

논문 2011-48CI-6-2

무선 센서네트워크에서의 저전력 연속 신호처리를 위한 센서모듈 아키텍처 및 데이터처리 프레임워크

(Sensor Module Architecture and Data Processing Framework for
Energy Efficient Seamless Signal Processing in WSN)

홍 상 기*, 김 내 수*, 김 환 우**

(Sang Gi Hong, Nae Soo Kim, and Whan Woo Kim)

요 약

무선 센서네트워크 기술의 발달과 센서네트워크 응용서비스의 성장에 따라, 다양한 이중 복합 센서로부터 획득 되는 센서 데이터의 융합 및 신호처리 알고리즘에 대한 연구 필요성이 증가하고 있다. 특히 복잡한 신호처리 알고리즘 수행의 필요성이 증가함에 따라 신호처리 전용 프로세서의 적용 및 데이터처리에 대한 연구가 증가하고 있다. 그러나 전용프로세서를 사용하는 경우 배터리로 동작하는 센서네트워크의 특성상 운용시간이 제약된다. 본 연구는 신호처리 전용 프로세서를 사용하는 센서네트워크 응용에서 전력 소모로 인한 운용시간 제약의 문제를 극복하기 위해, 운용 중 전원 제어가 가능한 하이브리드 센서모듈 아키텍처 및 이벤트 발생에 따른 웨이크업/슬립 기반 데이터처리 프레임워크를 제시하고, 실제 제안 된 센서노드 플랫폼을 구현하고, 성능을 제시 한다

Abstract

Due to the development and proliferation of ubiquitous technologies and services, various sensor network applications are being appeared on the stage. The needs for algorithms requiring sensor data fusion and complex signal processing with a high-performance processor such as a digital signal processor are also increased. However, it is difficult to use such processor for the low-power sensor network operating with a battery because of power consumption. This paper proposes a hybrid-type sensor module architecture supporting wakeup/sleep software framework for the wireless sensor node and shows the implemented sensor node platform and performances focused on the energy consumption and wakeup time.

Keywords : 센서네트워크, 저전력 신호처리, 하이브리드 센서모듈, 웨이크업/슬립 프레임워크

I. 서 론

지금까지의 유비쿼터스 센서네트워크 서비스는 온도, 습도, 먼지 센서와 같은 환경 센서를 활용한 대규모 지역 환경 모니터링 응용 분야에 많이 적용되어 왔고, 이를 목적으로 하는 저전력 센서네트워크에 관련된 연구 개발이 다양하게 진행되고 있다. 그러나 센서네트워크 서비스의 성장에 따라 음향, 가속도, 자기, 영상, 초소형 레이더센서 등과 같이 고속 샘플링 및 주파수 변환 같

* 정회원, 한국전자통신연구원
(RFID/USN Research Division, IT Convergence
Technology Research Division, Electronics &
Telecommunications Research Institute)

** 평생회원, 충남대학교
(Department of Electronics Engineering,
Chungnam National University)

※ 본 연구는 민군 겸용 기술 개발 과제인 “감시정찰
센서네트워크 기술”의 지원을 받아 수행되었음.

[06-II-LC-01, 감시정찰센서네트워크기술]

접수일자: 2011년9월21일, 수정완료일: 2011년11월2일

은 복잡한 센서신호처리 알고리즘 적용의 필요성이 증가하고 있으며, 실시간 신호처리를 위해 DSP(Digital Signal Processor)와 같은 전용 프로세서를 적용하고자 하는 연구도 등장하고 있다. 특히 건물진단 및 모니터링, 지능형 교통 시스템(Intelligent Transportation System), 국방 및 민수 분야의 감시정찰 그리고 영상 보안 시스템 같은 응용분야는 고속 전용 프로세서에 의한 센서 신호처리의 요구가 점점 증대되고 있다. 그러나 배터리기반의 저전력 운용을 목적으로 하는 유비쿼터스 센서네트워크의 특성상 신호처리 전용 프로세서를 사용할 경우 신호처리 모듈에서의 소비전력 증가로 전용 프로세서를 활용하기 어려운 현실이다.

