

추가 노드 배포에 의한 무선 센서네트워크의 수명 연장¹

김윤중, 김태형

한양대학교 컴퓨터공학과

{y.joong.kim, thkimth}@gmail.com

Lifetime Extension of Wireless Sensor Network through Additional Deployment

Kim Yun-Joong, Kim Tae-Hyung

Department Computer Science & Engineering, Hanyang University.

요 약

대부분의 센서 네트워크는 주어진 제한된 용량의 배터리만으로 임무를 수행해야 하므로 무선 센서 네트워크 분야에서 에너지 사용을 줄이기 위한 연구는 가장 중요한 문제중의 하나이다. 즉, 제한적인 에너지를 보유하고 있는 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 극대화함으로써 네트워크 이용 가능 수명을 최대화할 수 있기 때문이다. 기존의 연구에서 이와 같은 네트워크 수명의 최대화를 추구해 왔다면, 본 논문에서는 네트워크가 형성된 후, 임무완료 전 수명이 종료되는 것을 막기 위해 추가적 노드 배포가 전체 네트워크 수명 연장에 미치는 효과를 연구하였다. 이를 위해 클러스터링 방식 에너지 효율적 라우팅 방법을 기본으로 하여 네트워크 수명 모델을 정의하였고, 이때 추가적으로 배포되는 노드의 분포에 따른 수명연장 효과를 조사하였다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크 연구는 MEMS 기반의 센서 기술들의 발전과 함께 무선 센서 노드들은 상대적으로 값싸고 전력 소모를 최소화하는 방향으로 지속적으로 발전하고 있다. 이러한 센서 노드들은 아날로그와 디지털 방식에서의 저전력을 지향하고 또한 RF에서도 전력을 적게 사용하는 방식으로 설계되고 있다 [1, 2, 3]. 무선 센서를 값싸고 에너지 효율적으로 만들기 위한 노력은 무선 센서 네트워크의 환경을 생각 하면 지극히 당연한 것이다. 첫째로 무선 센서 네트워크를 사용할 때 실제로 수백에서 수천 개의 많은 센서 노드가 배포되므로 이에 대한 비용을 줄이기 위한 노력이 필요하다. 둘째로 대부분의 경우 노드가 일단 뿌려지고 나면 수거 후 재투입이 어려운 환경에서 사용되기 때문에 효율적인 전력 소모와 네트워크의 수명이 중요시 된다 [4].

지속적 에너지 공급이 가능한 가로수 관리나 가정용 또는 사무용 건물 관리등의 특별한 경우를 제외한다면, 센서 네트워크의 각 노드들의 에너지 효율뿐만 아니라 전체 네트워크의 효율적 운용은 더욱 중요한 의미를 갖는다. 추가적인 네트워크 유지 보수가 어려운 적대적이면서 mission-critical 환경에서 [5] 임무가 완수되지 않은 채 센서네트워크의 수명이 중단된다는 것은, 무선 센서 네트워크를 설치의 목적이 된 임무의

실패를 의미하기 때문이다.

저전력 요구사항을 갖는 센서 노드를 사용하여 에너지 효율성을 극대화시킴으로서 무선 센서 네트워크의 수명을 향상시키려는 기존의 연구는 크게 효율적 라우팅 프로토콜의 설계 또는 효율적 데이터합산 (data aggregation) 방법을 제시하는 형태로 연구되어오고 있다. 이것은 수명 극대화 (lifetime maximization) 방법이라고 요약할 수 있다. 그러나 동작 가능한 노드와 불가능한 노드가 혼재되어 있는 상황에서 네트워크의 수명은 간단히 정의할 수 있는 성질의 것이 아니다. 설혹 이벤트가 발생한 곳에서 센서노드가 올바르게 작동하여 이벤트의 양을 측정하는데 성공하더라도 그 결과가 base station까지 도달하기 위해 거쳐야 하는 중간노드가 사멸되어 있다면 이러한 네트워크는 건강한 상태로 평가할 수 없다. 무엇보다도 네트워크가 수행하고 있는 임무가 아직 완수되지 않은 상황에서 에너지의 과도한 소비로 인한 네트워크의 상태가 불량해졌을 경우, 임무 수행 자체가 불가능해 질 위험성이 존재한다. Mission-critical한 환경에서 이러한 사태 발생은 재난적 상황에 해당하며, 이를 회피하기 위해서는 네트워크 수명 예측에 대한 정교한 모델을 필요로 하지만 이것은 현실적으로 많은 어려움이 있다.

