

지연프레임 시간다이버시티와 RS 코드를 사용한 원격측정방식의 성능분석

고 광 렬*, 김 환 우*

Performance Analysis of Telemetry Method using Delayed Frame Time Diversity (DFTD) and Reed-Solomon Code

Kwang-Ryul Koh*, Whan-Woo Kim*

요 약

이 논문은 지연프레임 시간다이버시티(DFTD)를 외부코드로 사용하고 RS 코드를 내부코드로 사용하는 원격측정방식의 성능분석에 대하여 기술한다. DFTD는 탑재장치에서 실시간 프레임과 더불어 임의 시간동안 지연된 프레임을 함께 전송하고 지상에서 각 프레임을 병합하는 방식이다. RS 코드는 DFTD에 직렬로 연결되어지는 FEC(forward error correction) 코드이다. 이 방식을 원격측정장치 설계에 적용하여 깊은 페이딩이 존재하는 통신 환경에서 비행시험을 수행하였다. 비행시험 결과를 사용하여 코드적용이 없을 경우, DFTD만 적용할 경우, RS 코드만 적용할 경우와 DFTD와 RS 코드를 함께 적용할 경우에 대하여 각각의 성능을 분석한다. 시간지연 모의는 모든 프레임오류 제거 가능성을 보여주고 12회 비행시험 결과는 새로운 원격측정방식의 성능 우수성을 RS 코드만 적용하였을 경우와 비교하여 보여준다.

Key Words : Telemetry, DFTD, RS 코드, 프레임 오류, 깊은 페이딩

ABSTRACT

In this paper, the performance analysis of telemetry method using delayed frame time diversity (DFTD) as the outer code and Reed-Solomon (RS) code as the inner code is described. DFTD is used to transmit a real-time frame together with a time-delayed frame which was saved in the memory during a defined period. The RS code as a kind of FEC (forward error correction) is serially concatenated with DFTD. This method was applied to the design of telemetry units that have been used for flight tests in a communication environment with deep fading. The data of the flight test for four cases with no applied code, with DFTD only, with the RS code only, and with both DFTD and the RS code are used to analyze the performance. The simulation for time-delay suggests the possibility that all frame errors can be removed. And the results of 12 flight tests show the performance superiority of this new method to compare with the RS code only.

I. 서 론

원격측정은 항공우주산업과 유도무기개발 분야에
서 개발체계의 시험평가 단계 성능분석을 위하여

만드시 필요하다. 원격측정 엔지니어는 시험결과 검
토 및 상세분석을 위해 더 양질의 원격측정 데이터
를 제공하는 것이 하나의 업무 목적이 될 수 있다.
이를 위해 데이터가 포함하고 있는 오류 프레임의

• 주저자 : 국방과학연구소 제1기술연구본부 4부, kwang@add.re.kr, 정회원

* 충남대학교 전자공학과, wwkim@cnu.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2012-02-054, 접수일자 : 2012년 2월 8일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 11일

수를 줄이기 위해 여러 접근 방식을 시도할 수 있다.

ARTM Tier I & II^[1] 와 같이 최근 변조 기술을 사용하여 RF(radio frequency) link의 성능을 향상시키는 접근 방식으로 무선통신오류를 줄일 수 있다. 그러나 IRIG 표준 106 Class I^[2] 에서 추천되어지는 방법인 PCM/FM (pulse code modulation/frequency modulation)은 설계가 단순하고 시험환경에서의 강건성이 검증되어진 변조방식으로 원격측정 분야의 RF Link로써 30년 이상 사용되어 왔다^[3]. 결과적으로 주요 원격측정 설비들은 주로 PCM/FM 사용을 위한 장비들을 위하여 비용이 투자되어왔다. 최근 변조기술이 오류를 줄일 수 있는 데 도움을 줄 수 있겠지만, 새로운 장비를 구비하기 위한 비용과 시간을 고려하면 쉽게 채택하기 어려운 입장이다.

최근 FEC 기술과 ARQ(Automatic Repeat Request) 기술을 결합한 HARQ(Hybrid ARQ) 기술이 이동통신 분야에 적용되어지고 있다^[4]. 원격측정에서는 INET(Integrated Network Enhanced Telemetry) 분야로 적용되어지고 있으나 ARQ용 일부 데이터만 재전송하도록 고려되어지며 부적절한 ARQ 설정으로 인한 전체 성능저하를 우려하여 제한적으로 적용되고 있는 상황이다.^[5] 더욱이 국내의 하향링크로만 구축된 지상수신시스템의 한계 때문에 적용하기에 어려움이 있다.

RS 코드, Turbo 코드와 Low-Density Parity Check(LDPC) 코드 등의 FEC 코드는 신호 복원을 위해 추가정보를 사용하는 것으로서 또 다른 접근 방식이 될 수 있다. 비행시험환경에서 FEC를 적용하는 것은 프레임 오류를 줄이는 명백하고 근본적인 해결책이 될 수 있다. 그러나 다중경로 영향에 의한 페이딩, 비행체 움직임에 의한 송수신 가시선을 차단하게 되는 shadowing 현상, 또는 탑재 안테나의 송신 패턴 등의 이유로 채널 SNR(signal to noise ratio)이 연속적으로 수백 [msec] 동안 낮은 수치를 유지하는 경우(깊은 페이딩)가 실제 비행시험 환경에서 존재하게 된다. 이러한 상황에서 FEC의 멀티패스를 극복할 수 있는 능력이 통상 1 [msec] 보다 작기 때문에 이들 채널 코드들이 깊은 페이딩에는 도움을 주지 못한다.

