

# 인라인 커넥터를 고려한 채널 기반의 차량용 SerDes 성능 평가

정우진<sup>1)</sup>·송호승<sup>1)</sup>·최은민<sup>1)</sup>·강수원<sup>2)</sup>·최지웅<sup>\*1)</sup>

대구경북과학기술원 정보통신융합전공<sup>1)</sup> · VSI 총괄부<sup>2)</sup>

## Automotive SerDes Performance Evaluation under In-line Connector Channels

Woojin Jeong<sup>1)</sup> · Hoseung Song<sup>1)</sup> · Eunmin Choi<sup>1)</sup> · Suwon Kang<sup>2)</sup> · Ji-Woong Choi<sup>\*1)</sup>

<sup>1)</sup>Information and Communication Engineering, DGIST, 333 Techno jungang-daero, Hyeonpung-eup, Dalseong-gun, Daegu 42988, Korea

<sup>2)</sup>General Executive Department, VSI, 7 Beobwon-ro 11-gil, Songpa-gu, Seoul 05836, Korea

(Received 23 June 2020 / Revised 1 September 2020 / Accepted 2 September 2020)

**Abstract** : High-speed in-vehicle networks are required to process vast amounts of data from various sensors, such as cameras, light detection and ranging(LiDAR), and radars to develop autonomous driving technology. Automotive Serializer/ Deserializer (SerDes), such as flat panel display(FPD), gigabit multimedia serial link(GMSL), and Automotive SerDes Alliance (ASA), has been proposed in order to adopt high-speed SerDes technology to vehicles. In this paper, we investigate the optimal receiver environment parameters to provide the highest link performance for the Automotive SerDes channel under the in-line connectors mandatory for car assembly. In addition, we propose a channel estimation method by using auto-correlation in order to set the receiver analog front-end in an optimal way to achieve the highest signal-to-noise power ratio(SNPR) performance in various automotive link conditions.

**Key words** : Automotive serdes(차량용 직병렬 변환기), In-vehicle network(차량 내부 네트워크), In-line connector(인라인 커넥터), Equalizer(등화기), Auto-correlation(자기 상관)

### 1. 서론

최근 자율 주행 자동차의 기술이 나날이 발전되고 있으며, 높은 수준의 자동화 기술을 위해 라이다, 레이더, 카메라와 같은 센서들이 사용되고 있다. 이러한 센서들은 자율 주행 차량의 인지, 판단, 제어 3 가지 단계 중 인지를 담당하고 있으며, 탑승자의 안전을 위해 높은 성능이 요구된다.<sup>1)</sup> 현재는 SAE(Society of Automotive Engineers) International이 정의한 자율 주행 기술 레벨 3에 머물러 있지만, 레벨 5를 목표로 다양한 자율 주행 기술이 연구되고 있다. 이에 따라, 센서들은 1.6 Gbps에서 최대 48 Gbps의 전송률로 동작하게 되고, 이를 위해 고속의 차량 내부 네트워크가 요구된다.<sup>2,3)</sup> 하지만 현재 사용되는 차량 내부 네트워크인 CAN(Controller Area Network), CAN-FD(CAN-Flexible Data), MOST(Media Oriented Systems Transport) 등으로는 언급한 전송률을 충족시킬 수 없다.

현재 차량 내부 네트워크의 부족한 전송률을 해결하기 위해 차량에 이더넷을 적용하여 최대 10 Gbps까지 지원되는 802.3 ch와 같은 차량용 이더넷에 관한 표준 제정이 최근 완료되었다.<sup>4)</sup> 또한, SerDes(Serializer/ Deserializer, SerDes)를 차량에 적용하기 위해서 FPD(Flat Panel Display),<sup>5)</sup> GMSL(Gigabit Multimedia Serial Link),<sup>6)</sup> ASA(Automotive SerDes Alliance)<sup>7)</sup>와 같은 차량용 SerDes가 제안되었다. FPD의 경우 최대 4.16 Gbps, GMSL는 최대 3.1 Gbps, ASA는 최대 16 Gbps를 지원한다.

차량용 SerDes는 앞서 말했듯이 차량 환경을 고려한 SerDes 방식을 의미하며, 최대 16 Gbps의 전송률을 지원한다. SerDes는 직·병렬 변환기로서, 송신 측에서는 병렬 비트를 비트열로 직렬화하여 전송하고, 수신 측에서는 수신되는 비트열을 다시 원래의 병렬 비트로 복원하는 과정을 포함한다. 또한, 단일 쌍 케이블을 사용하며, 점대점 통신 방식을 갖는다. OSI(Open Systems Interconnection)

\*Corresponding author, E-mail: [jwchoi@dgist.ac.kr](mailto:jwchoi@dgist.ac.kr)

<sup>\*</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

7계층을 모두 사용하는 이더넷과는 다르게, SerDes는 2계층만을 사용하여 구현이 간단하고 프로세서의 개입 없이 빠른 속도로 동작할 수 있어서, 고속의 카메라 데이터를 압축없이 원본 데이터를 전송할 수 있으며 이로 인해 자율 주행의 정확한 판단 시스템을 이끌 수 있는 것이 특징이다.<sup>8)</sup> 따라서 차량용 SerDes는 앞서 언급한 이더넷의 단점인 무거운 상위 계층의 문제점을 해결할 수 있고, 높은 전송률을 갖는 통신 방식이다.

