

논문 2006-43TC-8-8

무선 센서 네트워크에서 Directed Diffusion을 이용한 신뢰성 있는 데이터 전달 기법

(A Reliable Data Transfer Mechanism Using Directed Diffusion in
Wireless Sensor Networks)

최 재 원*, 이 광 휘**

(Jae-Won Choi and Kwang-Hui Lee)

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 Directed Diffusion을 이용하여 데이터를 신뢰성 있게 전달하는 기법을 제안하였다. 각각의 노드는 자신의 이웃에 대한 정보만을 유지하고 있으나 Interest의 전파 과정을 이용하여 종단 간의 전달 신뢰성을 계산함으로써 도달가능성이 높은 경로를 선택하여 전송하는 메커니즘이다. 링크의 에러율과 노드의 개수 변화에 따른 실험을 통하여 제안 방식이 데이터 전달 신뢰성을 향상시킨다는 사실을 확인하였다. 또한, 부가적인 효과로서 트래픽 부하가 분산되고 에너지 소비가 감소되어 네트워크 수명이 연장됨을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we have presented a reliable data transfer mechanism using Directed Diffusion in WSNs (Wireless Sensor Networks). This mechanism involves selecting a route with higher reachability and transferring data along the route chosen, which is based on the end-to-end reliability calculated by the dissemination procedure of Interest packets, while each node of a sensor network maintains the only information on its neighborhood. We performed various experiments changing the link error rates and the number of nodes and discovered that this proposed mechanism improves event-to-sink data transfer reliability in WSNs. We also found that this mechanism spreads traffic load over and reduces energy consumption, which in turn prolongs network lifetime.

Keywords : Wireless Sensor Networks, Reliability, Directed Diffusion

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 특정한 응용을 위한 것으로서 센서 노드들이 데이터를 감지하고 수집하여 싱크 노드로 전송하는 구조이며, 각각의 노드는 여러 개의 작은 장치들로 구성된다^[1]. 센서 노드는 일반적으로 악조건의 환경에 조밀하게 배치되며 배터리 전원으로 동작하므로, 배터리는 충전되거나 교체될 수 없다고 가정한다.

이러한 이유로 인하여 무선 센서 네트워크의 모든 프로토콜과 일련의 동작들에는 에너지에 대한 제약이 뒤따른다. 따라서 무선 센서 네트워크 분야에서의 많은 연구들은 개별 센서 노드의 에너지 효율을 향상시키고 네트워크 전체의 수명을 연장시키는데 초점이 맞추어져 있다^[2, 3]. 최근에는 프로세서, 메모리, 센서 등의 하드웨어 기술의 발달로 인하여 노드가 더욱 작아지고 저렴해지는 상황이지만, 여전히 에너지는 가장 큰 고려사항이다. 또한, 응용 분야가 다양해짐에 따라 정확성이나 신뢰성, 실시간 등의 요구사항이 늘어나고 있다.

이상에서 언급한 바와 같이, 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 고려사항 이외에도 데이터의 특성에 따라 다른 QoS를 제공할 필요가 있다^[4, 5]. 본

* 학생회원, ** 정회원, 창원대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, Changwon
National University)

※ 본 논문은 정보통신부의 정보통신기초기술연구지원
사업(B1220-0601-0040)으로 수행된 결과의 일부임.
접수일자: 2006년6월2일, 수정완료일: 2006년8월18일

논문에서는 데이터 중심적인 라우팅 기법 중의 하나인 Directed Diffusion^[6-8]을 이용하여 데이터 전달 신뢰성을 향상시키고자 한다. 이것은 군사 및 환경 감시와 같은 응용에서 신뢰성에 민감한 데이터에 대하여 도달가능성을 높이기 위함이다. 또한, 오류가 심한 무선 링크에서 재전송으로 인한 에너지 소비를 방지하는 것이다.

