

# 무선 센서 네트워크 환경에서 실시간 멀티미디어 데이터 전송을 위한 비-중첩 다중 경로 라우팅

성동욱\*, 조미림\*, 박준호\*, 유재수\*

\*충북대학교 정보통신공학과

e-mail : {seong.do, mirim3441, arionfit}@gmail.com, yjs@cbnu.ac.kr

## Disjointed Multipath Routing for Real-time Multimedia Data Transmission in Wireless Sensor Networks

Dong-Ook Seong \*, Mi-Rim Jo \*, Jun-Ho Park\*, Jae-Soo Yoo\*

\*Dept. of Information & Communication Engineering, Chungbuk National University

### 요 약

현재 센서 네트워크 시스템을 이용한 다양한 지능형 응용들에 대한 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 센서 네트워크는 환경정보를 수집하기 위해 많이 활용된다. 최근 더욱 상세한 환경 모니터링이나 고품질 데이터에 대한 요구로 인해 멀티미디어 데이터의 요구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 Zigbee 기반 센서 네트워크의 낮은 대역폭의 한계를 극복하고, 실시간 멀티미디어 데이터 전송을 위한 라우팅 기법에 대한 연구를 수행한다. 기존에 제안된 멀티미디어 데이터 전송 기법의 경우 비효율적인 다중경로 설정단계로 인해 경로설정 시간의 지연이 발생하고, Zigbee의 대역폭 한계로 인해 낮은 데이터 전송속도를 보인다. 본 논문은 기존 기법의 대역폭 문제를 해결하는 블루투스 와 Zigbee 하이브리드 라우팅 구조를 제안한다. 또한 경로설정 시간 지연 문제를 해결하는 경쟁기반 비-중첩 다중 경로 설정 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 우수성을 비교평가하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과 약 78% 지연시간이 감소되었으며, 통신 속도가 약 6.9 배 증가하였다.

### 1. 서론

최근 여러 분야에서 지능형 환경관리 시스템을 구축하기 위해 무선 센서 네트워크를 이용하는 다양한 연구들이 진행되고 있다. 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 습도, 온도, 적외선, 소리 등의 다양한 환경 정보를 수집할 수 있는 센서 모듈들을 내장하고 있다. 뿐만 아니라 무선 통신 모듈이 내장되어 있어 수백~수천 개의 센서 노드들을 연계하여 네트워크를 구축하고, 원격지로 데이터 전송이 가능하다. 일반적으로 센서 노드는 자체 배터리를 구동 에너지로 이용한다. 이로 인해 배터리를 모두 소진하게 되면 네트워크의 운용이 불가능해진다. 따라서 네트워크의 수명을 증가시키기 위해 에너지 효율적인 다양한 네트워크 운용기법들이 연구되고 있다[1].

센서 노드에서 수집할 수 있는 환경 데이터는 노드에 장착된 센서 모듈에 의해 결정된다. Mica2 Mote의 경우 기본적으로 온도, 습도, 조도에 대한 센서 모듈을 메인 보드에 내장하고 있으며, 추가 확장 슬롯을 이용해 초음파 센서, 가속도 센서, 바이오 센서 등 다양한 모듈을 결합시킬 수 있다. 특히 카메라나 마이크와 같은 멀티미디어 모듈을 결합하여 고품질의 데이터를 기반으로 더욱 상세한 환경 모니터링이 가능하다. 하지만 멀티미디어 모듈을 통해 수집되는 데이터의 경우 기존에 센서에서 수집되는 단순한 수치 데

이터가 아니라 고용량의 데이터이기 때문에 통신 대역폭인 낮은 Zigbee 통신을 기반으로 하는 기존 센서 네트워크의 통신 방식은 이러한 멀티미디어 데이터를 실시간 전송하기에 적합하지 않다. 본 논문에서는 고용량의 멀티미디어 데이터를 효과적으로 전송하기 위한 기법에 대하여 연구를 수행하였다.

