

논문 2007-02-14

양방향 USN기반 원격 화재 감시 시스템 구현

(Implementation of A Remote Fire Monitoring System Based on Bidirectional USN)

정태윤*, 정한수, 박래정, 이형봉, 문정호

(Tae-Yun-Chung, Han-Su Chung, Hyung-Bong Lee, Lae-Jeong Park, Jung-Ho Moon)

Abstract : In general, wireless sensor networks composed of many nodes which are located in ad. hoc environment and send the gathered data to sink node support only one way traffic. In those cases, it is not possible to send commands to nodes to react for exceptional events because the networks can not deliver downward data and the nodes run in pre-assigned fixed schedule. This paper expands the WSLP to bidirectional WSLP and implements a fire monitoring system on it, and shows the feasibility of bidirectional USN by demonstrating the usability of the process of reaction to a fire in the implemented fire monitoring system.

Keywords : S-MAC, T-MAC, B-MAC, WSLP, bidirectional WSLP

1. 서론

무선 센서네트워크는 전력 소모가 극히 적은 센서 노드들이 RF를 통신 매개체로 삼아 서로가 통신 중개 역할을 담당함으로써 구성되는 비정형적인 통신 네트워크이다. 이 때 센서 노드들은 풍부하지 못한 전력 공급을 전제로 제작되기 때문에 비교적 연약할 뿐만 아니라, 때로는 이동이 요구될 때 있어서 네트워크 구성이 고정되지 못하므로 변화에 잘 적응해야만 한다. 일반적으로 다수의 노드들이 불규칙적으로 분포하는 환경에서의 무선 센서네트워크는 데이터 이동이 센서 노드로부터 싱크노드 방향으로만 이루어지는 일방향으로 구성된다. 그 이유는 센서 노드 자체가 복잡하고 고기능을 갖는 큰 규모의 프로토콜을 감당할 수 있을 만큼 강력하지 못한 데도 있지만, 그 보다는 데이터 수집이라고 하는 고유의 업무역할 특성에 있다. 즉, 센서노드가 측정된 데이터를 단순히 지정된 일정에 따라 올려 보내기

만 하는 매우 수동적인 역할만 담당하면 되므로, 이를 지원하는 통신 네트워크 또한 일방향이면 만족되는 것이다. 따라서 현재 제안되어 있는 대부분의 USN은 일방향 위주이며, 길거나 예측 곤란한 데이터 전송 지연 등의 비싼 비용의 감내 하에 제한적인 양방향이 가능하다.

그러나, 화재 감시 등과 같이 수집과 통제를 동시에 필요로 하는 모니터링 시스템에서는 제한적 양방향 USN만으로는 만족스럽지 못하다. 따라서, 이 논문에서는 보다 효율적인 양방향 USN의 하나로써, 일방향인 WSLP[1]를 양방향으로 확장하기 위한 방안을 제시하고, 그 결과를 원격 화재 감시 시스템의 구현에 적용한다. 이를 위하여, 양방향 USN을 탑재하고 활용할 센서노드(모트) 및 RF 모듈, 싱크노드와 관계 센터를 연결할 게이트웨이, DB 서버, 웹 기반 모니터링 소프트웨어 등 원격 화재 모니터링에 요구되는 모든 요소를 개발하여 그림 1과 같이 하나의 완성된 시스템을 개발함으로써 양방향으로 확장된 WSLP의 가능성을 조명한다.

이 논문은 제 II장 USN MAC 관련 연구, 제 III장 WSLP의 양방향 확장 방안, 제 IV장 양방향 USN(WSLP) 기반 원격 화재 감시 시스템 구현, 제 V장 결론 등의 내용으로 구성되어 있다.

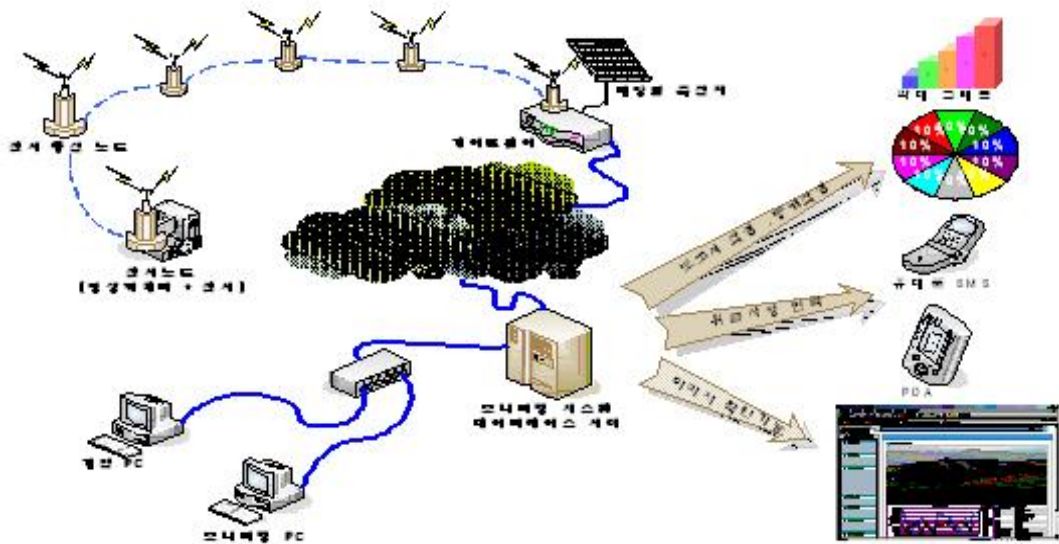
* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 6. 7. 채택확정 : 2007. 8. 30.

