

듀얼빔을 응용한 차량용 레이저레이다 설계

이성기*, 김형무**, 유강수***, 이광재****, 곽훈성**

*(주)CAxsoft

**전북대학교 컴퓨터공학과

***전주대학교 교양학부

****한려대학교 정보통신공학과

e-mail:www2www@empal.com

Design for Automotive Dual Beam Laser Rader

Sung Ki Lee*, Hyung Moo Kim**, Kang Soo You***,

Kwang Jae Lee**** and Hoon Sung Kwak**

*CAxsoft co.,ltd.

**Dept of Computer Engineering, Chonbuk National University

***School of Liberal Arts, Jeonju University

****Dept of Information Telecommunity, Hanlyo University

요 약

본 논문에서는 기존 단극성 원 빔 레이저 방식의 단점을 개선하기 위하여 듀얼 빔을 응용한 차량용 레이저 레이더 시스템을 설계하였다. 양극성 m-시퀀스를 두 개의 레이저 파장에 할당함으로써 2차원 OOC(orthogonal optical codes)와 유사한 특성을 갖도록 하고 수신부에서 두 개의 단극성 신호를 차동구조를 이용하여 양극성 신호로 합성하는 방법을 이용, SNR 개선 방안을 제시한다. 시뮬레이션 결과, 제안한 듀얼 빔 방식이 기존의 원 빔 단극성 신호방식의 레이저 레이더 시스템에 비해 3dB의 SNR 개선이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

최근 차세대 지능형 자동차 및 ITS(intelligent transport system)를 위한 구성 요소로서 차량용 레이더 시스템이 주목되고 있다. 차량용 레이더는 1970년대 초부터 MMW(mili-meter wave) 방식 위주로 연구되어 왔으며 세계 여러 나라에서 차량용 레이더 전용의 주파수 대역을 할당해 두고 있다. MMW 방식의 레이더는 기상여건 등의 환경 변화에 비교적 덜 민감한 우수한 특성을 갖지만 MMIC(monolithic microwave IC) 및 안테나 등 구성 부품의 생산 수율이 낮은 점과 통신용 주파수 대역에 간섭을 일으킬 수 있는 문제점이 있다. 반면에 레이저 레이더(또는 Lidar; laser radar)는 환경 변화에 민감한 단점이 있지만 소형, 경량의 경제적인 시스템 구현이 가능한 장점이 있으며, 적응 순항 제어

(ACC; adaptive cruise control) 시스템을 위한 거리 센서, 후방의 장애물을 탐지하기 위한 단거리 레이더 등의 용도로 활용되고 있다^[1]. MMW 방식과 레이저 방식의 주요 특성을 표 1에 나타내었다.

한편, 소형 반도체 레이저의 성능 개선과 통신 기술의 급속한 발전과 함께 레이저 레이더의 성능 또한 상당한 개선을 이루고 있으며, 이를 위한 다양한 연구가 수행되고 있다. Yoshiyuki Narita(成田 義之) 등은 제너 다이오드에서 발생하는 잡음을 카오스(chaos) 신호로 이용하는 레이저 레이더 시스템을 소개하였으며^[2], Adam Rybaltowski 등은 레이저 레이더를 위한 효율적인 확산 부호를 제안하고 이를 "AA1" 시퀀스로 부르고 있다^[3]. AA1 시퀀스는 네 거티브 신호가 없는 광 신호의 특성을 고려하여 설계된 3진(ternary) 시퀀스의 일종으로서 비이진 시퀀

스 계열에서 나타나는 우수한 상관특성을 갖고 있으며, 변형 m-시퀀스에 비해서는 7배의 SNR 향상이 가능한 것으로 보고하고 있다[3].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 제 2장에서는 단극성 신호를 이용하는 기존 방식이 갖는 문제점을 해결하기 위해 두 개의 단극성 신호를 하나의 양극성 신호로 합성하는 방법을 대안으로 이용하며, 이를 실현하기 위해 고안된 개선된 광원 모듈의 구조 및 레이더 시스템의 구성에 대해 설명하며, 제 3장에서는 차동 구조를 이용한 양극성 신호 방식을 고찰한다. 제4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 성능을 분석을 다루며 마지막으로 결론을 맺는다.

