UWB 펄스를 이용한 인체 신호 검출 방법 연구

장동원* · 최재익*

*한국전자통신연구원

A Study on Vital Signal Detection Using UWB Pulse

Dong-Won Jang* · Jae-Ik Choi*

*Electronics and Telecommunications Research Institute

E-mail : dwjang@etri.re.kr

요 약

본 논문은 UWB(Ultra Wide Band) 펄스를 이용해서 인체에 접촉하지 않고 호흡, 심장 박동, 혈압, 혈당 등 생체 신호를 측정할 수 있는 방법을 기술하였다. 생체 신호는 건강을 점검하는 기초 자료로 인간의 활동 영역이 매우 넓어지고 수명이 길어지고 있으므로 기존 병원에 집중된 인적 및 물적 의료 시스템을 환자와 밀접하게 확산시켜서 신속한 치료 및 조치를 취해 건강한 생활을 영위할 수 있도록 요구하고 있다. 이와 같이 환자에 밀접하게 설치되어 지속적으로 불편함 없이 건강을 감시하는 방법으로 전파를 활용하는 방법이 오래 전부터 연구되어 왔으나 전파의 인체에 대한 특성 등을 정확히 파악하지 않고 개발되어 왔으므로 실제 임상에 적용하기에는 원하는 수준의 성능에 도달하지 못해 널리 실용화 되지 않고 있다. 본 논문에서는 기존 문제점인 인체에 대한 UWB 펄스파의 영향 및 특성 등을 분석해서 기술하였다.

ABSTRACT

In this paper, we describe a method capable of measuring biological signals including respiration, heart rate, blood pressure, and blood sugar, using UWB (Ultra Wide Band) pulses, while does not contact the human body. Physiological signal is a basic data for checking the health. Because life is longer and active area of human becomes very broad, the medical system and the physical human resources which are focused on existing hospital must be located close patient, In that way, they hope be to engage in healthy life by stepping a quick step and treatment. Thus, it must be fitted closely to the patient. It is necessary to monitor the health without inconvenience on an ongoing basis. How to utilize radio waves in this way have been studied for a long time. However, the characteristics of radio waves on the human body has not been accurately grasped and developed as such. Accordingly, it is a level that can not be applied clinically. So, it is not widely put to practical use.

In this paper, We analyzed and described the impact and characteristics of UWB pulses to the human body is a problem existing.

키워드

인체신호, 비접촉, 헬스케어, 비침습, 초광대역

Ⅰ. 서 론

인구의 고령화와 국민의 소득증대에 따라 건강관리형태의 다양한 변화에 복지향상이 맞물려 정보통신기술을 활용한 새로운 개념의 보건의료서비스인 홈헬스케어에 대한 관심이 점차적으로 증대되어 가고 있다. 홈헬스케어 의료기기 시스템은 정보통신기술을 이용하여 의료기관이 아닌 장소에서 일반인, 환자, 장애인, 고령인 등 사용자의 건강상태 체크와 건강관리 등의 의료서비스를 제공하기 위해 네트워크와 연계된 의료기기로서, 주로 체온, 혈압, 혈당, 심전도, 심장 박동, 산소포화도 등 주로 생체현상을 측정하여 건강상태를 체크할 수 있도록 구성된 센서기술과 센서로 측정된 데이터의 전송 및 기기의 제어를 하는 통신기술 등이 활용된 시스템을 말한다. 본 논문은 초광대역(UWB) 레이더 시스템을 의료 분야에서 사용하기 위한 기술 및 인체의 영향을 분석하였다. UWB 레이더는 비침습성, 소전력 휴대용 형태로

만들 수 있다. 휴대용 UWB 센서는 머리 내부 혈종, 기흉 등의 내부 장기 손상 유무를 검출할 수 있는 가능성을 보여 주었으며 직접 피부에 접촉하지 않고 원격으로 맥박과 호흡 동작을 모니터링 할 수 있다. 또한 UWB 레이더 어레이는 인체를 영상화할 수 있다.