<표 1> 블루투스와 Zigbee의 스펙 비교

구분	Bluetooth 3.0	Zigbee
규격	802.11	802.15.4
주파수 대역	2.4GHz	2.4GHz, 868/915MHz
통신 속도	24Mbps	250kbps
전송 거리	<10m, 100m	<70m
전력소비	0.1W	0.05W
사용시간	수일	수개월이상

표 1은 현재 센서 네트워크에서 일반적으로 적용하고 있는 Zigbee 통신 방식의 스펙을 보여준다. Zigbee 방식의 경우 최대 통신 속도가 250kbps 수준이므로, 수~수십 Mbps의 대역폭을 필요로 하는 고용량 멀티미디어 데이터의 실시간 전송이 불가능하다. 이러한 Zigbee 통신 대역폭의 한계를 극복하기 위한 대안으로 블루투스를 사용할 수 있다. 블루투스에서 지원하

는 최대 대역폭은 24Mbps 로 720p/30fps 급 이상의 영상 전송이 가능하다. 하지만 앞서 설명한 바와 같이 센서 노드의 경우 배터리 소모를 최소화 시켜야 하므로 에너지 소모가 큰 블루투스를 적용하기엔 적합하지 않다[2]. 따라서 본 논문에서는 두 통신방식의 장점을 최대화 시키는 하이브리드 통신 방식을 제안한다. 제안하는 멀티미디어 데이터 전송 기법의 기본 개념은 소스 노드에서 전송할 데이터를 주변 복수개의 이웃노드들로 블루투스를 통해 분할 전송하고, 각 분할 된 데이터를 Zigbee 를 통하여 에너지 효율적인 라우팅을 수행하는 것이다.

본 논문의 구성은 2 장 관련연구에서 기존에 제안된 멀티미디어 데이터 전송기법에 대한 설명과 문제점에 대하여 분석하고, 3 장에서 제안하는 멀티미디어 데이터 전송기법을 설명한다. 4 장에서 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존기법과 성능을 비교평가하고, 5 장에서 결론과 향후 연구에 대하여 기술한다.

## 2. 관련연구

센서 네트워크 환경에서 데이터를 전송하기 위한 다양한 기법들이 제안되었다. 대표적인 기법들로 트리 토폴로지 기반의 Tag[3], 클러스터 토폴로지 기반의 Heed[4], 그리디 포워딩(greedy forwarding) 기반의 GPSR 등이 있다[5]. 이러한 기법들은 기존 센서 네트워크에서 수집되는 간단한 수치 데이터들을 전송하기에 적합한 구조이다. 하지만 영상 정보와 같이 대용량의 멀티미디어 데이터를 전송하기에 적합하지 않다. 이러한 기법들은 Zigbee 의 좁은 대역폭을 기반으로 설계되어 멀티미디어 데이터와 같은 대용량 데이터를 전송하기 어렵다.

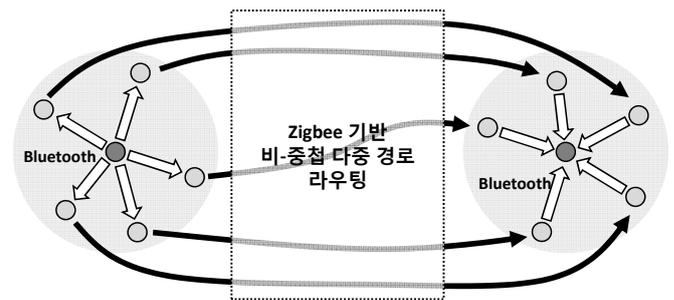
[6]은 기존의 데이터 전송기법의 대역폭의 한계를 극복하는 멀티미디어 데이터 전송 기법을 제안하였다. 이 기법은 향상된 앤트 콜로니(Ant Colony) 알고리즘을 기반으로 QoS(Quality of Service)를 향상시킬 수 있는 경로 설정하여 최적의 비디오 데이터 전송을 가능케 하였다. 그리고 다중 경로를 통해 고용량의 트래픽을 분산시킴으로써 Zigbee 의 좁은 대역폭의 한계를 극복하고자 하였다. 하지만 이 기법은 최초 송신단과 최종 수신단의 대역폭의 제약으로 인해 고품질의 영상일 경우 높은 비율의 데이터 패킷 소실이 발생시킨다. 뿐만 아니라 이 기법은 영상 데이터를 분산 전송을 위한 다중경로를 설정 시 경로 설정 단계가 필요하며, 이 단계에서 소스 노드에서 목적지 노드까지 경로설정 패킷들이 수회 왕복해야 하며 각 경로를 위한 라우팅 정보들이 경로상에 위치한 노드들의 라우팅 테이블에 설정된다. 하지만 이러한 경로 설정 과정은 최악의 경우 n 개의 경로를 설정하기 위해서는 n 번의 경로 설정 패킷들이 왕복 되어야 하며, 토폴로지의 변화가 빈번한 센서 네트워크 환경에서는 더욱 경로 설정단계가 빈번하게 요구되어 큰 오버헤드를 발생시킨다.

