

무선 Ad-hoc 네트워크에서 시스템 활동시간 증가를 위한 Coordinator 선출 방법[☆]

Coordinator Election Mechanism for Increasing System Lifetime in Wireless Ad-hoc Networks

박 숙 영* 김 영 남** 이 상 규*** 이 주 영****
Sook-Young Park Young-nam Kim Sang-Kyu Lee Ju-Young Lee

요 약

무선 Ad-hoc 네트워크에서는 기존의 유선 네트워크에서와는 달리 휴대용 기기들만으로 네트워크 망이 형성 되어있고 이때 휴대용 기기 들은 대부분 배터리를 에너지원으로 사용한다. 그러므로 무한의 에너지를 갖고 있다고 볼 수 있었던 종전의 유선 네트워크에서와는 달리 배터리를 에너지원으로 사용하는 무선 Ad-hoc 네트워크에서는 효율적인 에너지 자원 관리가 중요한 이슈가 된다. 이러한 특성을 고려한 연구 중 전체 휴대용 단말기에서 일부를 선출하고 이렇게 선출된 coordinator들만 데이터의 전송에 참여하게 하고 나머지 단말기들은 수면 모드로 전환시킴으로 인해 시스템의 전력소비를 줄이는 방법에 대한 연구들이 진행되고 있다. 선행 연구에서는 수면 모드의 노드를 최대화함으로써 전체 네트워크의 전력소비를 최소화하려는 노력을 하고 있으나, 선출되는 coordinator 수의 최소화가 항상 시스템 활동시간의 증가를 보장하지는 않는다. 본 논문에서는 각 단말기에서 데이터 전송에 필요한 에너지와 노드들의 연결성을 함께 고려해서 coordinator를 선출함으로써 네트워크의 시스템 활동시간을 기존의 방법 보다 더 증가시키는 알고리즘을 제안한다.

Abstract

Wireless ad-hoc networks are only composed with mobile devices. Unlike the traditional wired networks, those devices are mostly operated with battery power. Since the battery-operated power is limited, the efficient energy resource managements becomes an important issue in wireless ad-hoc networks and various studies that considered these characteristics are progressed. One of those studies is an energy efficient routing using coordinators. In this method, only devices elected as coordinator participate in data transmissions in ad-hoc networks, while other devices remain in sleep node. The overall energy consumption of a system can be reduced. In order to minimize energy consumption of a total network, previous results try to maximize the number of nodes in sleep mode. However, minimizing the number of coordinators does not ensure to increase the system lifetime. In this thesis, we propose an algorithm that can elect coordinators with considering the amount of necessary energy to transmit assigned data and a connectivity of nodes in the networks. The result of proposed coordinator election algorithm can increase the system lifetime of an Ad-hoc network from the results of existing coordinator election algorithms.

Keyword : ad-hoc network, system lifetime, wireless network, coordinator

1. 서 론

* 준회원 : 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정
syPark@sookmyung.ac.kr(제1저자)

** 비회원 : 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정
ynkim@sookmyung.ac.kr(공동저자)

*** 정회원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 부교수
sanglee@sookmyung.ac.kr(공동저자)

**** 정회원 : 덕성여자대학 컴퓨터과학부 교수
jylee@center.duksung.ac.kr(공동저자)

☆ 본 연구는 숙명여자대학교 2002년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

최근 들어 무선 통신 기술의 발달과 휴대용 컴퓨터의 보편화에 따라 이동 컴퓨팅 분야는 많은 관심을 얻고 있으며, 이동성 있는 호스트들에게 네트워크 연결 및 통신 서비스를 지원할 수 있는 환경에 대한 연구가 진행되고 있다[8,9]. 무선 Ad-hoc 네트워크는 AP(Access Point)를 이용하는 무선 네트

워크와는 달리 기존에 설치된 유선 네트워크나 기지국 등의 중앙 집중화된 관리 시스템의 도움 없이 이동성 있는 호스트들로 구성된 임시적인 네트워크이다. 무선 Ad-hoc 네트워크를 구성하는 단말기들은 라우터나 게이트웨이의 도움을 받을 수 없기 때문에 각 단말기들이 호스트인 동시에 라우터의 역할까지도 수행해야 한다. 이러한 무선 Ad-hoc 네트워크의 응용으로는 전시 중 알려지지 않은 적의 지형 안에서 세력 전개를 위한 통신이나, 산간 지역이나 해상에서의 구조임무, 국가적 위기 상황에서 이를 해결하기 위한 긴급 대책 위원들 간의 통신, 그리고 전시장이나 회의장에서의 구성원들과의 통신 등이 있다. 무선 Ad-hoc 네트워크는 갖은 네트워크 구성의 변화, 제한된 사용 자원 등 기존의 유선 네트워크와는 다른 특성들을 가지고 있는데, 이 중 단말기의 이동성과 휴대성 때문에 단말기는 그 크기와 무게에 제한을 받게 된다. 이와 같은 물리적 제한은 여러 가지 다른 자원에서의 제약을 초래하게 되는데 직접통신 가능거리, 사용할 수 있는 에너지의 양, 네트워크 처리과정 등에서 나타난다. 이러한 제약들은 유선으로 연결된 전원을 통해서 에너지를 공급받으면서 충분한 저장공간을 가지고 있었던 유선 통신망에서는 덜 중요한 요소들이었다. 따라서 유선 네트워크에서의 통신에서와는 달리 기반 시설이 없는 환경에 설치된 무선 Ad-hoc 네트워크가 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 제한된 자원을 얼마나 효과적으로 사용하는가가 중요한 고려사항이 된다.

