

An Energy-Efficient Clustering Protocol Based on The Cross-Layer Design in Wireless Sensor Networks

무선 센서 네트워크에서 크로스 레이어 기반의 에너지 효율적인 클러스터링 프로토콜

Taekon Kim **, Hyungkeun Lee**

김 태 곤 **, 이 형 근 **

ABSTRACT

The main goal of research concerning clustering protocols is to minimize the energy consumption of each node and maximize the network lifetime of wireless sensor networks. However, most existing clustering protocols mainly focused on the design and formation of clusters, leaving the consideration of communication between the cluster head and the sink behind. In this paper, we propose efficient multi path routing algorithm by using MAC-NET Cross-layering. multi path needed only one tiny packet from sink to setup. In addition proposed algorithm can be used for any cluster-based hierarchical inter-clustering routing algorithm. The simulation results demonstrate that proposed algorithm extended the overall survival time of the network by reducing the load of cluster heads. The performance of proposed algorithm is less affected by the extension of sensing field than other inter-clustering operation.

요 약

무선 센서 네트워크에서 클러스터링 프로토콜의 목적은 각 센서 노드의 에너지 소모를 최소화하여 네트워크의 생존 시간을 최대화 하는 것이다. 그러나 기존의 클러스터링 프로토콜은 센서 노드, 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 통신방법을 제외하고 주로 클러스터를 구성하는 것에만 초점을 맞추고 있다. 본 논문에서는 기존의 클러스터링 프로토콜에 다중경로 라우팅 알고리즘을 적용하고, MAC 계층과 네트워크 계층 간의 cross-layer 설계를 이용하여 에너지 효율적인 클러스터링 프로토콜을 제안한다. 여기에서 다중경로 정보는 싱크로부터의 경로 요구 패킷을 네트워크에 전파시킴으로서 설정되며 또한 다중경로에 대한 정보는 무선채널의 브로드캐스팅 특징과 결합하여 데이터의 전송 확률을 증가시킨다. 실험 결과에 의하면 제안한 프로토콜이 클러스터 헤드의 부하를 낮춤으로써 무선 센서 네트워크의 생존 시간을 늘려주고, 네트워크 크기의 증가에 따라 에너지 소비의 증가율이 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

Key words : Cross-layer, Wireless sensor networks, Clustering protocol

* 高麗大學校 電子및情報工學部 (Electronics and Information Engineering, KoreaUniversity),

** 光云大學校 컴퓨터工學科 (Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon University)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 본 논문은 "서울시 산학연 협력사업"의 "나노IP/SoC설계기술혁신사업단"의 지원으로 이루어졌습니다.

I. 서론

무선 센서 네트워크는 특정 지역이나 환경에 대하여 정보를 수집하여 최종 목적지인 싱크(sink) 노드까지 전송하는 것을 목적으로 한다. 이러한 네트워크에서 정보의 수집과 전송을 책임지고 있는 센서 노드들은 크게 센서부, 데이터 처리부, 무선 송수신부로 구성된다. [1] 센서 노드들이 정보 수집 지역에 한 번 배치되면 추가적인 에너지의 공급이 불가능하므로 이런 특성으로 인하여 무선 센서 네트워크는 센서 노드의 생존시간(lifetime)을 최대한 늘릴 수 있도록 관리 운영 되어야 한다.

센서 네트워크의 생존 시간을 늘리기 위한 제안된 많은 에너지 효율적인 프로토콜 중에서 데이터를 효율적으로 전달하기 위하여 클러스터링을 통한 계층적인 구성 및 라우팅 프로토콜이 제안되었다. [2][3][4][5][6][7] 이 프로토콜들은 센서 노드들로 이루어진 클러스터를 구성하여 센서 노드는 클러스터 헤드로 데이터를 보내고, 클러스터 헤드는 싱크 노드로 데이터를 전달함으로써 데이터의 전송거리를 줄여 주어 센서 네트워크의 생존시간을 늘린다.

