

논문 2012-49SC-3-9

항공데이터의 효율적인 전송 방식

(An Efficient Transmission Scheme of Aircraft Data)

강민우*, 하석운**, 문용호***

(Min-Woo Kang, Seok-Wun Ha, and Yong-Ho Moon)

요약

본 논문은 효율적인 비행데이터 전송 방식을 제안한다. 안전 필수가 매우 중요하게 인식되는 항공기에서 비행데이터의 적시 전송을 위해서는 무엇보다도 전송될 비행데이터의 양을 효과적으로 감소시키는 것이 중요하다. 이에 본 논문은 무손실 압축 기법을 통하여 비행데이터를 압축한 후 이를 전송하는 향상된 기법을 제시한다. 제안 방식은 비행데이터의 전송 속도를 향상시키는 효과를 가져오기 때문에 제한된 시간 안에 비행데이터의 가공, 처리를 보다 손쉽게 수행할 수 있게 한다. 실험결과 기존의 ARINC 429 방법에 비해 25% 성능향상이 있음을 보였다.

Abstract

In this paper, we propose an efficient transmission scheme for flight data. It is important to reduce amount of flight data transmitted effectively for timely transmission in airplane that the safety is very importantly recognized. Thus, this paper shows the improved technique transmitting after compressing flight data by the lossless compression technique. Because the proposed method improves the transmission speed of the flight data effectively. The processing of flight data and handling can be easily performed in the time to be restricted. The simulation results show that the proposed scheme achieves 25% data transfer gain compared to the ARINC 429 based transmission method.

Keywords : Avionics, Flight Data, ARINC 429, DPCM, Compression

I. 서론

항공전자 시스템 분야에서 디지털 데이터 통신은 항공전자 장비들 사이의 연결과 통합에 중요한 부분을 차지하고 있다^[1]. 초기 아날로그 유형의 항공전자기들은 항공기의 중량을 증가시키고 상호간의 연결을 복잡하게 하는 단점을 지니고 있었다. 그러나 각종 항공 장비들이 디지털화 되어지고 MIL-STD-1553B, ARINC 429, ARINC 629, ARINC 664, AFDX, IEEE 1394b 등의 디

지탈 통신 프로토콜이 개발되어짐에 따라 이러한 문제는 상당부분 해소되었다^[2-3].

현대의 항공기에는 Flight Control Computer, Flight Management System, Communication Management unit, Inertial Reference System 등 수많은 디지털 장비들이 내장되어 있으며 Fly-by-Wire, Auto Pilot 등 다양한 기능들이 장착되어있다. 그런데 이것은 항공기 내의 장치들 간 연결을 더욱 복잡하게 하였으며 데이터의 전송 횟수와 전송량을 매우 크게 증가하게 하였다^[2-4]. 이러한 현상은 비행데이터를 적시에 전송, 가공 및 처리하는데 요구되는 시간 제약을 만족시키는데 심각한 문제를 야기할 수 있다. 일반적으로 항공기의 신뢰성을 보장하기 위해서는 시간적 제약은 반드시 준수되어야만 하는 중요한 요소이다.

본 논문에서는 무손실 압축 기법을 통하여 비행데이터를 압축한 후 이를 직렬 전송하는 향상된 기법을 제

* 학생회원, ** 정회원, *** 정회원-교신저자,
경상대학교 정보과학과/공학연구원
(Dept. of Informatics/Engineering Research
Institute, Gyeongsang Nat'l Univ.)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-3003)

접수일자: 2011년7월7일, 수정완료일: 2012년5월7일

안한다. 일반적으로 비행중에 생성되는 비행 데이터는 연속적으로 변화하지만 그 변화량이 급격하지 않다는 특징을 지니고 있다. 따라서 DPCM 방식을 비행데이터에 적용할 경우 생성되는 차분데이터 값은 원래의 비행 데이터 보다 작은 비트로써 표현될 수 있다. 이것은 전송될 데이터의 양이 효과적으로 감소될 수 있다는 것을 암시한다. 차분데이터의 효율적인 전송을 위하여 본 논문에서는 민항기 및 수송기에 널리 이용되는 ARINC 429 프로토콜의 데이터 포맷을 새롭게 정의하고 모의실험에서 실질적인 전송 효과를 확인하였다. 제안 방식은 데이터 전송 속도의 실질적인 향상을 가져오기 때문에 궁극적으로 비행데이터 처리, 가공에 있어서 신뢰성을 향상시키게 한다.

