

센서네트워크 동작 및 센싱 알고리즘 검증을 위한 소프트웨어 프레임워크[†]

(A Software Framework for Verifying Sensor Network
Operations and Sensing Algorithms)

유 성 은*
(Seong-eun Yoo)

요 약 대부분의 센서네트워크는 물리적인 세계에 대규모로 설치되기 때문에 일단 현장에 설치되면 디버깅이나 검증이 어렵다. 따라서 센서네트워크가 현장에 설치되기 전에 테스트베드 형태로 충분한 테스트와 검증이 이루어져야 한다. 테스트베드에서 센서네트워크를 테스트하고 검증할 때, 센서네트워크의 특성상 물리적인 세계와 상호작용을 해야 하기 때문에 물리적인 세계를 제어하여 자원제한적인 센서노드 수준에서 센서네트워크를 검증하는 것은 굉장한 비용과 시간을 필요로 한다. 본 논문에서는 센서네트워크의 네트워크 측면의 동작뿐만 아니라 응용 측면의 동작(즉, 센싱 알고리즘)을 보다 효율적으로 검증하고 평가하기 위한 소프트웨어 프레임워크를 제안한다. 본 논문은 제안된 소프트웨어 프레임워크를 적용해 센서네트워크 기반의 지능형 주차장 응용을 위한 시뮬레이터를 구현하여 평가함으로써 제안된 소프트웨어 프레임워크의 가능성을 검증한다.

핵심주제어 : 디버깅, 검증, 무선센서네트워크, 센싱 알고리즘

Abstract Most of sensor networks are difficult to be debugged, verified, and upgraded once they are deployed in the fields, for they are usually deployed in real world and large scale. Therefore, before deploying the sensor networks, we should test and verify them sufficiently in realistic testbeds. However, since we need to control physical environments which interact with sensor networks, it takes much of time and cost to test and verify sensor networks at the level of resource-constrained sensor nodes in such environments. This paper proposes an efficient software framework for evaluating and verifying sensor networks in the view points of network and application operations (i.e., accuracy of sensing algorithms). Applying the proposed software framework to the development of a simulator for a smart parking application based on wireless sensor network, this paper verifies the feasibility of the proposed framework.

Key Words : Debugging, Verification, Wireless Sensor Networks, WSN, Sensing Algorithm,

1. 서 론

최근 들어 반도체기술 및 임베디드 시스템 기술이

비약적으로 발전함으로써 저전력 및 저비용으로 무선 센서네트워크를 구현할 수 있게 되었다. 이에 따라 정부 및 기업체에서는 다양한 응용 분야에 무선센서네트워크를 도입하려는 시도를 하고 있다. 그 대표적인 예로 농작물 성장관리[1], 재난방재[2], 지능형 교통[3-8], 지능형 주차장[9], 방법 및 감시정찰[10], 의료

[†] 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0014204).

* 대구대학교 정보통신공학부, 제1저자

[11], 산업 제어 분야[12] 등을 들 수 있다.

이러한 분야에서 다수의 무선센서네트워크 시범 및 확산 사업들이 수행되었으며, 이를 통해서 해당 응용들을 실용화하기 위해서 해결해야 할 문제점들을 다수 도출하였다[13][14]. 그럼에도 불구하고 실제 현장에서 기대했던 만큼 많은 무선센서네트워크 응용이 확산되고 있지는 못한 실정이다. 그 원인에는 사회 및 경제적인 이유와 함께 기술적인 이유도 있다. 기술적인 이유에는 자원제약적인 센서노드가 물리적인 세계와 상호작용을 하다 보니 검증 및 디버깅이 어렵다는 것이다. 즉, 주로 사람과의 상호작용을 하며 편리한 디버깅 환경을 갖추고 있는 PC에서 동작하는 PC용 소프트웨어와 달리 센서노드와 같은 자원제약적인 임베디드 시스템의 소프트웨어는 사람을 포함한 물리적인 세계와 상호작용을 전제로 하기 때문에 디버깅 및 검증이 쉽지 않다. 왜냐하면, 자원제약적인 특성으로 인해 디버깅 환경이 열악할 뿐만 아니라 이들 소프트웨어를 디버깅하기 위해서는 물리적인 세계를 직접 제어해야 하는데, 물리적인 세계를 제어하는 것은 상대적으로 많은 시간과 비용을 필요로 하기 때문이다. 따라서 무선센서네트워크의 확산을 촉진하기 위해서는 이들 소프트웨어(혹은 알고리즘)를 보다 효율적으로 디버깅하고 검증할 수 있는 기술에 대한 연구가 필요하다.