기존의 연구는 주로 클러스터를 효율적으로 구성하는데 초점을 두고 있으며 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 전송 방법을 정의하지 않거나 단일 경로 기반의 멀티홉(multi-hop) 라우팅 알고리즘을 사용한다. 단일 경로로 데이터를 전송할 경우 센서 노드가 동작하지 않을 경우나 또는 전송경로 상의 센서 노드가 다른 센서 노드의 통신범위 내에 위치하는 경우에는 경로를 재설정 하거나 데이터 전송이 가능한 시간까지 대기해야 한다. 이는 불필요한 자원의 낭비로 센서 네트워크의 생존시간을 단축시키는 결과를 초래하게 된다. 따라서 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 다중 경로 기반의 클러스터링 구성 및 라우팅 프로토콜을 통하여 에너지 효율적인 데이터 전송이 가능하리라 판단된다. [8][9]

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 다중 경로를 기반으로 하는 클러스터링 구성 프로토콜과 이러한 다중 경로 정보를 이용하여 MAC계층과 네트워크계층 간의 cross-layer 기법을 적용한 에너지 효율적인 데이터 전송 프로토콜이다. 다중 경로를 얻기 위하여 싱크 노드가 처음 RREQ(Route Request) 패킷을 플러딩(flooding) 방식을 통하여 전송하고 이를 받게 되는 클러스터 헤드는 RREQ들이 지나온 경로를 판단하고 각 RREQ가 지나온 싱크 노드로부터의 홉 수에 따라 라우팅 테이블을 관리한다. 이 과정을 통해 모든 클러스터 헤드들은 RREQ에 대한 응답 없이 싱크 노드로의 다중 경로를 설정 할 수 있게 된다. 이렇게 설정된 다중 경로를 데이터 전송에 효율적으로 이용하기 위하여 MAC계층에서는 다중 경로의 우선순위에 따라 데이터를 싱크 노드로 전송하는 여러 개의 수신 노드에게 브로드캐스팅하고 이를 받은 수신 노드

는 우선순위에 따른 다른 대기 시간을 갖고 응답함으로써 효율적으로 다중경로를 활용하는 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 기존의 계층적인 클러스터링 프로토콜에 대하여 설명하고 3장에서는 제안하는 프로토콜에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안하는 프로토콜의 성능을 비교 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

II. 계층적 클러스터링 프로토콜

LEACH에서는 각 센서 노드가 매 라운드마다 클러스터 헤드가 되기 위한 확률 값을 가지고 모든 노드가 돌아가며 클러스터 헤드가 되며 클러스터 헤드는 데이터 전송 동작 시간에 수집된 정보를 싱크 노드로 전달한다. [2] LEACH는 클러스터 헤드에서 싱크 노드로 데이터를 직접 전송하는 방법에서 에너지 효율성 면에서 많은 문제점을 안고 있다. PEGASIS에서는 통신 체인을 형성하여 각각의 센서 노드는 오직 통신 체인상의 가까운 이웃한 두 노드와만 통신한다. 오직 하나의 지명된 노드만이 데이터를 수집하기 위하여 다른 노드로부터 데이터를 모은다. [3] PEDAP에서는 무선 라우팅 프로토콜기법에 기반한 최적에 가까운 미니멈 스페닝 트리를 제안 하였다. [4] PEDAP은 LEACH와 PEGASIS와 성능을 비교하였고, PEGASIS에 비하여 네트워크 수명이 어느 정도 좋아짐을 보여줬다. 또한 PEGASIS와 PEDAP-PA보다 높은 에너지 효율성, 네트워크 수명, 그리고 높은 처리량을 위하여 SHORT 이라고 불리는 새로운 라우팅 기법을 제안 하였다. [5] 이 기법은 중앙 관리 기법을 사용하며 고성능의 베이스스테이션을 필요로 한다. HEED는 무선 네트워크의 통신 거리 한계와 클러스터내부의 통신 값을 고려하여 LEACH를 확장 하였다. [6] 각각의 센서 노드에서 임시적인 클러스터 헤드가 되기 위한 확률 값을 각각의 노드의 에너지 잔량에 기반하고, 모든 임시적인 클러스터 헤드는 최종 클러스터 헤드가 되기 위하여 경쟁한다. 최종 클러스터 헤드는 클러스터내부의 헤드 통신 값에 따라 결정 된다. EEUC는 에너지 효율적인 불균등한 클러스터링 프로토콜이다. [7] 센서 노드를 동일하지 않은 크기의 클러스터에 넣고, 베이스스테이션에 가까운 클러스터는 베이스스테이션에서 멀리 떨어진 클러스터 보다 작은 사이즈를 갖는다. 또한 싱크로부터 임계치 이하의 거리에 있는 센서 노드는 직접 싱크 노드로 데이터를 전달한다. 그러므로 클러스터 헤드가 싱크 노드로 가까워질수록 클러스터간의 데이터 전송에 있어서 에너지를 보존 할 수 있기 때문에 기존의 싱크에 가까운 클러스터 헤드 일수록 에너지의 고갈이 빨라지는 문제를 보완하였고, 선출된 클러스터 헤드간의 데이터는 멀티 홉으로 전송된다.

