

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.4.85>

IIBC 2014-4-13

ZigBee기반 개인영역망을 사용한 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템의 구현

Implementation of Wireless Multiple Integrated Laser Engagement System using ZigBee-based Personal Area Network

기현철*

Hyeon-Cheol Ki*

요약 ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템을 구현하였다. 무선 레이저 검출기는 아날로그 신호처리, 해독 및 무선통신 기능을 갖추어야하는 반면 병사의 신체에 부착될 수 있도록 저전력소모, 소형 및 경량화 되어야한다. 소형 및 경량화를 위해 해독기는 소프트웨어적으로 구현하였고, 협대역 광학 필터를 이용하여 시스템의 부하를 줄여줌으로써 저전력화를 꾀하였다. 제작된 무선 레이저 검출기는 광잡음 환경에서도 정상 작동하였다. 무선 개인영역망을 통한 PU(Player Unit)와의 통신은 무선 레이저 검출기의 부착 위치에 따라 다소 차이가 있었으나 -40.2dBm이상의 출력으로 송신할 경우 100%의 수신율을 확보할 수 있었다.

Abstract We realized a wireless multiple integrated laser engagement system composed of personal area network using Zigbee. The wireless laser detector had function of analog signal processor, decoder and wireless communication. However, it should consume low power and be small and light in order to be attached to a soldier's body. The decoder was realized in software to be small and light. We induced low power consumption as reducing the load of system using a narrow band optical filter. The fabricated wireless laser detector functioned well in optically noisy environment. Although the communication to the player unit through the wireless personal area network was dependent on the attachment place it was perfectly worked with transmission power of -40.2dBm or more.

Key Words : Simulated military training system, MILES, PAN, ZigBee

1. 서 론

다중 통합 레이저 교전 시스템(Multiple Integrated Laser Engagement System)은 군사 모의 훈련 시스템으로서 1980년경 미군에 최초로 도입되었고 현재는 우리나라를 포함한 세계 여러 나라의 군에서 사용되고 있다. 다

중 통합 레이저 교전 시스템은 화기의 탄환대신 레이저 빔(laser beam)을 사용하여 실제 전투를 모의적으로 수행할 수 있게 한다. 개개 병사는 상호 유선으로 연결된 다수의 레이저 검출기를 온 몸 여기저기에 부착해서 적 화기에서 발사된 레이저 빔에 쏘여질 경우 감지하여 피격여부를 판단하고 통신으로 중앙 통제소에 알리도록 한

*정희원, 가천대학교 전자공학과
접수일자 : 2014년 5월 14일, 수정완료 : 2014년 7월 4일
게재확정일자 : 2014년 8월 8일

Received: 14 May, 2014 / Revised: 4 July, 2014

Accepted: 8 August, 2014

*Corresponding Author: hcki@gachon.ac.kr

Dept. of Electronic Engineering, Gachon University, Korea

다. 각 레이저 송신기는 부착될 화기의 종류에 따라 그 화기의 유효사거리나 충격반경 등을 묘사하도록 설정함으로써 각 화기의 특성에 맞는 레이저 빔을 만들어 송출한다. 화기가 발사될 경우 실탄이 발사되는 대신 실탄이 날아갈 방향으로 레이저 송신기에서 암호화된 버스트(burst) 레이저 신호가 송출되는데 그 속에는 발사한 병사, 화기종류, 탄환에 대한 정보 등이 들어있다.

다중 통합 레이저 교전 시스템은 각 병사들에게 전술적 행동에 의한 실질적 훈련을 경험하게 하도록 해주고 다양한 전술 및 전장상황을 조성하여 전투감각을 익히도록 해 준다. 또한, 교전 결과의 자동 수집과 분석을 통해 전술 훈련의 효과도 얻을 수 있으므로 매우 효율적인 군사 훈련시스템으로 인정받으며 널리 사용되고 있고 그 기술도 날로 발전하고 있다.

