

# FMCW 레이더 신호처리 시스템의 개발

박홍민\*, 최진우\*, 신천우\*\*

센싱테크(주) 센싱기술연구소\*, 경성대학교 멀티미디어공학과\*\*

## A Development of FMCW Radar Signal Processing System

Hong-Min Park\*, Jin-Woo choi\*, Cheon-Woo Shin\*\*

Institute of Research & Development, SensingTech Corp.  
Dept. of Multimedia Engineering, KyungSung University\*\*

### 요 약

전자공학 기술의 응용으로 자동차를 지능화하고, 안정성을 현격하게 높이려는 연구가 주목받고 있다. 이러한 자동차의 지능화에서 중요한 요소 기술이 되는 것이, 자동차의 주변 측, 전방/후방의 차량이나 장애물을 인식하는 주변감시 기술이다. 본 논문에서는 이러한 자동차용 장애물 인식 레이더 시스템인 FMCW 레이더 신호처리시스템을 개발한다. 이 차량용 시스템이 실제 도로 환경에서 이용되기 위해서는 무엇보다 시스템의 안정된 신뢰도가 요구되며, 즉, 기상환경 및 다양한 도로환경에 무관하게 안정적인 시스템 신뢰도를 유지하기 위한 개발에 그 최종적인 목적이 있다.

이에 레이더 시스템을 통해 자차와의 거리 및 상대속도를 인지함으로써 최종적인 장애물(선행차, 교행차) 및 자차의 주행상황을 통해 안정적인 주행경보시스템을 개발한다.

### 1. 서론

자동차를 안전하게 만들고 싶은 사회적 요청과 최근 전자공학기술의 응용으로 자동차를 지능화하고 안전성을 단계적으로 높이려는 연구가 각방면에서 진행되고 있다.

대부분의 차량 사고는 운전자의 실수에 의해서 발생하게 된다. 이러한 운전자의 실수를 보완하는 시스템을 개발한다면 사고를 줄일 수 있다. 이러한 운전의 실수를 줄이기 위해 자동차의 전방이나 후방의 차량이나 장애물을 인식하는 장애물 인식시스템이 개발되고 있다. 이러한 장애물 인식시스템에 사용되는 센서로 초음파센서, 레이저 레이더, 전파레이더, 화상센서 등이 사용된다. 이들 가운데 전파레이더는 바람과 오염에 강하고 상대속도 검출이 가능한 장점을 가지고 있다[1,2].

본 연구는 '정보통신산업기술개발사업'의 연구결과임

본 논문에서는 차량주행의 안정성 증대와 운전자의 편리성 획득 목적으로 차량 추돌방지용 레이더 시스템을 개발한다. 차량용 레이더시스템이 실제 도로 환경에서 이용되기 위해서는 무엇보다 시스템의 안정된 신뢰도가 요구된다. 즉, 기상환경 및 다양한 도로환경에 무관하게 안정적인 시스템 신뢰도를 유지하기 위한 개발에 그 최종적인 목적이 있다.

이에 레이더 신호처리 시스템을 통해 자차와의 거리 및 상대속도를 인지함으로써 최종적인 장애물(선행차, 교행차) 및 자차의 주행상황을 통해 안정적인 주행경보시스템을 개발한다.

### 2. Radar signal processing

자동차용 레이더 가운데 FMCW(frequency modulated continuous waves)는 바람과 오염에 강하고 상대속도 검출이 가능한 장점을 가지고 있다. FMCW 레이더는 간편한 구성으로 목표물까지의 거리와 상대

속도를 동시에 계측할 수 있기 때문에 자동차 탑재 기기와 같이 비용에 대한 요구가 엄격한 영역에서 유효하다.