이러한 새로운 제약 조건들을 고려하는 연구 중에 제한된 전력 사용에 따른 에너지 사용의 효율성을 고려한 다중 홉 통신 문제에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1,2,3,4,5,6].

무선 Ad-hoc 네트워크를 이루는 단말기들은 자체의 필요에 의한 데이터 송수신 뿐만 아니라 다른 기기들 간의 통신에 중계자로 참여하여 다중 홉 전송을 수행하는데 이러한 데이터 전송 모드 각각에 따라 다른 전력을 소비하게 된다. 뿐만 아니라 전송에 참여하지 않는 대기 모드 상태에서

도 불필요한 데이터 전송을 들음으로써 에너지를 많이 소비하게 되는데, 이는 통신에 참여하지 않는 단말기들 중 가능하다면 다른 단말기들이 통신하는 시간동안 수면 모드(sleeping mode)로 전환함으로써 단말기의 에너지 소비를 줄일 수 있다. 그러나 어느 단말기를 수면 모드로 전환시켜야 하는가를 결정하는 것은 그리 간단한 문제가 아니다. 이와 같이 데이터 전송에 불필요한 노드를 수면 모드로 전환시켜 에너지 소비를 줄이려는 연구가 많이 진행되고 있는데, 여러 가지 연구 중 전체 단말기의 연결성을 유지하면서 휴대용 단말기 중 몇 개의 특정 단말기들만 깨어서 데이터 전송에 참여하고 나머지 단말기들은 수면 모드로 전환하여 전체 시스템의 에너지를 절약하는 방법을 SPAN[1]에서 제안하였다. 이 때 데이터 전송을 위해 선출된 단말기들을 coordinator라 하고 이 coordinator들만이 소스 단말기와 목적지 단말기 사이의 데이터 전송 중계에 참여하게 된다. 무선 Ad-hoc 네트워크가 구성되고 데이터 전송이 진행됨에 따라 단말기들의 에너지는 점차 감소하고 결국 자신이 갖고 있는 에너지원이 소진되어 작동을 멈추게 되는 단말기들이 나타나게 되는데, 이와 같이 시스템이 시작되어 에너지 소진으로 인해 작동을 멈추게 되는 단말기가 처음 나타날 때까지의 시간을 시스템 활동시간(system lifetime)이라 정의한다[2]. 시스템의 응용에 따라서는 이러한 시스템 활동시간을 길게 하는 것이 중요한 경우도 있다. 그러나 SPAN[1]에서 제시하는 방법은 전체 네트워크의 연결성을 유지하면서 깨어서 통신을 하는 coordinator들의 수를 최소화함으로써 전체 시스템에서 소비되는 에너지를 감소시키는 것을 목적으로 하는데, 이와 같이 최소 개수에 근접한 coordinator를 선출하는 것이 언제나 가장 좋은 시스템 활동시간을 보장하지는 않는다. 그러므로 본 논문에서는 각 단말기에서 데이터 전송에 필요한 에너지를 고려하여 coordinator를 선출함으로써 네트워크의 시스템 활동시간을 SPAN의 coordinator 선출 방법보다 더 증가시키는 방법을 제안한다.

다음 장에서는 관련 연구들을 소개하고 문제 제기를 한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 ISL_SPAN의 coordinator 선출 방법을 설명하고, 4 장에서는 ISL_SPAN의 coordinator 선출 방법을 검증하기 위해 구현된 실험 결과를 소개한다. 그리고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

이 장에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서의 에너지 소비를 고려한 라우팅 알고리즘에 관한 몇 가지 관련 연구들을 살펴보겠다. 본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크를 그래프의 형태로 보고, 이러한 네트워크를 구성하는 단말기 또는 호스트를 노드로 표현하여 설명한다.

2.1 시스템 활동시간을 최대화하는 경로 재설정 라우팅 알고리즘

원자로의 온도를 감지하는 센서에 있어서 한 개의 센서라도 오작동을 하거나 작동을 멈추게 되면, 그 센서가 위치한 부분에 어떠한 변화가 생기는 지 알아낼 수 없으므로 인해 전체 시스템에 위험을 초래할 수가 있다. 이와 같이 하나의 노드라도 작동을 멈추게 되었을 때 전체 시스템이 멈추게 되거나 오작동을 하는 시스템에서는 제일 먼저 작동을 멈추게 되는 노드가 나타날 때까지의 시간이 그 시스템이 활동할 수 있는 시간이다. Chang 등의 논문에서는 이러한 시간을 시스템 활동시간이라 정의하였다[2].

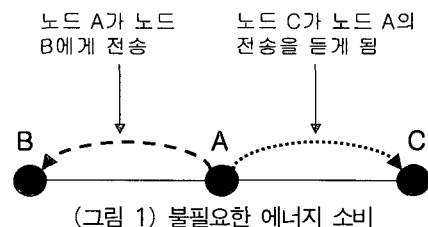
Chang 등의 논문 [2]에서는 경로 재설정 알고리즘을 통해 전체 시스템의 데이터 전송 에너지를 최소화하는 다중 홉 무선 Ad-hoc 네트워크를 통한 경로들을 선택함으로써 에너지를 절약하고, 데이터 전송에 드는 에너지 소비를 적절하게 분산시킴으로써 전체 네트워크의 시스템 활동시간을 최대화시킨다. 이와 같이 Chang 등의 논문 [2]에서는 각 노드들이 그들의 데이터 전송 에너지

레벨을 조절하여 성능을 최적화하기 위한 경로들을 선택함으로써 전체 네트워크의 시스템 활동시간을 최대화시키는 경로 재설정 알고리즘을 소개한다.

