

광양자태 레이저 어레이를 이용한 지능형 교통 시스템의 응용

Intelligent Transportation System Application by using Photonic Quantum Ring Laser Array

김동권, 김부진, 권오대
포항공과대학교 전기전자공학과
maxwellr@postech.ac.kr

광양자태(Photonic Quantum Ring: PQR)레이저는 VCSEL에피 구조의 cylindrical microdisk 레이저 형태로 상하부 distributed Bragg reflector(DBR) 및 낮은 굴절률을 갖는 외부경계, 그리고 활성층 내부에서 자연적으로 형성되는 Rayleigh band에 의해 구속된 광파들이 3차원 Rayleigh-Fabry-Perot공진기 내에서 전반사를 통해 형성되는 WG(Whispering Gallery) 레이저이다. 단일 PQR 레이저는 종래의 반도체 레이저에 비해 1000배 이상의 낮은 문턱 전류($\mu A \sim nA$)와 온도(T)에 따른 발진 파장의 \sqrt{T} 의존성으로 인해 고집적 PQR 어레이 제작이 가능하며, [1,2] 그림 1에 나타난 PQR 어레이의 시각도에 따른 다파장 발진특성은 신개념의 방위각 vision센서로 Intelligent Transportation System(ITS)중에 Rear-end Collision Avoidance System(RCAS)에 적용이 가능하다.

PQR 레이저 어레이를 적용한 전체적인 RCAS의 동작원리를 설명하기 위해 시스템 개략도를 그림 2에 나타냈다. 앞차의 후미에 장착된(A 지점) PQR 어레이에서 시각도에 따라 다르게 방출된 레이저 빔은 뒤차의 범퍼부분(P 지점)에 설치된 다층 박막 밴드패스 필터(WOF, Wavelength Optical Filter), 공간 광 필터(SOF, Spatial Optical Filter)로 이루어진 수신모듈에 의해서 주변잡음에 의한 영향을 줄이면서 photodiode에 광 전류를 생성한다. 생성된 전류는 간단한 신호처리 과정을 통해 차량간의 거리 및 가속도 정보 운전자에게 제공한다. 수신모듈을 구성하는 다층 박막 밴드패스 필터는 주간에 발생하는 태양광선의 잡음을 제거하는데 사용되며, SOF는 핀 홀과 photodiode를 기하광학에 적용해 차간거리에 따라 결정되어 뒤차로 입사되는 빛의 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)를 이용한 수신모듈이다. 시간 t_1 에서 A 지점에 접근한 차량이 모듈과 이루는 각도는 θ_1 이 되고, 각도 정보로부터 차간거리 \overline{OA} 를 정확히 구해낼 수 있다. 마찬가지로 시간 t_2 와 t_3 에서의 차간거리 \overline{OB} 와 \overline{OC} 를 각각 구할 수 있다. 차간 절대 거리가 구해지면 이로부터 속도(V_{12}, V_{23}) 및 가속도(a)를 구할 수 있고, 이는 다음과 같다.

$$V_{12} = \frac{\overline{OA} - \overline{OB}}{t_2 - t_1} \quad V_{23} = \frac{\overline{OB} - \overline{OC}}{t_3 - t_2} \quad a = \frac{V_{12} - V_{23}}{t_3 - t_2}$$

그림 3은 펄스형태로 구동된 PQR 레이저의 신호가 차간 거리에 따라 결정되는 각각의 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)에서 WOF, SOF의 수신 모듈에 의해 검출된 전압신호이다. 검출된 신호는 신호처리 과정을 통하여 물체와 센서 간의 가속도정보를 생성하는데, 이 정보의 축적을 통하여 접근차량을 인지(정속주행, 감속주행, 추종주행, 가속주행)하게 된다. 즉 각도정보는 변환 없이 그 자체로 거리정보를 갖는 것이다.

