

센서 네트워크에서 에너지 효율을 위한 ELM-MAC 프로토콜의 구현 및 성능평가

윤필중¹ · 김창화[†] · 김상경¹

Implementation and Performance Evaluation of ELM-MAC Protocol for Energy Efficiency in Sensor Networks

Phil-Jung Yun · Changhwa Kim · Sangkyung Kim

ABSTRACT

It is important to study the energy efficient MAC protocol in sensor networks. We propose a new protocol named as ELM-MAC (Energy efficient Link Management MAC) to increase energy efficiency in sensor networks. ELM-MAC protocol operates, uses, and manages the optimized transmission power level to increase energy efficiency in MAC layer. It includes mechanism that uses the adaptive method in change of surround environment for guarantee of link quality. In this paper we implement ELM-MAC and evaluate its performance.

Key words : Sensor network, Energy efficiency, ELM-MAC, Optimized transmission power level

요약

센서 네트워크에서 에너지 효율적인 MAC 프로토콜에 대한 연구가 중요하다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 에너지 효율을 향상시키기 위한 ELM-MAC(Energy efficient Link Management MAC) 프로토콜을 제안한다. 제안하는 ELM-MAC 프로토콜은 주변 노드와의 최적화된 전송 전력 수준을 연산하고 전송 시 해당 노드와의 최적화된 전송 전력 수준으로 전송하는 방법을 통하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 향상시킨다. ELM-MAC 프로토콜은 환경의 변화에 적응하는 방법을 이용하여 링크품질을 보장하는 메커니즘을 포함한다. 본 논문에서는 제안한 ELM-MAC 프로토콜을 구현하고 성능을 평가한다.

주요어 : 센서 네트워크, 에너지 효율, ELM-MAC, 최적화된 전송 전력 수준

1. 서론

센서 네트워크에서의 센서 노드는 배터리를 장착한 형태로 배치되며 제한적인 에너지를 가진다¹⁻³⁾. 센서 네트워크에서 가장 많은 에너지가 소모되는 부분은 통신 작업이며 통신에서의 에너지 효율을 향상시키기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다⁴⁻⁶⁾.

센서 네트워크에서 통신 작업의 에너지 효율을 증가시키기 위해서는 근본적으로 MAC 계층 통신에서의 에너지 효율을 증가시켜야 하며 이를 위해 많은 MAC 프로토콜들이 제안되었다. 하지만 현재까지 제안된 센서 네트워크 MAC 프로토콜들 중에 극히 소수만이 실제로 구현되어 사용되고 있다.

현재까지 제안되고 구현된 B-MAC과 같은 센서 네트워크 MAC 프로토콜들에서는 정해진 전송 전력 수준으로 통신하는 방법을 사용한다. 정해진 전송 전력 수준은 일반적으로 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준을 의미한다. 하지만 이러한 전송방법은 에너지 효율적이지 못하다. 그림 1은 IEEE 802.15.4 물리 계층 디바이스인 CC2420의 전송 전력 수준에 따른 에너지 소모량을 보여준다⁷⁾. 전송전력 수준은 CC2420의 레지스터에 설정된 값에 따라 결정된다.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 2008년도 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(ITA-2008-C1090-0801-0044)

2008년 10월 10일 접수, 2008년 11월 25일 채택

¹⁾ 강릉대학교 컴퓨터공학과

주 저자 : 윤필중

교신저자 : 김창화

E-mail: winipc@hanmail.net

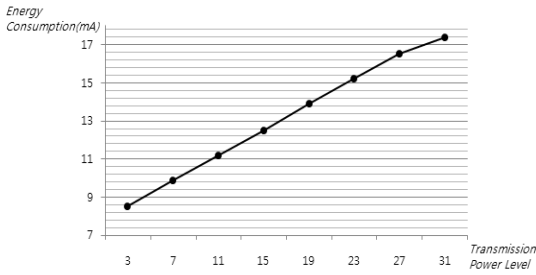


그림 1. 전송 전력 수준에 대한 에너지 소모량

그림 1에서와 같이 에너지는 전송 전력 수준에 비례하여 소모된다. 그러므로 통신대상과의 거리나 통신환경과는 상관없이 항상 최대 전송 전력 수준으로 통신하는 방법을 사용하게 된다면 많은 에너지가 낭비되게 된다. 하지만 통신 가능한 최소 전송 전력 수준으로 통신하는 방법 또한 에너지 효율적인 방법이 아니다.

