센서 네트워크의 고 신뢰성을 위한 중계 노드 기반 전송

준회원 이 보 형*, 윤 형 욱*, 박 종 호**, 정회원 정 민 영**, 종신회원 이 태 진**

Reliable Transmission Using Intermediate Relay Node-based Transmission for Reliability in Sensor Network

Bo-Hyung Lee*, Yoon Hyung-Wook*, Jongho Park** ***Associate Membesr***,
Min Young Chung** ***Regular Members***, Tea-jin Lee** ***Lifelong Member***

요 약

센서 네트워크는 저전력 저가격 소형 근거리 무선통신이 가능한 다기능 노드를 사용하여, 센싱, 데이터 프로세싱, 통신을 할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다. 센서 네트워크의 설계에서는 주로 네트워크 생존시간을 증가시키기 위한 전력 소모를 줄이는 것을 고려하였지만, 실제 응용에서는 최종 사용자에게 노드에서 감지한 정보를 신뢰적으로 전달하는 것이 가장 중요하다. 기존의 다중경로를 이용한 신뢰성있는 전송(Reliable information forwarding using multiple paths in sensor networks: ReInForM)은 에러가 일어나기 쉬운 환경에서 요구 신뢰도에 맞게 데이터를 전송하는 알고리즘이지만, 채널 에러율이 높아지고 소스와 싱크간의 홉 수가 늘어날수록 전송 오버헤드가 급격하게 늘어난다. 본 논문에서는 중간 싱크 노드 및 소스 노드를 이용한 신뢰성 있는 전송 (Reliable transmission using intermediate source nodes in sensor networks :ReTrust)을 제안한다. 성능분석과 시뮬레이션을 통해 ReTrust 알고리즘은 오버헤드는 줄이면서 요구 신뢰도를 만족함을 보인다.

Key Words : Senser network, Reliability, Multi-path, Intermediate sink (IS)

ABSTRACT

Sensor networks consist of sensor nodes with small size, low cost, lowpower consumption, and multi-functions to sense, to process and to communicate. The main issue in sensor networks has been focused on minimizing power consumption of sensors to maximize network life time. In some critical applications, however, the most important issue is to transmitsensing information to the end user (the sink node) with reliability. Reliable information forwarding using multiple paths in sensor networks (ReInForM) has been proposed to achieve desired reliability in the error-prone channel, but it needs increasing transmission overhead as the channel error rate becomes high and the number of hops between the source node and the sinknode increases. In this paper, we propose a reliable transmission mechanissmusing intermediate source nodes in sensor networks (ReTrust) to reduce packet overhead while keeping the desired reliability. ReTrust has beenshown to provide desired reliability and reduced overhead via simulationsand analysis.

Ⅰ. 서 론

센서 네트워크는 저전력, 저가격, 소형, 근거리 무선통신이 가능한 다기능 노드를 사용하여, 센싱, 데이터 프로세싱, 통신을 할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다[1]. 센서 네트워크에서 기존의 연구들은

* 삼성전자 TN ({fbohyeong.lee, hyungwook.yoong}@samsung.com)
** 성균관대학교 정보통신공학부 ({tamalove, mychung, tjlee}@ece.skku.ac.kr)
논문번호 : KICS2004-12-323, 접수일자 : 2004년 12월 20일