그래서 공간 다이버시티 기술이 FEC 방식과 함께 사용되어지고 여러 수신 사이트의 데이터를 병합하는 방식이 보편적으로 사용되어지고 있다^[6,7]. 가능한 많은 수신 사이트를 운영하는 것이 양질의

데이터 획득 관점에서 유리하겠지만 인력과 고비용을 요구하기 때문에 현실적으로 불가능할 경우가 자주 발생하게 된다.

이 논문에서는 시간 다이버시티 기술과 FEC 기술을 함께 적용한 방식의 성능분석에 관한 것을 보여준다. 기존의 시간 다이버시티는 연속적으로 동일 비트를 반복하거나 연속적인 블록을 전송하고 오류정정 부호를 사용하는 방법^[8,9]이다. 이러한 방식으로 5 [msec] 프레임 주기를 갖는 시스템에서 300 [msec] 동안 유지되는 깊은 페이딩 구간에서의 프레임 오류를 해결하기에는 대역폭효율(spectral efficiency) 문제에 직면하여 구현하기 어렵다고 판단된다. 그러나 적용된 시간 다이버시티는 실제 비행시험환경에서 존재하는 깊은 페이딩 구간의 시간을 시험결과에서 확인하고 그 영향을 회피할 수 있도록 시간지연 상수를 결정하여 일회만 추가 전송하도록 고려한다. 이 방식은 기존의 IRIG 표준의 PCM/FM 방식에 추가 적용함으로써 시험 인프라의 변경 없이 구현할 수 있었다. 실제 비행시험데이터를 이용하여 원격측정 데이터 오류의 양을 현저하게 감소시킬 수 있음을 성능 분석한다.

II. 본 론

2.1. 외부코드와 내부코드 구조

구현한 원격측정방식은 외부코드로서 DFTD와 내부코드로서 RS 코드를 Fig. 1과 같이 구성하였다.

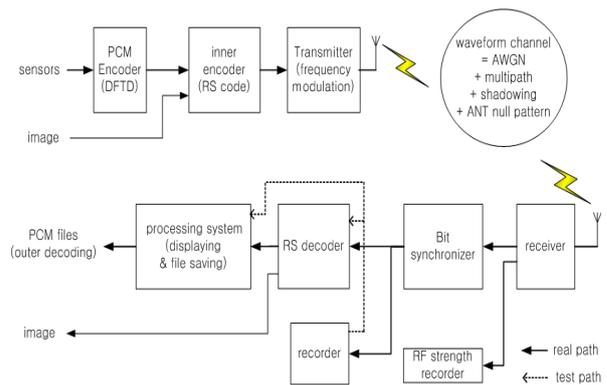


그림 1. 전체구조의 블록도
Fig. 1. Block diagram of the overall scheme.

이 논문에서 정의된 DFTD는 PCM/FM 코드^[1]의 변형이고 PCM 프레임^[2]과 시간 지연프레임을 함께 전송하는 것이다. 내부코드는 직렬로 연속되어지는 RS 코드이고 영상데이터를 추가적으로 소스코딩

(source coding)한 후에 적용한다. RF Link는 FM을 사용한다. 채널환경은 AWGN, 다중경로 페이딩, shadowing, 안테나 패턴 등의 영향을 포함한다.

RF 수신세기 레코더는 지상수신기의 AGC(auto gain control) 출력 신호를 기록한다. 수신기 'VIDEO' 커넥터의 출력신호는 RS 디코더로 보내짐과 동시에 비트싱크 장치를 통하여 데이터 레코더에 기록된다. RS 디코더는 이미지 신호를 분리하기 전에 외부 디코딩을 수행한다.

자료처리시스템은 실시간 프레임과 지연시간 프레임을 모두 데이터 파일로 저장하는 반면 실시간 프레임만 전시한다. 여기서 저장된 파일 형태는 확장자를 *.pcm으로 사용하고 프레임의 각 워드에 16 bits를 할당한 파일 구조이다. 내부 디코딩은 원격측정의 후처리 업무 중 하나로서 실시간 프레임으로 구성된 파일과 지연 프레임으로 구성된 파일로 나눈 후에 같은 시간 축을 기준으로 각 분리된 파일을 병합함으로써 공학 분석용으로 제공하는 원격측정 데이터를 획득한다.

Fig. 1에서 'real path'는 비행시험을 위한 신호흐름이고 'test path'는 시험이후 분석용 데이터를 획득하기 위한 신호흐름이다. 자료처리시스템은 상용 제품이 아니고 독립적으로 개발한 시제장치들이다.

2.2. DFTD 구조

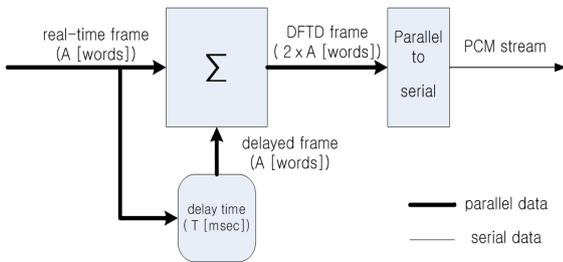


그림 2. DFTD 적용
Fig. 2. Implementation of DFTD.

