
에너지 효율성과 서비스 품질 보장을 위한 MAC 프로토콜

김성훈* · 고선복* · 정창렬* · 이성근*

Energy-efficient and QoS Guaranteed MAC protocol in Ubiquitous Sensor Networks

Seong-hun Kim* · Sun-bok Goh* · Chang-ryul Jung* · Sung-keun Lee*

본 연구는 정통부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임
<08-기반-13, 정보통신연구기반조성사업>

요 약

USN이 적용되는 분야가 확장되고, 연구가 활발히 이루어짐에 따라, 다수개의 USN이 상호 혼재하는 단계를 거쳐, 하나의 USN을 통해 다수의 응용서비스가 제공되는 단계로 진화될 것으로 전망된다. 따라서 하나의 USN에서 전달하는 데이터 패턴은 드문 데이터 리포팅, 연속적인 정보 모니터링, 이벤트 트리븐 데이터, 쿼리를 기반으로 하는 데이터 등의 여러 패턴이 혼재하게 될 것이다. 이러한 데이터 패턴들은 각 각이 요구하는 지연, 에러 비율, 전송률 등의 QoS 특성이 다르게 된다. 따라서 본 논문에서는 이런 환경에서 적합한 QoS를 보장해 줄 수 있는 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 여러 응용에 맞춰 서비스를 제공하기 때문에 불필요한 에너지의 소비를 줄일 수 있다.

ABSTRACT

The sensor node's performance is expected to be improved and the price will be largely decreased. As USN-applied field is expanded, multiple application services are expected to be provided through one USN soon. Multiple applications be required a periodic data reporting, consecutive information monitoring, event-driven data and query-based data as the data pattern that USN is delivered. Accordingly, the mechanism which can assure QoS according to each data characteristic is required. In this paper, A proposed protocol apply the duty cycle of S-MAC protocol variably and flexible according QoS level. This method largely reduces the delay on the delay-sensitive traffic, while keeping the energy efficiency.

키워드

USN, QoS, MAC Protocol, Traffic, Data Pattern

1. 서 론

네트워크를 기반으로 한 정보 기술의 발전은 초소형

의 컴퓨터 장비를 사물에 내장하여 물리 공간과 네트워크 기반의 가상 전자 공간을 융합한 새로운 유비쿼터스 컴퓨팅이라는 새로운 세계를 창출하여 인간의 생활을

* 순천대학교

심사완료일자 : 2008. 05. 22

접수일자 : 2008. 04. 11

보다 안전하고, 생산적이며, 풍요롭게 변화시키려 하고 있다. 보이지 않는 컴퓨터에 의해 사물들은 지능화되고 인간은 실세계의 상황을 보다 정확하게 인지할 수 있게 된다.

이런 사회 발전의 흐름과 끊임없이 환경을 인간 친화적으로 바꾸고 싶어 하는 인간의 욕구와 맞물려 무선 센서 네트워크의 필요성이 제기되었다.

무선 센서 네트워크는 물리 공간의 상태인 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 물리적인 데이터를 센서 노드에서 감지하고 축적하여 중앙의 기본 노드로 전달하는 센서 노드들로 구성되는 네트워크이다. 이러한 센서 노드는 물리적인 현상을 감지, raw 데이터를 처리, 센싱 정보의 통합, 계산, 그리고 무선 통신을 통하여 처리된 정보를 이웃 노드들과 공유하고 싱크로 보고할 수 있다. 센서노드들은 주변 환경을 감지할 수 있는 센서와 감지된 정보를 가공할 수 있는 프로세서, 전송할 수 있는 무선 송수신기를 갖춘 소형 장치로 구성된다. 이런 센서 노드로 이루어진 무선 센서 네트워크는 기존의 네트워크와 다르게 의사소통의 수단이 아니라 환경에 대한 정보를 수집하는 것을 목적으로 한다[1].