센서 자체의 특징들 때문에 네트워크 자원 소비를 최소화 하는데 주로 초점이 맞추어져 있다 [3],[4],[5]. 하지만 센서 네트워크의 가장 중요한 목표는 소스 노드에서 생성된 감시 정보를 싱크(sink) 노드에 전달하는 것이다. 일반적으로 소스에서 생성된 센싱 정보는 싱크 노드에게 전송된다. 센서가 주변 환경으로부터 긴급한 상황을 감지하거나 중요한 데이터를 생성한다면 그데이터는 네트워크 자원을 낭비하더라도 다른 어떤 전송보다 더 신뢰적으로 전송할 필요가 있다. 센서 네트워크는 주위 환경에 영향을 많이 받기 때문에 센서가 가혹한 환경에 배치된다면 채널 에러율이 증가하거나 변동이 생길 수 있다. 이런 환경에서 소스 노드와 싱크 노드 사이의 홉수가 커진다면 패킷이 싱크 노드에 도달할 확률이 낮아질 것이다. 기존의 전형적인 데이터 전송 프로토콜은 채널 에러율에 따라 패킷을 전송하지 않고 수신 노드를 유동적으로 정하지 않았다. 이는 심각한 자원 낭비와 신뢰할 수 없는 전송을 야기 할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 논문 [1]에서는 센서 네트워크에서 다중 경로를 사용한 신뢰적인 정보 전송방법(ReInForM)을 제안하였다. ReInForM 에서는 센서 노드들은 제한된 메모리 용량을 가지고 있고 데이터 전송에 있어 Automatic Repeat Request (ARR)은 사용하지 않는다고 가정하였기 때문에 중간에 데이터를 전달하는 센서 노드는 어떤 전송 데이터도 저장하지 않는다. 대신에 다중 경로 다중 패킷과 정보인지(information-aware) 전송 알고리즘을 사용하여 패킷을 신뢰적으로 전송할 수 있는 메커니즘을 적용하였다. 하지만, ReInForM 알고리즘은 소스 노드와 sink 노드 사이의 홉수가 증가하고 채널 에러율이 높아질수록 필요한 패킷과 경로의 수가 급격히 증가한다는 문제점을 지니고 있다. 따라서, 본 논문에서는 요구하는 신뢰도를 만족하면서 이 문제점을 감소시키기 위해 ReInForM 알고리즘을 기반으로 센서 네트워크에서 중간 소스 노드 혹은 중간 싱크 노드 (intermediate source/sink:IS)를 사용한 신뢰적인 전송방법(Reliable transmission using intermediate source or sink node in sensor networks: ReTrust)을 제안한다. ReTrust는 ReInForM 보다 적은 다중 경로를 만들고 패킷을 복사하고 전파하기 위해 실제 소스와 sink의 역할을 경감시키는 적절한 중간 노드를 설정하여 사용하였다. 본 논문에서는 소스 노드와 싱크 노드의 관점에서 IS 노드들을 설정하는 방법과 최소의 패킷 오버헤드를 유지하기 위해 소스 노드와 싱크 노드 사이에 IS 노드가 될 적당한 노드를 선택하고 소스 노드와 IS 노드, IS 노드와 싱크 노드 사이에 각각 적합한 신뢰도를 유지하는 방법을 제안한다. 그리고, 시뮬레이션과 성능분석을 통해 ReTrust의 특성을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절은 본 논문과 관련된 연구에 대해 설명하고 3절에서는 ReTrust 알고리즘을 제안하며 4절에서는 성능평가를 통해 제안한 ReTrust 알고리즘을 ReInForm 알고리즘과 비교한다. 5절에서는 시뮬레이션을 통해 성능분석을 하고, 6절에 결론을 기술한다.

Ⅱ. 관련 연구

센서 네트워크에서 정보 인지(information awareness)는 차등화 서비스(differentiated service)와 유사한 프레임구조를 사용하여 제공될 수 있다[6]. 각각의 데이터 패킷은 정보 내용과 중요도를 기초로 하여 우선순위가 결정된다. 센서 네트워크를 위한 이런 차등화 서비스와 데이터의 우선순위를 설정하기 위한 프레임구조에 대한 개념은 논문 [7]에 소개되고 있다. 일반적인 네트워크에서는 신뢰도를 보장하기 위한 방법으로 주로 홉 간 또는 종단 간 acknowledgment(ACK)를 사용하였다. 멀티 홉 무선 네트워크에서 종단 간 ACK 전달 방법은 홉 간 ACK 전달 방법에 비해 오버헤드등이 좋지 못한 성능을 가진다[8]. 하지만 센서 네트워크는 높은 채널 에러율에서 운영되기 때문에 이 두 가지 방법 모두가 빈번한 재전송을 야기한다. 또한 ACK를 사용한 데이터 전달 및 확인 방법은 네트워크에 추가적인 패킷 오버헤드를 야기하고 중간 노드들은 다른 노드들로부터 수신한 데이터를 저장하기 위하여 많은 메모리가 필요하다. 그러므로, 센서 네트워크에서 ACK를 사용한 재전송은 센서 노드들의 제한된 에너지와 메모리로 인해 적합하지 않다.

다중 경로 알고리즘들의 주요한 목적은 라우팅 지연시간을 줄이고 끊어진 경로를 빠르게 복구하는 것이다[9],[10],[11]. 또한 다중 경로는 센서 네트워크에서 어느 일정 노드와 경로에 집중되는 패킷과 트래픽을 분산시켜 에너지 소비를 분산시키기 위해서도 사용된다. 이런 프로토콜에서 제공되는 다중 경로들은 각 패킷을 다중으로 복사하여 다중경로로 전송하기 위해 사용될 수 있다 하지만 이는 각 노드의 다중경로를 설정하고 경로 상태를 유지 하는데 많은 오버헤드가 발생할 수 있다. 또한, 채널 에러율과 요구되는 신뢰도의 변동에 적응적이지 못하다.

논문 [1]에서는 센서 네트워크에서 다중 경로를 이용한 신뢰적인 전송방법을 제안하였다. 이 알고리즘은 센서노드의 제한된 성능과 높은 채널 에러율을 보상하기 위해서 복사된 패킷들을 다중으로 전송하여 데이터의 중요도에 따라 요구되는 신뢰도를 만족할 수 있다. ReInForM에서는 전송 시 필요한 전체 다중경로의 개수는 소스와 싱크 노드 사이의 요구 되는 신뢰도와 소스와 싱크 까지의 거리 등에 의해 결정된다 하지만 다중 경로와 패킷 오버헤드는 경로 길이가 커질수록 급격하게 증가한다.