이를 위해 본 연구는 타겟 탐지와 같은 이벤트 기반 서비스 응용에 있어서, DSP와 같은 신호처리 전용프로세서를 사용하면서 시스템의 운용시간을 증대시키기 위해 저전력 웨이크업 신호처리 모듈과 고성능 센서 신호처리 모듈로 이루진 하이브리드 센서 모듈 아키텍처 및 시스템 운용을 위한 신호처리 프레임워크를 제시한다. 그리고 이를 기반으로 하는 시스템을 구현하고, 성능을 비교 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 기존 센서네트워크에서의 저전력 구성을 위한 하드웨어 아키텍처기술 및 전용 프로세서를 사용하는 센서 신호처리 기술에 대하여 분석하고, III장은 본 연구에서 저전력 신호처리를 위한 구체적인 하드웨어 구조 및 접근 방법, 특히 하이브리드 센서모듈 아키텍처에 대하여 제시한다. IV장에서는 타겟 탐지 및 식별 신호처리 응용을 중심으로 저전력 웨이크업 기반 신호처리 즉, 웨이크업/슬립 프레임워크를 제시한다. V장에서는 제안된 방법을 구현한 하드웨어 그리고 프레임워크를 적용한 실험 결과 및 성능을 제시하며 마지막으로 VI장에서 결론을 제시한다.

II. 관련 연구

지금까지 센서네트워크의 서비스는 환경, 생태계, 건축물, 교통정보 등과 같이 모니터링과 관련된 서비스들이 주를 이루고 있다.

Yosemite National Park의 기후 변화와 녹는 눈의 양을 모니터링 하여 California 지역의 물 공급과의 상관관계를 분석한 연구^[1]이외에도 수질 모니터링, 지하수 모니터링, 대기 모니터링 등 환경 및 기후 모니터링과

관련한 다양한 연구가 진행되고 있으며, ZebraNet 프로젝트와 같이 동물 서식지 환경 모니터링, 행동분석 데이터를 센서 네트워크를 통하여 전송하여 분석하는 서식지 모니터링 관련한 연구도 진행되고 있다^[2~4]. 구조물 진단 모니터링은 가속도계, 변위센서 등으로부터 획득 되는 센서 값을 센서 네트워크를 통하여 전송, 분석하여 건물 구조를 진단하는 연구로, 센서로부터 데이터 획득, 신호처리, 압축, 분석 등의 연구가 진행되었다^[5]. ITS 및 텔레매틱스 분야의 응용을 위한 연구로 교차로에서의 차량충돌 등 안전운전과 관련된 연구 및 도로상의 시설물을 지능화하는 연구가 진행되고 있으며, 실시간 교통 모니터링을 위한 서비스도 있다^[6]. 이상 언급된 대부분 응용 서비스들은 저전력 단일 프로세서를 기반으로 RF송수신, 센서신호처리 등에 대한 저전력 연구 및 구현을 목적으로 하였다.

군사용 또는 보안 목적의 감시정찰 분야에서의 센서네트워크 기술에 대한 연구는 미국 DARPA의 프로젝트를 중심으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 것으로 무인 감시정찰 센서 네트워크기술 기반의 탐지, 식별 및 추적을 목적으로 하는 'A line in the sand', 'Vigilnet' 프로젝트 등이 수행되었다^[7~8]. 그러나 이들 프로젝트는 저전력 탐지 식별을 목적으로 함으로써, 리소스 및 프로세싱 파워의 제약 때문에 응용에서 요구하는 복잡한 신호처리알고리즘의 적용이 어려웠다. 이를 위해 센서 신호처리를 위한 전용 프로세서인 DSP 또는 고성능 MCU(Micro Controller Unit) 등을 센서노드에 장착하여 복잡한 신호처리 연산을 수행할 수 있는 센서노드 및 관련 연구가 등장하였다. Vanderbilt 대학을 중심으로 수행된 Counter-sniper 프로젝트에서 3개의 음향센서 실시간 신호처리를 통해 저격수의 위치를 추적하는 센서노드 응용 시스템에 대한 연구가 수행되었으며, 신호처리를 위해 별도의 ADC(Analog Digital Converter) 및 고속 FPGA(Field Programmable Gate Array)로 구성된 전용 신호처리 모듈을 구현하였다^[9]. 그러나 DSP와 같은 전용 프로세서를 사용하는 경우, 전용프로세서가 소비하는 전력이 크므로, 배터리로 동작하는 센서노드 응용 서비스의 특성상, 센서네트워크에 적용이 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해 다중 프로세서 또는 이중 프로세서를 모듈로 구성하여 응용에 따라 재구성 가능하며, 데이터 처리 복잡도에 따른 분산처리 및 실시간 소비전류 모니터링 등을 목적으로 하는 센서노드

아키텍처 및 복합 센서노드에 관한 연구가 진행되었다. 대표적인 연구로 MASS, PASTA, mPlatform, LEAP 등이 있으나^[10~13], 이들 아키텍처 관련 연구는 전원제어를 위한 하드웨어 구조만을 제시하고, 저전력 운용을 위한 소프트웨어 프레임워크에 대해 구체적으로 제시하지 못하였다.

