

논문 2010-47C1-2-5

Directed Diffusion 기반의 신뢰성 향상을 위한 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘

(A WSN Routing Algorithm for Improving the Reliability of Directed
Diffusion)

김 용 표*, 정 의 현**, 박 용 진*

(Yong-Pyo Kim, Euihyun Jung, and Yong-Jin Park)

요 약

무선 센서 네트워크는 배터리 방전, 사물에 의한 간섭이나 센서 노드의 고장 등으로 인하여 통신이 불가능한 상황이 빈번하게 발생된다. Directed Diffusion이 데이터 중심 라우팅 알고리즘으로서 각광받고 있지만, 이러한 통신 에러에 대한 대처는 미흡하다. 본 논문에서는 Directed Diffusion 기반의 신뢰성 향상을 위한 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 교차계층 기법을 이용하여 무선 네트워크의 상황을 인지하고 에러 상황을 판단하여 링크 품질과 노드 통신 가능여부 정보를 경로 설정 알고리즘에 적용함으로써 에러 발생이 빈번한 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송 기법을 제시하였다. 제안 알고리즘은 다양한 에러율과 노드수를 갖는 시뮬레이션에서 전송률과 데이터 비율 측면에서 매우 우수한 성능을 보였다.

Abstract

In Wireless Sensor Network, transmission errors are frequently occurred due to the node failure, battery discharge, and interference by objects. Although Directed Diffusion has been considered as a prominent Data-centric routing algorithm, it revealed some weaknesses at this kind of unexpected network errors. In order to address the problem, we proposed a radio-aware routing algorithm for improving reliability of Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks. The proposed algorithm is aware of the network status based on the radio information of MAC and PHY layers using a cross-layer approach. The link quality and the node failure information from the acquired network status were used to decide an alternative path to provide a reliable data transmission in error-prone sensor networks. The proposed algorithm showed its effectiveness of the data delivery rate and data ratio with several simulations consisting of various error rates and the number of nodes.

Keywords : WSN, Routing, Reliability, Cross-layer, Directed Diffusion

I. 서 론

* 정희원, 한양대학교 전자컴퓨터 통신학과
(Department of Electronics and Computer Eng.,
Hanyang University)

** 정희원, 안양대학교 컴퓨터학과
(Department of Computer Science,
Anyang University)

※ 이 논문은 2009년도 두뇌한국 21 사업과 2006년도
정부재원(교육인적자원부 학술연구조정사업비)으로
한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음
(KRF-2006-003-D00365).

접수일자: 2009년11월17일, 수정완료일: 2010년3월10일

무선 센서 네트워크(WSN)는 주변 환경의 데이터를 수집하여 원격 모니터링 또는 제어에 사용되는 네트워크로 군사용 어플리케이션, 재해 방지, 환경 감시, 헬스, 교통 등의 다양한 분야에 이용되고 있다^[1~2].

일반적으로 센서 노드는 에너지 제약이 심한 배터리로 동작하며, 다수의 노드가 네트워크에 무작위로 배포되기 때문에 노드에 문제가 발생하게 되면 노드의 교체가 어렵다. 즉, 배터리 방전, 사물에 의한 간섭, 그리고

외부 충격으로 인한 고장 등으로 인해 센서 노드가 통신을 할 수 없거나 일부 지역이 차단되는 문제가 발생할 수 있다^[3].

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근까지 다양한 기법을 제시한 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜이 제안되었다. 기존의 연구들은 센서 노드가 데이터를 전송할 때 사용하는 전송 에너지를 절약함으로써 네트워크 생존시간을 연장하는 데에 큰 공헌을 하였다. 그러나 노드에 장애가 발생하면 네트워크가 차단되어 통신을 하지 못하는 심각한 상황이 발생할 가능성이 매우 높음에도 불구하고 노드 장애로 인한 불안정한 네트워크 상황을 고려한 연구는 거의 없었다^[4].

본 논문에서는 Directed Diffusion^[5]을 이용하여 통신 노드에 문제가 발생한 불안정한 네트워크에 적용 가능한 Directed Diffusion 기반의 신뢰성 향상을 위한 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 교차계층(cross-layer)기법을 적용하여 무선네트워크의 정보를 인지하고 이를 경로 설정에 이용하여 네트워크 상황에 최적화된 경로를 설정한다. 또한, 최적화된 경로를 이용하여 데이터를 전송하는 시점에 통신할 노드에 장애가 감지되면 대체 노드로 데이터를 전송하는 재전송 기법을 추가적으로 제공한다.

제안한 알고리즘의 우수성은 NS-2^[6]에서 다양한 에러율을 갖는 실험 환경을 통해 검증되었다. 실험 결과, 100개의 센서 노드에 대해 격자(Grid)토폴로지에서의 제안한 알고리즘이 원래의 Directed Diffusion에 비해 에러율 10%에서 데이터 전송률 98%를 보임으로써 알고리즘의 우수성을 확인하였다.

