

통신에 의한 신호시스템의 안전성 확보에 대한 연구

The Study of Improve Safety for Signaling System using Communication

백종현* 한성호* 안태기* 은정근*
Baek, Jong-Hyen Han, Seong-Ho An, Tae-Ki Ohn, Jung-Ghun

ABSTRACT

The potential use of ranging sensors for reducing the occurrence of accidents in real environment is explored by many companies and laboratories. Most of the sensors under investigation utilize the FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) waveforms.

The automotive environment presents to the FMCW radar sensor a multitude of moving and fixed targets and the sensor must detect and track only the targets which may pose a threat of collision or passengers accident. The sensor must function accurately in the presence of background echoes generated by moving and fixed targets, ground reflections, atmospheric noises, including rains, fog, and, snow and noise generated within the receiver.

False detection of the desired target in this environment may issue false alarms. That may be dangerous to the passenger and the vehicle. A high false alarm rate is totally unacceptable. The false alarm mechanism consists of noise peaks, crossing the threshold and the undesired response of the system to off lane targets which are not potentially hazardous to the radar equipped vehicle.

This paper presents an improve technique safety performance for driver-less operation using FMCW radar sensors.

1. 서론

철도에 있어서의 신호시스템은 ATS(Automatic Train Stop)의 도입과 함께 발전하기 시작하여 현재는 ATC/ATO 시스템의 채용으로 무인운전까지 가능한 단계에 이르렀다. 그러나 보다 효율적인 운영을 위하여 기존의 고정폐색이 아닌 이동폐색방식의 신호시스템이 적용될 것이며, 무인운전 방식이 열차의 기본운전방식으로 채택될 것이다. 이러한 시스템은 선행열차 또는 지상과의 연속적인 통신을 통하여 선행열차의 속도와 선행열차와의 거리 등의 정보를 수신하므로써 자기열차의 속도를 제어하여 열차운행의 안전성을 확보한다. 그러나 EMI/EMC 등의 영향에 의해 잘못된 정보를 수신 받거나, 시스템의 오류로 인하여 정확한 통신이 이루어지지 않은 경우 등에서는 무인운전을 적용하였을 때 대처하기가 어려울 것이다. 위와 같은 문제점 등을 해결하기 위하여 본 연구에서와 같은 부가적인 안전성 확보시스템이 요구된다.

일반적으로 열차는 철도라는 제한적인 조건상에서 운행되므로 하나의 선로에 대해서만 고려하고, 가장 근접해 있는 선행열차에 대해서만 고려하면 열차운행의 안전을 확보하기에 충분하다

* 한국철도기술연구원, 정회원

열차의 운행효율을 높이기 위해 통신에 의한 이동패색의 신호시스템을 적용하고, 무인운전을 실시할 경우 열차운행의 안전성을 확보하기 위한 부가적인 시스템으로 본 연구에서 제시하는 시스템은 매우 높은 효용가치를 가질 것이다.

이러한 안전성 확보 시스템은 크게 선행열차의 정보 검출을 위한 센서장치, 센서로부터 열차의 동력학적 거동 상태 등을 입력받아 신호처리를 담당하는 Car On-Board 컴퓨터, 이러한 센서장치와 신호처리부, 그리고 TCMS, ATO 등의 열차제어시스템 등과의 정보 교환을 위한 인터페이스 등의 세 부분으로 구분되어진다.

2. 안전성 확보 시스템의 센서장치

본 연구에서 제시하고 사용하는 센서들은 요구되는 센서의 조건인 온도, 습도, 먼지 등의 기후 조건에 영향을 적게 받아야 하며 낮뿐만 아니라 밤에도 사용 가능하여야 하고 충분한 측정 거리가 확보되어야 하며 거리와 상대속도를 측정할 수 있어야 하며 거리와 상대 속도의 측정 정확도와 민감도가 높아야 한다. 대표적인 몇 가지 센서들에 대해 여러 가지 조건에서 비교한 것을 표 1에서 보여주고 있다.