정태윤, 박래정, 문정호 : 강릉대학교 전자공학과

이형봉 : 강릉대학교 컴퓨터공학과

정한수 : 강원임베디드소프트웨어연구센터



II. USN MAC 관련 연구

전통적인 네트워크 시스템에 비하여 USN 시스템에서 어려운 점 중의 하나는 전송 매체인 RF를 최소의 전력소모로 어떻게 효과적으로 공유할 수 있는가 즉, 효율적인 MAC을 어떻게 구성할 것인가 하는 문제이다.

1. USN 프로토콜 계층

OSI 참조 모델의 네트워크 계층은 하위의 데이터링크 계층의 지원을 받아 임의의 두 노드 혹은 여러 노드간의 통신을 이룰 수 있는 경로를 유지하는 라우팅 기능을 제공한다[2]. 따라서, 이 계층의 라우팅 기능의 한계는 하위의 데이터링크의 특성에 의존할 수 밖에 없다. USN 환경에서는 이러한 두 계층의 밀접한 관계성과 노드의 메모리 크기, 프로세서의 성능 한계성 등으로 두 계층이 구별되지 않는 경우가 많다[1, 3]. MAC은 물리계층에 대한 접근을 통제하면서 데이터링크 계층에 프레임 수준의 데이터 전송 기능을 제공하는데, 특히 무선 매체의 경우 그 매체의 특성상 다양한 방법의 MAC 프로토콜들이 제안되어 있다.

무선 매체를 위한 MAC은 크게 경쟁 기반 방식과 경쟁 지양 방식으로 분류할 수 있다. 경쟁 기반

방식은 전송 매체를 공유하는 노드들 각각이 매체의 사용여부를 체크한 후, 매체가 유휴 상태일 경우 전송을 시작한다. 이 때, 충돌을 최대한 예방하기 위해 랜덤으로 주어지는 대기 시간을 갖는 것이 보통이다.

경쟁 지양 방식은 매체를 공유하는 모든 노드들 사이에 어떤 경우에도 전송 충돌이 일어나지 않도록 하는 방식으로, 전형적으로 TDMA, CDMA 등을 사용한다. 이 중 TDMA에서는 각각의 노드가 자신에게 전송이 허용되는 시간적 id를 부여받고, 자신의 id에 대응되는 시간에만 전송 할 수 있다. 이 방식은 전송 충돌을 예방한다는 측면에서 매우 효율적이나, 분산된 노드들 사이에 존재하는 시간차를 해결해야 하는 부담이 크다.

2. 경쟁 기반 무선 MAC

USN을 위한 본격적인 MAC은 S-MAC(Sensor-MAC)[4]으로부터 출발하였다. S-MAC은 주위의 노드들로 구성된 가상 클러스터가 주기를 맞추어 listen과 sleep을 반복함으로써 불필요한 상시 listen에 따른 전력소모를 줄인다. 그러나, listen 주기에서는 기본적으로 경쟁 기반 통신 방식을 그대로 사용한다. 최초의 주기 동기화는 랜덤 시간동안의 대기 후에도 주기를 알리는 SYNC 패킷이 받지 못한 어느 한 노드가 자신의 일정을 방송함으로써 시각된다. 이 주기를 받은 다른 노드들은 이 스케줄을 기록하여 listen/sleep 주기에 참여한다. 또한 어느 한 노드는 주위의 다른 가상 클러스터의 멤버도 될 수 있기 때문에 양 쪽 클러스 간의 전달 기능을

담당할 수도 있다. listen 구간(duty cycle)에서 RTS-CTS에 의해 채널을 확보한 노드들은 통신을 계속 하고, 나머지 노드들은 그들의 통신 시간을 고려하여 곧 바로 sleep에 들어간다. 이 기법은 채널을 예약하는 결과로 이어지기 때문에 메시지 단위의 전송이 가능하고, 이는 곧 전체적인 데이터 전송 지연시간의 단축을 의미한다. 그림 2에 S-MAC의 전송 방식을 보였다. 이 그림은 listen 주기가 크게 SYNC 구간과 RTS-CTS 구간으로 구분되어 있으며, RTS-CTS 구간이 끝나면 다른 노드들은 모드 sleep에 들어가고, 해당 노드들은 통신을 계속함을 보이고 있다.

