

# 무선 센서 네트워크에서 자기 전달 신호를 활용한 전송 제어 방법

## A link control method using self relay signal in wireless sensor networks

김승천\*

Seung-Cheon Kim

요 약 안정적인 유비쿼터스 센서 네트워크 서비스가 운용되기 위해서는 센서 네트워크 내에서 신뢰성이 확보되어야 하며, 이중에서도 전송 신뢰성의 확보는 다른 어떤 것보다 시급하다. 특히 무선 센서 네트워크의 활용이라는 측면을 보았을 때 전송 신뢰성은 단순히 안정적인 전송만을 생각하기 보다는 성능 향상이라는 부분도 생각해야 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 전송 신뢰성 확보와 성능 개선이라는 두 가지 모두를 확보 할 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 무선 환경 내에서의 자기 전달 신호를 활용하여 ACK를 대신하고 이를 바탕으로 다음 데이터의 전송을 시작하도록 한다. 성능 개선을 확인하기 위해서 제안 방법의 수학적 분석과 시뮬레이션을 통한 검증은 실시한다.

**Abstract** Reliability should be assured to support the stable ubiquitous sensor network services in wireless sensor networks. Data transmission reliability is the most important one in the reliability factors in USN. When we consider the wireless communication environment of sensor networks, data transmission reliability requires the performance improvement. For this, this paper introduces the method that can handle the reliability and the performance together. The proposed scheme uses the self relay signal between sensor nodes to deliver the ACK and the next data is scheduled to be sent on acceptance of this self relay signal. For the evaluation of the performance improvement, the analysis and the simulation have been done.

**Key Words :** 자기 전달 신호, 유비쿼터스 센서 네트워크, 데이터 전송 신뢰성

### I. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크는 차세대 방송 통신망의 근간을 이루며 새로운 네트워크 서비스를 구현하고 궁극적으로는 유비쿼터스 서비스가 가능하도록 하는 근간이 될 것이다. 이를 위해서는 무선 센서 네트워크를 활용하는 방법에 있어서 신뢰성이 무엇보다 중요하게 된다. 유비쿼터스 센서 네트워크에서 신뢰성이란 크게 세가지 의미로 설명이 가능하다.

첫 번째는 네트워크 신뢰성이다. 네트워크 신뢰성이란 통신환경을 비롯한 네트워크 토폴로지, 에너지 소모 등을 포함한 물리적 특성에 따른 신뢰성을 말한다. 유비쿼터스 센서 네트워크는 서비스에 따라 설계가 다르게 된다. 때문에 초기 설계시의 네트워크 신뢰성을 확보하는 것은 물론, 서비스를 변경하거나 추가하려고 할 때 네트워크 신뢰성이 유지되도록 하여야 한다.

두 번째는 서비스 신뢰성이다. 서비스 신뢰성은 기존의 네트워크에서는 중요시 되지 않았지만, 유비쿼터스 센서 네트워크에서는 매우 중요시되는 부분이다. 크게 이벤트 중심 서비스, 질의 중심 서비스, 데이터 중심 서

\*정회원, 한성대학교 정보통신공학과 (교신저자)  
접수일자 2009.03.05, 수정완료일자 2009.04.05

스 세 가지로 서비스를 분류하여, 네트워크에서 해당 서비스가 얼마나 잘 운용되며 안정적인지를 나타낸다.

마지막으로 데이터 전송 신뢰성이다. 네트워크에서 데이터를 전송할 때 보이는 신뢰성을 말하는 것으로, 데이터가 안전하게 목적지까지 전달됨을 나타낸다. 데이터가 전달될 때 높은 데이터 처리율과 저비용으로 데이터를 전달해주는 것을 포함하며, 데이터 복구 및 혼잡 제어 등의 기법 등을 적용하여 데이터 전달 신뢰성을 높일 수 있다.

이들 중에서 데이터의 전송 신뢰성은 센서 네트워크를 근본적으로 안정하게 운영되도록 하는 근간이 된다. 본 논문에서는 이러한 전송 신뢰성 확보를 위한 방법으로 무선 환경에서 자기 전달 신호를 활용하여서 데이터 안정성과 성능 향상 두가지를 한꺼번에 만족시키기 위한 방법을 제안한다. 그리고 성능 비교를 위해서 수학적 분석을 실시하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 기존의 방법과 비교 분석한다.