III. 에너지 효율적인 클러스터링 프로토콜

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 클러스터 헤드와 싱크 노드 사이의 다중경로를 설정하고 각 클러스터 헤드가 데이터 전송을 위하여 다음 경로를 선택할 때 다중경로의 네트워크 계층의 정보를 MAC 계층으로 전달해서 여러 개의 다중 경로 중 통신 가능한 노드를 이용한다.

3.1 라우팅 경로 설정

제안하는 프로토콜의 라우팅 경로 설정 과정은 싱크 노드에서의 RREQ 패킷의 전송으로 시작된다. 클러스터 헤드 구성이 끝나면 싱크는 RREQ를 브로드캐스팅으로 전송한다. RREQ의 전송 과정은 기존의 라우팅 프로토콜의 RREQ 전송 과정과 유사하지만 다중 경로 선정을 위해 추가적으로 RREQ 패킷에 `addr_list` 필드를 정의 하고, 여기에는 RREQ 패킷이 지나온 경로를 기록하는 필드이다. `addr_list`의 정보를 이용하여 RREQ가 지나온 클러스터 헤드들의 경로를 알 수 있다. [8][9]

RREQ를 처음 받은 클러스터 헤드는 먼저 라우팅 테이블에 RREQ의 정보를 기록한다. 이후에 도착 하는 RREQ 패킷은 유효한 지를 검사 한다.

- RREQ의 `addr_list`에 자신의 아이디가 있으면 RREQ 버림
- 라우팅 테이블에 있는 경로가 RREQ의 `addr_list`의 경로의 일부분과 일치하면 RREQ 버림
- 유효한 패킷일 경우에 라우팅 테이블의 가장 높은 우선순위의 정보와 홉 수(hop count)를 비교하여 처리 한다.
- RREQ의 홉 수 < 라우팅 테이블내의 홉 수 : 라우팅 테이블에 가장 높은 우선순위를 부여하여 RREQ의 정보를 저장하고 RREQ 재전송
- RREQ의 홉 수 >= 라우팅 테이블내의 홉 수 : RREQ의 라우팅 경로에 자신의 식별자가 없을 경우 라우팅 테이블에서 홉 수가 일치하는 정보 중에 가장 낮은 우선순위를 부여하여 RREQ의 정보를 저장하고 RREQ 버림

그림 1은 라우팅 경로 탐색 동작 과정을 보여준다. 클러스터 헤드 C는 처음 싱크 노드인 S로부터 RREQ를 받고 라우팅 테이블에 정보를 기록하고 RREQ를 재전송한다. 이후에 E와 G로부터 RREQ를 받지만 홉 수가 라우팅 테이블의 홉 수보다 크기 때문에 라우팅 테이블에 정보를 저장만하고 RREQ를 버린다. F는 도착 순서에 따라서 C 또는 E로부터 받은 RREQ를 전송하게 된다. F가 C로부터 받은 RREQ를 전송 하는 경우는 RREQ내의 라우팅 경로가 S-C-F이므로 이 메시지를 받은 C는

RREQ의 경로에 자신의 식별자가 적힌 것을 보고 되돌아온 패킷임을 감지하게 되므로 바로 버린다. F가 E로부터 받은 RREQ를 전송하는 경우는 자신의 라우팅 테이블의 경로에 S-E의 경로가 있고 RREQ내의 경로가 S-E-F이므로 RREQ 유효성에 위배 되므로 바로 버린다.

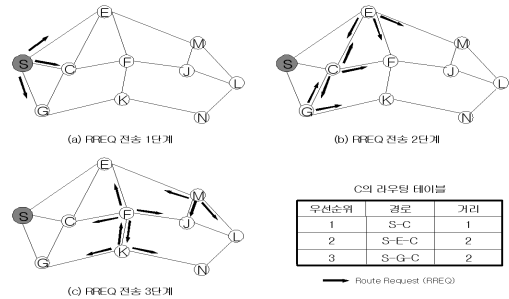


그림 1. 다중 경로 탐색 및 정보 관리

3.2 라우팅 경로 유지

싱크 노드로의 모든 경로가 단절된 것을 인지한 클러스터 헤드는 라우팅 경로를 재설정하고 이를 이웃에게 알리기 위하여 고장 난 상위 노드의 리스트를 이웃에게 브로드 캐스팅 한다. 이 메시지를 받은 이웃의 클러스터 헤드는 자신의 라우팅 테이블에서 고장 난 클러스터 헤드를 이용하는 라우팅 경로를 삭제하고 라우팅 테이블의 정보를 재전송 한다. 이를 받은 단절된 노드는 정보 갱신 동작을 수행한다.

