

무선 센서네트워크에서 교차계층 설계 기반의 에너지 효율적인 데이터 전송 기법

신종희*, 김재현**, 김석규***

An Energy Efficient Data Delivery Scheme based on Cross-Layer Design in Wireless Sensor Networks

Jong-Whoi Shin *, Jae-Hyun Kim **, Seog-Gyu Kim ***

요약

무선 센서네트워크(WSN: Wireless Sensor Networks)의 에너지 제약과 제한된 자원 특성으로 인하여 WSN 프로토콜 설계의 주목적은 주로 에너지 효율성에 두고 있다. 본 논문에서는 네트워크 수명시간을 극대화하기 위하여 기존의 MAC 계층에서 사용되던 센서노드 동기화 패킷(SYNC)을 활용하는 교차계층 설계 기반의 에너지 인식 트리 데이터 전송 기법(EATD: Energy-Aware Tree based Delivery scheme)을 제안한다. 제안된 EATD 기법은 시뮬레이션 분석을 통해 무선 센서네트워크 환경에서 기존의 MAC과 라우팅 프로토콜 기반의 데이터 전송 방식 보다 에너지 절감 및 데이터 전송 지연 개선효과가 있다는 것을 확인하였다.

Abstract

The design goal of protocols in wireless sensor networks(WSN) is mainly energy efficiency because of their stringent resource and energy constraints. In this paper, we propose a simple cross-layered protocol for WSNs, so called EATD(Energy-Aware Tree based Delivery scheme). EATD is a tree-based energy aware data delivery algorithm by using a SYNC packet with link and node cost to maximize the network lifetime. Our simulation results show significant improvements compared with existing schemes in terms of energy efficiency and delay.

▶ Keyword : 무선 센서네트워크(Wireless Sensor Networks), 교차 계층(Cross-Layer), 라우팅(Routing), 에너지 효율성(Energy-efficiency), 동기화 패킷(SYNC Packet)

• 제1저자 : 신종희

• 접수일 : 2008. 7. 15, 심사일 : 2008. 7. 18, 심사완료일 : 2008. 7. 25.

* 한국정보보호진흥원 수석연구원 **연세대학교 전기전자공학부 박사과정

***안동대학교 전자정보산업학부 교수

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)는 RFID(Radio Frequency IDentification) 태그 노드나 센서 노드(Sensor nodes) 등으로 이루어진 네트워크이며, 이들 노드는 어느 곳에나 쉽게 설치되어 자율적으로 네트워크를 구성하고, 사물 및 환경 정보를 감지·저장·가공·통합하여 무선으로 전송하게 된다. 일반적인 통신 네트워크에서의 프로토콜 설계는 높은 데이터 전송률 및 QoS(Quality of Service) 지원을 최우선 목적으로 설계되는 반면, 무선 센서 네트워크에서는 제한된 배터리 전원 사용 및 파워 재충전이 불가능하기 때문에 최소의 에너지를 사용하여 통신하고, 네트워크의 전체 수명을 오랫동안 유지하는 것이 최우선적인 설계 목적이다 [1][2]. 지금까지 무선 센서네트워크를 위한 다양한 MAC과 라우팅 프로토콜들이 제안 되어져 왔는데, 특히 S-MAC [2]과 T-MAC [3]은 대표적인 경쟁 기반의 동기식 MAC 프로토콜으로써 에너지 절감을 위하여 효과적인 듀티 사이클(Duty Cycle) 기법을 도입함으로써 기존의 MAC 프로토콜들에 비해 에너지 효율성을 크게 향상 시켰다. 또한, AODV [4]와 DSR [5]은 대표적인 무선 애드 혹 네트워크 On-demand 라우팅 프로토콜로써 빈번한 토폴로지 변화, 이동성과 확장성에 효과적인 기법들이다.

본 논문에서는 기존의 MAC 계층에서 사용되던 센서노드 동기화 패킷(SYNC)을 라우팅 계층에서 활용하는 교차계층 설계 기반의 에너지 인식 트리 데이터 전송 기법(EATD: Energy-Aware Tree based Delivery scheme)을 제안한다. 제안된 EATD는 에너지 효율 개선을 위해 기존 경쟁 기반의 동기식 MAC 프로토콜에서 노드간 동기화를 위해 교환되는 SYNC 패킷에 라우팅 비용의 연산 값 r_lth (Routing Length)와 e_cst (Energy Cost)의 2개 필드를 삽입하고, 노드간 라우팅 경로 설정 시 이를 확인하여 다음 전달 노드를 선택하는 기법이다. 가장 작은 r_lth 값은 싱크노드까지 도달하는데 필요한 홉 카운트(또는 차수), 즉 싱크노드까지의 최소 홉 경로를 의미한다. e_cst 의 최소값은 에너지 효율성을 최적화하는 최소 에너지 값을 의미한다. EATD는 기본적으로 S-MAC과 듀티 사이클 기법을 사용하여 에너지 절감 효과를 향상시켰으며 또한, 목적지(싱크노드)까지의 전체 에너지 비용이 최소화될 수 있도록 2개의 필드 값을 갖고 다음 전달노드를 선택함으로써 싱크노드로부터 노드들 간의 트리 구조가 형성되어 전체 네트워크 수명시간을 늘리고 오버헤드 비용을 줄이는 효과를 지니고 있다.