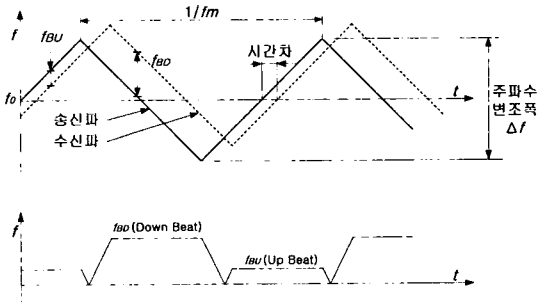


그림1. FMCW방식 레이더 원리

그림1은 FMCW레이더의 원리를 나타낸다. 송신파를 삼각파로 변조하여 선행하는 자동차등에서 반사해온 수신파와 송신파의 일부를 믹싱함으로써 비트신호 주파수를 얻을 수 있다.

비트신호 주파수는 선행하는 자동차까지의 거리 R과 상대속도 V(레이더를 탑재한 자동차와 선행하는 차와의 속도차이)의 신호성분이 포함되어 각각 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{(f_{BD} + f_{BU})c}{8\Delta f f_m}$$

$$V = \frac{(f_{BD} - f_{BU})c}{4f_0}$$

여기에서  $c$  : 전파의 전파속도  
 $\Delta f$  : 삼각파의 변조폭  
 $f_m$  : 삼각파의 변조주파수  
 $f_0$  : 변조중심 주파수  
 $f_{BU}$  : 변조주파수가 증가하는 구간에서 얻어지는 비트 신호의 주파수(Up 비트 주파수)  
 $f_{BD}$  : 변조주파수가 감소하는 구간에서 얻어지는 비트 신호의 주파수(Down 비트 주파수)  
 즉, 변조 삼각파 증감구간마다 비트신호 주파수  $f_{BU}$ 와  $f_{BD}$ 를 각각 계측하고, 그 합과 차를 계산함으로써 거리와 상대속도를 구할 수 있다. 다음으로, 목표물에서의 반사파의 수신전력은 식(3)과 같은 레이더 방정식으로 구할 수 있다.

$$Pr = \frac{\lambda^2 Pt Gr \sigma}{(4\pi)^3 R^4 La Lr} \tag{3}$$

여기에서  $P_t, P_r$  : 송신 및 수신전력  
 $G_t, G_r$  : 송신 및 수신안테나의 이득  
 $R$  : 목표물까지의 거리  
 $L_a$  : 대기감쇠,  $L_r$  : 강우감쇠  
 $\lambda$  : 파장(60GHz에서는 5mm)  
 $\sigma$  : 반사 단면적(직경1m의 완전도체에서 만들어진 구체로 전파를 비추었을 때 조사방향에 전파가 반사된 양을 0dB로 하였다. 승용차에서는 10dB 정도이다)  
 밀리파는 마이크로파이하의 주파수에 비교해서 강우에 의한 감쇠가 많고 또 70GHz대는 산소분자에 의해 자유공간저항에 대해서 16dB/km 감쇠하는 성질을 가지고 있다.

### 3. FMCW 레이더 신호처리 시스템

본 시스템은 FMCW레이더를 이용한 신호처리 시스템을 제안한다. 그림2는 본 시스템의 전체 블록도를 나타내고 있다. 본 시스템은 레이더 부와 신호처리 부로 구성되고 FMCW레이더를 이용하여 송수신한 정보를 처리하여 전방의 물체를 검출한다[3,4]

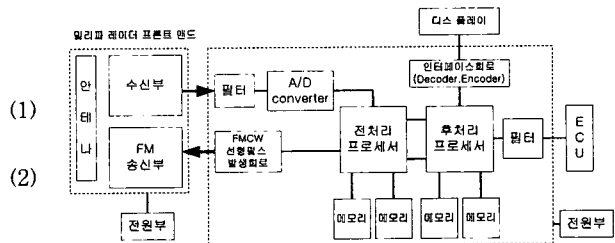


그림 2. 전체 시스템 블록도

#### 2.1 레이더 센서

레이더 센서 부분은 그림2의 밀리파레이더 프론트엔드부분으로 77GHz의 주파수를 사용하여 신호 처리부에서 발생된 삼각파를 변조하여 송신하고 송신한 레이더 신호를 수신하여 물체를 검출하게 된다.[5,6] 레이더 센서에 관한 자세한 내용은 표1에 나타나 있다.

