

FMCW 레이더를 이용한 차량 충돌 방지 시스템의 신호처리부 설계 및 구현

정진현, 오우진
금오공과대학교 전자공학부
Tel: 054-467-4371, Fax:054-467-4484

Developments of Signal processing Parts of Vehicle Collision Avoidance System using FMCW Radar

Jin-Hyun Jung, Woo-Jin Oh
Dept. of Electronic Eng., Kumoh National University of Technology
E-mail : wjoh@knut.kumoh.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 ITS(Intelligent Transportation System) 기술중의 하나인 차량 충돌 방지 시스템의 신호처리부를 설계 구현하였다. 제안된 시스템은 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave)방식의 77GHz 밀리미터파 레이더를 기준으로 파라미터 값을 설계하여 거리와 속도를 실시간 검출하도록 구현되었다. 제안된 시스템은 TI사의 TMS320C31-40 DSP와 AT89C52 8bit 마이크로프로세서로 구현되어 10Hz 이상의 갱신을, 0.2m의 거리 분해능 및 2km/h의 속도 분해능을 제공하고 있다. 실험 환경으로 주파수 발생기(Function Generator)에서 비트주파수(Beat Frequency)를 생성하여 동작을 확인하였다.

차량 충돌 방지 시스템은 중요한 분야로 많은 연구가 진행되고 있다[1-4].

차량 충돌 방지 시스템의 장애물 감지를 위한 센서로는 laser, 밀리미터파(millimeter wave), CCD 카메라 등이 많이 연구되고 있다. 본 연구에서는 주야간이나, 기상 조건에 영향을 적게 받는 밀리미터파 레이더의 한 종류인 FMCW 레이더를 이용하여 실시간으로 속도 및 거리 정보와 사용자 접촉을 처리하는 신호처리부를 구현한다.

본 논문의 구성은 2장에서 FMCW 레이더의 거리와 속도 검출 방식에 대해 설명하고, 3장에서 신호처리부의 파라미터값 설정과 HW의 구현에 대해 설명한다. 4장 및 5장에서는 구현된 시스템의 실험 결과와 향후 계획에 대해 각각 기술한다.

I. 서론

오늘날 자동차의 급격한 보급과 더불어 차량정체와 교통사고가 급격히 늘어나 커다란 인적, 물적 피해를 초래하고 있다. 이를 개선하기 위하여 선진 각국을 중심으로 ITS라는 지능형 교통 제어 시스템을 개발하기 위하여 노력하고 있다. 특히 ITS의 세부 분야 중에서 교통사고 방지를 위해 운전자의 시각을 보조하고 주변 상황을 통보해 줌으로써 운전자의 육체적, 심리적 부담을 경감시켜 주행 안정성을 향상시키는 고신뢰성의

II. FMCW 레이더

FMCW 레이더는 그림 1과 같이 시간에 따라 선형적으로 증가, 감소하는 형태의 주파수 변조파를 송신하여, 장애물에 반사되어 오는 수신 신호로부터 상대 속도와 거리를 구하는 방식이다[3]. 송수신 신호의 주파수 차를 비트 주파수 f_b 라 하며, 장애물과의 상대속도가 0인 경우에 비트 주파수는 장애물과의 거리에 따른 수신 신호의 지연 t_1 에 비례하는 거리주파수(range frequency) f_r 을 갖게 된다. 따라서 f_b 와 거리 R은 다음