표 1. 각종 센서의 성능 비교[3]

	Ultra-sonic	Laser Radar	MM-wave	CCD-camera
Long Range Capability	Poor	Good	Good	Good
Target Discrimination Capability	Poor	Fair	Good	Good
Minimizing False Alarms	Poor	Fair	Good	Fair
Temperature Stability	Poor	Good	Good	Good
Darkness Penetration	Good	Good	Good	Poor
Adverse Weather Penetration	Poor	Poor	Good	Poor
Dirt / moisture Performance	Fair	Poor	Good	Poor

표 1에서 보여지듯이 선행열차의 상대속도와 거리를 측정하기 위한 센서장치로 가장 적합한 것은 MM-wave Radar이며 차량의 전방을 관측하기 위한 MM-wave Radar는 일반적으로 보다 먼 거리 측정을 위한 pulse 파형과 비교적 짧은 거리의 측정에 편리한 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 파형의 크게 두 가지 형태로 구분되어진다. FMCW 파형은 변조 파형을 만들기가 쉽고 높은 평균 전력을 송출할 수 있으며 대역폭을 크게 가질 수 있다. 또한 선행 차량들의 많고 적음에 관계없이 거리와 상대 속도를 비교적 높은 정확도를 가지고 측정할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 장점들을 지니고 있는 FMCW 파형을 가지는 MM-wave Radar를 사용하여 시스템을 구축하며 이러한 시스템의 구성을 그림 1에서 자세히 보여주고 있다.

본 연구에서는 FMCW 레이다 센서를 이용하여 저가격으로 시스템을 구현할 수 있도록 하며 간단한 구조를 이루기 위해서 Homodyne 레이다 방식을 채택하고 있다. Low phase noise LO source를 가지는 Super Heterodyne 방식 등의 구조는 FM-AM 변환 잡음 등의 감소로 시스템의 성능을 보다 향상시킬 수 있으나 Homodyne 레이다 방식과 비교하여 보다 복잡하고 높은 가격이 요구되므로 Homodyne FMCW 레이다 센서를 사용한다. 그림 1의 좌측 상반부에서 자세히 보여주고 있다.

그림 1에서 보여주고 있는 FMCW 레이다 센서는 VCO, Isolator, Coupler, Mixer, Antenna 등의 소자들로 구성되어진다. FMCW 레이다 센서는 FM 변조시킨 신호를 VCO에서 내보내고 이러한 신호를 Isolator를 통과시켜 출력단의 신호가 VCO에 영향을 미치지 않게 하여 Coupler에서 송신 Antenna와 Mixer로 분리하여 내보낸다. 선행 차량들로부터 반사되어 돌아오는 신호와 송신된 신호와의 차가 Mixer에서 beat 주파수로 나오면 필터링을 거쳐 A/D 변환되어 신호 처리 과정으로 입력된다.

FMCW 레이다 센서에서는 다양한 파형이 이용되고 있으며 그러한 파형들에 대한 설명은 아래와 같으며 그림 2에서 자세히 보여주고 있다.

- ① 톱니파 주파수 변조 파형 : 이러한 주파수 변조 파형은 거리의 차에 의한 주파수 성분과 상대 속도에 의한 Doppler 주파수 성분의 혼합된 주파수가 한 성분에서 나타나게 되므로 선행 차량들의 거리 및 상대 속도 정보를 측정하기가 불가능하며 따라서 흔히 선행 차량들의 거리 정보만을 얻기 위해 사용되어진다.
- ② 삼각파 주파수 변조 파형 : 톱니파 주파수 변조 파형과는 달리 Sweep-up frequency($f_{up} = f_d - dF$)와 Sweep-down frequency($f_{dw} = f_d + dF$)의 두 주파수 성분을 지니므로 하나의 선행 차량에 대해서는 거리의 차에 의한 주파수 성분 dF 와 상대 속도에 의한 Doppler 주파수 성분 f_d 를 얻어낼 수가 있다. 그러나 차량 충돌 정보 시스템에서의 경우처럼 감지해야 되는 대상 차량이 여러 대 존재하는 경우에 있어서 이러한 주파수 변조 파형은 두 성분에서 다수의 주파수 성분이 검출되어 거리의 차에 의한 주파수 성분 dF 와 상대 속도에 의한 Doppler 주파수 성분 f_d 를 연산하기가 불가능하게된다.
- ③ 세 성분을 가지는 주파수 변조 파형 : 삼각파 주파수 변조 파형의 단점인 선행 차량이 여러 대 존재할 경우의 측정을 보완하기 위하여 사용되어지는 파형이 본 연구에서 사용하고자 하는 세 성분을 가지는 주파수 변조 파형이다. 삼각파 주파수 변조 파형에 Doppler frequency($f_{dp} = f_d$)의 한 성분을 더 가지고 있어 선행 차량이 여러 대 존재할 경우에도 각각의 선행 차량들에 대해 거리의 차에 의한 주파수 성분 dF 와 상대 속도에 의한 Doppler 주파수 성분 f_d 를 연산할 수가 있다.