데이터 전달 신뢰성에 대한 기존의 많은 연구들은 ACK/NACK에 기반하거나 지역적 추정 확률값에 따라 경로를 설정한다^[9-11]. 전자의 경우는 전송 오류 시에 데이터를 다시 전송하는 기법으로서 재전송으로 인하여 추가적인 에너지가 소비된다. 후자의 경우는 불확실성으로 인하여 백프레셔(back pressure)를 야기할 수 있으므로, 이 방식 또한 신호 및 데이터 재전송으로 불필요한 에너지가 낭비된다. 본 논문에서 제안하는 메커니즘은 지역 정보를 이용하여 종단 간(event-to-sink)의 전달 신뢰성을 향상시키는 기법이다. 즉, 이웃 노드에 대한 링크 에러율을 이용하여 싱크 노드까지의 신뢰성 값을 반복적으로 계산한 값을 Interest에 포함시켜, 전파함으로써 경사(gradients)를 설정하는 방법이다. 이 때 설정된 경사는 특정 노드에서 싱크 노드까지의 신뢰성 정보를 유지하게 된다. 결국, 소스 노드에서 싱크 노드까지 전달 신뢰성이 높은 경로를 선택하여 데이터를 전달하게 된다. 이러한 방법을 통하여 링크 에러로 인한 패킷 손실을 최대한 방지함으로써 데이터 도달가능성을 높게 되는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 데이터 전파 패러다임 중의 하나인 Directed Diffusion을 소개하고 기본적인 동작 과정을 설명한다. III장에서 Directed Diffusion을 이용하여 데이터 전달 신뢰성을 향상시키는 기법을 제안하고, IV장에서 실험 결과를 보인다. 마지막으로, V장에서 결론을 맺고 향후 연구 과제를 언급하도록 한다.

II. 관련 연구

본 논문에서 제안하는 신뢰성 있는 데이터 전달 기법은 Directed Diffusion의 Interest 패킷 전파에 기반을 둔다. 따라서 본 장에서는 Directed Diffusion의 개념과 동작 방식에 대하여 먼저 소개하고자 한다.

1. Directed Diffusion에 대한 개요

Directed Diffusion은 무선 센서 네트워크를 위한 대표적인 데이터 중심적 라우팅 기법이다. 속성 기반 네

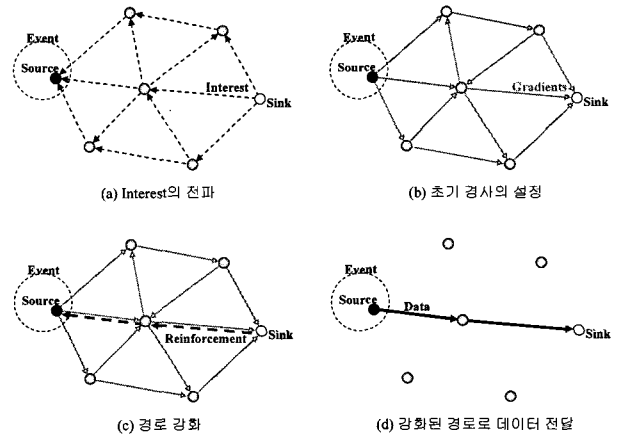


그림 1. Directed Diffusion의 동작 개요

Fig. 1. Simplified schematic for Directed Diffusion.

이밍 스킴을 사용하고, 필터링이라고 하는 네트워크 내부에서의(in-network) 프로세싱을 지원한다. 데이터는 속성과 값(attribute-value)의 쌍으로 표현되며, 속성은 (key, type, operator, value)의 튜플이다.

Directed Diffusion의 기본적인 동작 방식은 그림 1과 같다. 싱크 노드는 질의에 해당하는 Interest를 네트워크 전체에 플러딩한다. Interest를 받은 센서 노드는 이웃 노드들에 대한 테이블을 유지하며 패킷이 전달될 이웃 노드들에 대한 경사를 설정한다. 해당하는 질의를 만족하는 데이터를 가진 노드는 소스 노드가 되어서 설정된 다중의 경사 방향으로 데이터(exploratory data)를 전송한다. 데이터를 받은 싱크 노드는 불필요한 데이터 전송을 방지하기 위하여 특정한 경사를 강화(reinforcement)하게 된다. 이렇게 되면 소스 노드는 강화된 경로를 통하여 데이터를 전송할 수 있게 된다.