Lifetime maximization 방법으로 원하는 목적을 달성할 수 없을 경우에는 수명연장의 방법을 생각해 볼 수 있다. 네트워크의 수명이 줄어들고 있다는 것은 연결 가능한 노드의 수가 줄어들고 있다는 것을 의미하며,

¹ 본 연구는 경기도지역협력센터(GRRC) 사업의 일환으로서 유비쿼터스 센서 네트워크 연구지원사업의 지원으로 이루어졌습니다.

필요한 곳의 노드 밀도를 채워주는 것으로 수명 연장이 가능하기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 기본적인 네트워크 수명 모델을 제시하고, 노드 추가 투입으로 부족한 지역의 노드 밀도를 증가시키는 방식으로 네트워크 수명을 늘리는 방법을 제시하여 그에 따른 영향을 시뮬레이션 한 결과를 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 무선 센서 네트워크 에너지 소비 모델

무선 센서 네트워크의 기본 작동 모델은 각 노드들이 센싱하여 수집한 데이터를 Base Station까지 보내는 것이다. 어떠한 경로를 통하여 보내느냐에 따라서 다양한 라우팅 방식이 존재하며, 또한 수집한 데이터를 Base Station에 도달하기 전에 적절히 계산하여 데이터 양을 줄이는 데이터 합산 방식도 존재한다. 본 논문에서는 에너지 효율적 라우팅 방법의 기본이 되는 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[6] 방식에서 비교하고 있는 세가지 기본적인 라우팅 모델인 Direct(communication), MTE(Minimum Transmission Energy) 및 LEACH를 고려하였으며, 효율적 데이터 합산 방법으로 TinyDB[7], Teen[8] 및 확률기반합산[9]을 기본적인 수명극대화를 위한 무선 센서 네트워크용 에너지 소비 모델로 인식하고 있다. 이러한 라우팅 방식은 네트워크의 수명을 늘리기 위한 목적과 함께 전체 노드들이 고루 에너지 소비를 할 수 있도록 하는데 중점을 두고 있다. Direct 방식은 Base Station과 모든 노드들이 직접 통신 하기 때문에 각 노드들의 에너지 소비량이 각각 다르다. 센서 노드의 에너지 소비에서 가장 많은 부분을 차지 하고 있는 전송 비용은 거리의 제곱에 비례 하기 때문에 Base Station 에서 멀리 있는 노드 일수록 짧은 수명을 가지게 된다. MTE 방식은 Base Station까지 직접 통신하는 것이 아니라 중간 중간의 노드 들을 거쳐서 전송하는 멀티 홉(Multi hop)방식이다. 하지만 MTE 방식은 Base Station에 가까운 노드들이 다른 노드들에 비해 더 많은 하중을 받기 때문에 더 짧은 수명을 갖는다.

LEACH는 클러스터링 방식으로 클러스터 헤더를 확률적으로 선출하여, 정해진 클러스터 헤더에 맞게 클러스터를 그때마다 구성하는 라우팅 기법이다. 이는 클러스터 헤더가 가장 많은 에너지를 소모하는 클러스터링 방식의 단점을 보완한 것으로 각 노드들의 에너지 효율이 높고 또한 네트워크 전체에 보다 균등한 에너지 소모를 한다.

TinyDB는 원하는 aggregation 값을 결정하기 위해 가장 효율적인 라우팅 트리를 구성하며, 이러한 트리에는 모든 노드가 참여하지만 베이스 노드까지의

데이터전송은 중간합산을 통합으로써 최적의 에너지를 소모하도록 설계되었다. 확률기반방법[9]은 data aggregation을 위해 모든 노드의 센싱 데이터가 전달될 필요는 없으며, 30%~60% 정도의 참여노드 만으로도 통계적으로 유의미한 합산 값을 얻을 수 있음을 보임으로서 소모 에너지량을 더욱 최적화하고 그들 통해 네트워크 수명을 극대화하려는 방법이다.

