

무전원 무선 센서 신호발생과 분석장치에 관한 연구

강희국**, 이상철**, 최재성**, 이현***, 이동하**

**대구경북과학기술원 로봇시스템연구부

***선문대학교 컴퓨터공학과

e-mail: comhero@dgist.ac.kr, sclee@dgist.ac.kr, jschoi@dgist.ac.kr,

mahyun91@sunmoon.ac.kr, dhlee@dgist.ac.kr

A Study on RF Signal generator and analyzer for battery-less wireless sensors

Hee-Kuk Kang**, Sang-Cheol Lee**, Jae-Sung Choi**

Hyun Lee***, Dong-Ha Lee**

**Divison of Robotics System, DGIST

***Department of Computer Engineering, Sunmoon University

요 약

무선 센서 네트워크 기술은 상시적으로 물리정보를 획득할 수 있기 때문에 광범위한 응용분야에서 수요가 증가하고 있다. 또한 무선 센서 네트워크에 적용되는 무선 센서 시스템은 일반적으로 배터리를 장착하여 회로에 전력을 공급해주는 방식을 사용한다. 그러나 센서가 적의 기지근처, 인체 조직내 삽입, 건물의 내벽 등과 같이 배터리를 교체할 수 없는 곳에 위치해 있는 경우, 반영구적인 사용에 제한이 있기 때문에 무전원 무선 센서의 개발이 절실히 필요하다. 특히, 이러한 센서를 새롭게 개발하고 검증하려면 센서의 주파수 특성을 분석해야 하는데 기존에는 단순한 파형만을 분석할 수 있는 일반적인 계측기를 사용할 수밖에 없었다. 따라서 본 논문에서는 기존의 계측기보다 유연성 있고 효율적으로 무전원 무선 센서의 개발과 검증이 가능하도록 신호의 모니터링과 신호발생기를 에뮬레이션하는 NI LabVIEW기반의 SAW System Analyzer와 SAW Reader Emulator 시스템을 설계하고 개발하였다.

1. 서론

무선 네트워크와 센싱기술의 결합을 통해 상시적으로 물리 정보를 획득하여 가상공간과 현실공간을 융합할 수는 무선 센서 네트워크 기술은 유비쿼터스 센서네트워크(USN), 구조물의 안전진단, 의료 분야 등과 같은 많은 응용분야에서 광범위하게 수요가 증가하고 있다.[1]

센서는 감지된 정보를 전기적인 신호로 변환하고 무선으로 전송하기 위하여 일반적으로 CMOS(Complimentary Metal Oxide Semiconductor)회로를 이용하는데, CMOS 반도체는 반드시 유선이나 배터리를 통하여 전원을 공급해야 동작한다. 무선 센서 시스템의 경우 전력공급 방식은 일반적으로 배터리를 장착하여 회로에 전력을 공급하고 있지만, 센서가 배터리를 교체할 수 없는 곳, 이를테면 적의 기지근처, 방사능 오염이 심각한 지역, 건물의 내벽, 인체 조직에 삽입되어야 하는 경우에는 현실적으로 반영구적인 사용에 제한이 있다. 또한 센서는 전원 인가 방식에 따라 능동 센서(Active sensor)와 수동 센서(Passive sensor), 그리고 중간단계의 준능동 센서(pseudo-active sensor)로 구분할 수 있다. 수동센서는 LC 결합(coupling)에 따른 임피던스 교란을 통한 주파수 변이를 측정하는 방식과 표면탄성파(SAW: Surface Acoustic Wave)를 이

용한 센서가 대표적인데, 전자는 무선감지 범위가 ±2cm에 불과하지만 SAW 소자를 이용한 방식은 ISM밴드 사용시 최대 3~10m 이상의 장거리 계측이 가능하여 수동 센서들 중에서 비교적 긴 감지거리를 갖는다.[2][3][4]

무선 센서 네트워크에 적용하기 위한 센서의 개발은 주로 낮은 전력 소모의 반도체 회로를 갖는 능동 센서에 치중하고 있으나, 배터리 기술이 발전하더라도 무선 센서의 작동 수명은 제한적일 수밖에 없다. 그래서 외부의 전원공급이 없어도 반영구적으로 동작할 수 있는 SAW 소자를 이용한 무전원 무선 센서(SAW 무선 센서)의 개발이 반드시 필요하다. 특히, 이러한 SAW 무선 센서를 개발하고 검증하려면 반드시 센서와 신호발생기의 주파수 특성을 분석해야하는데, 기존에 사용하는 일반적인 계측장비의 경우에는 단순한 파형만을 분석하는 한계점을 가지고 있다.