2. Directed Diffusion의 프로토콜 패밀리

최근에 다양한 응용들을 만족시킬 수 있도록 하기 위하여 Directed Diffusion을 확장한 프로토콜 패밀리가 발표되었다^[8]. 기존 방식인 Two-Phase Pull Diffusion 이외에 Push Diffusion과 One-Phase Pull Diffusion이 추가되었다. Push Diffusion은 특정한 이벤트를 감지한 센서 노드가 데이터 전송을 시작하고, 이를 수신한 싱크 노드가 경로를 강화한 후 데이터가 전송되는 방식이다. 이러한 구조는 소스 및 싱크 노드의 수가 많고 감지된 데이터가 드물게 전송되는 응용에 적합하다. 그러나 소스 노드가 질의를 전파할 수는 없다. One-Phase Pull Diffusion은 소스 노드가 Interest를 플러딩하고, 이를 수신한 소스 노드가 선호하는 경사 방향으로 데이터를 바로 전송하는 방식이다. 여기서 선호하는 경사란 지연

시간(latency)이 가장 짧은 경로를 가리킨다. 이러한 구조는 플러딩을 줄일 수 있고, 강화 메시지의 필요 없이도 지연이 작은 경로가 선택된다는 장점을 가진다. 하지만, 이 방식은 링크가 대칭적이라는 가정이 필요하다.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘은 One-Phase Pull Diffusion을 이용한 신뢰성 있는 데이터 전달 기법이다. One-Phase Pull Diffusion은 플러딩을 줄일 수 있고 강화 과정이 필요 없으므로, 좀 더 신속하게 경로를 설정하고 데이터를 전달할 수 있기 때문에 QoS 요구를 만족시키기기에 적합하다. 또한, IEEE 802.11과 같은 많은 프로토콜들도 링크의 대칭성을 요구하기 때문에 링크가 대칭적이어야 한다는 가정도 적절하다고 할 수 있다.

III. 제안 알고리즘

본 장에서는 One-Phase Pull Diffusion을 이용한 신뢰성 있는 데이터 전달 메커니즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 싱크 노드 방향으로 데이터를 전송할 때 신뢰성 값을 이용하여 전달 확률이 높은 경로를 선택하는 기법이다. 그림 2를 예로 들어 설명하고자 한다.

무선 센서 네트워크는 그 규모와 특성으로 인하여 지역적인 주소와 토폴로지 정보를 유지할 수 없다. 단지, 자신과 이웃하는 노드들에 대한 정보만 유지할 수 있다. 본 알고리즘을 위하여 각각의 노드는 자신의 잔여 에너지양(EN)을 알고 있다고 가정한다. 또한, 자신으로부터 이웃한 노드들까지의 링크 에러율(ER)을 알고 있다고 가정한다. 여기서 에러율이란 MAC 계층에서의 패킷 손실률로서 RTS/CTS/DATA/ACK 시퀀스를 통하여 구할 수 있다^[10]. 그림 2에서 싱크 노드 N_0 이 Interest를 플러딩하면, 싱크 노드로부터 1홉 떨어져 있는 센서 노드 N_1 은 해당하는 Interest를 수신할 것이다. 센서 노드 N_1 은 자신으로부터 싱크 노드 N_0 까지의 에러율 $ER_{1,0}$ 값을 알고 있다. 따라서 자신(N_1)으로부터 싱크 노드(N_0)까지의 전달 신뢰성 $RE_{1,0}$ 값을 아래의 식 (1)과 같이 계산할 수 있게 된다.

$$RE_{1,0} = 1 - ER_{1,0} \tag{1}$$

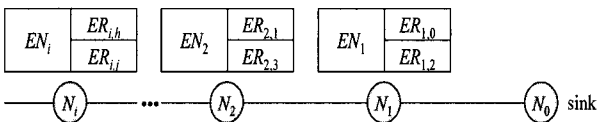


그림 2. 전달 신뢰성 계산을 위한 간단한 예제
Fig. 2. Simplified example of reliability computation.

