

DSP를 이용한 FMCW 레이더 신호처리 알고리즘

한성철, 박상진, 강성민, 구경헌

인천대학교 전자공학과

전화: (032) 770-8446/ 팩스: (032) 761-9961

Signal Processing Algorithm of FMCW RADAR using DSP

S.C. Han, S.J. Park, S.M. Kang, K.H. Koo

Dept. of Electronics Eng., University of Incheon, Incheon, 402-749, Korea

E-mail : g971129@lion.inchon.ac.kr

Abstract

In this paper, FMCW radar signal processing technique for the vehicle detection system are studied. And FMCW radar sensor is used as a equipment for vehicle detection. To test the performance of developed algorithm, the evaluation of the algorithm is done by simulation for signal processing technique of vehicle detection system. RADAR signal of a driving vehicle is generated by using the Matlab. Distance and velocity of vehicles are calculated with developed algorithm. Also the signal processing procedure is done for the virtual data with FM-AM converted noise.

I. 서론

차량 감지기는 도로상의 교통정보, 즉, 차량속도, 차량대수, 차량점유율 등을 감지하여 도로의 이용현황을 파악할 수 있고, 미래의 교통계획을 수립할 수 있는 교통정보를 수집하는 소자로서 ITS 실현을 위해 매우 중요한 분야이다. 이러한 연구의 일환으로 본 논문에서는 차량들의 거리 및 속도를 감지하여 교통정보를 제공하는 차량 감지기의 신호 처리 알고리즘 구현에

중점을 두었다. 차량 감지기로부터 송신신호와 수신신호의 차 신호인 비트(beat) 신호가 입력되고, 이러한 비트 신호의 주파수 검출을 위한 알고리즘을 제시하고 DSP를 이용하여 신호 처리부를 구현하였다.

II. 레이더 신호 처리

차량을 관측하기 위한 감지기로 사용되는 FMCW 레이더 감지기로부터 차량들의 거리와 속도에 대한 정보를 가지는 수신 신호를 A/D 변환시켜 획득한 후에 푸리에 변환을 통하여 차량들의 거리와 속도에 대한 정보를 얻기 위한 주파수 성분을 추출해 내야한다. 이러한 차량 감지 시스템은 필수적으로 실시간 처리로 차량 정보 추출을 위한 레이더 신호 처리 과정이 이루어져야 한다. 신호 처리 과정의 시뮬레이션을 위하여 설정한 기본 값들은 다음과 같다.

- 최소 측정 거리 : 3m • 최소 측정 속도 : 2km/h
- 최대 측정 거리 : 45m • 최대 측정 속도 : 200km/h
- 거리 분해능 : 1.5m • 속도 분해능 : 2km/h
- 주파수 대역폭 : 100kHz • 중심 주파수 : 24.15GHz

그림1은 움직이는 차량이 있을 때의 송수신 파형을 보여주고 있다. FFT를 이용하여 비트(beat) 신호의 주파수 성분을 정확히 측정할 수 있는가의 여부는 데이터의 관측시간 T_w 에 의해 영향을 받는 주파수 분해능에 의해 결정된다. 세 성분의 Sweep 시간 T_1 , T_2 ,

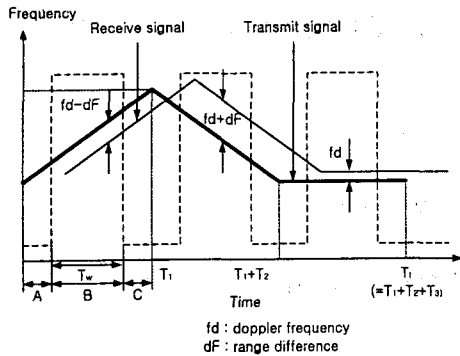


그림 1. 송수신 FMCW 파형

T3 는 관측시간 Tw 를 충분히 포함하도록 설정한다. 본 연구에서는 프로세서의 처리 속도를 고려하여 세 성분의 Sweep 시간 T1 = T2 = T3 = 20ms로 결정하였다. 또한, 샘플링 주파수와 FFT 데이터수에 의해 주파수 분해능이 결정되면 차량에 대한 속도 분해능이 결정되어지므로 이러한 조건들을 고려하여 샘플링 주파수 48kHz, 512 FFT 데이터 수로 결정하였다.

