

논문 2008-45CI-6-6

유비쿼터스 센서 네트워크의 신뢰성 확보를 위한 데이터 전송 방법의 성능 비교

(Performance Analysis of the Data Delivery Schemes for Reliability Assurance in Ubiquitous Sensor Networks)

김 승 천*

(Seungcheon Kim)

요 약

유시티를 비롯하여 여러 시범사업에서 나타나듯이 유비쿼터스 네트워크상에서 제공되는 서비스가 다양해질수록 안정적인 데이터 전송은 필수적인 요건이 되었다. 이렇듯 신뢰성은 서비스에서 요구하는 그 외의 서비스 품질상의 요구사항들에 앞서서 해결되어야 하는 가장 기본적인 사항이 되었다. 또한 유비쿼터스 센서 네트워크에서 가장 중요시 생각하는 저전력 통신의 근간을 지키기 위해서도 효율적이며 안정적인 데이터 전송은 기본적으로 필요한 사안이 되었는데, 근본적으로 효율적이고 안정적인 데이터의 전달이 에너지 절감에도 도움이 되기 때문이다. 이에 본 논문에서는 유비쿼터스 센서 네트워크에서의 데이터 전송 방법에 따른 효율성과 안정성을 성능 분석을 통해서 비교해 보고자 한다.

Abstract

As noted in the various USN service implementations including those in U-City, the reliable data transmission has become the essential component as the USN services are getting more various. The assurance of the reliability is needed sometimes prior to other QoS specifications of the USN services. The efficiency would become more important as well in USNs because the efficient and reliable delivery of a packet could be consequently linked to the energy saving. This paper is intended to provide the performance comparisons of data delivery schemes in USNs.

Keywords : 유비쿼터스 센서 네트워크, 안정적 데이터 전송, 효율성, 신뢰성.

I. 서 론

앞으로의 네트워크는 언제 어디서나 원하는 때 사용이 가능하다는 유비쿼터스 네트워크 서비스를 지향한다. 이를 가능하게 해줄 것으로 기대되는 네트워크가 바로 유비쿼터스 센서 네트워크(USN: Ubiquitous Sensor Network)라고 할 수 있다. 현재 USN은 ZigBee의 무선통신 방법의 기본이었던 PHY, MAC이

IEEE802.15.4로 지정되어 있고 이를 바탕으로 IP망을 연결하는 인터넷 서비스 기반의 서비스 확대를 위해서 많은 노력 중에 있다.^[1~2]

이러한 상황에서 중요하게 생각되어야 할 것은 바로 IEEE802.15.4로 표현되는 저전력무선통신망(LoWPAN: Low Power Wireless Personal Area Network)의 특징을 이해하고 이를 극복하여 서비스 확대를 위한 방법을 모색하는 것이다. 이러한 것들을 생각할 때 어쩔 수 없이 USN에서의 QoS를 생각하게 되는데 그중에서도 신뢰성은 대단히 중요한 문제로 USN의 통신망적 특성을 잘 이해하고 이를 잘 활용하는 신뢰성 보장 방법은 USN의 서비스 확대와 새로운 서비스 개발을 위해서 반드시 필요한 것이라 할 수 있다.^[3~4]

* 정희원, 한성대학교 정보통신공학과
(Dept. of Information and Communication Eng.,
Hansung University)

※ 2007년도 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00279)

접수일자: 2008년 10월 10일, 수정완료일: 2008년 10월 30일

지금까지 센서 네트워크에서는 주로 에너지 절감에 대해서만 많은 연구들이 이루어져 왔으나 최근의 여러 시범 사업을 통해서 알려지는 바와 같이 센서네트워크에서의 신뢰성 있는 데이터의 전송과 서비스의 신뢰성 등이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 일반적으로 센서 네트워크에서 신뢰성은 크게 세 가지로 구분이 가능한데, 이는 네트워크의 기본적인 안정성을 의미하는 네트워크 신뢰성, 안정적인 서비스 지원을 위한 센서 정보의 신뢰도에 기초한 서비스 신뢰성 그리고 기본적으로 안정적인 데이터의 전송을 위한 데이터 전송 신뢰성을 말할 수 있다.^[5~9]

본 논문에서는 이중에서도 데이터 전송 신뢰성과 관련하여 이를 지원하기 위한 전송 방법들을 살펴보고 이들의 성능을 비교함으로써 개선점 등을 제안하고자 한다.

