

논문 2011-06-41

# 차량용 UWB 레이다를 위한 DSP 기반의 신호처리 모듈 플랫폼 개발

(Development Based on Signal Processing Platform for Automotive UWB Radar System)

주영환, 김상동, 이종훈\*

(Yeonghwan Ju, Sang-Dong Kim, Jong-Hun Lee)

Abstract : Recently, collision avoidance systems are under development to reduce the traffic accidents and driver comfort for automotive radar. Pulse radar can detect their range and velocities of moving vehicles using range gate and FFT(Fast Fourier Transform) of the doppler frequency. We designed the real time DSP(Digital Signal Processing) based automotive UWB(Ultra Wideband) radar, and implemented DSP to detect the range and velocity within 100ms for real time system of the automotive UWB radar. We also measured the range and velocity of a moving vehicle using designed automotive UWB radar in a real road environment.

Keywords : Automotive UWB radar, 레이다 DSP, 레이다 소프트웨어 플랫폼

## I. 서론

차량의 운행에서 운전자에게 가장 중요한 부분은 안전이다. 최근에 차량의 충돌 방지에 대한 관심의 급증에 따라 차량의 충돌을 방지하고 안전운행을 하기 위해 차량용 레이다에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

차량용 레이다에 사용되는 기술로는 일반적으로 원거리 탐지용 레이다와 근거리 탐지용 레이다가 사용된다. 원거리 탐지용으로는 77GHz 대역의 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) 레이다가 사용되고 근거리 탐지용으로는 24GHz 대역의 UWB(Ultra Wideband) 레이다가 사용된다. UWB 레이다는 시간영역에서 아주 짧은 펄스를 사

용함으로써 높은 거리 분해능을 가지는 장점이 있다 [1~7].

이러한 UWB 레이다는 24GHz의 주파수 대역에서 차량의 전후방의 충돌을 방지하고 20m 이내의 근거리 사각지역의 장애물을 탐지하기 위한 목적으로 사용된다. 근거리 탐지용 UWB 레이다는 이동 경로 상에 존재하는 장애물을 미리 파악하여 속도를 조절하거나 원하는 위치에 정지 하고자 할 때 주변 상황을 고려하여 안전하게 제어 할 수 있도록 하는 역할을 한다. 이것은 높은 정확성을 요구하며, 그 결과를 운전자에게 알려 속도를 조절함으로써 차량과 운전자의 안전을 도모한다. 또한 차량용 레이다는 실시간성을 요구한다. 실시간성은 탐지 정보를 얼마나 빨리 업데이트 하는 것을 나타내는 것으로 운전자가 속도를 조절하는데 중요한 요소이다.

본 논문에서는 이러한 충돌방지를 위한 24GHz 대역의 차량용 UWB 레이다의 신호처리모듈을 개발 하였다. 차량용 UWB 레이다의 신호처리 모듈은 움직이는 차량의 거리와 속도를 측정하고 실시간성을 위해 DSP(Digital Signal Processing)기반으로 개발하였다. 업데이트 시간이 100ms 이하로 하기 위해 소프트웨어를 최적화 하여 탐지알고리즘을 구현 하였으며 PC에서 유저인터페이스를 통해 탐지 결과를 쉽게 볼 수 있도록 구현 하였다. 또한 본 논

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2011. 04. 18., 수정일 : 2011. 04. 24.,

채택확정 : 2011. 05. 24.

주영환, 김상동 : DGIST 로봇시스템연구부 연구원

이종훈 : DGIST 로봇시스템연구부 과제책임자,

선임연구원 (공학박사)

※ 본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구 경북과학기술원 기관고유사업에 의해 수행되었습니다(11-RS-02).

