

무선 센서 네트워크를 위한 간섭 인지 기반의 결합 허용 QoS 라우팅 기법

A Fault-Tolerant QoS Routing Scheme based on Interference Awareness for Wireless Sensor Networks

김현태·나인호[†]

Hyun-Tae Kim, In-Ho Ra[†]

군산대학교 정보통신공학과

요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 실시간 대용량 데이터를 전송하고자 할 때 QoS 요구조건과 에너지 효율성 요구를 만족시킬 수 있는 간섭 인지 기반의 결합 허용 QoS 라우팅 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 처리량을 최대화하고 지연시간을 최소화하기 위해 간섭비율과 예측전송시간을 기반으로 하는 새로운 누적 경로 메트릭을 사용하여 전송 경로에 결합이 발생하더라도 최적의 전송경로를 결정하도록 한다. 마지막으로, 시뮬레이션을 통하여 제안된 라우팅 기법을 사용하면 네트워크 처리량 및 지연시간 측면에서 성능이 향상됨을 보인다.

키워드 : 무선센서네트워크, 라우팅 최적화 기법, 결합허용, 경로비용 평가 함수, 간섭인지

Abstract

In this paper, we propose a fault-tolerant QoS routing scheme based on interference awareness for providing both high throughput and minimum end-to-end delay for wireless sensor networks. With the proposed algorithm, it is feasible to find out the optimal transmission path between sensor nodes to the sink node by using cumulative path metric where real-time delivery, high energy efficiency and less interference are considered as in path selection. Finally, simulation results show that network throughput and delay can be improved by using the proposed routing scheme.

Key Words : Wireless Sensor Network, Routing Optimization, Fault tolerance, Path cost evaluation, Interference awareness

1. 서 론

현재의 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)는 환경 감시, 흙 및 공장 자동화, 군사, 우주, 지능형교통시스템, 목표물 추적(target tracking) 등과 같은 다양한 응용분야에서 이용되고 있으며, 특히 최근에는 실시간 멀티미디어 데이터 스트리밍 서비스를 지원할 수 있는 무선 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 이러한 연구는 센서 노드에 내장 가능한 초소형 카메라, 높은 전송 대역폭을 가진 무선 송수신장치, 상당기간 지속가능한 전력 공급 장치 등에 대한 기술이 급속히 발전함에 따라 더욱 가속화되고 있으며, 낮은 전송지연(low network delay)과 높은 신뢰성(high reliability) 그리고 고품질 서비스(high Quality of Service) 지원이라는 목표를 두고

멀티미디어 데이터 스트림을 신속하게 사용자들에게 제공할 수 있는 무선 멀티미디어 센서 네트워크(WMSN: Wireless Multimedia Sensor Network) 시스템 구축에 관한 연구가 수행되고 있다[2].

멀티미디어 데이터는 지연에 아주 민감한 전송특성을 지니기 때문에 일반적으로 보통의 무선 센서 네트워크에서는 이러한 실시간 전송서비스 요구를 적시에 보장하기 어렵다. 이에 따라 전송 지연을 최소화하고 요구된 엄격한 QoS 요구조건을 보장하기 위해 높은 처리율과 네트워크 전송 지연을 최소화할 수 있는 실시간 라우팅 기법이 요구된다. 즉, 지연시간, 처리율, 센서 노드 간 주파수 간섭 등을 복합적으로 고려한 새로운 라우팅 메트릭을 사용하여 전체 전송 경로에 포함된 각각의 전송 링크에 대한 전송품질을 정확히 평가할 수 있어야 하고, 이러한 메트릭을 기반으로 주어진 QoS 요구조건을 만족시킬 수 있도록 최적의 전송 경로를 배정하는 라우팅 알고리즘을 개발하는 것이 매우 중요하다.

Directed Diffusion[3]과 같이 기 제안된 데이터 중심 라우팅 프로토콜들의 대부분은 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성 증대와 네트워크 확장성 보장에 초점을 두고 설계되었기 때문에 대량의 멀티미디어 데이터를 낮은 전송지연을 통해 실시간 전송하기에는 적합하지 않은 문제점을 지

접수일자: 2011년 11월 19일

심사(수정)일자: 2012년 3월 20일

게재확정일자 : 2012년 3월 20일

[†]교신저자

본 논문은 한국연구재단 기초연구지원사업(2011-0002635)에서 지원하여 연구하였음.