지금까지 무선센서네트워크 응용시스템이 제안되어 실제 현장에 적용되는 과정에서 분석적 방법(analytical method), 시뮬레이션(simulation), 테스트베드(testbed) 등을 통해서 전체 시스템의 동작이 검증되고 있다. 분석적인 방법은 수학적 모델을 만들고 성능을 평가하기 위해서 시스템이나 알고리즘의 단순화 및 가정들이 필요하기 때문에 이를 통한 검증 및 성능 분석의 정확성을 신뢰하기 어렵다[15][16]. 시뮬레이션의 경우 대량의 무선센서네트워크를 다양한 시나리오에 대해 저비용으로 시험할 수 있으나, 실세계를 컴퓨터로 모델링하기 위해서 가정들이 필요하며 이로 인해 알고리즘이나 통신 프로토콜을 충분히 검증하기에는 부족한 면이 있다[17]. 테스트베드의 경우 실제 구현된 센서네트워크를 물리적인 세계에서 시험하기 때문에 성능평가의 정확성이 높으나, 비용 때문에 대량의 센서네트워크를 시험할 수 없을 뿐만 아니

라, 앞에서 언급했듯이 물리세계를 제어하는 것과 자원제약적인 센서노드 수준에서 센서네트워크를 디버깅 및 검증하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 테스트베드 수준의 디버깅 및 검증의 정확성은 유지하되, 물리적인 환경을 제어하는 횃수를 가능한 줄이면서 편리한 디버깅 환경을 제공하여 디버깅 및 검증에 필요한 비용, 시간 및 노력을 줄일 수 있는 효율적인 방안이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 요건들을 만족 시킴으로써 센서네트워크의 동작과 센싱 알고리즘을 효율적으로 검증할 수 있는 소프트웨어 프레임워크를 제시하고자 한다. 뿐만 아니라, 본 프레임워크를 따라 제작된 무선센서네트워크 기반 지능형 주차장 시뮬레이터 구현 사례를 통해서 본 프레임워크의 가능성을 살펴본다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 센서네트워크 검증과 관련된 국내외연구동향을 살펴보고, 3장에서는 센서네트워크의 동작과 센싱 알고리즘을 검증할 수 있는 소프트웨어 프레임워크를 제안한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 소프트웨어 프레임워크의 실제 적용사례를 살펴봄으로써 그 가능성을 증명하며 5장은 본 논문을 요약 및 정리하며 결론을 내린다.

2. 관련 연구

본 장에서는 무선센서네트워크 응용시스템의 성능을 평가하고 검증하기 위해 사용되는 분석적 방법, 시뮬레이션 및 테스트베드 중 시뮬레이션 및 테스트베드 관련 연구를 살펴본다.

대량의 센서노드의 동작을 네트워크 측면에서 시뮬레이션 할 수 있는 다양한 시뮬레이터들이 연구 및 개발 되었다. 대표적인 시뮬레이터로는 NS-2, NS-3, OMNeT++, SSFNet, J-Sim, Qualnet, OPNET 등이 있다[18]. 하지만, 이들 시뮬레이터들은 네트워크의 동작만을 시뮬레이션할 수 있으며 센싱 알고리즘의 동작을 검증할 수는 없다. 한편, Wireless Body Sensor Networks 분야에서 생체 신호처리 응용을 검증하기 위한 프레임워크가 제안되었으며[19], 차량 감지를 위한 무선센서네트워크 응용에서 자기신호(magnetic signal)를 표현하고 신호처리 알고리즘을 테스트해볼

수 시뮬레이터가 제안되었다[20]. 이들 논문에서 제안된 프레임워크와 시뮬레이터는 주로 신호처리 알고리즘의 성능을 평가하고 검증하는 측면에 초점이 맞춰져 있으나, 센서네트워크 응용의 특성상 네트워크 동작에 대한 검증 또한 간과되어서는 안 된다. 따라서 각 센서노드에서 동작하는 센싱 알고리즘이나 전체 센서네트워크의 동작 중 어느 한 측면만 검증하기보다는 센서네트워크의 네트워크 측면의 동작과 각 노드의 응용 계층에 있는 센싱 알고리즘의 동작을 통합적으로 검증하는 소프트웨어 프레임워크가 필요하다.