이러한 한계를 극복하기위해서 본 연구에서는 고주파 신호를 전송하고 수신하는 기능이 겸용으로 설계된 계측용 컴퓨터와 NI(National Instrument)사의 LabVIEW 프로그램을 이용하여 정밀한 분석 및 진단이 가능한 SAW System Analyzer 프로그램과 SAW 무선 센서의 Reader를 계측용 컴퓨터로 에뮬레이션하는 SAW Reader Emulator 프로그램을 개발하였다.

본 연구의 구성은, 2장에서는 관련연구로 SAW 센서의 기본구조와 작동원리에 대해서 살펴보고, 3장에서는 개발된 하드웨어의 시스템 구성을 설명하고, 4장에서는 NI

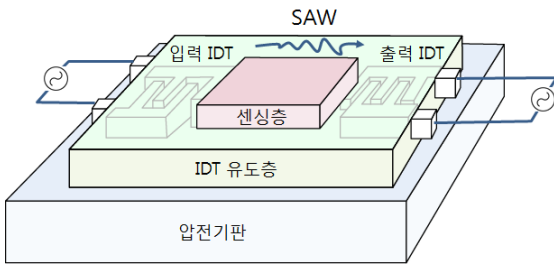
※ 본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술원 일반사업에 의해 수행되었습니다(12-BD-0101).

LabVIEW로 개발된 프로그램을 설명한다. 마지막으로 5 장에서는 본 연구의 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 SAW 센서의 기본구조

SAW는 Surface Acoustic Wave의 약어로 표면탄성과 혹은 표면 음향파라고 한다. 지진이 지면을 통해 전파하는 것처럼 고체의 표면을 통해서 탄성파가 전달되는 것에 비유되며 1895년에 Lord Rayleigh가 처음 소개하였으며, SAW를 효과적으로 발생시키는 SAW 소자의 연구와 SAW를 이용한 무전원 무선 센서가 개발되어왔다.

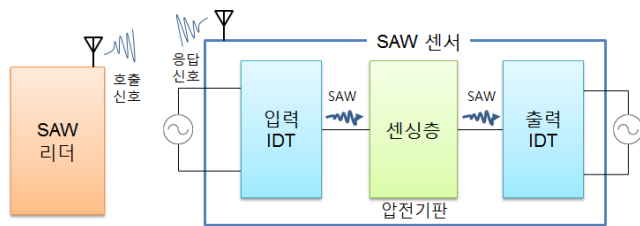


[그림 2] SAW 센서의 기본구조

SAW 센서의 기본구조는 [그림 1]과 같다. 그 핵심은 압전기판(piezoelectric substrate)위에서 전기신호를 가하면 SAW가 발생하고, 역으로 SAW를 다시 전기신호로 변환하는 기능을 갖으며 외형이 빗살모양으로 된 금속전극인 IDT(interdigital transducer)와 그 IDT 유도층 위에 센싱층을 효율적으로 만드는 것이다. [5]

2.2 SAW 무선 센서의 작동원리

SAW 무선 센서의 작동원리는 [그림 2]와 같고, 간단히 설명하면 작동순서는 다음과 같다.