문에서 개발된 차량용 UWB 레이더를 이용하여 실제 도로환경에서 움직이는 차량의 거리 및 속도를 측정 하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 차량용 UWB 레이더의 개요와 거리 및 속도 탐지 알고리즘에 대해서 기술하고, III장에서는 본 논문을 통해 구현한 차량용 UWB 레이더의 신호처리 모듈의 하드웨어, 소프트웨어 구조, 구현된 알고리즘 구조 및 실험 결과를 나타내고 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 차량용 UWB 레이더 개요

본 장에서는 차량용 UWB 레이더의 신호처리 과정에 대해서 소개한다. 차량용 UWB 레이더는 아주 짧은 주기를 갖는 펄스를 전송하여 전파가 반사되어 레이더로 되돌아오는 데 걸리는 시간을 이용하여 거리를 측정하고, 도플러 주파수의 편이를 추출하여 이동하는 차량의 속도를 측정 한다.

그림 1은 차량용 UWB 레이더의 송수신 펄스열을 나타낸 그림이다. 그림 1에서 송신신호가 목표물에 반사되어 되돌아오는 시간을 측정하여 거리를 구할 수 있다.

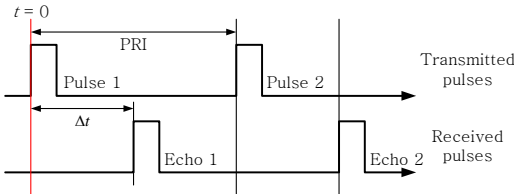


그림 1. 송수신 신호의 펄스열

Fig. 1. Train of transmitted and received pulses

UWB 레이더의 거리 측정을 위한 전파의 전파속도와 전파소요시간의 관계식은 다음 식 (1)과 같다.

$$R = \frac{c\Delta t}{2} \tag{1}$$

여기서,  $c$ 는 자유공간에서의 전파의 전파속도,  $\Delta t$ 는 전송된 전파가 차량에 반사되어 레이더로 되돌아오는 데 걸리는 시간을 각각 의미한다.

그림 2는 그림 1의 수신신호를 행렬로 표현한 그림이다. UWB 레이더의 수신기의 메모리에 수신

신호의 펄스반복주기(PRI : Pulse Repetition Interval)가 행 방향으로 PRI에 각각 저장이 되고, 한 펄스 반복주기 내의 샘플 개수가 열 방향으로 range bin에 각각 저장이 되며, 그림 2와 같이 저장된다. 이때 이동하는 차량에 의해 수신된 신호는 각각의 range bin에 도플러가 발생하게 되고 이동하지 않는 차량이나 물체는 도플러가 발생되지 않는다. 이러한 도플러 효과에 의해서 이동하는 차량의 속도를 구할 수 있으며 동시에 정지한 차량이나 클러터를 제거 할 수 있다. 이동 차량의 도플러 주파수는 각각의 range bin의 고속푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)에 의해 계산이 된다. 이때 차량의 거리는 속도가 추출된 range bin으로 결정 된다 [8~9].

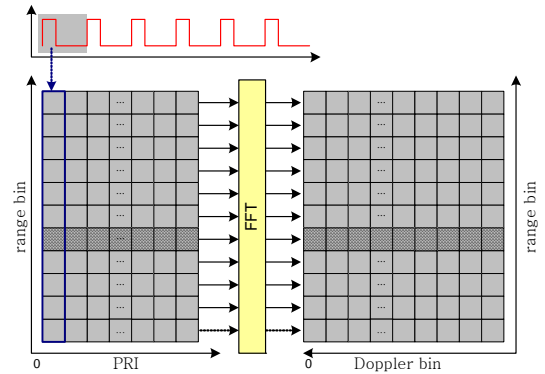


그림 2. 차량용 UWB 레이더의 속도 탐지 알고리즘

Fig. 2. Velocity detection algorithm for automotive UWB radar

UWB 레이더의 속도 측정을 위한 도플러 주파수와 차량의 이동 속도의 관계식은 다음 식(2)와 같으며 이를 이용해서 이동차량의 속도를 구할 수 있다.

$$f_d = \frac{2v}{c} f_c \tag{2}$$

여기서  $v$ 는 차량 이동 속도,  $f_c$ 는 송신 캐리어 주파수이다.