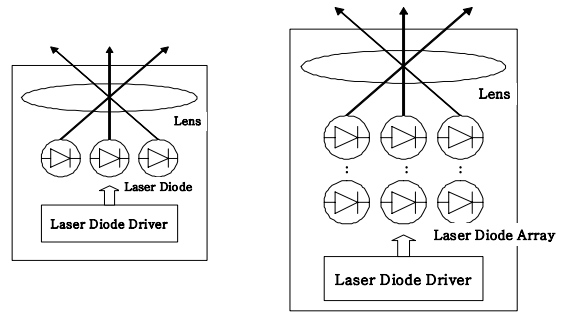
<표1> 각 방식의 특성

	레이저 방식	MMW 방식
인식률	99.99% (환경에 의존)	99.99%
동작거리	수 100m 이상 (환경에 의존)	수 100m 이상
동작 주파수	Visible or IR	60GHz, 70GHz, 200GHz (국내: 76-77GHz)
주파수 대역폭	제한 없음	협대역 (국내: 1GHz)
환경 적응성	불량	양호
외형	소형, 경량	중, 대형
생산 수율	우수	낮음
내구성	우수	낮음
가격	저가	고가

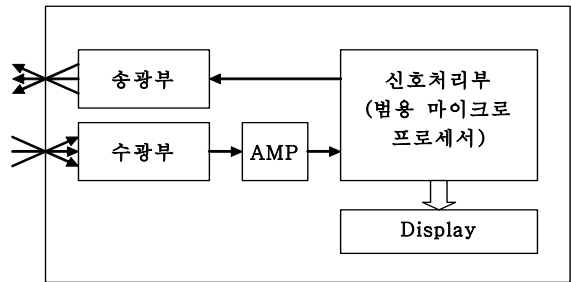
2. 듀얼 빔 레이저 레이더의 구성

레이저 방식의 레이더 시스템 및 광 통신 분야에서는 주로 광 강도 변조/직접 검파(IM/DD; intensity modulation/direct detection) 방식이 이용되고 있다. 이는 음의 값은 갖지 않는 광 신호의 특성에 따른 것으로 양극성 신호를 갖는 RF 기반의 무선통신과는 많은 차이를 갖게 되며, 기존의 우수한 특성을 갖는 PRS (pseudo-random sequences)의 적용을 어렵게 하고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 양극성 신호 방식을 지원하는 듀얼 빔 레이저 레이더 시스템을 제안한다.

기존의 레이저 광원 모듈이 단지 하나의 레이저 다이오드를 이용하거나 또는 전자적으로 원 빔(one beam) 스캔을 구현하기 위해 일차원 레이저 다이오드 어레이(linear array) 구조를 채택하고 있는 반면에 제안 방식에서는 2차원 매트릭스(2D-matrix) 구조를 갖는다. 기존의 일차원 구조와 제안 방식인 2차원 매트릭스 구조의 차이를 그림 1에 나타내었다.



(a) 원 빔 LD 모듈 (b) 듀얼 빔 LD 모듈
(그림 1) 레이저 모듈의 구조



(그림 2) 제안 레이더 시스템의 블록도

그림 2에 듀얼 빔 레이저 레이더 시스템의 블록도를 나타내었다. 그림 2에 나타난 송광부와 포토다이오드를 이용한 수광부는 하나의 모듈로 구성되며 차량의 범퍼 또는 차량 내부의 대쉬보드에 부착된다. 일반적으로 탐지 대상물체에 반사되어 수신되는 신호는 송신 신호에 비해 매우 미약한 크기를 갖게 되므로 이를 보상하기 위한 증폭기 또는 AGC(automatic gain control)부를 두고 있다. 대상물체에서 반사되어 수신된 신호는 송신신호와 상관(correlation) 결과가 임계치 이상이면 자차(host vehicle)에서 송신한 신호가 분명한 것으로 판정하고 송신 후 수신하기까지 경과된 시간을 이용하여 차량 간 거리를 산출하게 된다.

$$d = \frac{c\Delta t}{2} \quad (1)$$

여기서 c 는 광속으로 3×10^8 m/s, Δt 는 신호의 왕복 전파시간(round trip time), d 는 차량 간 거리를 나타낸다.

