

논문 2011-48SC-4-6

무선 센서 네트워크 환경에서 우선순위 기법을 이용한 효율적인 경로 설정에 대한 연구

(A Study on an Efficient Routing Scheme for using a priority scheme
in Wireless Sensor Networks)

원 대 호*, 양 연 모*

(Dae-ho Won and Yeon-Mo Yang)

요 약

최근 저전력 경량 운영체제 및 다양한 기능을 수행하는 배터리 기반 소형 노드들의 발전 덕분에 센서네트워크(WSNs)는 많은 응용 가능성을 보고 주고 있다. 센서네트워크 환경에서는 중단 센서 노드에서 수집한 데이터를 싱크 노드까지 적절하게 전송하기 위하여 계층 2 및 계층 3 사이 혼성 매체 제어 알고리즘을 개발하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 UC Berkely에서 제공한 TinyOS 환경에서 동작하는 MAC 계층과 NWK 계층을 혼합한 Cross-layer 기반의 우선순위 기법을 제안하고자 한다. 제안한 비콘 구간 우선순위 경로 설정(BPR) 기법은 센싱 데이터 전송 시 비콘 구간을 이용한 Wibem protocol을 이용하였고, 데이터 전송 시 제시한 평가 항목 범위에서 기존의 비콘 전송 방식과 비교하여 상대적으로 우수한 성능을 보여 주고 있다. 평가 항목은 패킷 처리량, 전송률, 지연시간 및 에너지 소비 값이다. TOSSIM 환경에서 모의실험 결과는 제안한 BPR을 이용할 경우 기존 AODV방식과 비교하여 개선된 성능을 보고 주고 있다.

Abstract

Wireless Sensor Networks(WSNs) have shown a lot of good outcomes in providing a various functions depending on industrial expectations by deploying ad-hoc networking with helps of light loaded and battery powered sensor nodes. In particular, it is strongly requested to develop an algorithm of cross-layer control between 2-layer and 3-layer to deliver the sensing data from the end node to the sink node on time. In this paper, based on the above observation we have proposed an IEEE802.15.4 based self priority routing scheme under UC Berkely TinyOS platform. The proposed beacon based priority routing (BPR) algorithm scheme utilizes beacon periods in sending message with embedding the high priority data and thus provides high quality of service(QoS) in the given criteria. The performance measures are the packet Throughput, delivery, latency, total energy consumption. Simulation results under TinyOS Simulator(TOSSIM) have shown the proposed scheme outcome the conventional Ad hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing.

Keywords : Quality of Service(QoS), WPANs, Beacon, WSNs, TinyOS, TOSSIM, IEEE802.15.4

I. 서 론

WPANs(Wireless Personal Networks) 환경에서는

다수의 센서 노드를 이용하여 주위 환경과 상태를 감지하고 이를 관리자에게 알려주어 사고예방을 할 수 있다^[1,3]. 특히, 다수의 WPAN 노드들 간의 통신 과정에서 충돌 과정이 일어나게 되면 중요한 데이터 전송의 손실이 커질 수 있기 때문에 효율적인 데이터 전송이 필요하다^[1~2].

무선 센서네트워크 환경(WSNs, Wireless Sensor Networks)에서의 효율적인 데이터 전송을 위해 많은 연구들이 선행 연구되어 왔다. 먼저 무선 센서 네트워크

* 정희원, 금오공과대학교

(School of Electronic Engineering, Kumoh National Inst. of Tech.)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0021215)

접수일자: 2011년4월22일, 수정완료일: 2011년7월1일

표준안인 IEEE802.15.4를 바탕으로 MAC(Medium Access Control) 계층의 슈퍼프레임 구조를 이용한 방법이 있다^[4~5, 18]. IEEE802.15.4 표준에서 제안하는 CSMA-CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 방식 중 백-오프 기법에 관한 연구가 있다^[7~8]. 표준을 이용한 다른 연구에는 슈퍼프레임안의 경쟁기간인 CAP(Contention Ares Period) 에서 긴급 메시지에 대한 백-오프 지연 방법이 있다^[2]. 그리고 네트워크 관리자가 보내는 비컨 신호 안에 센서 노드의 백-오프 지수의 증감을 나타내는 프레임 구분을 두어, 노드의 백-오프 지수 증감을 통한 백-오프 지연 방법^[6]의 연구가 있다.