FMCW 레이더 센서로부터 신호 처리 과정으로 입력되는 주파수들은 f_{up}, f_{dw}, f_{dp} 등이며 그림1에서 보여지듯이 Sweep 시간 T1부분을 A, B, C 의 세 부분으로 구분 지을 수 있으며, A, C 부분에서는 실제 측정하려는 차량들에 의한 주파수가 아닌 상이한 주파수가 입력될 수가 있다. 이 현상을 방지하기 위해서 T1 부분의 A, C 부분을 제거하고 B 부분, 즉 관측 시간 Tw 동안의 데이터만으로 신호 처리 알고리즘을 수행한다. 차량들의 거리와 속도 검출 알고리즘은 측정된 거리와 속도의 분해능과 측정 데이터의 정확도가 중요한 요소로 작용하게 된다. 측정 속도의 분해능은 식(1)의 주파수 분해능에 근거하여 식(4)에 의해 결정되어지며 측정 거리의 분해능은 식(3)에 의해 결정되어진다.

$$\Delta F = \frac{f_s}{N} \quad (1)$$

$$T_w = \frac{1}{\Delta F} \quad (2)$$

$$\Delta R = \frac{c \cdot T_w \cdot \Delta F}{2 \cdot BW} = \frac{c}{2 \cdot BW} \quad (3)$$

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

여기에서, ΔF =주파수 분해능, ΔR =거리 분해능, ΔV_r =속도 분해능, T_w =관측 시간, f_s =샘플링 주파수, N = FFT 데이터 수, BW =Sweep 대역폭, c =광속(3×10^8 m/s), f_c =중심 주파수이다.

차량들의 측정 거리를 위한 거리 분해능은 주파수 분해능에 관계없이 식(3)에 의해서 앞의 파라미터값에서 설정된 주파수 대역폭에 의해 샘플링 주파수나 FFT 데이터 수에 관계없이 1.5m의 일정한 값을 가진다. 이와는 다르게 차량들의 측정 속도를 위한 속도 분해능은 주파수 대역폭에 관계없이 주파수 분해능에 의해서 결정된다. 다시 말해서 샘플링 주파수에 비례하고 FFT 데이터 수에 반비례한다. FMCW 레이더 센서를 이용한 차량들의 속도와 거리의 측정은 식(5)와 식(6)에 의해서 연산된다.

$$R = \frac{c \cdot T_w \cdot dF}{2 \cdot BW} \quad (5)$$

$$V = \frac{c \cdot f_d}{2 \cdot f_c} \quad (6)$$

여기서, R=차량과의 거리, V=차량의 속도, f_d =도플러 주파수, dF =거리 차이에 의한 주파수이다.

III. 시뮬레이션

FMCW 레이더 감지기를 이용하는 차량 감지시스템에서의 신호 처리 부분에 대해 본 논문에서 구현한

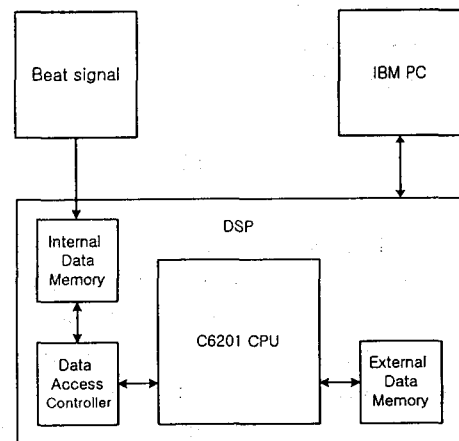


그림 2. 시뮬레이션 구성도

DSP를 이용한 FMCW 레이다 신호처리 알고리즘

신호 처리부의 성능 평가를 위해 다음과 같이 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 구성은 그림2에서 보여주고 있다. 또한, 시뮬레이션에 사용된 각종 장비 및 소프트웨어 사양은 표1과 같다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 장비 및 소프트웨어 사양

Pentium- II	450MHz
TI TMS320C6201 EVM Board	133MHz
Code Composer Studio	C6000

표 1에서 TMS320C6201 EVM 보드는 Texas Instrument 사의 제품으로 최대 샘플링 주파수 48kHz, 133-MHz Clock Rate를 가지며 64K byte의 내부 메모리와 8M byte의 외부 메모리를 갖는다. CCS(Code Composer Studio)는 DSP를 제어하기 위한 소프트웨어로써 제시한 알고리즘을 수행하기 위해 C언어를 이용하여 프로그램을 작성하였으며 CCS에서 프로그램을 compile하고 link해서 실행파일을 만든다. 감지기로부터 입력된 비트신호를 EVM 보드의 입력값으로 하여 이러한 데이터값을 가지고 비트신호의 주파수 검출을 위한 고속 푸리에 연산을 수행한다. 고속 푸리에 변환된 값들은 외부램에 저장되고 저장된 값을 비교하여 비트신호의 속도에 의한 도플러 주파수 성분 f_d 와 거리의 차에 의한 주파수 성분 dF 를 검출한다. 이렇게 검출된 주파수를 가지고 차량정보인 차량의 속도 및 거리를 구하는 식에 대입하여 속도 및 거리를 구한다. Code Composer Studio를 사용하여 이러한 시뮬레이션이 수행되는 과정을 그림3에서 보여주고 있다.