위와 같은 FMCW 파형들보다 발전된 형태의 FMSW(Frequency Modulated Step Wave) 파형은 디지털로 변조 파형을 발생시킬 수 있으며 온도에 의해 발생하는 VCO의 위상 잡음을 줄일 수 있다는 장점을 지니고 있다. 다만 이러한 파형을 만들기 위해서는 그림 1의 좌측 상반부에서 보여주고 있는 FMCW 레이다 센서에 디지털을 이용한 변조 파형 발생 장치가 부가적으로 필요하다는 단점을 지니고 있다. 이러한 FMSW 파형의 형태를 그림 1의 (d)에서 보여주고 있다[2] [9] [10].

본 연구에서의 FMCW 파형은 그림 2의 (c)에서 보여주고 있으며 각각의 성분은 다음과 같다.

- 시간 T_1 까지 : Sweep-up frequency ($f_{up} = f_d - dF$)
- 시간 T_1 에서 T_2 까지 : Sweep-down frequency ($f_{dw} = f_d + dF$)
- 시간 T_2 에서 T_3 까지 : Doppler frequency ($f_{dp} = f_d$)

FMCW 레이다 센서를 이용하는 차량 충돌 정보 시스템에서 이러한 파형의 디자인은 신호 처리 과정에서도 설명이 되겠지만 시간 $T_1, T_2, T_3, T_t (=T_1+T_2+T_3)$ 등의 설정이 거리와 상대 속도의 분해능과 연관되어 시스템의 효율적인 구현에 중요한 요소가 된다.

3. 안전성 확보 시스템의 신호처리

이동폐색방식의 신호시스템과 무인운전방식을 적용하여 열차운행을 할 경우 보다 높은 안전성을 확보하기 위하여 안전성 확보 시스템의 필요가 요구될 것이다. 이러한 시스템은 아래와 같은 신호처리 과정을 거쳐 열차의 TCMS 또는 ATO 장치와 필요한 정보를 송수신 할 것이며 그 과정을 그림 3에서 보여주고 있다.

- ① FMCW 레이다 센서로부터 거리의 차와 상대 속도에 의한 주파수 성분들을 검출하여 선행열차의 거리 및 상대 속도를 연산하는 레이다 신호 처리 과정.
- ② 오류 정보를 발생시킬 수 있는 ghost target의 발생을 줄이기 위하여 n번의 측정을 통한 선행열차의 거리 및 상대 속도 정보를 이용하여 실제 정보를 추출하는 판별 알고리즘.
- ③ 측정된 실제 선행열차의 거리 및 상대 속도 정보와 자기열차의 속도 등 열차의 동력학적 거동 상태 등의 정보들을 종합적으로 판단하여 TCMS 또는 ATO 장치와 인터페이스하는 의사 결정 과정.

열차의 전방을 관측하기 위한 센서로 사용되는 FMCW 레이다 센서로부터 선행열차의 거리와 상대 속도에 대한 정보를 가지는 수신 신호를 A/D 변환시켜 획득한 후에 Fourier transform을 통

하여 선행열차의 거리와 상대 속도에 대한 정보로서의 주파수 성분을 추출해 내야한다. 이러한 과정은 필수적으로 실시간 처리로 선행열차의 정보 추출을 위한 레이다 신호처리과정이 이루어져야 한다. 선행열차의 거리와 상대 속도에 대한 측정 오차를 줄이고 분해능을 높이기 위해서는 FFT의 Data points를 크게 설정하여야 하지만 열차의 주행 속도와 프로세서의 처리 속도를 고려하여 조정할 필요가 있다. 그리고 오류 경보를 줄이고 FMCW 레이다 센서로부터 입력되어지는 선행열차 및 주변 환경의 많은 정보들로부터 프로세서에 의해 고려되어질 정보의 감소를 위하여 최소한의 임계값을 정하고 임계값 이상의 선행열차만을 추적하고 판별한다.