노드 N_1 은 계산된 $RE_{1,0}$ 값을 Interest에 포함시켜 다시 플러딩한다. 노드 N_1 이 플러딩한 Interest를 노드 N_2 가 받는다면, 노드 N_2 는 수신된 Interest 내의 $RE_{1,0}$ 값을 알 수 있다. 이 때, 노드 N_2 는 자신으로부터 노드 N_1 까지의 에러율 $ER_{2,1}$ 값을 알고 있으므로, 자신(N_2)으로부터 싱크 노드(N_0)까지의 전달 신뢰성 $RE_{2,0}$ 값을 아래의 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있게 된다.

$$RE_{2,0} = (1 - ER_{2,1})(RE_{1,0}) \tag{2}$$

특정한 노드(N_i)에서 싱크 노드(N_0)까지의 전달 신뢰성 $RE_{i,0}$ 은 식 (3)과 같이 경로 상의 모든 홉들 사이의 전달 신뢰성 값들의 곱으로 표현된다. 그런데, 특정한 노드는 자신과 인접한 이웃 노드까지의 에러율($ER_{i,i-1}$)을 알고 있고, 또한 이전 홉으로부터 싱크 노드까지의 전달 신뢰성 값($RE_{i-1,0}$)은 Interest를 통하여 수신하였으므로, 이는 결국 식 (4)로 유도된다.

$$RE_{i,0} = \prod_{n=1}^i RE_{n,n-1} \tag{3}$$

$$RE_{i,0} = (1 - ER_{i,i-1})(RE_{i-1,0}) \tag{4}$$

계산된 전달 신뢰성 $RE_{i,0}$ 은 센서 노드 N_i 로부터 싱크 노드 N_0 까지 데이터를 신뢰성 있게 전달하는 확률을 나타내게 된다. 즉, 노드 N_i 가 $RE_{i,0}$ 의 전달 신뢰성을 가진 경로를 선택한다면, 이것은 해당 노드로부터 싱크 노드까지의 데이터 도달가능성이 $RE_{i,0}$ 임을 의미한다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 One-Phase Pull Diffusion처럼 단순하게 지연시간이 짧은 경로를 선택하는 것이 아니라, 좀 더 전달 신뢰성이 높은 경로를 선택하여 데이터를 전송하는 기법이다. 본 장에서는 다양한 실험 및 결과를 통하여 제안 기법의 우수성을 보이고자 한다.

실험은 Directed Diffusion의 데이터 전파 메커니즘을 프로그래밍으로 직접 구현하여 실행하였다. 그림 1에서 설명한 기본적인 동작 과정을 모두 구현하고 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 Interest 전파 및 경사 설정 과정에 추가하였다. 실험 네트워크는 그림 3과 같이 $n \times n$ 그리드 형태로 구성하였다. 노드 구분을 위하여 (x, y)

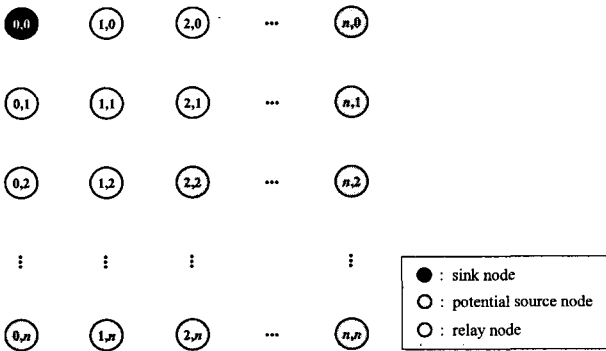


그림 3. 실험 네트워크 토폴로지
Fig. 3. Network topology for experiments.

표 1. 실험 파라미터 설정
Table 1. Configuration of experiment parameters.

Item	Value
Initial energy	1 J
Transmitting power	0.175 W
Receiving power	0.175 W
Packet size	1024 bytes
Interarrival time	10 ms
Bandwidth	2 Mbps

형태의 인덱스를 표시하였으며, 왼쪽 가장 위의 (0, 0) 노드를 싱크 노드로 고정하였다. 모든 실험에서 소스 노드는 회색으로 표현된 대각선 오른쪽 아래 노드들 중에서 매회 패킷 전송 때마다 랜덤하게 선택하였다.

