

技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.39.2.170

시간지연데이터를 이용한 원격측정 성능향상

고광렬*, 이상범*, 김환우**

Telemetry Performance Enhancement Using the Time-delayed data

Kwang-Ryul Koh*, Sang-Bum Lee* and Whan-Woo Kim**

ABSTRACT

This paper proposes a telemetering method that transmits the real-time data together with the time-delayed data and that merges both data after flight test. The method can minimize the error data which occur in the communication environment affected by the multipath fading and transmit antenna pattern when telemetry data are received during the flight test. This method was applied to the design of the telemetry unit and the development of data merging program. By merging the resulting data of flight test and analyzing synchronization errors, its efficiency for the telemetry link is verified.

초 록

본 논문은 실시간 데이터와 시간지연데이터를 함께 전송하고 비행시험 이후 두 개의 데이터를 병합하는 원격측정방식을 제안한다. 이는 비행시험 중에 원격측정데이터를 수신하는 과정에서 다중경로페이딩과 송신안테나 패턴에 의해 영향 받는 통신환경에서 오류 데이터를 최소화하기 위한 것이다. 제안된 방식이 원격측정장치 설계와 데이터 병합 프로그램 개발에 적용되어졌다. 비행시험 결과 데이터를 병합하고 동기예러를 분석함으로써 원격측정을 위한 그 유효성을 입증한다.

Key Words : Telemetry(원격측정), PCM Encoder(PCM 엔코더), Frame Format(프레임 포맷)

1. 서 론

Telemetry란 용어는 ‘measure from far off’의 뜻을 가지고 있으나 일반적으로 비행시험을 위한 무선원격측정의 의미로 사용되어지며, 국내 탑재형 PCM/FM 방식의 원격측정은 80년대 초부터 연구 개발되어[1,2] 지속적으로 사용되고 있다.

원격측정의 목적은 비행체의 성능검증을 위하여 비행 중 발생하는 제반 상태정보들, 즉 전압, 전류, 온도, 응력, 비행자세 및 각 서브시스템 신

호 등을 지상으로 송신하여 성능분석에 필요한 자료를 획득하는 것이다. 탑재되는 원격측정장치는 각종 센서나 서브시스템으로부터 신호를 획득하여 내부 PCM 엔코더에서 시분할 방식(TDM, Time Division Multiplexing)으로 각각의 정보를 할당하고 무선통신 및 복원을 위한 동기패턴, 프레임 번호, 서브프레임 ID, 에러검사 채널 등이 더해져 frame format 구성하게 되고 송신기를 통해 무선통신으로 지상에 보내지게 된다[3].

지상에서 수신되어진 원격측정데이터는 RF 무선통신환경의 영향으로 인해 통신오류를 포함하게 된다. 이를 해결하기 위한 방법으로 LDPC(Low Density Parity Check)[4]와 같은 코딩을 사용한 오류수정에 관한 연구[5]가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 항공기 또는 유도무기

† 2010년 9월 17일 접수 ~ 2010년 12월 27일 심사완료

* 정회원, 국방과학연구소 통합교전통제부

** 정회원, 충남대학교 전자전파정보통신공학부

교신저자, E-mail : wwkim@cnu.ac.kr

대전광역시 유성구 궁동 220번지

비행시험과 같이 비행체가 다양한 기동을 수행할 경우에는 송신안테나 패턴의 null 영향[6]과 다중 경로 영향에 의한 fading 현상[7]에 의해 신호대잡음비가 급격히 작아지는 구간이 발생함으로 통신 오류를 배제하기 위해 기존의 오류수정 코딩 방식을 적용하기에는 적당하지 않다.

이러한 오류 발생에 대한 일반적인 대처방안으로 수신단에서 오류프레임 발생을 알려주고 송신단에서 재전송하는 방법[8]을 사용하지만 기존 수신 계측시스템 인프라가 단방향으로 구축되어 새롭게 적용하기는 현실적으로 어려운 상황이다. 한편으로 다수의 수신 사이트를 운용하는 방안이 (space diversity)[9] 현재 적용되어지고 있다. 각 사이트의 무선통신환경이 서로 다르기 때문에 오류프레임 발생도 독립적으로 발생한다. 따라서 이들 데이터를 병합할 경우 온전한 데이터를 확보할 가능성이 높아지게 된다.