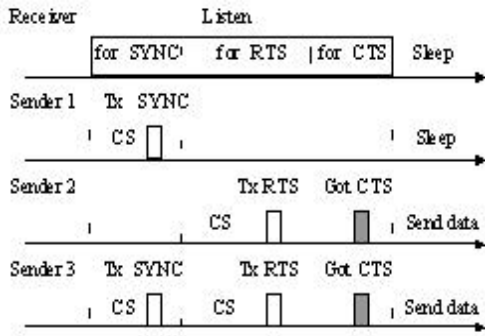


그림 2. S-MAC의 listen-sleep 주기
Fig. 2. Listen-sleep cycle of S-MAC

T-MAC(Timeout-MAC)[5]은 S-MAC에서 고 정시켰던 listen 구간에 융통성을 부여하여, listen 구간 중 일정시간 이상동안 통신이 존재하지 않으면 예정보다 일찍 sleep에 들어감으로써 전력 소모의 감소를 시도하였다. 이 방법은 통신량이 꾸준한 경우에는 S-MAC과 비슷하지만, 통신량에 어느 정도 이상 편차가 있을 때는 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그림 3에 S-MAC과 대비되는 T-MAC의 개념을 보였다. 이 그림의 데이터 ③, ⑦, ⑪은 S-MAC에서는 다음 listen 구간에서 바로 전송되지만, T-MAC에서는 이전 데이터와의 시차가 일정 시간 t보다 크기 때문에 한 구간이 더 지연된 후 전송되고 있다. 즉, 최대 listen 구간은 아직 남아 있지만, 유휴 상태가 일정 시간 이상 지속되면 당분간 데이터 발생이 없을 가능성이 높을 것이라는 가정에 근거한다.

B-MAC(Berkley-MAC)[6]은 무선 매체의 유휴 및 사용 상태의 탐지를 매우 적은 전력으로 탐지할 수 있는 LPL(Low Power Listening)기능을 전제로 강제적인 동기화를 요구하지 않고 CSMA에 충실한 MAC이다. 이 방법은 각 노드가 독립적으로 LPL과 sleep 주기를 반복하는데, LPL 구간 중 어떤 전송의 시작도 인지할 수 있도록 전송 프레임의 프리앰블을

충분히 길게 하였다. 이 때 아주 민감한 사항은 LPL 구간에서 순간적인 노이즈 등에 영향 받지 않고 실제의 전송만을 정확하게 판단하여(CCA:Clear Channel Assessment) 정상적인 listen 모드로 전환하는 방법이다. 이를 위하여 B-MAC은 매체의 에너지 변화 추세를 지수 이동 평균으로 유지·관리하여 순간적인 노이즈에 의한 오판을 예방함으로써 불필요한 전력 소모를 최대한 예방한다. CCA의 정확도는 LPL 뿐만 아니라, 전송을 시작하기 전 충돌을 회피하는 단계에서도 매우 중요하다. 또한, B-MAC은 일반적인 경쟁기반 CSMA에서와 마찬가지로 전송 개시 난수에 의한 무작위 기다림을 적용함으로써 충돌을 최대한 회피한다.

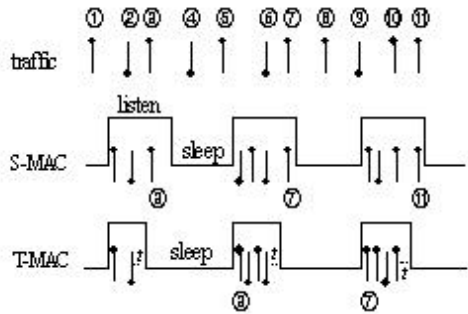


그림 3. T-MAC의 sleep 구간 적응
Fig. 3. Sleep interval adaptation of T-MAC

```

Interface MacControl {
  Command result_t EnableCCA();
  Command result_t DisableCCA();
  Command result_t EnableAck();
  Command result_t DisableAck();
}
Interface MacBackoff {
  event uint_16_t initialBackoff(void *msg);
  event uint_16_t congestionBackoff(void *msg);
}
Interface LowPowerListening {
  command result_t SetListeningMode(uint8_t mode);
  command uint8_t GetListeningMode();
  command result_t SetTransmissionMode(uint8_t mode);
  command uint8_t GetTransmissionMode();
  command result_t SetPreambleLength(uint16_t bytes);
  command uint16_t GetPreambleLength();
  command result_t SetCheckInterval(uint16_t tms);
  command uint16_t GetCheckInterval();
}