2.2 시스템의 에너지 소비를 고려한 알고리즘

Chang 등의 논문 [2]에서는 무선 Ad-hoc 네트워크를 구성하는 노드들이 소스 노드와 목적지 노드 사이의 데이터 전송에 참여할 때만 에너지가 소모되는 것으로 가정하였다. 그러나 실제 무선 Ad-hoc 네트워크를 구성하는 노드들은 데이터를 전송할 때뿐만 아니라 데이터를 받을 때도 일정량의 에너지가 소모된다. 현재의 MAC 프로토콜에서 각각의 노드들은 그들이 데이터의 전송에 참여하지 않음에도 불구하고 항상 전원이 켜진 상태에 있으므로 인해 에너지를 소모하게 된다. 즉, 그들은 대기(idle) 상태에서도 자신과 상관없는 데이터의 전송을 우연히 듣게 됨으로 인해 에너지를 소비하게 된다. 예를 들면, 그림 1과 같이 노드 A가 노드 B에게 전송을 하려 할 때 노드 A의 데이터 전송 범위 안에 있는 노드 C까지 이 전송을 듣게 됨으로써 노드 C는 불필요한 에너지를 소비하게 되는 것이다.

이러한 불필요한 에너지 소비를 막기 위해서 실제로 데이터 전송에 참여하지 않는 노드들은 전원을 꺼둬으로써 에너지 소비를 절약할 수 있다. 그러나 이 방법을 사용하여 에너지 소비를 절약하려 할 때 어느 노드가 깨어서 데이터 전송에 참여하고 어느 노드가 전원을 끄고 수면 모드 상태로 전환해야 하는지를 결정하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 그러므로 이러한 노드의 상태를 결정



하기 위한 여러 연구가 진행되고 있다[1,3,4,5,6].

PAMAS(Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks)[3,4]에서는 자신에게 요청되지 않은 데이터 전송을 듣게 될 때 노드의 전원을 끄는 방법으로 전체 시스템의 에너지를 절약하는 방법을 제안한다. 그림 1과 같이 노드 A가 노드 B에게 데이터를 전송하는 동안 노드 C는 이웃 노드가 통신하는 동안 스스로 전원을 끄고 수면 모드 상태로 전환함으로써 노드 A의 전송을 들음으로 인해 불필요하게 소모되는 에너지를 보존할 수 있다.

GAF(Geographical Adaptive Fidelity)[5]에서는 네트워크를 구성하는 노드들을 정방형의 고정된 그리드(grid)로 나누어서 그리드에 속한 노드들 중 랭킹이 높은 하나의 노드만 살아서 라우팅에 참여하는 형태로 에너지 소모를 줄이는 방법을 제안한다. 그리고 고정된 그리드로 노드들을 나누기 위해서 GPS와 같은 지역적인 위치 정보와 그리드의 크기를 사용한다. GAF에서 각 노드들은 세계의 상태 중 하나의 상태에 머무르게 되는데, 각 노드들은 먼저 발견(discovery) 상태에서 시작하게 되고, 발견 상태에 있을 때 노드는 송수신기(radio)를 켜서 자신이 속한 그리드 안에 존재하는 다른 노드들을 찾기 위해 발견 메시지를 교환한다. 이러한 메시지들을 통해서 각 그리드에는 한 노드만이 활동(active) 상태에 머무르면서 데이터의 전송에 참여하게 되고 나머지 노드들은 수면(sleeping) 상태에 머무르게 됨으로 시스템의 전체 에너지 소비를 절약하게 된다.

SPAN[1]은 GAF[5]와 유사한 이론을 제시하지만 GAF와는 달리 네트워크를 구성하는 각 노드들이 지역적인 위치 정보를 아는 것을 요구하지 않는 대신 네트워크의 정보를 수집하고 네트워크의 변화에 반응하기 위해서 브로드캐스트 메시지를 사용한다. 이러한 메시지를 통하여 SPAN에서는 네트워크의 연결성(connectivity)과 대역폭의 용량(capacity)을 유지하면서 몇몇 특정 노드들만 깨어서 데이터 전송에 참여하고 나머지 노드들은 수

면 모드로 전환하여 에너지를 절약하는 방법을 소개한다. 이 때 깨어 있는 특정 노드들은 coordinator로 선출된 노드들이며, 선출된 coordinator들만 소스 노드와 목적지 노드사이의 데이터 전송을 위한 중계에 참여하게 된다. SPAN에서의 coordinator 선출 알고리즘에서 각 노드는 주기적인 HELLO 메시지를 브로드캐스트(broadcast) 하여서 수면 상태인 파워 절약 모드 상태로 있어야 하는지, 아니면 coordinator와 같이 깨어서 데이터를 중계하는 백본 구조에 참여해야 하는지 결정을 하게 된다. 브로드캐스트 되는 HELLO 메시지는 노드들의 상태(그 노드가 coordinator인지의 여부), 그 노드의 현재 coordinator들, 그리고 그 노드의 현재 이웃 노드들의 정보를 포함한다.