본 논문의 구성은 2장에서 기존에 연구되었던 MAC과 라우팅 프로토콜들에 대해 간단히 설명하고, 3장에서는 EATD 프로토콜에 대하여 자세히 소개한다. 4장에서는 제안된 EATD 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석 및 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

무선 센서 네트워크에서 가장 대표적인 경쟁기반의 동기식 MAC 프로토콜은 S-MAC [2]과 T-MAC [3]이다. 경쟁기반의 동기식 MAC 프로토콜은 SYNC 패킷을 이용하여 노드들간의 동기화를 수행하며, 주기적인 활성(active)과 휴면(sleep) 상태를 반복하여 기존의 무선 네트워크 통신에서의 *idle listening*으로 인한 불필요한 에너지 소모를 줄이는 메커니즘이다. S-MAC은 RTS/CTS 신호를 사용하는 경쟁기반 MAC 프로토콜로써 SYNC 패킷을 사용하여 노드들간의 가상 클러스터(virtual cluster)를 구성, 스케줄 관리를 통해 동기화를 수행한다. 하나의 프레임은 활성(active)과 휴면(sleep) 주기로써 이루어지는데, 휴면 주기 동안에는 센서 노드들은 송수신기의 기능을 꺼놓고, 전송데이터들은 버퍼에 저장된다. 활성 주기에는 송수신기의 기능이 다시 켜져, 저장된 데이터들을 전송하거나 이웃 노드들로부터 데이터를 수신하게 된다. 이렇게 활성과 휴면 주기가 정해진 비율에 따라 반복적으로 수행되어지는 것이 바로 듀티 사이클(Duty Cycle) 기법인데, S-MAC에서는 이러한 듀티 사이클 기법과 가상 클러스터 스케줄 동기화를 통해 통신 오버헤드를 줄여 에너지 절감 효과를 향상시킨다. T-MAC은 S-MAC 기법에 타이머 기능을 추가하여 정해진 시간동안 이벤트가 발생되지 않으면 타임아웃되어 센서 노드들이 바로 휴면 상태로 들어가도록 하여 에너지 절감효과를 가져오도록 설계되었다. 하지만, 상대적으로 데이터 전송 지연이 증가된다는 단점을 가지고 있다. 한편, 무선 애드 혹 네트워크에서 가장 대표적인 라우팅 프로토콜은 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector Routing) [4]와 DSR(Dynamic Source Routing) [5]을 들 수 있다. On-demand 라우팅은 노드들이 경로 설정을 필요로 할 경우에만 라우팅이 이뤄지는 기술로서, 소스노드가 어떤 목적지로 데이터 패킷을 전송하고자 할 때에 해당 경로의 유무를 판단하기 위하여 라우팅 테이블을 확인하고, 만약 설정된 경로가 없다면 목적지까지 경로를 찾는 경로 설정 절차를 On-demand 방식으로 수행한다. 이 방식의 장점은 Proactive 방식에 비해 시그널링 오버헤드를 줄일 수 있다는 점이다. AODV의 경우, 라우팅 테이블에 적절한 경로가 없을 때 소스노드는 경로 설정을 위해 경로 요