또한 무선 네트워크에서 저전력 및 고성능 센서 신호처리를 목적으로 하는 저전력 웨이크업 신호처리 모듈 및 고성능 신호처리 모듈로 구성되는 하드웨어 및 소프트웨어적인 구조가 제안 되었으나, 시스템 최대 동작시간 확보 및 신호처리 알고리즘의 성능 보장을 위해 고성능 모듈의 전원을 제어하여 주는 기능과 함께 연속적인 신호처리를 위한 추가적인 연구는 이루어 지지 못하였다^[14].

III. 하이브리드 센서모듈 아키텍처

기존의 관련 연구에서 저전력 센서모듈은 리소스가 제한된 프로세서를 이용하여 저전력 신호처리가 가능하나, 주파수 분석, 영상처리 및 변환 등 복잡한 신호처리 알고리즘의 구현이 어려운 단점이 있다. 고성능 신호처리 모듈은 전용 신호처리 프로세서를 탑재한 센서모듈로, 저전력 센서신호처리 모듈에 적용의 어려움이 있던 주파수 분석, 복합 센서퓨전, 영상처리 등의 알고리즘 적용은 가능하다. 그러나 에너지 소모가 많아 배터리로 동작하는 유비쿼터스 센서네트워크에 적용하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 이벤트 기반 타겟 탐지 및 식

별을 목적으로 하는 무선센서네트워크 서비스에서 언급된 문제를 해결하기 위해 저전력 및 고성능 센서신호처리를 목적으로 저전력 웨이크업 센서모듈과 고성능 신호처리 모듈로 이루어진 하이브리드 센서모듈기반 센서노드를 제시한다.

그림 1에서 메인 프로세서 및 전원 모듈은 배터리로부터 입력된 전원을 각 모듈에서 필요로 하는 전원으로 변환하여 상호 연결된 모듈에 전원을 공급하고, 전원공급을 제어하는 기능을 수행 할 뿐 아니라, 각 모듈과의 데이터 송수신, 모듈 제어 및 데이터처리를 수행한다. RF 모듈은 TI CC2420으로 이루어진 2.4GHz 무선 송수신 모듈과 CC1101로 이루어진 400MHz 무선 송수신 모듈을 포함한다. 저전력 웨이크업 모듈은 프로세서 모듈의 ADC 및 GPIO(General Purpose IO)로 입력되는 저전력 센서 및 관련 제어 회로로 구성되며 특히, 본 논

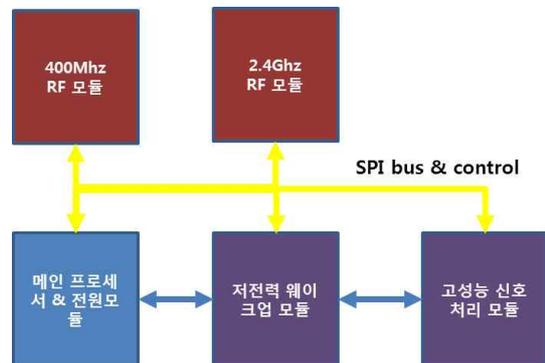


그림 1. 하이브리드 센서모듈 기반 센서노드 아키텍처
Fig. 1. Sensor node architecture based on hybrid Sensor module.

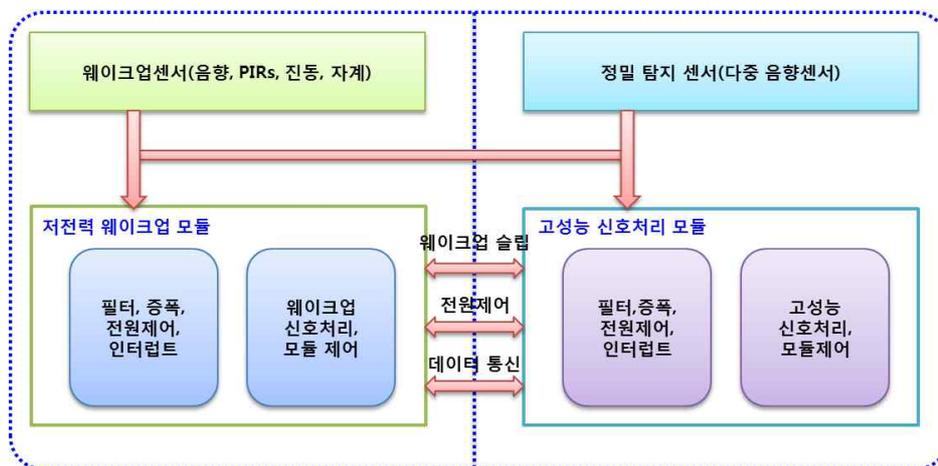


그림 2. 웨이크업/슬립 하이브리드 센서모듈 아키텍처
Fig. 2. Architecture of hybrid sensor module supporting wakeup/sleep.