니고 있다. 또한, Gupta와 Kumar[4]에 정의된 바와 같이 무선 네트워크의 성능이 저하되는 주요 원인이 노드 밀도의 증가에 따른 이웃 노드 간의 공유 채널로 인한 간섭 문제에 의한 것이므로 무선 센서 네트워크에서 멀티미디어 전송 서비스를 효율적으로 수행하기 위해서는 각 무선 링크의 품질과 처리율 그리고 이웃 노드 간 주파수 간섭문제를 모두 고려하여 종단간 전송지연을 최소화할 수 있는 라우팅 기법이 필요하다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 실시간 멀티미디어 전송에 요구되는 QoS 조건을 만족시킬 수 있는 간섭 인지 기반의 에너지 효율적 QoS 라우팅 기법(EQR-IA: Energy-efficient QoS Routing based on Interference Awareness)을 제안한다. 제안된 EQR-IA 기법은 노드의 처리량 최대화하고 총 네트워크 지연시간을 최소화할 수 있는 간섭 인지형 통합 경로 메트릭을 이용하여 최선의 전송경로(route)를 선정하는 기법이다. 여기서 누적 경로 메트릭(cumulative path metric)은 intra/inter-flow 간섭 성분과 에너지 잔여량 성분을 통합적으로 계산하는 경로 비용 함수라고 말할 수 있다. 본 논문에서는 전송 경로에 존재하는 임의의 어떤 흐름에서 노드들 간의 간섭으로 인한 패킷 손실과 전송 지연을 사전에 예방할 수 있는 intra-flow 간섭 성분과 서로 다른 흐름을 위해 센서 노드가 동시다발적으로 전송을 수행할 때 각각의 전송흐름이 서로를 방해하는 inter-flow 간섭을 정량화한 함수 $f(I)$ 를 제안한다. 또한 전송 경로에 포함된 각 노드들의 잔여 에너지 수준을 나타내는 함수 $f(E)$ 를 이용하여 전체 전송 경로의 비용(path cost) 계산에 이용될 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 무선 센서 네트워크에서 지연시간에 민감한 멀티미디어 전송과 관련하여 기존 라우팅 기법들이 지닌 문제점에 대해 간단히 설명하고, 3장에서는 EQR-IA 기법에 대하여 자세히 기술한다. 4장에서는 제안된 EQR-IA 기법의 성능을 평가하기 위해 수행된 시뮬레이션 결과에 대해 기술하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 WMSN에서의 QoS 라우팅

WMSN 환경에서는 센서 노드가 오디오, 이미지, 비디오 같은 멀티미디어 정보를 수집하여 다중 홉 방식으로 최종 목적지인 싱크노드에게 전달한다[5]. 이때 각각의 멀티미디어 응용이 요구하는 네트워크 지연시간, 대역폭, 처리량 등과 같은 조건들은 QoS 요구에 따라 달라진다. 무선 멀티미디어 센서 네트워크에 관한 최근 연구에서는 이와 같은 다양한 서비스품질 요구를 만족시킬 수 있는 QoS 라우팅 기법에 대한 여러 가지 방안들을 제시하고 있다[6]. 즉, 네트워크 계층에서 QoS 라우팅 기법을 이용하여 데이터 스트림의 특성에 따라 멀티미디어 응용이 제시하는 QoS 요구에 적합한 네트워크 경로를 찾도록 하고 있는데 이러한 연구들은 채널이나 링크에 의해 결정되는 네트워크 상태를 기반으로 한 라우팅, 패킷 우선순위에 따라 경로를 결정하는 트래픽 클래스 기반의 라우팅, 실시간 스트리밍을 위한 시공간 포워딩 기반의 라우팅 등과 같은 프로토콜들로 분류할 수 있다.