- 받은 정보 중에 자신을 이용하는 경로는 버림
- 남은 경로를 가지고 홉 수에 기반을 둔 우선순위를 정하고 자신의 라우팅 테이블을 업데이트

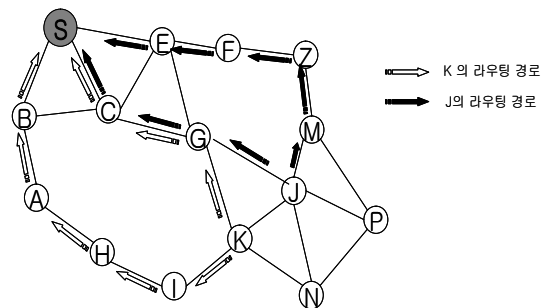


그림 2. 다중경로를 이용한 통신

그림 2에서 클러스터 헤드 K는 G와 I를 통해 데이터를 싱크로 전달한다. 이때 노드 G 통신이 불가능 하면 노드 K는 I로 통신을 시도 하게 된다. 연속적으로 3번 통신이 불가능한 상황이라면 노드K는 노드G가 더 이상 통

신이 불가능한 상태라고 생각하고 K로의 경로의 우선순위를 무한대로 설정하고 더 이상 이용하지 않는다. I로도 통신이 더 이상 불가능하면 K는 G와 I의 식별자를 기록한 RRRQ(Re-Route Request)패킷을 브로드캐스팅 한다. J와 N은 이 패킷을 받은 후 라우팅 테이블을 업데이트하고 K에게 RRRP(Re-Route Reply)를 보낸다. J는 G로의 경로를 삭제하고 M을 이용하는 경로를 전달하고 N은 K로의 경로를 삭제하고 J를 이용하는 경로를 전달한다. I는 이 두개의 RRRP를 받은 후 정보 갱신 동작을 수행한다. N의 J를 이용하는 경로와 J의 M을 이용하는 경로는 겹치는 경로이므로 홉 수가 작은 J로부터 받은 M을 이용하는 정보만 업데이트 하여 라우팅 경로를 재설정한다.

3.3 크로스 레이어 기법을 이용한 다음 홉 설정

데이터 전송 시에 다음 홉의 수신 노드를 정하기 위하여 네트워크 계층의 정보를 MAC 계층으로 전달하여 여러 개의 노드 중에 전송 가능한 노드를 효율적으로 선택할 수 있다. 이를 위해 MRTS(multicast RTS) 프레임에 우선순위에 따른 다음 홉의 수신 클러스터 헤드의 식별자들을 포함해야 하고 수신 노드로부터의 CTS는 각각의 우선순위에 따라 다른 딜레이를 갖는다. 그림 3과 4에서 소스 노드는 MRTS에 노드 1,2,3의 식별자를 우선순위에 따라 기록하여 보내면 이를 받은 노드 1,2,3은 각각 자신의 딜레이동안 기다렸다가 다른 노드의 반응에 따라 CTS를 전송한다.

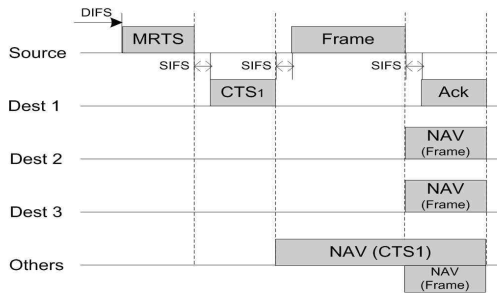


그림 3. MRTS-CTS 전송 방법 (1번이 전송 가능한 경우)

