

서브 클러스터 기법을 이용한 효과적인 USN 라우팅 프로토콜

정수형^{1*}, 유해영²

Improvement of PEGASIS using Sub-cluster Chaining

Su-Hyung Jeoung^{1*} and Hae-Young Yoo²

요 약 USN 환경에서 제안된 라우팅 프로토콜 중에서 PEGASIS 프로토콜은 LEACH 프로토콜과 비교해 볼 때 노드의 에너지 소비량 감소에 효과적이다. 하지만, PEGASIS 프로토콜은 센서 네트워크의 특성인 BS 노드의 빈번한 변경으로 인한 센서 네트워크 망 구성의 변화에 취약성을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 이를 해결하기 위해서 작은 단위의 클러스터 헤드를 선출해 중간노드의 역할을 하게 하고자 한다. 이를 통해 PEGASIS 알고리즘이 가지고 있는 취약점을 보완할 수 있음을 보이고 이에 대한 시뮬레이션 결과를 보인다.

Abstract The PEGASIS protocol is more effective about energy consumption more than LEACH in USN environment. However, PEGASIS is weakness enemy in change of sensor network net composition because It changes BS node frequently. Therefore, we propose new routing protocol that use Sub-Cluster Chaining to solve this problem in this paper. It can reduce overhead that happen in election of middle node doing so and reduce energy consumption. Also, It can supplement limitation that PEGASIS has. This is treatise shows that new protocol that propose than existent PEGASIS through simulation is superior.

Key Words : USN Routing Protocol, Energy efficient routing, Sensor Network

1. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network) 환경에서 효과적인 라우팅을 수행하기 위해서 제안된 다양한 알고리즘들이 제안되었다. 이들을 분류해보면 수평적(Flat), 계층적(Hierarchical) 그리고 위치기반(Location-based) 라우팅 기법들로 구분할 수 있다[1,2,3,4,6].

기존에 제안되었던 라우팅 프로토콜 중에서 계층적인 성격을 지닌 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜이 많이 인용되고 있다. 또한 LEACH 프로토콜이 지닌 에너지 문제를 해결하고자 제안된 PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) 프로토콜이 위의 약점을 보완할 수 있는 프로토콜로 많은 관련 연구자들의 관심을 받고 있다.

하지만 PEGASIS 프로토콜은 BS(Base Station)의 빈번한 변경으로 인한 USN 망 구성의 변동으로 인한 문제를

해결하지 못한다는 단점이 있다[9].

이에 본 논문에서는 이를 해결하기 위하여 노드별 에너지 잔류량을 기준으로 서브 클러스터 별 BS를 선출한 후 PEGASIS 프로토콜의 체인 기법을 사용하여 정보를 전송할 수 있는 프로토콜을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지금까지 언급된 USN 라우팅 알고리즘 기법들에 대해서 정리하고, 본 논문에서 참고한 PEGASIS 라우팅 프로토콜의 취약점에 대한 분석을 기술하였다. 3장에서 본 논문이 제안하고자 하는 효과적인 USN 라우팅 프로토콜에 대하여 기술하였다. 4장에서는 제안한 프로토콜에 대한 시뮬레이션 성능평가를 위해 NS-2 시뮬레이션 결과를 기술하고 이에 대한 성능 평가를 기술하였다. 마지막으로 결론에서 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜에 대한 분석 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

¹단국대학교 컴퓨터정보학부 박사과정

²단국대학교 컴퓨터정보학부 교수

*교신저자: 정수형(21int@Sunmoon.ac.kr)

접수일 08년 10월 20일

수정일 08년 11월 13일

게재확정일 08년 12월 16일

2. 관련연구

2.1 기존의 USN 라우팅 기법

2.1.1 USN 라우팅 프로토콜의 분류

기존에 제안되었던 라우팅 기법은 다음과 같이 대표적인 세가지 프로토콜로 구분할 수 있다. 이를 [표 1]에 나타내고 있다.