## III. 구현 및 실험 결과

### 1. 하드웨어 구조

그림 3은 본 논문에서 개발된 차량용 펄스 레이

다의 하드웨어 구조를 나타낸 것이다. 차량용 UWB 레이더의 구조는 디지털 신호의 생성 및 처리를 담당하는 디지털 파트와 디지털 파트와 RF(Radio Frequency) 파트 사이에서 아날로그와 디지털 변환기능을 담당하는 아날로그 파트로 구성되어 있다.

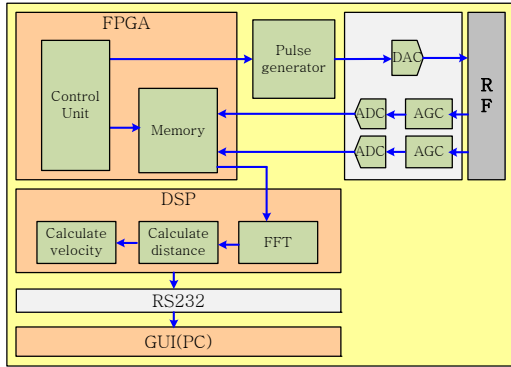


그림 3. UWB 레이더의 신호처리모듈 구조  
Fig. 3. Architecture of signal processing module for automotive UWB radar

아날로그 파트는 디지털-아날로그 변환기(DAC : Digital Analog Converter)파트, 아날로그-디지털 변환기(ADC : Analog Digital Converter) 파트로 나눌 수 있다. DAC는 FPGA로부터 받은 16비트 데이터를 500MHz 샘플링 클럭에 의해 아날로그 신호로 변환하여 RF(Radio Frequency)단으로 전송하는 역할을 담당한다. ADC는 RF단으로부터 받은 아날로그 신호를 1GHz 샘플링을 통해 디지털 데이터로 변환하여 FPGA로 전달하는 역할을 담당한다.

디지털 파트는 전체 시스템의 제어 및 외부 PC와의 통신을 담당하는 DSP부와 DAC로부터 송신 데이터 생성과 전송을 하고 ADC 데이터 수신 및 임시 저장을 담당하는 FPGA(Field Programmable Gate Array)부로 구성되어 있다.

DSP는 시스템 소프트웨어 저장 및 수신 데이터의 저장 및 처리를 하기 위한 메모리부와 인터페이스 파트로 PC와의 통신을 위한 UART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 및 DAC, ADC 레지스터 세팅을 위한 시리얼 인터페이스 파트로 나눌 수 있다. FPGA는 시스템 소프트웨어를 저장하는 메모리부와 주소 및 데이터 버스 등으로 나누어진다.

구현된 차량용 UWB 레이더 신호처리모듈의 실

제 하드웨어와 파라미터의 주요사항이 표 1과 그림 4에 나타 내었다.

표 1. 하드웨어 주요 사양  
Table 1. Hardware specification

파라미터	주요사항
Operating Center Frequency	24GHz
Operating Bandwidth	500MHz min.
Maximum range	30 meter
PRI/PRF	1us이상/1MHz이하
Pulse Output Power	13dBm max
DAC 속도/bit	1Gsps/16bit
AGC Dynamic range	30dB이상
ADC 속도/bit	1Gsps/8bit
DSP	300MHz

FPGA는 송신파형을 생성하고 수신 신호를 저장하는 역할을 한다. 그리고 ADC 및 DAC 제어를 하는 역할을 한다. DSP는 ADC, DAC, AGC(Automotive Gain Control)의 초기화 및 거리 및 속도를 계산하는 UWB 레이더의 탐지 알고리즘이 구현이 되어있다. 그리고 거리, 속도 탐지 결과를 사용자가 PC환경에서 확인할 수 있도록 RS232 시리얼 통신을 통해 GUI(Graphical User Interface)로 결과가 표시된다.