무선 센서 네트워크는 저가의 초소형, 저 전력 장치의 개발 기술과 더불어 무선 통신 기술의 발달에 의하여 신행 가능하게 되었고, 여러 사회적 요구에 의해서 무선 센서 네트워크의 개발 및 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 센서 네트워크의 응용으로는 과학적, 의학적, 군사적, 상업적 용도 등의 다양한 범위에서 폭넓게 활용될 수 있다. 최근 반초체 및 무선 통신 기술의 비약적인 발전은 이러한 무선 센서 노드의 개발을 가능하게 하였고, smart device로 인간을 대신하여 스스로 주변 환경의 상황을 인식하고 필요한 동작을 실행시킬 수 있는 유비쿼터스 센서 네트워크의 구현을 현실화하였다. 따라서 유비쿼터스 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 시대를 맞이하여 자동으로 다양한 환경 정보를 수집하고 수집된 정보를 기반으로 하여 액츄에이터(actuator)를 통하여 인간에게 보다 편리한 서비스를 제공해주는 과정에 있어서 핵심적인 역할을 수행할 것으로 기대된다[2].

무선 센서 네트워크에서 배터리를 모두 소모한 센서 노드는 더 이상 정상적인 라우팅 동작과 감지 작업을 수행할 수 없기 때문에 최소한의 에너지를 소비하며 효율적으로 데이터를 전송하기 위해 많은 연구들이 활발

히 진행되고 있으며, 특히 여러 라우팅 기술들이 개발되고 있다. 각 센서 노드들이 최소한의 에너지 소비를 위하여 위와 같은 기법들을 사용하여 데이터를 전송한다 할지라도 감지된 현상에 대해 수많은 노드에서 한꺼번에 데이터 전송을 시작한다면 채널 오류 등으로 인한 혼잡이 발생할 수 있고, 노드의 배터리 교환이 어려움에 따라 재전송과 같은 에너지를 소비하는 동작을 할 경우 네트워크 전체의 에너지 효율이 나빠지게 되는 문제가 발생하게 된다. 따라서 센서 네트워크의 특성을 고려한 저 전력 MAC 프로토콜의 설계가 요구되고 있는 실정이다.

그러나 현재 USN의 장점이 크게 부각되고 이에 대한 연구 개발이 활성화됨에 따라, 가까운 미래에는 USN이 다양한 응용 분야에 적용될 것으로 예상된다. USN이 적용되는 분야가 확장됨에 따라, 다수 개의 USN이 상호 혼재하는 단계를 거쳐, 궁극적으로 하나의 USN을 통해 다수의 응용 서비스가 제공되는 단계로 진화될 것으로 전망된다.

따라서 본 논문에서는 한 센서 네트워크에서 다수의 응용 서비스를 제공하기 위해, 기존의 프로토콜 계층간의 상호 협력을 통해 유용한 정보를 빠르게 공유할 수 있는 MAC 프로토콜 디자인을 적용하여 센서 네트워크상에서 데이터 전송 효율을 높일 수 있는 QoS보장을 위한 MAC 프로토콜을 설계하고 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존에 제안된 MAC 프로토콜을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안한 MAC프로토콜을 제시한다. IV에서는 시뮬레이션 결과를 통해 성능을 비교 분석하고, V장에서 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

기존의 프로토콜은 USN환경에서 에너지 효율성, 지연, 신뢰성, 전송률의 특징 중, 하나만을 고려한 MAC 프로토콜에 대해 연구되었다. 이 장에서는 이러한 MAC프로토콜을 살펴본다.

센서 노드들은 제한적인 배터리를 가지고 동작을 하기 때문에, 에너지를 절약하는 것을 매우 중요한 일이다. 주기적인 listen/sleep를 이용하여 무선 통신에서 소모되는 에너지를 줄이기 위해 S-MAC[3] 프로토콜이

제안되었다. S-MAC 프로토콜의 주요 논점은 각 노드들이 주기적으로 listen 상태와 sleep 상태를 가진다는 것이다. 많은 센서 네트워크 응용에서 환경 감지 사건이 발생하지 않으면, 노드는 오랫동안 휴면 상태로 있게 된다. 이 기간 동안에 노드는 항상 listen 상태를 유지할 필요가 없는데, S-MAC 프로토콜은 노드가 주기적으로 sleep 모드로 전환함으로써 listen 시간을 감소시킨다. 각 노드는 일정 시간 동안 sleep 모드에 있는 후, 깨어난 다른 노드가 통신하기를 원하는지 알기 위해 listen한다. Sleep 기간에 노드는 라디오를 끈 후에 나중에 스스로 깨어나기 위한 타이머를 설정한다. Sleep 기간에 감지된 환경정보는 메모리에 저장하고 listen이 시작하면 이 정보를 전송하게 된다. Listen과 sleep의 완전한 한 주기를 radio라 한다. 여기에서 Listen 기반은 일반적으로 물리 계층이나 MAC 계층의 라디오 주파수 범위와 컨텐션 윈도우 사이즈 같은 요소에 의해 결정된다. Sleep 기간은 응용의 요구 상황에 따라 변화될 수 있으며, 이로 인해 duty 사이클을 바꾼다. 주기적인 sleep/listen 방법의 단점은 주기적인 sleep 모드 때문에 전달 지연이 증가하는 것인데, 홉이 증가할 때마다 누적될 수 있다. 네트워크는 구성하는 노드들은 임의의 시간에 sleep 상태로 전환하는 것이 아니라 제어 오버헤드를 줄이고 브로드캐스팅을 간단히 하기 위해 주위 노드와 같은 스케줄을 공유한다. 같은 스케줄을 공유함으로써 노드들은 같은 길이의 프레임들 갖게 되며, Sleep 모드에서 listen 모드로의 전환을 동시에 하게 된다.

