

논문 2008-03-22

이동 객체용 능동 안전시스템 및 UWB 레이더 기술 분석

(Analysis of Active Safety System and
UWB Radar Technology for Vehicle)

김 상 동, 이 종 훈*

(Sang-Dong Kim, Jong-Hun Lee)

Abstract : This paper presents the technology trend of various active safety systems for vehicle. The safety system is applied to various industry fields and is expected to be spread all over the market. So far, good examples of the developed active safety systems are ACC(Adaptive Cruise Control), CMS(Collision Mitigation Systems) and APSS(Active Pedestrian Safety Systems). And, a basic operation principle, system model and detection performance in a UWB radar for vehicle is investigated.

Keywords : 이동 객체, 능동 안전 시스템, 레이더, ACC

1. 서론

최근에 안전한 운전자 환경을 제공하는 지능형 안전 시스템이 강력하게 요구되고 있다. EU (European Union)에서는 2010년까지 교통사고 중 사상자 수를 현재의 절반 수준인 25,000명 이하를 목표로 설정하고, 'eSafety community'를 조직하여 능동 안전 시스템의 개발 및 설치를 주도하고 있으며 미국 정부는 2008년까지 1.5억만 운행 마일 당 1명의 사망자 수로 목표를 설정하여, NHTSA(National Highway Traffic Safety Authority)에서 정부 차원의 안전 기술 표준을 주도하고 있다. 또한, 일본의 경우 대부분의 교통사고 발생 원인이 정면 또는 후방 충돌 그리고 이륜차, 자전거 및 보행자와 관련된 사고가 특징이며, 이를 능동적으로 대처하기 위한 능동 안전 시스템 개발에 주력하고 있다[1].

전 세계 자동차용 센서 시장 규모는 2006년

* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008.05.06., 채택확정 : 2008. 09. 26.

김상동, 이종훈* :대구경북과학기술연구원

※ 본 논문은 2008년도 교육과학기술부/기관고유 과제의 일환으로 연구되었음.

106억 달러 규모이며, 2010년까지 연평균 6.1%의 성장률로 142억 달러 시장 규모로 전망되고 있다 [2].

이동객체용 능동 안전 시스템 시장은 향후 가장 큰 성장이 예상되는 분야로서 각종 규제에 따른 안전관련 시스템의 채택여부가 시장에 가장 큰 변수로 작용할 전망이다.

능동 안전 시스템의 핵심 모듈인 레이더 센서, 이미지 센서, 적외선 센서의 시장은 현재 일부 고급 차종에 한정되어 시장이 형성되고 있으나, 향후 카메라 폰 시장처럼 기존에 상상하지 못했던 큰 시장을 형성할 수도 있을 전망이다[3].

레이더 센서 시스템에 의한 미래 능동형 안전 시스템 부품 시장은 대략 17%의 성장을 예상하며, 차량 충돌 방지용 레이더 센서 시스템 시장은 2010년 200억달러, 2013년 300억달러, 2015년 475억달러로 예상되며, 5% 시장 점유시 2015년 대략 24억 달러의 수입대체 및 수출이 예상된다[4].

따라서, 본 논문에서는 향후 다양한 응용 분야에 널리 활용될 수 있고, 시장 및 기술 파급성이 클 것으로 예측되는 이동 객체용 능동 안전 시스템 기술에 대해서 살펴 보고 안전 시스템의 핵심 모듈중에 하나인 UWB 레이더에 대해서 분석하고자 한다. 본 논문의 구성을 살펴 보면 2장에서는 이동 객체용 능동 안전 시스템 기술에 대해서 살펴보고 3장에서

는 이동용 객체 검출 UWB 레이더 기술에 대해서 살펴 볼 것이다. 마지막으로 4장에서 간단히 결론을 맺는다.

II. 이동 객체용 능동 안전 시스템 기술

이동 객체용 능동 안전 시스템은 사고 회피에 대해서 운전자에게 도움을 주거나, 경보를 실행하는 것을 의미한다. 능동 안전 시스템은 적외선(IR), 라이다(LIDAR), 레이더와 카메라와 같은 센서를 사용하여 획득된 정보를 처리하는 방법을 적용한다. 지금까지 연구되고 있는 능동 안전 시스템 기술은 능동자율주행제어시스템(ACC), 충돌경감시스템(CMS), 그리고 능동보행자안전시스템(APSS)로 크게 구분할 수 있다.