한편, 개개 병사의 온 몸 여기저기에 부착된 레이저 검출기는 고성능 저잡음 케이블(cable)로 상호 연결되어 조끼에 부착되어 있다. 따라서 이 조끼는 무겁고 유연하지 못해 착용이 불편하므로 병사들이 오랜 시간 착용하는 것을 기피하는 경향을 보인다. 최근에 개별 레이저 검출기를 케이블로 연결하지 않고 무선통신 기능을 갖춘 독립적인 레이저 검출기 모듈로 구현하여 이러한 문제점을 극복하고자하는 시도가 이루어지고 있으며 이를 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템(Wireless Multiple Integrated Laser Engagement System)이라한다.

최근 웨어러블 디바이스(wearable device)에 대한 관심이 높아지면서 WPAN(Wireless Personal Area Network) 및 WBAN(Wireless Body Area Network)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있어^[1-3] 향후 이러한 기술들이 다중 통합 레이저 교전 시스템에도 영향을 미쳐 무선화를 가속시킬 것으로 예측된다. 본 연구에서는 ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템을 구현하고 개인영역망의 위치에 따른 성능을 평가한다.

II. 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템

다중 통합 레이저 교전 시스템이 무선화 될 경우 다음의 장점을 갖게 된다. 첫째, 병사들은 검출기와 케이블이 부착된 불편한 조끼의 착용으로부터 자유로워진다. 둘째, 고가의 저잡음 케이블, 코넥터 및 조끼를 쓰지 않으므로

원가를 절감할 수 있다. 셋째, 산업계에서 연구가 활발히 이루어지고 있는 개인영역통신의 무선기술 표준을 채택할 경우 현재 서비스 중인 통신 인프라와 자연스런 연계가 이루어 질 수 있다.

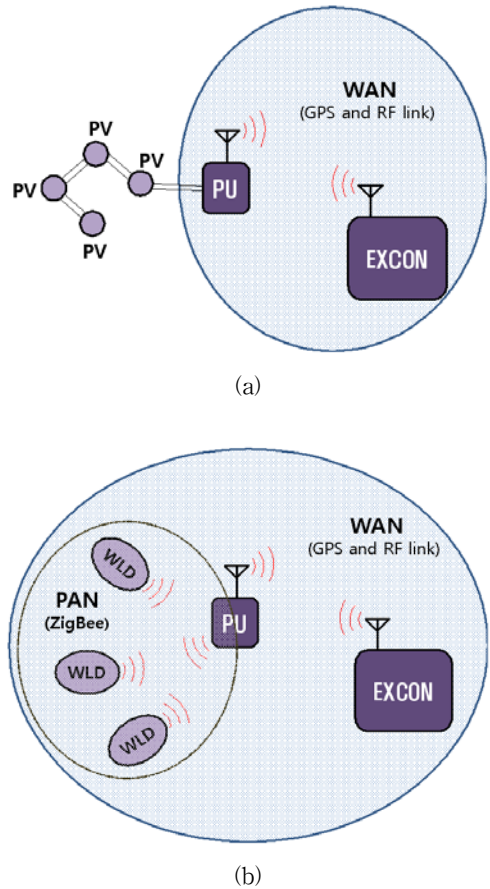


그림 1. 기존의 다중 통합 레이저 교전 시스템과 ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템의 망구조

- (a) 기존의 다중 통합 레이저 교전 시스템의 망구조
- (b) ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템의 망구조

Fig. 1. Network structures of conventional multiple integrated laser engagement system and wireless multiple integrated laser engagement system composed of personal area network using ZigBee (a)Network structure of conventional multiple integrated laser engagement system (b)Network structure of wireless multiple integrated laser engagement system composed of personal area network using ZigBee