[표 1] 기존의 USN 라우팅 프로토콜 분류

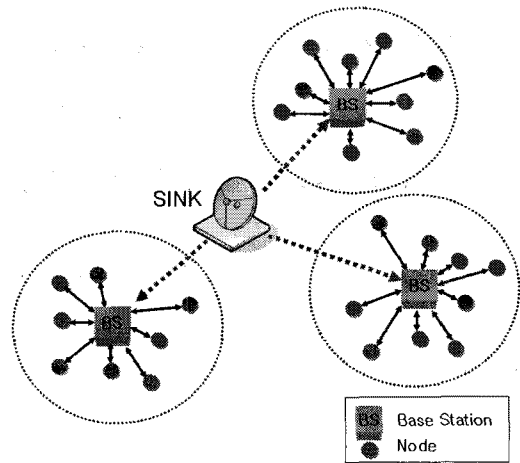
구분	설명
수평적 라우팅 프로토콜	평면적인 개념을 도입한 플러딩(Flooding)에 기반한 라우팅 기법 Ad-hoc과 달리 USN 환경에서 노드들은 자가망 구성 능력이 부족하기 때문에 도입에 현실적인 어려움 존재[4]
계층적 라우팅 프로토콜	근접 거리를 기준으로 소규모 네트워크 그룹(클러스터)를 구성한 후 데이터를 수집하여 BS(Base Station) 노드에게 자료를 전송하여 SINK 노드로 중계하는 라우팅 기법[3] BS 단위로 데이터를 중계함으로써 SINK 노드에 중복 전송되는 자료가 감소
위치기반 라우팅 프로토콜	노드들의 위치(Location) 정보를 기반으로 망을 구성하는 기법[6] 노드들의 위치 정보를 저장하기 위한 노드들의 메모리 공간이 부족하다는 단점

이 외에도 현재까지 제안된 USN 라우팅 프로토콜들은 약 20여 가지가 존재한다. 이는 각각 에너지 효율성 측면을 고려한 연구와 데이터 수집 및 전달 측면을 고려한 연구 등으로 구분할 수 있다. 기존에 제안되었던 USN 라우팅 프로토콜 중에서 본 논문에서 참고하고자 하는 계층적 라우팅 기법의 대표적인 예제인 LEACH와 LEACH-C, PEAGASIS에 대해 살펴본다.

2.2 LEACH

센서 네트워크의 구조적 특성상 다수의 노드에서 SINK 노드로 데이터를 전송하면 SINK 노드에 인접해 있는 노드들은 전송량이 많아져 다른 지역의 노드보다 먼저 에너지 소모가 발생하게 된다. 따라서 USN 환경에서 노드간 에너지 소모를 균등하게 함으로써 네트워크 생존 시간을 최대화하기 위해 제안된 부분적인 네트워크 클러스터링 구성방법을 이용한 것이 LEACH 프로토콜이다[1].

[그림 1]과 같이 LEACH 프로토콜은 부분적인 네트워크 그룹(클러스터)이 생성되면 클러스터 내의 모든 노드들은 클러스터를 대표하는 노드(BS:Base Station)에게 데이터를 전송하고 BS는 이를 SINK 노드에게 전송한다.[8]

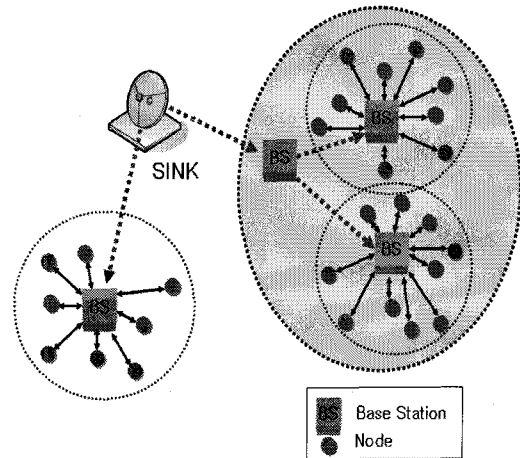


[그림 1] LEACH 프로토콜

2.3 LEACH-C

LEACH 프로토콜은 BS에서 SINK로 직접 데이터를 전송하는데 많은 에너지 소모가 예상되고, 네트워크 규모가 확장되는 경우 적응 능력이 부족하여 이에 대한 해결책이 필요하다. 이를 위해 클러스터를 좀 더 작게 나누어서 데이터를 수집하도록 제안된 것이 LEACH-C 프로토콜이다[5].

이를 위해서는 각각의 클러스터 헤드를 관리하기 위한 중간 계층을 클러스터 헤드 역할을 하는 BS 노드가 추가로 필요하다. 이를 [그림 2]에 나타내고 있다.

