

# 광 코드분할 다중접속을 이용한 펄스 라이다의 상호 간섭 제거

김 건 정\*, 엄 정 숙\*, 박 용 완<sup>o</sup>

## Eliminating Mutual Interference between Pulsed LIDAR Based on Optical Code Division Multiple Access

Gunzung Kim\*, Jeongsook Eom\*,  
Yongwan Park<sup>o</sup>

### 요 약

라이다를 장착한 자율 주행 자동차가 증가함에 따라 다른 라이다에서 방출한 레이저 펄스가 여러 경로를 통하여 수신되어 상호 간섭이 발생할 가능성이 커진다. 상호 간섭을 제거하기 위하여 강도변조/직접검파 광 코드분할 다중접속 방식을 적용한 라이다 시스템을 제안한다. 상용 부품을 이용하여 성능 평가한 결과를 이용하여 두 대의 라이다가 동작하는 환경을 시뮬레이션으로 구성하여 동작을 검증하였다.

**Key Words** : Optical CDMA, LIDAR, Mutual interference, Time-of-Flight, Remote sensing

### ABSTRACT

As the number of autonomous vehicles equipped with LIDAR increases, the possibility that laser pulses emitted from other LIDAR are received through various paths causes mutual interference. We propose a new LIDAR system using the intensity modulation/direct detection optical code division multiple access (IM/DD OCDMA) techniques to eliminate mutual interferences. Using the results of

the performance evaluation using commercial parts, we simulated and verified of simultaneous operation between two LIDARs.

### I. 펄스 라이다 시스템의 상호 간섭

레이더와 라이다는 자율주행 자동차와 자율 보행 로봇 등에서 주변 환경을 인지하기 위한 거리 정보를 모으는 핵심적인 능동 센서이다. 라이다는 매우 높은 각도 해상도로 원거리까지 뛰어난 정밀도와 정확도로 주변 환경에 대하여 3차원 측정할 수 있어 그 활용성이 계속 증가하고 있다. 대부분 라이다는 905nm 단일 파장의 레이저를 광원으로 사용하여 상호 간섭 발생 가능성에 대하여 의문이 제기되었지만, 반사 신호 수신 개구부가 매우 작고 일부 연구 및 실험용 자율주행 자동차 위주로 사용되어 상호 간섭에 대한 관심이 별로 없었다. 최근 들어서야 라이다가 밀집 지역에서 동시에 사용될 경우 상호 간섭 발생 가능성에 관한 연구가 수행된 결과가 조금씩 발표되고 있다<sup>1-3)</sup>.

라이다의 경우 단일 파장의 레이저를 신호원으로 사용하여 주파수 분할 다중접속 방식(FDMA)을 채택하기 어렵고, 상호 연결성이 없이 단독으로 동작하여 시분할 다중접속 방식(TDMA)를 채택하기도 어렵다. 레이저에 사용할 수 있는 OCDMA(Optical CDMA)는 전통적인 CDMA에 광통신의 특성을 반영한 방식으로 서로 부호어만 다르다면 다중접속이 가능하여 단일 파장 레이저를 사용하는 라이다에 적용하기 가장 효과적인 기술이다<sup>4)</sup>. 본 논문에서는 라이다의 상호 간섭을 제거하기 위하여 그림 1과 같이 OCDMA를 라이다에 적용하여 상호 간섭 발생을 원천적으로 제거하고자 한다<sup>5-6)</sup>. 라이다 장치마다 고유의 부호를 이용하여 대역 확산한 레이저 펄스를 방출하고, 물체에 맞고 수신한 비행시간을 이용하여 거리를 측정한다.

### II. OCDMA 기반의 라이다 구조

라이다 장치마다 광통신에서 사용하는 강도변조/직접검파 OCDMA 방식의 일종인 1D unipolar asynchronous prime sequence code (PC) 방식으로

※ This work was supported by the Technology Innovation Program (10054575) and the ITRC(IITP-2018-2016-0-00313).

