한국군사과학기술학회지 제15권 제6호, pp. 761~769, 2012년 12월

학술논문 전자 · 통신 부문

감시정찰 센서네트워크에서 하드웨어 모듈의 소모전력 분석을 통한 저전력 노드 설계 전략

Design Strategy of Low-Power Node by Analyzing the Hardware Modules in Surveillance and Reconnaissance Sensor Networks

김 용 현* 여 명 호* 정 광 수**
Yong-Hyun Kim Myung-Ho Yeo Kwangsue Chung

Abstract

In this paper, we propose a low-power design strategy to minimize energy-consumption for surveillance and reconnaissance sensor networks. The sensor network consists of many different nodes with various operations such as target detection, packet relay, video monitoring, changing protocols, and etc. Each sensor node consists of sensing, computing, communication, and power components. These components are integrated on a single or multiple boards. Therefore, the power consumption of each component can be different on various operation types. First, we identified the list of components and measured power consumption for them from the first prototype nodes. Next, we focus on which components are the main sources of energy consumption. We propose many energy-efficient approaches to reduce energy consumption for each operation type.

Keywords : Sensor Network(센서네트워크), Sensor Node(센서노드), Relay Node(중계노드), Inter-Working Gateway(연동게이트웨이)

1. 서 론

무선 센서네트워크(Wireless Sensor Network)는 사물이나 환경을 감지하고 제어할 수 있는 센서들 간 자율적 네트워크 구성을 통해 자동으로 원격 환경정보의 수집이 가능하고 위치기반으로 적이나 차량의 침입을 탐지하며 추적할 수 있는 시스템이다[1]. 무선 센서네트워크를 구성하는 센서노드와 중계노드는 제한된 탐지거리와 통신거리 뿐만 아니라 제한된 배터리 용량을 가지고 있다. 이러한 제한조건으로 인해 노드의 운영시간 증대를 위해 저전력 하드웨어 개발[2~4], 저전력 네트워크 프로토콜 개발[5,6], 소프트웨어적인 전력관리 기능 개발[7] 등 저전력 센서네트워크에 관련된 연구개발이 다양하게 진행되고 있다.

무선 센서네트워크에서 사용하는 노드의 수명을 늘리기 위해서는 고용량의 배터리를 사용하거나 전력소모를 최소화하도록 설계되어야 한다. 그러나 배터리

† 2012년 6월 17일 접수~2012년 10월 19일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
** 광운대학교(Kwangwoon University)
책임저자 : 김용현(yonghyun@add.re.kr)

분야의 기술 발전이 전자 분야의 발전 속도보다 현저히 느리기 때문에 제한된 공간에서 얻을 수 있는 배터리 용량에는 한계가 있고 응용분야의 요구사항에 훨씬 못 미치는 실정이다. 결국 노드의 수명은 평균 소모 전력과 직결되기 때문에 긴 수명의 센서노드를 설계하기 위해서는 전력 소모를 최소화하려는 노력이 현 시점에서 매우 중요하다[2]. 전력 소모를 최소화하기 위해서는 전력소모 요인을 먼저 파악해야 하며 이를 위해 전형적인 센서노드 아키텍처의 전력소모 특징을 분석해야 하며 시스템 수명에 영향을 주는 다양한 요소를 식별해야 한다. 그런 다음 개별 센서노드에서부터 전체 네트워크에 걸쳐서 에너지 소모를 최소화하기 위한 집약적인 기술을 적용해야 한다[8]. 시스템의 전력 소모를 최소화하려면 우선 하드웨어 레벨에서 모듈별 소모 전력의 비중을 파악하고 그중에서 가장 큰 비중을 차지하는 부분에 대한 개선이 이루어져야 한다.

본 논문은 국방과학연구소에서 수행하고 있는 감시정찰 센서네트워크 개발 과제의 1차 시제 노드를 이용하여 하드웨어 모듈별 전류소모량을 측정하고 분석하여 노드별 전류소모량을 개선하는 것이다. 이를 위해 먼저 전류소모량 측정방법을 정의하고, 측정방법에 따라 노드의 전류소모량을 측정하였다. 그런다음 각 노드별로 주요 전류소모 요인을 분석하였으며 전류소모량을 개선하는 방법을 식별하여 저전력 정책을 수립하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 감시정찰 센서네트워크 시스템과 1차 시제에서 개발한 노드를 소개한다. III장에서는 1차 시제에서 개발한 노드의 전류소모량을 측정하고 분석한다. IV장에서는 노드별로 절대적 전류소모요인을 식별하고 전류소모량을 개선 방안을 제시하고, V장에서 결론을 맺는다.

