

향상된 성능을 갖는 Directed Diffusion 알고리즘의 개발

Development of Directed Diffusion Algorithm with Enhanced Performance

김성호 · 김시환

Sung-Ho Kim and Si-Hwan Kim

군산대학교 전자정보 공학부

요 약

센서 네트워크는 다수의 센서 노드들이 싱크노드와 데이터 중심(Data centric) 기반으로 통신을 하게 되며 이때 사용되는 라우팅 알고리즘 중 하나가 Directed Diffusion 알고리즘이다. Directed Diffusion은 싱크노드의 named data 질의에 기반을 둔 라우팅 프로토콜로 다수의 소스 노드와 다수의 싱크 노드의 상황에서도 효율적으로 동작한다는 점과 각각의 질의에 의한 라우팅 경로 상에서 데이터 융합(agggregation) 과 caching을 수행할 수 있다는 장점을 갖는다. 그러나 강화된 gradient 경로를 얻기 위해 요구되는 부담이 크다는 단점을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 interest 패킷에 hop-count를 도입함으로써 gradient가 과다하게 설정되는 것을 제한함으로써 에너지 사용 효율을 높일 수 있는 개선된 Directed Diffusion 알고리즘을 제시한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 유용성을 확인하고자 한다.

Abstract

Sensor network is subject to novel problems and constraints because it is composed of thousands of tiny devices with very limited resources. The large number of notes in a sensor network means that there will be some failing nodes owing to the lack of battery in sensor nodes. Therefore, it is imperative to save the energy as much as possible. In this work, we propose energy efficient routing algorithm which is based on directed diffusion scheme. In the proposed scheme, some overloads required for reinforcing the gradient path can be effectively eliminated. Furthermore, in order to verify the usefulness of the proposed algorithm, several simulations are executed.

Key Words : Sensor Network, Directed Diffusion.

1. 서 론

가까운 미래에, 향상된 마이크로프로세서의 성능, 메모리, 무선 기술로 무선 통신에 사용되는 노드는 작고 저렴해질 것이다. 이러한 무선 노드에 예측 능력을 갖는 장치를 사용함으로써 광범위한 지역을 효과적으로 모니터링 할 수 있게 하는 센서 네트워크 기술이 최근 각광을 받고 있다. 이러한 센서 네트워크는 정보 취득에 획기적인 향상을 가져오며 자연 재해를 감시하는 환경 감시, 건강관리, 군 작전지역에서 군사적인 목적으로 널리 사용될 수 있다. 특히, 최근에는 유비쿼터스 홈 네트워킹 등에 적용되어 인간에게 보다 편리한 세상을 열어주게 될 것으로 기대 된다.

센서 네트워크는 이동성을 갖는 다수의 센서노드들로 구성되기 때문에 네트워크 토폴로지가 자주 변경된다는 특징과 한정된 배터리 전원으로 효율적으로 구동되어야 한다는 특징을 갖는다. 따라서 시스템 설계 시 일부 노드들의 고장으로 인하여 전체 네트워크의 영향을 최소화함과 동시에 저 전력 설계가 필수적으로 요구된다. 특히 저 전력 설계와 관련하여

센서 네트워크의 센서 노드는 계속뿐만 아니라 중계 기능까지도 하게 되므로 전원의 부족으로 인해 작동하지 못하게 된다면 전체 네트워크의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 센서 노드와 관련된 하드웨어, 프로토콜, 운영체제 등의 설계 시에는 반드시 저 전력 설계 기술이 채택되어야 하며 이를 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

저 전력 프로토콜에 대한 연구는 물리 계층이나 Mac 계층뿐 아니라 네트워크층에서도 고려되어야 한다. 특히 네트워크층에서 처리되는 라우팅 프로토콜은 가장 활발히 연구되는 분야이다. 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 크게 data centric, 위치 기반, 클러스터 기반의 라우팅으로 분류될 수 있다. 또한 구조적으로 분류하면 Flat 모델과 hierarchical 모델로 분류할 수 있으며 data centric은 Flat 구조의 센서 네트워크에서 주로 사용된다. 저 전력 라우팅 프로토콜로는 다음 설명하는 몇 가지 라우팅 프로토콜을 들 수 있다[1].