본 논문은 II장에서 관련연구와 제안한 알고리즘에 대해 설명하고, III장에서는 실험환경과 실험결과에 대해 언급 하였고, 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 관련 연구

가. Directed Diffusion 개요

Directed Diffusion은 무선 센서 네트워크의 대표적인 데이터 중심(data-centric) 라우팅 프로토콜로, 이웃 노드간의 지역정보(local information)를 사용하여 경로를 선정하고 데이터를 전송한다. Directed Diffusion이 센

서 노드의 데이터를 싱크노드로 전송하기 위해서는 다음과 같은 절차를 따른다. 먼저, 싱크 노드가 데이터를 수집하기 위해 interest를 네트워크로 전송한다. interest는 데이터 수집을 위한 질의이며 이는 데이터 수집과 데이터 수집경로 설정을 위해 모든 노드에게 전파된다. interest를 전달 받은 센서 노드들은 interest를 자신에게 전달한 이웃 노드에 대해 gradient를 설정한다. gradient는 모든 노드가 이웃 노드에 대해 가지고 있는 값으로 전달 지연시간이 적은 경로가 높은 gradient를 갖는다. 따라서 interest 전파를 통해 모든 노드가 gradient를 설정하면, 최종적으로 소스 노드와 중간 노드는 이렇게 설정된 gradient 값을 기준으로 경로를 선정하고 선정된 경로를 따라 데이터를 전송하게 된다.

Two Phase Pull(TPP)은 Directed Diffusion의 첫 번째 버전으로 데이터 중심 모델의 기본 개념을 제시한 라우팅 프로토콜이다. TPP는 데이터 수집을 위한 interest와 루프 제거 및 경로 강화를 위한 exploratory data, reinforcement data를 사용하여 경로를 설정하고 센싱 데이터를 전송한다. 그러나 interest, exploratory data, reinforcement data가 모두 플러딩으로 네트워크에 전달되기 때문에 네트워크에 있는 센서 노드들은 에너지를 많이 소모하게 된다. 질의를 전송하고 경로를 설정하기 위해 interest와 exploratory data 및 reinforcement data는 필수적이지만 무선 센서 네트워크의 생존시간을 고려하면 플러딩을 제한하거나 경로 설정에 에너지를 고려한 방법을 적용할 필요가 있다.

Directed Diffusion 연구팀에서는 TPP가 갖고 있는 단점을 극복하기 위해 명시적인 exploratory data와 reinforcement data를 제거한 One Phase Pull (OPP)을 제안하였다. OPP은 TPP에서 사용되는 많은 양의 flooding을 줄임으로써 오버헤드를 줄이고 플러딩으로 인한 에너지 소모를 감소시켜 네트워크 생존 시간을 늘리기 위해 제안 되었다. OPP는 TPP와는 다르게 명시적인 exploratory data와 reinforcement과정을 없애고 interest만을 사용하여 gradient를 설정하고 이를 이용하여 센싱 데이터를 전달하도록 설계되었다.

나. 기존 연구의 문제점

Directed Diffusion은 에너지 효율적이고 확장성 측면에서 장점이 많은 라우팅 프로토콜임에도 불구하고 몇 가지 단점을 갖고 있다. 첫째, gradient를 설정하는 데에 오직 전송 지연시간만을 사용하기 때문에 무선 센서

네트워크 라우팅 프로토콜에서 우선적으로 고려되어야 하는 에너지 문제를 고려하지 않았다. 둘째, interest 와 exploratory data와 같은 패킷이 전파되는 시점에서만 라우팅 경로가 설정되기 때문에 시간에 따라 변화하는 무선 센서 네트워크의 상태를 즉시 반영할 수 없다. 셋째, 센서 노드는 에너지 제약이 심하기 때문에 라우팅 경로 설정을 위한 플러딩 패킷의 사용을 최소화해야 함에도 불구하고, Directed Diffusion에서는 interest와 exploratory data 그리고 reinforcement data와 같은 플러딩 패킷을 주기적으로 사용하고 있다. 이는 결과적으로 배터리를 급격하게 소모하게 하여 센서 노드의 장애를 발생시킬 뿐만 아니라 센싱 데이터가 전송되는 주요 통신 경로가 단절되는 경우가 빈번하게 발생하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 기존의 Directed Diffusion을 개선한 연구들은 크게 두 가지 관점에서 이루어 졌다. 첫 번째는 에너지 인지(energy-awareness)를 이용하여 네트워크 생존 시간을 늘리기 위한 연구로 대부분의 연구가 이러한 주제를 다루고 있다^[7~8]. 두 번째는 QoS를 제공하기 위해 실시간 트래픽을 고려한 연구로 실시간 데이터 트래픽 시에는 지연시간(delay)을 고려하고 일반 데이터 트래픽의 경우에는 에너지 밸런싱을 고려하여 경로를 설정하는 연구이다^[9~10].