2. 감시정찰 센서네트워크 시스템

가. 시스템 개요

감시정찰 센서네트워크 시스템은 무선 센서네트워크를 이용한 것으로 복합 센싱 능력을 갖는 소형 센서노드간의 자율적 무선 네트워크 구축을 통해 근접 감시정찰 정보를 실시간으로 획득, 처리하는 시스템이다. 감시자산 측면에서 감시정찰 센서네트워크 시스템은 주요작전 임무 수행시 전술제대급(사단급 이하)에서 운용하는 MASINT(Measure and Signature Intelligence) 자산으로 분류될 수 있다[9].

감시정찰 센서네트워크 시스템의 구성은 Fig. 1과 같이 센서노드, 중계노드, 연동게이트웨이, C2(Command & Control)단말기로 구성된다. 센서노드는 자기, 진동, 소리, 빛, 열을 감지할 수 있는 센서를 가지고 있으며 적 지역을 포함한 비우호 지역에서 네트워크를 구성할 수 있는 자기구성(Self-Configuration) 능력을 가지고 있다. 또한 센서 파괴 및 고장에 대비한 자기복구(Self-Healing) 능력이 있다. 중계노드는 센서노드로부터 탐지된 데이터를 수신하여 모니터링 장소로 원거리 전송하는 역할을 담당한다. 연동게이트웨이는 센서네트워크와 기존의 군전술통신망이나 상용통신망을 연결해서 타체계나 원거리에서 센서필드에서 탐지한 정보를 모니터링할 수 있는 장비이다. C2단말기는 모니터링 장소에 설치하는 장비로 센서네트워크를 총괄하는 역할을 한다. C2단말기는 일반적으로 PC의 형태를 갖거나 휴대할 수 있는 소형 단말기 형태를 가지며 탐지 데이터를 종합하고 분석하여 그 결과를 전시한다.

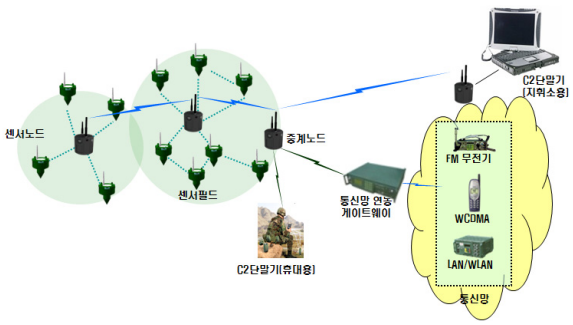


Fig. 1. Operational concept of surveillance and reconnaissance sensor networks

나. 1차 시제 개발 노드

감시정찰 센서네트워크 개발 과제의 1차 시제에서 개발한 노드는 센서노드, 중계노드, 연동게이트웨이이다. 센서노드는 저전력 센서노드, 고성능 센서노드, 영상노드로 세분화 된다. 본 절에서는 Table 1에 정리한 노드별 형상과 제원을 소개한다[10].

저전력 센서노드는 센서 신호처리 연산에서 소모되는 에너지를 최소화하기 위해 노드에 센서를 1개만 탑재하고 탐지위주의 간단한 알고리즘을 16bit MCU에 탑재하였다. 저전력 센서노드에 탑재된 센서는 음향, 자기, 진동, PIR이다. 저전력 센서노드는 주제어 보드

와 센서보드로 구성되어 있다. 주제어 보드는 MCU와 RF칩이 포함되며 센서보드는 신호증폭회로만 포함되며 ADC(Analog to Digital Converter)는 MCU에서 수행한다.

Table 1. Specification of the first prototype nodes

형 상	제 원
 저전력센서 노드	크기(mm)/무게(kg) : 120×120×70 / 0.98 MCU : MSP430 RF : CC1101 배터리 : 3.7V/1Ah 센서 : 독립센서(음향, 자기, 진동, PIR) PCB 2장(주제어보드, 센서보드)
 고성능센서 노드	크기(mm)/무게(kg) : 158×135×157 / 2.5 MCU : MSP430 / DSP : TMS320 RF : CC1101 배터리 : 3.7V/16Ah 센서 : 복합센서(음향, 자기, 진동) PCB 5장(근거리 RF보드, 중거리 RF보드, 신호처리 보드, 센서보드, 전원보드)
 영상노드	크기(mm)/무게(kg) : 124×140×282 / 3.8 MCU : MSP430 / DSP : TMS320 RF : CC1101 센서 : CCD/IR 배터리 : 7.4V/8Ah PCB 3장(영상신호처리 보드, 주제어보드, 전원보드)
 중계노드	크기(mm)/무게(kg) : 230×135×127 / 3.5 MCU : MSP430 RF : CC1101 배터리 : 3.7V/20Ah PCB 4장(장거리 RF보드, 중거리 RF보드, 전원보드, POE 연동보드)
 연동게이트웨이	크기(mm)/무게(kg) : 92×115×55 / 0.7 MCU : ARM11 RF : CC1101 배터리 : 3.7V/3.7Ah PCB 3장(제어보드, 통신보드, 장거리 RF 보드, Wibro, WCDMA 모듈)