3. 실제적인 네트워크 수명의 정의

3.1 일반적인 네트워크 수명

무선 센서 네트워크에서 필드에 처음 노드들이 뿌려진 상태로부터 모든 노드가 에너지가 0이 되는 순간까지의 시간을 네트워크의 수명으로 보는 것은 가장 기본적인 정의이기는 하지만 유용하지 않다. 특정 개체의 이동경로 파악이나 침입 감지 등의 환경에서는 예상 되는 경로 주변에 센서 노드들이 설치되었다면 이렇게 단순한 네트워크 수명에 관한 정의는 아무런 의미가 없기 때문이다. 네트워크의 수명은 센서 필드를 구성하고 있는 노드들간의 연결성을 기준으로 정의되어야 하며, 이에 대해서는 M. Bhardwaj & A. Chandrakasan이 보고한바 있다[5]. 연결성을 기준으로 정의된 네트워크 수명은 일반적인 네트워크 수명과는 대조적이다. 극단적으로 누적되는 시간을 네트워크 수명으로 정의 하되 첫 번째 “loss of coverage” 또는 “quality failure”가 발생 하기 전까지 만의 시간을 수명으로 정의 하고 있다. 일반적으로는 센서필드의 중심 지점을 기준으로 그 주변에 응용에 적합한 노드 밀도에 따라 센서 노드를 배포하게 된다. 즉, 무선 센서 네트워크 환경에서는 네트워크 필드의 중심 부분이 지역적으로 더욱 중요하다.

3.2 네트워크 수명 정의

새로운 네트워크 수명의 목표는 일반적인 네트워크 수명과 연결성을 기준으로 정의된 네트워크 수명의 양 극단에서 좀더 실제적이고 유연한 수명을 정의하는 것이다.

실제적인 네트워크 수명에는 다음 두 가지 기준을 적용한다. 즉, 특정지역에 네트워크가 편중되지 않아야 하며, 또한 해당 지역의 살아 있는 노드 수가 일정 개수 이상 되어서 기본적인 연결성을 유지해야 한다. 이러한 기준은 아래와 같은 간단한 관계식으로 정리된다.

$$f(x) = \frac{n_{sr} \times k}{n_r}, \quad \begin{matrix} n_r : \text{현재 라운드의 총 노드 수} \\ n_{sr} : \text{지역의 현재 라운드 노드 수} \\ k : \text{지역의 개수} \end{matrix} \quad (1)$$

한 지역에 노드 분포가 치우치지 않은 상태를

판단하기 위하여 네트워크 필드를 중심으로 지역을 4등분한다. 네 개의 지역 모두 식(1)의 값이 1이면 노드가 고르게 분포 하는 것으로 본다. 어느 한 지역의 값이 1에서 허용범위를 0.3으로 하여 그 이상 벗어나게 되면 전체 네트워크의 노드 분포가 상하좌우 대칭을 벗어난 것으로 본다. (여기서, 0.3에 특별한 의미가 있는 것은 아니며, 단지 본 실험에서는 30% 이상의 살아있는 노드를 가진 지역을 ‘건강한’ 지역으로 판단하기 위해 작위적인 수치를 실험적으로 사용하였다)

100개의 노드를 100 X 100의 크기를 가지는 필드에 무작위로 노드를 100회 배치해 본 결과 네 개의 지역으로 나누어진 어느 한 지역에 대하여 가장 적은 수의 노드가 뿌려지는 경우의 평균은 19.82개라는 결과가 나왔다. 한 지역에 예상되는 최소 노드 수의 50%가 되는 노드 10개 이하로 떨어 지는 경우 제대로 된 임무를 수행 하기 어려운 것으로 판단 한다.

