

M-PULSE: 싱크 노드의 이동성 지원을 위한 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

이신형⁰ 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
{shlee⁰, hxy}@os.korea.ac.kr

M-PULSE: Sensor Network Routing Protocol for Mobile Sync Node

ShinHyoung Lee⁰, Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science, Korea University

요 약

무선 센서 네트워크는 센서 노드가 센싱한 정보를 무선 네트워크를 통해서 싱크 노드에게 전달한다. 지금까지의 센서 네트워크는 에너지 소모를 최소화하기 위한 연구가 주로 진행되어 왔다. 그러나 데이터를 수집하는 싱크 노드의 이동성이 보장된다면 더욱 다양한 서비스를 제공할 수 있다. PULSE 프로토콜은 센서 네트워크 상에서 에너지 효율적으로 경로를 설정하는 프로토콜이다. 본 논문에서는 기존의 PULSE 프로토콜의 펄스 플러딩 사이에 네트워크 일정 범위 내의 플러딩이 가능하도록 수정한 인터 펄스 플러딩을 추가하여 싱크 노드의 이동성을 지원하고 에너지 효율성도 높은 M-PULSE 프로토콜을 제안한다.

1. 서 론

유비쿼터스 기술의 핵심이라 할 수 있는 무선 센서 네트워크는 다수의 센서 노드로 이루어진 네트워크이다. 각 센서 노드는 주변 환경을 센싱하여 정보를 수집하며 수집된 정보를 무선 네트워크를 통해 싱크 노드에게 전달한다. [1]

이러한 센서 네트워크는 군사용, 환경 감시용, 산업용 등 다양한 분야에서 정보를 수집하고 처리하기 위해 발전하였다. 특히 애드 혹 네트워크와는 달리 센서 노드들은 제한된 에너지를 갖기 때문에 에너지 소모를 최소화하기 위한 다양한 프로토콜들이 연구되어 왔다. [2]

한편 센서 네트워크는 기본적으로 고정된 위치에서 정보를 수집하는 센서 노드를 바탕으로 연구되었고 노드의 이동성을 지원하기 위한 연구는 그다지 진행되지 않았다. 그러나 데이터를 수집하는 싱크 노드의 경우 이동성이 지원된다면 더욱 다양한 서비스를 제공할 수 있다. [3]

본 연구는 산업자원부의 성장동력사업 지원으로 수행되었음
(과제번호 10016756)

본 논문에서는 기존의 에너지 효율적인 센서 네트워크 라우팅 프로토콜인 PULSE 프로토콜을 수정하여 싱크 노드의 이동성을 지원하고 에너지 효율성도 높은 M-PULSE 프로토콜을 제안하고 모델링을 통해 우수성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 PULSE 프로토콜을 살펴보고 3장에서 제안한 M-PULSE 프로토콜을 설명한다. 4장에서 모델링을 통해 검증한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 과제를 살펴본다.

2. PULSE 프로토콜 [4]

PULSE 프로토콜은 에너지 효율적인 센서 네트워크 라우팅 프로토콜이다. PULSE 프로토콜은 주기적으로 경로를 유지하기 위한 펄스 패킷을 플러딩 하는 프로액티브 프로토콜이며, 슬립을 통해 에너지 효율성을 높였다. 또한 전체 네트워크의 동기화를 맞출 수 있다.

그림 1은 PULSE 프로토콜의 시간에 따른 동작을 나타낸 그림이다. 싱크 노드는 주어진 펄스 플러딩 간격마다 펄스 플러드 패킷을 전체 네트워크로 플러딩한다. 각 노드는 일정한 싱크 에러 보정 시간 후에 펄스 플러드 패킷을

통해 싱크 노드까지의 경로를 설정한다.

플러딩이 끝나면 통신할 데이터가 있는 노드는 예약 시간을 통해 예약 패킷을 싱크 노드까지 보낸다. 이 때 데이터를 보내는 노드와 싱크 노드 사이의 노드는 예약 패킷을 받게 된다. 예약 시간동안 예약 패킷을 받지 못한 노드는 일정시간 슬립 모드로 들어감으로써 에너지를 절약한다. 예약 패킷을 받은 노드는 데이터를 포워딩해야 하므로 슬립 모드로 들어가지 않고 데이터 통신을 수행한다.