고성능 센서노드는 DSP(Digital Signal Processor) 및 고분해능 ADC를 적용하여 정밀신호처리가 가능하다. 채택한 DSP칩(TMS320)은 100MHz 이상의 클록 스피드와 FFT(Fast Fourier Transform), LMS(Least Mean Square), MLE(Maximum Likelihood Estimator) 등에 필요한 강력한 MAC(Multiply-ACcumulate)을 지원한다. 또한 센서의 원데이터를 저장하기 위한 외부 SRAM이 부착되고, DSP칩의 채택으로 인해 정밀 알고리즘 구현이 가능하지만 전력소비가 많은 단점이 있다. 고성능 센서노드는 저전력 센서노드와 통신을 위한 근거리 RF보드와 중계노드와 통신을 위한 중거리 RF보드, 신호처리 보드, 센서보드, 전원보드로 구성되어 있다.

영상노드는 주·야간 영상촬영이 가능한 CCD(Charge Coupled Device)와 IR센서가 탑재되어 있으며 영상신호처리를 위한 DSP칩이 탑재되어 있다. 탑재된 센서와 DSP칩은 고성능을 탑재함으로 인해 센서노드의 전력소비가 가장 많다.

중계노드는 센서필드로부터 수집되는 표적 정보를 지휘통제소로 장거리 전송을 할 수 도록 파워앰프가 장착되어 있다. 중계노드는 센서노드와의 통신을 위한 중거리 RF보드와 중계노드간 통신을 위한 장거리 RF보드, 상황감시제어장치와의 유선 연동을 위한 POE (Power of Ethernet) 연동보드 및 전원공급을 위한 전원보드로 구성된다.

연동게이트웨이는 군 전술통신망 및 상용통신망과 연동하여 센서필드에서 탐지한 정보를 거리에 제한없이 지휘통제소로 전송한다. 연동게이트웨이는 사용자 인터페이스 역할을 하는 제어보드, FM 무전기와 통신을 위한 통신보드, 중계노드와 통신을 위한 장거리 RF보드, 상용 통신(WiBro, WiFi, WCDMA) 모듈로 구성된다.

3. 전류소모량 측정 및 분석

본 장에서는 감시정찰 센서네트워크 시스템의 1차 시제노드의 소모전력 분석을 위해 노드별 전류소모량 측정방법을 정의하고, 측정방법에 따라 노드의 전류소모량을 측정한다. 그런 다음 각 노드별로 전류소모 주요요인을 분석한다.

전류소모량 측정은 Fig. 2와 같이 전력분석기(Power Analyzer)[11]와 노트북에 설치된 분석 프로그램을 이용

한다. 물론 전원공급기(Power Supply)와 DMM(Digital Multi-Meter)를 이용하여 간단하게 측정이 가능하지만 전류값의 리플의 변화가 크기 때문에 정확한 측정을 위해 Fig. 2와 같은 전용장비를 사용하였다. 측정은 먼저 전력분석기로 노드에 전원을 공급한 후 전원 공급 라인에 흐르는 전류가 안정된 상태에서 일정시간에 대한 전류값을 측정한다. 측정된 결과는 노트북에 설치된 분석 프로그램을 통해 일정시간에 대한 평균 전류값 I_{mean}를 식 (1)을 이용하여 구한다.



Fig. 2. Experimental configuration

$$I_{mean} = \frac{\sum I(n)}{T} \quad (1)$$

여기서 $I(n)$은 일정시간 전류값을 샘플링한 것이며, T는 평균을 구한 시간 간격을 나타낸다.

노드의 전류 소모량 측정은 보드 전체가 결합된 상태에서 측정을 한 후 보드를 하나씩 제거하면서 측정한다. 중계노드는 수신/대기 상태와 송신출력 레벨이 0dBm에서 30dBm까지 5dBm 간격으로 측정한다. 연동 게이트웨이는 각 보드(군 통신망, WCDMA, WIBRO)를 구분하여 측정하고 각각 동작(Active) 상태와 대기(Idle) 상태를 구분한다. 본 측정에서는 각 하드웨어 모듈별 소모전류를 측정하며, 노드에 탑재되는 소프트웨어 전원 제어는 포함하지 않는다.