#### 2.2 신호처리부

신호처리부는 그림2의 신호처리 부분으로 레이더에서의 수신신호를 FFT를 적용하여 물체의 거리와 상대속도를 추출하는 기능을 수행한다. 시스템 구성은 FMCW 선형펄스 발생회로, A/D converter, 전처리

프로세서, 후처리 프로세서, 인터페이스 회로로 구성된다[7,8].

표1. 레이더 센서의 주요 제원

ITEMS	SPECIFICATION
Type of operation	FMCW(77GHz)
Radiation Power	10 mW
Bandwidth	< 100MHz
Detecable Range	5 ~ 150M
Range Resolution	< 0.7M
Range Accuracy	<1.0M @35~100M
A/D sampling time	6.25 MHz
A/D Resolution	12 bit
송수신 Ant Gain	35 dB
Radar Head Module Size	< 90×50×30(mm)

레이더 전 처리부는 Xilinx Virtex100을 사용하였으며 D/A로 연속되는 삼각파를 출력하기 위한 데이터를 발생시킨다. 이때 레이더의 동기시점을 생성하여 RISC에서의 FFT를 위한 입력과 출력의 차이신호를 동기시점을 이용하여 연산하며 그 값을 메모리에 기록하게 된다. RISC와 hand shake를 통해서 2개의 메모리를 교차사용하며 FPGA에서 A/D 데이터를 저장할 때 한 개의 메모리를 사용하고, 동시에 RISC에서의 FFT를 위한 memory접근을 bypass하는 메모리 인터페이스를 수행한다. A/D로의 clock을 발생 및 제어하는 A/D, D/A 인터페이스를 함께 수행한다.

RISC로 Hitachi SH3- DSP(SH7729)를 사용하고 Bios & Program을 구동하고 FPGA를 제어한다. 차량 제어신호와 문자출력, 메모리 접근 알고리즘(FFT)를 수행하는 기능을 한다.

그림3은 레이더 신호처리 시스템의 신호처리 데이터의 흐름을 블록도로 나타내었다. 신호처리부에서 FMCW 선형펄스를 발생시켜주면 레이더부에서 물체를 향해 레이더 신호를 송신하고 물체로부터 반사된 신호를 수신한다. 이 수신된 신호를 A/D변환하고 필터링 해서 FFT신호처리를 수행하게 된다. (FFT를 수행하면 장애물(선행차, 교행차, 다른 장애물)을 측정할 수 있고 ECU를 통해 자동차의 주행상태를 확인하고 자동차의 상태와 장애물의 위치, 속도를 디스플레이 화면에 표시한다.

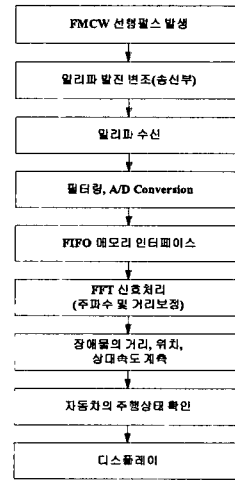
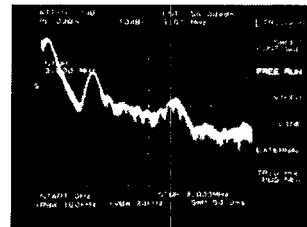


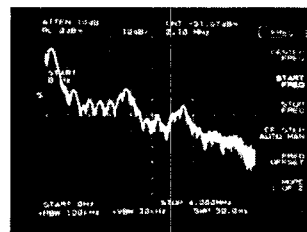
그림 3. 신호처리 Data Flow

#### 4. 동작분석 및 성능평가

그림 4는 실내 환경에서 레이더를 이용하여 전방의 물체에서 반사된 밀리파를 FFT를 적용하여 나타난 주파수의 그래프이다. 그림4(a)의 peak는 20m와 52m 전방의 물체를 나타내고 있고, 그림4(b)는 30m와 52m 전방의 물체를 나타내고 있다.