그러나 다수 사이트 운용에서 획득한 데이터가 시간적으로 중복되지 않을 경우, 시간적으로 중복된 데이터가 모두 통신오류프레임을 갖는 경우와 다수의 사이트 운영이 불가능한 경우에 대하여 오류 데이터를 최소화하기 위한 또 다른 효과적인 대안이 필요하게 되었다. 더욱이 다수의 획득 데이터를 병합할 적절한 도구가 없어서 일반 데이터 사용자들은 획득한 데이터 중에서 가장 양질의 데이터를 선택하여 사용하거나 에러삭제 또는 필요부분만 발췌하여 추가하는 수작업을 수행(copy and paste 반복)하여 많은 시간이 소모되기 때문에 병합 방법[10]의 발전이 더불어 필요하게 되었다.

본 논문에서는 항공기 또는 유도무기 비행시험에서 실시간 프레임과 일정시간 지연된 프레임을 동시에 전송하고 수신된 원격측정 데이터들을 재구성하고 병합하여 무선통신환경 불량에 의해 발생되어지는 데이터 오류프레임을 최소화하기 위한 연구를 수행하였으며 비행시험 결과를 사용하여 연구 결과의 실효성을 입증하였다.

II. 본 론

2.1 시간지연데이터 병행전송

기존 원격측정장치의 송신기 입력신호는 PCM

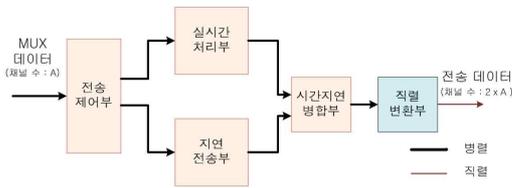


Fig. 1. 시간지연데이터 병행전송

엔코더의 내부에 있는 FPGA에서 디지털 믹서 (multiplexer) 출력인 병렬신호를 직렬신호로 변환한 PCM stream이 송신단의 입력으로 전송하는 것이 일반적인 구조[5,11]이다.

본 연구에서 직렬변환부 앞에 시간지연 데이터 병행전송 기능 적용을 제안하며 Fig. 1과 같이 구현한다.

전송제어부는 메모리 읽기/쓰기, clock과 address 신호와 같은 제어신호를 생성하여 쓰기 신호일 때 데이터입력을 실시간처리부와 지연전송부로 보내주고 지연전송부에 저장되는 데이터의 서브 ID 값을 실시간처리부의 서브 ID와 다른 상수 값으로 설정하며 임의지연시간 값(T)을 지정한다. 실시간 처리부는 입출력이 분리된 메모리로서 쓰기 제어신호가 입력되면 데이터를 입력 받아 저장하고 읽기 제어신호가 입력되면 시간지연병합부에 실시간 데이터를 전달한다. 지연전송부도 입출력이 분리된 메모리로서 쓰기 제어신호가 입력되면 데이터를 입력 받아 저장하고 읽기 제어신호가 입력되면 시간지연병합부에 일정시간(T초) 지연된 데이터를 전달한다. 시간지연 병합부는 제어신호에 따라서 실시간 데이터와 지연된 데이터를 번갈아 받아들여 직렬변환부로 보내준다. 마지막으로 직렬변환부는 시간지연병합부로부터 입력된 병렬 데이터를 직렬 데이터로 변환한다.

직렬변환부의 직렬데이터인 PCM stream은 Fig. 2와 같이 실시간데이터와 지연데이터가 병행하여 존재하는 프레임을 구성한다.

병행전송 프레임은 실시간데이터(상위 프레임)와 지연시간(T초) 만큼 지연된 데이터(하위 프레임)가 동일한 채널수이고 동일한 구조를 갖는다. 각 서브프레임의 구성요소는 일반적인 원격측정



Fig. 2. 병행전송 프레임 구성

에 적용되는 것으로서, 프레임 카운트(FC)는 시간기준으로 사용하기 위하여 매 프레임마다 1씩 증가하며 충분한 시간을 셀 수 있도록 40bits를 할당하였다. 서브프레임 번호 (Sub_ID)는 상위 프레임이면 '1'로 하위 프레임이면 '2'의 값을 갖도록 한다. 오류검사채널(error check)은 프레임에 오류를 포함하고 있는지를 검사하기 위한 채널로서 check sum 방식으로 모든 측정데이터를 'XOR' 연산한 결과 값을 갖는다. 동기패턴 [12](SYNC pattern, Synchronization Code Pattern)은 Barker code를 사용한다.

