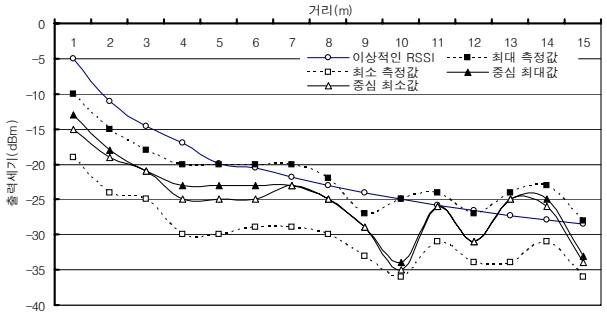
(그림 3) 가장자리 노드 선정

거리 정보를 얻기 위해 GPS와 같은 고성능 위치 정보 시스템을 대규모 네트워크의 센서 노드에 장착하는 것은 비용적인 면에서 많은 무리가 따르므로, 본 논문에서는 추가적인 하드웨어 장치를 장착하지 않고 RF 신호세기 만으로 거리를 추정할 수 있는 RSSI[7] 값을 이용하여 거리를 계산하였다.

RSSI는 주변 환경과 장애물에 의해서 오차가 심하지만 개방적인 공간에서는 그림 4와 같은 측정 결과 값을 보였다.



(그림 4) 각 거리별 측정 결과에 따른 도수 분포표



(그림 5) 거리에 따른 RSSI 측정 결과

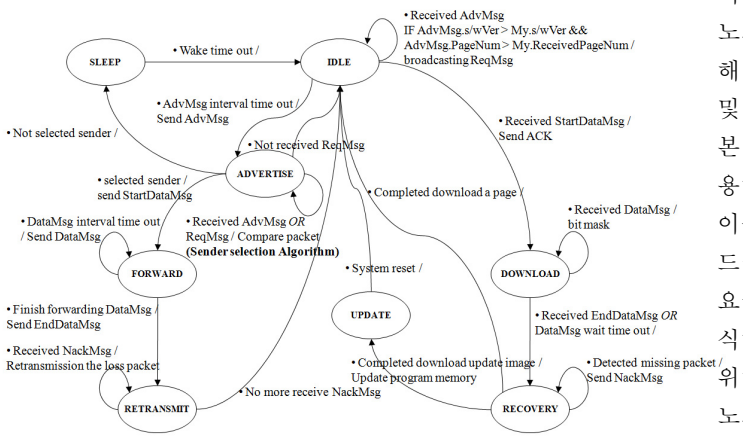
그림 4의 RSSI 측정 결과로 도수 분포를 보면 50%이상이 중심 값이 집중되어 있어 확률적으로 이용가치가 있는 요소임을 확인하였다. 그림 5는 15m 거리에서 1m 단위로 RSSI 측정값의 최댓값과 최솟값 및 50%이상의 도수분포의 중심 값을 이루는 최댓값과 최솟값의 측정 결과 값을 정리한 것이다. 그림 5에서는 거리가 멀어짐에 따라 RSSI 결과 값이 감소하는 것을 알 수 있다.

4.2. 전송 노드 선정

전송 노드 선정 방식은 먼저 동일 홉 간의 광고 메시지 교환으로 이전 전송 노드간의 거리를 서로 비교하여 거리가 가장 먼 노드가 존재하면 휴지 상태(Sleep)로 전이되어 전송 노드 경쟁에서 제외된다. 그러나 앞서 그림 2에서 데이터 충돌(Hidden Terminal Problem)이 발생하는 경우에는 광고 메시지가 서로에게 전달되지 않으므로 데이터를 수신할 노드가 전송 노드를 선정하게 된다. 즉, 수신 노드는 두 전송 노드의 광고 메시지를 통해서 거리 정보를 알 수 있으므로 이를 비교하여 다시 각각의 전송 노드에게 요구 메시지를 통해서 알리게 된다. 요구 메시지를 통해서 충돌이 예상되는 노드를 감지하고 수신노드가 선택한 전송 노드가 아닐 경우 휴지 상태로 전이된다. 그림 6은 전송 노드 방법을 유사 코드화한 것이고, 그림 7은 BNRP 운영 과정을 상태 전이도로 설계한 것이다.

```
if (ReceivedAdvMsg.isReceiver == Yes) {
   if (ReceivedAdvMsg.upPageID < My.upPageID)
         Go to SLEEP;
   else if (ReceivedAdvMsg.RSSIfromParent < My.RSSIfromParent)
         Go to SLEEP;
}
else if (Received.ReqMsg.SenderID != My.ID){
   if (Received.ReqMsg.RSSIfromParent < My.RSSIfromParent)
         Go to SLEEP;
}
else if ( Wait ReqMsg time out )
         Go to IDLE;
else if ( Sender selection time out)
         Go to FORWARD;
```