## II. 본 론

### 1. 제안 방법

제안하는 방법은 센서노드가 무지향성 무선통신을 하는 것을 전제로 하고 있다. 이에 무지향성 안테나를 이용하는 무선통신망으로 구축된 네트워크에서 성능향상을 기대할 수 있으며, 네트워크 내의 통신은 동일한 통신 구조를 지녀야 한다는 것을 전제로 한다.

본 논문에서는 기존의 네트워크망과 라우팅 프로토콜 및 데이터 구조를 그대로 이용하며, 데이터 송수신을 담당하는 계층을 새로이 제안한다. 이는 별도의 라우팅 프로토콜을 이용하여 하나의 전송경로를 결정하고, 그 경로를 따라 데이터를 전송하는 상황을 가정하고 있다.

무선 환경에서 데이터를 전송함에 있어 가장 큰 문제점은 송수신과정에서 여러 외부요인으로 인해 손실이 일어나는 것이다. 이를 해결하기 위한 고전적 방법으로 데이터가 도착하는 최종 목적지에서 해당 데이터의 수신을 확인하고 최초 전송지에 알려주는 종단간 전송 기법과, 라우팅 경로 내에 존재하는 각각의 노드에서 데이터의 수신을 확인하고 이전노드에 알려주는 홑간 전송 기법이 있다. 종단간 전송 기법은 라우팅 경로가 길어지면 각 노드간의 에러가 누적되어 에러율이 높아지는 단점이 있으며, 홑간 전송 기법은 각 노드 간에서 전송확인을 위한

통신을 함으로써 통신량이 많아져 전송효율이 떨어지게 된다.

두 가지 방법의 단점을 해결하는 방법으로 무선통신의 특성을 이용한 목시적 전송 기법을 제안한다. 이는 하나의 노드가 데이터를 송신하면 이웃하는 노드 모두에 데이터가 수신되는 것에 착안하여, 별도의 통신 없이 각 노드에서 데이터의 전송 리포트를 얻게 한다. 하나의 노드가 데이터를 전송하면 라우팅 경로내의 다음 노드는 데이터를 수신 받아 전달한다. 이때 처음 데이터를 전송한 노드에게도 그 전달데이터가 도달하므로 전송이 되었음을 알 수 있게 된다. 결과적으로 각 노드에서 전송한 데이터가 무사히 도착했는지 확인 가능하지만, 별도의 추가 통신이 발생하지 않게 된다.

### 2. 성능 비교 설명

#### 2.1 종단간 전송 방법 (End-to-End Delivery)

이 방법은 기본적으로 유선망에서 사용되는 방법으로 데이터의 전달이 종단간에 이뤄지는 방법을 의미한다. 하지만 여기서는 센서 노드와 싱크 노드간의 데이터 전송을 가정한다. 종단간 전송시 센서 노드는 아래의 그림 1에서와 같이 싱크 노드에게 데이터를 전송하고 이에 대한 확인을 바탕으로 새로운 데이터를 전송한다고 가정하도록 한다. 데이터의 전송은 Go-back-N ARQ에 기초하여 이뤄진다고 가정하여서 성능을 분석하도록 한다.

이때 사용되는 변수들은 표1과 같이 정의된다.

표 1. 사용되는 변수  
Table 1. Parameters

변수명	의미
$p_l$	링크의 비트에러율(BER)
$p_f$	전방전송 패킷 에러 확률
$p_b$	후방전송 패킷 에러 확률
$\tau$	센서 노드간의 왕복 전파지연
$t_{packet}$	센서 노드에서의 패킷 전송 시간
$N_p$	전송패킷의 비트수
$N_{ack}$	ACK 패킷의 비트수

그림1에서 보는 바와 같이 n개의 센서 노드로 구성된 센서네트워크에서 종단간 데이터 전송을 생각할 때 센서

노드로부터 싱크노드까지의 전송 시간은 크게 세부분으로 구성되어진다. 이는 기본 전송시간, NAK 기반의 재전송 시간 그리고 Time-Out에 기초한 재전송 시간이 된다.