가. 저전력 센서노드

저전력 센서노드의 소모전류량 측정결과는 Table 2와 같다. 노드 전체에서 소모되는 전류량은 133mA이며, 주제어 보드와 전원보드를 측정한 소모전류는 43mA이다. 음향, 진동, PIR 센서의 소모전류는 각각 0.3mA, 0.7mA, 2.6mA인 반면 자기센서와 GPS의 소모전류는 30mA, 42mA로 다른 센서에 비해 전류소모량이 많다. 노드 상태를 나타내기 위해 노드에 부착한 고휘도 LED의 전류소모량은 12mA 정도로 음향, 진동, PIR 센서보다도 더 많이 소모되었다. 표 2에서 노드 전체에 대해 측정한 전류소모량은 모듈별 측정량의 합보다 크다. 이는 보드간 인터페이스에서 소모되는 전류량으로 판단되며, 이 차이는 다른 노드에서도 발생한다.

Table 2. Current consumption of low-power sensor node

구 분	소모전류 (mA)	비고
주제어 보드	33	MCU, RF 칩 탑재
센서보드	10	음향, 진동, PIR
자기센서	30	
GPS	42	
LED(외부표시용)	12	
센서노드 전체	133	

저전력 센서노드의 경우 GPS와 자기센서가 절대적 전류소모 요인으로 파악된다. 이를 해결하기 위해서는 GPS의 경우 노드 설치 직후에 노드 위치 파악에만 필요하므로 초기 동작시간인 2~5분만 동작하고 나머지 시간은 FET(Field Effect Transistor) 스위치를 통해 전원을 차단하고 필요시 켤 수 있도록 한다. 자기센서의 경우 다른 센서에 비해 전류 소모량이 많으므로 평시에는 전류소모량이 작은 센서를 통해 이벤트를 탐지하고 이후 자기센서를 통한 식별이 필요할 시점에 켜서 동작하는 형태로 운용하면 된다. 고휘도 LED는 센서보다 훨씬 많은 전류를 소모하므로 디버깅을 제외한 운용에서는 하드웨어적으로 OFF시켜서 전력관리를 수행할 필요가 있다.

나. 고성능 센서노드

고성능 센서노드의 소모전류량 측정결과는 Table 3과 같다. 노드 전체에서 소모되는 전류량은 521mA이며, 신호처리 보드가 294mA, 센서보드는 144mA가 소모된다. 신호처리 보드내에 있는 DSP와 FPGA 동작클럭은 150MHz로 세팅되어 있으며 현재 FPGA의 동작속도 조정은 불가한 상태이다. 센서보드에는 음향, 진동, 자기센서, GPS가 탑재되어 있으며, 저전력 센서노드와 비슷하게 자기센서가 31mA, GPS가 41mA가 소모되고, 아날로그신호를 디지털로 변환하는 ADC의 소모전류가 64mA이다.

Table 3. Current consumption of high-performance sensor node

구 분	소모전류 (mA)	비고
신호처리 보드	294	DSP, FPGA 칩 탑재
단거리 RF보드	30	
중거리 RF보드	30	
센서보드	144	센서 부착 (음향, 진동, 자기, GPS)
전원보드	8	
센서노드 전체	521	

고성능 센서노드의 경우 신호처리 보드, 센서보드, 자기센서, GPS가 절대적 전류소모 요인으로 파악된다. 신호처리 보드의 경우 DSP칩의 동작 클록을 30~60MHz로 낮추어 운용하면 전류소모가 180mA로 낮아지고 추가적으로 FPGA의 동작클록도 현재 150MHz를 30MHz 이하로 낮추면 전체적으로 130mA로 전류소모를 낮출 수 있다. 또한 고성능 센서노드에서 채택하고 있는 MSP와 DSP를 연계하여 평상시 기본탐지는 MSP를 통해 처리하고, 정밀신호처리는 DSP를 켜서 처리하고 그 외 시간은 꺼 놓는 방식을 통해 전류소모량을 줄일 수 있다.