• First Author : (ORCID:0000-0002-7021-0105) Yeungnam University Department of Information and Communication Engineering, gzkim@ynu.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Yeungnam University Department of Information and Communication Engineering, ywpark@yu.ac.kr, 정회원

\* Yeungnam University Department of Information and Communication Engineering, jseom@ynu.ac.kr, 종신회원  
논문번호 : KICS2018-05-118, Received May 15, 2018; Revised June 1, 2018; Accepted June 15, 2018

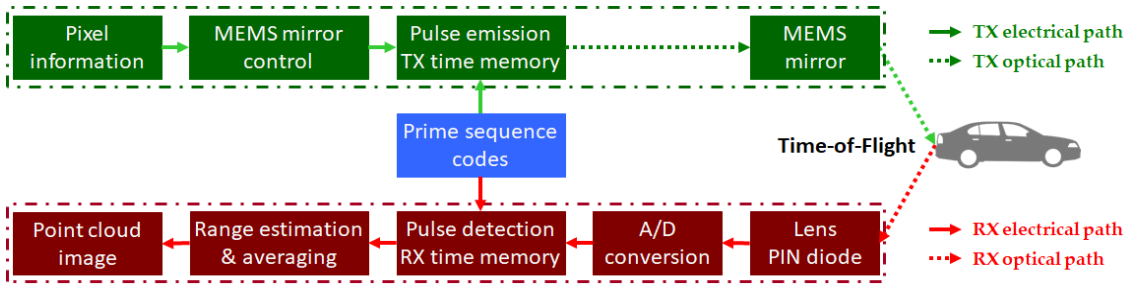


그림 1. 제안하는 스캐닝 라이다의 시스템 구조와 동작 방식  
 Fig. 1. Overall architecture and operation flow of the proposed scanning LIDAR system

생성된 자신의 고유한 부호어를 사용한다. 소수  $p$ 를 사용하는 PC는 이용한 길이가  $p^2$ 이고 가중치가  $p$ 인 부호어가 각각 장치마다 고유하게 부여되어 다수 라이다의 동시 사용에 필요한 확산 과정을 수행한다<sup>4-5</sup>. On-off keying (OOK) 방식으로 변조하였으므로 칩의 값이 '1'에 해당하는 경우에만 가우시안 빔을 송출한다. 송신부에서 송출된 레이저 펄스는 물체에서 반사된 후 물체까지 거리에 따라 시간 지연이 발생한 후 수신된다. 렌즈와 광검출기를 이용하여 아날로그 전압으로 변환하고 ADC를 이용하여 디지털화를 수행한다. 수신 신호에서 가우시안 펄스를 검출하기 위하여 슬라이딩 코릴레이션을 수행하고 임계값이 넘는 값은 펄스가 있는 것으로 간주하여 '1'로, 그렇지 않은 것은 '0'으로 저장한다. 이렇게 저장한 디지털은 장치 고유의 부호어와 비주기적인 상호 상관을 이용하여 최대값이  $p$ 인 경우는 '1', 그렇지 않은 경우는 '0'의 값으로 칩 데이터를 저장한다. 검출된 파형은 정확한 거리 계산에 사용할 중심 위치를 찾기 위하여 송출한 가우시안 파형  $P_T$ 와 검출한 파형  $P_{El}$ 를 수식 (1)과 (2)에 따라 average square difference function (ASDF)를 수행한다. 레이저 신호를 반사한 물체까지 거리는 수식 (3)와 같이  $dT(l)$ 은 한 측정점에 소속된 각 칩들의 송수신 시간 차이와 수식 (1)의 결과값을 중심 극한 정리를 이용하여 송출한 레이저 신호들과 수신한 레이저 신호들 차이의 평균으로 계산한다.

$$\hat{D}_{ASDF}(l) = \arg \min \hat{R}_{ASDF}(l, \tau) \quad (1)$$

$$\hat{R}_{ASDF}(l, \tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (P_T[t_k] - P_{El}[t_k - \tau])^2 \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{p} \sum_{l=0}^{p-1} (dT(l) + \hat{D}_{ASDF}(l)) \quad (3)$$

### III. 시뮬레이션을 이용한 검증

두 대의 라이다가 동시에 동작할 때 상호 간섭 발생을 검증하기 위하여 그림 2와 같이 상호 간섭이 가장 많이 발생할 수 있는 배치<sup>2</sup>로 시뮬레이션 환경을 구성하였다. 상용 부품 기반의 프로토타입을 이용하여 타당성을 검증한 기존 실험<sup>6</sup>에서 도출된 광전자 부품들(레이저 다이오드, 광검출기, ADC)의 특성값, 프로토타입에서 발생하는 레이저 펄스 송수신 지연시간, 흰색과 검은색 종이 벽의 반사 특성 및 반사율 등의 속성을 광학 전문 시뮬레이션 소프트웨어인 OptSim에 반영하였고, 디지털 신호 처리에 관련된 기능들은 MATLAB을 사용하였다. 레이저 펄스의 1차 난반사에 대한 반사율을 최대한 크게 하도록 흰색 종이 벽을 5m 정면에 배치하고, 2차 이후의 난반사를 최대한 줄이기 위하여 검은색 무광택 종이 벽을 좌우에 배치하였다. 한 대씩 동작하는 단계는 상호 간섭 효과가 없을 때 거리 측정을 위한 과정이며, 두 대가 동시에 동작하는 단계는 라이다 상호 간섭 영향에 따른 거리 측정을 위한 과정이다. 단계마다 프로토타입은 일반 라이다 상태와 OCDMA 라이다 상태로 동작한다. 라이다는 1급 레이저 제품에 따른 1급 노출 방출한계를 준수하기 위하여 한 개의 레이저 펄스를 사용하는 일반 상태에서 송출하는 펄스 에너지는 36nJ이고 수신하는 펄스의 SNR은 23.2dB가 된다. OCDMA 상태는 여러