S-MAC의 경우 한 번 sleep할 경우 다음 listen 주기 동안 lsleep 상태를 유지하기 때문에 어쩔 수 없는 전송 지연 문제가 발생한다. 센서 네트워크에서 효율적 에너지 소모를 가장 중요시한다하더라도, 데이터 전송 지연 역시 무시할 수 없는 주요 요소이다. 데이터 지연 문제를 극복하기 위하여 adaptive listen 기법을 제안하였다. 일반적인 S-MAC에서는 한 주기 동안 하나의 데이터가 전송되는데 비해 adaptive listen 기법은 NAV(network allocation vector)를 통해 첫 데이터 전송이 끝나는 시간을 예측하고, 그 시간이 끝나면 NAV가 설정된 모든 노드들이 그들의 통신 모듈을 작동시켜 다시 전송에 참여한다. adaptive listen 기법은 NAV의 만기 되는 시간을 통하여 한 주기 동안 여러 데이터가 전송 지연 없이 전달되도록 함으로써, 어느 정도 지연 문제

를 해결하였다.

adaptive Listen 기법 역시 데이터 딜레이 문제를 완벽하게 해결하지는 못했다. DSMAC[4]은 데이터 지연 문제를 해결하기 위해 다이나믹 듀티 사이클 기법을 제안하였다. 일반적으로 S-MAC이나 listen/sleep의 주기를 갖는 프로토콜들은 듀티 사이클(listen 기간과 sleep 기간의 비율)을 미리 정의하여 통신을 하는 데 비해, DSMAC은 데이터 트래픽을 고려해 동적으로 듀티 사이클을 변화시킴으로써 데이터 지연을 줄일 수 있는 기법을 제시하였다. 데이터 트래픽이 증가할 경우 sleep 기간의 시간을 줄임으로써, sleep시 발생할 수 있는 데이터 전송 지연을 줄일 수 있다. 하지만 이 방법 역시 2홉 범위 안에서만 전송 지연이 감소하므로, 소스부터 수집 노드까지 멀티-홉일 경우에는 여전히 전송 지연 문제가 남게 된다.

T-MAC[5]은 S-MAC을 기반으로 하는 MAC으로 Idle listening 시간을 최소화하기 위하여 각 노드는 일정 시간동안 아무런 트래픽이 없다고 감지하면, 규정된 Listen 구간의 만기 이전이라도 미리 sleep 상태로 천이하는 것을 허용함으로써 듀티 사이클이 트래픽 상황에 따라 적응하면서 감소될 수 있는 특징이 있다.

DMAC[6]은 end-to-end 홉으로 패킷을 중계할 때 해당 수신 노드가 overhearing 영역 밖에 있어 sleep하기 때문에 전달이 중지되는 DFI문제, 즉 SMAC에서 early sleeping 문제를 해결하기 위해 제안되었다. T-MAC도 FRTS를 사용하여 이를 개선하지만, 겨우 추가된 1개의 홉에서만 지연을 단축시킬 뿐이다. DMAC에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 싱크까지 계속 전달되도록 하여 지연 시간을 단축시킨다. 이 프로토콜은 미리 스케줄이 설정되어 있어 RTS/CTS 절차도 없다. 하지만 데이터 패킷의 신뢰성 있는 전달을 위한 ACK 프레임은 사용된다.