각 노드는 이러한 HELLO 메시지를 브로드캐스트 함으로써 얻은 정보를 이용하여 자신을 coordinator로 선출할지 여부를 결정하게 된다. 그리고 과잉되는 coordinator의 수를 낮게 유지하고, 균형 있는 에너지 소비를 하기 위해서 모든 노드들은 몇몇 검사를 통하여 돌아가면서 이 역할을 담당한다. 각 노드는 남아 있는 배터리 에너지의 양, 그리고 함께 연결할 수 있는 이웃 노드들의 쌍의 수를 고려한 지연값의 시간동안 기다린 후에 coordinator 선출 여부를 결정하게 되는데, 이렇게 선출된 coordinator들은 소스 노드와 목적지 노드 사이에서 데이터를 중계하게 된다. 이 때 데이터를 전달하는 라우팅 알고리즘은 geographic forwarding 알고리즘[10,12]을 사용한다. Geographic forwarding 알고리즘은 노드가 어떠한 데이터를 받으면 자신의 이웃 노드들 중 목적지 노드에 가장 가까운 노드에게 데이터를 전달하여 목적지 노드까지 데이터를 전송하는 방법으로 소스 노드에서 목적지 노드로의 최단 경로(shortest path)를 찾는 방법 중의 한가지이다. 이와 같은 방법을 통하여 SPAN에서는 선출된 coordinator들만 깨어서 데이터 전송에 참여하게 하고 나머지 노드들은 파워 절약 모드 상태에 머무르게 하여 전체 시스템의 에너지를 보존하는 방법을 사용하였다.

2.3 기존 연구 분석 및 문제 제기

SPAN[1]에서는 다중 홉(multi-hop) 무선 Ad-hoc 네트워크에서 네트워크의 용량(capacity)이나 연결성(connectivity)을 현저하게 감소시키지 않으면서 에너지 소비를 줄이는 방법 중 coordinator들을 선출하여 이들을 백본(backbone)처럼 사용하는 방법을 고려했다. 이 때 선출된 coordinator들은 awake 상태에 머무르며 네트워크 안에서 다중 홉 패킷 라우팅을 수행하게 되고, 선출되지 않은 다른 노드들은 파워 절약 모드 상태로 있으면서 주기적으로 깨어서 자신이 coordinator가 되어야 하는 지를 검사한다. SPAN에서의 coordinator 공표(announcement)를 위한 coordinator 자격 조건은 다음과 같다.

- coordinator 자격 조건 : non-coordinator 노드는 지역적인 브로드캐스트 메시지를 통한 정보를 이용하여 다음의 조건을 모두 만족하는 임의의 두 이웃 노드들이 존재하면 하면 coordinator가 될 자격이 주어진다.
 - ① 두 노드 사이에 직접 통신이 불가능한 경우
 - ② 두 노드가 다른 한 개의 coordinator를 통하여 통신이 불가능한 경우
 - ③ 두 노드가 다른 두개의 coordinator를 통하여 통신이 불가능한 경우

노드들의 coordinator 공표에 있어서 각 노드는 자격 조건의 만족 여부를 검사하고, 만약 만족한다면 지연(delay)값을 계산하여 그 지연값 동안 기다린 후에도 여전히 위 조건을 만족한다면 자신을 coordinator로 결정한다. 각 노드들에서 배터리의 남은 에너지가 동일하지 않을 경우, coordinator 공표에 쓰이는 지연값은 다음 수식과 같다.

$$delay = \left(\left(1 - \frac{Er_i}{E_i} \right) + \left(1 - \frac{C_i}{\binom{N_i}{2}} \right) + R \right) \times N_i \times T \quad (\text{식 1})$$

E_i 는 각 노드 i 에 주어진 초기 에너지를 나타내며, Er_i 는 노드 i 에 남아있는 에너지의 양을 나타낸다. 다른 노드들보다 Er_i/E_i 값이 좀 더 큰 노드는 Er_i/E_i 값이 작은 노드들 보다 더 빨리 자신을 coordinator로 선출하게 된다. 즉, 초기 에너지에 비해 남은 에너지가 더 많은 노드들은 자신을 coordinator로 선출할 확률이 커짐을 의미한다. N_i 는 노드 i 의 이웃 노드들의 수를 나타내고, C_i 는 노드 i 의 임의의 두 이웃 노드들 중 노드 i 를 통하지 않고서는 통신이 불가능한 노드들의 쌍의 개수를 나타내는데 이는 N_i 에 비해 C_i 의 값이 클수록 자신을 coordinator로 선출할 확률이 커짐을 의미한다. 그리고 R 은 0과 1사이 존재하는 임의의 값을 의미하며, T 는 round-trip 지연 시간을 의미한다.

SPAN에서 제시하는 알고리즘에서는 coordinator로 선출되는 노드들의 수의 최소화를 목적으로 선출된 coordinator의 수가 거의 하한값에 근접한 결과를 보여줌으로써 전체 소비되는 에너지를 절약하였다. 그러나 네트워크의 시스템 활동시간을 증가시키는 것을 목적으로 할 때에는 coordinator로 선출되는 노드들의 수를 최소화시키는 것이 언제나 좋은 시스템 활동시간을 보장하는 것은 아니다.

본 논문에서는 네트워크의 시스템 활동시간을 고려하는 측면에서 데이터 전송 시 소모되는 에너지를 고려하는 coordinator 선출 방법을 제시함으로써 SPAN의 coordinator 선출 알고리즘 보다 전체 네트워크의 시스템 활동시간을 더 길게 하는 ISL_SPAN의 coordinator 선출 알고리즘을 제안한다.