파라미터 값 설정

FMCW 레이다 센서를 이용한 시스템에서 선행열차의 거리 및 속도 정보를 검출할 때 신호 검출을 위한 파라미터 값들을 설정하여야한다. 이러한 파라미터 값들은 레이다 센서의 구성과 관련된 파라미터, 즉 전달파워, 중심 주파수, 주파수 대역폭, Sweep 시간 등의 파라미터와 신호처리과정과 관련되는 파라미터, 즉 샘플링 주파수, FFT points 수와 최대, 최소 측정 거리 및 측정 속도, 주파수 및 거리, 속도 분해능 등이 있다. 이러한 파라미터 값들은 상호간에 대립되는 값들이 있으며 앞에서 언급한 신호처리과정의 조건을 만족하도록 설정하여야 한다.

실시간 처리를 수행하기 위해서는 연산 시간의 단축을 위해 보다 효과적인 Fourier transform을 사용하거나 효율적인 프로그램을 구현하면서 프로세서의 데이터 처리 양을 줄여야 한다.

신호 처리 과정의 시뮬레이션을 위하여 설정한 기본 값들은 다음과 같다.

- 최소 측정 거리 : 2m
- 최대 측정 거리 : 200m
- 거리 분해능 : 1.5m
- 중심 주파수 : 76GHz
- Sweep time : 10ms
- FFT points : 2048 points
- 최소 측정 속도 : 2km/h
- 최대 측정 속도 : 200km/h
- 속도 분해능 : 2km/h
- 주파수 대역폭 : 100MHz
- 샘플링 주파수 : 500kHz

선행열차의 거리 및 속도 검출

FMCW 레이다 센서로부터 신호처리과정으로 입력되는 주파수들은 f_{up} , f_{dw} , f_{dp} 등이며 그림 4 에서 보여지듯이 Sweep 시간 T_1 부분을 A, B, C 의 세 부분으로 구분 지을 수 있으며, A, B 부분에서는 실제 측정하려는 선행 차량들에 의한 주파수가 아닌 상이한 주파수가 입력될 수가 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서 T_1 부분의 A, C 부분을 제거하고 B 부분, 즉 관측시간 T_w 동안의 데이터만으로 신호처리과정을 수행한다.

선행열차의 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 결정지어지며 측정 거리의 분해능은 식 (3)에 의해 결정되어진다[1] [7] [9] [10].

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

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

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

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

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

선행열차의 측정 거리를 위한 거리 분해능은 주파수 분해능에 관계없이 식 (3)에 의해서 앞 부분의 파라미터 값에서 설정된 주파수 대역폭에 의해 샘플링 주파수나 FFT points에 관계없이 1.5m의 일정한 값을 가진다. 이와는 다르게 선행 차량들의 측정 속도를 위한 속도 분해능은 주파수 대역폭에 관계없이 주파수 분해능에 의해서 결정된다. 다시 말해서 샘플링 주파수에 비례하고 FFT points 수에 반비례한다.

실제 운행상황에서 FMCW 레이더 센서는 선행열차를 포함한 상당히 많은 수의 고정 시설물들을 감지하게 될 것이며 정확한 정보를 얻기 위해서는 이러한 목표물들을 효과적으로 구분할 수 있어야 한다. 앞의 파라미터 값에서 설정한 거리 분해능 1.5m는 주파수 대역폭에 의해서 정해진 값으로서 분해능을 향상시키기 위해서는 주파수 대역폭을 늘려야한다. 대략적으로 2048 points FFT를 수행할 때 속도 분해능이 시스템에서 요구하는 2km/h 이내의 충분한 분해능을 지닌다.

FMCW 레이더 센서를 이용한 선행열차의 상대 속도와 거리의 측정은 식 (5)와 (6)에 의해서 연산되며 선행열차의 상대 속도와 자기열차의 속도를 연산하여 선행열차의 절대속도 값을 얻을 수 있게 된다[9] [10].

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

$$V_r = \frac{c \cdot f_d}{2 \cdot f_c} \text{ ----- (6)}$$

$$V_1 = V_r + V_2 \text{ ----- (7)}$$

여기에서, R : 선행열차와의 거리, V_r : 선행열차의 상대속도, f_d : 도플러 주파수,
 dF : 거리 차에 의한 주파수, V_1 : 선행열차의 절대속도, V_2 : 자기열차의 속도

4. 시뮬레이션 및 결과

FMCW 레이더 센서를 이용한 시스템에서의 신호처리과정에 대해 본 연구에서 연구한 알고리즘들의 성능평가를 위해 다음과 같이 두 가지의 시뮬레이션 방법을 이용하였다.

