

# ZigBee 무선계측/경보 시스템을 위한 클러스터 기반의 AODV

## Cluster-based AODV for ZigBee Wireless Measurement and Alarm Systems

박재원\*, 김홍록, 이연정  
(Jae-Won Park, Hong Rok Kim, and Yun-Jung Lee)

**Abstract :** Establishing a fixed path for the message delivery through a wireless network is impossible due to the mobility. Among the number of routing protocols that have been proposed for wireless ad-hoc networks, the AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector) algorithm is suitable in the case of highly dynamic topology changes, along with ZigBee Routing(ZBR), with the exception of route maintenance. Accordingly, this paper introduces a routing scheme focusing on the energy efficiency and route discovery time for wireless alarm systems using IEEE 802.15.4-based ZigBee. Essentially, the proposed routing algorithm utilizes a cluster structure and applies ZBR within a cluster and DSR (Dynamic Source Routing) between clusters. The proposed algorithm does not require a routing table for the cluster heads, as the inter-cluster routing is performed using DSR. The performance of the proposed algorithm is evaluated and compared with ZBR using an NS2 simulator. The results confirm that the proposed Cluster-based AODV (CAODV) algorithm is more efficient than ZBR in terms of the route discovery time and energy consumption.

**Keywords :** ZigBee routing, AODV, DSR, cluster-based AODV, wireless measurement and alarm system

### 1. 서론

ZigBee는 IEEE802.15.4 위원회에서 표준화된 물리계층/매체 접속제어계층을 기반으로 상위 프로토콜과 응용계층을 규격화한 것으로 무선 센서망의 대표적인 기술이다[1,2]. 이 근거리 무선통신 방식은 전력소모 측면에서 효율성이 있어 배터리가 수 개월에서 수 년 동안 지속될 수 있는 장점을 가지고 있다. 무선센서를 이용하는 공장 자동화나 홈 네트워크, 응급 상황 감지 시스템, 헬스케어 시스템, 각종 감시 시스템 등이 주요 응용 분야에 포함된다.

ZigBee 표준은 네트워크 계층에서 기본적으로 ZBR(ZigBee Routing) 프로토콜을 제공하지만 다양한 응용 분야에 따라 이 프로토콜보다 좀 더 효율적인 방법이 존재할 수 있다. 본 논문에서는 공장 자동화 분야 중 ZigBee 기반의 무선계측/경보 시스템에서 효율적인 성능을 보장하기 위한 경로설정 방법을 제안하고자 한다. ZigBee 기반의 무선계측/경보 시스템은 공장이나 산업현장에서 공정제어나 오류제어 등을 위하여 설치된 각종 센서로부터 측정된 수치나 데이터를 관리자에게 신속하고 정확하게 알려주는 것이다. 시스템의 구성은 그림 1과 같이 기계의 계측 또는 오류 정보를 획득하여 전송하는 장치노드(Device node)와 라우터(Router), 그리고 관리자가 소지한 이동노드(Mobile node) 또는 무선경보기(Wireless alarm node)로 이루어져 있다.

ZigBee 기반의 무선계측/경보 시스템은 신뢰성과 구현의 편의성을 고려할 경우 Tree 구조의 고정된 경로설정 방식이 유리하다. 그러나 관리자가 소지한 무선경보기가 이동하는 환경에서는 경로설정이 이동위치에 따라 변경되어야 하고, 만약 라우터나 장치노드의 장애 (또는 고장)가 발생하면 새

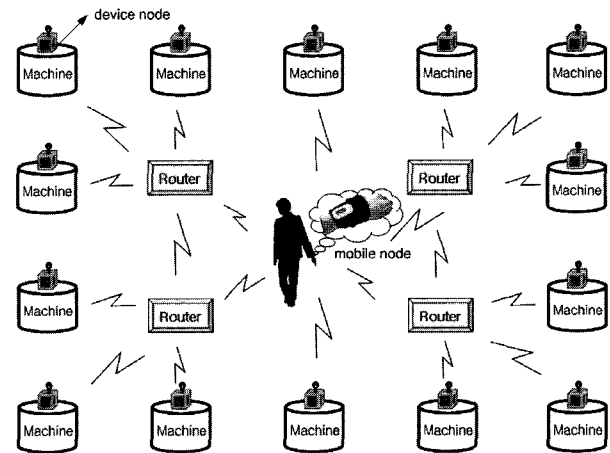


그림 1. ZigBee 기반의 무선계측/경보 시스템.  
Fig. 1. ZigBee-based wireless measurement and alarm systems.

로운 경로정보를 획득하여야 하기 때문에 고정된 경로설정 방식은 이러한 환경에 적합하지 않다. 이동성으로 인한 경로 재설정과 라우터 및 장치 노드의 장애 또는 고장은 경로탐색과 복구 시간을 증가시키는 요인으로 작용하며, 경로설정을 위한 불필요한 제어 메시지(또는 패킷)가 발생하여 전송 대역폭의 자원낭비와 전체 네트워크 부하가 증가하여 에너지 소모가 늘어나게 된다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 ZigBee 무선계측/경보 시스템을 위한 클러스터 기반의 경로설정 방법을 제안한다. 이 방식은 전체 네트워크 노드에 대한 경로 설정 정보와 오버헤드를 줄이기 위하여 임의의 클러스터 네트워크 구조를 형성하고, 각 클러스터에는 클러스터 헤드(cluster-head)를 설정한다.

