DBpia

RFID/USN 시스템 지원을 위한 장기간 수면 기반의 전력 절감 알고리즘

준회원 강 유 철, 정회원 황 준 호, 종신회원 유 명 식*°

Power Saving Algorithm based on Long-term Sleep Period for RFID/USN systems

Yuchol Kang *Associate Member*, Junho Hwang *Regular Member*,
Myungsik Yoo*° *Lifelong Member*

요 약

RFID/USN 융합 기술은 향후 유비쿼터스 네트워크 구축의 핵심 기술로 인식되고 있다. 특히 RFID/USN 융합 기술을 지원하기 위한 무선 센서 네트워크에서는 네트워크 수명 증대를 위해 전력 절감 기술에 대한 중요성이 부각되고 있다. 이에 본 논문에서는 불필요한 활성 구간의 발생으로 인해 전력을 낭비하는 기존 무선 센서 네트워크의 구조의 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위한 새로운 전력 절감 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 전력 절감 알고리즘은 장기간 수면의 개념을 도입하여, 불필요한 활성 구간의 반복을 차단하고 긴 시간 수면 구간을 적용할 노드를 노드 간 연결성과 잔여 전력량을 통해 선정하는 것을 특징으로 한다. 이를 위해 수학적 분석을 통한 전력 절감 이득과 모의실험을 통한 성능 분석을 수행하였고, 그 결과 센서 노드의 전력 소모를 획기적으로 줄일 수 있음을 입증하였다.

Key Words : Ubiquitous Sensor Network, Power Saving, Sensor MAC Algorithm, Sleep Period, Active Period

ABSTRACT

RFID/USN is considered as a key convergence technology in future ubiquitous network. In RFID/USN, the power saving issue receives a great attention due to limited battery lifetime of sensor node. In this paper, we propose a new power saving algorithm, which takes advantage of long-term sleep period. To provide a full network connectivity and balance the battery consumption among sensor nodes, the proposed algorithm intelligently selects the long-term sleep sensor nodes. With mathematical analysis and simulations, we prove that the proposed algorithm can significantly reduce the power consumption of sensor nodes as compared to existing algorithms.

Ⅰ. 서 론

최근 들어 유비쿼터스 환경 구축에 대해 관심과 실제 상용화를 위한 연구가 급속도록 증가하고 있다. 이중 RFID/USN 융합 기술은 사물이나 생활공간에 부착된 태그나 센서로부터 사물 및 환경 정보를 획득하여, 상황 인식 및 지식 콘텐츠를 생성하여 언제, 어디서나, 누구나 원하는 맞춤형 서비스를 자

※ 본 논문은 "서울시 산학연 협력사업(과제번호: 10544)" 지원에 의해 이루어진 것임
* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신망 설계 및 분석 연구실 (myoo@ssu.ac.kr)(° : 교신저자)
논문번호 : KICS2009-10-527, 접수일자 : 2009년 10월 31일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 11일

www.dbpia.co.kr

유롭게 이용할 수 있는 첨단 통신 기술이다. 즉, RFID/USN 융합 기술은 센서 네트워크를 기초로 새로운 패러다임의 IT 기술들이 종합적으로 접목된 지능형 차세대 네트워크 환경 구축의 핵심 기술이라 할 수 있다[1].

현재 RFID/USN 융합 기술은 다양한 응용 분야에 접목되어 매우 넓은 범위에서 비즈니스 산업을 창출하고 있다. 특히, 유통·물류 시스템의 경우 국내는 물론 국외에서도 많은 회사들이 상용화 시스템을 도입하였으며, 이를 통해 생산성 확대 및 자재 관리에 높은 효율성을 입증하였다. 이밖에도 지능형 교통 통제 시스템, U-City 건설, 농업, 지능형 국방 전술 시스템과 의료 산업에 이르기까지 IT 기술 간의 융합뿐만 아니라 BT, NT 기술과의 융합에도 핵심 분야로 인식되고 있다[2],[3].

이러한 RFID/USN 융합 기술은 리더와 태그로 동작하는 RFID 시스템, 무선 센서 네트워크 및 유비쿼터스 컴퓨팅 기술들이 복합적으로 융합된 기술이다. 특히 무선 센서 네트워크는 소형 센서를 사용해 주변 환경 및 사물 정보를 습득하고, 무선 통신 기술을 활용하는 RFID/USN 융합 시스템의 가장 기본적인 요소 기술이라 할 수 있다.

이와 같은 무선 센서 네트워크는 그림 1과 같이 크게 사물 및 환경 정보를 습득하는 센서와 센싱 정보를 무선 통신 기술을 통해 전송하는 센서 노드와 센싱 정보를 외부 망으로 송출하는 게이트웨이의 역할을 담당하는 싱크 노드로 구성된다[4].