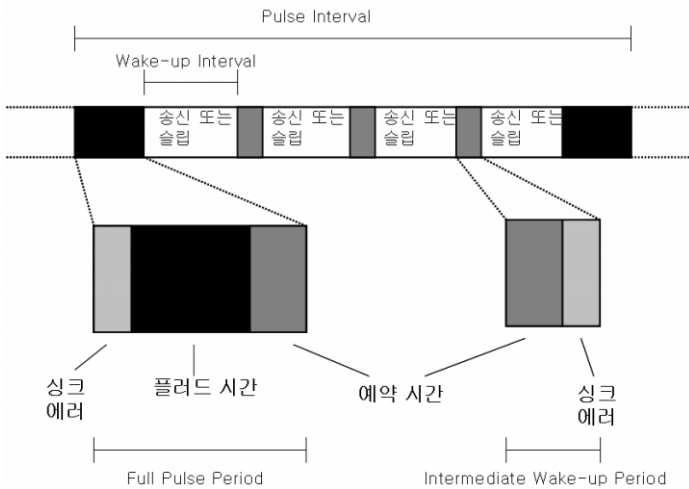


그림 1. PULSE 프로토콜의 동작

펄스 플러드 사이에 여러 번의 웨이크업 시간이 있어서 그 시기마다 예약을 수행하고 새로 데이터를 보낼 수 있다. 이를 통해 펄스 플러드 횟수를 줄일 수 있고 따라서 전체 네트워크의 에너지를 더욱 절약할 수 있다.

3. M-PULSE : Mobile PULSE 프로토콜

M-PULSE 프로토콜은 기존의 PULSE 프로토콜에 싱크 노드의 이동성 지원을 위해 펄스 플러딩을 수정한 인터 펄스 플러딩을 추가했다. 싱크 노드가 이동할 경우 펄스 플러딩 패킷에 의해 만들어진 경로는 싱크 노드 바로 앞의 노드에서 경로가 끊어진다. 이를 막기 위해 펄스 플러드 패킷의 플러드 범위를 수정하여 경로를 복구하면 싱크 노드와 경로가 끊어진 노드를 복구할 수 있다.

그림 2는 M-PULSE 프로토콜의 동작을 나타낸 그림이다. 펄스 플러드 패킷 사이에 인터 펄스 플러드 패킷을 플러딩한다. 인터 펄스 플러드 패킷은 전체 네트워크에 플러딩되지 않고 정해진 범위만 플러딩됨으로써 과도한

에너지 소모를 막는다.

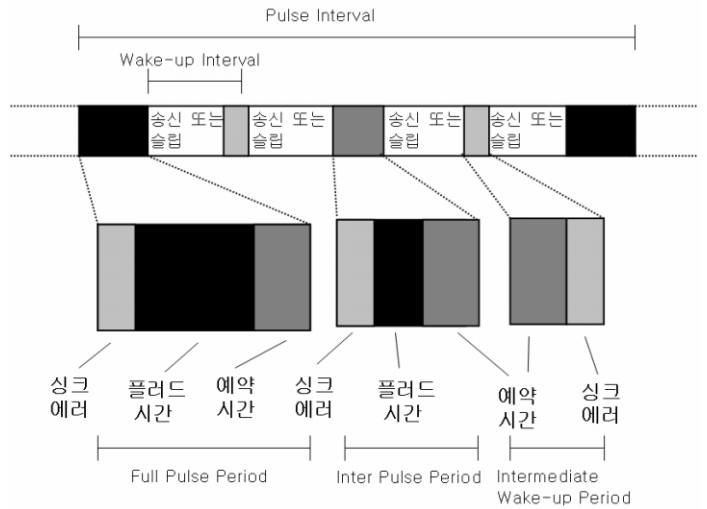


그림 2. M-PULSE 프로토콜의 동작

보통 인터 펄스 플러드 패킷은 2홉만 플러딩된다. 싱크 노드가 이동시 이동 전의 싱크 노드 바로 전의 노드에서 경로가 깨어지고 싱크 노드는 경로가 깨어진 노드와의 경로만 복구하면 통신을 재개할 수 있게 된다. 싱크 노드의 이동 속도에 따라 인터 펄스 플러드 패킷의 플러딩 범위가 결정되고 MICA2[5]와 같이 250m의 통신 거리를 갖는 802.11 MAC[6]을 가정할 경우 시속 100km까지는 2홉으로 경로가 복구될 수 있다. 또한 홉수를 3홉으로 늘릴 경우 170km까지 경로가 복구가 가능하다.