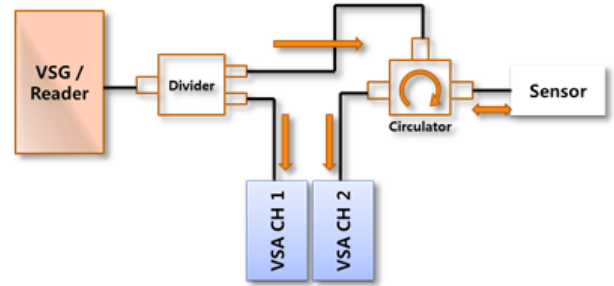
[그림 2] SAW 센서의 작동원리

첫째, SAW 리더시스템은 300MHz~2.45GHz의 고주파 RF 호출신호를 송신한다. 둘째, SAW 센서는 무선 호출 신호를 수신하여 SAW 무선 센서 내부의 압전기판상에 SAW로 변환하여 진동을 발생시켜 진행한다. 셋째, 진행된 SAW는 센싱층의 센서 상태 정보를 포함하여 출력 IDT에 이르게 된다. 넷째, SAW 무선 센서는 센싱 정보를 포함한 센서 응답신호를 전송한다. 다섯째, 리더시스템은 SAW 무선 센서로부터의 신호를 분석하여 센서가 설치된 주변 환경을 분석하고 센서 값을 추출한다.[6]

3. 시스템 구성

3.1 시스템 구성 방법

SAW 무선 센서로부터의 응답신호를 계측하기 위해서는 계측용 장비가 고주파 신호를 전송하는 기능과 수신하는 기능이 겸용으로 설계되어야 하며, [그림 3]의 구성도와 같이 계측용 컴퓨터(NI 장비)의 VSA(Vector Signal Analyzer) CH1과 VSA CH2가 송수신 기능을 해준다.



[그림 3] 무전원 무선 센서 제어시스템 구성도

본 연구에서는 SAW Reader와 SAW 무선 센서의 신호가 다른 신호들과의 간섭을 피하고 정확한 분석을 위하여 유선상태로 연결하여 실험을 진행하였다. VSA CH1에는 SAW Reader나 SAW Reader Emulator에서 발생된 신호가 입력되도록 연결하고, VSA CH2에는 SAW 무선 센서에서 응답되어 돌아오는 신호가 VSA CH1과 VSA CH2에서 서로 영향을 받지 않도록 Circulator로 Isolation 시켜서 입력되도록 연결하였다.

3.2 하드웨어

무전원 무선 센서 제어시스템의 하드웨어 계측용 컴퓨터(NI PXIe-1075)에는 SAW System Analyzer의 SAW 무선 센서와 SAW Reader를 위한 PXIe-5663E 2개 채널(그림 4의 컴퓨터 좌측 슬롯)과 SAW Reader를 에뮬레이션해주는 SAW Reader Emulator를 위한 PXIe-5673E 1개 채널(아래 그림의 컴퓨터 우측 슬롯)이 장착되어 있고, 기타 RF 커넥터 액세서리 등이 포함되어 있다. 특히 정확한 계측을 위하여 [그림 4]와 같이 SAW 장치들을 연결한 후에 계측용 컴퓨터 슬롯의 경고 표시등이 초록색이 되도록 MAX(Measurement and Automation eXplorer) 프로그램으로 반드시 초기화하고 실험을 진행해야 한다.

3.3 소프트웨어

NI LabVIEW 기반의 무전원 무선 센서 제어시스템을 정확하게 작동시키기 위해서는 기본적으로 NI LabVIEW (2010 이후 version)을 비롯하여 NI LabVIEW Advanced Signal Processing Toolkit, NI Spectral Measurement toolkit, NI Modulation toolkit과 같은 소프트웨어가 미리 설치되어 있어야 한다.