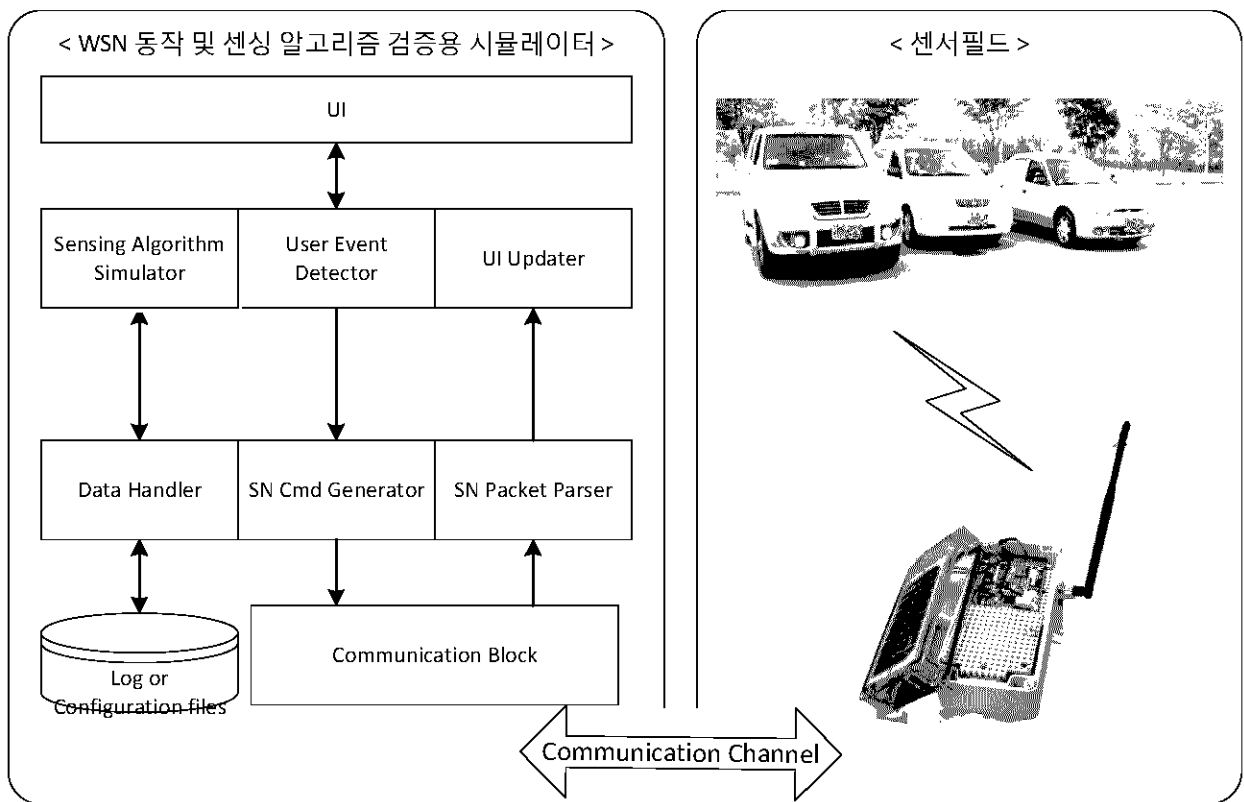
본 논문은 센서네트워크 전체와 연동할 수 있으며 다양한 응용에 참조 및 적용 가능한 센서네트워크 동작 및 센싱 알고리즘 검증을 위한 시뮬레이션 소프트웨어 프레임워크의 요구사항을 살펴보고 설계한다.

3. WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증을 위한 소프트웨어 프레임워크

본 장에서는 테스트베드 상에서 WSN의 동작을 효율적으로 모니터링하고 관리하며 센싱 알고리즘의 성능을 평가하고 검증할 수 있는 소프트웨어 프레임워크(<그림 1>)를 제안한다. 제안된 소프트웨어 프레임워크는 검증용 호스트에서 동작하는 'WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증용 시뮬레이터', 실제 주변 환경을 센싱하기 위한 센서노드가 설치되어 있는 '센서필드', 그리고 이들을 연결하기 위한 '통신채널'로 구성된다.

3.1 시뮬레이터

'WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증용 시뮬레이터'는 'WSN 관제' 그리고 '센싱 알고리즘 검증'의 두 가지 기능을 가진다. 먼저 'WSN 관제 기능'은 연구개발 중인 무선센서네트워크 시스템의 동작 상태를 모니터링 하며 필요에 따라 특정 센서노드의 동작을 제어할 수 있는 기능을 수행한다. 이를테면, 네트워크 측면에서 이웃노드정보 조회(주소, 링크 상태, 부모/자식 관계, 등) 및 각 노드의 동작 모드(normal 혹은 debugging)



<그림 1> 센서네트워크 관제 및 센싱 알고리즘 검증 소프트웨어 프레임워크

설정 및 조회 등이 이러한 기능에 포함된다. 이 기능을 통해서 센서필드 상태조회를 수행해보면 센서필드에 구성된 무선센서네트워크에 대한 링크 정보, 라우팅 정보 및 토폴로지 정보 등을 포함하여 WSN 동작 상태를 점검 및 검증할 수 있다.