무선 센서 네트워크가 RFID/USN 융합 시스템에 효과적으로 적용되기 위해서는 센서 노드의 초소형, 저가격, 저 전력 및 전력 절감 기술 등과 같은 핵심 기술들이 선행되어야 한다. 특히 저 전력 및 전력 절감 기술은 센서의 소형화로 인한 고용량의 배터리 설치가 불가능한 환경에서 제한적인 수명을 최대한 오래 유지시킬 수 있는 기술이다. 이러한 무선 센서 네트워크의 수명은 RFID/USN 융합 시스템 구축의 비용적, 기술적, 신뢰적인 측면에서 가장 중요한 요소라 할 수 있다[5].

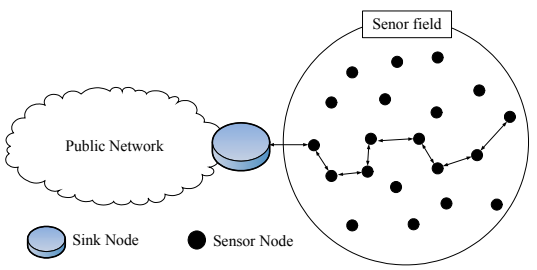

그림 1. 무선 센서 네트워크 구조

이에 따라 무선 센서 네트워크에서의 저 전력 및 전력 절감 기술을 개발하기 위해 물리, MAC 그리고 네트워크 계층에서 단일 또는 교차 계층 기술을 사용해 저 전력 및 전력 절감 기술의 성능 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이중 MAC 계층에서의 전력 절감을 위한 핵심 요소는 데이터 전송 가능 구간을 줄여 센서 네트워크 활동에 필요한 전력 소비를 최소화하는 것이다. 이러한 방법은 현재 무선 센서 네트워크 표준을 진행하는 IEEE 802.15.4 MAC 슈퍼 프레임 구조에서도 적용되고 있다. IEEE 802.15.4에서 제시한 MAC 슈퍼 프레임 구조의 특징은 데이터를 전송하는 활성 구간과 전력 소모를 최소화하는 수면 구간이 주기적으로 반복 수행된다는 것이다. 하지만 전력 절감 측면에서는 전송할 데이터가 없을 경우에도 주기적으로 활성 구간을 거쳐야 하기 때문에 불필요한 전력 소모가 발생하는 문제점이 야기된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전송할 데이터가 없을 경우 2배씩 수면 구간을 증가시키는 전력 절감 알고리즘이 제안되었으나 전력 절감 이득을 얻기 위해서는 상당한 소요 시간이 필요할 뿐 아니라 주변 노드의 데이터 전송이 빈번할 경우 전력 절감의 이득이 기존 전력 절감 기술에 비해 크게 향상되지 않는다[6],[7].

이에 본 논문에서는 불필요한 활성 구간의 수행으로 인한 전력 낭비의 문제를 해결하기 위해 수면 시간을 획기적으로 증가시킨 장기간 수면과 이를 적용할 수 있는 노드를 선정하는 방법을 특징으로 하는 새로운 전력 절감 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 기존 MAC 계층에서 고려한 전력 절감 알고리즘의 특징과 문제점을 분석하고, 이어 Ⅲ장에서는 본 논문에서 제안하는 장기간 수면 기반 전력 절감 알고리즘의 특징 및 동작 방법을 설명한다. Ⅳ장에서는 제안 알고리즘의 수학적 이득 분석과 모의실험을 통해 성능을 분석하고, 마지막으로 Ⅴ장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

Ⅱ. 관련 연구

RFID/USN 융합 기술의 핵심 요소 기술로써 무선 센서 네트워크의 수명을 증대시키는 것이 매우 중요하다. 즉, 불필요한 전력 소모를 줄이고, 특정

www.dbpia.co.kr

센서 노드로 인해 네트워크 전체가 마비되지 않도록 균등한 전력 소모를 위한 연구가 필요하다. 이에 따라 무선 센서 네트워크의 MAC 계층에서는 다양한 전력 절감 알고리즘들이 제안되었으며, 그중 가장 기본이 되는 S-MAC[8] 알고리즘과 Adaptive Radio Mode MAC[9] 프로토콜의 동작 방법과 특징을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 S-MAC 알고리즘

S-MAC 알고리즘의 가장 큰 특징은 센서 노드의 동작 구간을 활성 구간과 수면 구간으로 구분하고, 두 구간이 결합된 Duty Cycle을 주기적으로 반복 수행함으로써, 수면 구간을 통해 전력 소모를 줄이는 것이다. 그림 2는 이러한 S-MAC 알고리즘의 기본 동작 개념을 도시하고 있다.

그림에서 볼 수 있듯이 활성 구간에서는 두 노드 간 데이터 송수신이 가능하다. 반면 수면 구간의 경우 전원을 차단하고, 센서 노드 유지를 위한 최소한의 전력 소모만을 통해 각 센서 노드의 전력 낭비를 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 하지만 S-MAC의 경우 고정된 활성 구간과 수면 구간의 주기로 인해 데이터 유무에 관계없이 모든 센서 노드들이 불필요한 활성 구간을 가지게 된다. 이러한 빈번한 활성 구간으로 인해 불필요한 전력이 낭비되는 문제점을 가지고 있다.