최소 전송 전력 수준에 의해 형성된 링크는 순간적인 잡음이나 링크자체의 불안정성에 의해 쉽게 끊어지게 되며 링크품질을 보장 받을 수 없다. 그림 2는 8m 간격으로 배치된 두 노드간의 통신에서의 전송 전력 수준에 따른 링크 품질을 보여준다. 그림 2에서는 링크 품질을 측정하기 위해 링크 품질을 결정하는 요소 중 하나인 프레임 도달률(delivery ratio)을 측정하였다.

그림 2에서 통신 가능한 최소 전송 전력 수준은 4이며 이때 프레임 도달률은 53%이다. 즉 해당 환경에서 최소 전송 전력 수준으로 통신한다면 47%의 프레임이 손실된다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 센서 네트워크의 에너지 효율을 위해 최소 전송 전력 수준으로 통신한다면 재전송 메커니즘에 의해 더 많은 에너지가 낭비될 수 있다는 것을 의미한다.

그림 2에서는 프레임 도달률이 일정구간에서 수렴하는 것을 볼 수 있으며 수렴구간에서의 프레임 도달률은 전송 전력 수준에 관계없이 일정하다. 이러한 측정 결과는 수렴구간에서 최소값을 가지는 전송 전력 수준이 에너지 효율과 링크 품질 면에서 가장 이상적인 전송 전력 수준이라는 것을 의미한다. 본 논문에서는 수렴구간에서 최소값을 가지는 전송 전력 수준을 최적화된 전송 전력 수준으로 정의한다.

여기서 고려해야 할 점은 최적화된 전송 전력 수준이라는 것은 단편적인 값이라는 것이다. 통신환경은 배터리의 감소에 의한 전송 전력의 저하, 노드의 이동과 같은 노드의 상태나 다른 무선통신기기에서의 전파, 잡음등과 같

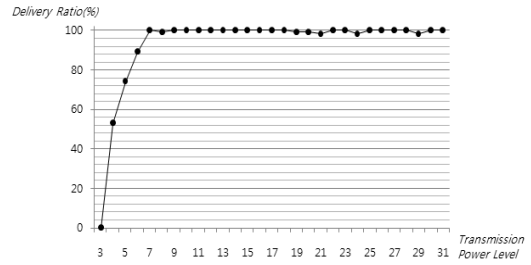


그림 2. 전송 전력 수준에 대한 링크 품질

은 환경적 요소에 의해 변화한다. 에너지 효율을 위해서는 단편적인 최적화된 전송 전력 수준으로 통신하는 것이 아닌 환경변화에 적응하여 현재 환경에 적합한 최적화된 전송 전력 수준으로 통신하여야 한다.

본 논문에서는 주변 노드와의 최적화된 전송 전력 수준을 연산하고 관리하며 전송 시 해당 노드와의 최적화된 전송 전력 수준으로 전송하는 방법을 통하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 향상시키는 ELM-MAC 프로토콜을 제안한다. ELM-MAC 프로토콜은 환경의 변화에 적응하는 방법을 이용하여 링크 품질을 보장하는 메커니즘을 포함한다. 본 논문에서는 제안한 ELM-MAC 프로토콜을 구현하고 성능을 평가한다.

본 논문의 2절에서는 센서 네트워크 MAC 프로토콜에 대한 관련 연구를 살펴보고 3절에서는 ELM-MAC 프로토콜에 대해 기술한다. 4절에서는 ELM-MAC 메커니즘을 구현하고 5절에서는 ELM-MAC 프로토콜의 성능을 평가하며 마지막으로 결론 및 향후연구에 대해 기술한다.

2. 관련연구

센서 네트워크에서 에너지 효율을 위한 MAC 프로토콜은 크게 slot 개념을 사용하는 slotted 프로토콜과 preamble sampling 메커니즘을 사용하는 sampling 프로토콜로 분류된다^[8].