II. ARINC 429 프로토콜 기반의 항공 데이터 전송 방식

ARINC 429 통신 프로토콜은 C-17 군용 수송기를 비롯한 Boeing 757 / 767, 에어버스 A300 / A310 등 민항기에 널리 사용되고 있다. 공식적으로 Mark 33 DITS (Digital Information Transfer System) 규정으로 알려져 있다. 버스 제어가 필요 없으며 최소 하나의 송신 장치와 최대 20개의 수신 장치가 트위스트 페어 케이블 (Twisted Shielded Pair)로 연결된다. ARINC 429 프로토콜의 주요 특징은 다음과 같다^[5~7].

- 전송 매체 : 트위스트 페어 케이블
- 신호 방식 : Bipolar, Return-to-Zero
- 전송 방향 및 방식 : 단방향, 비동기 브로드캐스트
- 전송 메시지 간격 : 최소 4bit 시간
- 최대 전송 거리 : 비지정
- 전송 순서 : LBS
- 워드 및 데이터 크기 : 32 bit, 19bit
- 전송 속도 : 12-14.5 kbps(Low), 100 kbps(High)
- 유효 데이터 속도 : 53 Kbps(High)
- 오류 검출방식 : 1bit Odd parity

ARINC 429 프로토콜에 의하여 전송되는 비행데이터에 대한 상세 명세는 ARINC 429 PART 1에 정의되어 있다^[6]. ARINC 429 PART 1에서 비행데이터는 2's complements fractional binary notation(BNR)과 Binary coded decimal notation(BCD)으로 표현된다. 표

표 1. BNR 데이터 테이블
Table 1. BNR data table.

Label	Eqpt ID (Hex)	Parameter Name	Units	Range (Scale)	Sig Bits	Resolution	Min Transit interval (msec)	Max Transit interval (msec)
102	002	Selected Altitude	Feet	65536	16	1.0	100	200
	00B	VDOP	N/A	1024	15	0.031	200	1200
103	001	Selected Airspeed	Knots	512	11	0.25	100	200
	002	Selected Airspeed	Knots	512	11	0.25	100	200
104	001	Selected Vertical Speed	Ft/Min	16384	10	16	100	200
312	002	Ground Speed	Knots	4096	15	0.125	25	500

1은 BNR 데이터에 대한 명세의 일부를 나타낸 것이다. 표 1의 각 영역에 대한 의미는 다음과 같다.

- Label : 데이터의 식별자 역할을 하며 수신되는 장비에 따라 다른 의미를 가진다. 예를 들면 label 102는 장비 ID 002로 수신될 경우 Selected Altitude로 사용되고, 장비 ID 00B로 수신될 경우 VDOP로 사용된다.
- Parameter Name : 데이터의 종류를 의미한다.
- Range : 데이터의 표현 범위이다.
- Sig Bits : ARINC 429 데이터 포맷의 Data Field에 할당되는 비트 수이다.
- Min Transit interval / Max Transit interval : 데이터 전송의 최대, 최소 간격을 의미한다. Label 103의 100과 200의 값은 1초에 최소 5번에서 최대 10번 간격으로 데이터가 전송되어야 한다는 것을 나타낸다.

ARINC 429 프로토콜의 전송에 사용되는 데이터 포맷은 5개의 필드로 구분된다. 표 2는 데이터 포맷을 나타내며, 각 영역의 의미는 다음과 같다^[5~7].

표 2. ARINC 429 프로토콜의 데이터 포맷
Table 2. Data formats of ARINC 429 protocol.

Bit 위치	32	31 - 29	28 - 11	10 - 9	8 - 1
의미(BNR)	P	SSM	Data Field	SDI	Label

Bit 위치	32	31 - 30	29 - 11	10 - 9	8 - 1
의미(BCD)	P	SSM	Data Field	SDI	Label

- Label : 하위 8비트로 구성되며 정보 식별자로서 메시지의 의미를 표현한다.
- SDI(Source / Destination identifier) : 9번, 10번 비트로 구성되며 송신측(source)와 수신측(sink)을 구별하기 위해 사용된다. SDI로서 사용되지 않을 경우 데이터 영역으로 사용 가능하다.
- Data Field : 전송 데이터가 BCD일 경우 11번부터 29번까지의 비트가, BNR일 경우 11번 비트부터 28번까지의 비트가 할당된다.
- SSM(Sign / Status Matrix) : 메시지의 타입에 따라 다양한 정보를 나타낸다. BCD 데이터인 경우 부호 및 방위(plus, minus, north, south)를, BNR 데이터인 경우 29번 비트는 sign, 30번 및 31번째 비트는 송신측의 상태를 표시한다.
- P : 오류 검출을 위한 Odd parity로 사용된다.