1. 능동자율주행제어시스템(ACC)

능동자율주행제어시스템은 레이더 혹은 라이다를 통해서 획득한 정보를 사용하여 제어하는 시스템이다. 이 시스템은 차량과 앞 차량 사이의 일정 거리를 유지하기 위해서 차량의 속도를 제어하거나 유지시킨다. 레이더 혹은 라이다에서 신호를 발생시켜 앞 차량에서 반사 신호를 검출하여 차간 거리를 인식하고 자동으로 가속 페달 또는 브레이크를 조작하여 거리를 유지한다. 최근까지의 능동자율주행제어시스템 개발은 저속 운전인 경우에 ‘Follow-to-stop’ 기능을 제어하는 수준으로 되어 있다. ‘Follow-to-stop’ 기능은 앞 차량이 멈추게 되면 능동자율주행제어시스템이 장착된 차량이 실제로 멈추게 되는 것을 의미한다. 그리고 앞 차량이 멈춘 후 움직임이 발생한 경우에 능동자율주행제어시스템이 장착된 차량 역시 움직이게 되는 기능을 갖는 ‘stop-go’ 기능이 향후 능동자율주행제어시스템에 장착될 것으로 보고 있다. 현재는 고비용과 운전자들의 인식 부족으로 인해 능동자율주행제어시스템은 고급 차량 모델에만 적용되어 있다.

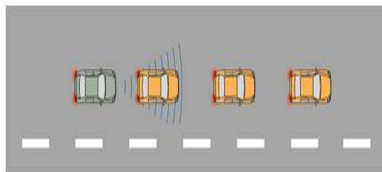


그림 1, 능동자율주행제어시스템 활용 예
Fig. 1. Examples for ACC

그러나, 향후 교통 체증가운데 저속 운전 사고를 방지하는 운전자들의 필요가 늘어날 것으로 기대된다. 현재 능동자율주행제어시스템 공급자로는 ADVICS, Bosch, Continental, Delphi, Denso, Siemens VDO 그리고 TRW 등이 있다. 그림 1은 능동자율주행제어시스템의 활용 예시를 보여주고 있다.

2. 충돌경감시스템(CMS)

충돌경감시스템은 레이더 혹은 라이다를 사용하여 긴급한 충돌사고를 인식하기 위한 시스템이다. 예를 들면 충돌경감시스템은 충돌 사고를 피하기 위해서 차량의 브레이크를 활성화시킬 수 있을 뿐만 아니라, 안전 벨트를 조이거나, 창문을 닫고, 에어백을 활성화 시키는 행위를 통해서 사고의 위험에서 운전자를 벗어나게 해준다. 충돌경감시스템은 Lexus에 처음으로 상용화 되었고, Mercedes-Benz는 충돌경감시스템의 초기 장치인 충돌 경보 시스템을 장착하고 있다. 그림 2는 충돌경감시스템의 활용 예시를 보여주고 있다.

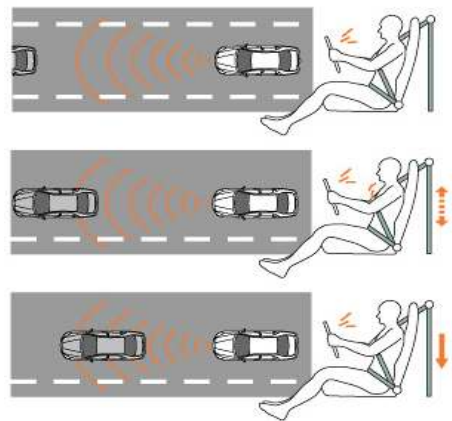


그림 2, 충돌경감시스템 활용 예 [5]
Fig. 2. An example for CMS

3. 능동보행자안전시스템(APSS)

능동보행자안전시스템은 적외선, 라이다, 레이더 그리고 카메라 기반의 센서를 이용한 배열식의 능동보행자안전시스템을 활용하여 충돌을 피하거나 최소화하고 혹은 경보를 주는 시스템이다. 2005년 10월 이후로 유럽에서는 첫 단계로 보행자 보호 시스템에 대한 법 규제를 만들었고, 2010년에는 능동 안전 시스템에 대한 법 규제가 만들어 질 예정이다.

능동 보행자 안전 시스템은 Autoliv, Siemens 그리고 TRW automotive에서 개발되었고, Honda와 Mercedes-Benz 모델에 장착되었다.