청 패킷(RREQ :Route REQuest)을 생성하게 된다. 목적지까지 경로를 아는 노드의 경우에는 경로 응답(RREP: Route REPlY) 메시지를 생성하여 역경로를 통해 다시 소스노드에게 전송하게 된다. 링크가 두절되었을 경우, 소스 노드에 근접한 노드는 두절된 경로를 무효로 처리하고 RERR(Route ERror) 메시지를 생성한다. RERR 메시지가 역경로를 통해 소스노드로 보내지면, 필요할 경우 새로운 경로를 설정하게 된다. DSR은 AODV와 유사하지만 소스 라우팅을 사용한다. 즉 DSR은 Hop-by-hop 라우팅 대신에 데이터 패킷내에 목적지까지의 경로가 규정된 소스 경로를 담고 있으며, 경로 설정 비용을 줄이기 위해 각 노드는 소스 경로의 캐쉬를 유지하게 된다. 이러한 On-demand 라우팅의 단점은 경로 설정 때문에 데이터 전송 시작 단계에서 지연시간이 발생한다는 것이다. 무선 센서네트워크에 적합한 프로토콜로 Directed Diffusion [6]과 Rumor Routing [7] 프로토콜 등이 제안되었는데, Directed Diffusion은 데이터 중심의 응용 인지 패러다임으로 센서노드가 생성하는 모든 데이터를 특정 값(Attribute-value) 쌍으로 명명하고, 데이터의 중복성 제거 및 전송 횟수 최소화를 위해 중간 노드에서 데이터 집성(Aggregation)을 수행한다. 비록 Directed Diffusion이 에너지 절감의 장점을 갖는다 해도 싱크노드로의 연속성을 갖는 데이터 전송이 필요한 응용에는 적합하지 못하며, 데이터 질의의 매칭, 집성 등은 센서노드에서 오버헤드 비용을 발생시키는 단점이 있다. Rumor Routing은 Directed diffusion의 오버헤드를 줄이기 위해 제안된 알고리즘으로 전체 네트워크에게 데이터 질의를 하는 것이 아니라, 정해진 일정 영역 주변에만 질의함으로써 오버헤드를 상당히 줄여 에너지 절감 효과를 갖는 기법이다. 하지만, 일정 영역 주변에만 데이터 질의 과정을 수행함에 따라 소스로부터 목적지까지의 확실한 데이터 전송을 보장하지 못하는 단점이 있다.

III. EATD 프로토콜 제안

본 논문에서 제안하는 EATD는 기존의 MAC 계층에서 사용되던 센서노드 동기화 패킷(SYNC)을 라우팅 계층에서 활용하는 교차계층 설계 기반의 데이터 전송 기법으로써 에너지 인식 트리 구조를 사용하여 싱크노드에 에너지 효율적인 경로 설정을 가능하게 해주는 기법이다. 일반적으로 랜덤하게 분산된 노드를 갖는 단일 싱크노드 네트워크에서의 노드간 동기화는 S-MAC [2]에서와 같이 노드간 교환되는 SYNC 패킷에 의해 이뤄지는데, 우리는 에너지 효율 개선을 위해, 이 SYNC 패킷 내에 라우팅 경로를 설정하고 관리할 수 있는 r_lth (Routing Length)와 e_cst (Energy Cost)의 2개 필드를 삽입

하였다. 여기서 r_lth 는 싱크노드까지의 홉 카운트 수 또는 차수(degree)를 나타내는데, 이 홉 카운트 또는 차수는 단순한 값이 아니라 라우팅 비용(에너지 비용 e_cst)을 고려한 값이다.

3.1 데이터 전송노드의 선택

싱크노드까지의 라우팅을 위한 다음 전달 노드 결정과정에서 EATD는 전송 비용(Link Cost)과 에너지 비용(Energy Cost)을 함께 사용한다. 일반적으로 홉 카운트를 사용하는 라우팅 알고리즘은 다양한 네트워크 트래픽 환경에서 에너지 소모량을 최적화하지 못하는 문제를 지니고 있는데, 이에 우리는 링크상 단위 데이터 전송을 위한 에너지 비용 E_T 와 노드의 에너지 비용 $E_R = (E_{initial}/E_{remaining})$ 이라는 2개 파라미터로 구성된 라우팅 비용(에너지 비용) e_cst 함수를 사용하여 네트워크 수명시간을 최대화하였다. 여기서 $E_{initial}$ 과 $E_{remaining}$ 은 전송노드에서 초기에너지 값과 잔존 에너지 값을 나타내는데, 라우팅 비용(에너지 비용) 함수 e_cst 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$e_cst = E_T^a E_R^\beta \dots\dots\dots (1)$$