표 2에서 Data Field는 실질적인 비행데이터를 표현한다. BCD 유형의 비행데이터는 Data Field가 BCD 값을 표시한다. 반면에 BNR 유형의 비행데이터는 식 (1)에 의하여 디지털로 변환된 후 Data Field를 통하여 전송된다.

$$Data = Round(Value \times 2^w / m) \quad (1)$$

여기서 w와 m은 표 1의 Sig Bits의 값과 Range 값을 각각 나타낸다. 한편 전송된 비행데이터는 수신측에서 식 (2)를 통하여 복원된다.

$$Value = Data / 2^w \times m \quad (2)$$

식 (1)과 (2)로부터 양자화 오차가 존재한다는 것을 알 수 있다. 표 1에 Resolution은 양자화 오차의 허용 범위를 규정하고 있다.

그림 1은 ARINC 429 프로토콜 기반의 송, 수신과정을 나타낸 것이다. 표 1과 표 2를 기초로 하여 Ground Speed에 대한 그림1의 전송 원리는 다음과 같다. 만약 Label 312의 Ground Speed가 650 knots인 경우, 비행데이터는 식 (1)에 의하여 $650 \times 215 / 4096 = 5200$ 이된다. 이때 5200은 2진수(001010001010000)로 Data Field에 할당된 후 그림 1과 같이 다른 전자 장치로 전송된다. 그리고 그림 1과 같이 수신 장치에서는 전송된 패킷의 Data Field영역에 있는 2진수(001010001010000)를 추출한 후 식 (2)에 의하여 $5200 \times 4096 / 215 = 650$ 를 복호한다.

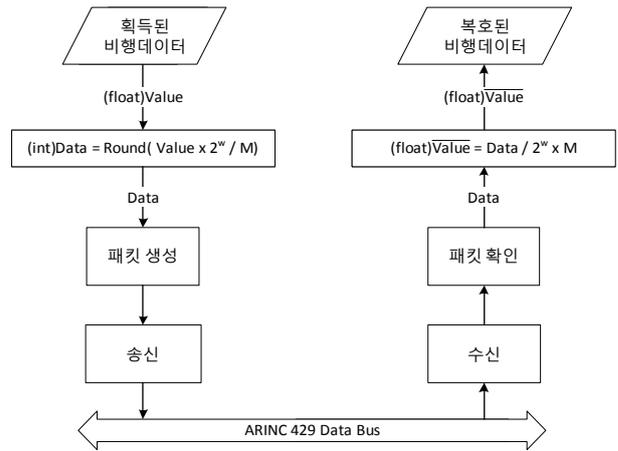


그림 1. ARINC 429 기반의 데이터 송·수신 방식
Fig. 1. Data transmitting and receiving method base on ARINC 429.

III. 제안하는 데이터 송·수신 방식

3. 1 비행데이터 특징 분석

항공기의 비행데이터로 Air Speed(대기 속도), Altitude(고도), Pitch(비행방향 x축 회전), Roll(비행방향 y축 회전), Yaw(비행방향 z축 회전), Fuel Weight(연료량) 등이 존재한다. 그런데 이들 데이터는 시간 변화에 따라 급격하게 변화하지 않는다. 이러한 사실은 실제 비행기의 특성을 잘 반영하고 있는 비행 시뮬레이터인 X-Plane^[8]을 이용하여 확인할 수 있다.

그림 2는 X-Plane에서 Boeing 747로 10분간 비행하고, 5Hz 단위로 추출한 Air speed와 Altitude 비행데이터에 대한 그래프이다. 그림 2의 비행데이터는 X-Plane의 A.I Flies 기능을 사용하여 얻어진 것이다. 이 기능은 활주로에서 이륙하여 임의로 항로를 결정하여 비행하는 것으로 정상적인 비행데이터를 제공한다. 그림 2를 보면 Air Speed는 2분 뒤부터 거의 변화가 없고, Altitude의 경우에도 급격한 변화가 없음을 확인할 수 있다.

이러한 특성은 비행데이터의 이전 값과 현재 값의 차이만을 전송할 경우 데이터의 전송량을 감소시킬 수 있음을 보여준다. 즉, 기존 비행데이터의 전송 대신에 DPCM 방식에 의한 차분데이터의 전송이 보다 더 효율적일 것이라는 사실을 짐작하게 한다.