다음으로 ‘센싱 알고리즘 검증’기능은 실제 센서노드 상에서 동작하는 알고리즘을 평가하기 위한 기능이다. 앞에서 설명한 관계기능을 통해서 센서노드의 동작 모드를 normal 혹은 debugging 모드로 설정할 수 있다. normal 모드로 설정될 경우, 센서노드는 센싱 알고리즘의 최종 결과만을 시뮬레이터로 전송하며 시뮬레이터에서는 이를 표시해준다. 하지만, 경우에 따라 센서노드에 있는 센싱 알고리즘을 검증하고 새로운 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 이때, 센서노드의 동작 모드를 debugging모드(혹은 실시간 모니터링 모드)로 설정하여 센서노드가 센싱 알고리즘의 입력으로 필요한 원시 데이터(raw data)를 시뮬레이터로 전송하도록 한다. 시뮬레이터에서는 수신된 원시 데이터를 시뮬레이터 상에 구현되어 있는 센싱 알고리즘의 입력으로 전달하여 검증용 호스트 상에서 센싱 알고리즘을 실시간으로 검증하거나 새로운 센싱 알고리즘을 개발할 수 있다. 아울러, 원시 데이터와 함께 센서노드에서 실행한 센싱 알고리즘의 결과도 전송하면 시뮬레이터 상의 센싱 알고리즘의 결과와 비교하여 검증할 수 있다. 이때, 시뮬레이터 상에서 구현되어 검증되는 알고리즘은 최소한의 수정을 통해서 실제 센서노드로 포팅 가능해야 한다(portability). 뿐만 아니라, 센서필드로부터 수신한 원시 데이터를 데이터베이스나 파일로 검증용 호스트에 저장하여, 추후 오프라인으로 센싱 알고리즘을 검증할 때 재사용할 수 있어야 한다(repeatability). 즉, 디버깅 환경이 열악한 센서노드에서 센싱 알고리즘을 검증할 필요 없이, 편리한 디버깅 환경이 갖춰져 검증용 호스트에 이미 저장되어 있는 각 상황별 원시 데이터를 활용하여 센싱 알고리즘의 동작을 디버깅 및 검증할 수 있다.

앞에서 기술한 ‘WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증용 시뮬레이터’를 구현하기 위해서 <그림 1>에 표시한 하부 블록들이 필요하다. ‘UI (User Interface)’ 블록은 관계 및 센싱 알고리즘 검증을 위한 사용자 인터페이스로서 기본적으로 GUI를 지원해야 하며 필요

에 따라 텍스트 기반의 디버깅도 지원할 수 있어야 한다. ‘Sensing Algorithm Simulator’ 블록은 ‘Log or Configuration files’ 블록에 저장된 센서노드로부터 수신한 원시 데이터를 ‘data handler’블록을 통해서 읽어 들여 센싱 알고리즘을 검증하고 평가하기 위한 블록이다. 이 블록에서 구현된 센싱 알고리즘은 실제 센서노드에 최소한의 수정만으로 바로 적용 가능하도록 portability를 고려하여 구현되어야 한다. 뿐만 아니라, 다양한 센싱 알고리즘을 적용할 수 있어야 하며 (extendability), 센싱 알고리즘의 동작을 디버깅하기 위하여 알고리즘 동작 과정을 추적할 수 있어야 한다 (traceability). ‘User Event Detector’블록은 사용자의 입력을 받아 센서네트워크를 관리하고 제어하는 기능을 수행한다. 이를 위해 먼저 사용자의 입력을 읽어 필요에 따라 ‘SN Cmd Generator’를 통해 센서노드로 전송될 명령 메시지를 생성하며 이 메시지를 ‘Communication’ 블록을 통해 센서필드로 전송한다. 대표적인 명령 메시지에는 센서노드 상태조회 메시지 그리고 동작 모드(Normal 혹은 Debugging) 변경 메시지 등이 있다. ‘UI Updater’ 블록은 ‘SN Packet Parser’ 블록이 해석한 수신 메시지의 내용에 따라 ‘UI’에 있는 각종 컴포넌트를 제어한다. 보다 구체적인 내용은 4장의 WSN기반의 지능형 주차차량연구를 통하여 살펴본다.

3.2 센서필드 (Sensor Field)

센서필드는 실제 무선센서노드들이 설치되는 현장으로서 센서노드들은 주변환경을 센싱하고 센싱된 결과를 센서네트워크를 통해 싱크노드로 전송한다. 싱크노드는 해당 정보를 다음 절에서 설명할 통신채널을 통해서 시뮬레이터로 전송한다. 이때 각 노드는 주변을 센싱한 원시 데이터를 기반으로 센싱 알고리즘을 통해서 상황을 판단하여 판단한 결과를 전송할 수 있을 뿐만 아니라(normal mode), 시뮬레이터 상에서 수행될 센싱 알고리즘의 검증을 위하여 원시 데이터 자체를 전송할 수도 있어야 한다(debugging mode). 또한, 센서 필드에 있는 각 센서노드는 시뮬레이터로부터 수신된 명령 메시지에 따라 동작 모드(normal 혹은 debugging)를 변경하거나 현재 노드의 상태(이

웃 노드 수나 링크 상태, 전원 상태 등)를 시뮬레이터로 전송하도록 프로그램되어야 한다.