Slotted 프로토콜은 시간을 slot으로 분할하여 각 slot에 대한 노드의 상태를 결정하는 방법을 이용하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 증가시킨다. slotted 프로토콜에는 S-MAC(Sensor MAC)^[9], T-MAC(Timeout MAC)^[10], TRAMA(Traffic-adaptive MAC)^[11] 등이 있다.

S-MAC은 대표적인 slotted 프로토콜이다. S-MAC에서는 listen/sleep 메커니즘을 도입하여 idle listening 문제를 해결하는 것으로 센서 네트워크의 에너지 효율을 증

가시킨다. listen/sleep 메커니즘은 노드가 일정 주기로 휴면상태에 머물게 하는 방법을 의미한다. 하지만 주변 노드와의 동기를 유지하기 위해서 가상 클러스터가 필요하며 가상 클러스터를 형성하고 관리하는데 많은 오버헤드가 발생한다.

T-MAC은 S-MAC을 기반으로 제안되었다. T-MAC은 일정시간동안 트래픽이 존재하지 않을 경우 규정된 slot의 만기 이전에 휴면상태로 천이하는 방법을 사용하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 증가시킨다.

TRAMA는 노드들을 동기화하고 채널 시간을 임의 접근과 스케줄 접근시간으로 분할하여 센서 네트워크에서의 충돌을 감소시킨다. TRAMA는 휴면상태에 머물러 있는 시간이 길고 CSMA 기반의 프로토콜들보다 충돌발생률이 적다. 하지만 모든 노드들이 임의 접근시간까지는 깨어있어야 하므로 높은 duty cycle을 가진다.

Sampling 프로토콜은 preamble을 sampling하여 노드 상태를 결정하는 방법을 이용하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 증가시킨다. sampling 프로토콜에는 WISE MAC (Wireless-sensor MAC)^[12], B-MAC(Berkeley MAC)^[13] 등이 있다.

WISE MAC은 노드가 preamble을 sampling 할 정도만 활성화상태를 유지하고 반송파가 존재하지 않으면 바로 휴면상태로 전환하는 방법을 사용하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 증가시킨다.

B-MAC은 WISE MAC에서처럼 preamble sampling을 사용하며 정확한 반송파를 감지하기 위한 CCA(Clear Channel Assessment) 메커니즘 그리고 수신에서의 에너지 효율을 증가시키기 위한 LPL(Low Power Listening) 메커니즘을 제공한다. B-MAC은 많은 오버헤드를 필요로 하지 않으며 높은 에너지 효율과 데이터 처리능력을 가진다.

하지만 현재까지 제안되고 구현된 MAC 프로토콜들은 일반적으로 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준으로 통신하며 이러한 방법은 에너지 효율적이지 못하다. 또한 센서 네트워크의 에너지 효율을 위해 많은 MAC 프로토콜들이 제안되었지만 실제로 구현된 사례는 소수이다.

그러므로 본 논문에서 제안하는 ELM-MAC 프로토콜은 최적화된 전송 전력으로 전송하는 방법을 사용하여 전송에서의 에너지 소모를 최소화한다. 또한 ELM-MAC 프로토콜은 오버헤드 감소와 에너지 효율을 위해 B-MAC을 기반으로 제안되고 구현된다.

3. ELM-MAC 프로토콜

ELM-MAC 프로토콜은 B-MAC에서의 프레임구조와 같은 기본적인 통신 메커니즘과 preamble sampling, LPL, CCA와 같은 에너지 효율 정책을 기반으로 제안되고 구현된다.

ELM-MAC 프로토콜은 통신 가능한 주변 노드의 정보와 주변 노드에 대한 최적화된 전송 전력 수준을 연산하여 최적화 링크 테이블(OLT: Optimized Link Table)을 구성한다.

구성된 최적화 링크 테이블은 에너지 효율적인 MAC 계층 통신을 위해 사용되며 상대적인 거리 정보와 같은 주변 노드에 대한 정보를 상위계층에 제공한다. ELM-MAC 프로토콜은 환경변화에 의한 적응 그리고 장애상황에 의한 링크단절 현상에서의 복구기능을 제공한다.