본 논문에서는 기존 기법의 대역폭 한계로 인해 고용량 데이터 패킷의 소실을 문제를 해결하기 위해 블

루투스&Zigbee 를 혼합 적용한 하이브리드 분산 라우팅의 구조를 제안하고, 경로 설정 시 발생하는 오버헤드 문제를 해결하는 경쟁기반 비-중첩 다중 경로 설정 기법을 제안한다.

## 3. 제안하는 비-중첩 다중 경로 라우팅

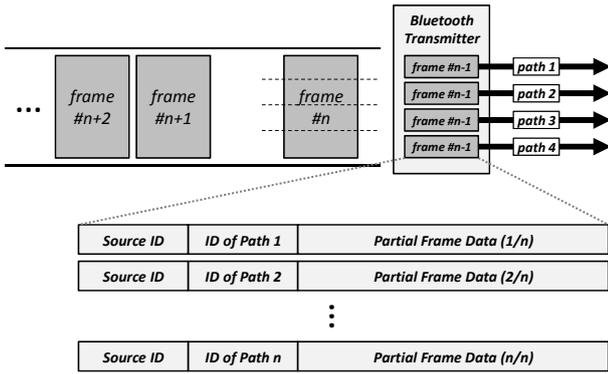
본 장에서는 Zigbee 의 한정적인 대역폭을 이용하기 위하여 복수개의 전송 경로를 설정하여 고용량 데이터를 실시간으로 전송하는 기법을 제안한다. 그림 1 은 제안하는 데이터 전송기법의 전체적인 모습을 보여준다. 최소 소스 노드에서 고용량 데이터를 분할하여 이웃 노드들로 Zigbee 보다 넓은 대역폭을 가지는 블루투스를 이용해 분산 시키고, 분할 데이터를 수신한 각 이웃 노드들은 Zigbee 기반으로 목적지 위치로 데이터 전송을 수행한다. 하지만 이 과정에서 각기 다른 분할 데이터의 전송 경로가 특정 노드에 겹치는 경우 Zigbee 대역폭의 한계로 전송되는 데이터의 소실이 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 비-중첩 다중 경로를 설정기법을 적용한다.



(그림 1) 제안하는 하이브리드 분산 라우팅

### 3.1 프레임 분할

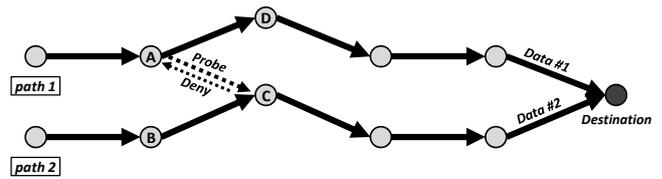
영상 데이터는 여러 장의 장면 프레임들이 연속적으로 구성되어 있는 데이터이다. 제안하는 기법에서는 영상 데이터를 구성하는 프레임들을 분할하여 전송용 패킷을 생성한다. 기존의 기법의 경우 프레임 단위로 경로를 분할하여 전송하는데 이 경우 각 패킷들이 거쳐가는 경로에 따라 도달 시간이 달라져 수신단에 도달된 프레임의 순서를 재정렬 하는 과정이 필요하다. 하지만 제안하는 기법의 경우 각 경로마다 전송되는 순서가 선입선출(FIFO)의 형태로 전송되어 재정렬 과정 없이 영상의 복원이 가능하다. 프레임 분할을 통해 생성된 전송용 패킷들은 블루투스 전송기를 통해 다수의 이웃 노드들로 전송된다. 전송용 패킷을 구성하는 요소는 그림에서와 같이 최초 데이터를 생성한 소스의 ID, 전송될 분산 경로의 ID 그리고 전송해야 할 데이터로 구성되어 있다. 소스의 아이디는 데이터의 최종 수신 단에서 분할 데이터를 구분하기 위해 활용되고, 경로의 아이디는 비-중첩 경로를 설정하기 위해 이용된다. 만약 전송하고자 하는 노드에 다른 경로 아이디의 정보가 등록되어 있다면 다음 전달 노드로써 해당 노드를 제외한 다른 이웃 노드를 선정한다.