차량용 SerDes는 기존 SerDes와는 다르게, 차량 환경으로 인해 케이블의 길이가 길어진다. 따라서 삽입 손실 관점에서 봤을 때 높은 주파수에서 감쇄가 심하게 일어나고, 심볼 간 간섭(Inter-Symbol Interference, ISI)이 발생하게 된다. 이러한 문제는 채널 보상 기법으로 해결할 수 있다. 본 연구에서는 여러가지 채널 보상 기법들을 적용하여 차량용 SerDes의 수신기에 대한 성능 평가를 진행하였으며, 대상 채널로 표준 ASA 링크 채널을 제작하여 사용하였다. 여기서 ASA는 차량용 SerDes에 관한 표준을 제정하는 단체이며, 해당 표준은 2 Gbps에서 최대 16 Gbps의 전송률을 지원한다. 또한, ASA는 비대칭 링크를 지원하며, 주파수 분할 다중화 방식을 사용하는 차량용 SerDes인 FPD, GMSL과는 다르게 시분할 다중화 방식의 반이중 통신을 사용한다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 차량용 SerDes에서 사용되는 채널 보상 기법인 연속 시간 선형 등화기(Continuous Time Linear Equalizer, CTLE), 결정 궤환 등화기(Decision Feedback Equalizer, DFE), 순방향 등화기(Feed-Forward Equalizer, FFE)에 대하여 ASA 링크 채널에 따른 성능 평가를 진행하였으며, 이를 기반으로 최적의 수신기 환경 변수를 도출하였다. 실제 차량 채널에서는 차량 제작 및 조립을 위해 연결을 위한 인라인 커넥터가 필요하므로, 인라인 커넥터를 포함한 채널에서도 성능 평가를 진행하였다. 이때, 사용된 채널은 측정 결과를 기반으로 제작되었다. 또한, 임의의 채널에 대해 가장 높은 신호 대 잡음비(Signal to Noise Power Ratio, SNR)을 보장하는 수신기 환경 변수들을 결정하기 위해, 자기상관을 기반으로 한 채널 추정 기법을 이용하였다. 이를 앞서 언급한 인라인 커넥터를 포함하는 채널에 적용하여 사용된 기법에 대해 검증하였다.

## 2. 차량용 SerDes 시스템 모델

차량용 SerDes는 Fig. 1과 같이 송신기, 채널, 수신기로 구성되어 있고, 높은 전송률로 동작하므로 고주파에서 삽입 손실의 감쇄가 크게 일어난다. 이는 해당 채널을 통과한 신호에 심볼 간 간섭이 크게 발생하는 것을 의미하며,

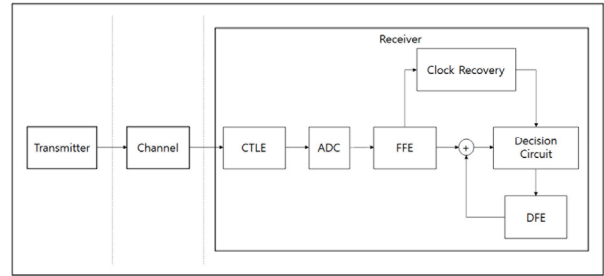


Fig. 1 Automotive SerDes system model

프리 커서 심볼 간 간섭과 포스트 커서 심볼 간 간섭의 수가 증가하게 된다. 이때, 프리 커서 심볼 간 간섭이란 한 심볼에 대해 이후에 전송될 심볼과의 간섭을 의미하며, 포스트 커서 심볼 간 간섭은 한 심볼에 대해 이전에 전송된 심볼과의 간섭을 의미한다.<sup>9)</sup>

이와 같이 감쇄가 크게 일어나는 고속 링크에서의 채널 보상을 위해 수신기에서 연속 시간 선형 등화기, 순방향 등화기, 결정 궤환 등화기 세가지의 등화기를 사용했다. 연속 시간 선형 등화기는 수신기에 적용된 아날로그 선형 필터로, 저주파 성분의 신호 크기 대비, 고주파 성분에서의 신호 크기를 증폭시키는 보상 기법이다. 하지만, 연속 시간 선형 등화기는 고주파 대역의 신호 크기를 증폭함과 동시에 노이즈 또한 증폭시키는 단점이 있다.

순방향 등화기는 입력 신호에 가중 값을 적용한 여러가지 지연된 신호 버전을 생성하고, 각 단계에서의 파형을 모두 더해 목표 대역의 신호를 복원하는 보상 기법이다. 하지만, 순방향 등화기는 채널을 통과한 신호를 보상하기 때문에, 목표 대역의 노이즈 또한 증가하는 단점이 있다.<sup>10)</sup> 결정 궤환 등화기는 수신기에 적용된 비선형 필터로, 검출된 신호에 가중 값을 적용한 후 피드백하여 신호를 보상하도록 하는 보상 기법이다. 수신기에서 노이즈 레벨을 증폭하지 않으면서 신호를 보상하기 때문에 더 좋은 노이즈 특성을 제공할 수 있다. 하지만, 결정 궤환 등화기는 비트 검출 오류 발생으로 인해 적합하지 않은 비트 피드백이 발생하게 되면, 다음 비트 또한 잘못된 방향으로 피드백하여 연속된 에러가 발생할 수 있다는 단점이 있다.

## 3. 성능 평가 환경

본 연구에서 차량용 SerDes의 수신기에 대한 성능평가를 진행하기 위해 선정된 변수는 채널 환경 변수와 수신기 환경 변수이다.