그림 3은 그림 2의 비행데이터에 대한 차분데이터를 히스토그램으로 표시한 것이다. 그림 3에서 차분데이터가 -30~30사이의 영역에 존재함을 알 수 있다. 이것은 7비트만으로 비행데이터 정보를 전송할 수 있다는 사실

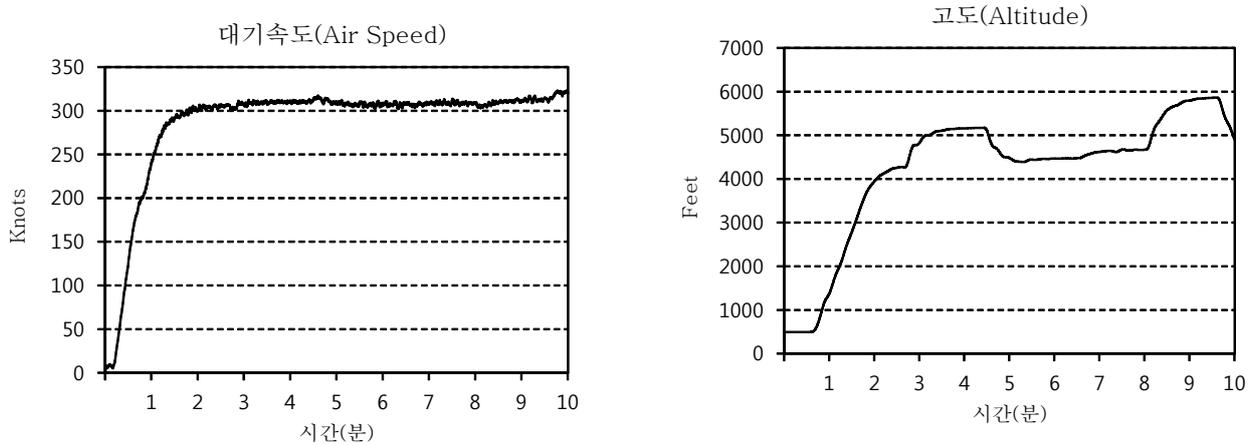


그림 2. 정상 비행환경에서 얻어진 대기 속도 및 고도 데이터
 Fig. 2. Air speed and altitude data obtained with the normal flight condition.

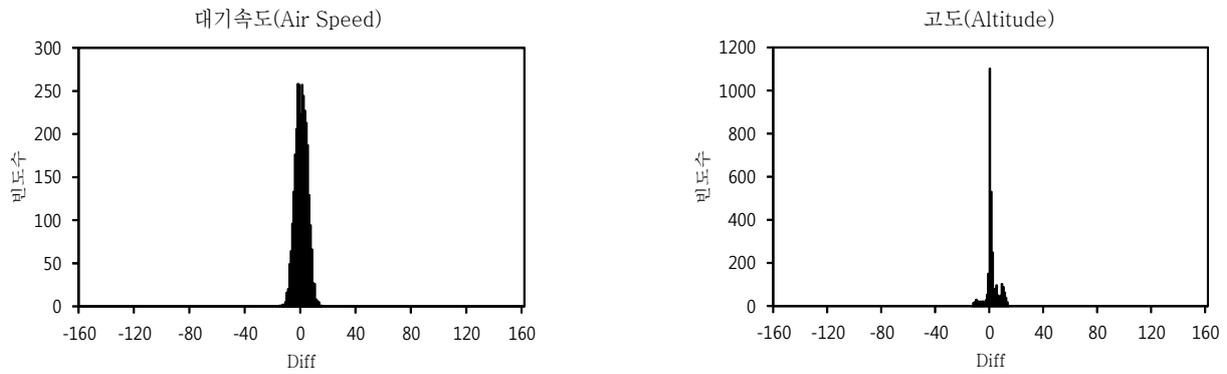


그림 3. 정상 비행데이터에 대한 차분데이터 분포
 Fig. 3. Distribution of differential data at the normal flight condition.