GPS의 경우 저전력 센서노드와 같이 초기 동작시간인 2~5분만 동작하고 나머지 시간은 FET스위치를 통해 전원을 차단하고 필요시 켤 수 있도록 한다. 자기센서의 경우 다른 센서에 비해 전류 소모량이 많으므로 평시에는 전류소모량이 작은 센서를 통해 이벤트를 탐지하고 이후 자기센서를 통한 식별이 필요할 시점에 켜서 동작하는 형태로 운용한다. 센서보드에서 외부 ADC 사용으로 저전력 센서노드에 비해 소모전류가 상당히 크다. 이는 샘플링 속도를 낮추어 저전력 ADC를 사용할 수 있는 방안을 신호처리 알고리즘과 연계해서 판단할 필요가 있다. 고휘도 LED는 센서보다 훨씬 많은 전류를 소모하므로 디버깅을 제외한 운용에서는 하드웨어적으로 OFF시켜서 전력관리를 수행할 필요가 있다.

다. 영상노드

영상노드의 소모전류량 측정결과는 Table 4와 같다. 노드 전체에서 소모되는 전류량은 1,924mA이며, 주제어 보드와 장거리 RF 보드가 130mA, CCD카메라에서 소모되는 전류량이 1,038mA이다. 영상처리용 DSP칩이 탑재되어 있는 신호처리 보드에서 497mA가 소모되며, 전원보드에서 260mA가 소모된다.

Table 4. Current consumption of image sensor node

구 분	소모전류 (mA)	비고
주제어보드+RF모듈 (장거리)	130	RF 수신/대기, MSP430(active)
CCD카메라	1,038	3.2W 소모
신호처리 보드	497	DSP 칩
전원보드	260	
센서노드 전체	1,924	

영상노드의 경우 CCD 카메라, 신호처리 보드가 절대적 전류소모 요인으로 파악된다. 전류소모량을 줄이기 위해서는 카메라 선정을 고성능 고전력 제품(1,000mA 이상)에서 저사양 저전력 제품(100mA 이하)으로 변경이 필요하고, 영상 신호처리 보드가 400mA 이상 전류를 소모하기 때문에 별도의 DSP칩을 사용하는 대신 카메라의 출력을 변경없이 전송하는 방법이 필요하다.

라. 중계노드

중계노드의 소모전류량 측정결과는 Table 5와 같다. 수신 대기시 소모전류는 145mA이며, 이때 전원부 자체 소모전류는 57mA이며, 중거리 RF보드와 장거리 RF보드 소모전류는 각각 25mA, 53mA이다. 중계노드는 장거리 전송을 위해 파워앰프를 탑재하고 있으며, 송신 레벨에 따라 소모 전류의 차이가 있다. Fig. 3은 전송파워에 따른 소모전류량을 나타낸 것이다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 0dBm에서 15dBm까지는 소모전류량이 400mA에서 500mA까지 완만하게 증가하다가 15 dBm 이상에서는 급하게 상승하여 30dBm에서는 1,000 mA가 넘는다.

중계노드의 경우 장거리 RF보드와 전원보드가 절대적 전류소모 요인으로 파악된다. 장거리 RF보드에는 신호를 증폭하는 파워앰프가 포함되어 있어서 전류소모량이 크며 이를 해결하기 위해서는 파워앰프의 전류량을 제어할 수 있도록 개선이 필요하다. 또한 5개

로 되어 있는 보드를 필수용과 선택용을 구분하여 제작함으로써 전류소모량을 줄일 수 있다. 중거리 RF보드가 0dBm에서 20mA가 소모되는데 장거리 RF보드의 경우 0dBm에서 400mA 이상이 소모된다. 이를 해결하기 위해서는 파워앰프를 송신 출력에 따라 ON/OFF할 수 있도록 수정이 필요하다.

Table 5. Current consumption of relay node

구 분	소모전류 (mA)	비고
중거리 RF보드	35	
장거리 RF보드	53	
노드 전체(전원 및 POE 장치 포함)	145	수신/대기

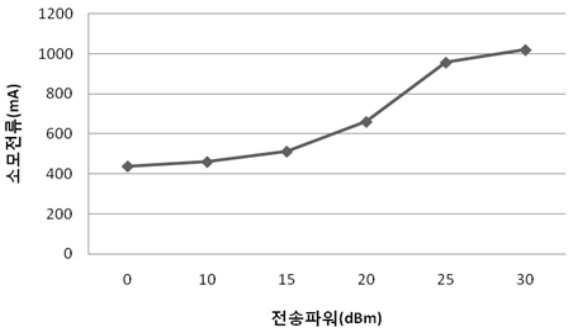


Fig. 3. Current consumption versus transmission power

마. 연동게이트웨이

연동게이트웨이의 소모전류량 측정결과는 Table 6과 같다. 연동게이트웨이는 수신 대기 상태의 경우 제어보드, 통신보드를 조립한 상태에서 전류소모량은 898 mA이며 제어보드와 통신보드의 소모전류는 각각 546 mA, 209mA 이다. WIBRO, WCDMA 전류소모량은 각각 205mA, 430mA이다.

