

정보감시정찰 무인기를 위한 광대역 공용데이터링크 시스템의 군 지연 보상 구조

김재신[◦], 김태훈^{*}, 김동현^{**}

Group Delay Compensation Structure of Wideband Common Data Link Systems for ISR UAVs

Jaesin Kim[◦], Taehoon Kim^{*}, Donghyun Kim^{**}

요약

본 논문은 274Mbps급의 공용데이터링크를 탑재한 무인기 시스템에서 광대역 듀플렉서로 인한 군 지연보상 기법을 제안한다. 기존 공용데이터링크 구조를 유지하면서 간단한 LMS 기반의 보상 구조를 추가할 수 있게 하였다. 구현 장비를 이용한 실험결과에서 제안된 구조는 수신감도 측면에서 7dB 이상의 이득을 보여준다.

Key Words : Common data link, ISR, UAV, group delay, compensation, duplexer, wideband

ABSTRACT

In this letter, we propose a group delay compensation scheme for wideband duplexer in ISR UAV systems with common data link (CDL) of 274Mbps. It is possible to add a simple LMS-based compensation structure while maintaining the existing CDL structure. Experimental results show that the proposed scheme has more than 7dB gain in terms of receiver sensitivity.

1. 서론

공용데이터링크(CDL: Common Data Link)는 무인기 등 공중 플랫폼의 센서들에서 수집된 정보감시정찰(ISR: Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) 데이터를 탑재장비를 통해 다양한 전송속도로 지상장비에 내려 보낼 수 있는 표준 전송 기술이다. FDD(Frequency Division Duplexing) 방식으로 삼기 때문에 상·하향 대역 간 격리를 위하여 광대역 듀플렉서가 요구된다^[1]. 해외장비의 경우, 최대 T4(274Mbps)급 데이터 운용이 가능하며, 하향대역은 430MHz, 상향대역은 200MHz이며 상·하향 대역을 320MHz 이격하여 운용하고 있다^[2]. 격리도 및 평탄도 특성을 최대한 유지하며, 공중 플랫폼 탑재를 위한 SWaP (Size, Weight and Power) 조건을 만족시키는 것이 중요하다. 이 경우, 광대역 듀플렉서에서 격리도 특성과의 trade-off에 의해 파라볼릭 모양의 군 지연 특성이 나타나게 된다^[3]. 필요한 감시정찰 자산 대비 주파수가 부족하기 때문에 이격대역이 줄어들수록 이 현상은 더 심화될 수 있다. 특히, 그림 1과 같이 T4급 데이터링크를 탑재한 2대의 무인기가 동시 운용되는 경우, 각각의 주파수는 하향대역의 중심이 아닌 군 지연 변동(GDV: Group Delay Variation)이 가장 심한 가장자리 부분에 할당되어진다. 이는 군 지연 왜곡으로 인한 수신 정상도를 퍼트리코 수신기 수신감도를 열화시킨다.

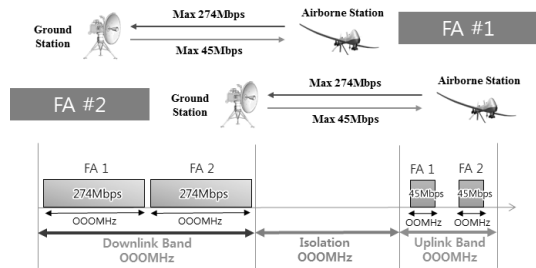


그림 1. 2개 대역 주파수 할당
 Fig. 1. Frequency allocation of two bands

[◦] First and Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-3814-243X) Agency for Defense Development, jaesin@add.re.kr, 정희원
^{*} (ORCID:0000-0001-5194-7681)Agency for Defense Development, sky-top1@add.re.kr, 정희원
^{**} (ORCID:0000-0002-2136-5944)Agency for Defense Development, dh-kim@add.re.kr
 논문번호 : 201806-D-036-LU, Received June 15, 2018; Revised July 22, 2018; Accepted September 12, 2018

II. 군 지연 보상 구조

2.1 수신기의 후처리 보상 기법

유사한 문제를 가질 수 있는 위성통신의 경우 위성 체에서 발생한 RF단 왜곡을 미리 보상하여 송신하는 선왜곡(Predistortion) 기법이 있다. 그러나 수신기에서 추가적인 피드백 RF체인이 필요하여 무인기의 SWaP 측면에서 부담이 될 수 있고, 본 데이터링크 시스템의 경우 수신기의 듀플렉서 왜곡은 보상되지 않는 단점이 있다.