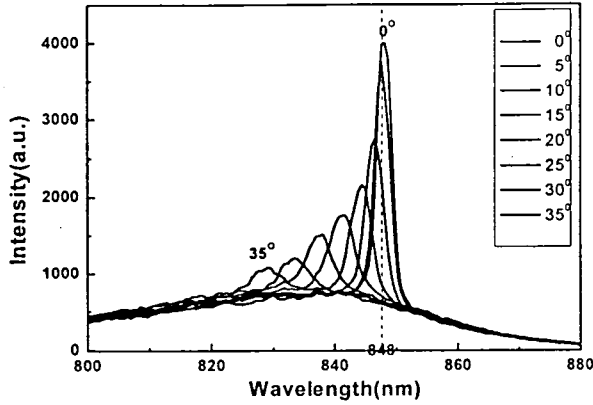


그림 1. 4K PQR 레이저 어레이의 시각도에 따른 다파장 발진 특성

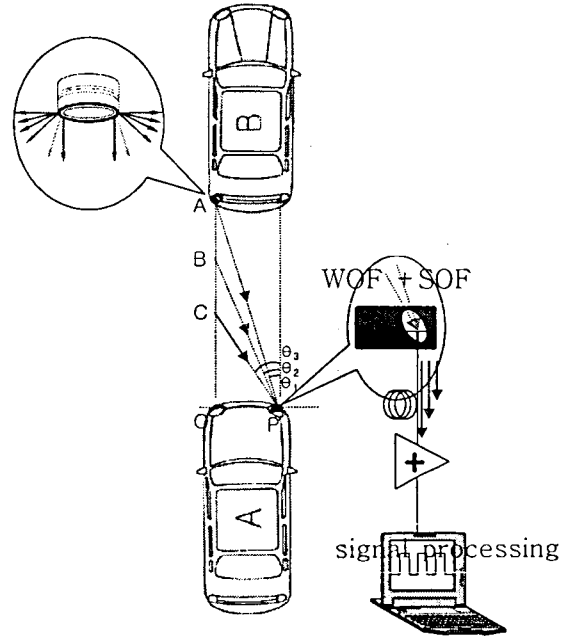


그림 2. 4K PQR 레이저 어레이, WOF, SOF를 사용한 RCAS의 개략도

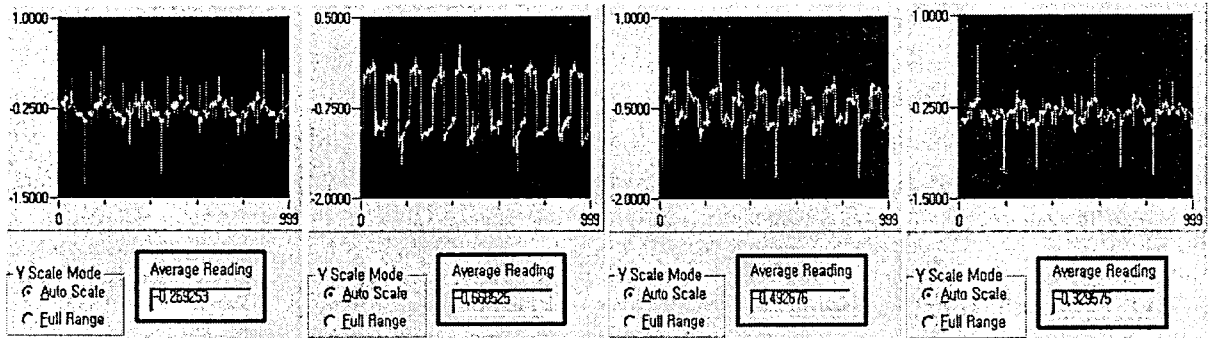


그림 3. 펄스형태로 구동된 PQR 레이저의 신호가 차간 거리에 따라 결정되는 각각의 각도($\theta_1, \theta_2, \theta_3$)에서 WOF, SOF 수신 모듈에 의해 검출된 전압신호

이상에서 설명한 RCAS의 원리가 가능한 영역은 각각의 차간거리에서 검출거리 오차로 계산되는 $\Delta\theta$ 가 0.51o 에 해당되는 20m까지이다. 이와 같은 거리의 한계를 극복하기 위해 제시된 SOF를 사용하지 않고 PQR 레이저의 각도별 다파장 발진특성을 이용하기 위해서는 20m에서 $\Delta\lambda=0.2\text{nm}$, 10m에서 $\Delta\lambda=0.5\text{nm}$, 5m에서 $\Delta\lambda=2.3\text{nm}$ 의 고분해능을 가진 파장 필터가 필요하다.

[1]"Photonic Quantum Ring J.C. Ahn, K.S. Kwak, B. H. Park , H.Y. Kang, J. Y. Kim and O'Dae Kwon, Phys. Rev. Lett. Vol.82, No.3 pp 536-539 (Jan. 1999)

[2]"Angle-dependent multiple-wavelength radial emissions in a toroidal microcavity : (A photonic quantum ring laser)" J.C. Ahn, H.Y. Kang, and O'Dae Kwon, SPIE, Vol.3283, pp.241-251 (1998)