

전파를 이용한 실시간 혈압 모니터링 시스템 개발

장동원* · 엄순영* · 최재익*

*한국전자통신연구원

Development of Real-time Blood Pressure Monitoring System using Radio Wave

Dong-won Jang*

*Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : dwjang@etri.re.kr

요 약

전세계적으로 건강에 대한 관심이 증가되어 기존 의료 장비보다 편리하고 정밀한 비접촉, 실시간 헬스 모니터링 시스템 개발이 요구되고 있다. 그러므로 우리는 UWB(Ultra Wide Band) 레이더를 통해서 인체에 비접촉, 연속적으로 혈관의 운동 신호를 수집하고 이 수집된 데이터를 실시간으로 신호처리해서 맥박, 수축기 혈압, 이완기 혈압을 측정할 수 있는 임베디드 기반의 전파를 이용한 혈압 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 임베디드 기반 GUI(Graphic User Interface)의 프로그램을 통해서 UWB 레이더 및 제어 시스템을 모니터링하면서 정확한 정보를 실시간으로 LCD(Liquid Crystal Display)에 표시한다. 임베디드 시스템은 소형화를 위해 제한된 자원을 사용해야 하기 때문에 기존의 PC GUI 설계 모드는 상대적으로 더 큰 메모리를 사용하므로 임베디드 시스템에 적합하지 않을 뿐 만 아니라 더 많은 CPU(Central Processing Unit) 처리시간을 요구한다.

ABSTRACT

Because worldwide interest in the health is increased, the real-time health monitoring system has been demanded to be more convenient non-contact and precise medical devices than conventional. Therefore we developed the blood pressure monitoring system using UWB(Ultra Wide Band) radio wave which contact to the human body through the radar and continuously collect a movement signal of the blood vessel. Then the collected data including pulse rate, systolic blood pressure, diastolic blood pressure is processed in real time. The system monitors and controls through a program-based embedded LCD(Liquid Crystal Display) using Qt GUI(Graphic User Interface) to be displayed in real time. We implement the system as a embedded system because of reducing the size of the limited resources. Existing PC GUI design mode is used relatively large memory, therefore it requires more CPU(Central Processing Unit) capacity and processing time.

키워드

실시간 헬스 모니터링, 헬스케어, 임베디드, GUI, UWB

I. 서 론

개발한 실시간 혈압 모니터링 시스템은 고성능 32 비트 마이크로 프로세서를 사용하는 임베디드 시스템으로 구현하였으며 임베디드 리눅스 운영 시스템과 Qt(임베디드 GUI 응용 프로그램)를 이용하였다. 임베디드 제어 보드는 ARMv7-A 프로세서와 임베디드 리눅스 운영 체제를 사용한다. 센서는 UWB 안테나를 통해서 수신된 반사 신호를 수신하는 레이더이다. 이 센서는 인체의 동맥에 전파를 방사하고 이 전파는 혈관 운동을 도플러 효과에 의해 신호를 변환하고 반사된다. 반사된 신호는 센서를 통해서 수신되며 디지털로 변환된 후 임베디드 제어 시스템에 전달된다. 이 데이터는 임베디드 시스템에 포팅되어 있는 신호처리

알고리즘에 의해서 원하는 혈관 운동 신호를 추출하고 이 신호로부터 맥박, 수축기 혈압, 이완기 혈압 등을 도출한다. 정확한 신호 처리를 통해서 원하는 값을 얻기 위해서 임베디드 제어 시스템에 레이더의 파라미터 및 인체 파라미터 등을 설정할 수 있는 기능을 제공하기 위해서 Qt를 이용한 LCD GUI를 개발하였다. 수신된 데이터는 실시간으로 그래픽 및 텍스트로 LCD에 표시된다.

II. 본 론

1. 시스템 구성

센서(UWB 레이더)로부터 정보를 수집하고 이 정보로부터 우리가 원하는 인체 신호를 추출하기 위한 시스템을 설계할 필요가 있다. 주요 목적은

센서로부터 입력된 인체 정보가 포함된 매우 미약한 신호로부터 신호처리 알고리즘을 통해서 잡음을 제거하고 혈관 운동 신호를 추출하고 이 운동 신호로부터 맥박, 수축기 혈압, 이완기 혈압을 도출할 수 있는 프로그램을 설계하는 것이다.