본 논문에서는 네트워크 상태를 기반으로 한 QoS 라우

팅 기법을 기반으로 한다. 네트워크 상태 기반 QoS 라우팅에서 정의하는 네트워크 상태는 중간 홉에서 발생하는 간섭, 백로그된(backlogged) 흐름들의 수, 노드들의 잔여 에너지 수준 등에 의하여 결정된다. 이러한 라우팅 메트릭은 높은 전송 대역폭을 요구하는 응용에는 사용될 수 없는 경로를 회피할 수 있도록 하여 손실이 발생하기 쉬운 채널에서 전송 실패 가능성을 줄일 수 있도록 하는 장점을 지니고 있다. Savidge 등은 이미지 센서가 수집한 데이터를 전달하기 위해 비주얼 정보라는 토폴로지 정보를 수집하여 전송 경로 결정에 이용하는 지리적 라우팅 기법을 제안한 바 있다[7]. 이 기법에서는 다음 홉을 결정하기 위하여 BS (Base Station)과의 근접성, 큐에 백로그된 패킷의 수, 노드의 에너지 잔여량 등을 모두 고려한 가중치 비용 함수를 사용한다. 이 방식은 자신과 이웃한 노드들의 자원 상태가 변화할 때마다 비용함수에 관련된 파라미터들을 지속적으로 갱신해야 하므로 제어 오버헤드(control overhead)가 높다는 문제점이 있다. 이와 비슷한 방법으로 Akkaya 등은 센서 네트워크에서 이미지 데이터를 전송하기 위해 에너지 보존성과 QoS 요구사항을 동시에 고려한 비용함수를 제안한 바 있다[8]. 제안된 비용 함수에서는 잔여 에너지, 전송 에너지, 오류율 등과 같은 파라미터 값을 측정하여 허용 가능한 최대 지연시간을 계산할 수 있다는 특징을 지니고 있다.

2.2 간섭 인지 라우팅

전송 경로에서 발생하는 간섭량을 측정하여 다중-홉 무선 센서 네트워크의 처리량을 최대화하기 위한 라우팅 기법에 대한 연구들은 주로 ETX(Expected Transmission Count) 라우팅 메트릭에 기초한 확장 라우팅 메트릭을 사용하고 있으며, 최단 거리 경로를 선정할 때 간섭 요소를 고려함으로써 네트워크 성능을 향상시킬 수 있다는 가정에서 시도되고 있다[9][10][11].

일반적으로 다중-홉 무선 센서 네트워크에서는 무선 링크에서 발생하는 간섭량을 측정하기 위해 프로토콜 간섭 모델과 물리적 간섭 모델을 사용하고 있다. 이와 관련하여 Kortebi 등은 SINR 기반의 간섭 라우팅 기법에 관한 이론적 기반을 제공하고 있지만 간섭 범위를 2-홉 범위 이내로 제한하는 문제점이 있다[12]. 또한 Teo 등의 연구에서는 간단한 방식으로 간섭을 정량화할 수 있는 기법을 제안하고는 있으나 다중 전송 경로에서 동시 다발적인 전송으로 인하여 발생하는 흐름간 간섭량(inter-flow interference)은 측정할 수 없는 문제점을 지니고 있다[13]. 본 논문에서는 거리 기반의 프로토콜 모델보다는 간섭을 정량화하기 쉬운 물리 모델(physical model)을 적용한다.

3. 간섭인지 QoS 라우팅 기법

3.1 네트워크 시스템 모델

본 논문에서 제안된 라우팅 기법은 그림 1과 같이 다중-전송률 및 다중-홉 무선 멀티미디어 센서 네트워크(Multi-rate Multi-hop Wireless Multimedia Sensor Network)를 네트워크 토폴로지 모델로 가정한다. 여기서 각 센서 노드에는 802.11 기반의 무선통신 모듈이 설치되어 있고 하나 이상의 데이터 흐름이 존재하며, 다중 전송률을 지원한다고 가정한다[14].