실험에 사용된 파라미터는 표 1과 같으며, 여기에 표 시되지 않은 항목들은 필요에 따라 값을 변경하면서 각각의 실험에 적용하였다.

1. 전달 신뢰성 분석

Interest 패킷이 가장 먼저 도착하는 경로를 선택하는 지연시간 기반의 기존 알고리즘과 전달 신뢰성이 높은 경로를 선택하는 제안 알고리즘을 비교하였다.

그림 4는 네트워크 내의 모든 링크에 대한 에러율이

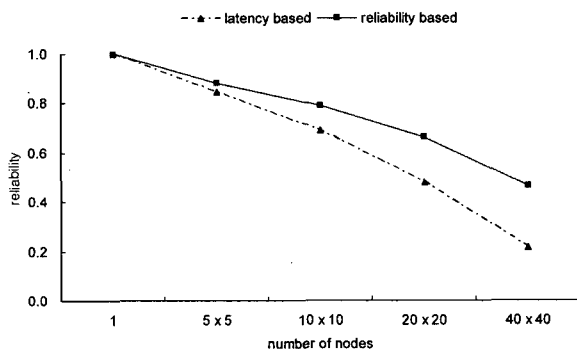


그림 4. 노드 개수에 따른 전달 신뢰성
Fig. 4. Reliability under the different number of nodes.

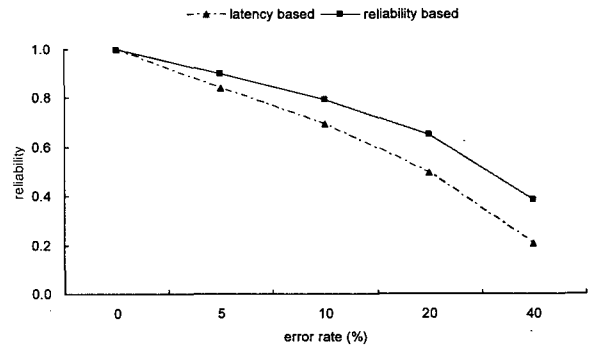


그림 5. 에러율에 따른 전달 신뢰성
Fig. 5. Reliability under the different error rate.

10% 이하로 랜덤하게 나타날 때 노드의 개수 변화에 따른 전달 신뢰성을 나타낸 것이다. 그래프는 100번의 실험 결과에 대한 평균값을 표현한 것으로서 네트워크를 구성하는 노드의 개수가 많아질수록 종단 간의 전달 신뢰성은 감소한다. 하지만, 제안 알고리즘은 기존의 방식에 비하여 감소하는 폭이 상대적으로 작았고 항상 높은 신뢰성을 나타내었다.

그림 5는 네트워크를 10x10개의 노드로 구성한 후 링크의 에러율을 변화시켜 가면서 전달 신뢰성을 실험해 본 것이다. 예를 들어, 40%의 에러율이라는 것은 네트워크를 구성하는 모든 링크의 에러율이 40% 이하에서 랜덤하게 나타난다는 것을 의미한다. 그래프는 100번의 실험 결과에 대한 평균값을 표현한 것으로서 그림 4와 마찬가지로 에러율이 커질수록 전달 신뢰성은 감소한다. 하지만, 제안 알고리즘은 기존의 방식보다 항상 높은 신뢰성을 나타내었으며, 감소하는 비율도 상대적으로 낮았다.

이상의 결과에서 보듯이, Directed Diffusion에서 제안 알고리즘을 이용하여 데이터를 전송하면 기존의 방식에 비하여 전달 신뢰성이 향상됨을 알 수 있다. 이는 기존의 방식이 짧은 지연시간을 가진 경로를 선택하는데 반하여, 제안 방식은 링크들에 대한 에러율을 기반으로 패킷 손실 확률이 가장 낮은 경로를 선택하여 전송함으로써 종단 간의 도달가능성이 높아지는 것으로 분석된다. 그 결과로서 MAC 계층에서의 재전송 횟수를 줄이게 되어 에너지 소비가 감소되고 네트워크 수명이 연장될 것으로 기대하며, 이에 대한 분석 결과는 본 장의 3절에서 보일 것이다.