3.1 동작 상태

ELM-MAC 프로토콜의 동작 상태는 활성화 상태와 안정화 상태로 분류되며 그림 3과 같다.

활성화 상태는 최적화 링크 테이블을 구성하거나 갱신하는 상태를 의미한다. 활성화 상태에서는 주변 노드들에게 자신의 정보를 브로드캐스트 하여 주변 노드들이 최적화 링크 테이블을 구성할 수 있도록 한다. 또한 주변 노드들이 최적화 링크 테이블의 구성을 위해 자신에게 접근할 때 자신의 최적화 링크 테이블을 구성한다. 활성화 상태는 오버헤드의 감소를 위해 일정시간동안만 유지되며 제한시간이 경과하면 안정화 상태로 천이한다.

안정화 상태는 활성화 상태에서 생성된 최적화 링크 테이블의 정보가 유효하게 유지되는 상태를 의미한다. 안정화 상태에서는 상위계층의 요청에 의한 송신이나 수신 작업이 처리되며 환경변화에 의한 적응과 링크단절에 대

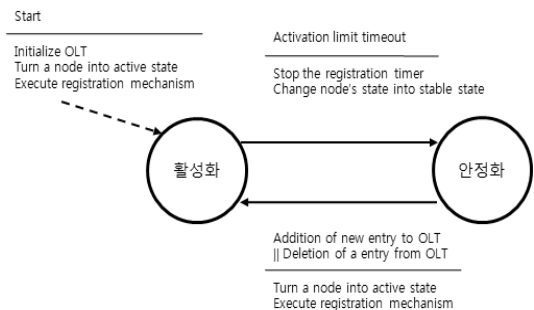


그림 3. ELM-MAC 프로토콜 동작 상태

한 복구 작업이 수행된다. 안정화 상태에서 새로운 주변 노드가 감지되거나 링크단절에 대한 복구가 불가능할 때 활성화 상태로 천이한다.

3.2 ELM-MAC 메커니즘

3.2.1 등록 메커니즘

등록 메커니즘에서는 활성화 상태에서 자신의 존재를 주변 노드들에게 알리기 위해 자신의 정보를 브로드캐스트하고 수신된 주변 노드에 대한 정보를 처리한다.

등록 메커니즘은 활성화 제한 타이머를 활성화 제한 시간으로 설정하고 동작시키는 것으로 시작된다. 활성화 제한 타이머의 설정은 활성화 제한 시간 후에 등록 메커니즘이 종료되고 안정화 상태로 천이 된다는 것을 의미한다.

활성화 제한 타이머를 설정한 후 등록 타이머를 랜덤 시간으로 설정하여 랜덤 시간 후 등록 프레임을 브로드캐스트 한다. 등록 타이머는 브로드캐스트 작업에서의 충돌 감소와 동기화 문제를 방지하기 위해 랜덤 시간으로 설정된다.

주변 노드가 브로드캐스트 된 등록 프레임을 수신했을 때 자신의 최적화 링크 테이블에 등록 프레임을 브로드캐스트 한 노드에 대한 정보가 존재하는지를 확인한다. 만약 최적화 링크 테이블에 등록 프레임을 브로드캐스트 한 노드의 정보가 존재한다면 해당 노드에 대한 처리는 이미 종료되었다는 것을 의미한다. 그러므로 수신 받은 등록 프레임을 폐기한다. 반대로 최적화 링크 테이블에 등록 프레임을 브로드캐스트 한 노드의 정보가 존재하지 않는다면 협상 메커니즘을 실행하여 해당 노드에 대한 최적화된 전송 전력을 연산한다.

3.2.2 협상 메커니즘

협상 메커니즘에서는 식별된 주변 노드에 대한 최적화된 전송 전력 수준을 연산한다. 최적화된 전송 전력 수준은 물리 계층에서 제공하는 최대 전송 전력 수준으로 통신했을 때와 동일하거나 유사한 링크품질을 제공해주는 최소값을 가지는 전송 전력 수준을 의미한다. 최적화된 전송 전력 수준의 연산 시에는 각 전송 전력 수준에서의 링크 품질을 측정하는 작업에 의해 많은 오버헤드가 발생한다.