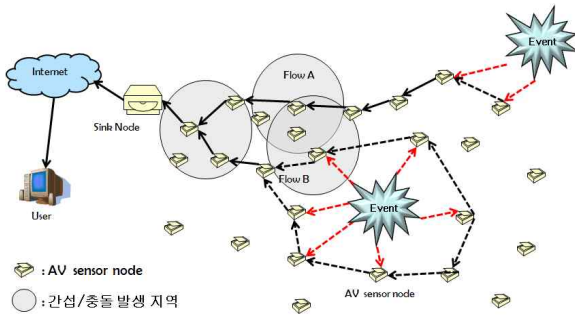


그림 1. 무선 멀티미디어 센서 네트워크 구조

Fig. 1. Architecture of wireless multimedia sensor networks

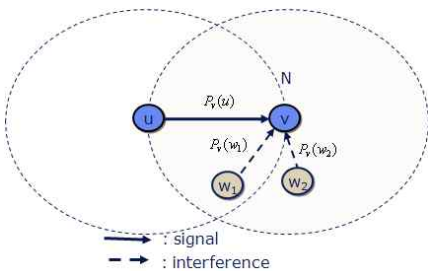


그림 2. 물리적 간섭 모델

Fig. 2. Physical interference model

그림 2는 단일-홉 무선 네트워크에서 물리적 간섭 모델을 나타내고 있다. 임의의 두 노드(u, v) 간의 통신 성공 여부는 식 (1)과 같이 수신 노드 v 에서 측정된 SINR(Signal to Interference and Noise Ratio) 값이 특정 임계치 β 보다 크거나 같으면 패킷이 올바르게 수신된 것으로 판단한다.

$$\frac{P_v(u)}{N + \sum_{w \in V'} P_v(w)} \geq \beta \quad (1)$$

여기서 β 는 무선 채널 특성, 데이터 전송률, 변조 기법 등에 의해 결정되는 상수 값이며, 송신 노드 u 가 수신 노드 v 에게 패킷을 전송할 때 수신 노드 v 의 수신 신호의 세기는 $P_v(u)$ 이다. 각 노드의 주변 잡음(background)은 N 이고 수신 노드 v 가 아닌 다른 이웃 노드들에게 패킷을 동시에 전송하는 송신 노드의 집합을 V' 라고 한다. 그림 2는 노드 u 에서 노드 v 로 패킷이 전송될 때 노드 v 의 주변 노드 중에서 패킷을 동시에 전송하는 이웃 노드로 w_1 과 w_2 이 존재할 때 수신 노드 v 가 간섭량을 측정하는 과정을 나타내고 있다. 여기서 w_i 는 수신 노드 v 가 송신 노드 u 로부터 신호를 수신할 때 전파간섭을 일으키는 이웃노드이며, 신호세기는 $P_v(w_i)$ 로 표현하고 노드 v 에 대한 간섭신호가 된다.

3.2 간섭 인지 QoS 라우팅 메트릭

일반적으로 다중-홉 무선 멀티미디어 센서 네트워크 모델은 방향성 그래프 $G=(V,E)$ 로 표현될 수 있다. 여기서 V 와 E 는 각각 노드 집합과 링크 집합을 의미한다. 본 논문에서는 임의의 링크 $i=(u,v)$ 에 대한 데이터 전송률을 계

산하기 위해 기존의 ETX 을 개선한 ETT (Expected Transmission Time)를 기반으로 한다[15][16]. ETT 는 간섭이 없는 경우에 어떤 하나의 링크에서 패킷을 전송하는데 필요한 전송 시간을 추정하는 것으로 $ETT=ETX \times (S/B_i)$ 이다. 여기서 S 는 데이터 패킷의 크기이고, B_i 는 해당 링크의 데이터 전송률을 나타낸다.