이러한 연구들은 Directed Diffusion이 갖는 장점들을 이용하여 에너지, 부하분산, 그리고 QoS를 제공하였고 네트워크 생존시간을 연장하는데 큰 공헌을 하였다. 그러나 기존의 연구들은 에너지 소모를 줄여 네트워크 생존 시간을 연장하는 데에만 연구 초점을 맞추었기 때문에 불안정한 무선 센서 네트워크의 신뢰성 있는 통신에 대한 고려가 전혀 없었다. 또한, 네트워크가 불안정하게 되었을 때 통신 경로의 단절이나 노드 장애를 판단하기 위해 무선 센서 네트워크의 상태를 인지하는 것이 매우 중요함에도 불구하고, 네트워크 상태 정보를 라우팅 결정 요소에 반영하지 않고 있기 때문에 통신 경로의 단절이나 노드 장애와 같은 문제에 대한 해결책을 제시하지 못하였다.

2. 제안 알고리즘

가. 라디오 인지 라우팅 알고리즘

Directed Diffusion을 개선한 기존의 연구는 부가적인 컨트롤 세션을 기반으로 통신 경로의 단절이나 노드 장애를 극복하고자 하는 방법들을 제안했다. 그러나 이러

한 부가적인 컨트롤 세션은 통신 오버헤드와 구조적인 복잡도를 증가시키는 단점이 있다. 또한, 실시간으로 변화하는 무선 센서 네트워크에 신뢰성 있는 라우팅을 제공하기 위해서는 무선 네트워크의 현재 상태를 파악하는 것이 매우 중요함에도 불구하고 이를 위한 구체적인 방법을 제시하지 못했다.

본 논문에서는 현재 무선 센서네트워크 상태에 최적화된 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능한 라우팅 프로토콜(RA)을 제안한다. RA는 Directed Diffusion의 OPP를 기반으로 무선 센서 네트워크의 라디오(Radio) 정보를 이용하여 현재 무선 네트워크의 상태를 파악하여 네트워크 상태에 따라 경로를 설정하는 기법을 제공한다. 무선 네트워크의 상태를 인지하기 위한 라디오 정보는 교차계층(cross-layer)기법을 통해 획득하며, 이는 링크 품질(link quality)과 노드장애(node failure)로 구성되어 있다.

나. 802.11 센서 네트워크

현재까지 대부분의 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜은 에너지 소모를 최소화한 MAC 프로토콜을 사용한 것이 대부분이었다. 그러나 최근 멀티미디어 센서 네트워크와 같은 다양한 센서 응용들이 개발되면서 다양한 QoS를 충족시켜야 하고, 기존의 인프라와의 확장성을 고려해야 하는 요구사항들이 나오고 있다. 또한, 이미 인프라가 잘 갖춰져 있는 802.11 센서 네트워크를 사용하게 되면 기존의 시스템과 쉽게 확장을 할 수 있을 뿐만 아니라 802.11의 QoS를 다양하게 이용할 수 있는 장점이 있다^[11]. 본 논문에서는 이러한 무선 센서 네트워크에서의 802.11 MAC^[12]사용의 장점을 살리기 위해 MAC 프로토콜로 기존에 사용되던 센서 MAC 프로토콜(예:SMAC, 802.15.4 등) 대신에 802.11 MAC을 사용하였다.

다. 링크 품질

최근 무선 네트워크에서는 802.11의 다양한 교차계층(cross-layer) 기법^[13]을 이용하여 QoS 를 제공할 수 있는 기법을 제안했다. Directed Diffusion 은 MAC 프로토콜로 802.11b MAC을 사용하고 있다. 제안 알고리즘 또한 라디오 정보를 이용하는 기법으로 802.11b MAC을 사용하여 교차 계층 기법을 구현하였다.

$$C_a = \left[O + \frac{B_t}{r} \right] \frac{1}{1 - e_f} \quad (1)$$

O : Channel access overhead

B_t : Number of bits in test frame

r : bit rate in Mbit/s

e_f : frame error rate

식 (1)은 802.11b 기반의 무선 메쉬 네트워크(wireless mesh network)에서 사용되는 air time cost 수식이다^[14].

식 (1)은 메쉬 네트워크에서 무선 단말이 AP와 연결 설정 시에 air time cost 값을 이용하여 AP를 선정하는데에 적용된다. 본 논문에서는 air time cost 값을 링크 품질(link quality)로 정의하고 센서 노드간의 채널 점유 비용을 계산하여 비용이 적게 드는 경로를 선정하도록 하였다. 본 논문에서 정의한 링크 품질은 임의의 노드에서 데이터를 전송하기 위해 채널을 점유 하고 있는 기간에 사용된 라디오 리소스의 점유 비용으로 설정하였다. 즉, air time cost의 값이 낮을수록 링크 품질이 우수함을 나타낸다.