3. ISL_SPAN의 coordinator 선출 방법

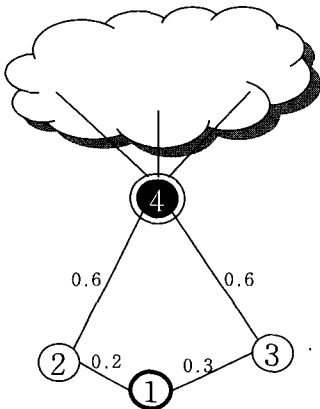
이 장에서는 네트워크의 시스템 활동시간 증가를 위한 coordinator 선출을 위해 노드들의 연결성과

함께 링크에 드는 에너지를 고려하는 ISL_SPAN coordinator 선출 방법을 제안한다.

3.1 문제 정의

SPAN[1]에서는 coordinator 선출 알고리즘을 통하여 전체 에너지 소모는 줄일 수 있었다. 그러나 네트워크의 시스템 활동시간 증가는 보장하지 못함을 알 수 있는데 이를 예제를 통하여 보면 그림 2와 같다.

그림 2(a)는 임의의 네트워크 그래프로 각 노드의 전송 범위에 속하는 노드들과의 관계는 선으로



(a) 네트워크 그래프

i	1	2	3	4
Er_i	80	50	50	60

(b) 남은 에너지

경로	단위 데이터 전송 시 노드의 활동시간(Er_i/e_{ij})	$\min Er_i/e_{ij}$
2→4→3	2(50/0.6)→4(60/0.6)→3	83
3→4→2	3(50/0.6)→4(60/0.6)→2	83
2→1→3	2(50/0.2)→1(80/0.3)→3	250
3→1→2	3(50/0.3)→1(80/0.2)→2	167

(c) 각 경로당 단위 데이터 전송 시 노드의 활동시간
(그림 2) SPAN의 coordinator들을 통한 통신시의 활동시간

표시하였으며, 이미 선출된 coordinator는 검정색 노드로 표시하였다. 그리고 데이터 전송 시 각 링크에서 소모되는 에너지는 연결 선 위에 나타내었다. 그림 2(b)는 각 노드에 남아있는 에너지를 표를 통해 나타낸 것이다. 그림 2(a)에서 보는 것과 같이, 노드 1의 이웃 노드인 노드 2와 노드 3이 coordinator인 노드 4를 통하여 통신이 가능하므로 노드 1은 SPAN의 coordinator 자격 조건에 해당하지 않으므로 자신을 coordinator로 선출하지 않는다. 그러나 그림 2(c)에서 보이는 것처럼 각 경로당 단위 데이터 전송 시 각 노드의 활동시간을 비교해 보았을 때, 노드 4가 coordinator로써 노드 2와 노드 3 사이를 서비스 하는 것 보다 노드 1이 coordinator로 새롭게 선출되어 노드 2와 노드 3 사이의 데이터를 중계하는 것이 네트워크의 시스템 활동시간을 더 증가시키는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 본 논문에서는 주어진 무선 Ad-hoc 네트워크에서 시스템 활동시간 증가를 목적으로 coordinator들을 선출하는 알고리즘 방법을 제안하고자 한다.

3.2 네트워크 모델

본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크를 방향성이 있는 그래프 $G(V, E)$ 의 형태로 고려하여 문제를 해결하고자 한다. 이때, V 는 네트워크를 구성하는 단말기들을 나타내는 모든 노드들의 집합을 나타내고 E 는 통신이 가능한 노드들을 연결한 모든 방향성이 있는 링크 (i, j) ($i, j \in V, i \neq j$)들의 집합을 나타낸다. 임의의 노드 i 의 전송 범위 안에 들어오는 노드들을 노드 i 로부터 링크가 존재하는 이웃노드로 간주하며, 이러한 노드 i 의 이웃노드의 집합을 S_i 로 나타낸다. 각 노드 $i \in V$ 는 초기 에너지 값 E_i 가 주어지고 노드 i 에서 노드 $j \in S_i$ 까지 일정량의 데이터를 전송하는데 사용되는 노드 i 의 전력은 e_{ij} 로 나타낸다.

네트워크에는 하나의 소스 노드(source node)와

하나의 목적지 노드(destination node)가 존재한다고 가정한다. 소스 노드는 목적지 노드에 전달되어야 하는 데이터를 일정 간격을 두고 발생시키는데, 목적지 노드가 소스 노드의 전송 범위 안에 존재하지 않는 경우에는 소스 노드와 목적지 노드 사이에 있는 다른 노드들이 이를 중계하여 목적지 노드까지 데이터를 전달하는 다중 홉(multi-hop) 통신 방식을 갖게 된다[13]. 이때, 소스 노드에서 발생하는 데이터는 여러 경로를 통하여 목적지 노드에 전달 될 수 있다. 데이터의 전송 경로에 놓이게 되는 노드들은 각각 특정 이웃노드에 전달해야 하는 데이터의 양을 할당받게 되는데, 노드 i 가 노드 j 로 링크 (i, j) 를 통해 전송해야 하는 데이터의 양을 플로우 q_{ij} 로 나타낸다.