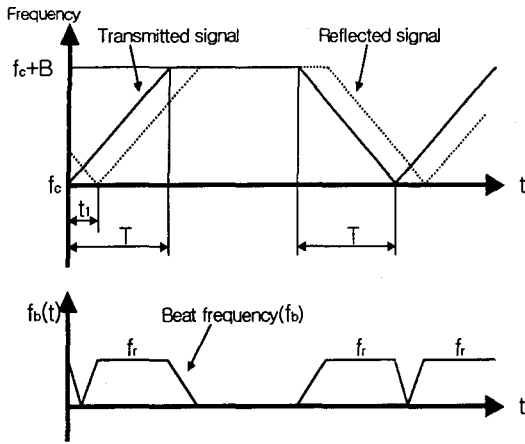


그림 1. 선행 차량과 절대 속도가 같은 경우

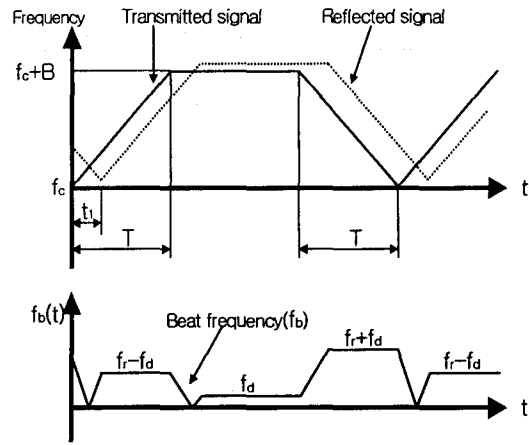


그림 2. 선행 차량과의 절대 속도가 다른 경우

과 같이 표현된다.

$$R = \frac{c \cdot T \cdot f_b}{2 \cdot B} \quad (1)$$

여기서 c 는 광속, T 는 sweep 시간, B 는 변조 대역폭이다.

그림 2는 장애물과 상대속도 $\neq 0$ 인 경우로 상승구간과 하강구간의 비트주파수는 상대속도에 의한 도플러 주파수(doppler frequency) f_d 만큼 편이가 된다. 따라서 f_r 과 f_d 는 다음과 같이 합과 차로 나타난다.

$$\begin{aligned} f_d &= \frac{f_b(\text{Down}) - f_b(\text{Up})}{2} \quad (2) \\ f_r &= f_b(\text{Down}) - f_d \end{aligned}$$

위 식을 이용하여 선행 차량의 거리 R 과 선행 차량과 자차의 상대 속도 V_r 은

$$R = \frac{c \cdot T \cdot f_r}{2 \cdot B} \quad (3)$$

$$V_r = \frac{c \cdot f_d}{2 \cdot f_c} \quad (4)$$

이 된다. 이때 거리와 상대속도가 $\frac{2B}{cT} R \leq \frac{2}{\lambda} |v|$ 이 되면, 즉 거리에 비해 상대속도가 큰 경우에는 도플러 주파수가 거리 주파수에 비해 커져서 $f_r < f_d$ 이 되어 음의 비트 주파수가 검출되어 거리 및 속도 추정이 어려워진다. 그러나 실제 환경에서는 이러한 조건이 거의 나타나기 어렵다. 예를 들면 본 시스템의 규격에서는 거리가 6m, 상대 속도가 71km/h이상인 경우이다.

III. 신호처리부 설계 및 구현

앞서 살펴본 바와 같이 식(3), 식(4)의 거리 및 속도 해상도는 FMCW 레이더의 규격과 밀접한 관계를 갖고 있다[4]. 본 연구에서는 최근에 발표된 여러 가지 레이더를 검토하여 가장 일반적인 표 1과 같은 규격을 채택하였다[5],[6].

본 연구 시스템에서는 1m이하의 거리 해상도, 2km/h 이내의 속도 해상도를 목표로 신호처리부를 설계하였다. 데이터 처리 속도 및 획득 시간을 고려하여 1024pt, 1.2ms의 sweep 시간을 사용하였으며, 이때 $\Delta R = 0.6m$, $\Delta V = 7km/h$ 의 해상도를 얻을 수 있다.

본 시스템의 구성은 그림 3과 같이 레이더 접속부, 신호처리부, 시스템 제어부, 사용자 접속부로 이루어지며, 각각의 기능은 다음과 같다.