그림 4. 차량용 UWB 레이더 신호처리 모듈 보드 실물

Fig. 4. Designed board of signal processing module for automotive UWB radar

2. 소프트웨어 구조

그림 5는 DSP에 구현된 소프트웨어 순서도 이다. 먼저 신호처리 보드에 전원이 인가되면 DSP는 PLL(Phase Locked Loop), 레지스터, UART, ADC, DAC등을 초기화를 시작하고, 초기화 완료이 후에는 PC에서 사용자 인터페이스를 통해 AGC, PRI, 최대 전압 값, 펄스폭, PRI내 최대 샘플 수, 펄스 누적 수 등을 RS232 시리얼 통신을 통해 변경 할 수 있다.

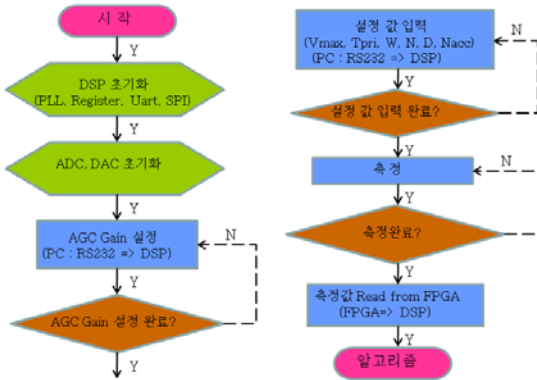


그림 5. 차량용 UWB 레이다의 소프트웨어 순서도  
Fig. 5. Automotive UWB radar S/W flow chart

초기화와 파라미터 설정이 완료가 되면 FPGA에서 전파를 송수신하게 된다. FPGA에서 수신된 데이터는 FPGA와 DSP사이의 외부메모리 인터페이스

(EMIF :External Memory Interface)를 통해 DSP로 전송이 되고, 측정된 데이터를 사용해서 DSP에서 거리, 속도 탐지 알고리즘을 수행하게 된다.

본 논문에서 구현한 차량용 UWB 레이다의 거리, 속도 탐지 알고리즘을 그림 6에 나타내었다. 레이다의 수신기를 통해 들어온 수신신호는 아날로그 디지털 변환기를 통해 메모리에 저장된다. 메모리에 저장된 데이터는 그림 2와같이 행 방향으로 350개의 PRI, 열 방향으로 256개의 샘플이 저장된 형태이다. 이렇게 저장된 메모리에서 거리, 속도를 추출하기 위해 각각의 PRI 별, 즉 행 방향으로 고속푸리에 변환을 하면 속도를 가지는 PRI들은 도플러 효과에 의해 주파수 성분을 가지게 되고 속도가 없는 PRI들은 주파수 성분이 0을 가지게 된다. 따라서, 고속푸리에 변환 결과 그림 2에서처럼 도플러 주파수 성분을 가지는 이동타겟과 도플러 주파수 성분이 없는 정지타겟으로 분리가 가능하다. 이때 도플러 주파수 성분이 없는 정지타겟은 제거를 시키면 이동타겟들만 남게 된다. 이동타겟의 주파수 영역에서 임계치 이상의 주파수 성분을 추출하여 이동하는 타겟의 속도를 식(2)에 의해 구할 수 있다. 이때, 이동 타겟의 거리는 속도가 추출된 range bin으로 결정된다. 그림 6에서 Step 1은 수신안테나로 들어온 데이터가 아날로그-디지털 변환기를 거쳐서 나온 데이터를 보여 주는 것이다. Step 1의 그림에서 가로축은 시간, 세로축은 신호의 진폭을 나타낸다. Step 2는 메모리에 저장된 데이터를 고속푸리에 변환을 하여 이동타겟을 검출 하는 단계로써 그