Ad-hoc 네트워크의 전체 플로우 $q = \{q_{ij} | (i, j) \in E \text{ and } i, j \in V, i \neq j\}$ 가 주어졌을 때, 노드 i 에 있어서의 활동시간(lifetime) $T_i(q)$ 는 노드 i 가 자신에게 할당된 플로우의 전송을 얼마나 오랫동안 계속할 수 있는가를 나타내고 이는 다음과 같이 표현된다.

$$T_i(q) = \frac{E_i}{\sum_{j \in S_i} (e_{ij} \cdot q_{ij})} \quad (\text{식 2})$$

그리고 주어진 플로우 q 에 대한 시스템 활동시간 $T_{\text{sys}}(q)$ 는 Ad-hoc 네트워크 $G(V, E)$ 상에서 가장 먼저 배터리를 소진하는 노드가 나올 때까지의 시간으로 한다. 이는 네트워크에 있는 모든 노드들의 활동시간 중에 최소 값을 가지는 활동시간과 같으며 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T_{\text{sys}}(q) = \text{MIN}_{i \in V} T_i(q) \quad (\text{식 3})$$

3.3 ISL_SPAN 알고리즘

ISL_SPAN 알고리즘은 SPAN[1]에서의 방법과 동일하게 기본적으로 각 노드가 주기적인 HELLO

메시지를 브로드캐스트 하여서 수면 상태인 파워 절약 모드 상태로 있어야 하는지, 아니면 하나의 coordinator로 깨어서 데이터 전송을 중계하는 백본 구조에 참여해야 하는지 결정을 하게 된다. 이때 브로드캐스트 되는 HELLO 메시지에는 SPAN에서 HELLO 메시지가 가지는 기본적인 정보(노드들의 상태, 현재 coordinator들, 현재 이웃 노드들 등)와 함께 시스템 활동시간을 고려하기 위해 필요한 정보인 자신의 남은 에너지(E)도 포함되어야 한다.

ISL_SPAN에서 coordinator 결정을 위해 쓰이는 새로운 coordinator 자격 조건은 다음과 같다.

■ ISL_SPAN coordinator 자격 조건: non-coordinator 노드는 지역적인 브로드캐스트 메시지를 통한 정보를 이용하여 다음의 조건 중 ①,②,③ 모두를 만족하는 임의의 두 이웃노드들이 존재하거나 아니면 ④의 조건을 만족하는 임의의 두 이웃 노드들이 존재할 경우 coordinator가 될 자격이 주어진다.

- ① 두 노드 사이에 직접 통신이 불가능한 경우
- ② 두 노드가 다른 한 개의 coordinator를 통하여 통신이 불가능한 경우
- ③ 두 노드가 다른 두개의 coordinator를 통하여 통신이 불가능한 경우
- ④ 두 노드 사이에 직접 통신이 가능하거나 두 노드가 다른 한개 또는 두개의 coordinator를 통하여 통신이 가능한 경우에도, 통신할 때 소비되는 에너지가 자신을 통한 데이터 중계에서 소비되는 에너지보다 많을 경우

새로운 coordinator 자격 조건을 사용하는 ISL_SPAN의 coordinator 선출 알고리즘에서의 지연값은 SPAN에서와 동일하게 식(1)을 사용한다. 그림 3은 새로운 coordinator 자격 조건과 식(1)의 delay를 이용한 ISL_SPAN의 coordinator 선출 알고리즘을 보여준다. SPAN의 coordinator 선출 알고리즘과 동일하게 non-coordinator 노드들은 자신이 coordinator가 되어야 하

는지를 결정하기 위해서 주기적으로 check-announce-coordinator를 호출한다. check-announce-coordinator는 먼저 connect-pairs를 호출하여 C를 계산하는데, 이러한 C의 계산이 수정된 coordinator 자격 조건을 적용한 부분이다. 이 알고리즘에서 C는 그 노드를 통하지 않고는 통신이 불가능한 이웃노드들의 쌍의 수와 임의의 두 이웃노드들이 서로 통신이 가능할 경우에도, 통신할 때 남은 에너지에 비해 소비되는 에너지가 자신을 통한 데이터 중계에서 남은 에너지에 비해 소비되는 에너지보다 많은 경우의 수를 의미하는 것이다. 이렇게 계산된 C가 만약 0보다 크다면 식(1)을 사용하여 지연값을 계산하여 지연값의 시간만큼 기다린다. 지연값의 시간이 되면 C를 다시 계산하여서 C가 여전히 0보다 크다면 자신을 coordinator로 알리게 된다.

(표 1) 전송, 수신, 대기, 수면 모드에서 Cabletron 802.11 network card의 전력 소모

전송(T_x)	수신(R_x)	대기(idle)	수면(sleep)
1400mW	1000mW	830mW	130mW
1	0.7	0.6	0.1

4. 실험 및 결과

이 장에서는 새로 제안한 ISL_SPAN의 coordinator 선출 알고리즘에 대한 시스템 활동시간의 성능을 평가하기 위해서, 임의의 네트워크 그래프를 생성하여 coordinator들을 선출하고 이에 무작위 통신을 반복 수행하여 얻어지는 시스템 활동시간을 SPAN의 방법과 비교하였다.

