

유비쿼터스 센서네트워크에 적합한 스택 안정화된 나노 운영체제 커널 개발

김재영¹, 이광용², 이동명¹

¹동명대학교, ²한국전자통신연구원

jazzandtea@paran.com, kylee@etri.re.kr, dmllee@tu.ac.kr

A Development of Stack-Safe Nano OS Kernel suitable for Ubiquitous Sensor Network

Jaeyoung Kim⁰¹, Kwang Yong Lee², Dong Myung Lee¹

¹Tongmyong University, ²Electronics and Telecommunications Research Institute

1. 서 론

유비쿼터스 센서네트워크는 최소 수십 개에서 최대 수만 개의 작은 자율노드들로 구성된 분산 컴퓨팅 플랫폼으로 구성되며, 여기에 사용되는 센서노드들은 컴퓨팅 성능, 메모리, 배터리 등의 모든 자원이 극도로 제한적이며 재사용을 고려하지 않은 일회용 컴퓨팅 플랫폼으로 구성된다. 그러므로 무선 센서노드들이 극도의 저 전력 경량장치에서 동작할 수 있으면서 동시에 환경과 응용 프로그램의 변화에 대처하기 위해서는 독특한 구조의 운영체제가 필요하다. 그러나 이러한 센서노드는 극도로 제한된 크기의 메모리와 메모리 보호기능이 없는 저가의 MCU를 사용하고 있어 스택 오버플로우로 인한 MCU의 정지 문제, 에너지 저감현상에 의한 자동리셋 현상이 발생한다. 본 논문에서는 유비쿼터스 센서네트워크에 적합한 스택 안정화된 나노 운영체제(나노 Qplus)의 커널을 제시한다. 본 논문에서는 센서노드의 MCU 데드락 문제, 에너지 저감에 의한 자동리셋, 스택오버플로 등의 문제점을 확인하고 이에 대한 해결 방안 및 성능결과를 실험을 통해 제시한다.

2. 관련연구 및 문제점들

기존 컴포넌트 라이브러리의 장점을 가지는 TinyOS[1], 유연하고 동적 메모리 사용이 가능한 장점을 가진 SOS[2], UNIX C API의 지원으로 개발의 편의성을 가지는 Mantis OS[3] 등 기존 운영체제는 많은 장점을 가지지만 SOS를 제외하고는 실행 시 메모리 보호 기능을 갖고 있지 못하다. 특히, 나노 Qplus[4.5]도 메모리 보호를 위한 방법을 제시하지 못하고 있기 때문에 스택 오버플로우와 같은 문제 등에 대처할 수 있는 방법이 없다. 실제로 TinyOS도 응용 프로그램을 개발한 다음 시뮬레이터 등을 통해 스택 오버플로우가 있는지를 검사하는 수준이지 실행 시 대처하는 방법에 대해서는 제공하지 못하고 있다.

본 논문에서는 현재 공개된 나노 운영체제인 나노 Qplus 1.6 버전을 이용하여 실행 시에 스택 오버플로우와 같은 문제가 발생하여도 안정적으로 프로그램이 동작할 수 있도록 처리하는 스택 안정화된 커널 기법을 제시하고자 한다.

3. 스택 안정화된 나노 Qplus 커널 개발

3.1 기존 나노 Qplus 커널의 문제점 분석

먼저 문제 발견을 위하여 Star-Mesh Network 예제 프로그램을 실험 할 센서네트워크를 (주)옥타컴의 Nano 24 센서네트워크 플랫폼을 이용하여 라우터 노드, 싱크 노드, 가스 센서 노드, 조도 센서 노드를 각 1개씩 사용하여 구성하였다. 각 센서노드에는 나노 Qplus 1.6.1e버전 (qplusn -1.6.1e.tgz)의 커널이 사용되었다. 실험환경 및 방법으로 센싱주기는 3초로 설정하였으며 싱크노드에서 배터리를 이용하여 측정하였고, 센싱노드와 라우터 노드는 전원을 안정적으로 공급하기 위해 AC 전원을 사용하였다. 싱크노드에서는 패킷 수신 시 RED LED가 발광되며 패킷을 해석한 후 가스와 조도 값을 인지하게 되면 Green LED 및 Yellow LED를 동시에 발광한다. 또한, Green LED는 MCU의 생존성(Liveness)을 표시하기 위해 1초 단위로 발광하도록 하였다. 실험에서 확인된 문제점들은 싱크노드의 스택 오버플로우 현상에 의한 시스템 동작 멈춤 문제와 에너지 저감 등의 원인에 의한 자동리셋 문제 등 이다.