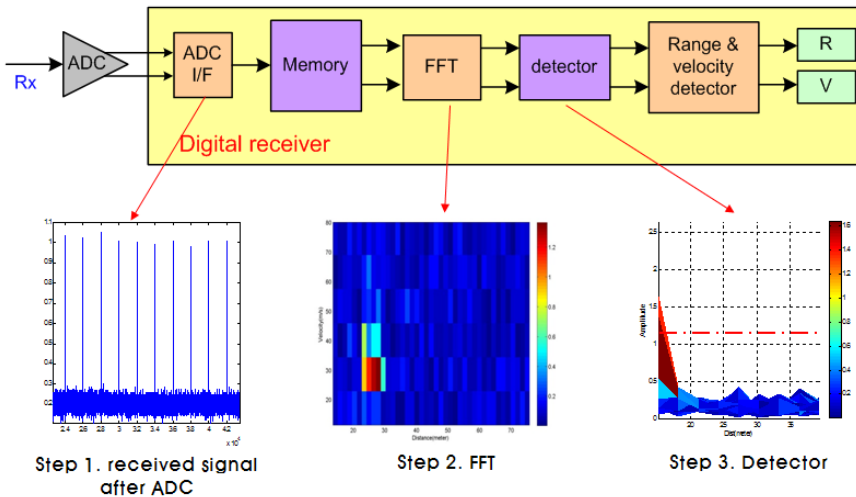


그림 6. 신호처리 알고리즘 순서도

Fig. 6. Algorithm flow chart of signal processing

림에서 가로축은 이동타겟 까지의 거리, 세로축은 속도이다. 거리에 따라 속도를 가지는 이동타겟을 검출하는 그림 나타내고 있다. Step 3은 이동타겟의 속도계산을 위해서 이동타겟의 주파수 영역에서 임계값 이상의 주파수 성분을 추출하는 것을 나타내고 있다. 그림에서 가로축은 거리, 세로축은 신호의 크기를 나타낸다. 이때 임계값 설정은 실험을 통해 실제 차량에서 반사되는 신호의 크기를 측정하여 결정 하였으며 추후 통계적인 수치를 통해 임계값을 결정할 계획이다.

**3. 실험결과**

본 논문에서 구현한 신호처리 모듈은 차량용 UWB 레이더 RF 모듈을 이용하여 실제 도로환경에서 실험을 통해 검증을 하였다. 도로 환경의 조건은 왕복 2차선 도로에서 레이다는 고정된 상태에서 한쪽방향으로 지나가는 차량의 거리와 속도를 측정하였다.

그림 7은 이동차량을 측정한 실험 데이터를 PC 상에서 350개의 PRI를 겹쳐서 그린 그림이다. 그림 6에서 이동하는 차량의 도플러 효과 때문에 약 116 번째 range bin에서 도플러 주파수가 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 도플러 주파수가 발생하는 range bin을 고속푸리에 변환을 하게 되면 주파수 성분에 의해서 속도를 계산 할 수 있고, 이때의 range bin이 이동차량의 거리가 되는 것이다.

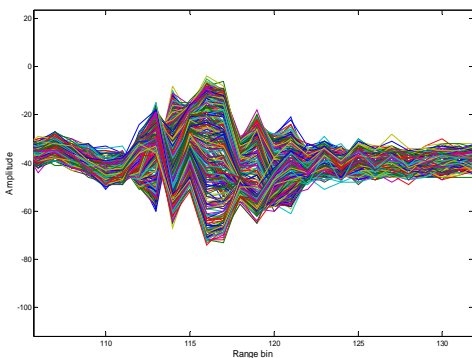


그림 7. 이동 차량의 range bin  
Fig. 7. Range bin of moving vehicle

다음 그림 8은 차량용 UWB 레이더 신호처리 모듈의 실시간성을 위해서 DSP에 구현 되어있는 알고리즘의 수행 시간을 측정한 그림이다. 실제 도로 환경에서 차량의 거리, 속도를 측정 할 때 DSP