식 (1)에서, O 는 채널 액세스 오버헤드 값(O_{ca})과 프로토콜 오버헤드 값(O_p)를 합한 값이고 B_t 는 테스트 프레임의 비트 수를 나타낸다. 802.11 b 네트워크에서는 $O = 699\mu s$ 의 상수 값을 가지고, $B_t = 8224\text{bits}$ 의 상수 값이다. 프레임 에러율 e_f 는 프레임 크기 B_t 에 대한 현재 비트 율에서의 에러 율을 나타낸다.

본 논문에서는 라디오 정보를 경로 설정에 적용하기 위해 식 (1)로부터 각 링크에 대한 링크 품질을 계산하였고 이를 제안 알고리즘에 따라 경로 설정에 사용하도록 설계하였다. 링크 품질 값은 interest와 data를 전송할 때 MAC 계층에서 계산하여 네트워크 계층과 공유하고 있는 라우팅 테이블에 추가적인 필드 값과 함께 업데이트 된다.

라우팅 테이블은 노드 아이디, 위치(x, y), 링크 품질, 노드 장애 필드로 구성되어 있다. 노드 아이디와 노드 위치는 data 안에 포함되어 있다.

표 1은 실험 중에 캡처한 노드 33의 라우팅 테이블이다. 표 1에서 보면 노드 22의 air time cost 값이 제일 적은 값으로 링크 품질이 우수하다고 볼 수 있지만 제안 알고리즘의 경로 선정 과정에서 참고하는 노드와 싱

표 1. 라우팅 테이블

Table 1. Routing Table.

Node id	Position x	Position y	Air time cost	Node failure flag
22	50	50	0.08819	1
23	50	70	0.09115	0
24	50	90	0.09115	0
:	:	:	:	:
32	70	50	0.07311	1

크간의 거리정보와 경로 실패 정보에 따라 최종적으로 노드 23이 선정됨을 알 수 있다.

라. 경로 선정 요소

RA는 최적 경로를 선정할 때 라우팅 테이블의 링크 품질, 노드 위치 값과 노드 장애 필드를 주요 결정 요소로 이용한다. 이는 제안 알고리즘이 무선 네트워크 상황에 따라 최적 경로를 선정하는 데 있어 각각의 요소 갖는 장, 단점을 상호 보완할 수 있는 효과가 있다.

먼저, 링크 품질 만을 고려하여 경로를 선정하는 경우는 무선 네트워크의 현재 상태를 고려하여 경로를 선정할 수 있는 장점이 있지만, 이웃 노드를 모두 고려하기 때문에 라우팅 경로가 우회하는 경우가 생기게 된다. 또한, 만약 노드의 위치를 고려하여 싱크 노드까지의 거리만을 이용하여 경로를 선정하게 되면 라우팅 경로가 우회하는 단점을 제거 할 수 있지만, 무선 센서 네트워크의 현재 상태를 반영하지 못하는 단점이 있다. 마지막으로 노드 장애 필드의 경우는 최적의 노드가 선정된 이후에 데이터를 전송하는 시점에서 노드 장애가 발생하는 경우를 고려하여 재전송 노드를 선정하기 위한 라우팅 결정 요소로 사용된다. 이는 라우팅 알고리즘의 부가적인 컨트롤 세션을 사용하지 않는 방식으로 경로 재선정을 할 수 있는 장점이 있어 라우팅 알고리즘의 오버헤드를 줄이는 방법으로 매우 효과적이다.

마. 경로 선정 과정

RA의 노드 선정 과정은 각 노드가 가지고 있는 라우팅 테이블을 참조하여 다음과 같이 동작한다. 먼저, 제안 알고리즘은 라우팅 테이블에 있는 각 노드의 링크 품질 값을 비교하여 링크 품질이 좋은 노드 후보군-1을 선정한다. 링크 품질을 나타내는 air time cost는 작은 값일수록 링크 품질이 좋음을 의미한다. 만약 동일한

링크 품질 값을 갖는 노드들이 존재하면 이들을 모두 후보군으로 선정한다. 노드 후보군-1에는 이웃 노드들이 링크 품질 값이 작은 순서대로 정렬되어 있다. 노드 후보군-1이 결정된 이후, 제안 알고리즘은 노드 후보군-1의 각 노드의 위치 정보를 가지고 싱크 노드와의 거리를 비교하여 자신보다 짧은 거리 값을 갖는 노드를 노드 후보군-2로 선정한다. 싱크 노드의 위치는 interest안에 포함되어 있어 interest가 전파될 때 모든 노드에서 정보를 저장 할 수 있다. 각 노드의 위치정보를 이용하여 n 번째 후보 노드(x_n, y_n)에서 싱크노드(x_{sink}, y_{sink})까지 거리(D_n)를 계산하는 공식은 식(2)의 피타고라스 정리에 의해 계산된다.

$$D_n = \sqrt{(x_{sink} - x_n)^2 + (y_{sink} - y_n)^2} \quad (2)$$

노드 후보군-2가 결정되고 나면 RA는 데이터 전송을 위해 노드 후보군-2에서 최적의 노드를 선정하여 데이터를 전송할 준비를 한다. 이때 전송 노드는 최소 링크 품질 값과 최단 거리 값을 갖는 노드를 최적 경로로 선정한다. 또한, 이때 선정된 노드에 대해 재전송 기법을 통해 노드 장애 필드를 1로 설정하고 노드 후보군-2의 목록에서 다음 순위의 노드를 선택한다.