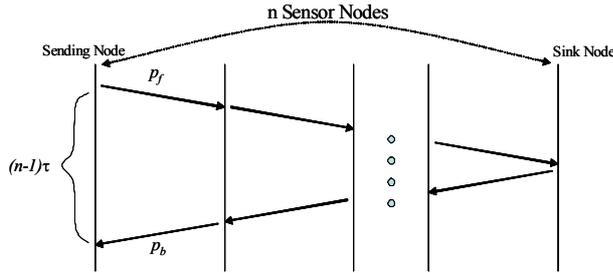


그림 1. 종단간 데이터 전송  
Fig. 1 End-to-End Data Delivery

우선 첫 번째로 센서 노드는 기본적으로 무조건 다음의 전송 시간이 필요하게 된다. 그 시간은 다음과 같다.

$$T_I = t_{packet} + \tau \quad (1)$$

이 시간은 기본적으로 센서 네트워크에서는 충돌 회피로 인해서 한번 패킷을 전송한 센서 노드는 이웃 노드가 그 패킷을 다음 노드에게 전달하기 위한 시간이 필요하다는 가정에 근거한다.[10] 하지만 만일 전송한 패킷이 오류가 있거나 이전 패킷의 오류로 인해서 데이터 패킷을 다시 전송해야 한다면 기본적으로 추가 시간이 더 필요하게 된다. 이때 필요한 추가 시간은 그림1에서 보듯이 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$T_N = t_{packet} + t_{NAK} + (n-1)\tau \quad (2)$$

이러한 시간이 필요하게 될 확률은 다음과 같다. 우선 전방향으로 패킷을 전송할 때 발생할 수 있는 에러율은 링크의 BER과 패킷의 길이에 따라서 다음과 같이 구해진다.

$$\text{전방향 전송 에러 확률: } p_f = 1 - (1 - p_l)^{N_p} \quad (3)$$

$$\text{후방향 전송 에러 확률: } p_b = 1 - (1 - p_l)^{N_{ACK}}$$

이를 바탕으로 재전송이 필요한 확률을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P &= (1 - p_b)^{n-1} \{ p_f + (1 - p_f)p_f \cdots + (1 - p_f)^{n-2}p_f \} \\ &= (1 - p_b)^{n-1} \frac{p_f \{ 1 - (1 - p_f)^{n-1} \}}{\{ 1 - (1 - p_f) \}} \\ &= (1 - p_b)^{n-1} \{ 1 - (1 - p_f)^{n-1} \} \end{aligned} \quad (4)$$

다음으로는 센서 노드의 데이터가 전송되지 못하거나 혹은 싱크노드에서 이를 제대로 알릴 수 없는 경우에 송신 센서 노드에서는 이미 전송한 데이터 패킷들에 대해서 타임아웃이 발생하게 되어 재전송이 필요하게 된다. 이때 필요한 재전송 시간은 보통 앞서서 정의하였던 전송오류에 따른 재전송 시간의 두배를 잡는 것이 기본이므로 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$T_O = 2T_N = 2(t_{packet} + t_{NAK} + (n-1)\tau) \quad (5)$$

앞서서 설명하였듯이 이러한 상황은 두가지 경우가 있어서 발생가능한데, 첫 번째는 센서노드에서 전송한 패킷이 중간에 손실되고 이를 감지한 싱크노드가 전송한 NAK가 손실되는 경우이고 다른 하나는 패킷이 제대로 전송되었으나 이에 대한 ACK패킷이 중간에서 손실되는 경우이다. 이를 확률식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q &= \{ 1 - (1 - p_f)^{n-1} \} \{ 1 - (1 - p_b)^{n-1} \} \\ &\quad + (1 - p_b)^{n-1} \{ 1 - (1 - p_{ACK})^{n-1} \} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $p_{ACK}$ 는 ACK 패킷이 에러가 발생할 확률이다. 이제부터 통신채널을 통한 전송방법의 처리율과 데이터의 전송 지연에 관하여 분석하도록 한다.