클러스터 내부에서는 애드혹 요구기반의 거리벡터(Ad-hoc On-demand Distance Vector, AODV) 경로설정 방식[3]을, 클러스터 간에는 동적 자원 경로설정(Dynamic Resource Routing,

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 7. 12., 채택확정 : 2007. 6. 1.

박재원 : (주)ED 연구개발기획실 선임연구원(jwpark@ed.co.kr)

김홍록 : 임베디드소프트웨어연구소 선임연구원(hrkim@cest.re.kr)

이연정 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수(yjlee@ee.knu.ac.kr)

DSR) 방식[4]을 사용함으로써 에너지 절감과 경로설정 시간 단축 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 II장에서 기존의 ZigBee 기반의 경로설정 방식을 소개하고 무선계측/경보 시스템에 적합한 경로 설정 방법으로 클러스터 기반의 AODV (Cluster-based AODV, CAODV) 방식을 III장에서 제안하였다. 그리고, IV장에서 모의실험을 통한 성능 분석을 수행하였고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

**II. 무선계측/제어 시스템에서의 기존 라우팅 기법**

무선계측/경보 시스템은 master/slave 모드의 tree 구조나 mesh(또는 peer-to-peer) 구조로 무선망을 구성할 수 있다. ZigBee 규격에서 기본적으로 제공하는 ZBR 방식은 논리적 주소(logical address)를 할당하여 계층적 라우팅 방식과 table-driven 방식, 그리고 요구기반 방식으로 구분할 수 있다. 그 중 이 논문에서는 에너지 효율 측면에서 유용한 요구기반 방식을 고려하고 있다. 요구기반의 ZBR 방식은 설정된 경로를 유지하는 방법을 제외하고 기존의 AODV 방식과 매우 유사하다. 이 방식은 경로 표(routing table)와 패킷 플러딩(flooding) 기법을 이용하여 경로에 대한 정보관리와 경로 획득을 수행한다. 이 과정에서 RREQ(routing request)와 RREP(routing reply) 패킷을 이용하고, 경로 표에서 종료시간 동안만 경로정보를 유지하고 이후에는 자동 소멸된다. 이것은 기존의 테이블 기반 방식의 단점인 최신 경로정보를 유지하기 위하여 생성되는 오버헤드를 줄이기 위한 것이다.

요구기반의 대표적인 또 다른 방식이 DSR이다. 이것은 패킷 플러딩 기반으로 경로테이블이 존재하지 않으며 경로 캐쉬(route cache)를 이용한다. 또한 이 방식은 다중경로를 보유할 수 있으며 RREP 패킷을 RREQ 패킷에 피기백 시켜 비대칭링크를 지원하도록 하였다. 하지만 패킷 헤더에 전체 경로를 포함하기 때문에 자원 낭비문제가 발생하며 노드의 이동과 시간경과에 따른 경로캐쉬의 오류로 인하여 경로획득 시간이 지연되는 문제가 발생한다[5].

AODV 방식은 1999년에 C. Perkins가 유선에서 사용하던 DSDV(Destination Sequence Distance Vector) 방식[6]을 요구기반 방식으로 적용한 것이다. AODV 기법은 이미 설정된 경로를 일정한 시간 동안만 유지하기 때문에 기존 DSDV의 문제점인 오버헤드를 감소시킬 수 있다. AODV의 경로획득 방법은

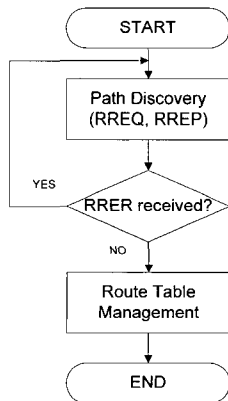


그림 2. 임의의 노드에 대한 ZBR 라우팅 기법.  
Fig. 2. Simplified ZBR algorithm for a node.

DSR을 이용하지만 패킷 헤더에 전체 경로를 포함시키지 않기 때문에 자원낭비 문제를 해결할 수 있다. 또한 AODV 방식은 경로유지를 위해 종료시간과 Hello 메시지를 사용하지만 ZBR은 종료시간만 사용한다.

그림 2는 요구기반의 ZBR 방식을 표현한 흐름도이다. RREQ와 RREP 패킷을 이용하여 경로를 탐색하여 설정한다. RERR(routing error) 패킷을 수신한다면 경로 재 탐색을 수행하며, RERR을 수신하지 않는다면 종료시간까지 설정된 경로를 유지한다. 일반적으로 이 시간은 네트워크 크기에 의존하며 ZigBee 규격에는 10ms로 되어있다.

주로 공장자동화를 위하여 공정제어나 오류 정보를 관리자가 소지한 무선경보기에 전달하기 위한 ZigBee 무선계측/제어 시스템은 모든 노드(router 또는 device)가 이동하거나 라우팅 기능을 수행할 필요가 없으며, 무선경보기만 자유로운 이동성을 보장하면 되기 때문에 기존의 MANET(Mobile Ad-hoc Network)과는 다르게 빈번한 토폴로지 변화가 발생하지 않는다. 토폴로지의 빈번한 변화는 무선 네트워크에서 많은 경로 재설정을 필요로 한다.