3.3 통신채널 (Communication Channel)

‘통신채널’은 검증용 호스트에서 동작하는 시뮬레이터와 센서필드 사이의 데이터 교환을 지원한다. 다양한 종류의 통신채널이 존재할 수 있지만, 가장 기본적인 통신채널로는 RS-232를 들 수 있다. 즉, 센서필드와 시뮬레이터는 RS-232 표준으로 구현된 통신채널을 통해서 서로 메시지를 교환한다. 물론, 경우에 따라 TCP/IP기반의 소켓통신을 활용할 수도 있다.

통신채널에서는 패킷의 손실우려가 극히 낮으나 무선구간을 사용하는 센서필드에서는 패킷이 손실될 수 있다. 만약 순차적인 원시 데이터 중 일부가 손실된다면 센싱 알고리즘 검증에 오류가 발생할 수 있다. 하지만, 응용계층에서 시퀀스 넘버를 활용하여 원시 데이터의 손실 여부를 판단한다면, 상기 오류를 피할 수 있을 것으로 사료된다.

3.4 소프트웨어 프레임워크 요구사항 요약

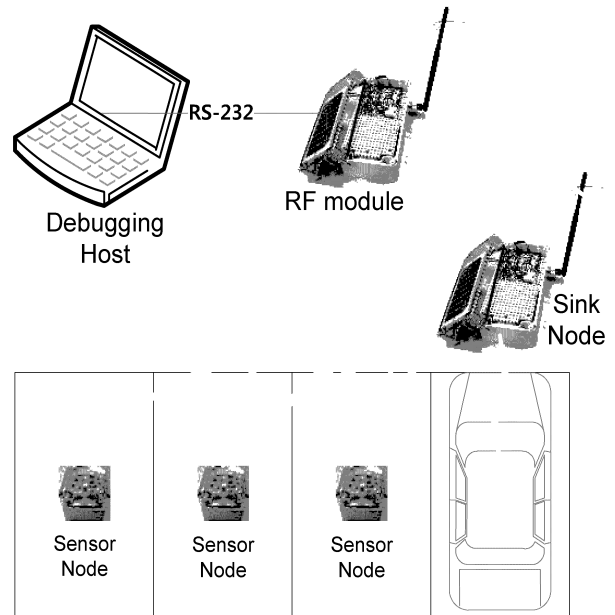
지금까지 살펴본 센서네트워크 동작 및 센싱 알고리즘 검증을 위한 소프트웨어 프레임워크의 요구사항을 요약해보면 portability, repeatability, extendability, 그리고 traceability 로 다음의 <표 1>과 같이 정리해 볼 수 있다.

<표 1> 소프트웨어 프레임워크 요구사항

요구사항	설명
portability	검증된 센싱 알고리즘을 최소한의 수정만으로 실제 센서노드에 포팅가능해야 함
repeatability	센싱 알고리즘 검증을 위해서 저장해 둔 원시 데이터의 재생 및 분석이 용이해야 함
extendability	원시 데이터 표현, 센서노드 관제 및 센싱 알고리즘 검증을 위해 GUI 컴포넌트 및 센싱 알고리즘에 대한 확장이 용이해야 함
traceability	센싱 알고리즘의 각 동작 과정에 대한 디버깅 및 추적이 용이해야 함