III. 이동 객체 검출용 UWB 레이더 기술

1. 기존 UWB 레이더 원리

본 절에서는 차량용 UWB 레이더의 거리 측정 원리, 속도, 거리 분해능에 대해서 살펴보고자 한다. 차량용 레이더에서 목표물까지의 거리는 송신 펄스 신호와 수신 펄스 신호의 상대적인 시간 지연에 의해서 얻을 수 있다. 레이더에서 목표물까지의 거리 R 은 송신신호와 수신신호의 시간 차 Δt 를 측정함으로써 얻을 수 있다.

$$R = \frac{C \Delta t}{2} \quad (1)$$

여기서, C 는 전파의 진행 속도이다.

그리고, 거리 해상도(Range Resolution) ΔR 은 펄스 폭 τ 에 의해서 결정되며, $\Delta R = c\tau/2$ 가 된다. 차량용 레이더로 측정할 수 있는 최대 거리를 의미하는 unambiguous range R_u 는 펄스 반복 주파수(Pulse Repetition Frequency, fr)에 의해서 결정되며 식 2와 같이 표현된다.

$$R_u = \frac{C}{2fr} \quad (2)$$

차량용 레이더를 이용하여 목표물의 상대적인 속도, 움직이는 목표물과 정지된 목표물을 구별할 수 있다. 목표물의 상대적인 속도는 도플러 효과에 의해서 발생하는 식 3과 같은 도플러 주파수 fd (Doppler Frequency)에 의해서 측정할 수 있다.

$$fd = f'_0 - f_0 = \frac{2v}{\lambda} \quad (3)$$

여기서, f'_0 , f_0 , v , λ 는 각각 수신신호의 캐리어 주파수, 송신신호의 캐리어 주파수, 레이더와 목표물간의 상대적인 속도 그리고 레이더의 파장을 나타낸다.

다음으로, 차량용 레이더의 중요한 파라미터중의 하나인 링크 버짓(link budget)를 분석하고자 한다.

일반적으로 레이더 방정식(radar equation)을 이용하여 링크 버짓을 분석하며, 레이더 방정식은 레이더 시스템의 최대 탐지 거리(maximum detection range)를 설계하는 기본적인 틀이다. 펄스 신호와 envelope detection(energy detection)로 구성된 레이더 시스템을 사용한다면, 수신 신호전력 Pr 은 식 4[6]와 같이 표현된다.

$$Pr = \frac{PtG^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3R^4} \quad (4)$$

여기서, Pt , G , λ , σ , R 는 각각 송신 피크 전력, 안테나 이득, 파장, radar cross-section 그리고, 목표물까지의 거리를 나타낸다.

마지막으로, 차량용 레이더의 탐지확률 Pd (detection probability)와 오류확률 Pn (probability of false alarm)는 식 5와 같이 근사 공식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} SNR &= Pr/N = A + 0.012AB + 1.7B, \\ A &= \ln(0.62/Pn), \\ B &= \ln(Pd/(1 - Pd)) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, N 은 잡음 전력이며, 신호의 대역폭 B 과 잡음지수 F 에 의해서 $N = KTB/F$ 로 표현된다. 차량용 레이더 시스템에서 주어진 SNR에 대해서 다양한 Pn 과 Pd 의 조합으로 구성될 수 있으나, 일반적으로 응용분야별 수신기의 envelope detection의 문턱값(threshold level)로 Pn 을 사용한다.

2. UWB 레이더 시스템 모델

2.1 개요

차량용 레이더 시스템은 사각지대에 위치한 물체의 탐지를 위해서 사용된다. 자동 주차, pre-crash detection, stop-and-go, 그리고 short-range cruise control과 같이 사각지대에 있는 물체를 탐지하여 더 높은 수준의 운전을 지원할 수 있다. 이를 위해 레이더 시스템은 낮은 전력 소모, 낮은 복잡도, 높은 정확도를 적은 비용으로 제작되어야 한다. 본 내용은 UWB(Ultra Wide Band) 임펄스 레이더에 대해서 논의한다. SRR(Short Range Radar) UWB는 -41.3dBm/MHz의 전력 한계를 갖고 22~29GHz의 스펙트럼을 갖는 환경을 필요로 한다. UWB는 500MHz 이상의 대역을 갖거나, relative bandwidth의 20%이상을 갖는 시스템

으로 정의한다. 본 내용에서 UWB 레이더의 탐지확률을 평가하기 위해서는 우리는 차량용 레이더 모델을 사용할 것이다.