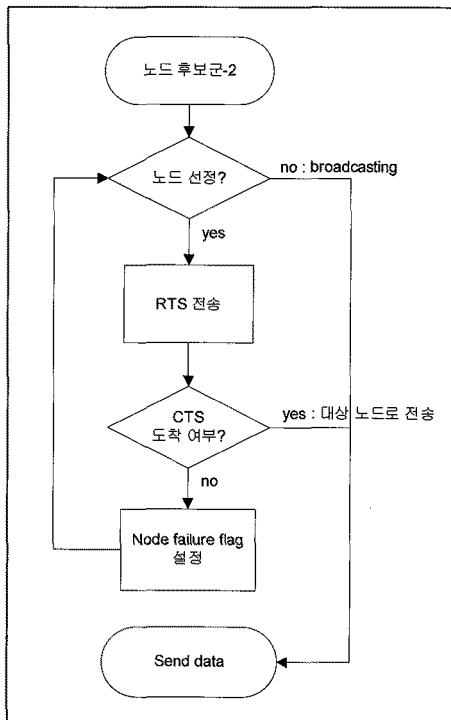


그림 1. 노드 장애 판단 알고리즘
Fig. 1. Algorithm for deciding node failure.

노드 장애 필드는 데이터 전송 시점에서의 대체 노드를 선정하기 위한 과정으로 해당 세션의 데이터 전송이 성공하면 다시 0으로 설정하여 다음번의 데이터 전송 시에 모든 노드가 노드 후보군 선정에 참여할 수 있도록 하였다. 만약 재전송 기법에서도 최적의 경로를 선정하지 못하면 RA는 데이터를 단순히 브로드 캐스팅한다. 예를 들어, 노드 후보군-2의 모든 노드에 대해 최적의 노드가 없는 경우에도(즉, 모든 경로에 장애가 발생한 경우) 전송 노드는 네트워크로 패킷을 브로드 캐스팅함으로써 데이터 전송 시도를 한다.

전송 노드가 선택된 이후, 재전송 기법에서 노드 장애 여부를 판단하는 과정은 그림 1과 같다. 선정된 노드로 데이터를 전송하기 전에 먼저 802.11의 RTS/CTS 과정을 이용하여 노드 장애 여부를 판단하고 재시도 횟수 안에 응답이 없는 경우, RA는 다음 후보 노드를 이용하여 재전송 경로를 설정한다.

III. 성능 분석

1. 실험 환경

본 알고리즘의 우수성을 증명하기 위해 NS-2에서 여러 모델 환경을 만들어 실험을 수행하였다. 모의 실험에서는 200m x 200m 격자 토폴로지, 802.11b MAC, 그리고 무선 통신 범위 30m 를 갖는 네트워크에서 에러율과 노드 수를 변화하면서 데이터 전송률과 컨트롤 패킷의 비율을 측정하였다. 에러율은 0%에서 20%까지 5%씩 증가 시켰고, 노드 수는 10x10 (100개)부터 17x18 (306개)까지 40~50개의 노드 수를 증가 시키면서 데이

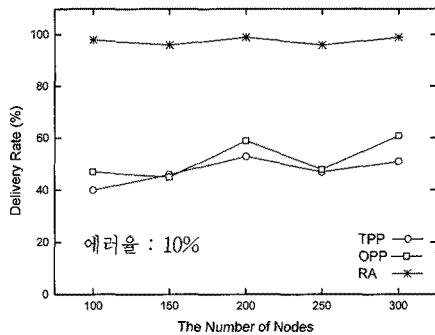
표 2. 시뮬레이션 변수
Table 2. Simulation Variables.

네트워크 크기	200m x 200m
토폴로지	격자
노드수 X축배치수xY축배치수 (전체노드수)	10x10(100),12x12(144), 14x14(196),16x16(256), 17x18(306)
무선통신범위	30m
노드의 초기 에너지	30 J
싱크노드 위치	(10, 10)
소스노드 위치	(190, 190)
에러율	0%, 5%, 10%, 15%, 20 %
시뮬레이션 시간	1000s

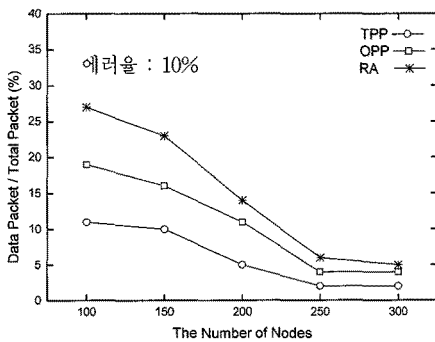
터 전송률, 데이터 비율 그리고 전체 패킷수를 측정하였다. 각각의 에러율은 토폴로지 상의 센서 노드를 10개의 서브그룹으로 나누고, 각 서브그룹에서 노드장애를 갖는 노드의 수에 의해 정해진다. 실험에서 사용한 값은 표 2와 같다.