Ⅲ. 제안한 ReTrust 알고리즘

ReInForM은 기본적으로 센서 노드의 메모리가 매우 작고 채널 에러율이 높다고 가정하고 있다. 그러므로 전송 경로에 있는 중간 노드는 어떠한 전송 데이터 패킷도 저장하지 않는다. 또한 노드들은 높은 채널 에러율로 인해 신뢰적인 데이터 전송을 위해서 ACK를 사용하지 않는다.

ReInForM에서는 ACK로 인한 재전송에 시간을 소비하는 대신에 다중 패킷과 다중 경로를 사용하여 신뢰적인 전송을 한다. 노드는 주위환경을 감지하고 정보를 모은 다음 그 데이터가 중요한지 아닌지를 결정한다. 발생한 데이터는 중요성이나 긴급한 정도에 비례하여 우선순위를 가진다. 데이터를 가진 노드는 전송할 신뢰도를 결정하고 필요한 신뢰도와 채널 에러율에 따라 전송할 패킷의 개수(다중 경로의 수)를 계산한다. 그 다음에 그 노드는 DPS(dynamic packet state)[12]와 같이 패킷 헤더에 신뢰적인 전송을 위한 정보를 삽입한다. 노드들은 비충돌(collision-free) 전송을 위한 TDMA[13]로 다중 경로를 통하여 전송할 패킷을 복사하여 그 패킷들을 전송한다데이터 전달을 위해 사용되는 다중 경로는 싱크 노드의 주기적인 라우팅 갱신을 통해 설정된다. 싱크 노드의 라우팅 패킷은 네트워크의 모든 노드에 전파된다. 따라서 모든 노드는 싱크 노드와 자신과의 최단 홉을 알게 된다. 노드들은 싱크 노드로부터 최단 경로에 있는 노드들을 랜덤하게 선택하여 데이터를 전송한다.

그림 1은 100m X 100m영역에 소스 노드가 (10, 10), 싱크노드가(90, 90)에 있고 70%의 신뢰도와 30%의 채널 에러율이 설정된 상태에서 ReInForM으로 다중 경로를 통해 10개의 패킷을 전송하였을 경우 네트워크의 패킷 전송 경로를 보여주고 있다.

본 논문에서 제안하는 ReTrust 알고리즘은 다중

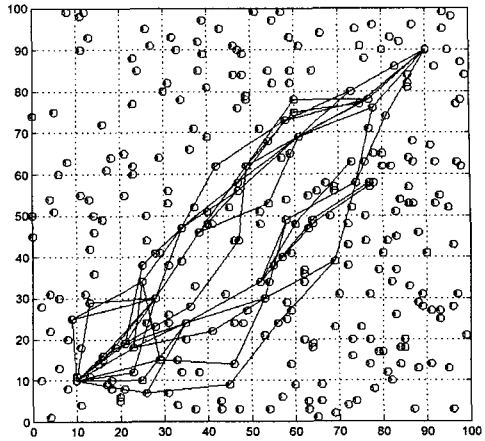


그림 1. ReIbForM 적용 시 노드의 패킷 전달 예.
Fig. 1. Illustration of ReIbForM

경로의 개수와 전송해야하는 패킷의 개수를 감소시키기 위해 소스 노드와 싱크 노드 사이에 중간 소스 혹은 싱크(IS) 노드를 설정한다. 주어진 소스 노드와 싱크 노드 사이에 신뢰도에서 소스 노드와 IS 노드 간과 IS 노드와 싱크 노드 간의 요구되는 중간 신뢰도로 부터 구할 수 있다. 이러한 중간 신뢰도에서 다중 경로의 개수가 결정된다.

센서 네트워크에서 어떤 방법으로 이러한 IS 노드를 결정하는지는 추가 오버헤드등 성능에 중요한 영향을 미친다. 본 논문에서는 소스 노드와 싱크 노드의 관점에서 IS 노드를 설정하는 방법을 제안한다. IS 노드를 설정하기 위하여 제안하는 방법들을 아래의 절에서 설명한다.

3.1 IS 노드를 싱크 노드에서 설정하는 방법

첫 번째 방법은 다중 경로로 데이터 전송 전에 싱크 노드가 IS 노드를 설정하는 방법이다. 센서들은 싱크 노드의 주기적인 라우팅 갱신으로 인해 싱크 노드로부터의 최단 홉을 알고 있다고 가정한다. 싱크 노드는 채널 에러율에 따라 IS 노드를 설정하기 위해 싱크 노드로부터 적당한 홉 수를 계산하고 이 정보를 싱크 노드로부터의 모든 노드까지의 최단 홉을 알리기 위한 주기적인 라우팅 갱신과 함께 모든 노드들에게 전송한다. 노드들이 이 패킷을 수신 후 만약 수신 노드의 싱크노드로부터의 홉 수가 이 패킷의 헤더 안에 홉 수와 일치할 경우 그 노드는 IS 노드가 된다. 그 후 그 노드는 이웃 노드가 IS 노드가 되는 것을 막기 위해 한 홉 거리의 노드들에게 deny 패킷을 전파한다. 그 다음에 IS 노드는 IS 노드로부터의 최단 경로를 알리기 위한 정보