### 3.1 채널 환경 변수

ASA는 링크 세그먼트로 단일 쌍 차폐 연선과 동축선

송선을 사용한다. 실제 차량에서는 케이블 구성을 용이하게 하기 위해 인라인 커넥터를 사용하고, 여러 개의 짧은 케이블을 연결하여 긴 케이블을 구성하게 된다. 케이블 사이의 인라인 커넥터단에서 임피던스 부정합으로 인한 신호의 반사가 발생하여 삽입 손실이 달라지고, 특히 고주파 대역에서 인라인 커넥터의 영향을 많이 받는다. 즉, 동일한 길이의 단일 쌍 차폐 연선임에도 불구하고 인라인 커넥터의 유무에 따라 삽입 손실이 달라지게 된다. 본 논문에서는 인라인 커넥터가 포함된 열악한 채널에서도 안정적인 통신 환경을 제공하기 위해, 인라인 커넥터가 포함된 채널과 포함되지 않은 채널 모두에서 성능 평가를 진행하였다.

Fig. 2는 인라인 커넥터가 없는 채널로 ASA 채널을 참고하여 제작하였다. ASA는 최대 전송속도인 16 Gbps에서 8 GHz 심볼율에 PAM-4(Pulse Amplitude Modulation-4)와 리드 솔로몬(Reed-Solomon) 오류 정정 부호를 사용하므로, 비트 오류율이  $10^{-6}$  일 때 PAM-4 기법 사용시 요구되는 신호 대 잡음비는 21 dB이다.<sup>11)</sup> ASA 삽입 손실은 8 GHz의 심볼율에 대한 나이퀴스트율인 4 GHz에서 -28 dB로 제한되어 있으므로, 최악의 경우를 고려하여 4 GHz에서 최대 -30 dB의 감쇄정도를 갖는 채널까지 성능을 평가하였다. 또한, 다양한 채널에 대해 평가하기 위해 감쇄정도를 -10 dB부터 5 dB 단위로 세분화하여 ASA 채널을 제작하였다.

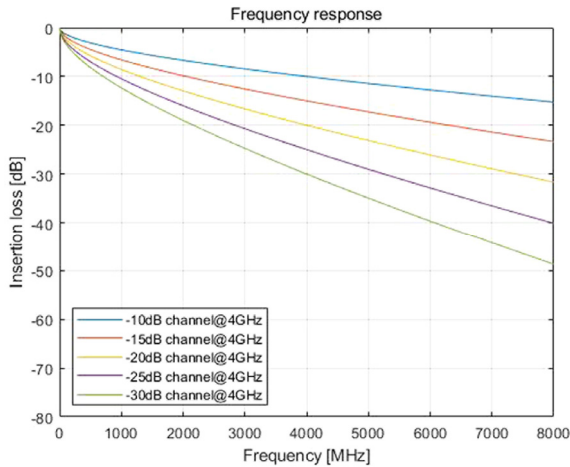


Fig. 2 ASA channel

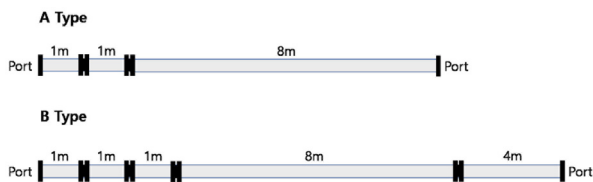


Fig. 3 In-line connector channel configuration<sup>12)</sup>

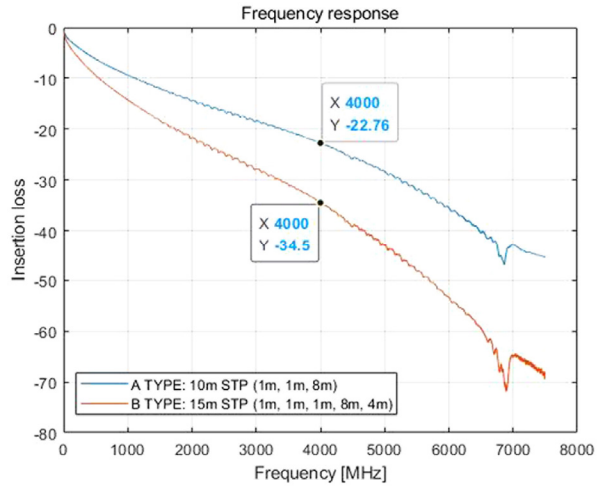


Fig. 4 802.3 ch channel with in-line connector<sup>12)</sup>

Fig. 3은 인라인 커넥터가 사용된 10 m와 15 m의 쌍 차폐 연선의 구성을 나타낸다. Fig. 4는 인라인 커넥터가 있는 채널로서, Fig. 3과 같이 구성된 케이블의 삽입 손실 측정 결과를 이용하였다. 해당 그래프를 통해, 인라인 커넥터를 포함한 채널이 Fig. 2의 인라인 커넥터가 없는 채널에 비해 열악한 채널 감쇄 특성을 갖는 것을 볼 수 있다. 해당 측정 결과는 802.3 ch에서 제공된 채널이며, Rosenberger 사의 Thomas Müller에 의해 측정되었다.<sup>12)</sup> 802.3 ch 또한 쌍 차폐 연선을 사용하기 때문에 ASA 채널로 사용될 수 있다. 노이즈는 차량의 온도, 주행 환경 등에 따라서 심해질 수 있으므로, 이를 고려하여 노이즈 파워를 -143 dBm/Hz으로 가정하여 성능 평가를 진행하였다. 이후, 제작한 ASA 채널에 대한 자기상관 기반 채널 추정 기법을 적용하여, 임의의 채널에 대해 수신기 환경변수를 매핑하는 방법을 고려하였다. 이때, 수신기 환경변수 매핑이 인라인 커넥터의 유무에 상관없이 실제 채널에서도 적용되는지를 판단하기 위해, Fig. 4의 채널을 사용하여 해당 기법이 적용됨을 확인하였다.