II. 본 론

1. UWB 펄스 특성 분석

CW(Continuous Wave) 시스템과는 다르게 초광대역 시스템은 넓은 주파수 범위를 통해 좁은 시간 간격의 가우시안(Gaussian) 임펄스 형태 신호를 송신한다. UWB 시스템의 펄스는 수 GHz에 걸친 주파수 범위에서 수백 피코초 동안 신호를 송신하는 것이 일반적이다.

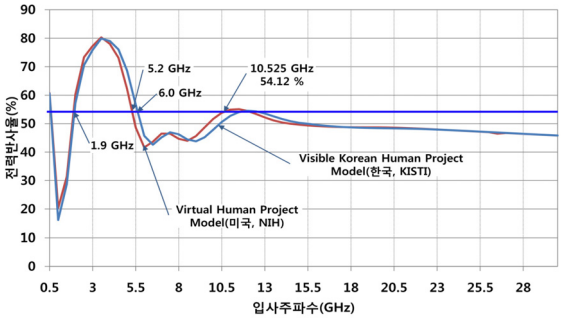

그림 1. 주파수(0.5 - 30 GHz) 반사 특성

UWB 펄스는 사용대역폭이 중심주파수의 20%를 초과하는 500MHz 이상의 대역폭을 가진 신호로 정의된다. 기존의 통신 및 항행 시스템과의 간섭 문제로 주파수 대역과 출력 전력을 제한하고 있으며 의료 응용 분야는 3.1-10.6 GHz의 범위로 제한하고 있다. 우리나라의 경우에 4.8-7.2 GHz 대역에서 출력을 -70 dBm/MHz 이하로 제한하고 있다. UWB 펄스는 스펙트럼 제어가 가능한 Guassian 펄스를 사용하고 있으며 특히 Gaussian 펄스의 이차 도함수인 Monopulse를 주로 사용한다. 일반적으로 Guassian 펄스의 고차 도함수들은 차수가 높아질수록 스펙트럼 분포의 중심이 높은 주파수 쪽으로 이동한다.

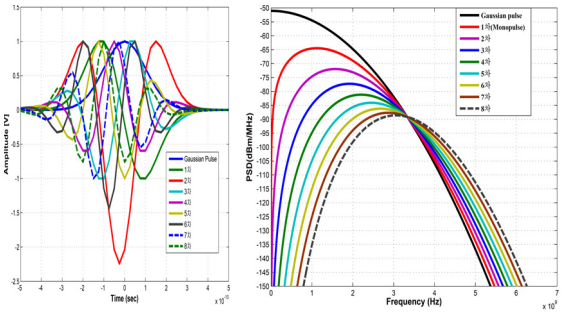

그림 2. UWB펄스의 주파수 특성
(a) 펄스 파형, (b) 스펙트럼 마스크

$$x(t) = \frac{A}{\sqrt{2\pi}\,\sigma} e^{-\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2}\right)} \quad : \text{가우시안 펄스} \qquad (1)$$

$$x^{(n)}(t) = \frac{d^n}{dt^n}\left[\frac{At}{\sqrt{2\pi}\,\sigma^3} e^{-\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2}\right)}\right] \quad : \text{고차도 함수} \qquad (2)$$

펄스 에너지는 다양한 주파수에 걸쳐 분산되기 때문에 전력 스펙트럼 밀도는 CW시스템보다 크기가 훨씬 더 낮다. 초광대역 신호는 노이즈 플로어 이하에 존재하므로 검출이 매우 어렵다. 미국 FCC는 초광대역 신호를 부분 대역폭이 중심 주파수의 20%를 초과하는 500MHz 이상의 대역폭을 가진 신호로 정의한다. 초광대역 기술의 개발이 1960년대에 시작되었으나 오랜 동안 기술이 성숙되지 않았다. 광범위한 상업적 용도는 FCC의 기술기준에 의해 제한되었다. 기존의 통신 및 항행 시스템과의 간섭 문제로 FCC는 UWB 주파수 대역과 출력 전력을 제한하였다. 의료 응용 분야는 3.1-10.6 GHz의 범위로 제한하고 있다. Through-wall 영상 응용은 960 MHz 이하 또는 1.99-10.6 GHz의 범위에서 동작 할 수 있다.