문에서 제시하는 웨이크업 기반 신호처리를 위한 핵심 데이터 처리 및 제어 등을 수행한다. 고성능 신호처리 모듈은 신호처리 전용 프로세서 DSP 및 관련 제어회로를 이용하여 정밀신호처리를 수행하여 처리된 결과를 메인 프로세서로 전송하여 주는 모듈이다.

제시된 하드웨어 아키텍처를 센서모듈을 중심으로 자세히 살펴보면 그림 2와 같다. 하이브리드 센서모듈은 저전력 웨이크업 및 고성능 신호처리 모듈로 구성되며, 웨이크업 센서모듈에는 음향, 4개의 PIR(Passive InfraRed)센서, 3축 진동센서, 3축 자계 센서가 장착된다. 특히 음향 및 PIR 센서는 스위칭을 통하여 웨이크업 모듈이 동작할 때는 웨이크업 모듈에 고성능 신호처리 모듈이 동작할 때는 고성능 센서모듈에 연결된다. 웨이크업모듈의 센서신호는 프로세서의 ADC에 연결되어 웨이크업 프로세싱을 수행하고, 수행 결과에 따라, 고성능 신호처리 모듈의 전원제어 및 센서 스위칭 제어 등 고성능 신호처리 시작 제어를 수행한다. 고성능 센서모듈은 장착된 DSP 프로세서에서 4개의 다중 음향센서 및 4개의 PIR센서에 대한 정밀 신호처리를 수행하여 그 결과를 메인프로세서 모듈로 전송한다. 웨이크업 센서모듈의 증폭 및 전원제어는 저전력 프로세서인 MSP430에 의해 이루어지고, 고성능 센서모듈의 증폭 및 정밀신호처리 알고리즘은 DSP 및 FPGA에 의해서 수행된다.

IV. 웨이크업/슬립 프레임워크

1. 데이터처리 프레임워크

제시된 하드웨어 아키텍처를 이용한 저전력 신호처리 운용, 특히 타겟 탐지 및 식별을 목적으로 하는 신호처리를 위해서, 본 논문에서는 웨이크업 모듈에서의 초기 탐지 결과에 따라 고성능 신호처리 알고리즘이 필요시 동작하는 소프트웨어 아키텍처 즉, 웨이크업/슬립 프레임워크를 제시한다.

그림 3은 저전력 신호처리를 수행하는 저전력 웨이크업 모듈의 웨이크업/슬립 프레임워크 동작을 나타내는 상태도이다. 웨이크업 프로세서의 동작 시작과 함께 초기화 상태(Wakeup = 0xFF)에서 웨이크업 프로세싱을 위한 초기화를 수행한다. 초기화 완료 후, 장착된 웨이크업 센서의 신호를 처리하여, 타겟 탐지를 시작하고 타겟이 탐지 될 때까지(EVENT_DETECT_FLAG 값이 0 이외의 값으로 바뀔) 웨이크업 프로세싱 상태

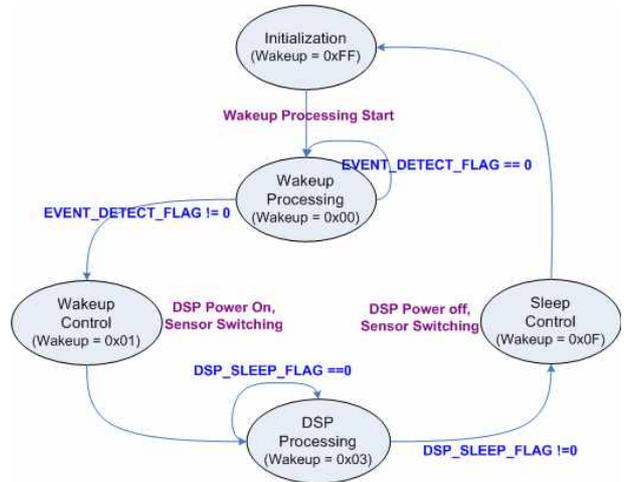


그림 3. 웨이크업/슬립 프레임워크 상태도
Fig. 3. State machine for wake-up/sleep framework.