(그림 2) 프레임 분할 전송

### 3.2 비-중첩 다중 경로 설정

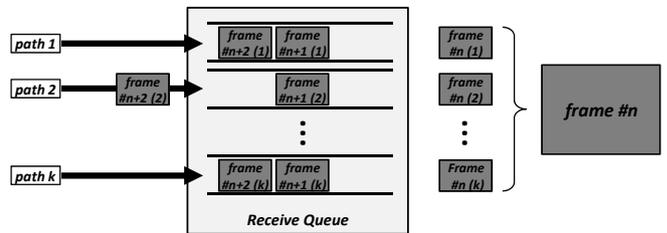
그림 3 은 제안하는 경쟁기반 비-중첩 다중 경로 설정 기법의 동작 모습을 보여준다. 제안하는 기법은 최초 데이터 전송 시 그리디 포워딩 방식의 전송기법을 기반으로 한다. 각 노드들은 자신의 이웃 노드들의 위치정보를 알고 있으며, 전송되는 패킷에는 목적지의 좌표 정보가 유지된다. 데이터를 수신한 노드는 자신의 이웃 노드들 중 목적지에 가장 가까운 노드를 선정하여 해당 노드로 패킷을 전달한다. 이러한 과정을 패킷이 최종 목적지에 도달할 때까지 반복 수행한다. 이러한 그리디 포워딩 방식은 단일 경로 데이터 전송 시 최적의 경로로 데이터 라우팅이 가능하다. 하지만 다중 경로 설정에 적용 하게 되면 경로의 중첩이 발생할 가능성이 크다. 따라서 제안하는 기법에서는 새로운 경쟁방식 경로 선정 프로토콜을 제안한다. 그림 3 에서서 *path1* 과 *path2* 의 경로로 동시에 데이터가 전송된다. 이 경우 그리디 포워딩 방식으로 경로를 설정하게 되면 두 경로는 C 노드를 중간 노드로써 공유하게 되며, C 노드는 수용할 수 있는 대역폭 이상의 데이터를 수신하여 패킷 소실을 유발한다. 이러한 문제를 회피하기 위해 최초 데이터 패킷을 전송하기 전에 경로 ID 만을 가지는 *probe* 메시지를 이용하여 데이터를 전송할 경로들을 설정한다. 전송하고자 하는 이웃 노드로 먼저 보낸다. 이때 *probe* 메시지를 수신한 이웃 노드는 자신이 다른 경로의 *probe* 메시지를 받지 않았을 때 아무런 응답을 보내지 않는다. *probe* 메시지를 전송한 노드는 이웃 노드로 부터 아무런 응답이 없으면 자신의 경로에 참여 가능하다고 판단하여 자신의 라우팅 테이블에 해당 노드 정보를 등록한다. 그와 반대로 그림의 A 노드에서 C 노드로 전송하고자 할 때 C 노드는 A 노드의 *probe* 메시지에 대하여 *deny* 메시지로 응답하게 되고, A 노드는 다른 이웃 노드인 D 노드를 데이터 전달 노드로 판단하여 자신의 라우팅 테이블에 해당 노드 정보를 등록한다. 이와 같은 과정을 통해 모든 경로의 라우팅 정보가 설정이 되면 해당 경로 정보를 바탕으로 멀티미디어 데이터를 전송한다.