다음 절에서 설명한 실험에서는 모든 지역이 위 식의 허용범위 내에 있어야 한다는 것과 모든 지역의 최소 노드수가 10개 이상 존재하는 경우에 살아있는 것으로 정의하였다.

4. 노드 추가 실험

4.1 실험 환경

무선 센서 네트워크 라우팅 방식 중 비교적 고른 에너지 소모를 하는 LEACH 알고리즘을 사용하였다. 100 x 100 네트워크 필드에서 100개의 노드만으로 임무를 수행 할 수 있는 환경이라고 가정한다. 최초 각각의 노드는 모두 $2J$ 의 에너지를 가지고 있으며, 전송 비용은 $50 nJ$ 증폭 비용은 $100 pJ/bit/m^2$ 으로

하였다. 클러스터 헤더 선택 확률은 0.05%로 하였다.

동일 조건에서 노드의 추가 투입이 에너지 균등 소비와 위에서 정의한 실제적인 네트워크 수명에 어떠한 영향을 미치는지 테스트 한다. 100개의 노드를 가지는 기본 환경에서 10%단위로 총 10가지 노드 추가 경우를 만들고, 기본 100개의 노드 시뮬레이션 한 것과 비교 하여 네트워크 수명을 알아 본다. 최초 100개의 노드는 모두 동일 하며 추가 되는 노드 또한 모두 동일한 곳에 위치한다.

4.1 실험 결과

주어진 환경에서 추가된 노드가 없는 상태에 네트워크 환경에서는 94 라운드에 side2의 최소 필요 노드 수 미달로 네트워크의 수명이 끝났다. (그림1) 또한 91 라운드에 생존 노드의 균등 분포가 무너진다. (그림2)

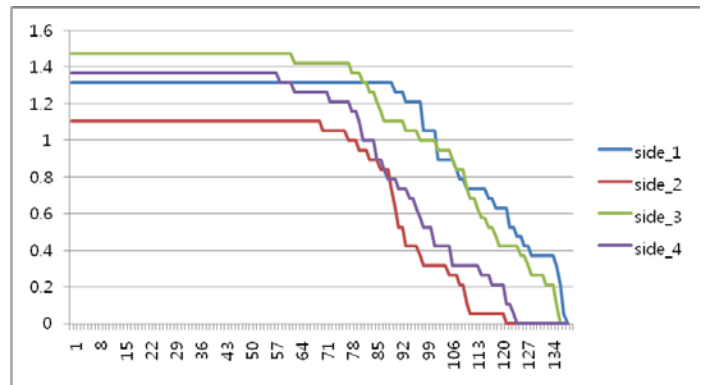


그림 1. (노드 100개) 라운드 별 지역노드 수/지역 최소 필요 노드 수

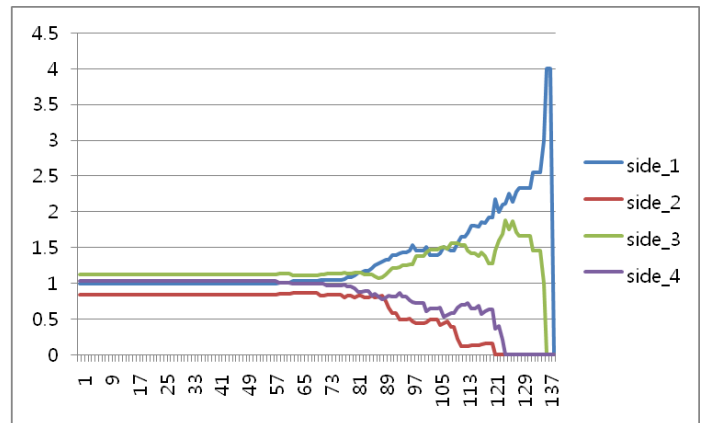


그림 2. (노드 100개) 라운드 별 노드 균등 분포 f(x)

실험 결과 노드를 40% 추가 투입 하였을 경우에 실제적인 네트워크 수명을 효과적으로 높일 수 있었다. 40% 추가 노드 투입 한 결과는 112 라운드에 노드 수 부족으로 네트워크 수명이 끝났지만 (그림3), 126 라운드까지 에너지 균등 소비를 유지하는 것으로 나타났다 (그림 4).