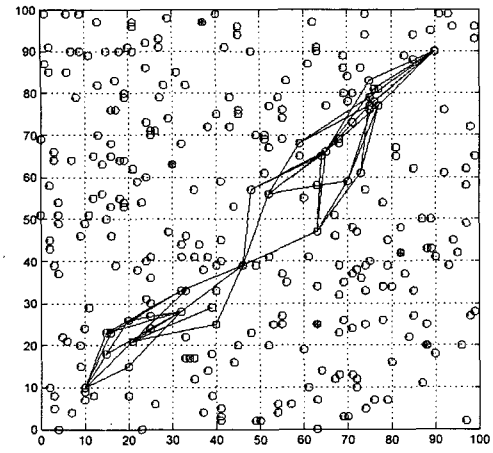


그림 2. ReTrust 적용 시 노드들의 패킷 전달 예.
Fig. 2. Illustration of ReTrust

를 소스와 IS 노드 사이의 노드들을 향해 전파한다. 만일 IS 노드보다 싱크에서 더 먼 거리에 있는 소스 노드들이 신뢰성 있는 전송을 원할 경우 가장 가까운 IS 노드를 목적지로 하여 중간 신뢰도를 계산하고 그것을 바탕으로 보내야할 패킷 수를 계산한 다음에 노드에게 패킷들을 전송한다. 그림 2는 그림 1과 같은 상황에서 싱크 노드에서 IS노드를 설정하는 ReTrust 알고리즘을 적용하여 패킷을 전송하는 예를 보여주고 있다. 소스 노드는 싱크 노드에게 보내는 패킷들을 전송하는데 이런 다중 IS 노드를 사용하여 트래픽을 분산시킬 수 있다.

3.2 IS노드를 소스 노드에서 설정하는 방법

이 방법은 소스 노드가 IS노드를 설정하는 방법이다 소스 노드가 신뢰적인 전송을 원한다면 요구하는 신뢰도와 채널 에러율에 따라 IS 노드가 될 적당한 홉 수(소스 노드로 부터의 IS 노드까지의 거리)를 계산한다. 소스 노드는 이 홉 정보를 패킷 헤더에 기록하고 다중 경로를 통해 패킷들을 전송한다. 이 패킷을 수신한 노드는 자신의 실제 홉 수(소스로 부터의 거리)와 패킷 안의 홉 수가 일치한다면 IS 노드가 된다. 그 다음 IS 노드는 네트워크에 하나 이상의 IS 노드가 설정되는 것을 막기 위해 denial 신호를 주위 노드들에게 전송한다. IS 노드는 중간 소스 노드의 역할을 수행하며 소스 노드와 마찬가지로 전체 신뢰도를 만족하는 중간 신뢰도와 채널 에러율 그리고 싱크 노드와의 홉 수를 고려하여 싱크 노드에게 패킷들을 전송한다. 이 방법은 다중 경로 전송 전에 미리 IS 노드를 결정하지 않고 실제 데이터 전송 과정에서 IS 노드가 결정되기 때문에 IS 노드로부터 최단 경로를 알리기 위한 라우팅 갱신을 필요로 하지 않는다. 따라서, 소스 노드와 싱크 노드 사이에 IS 노드들을 추가하기 쉽기 때문에 소스 노드와 싱크 노드의 홉 수가 많은 경우에는 3.1의 방법보다 더 효율적으로 오버헤드를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 3~5는 ReInForM과 ReTrust에서 싱크 노드와 소스 노드의 관점에서 각 방법의 전송 예를 나타내었다.

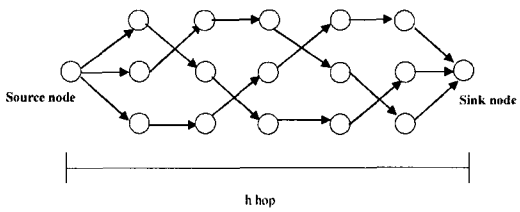


그림 3. ReInForM 예.
Fig. 3. Example of packet transmission in ReInForM

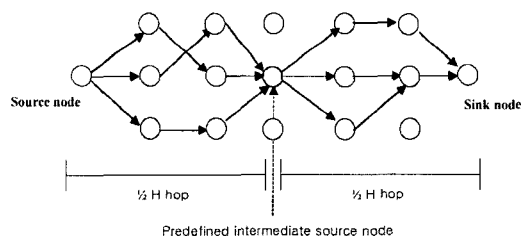


그림 4. ReTrust의 첫 번째 방법의 예.
Fig. 4. ReTrust : setting up sink-based IS node

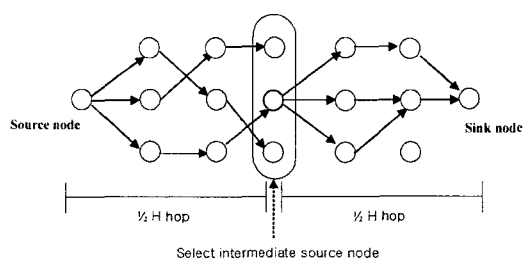


그림 5. ReTrust 의 두 번째 방법의 예.
Fig. 5. ReTrust : setting up source-based IS node

Ⅳ. 성능 평가

ReInForM에서는 기본적인 확률 이론을 사용하여 원하는 신뢰도(R)에 대한 다중경로들의 개수(N_S)와 패킷 오버헤드의 개수(O_S)를 계산하였다 여기서 각각의 데이터를 복사한 다중 패킷들이 단일 최단 경로를 통하여 소스 노드에서 싱크 노드까지 전달되