(그림 3) 경쟁기반 비-중첩 다중 경로 설정

### 3.3 분할 프레임 수신 및 병합

최종 수신 단에서는 그림 4 와 같이 분할되어 송신된 데이터를 경로 별로 구분된 수신 큐에 저장하고, 한 프레임을 구성하는 모든 패킷이 수신되었을 때 최종 프레임으로 복호시킨다. 만약 그림의 *frame #n+2* 와 같은 경우는 *frame #n+2 (2)* 가 수신될 때까지 대기하며, 해당 패킷이 소실되고 *frame #n+3 (2)*의 패킷이 수신될 경우, *frame #n+2 (2)*를 제외하고 *frame #n+2*를 복호시킨다.



(그림 4) 분할 프레임 수신 및 병합

## 4. 성능평가

### 4.1 성능평가 환경

제안하는 라우팅 기법의 우수성을 보이기 위해 기존 기법과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가 하였다. 비교한 기법은 가장 최근에 제안된 [6](Ant)이며, 시뮬레이션은 표 1 과 같은 환경 변수를 바탕으로 진행하였다.

<표 2> 성능 평가 환경

파라미터	값
센서 개수	10000
네트워크 크기	1000x1000m
센서 식별자	4byte
좌표 데이터의 크기	4byte
멀티미디어 데이터	720p/30fps
센서 통신 반경	10m
블루투스 대역폭	24Mbps
다중 경로 수	7
토폴로지 변경률	0.1 count/unit

센서 노드의 메시지 송수신에 소모되는 에너지는 식(2)과 식(3)의 모델을 사용하였다[7].

$$T_{\text{cost}} = 50\text{nj/b}, \quad R_{\text{cost}} = 50\text{nj/b}, \quad T_{\text{comp}} = 100\text{nj/b/byte}^2$$

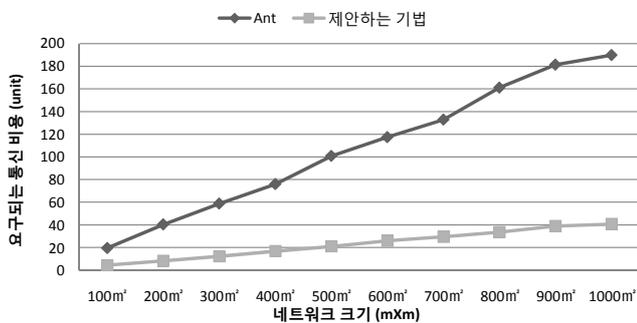
$$SND_{\text{cost}} = NSG_{\text{data}} \cdot (T_{\text{cost}} + T_{\text{comp}} \cdot T_{\text{data}}^2) \quad \text{식(2)}$$

$$RSCV_{\text{cost}} = NSG_{\text{data}} \cdot R_{\text{cost}} \quad \text{식(3)}$$

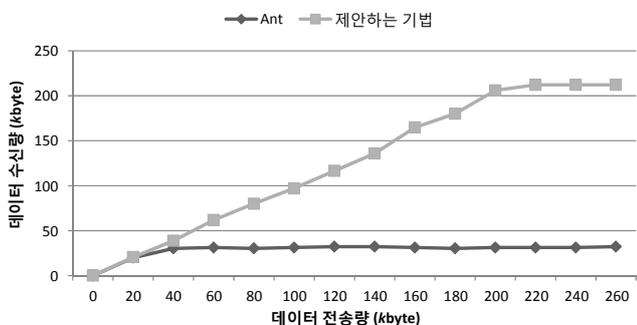
4.2 성능평가 결과

그림 5 는 네트워크 크기에 따른 다중경로 생성을 위해 요구되는 통신비용을 시간 유닛 측면에서 비교 평가한 결과이다. 시간 유닛이 큰 경우 그만큼 많은 통신이 발생하고, 경로를 설정하는데 걸리는 시간의 증가를 의미한다. 그림에서 네트워크의 크기가 증가할 수록 생성되는 경로의 길이가 길어지므로 요구되는 통신 비용은 증가한다. 하지만 제안하는 기법의 경우 경쟁기반 비-중첩 다중 경로 설정을 통해 기존 기법에 비해 훨씬 적은량의 통신으로 경로 설정이 가능하다. 성능평가 결과 기존기법에 비해 약 22%의 매우 적은 비용으로 경로 설정이 가능함을 확인하였다.