실험에서 쓰이는 데이터 전송시 사용되는 에너지는 Chang 등의 논문 [2]에서와 같은 식(4)를 사용하였다.

$$e_{ij} = \begin{cases} 1.0 \times 10^{-8}, & \text{if } d_{ij} \leq \frac{range}{100} \\ \left(\frac{d_{ij}}{range}\right)^4, & \text{if } \frac{range}{100} < d_{ij} \leq range \end{cases} \quad (\text{식 4})$$

이때, d_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 까지의 거리를 나타내고 $range$ 는 이웃이 될 수 있는 노드들 간의 거리의 범위를 나타낸다. 그리고 수신(R_x) 모드, 대기($idle$) 모드, 수면($sleep$) 모드에서의 에너지 사용량은 [1]의 논문과 같이 표 1에 나와 있는 데이터 전송(T_x)에 소모되는 에너지에 대한 수신 모드, 대기 모드, 수면 모드에서 소모되는 에너지의 비율을 사용하였다.

본 논문에서 수행한 실험에서는 각 한 개씩의 소스 노드와 목적지 노드를 포함하여 각각 52개의 x, y 좌표를 600×600 사각형의 범위에 무작위로 추출하여 노드들을 생성하고 전송 범위($range$)는 220으로 두었다. 따라서 $d_{ij} \leq 220$ 인 범위를 갖는 노드들만이 노드 i 의 이웃노드 집합인 S_i 에 포함된다. 임의의 노드 i 가 소스 노드이거나 목적지 노드라면 초기 에너지 E_i 는 1000으로 주어졌고, 노

```

check-announce-coordinator()
  C = connect-pairs()
  if C > 0
    calculate delay using Equation 3, using C as Ci
    wait delay
    if connect-pairs() > 0
      announce itself as a coordinator

connect-pairs()
  n=0
  for each neighbor a in neighbor table
    for each neighbor b, b>a, in neighbor table
      min(Er[i]/e[i][a],Er[i]/e[i][b],Er[a]/e[i][a],Er[b]/e[i][b])
      if share-other-coordinators(a,b,en)=false
        n ← n+1
  return n

// coord list = coordinator list, ngr list = neighbor list
share-other-coordinators(a, b, en)
  bool = false
  if a in b's ngr list
    bool = true
  if bool equals false
    for each coordinator c_a in a's coord list
      if c_a equals self
        continue
      else if c_a in b's coord list
        if(en<Er[b]/e[b][c_a]&&en<Er[c_a]/e[b][c_a])
          bool = true
      else if c_a in neighbor table
        for each coordinator c_c_a in c_a's coord list
          if c_c_a equals self
            continue
          else if c_c_a in b's coord list
            if(en<Er[b]/e[b][c_c_a])
              if(en<Er[c_c_a]/e[b][c_c_a])
                bool = true
  return bool
    
```

(그림 3) ISL_SPAN의 coordinator 선출 알고리즘

드 i 가 데이터를 중계해야 하는 노드라면 초기 에너지 E_i 는 i 가 짝수이면 80, i 가 홀수이면 100으로 주어졌다. 그리고 소스에서 발생하는 데이터의 양 Q 는 2로 초기화하였고, 선출된 coordinator들 사이에서의 라우팅 경로는 Bellman-Ford 알고리즘을 응용하여 설정하였다.

실험 결과는 그림 4, 그림 5와 같이 나타나는 데, 이는 각각 100번씩 측정하여 얻은 결과들의 평균값이다. 선출된 coordinator의 수에 있어서 그림 5에서 보는 것과 같이 SPAN보다 ISL_SPAN에서 약 41% 증가함을 볼 수 있다. 그리고 시스템 활동시간은 그림 5와 같이 ISL_SPAN의 시스템 활동시간이 SPAN의 시스템 활동 시간보다 약 24% 증가함을 볼 수 있다.

그러므로 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 Span[1]에서 보다 조금 더 많은 수의 coordinator가

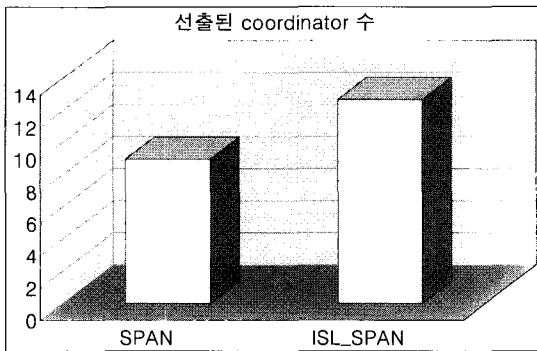
선출됨으로써 수면 모드로 전환하는 노드의 수는 감소되지만, 시스템 활동시간을 고려하는 coordinator를 선출함으로써 네트워크의 시스템 활동시간을 더 증가시켰다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

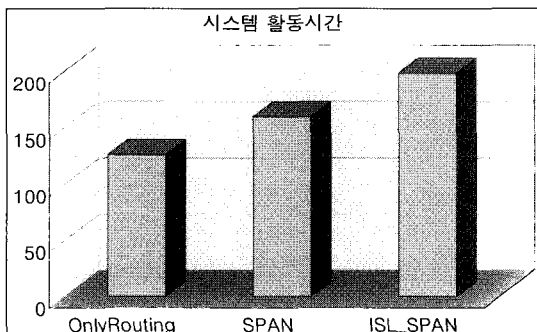
무선 통신 기술이 발달하고 휴대용 단말기가 보편화됨에 따라서, 기존에 설치된 유선 네트워크나 중앙 집중화된 관리 시스템의 도움이 없이 이동성 있는 호스트들끼리 통신이 가능한 무선 Ad-hoc 네트워크 구성이 필요하게 되었다. 그러나 이러한 무선 Ad-hoc 네트워크는 이 네트워크를 구성하는 단말기들의 이동성과 휴대성으로 인하여 크기와 무게에 제한을 받게 되었고, 이로 인해 사용 자원 또한 제한이 되었다. 이러한 문제는 유선으로 연결된 전원을 통해서 에너지를 공급받았던 유선 통신망에서는 덜 중요한 요소들이었지만, 배터리를 사용하여 전력을 공급받는 무선 Ad-hoc 네트워크의 단말기들에 있어서는 주어진 에너지 자원을 효율적으로 관리하는 것이 중요한 이슈가 된다.