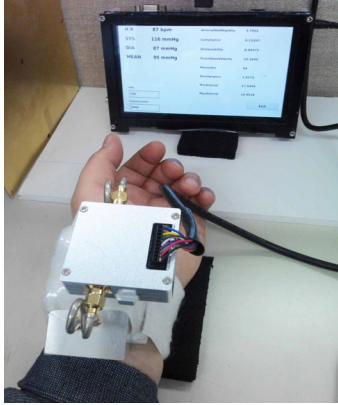


그림 1. 혈압 모니터링 시스템

임베디드 시스템은 특정된 응용을 위해 제한된 자원이기 때문에 메모리 소비가 크고, 많은 CPU 처리시간을 요구하는 기존의 PC GUI 설계 모드는 허용되지 않는다. 그러므로 Qt에 의한 완전 임베디드 시스템 자원의 제한된 환경에 만족할 수 있는 GUI 개발 플랫폼을 구현하기 위해서 임베디드 리눅스를 이용한다. UWB 레이더 센서는 SPI(Serial Peripheral Interface) 인터페이스를 통해서 임베디드 제어 보드에 연결되며 이 인터페이스를 통해서 데이터 및 제어 신호가 제어 보드로 입력된다.

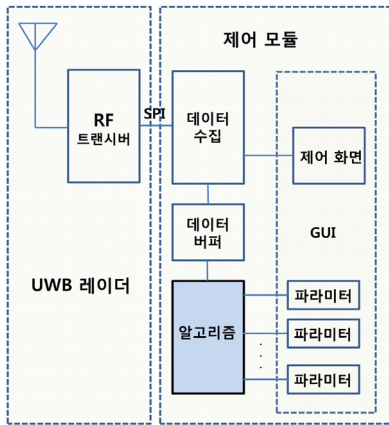


그림 2. 혈압 측정 시스템 구성도

입력된 데이터는 제어보드에 Qt로 구현된 그래픽 모드 및 텍스트 모드로 표시된다. 그래픽 모드를 통해서 입력된 신호를 분석하고 보다 정확한 정보를 추출하기 위해서 센서의 파라미터(수신 이득, DAC 이득 등) 및 측정 대상인의 파라미터(나이, 측정 부위 혈관 직경 등)를 설정한다. 이러한 설정이 끝나면 제어 보드에 포팅(Porting)되어 있는 리눅스-C로 구현된 신호처리 알고리즘에 의해 입력된 데이터로부터 맥박, 수축기 혈압, 이완기

혈압 등이 추출되어 LCD 화면에 표시된다. 이러한 데이터 수집 및 신호처리는 반복해서 계속되며 그 결과가 계속해서 업데이트된다. Qt는 프로그래밍 언어로 C++을 사용하며 리눅스-C와 하이브리드 프로그래밍을 구현할 수 있다. Qt는 임베디드 리눅스-C 알고리즘의 기능을 수행하기 위해 특정 신호에 응답할 수 있는 슬롯 기능의 일부로서 리눅스 시스템 호출에 응답한다. 물론 데이터 입력 및 특정 장치 파일의 기록을 얻기 위해서 데이터 입력 동작 및 인터페이스 기능을 제공할 수 있는 장치 드라이버가 있어야 한다. 따라서 센서(UWB 레이더) 및 기타 외부 주변 장치(SPI 인터페이스 등)의 드라이버 구성을 완료해야 한다.