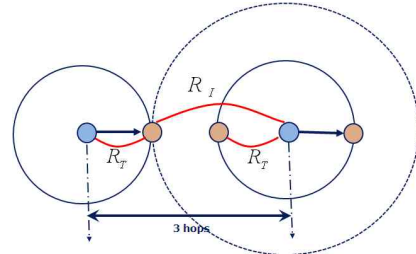


그림 3. 다중-홉 링크에서의 전송범위와 간섭범위

Fig. 3. The transmission and interference range in multi-hop links

그림 3은 intra-flow 간섭 효과를 나타낸 것으로서 노드 간 거리가 d 이고 노드의 전송범위와 간섭범위가 각각 R_T, R_I 일 때, 두개의 노드에 대해 $2R_T < R_I$ 이고 $d < R_T$ 라면 패킷을 오류 없이 수신하거나 전송할 수 있다. 이때의 전송 범위는 RF 신호가 오류 없이 수신될 수 있는 최대 범위가 된다. 간섭 범위는 전송 노드가 자신의 3번째 노드에서의 패킷 전송을 방해하는 영역으로 정의한다. 전송 범위는 RF 전파 함수에 의해 결정되지만, 간섭 범위는 예측하기 어렵고 RF 파라미터들에 의해 결정되며 전파 상태에 따라 빈번하게 변화한다.

intra-flow 간섭을 제거하기 위하여 3-홉 단위로 누적 경로 메트릭(cumulative path metric)을 계산한다면 한 흐름에서 발생하는 동시적 전송으로 인한 전송실패를 사전에 예방할 수 있다. 3홉에 포함된 병목 링크들의 누적 경로 메트릭은 식 (2)과 같이 계산된다.

$$ETT_{path} = \max_{i=0}^{N-3} \left(\sum_{j=i}^{i+2} ETT_j \right) \quad (2)$$

ETT_{path} 는 병목 링크 추정 전송 시간을 계산하기 위해 이용되며, 전체 홉 수는 N 이다. ETT_j 는 j 홉의 ETT 값이고 노드 밀도에 따라 병목링크의 수는 가변적이다.

Inter-flow 간섭에서는 둘 이상의 흐름이 존재하는 경우, 어떤 송신 노드(u)에서 다른 흐름의 전송으로 인한 간섭 성분이 $I_i = SINR_i(u) / SNR_i(u)$ 로 식(1)을 이용하여 계산될 수 있다[17]. 따라서 임의의 링크 $i=(u,v)$ 에 대하여 노드 u 에 대한 3-홉 단위의 누적 간섭비(cumulative interference ratio)는 식 (3)와 같이 정의할 수 있다.

$$I_{path} = \max_{i=0}^{N-3} \left(\sum_{j=i}^{i+2} I_j \right) \quad (3)$$

지금까지는 발신 노드에서 목적 노드로 데이터 패킷을 전송할 때 전송 지연 성분과 간섭 발생률로 대한 파라미터

를 정의하였다. 이러한 정의들로부터 간섭 발생 비율에 따른 전송 지연 시간의 추정은 식 (4)와 같이 계산될 수 있다.

$$f(T) = \frac{ETT_{path}}{I_{path}} \quad (4)$$

또한 무선 센서 네트워크에서 에너지 제약성을 가지기 때문에 에너지 효율적인 라우팅을 제공하기 위해서는 각 노드의 잔여 에너지 수준에 따라 전송 경로가 결정되어야 한다. 이를 위해, 어떤 전송 노드에서 다음 홉(next hop) 노드의 잔여 에너지 수준을 $f(E) = E_j$ 라고 할 때 해당 전송 경로에 대한 전송 경로 비용(path cost)은 식 (5)와 같이 정의한다.

$$C_{path} = \alpha * f(T) \times \beta * f(E) \quad (5)$$

여기서 α, β 는 각 성분에 대한 가중치 상수이고 $\alpha + \beta = 1$ 이라는 조건을 가진다.

3.3 라우팅 최적화 알고리즘

제안된 최적화 알고리즘은 무선 센서 네트워크에서 QoS 요구조건을 만족시키기 위하여 단-대-단 지연시간을 최소화하고 간섭을 최대한 회피하여 데이터 처리율을 최대화할 수 있는 최선의 경로를 결정한다. 최선의 전송 경로는 멀티미디어 데이터 전송의 처리량을 최대화하고 QoS 요구조건을 보장을 위해 간섭 비율에 따른 지연시간을 예측하고 에너지 수준에 따라 전송 경로가 결정 될 수 있는 경로 비용 매트릭(path cost matrix)을 통해서 결정된다.

```

1: Min Cost = MAXIMUM
2: FlowID = 0
3: For each flow
4:    $ETT_{path} = \max_{i=0}^{N-3} \sum_{j=i}^{i+2} ETT_j$ 
5:    $I_{path} = \max_{i=0}^{N-3} \sum_{j=i}^{i+2} I_j$ 
6:    $C_{path} = \alpha f(T) \times \beta f(E)$ 
7:   If  $C_{path} < Min Cost$ 
8:      $Min Cost = C_{path}$ 
9:      $MinID = FlowID$ 
10: End for
    
```