2. 성능 분석

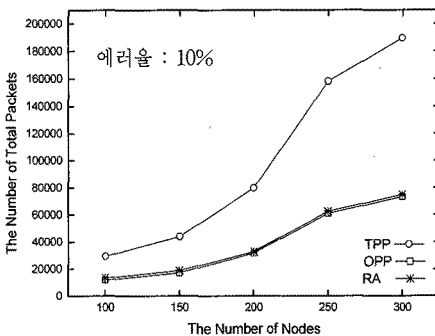
가. 노드 수 증가에 따른 성능 분석



(a) 데이터 전송률



(b) 데이터 비율



(c) 전체 패킷 수

그림 2. 노드 수에 따른 데이터 전송률, 데이터 비율, 전체 패킷 수 (에러율: 10%)

Fig. 2. Delivery rate, Data ratio and The number of total packets (error rate: 10%).

첫 번째 실험은 데이터 전송률과 컨트롤 패킷 비율이 네트워크 밀도가 변화함에 따라 어떻게 변하는지를 확인할 수 있는 실험이다. 에러율이 10%인 조건에서 200m x 200m 사이즈의 격자 토폴로지 상에 노드 수를 각각 10x10 (100개)부터, 12x12 (144개), 14x14 (196개), 16x16 (256개), 17x18 (306개)개로 증가시키면서 실험을 하였다.

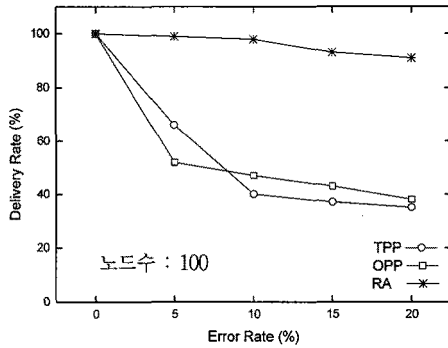
그림 2의 (a) 데이터 전송률을 보면, 에러율 10%의 에러 상태에서의 노드 수의 증가는 전체 데이터 전송률에 크게 영향을 주지 않음을 알 수 있다. TPP나 OPP의 경우는, 경로가 설정된 이후, 데이터 전달 시점에서 발생한 노드 장애 문제에 대해 대체 노드를 선정하지 못하기 때문에 데이터를 전달하지 못하게 되고 결과적으로 데이터 전송률은 낮아진다. 이에 비해 RA는 interest뿐만 아니라 데이터 전달 시점에서 노드 장애가 발생하면 노드 장애 카운터와 링크품질의 무선 정보를 이용하여 대체 노드를 선정하고 데이터를 전달하기 때문에 거의 100%에 가까운 전송률을 보인다.

그림 2의 (b) 데이터 비율은 세 개의 알고리즘이 각 노드 수에 따라 일정한 차이를 보이고 있다. 데이터 비율은 제안 알고리즘인 RA가 가장 높고, OPP, 그리고 TPP의 순서이다. 데이터 비율이 차이 나는 가장 큰 이유는 TPP와 OPP의 경우, 에러 상태의 네트워크에서 전체 패킷 수가 급증하는데 비해 실제 전달되는 데이터의 비율은 RA와 많이 차이가 나고 있기 때문이다. 즉, TPP와 OPP에서는 경로 설정과 관련된 패킷은 플러딩을 통해 모든 노드에 전달되는 반면에 데이터는 에러가 발생하게 되면 전달하지 못하고 폐기되는 현상 때문이다. 그림 2의 (c) 전체 패킷 수에서 에러 상태의 네트워크에서는 TPP가 가장 많은 패킷 수를 보이고 OPP와 RA는 거의 비슷함을 알 수 있다.

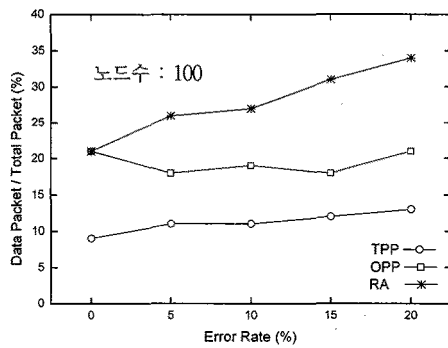
나. 에러율 증가에 따른 성능 분석

두 번째 실험에서는 200m x 200m 사이즈의 격자 토폴로지에 노드 수를 10x10 (100)개로 고정하고, 에러율을 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 5%씩 증가시키면서 실험을 하였다.

