

Sensor Network 환경에서 저전력 기반의 적응적

라우팅 알고리즘 연구

전재성*, 양현규**, 이병호***
한양대학교 정보통신과

A Study on Adaptive Routing Algorithm for

Changing Environment in Sensor Networks

Jae Sung Jun*, Hyun Gyu Yang** and Byung Ho Rhee***

*,**,*** Graduate School of Information and Communications, Hanyang University
#46-706, R and D Bld, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul, 133-791, KOREA

Tel: +82-2-2296-0391, Fax: +82-2-2299-1886

E-mail : pastime7@hanmail.net, hgy@hanyang.ac.kr bhrhee@hanyang.ac.kr

Abstract

As sensor network is drawing more attention than ever before due to the development of sensors and the technology of communications, various routing-algorithms, to realize a sensor node with low-power and a miniature size, is being introduced in the field. This paper is to discuss a way to find an optimal path by changing a routing- algorithm adequately according to environmental changes. This is also to suggest an appropriate sensor network model in the ubiquitous aera. The result from the experiment that we conducted showed us that as we suggested, an algorithm, changing and adapting itself to each different environment, operated more stably and transmitted data more effectively than the current fixed one. And it was also confirmed that this type of algorithm can provide low-power management, which is very important in sensor network.

I. 서론

센서 기술과 통신 기술의 발달로 인하여 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 노드

는 주변 환경의 변화를 탐지하여 그 결과를 저장하고, 각 노드끼리 데이터를 주고 받으며 원하는 사용자에게 전달한다.

센서 네트워크에서 각 노드의 기능은 한정된 하드웨어 자원으로 노드 간 통신을 제공해야 할 뿐만 아니라, 여러 이벤트에 반응하여 이를 실시간으로 처리할 수 있어야 한다. 특히 차세대 유비쿼터스 환경에서는 전체 시스템에서 결정된 정책 및 주변 환경 변화에 따라 실행시간 중에 시스템 구성요소들의 동작이 재설정되어야 할 필요가 있다. 하지만 기존의 센서 네트워크는 노드배치 전에 입력된 일정한 동작 외에는 서비스 환경 변화에 대해 유연하게 대처하기 어렵다는 단점이 있다.

또한 센서 네트워크에 사용되는 센서는 무인으로 동작 되거나 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작 하는 경우가 대부분이다. 다량의 센서를 유포하여 센서 네트워크를 형성 하는 경우, 센서의 크기가 작고 가격이 저렴해야 하므로 노드의 저전력 라우팅 알고리즘이 필수적이다.

본 연구에서는 위와 같은 센서네트워크의 제약 사항들에 적응적으로 대처하는 클러스트 기반의 적응적 라우팅 알고리즘을 제시한다.

1) This work was supported by HY-SDR Research Center at Hanyang University, Seoul, Korea, under the ITRC Program of MIC, Korea

II. 관련 연구

1. 응용분야 분류

1.1 센서네트워크 환경

센서 네트워크의 응용분야는 다음과 같은 특성에 따라 분류 될 수 있다.

□ 센서 혹은 싱크 노드의 이동성

식물원이나 생태계의 온도나 습도 감지를 위한 경우 센서들은 일정한 위치에 고정된 상태로 주위 환경을 감지하게 된다. 그러나 전쟁 시 적군 출현 감지를 위한 센서의 경우엔 노드구성이 변화하는 특성을 가진다.

□센서 배치 방법

사람의 출입이 어려운 지역에 다량의 센서를 설치하여 센서 네트워크 구축을 할 경우에는 센서의 무작위 유포가 불가피하다. 그러나 노드의 정보를 요하는 경우엔 사전 계획 하에 정해진 위치에 설치할 수도 있다.

□데이터 발생 형태

센서 네트워크가 구축된 후 데이터가 발생하면 네트워크내에 데이터 흐름이 생기게 된다. 이 데이터 흐름이 시작되는 형태가 이벤트를 감지한 센서노드에 의해 시작되거나 싱크노드가 센서 네트워크에게 요구하여 시작 될 수 있다.