그러나 무선경보기만이 이동하는 환경에서도 경로설정이 이동 위치에 따라 변경되어야 하며, 또한 라우터나 장치 노드의 장애(또는 고장)가 발생하면 새로운 경로를 획득하여야 하기 때문에 중, 대형의 네트워크에서의 기존의 ZBR 라우팅 프로토콜은 경로탐색 시간과 에너지 측면에서 비효율적이다[1].

**III. 무선계측/제어 시스템을 위한 클러스터 기반 AODV**

본 논문에서는 ZigBee 무선계측/제어 시스템 환경에서 최적화된 무선망을 제공하고 좀 더 효율적인 성능을 갖도록 클러스터 기반의 AODV 라우팅 알고리즘을 제안한다. 그림 3

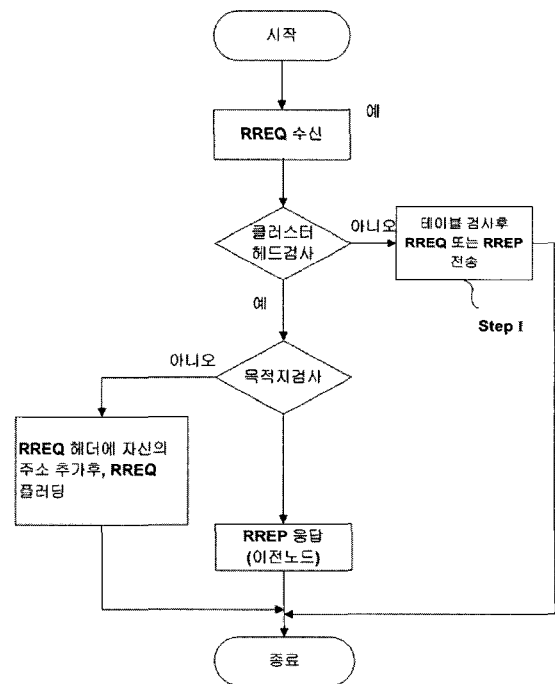


그림 3. 임의의 노드에 대한 클러스터기반 AODV 알고리즘.  
Fig. 3. Cluster-Based AODV(CAODV) algorithm for a node.

에서는 제안된 라우팅 알고리즘을 도시하고 있다. 이 기법은 다수의 노드를 클러스터(cluster)화하고, 각 클러스터 내의 임의의 한 노드를 클러스터 헤드(cluster-head)로 설정하고, 각 클러스터 내부의 각 노드들 간에는 AODV 경로 설정 방식에 따라 경로 설정을 이행하고, 각 클러스터 헤드 간에는 DSR 경로 설정 방식에 따라 경로 설정을 이행한다.

또한 이 방식은 클러스터 헤드에게 클러스터 내 노드들에 대한 정보 관리를 요구하지 않으면서, 클러스터 헤드에 대해서는 다중 경로를 보유함으로써, 전체적으로 오버헤드 발생과 경로 획득 시간을 감소시켜, 무선 계측/정보 시스템의 이동과 장애에 대하여 효율적인 경로 설정을 할 수 있도록 한다.

앞의 그림에서 임의의 노드는 경로 설정을 위한 RREQ 패킷을 수신할 수 있으며 이 패킷은 초기 경로 설정을 위해 플래딩된 RREQ 패킷이거나, 중복 수신된 RREQ 패킷일 수 있다. RREQ 패킷을 수신한 노드는 중복 수신된 것인지 우선 체크하며, 만약 RREQ 패킷이 중복 수신되어 이미 저장된 경우에 이 노드는 수신한 RREQ 패킷을 제거한다.

RREQ 패킷이 중복 수신된 것이 아닌 경우 이 노드는 자신이 클러스터 헤드인지 여부를 확인하고, 만약 자신이 클러스터 헤드인 경우 자신이 목적지 노드인지 여부를 확인한다.

자신이 목적지 노드인 경우에는 응답 패킷인 RREP 패킷을 이전 노드로 전송하며, 그렇지 않은 경우에는 수신한 RREQ 패킷의 헤더에 자신의 주소를 추가한 후 RREQ 패킷을 플래딩한 후 종료한다.

만약 자신이 클러스터 헤드가 아닌 경우, 수신된 RREQ 패킷상의 경로가 자신의 경로 테이블상에 있는지 존재 여부를 확인하고 RREQ 패킷 또는 RREP 패킷을 전송한다 (Step I). 그림 4를 참조하여 이 단계에 대하여 구체적으로 설명한다.

먼저, 임의의 노드는 수신된 RREQ 패킷의 경로 정보가 자신의 경로 테이블에 존재하는지를 체크한다. 여기서 RREQ

패킷에 실린 경로는 AODV 방식에 따라 역방향 경로 설정을 위한 것이거나, DSR 방식에 따라 패킷의 헤더에 클러스터 헤드들의 주소가 누적된 것일 수 있다.

만약 RREQ 패킷에 실린 경로가 자신의 경로 테이블에 존재하지 않는 경우, 상기 노드는 수신한 RREQ 패킷을 AODV 방식에 따라 플래딩한 후 종료한다.