3.2 스택 안정화된 커널의 구현

물리적인 현상 외에 소프트웨어적으로 MCU가 어떠한 상황에서도 멈추지 않고 동작될 수 있도록 하는 기법으로 메인 프로그램의 리소스 초기화 단계에서 WDT를 가동시킨다. 그 다음 MCU 리셋신호를 발생시키기 위해 기다리는 최대시간을 2초로 설정한다. 그리고 타이머 인터럽트를 활용하여 주기적으로 WDT를 리셋시키도록 하였다. 나노 Qplus 커널에서는 1초 마다 타이머 인터럽트가 발생하도록 설계되어 있어서 1초마다 WDT 모듈을 리셋시킬 수 있었다. 또한 스택 안정성 확보를 위해서 사용자 레벨의 인터럽트와 커널 레벨의 인터럽트로 구분하여 문제를 해결한다.

나노 Qplus와 같이 커널 쓰레드(main함수)와 응용 쓰레드 그리고 인터럽트 서비스 루틴들이 서로 병행적으로 수행되는 쓰레드 드리븐 커널에서 메모리 크기가 커널 쓰레드에 비해 적은 응용 쓰레드 스택에서의 인터럽트 발생은 쓰레드 스택 오버플로우 혹은 언더플로우를 발생할 가능성 매우 높다. 따라서 스택 안정성 확보를 위해 사용자 및

커널 레벨 인터럽트를 구분하는 기법이 필요하다. 나노 Qplus에서는 두 가지 주요 인터럽트 서비스 루틴을 갖고 있는데 하나는 무선통신 서비스를 위한 인터럽트 처리 루틴들이고 다른 하나는 메인 스케줄러에서 쓰레드 wake-up에 관련된 타이머 관련 인터럽트처리 루틴이다.

문제는 이들 인터럽트 서비스 루틴들이 많아야 128바이트 정도 되는 응용 쓰레드 스택에서 동작 할 때 발생한다. 실험적으로 확인해 본 결과, SIG_OUTPUT_COMPARE1A 인터럽트와 같이 MAC 인터럽트는 Low-level 인터럽트 모드 형태로 동작되고 있다. 그렇기 때문에 인터럽트가 상당히 자주 발생하고 이것은 응용 쓰레드의 스택을 계속 증가시키는 역할을 한다. 이것은 최악의 경우 스택오버플로우를 야기시키고 프로그램은 오동작을 발생시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 리소스가 비교적 크게 잡혀있는 메인 스택 영역(대략 500바이트 잡혀있음)에서만 인터럽트 서비스 루틴이 동작되도록 하였다.

4. 실험 및 평가

4.1 실험 내용 및 평가요소

테스트 커널의 구성은 case 1(WDT만 적용한 커널), case 2(WDT + 스택 안정화 기능을 적용한 커널) 두가지로 구성하여 실험하였다. 그리고, AA배터리 * 2개가 소진될 때(대략 2.3V)까지 자료를 수집하였다. 평가요소로는 첫 번째, 배터리가 완전히 소진될 때까지 시스템이 멈추지 않고 동작 하는가?와 두 번째, 스택이 안정화되어 동작하고 있는가?에 대해서 살펴보았다.