본 논문에서는 제한된 전력 사용에 따른 에너지 사용의 효율성을 고려한 다중 홉 통신 문제에 대한 관련 연구들을 살펴보고, 이러한 여러 연구 중 전체 단말기 중에서 일부의 coordinator를 선출하여 이들을 데이터의 전송에 참여하게 하고 나머지 노드들은 전력 절약 모드 상태인 수면모드로 전환시킴으로써 전체 시스템의 전력 소비를 줄이는 SPAN[1]의 방법을 네트워크의 시스템 활동시간 증가 측면에서 문제를 제기하였다. 따라서 본 논문에서는 무선 Ad-hoc 네트워크에서 에너지 소비와 각 단말기의 네트워크 활동시간을 고려한 coordinator 선출 알고리즘인 ISL_SPAN을 제시하여 전체 시스템의 활동시간에 있어서 SPAN[1]에서의 결과보다 더 나은 결과를 보여준다.

Coordinator의 선출 순서를 결정하는 지연값 계산식의 수정을 통한 시스템 활동시간 증가와 HELLO 메시지를 브로드캐스트 함으로써 소모되



(그림 4) SPAN과 ISL_SPAN에서 선출된 coordinator 수



(그림 5) SPAN과 ISL_SPAN에서의 시스템 활동시간

는 에너지에 대한 고려는 향후 연구 과제로 남기기로 한다.

참고문헌

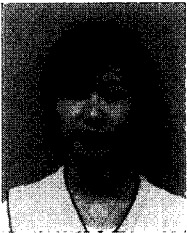
- [1] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "SPAN: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," in Proc. Mobicom, pp. 85~96, July 2001.
- [2] J. Chang and L. Tassiulas, "Energy Conserving Routing in Wire less Ad-hoc Networks," IEEE INFOCOM 2000, pp. 22~31, 2000.
- [3] S. Singh, M. Woo, and C. Raghavendra, "Power-aware routing in mobile ad hoc networks," Proceedings of Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 181~190, 1998.
- [4] S. Singh and C. Raghavendra, "PAMAS: Power Aware Multi-Access Protocol with Signaling for Ad Hoc Networks," ACM Computer Communication Review, pp. 5~26, 1998.
- [5] Y. Hu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing," In Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), pp. 70~84, 2001.
- [6] J. Wu, and H. Li, "On Calculating Power Aware Connected Dominating Sets for Efficient Routing in Ad Hoc Wireless Networks," In Proceedings of the 30th Annual International Conference On Parallel Processing, 2001.
- [7] Y. Kim, S. Park, J. Song, J. Lee, and S. Lee, "Data and Control Signal Transmission Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks," 2002 한국정보과학회 춘계 학술발표회, pp. 190~192, 2002.
- [8] Charles E. Perkins, "Ad Hoc Networking," Addison-Wesley, 2001
- [9] C. K. Toh, "Ad Hoc Mobile Wireless Networks Protocols and Systems," Prentice-Hall, 2002
- [10] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," In Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), 2000.
- [11] J. Li, L. Jannotti, D. D. Couto, D. Karger, and R. Morris, "A Scalable Location Service for Geographic Ad-Hoc Routing," In Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile computing and Networking (MobiCom), 2000.
- [12] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Aclaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad Hoc Networks," Tech. Rep. 527, USC/ISI, 2000.
- [13] David B. Johnson, "Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts," IEEE, 1995

◎ 저자 소개 ◎



박 숙 영

2000년 숙명여자대학교 컴퓨터과학과(학사)
2003년 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과(석사)
관심분야 : 무선통신, Mobile Computing
E-mail : sypark@sookmyung.ac.kr



김 영 남

2001년 숙명여자대학교 컴퓨터과학과(학사)
2003년 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과(석사)
관심분야 : 무선통신, Mobile Computing
E-mail : ynkim@sookmyung.ac.kr



이 상 규

1989년 University of Southern California 컴퓨터과학과 졸업(학사)
1991년 George Washington University 컴퓨터과학과 졸업(석사)
1995년 George Washington University 컴퓨터과학과 졸업(박사)
1995년~1996년 AC Technologies Inc. Virginia U.S.A. Software Engineer George Washington University 컴퓨터과학과 박사후 과정
1997년~현재 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 부교수
관심분야 : 무선통신, Mobile Computing, Internet Technologies
E-mail : sanglee@sookmyung.ac.kr



이 주 영

1984년 이화여자대학교 수학과 졸업(학사)
1991년 The George Washington Univ. 대학원 전산학과 졸업(석사)
1996년 The George Washington Univ. 대학원 전산학과 졸업(박사)
1996년~현재 : 덕성여자대학 컴퓨터과학부 교수
관심분야 : 알고리즘, 분산/병렬처리, 그래프이론, 무선통신
E-mail : jylee@center.duksung.ac.kr