따라서, 그림 2와 같이 수신기에서 GDV로 인한 전체 왜곡을 추정하고 이를 보상하는 후처리 보상 기법을 제안한다. 기존의 CDL 송신 프레임을 그대로 활용하면서 수신기에서 군 지연 보상 블록을 추가한다. 그림 2의 점선으로 된 블록은 CDL 수신기의 표준 구조이고 실선 블록은 보상을 위해 추가된 블록이다. 먼저, timing 동기를 통해 검출된 프레임 맨 앞의 preamble을 활용하여 LMS(Least Mean Square) 추정 블록에서 보상 필터 계수를 추정하게 된다. 그 다음, 추정된 계수 값은 1단계 및 2단계 보상 필터로 전달되어 왜곡된 데이터 구간에 대해 보상 필터링을 수행하는 구조이다.

추가된 블록들의 동작 유무를 통해 GDV 보상이 없는 OFF 모드, 고정계수 보상모드, 갱신계수 보상모드, 총 3가지의 운용모드가 가능하도록 하였다. 초기 수신된 프레임의 preamble을 이용하여 계수 추정이 되면 이는 1단계 GDV 보상 필터에 적용되어 고정된 필터계수 값을 유지한다. 그리고 그 다음 프레임에서 추정된 계수는 2단계 GDV 보상 필터에 적용되어 매 프레임마다 지속적으로 갱신을 한다. 따라서 고정계수 보상모드는 1단계 GDV 보상 필터만 동작하는 구조이고, 이것은 듀플렉서의 군 지연 특성이 시간에 따라 변화하지 않고 거의 정적이기 때문에 CDL에 보다 적

합할 수 있다. 갱신계수 보상모드는 부가적으로 2단계 GDV 보상 필터가 모두 동작하며, 듀플렉서의 군 지연 보상 뿐만 아니라 RF단의 전력증폭기 혹은 무선 채널 상에서 발행하는 왜곡을 동적으로 보상할 수 있게 한다.

2.2 LMS 추정 및 보상 필터 블록

여기에서는 그림 2의 LMS 추정 블록과 보상필터 블록 설계를 자세히 살펴본다. 기존 CDL의 프레임 구조를 그대로 쓰면서 왜곡을 추정하기 위해 224개 심볼 길이의 고정된 PN(Pseudo Noise) 코드를 사용하는 preamble을 LMS 추정 블록에서 활용한다. 이것을 기준으로 널리 알려진 LMS 방식의 반복계산을 통해 수렴된 보상 필터 계수를 산출할 수 있다. 또 다른 알고리즘으로 RLS(Recursive Least Square) 방식의 경우 일반적으로 LMS보다 수렴속도가 빠르지만 하드웨어 복잡도 등의 단점 때문에 LMS 방식을 채택하였다.

LMS 추정 블록의 설계 구조는 그림 3과 같다. feedback은 8탭, feedforward는 6탭으로 구현되어 있으며, LMS 성능에 큰 영향을 미치는 step size의 경우 다양한 사전 시뮬레이션을 통해 값을 $0.03125 (= 1/32)$ 로 설정하였다. 장비 실험결과에서 간단한 LMS 방식으로도 충분한 성능향상이 나타남을 알 수 있다.