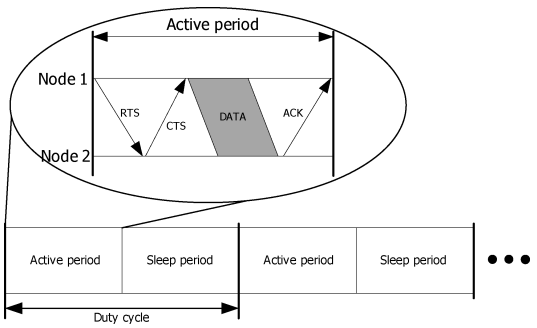

그림 2. S-MAC 알고리즘

2.2 Adaptive Radio Mode MAC 프로토콜

Adaptive Radio Mode MAC 프로토콜은 S-MAC 알고리즘의 불필요한 활성 구간에서 발생하는 전력 소모를 줄이기 위해 수면 구간을 노드의 데이터 존재 여부에 따라 적응적으로 변경할 수 있다. 그림 3은 Adaptive Radio Mode MAC 프로토콜의 동작 개념을 도시하고 있다. 이를 보다 자세히 살펴보면, 하나의 활성 구간과 하나의 수면 구간으로 구성된 Duty Cycle을 기본 단위로 활성 구간에 전송할 데이터가 존재하면 기존의 S-MAC과 동일한 활성 구간 및 수면 구간을 갖고, 반대로 활성 구간에 데이터가 존재하지 않으면, 다음 수면 구간의 길이는 2배씩 증가시킨다. 만약 활성 구간에 데이터가 발생하면 다음 수면 구간은 초기화된다. 이와 같이 활성 구간에 전송할 데이터의 존재 유무에 따라 수면 구간의 길이를 지수적으로 증가시켜 긴 수면 기간으로 인한 전력 절감 이득을 얻을 수 있다. 그러나 긴 수면 시간 동안 갑작스런 데이터가 발생할 경우 해당 노드를 통한 데이터 전송이 불가능하기 때문에 긴 지연이 발생하거나 대체 경로를 찾기 위한 추가적인 전력 소모가 발생한다. 이와 같은 지연 및 추가적인 전력 소모 문제는 센서 노드의 수명을 단축시켜 전체 네트워크 운용에 악영향을 초래한다.

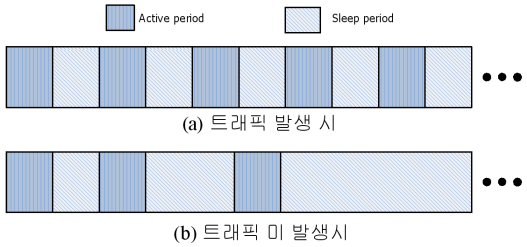

그림 3. Adaptive Radio Mode MAC 프로토콜

이와 같은 긴 수면 시간 적용 시 발생하는 문제를 해결하기 위해서는 수면 노드가 독립적으로 판단하는 것이 아니라 주변 노드의 연결성을 토대로 수면 가능 여부를 판단하여야 한다. 이에 본 논문에서는 주변 노드의 연결성을 고려하여 지수적으로 수면 구간이 증가하는 것이 아니라 자신이 전송할 데이터가 없고, 주변 노드와의 연결성도 높을 경우 곧바로 장기간 수면 모드로 전환할 수 있는 전력 절감 알고리즘을 제안한다.

Ⅲ. 장기간 수면 기반의 전력 절감 알고리즘

본 논문에서 제안하는 장기간 수면 기반의 전력 절감 알고리즘은 센서 노드의 장기간 수면 모드를 도입하여 전력 소모를 최소화하고, 잔여 전력량에 따른 대체 경로를 확보하여 네트워크 전체의 균일한 전력 소모를 유도하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 제안 알고리즘은 각 노드의 홉 수 및 상위 노드 수 설정 과정, 백오프 시간 설정 과정, 장시간 수면 노드 선정 과정, 상위 노드 수 갱신 및 데이터 전송 과정 등의 4가지 과정을 거쳐 동작하며, 상기

www.dbpia.co.kr

의 과정은 장기간 수면 주기 (Long term sleep period)를 기반으로 운용된다. 이를 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

3.1 홉 수 및 상위 노드 수 설정 과정

노드의 홉 수 및 상위 노드 수 설정 과정은 백오프 시간 계산과 각 노드의 대체 경로를 판단에 사용된다. 이를 위해 각 노드의 홉 수 및 상위 노드 수 설정 과정을 위해 싱크 노드는 알고리즘 시작 메시지를 플러딩 (Flooding) 방식으로 전송한다. 이때 중복된 플러딩 메시지는 무시되며, 시작 메시지 내에는 전송하는 노드의 홉 수를 포함한다. 시작 메시지를 수신한 노드는 메시지 내 저장된 이전 노드의 홉 수 정보를 토대로 자신의 홉 수 정보 및 상위 노드 수를 갱신한다. 즉, 싱크 노드에게 시작 메시지를 받은 노드들은 1홉의 위치를 차지하고, 1홉으로부터 메시지를 전송받는 노드들은 2홉에 위치한다.