2.2 시스템 모델[7]

본 절에서는 차량용 UWB 레이더의 성능을 분석하기 위한 시스템 모델을 제안한다. 그림. 3은 다중 사용자 모드를 지원하는 초광대역 차량용 레이더 시스템의 개략적인 송수신 구조를 나타내고 있다. UWB 레이더 송신부에서는 임펄스 신호를 곱하여 레이더 전송 신호를 생성하여, RF모듈을 통해 목표물로 초광대역 전송신호를 송신한다.

또한 목표물로부터 수신된 레이더 전송 펄스에 대응하는 레이더 반사 펄스는 RF모듈을 통해 UWB 레이더 수신부에 입력될 수 있다. UWB 레이더 수신부에 입력된 레이더 반사 펄스는 상관기를 통해 레이더 전송 펄스의 기준 신호(reference signal)와 신호처리를 함으로써, 최종적으로 초광대역 차량용 레이더 시스템이 오브젝트와의 상대 거리를 인식할 수 있게 된다.

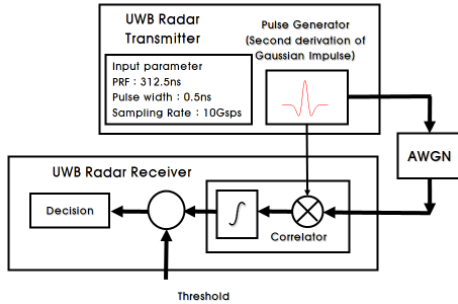


그림 3. UWB 레이더를 위한 시스템 모델
Fig. 3. The system model for UWB radar

2.3 UWB 레이더 신호 모델[8]

본 절에서는 코딩된 UWB 레이더에서 송신 신호와 상관된 수신 신호를 기술한다. UWB 신호는 식 6과 같이 표현한다.

$$w(t) = (1 - 4\pi(\frac{t}{\tau_m})^2)^{-2} e^{-2\pi(\frac{t}{\tau_m})^2} \quad (6)$$

여기서 $w(t)$ 는 Gaussian 함수의 2차 미분 신호이고, τ_m 는 0.5ns이고 그림 4는 시간 영역에서 가우시안 임펄스 신호의 2차 미분값을 표현하고 있다.

$$S_{TX}(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(t - iT_f) \quad (7)$$

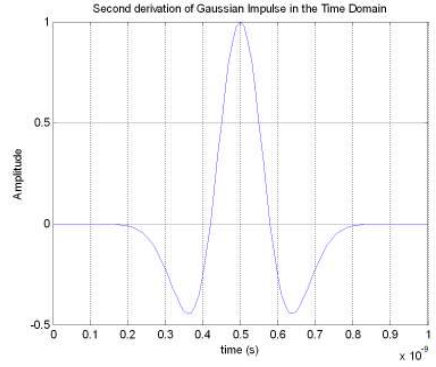


그림 4. Gaussian 임펄스의 2차 미분 신호
Fig. 4. The 2nd derivative of Gaussian impulse

여기서, $S_{TX}(t)$ 는 Gaussian 펄스의 조합으로 구성된 송신신호를 의미하며, E_p 는 전체 파워를 정규화하기 위한 인자이고, T_f 는 PRI(Pulse Repetition Interval)를 나타낸다.

AWGN 채널 모델을 지난 수신 신호는 식 8과 같이 표현된다.

$$r(t) = \sqrt{E_p} \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(t - iT_f) + n(t) \quad (8)$$

여기서, $n(t)$ 는 zero-mean AWGN(additive white Gaussian noise)을 나타내며, 분산값은 $\frac{n_0}{2}$ 로 나타낸다.

수신부에서는 식 9와 같은 수신 상관기에서 reference 신호를 나타낸다.

$$S_0(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w(t - iT_f) \quad (9)$$

$R(v)$ 는 $r(t)$ 와 $S_0(t)$ 사이의 상관기 출력값을 나타내며 이는 식 10과 같이 나타낸다.

$$R(v) = \int_{-\frac{T_f}{2}}^{\frac{T_f}{2}} r(t)s_0(t+v)dt \quad (10)$$

여기서 ν 는 수신 신호와 reference신호와의 시간 delay를 나타낸다.