```

그림 4. B-MAC의 설정 인터페이스

Fig. 4. Configuration interface of B-MAC

그 외에 전송 응답(acknowledge)을 효율적으로 성사시키기 위해 데이터 수신 직후 채널 확보를 유지한 채 ACK를 보내는 MAC 계층 자동응답 기능

을 고안하였다. 이와 같이 B-MAC은 LPL과 sleep 주기 및 정확한 CCA에 의한 listen 부담의 감소와 랜덤 기간동안의 기다림에 의한 충돌예방으로 전력을 절약한다. 이와 더불어, 이러한 기능들을 유연하게 설정할 수 있도록 그림 4에 보인 MAC 인터페이스(TinyOS환경)를 제공함으로써 상위 계층과 뚜렷하게 분리되도록 하였다. 즉, B-MAC은 본래 MAC 계층으로서 서비스 제공자 역할에 충실하여 보다 유연하고 잘정의된 네트워크 계층 구성을 돕는다.

3. 비경쟁 기반 무선 MAC

경쟁을 하지 않고 무선 매체를 전용으로 확보하여 사용하는 방법은 어떤 방법이 되었던 다른 노드가 침범하지 않게 하는 자신만의 고유한 채널을 확보할 수 있어야 한다. 이를 동일한 매체에 적용하기 위한 가장 일반적인 방법은 시간에 따라 전송 권한을 할당하는 TDMA 방식이다. 따라서, TDMA는 엄격한 시간적 동기화가 유지되어야 하고, 여기에 참여하는 노드들은 물리적으로 매우 밀접한 클러스터를 형성해야 한다. 이에 따라 클러스터간의 간섭 통제나, 클러스터 내 노드들의 추가·제거 부담이 커지기 때문에, 클러스터를 구성하는 노드 수에 상당한 제한이 있는 것이 보통이다. USN을 목적으로 하는 TDMA의 예로 Bluetooth[7]를 들 수 있는데, Bluetooth는 8개 이내의 노드들이 마스터를 중심으로 물리적인 클러스터를 형성하여 이동 중 무선 통신 네트워크를 형성한다.

WSLP(Wireless Sensor Line Protocol)[1]은 본 논문의 기반이 되는 프로토콜로서, 분산 TDMA 개념을 적용하여 전체 노드들을 논리적인 선형으로 배치함으로써 하나의 가상 링크를 형성한다. 분산 TDMA는 각 노드에 대한 채널(시간) 할당을 중앙에서 하는 것이 아니고, 각자의 노드들이 협력하여 스스로 자신의 시간적 채널을 할당하거나 변경한다는 점에서 중앙 집중형 TDMA와 구별된다. WSLP는 그림 5와 같이, 전체 전송 시간을 균일화된 작은 시간 조각(time slot)으로 구성하고, 시간의 경과와 함께 논리적 선형을 형성하고 있는 노드들 중 세 노드에게 폭포수 형태로 매체의 공유를 유지시킴으로써 궁극적으로 단말 노드에서 싱크 노드까지 통신 경로가 형성될 수 있도록한다. 그림 5에서 시간 조각을 3ms라고 할 때 시간적 공간에서 약 1,000개의 노드가 형성하는 링크의 존재 시간은 약 3초가 되지만, 각 노드는 약 9ms 동안만 활동하므로 전력

소모가 크지 않다.

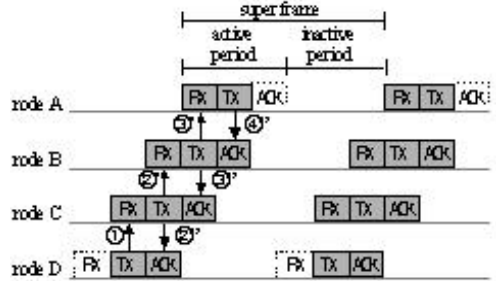


그림 5. WSLP의 가상 링크

Fig. 5. Virtual link of WSLP

위의 USN MAC들은 모두 라우팅을 위한 네트워크 계층에서의 부하가 크고, 양방향성 측면에서 데이터 전송지연이 길거나 예측이 어렵기 때문에 제한적일 수 밖에 없다.