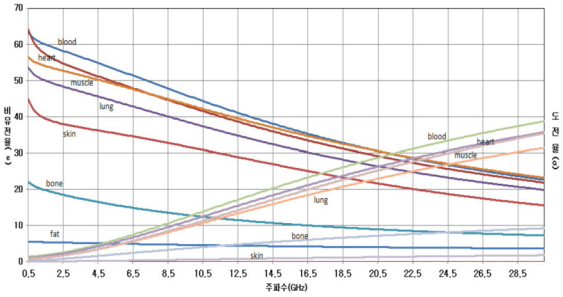

그림 3. 주파수에 따른 인체 특성 파라미터(비유전율, 전도도) 변화

호흡이나 맥박과 같은 생체 신호 측정을 위해서 도플러 원리를 이용하는 기술이 1970년대에 처음 시도된 이래 2000년 이후 국내외 대학을 중심으로 RF 밀리미터파 등을 이용하여 비접촉 무자각 형태로 인간의 생체 신호를 검출 및 추정하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 가까운 거리에서 저전력으로 사용하므로 기존 레이더에서 일반적인 펄스를 사용할 경우 펄스간 지연이 매우 짧고 스펙트럼 특성이 좋지 않기 때문에 신호를 식별하는데 어려움이 있으므로 UWB펄스 방식이 많이 활용되고 있다. UWB 신호는 플라스틱, 나무, 고무, 석고 보드, 건조한 토양, 유리 및 콘크리트 등의 재료를 통과할 수 있다. 일반적으로 중심 주파수가 낮은 시스템은 전파의 침투가 용이하다. 전도성 건축 자재처럼 쉽지는 않지만 피부, 근육, 지방, 뼈 등의 생물학적 물질도 전파가 침투할 수 있다. 인체는 다양한 조직으로 구성되어 있으며 각 조직은 주파수에 따라서 비유전율, 도전율, 투자율 등이 변해서 전파 특성이 변화된다. 각 조직의 주파수에 대한 임피던스 변화는 전파의 반사, 투과, 감쇠 특성을 변화시키므로 이에 대한 정확한 특성을 파악해서 신호를 검출하고

처리해서 정확한 정보를 추출할 수 있다.

2. 인체 정보 추출

UWB 펄스를 인체에 방사할 때 일부는 반사하고 일부는 투과한다. 반사된 펄스는 각 조직간 경계에서 반사된 펄스의 합으로 각 조직을 통과할 때 감쇠되고 그 일부가 반사되며 이 펄스가 다시 조직에서 감쇠되어 수신 안테나에 수신되는 펄스는 매우 미약하다. 물체의 이동을 분간하기 위한 이동체 감지 센서는 인체 표피에서 반사된 비교적 큰 신호를 처리해서 식별하지만 심장이나 호흡 또는 혈관의 변화를 측정하기 위해서는 매우 미약한 수신 펄스를 신호처리해서 얻을 수 있다.