B-MAC[7]은 RTS/CTS, ACK 등의 제어 기능은 상위 계층에서 수행하도록 하여 가급적 간단하게 구현하였으며, idle listening에 의한 전력 소모를 감소시키기 위하여 sleep period 보다 긴 프리앰블 구간을 샘플링하는 기법을 사용하는 LPL 방법을 사용한다. 하지만, hidden terminal 문제해결이나 멀티 패킷 전송 기능, 프레임 분할 기능, 그리고 동기화 과정은 B-MAC에서 지원하지 않으므로 필요한 경우 S-MAC이나 T-MAC은 상위계층에서 수행되어야 한다. 또한, 주기적인 사이클 동

기 과정이 없기 때문에 listening start time이 고정되어 있지 않다. 또한, 이러한 B-MAC은 자체의 RTS/CTS 기능과 프레임 분할 기능이 없으므로 상위에 S-MAC이나 T-MAC등의 다양한 추가 MAC을 사용한다.

III. 제안된 MAC 프로토콜

II장에서 설명된 프로토콜들은 USN 환경에서 한가지의 특성만을 고려하는 프로토콜이다. 하지만 USN의 장점이 크게 부각되고 이에 대한 연구 개발이 활성화됨에 따라, 가까운 미래에 센서 노드의 크기는 더 작아지고, 기능 및 성능은 크게 향상되고, 가격 측면에서도 낮아지게 될 것으로 예상되고 있다. 또한 USN의 적용되는 분야가 확장됨에 따라 다수 개의 USN이 상호 혼재하는 단계를 거쳐, 궁극적으로 하나의 USN을 통해 다수의 응용 서비스가 제공되는 단계로 진화될 것으로 전망된다. 미래의 USN에서도 가장 중요한 성능 요소는 센서 노드들이 자신의 역할을 적절한 수준으로 수행하면서도 에너지 소비량을 최소화하여 네트워크 동작 수명을 최대화 하는 것이라 예상하기 때문에, 에너지 효율적 요소를 최대한 유지하면서 USN의 QoS를 보장할 수 있는 메커니즘을 제공할 수 있는 MAC 프로토콜이 필요하다.

이 연구에서는 가장 대표적인 MAC프로토콜인 S-MAC을 기반으로 하여, 다양한 데이터 패턴에서 요구되는 QoS를 제공하는 메커니즘을 제안한다. 본 논문에서는 데이터를 송신하는 노드가 RTS를 전송할 때, 데이터 패턴과 요구되는 QoS 단계의 두 가지 파라미터를 포함하여 전송한다. 데이터 패턴은 4가지 중 하나를 지정하며, QoS단계는 에너지 효율성, 지연 민감형, 신뢰성, 전송률 등 4 가지를 나타낼 수 있다. 수신측 노드에서는 해당 노드의 큐 점유율 등 자원의 상태와 요구되는 두 가지 파라미터에 따라 duty 사이클을 결정하여, 확정된 QoS정책을 포함하여 송신 측 노드에 응답한다. 그림 1은 제안된 MAC 프로토콜에서 RTS와 CTS 프레임 형식을 나타낸다. 제안된 RTS와 CTS 프레임 패킷에 기술된 QoS 정보를 기반으로 MAC 프로토콜의 동작을 동적으로 변화 시켜 응용 프로그램이 요구하는 네트워크 성능을 만족시킬 수 있다.

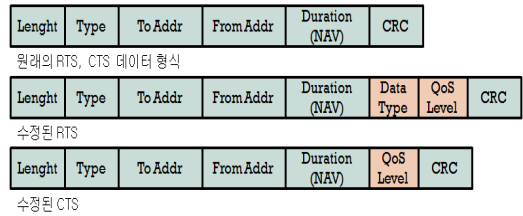


그림 1. 제안된 RTS와 CTS 프레임 형식
Fig. 1 RTS and CTS frame formats which are proposed

제안된 프로토콜은 에너지, 신뢰성, 확장, 전송률의 4 가지 QoS 요소를 고려하여 MAC프로토콜을 디자인하였고, 각 QoS 요소는 5단계를 두어 동작 변화 정도를 조절할 수 있도록 하였다.