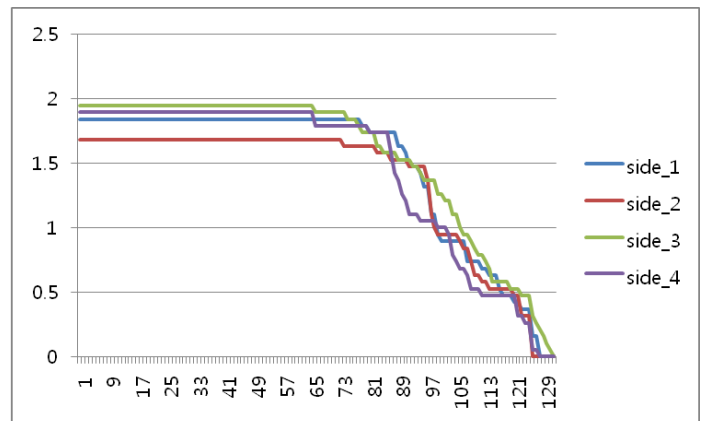


그림 3. (40% 추가) 라운드 별 지역노드 수/지역 최소 필요 노드 수

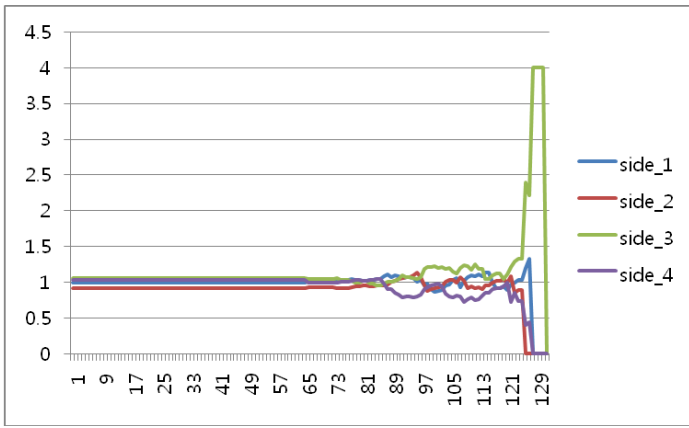


그림 4. (40% 추가) 라운드 별 노드 균등 분포 $f(x)$

다른 수의 추가 노드 투입은 최초 주어진 환경인 100의 노드 수에서 실험한 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 본 실험을 통해 볼 때 노드의 추가적인 투입이 노드 수에 비례하는 효과를 기대하기 어렵다는 사실을 알 수 있다. 심지어 100%의 노드를 추가 투입 하였을 경우에도 노드의 밀도가 높아져서 지역에 필요한 최소 노드 수가 네트워크 생성시 높은 수치를 보이지만(그림 5), 이러한 높은 밀도 유지나 균등 에너지 소비 등의 효과 적인 결과를 나타내지는 못한다(그림 6).