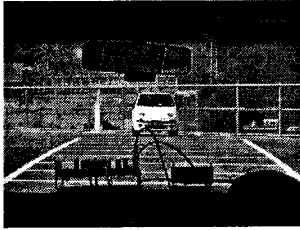
(a) 20m, 52m 전방에 위치한 물체의 추출



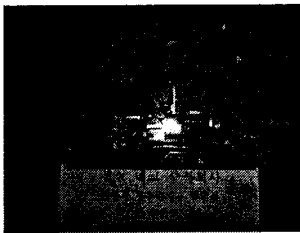
(b) 30m, 52m 전방에 위치한 물체의 추출

그림 4. FFT를 이용한 검출 파형

그림 5는 실제 구현된 FMCW 레이더 신호처리 시스템이다. 그림 5(a)는 실제 차량에 장착된 시스템을 나타내고 그림5(b)는 시스템 보드를 나타낸다.



(a) 차량에 장착된 레이더 신호처리 시스템



(b) 시스템 보드

그림 5. FMCW 레이더 신호처리 시스템

실제 도로 상황에서 본 시스템은 도로의 커브부분, 벽, 그리고 차량이외의 물체가 전방에 나타났을 때 물체 가운데 우리가 고려해야하는 물체의 정확한 추출의 문제가 요구된다. 그리고 실제 이 시스템을 차량에 장착할 경우에 장착문제 역시 해결해야 할 과제이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차량주행의 안정성 증대와 운전자의 편리성 획득 목적으로 FMCW 레이더 신호처리 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 실제 도로 환경에서 이용되기 위해서 시스템의 안정된 신뢰도를 위한 개발을 수행하였다. 본 레이더 시스템은 자차와의 거리 및 상대속도를 인지함으로써 최종적인 장애물(선행차, 교행차) 및 자차의 주행상황을 통해 안정적인 주행경보 시스템을 이룩하였다.

## [참고문헌]

- [1] T. Yamawaki, S. Yamano, " 60GHz Millimeter-wave Automotive Radar, " Fujitsu technical review Vol.15 No.2, pp.9-18.
- [2] T. Setsuo, " Automotive Application System using a Millimeter-wave Radar," Toyota technical review Vol.46 No.1 may 1996, pp.50-55.
- [3] N. Okubo, K. Fuzimura, Y. Kondou, " 60GHz

Millimeter-wave Automotive Radar," Fujitsu technical review Vol.47, No.4, 07, 1996, pp.332-337.

- [4] A. G. Stove, "Linear FMCW radar techniques". IEE Proceedings-F, Vol. 139, No. 5, pp.343-350, Oct, 1992.
- [5] K. C. Chang and Y. Bar-Shalom, "Joing Probabilistic Data Association for Multitarget Tracking with Possibly Unresolved Measurements and Maneuvers". IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. AC-29, pp.585-594, Jul. 1994.
- [6] John A. Lawton and Paul Zarchan, "Comparison of four Filtering Options for a Radar Tracking Problem", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.21, No. 4, pp.618-623, Jul.-Aug. 1998.
- [7] 류형규, 박홍민, 이승환, 김태훈, 신천우, 김병수 "FPGA를 이용한 고속영상처리보드의 개발", 1998년도 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, 제 21권 2호, 1998, pp.449-452
- [8] 박홍민, 신천우, "실시간 영상처리 보드의 개발", 1999년도 한국멀티미디어학회 춘계학술발표 논문집, 제2권 1호, 1999, pp.9-13