3.1 에너지소비를 줄이기 위한 제안 기법의 동작 방법

MAC 프로토콜은 통신 에너지 소모면에서 가장 큰 영향을 미치는 계층이기 때문에, 센서 네트워크와 관련된 많은 논문들에서는 MAC프로토콜에서의 효율적 에너지 소모 연구에 초점을 맞추어 왔다. 제안된 프로토콜 역시 센서 네트워크의 에너지 효율성을 고려하여 S-MAC과 같이 주기적인 listen/sleep 기법을 사용하고 있다. 하지만 listen 및 sleep 시간이 고정된 S-MAC과는 다르게, 패킷에 기술된 QoS가 에너지와 관련된 요소일 경우 sleep시간을 동적으로 증가시킴으로써 에너지 소모를 효과적으로 줄일 수 있도록 설계하였다. Sleep시간을 증가한다는 의미는 결국 그만큼 오랜 시간 RF의 전원을 절약할 수 있기 때문에 에너지 소모를 줄일 수 있다. 패킷에 기술된 에너지 QoS필드를 통해 패킷을 생성한 응용 계층의 요구사항을 인식하고, 이를 위해 자신의 sleep 시간을 증가시킴으로써 에너지 소모를 최소화하는 것이다. 이 때, 한 가지 고려해야 할 사항은 주변 노드들과의 동기화 문제이다. 동기화 문제를 해결하기 위해 sleep 시간을 증가 시킬 경우 컴파일 시 미리 설정한 listen/sleep 주기의 배수가 되도록 증가시킨다. 그림 2와 같이 제안 기술에서 에너지 효율성을 위해 증가 시킨 listen/sleep주기가 기본 주기의 배수가 될 경우, 변화를 주지 않은 노드의 두 번째 혹은 그 배수의 listen 시간에 동기화가 맞춰지게 된다. 제안된 기법에서 listen/sleep 주기의 증가 배수는 응용 프로그램이 설정한 QoS 단계에 따라 달라진다.

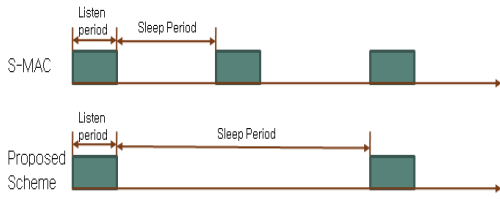


그림 2. 동기화를 위한 listen/sleep 배수 증가 기법
Fig. 2 Listen/sleep multiple increase techniques for a synchronization

3.2 패킷 전송 지연을 줄이기 위한 제안 기법의 동작 방법

listen/sleep 주기를 갖는 MAC 프로토콜들은 에너지 효율성이란 측면에서 큰 강점을 갖지만, 센서 노드가 일단 sleep 상태로 들어가면 다음 listen 주기 전까지는 계속 RF Off 상태를 유지해야 하기 때문에 데이터 송수신이 불가능해진다. 즉, 한 노드가 다른 노드로부터 listen기간에 어떤 데이터를 전송을 한다고 했을 때, 전송이 끝나는 시점에서 sleep기간이 됐을 경우, 데이터를 전송 받은 노드는 이 데이터를 다른 노드로 listen기간이 시작되기 전까지 전송할 수 없게 된다. 이때 자신의 listen 구간이 돌아올 때까지 데이터 전송을 보류함으로써 유발되는 데이터 전송 지연 문제가 발생한다. 이러한 문제는 sleep기간을 동적으로 변경시킴으로써 해결할 수가 있다. 즉, 설정한 listen/sleep 주기가 짧을수록 전송 지연은 줄어들며, listen/sleep 주기가 길수록 전송 지연은 증가하기 때문에, sleep기간을 동적으로 감소시킴으로써 지연을 줄일 수 있게 된다.

방법 센서 네트워크와 같은 측정된 센싱 데이터 시간이 매우 중요한 응용계층일 경우, 에너지 효율성 보다는 데이터 전송 지연을 최소화할 수 있는 네트워크 성능을 요구하게 된다. 이러한 지연 QoS를 최적화하기 위해, 에너지 효율적인 방법과 반대로 listen/sleep 주기를 1/2, 1/4, 1/8, 1/16과 같은 배수 형태로 줄여서 패킷 지연을 감소시킨다.