그러므로 협상 메커니즘에서는 이진탐색기법을 응용하여 통신 가능한 최소 전송 전력 수준을 탐색한 후 최적화 윈도우(optimized window) 개념을 적용하여 최적화된 전송 전력 수준을 연산한다. 최적화 윈도우는 최적화된 전

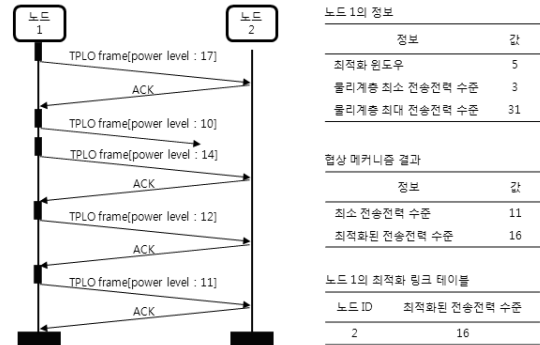


그림 4. 협상 메커니즘

송 전력 수준과 최소 전송 전력 수준의 차이값을 의미한다. 하지만 노드가 위치나 상황, 센서 네트워크의 배치환경 등을 모두 고려하는 최적화 윈도우를 제시하는 것은 불가능하므로 최적화 윈도우는 경험적인 값을 사용한다. 일반적으로 최적화 윈도우는 센서 네트워크가 배치될 환경에서 측정된 결과를 토대로 결정된다.

그림 4는 협상 메커니즘에서 최적화된 전송 전력 수준을 연산하는 절차와 연산 시 필요한 정보 그리고 협상 메커니즘을 통해 구성된 최적화 링크 테이블을 보여준다.

그림 4에서 노드 1은 노드 2에 대한 최적화된 전송 전력 수준을 연산하기 위해 이진탐색연산을 수행한다. 먼저 물리 계층에서 제공하는 최대 전송 전력 수준과 최소 전송 전력 수준을 각각 탐색공간의 최대, 최소값으로 설정한다. 그리고 탐색공간에서의 중간 값인 17의 전송 전력 수준으로 전송 전력 수준 최적화(TPLO: Transmission Power Level Optimized) 프레임을 전송한다. 이 경우 전송한 전송 전력 수준 최적화 프레임에 대한 ACK를 수신 받았으므로 탐색공간의 최대값을 17로 설정하고 중간 값인 10의 전송 전력 수준으로 전송 전력 수준 최적화 프레임을 전송한다. 이 경우 전송한 전송 전력 수준 최적화 프레임에 대한 ACK를 수신 받지 못했으므로 탐색공간의 최소값을 10으로 설정하고 이진탐색을 진행한다.

그림 4에서 이진탐색 연산의 결과로 최소 전송 전력 수준이 11로 연산되었다. 협상 메커니즘에서는 연산된 최소 전송 전력 수준에 최적화 윈도우를 합한 결과를 최적화된 전송 전력 수준으로 사용한다. 하지만 연산된 최적화된 전송 전력 수준이 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준을 초과할 경우 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준이 최적화된 전송 전력 수준이 된다.

협상 메커니즘에서 최적화된 전송 전력 수준을 성공적

으로 연산하였을 때 협상 메커니즘 최적화 링크 테이블에 대상 노드에 대한 정보와 최적화된 전송 전력 수준을 삽입하게 된다. 이 경우 자신의 상태가 안정화 상태라면 활성화 상태로 천이한다.

3.2.3 복구 메커니즘

복구 메커니즘은 장애상황에 의한 링크단절, 환경변화나 노드의 이동 등에 의한 링크품질의 저하와 같은 현상에서의 복구기능을 제공한다.

링크단절 또는 링크품질의 저하현상이 발견되었을 때 먼저 최적화 링크 테이블에서 해당 노드에 대한 최적화된 전송 전력 수준을 확인한다. 만약 최적화된 전송 전력 수준이 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준과 같다면 링크단절의 경우 통신자체가 불가능하다는 것을 의미하므로 최적화 링크 테이블에서 해당 노드에 대한 정보를 삭제한다. 하지만 링크품질의 저하현상의 경우 링크 품질을 복구할 수는 없지만 통신은 가능하므로 최적화 링크 테이블의 삭제작업은 수행되지 않는다.