III. WSLP의 양방향 확장 방안

1. WSLP의 동작 방식

WSLP는 어느 특정 시간 조각에서 반드시 세 개의 노드가 통신에 참여하여 그 중 가운데 노드 하나만이 전송을 하고 나머지 앞·뒤 두 노드는 수신 활동만 수행하도록 한다. 그림 5에서 노드 C는 노드 D로부터 데이터를 받고(①), 다음 시간 조각에서 노드 B로 전송한다(②), 이 때 노드 B는 전달할 데이터를 수신하는 것이고, 노드 D는 그 내용을 엿들어 응답으로 간주한다(③), 이와 같은 과정을 반복하기 위하여 각 노드는 sleep 상태에 있다가 자신의 차례가 되면 깨어나 데이터 수신, 데이터 전송, 응답 수신의 주기를 마치고 다시 sleep 상태로 전환한다.

WSLP의 장점은 S-MAC, T-MAC, B-MAC 등과 같이 경쟁 기반에서 존재할 수 밖에 없는 충돌을 원천적으로 예방할 수 있다는 데 있다. 뿐만 아니라 시간 동기화가 용이하다는 또 다른 장점도 있다. 예를 들어 그림 5에서 노드 B는 노드 C로부터 데이터를 수신하는 순간을 기준으로 시간 조각 및 슈퍼프레임(super frame)의 크기를 고려하여 깨어날 시간을 다시 설정하면 되므로 시계(타이머)의 차이로 인한 시차가 누적되는 일이 일어나지 않는다.

2. WSLP의 양방향 확장

그림 5는 단말노드에서 싱크노드 쪽으로 형성되는 일방향 WSLP 가상 링크를 보였는데, 이 논문에서는 양방향 USN 구현을 위하여 WSLP를 기반으로 그림 6의 ∨형 양방향 가상 링크와 그림 7의 ∧형 양방향 가상 링크를 고려하였다. ∨형 WSLP는 싱크노드로부터 단말노드까지 하향 가상링크를 형성한 후, 곧바로 단말노드에서 싱크노드 방향으로의 상향 가상링크를 형성하는 방법이고, ∧형 WSLP는 원래대로 단말노드에서 싱크노드 방향으로의 상향 가상링크를 형성한 후, 곧이어 싱크노드로부터 단말노드까지의 하향 가상링크를 형성하는 방법이다.

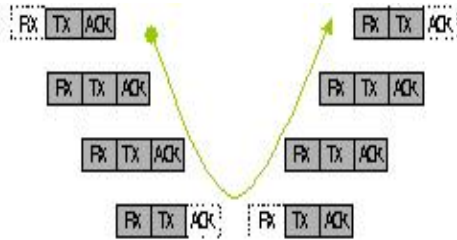


그림 6. ∨형 양방향 WSLP 가상 링크
Fig. 6. ∨ type bidirectional virtual link

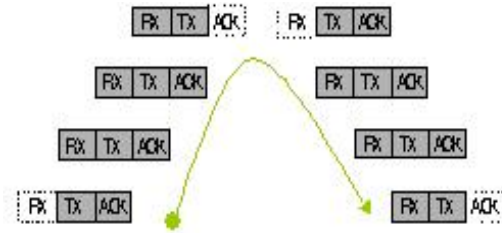


그림 7. ∧형 양방향 WSLP 가상 링크
Fig. 7. ∧ type bidirectional virtual link

∨형 WSLP와 ∧형 WSLP 사이에는 미세한 장·단점이 있는데, 싱크노드 기능의 복잡성, 하향 명령어에 대한 각 노드의 사후 대응 방안 등을 고려하여, 본 논문에서는 ∧형을 채택하였다.

3. 양방향 WSLP 패킷 포맷

양 방향 WSLP가 전달하는 패킷으로, WSLP의 시간 조각의 크기, 화재 감지를 위한 센서 데이터의 크기, 그리고 하향 명령어의 크기 등을 고려하여 패킷의 최대 길이를 51로 하고, 그림 8의 포맷을 갖도록 하였다. 이 포맷에서 data 부분은 각종 센서의 id 및 측정 값을 갖는다.

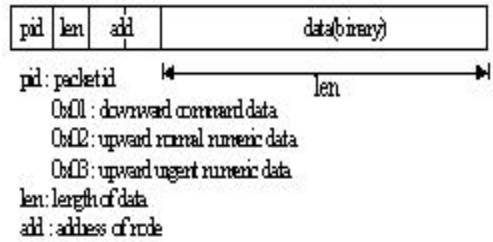


그림 8. 양방향 WSLP의 패킷 포맷
Fig. 8. Packet format of bidirectional WSLP

IV. 양방향 USN(WSLP) 기반 원격 화재 감시 시스템 구현 및 시연

III 장의 양방향 WSLP를 기반으로 노드 플랫폼, 게이트웨이, 웹기반 원격 화재 감지 소프트웨어를 모두 새롭게 구현하고 통합하였다.