### 3.2 수신기 환경 변수

#### 3.2.1 연속 시간 선형 등화기 이득

Fig. 5는 사용된 연속 시간 선형 등화기의 회로도와 주파수 응답을 의미한다. 여기서, 영점과 극점인  $w_z$ ,  $w_{p1}$ ,  $w_{p2}$  값을 조정하여 원하는 대역의 이득을 증폭시킬 수 있다. 이때, 연속 시간 선형 등화기 이득은 증폭시키고자 하는 대역에서의 이득을 의미한다. 앞서 말했듯이, ASA는 높은 전송율로 인해 광대역이 필요한데, 고주파에서 삽입 손실의 감쇄가 수신신호를 크게 왜곡시킬 수 있다. ASA의 16 Gbps 전송 시 심볼율은 8 GHz이며, 이때 나이퀴스트율은 4 GHz이므로 연속 시간 선형 등화기는 4 GHz

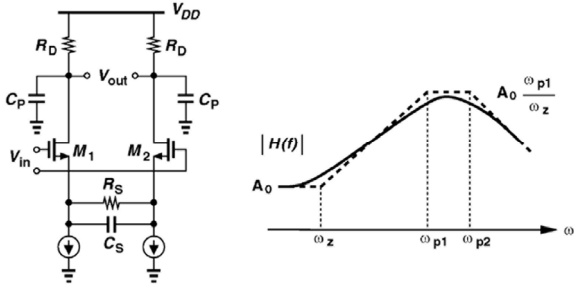


Fig. 5 CTLE circuit implementation and frequency response<sup>13)</sup>

에서 이득을 증폭시켜 감쇄된 채널을 보상한다. 하지만, 연속 시간 선형 등화기 이득을 크게 설정하면 채널 보상 뿐만 아니라 노이즈 증폭 또한 발생하므로, 채널의 감쇄 정도에 따라 적절한 연속 시간 선형 등화기 이득을 결정할 필요가 있다. ASA 채널에 대한 평가를 위해 연속 시간 선형 등화기 이득을 3 dB부터 21 dB까지 3 dB 단위로 증가시켜 성능을 평가하였다.

**3.2.2 순방향 등화기 탭 수, 결정 궤환 등화기 탭 수**

순방향 등화기 탭 수는 순방향 등화기가 보상할 프리 커서와 포스트 커서의 수를 의미한다. 탭 수가 증가함에 따라 채널의 심볼 간 간섭을 더 많이 제거할 수 있지만, 목표 대역의 노이즈 또한 증가시키는 단점이 있다. 그러므로 순방향 등화기의 탭 수를 최대 16으로 제한하였다.

결정 궤환 등화기 탭 수는 결정 궤환 등화기가 보상할 포스트 커서의 수를 의미하고, 이를 증가시키면 채널의 더 많은 포스트 커서 심볼 간 간섭을 제거할 수 있다. 고속 링크에 사용되는 결정 궤환 등화기의 경우 탭 수에 따른 비트의 경우의 수를 사전에 계산하는 Loop unrolling 방식을 사용하는데, 결정 궤환 등화기는 탭 수가 증가함에 따라 칩의 면적 과 전력소모가 증가하게 되는 단점이 있다.<sup>14)</sup> 그러므로, 결정 궤환 등화기의 최대 탭 수를 4로 제한하여 성능 평가를 진행하였다. 이때, 순방향 등화기, 결정 궤환 등화기 모두 최소 평균 제곱 오차(Minimum Mean Square Error, MMSE)가 적용됐으며, 수렴 방식으로는 최소 평균 제곱법(Least Mean Square Method, LMS)을 사용하였다. Table 1은 성능 평가를 위해 변경되는 수신기 환경 변수의 범위를 나타낸다.

Table 1 Range of the receiver environment parameter

	Minimum	Maximum	Unit
CTLE gain [dB]	3	21	3
# of FFE tap	1	16	1
# of DFE tap	1	10	1

**4. 성능 평가 결과**

**4.1 채널 환경 변수에 따른 수신기 환경 변수 결정**

**4.1.1 ASA 채널**

채널에 따라 가장 적절한 수신기 환경 변수를 도출하기 위해, 신호 대 잡음비를 평가 지표로 사용하였다. 앞서 언급했던 5가지 ASA 채널에서의 수신기 환경 변수들과 신호 대 잡음비 간의 경향성을 분석한 결과, 모든 채널에서 경향성이 일치하는 것을 확인하였다. 따라서, -25 dB 채널에 대한 결과를 대표로 사용하였고, 각 변수들과 신호 대 잡음비 간의 경향성은 Fig. 6 ~ Fig. 8을 통해 확인할 수 있다. 또한, 모든 변수에 대해 신호 대 잡음비가 앞서 언급했던 기준인 21 dB 이상을 만족함을 알 수 있다.

Fig. 6은 -25 dB 채널에서의 연속 시간 선형 등화기 이득의 변화에 따른 신호 대 잡음비 경향성을 나타낸 그래프이다. 이때, 경향성을 확인하기 위해서는 연속 시간 선형 등화기 이득 값을 제외한 다른 변수들을 임의의 값으로 고정해야 한다. 따라서, 연속 시간 선형 등화기 이득에 상관없이 가장 높은 신호 대 잡음비 결과를 갖는 순방향 등화기, 결정 궤환 등화기 탭 수를 사용하였다. 이에 순방향 등화기 탭 수는 3, 결정 궤환 등화기 탭 수는 4로 고정하였다. 채널의 감쇄 정도인 -25 dB보다 낮은 18 dB의 연속 시간 선형 등화기 이득에서 가장 높은 신호 대 잡음비 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 연속 시간 선형 등화기 이득을 18 dB보다 높게 설정하였을 때, 신호 대 잡음비가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 연속 시간 선형 등화기가 신호의 크기를 증폭시킬 뿐만 아니라, 해당 주파수에 있는 노이즈까지 증폭시키는 특성이 반영되었음을 알 수 있다.