기존의 다중 통합 레이저 교전 시스템과 ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템의 망구조를 그림1에서 비교하여 보여주고 있다. 그림1(a)에 보인 기존의 다중 통합 레이저 교전 시스템은 병사의 몸에 부착된 PV(Photovoltaic)를 이용하여 레이저를 감지한 후 미세한 감지신호를 저잡음 케이블을 통해 병사가 휴대하고 있는 PU(player unit)로 전달한다. PU는 전달된 미세한 감지신호를 해독하여 사망과 부상 여부, 발사한 병사의 신원, 발사된 화기종류 등의 정보를 추출하여 RF-link로 구성된 WAN(Wide Area Network)을 통해 훈련통제본부(EXCON)으로 전송한다. 그림1(b)는 본 연구에서 시도한 ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템의 망구조를 보여준다. 무선 레이저 감지기(Wireless Laser Detector: WLD)는 PV와 신호처리 기능 및 ZigBee의 기능을 갖추고 있으며 PU와는 ZigBee를 이용한 개인영역망을 형성하여 데이터를 전송한다. 이 경우 무선 레이저 감지기(WLD)은 PU가 담당하던 신호처리 및 해독 기능을 직접 담당하고 ZigBee로 개인영역망을 형성하여 PU와 통신한다.

III. 무선 레이저 감지기

본 연구의 무선 다중 통합 레이저 교전 시스템에서 구현한 무선 레이저 감지기(WLD)의 구조를 그림 2에 보였다. 다중 통합 레이저 교전 시스템에서 사용되는 무선 레이저 감지기는 병사의 몸에 부착되어 사용되어야 하는 특성 상 소형 경량화 되어야 한다.

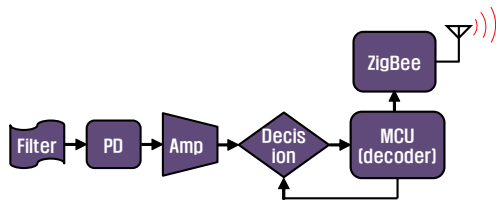


그림 2. 무선 레이저 감지기의 구조
 Fig. 2. A structure of wireless laser detector

또한, 무선으로 연결되기 위해서는 몸 주위의 원활한 무선통신이 이루어 질 수 있어야 하고 배터리 수명을 고려할 때 소모하는 전력도 최소화 되어야한다.

그림 2는 본 연구에서는 구현한 무선 레이저 감지기의 구조를 보여준다. 광감지기(Photo Detector: PD)에서 검출된 미약한 신호를 증폭단에서 증폭한 후 신호와 잡음 여부를 판단하는 것까지를 하드웨어로 구현하고 그 이후의 해독작업과 오류 검증 작업 등은 소프트웨어적으로 수행함으로써 무선 레이저 감지기의 무게 및 크기가 최소화 될 수 있도록 하였다.

또한, 무선 레이저 감지기는 다양하고 열악한 주변 환경에서 훈련이 이루어지므로 온도변화 등 다양한 환경변화의 영향을 받을 수 있으나 그 중 감지기 수신율에 직접적이고 주된 영향을 미치는 것은 광잡음이 된다. 이 경우 광잡음의 형태는 다양할 뿐 아니라 그 빛수도 매우 잦을 수 있다. 이러한 상황은 무선 레이저 감지기의 해독기에 과중한 부하로 작용하여 시스템에 심각한 부담을 주어 수신감도를 떨어뜨릴 수 있다. 또한, 이 과정에서 과도한 전력이 소모되게 된다. 따라서 그림 2에 보인 바와 같이 광감지기 전단에서 광학필터로써 광잡음을 제거하여 소모 전력을 최소화 할 수 있도록 설계하였다. 해독기에서 해독된 신호는 ZigBee로 개인영역망을 형성하여 PU와 통신하도록 하였다.

한편, 광잡음 제거를 위한 광학필터 적용에는 예측하지 못한 문제가 발생하여 이를 극복하기위한 연구가 진행되었다.

1. 광잡음 문제

광잡음 문제를 해소하기 위해서는 광감지기의 감응도 특성을 이용하거나 광학 필터를 추가하여 광잡음을 감소 시키기는 방법과 레이저 송신기의 출력을 높여서 신호의 전력을 증가시켜 잡음을 극복할 수 있도록 하는 방법의 두 방안이 있다. 한편, 사거리가 긴 화기는 큰 출력의 레이저를 사용하여 장사거리 화기로 표현할 수 있으나 큰 출력의 레이저 광은 눈 안전(eye safety)에 문제를 야기시킬 수 있어 제한하고 있다. 따라서 광잡음 환경에서 수신 감도를 개선하기 위해 레이저 송신기의 출력을 증가시키기 보다는 감지기의 수신 감도를 높여야 한다. 광잡음 환경에서 감지기의 수신 감도를 개선하여 위해서는 광학필터를 이용하여 광잡음을 차단하는 것이 좋은 방안이 될 수 있다.