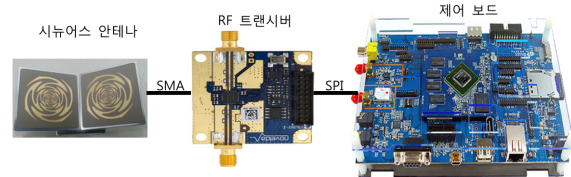


그림 3. 혈압 측정 시스템 하드웨어 구성

2. 구현

가. 하드웨어

1) 제어보드

제어 보드는 ARM사에서 설계되고 삼성에서 제조된 S5PV310(엑시노스 4210) Cortex-A9 Dual 코어(1/1.2GHz) 32Bit RISC(Reduced Instruction Set Computer) 프로세서 기반의 솔루션 보드로 MCU(Micro Controller Unit)가 지원하는 하드웨어 Multi Format Codec을 이용해 1080p@30fps H.264/H.263, MPEG 2/4, Xvid를 지원한다. 또한 고성능을 구현하기 위한 1MB L2 Cache, 대용량 DDR3 1GB 메모리 탑재, 고성능 USB HOST 2.0/OTG 2.0, 그리고 입체적인 영상을 위한 2D/3D 그래픽가속기가 지원된다. 영상 출력은 1080p와 1080i 지원되는 HDMI 1.3/HDCP 1.1 그 외에도 TV-OUT 지원되므로 진정한 Dual 코어 솔루션 보드의 완성도를 높였다. 기존의 Cortex-A8 보다 고성능, 저전력이기 때문에 고성능 단말기, Tablet PC, 사업용 시스템 제어 단말기 등 개발자가 원하는 모든 사양을 테스트 할 수 있는 Full Solution Board이다. 고성능 32 비트 마이크로 프로세서에 의해서 향상될 수 있으며 임베디드 리눅스 시스템과 Qt 임베디드 GUI 응용 프로그램을 이용하는 것이 미래 지향적이다. 임베디드 제어 보드는 ARMv7-A 프로세서와 임베디드 리눅스 운영 체제를 사용한다. 이 보드는 개발용으로 짧은 기간 내에 다양한 인터페이스를 이용해서 편리하게 원하는 응용을 구현할 수 있다. 하드웨어는 기본적으로 제어 보드와 UWB 레이더 센서로 구성되며 SPI 인터페이스에 의해 연결된다. 관독이 정상 한계를 초과하는 경우, 자동 제어 시스템은 릴레이를 호출 있도록 설계된다. 그 릴레이는 현재 모니터링되는 디바이스에 접속되어있다. 결과가 어떤 한계를 초과 할 때마다, 릴레이는 연결된 하

드웨어 장치와의 연결을 차단한다.

2) 센서

비접촉이며 연속적으로 혈압을 측정하기 위한 센서로는 광이나 압력 등이 주로 이용되어 왔으나 주변 환경에 의한 영향 등으로 정확도가 불안정해서 널리 상용화되고 있지 않다. 전파를 이용한 경우 광이나 압력을 이용하는 경우보다 주변 환경에 영향을 덜 받지만 인체 내부의 혈관 운동을 포착해야 하므로 피부 조직에 의한 감쇠로 반사 신호는 매우 미약하다. 그러므로 고감도 레이더를 사용하고 고성능의 신호처리 알고리즘을 이용해서 혈관 운동을 추출해야 한다. 미약한 신호를 수신하기 위해서 초광대역 임펄스 레이더를 사용했으며 이를 위해서 시누어스(Sinusous) 안테나를 사용하였다. 또한 동맥 혈관 운동은 매우 미약하므로 PRF(Pulse Repetition Frequency)가 크고 파라미터 세팅에 의해 분해능을 높일 수 있도록 제어할 수 있는 RF 트랜시버를 사용한다.

나. 소프트웨어

1) GUI

Qt는 임베디드 시스템을 위해 Trolltech사에 의해 개발되었으며 주로 임베디드 리눅스에서 사용되는 GUI이다. Qt는 리눅스 뿐 만 아니라 마이크로 소프트 윈도우로 이식이 용이하다. Qt 크리에이터를 이용한 맨-머신 인터페이스는 혈압 측정 시스템에서 측정과 모니터링을 쉽고 편리하게 제공한다. GUI는 그래픽 및 텍스트 형식에서 원하는 입력 데이터를 표시하도록 설계되었으며 시스템이 정상적으로 동작하는지 확인할 수 있다. 측정 모드에서는 입력된 데이터를 제어 보드 CPU에 포팅된 신호 처리 알고리즘의 결과를 실시간 모니터링할 수 있다. 안테나로 입력된 데이터는 즉시 업데이트되며 실시간으로 변화되는 데이터를 그래프에서 볼 수 있다.

2) 임베디드 리눅스

임베디드 시스템 개발은 하드웨어 개발, 교차 개발환경 구축 그리고 소프트웨어 개발 과정으로 구분된다. 개발 순서는 먼저 혈압 측정 시스템의 기능을 정하고 그에 맞는 하드웨어와 소프트웨어 기능을 고려한 후 각각의 기능을 구현하는 것이다. 하드웨어는 32비트 CPU를 사용하고 운영체제는 임베디드 리눅스를 사용하였다. CPU는 ARM 기반의 삼성에서 제공하는 Cortex-A9을 사용하였으며 메모리는 SDRAM 32MB, 플래시 16MB를 사용하였으며 UWB 센서는 SPI 인터페이스를 통해서 접속하였다. 사용자 인터페이스를 위하여 7인치 LCD를 달았고, 마우스(향후 터치스크린)를 통하여 사용자로부터 입력을 받을 수 있도록 하였다. 하드웨어 제작이 끝나면 교차(cross) 개발 환경을 구축하여야 한다. 크로스 개발 환경이란 개발 환경 PC에 타겟 디바이스용 리눅스를 개발하기 위한 모든 환경을 말한다. 그리고 부트로더를