MAC 계층과 관련된 백-오프 기법 외에 네트워크 관리자가 보내는 비컨신호를 이용한 NWK(Network) 계층의 효과적인 라우팅 기법이 연구되었다. IEEE802.15.4 표준에서 제시되는 슈퍼프레임 구조는 TDB(Time Division Beacon)와 같은 시간 분할 비컨 방식^[9]과 슈퍼프레임 구조 중 비컨만 보내는 구간을 가지는 기법인 BOP(Beacon-Only Period) 방식으로 분류할 수 있다^[10]. 그리고 비컨 신호를 이용한 다른 방법으로는 비컨을 통한 노드간의 부모-자식 관계를 통한 라우팅 경로를 설정하는 방법이 있다^[11]. 본 방법은 라우팅 경로 설정 시 주변 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 및 트래픽 분산 정보에 따른 비용을 고려하여 최적 경로를 결정하는 방식이다.

비컨을 이용한 라우팅 기법들은 멀티-홉 환경에서 보다 효과적인 데이터 전송과 성능을 보이고 있다. 기존의 Ad hoc On-Demand Distance Vector(AODV)방식은 Ad-hoc 환경에서 사용자 요구에 의한 라우팅 테이블을 구성하는 기법이다^[12]. 하지만 경로 요청할 시 발생하는 요청·응답 신호는 노드 수가 증가하거나 새로운 노드가 추가 될 시에 불필요한 요청 신호의 증가로 인해 패킷 낭비의 단점이 있다. 그리고 우선순위 기법을 적용한 기존의 방법은 MAC 계층에 대한 우선순위를 부여한다. 이 방법은 단순 패킷에 대한 우선순위를 적용하기 때문에 산업 현장, 가정과 같은 다양한 환경에 적용하기에는 어려움을 보인다.

본 논문에서는 비컨을 기반으로 한 트리 라우팅 방식을 사용한다. 비컨을 기반으로 한 트리 라우팅 방식은 네트워크 구성에 있어 효과적인 성능을 보인다. 하지만 다수의 노드에 데이터를 보낼 시, 특정 노드에 대한 전송이나 긴급한 데이터에 대한 우선 선점의 데이터 전송

에 대한 기대치는 낮아지게 된다.

이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 비컨 기반의 SKT WiBEEM 프로토콜^[1]을 통해 PHY(PHYSical) 계층과 MAC 계층을 사용하고 NWK 계층에서는 멀티-홉 환경에서의 우수함과 더불어 긴급한 데이터와 특정 노드에 대한 우선순위를 선정해주기 위해 비컨 패킷과 데이터 패킷을 이용하여 보다 중요한 데이터와 노드가 우선적으로 선점하여 데이터 전송이 이루어지는 것을 기대한다. 또한 비컨 패킷을 통한 우선순위가 선정이 되면 실제 데이터 전송 때는 MAC 계층의 백-오프 기법을 이용하여 보다 효과적인 데이터 선점과 우선순위 성능을 향상시키고자 한다. 그리하여 다 계층(Cross-layer) 라우팅을 통한 하나의 계층에 의존함을 덜어 내하고자 한다.

또한, 본 논문에서는 UC 버클리에서 제공하는 무선 센서네트워크 시스템에 최적화된 오픈 운영체제(OS)인 TinyOS를 이용하여 시스템을 개발한다. 대부분의 연구에서는 무선 센서 네트워크의 성능을 검증하기 위해 시뮬레이터, NS-2를 사용하는데, TinyOS의 장점은 소프트웨어 개발과 더불어 하드웨어 개발이 동시에 되는 장점을 가지고 있다. 그리고 다른 시뮬레이터와 달리 TOSSIM은 무료 오픈 소스이기 때문에 활용성이 큰 장점을 가지고 있다^[13]. 또한, 기법 면에서도 비컨을 이용한 우선순위 기법은 TinyOS 환경에서는 많이 구현되지 않은 분야이므로 희소성으로써 높은 가치를 가지고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 제안하는 알고리즘에 대하여 설명하고 III장에서는 TinyOS에서 제공하는 스크립터 기반의 TOSSIM을 통하여 제안 알고리즘의 성능을 살펴보고 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 제안하는 우선순위 알고리즘

본 논문에서는 비컨 신호를 이용한 우선순위 알고리즘 기법과 우선순위 기법 그리고 마지막으로 백-오프 기법을 적용한다. 비컨 신호를 이용한 우선순위 알고리즘 기법과 우선순위 기법 그리고 마지막으로 백-오프 기법을 적용한다.