1. 노드 플랫폼

본 논문에서 구현한 노드 플랫폼의 사양을 표 1에 보였다. 이 중 메모리는 향후 이미지 등 대용량 데이터의 전송을 지원하기 위해 충분히 확보하였고, RF 모듈은 야외에서 기능이 떨어지는 2.4 GHz 대신 상대적으로 우수한 900MHz 대역을 사용하기 위해 CC1100을 채택하였다. 또한, 불꽃감지센서는 전력소모가 많아 별도의 전원을 사용하였다. 그림 9는 구현된 노드 플랫폼 모습을 보이고 있다.

표 1. 노드 플랫폼 사양
Tab. Specification of sensor node



그림 9. 표 1에 따라 구현된 노드 플랫폼
 Fig. 9. Sensor node platform implemented by Tab. 1

2. 게이트웨이

2.1 게이트웨이 플랫폼

표 2. 게이트웨이 사양
 Tab. 2 Specification of gateway



그림 10. 표 2에 따라 구현된 게이트웨이 플랫폼
 Fig. 10. Gateway platform implemented by Tab. 2

게이트웨이는 한 쪽으로는 UART상의 시리얼 통신으로 싱크노드와 연결되고, 다른 한 쪽으로는 CDMA 모뎀상의 인터넷 통신으로 웹기반 화재 감시 소프트웨어(서버)와 연결됨으로써, 중앙 관제 센터와 노드 사이의 데이터 및 명령어를 전달하는 중계 기능을 담당한다. 표 2와 그림 10에 본 논문에서 구현한 게이트웨이의 사양과 그 모습을 각각 보였다. 게이트웨이는 2.2절과 2.3절의 통신 기능 외에 데이터·명령어의 긴급성이나 CDMA 통신 장에 따른 스케줄링과 버퍼링 기능을 갖는다.

2.2 게이트웨이와 싱크노드의 통신

■ 게이트웨이와 싱크노드간 패킷 포맷

게이트웨이는 임의의 시점에서 싱크노드와의 연결을 접속하거나 해제할 필요성이 있다. 이를 위하여 그림 8의 양방향 WSLP 패킷 포맷에 패킷의 시작과 끝을 알리는 플래그를 앞·뒤에 추가하여 그림 11의 포맷을 사용하였고, 패킷에 포함된 데이터에 플래그 패턴의 출현을 예방하기 위해 대피열(escape sequence) 처리를 적용하였다. 게이트웨이와 싱크노드는 패킷의 크기가 크지 않고, 1 회 접속에 1 패킷만을 주고 받으므로 별도의 흐름제어는 하지 않는다.

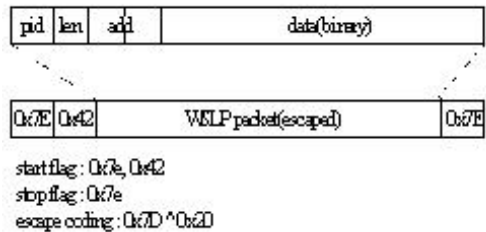


그림 11. 게이트웨이와 싱크노드의 통신 패킷
 Fig. 11. Packet format between gateway and sink node

■ 게이트웨이와 싱크노드간 통신절차

싱크노드는 그림 7의 ^형 양방향 WSLP의 상호 링크가 완료되는 시점에서 게이트웨이에게 데이터를 전달하고, 게이트웨이로부터 명령어를 내려 받는다. 즉, 게이트웨이는 싱크노드에 의해 수동적으로 접속되고, 그 주기는 양방향 WSLP의 슈퍼프레임과 같다. 그림 12에 게이트웨이와 싱크노드의 통신 절차를 보였다.

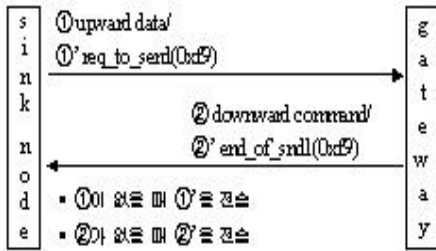


그림 12. 게이트웨이와 싱크노드의 통신 절차

Fig. 12. Communication procedure between gateway and sink node

2.3 게이트웨이와 서버(웹기반 원격 화재 감시 소프트웨어)의 통신

■ 게이트웨이와 서버간 패킷 포맷

게이트웨이는 싱크노드에서 전달 받은 패킷에 그림 13과 같이 gateway id, packet id, total length, receive time stamp를 추가하여 서버에 전달한다. 이 때 packet id와 total length는 향후 이미지 등 다른 유형의 데이터 타입 지원과 여러 개의 패킷 인코딩을 지원하기 위해 추가되었고, receive time stamp는 게이트웨이가 전달 받은 패킷을 서버에게 실시간으로 전달하지 않고 일정한 시간 간격을 두고 전송하기 때문에 필요하다.