여기서, a 와 β 는 범위 [0, 1]내에서 링크 비용과 노드 에너지 비용간의 연관 값을 설정하기 위한 양 수의 가중치 값이다. 라우팅 비용(에너지 비용) e_cst 함수는 통신지역 특성에 맞게 조정되며, 특정 노드로부터 모든 이웃 노드들 간에 계산 되어진다. EATD에서 싱크노드로 라우팅하기 위한 다음 전달 노드를 찾는 작업은 2단계 과정을 거치게 되는데, 첫 번째 단계는 SYNC에 들어있는 r_lth 값을 확인하는 단계이며, 두 번째 단계는 SYNC내에 있는 e_cst 값을 비교하는 것이다. 첫 번째 단계는 한 노드가 이웃노드들로부터 SYNC 패킷을 수신하게 되면 SYNC 패킷 내에 들어있는 r_lth 값을 확인하게 되며, 이후 가장 작은 r_lth 값을 갖는 노드를 다음 전달노드로 선택한다. 두 번째 단계에서는 만약 동일한 r_lth 값을 갖는 노드가 다수일 경우에 SYNC 패킷 내에 들어있는 e_cst 값을 비교하여 가장 작은 e_cst 값을 갖는 노드를 다음 전달노드로 선택하게 된다. 다음 전달 노드를 찾은 후에 이웃노드들은 자신이 관리하는 이웃노드 관리테이블에, 선택된 전달 노드와 이 노드의 r_lth 값을 추가하게 된다. 가장 작은 r_lth 값이란 싱크노드까지 도달하는데 필요한 홉 카운트(또는 차수), 즉 싱크노드까지의 최소 홉 경로를 뜻하며, 가장 작은 e_cst 값이란 에너지 효율성을 최적화하기 위한 최소 에너지 값을 의미한다. 따라서 EATD는 목적지(싱크노드)까지의 전체 에너지 비용이 최소화될 수 있도록 2개의 필드 값을 갖고 다음 전달노

드를 선택하기 때문에 네트워크 수명시간을 늘리고 오버헤드 비용은 줄일 수 있는 것이다.

3.2 초기 경로 설정 및 데이터 전송

초기에 모든 노드는 랜덤하게 배치되며 SYNC 패킷내에 r_lth 와 e_cst 값은 255로 설정된다. 반면에 싱크노드의 경우에는 SYNC 패킷내에 r_lth 와 e_cst 값이 각각 0과 255로 설정된다. 실제로 SYNC 패킷 내에 r_lth 와 e_cst 는 1바이트로 구성되기 때문에 각 필드의 최대값은 255가 되는 것이다. 첫 번째 단계에서 라우팅 경로 설정은 싱크노드와 그 이웃노드간에 이뤄진다. 싱크노드가 주기적으로 초기 r_lth 와 e_cst 값을 갖는 SYNC 패킷을 이웃노드에 브로드캐스트하면, 이웃노드는 자신이 관리하는 이웃노드 관리 테이블에 싱크노드의 r_lth 값을 0로 하여 추가하게 된다. 노드들은 자신이 소유한 e_cst 값을 연산하여 SYNC 패킷에 담아 이웃노드에 브로드캐스트하며, 이후 r_lth 값은 1씩 증가되어 갱신된다. 두 번째 단계에서 라우팅 경로 설정은 r_lth 값이 1인 노드와 그 이웃노드들 간에 이뤄진다. 이웃노드로부터 SYNC 패킷을 수신한 노드는 우선 SYNC 패킷 내에 r_lth 값을 확인하여 r_lth 값이 1인 노드를 선택한다. 만약 r_lth 값이 1인 노드가 다수일 경우에는 SYNC 패킷 내에 e_cst 값을 확인한다. 그리고 나서 최소 e_cst 값을 갖는 노드를 다음 전달 노드로 결정한다.

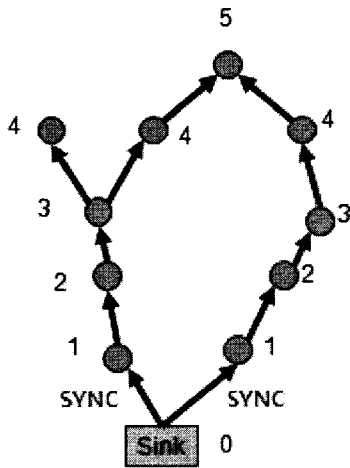


그림 1. EATD에서 r_lth 갱신 과정을 갖는 초기 경로설정
Fig 1. Initial path configuration with r_lth update process in EATD

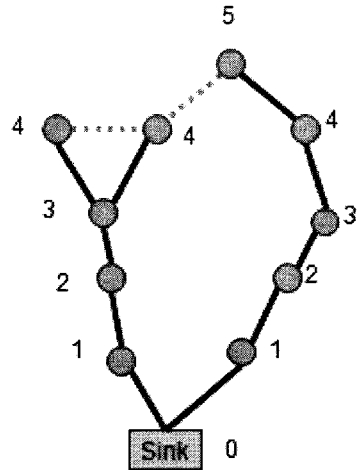


그림 2. EATD에서 r_lth 를 갖는 라우팅 트리구조
Fig 2. The completed routing tree structure with r_lth in EATD