II. 본 론

1. 데이터 전송 방법들

센서 네트워크에서 보통 일반적으로 생각할 수 있는 데이터 전송 방법들로는 두 가지가 있는데 이들은 바로 종단간 데이터 전송 방법(End-to-End Data delivery)과 흡간 전송(Hop-to-Hop Data Delivery) 방법이다. 이름에서 알 수 있듯이 이러한 방법들은 일반적으로 미리 정해진 데이터의 경로를 통해서 센서 데이터를 측정 노드로부터 싱크 노드로 전송하는 방법을 일컫는 것이며 실제로 전송 안정성을 위해서는 손실되거나 애러가 발생한 데이터를 재전송을 통하여 확보하게 된다.

보통 재전송 방법으로는 Go-back-N ARQ나 Selective Repeat ARQ를 사용하지만 데이터의 발생 빈도나 전송 속도 및 프로세싱 환경 등을 고려할 때 여전히 Go-back-N ARQ 방식이 선호된다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 기존의 종단간 전송 방법과 흡간 전송 방법의 성능과 비교할 수 있는 무선 센서 네트워크의 특성을 활용하는 방법인 묵시적 ACK기반의 흡간 전송 방법의 성능을 함께 비교하고자 한다. 기본적으로 묵시적 ACK를 활용하는 방법은 무선 환경에서 중간의 전달하는 노드의 신호를 함께 넘겨받아서 (Overhearing) 이를 근간으로 신호의 재전송 여부를 판단할 수 있도록 하여 좀 더 효율성을 높일 수 있도록 하는 방법이 된다.

본 논문에서는 최종적으로 이 세 가지 방법들을 비교 분석하여 성능적 차이를 살펴보고 이를 통해서 무선 센서 네트워크에서 유비쿼터스 서비스 지원을 위한 데이

터 전송 신뢰성 확보 방법으로 필요한 기능을 고찰하고자 한다.

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 가정하여 성능을 분석하도록 한다.

이때 사용되는 변수들은 표 1과 같이 정의된다.

그림 1에서 보는 바와 같이 n개의 센서 노드로 구성된 센서네트워크에서 종단간 데이터 전송을 생각할 때 센서노드로부터 싱크노드까지의 전송 시간은 크게 세부분으로 구성되어진다. 이는 기본 전송시간, NAK 기반의 재전송 시간 그리고 Time-Out에 기초한 재전송 시간이 된다.

우선 첫 번째로 센서 노드는 기본적으로 무조건 다음

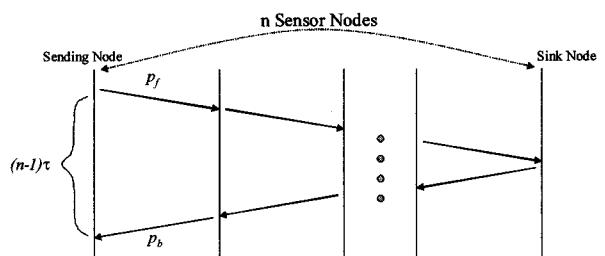


그림 1. 종단간 데이터 전송
Fig. 1. End-to-End Data Delivery.

표 1. 사용되는 변수

Table 1. Parameters.

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

의 전송 시간이 필요하게 된다. 그 시간은 다음과 같다.

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

이 시간은 기본적으로 센서 네트워크에서는 총돌 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.

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

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 두 배를 잡는 것이 기본이므로 다음과 같이 정의될 수 있다.

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

앞서 설명하였듯이 이러한 상황은 두 가지 경우에 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 여러가 발생할 확률이다.