(Wakeup = 0x00)에서 신호처리를 수행한다. 저전력 웨이크업모듈의 신호처리는 리소스가 제한된 프로세서에서 수행되므로, 음향센서는 이동평균을 이용한 에너지 탐지알고리즘을 기반으로 신호처리를 수행하여 타겟을 탐지한다. 타겟이 탐지 되면 웨이크업 제어 상태(Wakeup = 0x01)에서 동작하고, 프로세서는 고성능 신호처리 모듈의 전원을 켜주고, 음향과 PIR 센서를 고성능 신호처리모듈로 스위칭 하는 웨이크업 기능을 수행한다. 고성능 신호처리 모듈의 전원이 켜지고 난 후, DSP는 초기화를 수행하고 웨이크업 완료인터럽트를 생성하여 웨이크업 프로세서로 보내고, 정밀 타겟 탐지를 시작한다. 정밀 타겟 탐지 신호처리는 필터링, 주파수 변환, 센서 융합 등의 알고리즘을 적용한 탐지 및 식별 등, 저전력 프로세서에서 리소스의 제한으로 수행하기 어려웠던 정밀 신호처리를 수행하고, 웨이크업 프로세서는 고성능 센서 탐지 상태(Wakeup=0x03)에서 고성능 신호처리 모듈의 슬립인터럽트를 기다린다. 고성능 신호처리에 의해 타겟이 탐지되면 DSP는 메인 프로세서로 타겟 탐지 인터럽트를 발생하고, 정밀 신호처리된 타겟 정보를 메인프로세서로 전달하는 과정을 수행한다. 타겟이 미리 정해진 시간 동안 계속해서 탐지되지 않으면 DSP는 슬립 인터럽트를 웨이크업 프로세서로 보내게 되고, 인터럽트 발생 후(DSP_SLEEP_FLAG가 0xFF로 설정), 웨이크업 프로세서는 슬립 제어 상태(Wakeup = 0x0F)에 들어가서 고성능 신호처리 모듈의 전원을 꺼주고 다시 음향과 PIR 센서를 웨이크업 센서모듈로 스위칭 하여 준다. 고성능 신호처리 모듈의 전원이 꺼진 후, 다시 초기화, 웨이크업 프로세싱 등의 과

정을 반복하게 된다.

2. 웨이크업 프로세싱

웨이크업 프로세싱은 웨이크업/슬립 프레임워크에서 저전력 초기 타겟 탐지 및 고성능 모듈 웨이크업을 수행하기 위한 신호처리 과정으로 웨이크업 센서모듈에 대한 센서 신호처리 및 센서융합 등의 알고리즘으로 구성된다. 본 논문에서는 아날로그센서인 음향센서를 중심으로 웨이크업 신호처리 알고리즘을 제안하며 초기화, 샘플링, 전처리, 후처리과정의 순서로 수행된다.

가. 초기화(Initialization)

초기화 과정은 웨이크업 결정을 위한 임계값(threshold)을 정하는 과정으로, 타겟이 존재하지 않는 초기 상태에서 센서 값의 통계적 특성, 즉, 노이즈 오프셋(\bar{n}_o), 평균 노이즈 에너지 및 표준편차(\bar{m}_n, σ_n)를 계산하는 과정이다.

나. 센서데이터 획득(Sampling)

센서데이터획득은 정해진 샘플링시간에 따라 발생하는 ADC 인터럽트에 의해 AD 변환된 센서 신호($M(n)$)를 획득하는 과정이다.

다. 전처리(Preprocessing)

(1) Exponential weighted moving average

$$\begin{aligned} M_b(0) &= \bar{n}_o \\ M_b(n) &= (1-\alpha)M_b(n-1) + \alpha M(n) \end{aligned} \quad (1)$$

EWMA는 현재의 α 값을 어떻게 정하느냐에 따라서, 신호의 smoothing 정도를 결정하는 것으로, thermal drift와 같이 현재 신호에 더해지는 저주파 노이즈와 기타 주변 환경 변화에 따른 센서 오프셋 변화 등을 보정하는 알고리즘으로 사용가능하다.