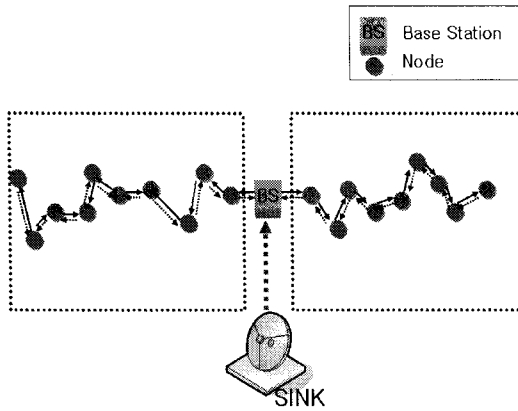


[그림 2] LEACH-C 프로토콜

2.4 PEGASIS

LEACH 나 LEACH-C 프로토콜은 네트워크 구성을

위해서 초기 클러스터 구성에 시간과 노력이 필요하다. 또한 특정 노드의 과도한 전력 소모가 발생하지 않게 하는 것이 중요하다. 이에 클러스터 내의 특정 노드의 집중적인 전력 소모 현상을 줄이고자 하는 것이 PEGASIS 프로토콜이다.[10] PEGASIS 프로토콜은 각각의 노드들이 근접한 노드와 체인 형성 과정을 거친 후 2단계로 데이터 전송을 수행한다. PEGASIS 프로토콜의 동작 과정은 [그림 3]과 같다.



[그림 3] PEGASIS 프로토콜

3. 제안 시스템

다양한 USN 라우팅 프로토콜 중에서 계층적 라우팅 알고리즘이 논리적인 타당성이 높다고 판단하고 있다. 이에 PEGASIS 프로토콜의 취약성을 분석한 후 이에 대한 해결책을 제시하고자 한다.

3.1 PEGASIS 취약점 분석

PEGASIS 프로토콜은 일부 노드의 급격한 에너지 소모 현상을 현저히 감소시킬 수 있다는 장점을 가지고 있음에도 불구하고 망 구성 과정에서 발생할 수 있는 대표적인 3가지 취약점을 내포하고 있다.[9]

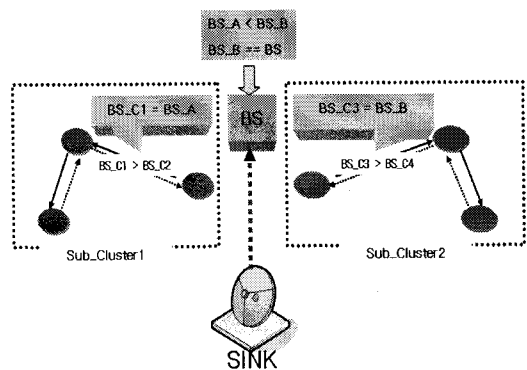
[표 2] PEGASIS의 취약점

취약점	설명
에너지 정보	망을 구성할 때 각 노드의 남은 에너지량을 알 수 없어 체인을 재 생성해야 하는 문제점 발생 가능
지연현상	노드들의 라우팅 가중치를 결정하기 위해서 사용하는 Greedy 알고리즘이 지연현상을 발생 가능
병목현상	BS 노드를 중심으로 양쪽 방향의 클러스터에서 동시에 데이터 전송요청 발생 가능

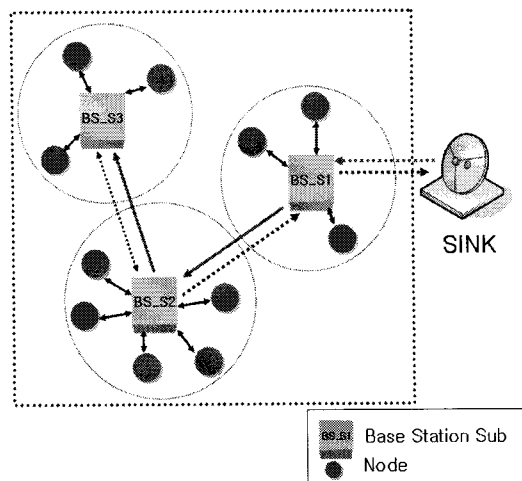
3.2 제안 시스템

본 논문에서 제안하고자 하는 효과적인 USN 라우팅 프로토콜은 PEGASIS 프로토콜의 망 구성 방법을 채택하면서 클러스터링 기법을 적용하여 에너지 소비량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 망 구성의 어려움을 해소할 수 있는 라우팅 프로토콜이다.

이를 위해서 앞서 검토한 PEGASIS 프로토콜의 취약점에 대한 해결책을 순차적으로 제시한다. 첫 번째로 제시된 에너지 정보 수집 부재로 인한 취약점을 해결하기 위해서 헤드 노드들에 대한 에너지 고려가 있는 부분적인 클러스터링 기법을 제시한다.