2. 트래픽 밸런스 분석

기존의 방식과 제안하는 방식에 대하여 트래픽 분산을 비교하였다. 트래픽 분산은 에너지 소비가 특정한

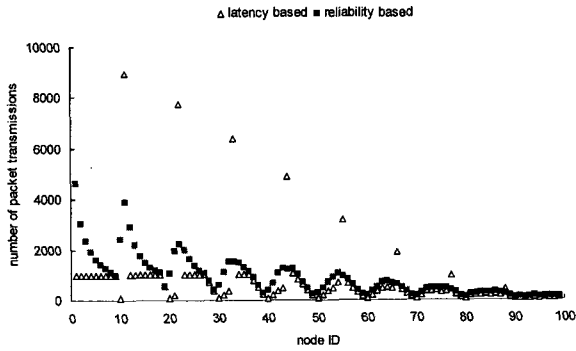


그림 6. 트래픽 로드 밸런스
Fig. 6. Traffic load balance.

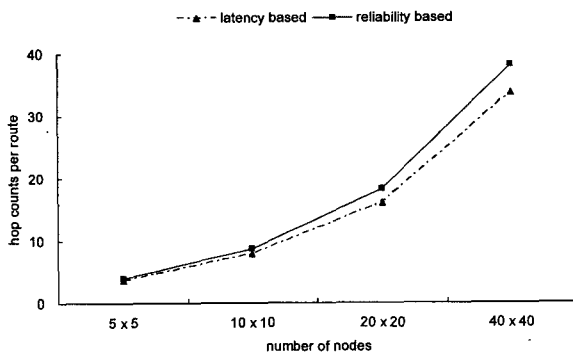


그림 7. 노드 개수에 따른 홉 수
Fig. 7. Hop count under the different number of nodes.

노드에 국한되는 것을 방지함으로써 네트워크 전체의 수명 연장에 기여한다.

그림 6은 각각의 노드에 일련번호를 부여한 후 10,000개의 패킷을 전송해 보았을 때 각 노드들이 패킷을 전달한 횟수를 표현한 그래프이다. 이 때의 실험 네트워크는 10×10개의 노드들로 구성되었으며 모든 링크들의 에러율은 10% 이하에서 랜덤하게 나타나는 것으로 가정하였다. 실험 결과로서 기존의 방식은 패킷 전달 횟수에 대한 표준편차가 1395인 것에 반하여 제안 방식의 표준편차는 824로 나타났다. 또한, 그림 6을 통하여 기존 방식의 그래프보다 제안 방식의 그래프가 더욱 평평하다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과들은 트래픽이 제안 방식에서 더욱 균등하게 분산된다는 것을 의미한다.

그림 7은 링크의 에러율이 10% 이하에서 랜덤하게 나타나는 상황을 설정하여 노드의 개수 증가에 따른 홉 수를 비교한 것이다. 기존의 방식은 지연시간이 짧은 경로, 즉 최단 경로를 선택하기 때문에 홉 수가 적은 반면, 제안 방식은 신뢰성이 높은 경로를 우선 선택하기 때문에 상대적으로 홉 수가 많다. 하지만, 기존 방식의 홉 수에 대한 제안 방식의 상대적인 홉 수 증가치는 일

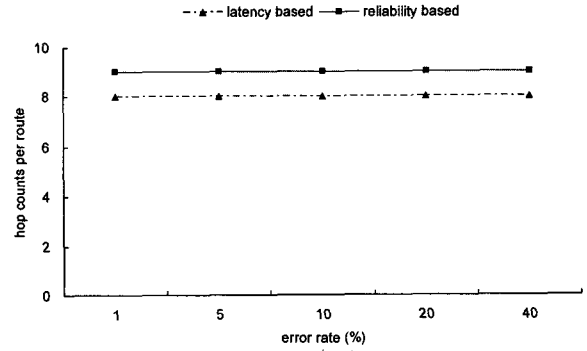


그림 8. 에러율에 따른 홉 수
Fig. 8. Hop count under the different error rate.