3.2 백오프 (Backoff) 시간 설정 과정

백오프 시간의 목적은 노드가 장기간 수면 노드 선정 과정의 시작 시간을 결정하기 위해 사용된다. 이를 위해 각 노드의 홉 수와 잔여 전력량을 고려하여 수식 1과 같이 계산한다. 이때 홉 수는 대체 경로 판단 과정에서 상위 노드로부터 하위노드로 수행되어야 하는 순서를 결정하기 위해 사용된다.

이러한 백오프 시간 설정 과정은 싱크 노드가 플러딩한 시작 메시지를 수신한 후 시작된다. 단, 각 홉마다 시작 메시지가 전송되는 전파 지연에 대한 시간 차는 있으나 그 값이 매우 작기 때문에 모든 노드가 동시에 수행된다고 가정한다.

$$B_Time = L_{Duty_cycle} \times (H_n + \frac{W_{now}}{W_{\max}}) \qquad (1)$$

이때 $L_{DutyCycle}$은 S-MAC의 활성 구간과 수면 구간이 반복되는 Duty Cycle 길이를 의미하고, H_n은 각 노드의 홉 수, $W_{\max}$는 노드가 가지고 있던 최대 전력량 그리고 W_{now}는 현재 노드의 잔여 전력량을 의미한다.

또한 백오프 과정은 각 홉 단위에서 잔여 전력량이 적은 노드에게 장기간 수면 우선권을 부여하여 네트워크의 균등한 전력소모를 유도하기 위해 사용된다. 백오프 시간이 종료된 후 각 노드는 다음과 같은 장기간 수면 노드 선정 과정을 수행한다. 이때 백오프 시간의 감소는 Duty Cycle 내 활성 구간에서만 감소된다.

3.3 장기간 수면 노드 선정 과정

각 노드가 장기간 수면 노드로 선정되기 위해서는 다음과 같은 조건을 하나라도 만족해야 한다.

- 라우팅 테이블에 연결성을 유지할 하위 노드가 존재하지 않아야 함
- 라우팅 테이블에 연결성을 유지해야할 하위노드가 있을 경우 대체 경로를 제공할 수 있는 노드가 존재해야 함

먼저, 첫 번째 조건인 하위 노드의 존재 여부를 판단하기 위해서는 각 노드가 라우팅 알고리즘을 동작시켜 라우팅 경로 정보를 획득하여야 한다. 이에 본 연구에서는 AODV 기술을 가정하였다. 이때 하위 노드는 자신이 데이터를 중계해주어야 할 노드를 말하고 하위 노드가 존재하지 않는다는 것은 해당 노드가 네트워크 내 연결성을 유지할 필요가 없다는 것을 의미하므로 장기간 수면 노드의 전환될 수 있다.

두 번째 조건인 대체 경로 노드의 존재 여부는 자신의 연결성을 대신할 수 있는 노드가 존재하는 것에 따라 결정된다. 이를 위해 백오프가 종료된 상위 노드는 라우팅 테이블 내에 존재하는 하위 노드들에게 자신이 가지고 있는 상위 노드의 개수 정보를 요청한다. 이때 상위 노드는 자신이 연결성을 갖고 있는 모든 하위 노드가 2 이상의 상위 노드를 가지고 있을 경우 장기간 수면 노드로 전환될 수 있다. 만약 두 조건 중 하나라도 만족을 시키지 못할 경우 센서 노드들은 S-MAC 알고리즘을 수행한다.

3.4 상위 노드 수 갱신 및 데이터 전송 과정

장기간 수면 노드 선정 과정을 완료한 모든 노드들은 주변 하위 노드들에게 종료 메시지를 브로드캐스트 방식으로 전송한다. 즉, 종료 메시지는 하위 노드들에게 상위 노드의 수를 갱신하는 목적으로 이용되며, 종료 메시지를 받은 하위 노드들은 자신의 라우팅 테이블에서 종료 메시지를 전송한 상위 노드를 삭제한다. 이에 따라 장기간 수면 노드로 선정된 상위 노드를 데이터 전송 경로로 선택한 하위 노드들은 자신의 데이터 전송 경로를 라우팅 테이블 내 다른 상위 노드로 변경한다.

이와 더불어 장기간 수면 노드는 수면 구간에 데이터 전송을 하지 못하는 S-MAC 알고리즘과 달리

www.dbpia.co.kr

장기간 수면 중에도 자신이 센싱한 데이터가 발생할 경우 전송 모드로 전환하여 설정된 Duty Cycle의 활성 구간에 데이터를 전송할 수 있다. 데이터 전송을 완료된 후, 장기간 수면 주기 전까지 다시 장기간 수면 노드로 전환된다.

이와 같은 장기간 수면 기반의 전력 절감 알고리즘은 장기간 수면 주기를 기반으로 반복 수행되는데, 장기간 수면 주기는 응용 서비스마다 고유의 상수 값으로 설정할 수 있다. 이에 본 논문에서는 장기간 수면 주기를 S-MAC의 Duty Cycle인 1.3초를 기준으로 약 500배로 설정하였다.