연동게이트웨이의 경우 제어보드와 통신보드가 절대적 전류소모 요인으로 파악된다. 수신 대기 상태에서 제어보드와 통신보드의 전력소모가 상대적으로 크며 이를 해결하기 위해서는 각 상태별 슬립모드 구분이 필요하다. 장거리 RF 보드는 중계노드에서 사용하는 것과 동일한 것으로 중계노드 개선사항을 반영한다. 장비 상태 파악에 사용하는 LCD의 OFF 기능을 추가하여 필요시에만 사용하도록 한다.

Table 6. Current consumption of communication gateway

구 분	소모전류 (mA)	비고
제어보드	546	
통신보드	209	
WiFi	176	제어보드에 내장
장거리 RF보드	145	수신/대기
WIBRO	205	Idle 67mA
WCDMA	430	Idle 72mA
연동게이트웨이 전체	898	제어보드+통신보드 (수신대기)

4. 전류소모량 개선방법

본 장에서는 노드별 절대적 전류소모 요인과 그에 따른 개선방법을 식별하여 노드별 전류소모량 개선방법을 수립한다. 노드별 전류소모 요인은 3장의 전류소모량 및 분석내용을 통해 식별하고 각 항목에 대해 개선방법을 마련한다. 그런 다음 노드별로 개선사항의 우선순위를 부여하여 우선순위가 높은 항목부터 적용한다.

1차 시제 노드별 절대적 전류소모 요인은 저전력 센서노드의 경우 GPS와 자기센서, RF 모듈 순이고, 고성능 센서노드의 경우 DSP 보드, 센서보드, GPS, 자기센서의 순이다. 영상노드의 경우 CCD 카메라, DSP 보드, 전원보드 순이고, 중계노드의 경우 RF보드, 전원보드 순이다. 마지막으로 연동게이트웨이는 제어보드, 통신보드, RF보드 순이다.

본 논문에서는 노드별 전류소모 요인을 개선하는 방법으로 Fig. 4와 같이 5가지 방법을 제안한다. 첫 번째 방법은 스위치를 통한 ON/OFF로 필요한 때에만 사용하고 나머지는 차단하는 방법으로 주로 GPS, 자기센서, DSP 보드, ADC 등에 적용된다. 두 번째 방법은 duty cycle을 통해 RF칩의 Idle상태를 슬립으로 전환함으로써 전류소모를 줄이는 방법으로 RF모듈에 적용된다. 세 번째는 전원소모가 큰 주제어보드의 경우 슬립모드 운용을 통해 전류소모를 줄이는 방법으로 연동게이트웨이의 주제어보드에 적용된다. 네 번째는 증폭기의 개선을 통해 전류소모를 줄이는 방법

으로 중계노드의 RF 증폭기에 해당된다. 다섯 번째는 부품 교체를 통해 전류소모를 줄이는 방법으로 영상 노드의 CCD카메라를 저전력 소자로 교체하는 것이 해당된다.

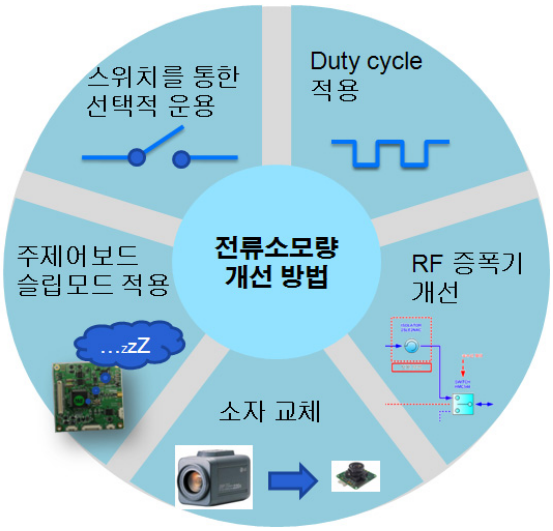


Fig. 4. Methods of reducing current consumption

노드별로 전류소모 요인과 개선방법을 Table 7에 정리하였다. Table 7에서 소모전류 비율은 노드 전체에 소비되는 전류소모량 대비 해당 모듈별로 소모되는 전류량을 백분율로 나타냈다. 개선방법은 제시한 5가지 방법 중 해당되는 항목을 선정하여 제시하였다.