[그림 4] 제안시스템 - 에너지정보 기반 부분 클러스터 선출



[그림 5] 제안시스템 - Sub_Cluster 단위 BS-Chain 생성

두 번째로 Greedy 알고리즘을 이용함으로써 각각의 노드들이 데이터를 전송할 때 가중치를 연산한 후 데이터를 전송하는 노드를 결정하는 방법으로 인한 문제점이

다. 이를 해결하기 위해서 노드들에 대한 클러스터 단위로 헤드 노드를 선출할 때 해당 라운드마다 다음의 수식을 사용하여 BS 역할을 수행할 노드를 결정한다.

$$BS = i \bmod N(N: \text{전체노드의수})$$

i : 라운드수

하지만 제안하는 기법도 BS 노드의 선택 과정에서 네트워크 규모가 커지거나 변동이 잦은 경우 오버헤드가 발생할 소지를 가지게 된다. 그리고 PEGASIS 프로토콜이 갖는 병목현상은 부분적인 클러스터링 기법을 적용함으로써 자연스럽게 해결되었다. 이에 관한 구체적인 내용은 다음 절에서 기술한다.

3.3 제안시스템 동작절차

본 논문의 제안 시스템에 대한 전체 동작절차는 다음의 목록과 같다.

- 1) SINK의 Broadcast를 통한 노드 정보 수집요청
- 2) SINK와 노드 간 거리를 기준으로 한 최단거리 노드를 설정하여 초기 BS 선출
- 3) 에너지 잔류량 기준 Sub-Cluster 단위 BS 선출
- 4) Sub-Cluster 생성
- 5) Sub-Cluster Header를 통한 BS-Chain 생성
- 6) 노드 별 데이터 수집 및 BS-Chain을 통한 데이터 전송

위의 목록에서 나타낸 것과 같이 제안하고자 하는 시스템에서 네트워크 체인을 생성할 때 BS 노드로 사용한 노드들을 선출한다.

다음으로 선출된 클러스터 단위의 BS들은 최대 3~5개 이내의 자식 노드를 가질 수 있다고 가정하고, Greedy 알고리즘을 사용하여 클러스터 단위로 체인을 형성한다. Greedy 알고리즘에 대해서는 [그림 6]에서 의사코드로 나타내고 있다.

```

//중간 노드를 찾기를 수행
if node == total/2 then
    node = middle
else
    middle = total / 2
end
//찾은 중간노드를 기준으로 좌우 branch를 생성
while(left >= leaf)
{
    left = left + (middle -1)
    right = right + (middle + 1)
}
    
```

[그림 6] Greedy 알고리즘

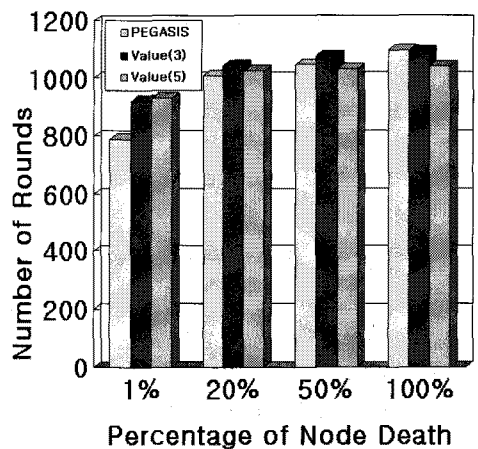
마지막으로 형성된 클러스터 단위로 체인을 확장하여 BS에 대한 자식노드들을 클러스터로 체인을 생성하도록 한다.

제안된 라우팅 프로토콜은 기존의 PEGASIS 라우팅 프로토콜과 비교할 때 체인 생성시 발생하던 지연시간을 감소할 뿐만 아니라, BS를 선출할 때 남은 에너지양을 고려함으로써 잦은 BS 교체로 인해 발생할 있었던 문제점들을 개선할 수 있다.

4. 성능 분석 및 평가

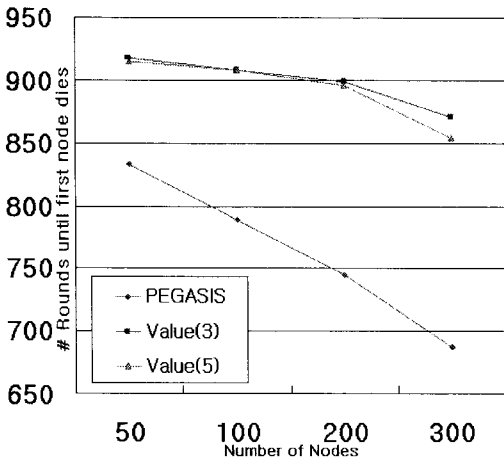
본 논문에서는 제안하는 USN 라우팅 프로토콜에 대한 실험을 위해서 NS-2 시뮬레이션 환경을 사용하여 50m*50m 의 공간에 노드 100개가 분포한다고 가정하여 서브 클러스터를 생성하였다. 본 논문의 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다.