한편, 서버에서 게이트웨이로 전달되는 패킷 포맷은 그림 9의 양방향 WSLP의 패킷 포맷 그대로 사용하되, 이를 싱크노드로 전달할 때는 그림 11의 패킷 포맷으로 변환한다.

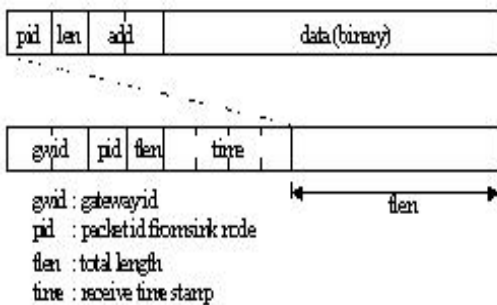


그림 13. 게이트웨이→서버 방향의 패킷 포맷

Fig. 13. Packet format for communication from gateway to server

■ 게이트웨이와 서버간 통신절차

게이트웨이와 서버의 통신은 게이트웨이의 주도로 일정한 시간 간격을 두고 주기적으로 이루어진다. 게이트웨이와 서버는 통신 선로로 CDMA 망을 사용하기 때문에 게이트웨이는 연결 요함을 받을 수 없고, 너무 빈번한 통신 접속은 비용면에서 바람직스럽지 못하기 때문이다. 다만, 센서 측정 값의 임계치 초과로 인한 긴급 데이터가 있는 경우에는 즉시 통신을 개시하여 전달한다. 게이트웨이와 서버의 통신 절차를 그림 14에 보았다.

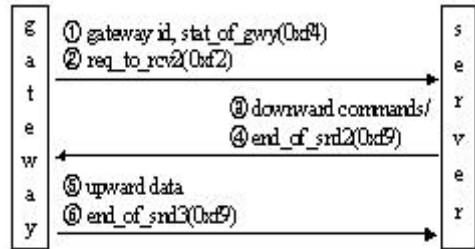


그림 14. 게이트웨이와 서버의 통신 절차

Fig. 14. Communication procedure between gateway and server

3. 웹기반 원격 화재 감시 소프트웨어

그림 15에 보인 웹기반 원격 화재 감시 소프트웨어에 구현된 주요 기능은 다음과 같다.



그림 15. 웹기반 원격 화재 감시 소프트웨어

Fig. 15. Web based remote fire monitoring software

- 게이트웨이로부터 전달된 데이터를 실시간으로 갱신하여 화면을 업데이트한다.

- 노드에 부착된 센서 측정 값의 이상 상황 판단의 기준이 되는 임계 값(threshold)을 설정하고, 해당 명령어를 게이트웨이로 전달한다.
- 이상 징후를 보고하는 긴급 데이터가 도착할 경우 SMS로 관리자에게 통보한다.
- 이상 징후의 발생 혹은 기타 필요한 경우, 노드에게 전달할 명령어를 작성하고 전송한다.
- 노드들의 물리적 위치 및 양방향 WSLP의 논리적 구성 상황에 대한 뷰를 제공한다.
- 노드별 센서의 설치 일시 및 담당자를 관리한다.

4. 양방향 USN 기반 원격 화재 감시 시스템 시연

구현된 양방향 USN 기반 원격 화재 감시 시스템을 시험하기 위해 아래와 같이 야외에 노드를 설치하고 시연한 결과, 화재 감시 시스템으로서의 기능을 발휘하고 있음이 확인되었다.

■ WSLP 수퍼프레임 설정

양방향 WSLP의 RX, TX, ACK의 시간 조각을 15ms로, 수퍼프레임 주기를 30초로 설정.

■ 야외 노드 설치

강릉에 존재하는 국보급 문화재인 객사문 주위에 노드 10개를 약 10m 간격으로 배치하고 이 중 한 개의 노드에 온도 센서를, 또 한 개의 노드에 불꽃 센서를, 그리고 다른 하나의 노드에 연기 센서를 부착.