는 것을 가정 하였다.

e를 채널 에러율, h를 싱크와 소스까지의 최단 경로의 홉 수라 하자. 소스가 N_S 개의 패킷을 보냈을 때 싱크 노드가 N_S개의 다중 패킷들 중 어떤 패킷도 받지 못할 확률 P_f는

$$P_f = (1-(1-e)^h)^{N_s} \quad (1)$$

요구되는 신뢰도 R은 $1 - R = P_f$ 임을 고려하고 식 (1)을 N_S에 관하여 표현하면

$$N_S = \frac{\log(1-R)}{\log(1-(1-e)^h)} \quad (2)$$

소스 노드로부터 i 홉에 거리에 있는 노드가 성공적으로 패킷을 수신할 확률은 $(1-e)^i$이다. 그러므로, 전체 패킷 오버헤드는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} O_s &= N_s \sum_{i=0}^{h-1}(1-e)^i \\ &= \frac{(1-(1-e)^h)\log(1-R)}{e\log(1-(1-e)^h)} \end{aligned} \quad (3)$$

다음으로 제안하는 ReTrust 알고리즘과 같이 IS 노드가 소스 노드와 싱크 노드 사이에 존재한다고 가정하자. IS_i를 소스 노드로부터 i 번째에 있는 IS 노드라고 하자. (IS_0 는소스 노드). R_{IS_i} 는 IS_i 에서 IS_{i+1} 까지 요구되는 신뢰도, 그리고 M은 IS 노드의 총 개수를 의미한다 소스 노드부터 싱크 노드까지 요구하는 전체 신뢰도(R_T) 는 다음과 같다.

$$R_T = \prod_{i=0}^{M} R_{IS_i} \quad (4)$$

모든 IS 노드가 요구하는 다중경로의 총 개수를 N_T라 하고 N_{IS_i}를 IS_i 부터 IS_{i+1}까지 IS_i 에서 요구하는 다중경로의 개수라 하자. N_{IS_i}는 공식 (2)와 유사하게

$$N_{IS_i} = \frac{\log(1-R_{IS_i})}{\log(1-(1-e)^{h_i})}, \ 0 \le i \le M \quad (5)$$

으로 유도된다. 여기서 h_i 는 IS_i부터 IS_{i+1} 까지의 홉 수를 의미한다. 그러므로, 전체 다중 경로 개수 (N_T)는

$$N_T = N_{IS_0} + \sum_{i=0}^{M-1}\left(\prod_{j=0}^{i} R_{IS_j}\right) \times N_{IS_{i+1}} \quad (6)$$

이와 유사한 방법으로 전체 패킷 오버헤드 O_T는 다음과 같다.

$$O_T = O_{IS_0} + \sum_{i=0}^{M-1}\left(\prod_{j=0}^{i} R_{IS_j}\right) \times O_{IS_{i+1}} \quad (7)$$

여기서 O_{IS_i}는 IS_i부터 IS_{i+1}까지 패킷 전송 시 패킷 오버헤드이다. O_{IS_i}는 식 (3)을 바탕으로 다음과 같이 표현된다.

$$O_{IS_i} = \frac{(1-(1-e)^{h_i})\log(1-R_{IS_i})}{e\log(1-(1-e)^{h_i})}, \ 0 \le i \le M \quad (8)$$

이 분석을 토대로 ReInForM과 ReTrust의 성능을 평가한다. ReTrust에서 IS노드는 소스 노드와 싱크 노드 간의 중간 지점에 하나를 설정하고 전체 신뢰도는 ReInForM과 같다고 가정한다. ReTrust의 중간 신뢰도는 전체 신뢰도를 만족시키면서 모두 동일하도록 설정하였다. 그림 6에는 경로의 소스 노드와 싱크 노드 사이의 홉에 변화를 주었을 때 패킷 오버헤드를 분석하였다. 소스와 싱크 노드 사이의 홉 수가 적을 경우 ReInForM의 오버헤드가 더 적지만, 홉 수가 많아질수록 ReTrust 알고리즘이 더 효율적이다. 특히 채널 에러율이 높아질 경우에는 그 차이가 더 커진다는 것을 알 수 있다.