다음 전달 노드를 찾은 후에 노드는 최우선 순위 라우팅을 위해 자신이 관리하는 이웃노드 관리테이블에 다음 전달 노드와 그 r_lth 값 1을 추가하고, 또한 e_cst 의 값이 서로 다르지만 r_lth 값이 1인 노드들, 또는 r_lth 값이 서로 다른 노드들을 대체 경로로 설정하기 위해 이웃노드 관리 테이블에 r_lth 값을 1로 하여 추가한다. 더불어 자신이 소유한 e_cst 값을 연산하여 SYNC 패킷 내의 e_cst 값에 저장한다. 이후, 노드는 SYNC 패킷 내에 r_lth 값을 1씩 증가시켜 갱신하게 된다. 그리고 나서 노드는 첫 번째 단계처럼 SYNC 패킷을 자신의 이웃노드에 브로드캐스트한다. r_lth 갱신 과정은 반복적으로 이뤄지며, 하위 노드와 상위노드 쌍(최상위 싱크노드까지)의 라우팅 정보가 이웃노드 관리 테이블에 저장된다. 그림 1과 2는 EATD에서 초기 경로설정의 한 예를 나타낸 것이다. 그림 1은 SYNC 패킷 내에 r_lth 값의 갱신 과정을 통한 초기 경로 설정을 나타낸 것이며, 그림2는 라우팅 트리가 최종적으로 형성된 것을 나타내었다. 그림 2에서 실선은 주 라우팅 경로를 의미하며 점선은 대체 라우팅 경로를 의미한다.

EATD는 테이블 기반(Table-driven) 방식의 일종으로 이웃노드 관리 테이블은 하나의 노드와 그 이웃노드간의 로컬 정보만 사용하며, 하위 노드(자식 노드)와 상위노드(부모 노드) 쌍의 라우팅 정보가 소스 노드로부터 싱크노드까지의 데이터 전송에 사용된다. 일단, 한번 라우팅 트리가 구성되면, 싱크노드로 전송할 데이터를 갖는 센서노드는 데이터를 바로 상위노드에 전송하고, 결국, 데이터는 이 라우팅 트리를 통해 최종 목적지인 싱크노드로 전송된다.

3.3 로컬 경로 복구

노드의 이동 또는 기능상실 때문에 라우팅 경로에서 링크가 두절될 경우 노드는 두절된 링크를 복구해야한다. 하위노드(자식 노드)가 상위노드(부모 노드)에 데이터를 전송하려면 우선 상위노드에 RTS 신호를 보내게 된다. 상위노드에 RTS 신호를 3번 송신한 하위노드가 상위노드로부터 일정 시간이 지난 후에도 CTS 신호를 받지 못할 경우, 링크가 두절되었다는 것으로 인식하여 하위노드는 로컬 경로를 복구하기 시작한다. 그림3은 EATD의 경로 복구 알고리즘을 나타낸 것인데, 링크가 두절되면 그림3의 좌측에 나타난 것과 같이 이웃노드 관리 테이블에 또 다른 상위노드로의 경로(대체경로)가 존재하는지를 판단하여 대체경로가 존재하면 새로운 상위노드로 경로를 변경하여 데이터를 전송하게 된다. 이 때, 이웃노드 관리 테이블 내에 기능이 상실된 노드의 r_lth 값은 255가 된다. 이 경우에는 추가적인 시그널 오버헤드 없이 빠르게 경로가 복구된다. 그러나 이웃노드 관리 테이블 내에 대체할 수 있는 상위노드가 존재하지 않을 경우, 또 다른 경로 복구가 매커니즘이 수행되어야한다. 이때에는 LERR (Link ERRor) 시그널 패킷이 사용되는데, 이는 송신자의 링크가 두절되었음을 나타내는 신호이다. 만약 하나 밖에 없는 상위노드가 기능을 상실하면 하위노드는 EMER (Emergency) 상태로 전이되어 LERR을 브로드캐스트한다. EMER 상태에서 노드는 어떠한 데이터도 송신할 수 없으며 r_lth 값은 255가 된다. EMER 상태 해제는 다른 이웃노드(신뢰할 수 있는 노드 ID와 r_lth 값을 지닌 노드)가 SYNC를 보내올 경우에만 가능하다. 그림3의 우측부분은 이를 나타낸 것으로 노드가 LERR을 수신하게 되면 자신의 r_lth 값과 LERR 내의 r_lth 값을 비교하여 LERR이 클 경우 LERR을 무시하고 SYNC를 송신한다. 만약 LERR의 r_lth 값이 작을 경우 LERR을 수신한 노드는 싱크노드로의 경로가 두절된 것으로 인식하여, 이웃노드 관리 테이블내의 기능 상실 노드를 찾아 r_lth 값을 255로 수정하게 된다. LERR을 수신한 노드는 LERR 패킷 내에 기능 상실 노드 ID가 들어 있어 어떤 노드가 두절되었는지 알 수 있으며, 이 때 노드는 대체 상위노드(싱크노드로 향하는 부모노드)를 찾게 된다. 만약 경로 재설정이 성공하면 문제는 해결되며 SYNC 패킷을 브로드캐스트한다. 그러나 만약 노드가 대체 상위노드를 찾는데 실패하면 r_lth 값이 255인 EMER 상태로 전이되고 대체 상위노드가 얻어질 때까지 자신의 이웃노드에게 일정시간 동안 LERR을 브로드캐스트한다.