1.2 네트워크 구성 요건

□ 시스템 라이프 타임

전체 센서 노드들이 배터리 전량 소모로 인한 작동 불능상태가 되어 네트워크가 동작 불능 상태가 되기 까지의 시간을 말한다. 한 노드가 동작 불능이 되면 전체적인 라우팅 시간에 치명적일수 있기 때문에 반드시 고려되어야 할 사항이다.

□ 데이터 응답 대기 시간

응용분야에 따라 다르겠지만 긴급한 상황의 응용분야에선 센서노드의 수가 적고, 라우팅 응답 시간이 적어야 한다.

□ 토폴로지 변화와 주위 환경에 대한 강인성

센서노드가 자연환경과 더불어 설치되는 경우 유실의 위험이 크고 배터리 량이 적어 전량 소모에 의한 기능 상실가능성이 크다. 또한 노드의 이동성이 있을 경우 잦은 토폴로지 변화의 가능성이 크므로 이에 대한 강인성을 지녀야 한다.

□ 노드 수 증가에 따른 확장성

많은 센서노드를 설치해야하는 응용분야에서 센서 노드들 사이의 전파 간섭현상 발생이나 싱크 까지 수많은 노드를 거쳐 라우팅 경로가 설정되는 문제점 등에 강해야 한다.

2. 상황설정

1.1 에서와 같은 요소를 고려하여 다음과 같은 응용분야를 나눌 수 있다. 본 논문에서는 SIT1 와 SIT2 의 두 상황을 가정하고, 각각에 적합한 모듈을 제시하였다.

□ SIT1(Situation1)

주기적으로 정보를 받아 관찰하는 예로 계획된 위치에 배치된 고정노드들이 싱크의 요구시 혹은 주기적으로 데이터를 발생하는 응용분야이다. 생태계 조사나 환경 조사 같은 경우에 해당된다.

□ SIT2(Situation2)

지진이 일어났거나 산불이 발생한 경우 센서들과 싱크는 고정되어 있고 센서의 배치는 무작위로 이루어지게 된다. 또한 이벤트 발생에 의한 데이터 전송이 시작된다. 센싱된 데이터는 산불 발생 경로나 지진이 발생한 진원지를 알아내는 등 많은 정보를 싱크노드에게 전송할 수 있다.

3. 관련 알고리즘 연구

센서 네트워크의 특징을 고려할 때 라우팅 적용과 관련하여, 다음과 같은 문제점을 가진다.

요구 기반(on-demand) 방식을 적용할 경우, 수백에서 수천 개의 노드들이 경로를 찾기 위한 경로 요청 메시지들이 발생하게 되어 많은 에너지가 소비되고, 많은 지연이 발생하게 된다.

테이블 기반(table-driven) 방식에서는 센서 노드가 네트워크 내 수많은 노드까지의 경로를 유지하는데 한계가 존재한다. 즉, 센서 노드의 메모리 용량이 수백 KB 정도이므로, 수백 개에서 수천 개에 이르는 노드들에 대한 정보를 가진 라우팅 테이블을 유지하고 관리하는 것은 사실상 힘들다.

다음 절에서는 센서네트워크에서의 대표적 알고리즘을 분석한다. Directed Diffusion 은 Table-driven 방식이고, MCF 방식은 on-demand 방식의 예이다.

3.1 Directed Diffusion

Directed Diffusion 은 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다.

Directed Diffusion 에서 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest 로 표현된다. interest 는 싱크에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 gradient 가 설정된다. 이때, 데이터는 다중 경로를 통해 요청 노드로 전송된다. 더 이상의 플러딩을 막기 위해 경로들 중 전송 품질이 좋은 몇 개의 경로들이 강화(reinforcement)되어, 강화된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어진다.