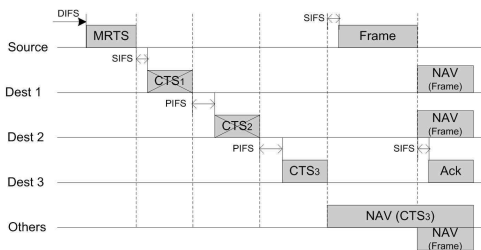


그림 4. MRTS-CTS 전송 방법 (1번과 2번이 전송 불가능한 경우)

노드 1에서 데이터의 수신이 가능한 상태라면 MRTS를 받은 후에 SIFS 동안 기다렸다가 바로 CTS를 보낸다. (그림 3) 만약 노드 1과 노드2가 다른 클러스터 헤드의 데이터 전송을 방해하지 않기 위해 블록된 상태이거나 노드의 고장으로 데이터 수신이 불가능한 상황이면 CTS를 전송하지 않게 되므로 노드3은 MRTS 수신 후에 SIFS + 2×CTS_transmission_time + 2×PIFS동안 기다렸다가 소스노드로부터의 데이터 전송을 감지하지 못하면 자신이 CTS응답을 하게 된다. (그림4) 만약 노드 1 또는 2가 페이딩이나 간섭으로 인하여 임시적으로 통신이 불가능한 상황이라면 추가적인 제어패킷과 시간의 낭비 없이 노드3으로의 경로 설정을 MAC계층에서 지원할 수 있다. 또한 노드 1이 고장이 난 상태라면 연속적인 경로 설정의 변경으로 인한 헛수를 기록해서 대체 경로를 이용한 전송을 지속 하면서 노드의 고장을 감지 할 수 있다.

IV. 성능 분석

이 섹션에서는 우리가 제안한 다중경로의 적용과 이러한 다중경로의 정보를 이용하는 cross-layer 설계를 LEACH와 EEUC에 적용하여 시뮬레이션을 통하여 평가한다. 본 실험에선 [2]의 일차 라디오 모델을 사용하였고 이 모델에선 라디오는 송신이나 수신기의 회로와 송신기의 증폭기에서 에너지를 사용한다. 라디오는 파워 컨트롤이 가능하며 예정된 수신기로의 통신을 위해 요구되는 최소에너지까지의 확장이 가능하다. 라디오는 원하지 않는 전송에 의한 수신을 피하기 위해 꺼질 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Item	Value
Network Size	(40~200, 40~200)m
node's initial energy	0.5J
E_{elec}	50nJ/bit
ϵ_{amp}	100pJ/bit/m ²
E_{Da}	5nJ/bit/signal
Data Packet Size	4000 bits
Packet Header Size	200 bits

표 1의 E_{elec} 은 송수신단에서 패킷을 처리하는데 필요한 비트 당 에너지 소모이고, ϵ_{amp} 는 데이터 증폭기를 통하여 1비트를 1m의 공간상에 전파 시키는데 필요한 에너지 이다. E_{Da} 는 수신한 데이터를 클러스터 헤드에서 수집하는데 필요한 에너지 소모량 이다. k bits의 데이터를 d 의 거리로 전달 할 때의 에너지 소모를 송, 수신별로 나누어 보면 아래의 식과 같다.

송신:

$$E_{TX}(k, d) = E_{TX} - elec(k) + E_{TX} - amp(k, d)$$

$$E_{TX}(k, d) = E_{elec} * k + amp * k * d^2 \quad (1)$$

수신:

$$E_{RX}(k, d) = E - elec(k)$$

$$E_{RX}(k, d) = E_{elec} * k \quad (2)$$

수식 (1)은 송신 시의 에너지 소모 모델을 수식으로 나타낸 것인데 k 는 송신시의 비트수 이고 d 는 전송 거리이다. LEACH의 모델에 따라서 센서 노드 내부에서의 프로세싱 에너지와 센서 노드 외부로 데이터를 전송 하는데 드는 전송 에너지를 합하여 송신 에너지 소모량을 계산한다. 전송 에너지의 경우 거리의 제곱에 비례하는 이유는 신호의 세기가 거리의 제곱에 비례하여 감소하기 때문이다. 수식 (2)는 데이터를 수신하는 경우의 에너지 소모량을 측정하는 과정인데 수신기에서의 에너지 소모는 가정하지 않고 받은 데이터를 처리하는데 드는 에너지만 측정한다.