그림 4의 GDV 보상 필터 블록의 경우 1단계와 2단계는 15탭으로 구성된 동일한 구조이다. 그러나 차이가 있다면 그림 2에서 2단계 보상 필터는 전후에 데이터/파일럿 구간에 대해 scrambler와 de-scrambler를 통과한다. 프레임의 데이터와 파일럿 구간은 peak-to-average power ratio를 감소시키기 위하여 송신단에서 scrambler를 포함한다. 수신단에서 de-scrambler를 통과한 데이터/파일럿 구간에 보상필터를 적용하면 왜곡이 발생할 수 있기 때문이다. 중복

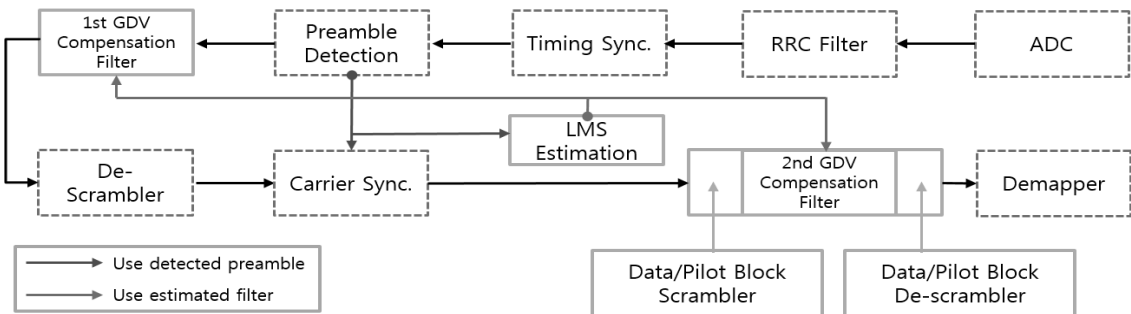


그림 2. 군 지연 보상 구조가 포함된 수신기 블록도
Fig. 2. Receiver block diagram including a group delay compensation

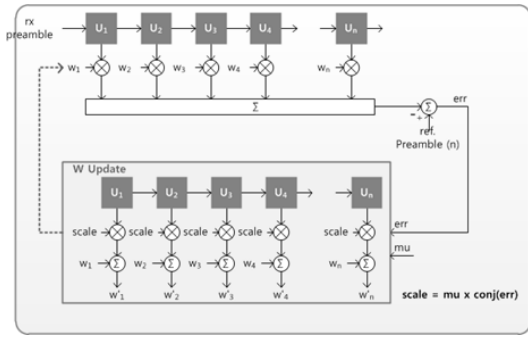


그림 3. LMS 추정 블록
Fig. 3. LMS estimation block

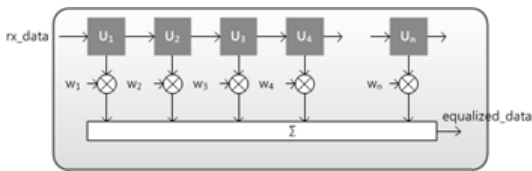


그림 4. GDV 보상 필터 블록
Fig. 4. GDV compensation block

된 블록처럼 보일 수 있지만 기존 CDL 수신구조를 활용하면서 앞서 말한 3가지 운용모드 동작을 위해서 포함하였다.

III. 장비 실험결과 및 결론

제안된 군 지연 보상 구조를 최종이 아닌 중간 T4 급 CDL 탑재 및 지상장비 시제에 구현하였다. 그림 5 오른쪽에 나와있는 제작된 탑재와 지상의 기저대역 조립체와 RF조립체, 제어노트북을 가지고 그림 5의

표 1. 실험 결과
Table 1. Experiment results

Frequency	Compensation Mode	Receive Sensitivity	GDV
f_{high}	OFF	-67.5 dBm	≈ 6 ns
	Fixed Coeff.	-74.5 dBm	
f_{low}	OFF	-75.5 dBm	≈ 3 ns
	Fixed Coeff.	-76.5 dBm	
f_{low-30}	OFF	-67.5 dBm	≈ 6 ns
	Fixed Coeff.	-75.5 dBm	

원편과 같이 수신감도 시험을 구성하였다. T4급 광대역 웨이브폼을 송수신하면서 3가지 중심주파수와 OFF모드, 고정계수 보상모드에서 수신감도를 측정하였다. 감도측정은 Ku대역 RF케이블을 연결하고 가변 감쇠기 조절을 통해 요구 오류 성능에 도달하는 최소 수신세기를 찾는 방식으로 하였다.