Directed Diffusion 의 이러한 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정 기간 동안 질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의(persistent query)에 적합하다. 그러나, 경로를 단지 한번만 사용하는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가진다. 이 프로토콜에서는 전송 경로의 중간 노드에서 데이터가 모이지므로 인접 노드들이 유사한 데이터를 가지는 센서 네트워크의 특성을 완전하게 이용하지 못한다. 또한 전송품질이 좋은 네트워크 구성을 위한 일정 시간이 걸리므로, 긴급한 상황과 같은 SIT2 경우엔 부적합한 알고리즘이다.

3.2 MCF(Minimum Cost Forwarding Algorithm)

이 기법은 센서 네트워크에서 데이터 흐름이 항상 싱크를 향한 방향으로 이루어지는 특성을 이용하였다. 이 기법에서 센서 노드는 유일한 ID 나 메시지를 전송할 라우팅 테이블을 가질 필요 없이 싱크까지의 최소 비용 측정치만을 관리한다.

최소 비용 측정치를 관리하는 동작은 그림 1 과 같다.¹

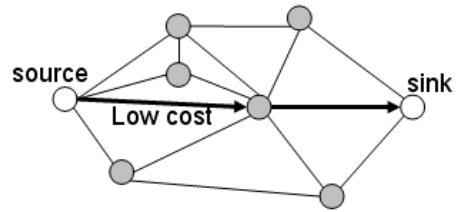


그림 1. 에너지에 따른 경로설정

싱크에서 비용이 0 으로 설정된 광고 메시지를 방송한다. 각 노드는 초기에 무한대로 설정된 측정 집합을 가진다. 노드가 광고 메시지를 수신하여 메시지의 측정치와 해당 메시지를 수신한 링크의 비용의 합이 현재의 측정치보다 작다고 판단하면, 이 값으로 현재의 측정치와 광고 메시지의 측정치를 갱신한다. 새로운 비용 측정치로 광고 메시지가 갱신된 경우에만, 해당 광고 메시지를 전송하고, 그렇지 않은 경우에는 제거한다. 이러한 과정을 통하여 네트워크 전체에 비용 필드가 구성된다.

비용 필드를 기반으로 각 노드는 전송될 각 데이터 메시지를 방송하고, 데이터 메시지를 수신한 노드는 자신이 소스 센서 노드와 싱크간의 최소 비용 경로에 있는지 체크하여, 해당하는 경우에만 메시지를 방송한다.

노드에서 여러 번의 갱신이 일어나거나 여러 번의 전송을 수행하고, 싱크에서 멀리 떨어진 노드들이 더 많은 갱신이 일어날 수 있는 점을 해결하기 위하여, 현재 비용 측정치를 갱신할 때 백오프 기법을 적용하여, 갱신 시간으로부터 광고 메시지를 수신한 링크 비용의 정수배의 시간이 경과한 후에 광고 메시지를 전송하도록 한다.

MCF 알고리즘은 비용설정이 완료된 후에는 데이터 전달이 가장 짧은 경로를 이용하여 이루어지므로 대기 시간에서 장점을 가질 수 있고, 멀티캐스트 역시 가능하므로 노드 손실에 대한 강인성을 가진다. 이러한 라우팅 기법은 SIT2 와 같은 상황처럼 긴급한 상황과 잘 어울린다. 하지만 비용설정 시간이 센서 노드수의 증가에 비례하여 증가하고, 모든 노드가 구별 가능한 아이디를 가져야 하므로 확장성에서 단점을 가진다.

III. 제안 모델 설계 및 구현

1. 클러스터 기반 적응형 알고리즘(Cluster-Based Adaptive Routing Algorithm: CARA)

¹ This work was supported by HY-SDR Research Center at Hanyang University, Seoul, Korea, under the ITRC Program of MIC, Korea

2 절에서 살펴본바와 같이 센서 네트워크 환경에서는 그 상황에 맞는 여러 가지 알고리즘이 존재한다.

하지만 한 상황에만 국한되어 있기 때문에 환경변화에 따른 알맞은 알고리즘을 적용하지는 못한다.