4. 사례연구-WSN기반의 지능형 주차장

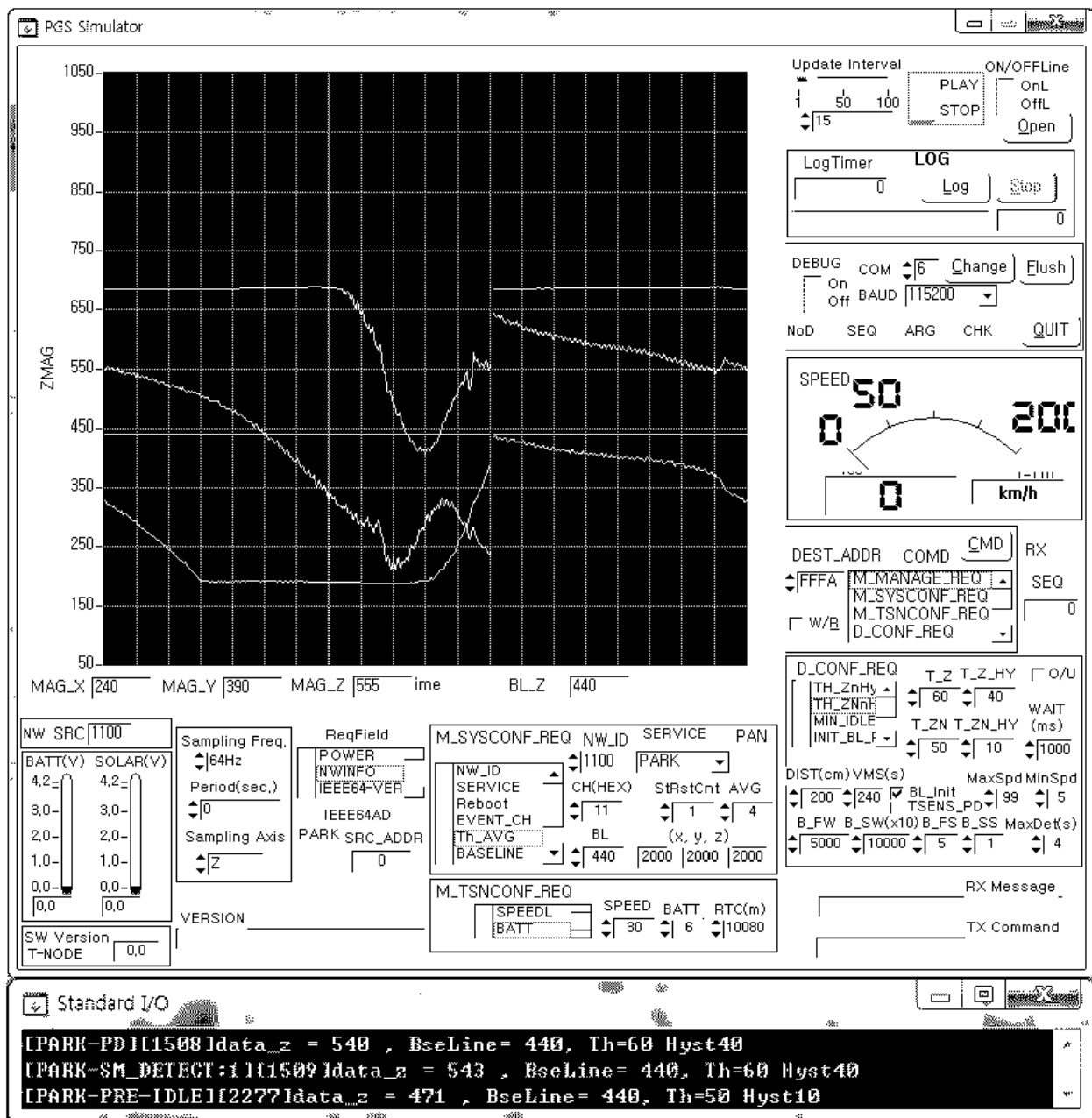
본 장에서는 앞 장에서 설계한 ‘WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증용 시뮬레이터’ 프레임워크를 실제 적용해서 구현한 사례 중 ‘WSN 기반의 지능형 주차장’ 응용(<그림 2>)을 살펴봄으로써 제안된 프레임워크의 가능성을 살펴본다.



<그림 2> WSN 기반의 지능형 주차장

4.1 WSN 기반의 지능형 주차장 소개 및 센서필드

WSN 기반의 지능형 주차장은 차량을 검지할 수 있는 센서를 내장하여 각 주차면에 설치되는 무선센서노드, 센서노드가 검지한 센싱 정보를 수집해서 전달하기 위한 싱크노드, 그리고 싱크노드로부터 전달된 정보를 게이트웨이나 디버깅호스트(검증용 호스트)로 전달하기 위한 통신모듈로 구성된다. 센서노드는 차량에 의해서 왜곡되는 지구자기장(<그림 4>)을 측정하기 위한 MR (Magneto-Resistive) 센서를 포함하고 있으며, MR 센서의 출력값의 게인 및 오프셋을 조절하여 그 결과를 ADC (Analog to Digital Converter)를 통해서 읽어 들인다. 이렇게 획득된 원시 데이터는 기본적으로 센서노드에 있는 센싱 알고



<그림 3> WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증용 시뮬레이터 구현 사례

리즘을 통해 주차면에 주차된 차량의 유무를 판단하는 데 활용된다(normal mode). 센서노드가 검지한 이러한 주차 정보는 싱크노드를 통해 RF모듈이 탑재된 베이스 스테이션(혹은 게이트웨이)으로 전송된다. 이때 RF모듈은 베이스 스테이션 대신 검증용 호스트로 직접 연결될 수 있다. RF모듈은 RS-232프로토콜을 통해서 검증용 호스트에서 실행 중인 시뮬레이터와