3.3 신뢰성을 증가시키기 위한 제안 기법의 동작 방법

제안된 프로토콜은 S-MAC을 기반으로 하기 때문에 경쟁 기반 프로토콜을 사용한다. 즉, 어떤 노드가 Sleep

기간에 환경정보를 획득했을 경우 이 노드는 listen기간에 이 데이터를 전송하려고 시도하게 된다. 주변의 이웃 노드도 어떤 정보를 획득했을 경우 동일하게 listen기간에 데이터를 전송하려 하기 때문에 충돌 문제가 발생하게 된다. 쿼리를 기반으로 하는 데이터 리포팅의 경우, 싱크 노드는 특정 노드에게 질의를 보낼 때, 센서 노드들도 메시지를 전송하려고 준비하기 때문에 충돌이 발생하여 질의가 손실 될 수 있다. 이때 전송되는 메시지가 매우 중요한 경우, 문제가 발생할 수 있기 때문에, 이 질의가 손실될 경우 데이터를 받을 수 없으므로 여러 번 재전송할 수 있는 확장성 QoS를 설정하여 질의가 센서 노드에게 전달되도록 하는 메커니즘을 제안한다. 제안된 프로토콜은 응용에서 신뢰성 향상을 요구할 경우, QoS 단계에 따라 재전송 횟수를 설정함으로써, 충돌이 발생하더라도 여러 번의 재전송을 통해 전송을 함으로서 신뢰성 있는 전송을 가능하게 하였다.

3.4 전송률을 증가시키기 위한 제안 기법의 동작 방법

빠른 주기로 계속 데이터를 생성하여 전송하는 응용의 경우, 이 데이터를 빠르게 처리할 수 있는 메커니즘이 필요하다. USN환경에서 센서 노드들이 빠른 주기로 계속 주변 정보를 획득하고 전송을 보내는 경우에는 높은 전송률을 요구할 것이다. 따라서 제안된 프로토콜은 많은 데이터가 연속적으로 싱크로 전송될 경우, listen/sleep주기를 짧게 변경하여 전송률을 높일 수 있는 방법을 제안한다. 전송률에 대한 QoS가 요청되면, 미리 정해진 listen/sleep주기를 1/2, 1/4, 1/8과 같이 줄임으로써 높은 전송률을 얻을 수 있다.

IV. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 NS-2 시뮬레이터에 구현하였고, 4가지 응용 시나리오를 만들어 제안 기법과 S-MAC을 비교하였다. 드문 데이터 리포팅, 이벤트 드리븐 데이터 리포팅, 쿼리를 기반으로 하는 데이터 리포팅, 주기적인 데이터 리포팅의 4가지 시나리오를 사용한다. 기본적으로 그리드 프로토콜[8]을 라우팅 프로토콜로 사용하며, 쿼리를 기반으로 한 데이터 보고

일 경우 디퓨전[9]에서 사용된 쿼리 기법을 참고하여 구현하였다.

4.1 실험 환경

그림 3과 같은 센서 네트워크를 형성한다. 여기에서 왼쪽 모서리에 위치하는 0번 노드는 싱크노드이고, 6, 27, 42, 45, 48번이 데이터를 생성하게 된다.

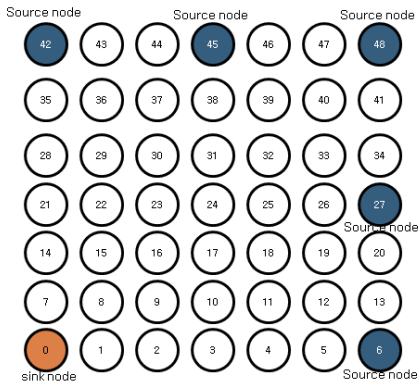


그림 3. 실험 노드 배치
Fig. 3 Experiment node arrangement

에너지 소모는 RF TX, RX, Sleep시 24.75mW, 13.5mW, 15uW를 소모하도록 설정하였다. 노드와 노드 사이는 50m이며, 전송 거리는 55m로 설정하였다. listen/sleep 주기로는 listen을 100ms로 sleep 주기를 3900ms로 설정하였다.

4.2 실험 결과

1) 드문 데이터 리포팅에서의 전체 에너지 소비량 비교

6, 27, 42, 45, 48노드는 1분마다 한 번씩 데이터를 생성하는 싱크 노드에게 전송한다. 아래 그림은 QoS에 따른 전체 에너지 소비량을 비교한다. 제안된 알고리즘은 QoS단계를 증가 시키면 listen/Sleep 기간을 기존에 설정된 값의 두 배로 증가시킴으로서 에너지 소비를 줄이게 된다. 그림 4에서 보는 것과 같이 QoS 단계가 증가함에 따라 스케줄 주기를 2배 3배, 8배, 16배로 증가시키기 때문에 S-MAC과 비교하여 매우 적은 에너지를 소비한다.