2. 협대역 광학필터를 이용한 광잡음 차단

다중 통합 레이저 교전 시스템에서 사용하는 레이저

송신기는 900nm 파장의 레이저 빔을 발사한다. 따라서 통과대역 파장범위(wavelength range)는 895~915nm로서 협대역이고 투과율은 0.78인 간섭 광학 필터(interference optical filters)를 적용하여 광잡음 제거를 시도하였다.

우선 광학적 잡음을 차단한 암실에서 레이저 송신기로 제작한 무선 레이저 감지기에 입사각 0°로 발사하고 무선 레이저 감지기가 제대로 해독해 내는지를 실험하였다.

협대역 광학필터가 설치되지 않은 경우 광잡음이 없는 상태에서 수신한 레이저 빔으로부터 정보를 올바르게 해독하여 정상적인 작동을 하였으나 인위적으로 광학적 잡음을 암실에 주입하면 오작동을 하였다. 반면에 협대역 광학 필터를 설치한 경우에는 광학적 잡음의 유무에 상관없이 정상적인 작동을 하였다. 이로써 협대역 간섭 광학 필터의 광잡음 제거 효과를 확인할 수 있었다.

한편, 협대역 간섭 필터에는 청색천이(blue shifting) 현상이 발생한다. 청색천이(blue shifting)란 필터의 중심 파장이 입사각이 증가함에 따라 짧아지는 것으로 입사각 θ 에 의해 천이된 파장을 λ_θ 라고 할 때 다음 수식으로 표현된다^[4-5].

$$\lambda_\theta = \lambda_o \frac{\sqrt{n_c^2 - \sin^2\theta}}{n_c} \quad (1)$$

여기서, λ_o 는 입사각이 0°일 때의 파장이고, n_c 는 도포(coating)된 물질의 실효 굴절율(effective index)이다.

레이저 빔이 협대역 간섭 필터로 입사될 때 입사각이 커지면 청색천이 현상에 의해 필터 통과대역의 중심 파장이 짧아져서 협대역 필터 본래의 대역폭에서 벗어나 수 있다. 이 경우 본래의 대역폭 내의 파장을 갖고 있는 레이저 빔이 차단되어 송신기에서 발사된 레이저 빔을 받아도 감지하지 못하는 감지 사각영역이 발생할 수 있다.

이를 확인하기 위해 광학적 잡음을 차단한 암실에서 협대역 간섭 필터가 장착된 무선 레이저 감지기에 입사각을 0°에서 90°까지 변화시키면서 레이저 빔을 입사시켜 해독해 내는 수신율을 측정하였다. 수신율은 레이저 송신기를 3000회 발사하여 무선 레이저 감지기에서 신호를 수신하여 해독까지 정상적으로 완료한 횟수의 비율을 백분율로 나타냈다. 식(2)는 수신율을 구하는 수식을 나타낸다.

$$\text{수신율}[\%] = \frac{\text{수신신호의 정상적 해독 횟수}}{\text{레이저 송신기의 발사횟수}} \times 100 \quad (2)$$

그림 3의 파란색 동그라미로 표시된 곡선이 입사각에 따라 측정된 수신율을 보여주고 있다. 레이저 빔의 입사각이 0°일 때 100%이던 수신율은 입사각이 30°를 넘어서면서 급격히 감소하여 34°이상부터는 수신율이 0%가 되고 있어 입사각에 따른 감지 사각이 존재하며 사각은 34°부터 90°까지가 됨을 확인하였다. 이는 교전 시 상대편 레이저 화기에 의해 피격될 수 있는 각도는 360°의 전 범위이고, 병사의 몸에 부착된 개별 무선 레이저 감지기가 감지해야하는 입사각은 0°부터 거의 90°까지 되어야한다. 따라서 협대역 간섭 필터를 무선 레이저 감지기에 적용하기 위해서는 이러한 감지사각 문제를 해결해야만 한다.