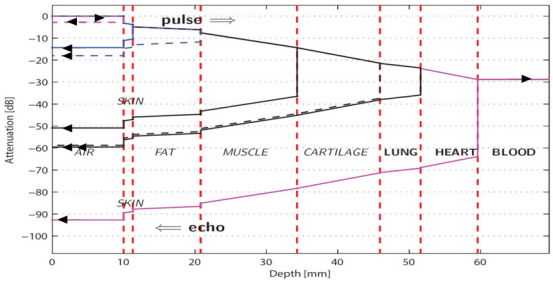

그림 4. 인체에 대한 UWB 펄스의 반사/투과 특성

UWB 펄스는 매우 미약한 신호이므로 거리가 멀거나 전파 환경이 나쁘면 정확한 정보를 얻기 어렵기 때문에 일반적으로 신호처리를 통해서 정확한 정보를 얻게 된다. 시뮬레이션을 통해서 UWB 펄스의 전파전파 특성을 정확하게 얻기 위해서는 자유공간 감쇠, 인체 모델의 전파 특성(인체의 물리적 특성 등) 등을 반영할 수 있는 수치해석 방법(FDTD기법 등)을 활용해서 인체에 대한 UWB 펄스의 반사/투과 시뮬레이션 수행하였다. FDTD 시뮬레이터를 이용해서 인체에 대한 UWB 펄스의 전파전파 특성은 인체 중심에서 160 mm 떨어진 수신안테나에서 첫 번째 피크점은 2.667 [nsec] 후에 0.01222 [V/m] 크기를 가지며 660 mm만큼 떨어진 수신안테나에서 첫 번째 피크점은 4.362 [nsec] 후에 0.0005718 [V/m] 크기를 가진다.

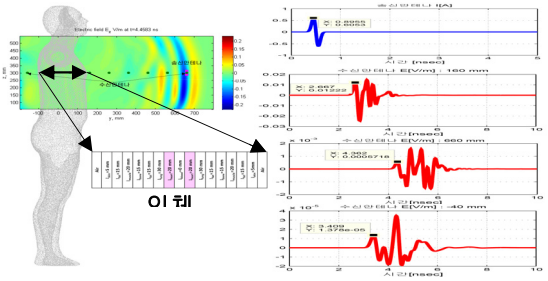

그림 5. 인체 모델에 대한 UWB 펄스의 반사/투과 시뮬레이션

3. 시뮬레이션 결과

UWB 펄스에 의한 센싱은 인체 조직의 변화를 감지해서 반사된 전파에서 정보를 추출해야 하므로 인체의 특정 조직 두께를 변화시키면서 이에 따른 변화량을 수신된 UWB 펄스파로부터 추출한다. 시뮬레이션 환경에서 심장 또는 폐와 같은 지속적인 움직임으로부터 심장 박동수 또는 호흡수를 추출하기 위한 시험 결과는 그림 6과 같다. UWB 펄스는 인체에서 반사된 신호파형으로부터 위치 및 자유공간 손실 정보를 얻을 수 있다. 660mm에 위치한 송신안테나에서 방사된 UWB 펄스는 인체 모델 중심으로부터 160mm에서 100mm 간격으로 660mm까지 6개의 수신안테나에서 얻어진 반사 신호의 첫 번째 피크점의 수신 시간 및 전계 강도는 278/310/347/384/419/454 [psec]와 12.22/1.75/0.95/0.77/0.66/0.57 [mV/m]이다.

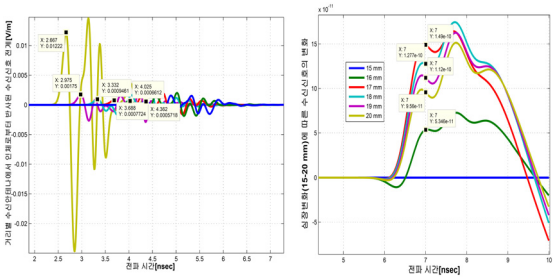

그림 6. 심장 두께 변화에 따른 수신 신호 변화 크기 비교 (a)거리별 수신 전계강도(Y), (b)인체조직(심장)변화에 전파지연(X) 따른 수신신호 변화량