2.2 데이터 병합

수신 사이트에서 수집한 모든 PCM 파일들을 실시간 데이터와 지연데이터로 분리하여 파일을 생성한다. 각 파일에 대하여 오류프레임 교정을 수행한 후 병합정렬 알고리즘을 통하여 최종 출력파일을 생성한다. 이러한 데이터 병합[10]은 원격측정 프레임을 최적화할 수 있으며 Fig. 3과 같다.

원격측정 수신시스템에서 획득한 PCM 파일은 PCM stream이 자료처리되어 획득되어진 파일로서 확장명을 '*.pcm'을 사용하고 파일헤더에 점검명, 일시, bit rate, 워드 수, bits/워드 등의 정보를 포함하며 각 word 단위는 16 bits로 변환한 파일이다.

첫 번째 단계인 실시간/지연데이터 분리하는 각각의 수신데이터파일로부터 프레임 ID를 참조하여 두 개의 파일로 분리하는 것으로, 우선 수신데이터 파일명 뒤에 각각 '_SubID1'과 '_SubID2'이 첨부된 두 개의 새로운 파일을 생성하고, 수신데이터의 파일헤더 내용을 새로운 파일에 복사하며, 데이터 영역에서 SYNC pattern이 발견되면 서브프레임 번호(Sub_ID)에 따라 값('1' 또는 '2')에 따라 첫 번째 또는 두 번째 파일에 프레임을 복사한다.

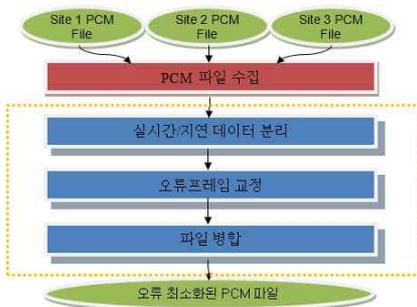


Fig. 3. 데이터 병합

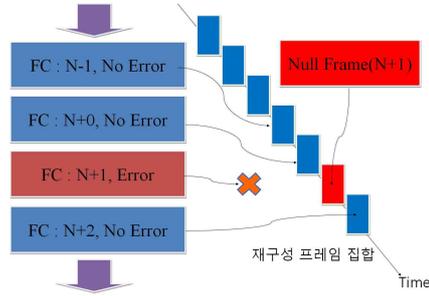


Fig. 4. 오류프레임 교정

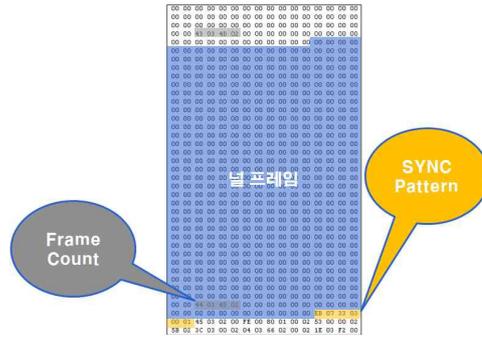


Fig. 5. 널 프레임

두 번째 단계인 PCM 파일의 오류프레임 교정은 에리발생영역에서 프레임 구분이 명확하도록 교정하는 것으로서 Fig. 4와 같다.

프레임번호(FC) 채널이 발견되고 동기패턴이 존재하며 오류검사채널 값과 측정데이터의 'XOR' 연산을 수행하여 일치하면 정상프레임으로 판단하면서 순차적으로 진행한다. 이 조건을 만족하지 않으면 오류프레임으로 간주하고 Fig. 5와 같은 널 프레임으로 교환한다.

널 프레임은 해당 프레임 번호를 삽입하고 나머지 채널 모든 값에 "0"의 값을 할당한 프레임이다. 삽입된 널 프레임은 오류 발생 구간을 확실히 정의하여 모든 프레임의 구별이 명확하도록 만들어 준다.

세 번째 단계에서 각 교정된 PCM 파일들을 병합정렬 알고리즘을 사용하여 Fig. 6과 같이 병합한다. 기준 파일을 설정하고 시작 프레임번호보다 작은 값을 갖는 정상 프레임을 출력에 정렬하고 임의의 시점에서 기준 프레임이 정상 프레임이면, 출력에 정렬하며 널 프레임이면, 다음 우선순위의 정상 프레임을 정렬한다. 모든 프레임이 널 프레임이면, 널 프레임을 정렬하고 기준파일의 마지막 프레임번호보다 큰 '정상 프레임'을 출력에 정렬하므로 병합되어진 최종 출력 파일에는 최소 오류프레임을 포함하게 된다.