이러한 장기간 수면 주기의 운용 방법은 다음과 같다. 먼저 장기간 수면 주기의 시작 시점에서는 싱크 노드가 장기간 수면 노드 선정 알고리즘을 수행하기 위한 시작 메시지를 플러딩하고, 이를 토대로 앞서 설명한 4가지의 과정을 수행한다. 그리고 장기간 수면 주기의 종료 시점에서는 센서 네트워크를 구성하는 모든 노드가 의무적으로 자신의 존재 여부를 싱크 노드에게 통보한다. 싱크 노드는 자신이 보유한 노드들로부터 존재 여부 메시지가 모두 수신되면, 시작 메시지 플러딩 과정부터 반복하여 다시 장기간 수면 노드 선정을 위한 알고리즘을 수행한다. 이와 같이 제안하는 장기간 수면 노드 기반의 전력 절감 알고리즘의 동작 순서도는 그림 4와 같다.

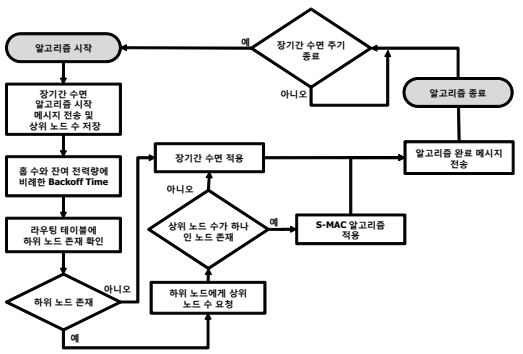

그림 4. 제안 알고리즘 동작 순서도

Ⅳ. 수학적 이득 분석과 모의실험

4.1 수학적 이득 분석

본 논문에서 제안하는 장기간 수면 기반의 전력 절감 기법의 전력 소모 이득을 분석하기 위해 그림 5와 같이 센서 노드의 배치가 정방형으로 규칙적인 노드 분포와 밀집도를 고려하여 수학적 이득을 분석하였다.

이를 위해 먼저 장기간 수면 노드로 선정된 평균 노드 수(Avg_LTS_{node})를 결정하여야 하는데, 이는 밀집도와 노드 분포(D)의 최대 홉 수($H_{\max}$)를 고려하여 수식 2와 3을 통해 계산할 수 있다. 이때 수식 2는 밀집도 3일 경우 또는 밀집도 4, 6의 3홉 이하일 때 사용하고, 수식 3은 밀집도 4, 6의 3홉을 초과하는 구조에서 장기간 수면 노드의 수를 계산할 때 사용된다.

$$Avg_LTS_{node} = D \times H_{\max} \quad (Dense = 3 \text{ or } Dense\,4,6 \;\; hop \le 3) \tag{2}$$

$$Avg_LTS_{node} = D \times H_{\max} + \sum_{\alpha=3}^{H} D \times (\alpha - 2) \times \frac{1}{4} \quad (Dense\,4,6 \;\; hop > 3) \tag{3}$$

이와 더불어 장기간 수면으로 인한 각 노드의 전력 절감량(W_{LTS_node})은 수식 4로 표현된다.

$$W_{LTS_node} = L_{active} \times E_{active} \times \frac{LTS_time}{L_{Duty_cycle}} \tag{4}$$

이때 L_{active}는 활성 구간의 길이, E_{active}는 활성 구간의 소모되는 전력량 그리고 LTS_period는 장기간 수면 시간을 의미한다. 다만, 장기간 수면 시간은 장기간 수면 주기에서 백오프 시간을 제외한 만큼의 수면 시간이기 때문에 각 노드마다 임의의 값을 갖게된다. 이에 수학적 이득 분석에서는 장기간 수면 노드의 수면 시간을 장기간 수면 주기로 가정한 후 각 노드의 전력 감소량을 산출하였다.

이후 네트워크 전체 노드 중 장기간 수면 노드를 선정하기 위해 소모되는 전력량(W_{total_nodes})을 계산하기 위해 수식 5를 사용한다. 이때 $p_size[n]$은 장기간 수면 알고리즘을 위해 각 노드에서 추가로 전송하는 패킷의 크기를 의미하며, E_{trans}은 패킷 전송 시 소모하는 전력 그리고 R은 초당 데이터 전송률을 의미한다.

$$W_{total_nodes} = \frac{(p_size[1] + \cdots + p_size[n]) \times E_{tr}}{R} \tag{5}$$

이와 같은 수식을 통해 얻은 평균 장기간 수면 노드 수, 각 노드의 전력 절감량 그리고 장기간 수면 노드 선정이 소모되는 전력을 토대로 네트워크 구조에서 얻을 수 있는 전력 이득량(W_{gain})은 수식

www.dbpia.co.kr

6과 같이 계산된다.

$$W_{gain} = Avg_LTS_{node} \times W_{LTS_nods} - W_{total_nodes} \quad (6)$$

이와 같은 결과를 토대로 밀집도에 따라 S-MAC과 제안 알고리즘의 전력 소모량을 계산하면 표 1과 같다. 이때 전력 소모량 결과는 모의실험에 사용된 파라미터 값을 적용하였을 때 얻은 결과이다.