컴파일하여 해당 코드를 플래시 메모리에 넣어야 한다. 그 다음이 부트로더를 수정하여 원하는 기능을 구현한다. 개발 환경은 컴파일 환경인 엑시노스4용 크로스 툴체인(tool chain), 부트로더를 플래시에 올리기 위한 JTAG(Joint Test Action Group) fusing 시스템, 부트로더 제작 등 3 단계로 이루어진다. 컴파일 환경은 엑시노스4용 크로스 툴체인으로 먼저 해당 CPU에 맞는 툴 체인 환경을 구축해야 한다. 툴 체인이란 타겟 디바이스의 소프트웨어 개발을 진행하기 위해 필요한 호스트 시스템의 크로스 컴파일 환경을 말한다. 툴 체인은 각종 소스들을 컴파일하고 빌드해서 실행 바이너리를 생성하는데 필요한 각종 유틸리티 및 라이브러리의 모음이다. 기본적으로 어셈블리, 링커, C 컴파일러, C 라이브러리 등으로 구성되어 있다. 현재 혈압 측정 시스템에 임베디드 리눅스를 포팅한다. 포팅에 필요한 내용은 리눅스의 정식 버전을 어느 것으로 사용할 것인가를 결정하는 것이다. 여기에 ARM 패치를 인가한다. 그리고 CPU용 패치를 인가한다. 이 두 가지 패치는 일반적으로 공개되어 있다. 나머지 혈압 측정 시스템용 패치는 개발자가 개발을 하여 패치 처리를 해야 한다. 여기에는 타겟 보드의 특성에 맞는 리눅스 초기화 코드와 하드웨어에 있는 디바이스 드라이버가 추가된다. 이렇게 해서 개발된 리눅스 커널은 혈압 측정 시스템을 위한 전용 커널이 된다. 디바이스 드라이버 제작은 다양한 하드웨어 장치를 구동시키기 위해서 운영체제가 장치 드라이버 필요로 하기 때문이다. 임베디드 리눅스는 디바이스 드라이버를 캐릭터, 블록, 네트워크 디바이스 드라이버로 구분한다. 블록 디바이스 드라이버는 파일 시스템과 밀접한 관계를 가지고 있다. 혈압 측정 시스템용 임베디드 시스템에서는 파일 시스템을 플래시에 구현하였기 때문에 여기서 필요한 블록 디바이스 드라이버는 플래시를 제어하는 디바이스 드라이버이다. 마지막으로 GUI 기능을 제공한다. 임베디드 시스템에서는 대부분 제한된 크기의 디스플레이를 사용하고 있으며 이러한 장치에서 텍스트, 그래픽 및 영상을 표시하기 위해서는 특별한 GUI 기술이 필요하다.

다. 신호처리 알고리즘

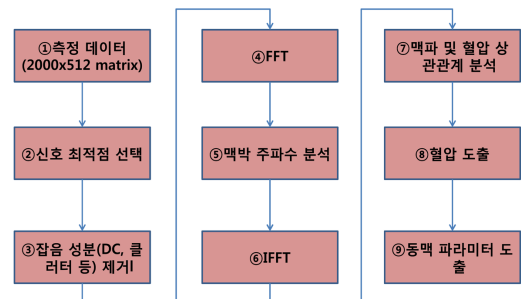


그림 4. 혈압 신호처리 알고리즘 구조

그림 4와 같은 구조를 갖는 신호처리 알고리즘은 컴퓨터 시뮬레이터를 이용해서 만들어진다. 시뮬

레이션은 일반적으로 많은 데이터를 생성하고 분석하는 과정이므로 시간이 많이 요구된다. 첫 번째 단계로 측정 데이터에 대한 특성을 설명할 수 있는 그래프가 많이 생성된다. 종종 데이터 그림에서 도출된 가장 중요한 결과는 다른 매개 변수 세트와 시물레이션을 반복해서 실행해야 한다. 새로운 시물레이션을 생성할 때 마다 시물레이션 변수는 실행 시간 동안 변경하는 방법을 볼 수 있도록 새로운 데이터 시각화 모듈을 만들 필요가 있다. 대부분의 경우에 이러한 시각화 모듈은 그래프 형태이다. 많은 플로팅 툴 중 일부는 매우 진보된 데이터 분석 기능을 제공한다. 실시간으로 센서 파라미터 변경에 따른 데이터 출력을 그래프로 나타낼 수 있다. 분석이 완료된 알고리즘은 C 언어로 변환한 후 컴파일해서 임베디드 시스템 제어보드의 메모리에 포팅시킨다.