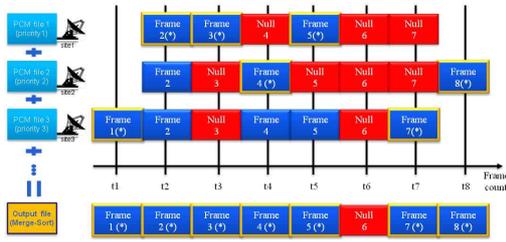


Fig. 6. 병합정렬

2.3 비행체 탑재 시스템 구현

탑재시스템인 원격측정장치(TLM)는 카메라, 센서들 및 체계장비들로부터 계측되어지는 영상 신호 및 각종 신호 및 정보들을 지상에 송신함으로써, 비행체의 상태 모니터링을 가능하게 해주고 비행체 성능 분석을 위한 자료를 제공해주며, 신호처리모듈, PCM 엔코더 모듈, 영상압축모듈(VCM, Video Compressing Module), 통합모듈(AVTDM, Airborne Video and Telemetry Data Module), RF 송신기 등으로 구성되며 그 외형은 Fig. 7과 같다.

신호처리카드를 통해 PCM 엔코더로 입력되는 센서 신호의 종류는 스트레인, 가속도, 온도, 전류, 전압, 디지털통신 등이 있으며 이 중에서 디지털통신 신호는 1개의 시리얼통신으로 입력되지만 전체 전송 데이터 량의 약 40%에 해당한다.

Fig. 8은 입력되어지는 신호들을 1개의 PCM stream으로 변환하는 PCM 엔코더의 블록도이다. PCM 엔코더 부는 외부 디지털 신호 및 신호조절부로부터 입력되는 신호를 일정한 타이밍에 제어하고 부호화하여 시리얼 스트림 형태로 데이터를 PCM 저장모듈 및 TLM/통합 모듈(AVTDM)로 보내는 역할을 한다. 내부 신호처리는 프레임 구성하여 PCM 저장모듈로 보낼과 동시에 실시간 데이터와 지연된 데이터를 나란히 전송하는



Fig. 7. TLM 외형

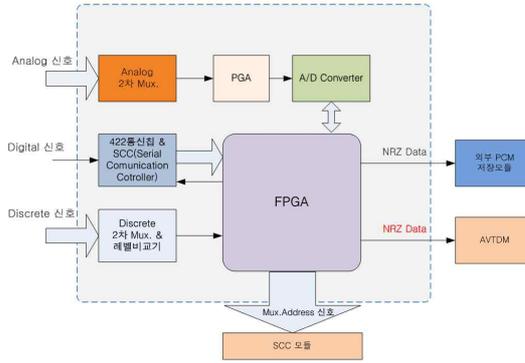


Fig. 8. PCM 엔코더 블록도



Fig. 9. PCM 엔코더 카드

병렬 프레임을 구성하여 최종 AVTDM으로 전송한다. 모듈 내부 구성에서 아날로그 MUX부는 다중 아날로그 채널 입력을 선택하여 PAM 신호로 만든다. 게인조절부(PGA)는 입력 신호의 gain을 프로그램으로 제어하고 gain의 영점 조정 및 gain 조절을 한다. A/D 변환기는 gain이 조절된 PAM 신호를 디지털 신호로 변환한다. Discrete 2차 Mux. & 레벨 비교기는 다중 디스크리트 채널 입력을 선택하여 신호 레벨을 판단하여 'Low', 'High'를 출력한다. 디지털신호는 422통신 칩 및 SCC(Serial Communication Controller)를 통해 FPGA로 입력된다. 각 구성부에서 처리된 데이터들은 FPGA로 모여져 일정한 형식(Format)으로 데이터 처리를 수행하게 된다. 즉, FPGA에서 디지털 신호, 동기부호, 아날로그 데이터, 디스크리트 데이터 및 시리얼 디지털 데이터를 BI-Phase 또는 NRZ-L부호레벨 형태의 프레임 단위로 출력한다.

Fig. 9는 PCM 엔코더의 제작형상이다.

카드형상위에 원으로 표시한 FPGA 내에 엔코더의 주요기능을 구현하였으며 Altera Corporation사의 Quartus 프로그램을 사용하여 설계하였다.