그러나 RREQ 패킷의 경로가 자신의 경로 테이블에 존재하는 경우, 자신이 목적지 노드인지 여부를 확인한다. 자신이 목적지 노드인 경우에는 RREQ 패킷상의 경로 정보를 이용하여 자신의 경로 테이블에 존재하는 경로가 유효한지를 체크하며, 이 경우 경로의 유효성 여부는 다음과 같이 판단한다. 먼저 상기 수신된 RREQ 패킷에 실린 경로의 패스 코스트 값을 계산하고, 이 패스 코스트 값과 경로 테이블의 해당 경로에 대한 패스 코스트 값을 비교한다. 만약 RREQ 패킷에 실린 경로의 패스 코스트 값이 경로 테이블의 해당 경로에 대한 패스 코스트 값보다 작은 경우, 해당 경로가 유효하지 않은 것으로 판단한다. 그러나 RREQ 패킷에 실린 경로의 패스 코스트 값이 경로 테이블의 해당 경로에 대한 패스 코스트 값보다 큰 경우, 해당 경로가 유효한 것으로 판단한다.

패스 코스트를 계산하기 위하여 노드 간의 각 링크 코스트를 계산하여 합하여야 한다. 링크( $l$ )에 대한  $[0..7]$  값 사이의 링크 코스트는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C(l) = \left[ 7, \min \left( 7, \text{round} \left( \frac{1}{P_l^4} \right) \right) \right] \quad (1)$$

여기서  $P_l$ 은 링크에서 패킷전송 확률이다. 따라서 패스 코스트는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C(P) = \sum_{l=1}^{L-1} C(l_{(i,i+1)}) \quad (2)$$

여기서  $L$ 은 전체 패스의 수를 의미한다.

만약 자신의 경로 테이블에 존재하는 경로가 유효한 경우, 노드는 수신한 RREQ 패킷을 제거한 후 수신한 RREQ 패킷에 대한 응답 패킷인 RREP 패킷을 이전 노드로 전송한다. 자신의 경로 테이블에 존재하는 경로가 유효하지 않는 경우, 노드는 수신한 RREQ 패킷에 실린 경로에 따라 자신의 경로 테이블을 갱신하고 RREP 패킷을 이전 노드로 전송한 후 종료한다.

한편, 자신이 목적지 노드가 아닌 경우, RREQ 패킷상의 경로 정보를 이용하여 자신의 경로 테이블의 경로가 유효한지 여부를 확인한다. 이때 경로 테이블의 경로의 유효성 여부에 대한 판단 방법은 위에서 기술한 방법과 동일하다. 만약 자신이 목적지 노드이면서 경로 테이블의 경로가 유효한 경우, 수신한 RREQ 패킷을 제거하고 자신의 경로 테이블의 경로에 따르는 새로운 RREQ 패킷을 생성하여 다른 클러스터 헤드 및 자신의 클러스터에 속하는 노드들로 플래딩한다.

상기 자신의 경로 테이블에 존재하는 경로가 유효하지 않는 경우, RREQ 패킷에 실린 경로에 따라 자신의 경로 테이블을 갱신하고 수신한 RREQ 패킷을 플래딩한다.

다음은 클러스터 헤드 사이의 경로 설정이 이루어지는 과

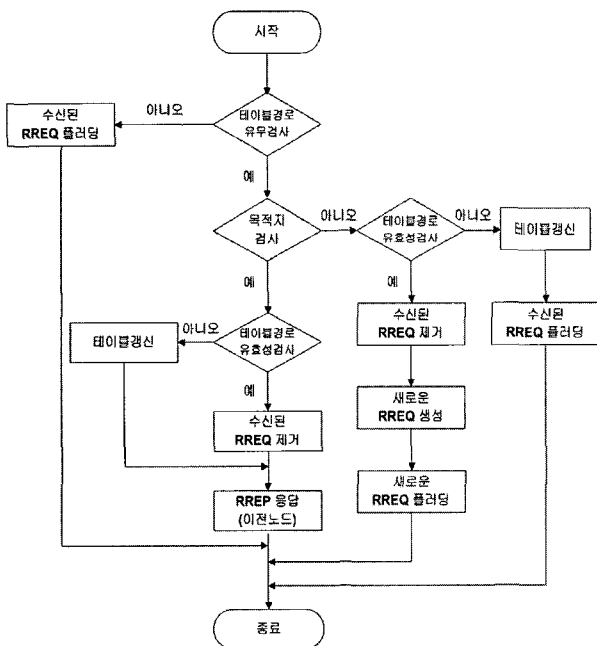


그림 4. Step (I)의 세부 흐름도.  
Fig. 4. Detailed flow diagram of Step (I).

정을 설명한다. 우선 어느 한 클러스터 헤드가 다른 클러스터 헤드로 경로설정을 요청하는 과정을 설명한다.

제1클러스터(C1)의 클러스터 헤드(CH1)가 제2클러스터(C2)의 클러스터 헤드(CH2)와의 경로 설정을 요청하는 경우는 다음과 같다. 이 클러스터 헤드(CH1)는 RREQ 패킷을 플러딩한다. 출발지 클러스터 헤드(CH1)가 플러딩한 RREQ 패킷을 수신한 클러스터 헤드(CH2)는 이 RREQ 패킷에 대한 응답 패킷인 RREP 패킷을 클러스터 헤드(CH1)로 송신함으로써, 클러스터 헤드들(CH1,CH2)간의 경로가 설정된다.