해당 노드에 대한 최적화된 전송 전력 수준이 물리 계층에서의 최대 전송 전력 값보다 작고 링크가 단절되었을 경우 링크를 복구하기 위해 협상 메커니즘에서와 같은 최적화된 전송 전력 연산방법을 사용한다. 하지만 복구 메커니즘에서는 이러한 현상이 발생하기 전의 최적화된 전송 전력 수준을 탐색공간의 최소값으로 설정하여 탐색공간의 범위를 좁힌다. 링크품질이 저하되었을 경우 현재 최적화된 전송 전력 수준에 최적화 윈도우를 더한 결과를 최적화 링크테이블에서의 최적화된 전송 전력 수준으로 갱신한다. 만약 최적화된 전송 전력 수준이 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준을 초과할 경우 물리 계층에서의 최대 전송 전력 수준이 최적화된 전송 전력 수준이 된다.

복구 메커니즘에서 최적화 링크 테이블의 정보가 삭제되거나 갱신되었으며 현재 상태가 안정화 상태라면 활성화 상태로 천이한다.

4. 구현

ELM-MAC 프로토콜의 구현은 현재까지 제안된 센서 네트워크 MAC 프로토콜들 중 극히 소수만이 구현되고 사용되고 있다는 데에 의의가 있다. 구현된 ELM-MAC 프로토콜은 등록, 협상, 복구 그리고 최적화 링크 테이블 컴포넌트 등으로 구성된다. 표 1은 ELM-MAC 프로토콜에서의 컴포넌트 인터페이스들의 목록을 보여준다.

RegistControl과 StateManagement 인터페이스는 등

록 컴포넌트의 인터페이스이다. RegistControl 인터페이스는 등록 컴포넌트에 등록 메커니즘의 실행을 요청하는 기능을 제공한다. StateManagement 인터페이스는 등록 메커니즘에 의한 노드의 동작 상태를 관리하는 기능을 제공한다.

LinkNegotiation 인터페이스는 협상 컴포넌트 인터페이스로 등록 컴포넌트에서의 요청에 의해 노드간의 최적화된 전송 전력 수준을 연산하고 결과를 최적화 링크 테이블에 저장하는 기능을 제공한다.

LinkMaintenance 인터페이스는 복구 컴포넌트 인터페이스로 데이터 송신 컴포넌트의 요청에 의해 복구 메커니즘을 실행하는 기능을 제공한다.

OptimizedLinkTable 인터페이스는 최적화 링크테이블의 링크목록의 추가, 갱신, 삭제 그리고 검색 기능을 제공한다.

5. 성능평가

본 장에서는 ELM-MAC 프로토콜의 성능을 측정하고 B-MAC과의 비교를 통하여 평가한다. 성능평가를 위해 Crossbow 사에서 개발된 Micaz 노드가 사용되었으며 표 2와 같다.

성능평가는 에너지 효율, 링크품질 그리고 환경변화에 대한 적응의 세 가지 관점에서 진행되었다.

표 1. 컴포넌트 인터페이스 목록

인터페이스	기능
RegistControl	등록 메커니즘 수행
StateManagement	노드의 동작 상태를 관리
LinkNegotiation	협상 메커니즘을 수행
LinkMaintenance	복구 메커니즘을 수행
OptimizedLinkTable	최적화 링크 테이블 관리

표 2. Micaz 노드

항목	속성
MCU	ATMega 128
RF Communication	CC2420
RF Data Rate	250kbps
Serial Communication	UART
External Power	2.7V - 3.3V
Battery	2X AA Batteries