정한 값을 나타내었고, 이는 노드가 많아지더라도 홉 수가 크게 증가하지 않음을 의미한다.

그림 8은 노드의 개수를 10×10으로 고정시키고 에러율을 증가시키면서 홉 수를 비교한 그래프이다. 모든 에러율 상태에서 제안 방식은 기존의 방식에 비하여 더 많은 홉을 거쳐서 데이터를 전달하지만 에러율에 독립적이며 일정한 값을 유지한다는 것을 알 수 있다.

그림 7과 8을 통한 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안 기법이 더 많은 홉 수를 이용하지만 노드의 개수나 에러율에 의존하지 않고 일정한 값을 유지하며, 이를 그림 6을 통하여 분석해 보면 트래픽 분산 효과로 나타났다는 사실을 확인할 수 있다.

3. 네트워크 수명 분석

본 절에서는 기존의 방식을 이용한 데이터 전달과 제안 방식을 이용한 데이터 전달 시의 네트워크 수명을 비교해 보고자 한다.

그림 9는 두 방식에서의 네트워크 수명을 나타낸 것이다. 네트워크에서 노드의 개수는 10×10이며 링크는 10% 이하의 랜덤한 에러율을 가지는 것으로 설정하였

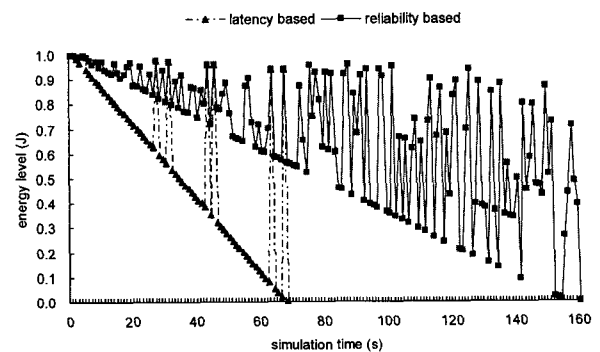


그림 9. 경로 상의 최소 에너지 변화
Fig. 9. Change of minimal energy on the routes.

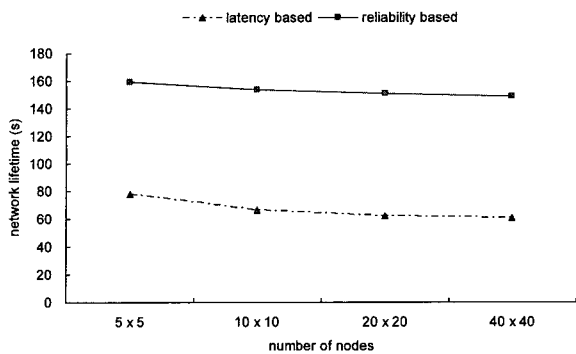


그림 10. 노드 개수에 따른 네트워크 수명

Fig. 10. Network lifetime under the different number of nodes.

다. 그리고 다른 파라미터들은 표 1에 나타난 것과 같이 설정하고 실험을 진행하였다. 그래프는 패킷을 전송할 때마다 경로 상에 있는 각 노드들의 에너지양 중에서 최소값을 표현한 것이다. 즉, 본 논문에서 설명하는 네트워크의 수명은 선택된 경로 상에 있는 특정한 하나의 노드가 에너지 고갈로 인하여 이용 가능하지 않는 시점을 기준으로 한다. 그림 9의 그래프를 통하여 제안 기법에서의 네트워크 수명이 약 2.4배 더 길다는 사실을 확인할 수 있다. 이는 본 장의 2절에서 설명한 트래픽 분산 효과에 의한 것으로 분석된다.