특히 PRS와 상관기를 이용하는 경우에는 칩율(chip rate) $\hat{d} = cN_c/2R_c$ 을 이용하여 차량 간 거리를 계산할 수 있다. 여기서 c 는 광속, R_c 는 chip rate, N_c 는 정합필터의 출력이 최대인 점까지의 시프트 수를 나타내며, 이때 측정 오차 범위는

$\pm 1/2$ chip 과 같다. 반면에 상관 값이 기준치 이하인 경우는 인접 차량으로 부더의 간섭 신호, 과속 단속용 레이저 신호 또는 클러터(clutter) 신호에 의한 오경보(false alarm)로 판단하게 된다.

3. 신호방식

레이더 시스템에서 이용하는 신호방식에는 펄스 방식, FSK, FMCW 방식 등을 들 수 있으며, 펄스 방식은 단일 펄스 방식과 이를 개선한 펄스 압축 방식으로 나눌 수 있다. 단일 펄스 방식은 짧은 펄스를 일정한 시간 간격으로 송신하는 방법으로 높은 SNR을 얻기 위해서는 매우 큰 에너지를 갖는 펄스를 필요로 한다. 이러한 문제를 해결하기 위한 다양한 펄스 압축 기술이 있지만, 연속신호 형태로는 선형 주파수 변조, 즉 칩(chirp) 신호 등이 이용되며, 이산신호 형태에서는 의사 잡음 시퀀스를 이용한 방법이 주로 이용된다.

일반적으로 통신 분야에서는 상관의 최대값인 λ_{AC} 및 λ_{CC} 는 다른 사용자에 대해서는 잡음으로 인식되므로 이를 최소화하도록 확산 부호를 설계하게 되며, 가능한 작은 값을 갖는 것이 통신 시스템의 성능 향상에 유리하다. RF 신호를 사용하는 경우 양극성(bipolar) 신호를 사용함으로써 상호상관이 0이 되는 소거 특성을 갖지만 광 신호의 경우 단극성(unipolar) 신호를 사용하기 때문에 이러한 효과를 기대할 수 없으며, 광 신호를 위한 1차원 부호의 경우 λ_{AC} 과 λ_{CC} 는 모두 1을 만족해야 한다. 이러한 특성 차이로 인해 광 신호를 위한 다양한 PRS 또는 PN 시퀀스(pseudo noise sequences)가 연구되고 있다^[4].

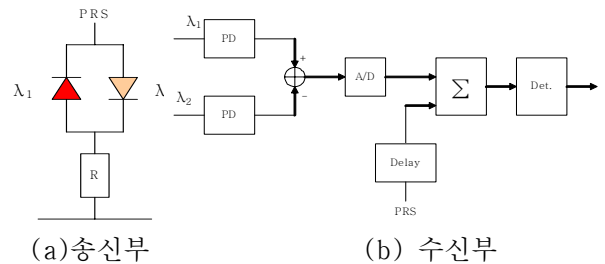
그러나 레이더 시스템에서 다른 사용자의 신호는 단지 클러터일 뿐이며 통신 분야와는 다른 요구사항을 갖고 있다. 기존의 광 CDMA를 위한 대부분의 확산 부호들은 동기 또는 비동기 환경에 적합하도록 설계되어 있기 때문에 레이더 시스템과 같이 완전 비동기(full asynchronous) 환경에서 동작하는 경우 적용이 곤란하다. 또한 우수한 상관 특성을 갖는 부호일수록 부호수는 더욱 적어지게 된다. 예를 들어 광 CDMA를 위해 제안된 대표적인 확산 부호인 OOC(orthogonal optical codes)의 경우 우수한 상관 특성을 갖지만, 한정된 부호수로 인해 각 레이더 시스템마다 고유의 부호를 할당하기에는 적합하지 않다. 게다가 작은 Hamming 무게(wieght)를 갖는

OOC 부호의 특성상 1의 수가 0에 비해 적게 분포하기 때문에 이에 따른 광 출력의 감소 문제를 수반하며, 이로 인한 SNR(signal to noise ratio)의 감소는 레이더의 탐지 거리를 감소시키는 요인이 된다^[5].