(2) 에너지 계산(Energy Calculation)

샘플링 한 센서 값에서 EWMA의 결과 값을 빼주고, 절대 값을 취해 현재 샘플에 대한 에너지 값을 구하는 과정으로 수식 (2)와 같다.

$$M_e(n) = |M(n) - M_b(n)| \quad (2)$$

현재 샘플의 에너지 값 계산 후, 현재까지 획득된 샘플들에 대한 평균 에너지 값을 구한다. 평균 에너지는 메모리 사용을 줄이기 위해 이동평균에 의해 계산하며, 이동평균은 수식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} M_{ave}(0) &= 0 \\ M_{ave}(n) &= M_{ave}(n-1) + \frac{M_e(n) - M_{ave}(n-1)}{n} \end{aligned} \quad (3)$$

라. 후처리(Postprocessing)

후처리 과정은 미리 정해진 샘플의 개수(N)만큼 전처리를 수행한 데이터의 이동평균 에너지 값을 가지고, 웨이크업을 결정하는 과정을 포함한다.

이동평균 에너지 값 과 타겟 탐지를 위한 임계값을 비교하여 에너지 값이 큰 경우($M_{ave}(N) > \bar{m}_n + \sigma_n$) 타겟이 존재하는 것으로 결정하고, 타겟이 탐지 될 경우 웨이크업을 수행하며, 타겟이 탐지되지 않을 경우에는 샘플링, 전처리, 후처리의 과정을 지속하게 된다.

V. 구현 및 성능 분석

본 논문에서 제시된 웨이크업 기반 하이브리드 센서 모듈의 성능 검증을 위하여, 표 1과 같이 4개의 모듈로 이루어진 센서노드를 구현하였다.

앞에서 제시된 아키텍처에서는 웨이크업 모듈이 센서제어 및 인터페이스와 함께 프레임워크처리 기능을 가지는 것으로 제시하였으나, 시스템 최적화를 위해서 웨이크업 모듈의 필터, 증폭, 전원제어 및 센서인터페이스와 같은 하드웨어는 저전력 센서모듈에서 구현하고, 웨이크업 신호처리 및 모듈제어와 같은 소프트웨어적인 기능은 프로세서 모듈로 나누어 시스템을 구현하였다. 프로세서 모듈은 16bit 저전력 프로세서로 구성되어, 다른 모듈들에 대한 전원 제어 기능을 수행할 뿐 아니라, 저전력 웨이크업 프로세싱을 수행한다. RF모듈은 400MHz 데이터 통신을 지원하는 TI CC1101으로 구성되었다. 저전력 센서모듈은 음향, 4개의 PIR센서, 3축 진동 및 자계 센서를 탑재하고 있으며, 각 센서에 대한 필터링 및 증폭제어 회로를 포함한다. 고성능 신호처리 모듈은 신호처리를 위한 별도의 프로세서, 즉 TI TMS320VC5510을 포함하고 있으며, 최대 4개의 음향 센서 및 4개의 PIR센서에 대한 필터링 및 증폭 뿐 아니

라, 다중센서에 대한 정밀 신호처리가 가능한 모듈이다.

구현된 시스템 및 데이터 처리의 성능 비교를 위해, 동작 모드에 따른 소모전력 비교 실험 및 웨이크업 시간(고성능 센서모듈 웨이크업 수행 시에 고성능 신호처

표 1. 센서노드 모듈 별 시제품
Table 1. Prototype modules of sensor node.

프로세서 모듈	400MHz RF 모듈
	
<ul style="list-style-type: none"> - TI MSP430F5438A - 모듈 별 전원제어 - 웨이크업 신호처리 	<ul style="list-style-type: none"> - TI CC1101 - 400MHz RF
저전력 센서 모듈	고성능 신호처리 모듈
	
<ul style="list-style-type: none"> - 필터링, 증폭제어 - 하드웨어 인터럽트 - 센서 별 전원제어 	<ul style="list-style-type: none"> - TI TMS320VC5510 - 필터링, 증폭제어 - 고성능 신호처리

표 2. 센서노드 동작모드에 따른 소모전력
Table 2. Power consumption as the operation mode.

동작모드			모듈별 소모 전류 (mA)				Total	
RF 모듈	저전력 센서모듈	고성능 신호처리 모듈	프로세서 모듈 (+3.7V)	저전력 센서모듈 (+3.3V)	400MHz RF모듈 (+3.3V)	고성능 신호처리 모듈 (+3.7V)	소모 전류 (mA,+3.7V)	소모 전력 (mW)
Idle	Off	Off	48.95	2.72	1.75	0.00	53.42	197.65
Rx	Off	Off	48.95	3.17	17.71	0.00	69.83	258.37
Rx	On	Off	48.95	13.45	17.90	0.00	80.30	297.11
Rx	On	On	48.95	13.45	18.36	210.54	291.30	1077.81
Tx	Off	Off	48.95	3.80	4.45	0.00	57.20	211.64
Tx	On	Off	48.95	13.47	4.45	0.00	66.80	247.16
Tx	On	On	48.95	13.47	4.38	204.40	271.20	1003.44

리모듈 부팅 및 주변장치 초기화에 걸리는 시간)에 대한 실험을 수행하였다.