센서 노드의 구성은 그림 1와 같은 부모-자식 구조의 네트워크 구성을 가진다^[17]. 먼저, 노드의 구성은 네트워크를 관리하는 관리자 노드, 관리자 노드와 일반

노드를 연결해주는 라우터 노드 그리고 일반 노드로 구성한다. 처음으로 네트워크 관리자 노드를 A로 정의한다. 다음으로 B, C, D, E 노드들을 라우터 노드, F, G, H, I 노드들을 일반 노드로 정의한다. 관리자 노드는 네트워크 전체에 비컨 신호를 전송한다. 이 비컨 신호는 네트워크 캡리자동기를 맞추어 주며 관리자 노드를 기준으로 동일한 네트워크를 구성할 수 있도록 신호 비컨을 통해 네트워크 구성이 이루어지면 네트워크 캡리자노드들은 부모-자식 관계리자노드 관계를 이루기 위해 RSSI 신호를 이용하게 된다. RSSI 신호가 강할수록 자식 노드에 대한 인식이 강해질 수 있기 때문에 RSSI 신호를 통해 노드간 연결 상태(Link Quality Indicator, LQI)를 정의하며 기본적인 트리구조가 완성된다. 데이터 전송이 시작되면 노드의 우선순위를 정하게 된다. 일정 시간이 흐르면 데이터 전송 횟수는 노드마다 차이가 나게 된다. 홉 수 증가에 따라 네트워크 환경은 데이터 전송에 있어 어려움을 가지게 된다. 따라서 노드의 데이터 전송은 어려움을 가지게 되고 네트워크 환경에 따라 데이터 전송이 줄거나 늘게 된다.

IEEE802.15.4에는 4가지 종류의 패킷이 있다. 네트워크 관리자가 보내는 동기화 신호 및 네트워크 상태에 대해 네트워크 전체에 보내는 비컨 패킷, 실제 센서 노드 자신들이 측정한 값들과 네트워크 상태에 보내게 되는 데이터 패킷, 비컨 및 명령 패킷 수신에 대한 Ack(확인) 패킷, 각 계층(PHY, MAC, NWK, 사용자)의 관리 및 데이터 전송을 위한 Command(명령) 프레임 패킷 이렇게 4가지로 정의한다. 제안하는 기법, BPR(Beacon based Priority Routing) 방식은 4가지 패킷 중 비컨 패킷 과 데이터 패킷을 이용한다. 우선적으

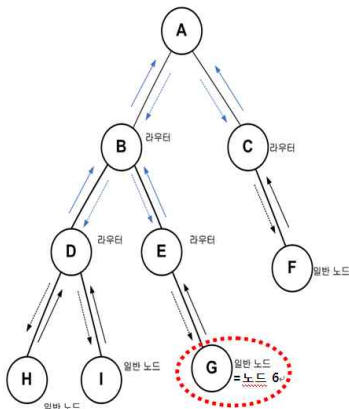


그림 1. 제안 알고리즘에 대한 시나리오
Fig. 1. The scenario of the proposed algorithm.

로 네트워크 관리자로 보내는 비컨 패킷에 'NodePriorityBeaconFields'를 정의한다. 이 부분은 우선순위가 높은 노드의 원활한 데이터 전송을 위해 우선순위를 선정해주어 원활한 데이터 전송이 이루어질 수 있게 관리자 노드가 비컨을 이용해 설정하는 부분이다. 우선순위에 대한 설정은 환경이나 상황에 따라 달라지고 설정할 수 있다. 예를 들면, 트리 구조를 설정할 때 수신되는 RSSI 신호를 기준으로 우선순위를 선정해 줄 수 있다. 또는 데이터 전송에 의한 홉 수를 계산하여 홉 수 증가에 따른 우선순위를 선정할 수 있다. 본 논문에서는 IEEE802.15.4 표준에서 벗어나지 않는 범위에서 기존에 정의된 데이터 패킷의 'Reserved' 된 부분에 'NSNumber(NodeSequenceNumber)'라는 부분을 정의한다. 각각의 노드가 전송하는 데이터 패킷의 번호를 전송할 때마다 하나씩 증가하는 부분을 만들어 준다.

$$\text{HighPriorityValue} = \text{NodeID_NSNumber} + \text{NSNumber} \quad (1)$$

본 논문에서의 우선순위는 각 노드의 데이터 전송횟수를 고려한다. 데이터 전송횟수를 고려하기 위하여 데이터패킷의 'NSNumber'를 이용한다. 노드 ID를 고려하고 데이터 전송 횟수를 고려하여 특정 노드에 대한 우선순위를 높여준다. 우선 순위를 위해 Zipf Distribution을 이용하여 우선순위를 고려한다. Zipf는 사용 빈도수에 따라 대수의 기울기를 가지게 되는 분포이다^[14].