이와 달리 제1클러스터(C1) 내의 한 노드(S1)가 제2클러스터(C2)의 한 노드(A2)로의 경로 설정을 요청하는 경우를 설명하면 다음과 같다. 이 노드(S1)은 노드(A2)로의 경로 설정을 위한 RREQ 패킷을 플러딩한다. 상기 노드(S1)이 플러딩한 RREQ 패킷을 수신한 클러스터 헤드(CH1)는 이 RREQ 패킷의 헤더에 자신의 경로에 대한 정보를 삽입하여 플러딩하며, 경로가 추가된 RREQ 패킷은 제2클러스터(C2)의 클러스터 헤드(CH2)로 수신된다. 이 클러스터 헤드(CH2)는 상기 RREQ 패킷에 다시 자신의 경로에 대한 정보를 삽입하여 플러딩한다. 제1 및 제2클러스터 헤드(CH1,CH2)에 대한 경로정보가 삽입된 RREQ 패킷을 수신한 노드(A2)는 상기 RREQ 패킷에 대한 응답 패킷인 RREP 패킷을 제1클러스터(C1)의 노드(S1)으로 송신함으로써, 제1클러스터(C1) 내의 한 노드(S1)가 제2클러스터(C2)의 한 노드(A2)간의 경로가 설정된다.

한편, AODV 방식에 따라 각 클러스터내 노드들은 주기적으로 헬로(HELLO) 메시지를 해당 클러스터내 노드들에 전송하고, 그 응답여부에 따라 경로가 연결되었는지를 확인하는 과정을 수행한다.

제안된 라우팅 알고리즘은 다수의 노드를 클러스터화하고, 클러스터 내부는 AODV 방식에 따라 경로 설정을 이행하고, 클러스터 간은 DSR 방식에 따라 경로 설정을 이행한다.

이와 같이 클러스터 간, 즉 클러스터 헤드만이 DSR 방식에 따라 경로 설정을 이행하므로, 전체 노드가 DSR 방식에 따라 경로 설정을 이행하는 것에 비해, RREQ 패킷의 헤더에 삽입되는 주소의 양을 현격하게 감소시킬 수 있다.

또한, 클러스터 내부의 노드들은 AODV 방식에 따라 경로 설정을 이행하므로, 전체 노드가 AODV 방식에 따라 경로 설정을 이행하는 것에 비해, 경로 유지를 위한 Hello 메시지 전송량을 현격하게 감소시킬 수 있다.

또한 클러스터 내부의 노드들은 AODV 방식에 따라 자체적으로 경로 설정을 수행하여 클러스터 헤드는 클러스터 내부의 모든 노드들을 관리하지 않아도 되므로, 종래의 클러스터 기반의 경로 설정 방식에 비해 클러스터 헤드의 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

이 기법은 기존의 방식의 경로 설정에 비해 RREQ 패킷의 데이터량 및 헬로 메시지의 전송량, 오버헤드를 감소시킴으로 전반적인 에너지 소모를 절약함은 물론이고, 경로 설정 및 복구 시간을 단축시킬 수 있다.

또한 클러스터 헤드 사이의 경로 설정이 DSR 방식으로 이루어지므로, 노드의 고장이나 장애가 발생한 경우에는 다중 경로로 인하여 경로 복구 시간을 단축시킬 수 있다.

저속 무선 사설망(low rate wireless personal area network, LR-

WPAN)을 위한 라우팅 방식의 에너지 소비 정도를 표현하기 위하여 일반적인 형태[7]를 다음과 같이 수정할 수 있다.

$$I_{avg} = \alpha \cdot T_{on} \cdot I_{on} + (1 - T_{on}) \cdot I_{sby} \tag{3}$$

여기서  $I_{avg}$  = 배터리에서 필요한 평균 드레인 전류

$T_{on}$  = 송신기 또는 수신기가 On 상태일 때 시간 비율

$I_{on}$  = 송신기 또는 수신기가 On 상태일 때 드레인 전류

$I_{sby}$  = 송신기 또는 수신기가 Off 상태일 때 드레인 전류

$\alpha$  = ZBR에 대한 CAODV 알고리즘의 비

통신링크가 대칭일 경우 각 노드에서 평균 송신 및 수신 시간은 동일하고, 750mA의 배터리 수명은 1년이라고 가정하면 평균 드레인 전류는 다음과 같다.

$$I_{avg} = \frac{750mAh}{2.8760} = 42.8\mu A \tag{4}$$

한 예로  $I_{on}$  = 10mA,  $I_{sby}$  = 10 $\mu$ A 그리고  $\alpha$  = 0.95이라면,  $T_{on}$  = 0.00347 또는 0.347%이다. 이것은 3600 시간 동안에 12.52시간만 데이터를 전송한다는 의미이다.

#### IV. 모의실험 결과 및 분석

이 장에서는 ZigBee 기반의 무선계측/경보시스템에 적합하도록 제안한 CAODV 라우팅 알고리즘을 기존의 ZBR과 비교 분석 및 평가하였다. 이 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준의 물리계층과 매체제어계층이 구현된 NS2 Simulator를 사용하였다[8].

모의실험 모델을 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- 무선채널 환경은 라우팅 절차에 관한 성능을 비교하기 위하여 잡음이나 간섭은 무시한다.
- 망을 구성하는 노드 수(N)는 PAN 코디네이터와 이동노드를 제외하고 각 8, 24, 48로 설정한다.