표 2는 동작모드에 따른 소모전력 시험결과를 보여주는 것으로, 저전력 센서모듈로 구성된 센서노드로 타겟 탐지를 수행할 경우 최대 297.11 mW의 전력이 소모되고, 하이브리드 센서모듈로 구성된 노드의 경우 최대 1077.81 mW의 전력이 소모된다.

표 3은 저전력 센서 모듈만을 장착하여 저전력 신호처리를 수행할 경우의 최대 운용시간, 고성능 신호처리 모듈만을 장착하여 타겟 탐지를 수행할 경우, 즉 고성능 센서모듈이 항상 동작 상태일 경우의 최대 운용 시간, 마지막으로 하이브리드 센서모듈을 장착하여 웨이크업 센서모듈에 의한 웨이크업/슬립 동작을 수행 할 경우의 최대 운용 시간을 나타낸다. 이와 같이 하이브리드 센서모듈을 사용하면 고성능 센서 신호처리의 저전력 운용이 가능함을 실험으로 확인 할 수 있다.

그러나 신호처리 알고리즘 및 시스템의 성능 보장을 위해서는 웨이크업 제어(전원제어 및 센서 스위칭)와 함께 두 개의 프로세서 사이의 끊이지 않는 연속적인 신호처리가 이루어져야 한다.

표 3. 센서노드 운용 시간 계산 (3.7V, 12A 배터리 - 1 일 10회, 회당 10분 타겟 존재)

Table 3. Calculation of operational time.

센서노드	운용 시간
저전력 센서모듈 기반 센서노드	6.2일
고성능 신호처리 모듈 기반 센서노드	1.7일
웨이크업/슬립 기반 하이브리드 센서노드	5.4일



그림 4. 고성능 모듈 초기화에 따른 웨이크업 시간

Fig. 4. Wakeup time performance after initialization of high-performance sensor module.

이를 위해서 저전력 웨이크업 프로세싱에 의한 고성능 신호처리 웨이크업이 수행 될 때, 고성능 신호처리 모듈의 시스템 초기화 완료까지 걸리는 웨이크업 시간을 최소화 하여야 한다.

본 연구에서 제시된 아키텍처 및 프레임워크의 웨이크업 시간은 약 1.25초의 성능을 나타내며, 실제 오실로스코프를 통해 측정된 결과는 그림 4와 같다. 그림 4에서 웨이크업 제어신호는 전원 및 센서 스위칭을 제어하는 신호이며, 웨이크업 완료 인터럽트는 고성능 센서 모듈의 초기화 완료를 웨이크업 프로세서에 알려주는 신호이다.

VI. 결 론

지금까지 유비쿼터스 센서네트워크는 주로 저전력 센서모듈을 활용해 저전력 신호처리를 수행하는 응용서비스가 많이 연구 적용 되었으나, 점점 복잡한 센서 신호처리를 위해 전용프로세서를 활용한 서비스가 증가하고 있다. 또한 저전력을 목표로 하는 다중 프로세서 기반 센서노드 아키텍처 및 제어 기술도 활발히 연구되고 있다. 그러나 기존의 연구에서는 시스템 최대 동작시간 확보 및 신호처리 알고리즘의 성능 보장을 위한 고성능 모듈의 전원제어 소프트웨어 프레임워크 그리고 연속적인 신호처리를 위한 웨이크업 성능에 대한 연구는 이루어 지지 못하였다.

본 연구는 센서 네트워크에서 저전력 및 고성능 센서 신호처리를 목적으로 혼합형 데이터 처리 센서모듈, 즉 하이브리드 센서 모듈에 대한 하드웨어 아키텍처를 제시하였다. 또한 초기탐지에 의한 웨이크업을 수행하여,

고성능 신호처리 모듈을 동작시키는 웨이크업/슬립 기반 소프트웨어 프레임워크를 제안 하였다. 제안된 하드웨어 및 알고리즘을 구현하여 웨이크업 프로세싱 중에는 297.1 mW, 고성능 신호처리 시에 1077.8 mW의 전력 소모 성능을 나타내었고, 1.25초의 웨이크업 성능을 보였다.