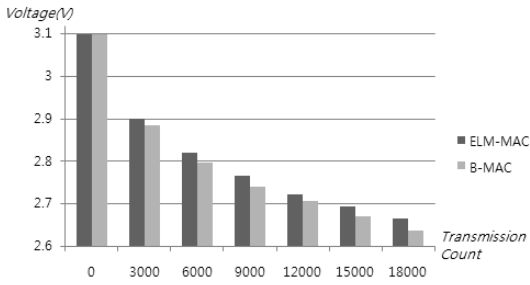


그림 5. 전송횟수에 따른 에너지 잔량 비교

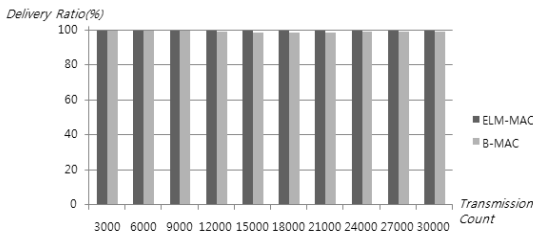


그림 6. 링크품질 비교

그림 5는 ELM-MAC 프로토콜과 B-MAC의 에너지 소모량을 보여준다. 그림 5에서의 에너지 소모량을 측정하기 위해 8m 간격으로 두 노드를 배치한 후 2초 주기로 프레임을 전송하여 잔여 전압을 측정하였다.

그림 5에서 18000번의 전송 후 ELM-MAC 프로토콜의 잔여 전압은 2.6648V로 측정되었으며 B-MAC은 2.6365V로 측정되었다.

그림 6은 ELM-MAC 프로토콜과 B-MAC의 링크품질을 보여준다. 그림 6에서의 측정은 그림 5에서의 환경에서 이루어졌다.

그림 6에서 ELM-MAC 프로토콜의 링크품질의 평균값은 99.9%이며 B-MAC의 경우 99.3%로 ELM-MAC 프로토콜과 B-MAC은 유사한 링크품질을 가진다.

그림 5와 6의 측정 결과는 ELM-MAC 프로토콜이 B-MAC 보다 에너지 효율적이며 B-MAC에서의 같은 링크품질을 보장한다는 것을 보여준다.

그림 7과 8은 ELM-MAC 프로토콜에서의 환경변화에 대한 적응을 보여준다. 그림 7은 4m 간격으로 배치되어 통신 중인 두 노드를 8m 간격으로 이동시켰을 때의 최적화된 전송 전력 수준의 변화를 보여주며 그림 8은 그림 7에서의 실험에서 측정된 링크품질을 보여준다.

그림 7과 8의 측정 결과는 ELM-MAC 프로토콜이 노드의 이동과 같은 센서 네트워크의 환경변화에 적응하여 링크품질을 보장한다는 것을 보여준다.

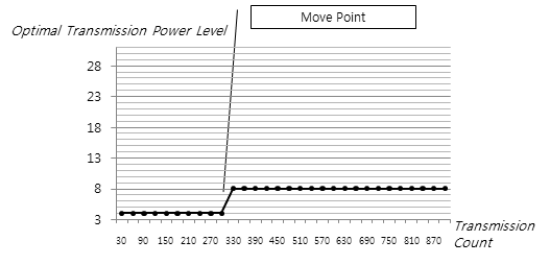


그림 7. ELM-MAC에서 환경변화에 대한 최적화된 전송 전력 수준변화

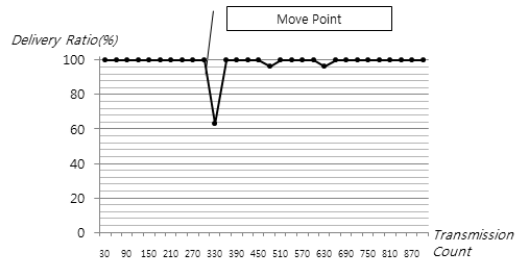


그림 8. ELM-MAC에서 환경변화에 대한 적응에서의 링크품질

6. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 센서 네트워크에서의 에너지 효율을 향상시키기 위한 ELM-MAC 프로토콜을 제안하고 구현하였으며 B-MAC과의 비교를 통해 성능을 평가하였다.

ELM-MAC 프로토콜은 주변 노드와의 최적화된 전송 전력 수준을 연산하고 관리하며 전송 시 해당 노드와의 최적화된 전송 전력 수준으로 전송하는 방법을 통하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 향상시킨다.

ELM-MAC 프로토콜에서는 네트워크 상태를 활성화 상태와 안정화 상태로 분류한다. 활성화 상태에서는 등록 메커니즘을 사용하여 주변 노드들이 최적화 링크테이블을 구성할 수 있도록 하며 협상 메커니즘을 이용하여 감지된 주변 노드들에 대한 자신의 최적화 링크테이블을 구성한다. 안정화 상태에서는 복구 메커니즘을 이용하여 링크를 복구하거나 환경변화에 적응하여 링크품질을 보장한다.