저전력 센서노드의 경우 GPS, 자기센서의 경우 전체 전류소모량의 31%, 23%이며 이를 개선하는 방법은 스위치를 통해 필요시에만 ON을 하고 그 외에는 OFF 해서 전류소모량을 줄인다. 전류소모량이 많은 소자의 경우는 필요한 경우에만 동작하게 하는 선택적 운용을 적용함으로써 전류소모량을 줄일 수 있다. Table 8에서와 같이 자기센서, GPS, 고휘도 LED는 선택적 운용을 적용하여 FET 스위치를 통해 필요시에만 전원을 공급하고 그 외에는 전원을 차단한다. 저전력 센서노드에 선택적 운용을 할 경우 전류소모량은 68% 줄일 수 있다. 여기서 선택적 운용을 하는 소자나 모듈의 전류소모량은 구동시간이 짧다는 가정하에 전류소모량에 포함하지 않았다. 이러한 가정사항은 이후 다른 노드에도 공통적으로 적용하였다. 선택적 운용에 duty cycle을 적용할 경우 전류소모량을 더 줄일 수 있다. Fig. 5는 duty cycle 비율에 따른 주제어 보드의 전류소모량

Table 7. Current consumption factors and energy-efficient approaches for each node

구분	절대적 전류소모 요인	소모전류비율 (전체대비)	개선방법	1차시제노드 전류소모량 (mA)	개선 예측량 (mA)
저전력 센서노드(자기)	· 센서(GPS, 자기) · RF 모듈	• 32%(GPS) • 23%(자기) • 13%(RF)	· 스위치 · duty cycle	133	43
고성능 센서노드	· DSP · 센서보드 · 센서(GPS, 자기)	· 56%(DSP) · 19%(센서보드) · 8%(GPS)	· 스위치	521	71
영상노드	· CCD카메라 · DSP모듈 · 전원모듈	· 54%(CCD) · 26%(DSP) · 14%(전원)	· 소자교체 · 스위치	1,924	51
중계노드	· RF모듈 · 전원모듈	· 89%(RF) · 4%(전원)	· 증폭기 개선 · 슬립모드 운영	1,297	1,030
연동게이트웨이	· 제어보드 · 통신보드 · RF모듈(수신)	· 52%(제어) · 20%(통신) · 14%(RF)	· 슬립모드 운영 · 증폭기 개선	1,043	187

을 측정한 결과를 나타낸 것으로 duty cycle을 50% 적용할 경우 100%일 때보다 전류소모량을 11.5mA 더 줄일 수 있다. 따라서 상시운용시보다 전류소모량을 76% 줄일 수 있다.

Table 8. The comparison of current consumption for low-power sensor node in selective operation

구 분	상시운용 (mA)	선택적 운용(mA)	비고
주제어 보드	33	○	
센서보드	10	○	
자기센서	30	×	
GPS	42	×	
LED	12	×	
센서노드 전체	133	43	duty cycle 미적용

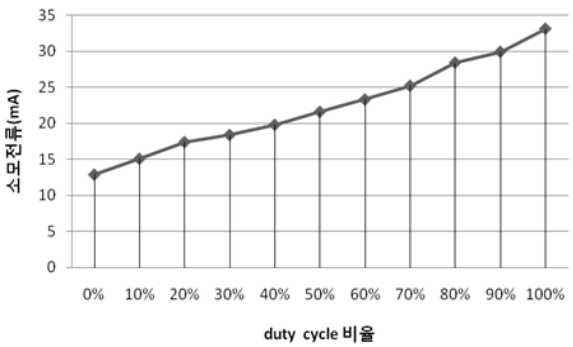


Fig. 5. Current consumption of main board by duty cycle rate

고성능 센서노드의 경우 신호처리 보드, 센서보드, GPS가 전체 전류소모량의 56%, 19%, 14%이며 이를 개선하는 방법은 전류소모량이 많은 DSP, ADC, GPS, 자기센서는 FET스위치를 통해 필요할 경우만 ON시키고 나머지는 전원을 차단하고, 고휘도 LED도 동일한 방법으로 필요시에만 전원을 공급한다. 고성능 센서노드의 주요 소자에 선택적 운용을 할 경우 전류소모량은 86% 줄일 수 있다. 선택적 운용에 duty cycle을 적용할 경우 소모전류량을 더 줄일 수 있다.