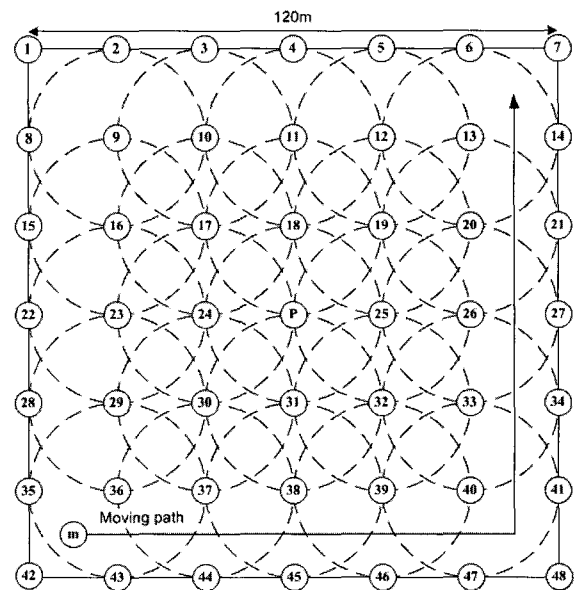


그림 5. 무선계측/경보시스템의 네트워크 구조.

Fig. 5. Architecture of network for wireless measurement and alarm systems.

- 고정된 노드는 120 × 120m<sup>2</sup> 공간에서 20m 간격으로 배치한다.
- 무지향성 안테나의 무선전송 범위는 20m이다.
- 이동노드의 이동속도는 2.0m/sec이다.
- 트래픽 모델은 CBR(Constant Block Ratio)이며, 모의실험 시간은 200sec이다.

앞의 그림 5에서는 48개의 노드를 사용한 무선 제어계측/경보 시스템의 망 형태(network topology)를 보여준다. 이 경우 클러스터 헤드는 17, 19, 30, 32번이 된다.

그림 6은 제안된 알고리즘과 ZBR에 대한 전체 노드의 수신된 데이터 양(bytes)을 누적분포로 표현한 것이다. 여기서 N=48 이다. 그림에서 보여주듯이, CAODV는 클러스터 구조를 형성하여 모든 노드에서 제어 패킷이 필요하지 않기 때문에 ZBR에서 수신된 데이터가 CAODV 보다 약 8.9% 증가되었다. 그림 7은 N=48일 경우, 임의의 노드 (No. 1)에서 이동노

드(m)로 데이터 전송에서 탈락된 데이터(dropped data) 양을 누적분포 함으로 나타내었다. 이 그림에서 CAODV의 탈락된 데이터가 ZBR보다 약 16.2% 가량 적다는 것을 알 수 있다. 이것은 이동노드의 이동으로 인하여 ZBR 방식에서 제어 패킷이 많이 발생하였기 때문이다. 이 결과는 CAODV가 ZBR보다 에너지 소비 측면에서 좀 더 효율적이라는 것을 의미한다. 위 결과를 적용하여 (3)과 같이 에너지 소비를 비교한다면 CAODV에 대한 ZBR의 비( $\alpha$ )는 0.838이고, (3)에서  $T_{on}$ 는 0.003917이다.

노드 수가 증가함에 따라 임의의 노드 (No. 1)에서 이동노드(m)로 데이터 전송에서 탈락된 데이터 양을 누적분포 함으로 표현한 것이 그림 8이다. 노드 수가 증가함에 따라 탈락되는 데이터 양이 많아짐을 우리는 확인할 수 있다. 그리고 선들의 주의 깊게 관찰하면 급격히 변화되는 구간을 볼 수 있는데, 이것은 오른쪽 모서리 부분에서 이동노드가 직각으

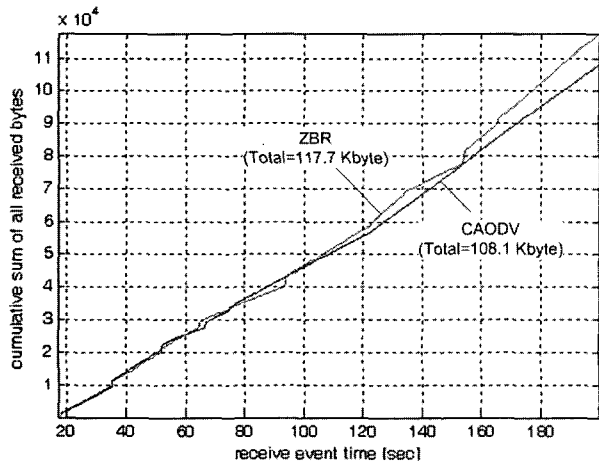


그림 6. CAODV와 ZBR의 모의실험 시간에 따른 전체 수신된 데이터(bytes)의 누적 합.

Fig. 6. Cumulative sum of all received data(bytes) versus simulation time for CAODV and ZBR.