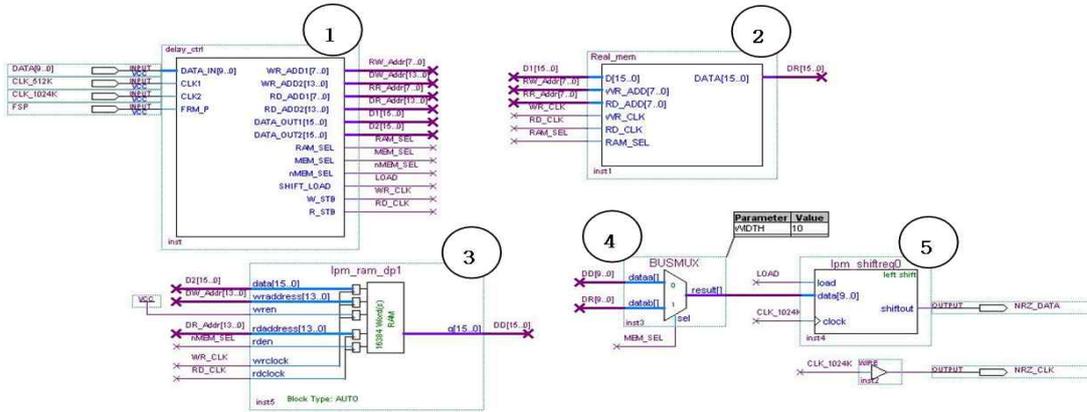


Fig. 10. 시간지연 데이터 병행전송 설계

앞에서 설명한 개념도의 실제 구현은 Fig. 10과 같이 설계되었다.

Fig. 10의 ①은 지연 전송 제어 및 데이터 처리부로서 데이터를 실시간 처리부 및 지연 전송부에 보내기 위한 제어 신호(메모리 읽기/쓰기 신호)를 최종 데이터 출력 타이밍에 맞게 만들어낸다. 또한 전체 데이터 프레임 구조에서 하위 서브프레임을 구분하기 위해 Sub_ID로 세팅하며 지연 시간을 세팅할 수 있으며 내부 구현은 VHDL로 작성하였다.

Fig. 10의 ②는 실시간 데이터 처리부로서 실제 외부에서 들어오는 실시간 데이터를 최종 데이터 구조 중 상위 서브 프레임에 구성하기에는 시간적으로 어려움으로 2개의 메모리를 사용하여 프레임 단위의 데이터를 번갈아 가며 저장/읽기를 한다. 이 부분에서 프레임 주기만큼의 실시간 지연이 불가피하게 발생한다. Fig. 10의 ③은 지연 전송 처리부로서 내부 듀얼 메모리를 사용하여 실시간 데이터를 메모리에 저장한 후 일정시간(T) 지연 후 메모리로부터 데이터를 읽어낸다. 듀얼 메모리는 FPGA 내부에 제공되는 메모리로 데이터 쓰기 및 읽기가 동시에 가능하다. 읽기/쓰기를 제어하는 신호는 지연전송 제어부로부터 받는다. Fig. 10의 ④는 데이터 병합부로서 실시간 데이터와 지연된 데이터를 순서대로 받아들인다. Fig. 10의 ⑤는 데이터 변환부로서 병합부로부터 건네받은 병렬 데이터를 직렬 데이터로 변환하여 출력한다.

2.4 병합 프로그램 구현

각 수신 사이트의 데이터를 병합하기 위하여 Visual Basic 프로그램을 사용하여 구현하였으며 실시간/시간지연 데이터 분리기능은 Fig. 11과 같이 수행한다.

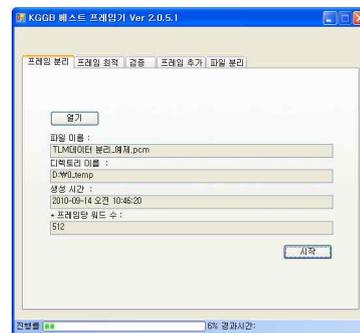


Fig. 11. 데이터 분리

프레임 분리 탭을 선택하고 사이트에서 수신한 병행 전송된 파일을 선택하면 선택되어진 파일, 디렉토리, 파일생성시간과 프레임 당 워드수를 표현하여 파일이 바르게 선택되었음을 확인하고 시작 버튼을 누르면 진행률과 경과시간을 표현하도록 설계하였다. 생성파일명의 끝에는 서브 프레임 ID의 숫자를 기준 파일명에 첨부하여 출력함으로 실시간 데이터와 시간지연 데이터를 알 수 있도록 하였다.