그림 2는 본 논문에서 제안하는 BPR 기법을 위해 IEEE 802.15.4에서 제시하는 데이터패킷과 비컨패킷을 제안하는 방법에 따라 적용한 그림이다. 기본적으로 패킷의 페이로드 부분을 이용한다. 데이터 패킷에 8bits의

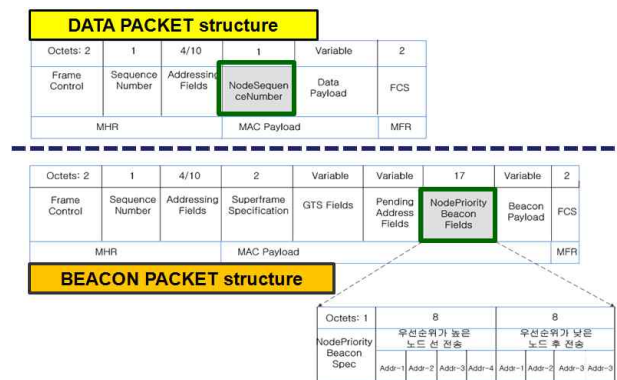


그림 2. 제안 알고리즘을 적용한 데이터 패킷(위), 비컨 패킷(아래)
Fig. 2. The data packet and beacon packet applied on the proposed algorithm.

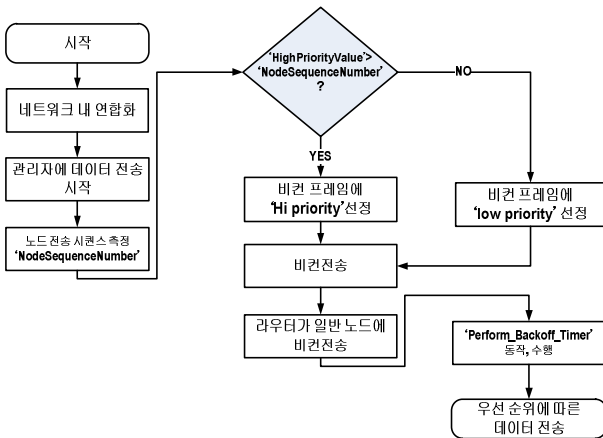


그림 3. 제안 알고리즘에 대한 플로우 차트
Fig. 3. The flow chart about the proposed algorithm.

‘NSNumber’을 프레임에 설정한다. 비컨패킷에는 실제 노드들의 우선순위를 선정해주는 ‘NodePriority BeaconField’를 비컨 패킷에 설정한다. 본 논문에서는 ‘HighPriorityValue’를 가지게 되는 노드를 높은 우선순위로 정하고 이를 비컨패킷에 실어 네트워크 전체에 전송하게 된다. 이를 수신 받은 노드들은 데이터 전송 시백-오프 타이머를 통해 데이터 전송을 진행하게 되며 노드가 데이터 전송 중일 때, 다른 노드는 전송을 하지 않고 대기상태에 머물게 된다.

그림 3은 본 논문에서 제안하는 BPR 기법을 플로우 차트에 적용한 그림이다. 먼저 노드들의 연합(Association) 동작이 이루어진 상태에서 BPR 기법을 적용한다. 맨 처음 네트워크 관리자가 보내는 비컨 신호를 하나의 네트워크 안의 노드들이 모두 수신하고 연합과정이 이루어지면, 데이터 전송이 시작된다. 데이터 전송이 시작되면 사용자 설정에 따라서 일정시간 동안 데이터 수신을 가질 수 있다. 또는 데이터 패킷에 의한 데이터 전송 횟수에 따라 사용자가 원하는 노드 ID에 우선순위를 부여할 수 있다. 데이터 패킷과 비컨 패킷을 통해 사용자 설정에 의한 우선순위 부여 과정을 거치게 되면 전체 네트워크 상의 노드에게 우선순위 노드의 정보를 담은 비컨 패킷에 실어 보내게 된다. 비컨 패킷의 정보를 수신한 노드들은 실제 데이터 전송 시, 백-오프 기법에 의한 데이터 전송을 실시하게 된다.