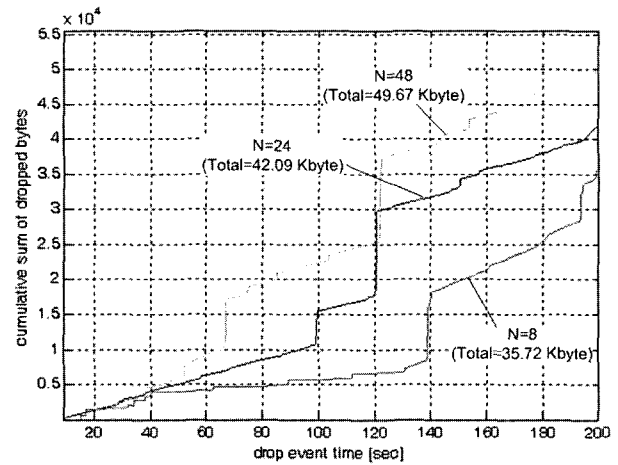


그림 8. CAODV의 노드 수에 따른 탈락된 데이터의 누적 합.  
Fig. 8. Cumulative sum of dropped data against the number of the node over CAODV.

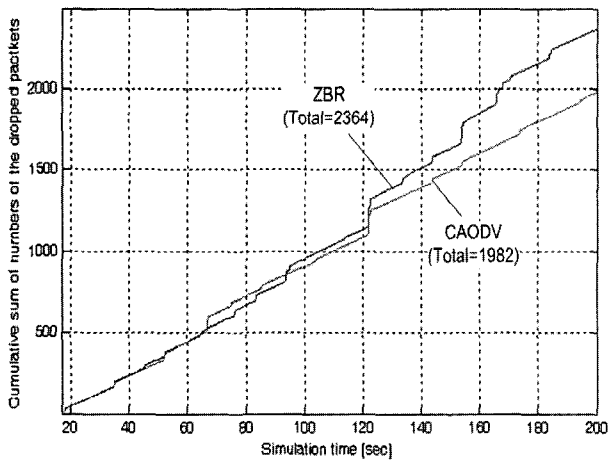


그림 7. 모의실험 시간에 따라 노드 1(No.1)에서 이동노드로 탈락된 패킷의 누적 합.

Fig. 7. Cumulative sum of dropped packets from a node (No.1) to the alarm node versus simulation time.

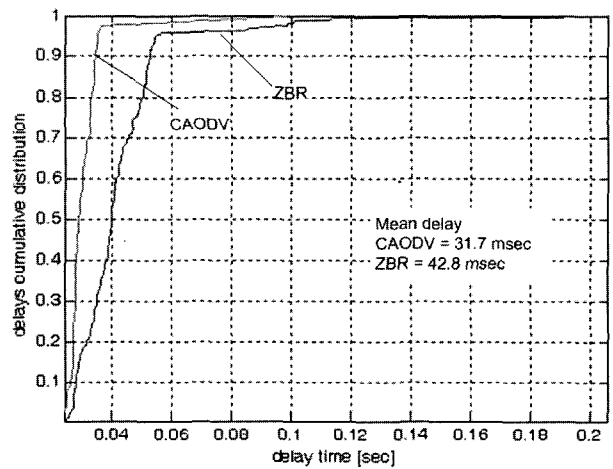


그림 9. 노드 수(N)가 24일 경우, CAODV와 ZBR의 지연시간에 따른 누적분포확률.

Fig. 9. Cumulative distribution probability against delay time for CAODV and ZBR in the case of N=24.

로 움직이기 때문이다.

그림 9와 10에서는 CAODV와 ZBR에 대하여 지연시간을 누적분포함수로 나타내었다. 여기서도 임의의 노드 (No. 1)에서 이동노드(m)로 데이터 전송이 이루어진다고 가정하였다. 그리고 그림 9와 10의 차이는 전체 망을 구성하는 노드 수가 각각 24, 48이라는 것이다. 그림 9에서 CAODV와 ZBR의 평균 지연시간은 각각 31.7msec, 42.8msec이다. 즉 CAODV가 ZBR보다 25.9% 정도 라우팅 속도가 빠르다는 것을 알 수 있다.

그림 10에서는 CAODV와 ZBR의 평균 지연시간은 각각 52.3msec, 102.4msec이다. 여기에서 CAODV가 ZBR보다

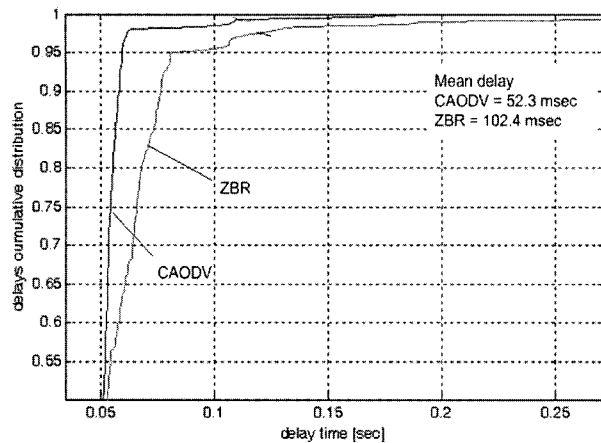


그림 10. 노드 수(N)가 48일 경우, CAODV와 ZBR의 지연시간에 따른 누적분포확률.

Fig. 10. Cumulative distribution probability against delay time for CAODV and ZBR in the case of  $N=48$ .