레이더 접속부는 FMCW 레이더 front-end에서 제공되는 비트 신호를 입력받아 A/D 변환하여 DSP로 전달하는 기능을 제공한다. ADC의 데이터 획득 지연을 줄이기 위하여 FIFO를 사용하여 DSP에 1024개의 데이터를 짧은 시간에 블록 전송하도록 설계하였다. 현재 사용중인 FIFO는 Cypress사의 CY7C429-10으로 최대 동작 속도는 50MHz로 향후 ADC를 개선할 수

| 항 목 | 규 격 |
|------------------|---------|
| 중심 주파수 (f_c) | 76 GHz |
| 주파수 대역폭(B) | 300 MHz |
| Sweep 시간(T) | 1.2 ms |
| 갱신율(update rate) | 10 Hz |

표 1 파라미터 설정 값

FMCW 레이더를 이용한 차량 충돌 방지 시스템의 신호처리부 설계 및 구현

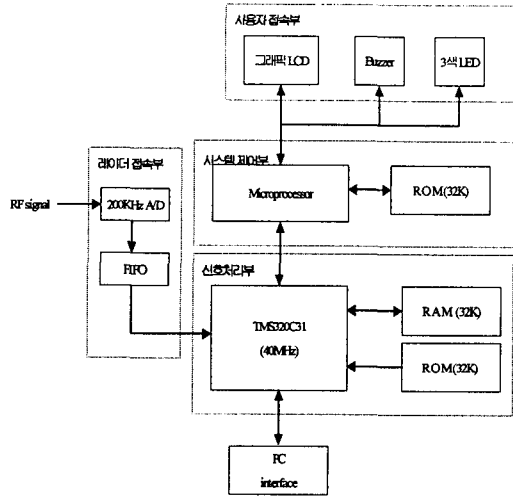


그림 3. 시스템 구성도

있도록 설계하였다.

신호처리부는 TMS320C31-40 DSP와 32K Word의 zero-wait SRAM으로 구성되어 FFT, Cubic Spline 보간 등 고속, 실시간 처리알고리즘을 수행한다. 그림 4는 DSP 내부의 순서도로서, FFT는 assembler로 작성하여 내부 메모리 맵에서 고속 동작하도록 프로그래밍하였다. 또한 그림 5와 같이 주파수 추정 성능의 개선을 위하여 Cubic Spline 방식으로 4배 보간을 하였다.

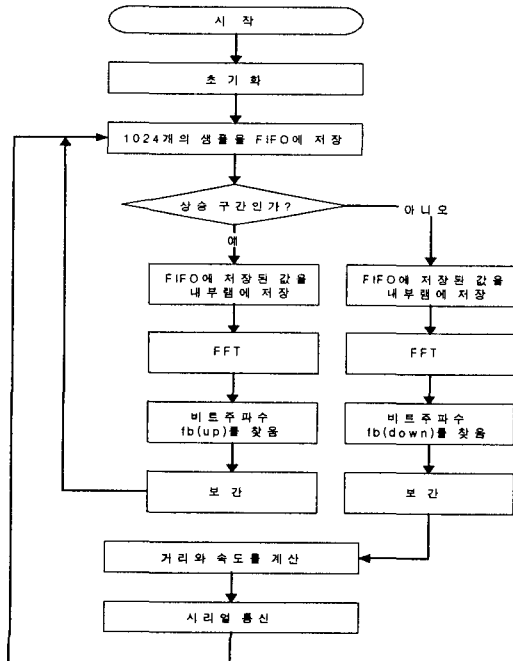


그림 4. DSP 내부의 순서도

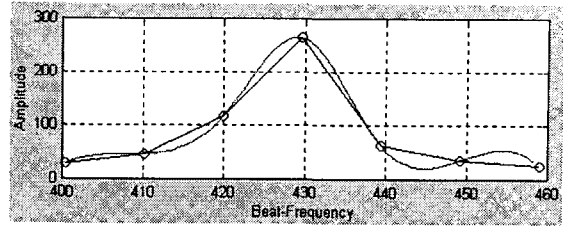


그림 5. 주파수 추정에서의 보간 효과

시스템 제어부는 Atmel사의 89C52 8bit 마이크로 프로세서를 사용하여 빠른 연산처리를 필요하지 않는 작업을 처리한다. 즉, 89C52의 다양한 제어포트를 활용하여 Watchdog, 시스템 관리, 사용자 접속부 제어, RS-232C 통신 등의 기능을 수행한다. 사용자 접속부는 128×64 그래픽 LCD, 부저, 입출력 S/W, RS-232를 통하여 운전자에게 정보를 편리하게 전달하는 기능을 제공한다. 그림 6은 개발한 시스템의 실물 사진과 LCD 화면이다.