3. UWB 레이더 실험 환경 및 결과

본 장에서는 UWB 레이더 실험 환경을 제시하고 RF 모듈 블록 다이어그램 및 스펙을 제시한다. 그림 5는 UWB 레이더 실험 환경을 나타낸다. 송신부는 펄스 발생기를 사용하고 이를 RF 모듈을 통해 채널을 거친 후 오실로스코프로 수신 신호를 저장한다. 펄스 발생기는 Agilent사의 81130A를 사용하였으며 최소 폭 125ps의 펄스를 발생시킬 수 있다. 수신부에서 사용한 오실로스코프는 lecroy사의 7300A 모델을 사용하였으며, 10Gs/s의 샘플을 얻을 수 있다.

RF 모듈은 그림 6의 블록 다이어그램으로 표현할 수 있다. 중심주파수는 24GHz을 갖으며, 대역폭은 1GHz이다. 자세한 내용은 표 1에 제시하였다. 송신부와 수신부의 실제 제작된 모형은 그림 7에서 제시하였다.

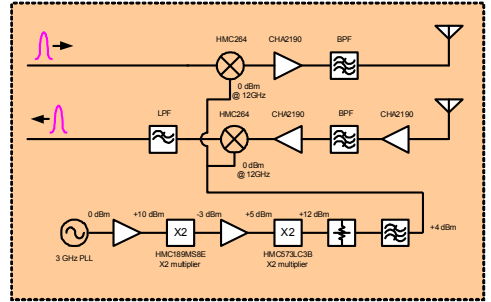


그림 6. UWB 레이더 RF 모듈 블록 다이어그램
Fig. 6. The UWB radar block diagram for RF module

표 1. UWB 레이더 RF 모듈 송수신 측정 결과
Table 1. The UWB radar measurement results for RF T/RX module

Transmitter		Receiver	
Gain	0dB	Gain	17dB
Gain	+ -2dB	Gain	+ -2dB
Flatness		Flatness	
OP1dB	0dBm	IP1dB	-25dBm
VSWR	<=2:1	VSWR	<=2:1
-	-	NF	3.5dB

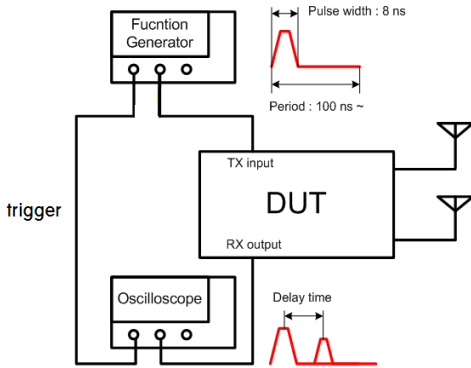


그림 5. UWB 레이더 실험 환경
Fig. 5. The experimental environment for uwb radar

채널을 케이블로 연결시킨 후 수신된 신호는 그림 8과 같다. 그림 8(a)에서는 60cm의 길이를 갖는 케이블을 지난 수신 신호를 측정하고 그림 8(b)에서는 160cm의 길이를 갖는 케이블을 지난 수신 신호를 측정한다. 그림 8의 펄스 폭은 4ns이고 펄스 당 약 40개의 샘플이 존재한다.

그림 8(a)의 지연값은 9.5ns이고 그림8(b)의 지연값은 14.3ns이다. RF 모듈의 신호 지연값을 제거하기 위해서 160cm의 케이블을 지난 지연값에서 60cm의 케이블을 지난 지연값을 뺀다. 그러면 100cm만큼의 지연값이 나오게 된다. 그리고 케이블은 전파 인자가 0.75임을 고려해야 한다. 즉, 14.3ns-9.5ns=4.8ns이므로 식 (1)을 사용하면

$$4.8ns \times 3 \times 10^8 m/s \times 0.75 = 1.08m \quad (11)$$

식 (11)의 결과가 나오게 된다. 결과적으로 100cm의 케이블을 지난 수신신호의 지연값을 계산하면 108cm의 결과가 나오게 된다.

측정된 수신 신호는 스펙트럼에서 500MHz의 대역폭을 갖으며 이는 참고문헌 [9]에서 제시된 펄스폭과 대역폭의 관계식을 만족한다.