첫 번째로 서브 클러스터 내에 포함할 수 있는 노드의 개수를 3 혹은, 5개로 자유롭게 가정하여 클러스터링 하였다. 그리고 각각의 서브 클러스터별로 라운드 단위 노드 사망률을 측정하였다. 이에 대한 결과를 [그림 7]에 그래프로 나타내고 있다.



[그림 7] 라운드 별 노드 사망률

다음으로 클러스터 내에 1개의 노드라도 살아남아 있는 시간을 측정함으로써 망 구성 능력 정도를 알아볼 수 있는 최종 노드 생존시간을 측정하는 시뮬레이션을 수행하였다. 이에 대하여 [그림 8]에 차트로 나타내었다.



[그림 8] 네트워크 생존시간(첫 번째 노드 사망 기준)

5. 결론

본 논문에서는 기존의 PEGASIS 라우팅 프로토콜의 단점을 보완하기 위하여 서브 클러스터링 기법을 제안하였다. 그리고 이에 대하여 NS-2 시뮬레이터를 사용하여 실험하였다.

제안한 시스템은 기존의 PEGASIS 프로토콜과 비교해 볼 때 첫 번째 노드가 죽는 시점을 기준으로 조사해 본 결과 라운드 수가 평균 12% 정도 연장되었다.

이는 기존의 PEGASIS 프로토콜이 잔류 에너지를 고려하지 않고 선택된 노드들과 클러스터링 하였을 때와 비교해 볼 때 확연한 차이이다. 또한 제안시스템이 Greedy 알고리즘을 사용함으로써 발생하던 지연 시간을 줄일 수 있었다. 그러므로 각 노드들에서 발생하던 오버헤드를 사전에 방지할 수 있을 것으로 생각된다.

향후 서브 클러스터 구성할 때 가장 효과적인 개체 수를 시뮬레이션을 통해서 밝히는 실험과 최근에 제안된 라우팅 알고리즘들과의 성능 분석이 향후 연구로 필요하다.

참고문헌

[1] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2002.

[2] S. Lindsey, C. S. Raghavendra, PEGASIS: Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems, IEEE Aerospace Conference, 2002.

[3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks. In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences, Jan. 2000

[4] Q. Jiang, D. Manivannan, Routing Protocols for Sensor Networks, IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC'04), 2004.

[5] R. Jurdak, C. V. Lopes, P. Baldiy, A Framework for Modeling Sensor Networks, 19th Annual ACM Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA'04), 2004.

[6] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. S. Heidemann, and F. Silva, Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, 2003.

[7] F. Ye, A. Chen, S. Lu, L. Zhang, A Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Sensor Networks, Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN'01), 2001.

[8] 손병락, 김중규, 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜, 한국산업정보학회논문지 제 9권 제2호, 2004.6.

[9] 조무호, 문준호, 무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반 라우팅 프로토콜 연구, 한국조명.전기설비학회 학술대회논문집, 2005.11.

[10] 손병락, 김중규, 무선 센서 네트워크에서 전력과 위 정보기반 라우팅 프로토콜 디자인, 한국산업정보학회 논문지, 제11권 제2호, 2006.6.

정수형(Su-Hyung Jeoung)

[정회원]



- 1993년 2월 목포대학교 전산통계학과 졸업(이학사)
- 1997년 2월 광운대학교 전산대학원 정보통신학과 졸업(이학석사)
- 2004년 단국대학교 컴퓨터학부 박사수료
- 2008년 선문대학교 IT교육원 강의전담교수

<관심분야>

USN, BPM, 워크플로우

유 해 영(Hae-Young Yoo)

[정회원]



- 1979. 단국대학교 수학과 졸업 (이학사)
- 1982. 단국대학교 대학원 수학과 수료(이학석사)
- 1994. 아주대학교 대학원 컴퓨터 공학과 수료(공학박사)
- 단국대학교 컴퓨터학부 교수
- 단국대학교 멀티미디어대학원장

<관심분야>

소프트웨어공학, BPM, 역공학