일반적으로 센서 네트워크에서는 싱크 노드로 데이터가 집중되는 현상이 있다. 따라서 싱크 노드 주변의 센서 노드의 에너지가 빨리 소모된다. M-PULSE 프로토콜은 펄스 플러드 패킷 사이에 인터 펄스 플러드 패킷을 플러딩함으로써 싱크 노드 주변의 센서 노드에 대한 경로 오류를 빠르게 복구시킬 수 있다.

센서 네트워크에서는 데이터가 모이는 싱크 노드의 이동 패턴에 따라 센서 노드의 에너지 소모가 다른 양상을 보일 수 있다. 다양한 에너지 소모 양상에 따라 통신을 못하는 센서 노드가 생긴다. 센서 노드의 에너지 소모 양상에 따라 인터 펄스 플러딩의 범위를 다양하게 조절할 수 있다. 즉 2홉, 4홉 등의 범위를 갖는 인터 펄스 플러드 패킷을 정책에 따라 조절함으로써 네트워크의 라이프 타임을 늘릴 수 있다.

또한 M-PULSE 프로토콜은 인터 펄스 플러딩을 함으로 인해 펄스 플러딩 간격을 늘릴 수 있다. 이를 통해 전체적인 네트워크의 에너지 효율성을 함께 높일 수 있다.

PULSE 프로토콜은 펄스 플러딩 간격을 1초이상으로 다양하게 조절할 수 있다. M-PULSE 프로토콜은 펄스 플러딩 간격을 늘리고 경로 오류가 발생하기 쉬운 범위만큼 인터 펄스 플러딩을 함으로써 네트워크의 연결성은 보장하면서 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄일 수 있다.

4. M-PULSE 모델링

M-PULSE 프로토콜과 PULSE 프로토콜의 경로 복구 시간 및 에너지 소모를 모델링 하였다.

4.1 경로 복구 시간

싱크 노드의 이동으로 인해 경로가 깨어졌을 경우 경로 복구 시간을 모델링하였다.

경로가 깨어졌을 때 경로가 복구되기 위한 시간은 다음과 같다.

$$m \times (T_e + T_r + T_s) + T_s + T_f + T_r \quad (1)$$

이때 사용된 파라미터는 다음과 같다.

m : 에러 이후 다음 펄스 플러딩까지 웨이크업 횟수

T_e : 싱크 에러 시간

T_r : 예약 시간

T_s : 슬립 시간

T_f : 플러드 시간

(1)의 식에서 $T_e + T_r + T_s$ 는 웨이크업 시간 및 그 간격이고 $T_s + T_f + T_r$ 는 펄스 플러드 시간이다.

M-PULSE 프로토콜의 경우 PULSE 프로토콜보다 평균적으로 m 이 작아진다. 이는 M-PULSE 프로토콜이 경로를 복구하기 위해 PULSE 프로토콜보다 인터 펄스 플러딩을 자주 수행하기 때문이다.

4.2 에너지 소모

PULSE 프로토콜과 M-PULSE 프로토콜의 에너지 소모를 모델링 하였다. 사용되는 파라미터는 다음과 같다.

E_f : 펄스 플러딩시에 소모되는 에너지

E_e : 싱크 에러시에 소모되는 에너지

E_r : 예약 시간에 소모되는 에너지

E_s : 슬립 시간에 소모되는 에너지

E_p : PULSE 프로토콜에서 펄스 플러딩 간격에서 소모하는 에너지

E_{mp} : M-PULSE 프로토콜에서 펄스 플러딩 간격에서 소모하는 에너지

n_t : 네트워크 전체 센서 노드 수

n_m : 인터 펄스 플러딩 범위 내의 센서 노드 수

n_c : 데이터 통신 또는 예약에 참가하는 센서 노드 수

T_{rc} : 예약 시간에 실제로 통신한 시간

e_t : 전송 전력

e_r : 수신 전력

e_i : 대기 전력

e_s : 슬립 전력

펄스 플러딩시에 소모되는 에너지는

$$E_f = n_t \times e_i \times T_f \quad (2)$$

로 표현될 수 있다. 마찬가지로 싱크 에러, 예약, 슬립시의 에너지 소모는 다음과 같다

$$E_e = n_t \times e_i \times T_e \quad (3)$$

$$E_r = n_c \times (e_t + e_r) \times T_{rc} + n_c \times e_i \times (T_r - T_{rc}) + (n_t - n_c) \times e_i \times T_r \quad (4)$$

$$E_s = n_c \times (e_t + e_r) \times T_c + n_c \times e_i \times (T_s - T_c) + (n_t - n_c) \times e_s \times T_s \quad (5)$$