그림 6은 그림 5와 같은 환경에서 인체의 변화에 따른 생체 신호(심장 박동, 호흡, 혈관 수축/팽창 등)를 감지하기 위해서 심장의 두께를 15 mm에서 1 mm씩 20 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. 변화된 신호는 -100dB 정도이므로 (a)를 신호처리를 통해서 (b)와 같은 변화를 확인할 수 있다. 이러한 변화에는 심장 두께 변화에 따른 반사 신호의 진폭 및 변동 주기 정보를 포함하고 있으므로 이러한 정보로부터 심장 박동수 및 호흡수를 직접 얻는다. 실제 사용 환경에서 UWB 펄스 송신기의 PRF(Pulse Repetition Frequency)가 수십 MHz이므로 연속적으로 0.1 - 10 Hz 정도로 느리게 변화하는 생체 신호는 반사된 UWB 펄스파에 동일 위치에서 진폭의 주기적인 변화로 나타난다. 그러나 신호가 매우 미약하고 클러터 등 환경 잡음에 의한 영향을 많이 받으므로 신호처리를 해야만 정확한 신호를 검출할 수 있다. 또한 UWB 시스템은 성능에 영향을 주는 많은 장단점을 가지고 있다. 특히 주파수 범위, 전력, 펄스 반복률(pulse repetition rate), 수신 윈도우 크기 및 수신기 통합 시간 등은 성능에 영향을 주는 중요한 파라미터들이다. 이러한 파라미터는 인체로부터 반사된 UWB신호에 영향을 준다. 초광대역 신호의 주파수 범위는 그 중심 주파수 및 대역폭에 의해 규정된다. 사용 대역폭이 큰 경우에 양호한 공간적 해상도를 가지면서 재

료에 침투할 수 있다. 주파수가 낮으면 조밀한 재료를 전파가 통과하는데 유리하다. 그러나 낮은 주파수 신호를 송신하기 위해서 큰 안테나가 요구되므로 전체 시스템의 크기가 증가한다. 측정 공간 해상도는 파장에 비례하기 때문에 높은 주파수의 신호가 좋은 특성을 가진다. 그러나 대역폭이 매우 크면 신호대 잡음비(SNR)가 나빠진다.

III. 결 론

본 논문에서는 초광대역 펄스를 활용해서 생체신호(호흡, 심장박동, 혈관 수축/팽창 등)를 연속해서 비접촉으로 감시하기 위한 인체에 대한 UWB펄스 특성을 기술하였다. 특히 호흡과 심장박동의 측정은 인체의 미세한 변화를 감지해서 추출하므로 고해상도 레이더 기법(신호처리)이 요구된다. 초광대역 레이더는 다양한 의료 분야에 응용할 수 있는 유연한 기술이다. 마이크로 임펄스 레이더 기술이 미국의 로렌스 리버모어 국립연구소에서 개발된 이후 다양한 의료 분야에서 연구가 수행되고 있다. 초광대역 레이더의 최대 장점은 인체 내부 조직의 경계 및 변화를 모니터링 및 검출하고, 환자와 직접 접촉 하지 않고 신호를 추출할 수 있으며 안전하고 휴대하기 용이하게 저전력으로 동작시킬 수 있다. 또한 설계 파라미터의 선택을 통해 UWB 레이더 시스템은 호흡, 심장 박동뿐 만 아니라 혈압 및 맥박 그리고 복수 레이더 센서를 이용해서 혈종과 같은 내부 장기 손상 영상 신호 등을 얻을 수 있다.

참고문헌

[1] 장동원 외 1명, 인체 신호 검출을 위한 전파 특성 연구, 한국통신학회 추계종합학술발표회, 11. 2013.

[2] Marta Cavagnaro, UWB pulse propagation into human tissues, Sapienza University, October 2013.

[3] C. N. Paulson, Ultra-wideband Radar Methods and Techniques of Medical Sensing and Imaging, SPIE International Symposium on Optics, October 2005.

[4] Jonathan S. Burnham, Remote Cardiac Monitoring Using Radar, MIT, May 21, 2009.

[5] S. Gabriel et al.: “The dielectric properties of tissues: II and III”, Phys. Med. Biol., 41, 11, 2251-2269, 2271-2293, 1996.

[6] NIH, U.S. National Library of Medicine, http://www.nlm.nih.gov/research/visible/getting_data.html