전통적인 PCM 엔코더 구조에서 디지털 멀티플

렉서 출력인 실시간 프레임은 PCM 병렬신호에서 직렬신호로 변환되어진 후 송신부로 전달되어진다. 그러나 DFTD 구조에서는 Fig. 2와 같이 정의된 지연상수(T) 동안 메모리에 저장되어 있던 지연 프레임(delayed frame)이 실시간 프레임(real-time frame)과 함께 직렬신호(PCM stream)로 변환되어 송신부로 전달되어진다. 제작되어진 원격측정장치의 지연상수 값은 0~1000 [msec] 범위에서 임의 값으로 프로그램이 가능하도록 설계되었다. 그 프레임 구조는 Fig. 3과 같다.

실시간 프레임과 지연시간 프레임은 내부적으로 같은 구조와 크기를 갖는다. 그래서 한 프레임이 A 개 워드로 구성된다면 지연 프레임도 같은 워드를 갖기 때문에 DFTD 전체 프레임은 두 배의 A 워드를 갖는다.

내부 프레임 워드 중에서 FC(frame counter), Sub ID(sub frame identification), checksum과 SYNC(synchronization pattern word)는 DFTD 프레임 파일을 실시간 프레임과 지연시간 프레임으로 나누고 병합하는데 참조워드들로 사용된다. 이들 4개의 워드가 적절한 값을 갖는 프레임은 유효한 데이터로 남게 되고 그렇지 않으면 버려진다. FC는 매 프레임마다 1씩 증가하고 프레임 주기를 곱하여 탑재 원격측정장치에서 제공하는 시간으로서 사용된다. FC는 비행시험 동안 값이 반복되어지면 참조 값이 중복되어 프로그램 내에서 혼란이 발생하게 됨으로 이를 방지하기에 충분한 30 [bits]를 할당하였다. SubID는 실시간 프레임과 지연프레임을 구별하기 위한 것이다. 실시간 프레임의 경우 FC는 현재 값을 갖고 SubID는 항상 1의 값을 갖는 반면, 지연 프레임의 경우 FC는 지연상수 만큼 과거 값을 갖고 SubID는 항상 '2'의 값을 갖는다.

check sum 워드는 세로 패리티 검사(longitudinal parity check)를 사용하여 프레임에 오류가 포함되어 있는지를 확인하기 위한 워드로서 각 프레임에 추가된다. SYNC는 IRIG 106에서 추천되는 프레임 동기화 패턴을 사용한다.

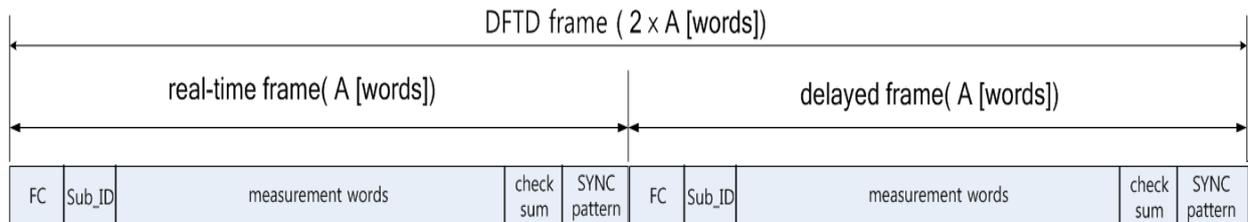


그림 3. DFTD 프레임 구조
Fig.3. DFTD frame structure.

데이터 병합은 설계된 “PC-based frame optimizer” 프로그램^[10]을 사용하여 수행되어 지는데, 획득한 데이터 파일들을 실시간 데이터와 지연 데이터로 분리하고 각각 오류프레임 교정을 수행하며 병합 정렬하여 최적의 프레임들로 구성된 출력 파일을 생성하는 것이다. 현재까지는 실시간 데이터 병합 구현이 되어 있지 못하는 아쉬움이 있다. 구현된 원격측정 방식이 DFTD 구현을 위하여 대역폭이 증가(1.2배)하게 되어 실시간 모니터링 품질이 약간 감소(0.8 [dB])되어 질수 있지만, 뒤에서 설명될 DFTD의 탁월한 성능 우수성을 고려하면 무시할 수 있을 정도이다. 추가적으로 제안된 방법과 여러 수신 사이트를 활용하는 공간 다이버시티를 함께 적용한다면 더욱 효과적이라고 판단한다^[11].

2.3. RS 코드 구조

IRIG 표준에서 추천하는 10-5 오류확률인 AWGN 채널에서 코드 적용 없는 PCM/FM의 BER(bit error rate)은 11.8 [dB]^[12]이고 RS(n, k) = RS(255, 239) 코드가 적용된 경우는 9.5 [dB]^[12]이다. R(n,k) = 0.5(504, 255)인 콘볼루션 코드인 경우의 BER은 4.2 [dB], LDPC인 경우는 3.3 [dB]이고 Turbo 코드인 경우는 3 [dB]이다^[13]. 여기에서 R은 코드율, n은 심벌블록이고 k는 데이터블록이다.