PULSE 프로토콜은 펄스 플러딩 간격을 조절할 수 있다. 펄스 플러딩 주기마다 3번의 웨이크업 시간을 갖는다고 가정하면 PULSE 프로토콜에서 펄스 플러딩 주기에 소모되는 에너지의 총량은 (2), (3), (4), (5)에서 다음과

같이 나타낼 수 있다.

$$4E_s + 4E_r + 4E_e + E_f = E_p \quad (6)$$

M-PULSE 프로토콜에서는 인터 펄스 플러딩으로 인해 펄스 플러딩 주기를 PULSE 프로토콜보다 길게 할 수 있다. M-PULSE 프로토콜의 펄스 플러딩 주기를 PULSE 프로토콜의 펄스 플러딩 주기의 2배로 하고 인터 펄스 플러딩 주기를 PULSE 프로토콜 펄스 플러딩 주기의 1/2로 한다면 M-PULSE 프로토콜의 에너지 소모는 다음과 같다.

$$8E_s + 8E_r + 8E_e + E_f + \frac{3n_m}{n_t} E_f = E_{mp} \quad (7)$$

PULSE 프로토콜과 M-PULSE 프로토콜의 에너지 차이를 비교하기 위해 2 x (6)-(7)을 하면 다음과 같다.

$$E_p - E_{mp} = E_f \left(1 - \frac{3n_m}{n_t}\right) \quad (8)$$

E_f 는 양수이므로 $1 - \frac{3n_m}{n_t}$ 이 양수이면 (8)은 양수, 즉 PULSE 프로토콜보다 M-PULSE 프로토콜의 에너지 소모가 작아진다. 따라서 n_m 즉 인터 펄스 플러딩 범위의 노드 수가 n_t 즉 전체 노드수의 1/3이 넘지 않으면 M-PULSE 프로토콜이 PULSE 프로토콜보다 에너지 효율적이다. M-PULSE 프로토콜의 펄스 플러딩 간격을 더욱 늘린다면 에너지 소모는 더욱 줄어들게 된다.

5. 결론 및 향후 과제

센서 네트워크 기술이 발전하면서 새로운 요구들이 늘어나고 있다. 기존의 센서 네트워크 기술은 노드에 이동성을 고려하지 않았다. 따라서 센서 네트워크의 이용에 제약이 있었다.

본 논문에서는 기존의 에너지 효율적인 센서 네트워크 라우팅 프로토콜인 PULSE 프로토콜을 수정하여 M-PULSE 프로토콜을 제안함으로써 싱크 노드의 이동성을

보장하였다. 또한 펄스 플러딩 간격을 늘릴수 있게 되어 에너지 효율성도 증대되었다. 또한 M-PULSE 프로토콜과 PULSE 프로토콜을 모델링을 통해 비교하였다.

향후 실험을 통해 M-PULSE 프로토콜과 PULSE 프로토콜을 비교할 예정이다. 더 나아가 적절한 펄스 플러딩 간격 및 인터 펄스 플러딩 간격 제안이 필요하다.

6. 참고문헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, 40(8):102-116, August 2002.
- [2] Gang Zhou, Tian He, Sudha Krishnamurthy, and John A. Stankovic, "Models and Solutions for Radio Irregularity in Wireless Sensor Networks", ACM Transactions on Sensor Networks, 2006.
- [3] Huan Pham, and Sanjay Jha, "An Adaptive Mobility-Aware MAC protocol for Sensor Networks (MS-MAC)", Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, 2004 IEEE International Conference on 25-27 Oct. 2004 Page(s):558 - 560.
- [4] Baruch Awerbuch, David Holmer, Herbert Rubens, Kirk Chang, and I.-J. Weng, "The Pulse Protocol: Sensor Network Routing and Power Saving", Military Communications Conference (MILCOM 2004), Monterey, CA, November 2004.
- [5] "Mica2 mote data sheet", <http://www.xbow.com>
- [6] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications", IEEE Standard 802.11-1997, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, 1997.
- [7] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks", in 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. INFOCOM 2002, June 2002.