그림 10은 모든 링크들의 에러율이 10% 이하로 랜덤하게 나타날 때 노드의 개수에 따른 네트워크 수명을 비교한 것이다. 네트워크의 규모가 커질수록 두 방식 모두에서 수명이 조금씩 감소하는 추세를 보인다. 하지만 제안 방식을 이용할 경우에 네트워크 수명이 항상 2배 이상 연장된다는 사실을 확인할 수 있다.

이상과 같은 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안 알고리즘은 Directed Diffusion에서 종단 간의 데이터 도달 가능성을 높이는 기법이다. 따라서 패킷 손실 확률을 줄임으로써 재전송 횟수를 낮추는 효과를 기대할 수 있으며, 이는 개별 노드의 에너지 효율을 향상시킨다. 또한, 신뢰성이 높은 경로를 선택하는 과정에서 수반되는 트래픽 분산 효과에 의하여 네트워크의 수명이 연장된다는 사실을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 데이터 중심적 라우팅 기법 중의 하나인 One-Phase Pull Diffusion을 이용하여 신뢰성 있게 데이터를 전달하는 알고리즘

을 제안하였다. 본 메커니즘은 1홉의 이웃 정보를 이용하여 종단 간의 전달 신뢰성을 계산하였으며, 필요에 따라 다중의 경로를 선택하는 것도 가능하다. 즉, 이웃 노드에 대한 에러율만을 이용하여 싱크 노드까지의 신뢰성 값을 반복적으로 계산한 값을 Interest에 포함시켜 전파함으로써 경사를 설정하였다. 이렇게 함으로써 설정된 경사는 특정 노드에서 싱크 노드까지의 신뢰성 정보를 유지하게 되어, 결국 이러한 방법으로 소스 노드에서 싱크 노드까지 신뢰성이 높은 경로를 선택하여 데이터를 전달할 수 있었다.

실험을 통하여 기존의 방식에 비하여 전달 신뢰성이 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한, 트래픽 부하가 분산되고 에너지 소비가 감소하여 네트워크의 수명이 연장된다는 사실을 알 수 있었다. 향후에는 전달 신뢰성 이외에 다른 QoS 요구사항들을 적용한 알고리즘을 개발할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [3] Kemal Akkaya, Mohamed Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349, May 2005.
- [4] Tian He, John A Stankovic, Chenyang Lu, and Tarek Abdelzaher, "SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks," in *Proc. of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2003)*, pp. 46-55, Providence, Rhode Island, USA, May 19-22, 2003.
- [5] Min Chen, Taekyoung Kwon and Yanghee Choi, "Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) in wireless sensor networks," *Computer Communications*, Vol. 29, No. 2, pp. 231-245, January 10, 2006.
- [6] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," in *Proc. of the 6th Annual*

- International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000), pp. 56-67, Boston, Massachusetts, USA, Aug. 6-11, 2000.
- [7] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, John Heidemann, Fabio Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, Vol. 11, No. 1, pp. 2-16, Feb. 2003.
- [8] Fabio Silva, John Heidemann, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, "Directed Diffusion," USC/ISI Technical Report ISI-TR-2004-586, Feb. 10, 2004.
- [9] Fred Stann, John Heidemann, "RMST: Reliable Data Transport in Sensor Networks," in Proc. of the 1st IEEE International Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA 2003), pp. 102-112, Anchorage, Alaska, USA, May 11, 2003.
- [10] Emad Felemban, Chang-Gun Lee, Eylem Ekici, Ryan Boder, and Serdar Vural, "Probabilistic QoS Guarantee in Reliability and Timeliness Domain in Wireless Sensor Networks," in Proc. of IEEE INFOCOM 2005, Miami, Florida, USA, Mar. 13-17, 2005.
- [11] Jae-Won Choi, Kwang-Hui Lee, "A Reliable Transfer Mechanism in Wireless Sensor Networks," in Proc. of 2005 IEEE ComSoc Summer Conference, Vol. 28, No. 1, pp. 305-308, Busan, Korea, June 23-24, 2005.

저 자 소 개

최 재 원(학생회원)

대한전자공학회논문지 제42권 TC편 제1호 참조

이 광 휘(정회원)

대한전자공학회논문지 제42권 TC편 제1호 참조