SPIN(Sensor Protocol for Information via Negotiation)은 데이터를 취득한 센서 노드가 주변 노드에게 ADV 메시지를 브로드캐스트하고 필요한 데이터라고 판단한 주변 노드가 REQ 메시지를 응답하는 Data-Centric 기반의 라우팅 프로토콜 중 가장 먼저 제안된 알고리즘이다[2]. 또한 Rumor Routing 알고리즘은 Directed Diffusion 이 가지고 있는 Interest 메시지에 의한 오버헤드를 줄이기 위해서 제안된 알고리즘이다[3]. 하지만 Rumor Routing 알고리즘은 네트워크의 규모가 작은 경우에만 효과를 볼 수 있다는 적용상의 한

접수일자 : 2005년 10월 21일

완료일자 : 2005년 12월 5일

감사의 글 : 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-000-11088-0)지원으로 수행되었음.

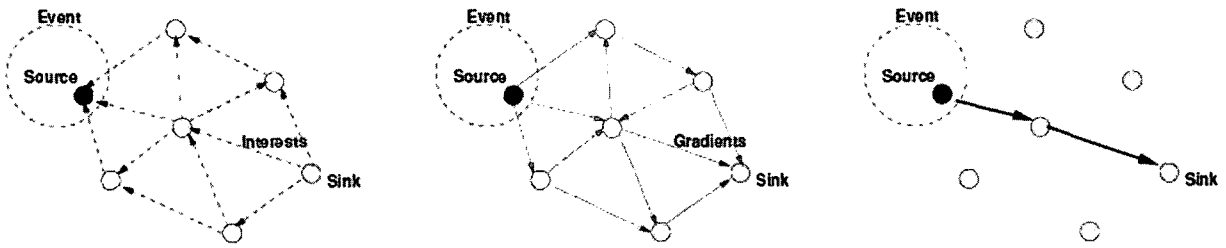


그림 1. Interest 메시지에 의해 gradient가 설정되는 과정
Fig. 1. Setup process for determining gradient by using Interest message

계를 갖는다. 이밖에도 위치 정보를 이용하는 LAR(Location Aware Routing), GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing), 네트워크의 센서노드를 클러스터로 관리하는 LEACH 등을 저 전력 센서 네트워크 라우팅 프로토콜이라 할 수 있다[4-6].

본 연구에서는 Directed Diffusion의 data propagation시에 에너지를 낭비하는 문제를 해결하기 위해 hop-count를 사용한 개선된 data propagation 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 유용성을 확인하고자 한다.

2. Directed Diffusion 알고리즘의 개요

Directed Diffusion은 Data-Centric기반의 라우팅 프로토콜이다[7-8]. Data-Centric 라우팅 프로토콜은 싱크 노드가 데이터를 얻고자 할 때 네트워크에 원하는 데이터를 요구하는 On-Demand 방식으로 네트워크가 동작한다. Data-Centric 라우팅 프로토콜에서는 소스노드(Source Node)는 데이터를 보내기만 하고 싱크노드(Sink Node)는 이러한 데이터를 받고 또한 데이터를 요구하는 기능을 수행한다. Directed Diffusion 알고리즘에서는 Interest-data propagation-reinforcement 의 과정으로 라우팅 경로가 결정된다.

2.1 Directed Diffusion의 기본 동작

싱크노드는 아래와 같이 속성과 값의 쌍으로 이루어진 Interest 메시지를 생성하고 주변에 존재하는 다수의 센서 노드들에게 이를 전송한다.

```
type = big-animal // 동물을 발견
interval = 1s // 1s 마다 데이터를 보고
timestamp = 10:30:20 // 메시지 발생 시간
expiresAt = 10:40:20 // 메시지 소멸 시간
```

위와 같은 Interest 메시지를 수신 받은 센서 노드는 Interest 메시지를 송신한 노드에 대해 gradient를 설정하며 이 과정은 그림 1과 같다. 설정된 gradient는 데이터 전송과정(data propagation process)중에 싱크 노드를 찾는 루트로 사용된다. 센서 노드는 Interest를 expiresAt에 명시된 시간 동안 저장해 두었다가 big-animal을 만족시키는 센서 값을 얻었을 때 interval로 설정된 1초 마다 Interest 전송 과정 중에 설정되었던 gradient를 통해 싱크 노드로 데이터를 전송하게 된다. 데이터를 전달 받은 싱크 노드는 가장 빠르게 도착한 노드에게 reinforce를 설정하며 이러한 방식으로 소스

노드까지 reinforce가 설정된다면 이후부터는 소스노드로부터 싱크노드로의 데이터 전송은 보강 경로(reinforced route)를 경유하여 전송 된다.