링크 두절이 일정시간 내에 해결되지 못할 경우에는 경로 복구 과정은 멈춰지고 싱크노드에 의한 초기 경로 설정 과정

을 기다리게 된다. 이러한 상황에서 EMER 상태에 있는 노드는 데이터 전송을 멈추고 데이터를 저장하게 된다.

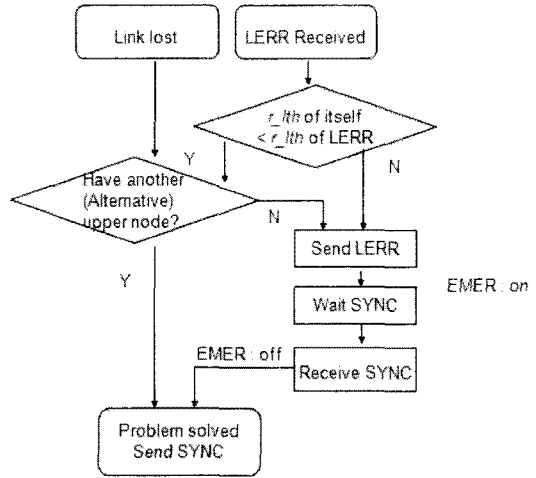


그림 3. 로컬 경로 복구 알고리즘
Fig 3. Local path recovery algorithm

그림 4는 EATD에서의 로컬 경로 복구의 한 예를 나타낸 것으로, 그림4(a)는 한 노드(r_lth 값이 2인 노드)가 기능 상실 되었을 때 하위 노드(r_lth 값이 3인 노드)가 링크 두절을 인지한 경우이다. 이렇게 되면 이웃노드 관리 테이블 내에 다른 상위 노드가 없기 때문에 EMER 상태가 되어 LERR을 브로드캐스트하게 되며, LERR을 수신한 하위 노드는 r_lth 값이 LERR 보다 큰 값이기 때문에 마찬가지로 EMER 상태로 전이되어 그림4(b)와 같이 LERR을 이웃노드에게 브로드캐스트하게 된다. 이후, LERR보다 큰 값의 r_lth 를 수신한 마지막 노드(그림4(c)의 오른쪽에 r_lth 값이 4인 노드)는 대체 상위노드를 갖고 있기 때문에 로컬 링크 두절 문제를 해결할 수 있다. 이 노드는 새로운 경로 설정을 위하여 SYNC 패킷을 직접 브로드캐스트하게 된다. 결국 EMER 상태에 있는 모든 노드들은 SYNC 패킷을 수신하게 되고, 이들은 싱크노드까지 도달하는 자신의 이전경로를 새로운 경로로 변경하게 된다.