ELM-MAC 프로토콜은 센서 네트워크 환경을 고려하여 구현되었다. 그러므로 센서 네트워크 분야에서 통신을 위한 MAC 프로토콜로 언제든지 사용가능하다.

향후연구는 센서 네트워크에서의 네트워크 프로토콜과 ELM-MAC 프로토콜을 연동하고 센서 네트워크 배치문제들을 고려하여 다수의 노드가 위치한 실제 센서 네트워크

크 환경에서 ELM-MAC 프로토콜의 유효성을 입증하는 것이다. 또한, 제안된 ELM-MAC 프로토콜의 성능 개선을 위한 연구를 지속적으로 수행하며, 노드의 밀집도, 노드들간의 평균 거리 등의 파라미터들을 고려하여 다각적인 시뮬레이션을 통한 성능평가를 추진할 계획이다.

참 고 문 헌

1. R. Govindan, C. Intanagonwiwat and D. Estrin, "Directed diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", In Proceedings of 6th ACM /IEEE Mobicom Conference, 2000.
2. S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems", In Proceedings of IEEE Aerospace Conference, 2002.
3. W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks". In Proceedings of 5th ACM/IEEE Mobicom Conference, 1999.
4. Samuel R. Madden, Michael J. Franklin, Joseph M. Hellerstein, and Wei Hong, "TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks", In Proceedings of ACM Trans. Database System, 2005.
5. A. El-Hoiyi, J.-D. Decotignie, and J. Hernandez, "Low Power MAC Protocols for Infrastructure Wireless Sensor Networks", In Proceedings of the Fifth European Wireless Conference, Feb. 2004.
6. T. van Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2003.
7. Chipcon, "CC2420 Preliminary Datasheet", June. 2004.
8. J. Polastre, J. Hui, P. Levis, J. Zhao, D. Culler, S. Shenker, and I. Stoica, "A Unifying Link Abstraction for Wireless Sensor Networks", In Proceedings of the ACM Sensys Conference 2005.
9. W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive sleeping for Wireless Sensor Networks", In Proceedings of IEEE/ACM Trans. on Networking, 2004.
10. T. van Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2003.
11. V. Rajendran, K. Obraczka, J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks" In Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2003.
12. A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, and J. Hernandez, "Low Power MAC Protocols for Infrastructure Wireless Sensor Networks", In Proceedings of the Fifth European Wireless Conference, Feb. 2004.
13. J. Polastre, J. Hill and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks.", In Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov. 2004.



윤 필 중 (winipc@hanmail.net)

2007 강릉대학교 컴퓨터공학과 학사
2007~현재 강릉대학교 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : 센서네트워크, 미들웨어 등



김 창 화 (kch@kangnung.ac.kr)

1985 고려대학교 수학교육과 이학사
1987 고려대학교 대학원 전산학 전공 이학석사
1990 고려대학교 대학원 전산학 전공 이학박사
1989~현재 강릉대학교 컴퓨터정보공학부 교수
1994 Post-Doc./Visiting Professor, Toronto 대학 Enterprise Integration 연구소
2002~2004 Visiting Scholar, Dept. of Computer Science, Texas A&M University
2005~현재 강릉대학교 해양센서네트워크시스템기술연구센터(ITRC) 소장
2005~현재 한국시물레이션학회 논문지 편집위원
2007~현재 한국정보처리학회 학회지 편집위원

관심분야 : 분산시스템, 미들웨어, 지능형시스템 등



김 상 경 (skkim98@kangnung.ac.kr)

1985 고려대학교 전자공학과 공학사
1987 고려대학교 대학원 전자공학과 공학석사
1989~2004 KT(선임연구원/부장)
1994~1995 TINA-C Core Team Member
2003 고려대학교 대학원 전자공학과 공학박사
2004~현재 강릉대학교 컴퓨터정보공학부 부교수

관심분야 : 컴퓨터네트워크, 무선네트워크 등