그림 7에서 ReTrust는 전체 신뢰도를 70%로 유지하면서 소스 노드부터 IS 노드까지의 신뢰도를 증가시켰다. 소스 노드와 싱크 노드 사이의 홉 수는 8로 설정하였다 ReTrust의 전체 패킷 오버 헤드는 채널 에러율에 상관없이 ReInForM 보다 낮게 나오고 있다. 또한 이 결과들에서 소스 노드가 ReTrust를 사용하였을 경우 소스 노드와 IS 노드가 같은 신뢰도를 설정하였을 때 가장 작은 패킷 오버헤드

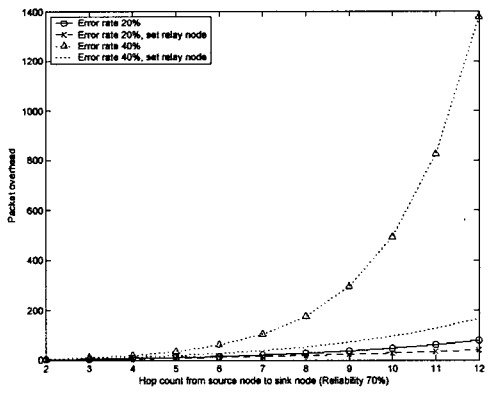


그림 6. 신뢰도 70% 일 때 전체 패킷 오버헤드
Fig. 6. Total packet overhead with reliability of 70%

를 가진다는 것을 알 수 있다(R_{IS_0}은 83.6%일 때 전체 R_{IS_i}은 신뢰도 70%를 맞춰주기 위해 83.6%로 설정된다.).

그림 8는 소스와 싱크 간의 거리를 12 홉으로 두고 소스와 싱크 노드 중간에 IS 노드를 1,2,3,5 개를 설정하였을 때의 전체 패킷 오버헤드를 나타낸다.

각 IS 간 홉 수는 12/(IS 노드 수+1) 으로 설정하고 각 중간 신뢰도는 동일하게 하면서 전체 신뢰도 70%를 만족하도록 하였다 IS 노드가 증가할 때마다 전체 패킷 오버헤드는 줄어들고 있지만 일정 개수 (2개 정도)가 넘어가면 패킷 오버헤드의 감소폭이 줄어듦을 알 수 있다. 이는 IS 노드 설정과정과 IS 노드의 정보 전파로 인한 오버헤드가 많아진다면, 적절한 개수의 IS 노드가 더 효율적이라는 것을 의미한다.

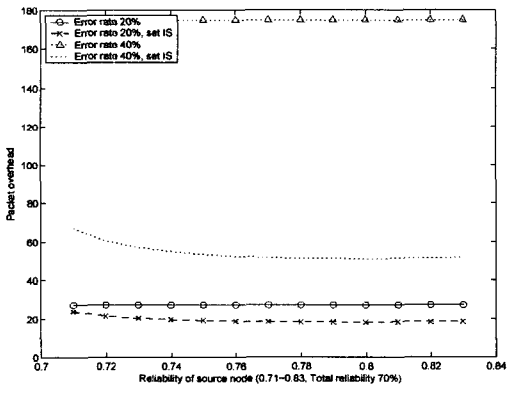


그림 7. 소스 노드의 전송 신뢰도를 변경하였을 때 총 패킷 오버헤드 비교(신뢰도 70% 일때).
Fig. 7. Total packet overhead for varying reliability between the source and the IS (total reliability of 70%).

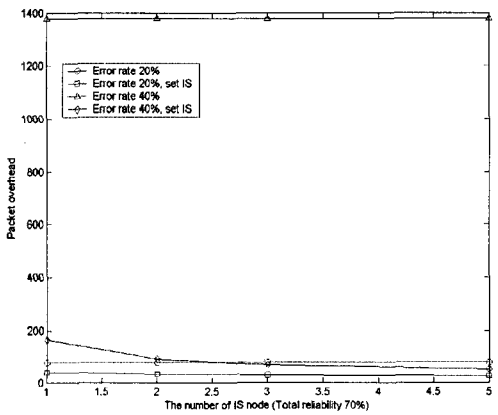


그림 8. Multi-IS 노드 설정시 총 패킷 오버헤드.
Fig. 8. Total packet overhead with multi-IS node.

V. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에 사용된 센서네트워크는 100m × 100m 공간에 랜덤으로 분산된 300개의 센서 노드로 구성된다 소스 노드는 (10, 10)에 위치하고 싱크 노드는 (90, 90)에 위치한다. 모든 노드는 20m의 전송 범위를 가지며 소스 노드와 싱크 노드 간의 홉 수는 7홉으로 설정되었다. ReTrust에서 IS 노드는 싱크 노드로부터 4 홉 거리의 노드들 중 하나로 (M=1) 설정하였고 각 중간 신뢰도는 전체 신뢰도를 만족하면서 서로 동일하게 설정하였다. 소스 노드는 모두 200개의 패킷을 싱크 노드에 전송한다.