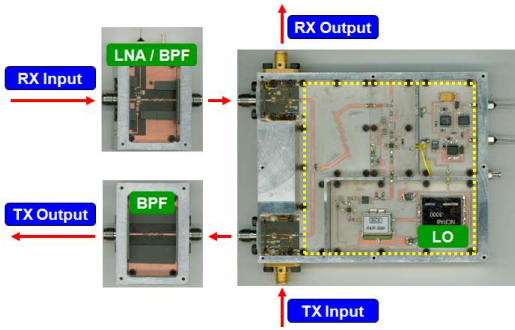


그림 7. UWB 레이더 RF 모듈 실제 사진

Fig. 7. The practical picture of UWB radarfor RF module

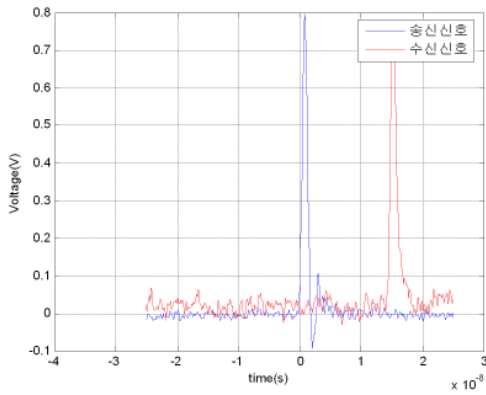


그림 8(a). 송신 신호와 60cm 케이블을 지난 UWB 레이더 수신 측정 신호

Fig 8(a). The transmitted signal and the received signal through the cable of 60cm

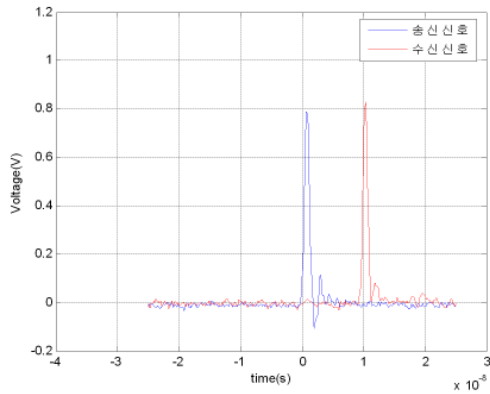


그림 8(b). 송신 신호와 160cm 케이블을 지난 UWB 레이더 수신 측정 신호

Fig 8(b). The transmitted signal and the received signal through the cable of 160cm

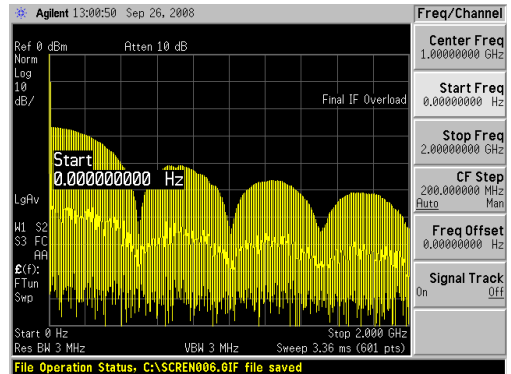


그림 9. UWB 레이더 수신 신호의 스펙트럼 결과

Fig. 9. The spectrum results of UWB radar received signal

4. UWB 레이더 성능 분석

본 절에서는 UWB 레이더 성능 분석을 하였다. 시스템 모델은 그림 3에 제시된 모델을 사용하였다. 식 11에서 제시된 탐지 확률에 대한 이론치와 시스템 모델을 통해서 실행한 monte-carlo simulation을 그림 10과 같이 수행한다[10]. 설계시 탐지 확률이 90% 이상이 되기 위해 필요한 Energy-to-noise ratio를 찾기 위해서 수행한다. 오경보 확률은 10^{-1} 부터 10^{-4} 까지 사용하였으며, 오경보확률은 10^{-1} 인 경우는 탐지 확률이 90% 이상 되기 위해서는 약 8 dB의 Energy-to-noise ratio가 필요함을 알 수 있다.