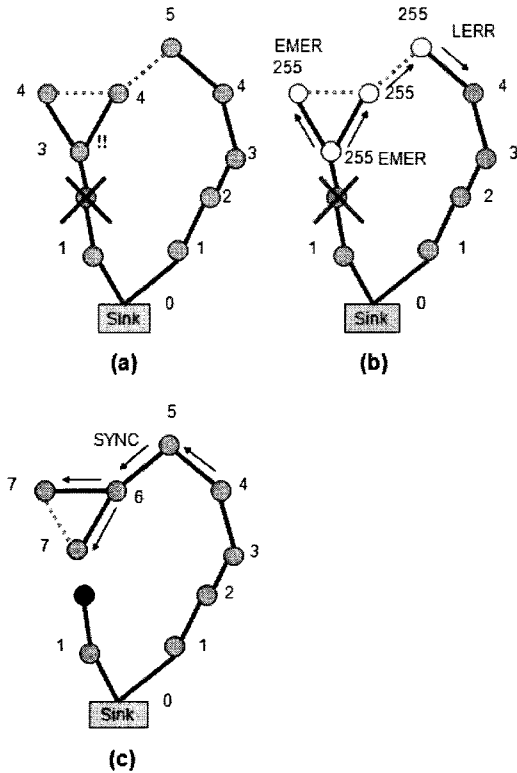


그림 4. 로컬 경로 복구의 예
Fig 4. Example of local path recovery

IV. 성능 분석

우리는 NS-2 [8] 시뮬레이션 도구를 사용하여 IEEE 802.11 MAC 기반의 AODV/DSR 라우팅 프로토콜 및 S-MAC 기반의 AODV/DSR 라우팅 프로토콜, 그리고 EATD 프로토콜의 성능을 에너지 소모량과 전송 지연 시간 측면에서 각각 비교 분석하였다. 시뮬레이션은 10 또는 20노드에 대하여 반복적으로 수행되었으며, 네트워크 환경은 센서 노드-싱크 노드 트래픽 패턴과 유니캐스트 트래픽, 비동기식 통신방식을 고려하였다. 표 1은 본 논문에서 사용된 기본적인 시뮬레이션 파라미터 값들을 나타낸 것이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

파라미터	값
노드 수	10 또는 20 노드
데이터 전송속도	20 kbps
전송계층 프로토콜	UDP
CBR (Constant bit rate)	2 ~ 0.02 packet/sec
물리계층	IEEE 802.11
송신 에너지 소모량	36 mW
수신 에너지 소모량	14 mW
휴면 시 에너지 소모량	0.15 μ W
SYNC 패킷 주기	20 frames

4.1 에너지 소모량 분석

그림 5, 6은 각각 노드 수가 10과 20일 때 패킷 발생비에 따른 평균 에너지 소모량 결과를 나타낸 것이다. 기본적으로 IEEE 802.11 MAC 기반의 DSR과 AODV 라우팅 프로토콜이 에너지 소모량이 가장 크다. 이것은 IEEE 802.11 MAC의 *idle listening* 때문에 항상 무선 송수신기 기능을 켜놓은 상태로 통신이 수행되기 때문이다. 한편, 이동이 적고 노드 밀도가 낮은 경우에는 DSR과 AODV의 에너지 소모량은 유사하였다. 특히 S-MAC 기반의 DSR과 AODV 프로토콜의 경우에는 S-MAC의 듀티 사이클 메커니즘 등으로 인하여 IEEE 802.11 MAC 기반의 프로토콜에 비해서 에너지 효율성이 증가하는 결과를 보였다.

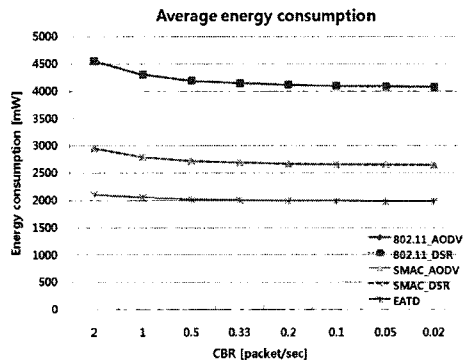


그림 5. 평균 에너지 소모량 (10노드)
Fig 5. Average energy consumption (with 10 nodes)

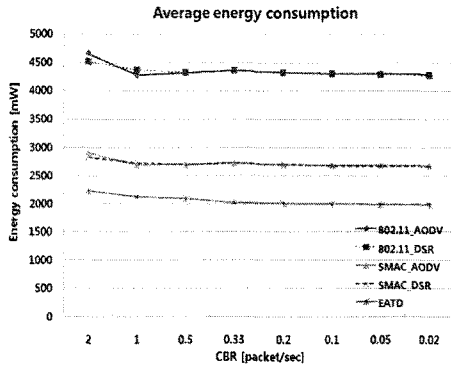


그림 6. 평균 에너지 소모량 (20노드)
Fig 6. Average energy consumption (with 20 nodes)

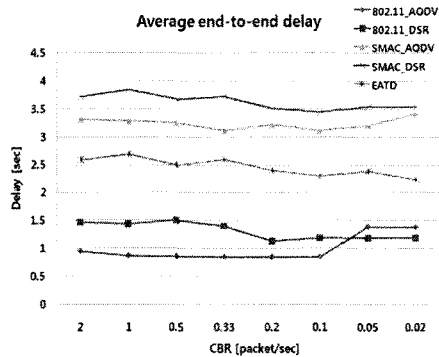


그림 8. 평균 전송 지연 시간 (20노드)
Fig 8. Average end-to-end delay (with 20 nodes)

반면에 EATD는 S-MAC과 동일하게 듀티 사이클 기술을 적용하는 한편 SYNC 패킷내의 r_{lth} 과 e_{cst} 값을 사용하여 동기화와 동시에 라우팅 경로를 설정하고 관리하기 때문에 오버헤드 비용이 적고 에너지 효율성이 제일 높은 것으로 분석되었다.