영상노드의 경우 CCD카메라를 저사양 제품(100mA 이하)으로 변경하고 선택운용을 적용할 경우 전류소모량을 1,924mA에서 51mA로 97% 줄일 수 있다. 중계노드의 경우 송신증폭기 개선을 통해 1,173mA(송신 30dBm)를 900mA로 절감하고, PCB모듈을 기존 5개에서 3개로 최소화하고, POE 부분을 분리하여 130mA를 100mA로 절감할 수 있다. 이렇게 운용할 경우 전류소모량을 1,297mA(송신 30dBm)에서 1,030mA로 21% 줄일 수 있다. 연동게이트웨이의 경우 중계노드의 RF 보드의 개선사항을 반영하고, 평상시에 장거리 RF 보드만을 켜 놓고 나머지는 슬립으로 전환하여 운용할 경우 전류소모량을 1,042mA에서 187mA로 82% 줄일 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 감시정찰 센서네트워크 개발 과제의 1차 시제 노드를 이용하여 하드웨어 모듈의 전류소모량을 측정하고 분석하여 노드별로 전류소모량을 개선하는 것이다. 이를 위해 먼저 전류소모량 측정방법을 정의하고, 측정방법에 따라 노드의 전류소모량을 측정하였다. 그런 다음 각 노드별로 주요 전류소모 요인을 분석 및 개선방법을 도출하여 2차 시제 노드설계에 반영하였다.

본 논문에서는 노드 종류별 전류소모 요인에 차이가 있음을 확인하였고 개선방법으로 스위치를 이용하여 필요시에만 ON 시키는 방법, 소자교체, 증폭기 개선, duty cycle 적용 등을 제시하였다. Duty cycle을 제외한 4가지 방법을 적용할 경우 저전력 센서노드의 경우 63%, 고성능 센서노드의 경우 86%, 영상노드의 경우 97%, 중계노드의 경우 21%, 연동게이트웨이의 경우 82%의 전류소모량을 줄일 수 있을 것으로 예측된다.

본 논문에서 제시한 전류소모량 개선방법은 감시정찰 센서네트워크 개발 과제의 2차 시제 노드에 반영하여 현재 노드를 제작 중에 있다. 향후 노드 제작이 완성되면 본 논문에서 수행한 연구내용을 반복하여 수행하고 개선사항을 추가로 식별하고자 한다.

References

[1] 김용현, 이노복, “무선 센서네트워크 기술동향”, 국방신기술동향분석, 통권 24호, pp. 55~62, 2011. 4.

[2] 연윤모, 이동규, 강순주, “다중 임계 구조를 적용한 저전력 센서 노드 설계”, 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, Vol. 35, No. 2, pp. 340～344, 2008.
[3] 홍상기, 김내수, 김환우, “무선 센서네트워크에서의 저전력 연속 신호처리를 위한 센서모듈 아키텍처 및 데이터처리 프레임워크”, 전자공학회논문지, Vol. 48, No. 6, pp. 579～586, 2011. 11.
[4] 김용현, 정광수, “진동센서를 이용한 효율적인 침입자 탐지 기법”, 한국군사과학기술학회지, Vol. 14 No. 6, pp. 1129～1137, 2011. 12
[5] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin, “Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks”, IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 12, No. 3, 2004. 6.
[6] 이재호, 허경, 엄두섭, “Stationary 센서 네트워크 환경에서 비동기식 Duty-Cycle MAC의 에너지 효율과 지연시간 성능향상 방안”, 한국통신학회논문지, Vol. 35, No. 10, pp. 949～959, 2010. 10.
[7] 조문행, 정명조, 김용희, 이철훈, “실시간 운영체제에서 작업량 관찰에 기반한 저전력 기법의 설계 및 구현”, 한국콘텐츠학회논문지, Vol. 7, No. 6, pp. 69～78, 2007.
[8] Vijay Raghunathan, Curt Schurgers, Sung Park, and Mani B. Srivastava, “Energy-Aware Wireless Microsensor Networks”, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 19, No. 2, pp. 40～50, 2002. 3.
[9] 김용현, 정광수, “감시정찰 센서네트워크에서 환경요소와 노드수량을 고려한 노드 배치 전략”, 한국통신학회논문지, Vol. 36, No. 12, pp. 1670～1679, 2011. 12.
[10] 김용현, 김주엽, 여명호, 권미영, “감시정찰 센서네트워크 빌드I 노드 분석을 통한 저전력 정책 수립”, 국방과학연구소, ADDR-425-111575, 2011. 11.
[11] Agilent Technologies DC Power Analyzer(Model N6705) User’s Guide, Agilent Technologies, 2010.