이제부터 통신채널을 통한 전송방법의 처리율과 테이터의 전송 지연에 관하여 분석하도록 한다.

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

$$T = T_I + i T_N + j T_o \quad (7)$$

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

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

윗 식은 결국 확률변수 T 는 재전송이 i 번 발생하고 타임아웃이 j 번 발생한 뒤에 결국은 제대로 전송될 수 있었다는 의미가 된다.

따라서 전송 평균 시간은 다음과 같이 계산된다.

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

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.

$$\rho = \frac{T_I - t_{overhead}}{\bar{T}} \quad (10)$$

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

Go-back-N의 시스템 행위(System Behavior)는 M/G/1으로 모델이 가능하므로 이를 이용하여 데이터 패킷의 평균 큐잉 지연은 다음과 같이 구해진다.

M/G/1에서의 평균 지연은 평균 서비스 시간과 평균 큐 대기 시간으로 나뉘어 질수 있으며 이는 다음과 같이 구해진다.^[10]

$$\bar{D} = \bar{T} + \bar{W} = \bar{T} + \frac{\lambda \bar{T}^2}{2(1-\lambda \bar{T})} \quad (11)$$

여기서 데이터 패킷의 평균 서비스 시간의 Second Moment는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \bar{T}^2 &= \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (T_I + iT_N + jT_O)^2 (1-P)(1-Q)P^i Q^j \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (AT_I^i P^i Q^j + AT_N^i i^2 P^i Q^j + AT_O^i P^i j^2 Q^j + 2AT_I T_N i P^i Q^j \\ &\quad + 2AT_I T_O P^i j Q^j + 2AT_N T_O i P^i j Q^j), \text{ where } A = (1-P)(1-Q) \\ \bar{T}^2 &= T_I^2 + \frac{2P}{1-P} T_I T_N + \frac{2Q}{1-Q} T_I T_O + \frac{P+P^2}{(1-P)^2} T_N^2 \\ &\quad + \frac{Q+Q^2}{(1-Q)^2} T_O^2 + \frac{2PQ}{(1-P)(1-Q)} T_N T_O \end{aligned} \quad (12)$$

2.2 흡간 전송 방법 (Hop-to-Hop Delivery)

이번에는 종단간 전송이 아닌 흡간 전송을 통해서 센서노드에서 싱크 노드까지 전달 될 때의 성능을 알아보도록 하자.

흡간 전송시에는 센서 노드에서 이웃한 노드간의 전송시 필요한 시간이 싱크 노드까지 연속될 것으로 판단된다. 따라서 싱크 노드까지의 노드간 평균 시간을 구하고 이를 노드간 링크의 수만큼 곱해주면 흡간 전송에 따른 평균 시간 및 처리율을 구할 수 있다.

먼저 앞서 종단간 전송방법의 경우와 마찬가지로 흡간 전송 방법에서도 다음 그림 2에서와 같이 기본적으로 처리되는 시간이 필요하게 된다.

이때 필요한 시간은 그림에서 보는 바와 같이 다음과 같게 된다.

$$T_I = t_{packet} + \tau + t_{ACK} + \tau/2 \quad (13)$$

그림 2에서 보는 바와 같이 이웃한 노드가 성공적으로 데이터를 보내는데 채널 간섭에 대한 배려로 일정

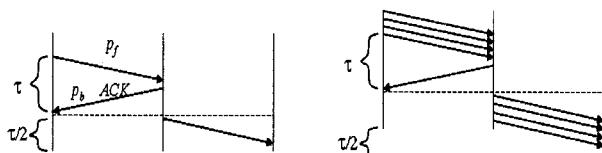


그림 2. 흡간 전송

Fig. 2. Hop-to-Hop Delivery.

시간은 좀 더 기다리게 된다.

앞서서와 마찬가지로 흡간 전송시에도 노드간에 Go-back-N ARQ를 적용하는 것을 생각할 때 노드간 데이터 전송시 필요한 시간은 다음과 같이 두 가지의 경우가 추가된다.