그림 4. 최선의 경로 탐색 알고리즘(최적화 알고리즘)
Fig. 4. The best routing algorithm

그림 4는 싱크 노드가 최선의 경로를 결정하기 위해 수행하는 최선의 경로 탐색 알고리즘이다. 이 알고리즘은 발신 노드에서 싱크 노드로 전송 가능한 후보 전송 경로들을 먼저 탐색하고 그 경로들 중에서 경로 비용이 최소가 되는 경로를 전송경로 결정한다. FlowID는 싱크 노드에 도착하는 흐름들에 대한 식별자로서 선택 가능한 전송 경로들을 식별하는데 사용된다.

4 성능 평가

4.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 최적의 QoS 경로로 전송될 때의 에너지

소비량, 평균 단대단 지연시간, 처리율 등과 같은 기준을 사용하여 제안된 기법의 성능을 평가하였다. 성능 평가 도구는 NS-2[18] 시뮬레이터를 사용하였으며, 성능 평가 모델과 파라미터에 대한 내용은 표 1과 같다.

센서 노드를 구성하는 네트워크 환경은 7x7 그리드 토폴로지로 5m 간격으로 평면 공간에 49개의 노드로 일정하게 배치하였다. 노드 당 최대 전송률은 500kbps이고, 패킷 크기는 20byte, 트래픽은 CBR 로 0.3s 간격으로 전송한다. 각 노드의 전송 범위는 5m이고 간섭 범위는 10m로 설정하고 시뮬레이션 시간은 360초 동안 수행한다. 센서 노드의 초기 에너지는 1J로 설정하고 송신과 수신 전력의 소비 에너지는 0.3mW로 설정한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

파라미터	값
토폴로지	7 x 7 grid
센서 노드의 수	49
노드 배치 거리[m]	5
전송 범위[m]	15m
패킷 크기[byte]	20
최대 전송률[Mbps]	0.5
MAC 프로토콜	IEEE 802.15.4
안테나	Omini-Antenna
시뮬레이션 시간[second]	300

4.2 시뮬레이션 결과

그림 5는 각 센서 노드에서 패킷 전송 및 수신시 사용되는 전체 에너지 소비량을 보인 것으로 제안된 기법이 기존의 무선 센서 네트워크 라우팅 기법보다 전력 소비량이 높지 않음을 나타내고 있다. 일반적으로 대용량 멀티미디어 데이터를 전송할 때에는 간섭 또는 패킷 충돌로 인한 패킷 손실 발생 가능성이 높기 때문에 재전송으로 인하여 센서 노드의 에너지 소비가 증가하지만, 이 결과는 제안된 기법과 같이 간섭을 고려한 패킷 전송경로를 선택하면 재전송으로 인한 에너지 소비를 줄일 수 있음을 보여 준다.

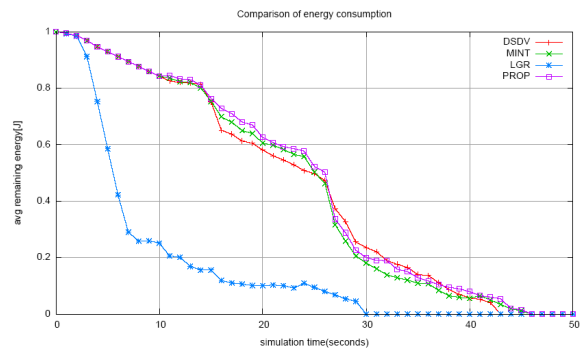


그림 5. 전체 에너지 소비량
Fig. 5. Aggregate energy consumption

그림 6은 흐름 수의 증가에 따른 평균 단-대-단 지연시간을 보인 것이다. 성능 분석을 위해 기존의 라우팅 기법과 제안된 기법(PROP)들과 평균 종단간 지연시간을 비교하였으며, 그 결과 기존의 라우팅 기법과 비교할 때, 평균 단-대-