오류프레임 교정 기능과 파일병합 기능은 Fig. 12와 같이 한 단계로 구현하였다. 프레임최적 탭을 눌러서 두개의 분리된 데이터 파일을 선택하면 파일경로와 이름을 텍스트 박스에 보여준다. 시작 버튼을 누르면 오류프레임 교정 및 파일병합 기능을 수행하여 두 번째 파일명 끝에 '_Best'가 더해진 이름으로 출력한다. 서브프레임 ID("_sID*")를 갖는 파일이 선택될 경우는 서브 프레임 ID는 삭제하도록 하였다. 추가적으로 검증, 프레임 추가, 파일 분리 등은 기능검증, 저장모듈 데이터 재생, 원격측정장치 전원 재인가, 데이터 선조치 등 특별한 경우에 사용되는 옵션이다.

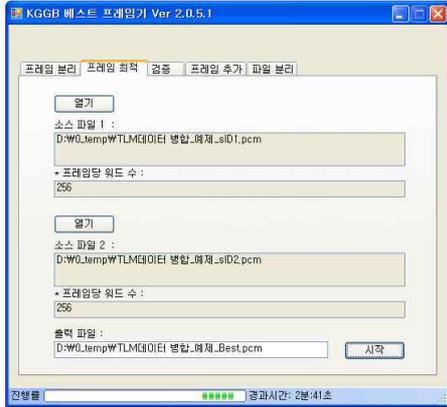


Fig. 12. 교정 및 파일병합

2.5 성능 입증

본 연구내용의 성능을 입증하고자 비행시험을 수행하였으며 두 개의 수신 사이트에서 원격측정 파일을 획득하였으며 수신 사이트1의 데이터는 Fig. 13과 같다.

RF 수신신호에서 통신상태 양호와 불량률의 기준이 되는 상대수신세기 값인 15[dB]는 탑재 TLM장치와 지상수신시스템 간의 통신 가능한 신호세기의 제한 값이다. 통신 불량 영역에 포함된 수신세기 시점에서 TLM데이터는 동기여러가 발생하게 되고 그 결과가 동기오류 프레임 수량에 잘 반영되어 보인다. 사이트1의 실시간 데이터 동기오류는 14401 개이고 시간지연 데이터에는 14428 개로 유사하게 나타나지만 이들 데이터의 병합결과의 동기오류는 9042 개로 실시간 데이터에 비하여 약 63%의 오류프레임을 갖게 되며 그 과정을 Fig. 14에서 보여준다.

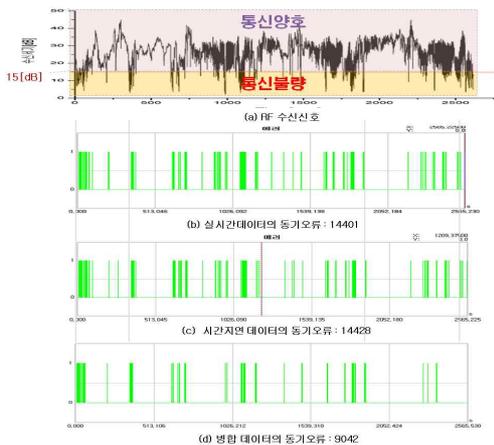


Fig. 13. 사이트1의 수신 데이터

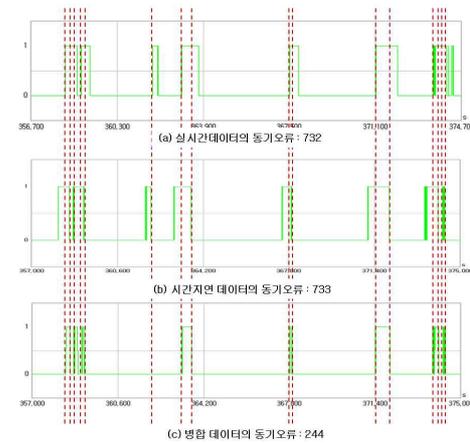


Fig. 14. 데이터 병합 기능

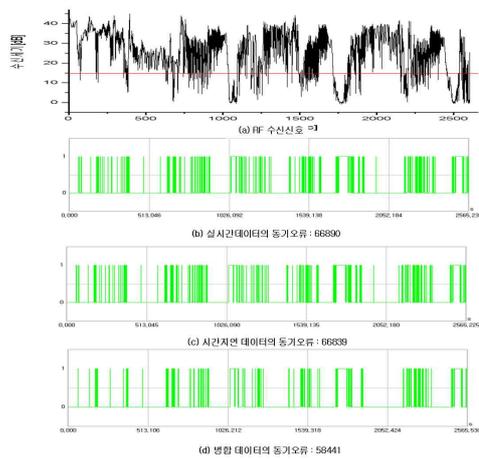


Fig. 15. 사이트2의 수신 데이터

356초부터 18초 구간 데이터를 확대하고 시간 지연데이터를 지연시간만큼 이동해서 정렬하여 병합데이터와 비교하면 실시간데이터와 시간지연 데이터 중에서 정상프레임이 존재하면 병합결과가 정상프레임이 되므로 병합결과가 양호해지는 원리를 확인할 수 있으며 같은 시간 데이터를 단순히 중복해서 보내는 전송방식[13]과는 다른 효과를 보여준다.