먼저 센서노드에서 보낸 데이터가 겪는 전송 시간을 T 라고 하면 이 시간은 재전송을 i번 경험하게 되고 또한 time-out을 j번 경험하게 된다. 여기서 i 와 j 는 각각 확률변수(Random Variable)이고 이때 전송 시간은 다음과 같다.

$$T = T_I + iT_N + jT_O \quad (7)$$

또한 이러한 경우 전송 시간이 T일 확률을 구해보면 이는 위에서 다음과 같이 된다.

$$\Pr\{T = T_I + iT_N + jT_O\} = (1 - P)(1 - Q)P^i Q^j \quad (8)$$

워식은 결국 확률변수 T는 재전송이 i번 발생하고 타임아웃이 j번 발생한뒤에 결국은 제대로 전송될 수 있다는 의미가 된다.

따라서 전송 평균 시간은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (T_I + iT_N + jT_o)(1-P)(1-Q)P^i Q^j \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (AT_I P^i Q^j + AT_N i P^i Q^j + AT_o P^i j Q^j) \\ &\text{, where } A = (1-P)(1-Q) \\ &= AT_I \frac{1}{1-P} \frac{1}{1-Q} + AT_N \frac{1}{1-Q} \frac{P}{(1-P)^2} + AT_o \frac{1}{1-P} \frac{Q}{(1-Q)^2} \\ &= T_I + \frac{P}{1-P} T_N + \frac{Q}{1-Q} T_o \end{aligned} \tag{9}$$

여기서 이상적인 상황을 생각하면, 즉 전송단의 전송하려는 데이터가 풍부한 경우를 생각하면 식(9)는 이상적인 경우의 평균 전송 시간이 된다. 이를 이용하여 전송 처리율을 구해보면 이는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{T_I - t_{overhead}}{\bar{T}} \tag{10}$$

여기서  $t_{overhead}$ 는 기본적으로 데이터 패킷을 송신하는데 필요한 overhead를 의미한다.

### 2.2 묵시적 전송 방법 (Implicit Way Delivery)

제안하는 방법은 홉간 전송을 기반으로 하되 이웃 노드의 데이터 전달 상황을 이전 노드에서 확인함으로써 묵시적으로 다음 노드를 전송 할 수 있도록 하는 묵시적 확인을 통한 전송 방법이다. 제안하는 묵시적 전달 방법은 센서 노드에서 데이터를 전송하고 이웃 노드가 그 데이터를 제대로 다음 노드에게 전달하는 것을 확인할 수 있다는 가정에 정의된 방법이다.

먼저 이런 묵시적 전송 방법에서는 기본적으로 채널을 공유하거나 또는 서로 같은 채널의 사용으로 인해서 기본적으로 하나의 데이터를 성공적으로 보내는데 사용되는 시간은 다음과 같다고 할 수 있다.

$$T_I = t_{packet} + \tau + t_{ACK} \tag{11}$$

이런 상황은 그림 2에서 보는 바와 같이 하나의 데이터를 센서 노드가 보내고 다음 노드가 이를 성공적으로 전송하는 것을 확인하는 동안은 기다린다는 가정을 사용하도록 하였다. 이런 상황은 Go-back-N ARQ가 적용되어도 마찬가지로 기본적으로 하나의 데이터를 성공적으로 보내는데 꼭 필요한 시간이 식 (19)와 같이 된다는 사실을 알 수 있다.

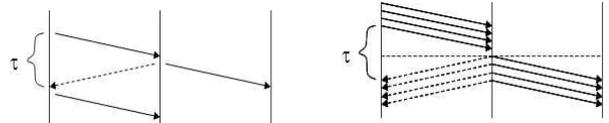


그림 2. 묵시적 전송 방법의 데이터 전송시 기본 사용시간  
Fig. 2 Implicit Data Delivery

또한 노드간의 전체시간은 이웃 노드가 재전송을 요구하는 경우에 있어서 증가하게 된다. 이러한 상황은 이웃 노드가 NAK를 전송하고 이에 대해서 센서 노드가 해당 패킷을 재전송 할때 발생하게 된다. 이때 필요한 시간은 다음과 같다.

$$T_N = t_{packet} + t_{NAK} + \tau \tag{12}$$

이런 경우는 앞선 홉간 전송의 경우와 마찬가지로 다음의 확률을 가지고 발생하게 된다.