RS 코드보다 더 효과적인 FEC의 적용이 가능할 수도 있었으나 설계의 복잡성에 비하여 성능향상 효과가 작을 것이라 판단하였다^[12]. 그래서 8 [bits] 심벌 단위로 동작하는 RS(255, 239) 코드를 내부코드로 선택하였다. 이 코드는 239 개의 데이터 심벌에 16개의 패리티 심벌을 더하여 255개의 심벌 블록을 구성하여 블록 당 8개 심벌오류를 수정할 수 있는 능력이 있다.

III. 성능 분석

3.1. 성능분석을 위한 데이터 획득

코드가 적용되지 않았을 경우, DFTD 만 적용되었을 경우, RS 코드만 적용되었을 경우와 DFTD와 RS 코드 모두 적용되었을 경우에 대하여 프레임 오류 발생 경향과 수량을 비교하고자 한다.

우선, Fig. 1의 ‘test path’를 따라 데이터 레코더를 이용하여 저장된 데이터를 재생함으로써 RS 디코딩된 데이터(‘RS’로 표현)와 디코딩 절차 없는 데이터(‘noRS’로 표현)를 획득한다. 다음으로 이들 두 파일 각각을 실시간 프레임과 지연프레임으로 분리

하여 4개의 파일을 얻을 수 있다. 그 다음에 RS 코딩 없는 두 개의 데이터를 병합하고 별도로 RS 코딩된 두 개의 데이터를 병합한다. 그래서 4가지 경우의 6개 데이터 파일을 획득할 수 있다. 첫 번째 경우의 RS 디코딩을 수행하지 않은 실시간 데이터와 지연시간 데이터 각각은 RS 코딩되어 전송된 데이터이지만 패리티 비트를 이용한 오류 정정을 수행하지 않았기 때문에 IRIG 표준 CLASS I에 있는 PCM/FM 방식만 적용한 데이터로 간주할 수 있다. 두 번째 경우의 RS 디코딩된 실시간 데이터와 지연시간 데이터 각각은 기존 PCM/FM 방식에 RS 코드만 추가 적용한 데이터로 간주할 수 있다. 세 번째 경우는 RS 디코딩을 수행하지 않은 실시간 데이터와 지연시간 데이터를 병합한 데이터이기 때문에 기존 PCM/FM 방식에 시간 다이버시티(DFTD)만 추가 적용한 데이터로 간주할 수 있다. 네 번째 경우는 RS 디코딩된 실시간 데이터와 지연시간 데이터를 병합한 데이터이기 때문에 기존 PCM/FM 방식에 시간 다이버시티(DFTD)와 RS 코드를 동시에 적용한 데이터이다. 따라서 이 데이터들의 오류 프레임 분석함으로 동일한 통신환경 조건에서 수행된 네 가지 방식의 성능차이를 구별할 수 있다.

비행시험은 서해상에서 수행되었고^[14] 남쪽방향으로 비행하는 비행체와 최대 200 [km] 이내의 통신 거리를 유지한다.

Fig. 4는 비행시험으로부터 얻어진 데이터의 적용 방식에 대한 성능비교를 보여준다. ‘RF strength’는 비행임무를 수행하는 구간에서 수신기 출력으로부터 잡음신호 크기를 0 [dB]로 설정한 RF strength 값을 측정함으로써 SNR(signal to noise ratio)을 의미한다. 실제 비행시험 환경은 ‘깊은 페이딩’으로 언급되어지는 강한 간섭을 가지고 있어서 채널상의 SNR을 심하게 떨어뜨려 통신 불량에 초래됨을 보여주고 있다.

‘noRS1’은 코드가 적용되지 않았을 경우의 실시간 데이터의 프레임 오류를 보여주고 있다. 프레임 오류는 4개의 참조워드들(SubID, FC, SYNC 패턴과 check sum) 중에서 비정상적인 값을 가지고 있는 경우이다.

‘noRS2’는 코드가 적용되지 않는 지연시간 데이터의 프레임 오류를 보여주며 ‘noRS1’과 유사한 양의 프레임 오류를 가지고 있다.

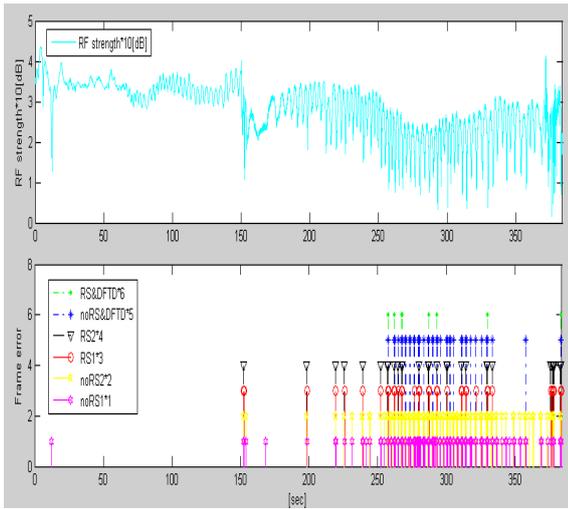


그림 4. 적용 방식에 대한 성능비교
Fig. 4. Performance comparison for each cases.