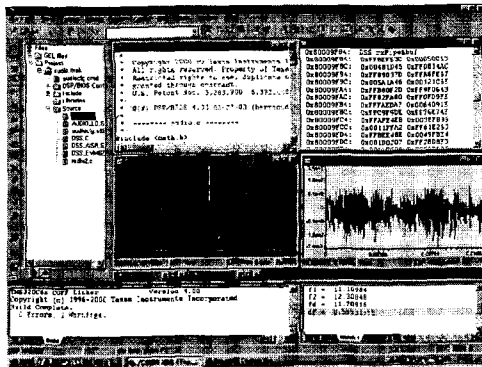


그림 3 DSP를 이용한 알고리즘 구현 디스플레이 예

시뮬레이션은 4개의 차선에 대해 다음과 같이 각각 차량의 속도를 20km/h에서 200km/h까지 20km/h 간격으로 변화시키면서 시뮬레이션 하였다.

(1) 1차선에 차량이 있을 때(R=6.7m)

차량에 속도가 20km/h, 40km/h, 60k/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h, 140km/h, 160km/h, 180km/h, 200km/h

(2) 2차선에 차량이 있을 때(R=9m)

차량에 속도가 20km/h, 40km/h, 60k/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h, 140km/h, 160km/h, 180km/h, 200km/h

(3) 3차선에 차량이 있을 때(R=11.6m)

차량에 속도가 20km/h, 40km/h, 60k/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h, 140km/h, 160km/h, 180km/h, 200km/h

(4) 4차선에 차량이 있을 때(R=14.4m)

차량에 속도가 20km/h, 40km/h, 60k/h, 80km/h, 100km/h, 120km/h, 140km/h, 160km/h, 180km/h, 200km/h

표2. 시뮬레이션에 의한 평균 거리 오차(m)와 평균 속도 오차(km/h)

	평균 거리 오차(m)	평균 속도 오차(km/h)
1차선일때	0.2258	0.5780
2차선일때	0.1748	0.2247
3차선일때	0.0413	0.2113
4차선일때	0.1076	0.2348

표2에서 알 수 있듯이 차량들의 거리 및 속도에 대한 평균 오차는 본 논문에서 사용한 48kHz 샘플링 주파수와 512 FFT 테이터수에 의한 거리 및 속도 분해능인 1.5m 와 2.096km/h 보다 작은 값을 알 수 있으므로 거리 및 속도에 대한 정확도는 허용할 수 있는 범위 내라고 할 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 FMCW 레이다 감지기를 이용한 차량 감지 시스템의 신호 처리 과정에서의 요구 조건들에 대해 논의하였고, FMCW 레이다 감지기로부터 입력되는 차량들의 정보들을 이용하여 차량의 거리 및 속도를 검출하기 위한 신호 처리 과정에서 사용되는 알고리즘을 제시하고 실시간 처리를 위해 DSP를 이용

하여 신호처리부를 구현하였다. 이러한 신호처리부의 성능 시험을 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과 차량들의 거리 및 속도의 시뮬레이션 오차가 작아 정확도가 좋음을 알 수 있었다. 본 논문에서 논의된 연구 사항들에 이어 앞으로 더 보완해야 할 과제들은 차량의 길이를 판별할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 차량대수를 분리할 수 있는 기능과 차선별 감지능력 등을 보완, 개선하여 보다 실용적인 차량 감지 시스템을 구현하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] U. Ozguner, S. Darkunov, J. Young, and L. Henderson, "Combined longitudinal and lateral controller design for a vehicle with RADAR sensors," in SAE Trans. ITS. 1995, pp. 51-57.
- [2] W. J. David, "FMCW Sensors for longitudinal Control of Vehicles," in SAE Trans. ITS. 1995, pp. 87-96.
- [3] W. Ulke, R. Adomat, K. Butscher, and W. Lauer, "RADAR detection of traffic obstacles, in Automotive Engineering, September 1994, pp. 23-27.
- [4] A. Charles, M. charbit, J. Prado, A. Serval, and M. Attia, "Frequency modulated continuous wave RADAR signal processing to improve active safety featuress," in IMechE, 1994, pp. 81-86.