그림 9는 소스가 원하는 신뢰도를 각각 40%, 70%로 설정한 상태에서 채널 에러율을 5~50%로 변화를 주면서 싱크 노드에서 측정한 신뢰도를 나타내고 있다. 40%의 신뢰도와 5~10%의 채널 에러율일 때, 싱크 노드에서 측정한 신뢰도는 소스 노드에서 원한 신뢰도 보다 높다. 또한 15~20% 채널 에러율에서는 소스에서 원하는 신뢰도보다 싱크 노드에서 측정한 신뢰도가 낮게 나타났다. 이는 싱크 노드에서 얻는 신뢰도가 다중 경로 개수에 영향을 받기 때문이다. 특히, 계산된 다중 경로의 개수가 적을수록 실제 신뢰도에 미치는 영향은 크게 된다. 그림 10은 ReInForM과 ReTrust 모두 요구하는 신뢰도가 실제 신뢰도를 만족하고 있음을 보인다 이것은 제안한 ReTrust 알고리즘이 IS 노드로 인해 실제 싱크 노드에서 얻는 신뢰도에는 영향을 미치지 않음을 의미한다 그림 11은 ReInForM과 ReTrust 알고리즘에서 패킷 전송 시 총 오버헤드를 나타낸다. 각각의 알고리즘에 대하여 신뢰도를 동일하게

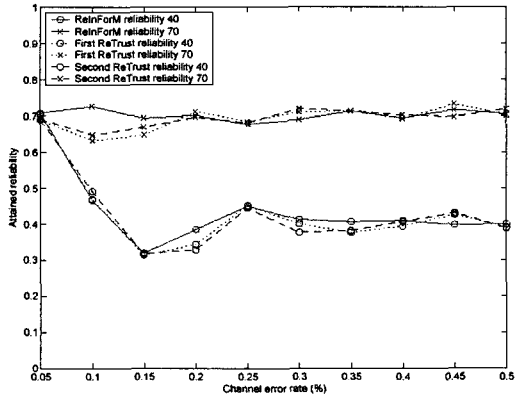


그림 9. 채널 에러율 증가에 따른 sink 노드의 신뢰도 비교.
Fig. 9. Attained reliability under increasing channel error rate

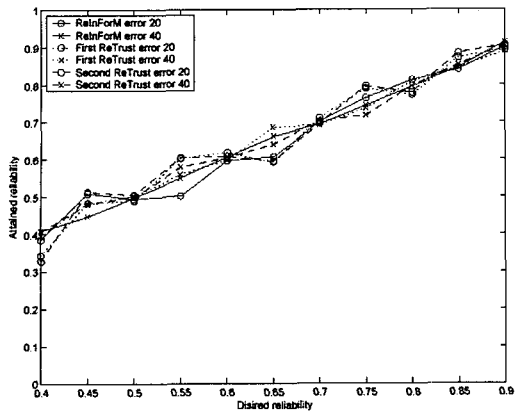


그림 10. 소스 노드의 신뢰도와 sink 노드의 신뢰도 비교
Fig. 10. Attained reliability vs. desired reliability

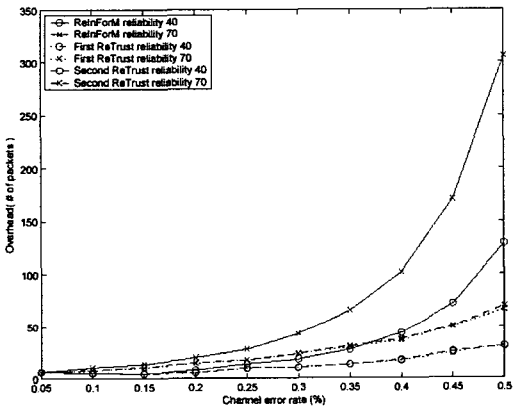


그림 11. 채널 에러율 증가에 따른 전체 패킷 오버헤드 비교
Fig. 11. Packet overhead for increasing channel error rate.

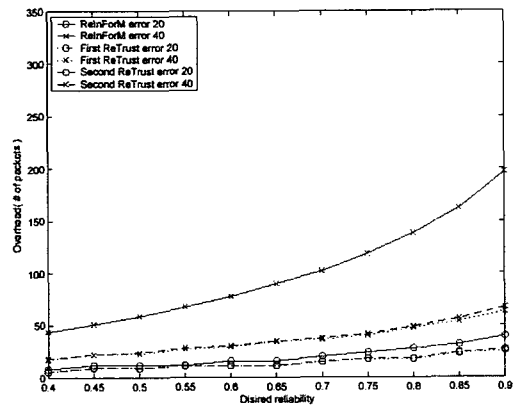


그림 12. 요구 신뢰도 변경에 따른 패킷 오버헤드 비교
Fig. 12. Packet overhead for varying desired reliability