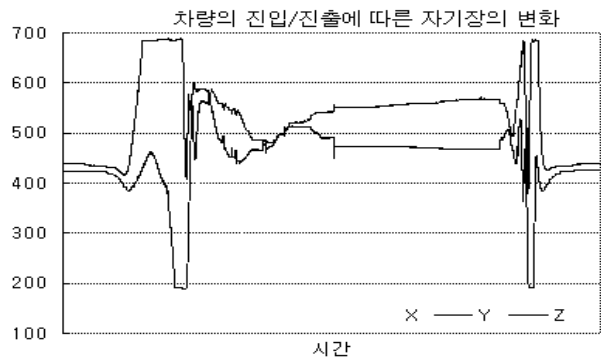
통신을 한다. 본 사례에서는 <그림 1>의 통신 채널을 RS-232프로토콜을 이용해서 구현하였다. 물론, 이를 TCP/IP 기반의 소켓 통신으로 대체하는 것도 얼마든지 가능하다. 센서필드로부터 전송되는 패킷은 기본적으로 센싱 정보 패킷, 네트워크 정보 패킷, 노드 동작 모드 변경 패킷 등이 있다.

4.2 시뮬레이터

<그림 1>의 'WSN 동작 및 센싱 알고리즘 검증용 시뮬레이터'를 구현하기 위해서 National Instrument 사의 Lab Windows/CVI 라는 개발도구를 사용하였다. Lab Windows/CVI는 ANSI C기반의 통합 개발환경으로서 제어 및 테스트 응용 개발에 적합한 개발틀이다. 특히 본 사례에서 CVI를 활용한 이유는 편리하게 각 GUI 컴포넌트를 추가 및 관리할 수 있으며(extendability) ANSI C 기반이어서 시뮬레이터에서 검증된 센싱 알고리즘을 최소한의 수정만으로 실제 센서노드로 포팅할 수 있기 때문이다(portability).

<그림 3>은 WSN기반 지능형 주차장 시스템을 검증하기 위해 구현된 시뮬레이터로 기본적으로 <그림 2>의 센서필드로부터 전송되는 주차 정보, 각 노드의 전원상태(배터리 및 Solar Cell) 및 네트워크 상태 정보(이웃노드 주소 및 링크상태)를 표현해준다. 또한, 본 시뮬레이터를 통해서 특정 센서노드의 동작 모드를 실시간 모니터링 모드(혹은 debugging mode)로 설정할 경우, 해당 센서노드는 지자기를 센싱한 원시 데이터를 실시간으로 시뮬레이터로 전송한다. 본 시뮬레이터는 이렇게 전송된 원시 데이터를 'log' 기능을 이용해 저장할 수 있으며, 또한 'play' 기능을 통해서 저장된 원시 데이터를 재생하면서(repeatability) 시뮬레이터에 구현되어 있는 센싱 알고리즘을 검증할 수 있다. 물론, log기능을 이용해서 저장된 원시 데이터는 MS-Excel 등과 같은 툴을 이용해 다음 <그림 4>와 같이 표현될 수 있으며 MATLAB 등과 같은 다른 분석 소프트웨어 툴을 통해서 다양한 방법으로 분석될 수 있다.

<그림 3>의 아래쪽 'Standard I/O' 창에는 시뮬레이터에 구현된 센싱 알고리즘이 출력하는 디버깅 메시지가 출력된다. 센싱 알고리즘의 디버깅은 CVI에서 지원하는 'break point' 기능을 이용해서도 가능하다(traceability). 이러한 디버깅 기법은 주차노면에 매설되어 있는 센서노드에는 직접 적용될 수 없으나, 본 사례를 통해서 구현된 시뮬레이터에는 쉽게 적용되어 센서네트워크 동작 및 센싱 알고리즘에 대한 디버깅과 검증의 효율성을 증대시켜준다.



<그림 4> 차량의 진출·입에 따른 ADC값 변화

5. 결론

본 논문에서는 최근 다양한 영역으로 확산되고 있는 무선센서네트워크의 검증을 위한 방안으로서 센서네트워크의 네트워크 동작 및 센싱 알고리즘 검증을 위한 소프트웨어 프레임워크를 제안하였다. 제안된 프레임워크를 적용하여 지능형 주차장 시스템을 위한 무선센서네트워크를 검증하기 위한 시뮬레이터를 제작한 결과를 제시하고 그 가능성을 살펴보았다. 본 논문이 제안한 소프트웨어 프레임워크는 센서네트워크 기반의 지능형 주차장 응용시스템 뿐만 아니라 다양한 센서를 사용하는 다양한 응용시스템을 검증하기 위한 검증 소프트웨어를 개발할 때 중요한 가이드가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] S. Yoo, J. Kim, T. Kim, S. Ahn, J. Sung, and D. Kim "A2S: Automated Agriculture System Based on WSN," In Proc. of the 11th Annual IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE2007), Dallas, TX, USA, June 20-23, 2007.
- [2] J. Sung, et. al, "Wireless Sensor Network for Cultural Property Protection," In Proc. of the 1st IEEE International Workshop on Applications of Ad hoc and Sensor Networks (AASNET2008, in