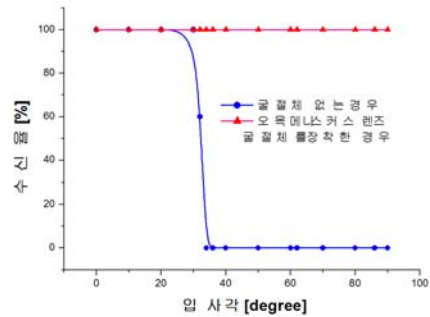


그림 3. 입사각에 따른 무선 레이저 감지기의 수신율
Fig. 3. Ratio reception of wireless laser detector depends on incident angle

이러한 감지사각 문제는 굴절체를 이용하여 입사각을 산란시킴으로써 문제를 완화할 수 있다^[6]. 굴절체는 다양한 형태가 가능하나 본 연구에서는 오목메니스커스 렌즈 굴절체를 이용하였다. 그림 3에 보인 바와 같이 협대역 간섭 광학 필터 전면에 오목 메니스커스 렌즈 굴절체(concave meniscus lens refractor)를 탑재한다. 레이저 송신기에서 발사된 평행한 레이저 빔은 오목 메니스커스 렌즈에 의해 굴절된 후 광학필터에 입사된다. 이때 레이저 빔이 오목 메니스커스렌즈의 어느 위치에 입사되는가에 따라 굴절되는 방향과 각도가 달라진다. 렌즈의 중앙을 기준으로 아래쪽에 입사된 빔은 아래 방향으로 굴절되고 위쪽에 입사된 빔은 위 방향으로 굴절된다. 또한, 중심으로부터 멀어질수록 더 많이 굴절된다. 결과적으로 평행하게 입사된 레이저 빔은 오목 메니스커스렌즈를 통과하면서 방향이 산란된다. 레이저 빔이 아래에서 위쪽으로 입사될 경우 렌즈의 중앙을 기준으로 아래쪽에 입

사된 빔의 굴절된 후 광학 필터에 입사될 때의 입사각이 감소한다. 레이저 빔이 위에서 아래쪽으로 입사될 경우 렌즈의 중앙을 기준으로 위쪽에 입사된 빔의 굴절된 후 광학 필터에 입사될 때의 입사각이 감소한다. 결과적으로 레이저 빔이 어느 방향으로 입사되건 반드시 렌즈 일부 부분에서는 필터에 입사될 때의 입사각이 감소하게 되어 청색천이 영향이 감소하는 효과를 얻게 된다.

그림 3의 세모로 마크된 빨간색 곡선은 협대역 간섭 필터에 오목 매니스커스 렌즈 굴절체(concave meniscus lens refractor)를 장착한 협대역 무선 레이저 감지기의 수신율을 측정된 결과를 보여주고 있다. 이 경우 감지 사각이 거의 사라졌으며 이로써 적절한 굴절체를 이용하여 감지사각 문제를 해결할 수 있음을 확인할 수 있었다.

IV. ZigBee를 이용한 개인영역망의 특성

무선 레이저 감지기의 데이터를 PU로 전달하기 위해 ZigBee로 개인영역망을 형성하고 무선 레이저 감지기의 신체상의 부착위치와 전송전력에 따른 수신율 특성을 분석하였다.

실험을 위해 인체 마네킹의 가슴, 등, 머리 좌와 우의 4 위치에 무선 레이저 감지기를 부착하고 PU는 좌측 어깨에 부착하였다. 각 부위에 장착된 무선 레이저 감지기에서 3000회 반복하여 송신하도록 하여 PU에서 정상 수신된 횟수를 측정하여 수신율을 구하였다. 이 실험은 무선 레이저 감지기 내 ZigBee의 송신출력을 변화시켜 가면서 반복함으로써 정상 수신에서 수신불능으로 변화하는 구간을 검출할 수 있었다.