시뮬레이션 1

신호처리과정의 성능평가를 수행하기 위하여 자기열차 속도가 80km/h, 100km/h 라고 가정하고 매 주기를 0.2s, 총 시간은 10s로 하여 50 주기에 대한 가상의 데이터를 작성한 후에 이러한 데이터를 C++ 을 이용하여 구현된 알고리즘을 사용해 신호처리과정을 수행하였다. 또한 가상의 데이터에 진폭이 같은 크기의 FM-AM 변환 잡음을 추가시켜 신호 처리 과정을 시뮬레이션 하였다. 선행열차의 거리 및 속도 정보를 나타내는 주파수 성분들을 감지할 때 이러한 성분들의 값은 보통 수 kHz 이하에 존재하게 되며 FM-AM 변환 잡음 역시 찾고자 하는 주파수 성분들과 같은 대역에서 존재하게 되어 신호의 검출에 대한 감도를 저하시킨다. 일반적으로 본 연구와 같은 비교적 간단한 구조인 Homodyne FMCW 레이더 센서를 사용하는 경우에 FM-AM 변환 잡음이 가장 큰 잡음원이며 그 다음으로 영향을 미치는 잡음은 mixing 중에 발생하는 1/f 잡음과 Thermal 잡음이라고 할 수 있다. 이러한 Homodyne FMCW 레이더 센서에서 FM-AM 변환 잡음은 Thermal 잡음이나 mixing 중에 발생하는 1/f 잡음보다 dominant한 잡음 성분이므로 본 연구에서의 시뮬레이션 과정에서는 FM-AM 변환 잡음에 대해서만 고려하기로 하였다. 이러한 잡음 성분중에는 FM-AM 변환 잡음의 고조파 성분도 존재하게 되므로 50%의 제 2 고조파 성분과 30%의 제 3 고조파 성분을 포함시키기로 한다. 따라서 예상되는 FM-AM 변환 잡음은 본 연구에서 사용하는 FMCW 파형의 주기 T_i 가 30ms이므로 대략 33.33Hz의 주파수 성분과 66.66Hz의 제 2 고조파 성분, 대략 100Hz의 제 3 고조파 성분 등을 가지는 잡음이 될 것이다[13].

이러한 FM-AM 변환 잡음과 제 2 고조파 성분, 제 3 고조파 성분을 포함하는 잡음 등을 이용하여 만들어지는 가상의 데이터는 다음과 같다.

자기열차 속도 : 80km/h

- (1) 초기 속도 90km/h, 초기 열차간 거리 20m에서 10s 후에 100km/h로 속도 증가.
- (2) 위 (1)에 신호와 진폭이 같은 크기의 FM-AM 변환 잡음 첨가.

자기열차 속도 : 100km/h

- (1) 초기 속도 100km/h, 초기 열차간 거리 50m에서 10s 후에 90km/h로 속도 감소.
- (2) 위 (3)에 신호와 진폭이 같은 크기의 FM-AM 변환 잡음 첨가.

시뮬레이션 2

HP 33120A function generator에서 시뮬레이션을 위한 가상의 레이다 신호를 만든 후에 Data acquisition board를 통하여 IBM-PC로 입력받아 신호 처리 과정을 수행하고 정확도의 비교와 아울러 missing과 ghost target의 발생에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 가상의 데이터는 위의 데이터와 똑같은 데이터를 만들어 수행하였다.

결과

시뮬레이션 1의 결과에 따른 평균 거리 오차 및 속도의 오차와 함께 missing이나 ghost target의 발생 수를 표 2 에서 보여주고 있다. 여기에서 missing이란 실제로 선행열차가 존재함에도 불구하고 감지를 못하는 경우를 의미하며 선행열차에 대한 측정 거리 및 속도의 오차는 실효치 값으로 연산하였다.

표 2 시뮬레이션 1의 결과

	평균 거리 오차(m)	평균 속도 오차(km/h)	Missing	Ghost target
Data 1	0.2436	0.2436	0	0
Data 2	0.2499	0.2483	0	3(6.25%)

DAQ 보드를 이용한 HILS 개념의 시뮬레이션 2의 결과에 의한 평균 거리 오차 및 속도의 오차와 함께 missing이나 ghost target의 발생 수를 표 3 에서 보여주고 있다.