표 1. 전력 소모량[mW]

노드 수 / 밀집도	20	30	40	50
S-MAC	109.14	164.1	218.8	273.6
Dense 3	60.19	114.9	147.7	175.1
Dense 4	49.2	82	109.4	186
Dense 6	43.7	76.	93	125.8

4.2 모의실험 성능 분석

수학적 이득 분석은 센서 노드의 분포가 규칙적인 환경에서 대하여 분석하였다. 이에 보다 실질적인 무선 센서 네트워크 환경에 근접할 수 있도록 불규칙한 분포를 갖는 센서 네트워크에 대하여 모의실험을 수행하였다. 이를 위해 본 논문에서는 한 개의 싱크 노드가 중앙에 위치하고, 홉 간 거리가 동일하다는 가정 하에 4홉 크기에 네트워크 크기를 가진 네트워크 환경을 구성하였다. 또한 센서 노드의 수는 10~100개까지 변화시켰고, 센서 노드의 분포는 다음과 같은 3가지 상황을 고려하였다.

- Case 1: 홉 당 노드 수 동일
- Case 2: 홉 수 증가에 따라 노드 수 증가
- Case 3: 홉 수 증가에 따라 노드 수 감소

이와 같은 토폴로지 환경에서 모의실험에 사용된 실험 파라미터는 MICA2[10] 스펙을 참고하여 활성 구간의 길이는 300msec, 수면 구간의 길이는 1sec로 설정하였고, 대기 상태에서의 전력 소모량은 8mW, 전송 시 소모 전류량은 27mW, 수면 시 전류 소모량은 15μW를 사용하였다. 또한 장기간 수면 주기는 10분으로 설정하였고, 배터리 용량은 1000 mAh 2개를 직렬로 사용하였고, 모의실험 시간은 1시간으로 설정하였다. 표 2는 모의실험 환경에서 사용한 파라미터를 정리한 것이다.

이와 같은 모의실험 환경에서 제안 알고리즘의 성능 비교 대상을 기존 S-MAC 알고리즘을 선정하였고, 평균 네트워크 수명, 전력 소모량에 따른 그룹별 분포 그리고 최대와 최소 전력 소모 그룹의 평균 수명 등에 대해 성능 평가를 수행하였다.

먼저, 그림 6은 노드 수를 10에서 100개까지 변화할 때 S-MAC과 제안 알고리즘을 적용한 3가지 네트워크 구조의 평균 네트워크 수명을 나타낸 것이다. 이때 평균 네트워크 수명은 시간당 각 노드의 전력 소모량을 도출하고, 노드의 최대 배터리 용량을 나누어 각 노드의 수명을 구한 후 이들 총합을 모의실험 노드 수로 나눈 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 S-MAC의 경우 모든 노드가 동일한 활성 구간과 이에 따른 전력을 소모하기 때문에 네트워크 수에 상관없이 모두 동일한 네트워크 수명을 갖는다. 그러나 제안 알고리즘의 경우 노드의 밀집도에 따른 연결성과 잔여 전력량을 고려하기 때문에 네트워크 수명을 증대시킬 수

표 2. 모의실험에 사용되는 파라미터

Parameters	Value
전체 센서 노드의 수	10~100
전체 홉 수	4
센서 노드의 최초 배터리 용량[mWh]	3000
대기 상태에서 소모되는 전류량[mW]	7
패킷을 전송하는데 소모되는 전력량[mW]	27
패킷을 수신하는데 소모되는 전력량[mW]	10
수면 상태에서 소모되는 전력량[μW]	15
S-MAC Duty Cycle[sec] (수면구간, 활성구간)	1.3 (0.3, 1)
장기간 수면 주기 [sec]	600
모의실험 시간[sec]	3600

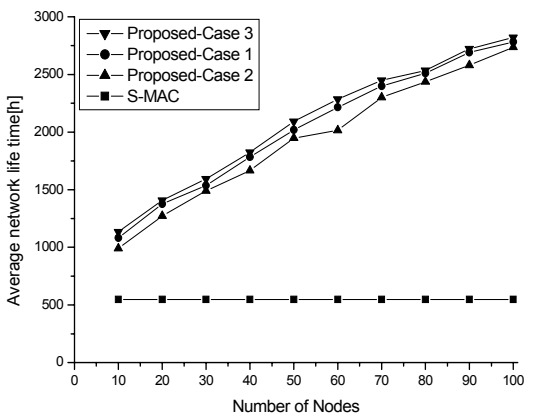

그림 6. 평균 네트워크 수명

www.dbpia.co.kr

있다. 특히 Proposed-Case 3은 홉 수의 증가에 따라 노드 수가 감소하는 환경이기 때문에 다른 두 경우보다 상대적으로 연결성을 유지해야할 하위 노드수가 적어 중간 노드들의 장기간 수면 확률이 높아져 전체적인 네트워크 수명이 길어진다.