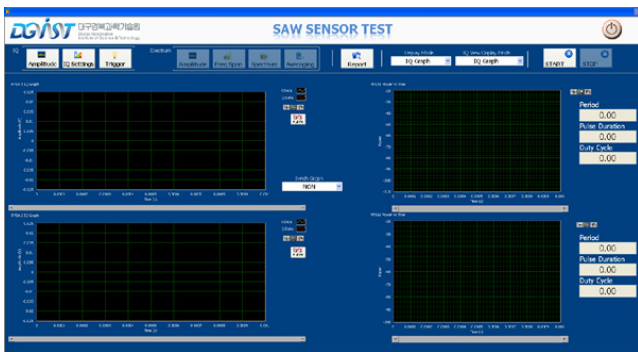
[그림 4] 무전원 무선 센서 제어시스템의 실제 모습

4. SAW System Analyzer와 Reader Emulator

4.1 SAW System Analyzer

NI LabVIEW 기반으로 개발된 SAW System Analyzer를 사용하기 위해, SAW System Analyzer.vi를 실행하면 [그림 5]와 같은 초기화면이 나타난다. 이 프로그램은 RFSA로 들어오는 두 채널(그림 4의 좌측 슬롯)의 RF신호를 동시에 분석할 수 있으며, 측정을 위한 5가지 주요 설정 항목은 IQ(In-phase/Quadrature-phase) CONFIG, Spectrum CONFIG, Operation, Graph, Graph Control으로 구성된다.

RF 신호의 분석을 위한 하드웨어적인 신호계측에는 IQ 측정 방식과 Spectrum 측정방식으로 나누어지며 본 프로그램은 두 가지 측정을 모두 할 수 있도록 구성되어 있다. 두 가지 측정이 모두 가능하지만 두 채널의 측정을 위하여서는 IQ 측정 방식을 이용하여야 채널 동기화가 가능하여 기본적인 측정은 모두 IQ 측정방식을 이용하여 계측이 되었으며, 이후 NI Spectral Measurement toolkit을 이용하여 Spectrum으로 변형하여 계측 데이터를 표현하도록 구성된다.



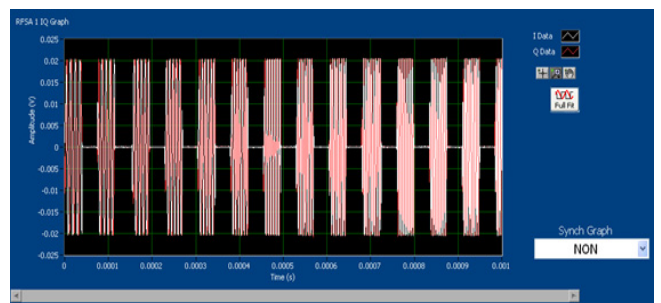
[그림 5] SAW 시스템 분석기의 초기화면

IQ 측정을 위해서는 [그림 5]의 좌측 상단에 존재하는 Amplitude, IQ Setting, Trigger의 설정이 선행되어야 한다. 입력되는 값은 기본 값으로 내부에 자동 저장되며 하드웨어에 적용되어 측정하기 위해 사용된다. Amplitude는 Reference Level을 입력하기 위한 대화상자로 단위는 dBm 이다. IQ Setting에서 Carrier Frequency는 RF신호를 보내기 위한 고주파 주파수의 기준 값을 정해주는 설정이고, IQ Rate는 측정을 위한 초당 측정되는 데이터의 내부 RF ADC(Analog to digital converter)

의 하드웨어 측정 속도이며, Number of Samples는 측정된 데이터를 OS로 올려주는 속도이다. 이 설정 값들에 따라 화면에서 한 번에 보이는 데이터의 크기가 결정된다. Trigger에서 Trigger Type은 특정 신호의 기준 계측을 시작하기 위한 설정으로 Non, Digital Edge, IQ Power Edge가 사용 가능하며, 특히 IQ Power Edge는 1ch와 2ch로 입력되는 RF신호의 Power Level을 기준으로 신호 측정을 시작하는 설정이다. Pretrigger Samples는 Trigger 시점보다 이전 데이터를 받기 위한 설정이다. 또한, Min Quiet Time은 Trigger를 결정하기 위하여 최소한으로 기다리는 시간을 의미하며, SAW 무선 센서의 특징상 ON/OFF Keying의 신호가 계속하여 만들어지고 측정시작 시점에서 한 Packet을 Trigger로 잡기 위하여 Min quiet time 만큼 지연 후의 데이터부터 데이터로 잡기 위한 설정이다.