2.2 Data Propagation시의 문제점

Directed Diffusion 알고리즘은 다음과 같은 문제점을 갖는다. 그림 2 에서 볼 수 있듯이 이벤트가 발생한 A 노드와 싱크 노드 간에 통신을 할 경우, B 노드나 C 노드는 데이터 전송과 직접적인 관련이 없는 노드들임에도 불구하고 Interest - data propagation - reinforce 과정에 참여함으로써 다량의 에너지를 소비하게 된다. 또한 Interest 메시지를

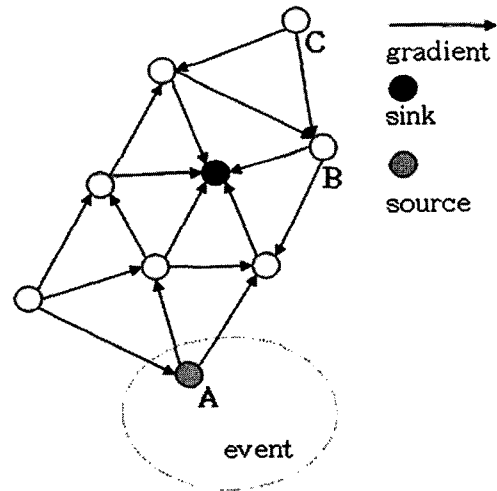


그림 2. Directed Diffusion 알고리즘의 문제점
Fig. 2. Problem of Directed Diffusion algorithm

전송 받은 노드는 Interest 메시지를 송신한 모든 노드들에 대해 gradient를 설정하게 되며 이렇게 설정된 gradient는 data propagation 과정 중에 이들 gradient들을 사용하여 데이터를 싱크노드에 전송하게 된다. 이때 싱크 노드 방향으로 data 메시지를 인도하는 목적의 gradient가 싱크노드와 반대 되는 방향으로 설정될 수 있다. 이러한 싱크노드와의 반대 방향에 있는 gradient를 통해 데이터가 전송될 때 수신 받는 노드나 송신하는 노드는 데이터의 전송이 완료되기 이전에는 필요 없는 데이터로 판단할 수 없다. 그리고 수신 받는 노드는 데이터를 완전하게 받은 후에 이 패킷이 필요 없다고 판단하고(이미 다른 노드를 통해서 같은 데이터 패킷을

받았을 것이기 때문이다.) 폐기하게 된다. 이 문제는 싱크 노드 방향으로 gradient가 설정된다면 해결될 수 있는 문제이다. 이에 본 연구에서는 hop-count를 사용해 Interest 메시지에 의해 gradient를 설정하는 부분을 억제하고자 한다. 싱크 노드로 데이터를 인도하기 위한 최소의 gradient 설정으로 인하여 불필요한 Interest 포워딩과 data propagation 과정에서 발생하는 통신 낭비를 막을 수 있게 된다.

2.3 hop-count를 사용한 Interest-gradient의 설정

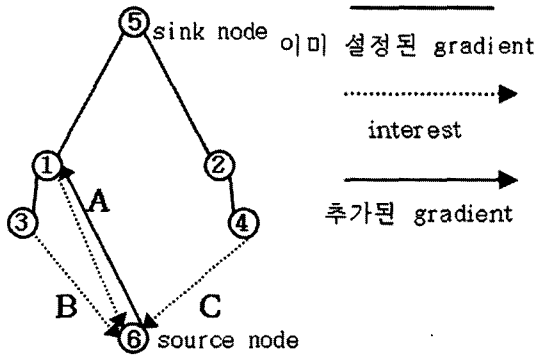


그림 3. Interest 메시지에 hop-count를 사용할 경우의 gradient 설정 과정

Fig. 3. Gradient setup process in case of using hop-count within Interest message