그림 7은 네트워크 노드 수가 80개일 때 제안 알고리즘을 사용하는 3가지 환경에 대해 전력 소모량에 따른 그룹 분포 비율을 나타낸 것이다. 이러한 그룹을 구분하기 위해 각각의 3가지 환경에서 각 노드별 전력 소모량 기준으로 최대 전력 소모 값과 최소 전력 소모 값을 도출하였다. 이어 도출된 두 값을 기준으로 25%씩 4개의 범위를 선정하는 사분위수 (Quartile) 통계 기법[11]을 사용하여, 각 범위에 포함되는 노드를 선정하고 전력 소모량이 상위 25% 범위에 포함되는 노드를 네트워크 수명이 낮은 그룹 (Low Group), 하위 25%는 네트워크 수명이 높은 그룹 (High Group) 그리고 나머지 50%에 속하는 노드들을 평균 그룹 (Average Group)으로 구분하였다. 분포 비율을 보다 자세히 살펴보면, Proposed-Case 3의 경우 높은 그룹과 낮은 그룹의 분포가 다른 두 환경에 비해 매우 낮은 것을 볼 수 있다. 이는 약 75%이상의 노드가 평균 그룹에 속해 있어 다른 두 환경에 비해 네트워크 전체의 균일한 전력 소모가 유도되는 것을 알 수 있다.

그림 8은 네트워크 노드 수가 80개일 때 전력 소모량이 낮은 그룹의 평균 수명을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 S-MAC의 경우 모든 노드의 전력 소모량이 동일하기 때문에 앞서 그림 6의 평균 네트워크 수명과 동일한 수명을 갖는다. 반면, 제안 알고리즘을 사용할 경우 3가지 환경 모두 S-MAC에 비해 긴 평균 수명을 유지할 수 있다. 다

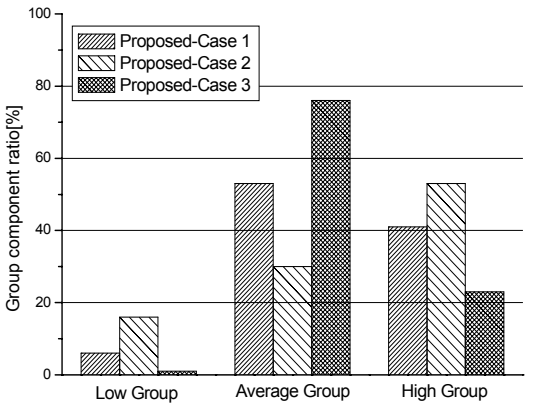

그림 7. 전력 소모량에 따른 그룹 분포 비율

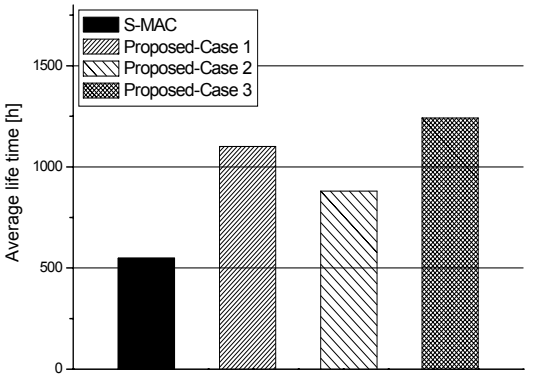

그림 8. 전력 소모량이 낮은 그룹의 평균 수명

만 3가지 환경 중 Proposed-Case 2의 경우 하위 노드의 수가 다른 두 환경에 비해 상대적으로 많기 때문에 낮은 그룹의 평균 수명이 가장 짧다. 즉, 싱크 노드로부터 멀리 떨어진 홉의 노드가 집중되는 센서 네트워크 구조에서는 상위 노드로 연결되는 트래픽의 발생량이 많아져 장기간 수면을 적용할 수 있는 노드들이 적고, 이에 따른 네트워크 수명이 함께 저하되는 것이다. 반면 Proposed- Case 3의 경우 하위 노드 수가 적기 때문에 낮은 그룹에 속한 노드들도 장기간 수면을 적용할 확률이 높아져 네트워크 수명의 증대가 가능하게 된다.

그림 9는 네트워크 노드 수가 80개일 때 전력 소모량이 높은 그룹의 평균 수명을 나타낸 것이다. 제안 알고리즘을 사용할 경우 3가지 환경 모두 S-MAC 보다 긴 수명을 유지할 수 있으며, 평균 수명이 유사한 것을 볼 수 있다. 이는 3가지 환경에 따라 장기간 수면이 적용되는 노드 수는 다르나 장기간 수면 모드를 적용한 횟수가 비슷하기 때문이다.