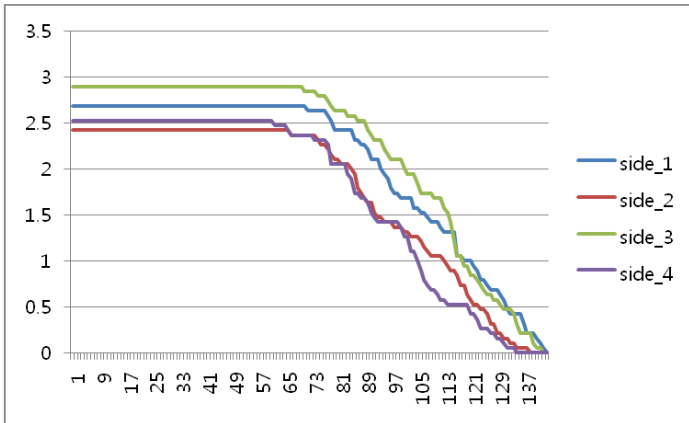


그림 5. (100% 추가) 라운드 별 지역노드 수/지역 최소 필요 노드 수

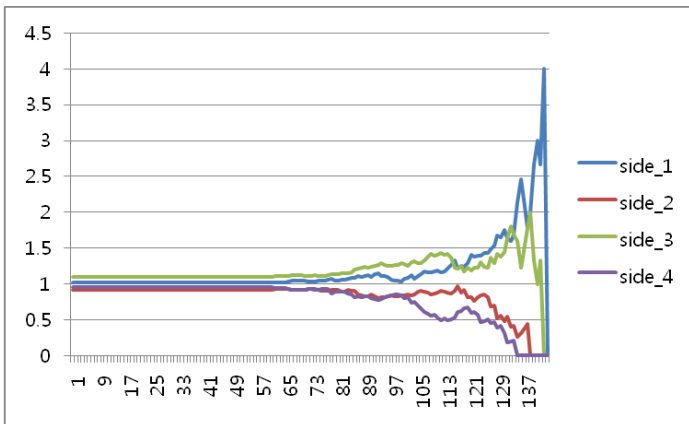


그림 6. (100% 추가) 라운드 별 노드 균등 분포 $f(x)$

노드 수 추가에 따른 일반적인 네트워크 수명을 비교해 보아도 많은 노드 수가 월등한 수명을 보여

주지는 못한다.