설정한 경우에 ReTrust의 패킷 오버헤드는 ReInForM 보다는 적게 나타나고 있다. 이 결과에서 ReTrust의 첫번째 방법은 ReTrust의 두 번째 방법과 거의 동일한 결과를 가진다는 것을 알 수 있다. 그림 12는 ReTrust가 ReInFrom과 같은 채널 에러율에서 상대적으로 오버헤드가 적다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 시뮬레이션 결과들을 볼 때 본 논문이 제안한 알고리즘은 ReInForM 만큼 소스 노드에서 요구하는 신뢰도를 만족하면서 ReInForM 보다는 오버헤드가 적어 더 효율적임을 확인할 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 센서 네트워크에서 요구하는 신뢰도를 만족시키기 위한 ReTrust 알고리즘을 제안하였다. ReTrust는 소스 노드와 싱크노드 사이에 IS 노드를 두어 중간 신뢰도를 설정하고 소스 노드와 IS 노드사이의 다중 경로 수를 조절하여 총 패킷 오버헤드를 줄이고 있다. 본 논문에서 제안한 ReTrust 알고리즘들은 성능 분석과 시뮬레이션을 통해 요구 신뢰도를 만족하면서도 ReInForM 알고리즘보다 패킷 오버헤드 측면에서 더 효율적이라는 것을 알 수 있었다. 특히, 채널 에러율이 높고 싱크 노드와 소스 노드 사이의 홉이 많아수록 ReTrust의 성능이 더 좋다는 것을 볼 수 있었다. 또한, 이런 결과들은 패킷의 충돌을 확률을 낮추고 전체 네트워크의 소모되는 전력을 줄이는데 영향을 줄 것이다.

참 고 문 헌

[1] B. Deb, S. Bhatnagar, and B. Nath. "ReInForM: Reliable Information Forwarding Using Multiple Paths in Sensor Networks," In Proc. of LCN03, pp. 406-415, Oct. 2003.

[2] I. F. Akyildiz and W. Su. "A Survey on Sensor Network," IEEE communications Magazine, vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.

[3] W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan., "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," In Proc. of ACM MobiCom, pp. 174-185, 1999.

[4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan., "Energy-efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," In Proc. of IEEE Sys. Sci., pp. 1-10, Jan. 2000.

[5] S. Singh, M. Woo, and C. S. Raghavendra,. "Power-aware routing in mobile Ad Hoc

networks," In Proc. of ACM MobiCom, pp. 181-190, Nov. 1998.
[6] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Service," RFC2475, IETF, 1998.
[7] S. Bhatnagar, B. Deb, and B. Nath, "Service Differentiation in Sensor Networks," In Proc. of Wireless Personal Multimedia Communication, Sep. 2001.
[8] A. Bhargava, J. Kurose, and D. Towsley, G. Vanleemput, "Performance Comparison of Error Control Schemes in High Speed Computer Communication Networks," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, vol. 6, no. 9, pp. 1565-1575, 1988.
[9] S. De, C. M. Qiao, and H. Y. Wu, "Meshed Multipath Routing: An Efficient Strategy in Sensor Networks," In Proc. of IEEE WCNC 2003, vol. 3, pp. 1912-1917, Mar. 2003.
[10] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," In Proc. of MOBICOM, pp. 56-67, 2000.
[11] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin, "Highly Resilient, Energy-efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks," In Mobile Computing and Communications Review(MC2R), vol. 1, no. 2, pp. 11-25, 2002.
[12] I. Stoica, S. Shenker, H. Zhang, "Core-stateless Fair Queueing: Achieving Approximately Fair Bandwidth Allocations in High Speed Networks," In Proc. of SIGCOMM, pp. 118-130, 1998.
[13] K. Arisha, M. Youssef, M. Younis. "Energy-aware TDMA based mac for sensor networks," In Proc. of IEEE IMPACCT 2002.

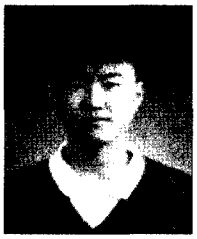
이 보 형 (Bo-Hyung Lee) 준회원

2002년 8월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사)
2004년 8월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(석사)
2004년 9월~현재 삼성전자 TN
<관심분야> 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서 네트워크

윤 형 욱 (Hyung-Wook Yoon) 준회원

2003년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사)
2005년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(석사)
2005년 3월~현재 삼성전자 TN
<관심분야> 무선 LAN, ad-hoc/센서 네트워크

박 종 호 (Jong-Ho Park) 준회원



2004년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사)
2004년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
<관심분야> 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서 네트워크

정 민 영 (Min Young Chung) 정회원

1990년 2월 KAIST 전자공학과 졸업
1994년 2월 KAIST 전자공학과 석사
1999년 12월 KAIST 전자공학과 박사
2000년 1월~2002년 2월 ETRI 선임 연구원
2002년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수
<관심분야> 유무선 홈 네트워크, 이동통신 네트워크, IP 라우터 시스템, 광 네트워크 관련 성능분석

이 태 진 (Tae-Jin Lee) 종신회원

1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)
1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(석사)
1995년 12월 University of Michigan, Ann Arbor, EECS (M.S.E.)
1999년 5월 University of Texas, Austin, ECE (Ph.D.)
1999년 5월~2001년 2월 삼성전자 중앙연구소 책임연구원
2001년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 조교수
<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무선 LAN/PAN, ad-hoc/센서 네트워크, 무선 통신 시스템