그림 6 은 전송해야 할 데이터 용량을 증가시켜감에 따라 변화하는 데이터 수신량을 비교 평가한 결과이다. 기존 기법의 경우 다중 경로를 통해 데이터를 분산 전송하지만 Zigbee 통신 대역폭의 한계로 인해 초당 약 31kbyte 이상의 데이터 전송이 발생할 경우 대부분의 패킷들이 최초 데이터를 분할 송신하는 노드나 데이터를 수신하는 노드에서 데이터 전송 지연이 발생하거나 패킷 소실이 발생된다. 제안하는 기법의 경우 Zigbee 의 통신 대역폭의 한계를 극복하기 위해 최초 데이터 분할 송신과 최종 수신 노드에서 블루투스의 높은 대역폭을 이용하여 설정한 다중경로의 최대 대역폭을 활용 가능하다. 이로 인해 기존 기법에 비해 약 690%의 데이터 수신율이 증가하는 것을 확인할 수 있다.



(그림 5) 네트워크 크기에 따른 경로 설정 비용



(그림 6) 데이터 전송량에 따른 수신량

데이터 라우팅 기법의 문제점을 분석하고, 새로운 비-중첩 다중 경로 라우팅 기법을 제안하였다. 기존 기법의 경우 다중경로를 설정하기 위해 소스 노드에서 목적지 노드까지 경로설정 패킷들을 수회 왕복시키며, 최악의 경우 경로 수만큼의 경로 설정 패킷의 송수신이 요구된다. 제안하는 기법의 경우 경쟁방식의 비-중첩 다중 경로 설정을 통해 경로 설정의 오버헤드를 최소화 하였다. 또한 기존 기법의 경우 프레임 단위로 경로를 분산시켜 전송시킴에 따라 수신단에서는 프레임의 재정렬 과정이 필요하지만 제안하는 기법의 경우 프레임 수신의 선입선출을 보장하여 재정렬 과정을 제거하여 빠른 수신이 가능케 하였다. 뿐만 아니라 제안하는 기법은 데이터의 최초 송신단에서 블루투스를 이용한 분할 및 전송을 통해 고용량의 멀티미디어 데이터에 대한 높은 수신률을 보장하였다. 그 결과 약 78%의 지연 시간을 감소시켰으며, 약 690%의 수신률이 향상 되었다.

참고문헌

- [1] R. Szewczyk, E. Osterweil, J. Polastre, M. Hamilton, A. Mainwaring, and D. Estrin, "Habitat Monitoring with Sensor Networks", Comm. ACM, vol. 47, no. 6, pp. 34-40, Jun. 2004.
- [2] J. kooker, "Bluetooth, ZigBee, and Wibree: A Comparison of WPAN Technologies", 2008.
- [3] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, "TAG: A Tiny Aggregation Service for Ad Hoc Sensor Networks", Proc. Usenix Fifth Symp. Operating Systems Design and Implementation (OSDI '02), pp. 131-146, Dec. 2002.
- [4] O. Younis and S. Fahmy, "HEED: A hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," IEEE Trans. of Mobile Computing, vol.3, no.4, pp.366-379, 2004.
- [5] Z. Jiang, J. Ma, W. Lou, and J. Wu, "An Information Model for Geographic Greedy Forwarding in Wireless Ad-hoc Sensor Networks", Proc. of the IEEE INFOCOM'08, 2008.
- [6] L. Cobo, A. Quintero and S. Pierre , "Ant-based routing for wireless multimedia sensor networks using multiple QoS metrics", Trans. of the Computer Networks, 2010.
- [7] X. Tang, and J. Xu, "Extending Network Lifetime for Precision-Constrained Data Aggregation in Wireless Sensor Networks", Proc. IEEE INFOCOM, Apr. 2006.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존에 제안된 고용량 멀티미디어