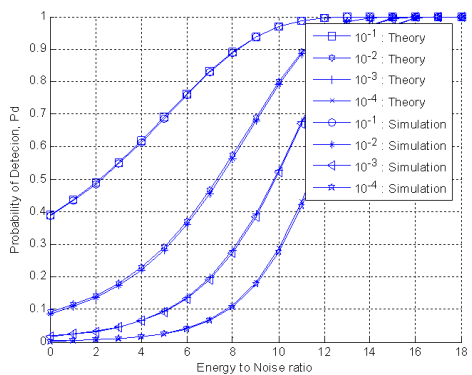


그림 10. Energy to noise ratio에 따른 탐지 확률

Fig. 10. The detection probability based on energy-to-noise ratio

수신기는 matched filter로 구성하였으며, 문턱 값(threshold)은 matched filter의 입력을 noise만 발생시키고 각 false alarm에 따라서 변화시켰다. 식 (12)는 matched filter의 이론치를 나타낸다.

$$Pd = Q(Q^{-1}(P_{FA}) - \sqrt{\chi}) \quad (12)$$

여기서, χ 은 Energy-to-noise ratio를 나타내고, P_{FA} 은 false alarm rate를 의미한다.

IV. 결 론

이동 객체용 능동 안전 시스템 기술은 산업 전 분야에 대해서 적용되고 있으며, 앞으로 시장 및 기술 파급성이 클 것으로 예측되는 기술이다. 지금까지 개발이 진행된 능동 안전 시스템 기술은 능동 자율주행제어시스템, 충돌경감시스템, 능동보행자안전 시스템 등으로 구성되어 있다. 능동 안전 시스템의 핵심 모듈인 UWB 레이더의 구성도는 기본적으로 송신부에 펄스발생기와 수신기의 상관기로 구성되어 있다. 송신 신호와 상관기에서 기준 신호는 2차 미분값의 가우시안 펄스로 발생된다. 실험환경에서 RF 모듈을 통해 수신된 신호와 스펙트럼 특성을 분석하였다. 그리고 UWB 레이더의 성능은 이론 값과 시스템 모델을 통해서 나온 시뮬레이션 값이 동일하게 나옴을 확인하였다. 향후 UWB 레이더 기술은 정밀도와 실시간을 요구하는 이동 객체에서 사용될 것이며, 신뢰도와 성능을 높이는 기술에 중점 연구 될 전망이다.

참 고 문 헌

- [1] Active Safety Systems Report, supplier Business, 2007.
- [2] McKinsey & Company, 2006.
- [3] 장선희, 이상호, 이경호, "Automotive IT 부품 기술로드맵," IT SoC Magazine, 2007.
- [4] Global Industry Analysts, Jan. 2005.
- [5] <http://world.honda.com/Tokyo2005/safety/>
- [6] B. R. Mahafza, A. Z. Elsherbeni, "Matlab simulations for radar systems design," Chapman and Hall/CRC
- [7] Sang-Dong Kim, Jong-Hun Lee, "Performnace analysis of UWB radar for vehicle in multi-user environments," The 10th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), pp.1036-1038, Korea, Feb. 2008.
- [8] 김상동, 이종훈, 정우영, "Performnace analysis of UWB radar classified multi-user for vehicle," 2007 임베디드공학 추계학술대회, pp.233-235, 11월, 2007.
- [9] M. D. Benedetto, T. Kaiser, A. F. Molisch, I. Oppermann, C. Politano, and D. Porcino, "UWB communication systmes: A comprehensive overview," Hindawi Publishing Corp., 2006.
- [10] S. M. Kay, "Fundamentals of statistical signal processing, Volume 2: detection theory," Prentice Hall, 1993.

저 자 소 개

김 상 동(Sang-Dong Kim)



2004년 2월 : 한양대학교 전자
컴퓨터공학부 학사
2006년 2월 : 한양대학교 전자
통신전파공학과 석사
2006년 2월~현재 : 대구경북과
학기술연구원 연구원

관심분야 : UWB 레이다, CFAR, detection,
mail : kimsd728@dgist.ac.kr

이 종 훈(Jong-hun Lee)



1996년 2월 : 성균관대학교
전자공학과 공학사
1998년 2월 : 성균관대학교
전기전자및컴퓨터공학과
공학석사
2002년 2월 : 성균관대학교
전기전자및컴퓨터공학과
공학박사

2002년 1월 ~ 2005년 7월 : 삼성전자 통신연구
소 책임 연구원

2005년 7월 ~ 현재 : 대구경북과학기술연구원
(DGIST) 과제책임자/선임

2007년 3월 ~현재 : 영남대학교 정보전자공학부
겸임교수

관심분야 : 레이다/비전 융합신호처리, 차량용 레이
더, lidar, V2V, V2I-통신

Email : jhlee@dgist.ac.kr