수행 시간 측정을 하였다. 실시간성을 만족하기 위해서는 100ms이내의 업데이트 시간을 만족하여야 한다. 이러한 조건을 만족하기 위해서 DSP에서 소프트웨어 최적화를 수행하였다. 그림 8에서 수신 안테나를 통해서 들어온 데이터가 아날로그-디지털 변환 후 FPGA에서 EMIF를 통해 DSP내에 메모리에 저장되는 시간이 약 16.3ms, 메모리에 저장된 데이터를 range bin 별로 고속푸리에 변환을 수행하고, 이때 우리가 원하는 이동차량의 속도만을 추출하면 되므로 속도가 없는 즉, 도플러 주파수 성분이 없는 것은 클러터로 간주하고 제거를 하였다. 이때의 수행 시간은 약 8ms, 고속푸리에 변환 결과를 이용하여 임계값을 설정하여 거리 속도를 계산하여 RS232 시리얼 통신을 통해 PC로 데이터를 타나내는 시간이 약 0.6ms이었다.

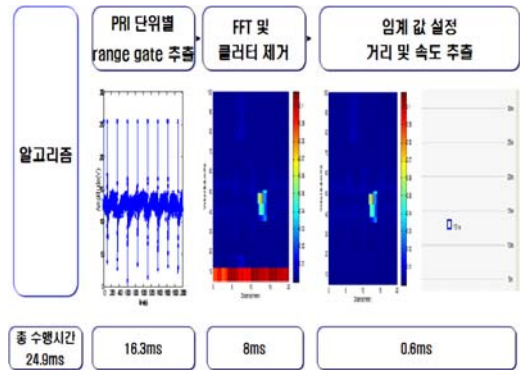


그림 8. DSP 알고리즘의 수행 시간  
Fig. 8. Execution time of the DSP algorithm

본 논문을 통해서 개발한 차량용 UWB 레이더의 신호처리 모듈의 전체 실행 시간은 약 25ms로써 업데이트 시간이 100ms이내인 실시간성을 만족함을 실험을 통해 알 수 있었다.

다음 그림 9는 실제 도로환경에서 실험결과를 PC의 사용자 인터페이스로 구현한 그림으로써 동영상으로 부분을 캡쳐하여 보여주는 그림이다. 차량용 UWB 레이더로 차량을 측정할 때 웹캠으로 지나가는 차량의 영상을 실시간으로 사용자가 볼 수 있도록 하였고, 차량이 지나갈 때 레이더로 측정한 거리, 속도 결과를 볼 수 있도록 사용자 인터페이스를 구현 하였다. 그림 9에서 측정된 차량의 거리와 속도는 7m, 5m정도 거리에서 차량이 지나갈 때 차량의 속도가 49km/h, 42km/h로 각각 측정이 되는 것을 보여 주고 있다.

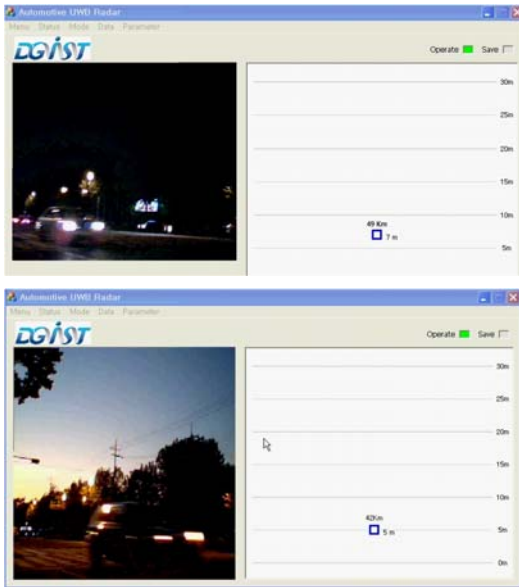


그림 9. 실제 도로환경에서의 실험 결과  
Fig. 9. The experiment result on real road

#### IV. 결론

본 논문에서는 24GHz 대역의 차량용 UWB 레이더를 위한 신호처리 모듈을 DSP 및 FPGA 기반으로 개발 하였다. 신호처리 모듈의 DSP에 거리, 속도 탐지 알고리즘을 구현 하였고, DSP와 PC간에 RS232 통신을 통해 사용자 인터페이스로 탐지 결과인 거리, 속도 결과를 볼 수 있도록 구현 하였다.