(그림 6) 전송 노드 선정 기법 유사 코드

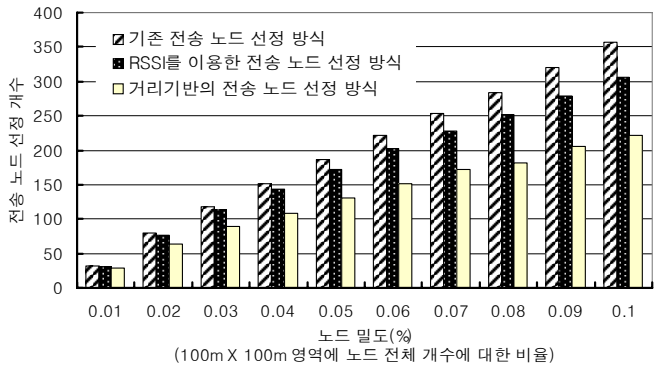


(그림 7) 상태 전이도

5. 시뮬레이션

BNRP의 성능 검증을 위하여 기존의 MOAP와 Deluge의 수신 노드 요구 메시지에 의한 선정 방식과 제안하는 전송 노드 선정 방식에 대해서 비교 평가 하였다.

시뮬레이션 환경은 C 프로그래밍 언어를 사용하였으며, 실제 RSSI를 측정한 데이터를 적용시켰다. 네트워크 토폴로지는 랜덤적인 환경을 구성하였으며, 동일한 공간 내에 노드의 개수를 가변적으로 하여 전체 분포 밀도별로 S/W 업데이트 이미지 데이터가 연결된 모든 노드에게 전달 완료하기까지 선정된 전송 노드 개수를 그림 8과 같이 구하였다. 이때 베이스 스테이션은 (0, 0)을 기준으로 하였다.



(그림 8) 전송 노드 개수 실험 결과

그림 8에서 선정된 전송 노드 개수는 전체 데이터 전송량과 정비례한다. 따라서 선정된 전송 노드수가 적은 RSSI를 이용한 전송 노드 선정 방식이 평균 11% 정도 데이터 전송량이 감소되었다. 또한, 노드의 분포 밀집도가 높은 구간에서는 평균 16%의 데이터 전송량이 감소함을 보였다.

6. 결론

기존 멀티-홉 전달이 지원 되는 OTA 프로그래밍 기법에서 데이터 전달 프로토콜은 단지 수신 노드의 요구 메시지에 의해서 다음 전송 노드가 결정된다. 이러한 전송 노드 선정 방식은 이웃하는 전송 노드와 수신 노드에 의해 서로 경쟁적으로 데이터를 전송하게 되어, 데이터 충돌 및 중복된 데이터 전송이 발생된다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 BNRP를 제안하였다. BNRP는 RSSI를 이용하여 이전 전송 노드로부터 거리를 계산하고, 이 정보를 이웃하는 전송 노드와 수신 노드에게 광고 메시지로 브로드캐스팅 한다. 그리고 이러한 광고 메시지와 수신 노드의 요구 메시지를 교환하면서 이웃하는 노드들의 정보를 인식하여 우선순위에 밀리는 전송 노드들은 간섭을 줄이기 위해 휴지 상태로 전이된다. 시뮬레이션 결과, 기존 수신 노드 요구 메시지에 의해서 전송 노드가 선정되는 방식보다 평균 11% 이상 데이터 전송량이 감소하였고, 노드의 분포 밀집도가 10% 인 영역에서는 16%이상 데이터 전송량 감소 결과를 보였다. 이로써 본 논문에서 제안한 BNRP가 기존의 MOAP와 Deluge보다 데이터 전송량을 줄임으로써 에너지 소비량을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Han, C-C. and et al., “Sensor Network Software Update Management: A Survey”, TR-UCLA-NESL-20 0503-09, 2005

[2] 마평수, “Nano Qplus 소개 및 적용 사례”, http://www.software.or.kr/ICSFiles/afieldfile/2007/08/30/Nano_Qplus.pdf, 2007.8

[3] RadioPulse, "MANGO-ZDK (MG2400) OTA(Over The Air)Programmer User's Guide Ver.2.0", http://www.radiopulse.co.kr, 2007.5

[4] Stathopoulos, T. and et. al., "A Remote Code Update Mechanism for Wireless Sensor Network", Technical Report CENS-TR-30, UCLA Center for Embedded Networked Computing. 2003

[5] Hui, J. W. and et. al., "Deluge: Dissemination Protocols for Network Programming at Scale", http://www.cs.berkeley.deu/~jwhui/research/deluge/cs262/cs262a-report.pdf, 2003

[6] Crossbow Technology Inc,"Mote In-Network Programming User Reference Version 20030315", http://webs.cs.berkeley.edu/tos/tinyos-1.x/doc/Xnp.pdf, 2003

[7] Aamody, K. "CC2431 Location Engine", Note AN042, Texas Instrument Incorporated