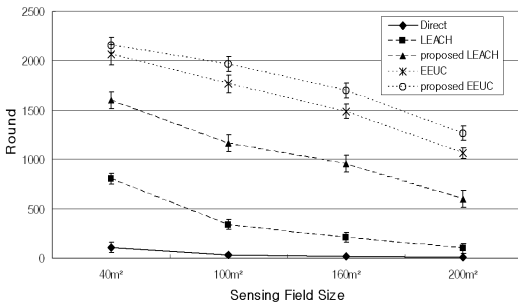


그림 5. 에너지가 고갈될 첫 노드의 라운드 수

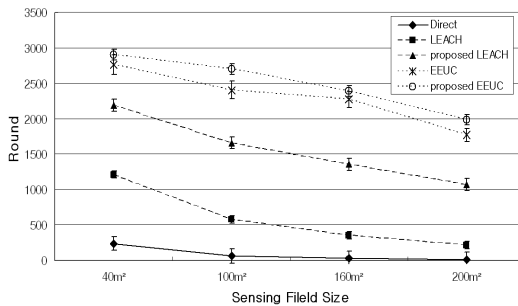
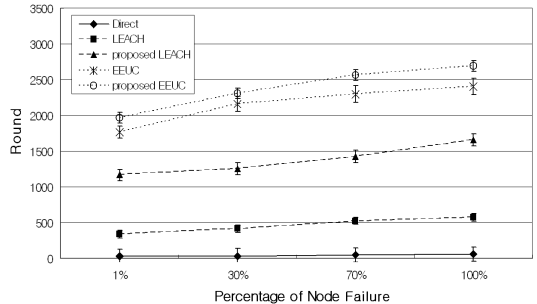


그림 6. 에너지가 고갈될 마지막 노드의 라운드 수

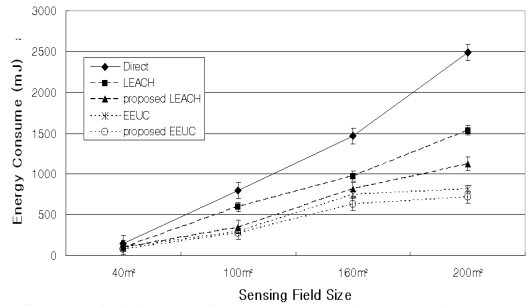
그림 5와 6은 다양한 센싱 필드의 크기가 변할 때 처음으로 에너지가 고갈된 노드가 발생했을 때의 라운드 수와 모든 노드의 에너지가 고갈 되었을 때의 라운드 수를 측정하는 것이다. 직접 싱크 노드로 데이터를 전달하는 알고리즘은 싱크 노드에서 가장 먼 노드일수록 에너지가 고갈되기 쉽다. 센싱 필드의 크기가 늘어남에 따라 노드

가 죽는 라운드의 수가 지수 적으로 낮아지는데 이것은 데이터를 보낼 때 필요한 에너지의 양이 거리에 비례해서 지수 적으로 증가하기 때문이다. 제한한 프로토콜을 적용한 경우 LEACH는 두 배 이상의 성능 향상을 보이는데 제한한 프로토콜이 멀티 홉으로 데이터를 전송하기 때문이다. EEUC에 적용한 경우는 제한한 에너지 효율적인 다음 홉 선택 방법과 다중 경로의 장점 때문에 약간의 성능 증가를 보인다.

그림 7은 100×100 평방미터의 센싱 필드에서의 라운드 수에 따른 네트워크의 노드 상태를 나타낸다. 싱크와 모든 노드가 직접 통신을 할 경우 모든 노드가 250 라운드를 넘기지 못하고 에너지가 고갈 된다. LEACH는 클러스터 헤드의 수를 5%로 설정 했을 때, 매 25 라운드마다 클러스터 헤드로 선출이 되고, 싱크와 직접 통신을 해야 하기 때문에 다른 다중 홉의 통신을 하는 방법보다 생존 시간이 짧다. 제한한 프로토콜이 적용 된 경우 LEACH, EEUC보다 성능이 좋을음을 보여주고, 특히 LEACH는 클



러스터 헤드와 싱크사이의 통신방법이 단일 홉에서 다중



홉으로 바뀌기 때문에 높은 성능 증가를 보인다.