구현한 차량용 UWB 레이더의 탐지 알고리즘을 검증하기 위해 실제 도로 환경에서 이동하는 차량의 거리와 속도를 측정하였다. 또한 알고리즘의 실시간성을 위해 DSP에 구현하여 실제 도로 환경에서 거리, 속도를 측정하는 전체 탐지 알고리즘의 실행 시간을 측정하였다. 이때 탐지 알고리즘의 전체 실행 시간은 약 25ms로써 실시간으로 이동 차량의 거리와 속도를 측정 할 수 있음을 확인 하였다.

향후 1대의 차량이 아닌 여러 대의 차량의 거리와 속도를 탐지 할 수 있는 다중 타겟 탐지 알고리즘을 신호처리 모듈에 구현하여 실제 환경에서 검증 할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] Michael Klotz, "An automotive short range high resolution pulse radar network", Ph.D. Dissertation, Jan. 2002.
- [2] Karl M. Strohm, et al., "Development of future short range radar technology", Radar Conference, 2005.
- [3] Gresham I., Jenkins A., Egri R., "Ultra-wideband radar sensors for short-range vehicular applications", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 52, pp. 2105-2121, 2004.
- [4] M. Kunert, R. Doerfler, W. Hosp, C. Preis, "24 GHz UWB short range radars for vehicular applications", 2003 Microwave Workshops and Exhibition, Paper WS 04-03, Nov. 2003
- [5] M Younis, J Maurer, J Fortuny-Guasch, R Schneider, "Interference from 24 GHz automotive radars to passive microwave earth remote sensing satellites", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 42, (7), pp. 1387-1397, 2004.
- [6] P. Zhao, H. Veenstra, J. R. LONG, "A 24 GHz pulse-mode transmitter for short-range car radar", IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symp. Dig., pp. 379-382, Jun. 2007.
- [7] Purushothanman Surendran, S. J. Ko, S. D. Kim, and J. H. Lee, "A novel detection algorithm for ultra wide band short range radar in automobile application", IEEE VTC 2010-Spring, May. 2010.
- [8] Richards, M.A., ed., "Fundamentals of Radar signal processing", McGraw-Hill, 2005.
- [9] S. D. Kim, Y. H. Ju, J. H. Lee, "Design and implementation of a full-digital pulse-doppler radar system for automotive applications", Consumer Electronics (ICCE), 2011 IEEE International Conference on, pp. 563-564, Jan. 2011.

**저 자 소 개**

**주영환**



2007년 : 영남대학교  
정보통신공학과 학사.  
2010년 : 영남대학교  
정보통신공학과 석사.  
현재, 대구경북과학기술원  
연구원.

관심분야 : UWB 레이더, 레이더 신호처리.  
Email : yhju@dgist.ac.kr

**김상동**



2004년 : 한양대학교  
전자컴퓨터공학부 학사.  
2006년 : 한양대학교  
전자통신전파공학과 석사.  
현재, 대구경북과학기술원.

관심분야 : UWB, 차량용 레이더, 통신용 신호처리.  
Email : kimsd728@dgist.ac.kr

**이종훈**



1996년 : 성균관대학교  
전자공학과 학사.  
1998년 : 성균관대학교  
전기전자컴퓨터공학과 석사.  
2002년 : 성균관대학교  
전기전자컴퓨터공학과 박사.

2002~2005년 : 삼성전자 통신연구소 책임연구원.  
2005년~현재 : 대구경북과학기술원 과제책임자/  
선임연구원.  
2007년~현재 : 영남대학교 정보전자공학부  
겸임교수.  
관심분야 : 레이더 신호처리, 레이더 시스템 설계,  
민/군용 레이더 응용.  
Email : yhlee@dgist.ac.kr