Fig. 7은 -25 dB 채널에서의 순방향 등화기 탭 수의 변화에 따른 신호 대 잡음비의 경향성을 나타낸 것이다. 순

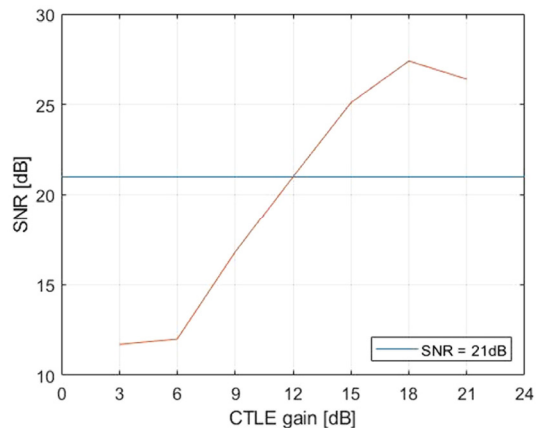


Fig. 6 SNR graph with CTLE gain on -25 dB channel

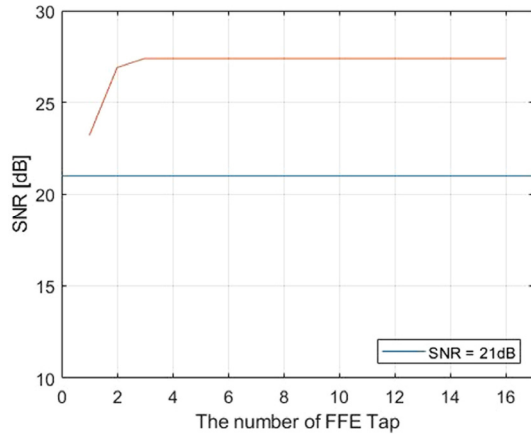


Fig. 7 SNR graph with FFE tap number on -25 dB channel

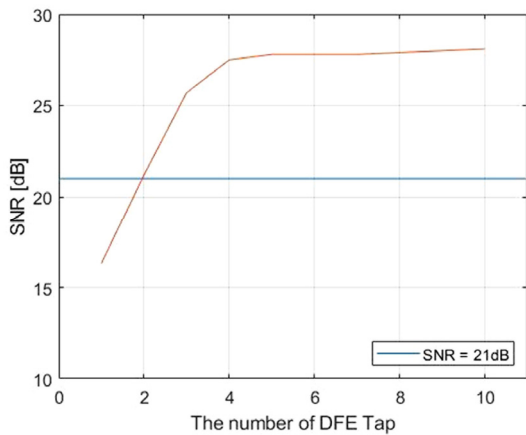


Fig. 8 SNR graph with DFE tap number on -25 dB channel

방향 등화기 탭 수를 제외한 다른 변수들을 고정하기 위해, 이전과 동일한 방법으로 결정 케환 등화기 탭 수는 4, 연속 시간 선형 등화기 이득 값은 Fig. 6에서 가장 높은 신호 대 잡음비 값을 가졌던 값인 18 dB를 사용하였다. 순방향 등화기는 목표 대역의 노이즈가 증폭되는 단점이 있기 때문에, 순방향 등화기 탭 수를 증가시켜도 신호 대 잡음비가 크게 증가하지 않는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 -25 dB 채널에서의 결정 케환 등화기 탭 수에 따른 신호 대 잡음비의 경향성을 나타낸 그래프이다. 이전과 동일한 방법으로, 연속 시간 선형 등화기 이득은 18 dB, 순방향 등화기 탭 수는 3으로 고정하였다. 결정 케환 등화기 탭 수가 증가할수록 신호 대 잡음비도 증가하지만, 4 탭 이후에는 신호 대 잡음비의 증가율이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 이때, 앞서 말했던 구현의 어려움을 고려하였을 때, 4 탭이 가장 적합한 탭 수이다.

앞서 제작한 5개의 ASA 채널에 대해 가장 높은 신호 대 잡음비 값을 갖는 수신기 환경 변수들을 도출한 결과는 Table 2를 통해 확인할 수 있다.

Table 2 Performance evaluation result on ASA channel

	CTLE gain (dB)	# of FFE tap	# of DFE tap
-10 dB channel	12	5, 8, 12, 13	4
-15 dB channel	15	3~8, 10, 11, 16	4
-20 dB channel	18	3~16	4
-25 dB channel	18	3~16	4
-30 dB channel	18	3~16	4

#### 4.1.2 인라인 커넥터 채널

실제 차량 환경에서는 인라인 커넥터가 포함되기 때문에, 이를 고려한 채널에서도 수신기 환경 변수와 신호 대 잡음비 간의 경향성 분석을 진행하였다. 해당 채널에 대해 가장 높은 신호 대 잡음비를 갖는 수신기 환경 변수들을 도출한 결과는 Table 3를 통해 확인할 수 있다.