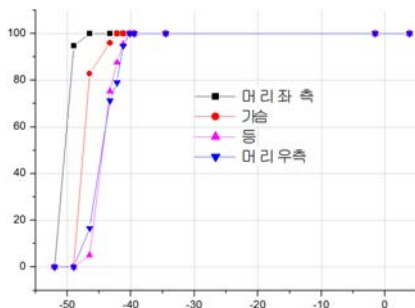


그림 4. 장착 위치와 송신전력에 따른 PU 수신율
 Fig. 4. Ratio reception of PU depends on attachment place and transmission power

장착 위치와 송신전력에 따른 PU 수신율 변화에 대한 실험결과를 그림 4에 정리하여 놓았다. 가장 수신이 용이한 위치는 머리좌측이었고 -46.5dBm으로 100% 수신율을 확보할 수 있었다.

두 번째로 수신이 용이한 위치는 가슴이었고 -42.2dBm으로 100% 수신율을 확보할 수 있었다. 세 번째로 수신이 용이한 위치는 등이었고 -40.2dBm으로 100% 수신율을 확보할 수 있었다. 수신이 가장 어려운 위치는 머리우측이었고 등과 가슴의 수신율이 차이가 나는 것은 마네킹의 가슴이 등보다 약간 볼록하여 상대적으로 수신이 조금 더 용이했던 것으로 보인다. 이 실험 결과로부터 검출기가 어떤 위치에 장착되던 -40.2dBm 이상의 출력으로 송신할 경우 100%의 수신율을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결론

ZigBee를 이용한 개인영역망으로 구성된 무선 다중 통합 레이저 교신 시스템을 구현하였다. 소형 및 경량화를 위해 해독기는 소프트웨어적으로 구현하였고, 협대역 광학 필터를 이용하여 시스템의 부하를 줄여줌으로써 저 전력화를 꾀하였다. 제작된 무선 레이저 검출기는 광잡음 환경에서도 정상 작동하였다. ZigBee를 이용한 무선 개인영역망을 통한 좌측 어깨에 부착된 PU와의 통신은 무선 레이저 검출기의 부착 위치에 따라 다소 차이가 있었으며 머리좌측, 가슴, 등, 머리우측 순서로 수신감도가 좋았다. 한편, -40.2dBm 이상의 출력으로 송신할 경우 100%의 수신율을 확보할 수 있었다.

References

[1] S. Ullah, H. Higging, M. Siddiqui, and K. Kwack, "A Study of Implanted and Wearable Body Sensor Networks," N.T. Nguyen (Eds.): KES-AMSTA 2008, LNAI 4953, pp. 464-473, 2008.

[2] Y. Choi, and J. Pyun "Research on Development of Energy Efficient Wireless Body Temperature Sensor Node," Korean Institute Of Information Technology, pp.438-441, May 2013.

- [3] H. Kang "Review of Wireless Body Area Network Channel Model," Korean Institute Of Information Technology, pp.69-72, May 2013.
- [4] W. Jang, T.W. Beom, H. Cui, J.R. Park, S.J. Hwang, Y.J. Lim, and S.H. Lee, "Reduction of Viewing-Angle Dependent Color Shift in a Reflective Type Cholesteric Liquid Crystal Color Filter", The Japan Society of Applied Physics, pp.1-3, 2008.
- [5] C. Amabile, E. Prati, F. Costa and A. Monorchio, "Effect of The Metal Sheet Thickness on The Frequency Blueshift in Single Layer Compos-ITE Materials at Ka Microwave Frequency", Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 22, pp.47-58, 2011.
- [6] H. Ki, "A Narrow Band MILES Detection System With Reduced Blind Angle of Detection Using Refractors", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49-SD, NO. 7, pp.10-16, 2012.

기 현 철(정회원)



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업.(공학사)
- 1986년 8월 : 한양 대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 졸업.(공학박사)
- 1986년 ~ 1989년 : 한국 전자통신연구원 연구원.

- 1996년 ~ 1997년 : 미국 조지아공대 post.doc
 - 2010년 ~ 2012년 : 미국 UCLA 객원교수
 - 1992년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수.
- <주관심분야> : RFIC설계, Meta-material 응용, 아날로그 회로설계, 광통신용고속IC설계