첫 번째는 앞서서와 같은 경우로 센서 노드에서 전송시 오류가 발생하고 이를 이웃 노드가 발견하여서 NAK를 전송하는 경우이다. 이러한 경우는 그림 4에서와 같이 추가적으로 시간이 필요하게 되는데 그 시간은 다음과 같다.

$$T_N = t_{packet} + t_{NAK} + \tau \quad (14)$$

일반적으로 이러한 경우는 센서 노드에서 이웃한 노드로 보낸 데이터가 에러가 발생하고 이를 이웃 노드가 알아서 재전송을 요구하는 NAK를 전송할 때 발생한다. 따라서 노드간에 위의 상황이 발생할 확률은 다음과 같다.

$$P = p_f (1 - p_b) \quad (15)$$

여기서는 앞서서 사용되었던 식 (3)의 계산 결과를 사용하였다. 다음으로는 노드간의 타임아웃이 발생하여서 센서 노드가 이웃 노드에게 재전송을 하여야 하는 경우가 되는데 이때 사용되는 타임아웃 시간은 일반적으로 NAK에 의한 재전송 시간의 두배를 사용한다. 따라서 다음과 같이 정의된다.

$$T_O = 2(T_N) = 2(t_{packet} + t_{NAK} + \tau) \quad (16)$$

이러한 상황은 다음과 같이 두 가지의 경우 즉 데이터 전송시 에러가 발생하였고 이에 대한 NAK가 전송되지 않는 경우와 에러가 발생하지는 않았지만 해당 ACK가 제대로 전송되지 않는 상황에서 발생하게 된다.

따라서 이런 상황의 확률은 다음과 같이 된다.

$$Q = p_f p_b + (1 - p_b) p_{ACK} \quad (17)$$

따라서 노드간 각각의 경우에 대한 확률 변수와 해당 확률값을 곱하면 나오게 된다. 따라서 앞선 식(9)에서의 결과를 이용하면 센서노드에서 싱크 노드로의 최종 전달 평균시간은 다음과 같이 연산되어진다.

$$\begin{aligned} \bar{T} &= (n-1) \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (T_I + iT_N + jT_O)(1-P)(1-Q)P^i Q^j \\ &= (n-1)(T_I + \frac{P}{1-P} T_N + \frac{Q}{1-Q} T_O) \end{aligned} \quad (18)$$

이를 이용하여서 식 (10)에서 마찬가지로 이상적인 상황에서의 처리율은 다음과 같이 계산되어지고 이 또한 M/G/1 으로 모델이 가능하므로 이를 이용하여 데 이터 패킷의 평균 큐잉 지연은 다음과 같이 구해진다. 이때 필요한 이차 모멘텀은 식 (12)에서처럼 계산되어 진다.

2.3 묵시적 전송 방법 (Implicit Way Delivery)

이번에는 흡간 전송을 기반으로 하되 이웃 노드의 데이터 전달 상황을 이전 노드에서 확인함으로써 묵시적으로 다음 노드를 전송 할 수 있도록 하는 묵시적 확인을 통한 전송 방법의 성능에 대해서 분석하도록 한다. 묵시적 전달 방법은 센서 노드에서 데이터를 전송하고 이웃 노드가 그 데이터를 제대로 다음 노드에게 전달하는 것을 확인할 수 있다는 가정 하에 정의된 방법이다. 실제로 이러한 방법은 무선망 환경에서 채널 오버히어링 (Channel Overhearing)이나 혹은 채널의 공유 영역의 사용과 같은 많은 방법들에 의해서 응용이 가능하다.

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.

$$T_I = t_{packet} + \tau + t_{ACK} \quad (19)$$

이런 상황은 그림 3에서 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.