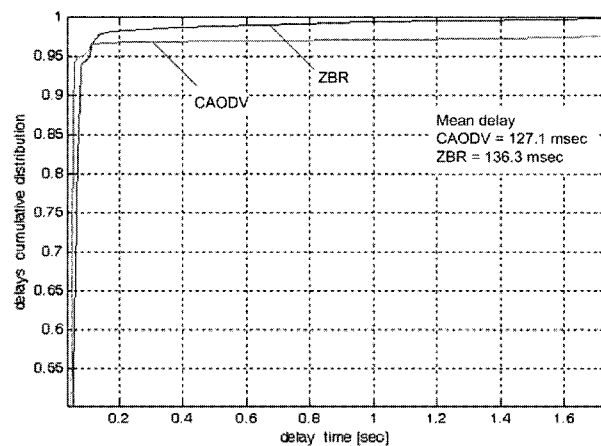


그림 11. 클러스터 헤드가 고장 났을 경우, CAODV와 ZBR의 지연시간에 따른 누적분포확률.

Fig. 11. Cumulative distribution probability versus delay time for CAODV and ZBR in the case of break down of a cluster head.

48.9% 정도 이득을 가짐을 알 수 있다. 그림 9와 10의 결과로부터 노드 수가 증가할수록 지연시간 측면에서 CAODV가 ZBR보다 훨씬 효율성이 높음을 확인 할 수 있다.

그림 11은 클러스터 헤드나 노드가 고장이 발생하였을 경우 CAODV와 ZBR에 대하여 지연시간을 누적분포함수로 표현하였다. 여기서 그림 5와 같이 전체 노드 수는  $N=48$  이고, 노드 30번이 고장이 났다고 가정한다. 이 그림에서 우리는 CAODV가 ZBR보다 약 6.75% 지연시간 이득을 가짐을 알 수 있다. 따라서 고장이 발생하면 다른 경우들 보다 지연시간 측면에서 이득이 조금 증가함을 확인할 수 있다.

### V. 결론

ZigBee 표준은 네트워크 계층에서 기본적으로 ZBR (ZigBee Routing) 프로토콜을 제공하지만 다양한 응용 분야에 따라 이 프로토콜보다 좀 더 효율적인 방법이 존재할 수 있기 때문에, 본 논문에서는 ZigBee 기반의 무선계측/정보 시스템에서 효율적인 성능을 보장하기 위한 경로설정 방법을 제안하였다. 이 시스템에서 경로탐색 지연시간이나 에너지 소모는 무선 네트워크에서 이동노드 때문에 발생한다. 제안된 라우팅 알고리즘은 라우터를 중심으로 근접 노드들을 클러스터화하고, 클러스터 내부의 노드들은 AODV 방식에 따라 경로 설정을 수행하며 클러스터 간은 DSR 방식에 따라 경로 설정을 이행한다. 모의실험 결과, 제안된 방식은 무선 개인영역 네트워크의 경로 설정을 위한 패킷의 양 및 오버헤드를 감소시킴으로 전반적인 에너지 소모의 절약과 경로 설정 및 복구 시간을 단축시킬 수 있는 이점이 있었다.

### 참고문헌

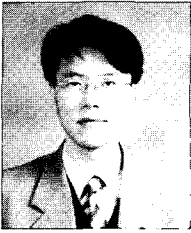
- [1] ZigBee Alliance Document 053474r06 ver. 1.0: December 14th, 2004.
- [2] N. Baker, "ZigBee and bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications," *IEEE Journal on Computing and Control Engineering*, vol. 16, pp. 20-25, Apr. 2005.
- [3] C. E. Perkins, E. RM. Royer, and Samir R. Das, "Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) routing," *IETF MANET Working Group*, Internet-Draft, Mar. 2000.
- [4] D. B. Johnson and D. A. Maltz, *Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks*, Mobile Computing, Ch. 5, pp. 153-181, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [5] T. Sheltami and H. Mouftah, "A comparative study of on-demand and cluster-based routing protocols in MANETs," *IEEE Proc. on Performance, Computing, and Communications Conference*, pp. 291-295, Apr. 2003.
- [6] C.K. Toh, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks*, Prentice Hall, pp. 57-77, 2002.
- [7] F. Derbel, "Design and realization of wireless technologies for alarm systems," *IEEE proc. on ICM 2004*, pp. 303-307, Dec. 2004.
- [8] The Network Simulator-NS2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.



### 박재원

2002년 영남대학원 정보통신공학과 석사. 2005년 영남대학원 정보통신공학과 박사. 2005년~2006년 임베디드소프트웨어연구센터 Post doc. 2006년~현재 (주) ED 연구개발기획실 선임연구원. 관심분야는 이동통신, USN/RFID, WPAN, 임

베디드시스템.



### 이연정

1984년 한양대 전자공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사. 1994년 동 대학원 박사. 2004년~현재 임베디드소프트웨어연구센터 그룹장. 1995년~현재 경북대 전자전기컴퓨터학부 교수. 관심분야는 임베디드시스템, 보행로

봇, 생체모방로봇, 지능제어.



### 김홍득

1992년 한양대 전자공학과 졸업. 1994년 동 대학원 석사. 1994년~1998년 삼성테크윈 정밀기기연구소 전임연구원. 2005년 한양대 전자통신전파공학과 박사. 2005년~현재 임베디드소프트웨어연구센터 책임연구원. 관심분야는 제어알고

리즘, 모션제어, PC기반 실시간제어시스템, RFID/USN, 임베디드시스템.