표 1에서 볼 수 있듯이 약 6ns의 GDV를 갖는 f_{high} 에서 7dB, 약 3ns의 GDV를 갖는 f_{low} 에서는 1dB 정도의 수신감도 향상을 관찰할 수 있다. 이 수신감도 차이는 기존 GDV로 인한 성능 저하 연구에서 분석한 결과와 유사하다^[3]. f_{low-30} 는 f_{low} 보다 약 30MHz 가량 더 낮은 중심주파수를 의미하며 약 6ns의 GDV가 발생하는 곳으로서 f_{high} 에서와 비슷한 8dB 정도의 성능 이득을 보인다.

결론적으로, 비교적 구현이 간단한 LMS 방식으로도 수렴이 잘 되고 GDV가 클수록 성능 향상 정도가 커진다는 것을 알 수 있다. 본 연구를 통해 고정계수 보상모드만으로 GDV의 영향이 없는 수신감도까지 달성할 수 있었다. 한편으로 T4급 웨이브폼이 통과하

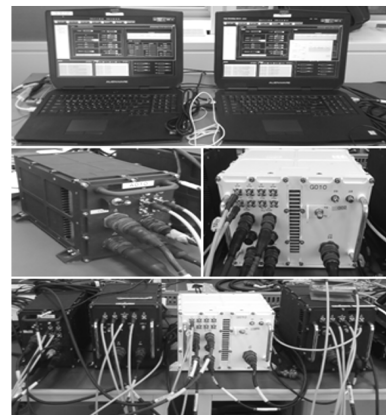
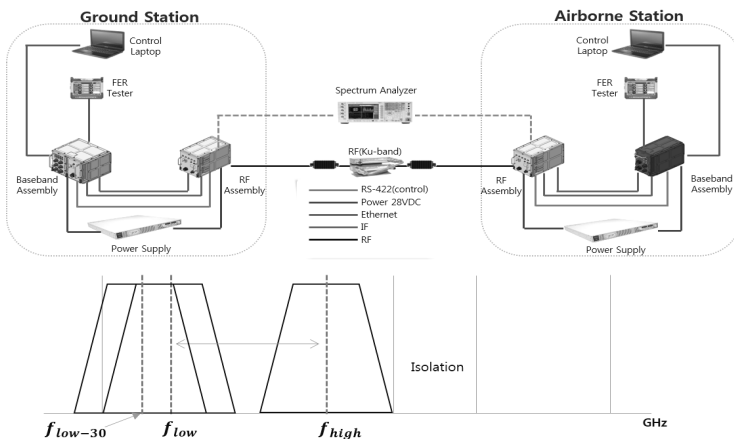


그림 5. 실험 구성도
Fig. 5. Experiment configuration

는 듀플렉서 대역의 GDV가 약 3ns 미만이라면 군 지연 보상모드의 운용 필요성이 적다는 것 또한 알 수 있다. 따라서 다양한 RF 장비구성과 동작 웨이브폼, 주파수 할당 상황에 따라 3가지 운용모드를 효율적으로 사용할 수 있을 것이다.

References

- [1] W. Kang, et al., "Analysis of common data link technology trends for the next generation Korean common data link development," *J. KICS*, vol. 39C, no. 03, pp. 209-222, Mar. 2014.
- [2] L3 Technologies, Inc., *TIGDL III*, from <http://www.l3t.com>.
- [3] J. Kim, et al., "A study on BER degradations in parabolic group-delay characteristics of the wideband RF duplexer," in *Proc. JCCI 2017*, Pusan, Korea, Apr. 2017.