3.1 양극성 2진 m-시퀀스를 이용한 신호 방식

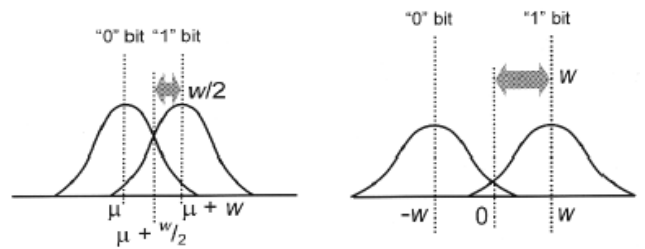
제안 기법에서는 양극성 2진 m-시퀀스를 표 2와 같이 두 개의 파장에 할당함으로써 2차원 OOC^[6]와 유사한 특성을 갖도록 하는 방법을 이용한다. 단, 두 파장 간에서의 간섭은 존재하지 않으며, 수광부에서 완벽한 분리가 가능한 것으로 가정한다.

그림 3(a)는 양극성 2진 m-시퀀스를 이용한 송신부의 구조를 나타내며, 두 개의 레이저 다이오드 중 하나만이 발광하도록 하고 있다. 그림 3(b)는 수신부의 구조를 나타내며, 두 개의 포토 다이오드를 이용하여 차동 구조를 갖도록 하였으며, 합성된 신호는 A/D 변환을 거친 후 적분기(integrator)에 의해 기준 m-시퀀스와의 상관을 계산한다.



(그림 3) 송·수신부의 구조

그림 4(a)는 OOK(On-Off Keying)와 IM/DD 방식의 광통신에서 자주 이용되는 ON/OFF 형태의 단극성 신호를, 그림 4(b)는 듀얼 빔을 이용한 제안 방식에서 Gaussian 잡음에 의한 영향을 나타낸다.



(a) 단극성 신호방식 (b) 양극성 신호방식
(그림 4) 단극성 신호방식 vs. 양극성 신호방식

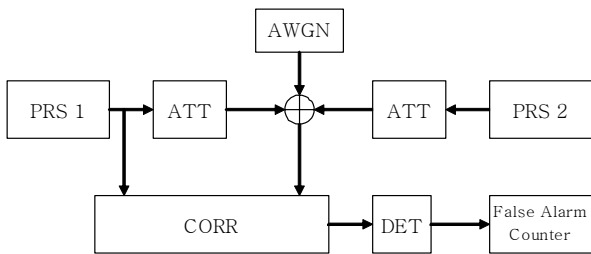
간섭을 포함한 배경잡음은 AWGN으로 가정하였으며 그래프에 표시된 양쪽 화살표는 잡음역역 즉, 허용 가능한 잡음의 크기를 나타낸다. 원 빔 방식에 비해 두 배의 신호 에너지를 갖게 된다. 이는 SNR의 증가를 의미하며 레이더 시스템의 탐지 거리(ranging distance)와 차량 간 간섭 신호에 따른 오보율은 상관 출력에 대한 SNR에 의존하므로, 이하에서는 단극성 신호방식과 양극성 신호방식에서의 상관 출력에 대한 SNR을 고찰한다.