$$P = p_f(1 - p_b) \tag{13}$$

묵시적 전송 방법에서도 센서 노드에서의 타임아웃으로 인하여 데이터를 재전송하여야 할 필요가 생기게 되는데, 이때 묵시적 전송 방법에서의 타임아웃 값은 일반적으로 다른 방법에 비해서 작을수 있게 된다. 이유는 바로 채널 모니터링에 있다. 즉 데이터를 전달한 센서 노드는 다음 노드의 데이터 전송을 어떠한 방법으로도 모니터링 하여서 묵시적 ACK를 획득하려고 할텐데 이 묵시적 ACK는 일반적으로 연속성을 가지기 때문이다. 따라서 묵시적 전송방법에서는 다음과 같은 타임아웃 시간을 설정할 수 있다.

$$T_o = t_{packet} + t_{NAK} + \alpha \tag{14}$$

이러한 상황은 두가지 경우, 즉 데이터 전송시 예러가

발생하였고 이에 대한 NAK가 전송되지 않는 경우와 에러가 발생하지는 않았지만 이웃 노드에서 다음 노드로는 문제가 없이 전송되었으나 처음의 센서 노드로는 오류를 앓고서 전달되었을 때 발생하게 된다. 다시 말해서 두 번째의 경우는 특별히 확인하는 쪽에서만 오류가 추가되는 경우를 의미한다. 이는 무선 통신 환경에서 한쪽방향만 장애물이 있는 상황에 해당한다.

따라서 이런 상황의 확률은 다음과 같이 된다.

$$Q = p_f p_b + (1 - p_b) p_{br} p_f \quad (15)$$

여기서  $p_{br}$ 은 전달된 패킷이 처음 센서 노드의 모니터링시 에러가 발생할 확률이 된다. 이제 이러한 모든 상황을 가지고 앞서 계산하였던 방법과 동일한 방법을 이용하면 평균 시간을 구할 수 있다. 먼저 앞선 식(9)에서의 결과를 이용하여 노드간 각각의 경우에 대한 확률 변수와 해당 확률값을 곱하면 노드간 평균 전송 시간이 구해지고 여기에 센서 네트워크의 노드의 개수  $n$ 을 고려하면 다음과 같이 센서 노드에서 싱크노드로의 평균 전송 시간을 구할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \bar{T} &= (n-1) \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (T_I + iT_N + jT_O)(1-P)(1-Q)P^i Q^j \\ &= (n-1) \left( T_I + \frac{P}{1-P} T_N + \frac{Q}{1-Q} T_O \right) \quad (16) \end{aligned}$$

### 3. 수학적 분석 결과

성능의 비교 분석을 위해서 사용된 공통적인 환경 변수는 표2와 같이 지정 되었다.

표 2. 비교 분석 변수 설정  
Table 2. Parameters Values

환경변수	변수값
링크전송 속도	250Kbps
데이터 패킷 길이	250bits
ACK/NAK 패킷 길이	100bits
노드간 왕복 전파지연 ( $\tau$ )	10ms
링크 비트에러율 (BER)	$10^{-5} \sim 10^{-1}$
센서노드의 갯수	1~100 개

그림 3는 링크의 BER값의 변화에 따른 처리율 변화를 나타낸다. 이를 위해서 센서 노드와 싱크 노드 사이에 20

개의 노드가 존재한다고 가정하였다. 결과에서 볼 수 있듯이 BER  $10^{-4}$  이하에서는 종단간 전송 방법이 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 무선 통신이 ISM 대역에서 이뤄지는 점을 고려하면 현실적으로 BER이  $10^{-4}$  이상이라고 가정하는 것이 바람직하다. 따라서 이 경우에는 묵시적 전송 방법이 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 4는 센서 노드와 싱크노드 사이에 있는 센서 노드 개수의 변화에 따른 처리율을 비교한다. 이를 위해서 링크 BER은  $10^{-4}$ 로 지정하였다. 결과에서 알 수 있듯이 처리율은 노드 개수가 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다. 하지만 이때도 여전히 묵시적 전송 방법이 가장 좋은 효율을 보이는 것을 알 수 있다.

그림3과 4를 통해서 일반적으로 전송 방법의 지연은 노드의 개수와 링크의 BER에 영향을 받는 것을 알 수 있는데 만일 모든 방법에서 단일 데이터 전송시 소모되는 에너지가 동일하다면 묵시적 전송 방법이 가장 작은 에너지를 소모하게 된다는 것을 유추할 수 있다.