3. 구현 결과

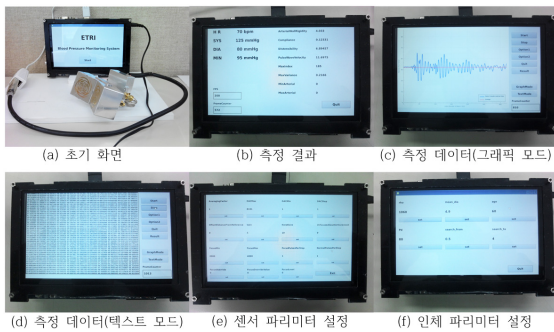


그림 5. 혈압 측정 시스템 기능

구현된 혈압 측정 시스템은 그림 5와 같은 기능들에 의해서 혈압을 측정한다. 전원을 켜고 센서(안테나)를 손목이나 팔목 동맥 위의 일정 거리에 위치시키고 오른쪽의 시작 버튼을 클릭하면 그림 5(c)의 그래프이나 그림 5(d)와 같은 텍스트로 측정된 결과가 화면에 표시된다. 정확한 측정 결과를 분석해서 맥박 및 혈압 측정값을 얻기 위해서 그림 5(e)에 나타난 UWB 레이더의 중요 파라미터와 그림 5(f)의 피측정인 나이, 성별에 따른 중요 변수를 설정한다. 파라미터를 적절한 값으로 설정한 후 결과 버튼을 눌러서 그림 5(b)의 측정 모드로 전환시키면 안테나로부터 수신된 신호를 시스템에 포팅된 알고리즘으로 신호 처리해서 맥박, 이완기 혈압, 수축기 혈압, 평균 혈압을 표시한다.

III. 결 론

본 논문에서는 건강에 대한 관심 증가와 더불어

어 기존의 의료기기에 불편한 점을 개선해서 보다 적극적인 헬스케어 제공해서 복지를 향상시킬 수 있는 연속적인 비접촉 혈압 측정 시스템을 기술하였다. 기존 혈압 측정은 팔에 압력 패드(Cuff)를 두른 후 가압해서 이루어지는 방법이 보편화되어 있다. 최근에는 광 및 압력계 등을 이용해서 불편을 최소화한 방법들이 개발되고 있으나 기존 방법에 비해서 신뢰성이 떨어진다. 전파를 이용하는 방법은 비교적 최근에 연구되고 있는 방법으로 특히 UWB 임펄스를 이용하는 방법은 근래에 전파 기술의 비약적인 발전으로 활발하게 이루어지고 있는 방법이다. 본 논문에서는 전파를 이용해서 혈압을 측정하는 시스템을 제작해서 전파에 의한 혈압 측정 방법을 구현하였다. 특히 임베디드 기술을 이용해서 휴대하기 편리하고 시간과 장소에 제한 없이 계속적으로 혈압을 측정할 수 있도록 소형화하였다. 본 시스템은 전파가 인체 내부의 혈관 운동을 감지해서 수신한 미약한 신호를 처리해서 혈압 정보를 수집할 수 있도록 의도하였으나 혈관보다는 피부에서 맥박 운동을 감지할 수 있을 정도의 성능을 나타내었다. 그러므로 안테나를 포함한 센서의 감도를 높이고 또한 혈관에서 반사되는 미약 신호로부터 정확한 맥박 정보를 추출하기 위한 신호처리 알고리즘의 성능을 높이는 것이 중요하다. 본 개발 시스템은 이러한 최소한의 수정을 통해서 지속적으로 성능을 향상시킬 수 있는 구조로 구현되었다.

참고문헌

- [1] 장동원 외1인, “헬스케어IT 표준화동향 분석”, 정보통신산업진흥원 주간기술동향지, 2013.11.30.
- [2] 장동원 외1인, “인체신호 검출을 위한 전파 특성 연구”, 한국통신학회 전파 및 마이크로파 2014 춘계학술대회, 2014.05.24.
- [3] 장동원 외1인, “UWB 펄스를 이용한 인체신호 검출 방법 연구”, 한국정보통신학회 2014하계학술대회, 2014.05.30.
- [4] 장동원 외1인, “전파를 이용한 맥박 측정 방법 연구”, 한국전자파학회 2014 하계학술대회, 2014.08.22.
- [5] 장동원 외1인, “효율적인 인체신호 검출을 위한 안테나 특성 연구”, 한국정보통신학회 2014 추계학술대회, 2014.10.31.