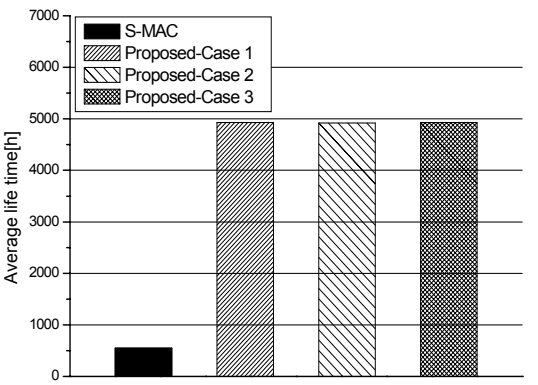

그림 9. 전력 소모량이 높은 그룹의 평균 수명

www.dbpia.co.kr

V. 결 론

RFID/USN 융합 기술은 RFID, 무선 센서 네트워크, 지능형 컴퓨팅 기술이 종합적으로 연계된 차세대 지능형 인프라이다. 이러한 RFID/USN 융합 기술을 효과적으로 활용하기 위해서는 기술적 근간이 되는 무선 센서 네트워크의 안정적인 운영이 절실히 요구된다. 특히, 무선 센서 네트워크에서 사용되는 센서는 크기의 제한으로 인해 보유 배터리의 양에 한계가 있다. 이에 따라 전력 절감 알고리즘을 통해 센서 노드의 수명을 증대시킬 수 있는 연구가 반드시 요구된다. 하지만 기존의 활성 구간과 수면 구간의 반복을 통해 전력 소모를 최소화하는 방법들은 불필요한 활성 구간의 발생으로 인한 전력 낭비가 발생하는 문제점을 안고 있다.

이에 본 연구에서는 장기간 수면이 가능한 노드를 선정하고, 이를 기반으로 네트워크 내 센서 노드들의 전력 소모를 균등하게 유지할 수 있으며, 전체 네트워크의 수명을 최대화 시킬 수 있는 전력 절감 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘의 성능 분석을 위해 수학적 분석과 모의실험을 통한 성능 분석을 수행한 결과 기존 전력 절감 알고리즘에 비해 긴 네트워크 수명을 제공할 수 있었으며, 특히 노드의 분포가 홉 수가 증가하면서 노드 수가 감소되는 환경에서 균일한 전력 소모를 유도할 수 있으며, 네트워크 수명 증대를 최대화할 수 있음을 입증하였다. 결과적으로 장기간 수면을 통한 전력 절감을 수행할 경우 보다 안정적인 센서 네트워크의 운용이 가능하며, 이를 통한 센서 네트워크의 구축비용의 감소는 물론 신뢰성 높은 무선 센서 네트워크를 구축할 수 있어, 향후 RFID/USN 융합 기술이 적용되는 응용 서비스에 효과적인 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

〔1〕 조위덕, 이상학, 강정훈, “센서 네트워크 기술 개요”, *한국정보통신학회 정보통신소사이어티 논문지,* 제 17권, 제 1호, 2003년 5월.

〔2〕 김한주, “IT 기반 융합전략”, 2008 IT 산업전망 컨퍼런스, 2007년 10월.

〔3〕 S. GLASER, “Some real-world applications of wireless sensor nodes,” In Proc. of SPIE Symposium on Smart Structures and Materials, Vol.5391, pp.344-355, Mar. 2004.

〔4〕 G.D. Abowd and J.P.G. Sterbenz, “Final report on the interagency workshop on research issues for smart environments,” *IEEE Personal Communications*, Vol.7, No.5, pp.36-40, Oct. 2000.

〔5〕 정 훈, 이종오, 이종영, 박노성, 진광자, 김봉수, “센서 네트워킹 기술 동향”, ETRI 정보통신동향 분석, 제 22권 제 3호 2007년 6월.

〔6〕 Kang Lee, “Introduction to IEEE 14 51-Family of Standards”, Wireless Sensor Standard Workshop/Meeting Sensors Expo/Conference, Jun. 2004.

〔7〕 김기형, “USN 기술 동향 분석 연구” 한국전산원 IT전략지원단 USN 기술 동향 분석 연구, 2005년 10월.

〔8〕 W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, “Medium Access Control With Coordinated Adaptive sleeping for Wireless Sensor Networks,” *IEEE/ACM Trans. on Networking,* Vol.12, No.3, pp.493-506, Jun. 2004.

〔9〕 Raja Jurdak, Antonio G. Ruzzelli, and Gregory M. P. O’’Hare “Adaptive Radio Modes in Sensor Networks: How Deep to Sleep?,” In Prof. of IEEE SECON, pp.386-394, Jun. 2008

〔10〕 M. A. M. Vieira, C. N. Coelho Jr., D. C. da Silva Jr., and J. M. da Mata., “Survey on Wireless Sensor Network Devices,” In Proc. of ETFA, pp.16-19, Sep. 2003.

〔11〕 Timothy J. McNamara, Key concepts in mathematics: strengthening standards practice in grades 6-12, *Corwin Press*, 2006.

강 유 철 (Yuchol Kang) 준회원

2008년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사

2008년 2월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

<관심분야> RFID system, Sensor network

www.dbpia.co.kr

황 준 호 (Junho Hwang) 정회원

2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사
2006년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정

<관심분야> Optical Access Network, OBS, Wireless MAC Protocol, RFID/USN

유 명 식 (Myungsik Yoo) 종신회원

1989년 2월 고려대학교 전자전산공학과 학사
1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사
2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수

<관심분야> Optical Network, OBS, EPON, 인터넷 QoS, Wireless MAC Protocol, MANET, RFID/USN, CR

www.dbpia.co.kr