-단 지연시간은 유사하지만 지터(jitter) 성분이 거의 일정하기 때문에 대용량 데이터의 실시간 전송에 적합함을 알 수 있다. 이것은 흐름의 수가 증가하더라도 단-대-단 지연시간의 변화가 다른 라우팅 프로토콜에 비하여 크기 않기 때문에 QoS 보장 측면에서 장점을 제공하는 것을 의미한다.

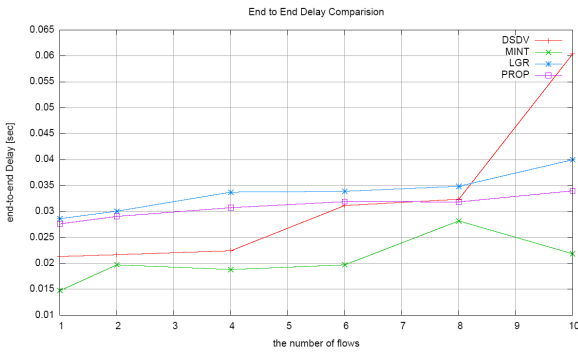


그림 6. 흐름 수 증가에 따른 종단간 지연시간

Fig. 6. End-to-end delay with the increasing number of flows

그림 7은 네트워크 증가에 따른 처리량 변화를 보인 것으로서 노드 개수를 2, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100 등의 순으로 증가시켰을 때 하나의 싱크 노드에서 성공적으로 도착하는 패킷의 비율을 측정해본 것이다. 그 결과 DSDV, LGR, MINT 등과 같은 기존 라우팅 기법보다 네트워크 노드 수가 증가할 때 제안된 기법의 네트워크 처리량이 높다는 것을 확인할 수 있다.

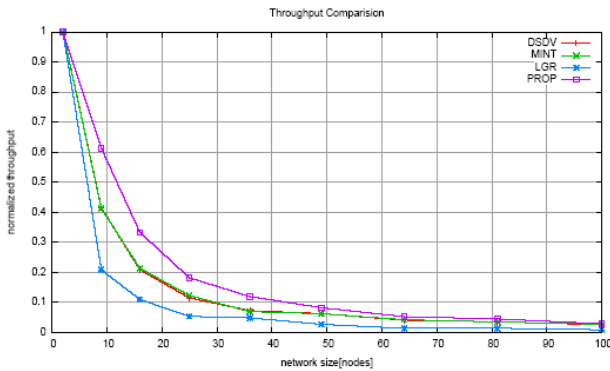


그림 7. 네트워크 크기 증가에 따른 처리량

Fig. 7. Throughput with the increasing size of network

5. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 지연시간에 민감한 대용량 데이터를 전송할 때 전파간섭이나 전송 오류 등에 의해 네트워크 결함이 발생하더라도 지연시간을 최소화할 수 있는 간섭 인지 기반의 QoS 라우팅 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 intra-flow 간섭과 inter-flow 간섭을 제거하기 위해 3-홉 기반의 누적 경로 메트릭을 제안하여 간섭 비율이 가정 적은 최선의 전송 경로를 결정할 수 있도록 하였다. 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 본 논문에서는

NS-2 시뮬레이터를 이용하였고 기존의 라우팅 기법들과 전체 에너지 소비량, 평균 단대단 지연시간, 처리율과 같은 성능 측정 기준에 따라 시뮬레이션을 수행하였으며, 제안된 기법을 적용하면 평균 단-대-단 지연시간이 네트워크 트래픽 상태 변화에 따라 민감하게 변화하지 않으며 네트워크 처리량도 높다는 것을 확인하였다. 뿐만 아니라 전송경로를 결정할 때 간섭 인지 요소를 고려함으로써 재전송으로 인한 추가적인 에너지 소비량을 줄일 수 있음을 보였다.