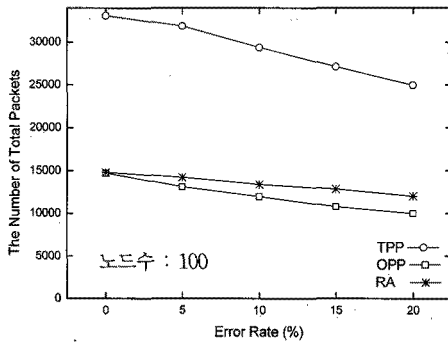
그림 3의 (a) 데이터 전송률을 보면, 제안 알고리즘인 RA가 가장 우수하고 OPP가 5%의 에러율인 경우를 제외하면 TPP보다 약간 우수함을 확인할 수 있다. 에러율이 증가한 경우에도 RA가 90%이상의 데이터 전송률을 유지할 수 있는 이유는 무선 정보를 인지하여



(a) 데이터 전송률



(b) 데이터 비율



(c) 전체 패킷 수

그림 3. 에러율에 따른 데이터 전송률, 데이터 비율, 전체 패킷 수 (노드수: 100개)

Fig. 3. Delivery rate, Data ratio and The number of total packets (the number of nodes: 100).

대체 노드를 선정하고 경로를 재설정하는 과정이 노드 장애의 비율이 높아지는 상황에서도 신뢰성 있는 데이터 전송기법을 제공할 수 있기 때문이다. 즉, RA는 노드 장애 발생하는 시점에 상관없이 무선 정보를 인지하여 대체 경로로 데이터를 전송하는 신뢰성 있는 전송기법을 제공한다.

또한, 유사한 전송률을 보이고 있는 TPP와 OPP를

보면 에러율이 5%일 때는 OPP보다 TPP가 좀 더 좋은 전송률을 보이는데, 5%정도의 에러 상황에서는 interest와 exploratory data의 경로 설정을 위한 컨트롤 패킷의 플러딩이 에러 상황을 극복하는 효과를 얻을 수 있지만, 에러율이 10%이상이면 컨트롤 패킷 자체의 전달이 어려워지기 때문에 더 이상의 효과는 얻지 못하게 됨을 알 수 있다.

그림 3의 (b) 데이터 비율은 RA가 가장 높고 OPP, TPP의 순서를 보인다. 특히, TPP의 경우 전체 패킷 수가 가장 많음에도 데이터 비율이 가장 낮은 결과를 보이는데 이는 에러 상황의 불안정한 네트워크에서 interest와 exploratory data 패킷의 증가 비율이 데이터에 비해서 더욱 높기 때문이다. 즉, 데이터는 정해진 경로를 따라 전달되기 때문에 해당 경로에 에러가 발생하면 전달되지 못한다. 그러나 컨트롤 패킷의 경우는 플러딩으로 전달되기 때문에 에러에는 크게 영향을 받지 않게 된다. 그리고 그림 3의 (c)에서 보듯이, RA는 OPP보다 전체 패킷 수가 조금 높은 값을 갖는다. 이는 RA에서 데이터를 전송하는 시점에 통신 노드에 에러가 발생한 경우 대체 경로를 통해 재전송을 시도하는 알고리즘을 사용하기 때문이다. 전체 패킷의 수는 증가하지만 RA가 OPP에 비해 전체 패킷에서의 데이터 패킷의 비율이 높기 때문에 전체적으로 데이터 전송률이 높으며, 이는 전체 패킷 수의 증가를 상쇄할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

IV. 결 론

Directed Diffusion은 무선 센서 라우팅 프로토콜 중에 이웃 노드간의 상호 정보 교환을 통해 라우팅을 수행하는 데이터 중심의 우수한 프로토콜이다. 그러나 Directed Diffusion의 플러딩에 기반한 경로 설정 기법과 경로 설정 요소로 전송 지연시간만을 고려하여 gradient를 설정하기 때문에 노드 장애가 빈번하게 발생하면 에너지 소모가 급격하게 일어나고 데이터 전송률이 낮아지는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하기 위한 많은 연구들에서도 센서 노드의 전송 에너지를 줄여서 네트워크 생존 시간을 늘리는 측면에서 큰 공헌을 하였지만 무선 네트워크 상황에서 빈번하게 발생할 수 있는 노드 장애(node failure)를 고려한 연구는 거의 없었다.

본 연구에서는 Directed Diffusion을 기반으로 무선

네트워크의 노드 장애와 링크 품질을 인지할 수 있는 무선 채널 정보를 이용하여 무선 센서 네트워크의 신뢰성 향상을 위한 교차계층 기법의 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 기존의 Directed Diffusion이 가지고 있는 데이터 중심의 라우팅 프로토콜의 장점을 그대로 살리면서 gradient 설정에 노드 장애 여부와 링크 품질 과 같은 라디오 정보를 활용함으로써 노드 장애가 빈번하게 발생하는 불안정한 네트워크 환경에서도 우수한 성능을 보였다.