표 3 시뮬레이션 2의 결과

	평균 거리 오차(m)	평균 속도 오차(km/h)	Missing	Ghost target
Data 1	0.1962	0.2037	0	0
Data 2	0.1981	0.2042	0	0

5. 결론

위의 시뮬레이션을 통하여 이동폐색방식에 의한 신호시스템과 무인운전방식의 열차운행의 안전성을 증대시키기 위하여 본 연구에서 제안한 FMCW 레이다 센서를 이용한 선행열차의 속도와 선행열차와의 거리를 측정하는 것을 모의하였다. 오차는 거의 무시할 수 있을 정도로 작았으며, missing은 전혀 발생하지 않았고 FM-AM 변환잡음을 부가시켰을 때 표 2 에서 보여지듯이 ghost target의 발생이 약간 있었다. 이러한 부분의 해결점으로는 노선의 운행패턴에 대한 레이다 신호를 데이터베이스화하여 실시간적으로 비교하여 실제 정보만을 추출할 수도 있을 것이며, FMCW 파형이 아닌 FMSW 파형을 사용하므로써 ghost target을 없앨 수 있을 것이라 생각된다. 이러한 정보들을 열차제어시스템인 TCMS와 ATO 장치 등과 송수신하므로써 이동폐색방식에 의한 신호시스템과 무인운전방식의 열차운행시 보다 안전한 열차운행을 구현할 수 있을 것이다.