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

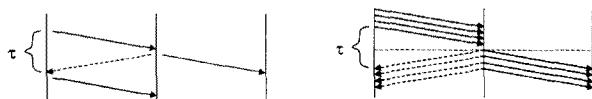


그림 3. 묵시적 전송 방법의 데이터 전송 시기 사용 시간

Fig. 3. Implicit Data Delivery.

$$T_N = t_{packet} + t_{NAK} + \tau \quad (20)$$

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

$$P = p_f(1 - p_b) \quad (21)$$

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

$$T_O = t_{packet} + t_{NAK} + \alpha \quad (22)$$

이러한 상황은 두 가지 경우, 즉 데이터 전송시 에러가 발생하였고 이에 대한 NAK가 전송되지 않는 경우와 에러가 발생하지는 않았지만 이웃 노드에서 다음 노드로는 문제가 없이 전송되었으나 처음의 센서 노드로는 오류를 않고서 전달되었을 때 발생하게 된다. 다시 말해서 두 번째의 경우는 특별히 확인하는 쪽에서만 오류가 추가되는 경우를 의미한다. 이는 무선 통신 환경에서 한쪽 방향만 장애물이 있는 상황에 해당한다.

따라서 이런 상황의 확률은 다음과 같이 된다.

$$Q = p_f p_b + (1 - p_b) p_{br} p_f \quad (23)$$

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 n을 고려하면 다음과 같이 센서 노드에서 싱크노드로의 평균 전송 시간을 구할 수 있게 된다.

$$\begin{aligned} \bar{T} &= (n-1) \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} (T_I + i T_N + j T_O) (1-P)(1-Q) P^i Q^j \\ &= (n-1) (T_I + \frac{P}{1-P} T_N + \frac{Q}{1-Q} T_O) \end{aligned} \quad (24)$$

이를 이용하여서 식 (10)에서 마찬가지로 이상적인 상황에서의 처리율은 다음처럼 계산되어지고 이 또한 M/G/1 으로 모델이 가능하므로 이를 이용하여 데이터 패킷의 평균 큐잉 지연을 구할 수 있다.

III. 성능 분석 결과 고찰

이제 앞서서 살펴본 센서 네트워크에서의 종단간 전송 방법, 흡간 전송 방법 그리고 묵시적 전송 방법의 성능을 비교 분석도록 한다.

성능의 비교 분석을 위해서 사용된 공통적인 환경 변수는 표 2와 같이 지정 되었다. 더불어서 모든 전송 방법들은 전송 방법상의 차별성을 없애기 위해서 Go-back-N ARQ가 재전송 방법으로 적용되는 상황을 가정하였다. 따라서 이번에 비교 분석되는 결과는 센서 노드에서 싱크 노드로의 전송에 따른 성능의 차이를 살펴보는데 역점을 두었다.

먼저 그림 4는 링크의 BER값의 변화에 따른 처리율의 변화를 나타낸다. 이 결과값은 수식 (9), (18), (24)를 이용하여서 얻어졌다. 이를 위해서 센서 노드와 싱크

표 2. 비교 분석 변수 설정

Table 2. Parameter values.

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

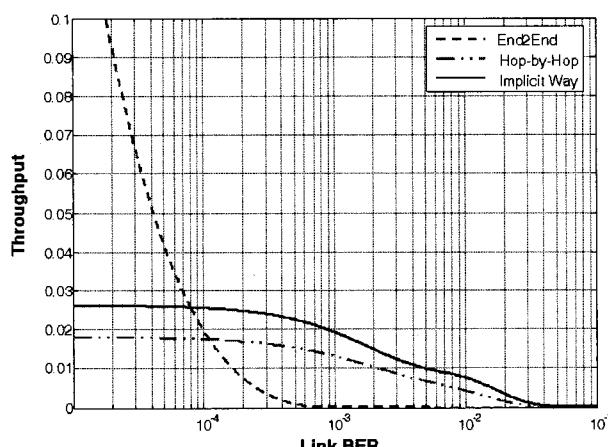


그림 4. BER 변화에 따른 처리율 비교 (노드 20개)

Fig. 4. Delay Comparison as BER varies.

노드사이에 20개의 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.^[11] 따라서 이 경우에는 묵시적 전송 방법이 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 5는 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.