이번 절에서는 클러스터 기반의 환경 적응적 라우팅 알고리즘 CARA 을 제안하고, 적용방안에 대해 제시한다.

CARA 는 클러스터 기반의 데이터 전송 기법으로써 전송되는 Packet 량을 줄여 센서 노드들의 에너지를 절약하는 점이 특징이다.

2. 모듈 구분

센서노드에 탑재되어있는 알고리즘 재구성은 SINK 노드에서 보내는 비콘 프레임에 의해 결정된다.

비콘 프레임에 현재 상황을 알리는 sequence data 를전송하고, sequence number 를바탕으로 CARA 가 동작하게 된다. 그림 2 는 비콘 프레임에 따라 라우팅이 적용되는 순서를 보여준다.

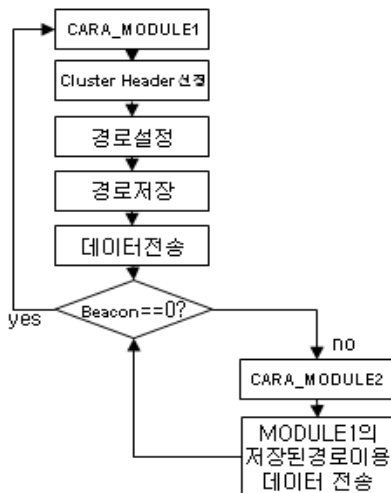


그림 2. CARA ROUTING

초기엔 SIT1 환경에 맞는 저전력 라우팅 모듈이 수행된다. 우선 Cluster 기반으로 Header 를 선정한다. Header 선정은 노드의 남은 전력량이 많을수록 우선순위가 높아진다. 전력을 우선순위로 Header 를 정함으로써 전체적인 노드 라이프타임을 늘릴 수 있다. Header 가 선정된 후엔 주위의 센싱 데이터를 수집하게 된다. 수집된 데이터는 일정 주기로 SINK 노드에 전달되는데 비콘 프레임에서 스케줄링 하게 된다.

각 Cluster Header 의 경로설정은 주위 노드의 전력량을 감지하여 높은 순으로 라우팅에 참여하도록 한다. 단 1 hop 사이의 전송 전력소모가 임계값(전력소모 한계값)을 넘으면 다른 노드로 라우팅 경로를 설정한다.

Distance 와 전력량을 고려해서 노드를 설정하는 것은 다음과 같다.

$$dx(y) = \min_v \{c(x,v) + dv(v)\} \quad (1)$$

dx(y)는 x 와 v 노드 사이의 최소 비용을 나타내고, c(x,v)간의 거리 비용과 dv(v)의 전력량을 더하여 min 값을 취한다.

그림 5 에선 ClusterHeader2 가 Header3 을 선택하지 않고, Header1 을 선택하고 있다. Header2 의 남은 전력이 가장 많이 남아 있더라도, 전송되는 전력 소모가 일정 임계값을 넘으면 다른 경로가 설정되는 것을 보여 준다.

비콘 프레임에 저장된 Sequence Number 가 0 인 경우 SIT1 에 맞는 알고리즘이 선택되고, 1 인 경우 SIT2 에 맞는 알고리즘이 선택된다.

SIT1 은 지속적인 데이터 전송을 요구하고, 오랜기간동안 데이터 수집을 하기위한 저전력 알고리즘이 적합하다. SIT2 에서 요구되는 사항은 신속하고 정확한 데이터 전송이다. 이 상황에서도 Cluster Header 기반의 라우팅을 지속하고, 가장 에너지가 많은 노드가 데이터 전송에 참여하도록 한다. SIT1 에서의 라우팅과 틀린점은 실시간으로 경로를 설정한다는 점이다. SIT2 에서는 각 노드의 구성이 시시때때로 변하고, Fault 가 발생하는 노드가 많기 때문에 이벤트가 발생할때마다 라우팅 경로를 재설정할 필요가 있다.