Spectrum을 설정하기 위하여 4가지 설정 대화상자가 있으며, IQ와 달리 소프트웨어 설정이 변화된다. 또한, 이 설정을 통하여 IQ 신호를 Spectrum 신호로 변환시킨다. Center Frequency는 IQ의 Carrier Frequency와 동일하며 Spectrum에서 확인하고 싶은 주파수이다. Span은 Center Frequency의 양쪽 사이트에 측정하고자 하는 범위를 정한다. Spectrum Settings에서 Auto resolution은 RBW(Resolution Bandwidth)를 내부에서 계산하여 적당한 RBW로 설정한다. Power Spectrum Units은 PSD(Power Spectral Density)를 이용하여 dBm을 단위 Hz단위로 나누어서 표현하는 방식을 설정하며, FFT Window Type은 Window 방식을 설정한다. Averaging Mode는 Non, RMS, Vector, Peak Hold 중 한 가지를 설정하며, Non을 제외한 나머지는 Number of Averages의 숫자만큼의 데이터를 계산하여 화면에 보여주는 설정이다.

Operation을 설정하는 부분은 [그림 5]의 우측 상단에서 볼 수 있다. START는 CONFIG에서 설정한 값을 기준으로 IQ와 Spectrum을 그래프로 표현하기 시작하며, STOP은 측정을 멈춘다. Display Mode는 IQ와 Spectrum을 선택한다. IQ View Display Mode에서 IQ Graph는 일반적인 Display이며 RFSA한 채널에서 들어오는 IQ신호를 각 채널 별로 나누는 Display 설정이다.



[그림 6] IQ Graph

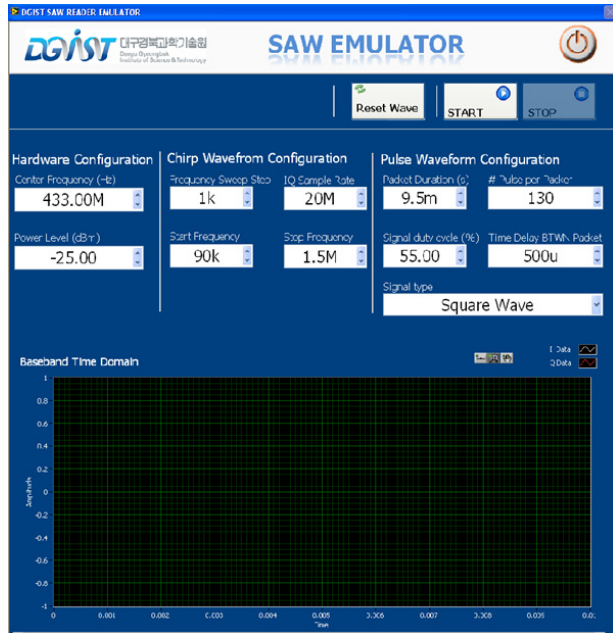
예를 들어, IQ Graph는 [그림 6]과 같이 실행 초기 화면에서 보이는 IQ를 확인하기 위한 IQ Graph와 Operation에서 IQ View Display Mode를 바꾸면 확인할 수 있는 I or Q Graph, 채널 별로 입력되는 소모 전력을 시간에 대비하여 표현한 Power vs Time Graph, 두 채널간의 Phase Delta vs Time

Graph, 기준 주파수(433Hz)를 중심으로 스펙트럼을 확인할 수 있는 Spectrum Graph, Spectrum의 인접 채널의 파워를 비교할 수 있는 Spectrum ACP Graph을 사용할 수 있다.

Graph Control은 IQ 그래프에서 Spectrum ACP(Adjacent Channel Power) Setting 값을 입력하여 확인하고자 하는 bandwidth와 spacing을 설정할 수 있으며, 시간 축을 조정하여 구간 선택 및 Zoom을 이용할 수 있다. 또한, Sync Graph를 통하여 SAW Reader와 SAW 무선 센서 채널의 그래프를 서로 동기화 시켜서 보여줄 수 있다. 모든 그래프에서 마우스 우측 버튼을 이용하여 데이터를 Excel로 저장하고 그래프를 이미지 파일로 Export하는 기능을 제공한다. 특히 RF 데이터를 저장할 때는 IQ rate Setting에 따라 매우 큰 용량이 저장될 수 있으므로, 시스템의 안정성을 확보하기 위하여 그래프로 확인이 되면 Operation STOP을 한 후 사용하도록 해야 한다.