수신 사이트2에서 획득한 데이터는 Fig. 15와 같다. 사이트2의 데이터는 사이트1 보다 초기 구간을 제외하고 비행영역으로부터 원거리에서 수신하였기 때문에 전반적으로 통신오류를 더 많이 포함하고 있다.

두 사이트 수신데이터를 실시간 데이터만을 병합하였을 경우와 시간지연 데이터를 함께 병합하였을 경우의 비교 그림은 Fig. 16과 같다.

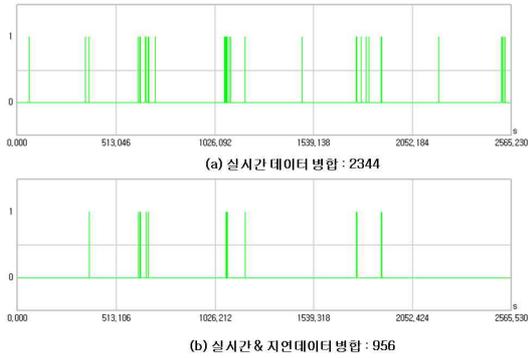


Fig. 16. 병합결과 비교

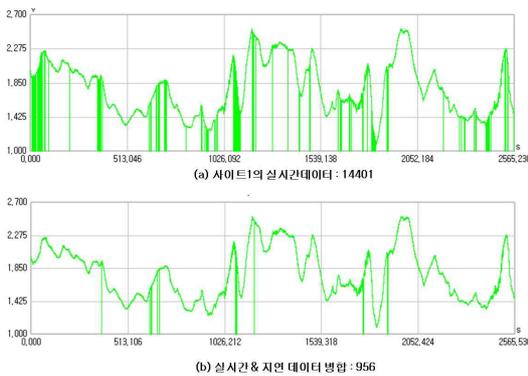


Fig. 17. 아날로그 채널 비교

실시간 데이터만을 병합하였을 경우는 2344 개의 프레임 동기오류를 포함하고 두 종류 데이터를 병합하였을 경우는 956 개를 포함하므로 양호한 수신 사이트의 실시간 데이터에 비하여 약 16.3%의 동기오류를 포함하고 모두 병합하였을 경우는 6.6%의 오류만을 포함하므로 시간지연 데이터 전송/병합에 의해 약 2.5배 오류를 줄이는 효과가 있다.

사이트1의 실시간데이터와 최종 병합결과에 대하여 임의의 아날로그 채널비교는 Fig. 17과 같으며 현저한 차이를 시각적으로 확인할 수 있다.

데이터 또는 병합과정에 따른 동기애러 프레임 수와 비율을 Table 1에 정리하였다.

두 수신 사이트에서 획득한 데이터들 중에서 양호한 사이트 데이터 1개를 선택해서 사용하는 기존의 방식에서는 전체구간의 2.8% 정도가 오류데이터인데 비하여 병합된 데이터를 사용할 경우에는 0.19%만 오류데이터를 포함하기 때문에 원격측정통신링크에서 발생되어진 오류데이터를 대략 15배 정도 줄이는 성능향상을 확인하였다.

Table 1. 병합 과정 및 결과

	동기애러 프레임 수 [개]	① 동기애러에 대한 비율 [%]	데이터의 에러프레임 비율 [%]
① 사이트1의 실시간데이터	14401	100.0	2.81
② 사이트1의 지연데이터	14428	100.2	2.81
③ 사이트2의 실시간 데이터	66890	464.5	13.04
④ 사이트2의 지연데이터	66839	464.1	13.03
①과②병합(사이트1병합데이터)	9042	62.8	1.76
③과④병합(사이트2병합데이터)	58441	405.8	11.39
①과③병합(실시간병합데이터)	2344	16.3	0.46
①,②,③과④병합(모두 병합)	956	6.6	0.19