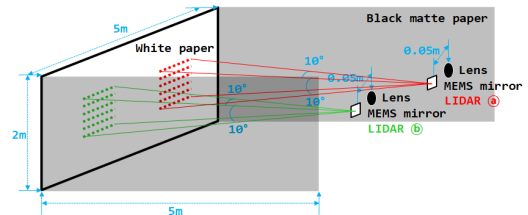


그림 2. 상호 간섭 발생 실험을 위한 시뮬레이션 환경  
 Fig. 2. Simulation environment for mutual interference

표 1. 라이다 2대의 지향 각도에 따른 상호 간섭 발생률

Table 1. Occurrence rate of mutual inference caused by the orientation angle of two LIDARs

		라이다 ① 지향 각도										
		-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	0°	5°	10°	15°	20°
라이다 ② 지향 각도	-20°	86.89	90.09	88.25	91.66	94.20	94.55	92.30	92.76	90.05	87.89	89.89
	-15°	87.99	88.34	89.04	91.43	91.60	95.25	93.10	92.13	92.54	90.34	90.49
	-10°	88.15	90.34	89.45	91.25	93.60	93.45	95.20	93.45	90.45	91.14	90.25
	-5°	91.56	90.93	91.75	92.40	92.10	93.85	92.90	94.10	90.85	92.73	91.26
	0°	92.30	91.40	93.80	95.00	92.80	94.45	95.50	93.50	93.80	95.20	91.40
	5°	94.05	94.55	93.35	95.25	92.35	92.50	94.35	95.45	92.05	92.95	91.85
	10°	91.20	92.60	92.20	93.80	93.80	95.45	93.40	93.00	92.80	92.60	93.50
	15°	91.16	91.43	90.05	93.50	93.00	92.45	95.40	92.80	90.85	90.83	90.46
	20°	91.05	88.04	91.85	93.25	91.90	92.55	95.40	93.65	89.35	89.04	91.55
	25°	86.49	87.94	90.64	92.43	91.40	92.15	94.40	93.33	89.24	90.04	88.99
30°	85.69	86.39	88.05	89.96	90.90	91.05	92.50	91.76	91.45	87.79	88.39	

개의 레이저 펄스를 사용하여 송출하는 펄스 에너지는 14nJ로 감소하고, 출력 감소와 간섭으로 인하여 수신하는 펄스의 SNR은 19.4dB로 감소한다.

그림 2의 라이다 ①과 라이다 ②가 두 가지 단계에서 두 가지 상태로 동작하는 경우를 시뮬레이션하여 거리를 측정된 결과를 표 1과 그림 3에 나타내었다. 라이다를 한 대를 동작시켜서 측정된 거리 결과를 정상적인 거리 측정 결과로 판단하여 정상 측정 범위를 산정하고, 이 범위를 벗어난 거리 측정 결과는 상호 간섭 때문에 발생한 비정상적인 결과로 판단하였다. 표 1은 라이다 ①과 라이다 ②의 흰색 종이 벽에 대한 지향 각도에 따라서 라이다 ①에서 발생하는 상호 간섭 발생률을 나타낸 것이다. 두 대의 라이다의 흰색 종이 벽에 대한 지향 각도가 동시에 0°가 되어 정면으로 지향할 때 가장 상호 간섭 발생확률이 높으며, 좌우로 지향 각도가 커짐에 따라서 발생률이 감소한다. 지향 각도가 0°에 가까울수록 라이다는 자신이 송출한 레이저 펄스를 1차 난반사 후 수신할 확률이 가장 높고, 다른 라이다에서 송출한 레이저 펄스 수신에 의한 상호 간섭 발생률도 함께 높아진다. 상호 간섭이 가장 많이 발생하는 지향 각도인 0°에서 라이다 ①가 동작할 때 정상적인 거리 측정 결과는 그림 3에 녹색으로 표시하였고, 상호 간섭 때문에 발생한 비정상적인 결과는 그림 3(c)와 (d)에 적색으로 표시하였다. 기존의 펄스 라이다와 동일한 방식으로 동작하는 일반 상태에서는 수신한 레이저들에 대한 구분이 불가능하므로 수신한 모든 레이저 펄스에 대하여 시간을 측정하고 거리를 환산하여 여러 개의 레이저 펄스를 수신할 경우 여러 개의 거리가 측정된다. OCDMA 상태는