표 1. 적용방식에 따른 성능비교(전체 프레임 수:76,800[개])
Table 1. Performance comparison of four cases

case	data name	# error [ea]	frame error rate [%]	normalization to noRS1 [%]	
1	PCM/FM	noRS1	2192	2.8542	100
		noRS2	2163	2.8164	98.7
2	PCM/FM + RS code	RS1	785	1.0221	35.8
		RS2	771	1.0039	35.2
3	PCM/FM + DFTD	DFTD only	511	0.6654	23.3
4	PCM/FM + DFTD + RS code	RS & DFTD	65	0.0846	3.0

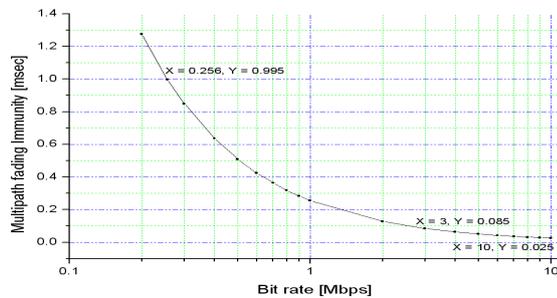


그림 5. 다중경로 페이딩 저항성 능력
Fig. 5. Multipath fading immunity capability.

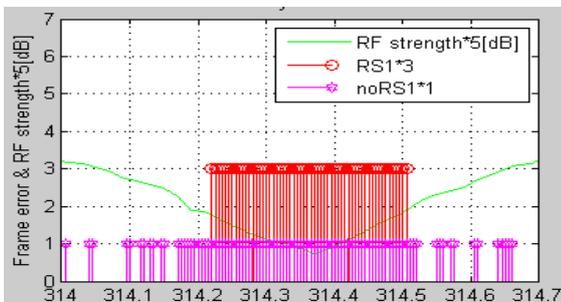


그림 6. RS 부호 성능
Fig. 6. RS code performance.

‘RS1’과 ‘RS2’는 각각 RS 코드를 갖는 실시간 데이터와 지연시간 데이터의 프레임 오류를 보여주며 코드가 없을 경우의 약 36%의 오류를 갖는다.

‘noRS&DFTD’는 ‘noRS1’과 ‘noRS2’가 병합되어진 결과로서 DFTD만 적용되어진 경우의 프레임 오류를 보여주며 코드가 없을 경우에 비하여 23.3% 프레임 오류를 갖는다.

‘RS&DFTD’는 ‘RS1’과 ‘RS2’의 병합된 결과로서 DFTD와 RS 코드가 적용되어진 경우의 프레임 오류 경향을 보여준다.

Table 1은 각각의 경우에 대한 오류 수, 오류율과 코드적용 없는 경우와의 비교 등을 보여준다. DFTD와 RS 코드가 모두 적용되어진 경우는 코드 적용 없는 경우의 3 [%] 오류를 포함한다.

3.2. RS 코드의 성능분석

RS 코드가 블록 내 연속적인 비트 오류를 제거 가능하기 때문에 연접 오류(burst error)가 발생하는 분야에 주로 사용된다. 그러나 연접 오류와 여기에서 언급하고 있는 깊은 페이딩에 의한 오류발생은 오류지속시간 면에서 구별되어야한다.

Fig. 5에서 RS(255, 239) 코드가 오류 정정할 수 있는 능력은 블록 당 연속적인 8개의 심벌 오류까지이며 이에 해당하는 시간을 다중경로 페이딩 저항성 능력(MFIC, multipath fading immunity capability)으로 정의하고 전송속도 변화에 대하여 표현하였다. RS(255, 239)의 MFIC는 식(1)과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned}
 MFIC &= \frac{10^3}{(C \times f_B)} = \frac{10^3}{(8 \times f_s / 255)} \\
 &= \frac{10^3}{(8 \times (fb/8) / 255)} \\
 &= \frac{255 \times 10^3}{fb} [msec]
 \end{aligned} \tag{1}$$

where,

- C : capability of correcting up symbol errors per block,
- f_B : blockrate [block/sec],
- f_s : symbolrate [symbol/sec],
- f_b : bitrate [bit/sec]

원격측정에서 적용되어지는 전송속도 256 [kbps]에서 10 [Mbps]까지 변화할 경우 MFIC는 1 [msec]에서 25 [usec]로 변화한다. 구현된 제안 방식이 전송속도 3 [Mbps]를 적용하였기 때문에 단지

85 [usec]까지의 연속적인 오류를 정정할 수 있으므로 페이딩 구간에서 오류를 제거할 수 있는 능력이 미약함을 쉽게 인지할 수 있다.

Fig. 6은 SNR 9 [dB]이하인 페이딩이 300 [msec] 정도 유지되는 일부 데이터 구간을 확대하여 보여준다. RS 코드가 있을 경우('RS1' 으로 표기)와 코드 적용이 없을 경우(noRS1으로 표기)를 비교하면 SNR이 11[dB] 이상일 경우에는 RS 코드가 매우 효과가 있음을 보여주고 있다.

3.3. DFTD의 성능분석

Fig. 7은 코드가 적용되지 않았을 경우의 실시간 데이터, 지연시간데이터, 병합된 데이터와 SNR을 보여주고 있다. 실시간 데이터에서는 오류를 포함하고 있지만 지연상수 값(300 [msec]) 만큼 지연된 데이터는 오류 위치가 시간적으로 지연된 다른 위치에 있기 때문에 두 데이터가 병합된 DFTD에서는 오류가 나타나지 않음을 알 수 있다. SNR이 2 [dB] 이하의 경우에는 오류정정 코드를 활용하여 프레임 오류를 제거하기는 쉽지 않을 것으로 판단됨으로 DFTD의 유용함을 단편적으로 보여주는 예제가 된다.