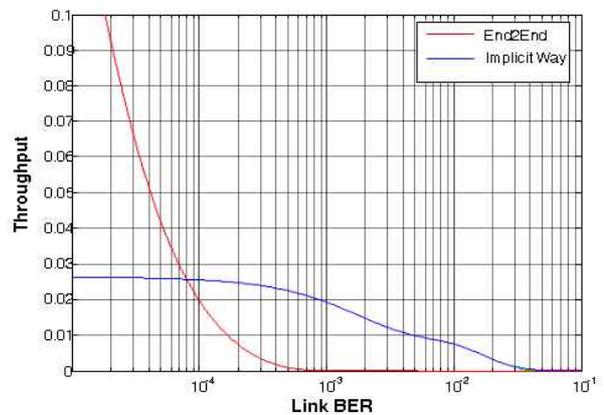


그림 3 BER변화에 따른 처리율 변화  
Fig. 3 Throughput Variation

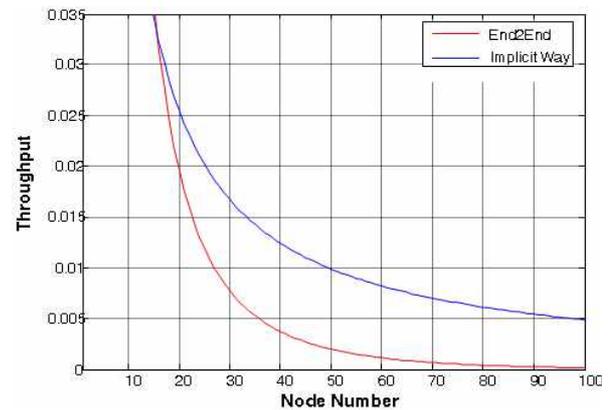


그림 4 노드수 변화에 따른 처리율 변화  
Fig.4 Throughput Variations

### III. 시뮬레이션 분석

제안 방법의 성능 검증을 위하여 실험을 실시하였다. 시뮬레이션은 NS-2 를 이용하여 수행하였다. 표 3과 같이 값을 설정하였으며, 시뮬레이션에서는 경로 설정이 된 센서 네트워크의 조합을 가정하였다.

표 3. 비교 분석 변수 설정  
Table 3. Parameters Values

시뮬레이션 지정 변수		설정 값
시뮬레이터		NS-2 2.29
장비 설정	Channel Type	Wireless Channel
	Antenna	Omni-Antenna
	Radio-Propagation Model	TwoRay Ground
	Network Interface	WirelessPhy/802.15.4
	MAC	IEEE 802.15.4
	Radio Range	5m
실험 설정	노드간 거리	5m
	패킷 크기	250byte
	패킷 생성간 평균시간	20ms
	에러율	0% ~ 30%
	노드 개수	5~50 개

기존 종단간 전송 방식과 제안하는 묵시적 전송 방식 두 가지에 대해 비교분석 하였다. 에러율과 종단간에 존재하는 노드 개수를 변화시켰을 때, 패킷이 모두 전달되어 통신이 종료되는 시간을 측정하여 분석된 결과와 비교하였다.

결과는 그림 5와 6에 나타난 것과 같이 종단간 전송 방법과 제안한 묵시적 전송 방법의 처리율과 노드수 변화에 따른 전송 지연을 비교하였다. 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 묵시적 전송 방식은 처리율과 평균전송 지연에서 종단간 방법에 비해서 우수한 것을 알 수 있었다. 이는 분석된 결과와 유사 한 것으로 판단할 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 통신 서비스 지원을 위한 센서 네트워크에서의 전송 신뢰도를 지원하기 위한 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 방법중 종단간 전송에 기반한 방법과 비교되었으며 성능 개선 효과를 알

아보기 위해서 수학적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 결과를 통해서 알 수 있었듯이 제안한 묵시적 전송 방법이 효율도 좋으면서 또한 소모 전력도 적은 방법이 될 것임을 알 수 있었는데, 이를 바탕으로 무선 센서 네트워크에서 효과적이면서 동시에 신뢰성 보장이 가능한 전송 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 할 수 있다.