Table 3 Performance evaluation result on in-line connector channel

	CTLE gain (dB)	# of FFE tap	# of DFE tap
A type	15	3, 4, 8	4
B type	18	3~14	4

#### 4.2 자기상관 기반 채널 추정 기법

Fig. 2와 Fig. 4의 채널들을 기반으로, 각 ASA 채널에 대해 가장 높은 신호 대 잡음비를 갖는 연속 시간 선형 등화기 이득, 순방향 등화기 탭 수, 결정 케환 등화기 탭 수를 도출하였다. 이때, 임의의 채널에 도출된 결과를 적용시키기 위해서, 임의의 채널을 ASA 채널로 근사화 매핑하는 방법이 필요하다. 따라서, 채널의 정보를 파악하기 위한 방법으로 자기상관을 기반으로 한 채널 추정 기법을 사용하였다. 자기상관은 신호가 시간에 따라 어느 정도의 특성 변화를 가지는지를 나타내는 척도로서 정의된다. 감쇄가 많이 일어나는 채널은 심볼 간 간섭으로 인해 현재 전송된 신호와 이후에 전송될 신호 간에 자기상관계수가 커지게 된다. 채널 추정 기법으로는 임의의 채널을 통과한 수신 신호의 한 심볼로부터 3 심볼 간격까지 전송된 심볼과의 곱에 대한 지수이동평균(Exponential Moving Average, EMA)을 고려하였다. 지수이동평균은 지수적으로 감소하는 가중치를 적용하는 1차 무한 임펄스 응답(Infinite Impulse Response, IIR) 필터로서, 최근 데이터에 높은 가중치를 두는 방법이다. 지수이동평균은 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$S_n[k] = \begin{cases} Y_k = s[k] * s[k+n], & k = 1 \\ aY_k + (1-a)S_n[k-1], & k > 1 \end{cases} \quad (1)$$

where  $k, n$ : UI,  $s[k]$ : symbol when  $k$  UI

식 (1)을 통해, 한 심볼로부터  $n$ 번째 수신 심볼과의 지수이동평균을 구할 수 있다. 이러한 지수이동평균 값을

은 수신 신호의 자기상관계수와 연관된 값이고,<sup>15)</sup> 이를 해당 심볼의 제곱에 대한 지수이동평균으로 나눈 값들을 각각 1, 2, 3차 상관비율(Correlation ratio 1, 2, 3)으로 정의했다. 지수이동평균 값을 실제 평균 값에 근사 시키기 위해서는 최소 7066 심볼이 필요하며, 이를 보장하기 위해 12000 심볼까지의 상관비율 값을 확인하였다.<sup>16)</sup>

Fig. 9에서 Fig. 11까지는 ASA 채널에서의 심볼 수에 따른 세 가지 상관비율 값을 나타내며, 세 가지 상관비율 값 모두 채널 감쇄에 반비례하는 경향을 보여주고 있다. 1차 상관비율의 경우, 심볼의 변화에 따른 상관비율의 간격이 일정하지 않아, 채널 추정 기법을 위한 판단 기준으로는 2, 3차 상관비율이 적합하다. 이때, 2차 상관비율과 3차 상관비율의 간격의 평균은 각각 0.11634, 0.086138로 2차 상관비율이 더 넓은 간격을 가지므로, 잡음에 보다 강인하다. 따라서, 채널 감쇄에 따른 비교 경향 및 선형성을 기준으로 보았을 때 2차 상관비율이 가장 최적으로 판단하였고 이를 이용하여 채널 추정을 진행하였다.