■ 시연 시나리오

- ① 불꽃 센서로부터 약 1m 떨어진 지점에서 라이터 불을 노출.
- ② 감시 소프트웨어에 이상 징후 경고 메시지 팝업 및 SMS 전송 여부 확인.
- ③ 온도를 확인하기 위해 웹기반 소프트웨어에서 온도 센서 노드에게 온도 측정 명령 지시.
- ④ 온도 측정 명령 지시에 대한 최장 1 분내 응답 확인.
- ⑤ 불꽃 센서로부터 약 5m 떨어진 지점에서 연막탄 개봉.
- ⑥ 감시 소프트웨어에 이상 징후 경고 메시지 팝업 및 SMS 전송 여부 확인
- ⑦ 온도를 확인하기 위해 웹기반 소프트웨어에서 온도 센서에게 다시 온도 측정 명령 지시
- ⑧ 온도 측정 명령 지시에 대한 최장 1 분내 응답 확인

V. 결 론

본 논문에서 구현한 양방향 USN, 노드 플랫폼, 게이트웨이 플랫폼, 웹 기반 원격 화재 감시 소프트웨어 등 각 요소들이 통합되어 하나의 완성도 높은 원격 화재 감시 시스템으로서의 기능을 충분히 발휘하고 있음을 확인하였다. 이는 양방향 USN을 적용함으로써 보다 더 현실성 있는 응용분야를 폭넓게 개척할 수 있는 가능성이 높다는 사실을 의미한다.

다만, 감시 기능의 특성상 실시간이라는 요소가 중요하므로 하향 명령에 대한 응답 기간을 최소한으로 줄일 수 있는 방안에 대하여 더 연구되어야 한다. 즉, 본 연구에서 구현한 양방향 WSLP의 경우 수퍼프레임의 주기가 그 반응성을 결정하는 설정 요소가 되는데, 이를 줄일 경우 반응성은 높아지나 전력 소모는 많아지는 부작용이 따르게 된다. 따라서 본 논문에서 이어, 상용 AA 배터리를 기준으로 그 수명과 양방향 WSLP의 수퍼프레임 주기와 상관관계를 정교하게 표현하기 위한 실험적 연구가 더 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] 김재호, 이상신, 안일엽 외. "선형구조를 가지는 실시간 무선 센서네트워크 통신방법", 대한민국특허청, 등록특허공보, 10-0656385, 2006.
- [2] William Stallings, Data And Computer Communications 2nd Edition, Maxwell Macmillan, pp.9-12, 1989.
- [3] P. Levis, S. Madden, J. Polastre, R. Szewczyk, K. Whitehouse, A. Woo, D. Gay, J. Hill, M. Welsh, E. Brewer, and D. Culler., "TinyOS: An operating system for wireless sensor networks", Ambient Intelligence, Springer-Verlag, 2004.
- [4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", INFOCOM 2002, Vol. 3, pp.1567-1576, June 2002.
- [5] Tijs van Dam, Koen Langendoen. "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", SenSys'03, Los Angeles, November 2003.
- [6] Joseph Polastre, Jason Hill, David Culler,

"Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks", SenSys'04, Baltimore, November 2004.

[7] Specification of the Bluetooth System: Core(2001), <http://www.bluetooth.org>

Email: hblee@kangnung.ac.kr

저 자 소 개

정 태 윤

1987년 연세대학교 전기공학과 학사
 1989년 연세대학교 전기공학과 석사
 2000년 연세대학교 전기컴퓨터공학과 박사
 1989년~1996년 삼성종합기술원
 1996년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원
 현재 강릉대학교 전자공학과 교수, 강원 임베디드 소프트웨어 연구센터 센터장
 관심분야 : 임베디드 시스템, 센서네트워크, 영상 부호화
 Email : tychung@kangnung.ac.kr

문 정 호

1991년 서울대학교 제어계측공학과 학사
 1993년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사
 1998년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
 1998년~2002년 삼성전자 중앙연구소 및 휴맥스 연구소 책임연구원
 현재 강릉대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 임베디드 시스템, 센서네트워크, 디지털 제어
 Email: itsmoon@kangnung.ac.kr

정 한 수

2000년 강릉대학교 컴퓨터공학과 학사
 현재 강원 임베디드소프트웨어 연구센터 주임연구원
 관심분야 : 센서네트워크, 임베디드 시스템, RF 통신
 Email : chans2@kangnung.ac.kr

박 래 정

1991년 서울대학교 전기공학과 학사
 1993년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사
 1997년 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
 1997년~2000년 LG 종합기술원 선임연구원
 현재 강릉대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 기계학습, 최적화, 임베디드 시스템
 Email : ljpark@kangnung.ac.kr

이 형 봉

1984년 서울대학교 계산통계학과 학사
 1986년 서울대학교 계산통계학(전산과학)과 석사
 2002년 강원대학교 컴퓨터과학과 박사
 1986년~1994년 LG전자 컴퓨터연구소 선임연구원
 현재 강릉대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 운영체제, 센서네트워크, 임베디드 시스템