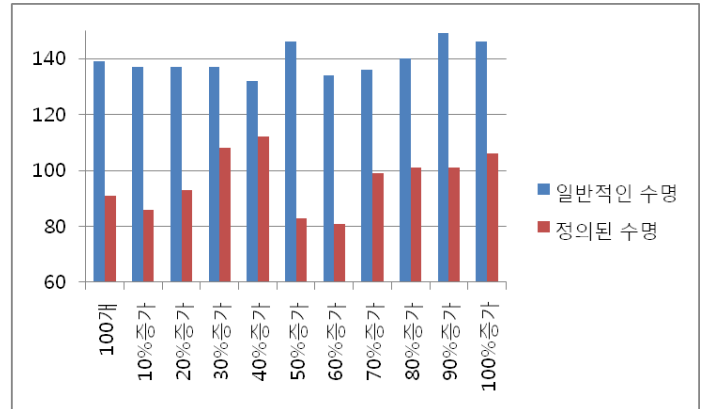


그림 7. 노드 수 추가에 따른 일반적인 네트워크 수명과 정의된 수명

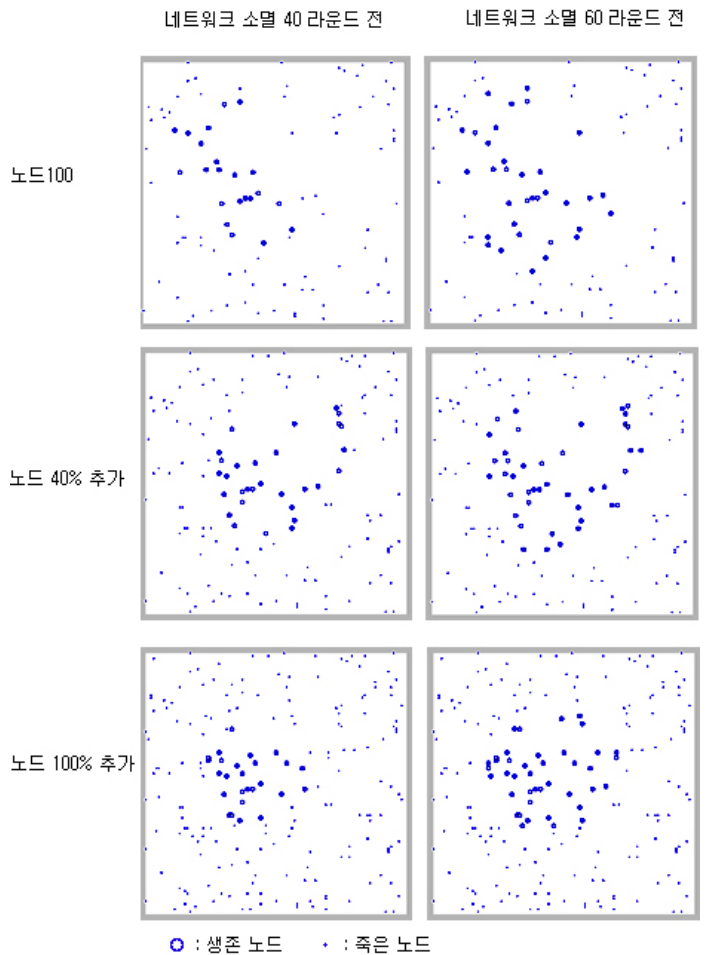


그림 8. 네트워크 소멸 전 생존 센서 노드의 분포

5. 결론

무선 센서 네트워크의 수명을 늘리려는 많은 노력들의 중요성이 높아지고 있는 가운데 정작 실제 상황에 적합한 네트워크 수명의 정의가 되어 있지 않아 모든 노드의 소멸시점을 기준으로 네트워크 수명을

늘리려는 노력을 하고 있다. 이러한 노력은 기본적인 무선 네트워크 수명연장 기법의 발전에 도움을 줄 수는 있겠으나, 좀 더 실제적인 네트워크의 구성과 운용에서의 올바른 수명 정의라고 할 수 없다. 하지만 무선 센서 네트워크는 여러 가지 운용 방식이나 사용자의 의도에 따라서 수명의 의미가 저마다 조금씩 달라질 수 있다는 어려움이 있다. 때문에 정해진 네트워크 공간 안에서 클러스터링 방식의 라우팅을 하는 특정 상황에서의 네트워크 수명에 대해서 새롭게 정의하였다. 또한 노드를 추가 함에 따라 정의된 수명에 어떠한 영향을 미치는지 알아 보았다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 지역적인 수명을 정의 하고 네트워크 전체의 균형 에너지 소비라는 관점에서 실제적인 네트워크 수명을 정의 하였다. 또한 새로운 라우팅 알고리즘이나, 데이터 합산 기법을 적용하지 않고 추가적인 노드의 투입으로 실제적인 네트워크 수명을 늘릴 수 있으나, 이렇게 증가된 수명이 추가되는 노드 수에 선형적으로 비례 하지는 않는다는 것을 실험을 통해 확인하였다. 이것은 추가적인 연구로 네트워크의 밀도가 수명에 어떠한 영향을 미치는가를 판단할 수 있는 밑거름이 되리라 생각한다. 또한 추가 연구로 일반적인 네트워크 수명뿐 아니라 연결성을 기준으로 정의된 네트워크 수명과도 비교 분석 하여 좀더 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대 한다.

참고 문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirei, Wireless Sensor Networks : A Survey. Computer Networks, 2002
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirei, A Surbey on Sensor Networks, IEEE Communication Magazine, 2002
- [3] Andrew Y.Wandg, SeongHwan Cho, Charles G. Sodini, Anantha P.Chandrakasan, Energy Efficient Modulation and MAC for Asymmeyric RF Microsensor Systems, ernational Symposium on Low Power Electronics and Design, 2001
- [4] W. Heinzelman, Application-Specific Protocol Architectures for Wireless networks, PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000
- [5] Manish Bhardwaj, Anantha P. Chandrakasan, Bounding the Lifetime of Sensor Networks Via Optimal Role Assignments, IEEE INFOCOM, 2002
- [6] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chadrakasan, and Hari Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, IEEE, 2000
- [7] S. R. Madden, M. J. Frankilin, J. M. Hellerstein, W.

Hong, TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks, ACM Transactions on Database Systems, pp112-173, 2005

[8] Arati Manjeshwqr, Dharma P. agrawal, TEEN: Arouting Protocol for Enhanced Efficiency in wireless Sensor Networks, 1st International Workshop on Parallel and Distributed computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001

[9] 이제현, 김태형 무선 센서네트워크 상에서의 확률 기반 데이터 합산, 정보통신학회, 2008