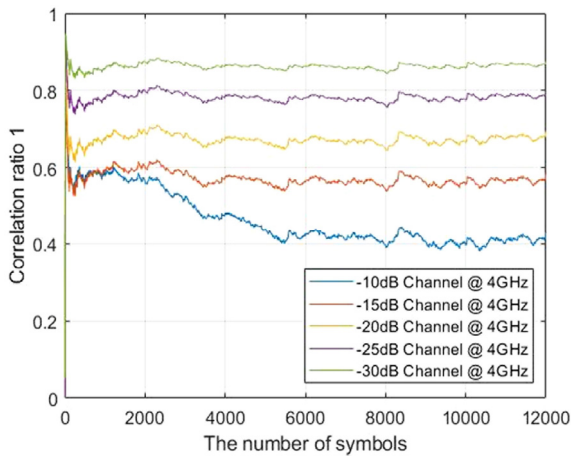


Fig. 9 Correlation ratio 1 of ASA channel

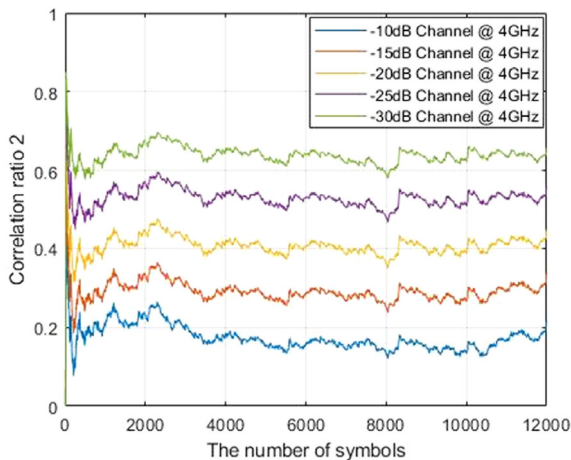


Fig. 10 Correlation ratio 2 of ASA channel

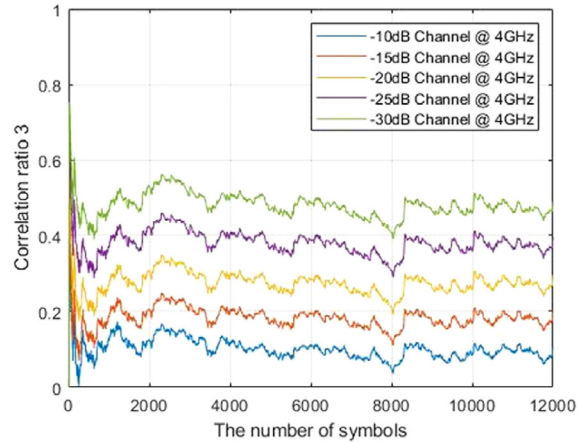


Fig. 11 Correlation ratio 3 of ASA channel

Fig. 12는 심볼 수에 따른 2차 상관비율과 이에 대한 평균 값을 표기한 그래프이다. 채널 추정을 위해 임의의 채널의 2차 상관비율에 대한 평균 값이 주어지면, 해당 채널과 최대 신호 대 잡음비를 갖는 수신기 환경 변수를 제공하는 ASA 채널 간의 매핑이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 각 채널의 상관비율 값의 평균을 계산하여 매핑을 진행할 수 있다.

Fig. 13은 Fig. 12의 각 ASA 채널에 대한 2차 상관비율 값들 간의 평균 값들을 표기한 그래프이다. 해당 값들을 이용하여 2차 상관비율 그래프는 다섯 개의 구간으로 나뉘지며, 각각은 ASA 채널로 근사화 매핑 될 수 있다. 이는 임의의 채널에 대한 2차 상관비율의 평균 값이 주어졌을 때, 해당 채널이 ASA 채널로 매핑 됨을 의미한다. 이러한 매핑을 이용하여, Table 2를 기반으로 해당 채널에서 가장 높은 신호 대 잡음비를 갖는 수신기 환경 변수 도출이 가능하다.

해당 기법을 인라인 커넥터가 포함된 Fig. 4의 채널에

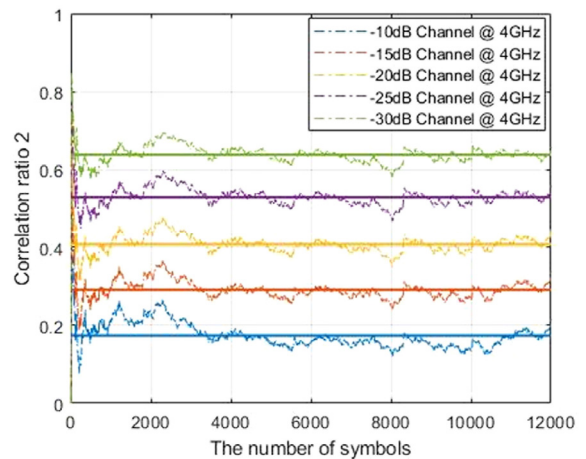


Fig. 12 Average of correlation ratio 2

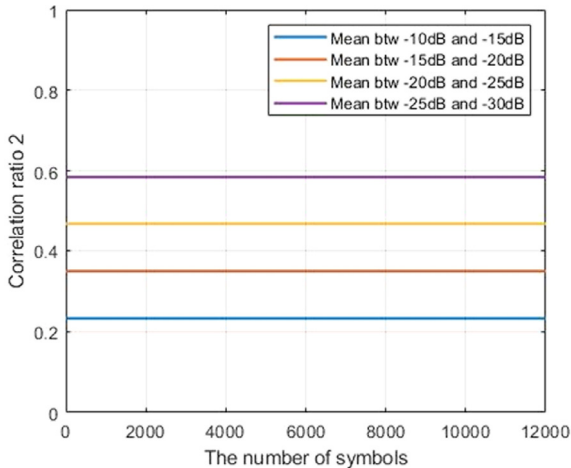


Fig. 13 Mean value between ASA channels

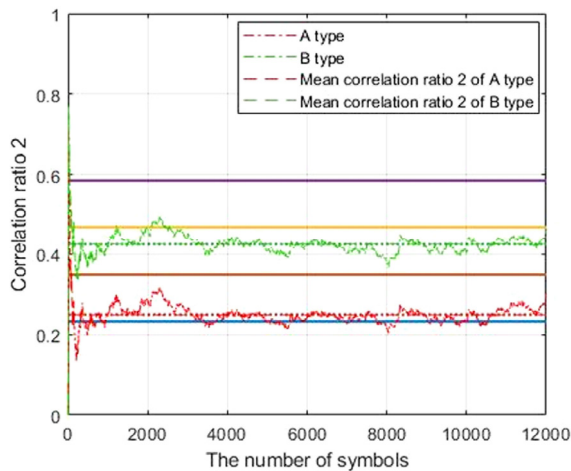


Fig. 14 In-line connector channel mapping to ASA channel

적용하여 검증한 결과는 Fig. 14와 같다. Table 2를 기반으로 해당 채널에 가장 높은 신호 대 잡음비를 갖는 수신기 환경 변수는 A type 채널의 경우 ASA의 -15 dB 채널, B type 채널은 -20 dB 채널의 값으로 매핑 됨을 볼 수 있다. 이는 앞서 구한 Table 3와 비교하였을 때, 가장 높은 신호 대 잡음비를 갖는 수신기 환경 변수와 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 해당 기법을 임의의 채널에 대한 채널 추정 기법으로 활용할 수 있음을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구를 통해 차량의 고속링크 수신기 설계를 위한 채널 분석 및 수신기 성능 평가를 진행하였다. 특히 차량 내 인라인 커넥터 유무에 따른 차량용 SerDes 채널 환경을 분석하였으며, 각 채널에 대해 가장 높은 신호 대 잡음비 값을 갖는 수신기 설계 파라미터(연속 시간 선형 등화기 이득, 순방향 등화기 탭 수, 결정 궤환 등화기 탭 수)를

도출하였다. 또한 자기상관을 활용한 채널 추정 기법을 이용하여, 임의의 채널에서도 최대 신호 대 잡음비 값을 갖는 수신기 환경 변수를 결정하는 방법을 소개하였다.