2) 이벤트 드림 데이터 리포팅에서의 평균지연 시간 비교

특정 이벤트를 감지하였을 때, 감지된 정보를 빠르게 싱크로 전송을 요청하는 응용에서, 지정된 데이터 생성 노드들이 순차적으로 특정 시간마다 이벤트를 감지한다고 가정한다. 제안된 프로토콜은 QoS를 증가시키면 미리 설정한 listen/sleep 주기를 감소시킴으로서 지연을 줄여 빠르게 싱크까지 전송하도록 한다. 그림 5에서 보는 것과 같이 QoS가 1~4까지 변경됨에 따라 listen/sleep주기를 1/2배, 1/4배, 1/8배, 1/16배로 감소시켜 S-MAC과 비교하여 매우 작은 지연시간을 가진다는 것을 볼 수 있다.

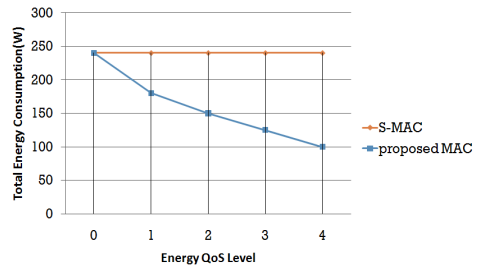


그림 4. 전체 에너지 소비량
Fig. 4 Whole energy consumption

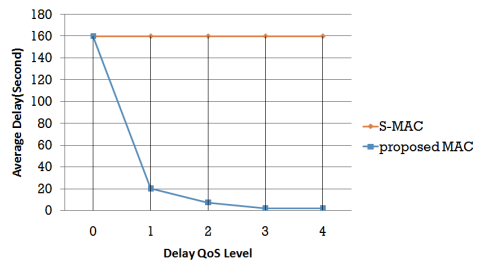


그림 5. 평균 지연 시간
Fig. 5 Average delay time

3) 쿼리를 기반으로 하는 데이터 리포팅에서의 전달 비교

싱크 노드가 지정된 데이터 생성 노드들에게 전송하고, 그 질의 대한 응답으로 데이터를 싱크에게 전송하는 시나리오를 사용한다. 질의가 손실될 경우, 노드가

질의를 받을 수 없으므로 제안된 기법에서는 확장성 QoS를 설정하여 높은 전달 비율을 유지하여 질의가 전송될 수 있도록 한다. 그림 6와 같이 QoS단계가 증가할 때마다 기본이 3회인 재전송 횟수를 증가시켜 메시지를 전송 받을 수 있게 하였다. S-MAC과 비교하여 높은 전달 비율을 가짐을 알 수 있다.

4) 주기적인 데이터 리포팅에서 전체 전송률 비교

선택된 노드들이 빠른 주기로 데이터를 계속 생성하여 전송하는 응용으로, 지정된 데이터 생성 노드들은 4초마다 한 번씩 데이터를 생성하여 싱크 노드에게 전송한다고 가정한다. 제안된 프로토콜은 그림 7에서와 같이 미리 설정된 listen/sleep주기를 감소시켜 높은 처리량을 얻을 수 있다. QoS단계를 1~4로 증가시킴에 따라 listen/sleep주기를 1/2, 1/4, 1/8, 1/16으로 감소시켜 S-MAC과 비교하여 높은 전송률을 나타낸다.