그러나 Fig. 8는 Fig. 6과 동일한 시간 구간에서 RS 코드 적용 없을 때의 DFTD 성능을 보여주는데 실시간 데이터 프레임 오류가 존재하는 위치에서 지연시간 값만큼 지연된 데이터도 프레임 오류가 존재할 경우에는 병합된 데이터인 DFTD에 오류가 발생하게 되어 성능이 떨어지게 된다.

3.4. DFTD와 RS코드를 적용한 방식의 성능 분석

Fig. 9는 Fig. 8와 동일한 시간 구간을 가지고 있으며 RS 코드된 실시간 데이터, 지연데이터, 병합된 데이터의 프레임 오류를 SNR과 함께 보여주고 있다.

깊은 페이딩 구간의 밖에 있는 프레임 오류들은 RS 코드에 의하여 제거되고 페이딩 구간의 안쪽에 있는 프레임 오류들은 DFTD에 의하여 제거되기 때문에 DFTD와 RS 코드가 적용된 데이터에 프레임 오류가 없음을 보여준다.

그러나 DFTD와 RS 코드를 함께 사용할지라도 일부 프레임 오류들이 Fig. 10과 유사한 형태로 존재한다. 이들 오류 프레임은 깊은 페이딩이 지연상수 보다 더 길게 지속될 때 발생하게 된다. 간혹

RS 코드된 실시간 데이터의 프레임 오류가 존재하는 위치에 RS 코드된 지연데이터의 프레임 오류가 존재할 수 있다. 이러한 경우는 RS 코드에 의해 페이딩 밖의 오류가 일차적으로 제거된 상태이기 때문에 매우 드물게 나타나겠지만 프레임 오류가 발생하는 상황이 된다. 이러한 오류프레임들은 적절한 지연상수 값을 선정할 경우 제거될 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있다.

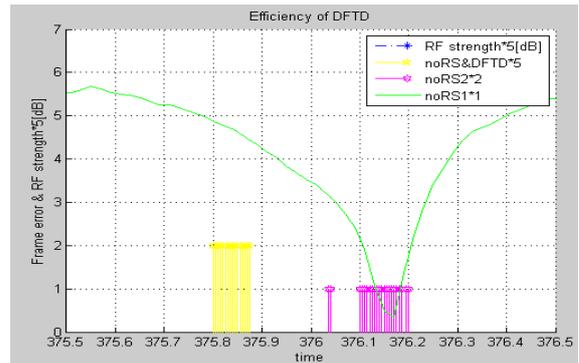


그림 7. DFTD 성능(오류위치가 다른 경우)
Fig. 7. DFTD performance(different error positions).

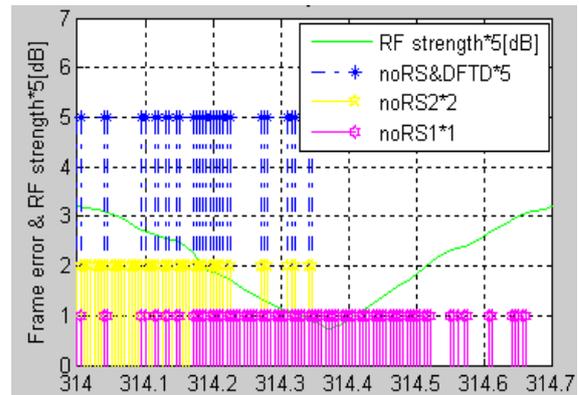


그림 8. DFTD 성능(오류위치가 같은 경우)
Fig. 8. DFTD performance (same error positions).

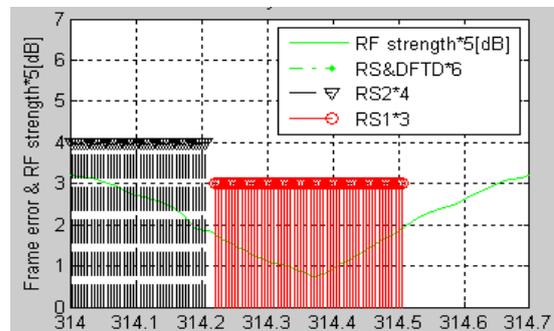


그림 9. RS 코드와 DFTD를 적용한 성능
Fig. 9. 'RS code & DFTD' performance.

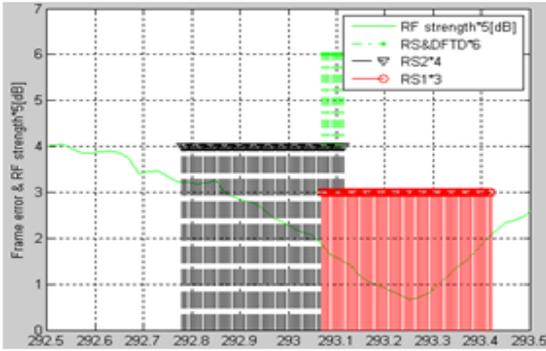


그림 10. 오류가 잔존하는 경우
Fig. 10. Some errors may still remain.