III. 결 론

기존의 원격측정장치는 아날로그, 디스크리트, 디지털 신호를 입력받아 디지털 먹스를 통하여 PCM frame formatting을 수행하여 송신단으로 보내는 실시간 프레임 전송 기능만을 가졌으나, frame count, 동기패턴, 서브프레임 ID, 오류검사와 시험데이터로 구성되어지는 실시간 프레임과 동일한 구조를 갖는 일정시간 지연된 프레임을 병행 전송하여 무선통신환경 불량에 의해 발생되어지는 데이터 오류를 최소화할 수 있는 원격측정장치를 개발하였고 실시간데이터와 시간지연 데이터를 분리하고 다수의 데이터를 병합하는 프로그램을 제작하였다. 시간지연데이터 전송기능은 비행시험 중에 비행체의 각종신호를 지상으로 전송하는 원격측정장치의 PCM 엔코더와 RF 송신기 사이에 적용되어지는 기능으로서 PCM 엔코더에서 통상 사용되는 FPGA 설계로 구현되어지며, 입력되어지는 MUX 데이터를 실시간 전송과 더불어 임의의 지연시간 동안 메모리에 저장된 데이터를 병행 전송하는 기능을 수행한다. 데이터 병합기능은 비행시험에서 획득된 원격측정 데이터들을 재구성하여 데이터에 포함된 오류프레임을 최소화하기 위한 것으로 실시간/지연 데이터를 분리하고 오류프레임을 교정한 후 '병합정렬 알고리즘'을 이용하여 병합하는 기능을 수행한다.

개발된 장치는 비행체에 탑재되어 원격측정통신성능 검증을 위한 비행시험을 수행하였고 그 과정에서 획득한 시험 결과를 이용하여 지연데이터 병행전송 원격측정 방식이 비행체 기동에 의

한 통신오류 발생에 대한 효과적인 해결방안 임을 입증하였다. 추후, 다중 지연데이터 전송, 지연시간 최적화, 기존 채널코딩과의 성능비교 등을 수행할 계획이다.

참고문헌

1) 강정수, 이만영, "탐재형 PCM 원격측정장치에 관한 연구", 한국통신학회논문지, v.8 no. 1, 1983, pp. 1-11.
 2) 강정수, 이만영, "Telemetry PCM Encoder의 개발연구", 한국통신학회논문지, v.9 no. 1, 1984, pp. 1-10.
 3) Bernhard M.J. Leiner "LDPC Codes - a brief Tutorial", 2005.
 4) Bob Hayes, "LOW DENSITY PARITY CHECK CODES FOR TELEMETRY APPLICATIONS", Proceedings of the 43rd Annual International Telemetry Conference, USA, October 23-25, 2007.
 5) L3 communications, "Telemetry Tutorial", www.L-3Com.com/TW, what_is_telemetry.html
 6) 김태현, 김성완, 이재득, 이범선, 박동철, "전기적으로 큰 원통 도체 위에 장착된 역 F 안테

나의 방사 패턴 분석", 한국전자과학회, 제16권 7호, 2005, pp. 720-731.
 7) 김균희, 탁윤도, 신석현, "장거리 해상 통신 환경에서의 UHF 대역 전파 손실 측정", 한국전자과학회, 제17권 5호, 2006, pp. 490-495.
 8) 김낙현, 강대욱, "무선링크에서 비순서적 재전송을 이용한 성능향상 방안", 한국멀티미디어학회, 추계학술발표논문집, 2002, pp. 644-647.
 9) 이문승, 임길용, 이진, "공간 다이버시티 기법을 이용하는 FH/MFSK 신호의 간섭과 레일리 페이딩 환경하에서의 오류 확률 특성", 한국전자과학회지, v.5 no. 3, 1994, pp. 3-13.
 10) 고평렬, 안성복, 이상범, 이택준, "병합정렬 알고리즘을 이용한 원격측정 프레임 최적화에 관한 연구", 한국항공우주학회, 춘계학술발표논문집, 2010, pp. 885-889.
 11) 이상범, 고평렬, "원격측정장치 개발보고서", 국방과학연구소 보고서 TEDC-416-030635, 2003.
 13) Telemetry Group Range Commanders Council, "Telemetry Standards", IRIG Standard 106-01, Part 1, 2001.
 13) 박형원, 노홍준, 임재성, "한국형 합동전술데이터링크 구축을 위한 Link-16 PHY/MAC 기술분석", 한국통신학회지, v.26 no. 3, 2009, pp. 60-68.