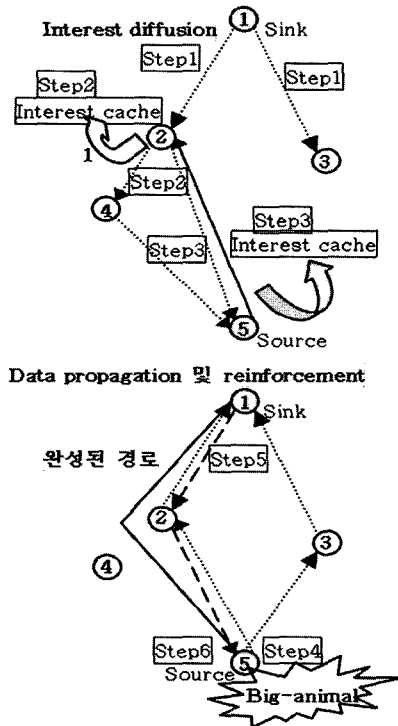


그림 4. hop-count를 이용한 Directed Diffusion 알고리즘의 동작도

Fig. 4. Procedure of Directed Diffusion algorithm using Hop-count

상기의 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Interest 메시지의 헤더에 hop-count를 추가함으로써 Interest 메시지를

받은 노드는 규정한 hop-count 내의 것만을 합당한 Interest 메시지로 판단하고 그 이외의 Interest 메시지는 무시한다. 이렇게 되면 싱크노드에서 센서노드까지 최단 경로로 gradient가 설정되기 때문에 각각의 센서노드는 자연스럽게 최단 경로에 해당하는 gradient 만을 갖게 된다. 상기 과정을 나타내면 그림 3과 같으며 그림에서 노드 ①, ③ 이 소스노드로 Interest를 송신하는데 최소 hop-count에 해당하는 A 경로(①-⑥)만이 gradient로 선정되는 과정을 보여준다.

상기의 hop-count를 도입한 수정된 Directed Diffusion 알고리즘의 전체 동작을 나타내면 그림 4와 같으며 제안된 기법의 자세한 동작 시퀀스는 표 1과 같다. step 1에서 step 3까지는 big-animal 이벤트를 모니터링하기 위한 Interest 메시지의 diffusion 과정이고 step 4에서 step 6은 big-animal 이벤트가 발생한 소스노드에서 싱크노드로 데이터 전송이 이루어지기 위한 data propagation - reinforcement 과정이다. hop-count 기법을 사용한 Directed Diffusion은 통신 과정에서 에너지 효율적으로 동작하는 것 이외에도 충돌을 방지하는 부가적인 효과도 있다. 싱크노드는 주기적으로 Interest를 주변의 센서노드들에게 전송하는데 이때 이전에 설정된 소스노드의 데이터 패킷과 싱크노드

표 1. hop-count를 사용한 Directed Diffusion 알고리즘의 동작 시퀀스

Table 1. Sequence of Directed Diffusion algorithm by using hop-count within Interest message

동작 step	내용
step 1	big-animal을 발견한 노드가 있는지에 대한 Interest 메시지를 생성하고 이를 주변 노드들에게 전송 한다.
step 2	싱크노드로부터 Interest 메시지를 전송받은 ②노드는 big-animal의 전용 라우팅 테이블에 Interest 메시지의 송신자인 싱크노드의 ID를 저장하고 Interest 메시지를 주변노드에 포워딩 한다. 이때 가장 먼저 도착한 Interest의 hop-count를 minimum hop-count로 설정 한다. 이후에 Interest를 수신하게 되면 이 minimum hop-count와 비교하여 라우팅 테이블에 저장할지를 결정한다.
step 3	소스노드는 ②노드로부터 hop-count가 하나 증가된 Interest 메시지를 받고 step 2의 과정을 수행한다. 이후에 소스노드는 ④노드로부터도 Interest 메시지를 받게 되지만 ②노드로부터 설정된 minimum hop-count 때문에 수신된 Interest 메시지는 무시된다.
step 4	소스노드는 big-animal 이벤트를 감지하고 설정된 gradient로 해당 데이터 메시지를 전송한다.
step 5	싱크노드까지 데이터의 전송이 완료되면 가장 먼저 도착한 경로를 선택하여 reinforcement 메시지를 전송 한다. 이는 이벤트를 모니터링하기 위해 interval 시간을 최소로 설정한 특별한 메시지이다.
step 6	reinforcement를 수신한 노드는 step 5와 같이 가정 먼저 데이터 메시지가 송신된 노드에 reinforcement를 설정한다. 결국 소스노드까지 reinforcement가 설정된 다면 소스노드로부터 싱크노드까지 높은 data-rate로 라우팅 경로가 설정된다.