본 연구는 무인 감시 정찰 센서네트워크와 같이 타겟 탐지 즉, 이벤트 탐지를 목적으로 하는 유비쿼터스 센서네트워크 응용 분야의 센서모듈에 대한 구조 및 데이터 처리에 활용 가능 하며, 고성능 또는 복잡한 신호처리 알고리즘이 요구되는 센서 네트워크 응용 분야의 저전력 시스템으로 활용 가능 하다.

참 고 문 헌

- [1] Jessica D. Lundquist, Daniel R. Cayan, and Michael D. Dettinger, "Meteorology and hydrology in Yosemite National Park: a sensor network application," in Proc. of Information Processing in Sensor Networks, April, 2003.
- [2] Alberto Cerpa, Jeremy Elson, Deborah Estrin, Lewis Girod, Michael Hamilton, and Jerry Zhao, "Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology," in Proc. of the 2001 ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications in Latin America and the Caribbean, April 2001.
- [3] Alan Mainwaring, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, David Culler, and John Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, Ga, USA, September 2002.
- [4] Philo Juang, Hidekazu Oki, Yong Wang, Martonosi Margaret, Li-Shiuan Peh, and Rubenstein Daniel, "Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with ZebraNet," October 2002, Princeton University.
- [5] Ning Xu, Sumit Rangwala, Krishna Kant Chintalapudi, Deepak Ganesan, Alan Broad, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin, "A wireless sensor network for structural monitoring," in Proc. of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November, 2004.
- [6] Yuhe Zhang, Xi Huang, and Li Cui, "Lightweight signal processing in sensor node

- for real-time traffic monitoring,” in Proc. of International Symposium on Communications and Information Technologies, Sydney, Australia, October 2007.
- [7] Anish Arora, et al. “A line in the sand: a wireless sensor network for target detection, classification, and tracking”, Computer Networks, Vol. 46, No. 5, pp.605 - 647, 2004.
- [8] Tian He, et al., “VigilNet: An integrated sensor network system for energy efficient surveillance,” ACM Transactions on Sensor Networking, Vol. 2, No. 1, February 2006.
- [9] Gyula Simon, et al., “Sensor network-based countersniper system,” in Proc. of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2004.
- [10] Nicholas Edmonds, Doug Stark, and Jesse Davis, “MASS: Modular architecture for sensor systems,” in Proc. of Information Processing in Sensor Networks, April 2005.
- [11] Brian Schott, Michael Bajura, Joe Czarnaski, Jaroslav Flidr, Tam Tho, and Li Wang, “A modular power-aware microsensor with >1000X dynamic power range,” in Proc. of Information Processing in Sensor Networks, April 2005.
- [12] Dimitrios Lymberopoulos, Nissanka B. Priyantha, and Feng Zhao, “mPlatform: A Reconfigurable Architecture and Efficient Data Sharing Mechanism for Modular Sensor Nodes,” in Proc. of Information Processing in Sensor Networks, April 2007.
- [13] Thanos Stathopoulos, Dustin McIntire, and William J. Kaiser, “The Energy Endoscope: Real-time Detailed Energy Accounting for Wireless Sensor Nodes,” in Proc. of Information Processing in Sensor Networks, April 2008.
- [14] Sang Gi Hong, et al, “Hybrid Sensor Module and Data Processing using Low-power Wakeup in WSN,” in Proc. of SensorComm, Venice Italy, July 2010.

 저 자 소 개



홍 상 기(정회원)
1997년 부산대학교 전자공학과
학사졸업.
1999년 부산대학교 전자공학과
석사졸업.
2001년~현재 한국전자통신연구원
선임연구원.

<주관심분야 : 센서신호처리, RFID/USN, 저전력
신호처리 아키텍처>



김 환 우(평생회원)-교신저자
1977년 서울대학교 전자공학과
학사졸업.
1979년 한국과학기술원 전기 및
전자공학과 석사졸업.
1988년 Univ. of Utah 박사졸업.
1980년~현재 충남대학교 전기
정보통신공학부 교수.

<주관심분야 : 신호처리, 디지털 통신, 유무선 통
신>



김 내 수(정회원)
2000년 한남대학교 컴퓨터공학과
박사 졸업
1986년~1990년 국방과학연구소
1990년~현재 한국전자통신연구원
지능형 센서네트워크연구
팀 팀장

<주관심분야 : RFID/USN, 위성통신, 컴퓨터
네트워크>