수신한 펄스에 대하여 상호 상관을 계산하여 송출한

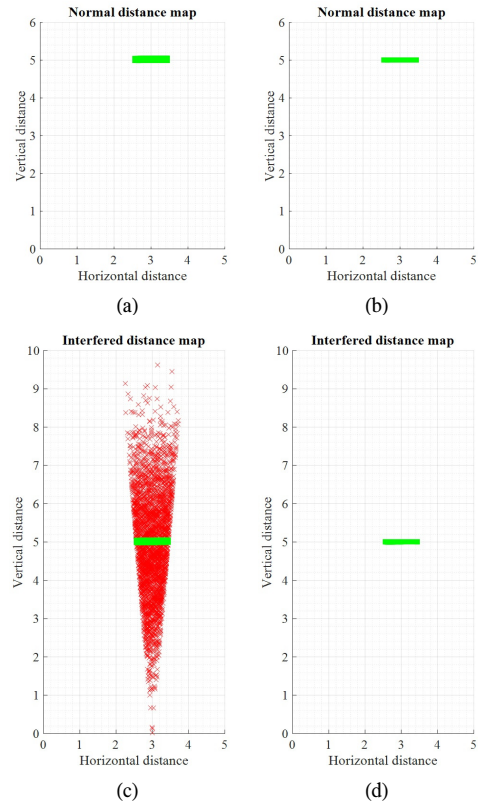


그림 3. 상호 간섭 시뮬레이션 결과. 단독 동작 단계에서 (a) 일반 상태와 (b) OCDMA 상태, 동시 동작 단계에서 (c) 일반 상태와 (d) OCDMA 상태  
Fig. 3. Simulation results for mutual interference: (a) legacy and (b) OCDMA mode with single LIDAR, (c) legacy and (d) OCDMA mode with dual LIDAR

때와 동일한 부호어를 사용한 펄스만 인식하고 처리하므로 다른 라이다에서 송출한 레이저가 수신되어도 무시하여 상호 간섭이 발생하지 않고 정확한 거리 측정이 가능하다.

#### IV. 결 론

펄스 방식의 라이다는 다른 라이다에서 방출한 신호원을 수신하면 잘못된 거리를 측정한다. 본 논문에서는 OCDMA를 이용하여 장치마다 고유한 부호 펄스를 사용하는 라이다 구조를 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 상호 간섭이 제거됨을 확인하였다. 추후 다수의 라이다 프로토타입을 다양한 시나리오에서 시험하여 상호 간섭의 영향과 제거를 확인할 필요가 있다.

#### References

- [1] M. Harris, *Researcher hacks self-driving car sensors*, Retrieved Sept. 4, 2015, from <https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/researcher-hacks-selfdriving-car-sensors>.
- [2] G. Kim, J. Eom, J. Choi, and Y. Park, "Mutual interference on mobile pulsed scanning LIDAR," *IEMEK J. Embed. Sys. Appl.*, vol. 12, no. 1, pp. 43-62, Feb. 2017.
- [3] F. Zhang, P. Du, Q. Liu, M. Gong, and X. Fu, "Adaptive strategy for CPPM single-photon collision avoidance LIDAR against dynamic crosstalk," *Opt. Exp.*, vol. 25, no. 11, pp. 12237-12250, May 2017.
- [4] W. C. Kwong and G.-C. Yang, *Optical Coding Theory with Prime*, CRC Press, 2013.
- [5] G. Kim and Y. Park, "LIDAR pulse coding for high resolution range imaging at improved refresh rate," *Opt Exp.*, vol. 24, no. 21, pp. 23810-23828, Oct. 2016.
- [6] G. Kim, J. Eom, and Y. Park, "Design and implementation of 3D LIDAR based on pixel-by-pixel scanning and DS-OCDMA," in *Proc. SPIE 10107*, pp. 1010710.1-1010710.8, SF, USA, Feb. 2017.