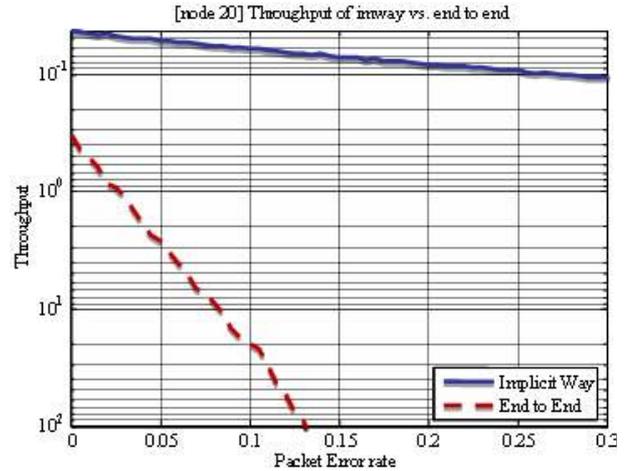


그림 5. 패킷 손실율에 따른 처리율 비교 (노드수: 20)  
Fig. 5 Throughput Variations

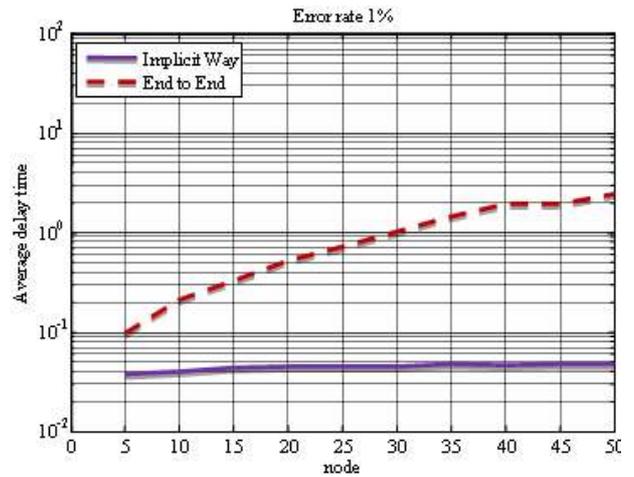


그림 6. 노드갯수 변화에 따른 평균전송시간 비교 (패킷손실율: 1%)  
Fig. 6 Average Delay Variations

## 참 고 문 헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci., "Wireless sensor networks: a survey.", *Computer Networks*, 38(4):393~422, April 2002.
- [2] J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey.", *IEEE Wireless Communications* Volume 11, Issue 6, pp. 6-28, Dec. 2004
- [3] Seung-Jong Park, Raghupathy Sivakumar, "Poster: Sink-to-Sensors Reliability in Sensor Networks.", In *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Volume 7, Issue 3, pp.27 - 28, July 2003.
- [4] IETF 6LoWPAN WG,  
"http://www.ietf.org/html.charters/6lowpan-charter.html"
- [5] Chieh-Yih Wan, et al, "PSFQ: A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks", In *Proc. of the first 2002 ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, September 28, 2002, Atlanta, Georgia, USA.
- [6] 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*, May 11, 2003, Anchorage, Alaska, USA.
- [7] Y. Sankarasubramaniam, et al, "ESRT: Event to Sink Reliable Transport in Wireless Sensor Networks.", In *Proc. of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, June 2003, Annapolis, Maryland, USA.
- [8] C. Y. Wan, et.al., "CODA: Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks," in *Proc. ACM SENSYS 2003*, November 2003
- [9] Yangfan Zhou, et al, "PORT: a price-oriented reliable transport protocol for wireless sensor networks", *Proceedings of ISSRE2005*, 8-11 Nov. 2005
- [10] Tae Hyun Kim and Sunghyun Choi, "Virtual Channel Management for Densely Deployed IEEE 802.15.4 LR-WPANS", In the *proceedings of Fourth IEEE PerCom2006*, pp. 103-115,

※ 본 연구는 2007년도 한성대학교 교내연구비 지원과제로 수행되었습니다

## 저자 소개

### 김 승 천(정회원)



- 1994년 연세대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1996년 연세대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1999년 연세대학교 전기컴퓨터공학과 박사학위
- 2000년 Univ. of Sydney Post Doc.

• 2001~2003년 LG전자 DTV 연구소 선임연구원

• 2008년 현재 한성대학교 정보통신공학과 조교수.

<주관심분야: 위성통신망, 고속통신망, 무선통신망, 유비쿼터스 센서네트워크>