3.5. 오류 프레임 제거 가능성 검토

획득되어진 모든 결과데이터는 지연시간을 300 [msec]로 설정한 경우이고 일부 프레임 오류를 포함하고 있다. Fig. 11은 RS 코드된 실시간 데이터를 지연상수 값만큼 지연해서 RS 코드된 지연데이터를 모의하여 제안방식의 성능을 보여주는 결과로서 지연상수시간(delay time)이 변화함에 따라 최종 데이터에 포함되는 오류프레임 수를 보여주고 있다. 지연상수 범위 510~720 [msec] 값에서 프레임 오류가 없음을 확인할 수 있었다. 지연상수가 600 [msec]인 경우를 모의한 내용은 Fig. 12와 같으며 제안방식이 적용된 결과에 전 구간 프레임 오류가 없음을 보여준다.

반복되어지는 유도무기 비행시험의 초기 시험결과를 이와 같은 방법으로 분석하여 지연시간을 설정한다면 프레임 오류 없는 데이터 획득 가능성을 보여준다. 또한 통신환경 분석^[14]을 통하여 깊은 페이딩 구간의 시간을 미리 파악하여 초기 비행시험 전에 지연시간을 설정할 수 있도록 연구를 수행 중에 있다.

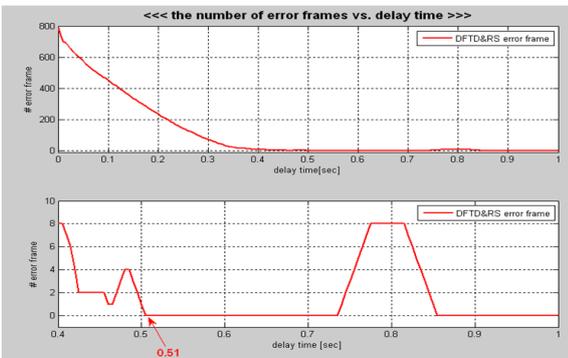


그림 11. 시간지연 변화에 따른 오류 프레임 모의
Fig. 11. Delay time vs. the number of error frames.

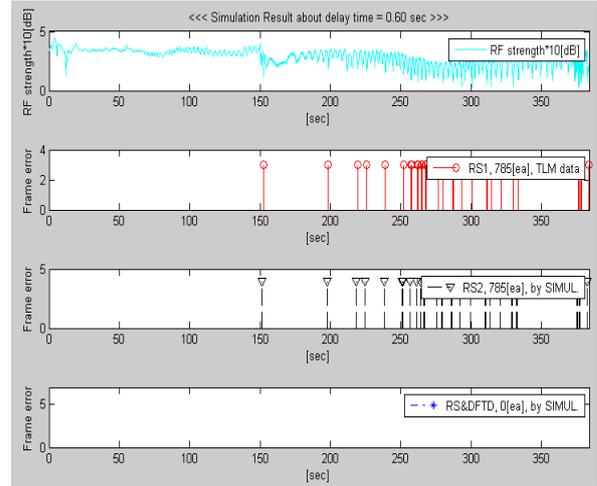


그림 12. 시간상수를 600[msec]으로 모의한 결과
Fig. 12. Simulation result for T = 600 [msec].

표 2. 비행시험 12회 수행 결과
Table 2. Results of 12 flight tests

Flight #	Total Frame [ea]	PCM/FM + RS code		PCM/FM + DFTD + RS code	
		Frame Error [ea]	Error Rate [%]	Frame Error [ea]	Error Rate [%]
1	76,800	785	1.022	65	0.085
2	121,600	39	0.032	0	0.000
3	149,800	122	0.081	4	0.003
4	91,400	235	0.257	10	0.011
5	168,400	350	0.208	22	0.013
6	89,600	3825	4.269	757	0.845
7	83,000	228	0.275	31	0.037
8	112,400	203	0.181	9	0.008
9	136,000	305	0.224	98	0.072
10	196,400	567	0.289	115	0.059
11	133,200	48	0.036	2	0.002
12	144,400	417	0.289	87	0.060
Average	125,250	594	0.597	100	0.099

3.6. 비행시험 12회 수행 결과

한 개의 수신 사이트만을 운용하여 앞에서 제시한 것과 유사하게 12회 비행시험을 수행하였으며 비행시험 데이터를 획득하였다. 이러한 결과 값을 근거로 RS 코드만 적용하였을 때와 DFTD와 RS 코드를 함께 적용하였을 때의 비교 값을 Table 2가 보여주고 있다.

전체 프레임 수(total frame), 프레임 오류 수(frame error)와 오류율(error rate) 등을 두 경우에 대하여 비교하는데, 비행시험의 임무내용, 비행시간, 고도, 궤적에 따라 편차가 크기는 하지만, 제안 방식의 오류프레임 수가 RS 코드만 적용하였을 경우에 비하여 평균 17 [%] 정도 감소시키는 성능을 보여준다.

IV. 결 론

제안된 원격측정방식을 장치개발에 적용하였고 DFTD 또는 RS 코드의 적용여부로 구별하여 비행 시험 데이터를 획득하고 분석함으로 그 성능을 평가하였다. 비행시험 결과에서 기존 PCM/FM 방식은 2.85[%], RS 코드만 추가 적용하였을 경우 1.02[%], DFTD만 적용되었을 경우 0.67[%] 그리고 RS 코드와 DFTD 모두 적용하였을 경우는 0.09[%]의 프레임 오류율을 보여주었다. 이는 제안된 방식이 기존 방식에 비하여 3[%] 정도의 오류프레임을 갖는 성능이다.