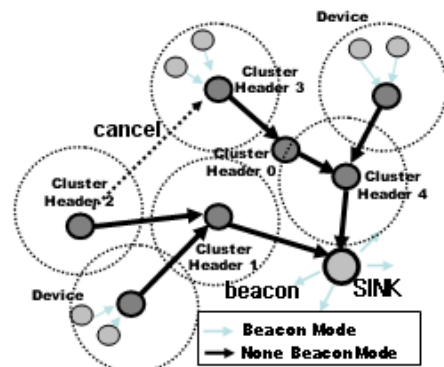


그림 3. CARA 기본동작

2.1 모듈 1의 동작원리

SIT1에 적용될 라우팅으로, 다음과 같은 절차를 갖는다.

Step 1. 전체 Source 노드는 비콘 프레임을 받고 일정기간을 주기로 데이터를 수집한다.

Step 2. Cluster Header 노드는 전체적인 라이프타임을 늘리기 위해 가지고 있는 에너지 잔량을 브로드캐스팅 하여 이웃노드에 알리고, 가장 많은 전력을 가지고 있는 노드를 Header로 선정한다. Cluster Header가 된 노드는 자신이 Cluster Header임을 알리는 advise 메시지를 전송한다.

Step 3. Source 노드에서 수집한 데이터는 자신이 속한 Cluster의 Header 노드로 전송한다. 이때 각각의 전송방법은 TDMA 기법을 따르고, 데이터 충돌을 방지한다. 또한 메타 데이터를 이용하여 중복 메시지 검사를 하고, 중복 메시지의 경우엔 데이터 전송을 취소한다.

Step 4. 수집된 주변 노드의 데이터는 비콘 노드정보에 따라 일정시간이 되면 SINK 노드에 전송된다. 데이터 전송은 에너지 잔량이 많은 노드로 우선순위를 두고 전송된다.

2.2 모듈 2의 동작원리

긴급한 상황이나 빠른 데이터 전송을 필요로 하는 SIT2에 적합한 라우팅 알고리즘으로 다음과 같은 절차를 갖는다.

Step1. 전체 Source 노드는 비콘 프레임의 정보를 받은 후 정보 수집을 시작한다.

Step2. SIT1에서 정한 Cluster Header를 그대로 수용하고, 라우팅에 참여시킨다.

Step3. Source Node에서 수집된 데이터를 Cluster Header에서 수집한다.

Step4. 수집된 주변 노드의 데이터는 비콘 노드 정보에 따라 일정시간이 되면 SINK 노드에 전송된다. 일정기간동안 SIT1 환경에서 저장된 라우팅 경로를 그대로 수용하고, 그 후엔 모듈 1의 알고리즘을 OnDemand 방식으로 수행한다.

IV. 제안모델 테스트

본장에서는 클러스터기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜의 성능 평가를 위한 실험을 수행한다.

1 실험 환경

본 논문에서 제안된 라우팅 프로토콜은 표 1과 같은 환경에서 구현되었다.

표 1. 개발환경

| | |
|---------------|-----------------------|
| 개발환경 | 세부사항 |
| 개발 플랫폼 | WindowXP Professional |
| OS | Nano-Qplus |
| Memory upload | Ponyprog |

시뮬레이션은 장애물이 없는 운동장에서 이루어졌으며, 잘 알려진 flooding 기법의 라우팅과 비교 테스트해 보았다. 또한 모듈 1과 모듈 2에 대한 각각의 성능 평가도 시행하였다.

2 실험 결과

첫 번째 실험은 소스노드의 수를 변화 시키면서 두 라우팅의 성능을 비교분석하였다.

이 실험에서 적용된 알고리즘은 CARA 라우팅 중 모듈 1에 관련된 알고리즘이다.

그림 6에서와 같이 Cluster 기반의 CARA 라우팅이 약 30% 이상의 에너지 효율을 갖는 것을 볼 수 있다.

결과는 Cluster Header 노드만 에너지 전송에 참여시키고, Cluster Header의 균등한 선택에 의해 라이프타임이 늘어났기 때문이다.