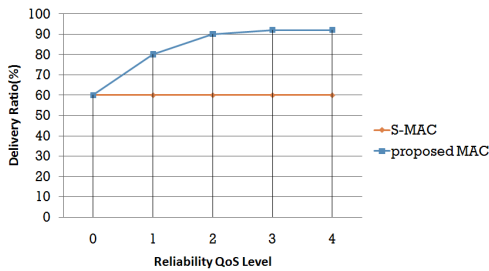


그림 6. 전달 비율
Fig. 6 Delivery ratio

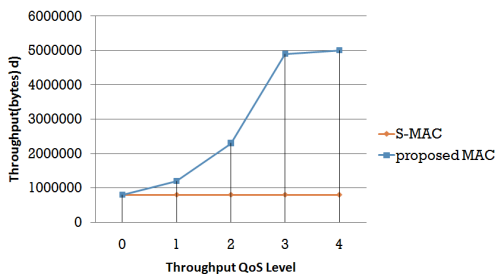


그림 7. 전송률
Fig. 7 Transmission rate

V. 결론

가까운 미래에는 응용에 따라 USN가 전달하는 데이터 패턴은 드문 데이터 리포팅, 연속적인 정보 모니터링, 이벤트 트리븐 데이터, 쿼리를 기반으로 하는 데이터 등의 여러 패턴이 혼재하게 될 것이다. 이러한 데이터 패턴들은 각각이 요구하는 지연, 에러 비율, 전송률 등의 QoS 특성이 약간씩 다르게 된다. 본 논문에서는 데이터 특성에 따라 QoS를 보장해 줄 수 있는 MAC프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 하나의 USN 환경에서 드문 데이터 리포팅, 지연, 신뢰성, 전송률 등 다수의 서비스를 제공함으로써, QoS에 적합하게 동작하여 서비스에 따라 효과적으로 동작하여 불필요한 에너지의 소비를 최소화 할 수 있었다. 센서 노드의 listen 및 sleep 시간을 제안된 방법으로 동적으로 감소시킴으로서 전송률을 높이고, 센서 네트워크의 수명을 연장하는 기법은 센서 네트워크뿐만 아니라 저 전력 통신이 요구되는 미래 유비쿼터스 분야에서도 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (IITA-2008-(C1090-0801-0047))

참고 문헌

- [1] 이우철, "무선 센서망의 MAC 프로토콜에서 효율적인 에너지 소비를 위한 parameter 연구", 동의대학교 대학원, 2006.
- [2] 한백전자 기술연구소, "유비쿼터스 센서 네트워크 시스템", ITC, 2006.
- [3] Deborah Estrin, John Heidemann and Wei Ye, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor Networks", in proceeding of the IEEE INFOCOM, pp.1567-1576, 2002.
- [4] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, "Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks", IEEE Wireless Commun. and Networking Conf., Vol. 3, No. 21-25, pp.1534~1539, March 2004.
- [5] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive

Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", The first ACM Conf. on Embedded Network Sensor Systems(Sensys 2003), Los Angeles CA, Nov. 2003.

- [6] G. Lu, B. Krishnamachari, and C.S. Raghavendra, "An Adaptive Energy Efficient and Low-latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks", Proc. of 18th Int'l Parallel and Distributed Proc. Symp, pp.26-30, Apr. 2004.
- [7] D. Culler and J. Hill, J. Polastre, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks", in Proc. of ACM SenSys, Baltimore, MD, USA, Nov. 2004.
- [8] G. Anastasi, M. Conti, E. Gregori, A Falchi, A. Passarella, "Performance Measurements of Mote Sensor Networks", in ACM/IEEE MSWIM 04, Oct. 2004.
- [9] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: a Scalable and Robust Communication Paradigm ofr Sensor Networks", in ACM MobiCom, 2000.

저자 소개

김성훈(Seong-hun Kim)

2006 순천대학교 멀티미디어 공학과(공학사)
 2007. 6~현재 : 순천대학교 대학원
 ※관심분야 : 무선 센서 네트워크, 멀티미디어 통신



고선복(Sun-bok Goh)

1984 순천대학교 가정교육과(학사)
 1996 순천대학교 컴퓨터교육과(석사)
 2008 순천대학교 컴퓨터학과(박사)

※관심분야 : RFID/USN, 데이터베이스, 멀티미디어 통신



정창렬(Chang-ryul Jung)

1999 순천대학교 컴퓨터교육과(석사)
 2005 순천대학교 컴퓨터학과(박사)
 2003. 6 : Alberta State University,
 Canada, Visiting Researcher.

※관심분야 : 정보보안, RFID/USN, 전자상거래, 이동에이전트, 데이터베이스



이성근(Sung-keun Lee)

1985 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1987 고려대학교 대학원 졸업(공학석사)

1995 고려대학교 대학원 졸업(공학박사)
 1996 삼성전자 네트워크 개발팀(선임연구원)
 1997~ 현재 순천대학교 정보통신공학부 부교수
 ※관심분야 : RFID/USN, 인터넷 QoS, 멀티미디어 통신, 광대역 프로토콜