- conjunction with AINA2008), Okinawa, Japan, March 25-28, 2008.
- [3] A.N.Kanian, "A Wireless Sensor Network for Smart Roadbeds and Intelligent Transportation Systems," Master Thesis, MIT: Cambridge, MA, USA, 2000.
- [4] J. Ding, S. Yiu, C. Tang, and P. Varaiya, "Signal Processing of Sensor Node Data for Vehicle Detection," In Proc. of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Washington DC, USA, October 3-6, 2004.
- [5] S. Yoo, P. Chong, D. Kim, "S3: School zone Safety System Based on Wireless Sensor Network", Sensors, vol.9, no. 8, pp.5968-5988, 2009
- [6] Y.S. Cheung, S. Coleri, P. Varaiya, "Traffic Surveillance with Wireless Magnetic Sensors," In Proc. of the 12th ITS World Congress, San Francisco, CA, USA, Nov. 2005.
- [7] S. Coleri, P. Varaiya, "PEDAMACS: Power Efficient and Delay Aware Medium Access Protocol for Sensor Networks," IEEE Trans. Mob. Comput. vol.5, 910-930, 2006.
- [8] S. Yoo, P.K. Chong, T. Park, Y. Kim, D. Kim, C. Shin, K. Sung, and H. Kim, "DGS: Driving Guidance System Based on Wireless Sensor Network," in Proc. of the 1st IEEE International Workshop on Applications of Ad hoc and Sensor Networks (AASNET2008, in conjunction with AINA2008), Okinawa, Japan, March 25-28, 2008.
- [9] S. Yoo, P.K. Chong, T. Kim, J. Kang, D. Kim, C. Shin, K. Sung, and B. Jang, "PGS: Parking Guidance System Based on Wireless Sensor Network," In Proc. of the 3rd International Symposium on Wireless Pervasive Computing (ISWPC 2008), Santorini, Greece, May 2008.
- [10] 권차욱, 차경애, "센서 네트워크 기반의 다중센서 협업을 이용한 모니터링 시스템 개발", 한국산업정보학회 논문지, 제15권, 제2호, pp.91-98, 2010.
- [11] 박홍진, "유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 독거노인 지킴이 시스템 구현", 한국산업정보학회 논문지, 제15권, 제2호, pp.41-48, 2010.
- [12] S. Yoo, P. K. Chong, D. Kim, Y. Doh, M.-L. Pham, E. Choi, J. Huh, "Guaranteeing Real-Time Services for Industrial Wireless Sensor Networks With IEEE 802.15.4," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.57, no.11, pp.3868-3876, Nov. 2010.
- [13] 시중익, "RFID/USN 시범 및 확산사업 추진 현황", RFID/USN 표준기술 및 서비스 워크숍, 한국정보통신기술협회, 2007
- [14] 안기찬, "정부의 RFID/USN 확산사업 추진 현황 및 계획", ICT Forum Korea 2011, 2011
- [15] Imran, M., A. M. Said, et al., "A survey of simulators, emulators and testbeds for wireless sensor networks," Information Technology (ITSim), International Symposium in., 2010
- [16] Krop, T., M. Bredel, et al., "JiST/MobNet: combined simulation, emulation, and real-world testbed for ad hoc networks," Proceedings of the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization. Montreal, Quebec, Canada, pp.27-34, 2007
- [17] Kiess, W. and M. Mauve, "A survey on real-world implementations of mobile ad-hoc networks," Ad Hoc Networks, vol. 5, issue 3, pp.324-339, 2007
- [18] J. Pan and R. Jain, "A Survey of Network Simulation Tools: Current Status and Future Developments," <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse567-08/ftp/simtools/index.html>
- [19] F. Bellifemine, et al., "SPINE: a domain-specific framework for rapid prototyping of WBSN applications," Software: Practice and Experience, vol. 41, issue 3, pp. 237-265, John Wiley & Sons, 2011
- [20] 유재준, 김도현, 박종현, "차량 검지를 위한 자기

신호의 가시화 및 자기 신호 처리의 시뮬레이션”,
대한임베디드공학회 추계학술대회, pp. 453-455,
2011



유 성 은 (Seong-eun Yoo)

- 정회원
- 한양대학교 전자전기공학부 공학사
- 한국정보통신대학교 공학부 공학 석사
- 한국과학기술원 정보통신공학과 공학박사
- 대구대학교 정보통신공학부 전임강사
- 관심분야 : 실시간 임베디드시스템, 무선센서네트워크

논문접수일 : 2012년 01월 20일
1차수정완료일 : 2012년 02월 01일
게재확정일 : 2012년 02월 06일