로부터 방송된 Interest 메시지가 동시에 송수신되기 때문에 네트워크는 과도한 패킷이 경쟁하는 상태가 되고 근접 노드 간의 패킷 충돌이 발생한다. hop-count를 사용한 기법은 기존의 Directed Diffusion 기법에 비해 보다 적은 Interest 메시지와 데이터 메시지를 사용하기 때문에 자연스럽게 충돌이 감소하게 된다.

3. 모의실험

제안된 알고리즘의 유용성 확인을 위해 본 연구에서는 네트워크 모의실험에 많이 사용되는 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 상황은 표 2과 같으며 일정한 공간 안에 30 개의 노드를 임의적으로 배치하고 특정의 초기 에너지에 따라서 전체 노드의 에너지가 소모되어 네트워크가 동작하지 않을 때까지의 시간을 시뮬레이션 하였다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameters

파라미터	값
초기 에너지	30 J
Tx power	0.660 J
Rx power	0.395 J
idle power	0.035 J
field dimension	800m x 800m
Interest size	36 byte
event size	64 byte
sink node	3

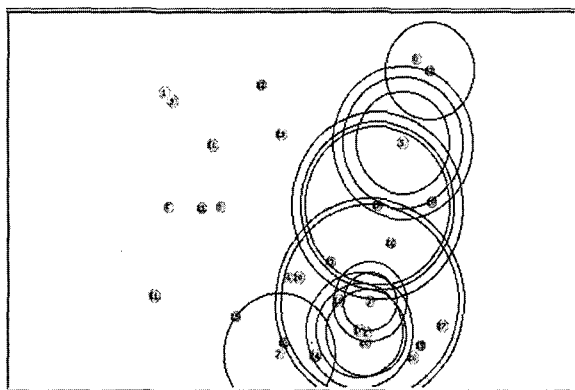


그림 5. nam을 사용한 ns-2 시뮬레이션 상황
Fig. 5. Simulation situation via nam of ns-2 simulator

그림 5는 ns-2 의 시뮬레이션 결과 값을 가지고 nam (network animator)을 사용하여 패킷들이 이동하는 모습을 그래픽으로 확인한 모습이다.

본 연구에서는 기존의 Directed Diffusion 알고리즘과 hop-count를 사용한 개선된 Directed Diffusion 알고리즘의 모든 파라미터를 동일하게 설정하고 두 알고리즘의 차이를

비교하였다.

3.1 시간 경과에 따른 평균 잔존 에너지 측정

그림 6은 hop-count 기법을 사용한 Directed Diffusion 기법과 기존 Directed Diffusion 간에 30J의 초기 에너지를 가지고 시간 경과에 따른 네트워크에 참여하는 노드의 평균 잔존 에너지를 보여 준다. 기존 알고리즘은 243.9138s동안 동작하였고 hop-count를 사용한 알고리즘은 400.0632s동안 동작하였다. 이와 같은 결과로 hop-count를 사용한 Directed Diffusion이 기존 알고리즘에 비해 에너지 효율이 우수함을 확인 하였다. 이것은 hop-count 기법은 데이터 전송 시에 보다 적은 노드를 사용하게 되고 이 때문에 보다 에너지 효율적임을 알 수 있다.

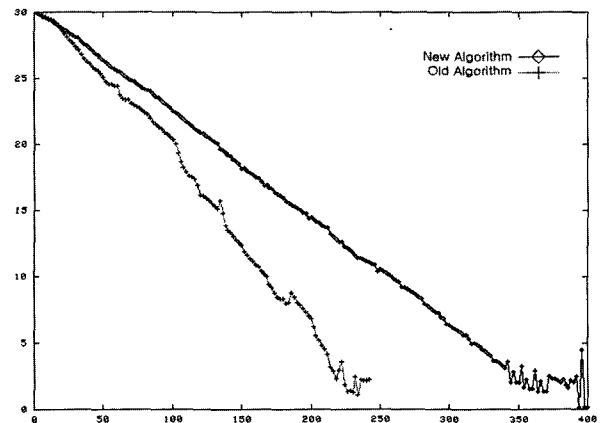
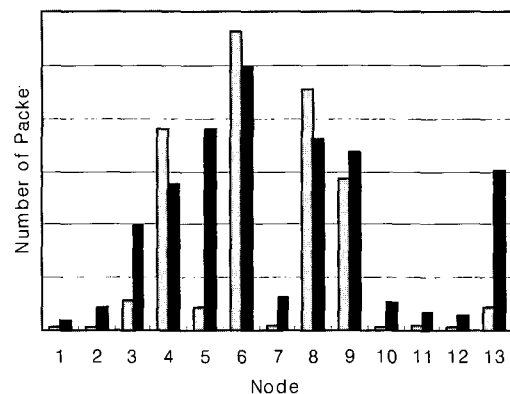