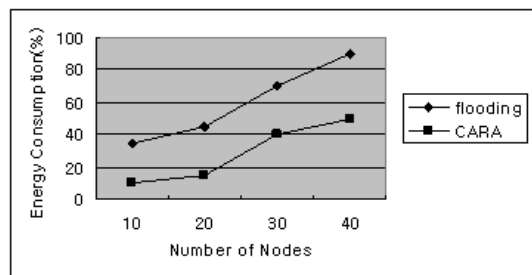


그림 4. SIT1에서의 에너지 소비 비교

두 번째 실험은 CARA 라우팅 중 모듈 2 에 관한 실험이다. 이 경우는 홍수나 산불과 같은 급한 상황에서 적용되는 라우팅 기법으로 신속하고, 정확한 데이터 전송을 요구한다.

그림 5 에서는 플러딩에 비해 노드 수에 따라 얼마나 정확한 데이터를 전송하는지를 알려준다.

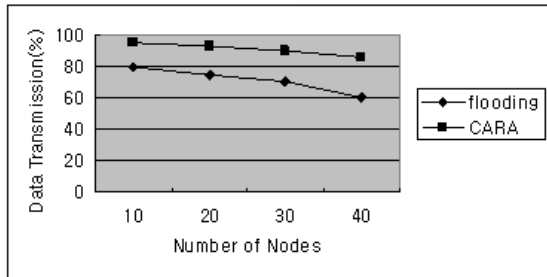


그림 5. SIT2에서의 에너지 전달 성공률

이 실험에서는 CARA 의 모듈 2 라우팅이 일반 플러딩에 비해 약 10%이상씩 데이터 전송 확률이 높다는 것을 알 수 있다. 이런 결과는 Distance 와 노드의 전력량을 검사하여 신뢰성있는 경로를 설정한데 따른 결과이다. 반면에 플러딩은 경로설정을 경로설정 에 필요한 여과과정이 없기 때문에 노드수가 증가 할 수록 데이터 전송률도 조금씩 떨어지는 것을 알 수 있다.

V. 결론

일반적인 센서 라우팅 알고리즘은 특정상황에만 국한되어 환경변화에 대처할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 단점을 해결하기 위하여, 다양한 환경에 대처할 수 있는 방법으로 클러스터 중심의 라우팅 알고리즘 CARA (Cluster-Based Adaptive Routing Algorithm)를 제안하였다.

실험 결과 CARA 의 동작은 변화하는 환경에 재구성되어 기존의 라우팅(flooding)에 비해 전력의 소비가 감소 한 것을 알 수 있었다.

실험 1 에서는 SIT1 에 적용되는 모듈 실험으로, 전력 손실 실험을 통해서 기존의 플러딩 알고리즘과 비교하여 전력 효율이 약 30%이상 향상됨을 입증하였다.

실험 2 에서는 긴급 상황에 대처한 알고리즘 실험으로 데이터 전송에 대한 신뢰성이 향상되었다. 이러한 데이터는 Cluster Header 를 이용한 데이터 전송과

Distance 와 전력량에 따른 경로 계산이 큰 요인이 되었음을 알 수 있었다.

VI. 참고문헌

- [1] S. Tilak, N. B. Abu-Ghazaleh, W. Heinzelman, "A Taxonomy of wireless Micro-Sensor Network Mobils", ACM Mobile Computing and Communication Review, Vol.6, Num.2, April 2002
- [2] Martin Kubisch, Holger karl, Adam Wolisx, Sizhi Charlie Zhong, Jan Rabaey, "Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor networks", IEEE Wireless Communications and Networking. Mar. 2003, vol.1, pp.558 -563
- [3] Fan Ye, Haiyun Luo, Jerry Cheng, Songwu Lu and Lixia Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks", MOBICOM 2002.
- [4] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and ErdalCrayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine. Vol.40, No.8, Aug.2002.
- [5] Mark Stemm and Randy H Katx, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices," IEICE Transactions on Communications, vol. E80-B, no.8, pp.1125-1131, Aug.1997.