III. 모의실험

TinyOS의 시뮬레이터인 TOSSIM을 이용한 시뮬레이션을 수행한다. TinyOS는 하드웨어와 소프트웨어를

모두 사용할 수 있는 장점을 가지고 있고 무선 센서네트워크를 실행시키기에 적합한 OS이다. 3.1절에서는 시뮬레이션 환경과 성능검증 파라미터에 대한 정의를 한다. 그리고 3.2절에서는 TOSSIM을 이용한 시뮬레이션 그래프를 나타내고 제안하는 기법의 성능이 향상됨을 나타낸다.

3.1 시뮬레이션 환경과 성능 검증 파라미터

시뮬레이션의 단계는 우선 AODV 방식과 BPR 방식을 적용한 방식에 대한 비교를 할 것이다. 기본적으로 그림 4의 토폴로지 구성^[17]을 이용하여 멀티 홉에서의 AODV, 제안 알고리즘(BPR)에 대한 성능을 분석하고자 한다. 성능 평가요소는 다음과 같고 특정 노드 6을 중심으로 성능의 우수성을 확인하였다.

a. $RX_{Throughput}$ (BPS) : 특정 노드가 시뮬레이션 시간 동안 목적지 노드에 일정 주기 안에 수신되는 데이터를 의미한다. 본 논문에서는 특정 노드가 수신하는 패킷의 개수(NodeRXData)를 시뮬레이션 타임, T로 나누어 값으로 정의한다. PPS와 bps로 나타낼 수 있다. PPS는 Packet Per 초를 의미하며 시간당 패킷 수를 의미한다. Bps는 Bit Per Sec을 의미하며 시간당 비트 수를 의미한다. 본 논문에서는 패킷을 바이트 단위로 정하고 특정패킷상수(40bytes)로 정의하였기 때문에 PPS 값에 8을 곱하게 되면 Bps 값을 구할 수 있다. $RX_{Throughput}$ 은 식 (2)로 나타내고, NodeRxData는 특정 노드의 수신된 패킷의 개수, PKTByte는 패킷바이트

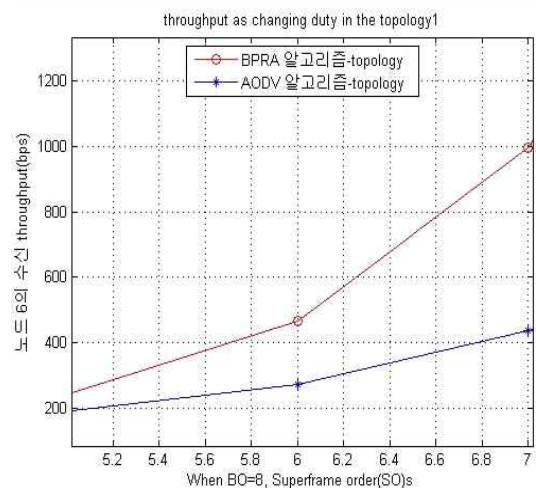


그림 4. 슈퍼프레임 주기 변화에 대한 노드 6의 수신 처리율[bps]

Fig. 4. The receiving throughput of the node 6 about period change of the superframe.

상수(40bytes)를 의미하고, T는 전체 시뮬레이션 시간을 의미한다.

$$RX_{Throughput} [bps] = \frac{NodeRxData}{T} \times PKTByte \times 8 \quad (2)$$

b. Delivery_Ratio(%) : 특정 노드의 전체 전송 패킷에 대한 수신된 전체 패킷의 비를 백분율로 나타내어 전달 확률로 정의하게 된다. 식 (3)으로 나타낸다. NTXData는 송신된 패킷의 수를 의미하며, NRXData는 수신된 패킷의 수를 의미하게 된다.

$$Delivery_Ratio[\%] = \frac{NRXData}{NTXData} \times 100(\%) \quad (3)$$

c. Total_Energy(mW) : 시뮬레이션 시간 동안 데이터 전송, 수신, 대기에 따라 소비되는 에너지를 의미한다. 식 (4)로 나타내며, TxEnergy = 0.02475mW, RxEnergy = 0.0135, SleepEnergy = 0.000015 인 상수로 정의하고 곱해준다. TxNodeList, RxNodeList, SleepNodeList는 각각 데이터 전송 노드의 수, 데이터 수신 노드의 수, 대기 상태의 노드 수를 의미한다.