4.2 SAW Reader Emulator

SAW Reader Emulator의 초기화면은 [그림 7]과 같다. [그림 4]의 계측용 컴퓨터 우측 슬롯(PXIe-5673E)에서 SAW Reader의 RF 호출 신호를 모사한 RF 신호를 Chirp Wave의 형태로 에뮬레이션하여 출력할 수 있도록 만든 프로그램이다. 또한, 다양한 스펙트럼을 갖는 또 다른 아날로그 RF신호를 출력할 수 있도록 구성되어 있기 때문에 특성이 다른 SAW 센서나 기타 고주파 신호를 발생시켜야 측정 가능한 장치 등에서도 사용 가능하다.



[그림 7] SAW 리더 에뮬레이터 초기화면

5. 결론

SAW 센서는 기저 및 표면 센싱기술과 SAW를 이용하여 측정 대상물로부터 물리량이나 화학량의 절대치나 변화, 소리, 빛, 전파의 강도를 검출하거나 측정하여 전기 신호로 변환하는 기능을 갖춘 소자로 무전원 무선 센서의

특징을 갖는다.

이러한 무전원 무선 센서를 개발하고 개발된 센서를 검증하기 위해서 기존에는 Network Analyzer와 같은 계측기를 이용해 왔다. 그러나 이러한 계측기는 계측된 파형을 일시적으로 확인할 수는 있으나, 그 결과의 RF 파형 데이터를 Excel로 저장하거나 그래프를 이미지 파일로 저장하는 등의 기능이 미비하여 SAW 무선 센서를 분석하고 연구결과를 공유하는데 어려움이 있거나 불가능 했다.

따라서 본 연구에서는 이러한 어려움을 극복하기 위하여 센서 개발 및 검증을 위한 분석단계에서 발전된 IT 기술을 접목하였다. 일반적 계측기를 대신한 하드웨어로 NI의 계측용 컴퓨터를 이용하고, 분석소프트웨어로 NI LabVIEW 기반으로 직접 개발한 SAW System Analyzer와 SAW Reader Emulator를 개발하여 보다 직관적이고 명시적인 화면 인터페이스를 통해서 신호발생을 분석하고 그 상태를 파악할 수 있게 하였다. 이와 같이 최근 발전된 IT기술을 적용하였기 때문에 인터넷을 통해 웹이나 스마트폰 등의 모바일기기에서 SAW 센서로 계측된 주변환경의 상태를 모니터링 할 수 있으며, 전 세계 다른 연구자들과 보다 쉽게 개발과정을 공유할 수 있게 되었다. 또한, 이렇게 개발된 제어 시스템은 무전원 무선 센서의 개발과 검증이라는 주제 이외에 고주파를 사용하여 계측이 필요한 다양한 분야에서 적용이 가능하다.

향후에는 SAW 무선 센서의 개발과 검증과정 및 많은 실험에 적용하여 센서 개발자들과 연구자들이 보다 쉽게 응용할 수 있도록 더 나은 인터페이스를 제공하고자 한다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, and Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey," Elsevier Computer Networks, Vol. 38, No. 4, Mar.2002, pp. 393-422.
- [2] K.G. Ong, C.A. Grimes, C.L. Robbins, R.S. Singh, "Design and application of a wireless, passive, resonant-circuit environmental monitoring sensor", Sensors and Actuators A: Physical, Volume 93, Issue 1, 25 Aug 2001, Pages 33-43
- [3] Stangel, K.; Kolnsberg, S.; Hammerschmidt, D.; Hosticka, B.J.; Trieu, H.K.; Mokwa, W.; , "A programmable intraocular CMOS pressure sensor system implant," Solid-State Circuits, IEEE Journal of , vol.36, no.7, pp.1094-1100, Jul 2001
- [4] Reindl, L.M.; Pohl, A.; Scholl, G.; Weigel, R.; , "SAW-based radio sensor systems," Sensors Journal, IEEE , vol.1, no.1, pp.69-78, June 2001
- [5] 한국과학기술정보연구원, "SAW 센서 연구개발 동향", 2008
- [6] <http://www.corechips.co.kr/sub3-3.html>