제안 알고리즘은 에너지만을 고려하여 네트워크 생존 시간을 늘리려 했던 기존의 연구에 비해 에러 발생이 빈번한 무선 센서 네트워크에서의 신뢰성 있는 데이터 전송뿐만 아니라 QoS제공 측면에서도 다양한 이용이 가능함을 보였다. 향후, 후속 연구에서는 경로 설정 기법에 에너지, 부하분산, 그리고 이동성과 같은 다양한 QoS요소를 적용하여 본 알고리즘을 확장할 예정이다.

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] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," *ELSEVIER Computer Networks*, Vol. 38, No. 4, pp. 393-422, Mar., 2002.
- [3] Kemal Akkaya, Mohamed Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *ELSEVIER Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349, May, 2005.
- [4] Sergio D. Servetto, Guillermo Barrenechea, "Constrained Random Walks on Random Graphs: Routing Algorithms for Large Scale Wireless Sensor Networks", In *Proc. of 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications 2002 (WSNA 2002)*, pp.12-21, Atlanta, Georgia, USA, Sept., 2002.
- [5] Intanagonwiwat, Govindan, Estrin, and et al, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking", *IEEE/ACM Transaction of networking*, Vol. 11, No.1, pp. 2-16, Feb., 2003.
- [6] NS-2 (<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>)
- [7] Vlado Handziski, Andreas Kopke, Holger Karl and et al, "Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering", In *Proc. of 1st European Workshop on Sensor Networks 2004 (EWSN 2004)*, LNCS 2920, pp. 172 - 187, Berlin, Germany, Jan., 2004.
- [8] CUI Yuanrong, CAO Jiaheng, "An Improved Directed Diffusion for Wireless Sensor Networks", In *Proc. of 3rd Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2007 (WICOM 2007)*, pp. 2380-2383, Shanghai, China, Sept., 2007.
- [9] Li Zhiyu, Shi Haoshan, "Design of Gradient and Node Remaining Energy Constrained Directed Diffusion Routing for WSN", In *Proc. of 3rd Wireless Communications, Networking and Mobile Computing 2007 (WICOM 2007)*, pp. 2600-2603, Shanghai, China, Sept., 2007.
- [10] Min Chen, Taekyoung Kwon, Yanghee Choi, "Energy-efficient differentiated Directed Diffusion (EDDD) in wireless sensor networks", *ELSEVIER Computer Communications*, Vol. 29, No. 2, pp. 231-245, Jan., 2006.
- [11] Luis Adams, "Capitalizing on 802.11 for sensor network", In *White paper of GainSpan Corp.* (http://www.gainspan.com/white_papers.html), USA, Sept., 2009.
- [12] IEEE Computer Society, "Wireless LAN media access control and physical layer specifications", (<http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>), USA, June, 2007.
- [13] Vineet Srivastava, Mehul Motani, "Cross-Layer Design: A Survey and the Road Ahead", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 43, No. 12, pp. 112-119, Dec., 2005.
- [14] George Athanasiou, Thanasis Korakis, Ozgur Ercetin and Leandros Tassiulas, "Dynamic Cross-Layer Association in 802.11-based Mesh Networks", In *Proc. of IEEE Conference on Computer Communications 2007 (INFOCOM 2007)*, pp. 6-12, Anchorage, Alaska, May, 2007.

저 자 소 개



김 용 표(정회원)
 1998년 한양대학교 전자공학과
 공학사
 2007년 한양대학교 전자컴퓨터
 통신공학과 공학석사
 2007년~현재 한양대학교 전자
 컴퓨터통신공학과 수료
 2001년~2005년 스마트카드테크놀로지 연구원
 <주관심분야 : WSN, 미들웨어, 무선 네트워크,
 미래인터넷>



정 의 현(정회원)-교신저자
 1992년 한양대학교 전자공학과
 공학사
 1994년 한양대학교 전자공학과
 공학석사
 1999년 한양대학교 전자공학과
 공학박사
 1999년~2002년 대우통신 선임연구원
 2003년 가톨릭대학교 컴퓨터학부 초빙교수
 2004년~현재 안양대학교 컴퓨터학과 조교수
 <주관심분야 : WSN, 시맨틱 웹, 데이터마이닝,
 미래 인터넷>



박 용 진(정회원)
 1969년 와세다대학교 전자통신
 공학과 공학사
 1971년 와세다대학교 전자통신
 공학과 공학석사
 1978년 와세다대학교 전자통신
 공학과 공학박사

1979년~현재 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부
 교수
 2001년~2009년 와세다대학교 객원 교수
 2003년 한국 정보과학회 회장
 2009년~현재 IEEE 본부 이사, Region 10
 (아시아·태평양 지역) 회장
 <주관심분야 : 컴퓨터통신, 이동 데이터 통신>