그림 6. 시간 경과에 따른 평균 에너지 잔량
Fig. 6. Average energy remained in the network according to the time lapse

그림 7과 표 3은 각각의 노드의 gradient와 송수신 패킷을 기존 알고리즘과 hop-count기법을 사용한 알고리즘 사이에서 비교한 것이다. 그림에서 보듯이 적은 gradient 수로 인하여 송수신 패킷의 수에 차이가 남을 확인할 수 있다. 개선된 알고리즘에서 그림 7과 표 3의 ⑥번 노드는 1개의 gradient 만 설정되어 있음에도 불구하고 가장 많은 패킷을 사용하였



□ hop-count를 적용한 알고리즘 ■ 기존 알고리즘

그림 7. 패킷 송수신 비교
Fig. 7. Comparison of packet exchanges

표 3. gradient 설정 개수의 비교
Table 3. Comparison of number of setup gradients

노드	개선된 알고리즘	기존 알고리즘
1	1	2
2	1	3
3	1	14
4	2	14
5	1	11
6	1	5
7	1	5
8	8	9
9	1	5
10	2	4
11	3	3
12	1	3
13	2	11

다. 즉, ⑥번 노드는 많은 노드의 라우팅 경로로 사용된다고 간주할 수 있다. 이는 다수의 데이터 메시지들을 병합(aggregation)하는 기능을 하게 된다.

3.2 시간 경과에 따른 Drop 패킷 측정

그림 8은 시간 경과에 따른 충돌(Collision)로 발생 하는 패킷의 Drop수를 측정한 그래프이다. 기존 Directed Diffusion 알고리즘은 그림에서 볼 수 있듯이 일정한 주기마다 급격한 충돌일 일어남을 확인할 수 있는데 이것은 싱크노드에서 Interest 메시지를 새로 방송하는 시기이다. 3.1 절에서도 언급했듯이 Interest의 방송과 기존 소스노드에서 전송되는 데이터 메시지의 간섭으로 인해서 많은 충돌이 일어난다. 충돌이 발생한 노드는 메시지 전송을 완료하기 위해 에너지 소모가 많아지고 다른 노드에 비해 수명이 단축되게 된다. 그래서 시뮬레이션 후반부에 갈수록 보다 많은 에너지 소모가 발생한다. 실제로 그림 6에서의 확인한 성능차이는 일정한 주기마다 일어나는 급격한 충돌에 기인한다고도 볼 수 있다.

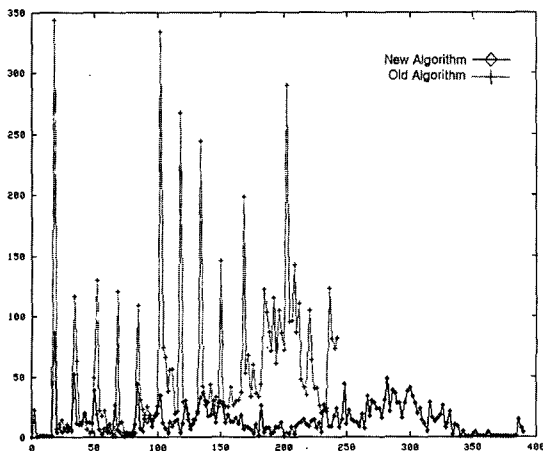


그림 8. 시간 경과에 따른 Drop 패킷의 수
Fig. 8. Number of dropped packets according to time lapse

3.3 초기 에너지에 따른 네트워크 수명 비교

그림 9는 기존 알고리즘과 hop-count를 사용한 알고리즘 간의 초기 에너지에 따른 비교이다. 초기 에너지가 증가할수록 시뮬레이션 시간은 길어지게 되고 그에 따라 기존 Directed Diffusion에 비해 에너지 효율이 높아짐을 확인할 수 있다.