제안된 방식은 외부코드로 DFTD를 내부코드로 RS 코드를 가지며 이들 코드들의 효과는 서로 독립적인 특성을 보여주었다. RS 코드는 SNR 11[dB] 이상인 RF 통신 상태에서 발생한 프레임 오류를 제거하는데 매우 효과적으로 동작하고 반면 DFTD는 RS 코드가 제거 가능한 시간 보다 길게 발생하는 프레임 오류를 제거하는데 효과적이다. 그래서 깊은 페이딩이 존재하는 실제 비행시험 통신 환경에 적용하여 모든 프레임 오류를 제거할 수 있는 가능성이 있으며 시간지연 변화에 따른 오류 프레임 모의를 통하여 그 가능성을 간접적으로 확인하였다. 유사 비행시험을 수행한 12회 결과를 제시하였으며 제안된 방식이 RS 코드만 적용한 경우에 비하여 오류프레임을 평균 17[%]정도로 감소시키는 성능을 보여주었다.

제안된 방식은 공간 다이버시티를 적용할 수 없는 여건이거나 공간 다이버시티에서도 발생할 수 있는 오류들을 제거하도록 보완적으로 사용될 수 있으며 오류 없는 데이터를 획득하는 원격측정 엔지니어의 목적을 만족시킬 수 있는 접근 방식이 될 수 있다고 판단한다.

참 고 문 헌

[1] Kanagaraj Damodaran and Erik Perrins, "Spectrally Efficient Concatenated Convolutional Codes with Continuous Phase Modulations," *International Telemetering Conference*, Oct. 2008

[2] Telemetry Group Range Commanders Council, *IRIG Standard 106-07*, Secretariat Range Commanders Council, White, SEP 2007.

[3] Jeoung-Soo Kang, Man-Young Rhee, "A

Study on the Airborne PCM Telemetry System," Korean Institute of Commnication Sciences, Apr. 1983.

(강정수, 이만영, "탑재형 PCM 원격측정장치에 관한 연구", *한국통신학회논문지*, v.8 no. 1, 1983, pp.1-11)

[4] Antonio Maria Cipriano, Paul Gagneur, "Overview of ARQ and HARQ in Beyond 3G Systems," *IEEE 21st International Symposium*, 2010

[5] Maria S.Araujo, Myron L.Moodie, "Control System Analysis of a Telemetry Network System(TMNS)," *International Telemetering Conference*, Oct. 2011.

[6] Milos Melicher, M.Sc., "An enhancement of existing RF data links using advanced diversity techniques," *European Telemetry Conference*, 2010.

[7] Michael J. Wilson, "Merging telemetry data from multiple receivers," *International Telemetering Conference*, Feb 2004.

[8] Adel A.Ali, Ibrahim A. Al-Kadi, "On the Use of Repetition Coding with Binary Digital Modulations on Mobile Channels," *IEEE Vehicular Technology*, Vol.38, FEB. 1989

[9] Pavel Loskot, "A Family of Rate 1/2 modified Binary Block Repetition Codes," *IEEE conference, Signals, Systems and Computers*, pages 1985~1989 Vol.2, Nov. 2004

[10] Kwang-Ryul Koh, Sang-Bum Lee, Taek-Joon Yi, and Whan-Woo Kim, "PC-Based Frame Optimizer Using Multiple PCM Files", *International Telemetering Conference*, Oct. 2011.

[11] Kwang-Ryul Koh, Sang-Bum Lee and Whan-Woo Kim, "Telemetry Performance Enhancement Using the Time-delayed data," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, FEB. 2011.

[12] David Taggart, Rajendra Kumar, Nick Wagner, Yogi Krikorian, Charles Wang, Neal Elyashar, Me1 Cutler, Christine Stevens, "PCM/FM Performance Enhancement Using Reed Solomon Channel Coding", *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, 2004.

[13] Kristin Jagiello and Charlie Cooper, "Convolutional Versus LDPC and Turbo Codes On The Rayleigh Fading Channel," International Telemetry Conference, Oct. 2009.

[14] Kyun-Hoi Kim, Seok-Hyun Shin, Kwang-Ryul Koh, Jung-Kug Yun, "The Multipath Propagation Loss Analysis of Dynamic Telemetry Link using the 3D Antenna pattern," Korea Information and Society Communications, Mar. 2011.

(김균희, 신석현, 고광렬, 윤정국, "3차원 안테나 패턴을 사용한 동적 원격측정링크의 다중경로 전파손실 분석", 한국항공우주학회지, 2010.)

김 환 우 (Whan-Woo Kim)



1977년 2월 서울대학교 전자공학과 학사

1979년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사

1988년 6월 University Of Utah 전자공학과 박사

1980년 6월 ~현재 충남대학교

전자공학과 교수

<관심분야> 디지털 신호처리, 초고속 디지털 통신

고 광 렬 (Kwang-Ryul Koh)



1991년 2월 단국대학교 전자공학과 학사

1993년 2월 단국대학교 전자공학과 석사

1993년 3월 ~현재 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> 디지털 신호처리,

무선통신, 원격측정