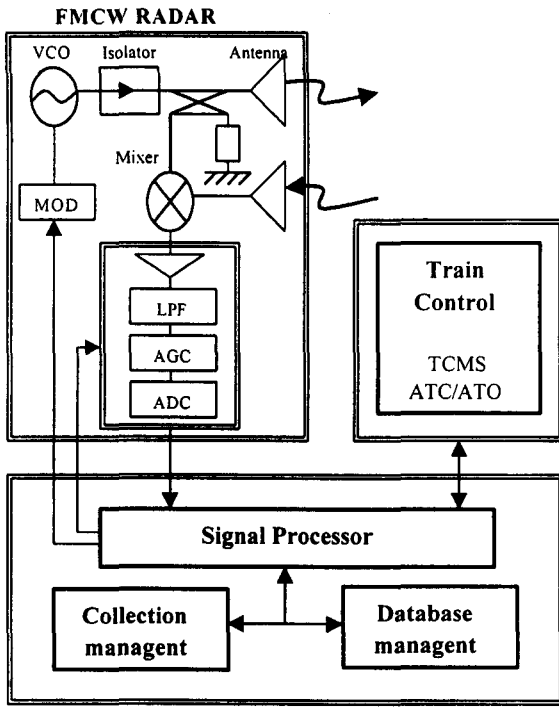


그림 1. 안전성 확보 시스템의 구성도

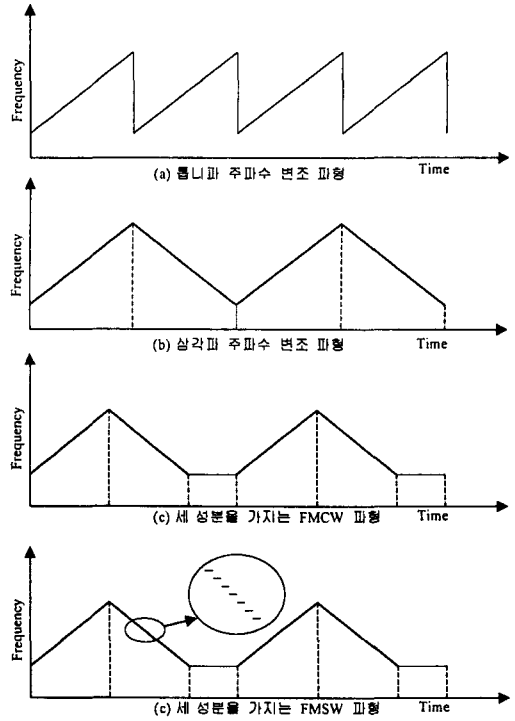


그림 2. 일반적인 FMCW 및 FMSW 파형

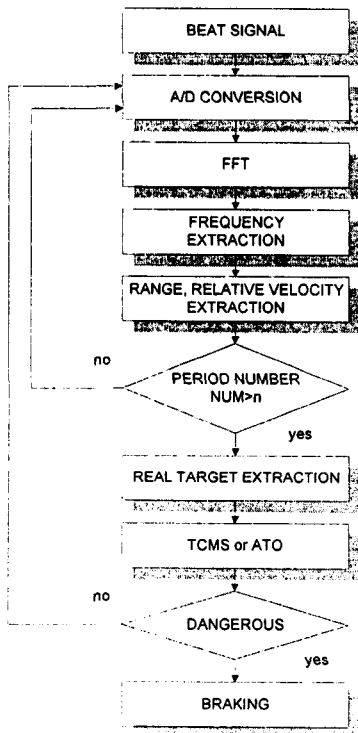


그림 3. 신호처리과정의 흐름도

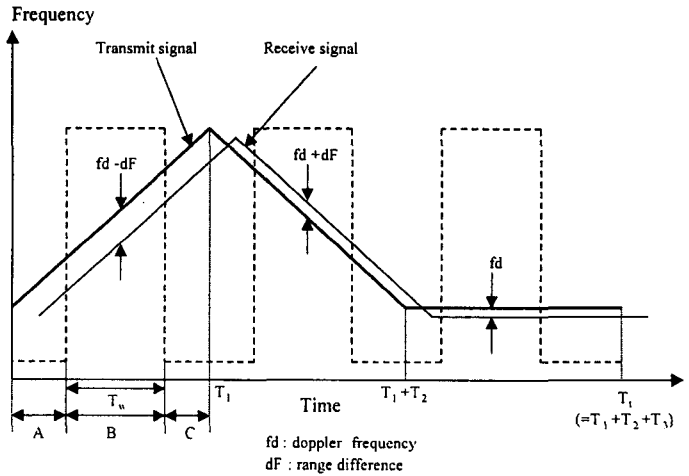


그림 4. 송수신 FMCW 파형

참고문헌

- [1] A. Charles, M.Charbit, J. Prado, A. Servel, M. Attia, "Frequency modulated continuous wave radar signal processing to improve active safety features," in IMechE, 1994, pp.81-86.
- [2] H. Rohling, E. lissel, "77GHz Radar Sensor for Car Application," in IEEE International Radar Conference, 1995, pp. 373-379.
- [3] J. D. Woll, "VORAD Collision Warning Radar," in IEEE International Radar Conference, 1995, pp. 369-372.
- [4] W. Ulke, R. Adomat, K. Butscher, W. Lauer, "Radar detection of traffic obstacles," in Automotive Engineering, September 1994, pp.23-27.
- [5] L. H. Eriksson, B. Olof, "A High Performance Automotive Radar for Automotive AICC," in IEEE International Radar Conference, 1995, pp.380-385.
- [6] T. Tamama, A. Iwabe, K. Ban, M. Tsudo, S. Mitsui, K. Baba, M. Kiyoto, H. Endo, N. Fujiki, "Radar Sensor for Automotive Collision Preview," in IEEE, 1978, pp. 168-170.
- [7] U. Ozguner, S. Drakunov, J. Young, L. Henderson, "Combined Longitudinal and Lateral Controller Design for a Vehicle with Radar Sensors," in SAE, 1995, pp. 51-57.
- [8] K. W. Chang, H. Wang, G.Shreve, J. G. Harrison, M. Core, A. Paxton, M. Yu, C. H. Chen, G. S. Dow, "Forward-Looking Automotive Radar Using a W-band Single-Chip Transceiver," in IEEE Trans. MTT. vol. 43, no. 7, July 1995, pp. 1659-1668.
- [9] M. I. Skolnik, Radar Handbook McGraw-Hill, Second Edition.
- [10] B. Edde, Radar Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 1993.
- [11] W. J. David, "FMCW Sensors for Longitudinal Control of Vehicles," in SAE Trans. ITS. 1995, pp. 87-96.
- [12] T. Watanabe, N. Kishimoto, K. Yamada, N. Maede, "Development of an Intelligent Cruise Control System," in SAE ITS, Proceedings, November 9-11, 1995 Yokohama, pp. 1229-1235.
- [13] T. Saito, N. Okubo, Y. Kawasaki, O. Isaji, H. Suzuki, "An FMCW Radar Module with Front-end Switching Heterodyne Receiver," in IEEE MTT-s Digest 1992, pp. 713-716.