참고문헌

- [1] Y. Lan and W. Wenjing and G. Fuxiang, "A Real-time and Energy Aware QoS Routing Protocol for Multimedia Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of 7th World Congress on Intelligent Control and Automation 2008 (WCICA 2008)*, pp. 3321-3326, June 2008.
- [2] I. F. Akylidiz, T. Melodia, K. R. and Chowdhury, "Wireless Multimedia Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications Magazine*, vol. 14, Issue 6, pp. 32-39, December 2007.
- [3] C. Intanagonwiwat and J. Heidemann, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, February 2003.
- [4] P. Gupta and P. Kumar, "The Capacity of Wireless Networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46, no. 2, pp. 388-404, March 2000.
- [5] S. Misra, M. Reisslein and Guoliang Xue, "A Survey of Multimedia Streaming in Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 10, no. 4, 4-th Quarter, 2008.
- [6] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Network(Elsevier)*, vol. 3, no. 3, pp. 325-349, 2005.
- [7] L. Savidge, H. Lee, H. Aghajan and A. Goldsmith, "QoS-based Geographic Routing for Event-driven Image Sensor Networks," in *Proceedings of IEEE/CreateNet International Workshop on Broadband Advanced Sensor Networks (BaseNets)*, vol. 2, pp. 991-1000, October 2005.
- [8] K. Akkaya, and M. Younis, "An Energy-aware QoS routing Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICSDSW 2003)*, pp. 710-715, May 2003.
- [9] K. Jain, J. Padhye, V. Padmanabhan and L. Qiu, "Impact of Interference on Multi-hop Wireless Network Performance," in *Proceedings of ACM*

Mobicom 2003, pp. 66-80, 2003.

[10] D. Johnson, D. Maltz and Y. Hu, "The Dynamics Source Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks (DSR)," Internet Draft (work in progress), IETF, April 2003.

[11] C. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destinations-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers," in *Proceedings of ACM SIGCOMM Conference (SIGCOMM'94)*, pp. 234-244, August, 1993.

[12] R. M. Kortebe, Y. Gourhant, and N. Agoulmine, "On the Use of SINR for Interference-aware Routing in Wireless Multi-hop Networks," in *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2007)*, pp.395-399, 2007

[13] J.-Y. Teo, Y. Ha, and C.-K. Tham, "Interference Minimized Multipath Routing with Congestion Control in Wireless Sensor Network with High Rate Streaming," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol. 7, Issue. 9. pp. 1124-1137, September 2008.

[15] D. S. J. De Coutto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris, "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing," in *Proceedings of Mobile Computing and Networking*, pp.14-19, September 2003.

[16] Z. Khalid, G. Ahmed and N. M. Khan, "A Real-time Energy-aware Routing Strategy for Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2007)*, pp.381-384, October 2007.

[17] A. P. Subramanian, M. M. Buddhikot and S. Miller, "Interference Aware Routing in Multi-Radio Wireless Mesh Networks," in *Proceedings*

Proceedings of Wireless Mesh Networks 2006, pp.55-63, September 2006.

[18] NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>.

저 자 소 개



김현태(Hyun-Tae Kim)

1996년 : 군산대학교 정보통신공학과 공학사
 1998 : 군산대학교 정보통신공학과 공학석사
 2006 : 군산대학교 정보통신공학과 공학박사
 2008 ~ 현재 : 군산대학교 정보통신공학과 연구원

관심분야 : Wireless Networking, Optimization, Mobile computing
 Phone : 063-469-4795
 E-mail : camelk@kunsan.ac.kr



나인호(In-Ho Ra)

1988년 : 울산대학교 전자계산학과 이학사
 1991년 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 1995년 : 중앙대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 1995년 ~ 현재 : 군산대학교 정보통신공학과 교수

관심분야 : Ad hoc and Sensor Network, Ubiquitous Computing, Smart Grid, Smart Work
 Phone : 063-469-4697
 E-mail : camelk@kunsan.ac.kr