ASA 채널의 삽입 손실 제한이 4 GHz에서 -28 dB이므로, -30 dB까지의 채널 환경을 고려하여 수신기 환경 변수 결정을 진행하였다. 채널 환경에 따른 수신기 환경 변수들과 신호 대 잡음비 간의 경향성을 확인해본 결과, 사용된 연속 시간 선형 등화기, 결정 궤환 등화기, 순방향 등화기의 특성이 반영되어 있음을 확인하였다.

임의의 채널에 대해 최대 신호 대 잡음비 값을 갖는 수신기 환경 변수를 결정하기 위해, 자기상관을 활용한 채널 추정 기법을 활용하였다. 자기상관을 기반으로 한 상관비율을 계산하고, 해당 값에 대해 근사화 매핑 된 채널을 바탕으로 수신기 환경 변수를 결정하였다. 측정된 채널을 해당 기법에 대입해, 해당 기법을 임의의 채널에 대한 채널 추정 기법으로 활용할 수 있음을 검증하였다.

하지만, 현재는 매핑 방식으로 진행되고 채널 표본이 적으므로, 상관비율과 수신기 환경 변수의 관계식이 일관되게 정의되지는 않는다. 따라서 다양한 채널 환경을 구축해 해당 방식의 정확도를 높이는 과정이 필요할 것으로 보인다. 이러한 문제점이 해결된다면, 차량내 다양한 케이블 조립 환경에도 일관되게 적용될 수 있는 수신기 설계 기법을 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

### 후 기

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 DGIST 기관고유사업의 지원(20-CoE-IT-01)과 정보통신기술진흥센터의 지원(No. 2014-3-00065, 2019-0-01348)을 받아 수행되었음.

### References

- 1) K. Chu, J. Han, M. Lee, D. Kim, K. Jo, D. -E. Oh, E. Yoon, M. -G. Gwak, K. Han, D. Lee, B. Choe, Y. Kim, K. Lee, K. Huh and M. Sunwoo, "Development of An Autonomous Vehicle: AI," Transactions of KSAE, Vol.19, No.4, pp.146-154, 2011.
- 2) J. -S. Lee, K. Choi, T. Park and S. -C. Kee, "A Study on the Vehicle Detection and Tracking Using Forward Wide Angle Camera," Transactions of KSAE, Vol.26, No.3, pp.368-377, 2018.
- 3) Vector Inc., Advances towards A Compact In-vehicle Ethernet-, Camera-, Radar- & LIDAR-Measurement for High-bandwidth Driver Assistance Systems, [https://assets.vector.com/cms/content/events/2019/VH/VIC2019/5\\_Advances\\_towards\\_a\\_compact\\_in-ve](https://assets.vector.com/cms/content/events/2019/VH/VIC2019/5_Advances_towards_a_compact_in-ve)

- hicle\_Ethernet\_Camera\_Radar\_LIDAR\_.pdf, 2020.
- 4) IEEE, IEEE 802.3 Multi-Gig Automotive Ethernet PHY Task Force, <http://www.ieee802.org/3/ch/index.html>, 2020.
  - 5) Texas Instruments, FPD-Link Camera SerDes for Smaller Designs, <https://www.ti.com/interface/fpd-link-serdes/camera-serdes/overview.html>, 2020.
  - 6) Maxim Integrated, Gigabit Multimedia Serial Link (GMSL) SerDes ICs, <https://www.maximintegrated.com/en/products/interface/high-speed-signaling/gmsl-serdes.html>, 2020.
  - 7) ASA, Automotive SerDes Alliance, <https://auto-serdes.org>, 2020.
  - 8) Maxim Integrated, Choosing the Right High-Speed SerDes Technology for ADAS and Infotainment Systems, <https://www.maximintegrated.com/content/dam/files/design/technical-documents/white-papers/choosing-the-right-high-speed-serdes-tech-for-adas-and-infotainment-systems.pdf>, 2020.
  - 9) J. R. Barry, E. A. Lee and D. G. Messerschmitt, Digital Communication, Springer, Boston, 2004.
  - 10) L. -S. Kim, A Low Power CMOS Decision Feedback Equalizer for A Serial Link Receiver, M. S. Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, 2013.
  - 11) M. N. Sakib and O. Leboiron-Ladouceur, "A Study of Error Correction Codes for PAM Signals in Data Center Applications," IEEE Photonics Technology Letters, Vol.25, No.23, pp.2274-2277, 2013.
  - 12) T. Muller, 802.3ch Channel Measurement Results, <http://www.ieee802.org/3/ch/public/adhoc/2017-10-04%20802.3ch%20channel%20measurementresults%20.pdf>, 2020.
  - 13) S. Gondi and B. Razavi, "Equalization and Clock and Data Recovery Techniques for 10-Gb/s CMOS Serial-Link Receivers," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.42, No.9, pp.1999-2011, 2007.
  - 14) M. Kim, DFE Weight Control for Memory System Using Asymmetric Interface Environment, M. S. Thesis, Seoul National University, Seoul, 2018.
  - 15) A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, 3rd Edn., Pearson Education, London, 2009.
  - 16) A. J. Lawrance and P. A. W. Lewis, "An Exponential Moving-average Sequence and Point Process (EMA1)," Journal of Applied Probability, Vol.14, No.1, pp.98-113, 1977.