그림 4와 5를 통해서 일반적으로 전송 방법의 처리율은 노드의 개수와 링크의 BER에 영향을 받는 것을 알 수 있는데 만일 모든 방법에서 단일 데이터 전송시 소모되는 에너지가 동일하다면 묵시적 전송 방법이 가장

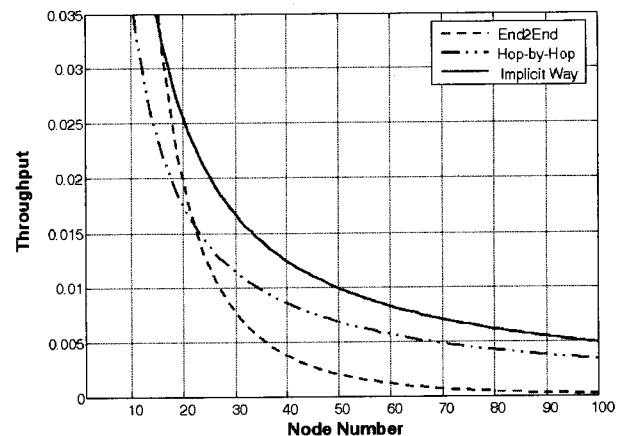


그림 5. 노드 개수 변화에 따른 처리율 (BER = 10^{-4})

Fig. 5. Delay Comparison as Number of node varies.

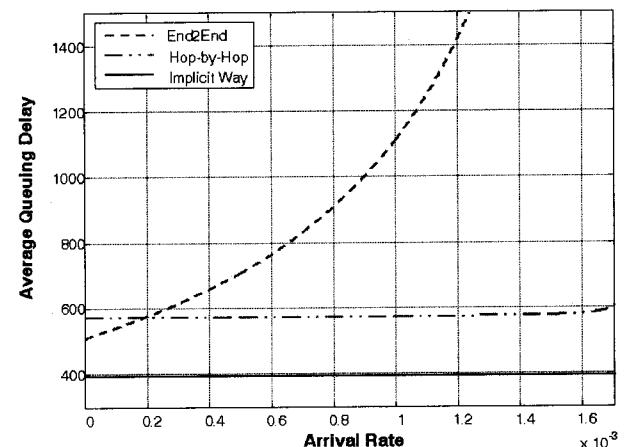


그림 6. 큐잉지연 비교

Fig. 6. Queing Delay Comparison.

작은 에너지를 소모하게 된다는 것을 유추할 수 있다. 그림 6은 데이터 입력량의 변화에 따른 큐잉 지연을 비교하고 있다. 이는 각각의 방법에다 수식 (11)을 적용하여서 얻어진다. 이를 위해서 노드의 개수는 20개로 하였고 링크 BER은 10^{-4} 으로 지정하였다. 결과를 통해서 알 수 있듯이 무시적 방법이 가장 작은 큐잉 지연을 보여서 상대적으로 센서 네트워크에서의 폭주 현상도 미리 방지 할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 통신 서비스 지원을 위한 센서 네트워크에서의 전송 신뢰도를 지원하기 위한 방법들의 성능을 비교하였다. 성능 비교를 위해서 각 방법들에 대한 수학적 분석을 실시하였고 이를 통해서 무선 센서 네트워크에서 좀 더 효율적인 '방법'이 어떤 것인지를 확인할 수 있었다. 결과를 통해서 알 수 있었듯이 무시적 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.

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/glowpan-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] Alberto Leon-Garcia, "Probability and Random Processes for Electrical Engineering", 2nd Edition, Addison-Wesley, 1994.
- [11] 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,

저 자 소 개



김 승 천(정회원)

1994년 연세대학교 전자공학과
학사 졸업.

1996년 연세대학교 전자공학과
석사 졸업.

1999년 연세대학교 전기컴퓨터
공학과 박사학위

2000년 Univ. of Sydney Post Doc.

2001년 ~ 2003년 LG전자 DTV 연구소
선임연구원

2008년 현재 한성대학교 정보통신공학과
조교수.

<주관심분야 : 위성통신망, 고속통신망, 무선통신
망, 유비쿼터스 센서네트워크>