그림 7. 라운드 수에 따른 네트워크의 노드 상태

그림 8. 라운드 수에 따른 네트워크의 노드 상태

그림 8은 다양한 센싱 필드의 크기 상에서 모든 노드가 정상 작동 할 때의 평균 에너지 소모를 보여준다. 직접 통신의 경우 센싱 필드가 커짐에 따라 지수 적으로 에너지 소모율이 올라간다. LEACH의 경우 계층적인 구조 때문에 지수적인 증가를 보이지는 않지만 필드가 커짐에 따라 에너지의 소모 비율이 높아지는 것을 볼 수 있다. EEUC는 계층적 구조와 다중 홉의 통신 방법으로 인하여

센싱 필드의 사이즈에 덜 민감한 에너지 소모를 보여준다. 제안한 프로토콜이 적용 된 LEACH, EEUC의 경우 홉과 홉 사이의 부하 분산과 제어 패킷 감소로 인해 나은 성능을 보여주는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다중 경로를 사용하는 라우팅 기술과 cross-layer 기술을 이용하여 선택적 데이터 전송을 위한 에너지 효율적인 클러스터링 프로토콜을 제안하였다. 다중 경로를 사용하는 것은 단일 경로에 비해서 강건하고 트래픽의 부하를 분산하는 효과가 있으며, 다중 경로를 찾았을 때 효율적인 데이터 전송을 위하여 MRTS를 전송하고 수신 노드로부터 서로 다른 CTS 지연 시간을 결정한다. 하나의 MRTS를 전송하여 전송 가능한 다음 수신 노드를 찾는 것은 충돌로 인한 통신대기 시간을 없애고 추가적인 제어 패킷의 낭비를 줄인다. 제안한 프로토콜을 LEACH, EEUC에 적용하였을 때, 시뮬레이션 결과는 제안한 알고리즘이 네트워크의 생존시간을 증가 시켜주는 것을 보여줬다. 제안한 알고리즘은 에너지 효율성, 확장성, 네트워크 생존시간의 증가가 필요한 계층적인 라우팅 프로토콜에 적용 시킬 수 있다.

앞으로 다중경로 라우팅 기법과 MAC계층과 네트워크 계층의 크로스 레이어 기법을 이용하여 클러스터 구성 방안과 클러스터 내부의 동작을 제한 하여 전체적인 클러스터 프로토콜을 제안 하고 제안한 클러스터 프로토콜을 메쉬(Mesh) 네트워크에 적용시키는 방안을 연구하고자 한다.

참고 문헌

[1] Akyildiz, W. Su, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, V.40, No.8, pp.102-114, August 2002.

[2] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless micro sensor networks," Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2000.

[3] S. Lindsey, C. Raghavendra, K. M. Sivalingam, Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems V. 13 No. 9 pp. 924-935 2002

[4] H. O. Tan, I. Korpeoglu, "Power efficient data gathering and aggregation in wireless sensor networks, Issue on Sensor Network Technology, SIGMOD Record.

[5] Y Yang, H. Wu, H. Chen, "Short: Shortest hop routing tree for wireless sensor networks", IEEE ICC 2006

[6] O. Younis, S. Fahmy, "Heed: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," IEEE Transactions on Mobile Computing V. 3 No. 4 pp. 366-379, 2004

[7] C. Li, M. Ye, G. Chen, J. Wu, "An energy-efficient unequal clustering mechanism for wireless sensor networks," IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, 2005.

[8] Y. Hwang, H. Lee, P. Varshney, "An adaptive routing protocol for ad-hoc networks using multiple disjoint paths," IEEE 53rd VTC, pp. 2249-2253, May 2001

[9] T. Kim, H. Lee, J. Lee and J. Cho, "Cross-Layer Enhancement of IEEE 802.11 MAC for Mobile Ad Hoc Networks" Lecture Notes in Computer Science 4490 pp. 482-489, May 2007

저자 소개

김태곤 (정회원)



2001년 : Pennsylvania 주립대학
전자공학 졸업 (공학박사)
2001년~2002년: 인텔연구소
2003년~2004년: 삼성
디지털미디어 연구소
2005년 3월~현재 : 고려대학교
전자및정보공학과 조교수

<주관심분야> 영상 및 통신 신호처리, 통신네트워크, 무선통신

이형근



1987년 : 연세대학교 전자공학과
졸업 (공학사)
1998년 : Syracuse대학교 대학원
컴퓨터공학과 (공학석사)
2002년 : Syracuse대학교 대학원
컴퓨터공학과 (공학박사)
2003년 9월~현재 : 광운대학교
컴퓨터공학과 조교수

<주관심분야> 무선네트워크, 센서네트워크, 메쉬네트워크