4.2 평가

배터리 소모량 변화추이(시스템 동작시간) 측정결과는 대략 3.2V 정도에서 시작해서 2.7V 이하로 떨어지기 까지 대략 10시간 정도 소요되고, 처음 2.58V 이하로 떨어지는 데는 20여 시간 소요되며, 2.3V 정도까지 배터리를 소진하기까지는 평균 50에서 60여 시간 동안 지속됨을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 시스템 리셋은 여러 번 발생하고 있지만 배터리가 소진 될 때까지 정상적으로 동작하고, 시스템이 멈추는 일은 발생하지 않았음을 알 수 있었다.

case 1의 실험에서 보면, 스택 사용현황의 경우 스택의 크기가 시간이 지남에 따라 점차 줄어들어는 경향을 보이며, 궁극적으로는 스택 오버플로우 현상에 의해 자동리셋 되는 일이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 즉, 시간이 경과되면서 스택을 사용할 수 없는 상태로 되면서 결국에는 WDT에 의해 자동으로 리셋되는 현상이 발생 하였다.

case 2의 커널을 이용한 실험에서는 인터럽트를 커널레벨과 사용자 레벨로 구분해 줌으로써 쓰레드가 스택을 사용하는 사용량이 거의 1초 이내에 일정하게 유지되고 결국 스택이 안정화되었음을 알 수 있었다.

WDT 리셋 빈도수는 case1처럼 WDT만을 적용한 기법만으로는 스택 오버플로우가 단 시간 내에 자주 발생하게 되고 그 결과 리셋 횟수도 증가하였다. 그렇지만 case2와 같이 스택안정화 기법이 함께 적용된 커널에서는 case 1에 비해 리셋 회수가 1/3 이하로 줄이는 효과를 얻었음을 알 수 있었다. case2의 커널이 보다 더 안정적임을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 유비쿼터스 센서네트워크에 적합한 스택 안정화된 나노 운영체제의 커널을 개발하기 위하여 센서 노드에서 시스템 정지 문제, 시간이 지남에 따라 응용 쓰레드 스택에서 스택 오버플로우 문제 등을 확인하고, 이에 대한 해결 방안 및 성능결과를 실험을 통해 제시하였다. 이 연구에서는 무선 센서네트워크 환경에 적합한 쓰레드 드리븐 방식의 스택 안정화된 커널을 개발해줌으로써 시스템이 안정적으로 동작할 수 있게 하였으며, 나노 커널의 신뢰성을 개선하는 효과를 얻을 수 있었다.

그러나 커널의 스택 안정화 등은 확보하였지만 아직 WDT로 인하여 시스템이 하드웨어적으로 자동 리셋되는 근본적인 원인을 찾지 못하였다. 향후 이러한 근본적인 문제를 해결하여 더욱 안정성이 좋은 신뢰성이 있는 향상된 커널을 개발하기 위하여 노력 중 이다.

참고문헌

- [1] Levis P., Madden S., Gay D., Polastre J., Szewczyk R., Woo A., Brewer E., Culler D., "The emergence of networking abstractions and techniques in TinyOS," in First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 2004)", 2004.
- [2] Han C.C., Kumar R., Shea R., Kohler E., Srivastava M.B., "A dynamic operating system for sensor nodes," in MobiSys 163-176, 2005.
- [3] Bhatti S., Carlson J., Dai H., Deng J., Rose J., Sheth A., Shucker B., Gruenwald C., Torgerson A., Han R., "Mantis OS : An embedded multithreaded operating system for wireless micro sensor platforms," ACM Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET) Journal, Special Issue on Wireless Sensor Networks, 2005.
- [4] Kwangyong Lee, Youngsam Shin, Heeseok Choi, Seungmin Park, "A Design of Sensor Network system based on Scalable & Reconfigurable Nano-OS Platform," in Proceedings of the IT-SOC, Seoul, Korea, Oct 2004.
- [5] Y. S. Shin, et al., "A Design and Implementation of a Multi-hop Wireless Sensor Network based on Nano-Qplus Platform," In the 20th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communication (ITC-CSCC 2005), July, 2005.