3.2 합차신호를 이용한 간섭제거 기법

제안 듀얼 빔 방식에서 각 파장에 할당된 두 시퀀스는 $X_{k1} = X$, $X_{k2} = -X$ 와 같은 상보 신호로 구성되어 있다. 본 논문에서는 상기 상보 시퀀스의 합차 특성을 이용한 간섭 제거 기법을 제안한다. 이를 위해서는 수신부에서 합신호가 필요하며 그림 3(b)에 나타낸 수신부에 그림 5와 같이 가산 회로를 추가하여 간단히 구성할 수 있다.

4. 시뮬레이션

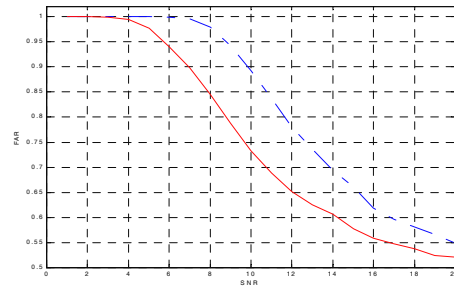
그림 5는 제안 방식의 성능을 분석하기 위한 간단한 시뮬레이션 모델이며, 의사 잡음 발생부와 감쇄(attenuation)부, 가산 백색 잡음 생성부, 그리고 이들을 더해서 기준 신호와 상관을 구하기 위한 상관 계산부로 이루어지며, 상관 결과가 기준치 이상이면 자차에서 송신한 신호가 대상물체에 반되어 수신된 것으로 판단하도록 하고 있다. 상관 결과가 기준치 미만인 경우 SNR의 부족으로 탐지에 실패한 경우이거나 간섭 등으로 인한 오경보로 판단하여 오경보율(FAR; false alarm rate)을 계산하도록 하고 있다.



(그림 5) 시뮬레이션 모델

길이=127의 m-시퀀스 및 변형 m-시퀀스를 이용하여 구한 탐지율(ranging rate)을 그림 6에 나타내었으며, 여기서 탐지율은 (1 - FAR)을 의미한다. 그림 9에서 점선은 m-시퀀스를 이용하는 듀얼 빔 방식의 성능을, 실선은 변형 m-시퀀스를 이용하는 원 빔

방식을 나타내며 SNR에서 3dB 차이를 갖는 것을 볼 수 있다.



(그림 6) 듀얼빔 레이더 레이더 시스템의 탐지율

5. 결론

본 논문에서는 듀얼 빔 레이더 방식의 레이더 시스템을 설계하였으며, 배경잡음, 레이더 신호 간의 상호 간섭에 따른 탐지 성능의 저하를 효과적으로 개선할 수 있음을 보였다. 또한 제안 방식은 단극성 광신호를 기반으로 제안된 최근의 우수한 연구결과들에 적용함으로써 3dB의 SNR을 추가로 확보할 수 있는 장점이 있다.

참고문헌

[1] 박공만 “CAR RADAR 기술발전 및 산업 동향” 전파 제104호, 2002년 1,2월호.
 [2] 成田 義之, 津田 紀生, 山田 諄 “카오스레이저를 이용한衝突防止센사의研究” 電氣學會論文誌 C, Vol. 123, No. 12, pp. 2079-2084, 2003.
 [3] Adam Rybaltowski and Allen Taflove “Superior signal-to-noise ratio of a new AA1 sequence for random-modulation continuous-wave lidar” OPTICS LETTERS, Vol. 29, No. 15, pp. 1709-1710, Aug. 1, 2004.
 [4] F. R. K Chung, J. A. Salehi, V. K. Wei “Optical orthogonal codes: Design, analysis, and applications” IEEE Trans. on Information Theory, vol. 35, no. 3, May 1989.
 [5] Tung-Wah Frederick Chang and Edward H. Sargent “Optical CDMA using 2-d codes: The optimal single-user detector” IEEE Comm. Lett., Vol. 5, No. 4, pp. 169-171, Apr. 2001.
 [6] Raymond M. H. Yim, Jan Bajcsy, Lawrence R. Chen “A new family of 2-d wavelength-time codes for optical CDMA with differential detection” IEEE Photonics Tech. Lett., Vol. 15, No. 1, pp. 165-167, Jan. 2003.