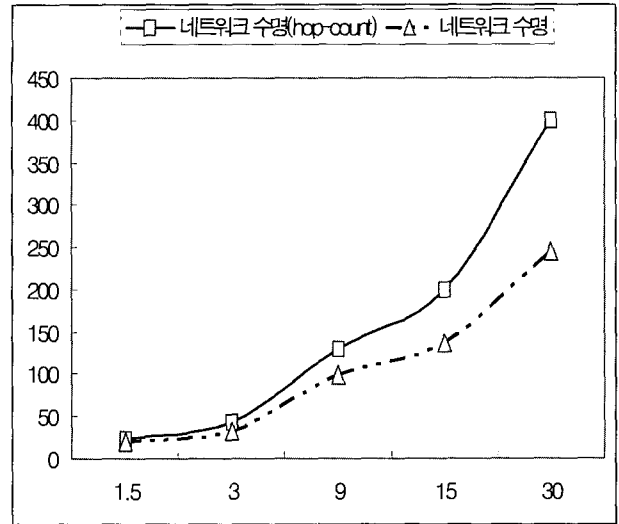


그림 9. 초기 에너지에 따른 네트워크 수명 비교
Fig. 9. Comparison of network life-time according to initial energy

4. 결 론

본 연구에서는 Directed Diffusion 알고리즘의 운영 시 발생하게 되는 Interest 메시지의 과도한 중복 전송이라는 오버헤드 문제를 해결하기 위해 Interest 메시지에 hop-count를 도입한 새로운 형태의 Directed Diffusion 알고리즘을 제안하고 이의 유용성을 시뮬레이션을 통해 입증하였다. 제안된 기법에서는 Interest 메시지에 hop-count를 도입함으로써 과도한 gradient의 설정을 효과적으로 억제할 수 있게 되며 이로 인해 사건(event) 발생을 인지한 소스노드로부터 싱크노드로의 방향으로 데이터 전송이 이루어지게 할 수 있다는 장점을 갖는다. 또한 이러한 장점으로 인해 데이터 전송 시 필요한 노드들만을 네트워크에 참여시킴으로써 쓸모없는 에너지 손실을 방지할 수 있게 됨과 Interest 메시지의 전송 시, 데이터 패킷의 충돌문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 김재현, 김석규, 이재용, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율을 고려한 MAC/라우팅 프로토콜", 2005년 7월 전자공학회지 제32권 제7호.
- [2] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks," in the Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International

저 자 소 개

Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'99), Seattle, WA, August 1999.

[3] D. Braginsky, D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," in Proc. ACM WSNA 2002, Sep. 2002, pp. 22-29.

[4] Y.-B. Ko and N. H. Vaidya. "Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks", In ACM/IEEE Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom'98), October 1998

[5] B. Karp and H.T. Kung, "Greedy perimeter stateless routing (GPSR) for wireless networks," in Proc. ACM/IEEE MOBICOM, 2000

[6] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Vol. 8, pp. 1-10, Jan 2000.

[7] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks", in the Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00), Boston, MA, August 2000.

[8] Chalermek Intanagonwiwat, John Heidemann, et al., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, No.1, February 2003.



김성호(Sung-Ho Kim)

1984년 : 고려대학교 공과대학 학사
 1986년 : 고려대학교 대학원 석사
 1991년 : 고려대학교 대학원 박사
 1995~1996년 : JAPAN HIROSHIMA
 UNI VERSITY, POST-
 DOC.
 1997~현재 : 군산대학교 전자정보공학부
 교수

관심분야 : 고장진단, 공장자동화, 임베디드 시스템 설계, 센서 네트워크

Phone : 063-469-4704
 Fax : 063-469-4704
 E-mail : shkim@kunsan.ac.kr



김시환(Si-Hwan Kim)

2004년 : 군산대학교 전자정보공학부 졸업.
 2005년~현재 : 동 대학원 전자정보공학부
 석사과정

관심분야 : 임베디드 시스템 설계, 미들웨어 설계, 센서 네트워크 설계

Phone : 063-468-8937
 Fax : 063-468-8937
 E-mail : voider@gmail.com