4.2 전송 지연 시간 분석

그림7, 8은 각각 노드 수가 10과 20일 때 패킷 발생 비율에 따른 평균 전송 지연 시간(End-to-end Delay)을 분석한 것이다. IEEE 802.11 MAC 기반의 DSR과 AODV 프로토콜의 경우 항상 무선송수신기 기능을 켜놓은 상태로 통신이 수행되기 때문에 이벤트가 발생할 때마다, 데이터를 바로 송수신 할 수 있다. 따라서 이 두 기법들의 경우 전송 지연 시간이 제일 짧다.

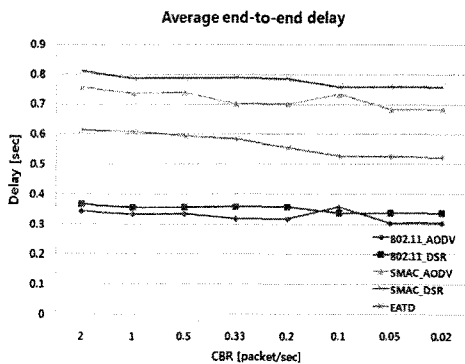


그림 7. 평균 전송 지연 시간 (10노드)
Fig 7. Average end-to-end delay (with 10 nodes)

S-MAC기반의 DSR과 AODV 프로토콜의 경우에는 듀티 사이클로 인하여 데이터 전송 지연 시간이 크게 증가하였으며, 경로 재설정으로 인한 데이터 전송 지연 시간도 크게 증가되었다. EATD의 경우에는 기존의 MAC 계층에서 사용되던 센서노드 동기화 패킷(SYNC)을 라우팅 계층에서 활용하는 교차계층 설계 기반의 에너지 인식 트리 데이터 전송 방식을 사용함으로써 빠르고 효과적인 경로 재설정 과정을 통해 전송 지연시간 문제가 상당히 개선됨을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 제한된 연산능력과 에너지로 짧은 네트워크 수명시간을 갖는 무선 센서네트워크에서 MAC 계층에서 사용되던 센서노드 동기화 패킷(SYNC)을 라우팅 계층에서 활용하는 교차계층 설계 기반의 에너지 인식 트리 데이터 전송 방식을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 동기화 패킷을 이용하여 에너지 인식 트리 구조를 형성하고 이에 기반하여 에너지 효율적인 경로를 설정함으로써 오버헤드 비용을 줄이고 네트워크 수명시간을 최대화할 수 있었다. 또한 빈번한 토폴로지 변화에 대응하도록 효과적인 로컬 경로 복구 기능을 제공하여 데이터 전송 정확성을 높이고, 데이터 전송 지연 등을 감소시켰다. 시뮬레이션 결과는 에너지 효율성, 데이터 전송지연 시간 측면에서 IEEE 802.11과 S-MAC 기반의 AODV와 DSR보다 효과적인 것으로 분석되었다. 향후에는 다양한 이동성과 트래픽 환경에 적합도록 알고리즘에 사용된 각종 파라미터를 보다 정교화하는 연구와 우리가 제안한 알고리즘을 실제 Tiny-OS 기반 센서노드에 탑재하여 세부적으로 실질적 성능을 평가하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] LAN MAN Standards Committee of the IEEE computer Society, IEEE std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical (PHY) specification, IEEE 1999.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Network", IEEE/ACM Transactions on Networking, 12(3), June 2004, pp. 493-506.
- [3] T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", Proceedings of 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Los Angeles, USA, November 2003, pp. 171-180.
- [4] C. Perkins, E.B. Royer, and S. Das, 애드 홉 On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, IETF RFC3561, July 2003.
- [5] D. Johnson, Y. Hu, and D. Maltz, The Dynamic Source Routing Protocol (DSR) for Mobile 애드 홉 Networks for IPv4, <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>, IETF RFC4728, February 2007.
- [6] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking", IEEE/ACM Transactions on Networking, 11(1), February 2003, pp. 2-16.
- [7] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," In Proc. ACM WSNA 2002, September 2002, pp. 22-29.
- [8] NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>.

저자 소개

신 증 회



2007년 2월 고려대학교 컴퓨터학과
이학박사
현 한국정보보호진흥원 수석연구원
〈관심분야〉 WSN 라우팅, 무선보안

김 재 현



2003년 2월 연세대학교 전기전자
공학과 석사
현 연세대학교 전기전자공학과
박사과정
〈관심분야〉 WSN 라우팅, 3G LTE

김 석 규



1997년 2월 연세대학교 전자공학과
공학박사
현 안동대학교 전자정보산업학부
교수
〈관심분야〉 WSN MAC & 라우팅