$$Total_Energy[mW] = (Tx+Rx+Sleep)_Energy \quad (4)$$

3.2 성능 검증

표 1은 그림 1에 대한 시뮬레이션 실험 파라미터이다. 노드의 개수는 9개를 사용하고 홉 수는 최소 1홉에서 최대 3홉으로 설정한다. 최대 패킷 크기와 비트 속도는 IEEE802.15.4를 기준으로 파라미터로 정한다. 본 실험에서는 슈퍼프레임 오더의 수를 최소 4에서 최대 8로 설정한다. 시뮬레이션 시간은 100초로 설정한다. 네

표 1. Simulation 환경 및 파라미터 설정
Table 1. The simulation environment and parameter value.

파라미터	값
노드 수	9
노드 홉수	3
최대 패킷크기	128bytes
비트 속도	250Kbps
듀티 사이클	12.5 ~ 100% (8:4, 8:5, 8:6, 8:7 8:8)
최대 출력 전력	1mW
시뮬레이션 시간	100 sec
시뮬레이션 패킷생성시간	20 pps

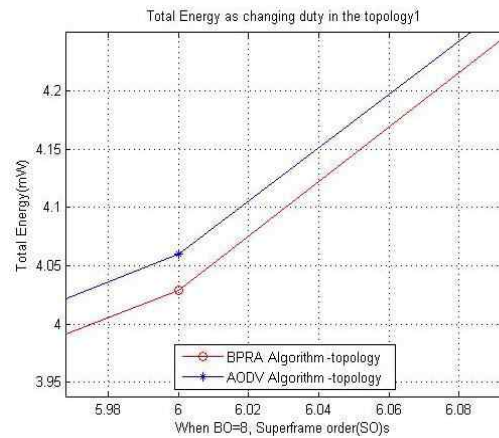


그림 5. 슈퍼 프레임 주기 변화에 대한 전체 에너지 소비[mW]

Fig. 5. The total consumption energy about period change of the superframe.

트워크 관리자가 보내는 비컨 신호가 3초마다 나오게 설정이 되어 있기 때문에 시뮬레이션 시간이 100초이지만 효과적인 데이터 전송에 대한 시간 획득이 가능하다. 그리고 초당 생성되는 패킷은 20pps로 설정한다. 시뮬레이션 프로그램은 일반적으로 TinyOS에서 제공하는 nesC 언어로 구현이 되어 있다.^[15] 네트워크 QoS를 알아보기 위해 몇 가지 선택된 시뮬레이션 결과에 대한 그래프를 나타내었다. 본 실험에 대하여 95% 신뢰도 구간을 구하기 위하여 10번의 실험을 통하여 평균값을 구하고 이에 대한 신뢰도를 구하였다^[16]. 신뢰도 구간에서 그림 4 및 그림 5와 같이 제시한 BPR은 AODV 비교 처리율 및 에너지 소비 측면에서 우수한 성능을 보여주었다.

IV. 결론

지금까지 기존의 AODV 방식에서 소모되는 불필요한 신호를 제거하기 위해 IEEE802.15.4 표준을 기반으로 한 비컨을 이용한 경로 요청신호를 적용하는 방법에 데이터 프레임의 시퀀스 수를 이용한 노드 우선순위 알고리즘인 BPR 알고리즘을 설계하고 이에 대한 네트워크 QoS를 검증하기 위해 TinyOS 기반의 TOSSIM을 이용하여 성능을 검증하였다. AODV 방식에 비해 향상된 데이터 처리량과 패킷 수신확률을 보였고, 패킷 처리 시간과 전체 에너지 소비에 있어 향상된 성능을 보였다. 또한, 토폴로지 구성에 따라 멀티 홉 환경에서의 제안 알고리즘을 네트워크에 적용하였고 홉 수의 증가에 따라 네트워크 성능이 낮아지는 것을 확인 하였다.