IV. 실험 결과

본 시스템의 실험을 위하여 FMCW Radar 신호를

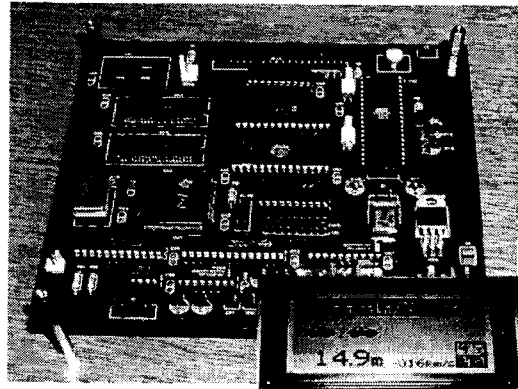
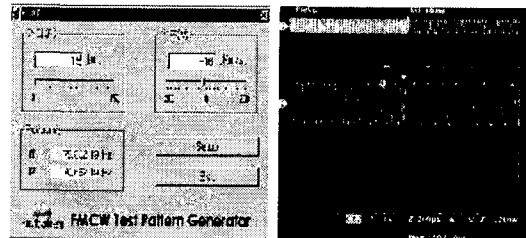


그림 6. 시스템의 실물도와 그래픽 LCD화면



(a) FMCW 신호 발생 S/W (b) FMCW 신호의 예

그림 7. 거리와 속도에 따른 비트주파수 발생

임의 파형 발생기인 HP33120A로 만들어 사용하였다. 그림 7과 같이 Visual Basic으로 작성된 S/W를 이용하여 PC에서 속도와 거리를 입력하면, 자동으로 파형 발생기를 제어하여 계산된 비트 주파수를 임의로 만들어 주게 된다.

Proceedings, 2000.

프로그램 수행 시간을 실제 측정한 결과 1024 point FFT는 1.1ms, Spline 보간은 1ms가 소요되었으며, 두번의 FFT와 보간 등을 고려할 때 FMCW 레이더의 일반적인 정보 갱신율인 10Hz, 즉 100ms시간 이내에 충분히 실시간 처리가 가능함을 알 수 있다.

거리 및 속도 해상도는 각각 0.6m, 7km/h 이하를 얻었으며, 보간을 통하여 최대 0.2m, 2km/h까지 개선됨을 확인하였다.

V. 향후 계획

본 논문에서 구현한 시스템은 향후 상용화 레이더 front end부와 연결하여 필드 테스트를 계획 중이다. 또한 실제 상황에서 발생할 수 있는 곡선로, 언덕, 교행 차량의 인식 등 여러 가지 요인을 분석하여, 그에 따른 동작 알고리즘을 개발할 계획이다.

참고문헌

- [1] M. E. Russell, *et al*, "Millimeter-Wave Radar Sensor for Automotive Intelligent Cruise Control(ICC)," *IEEE Trans Microwave Theory Tech.* vol 45, Dec. 1997.
- [2] H. Kuroda, *et al*, "An Adaptive Cruise Control System Using A Millimeter Wave Radar," *IEEE International Conference on Intelligent Vehicles*, 1998.
- [3] M. Mitsumoto, N. Uehara, S. Inatsune, T. Kirimoto, "Target Distance and Velocity Measurement Algorithm to Reduce False Targets in FMCW Automotive Radar," *IEICE Trans.*, vol.E83-B, no.12, Sep. 2000.
- [4] 김양수, 차량 충돌 방지를 위한 FMCW 레이더 설계 및 DSP 구현, 석사 논문, 금오공과대학교, 2000.
- [5] D. D. Li, "Millimeter-wave FMCW/Monopulse Radar Front-End for Automotive Applications," *1999 IEEE-MTT-S Digest*, 1999.
- [6] H. Kondoh, M. Nakamura, K. Takano, H. Kuroda, "Fully-MMIC 76GHz Radar for ACC," *2000 IEEE Intelligent Transportation System*