무선 센서네트워크의 표준인 IEEE802.15.4는 MAC 계층과 PHY 계층에 대한 표준을 제시하기 때문에 다수의 노드와 라우터, 네트워크 관리자 노드가 사용되는 환경에서는 제한되는 점이 있었다. 상위 계층에 대한 제한된 표준은 기존 라우팅 방식인 AODV 방식을 사용하게 되고 불필요한 패킷전송의 단점을 극복하고 효율적인 데이터 전송을 위해 본 논문에서는 비컨 기반의 노드 우선순위 알고리즘을 적용한 BPR 알고리즘을 사용하였다. 앞으로의 연구는 우선순위에 대한 형평성을 고려한 다양한 상황과 환경을 고려한 추가적인 우선순위 법칙에 대한 연구가 필요하다. 또한, 일반적인 우선순위와 특정 환경에 따라 발생하는 상황에 대한 균형적인 시각과 일반화를 위한 일반적인 연구를 통해 더욱 큰 확장성을 가져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 전호인, “WiBEEM:U-City 핵심 서비스 구현을 위한 최적의 USN 아키텍처”, 한국통신학회지, 23권, 12호, pp17-36, 2006.
- [2] 김동성, 이정일, “실시간 혼합 트래픽 전송을 위한 산업용 IEEE 802.15.4 망의 체계적 전송 기법”, 전자공학회논문지, 제45권, 6호, 18-26쪽, 2008년.
- [3] (주) 한백전자 기술연구소, “유비쿼터스 센서 네트워크 시스템: Zigbex를 이용한”, 도서출판ITC, p60-73, 2006.
- [4] J.Zheng, M.Lee, “ A Comprehensive performance study of IEEE802.15.4”, Sensor Network Operations, IEEE Press, Wiley Interscience, Chapter 4, pp.218-237, 2006.
- [5] P.Baronti, P.Pillai, V.Chook, S.Chessa, A.Gotta, Y.Hu, “Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards”, Computer Communications In Wired/Wireless Internet Communications, Vol.30, No.7, pp1655-1695, 2007.
- [6] V.P.Rao, D.Marandin, “Adaptive Backoff Exponent Algorithm for Zigbee(IEEE802.15.4)”, Lecture Notes in Computer Science, Vol4003, pp501-516, 2006.
- [7] 김명유, 김기형, “IEEE 802.15.4에서 트래픽 상황을 고려한 CSMA-CA 백오프 알고리즘”, 대한전자공학회 학술대회, 1366-1367쪽, 2009년.
- [8] 박원근, 이재용, “IEEE802.15.4 WPAN에서의 Cyclic Contention-Free Access 기법”, 한국통신학회논문지, Vol.32, No.7, p455-462, 2007.
- [9] ZigBee Alliance, ZigBee Specification, 2008.
- [10] A.Koubaa, M.Alves, E.Tovar, “GTS Allocation Analysis in IEEE 802.15.4 for Real-Time Wireless Sensor Networks”, IPP-Hurray Technical report TR-060404, 2006.
- [11] W.Qiu, E.Skafidas, P.Hao, “Enhanced tree routing for wireless sensor networks”, Ad Hoc Networks, No.7, p638-650, 2009.
- [12] C.Perkins, E.Royer, “Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing”, Proceedings of Second IEEE Workshop Mobile Computing Systems and Applications, p90-100, 1999.
- [13] P.Levis, N.Lee, “TOSSIM: A Simulator for TinyOS Networks”, 2003.
- [14] J.Nielsen, “Zipf Curves and Website Popularity”, <http://www.useit.com/alertbox/zipf.html>.
- [15] D.Gay, P.Levis, R.Behren, M.Welsh, E.Brewer, and D.Culler, “The nesC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems”, PLDI, 2003.
- [16] H. Perros, “Computer Simulation Techniques: The definitive introduction!”, North Carolina State University, <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/perros>, 2003.
- [17] Yang and S. Kim, “An improved self routing scheme by using parent-child relationship and beacon-only period for WSNs”, IJICT, Vol. 2, pp. 279-301, 2010.
- [18] IEEE P802.15.4c, Wireless Medium Access Control and Physical Layer specification for Rate Wireless Personal Area Networks, 2009.

— 저 자 소 개 —



원 대 호(정회원)

2009년 금오공과대학교
전자공학부 학사 졸업.
2011년 금오공과대학교 전자통신
공학과 석사졸업.

<주관심분야 : USN, DSP, UWSN, Kalman
filter>



양 연 모(정회원)

1990년 KAIST 전기및전자공학과
학사
2006년 GIST 메카트로닉스
공학박사
2006년~2008년 DGIST
선임연구원 (PL)

2008년~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수
<주관심분야 : EPONs, 센서네트워크, 임베디드
시스템, 네트워크 시뮬레이션>