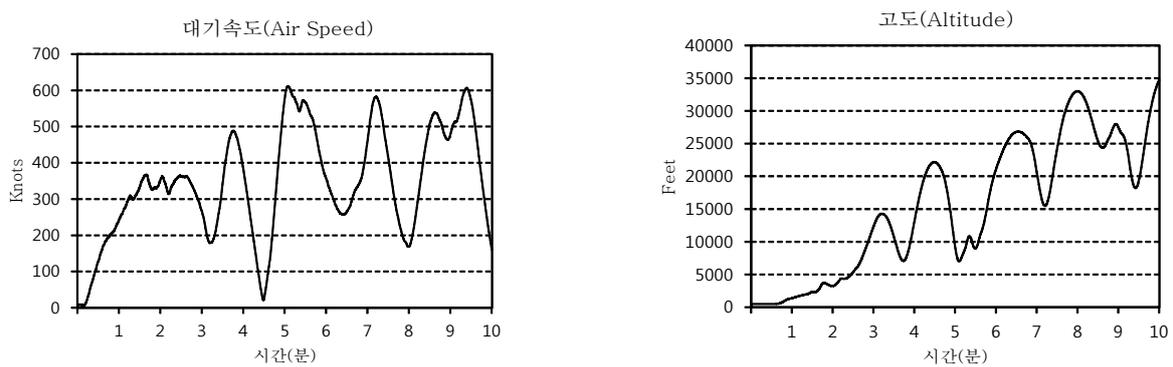


그림 4. 비정상 비행환경에서 얻어진 대기속도 및 고도 데이터
 Fig. 4. Airspeed and altitude data obtained with the abnormal flight condition.

을 보여준다. 더구나 표 1에서 정의된 Air Speed와 Altitude값의 최소 전송 주기가 5Hz임을 감안할 때 이러한 비트 할당은 비행데이터 정보전송에 충분하다는 것을 알 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 항공기에서 고 신뢰성의 확보는 매우 중요한 사안이다. 이에 본 논문에서는 최악의 상황을 고려하기 위하여 극단적인 비행에서 얻어지는 비행데이터를 조사하였다. 그림 4는 X-Plane을 통한

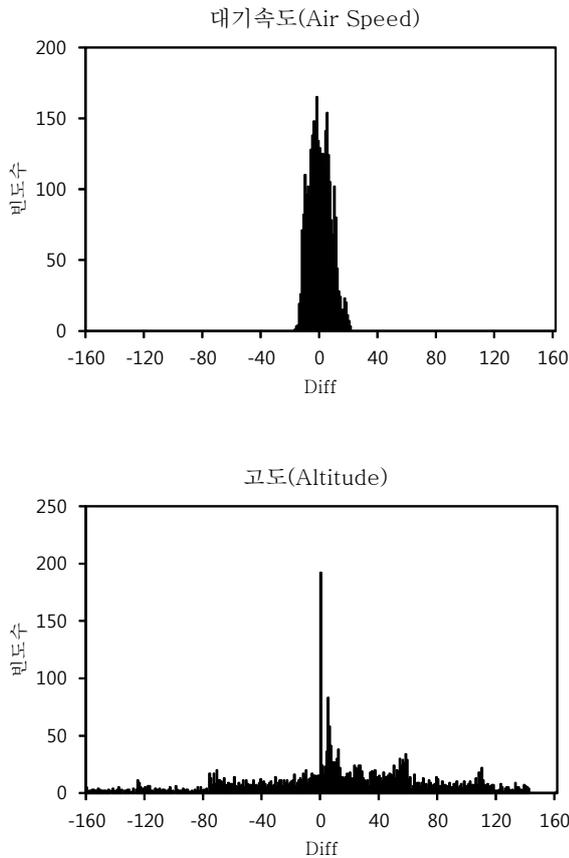


그림 5. 비정상 비행데이터에 대한 차분데이터 분포
Fig. 5. Distribution of differential data at the abnormal flight condition.

임의의 비정상 비행에서 생성된 비행데이터이다. 그리고 그림 5는 그림 4의 비행데이터에 대한 차분데이터를 히스토그램으로 표시한 것이다.

그림 5에서 알 수 있듯이 차분데이터는 -163~142 사이에 존재한다. 따라서 부호 비트를 제외한 최대 10비트를 이용하여 비행데이터 정보를 전송한다면 신뢰성에 영향을 미치지 않으면서 효과적인 전송이 가능하다.

3. 2 제안 방식

앞 절에서 정의한 10비트의 비행데이터 정보의 실질적인 전송을 위해서는 ARINC 429 프로토콜의 데이터 포맷을 수정하여야 한다. 기존의 데이터 포맷에서 Data Field는 BNR에 대하여 18 비트가, BCD에 대해서는 19 비트가 할당되어 있다. 그런데 차분데이터로 표시되는 비행데이터 정보는 10비트로 표시할 수 있다. 따라서 Data Field의 크기가 감소된 새로운 데이터 포맷의 구조가 정의되어야 한다. 표 3은 본 논문에서 제안하는

표 3. 새로운 데이터 포맷

Table 3. New data formats.

Bit 위치	24	23 - 21	20 - 11	10 - 9	8 - 1
의미(BNR)	P	SSM	Data Field	SDI	Label
Bit 위치	24	23 - 22	21 - 11	10 - 9	8 - 1
의미(BCD)	P	SSM	Data Field	SDI	Label

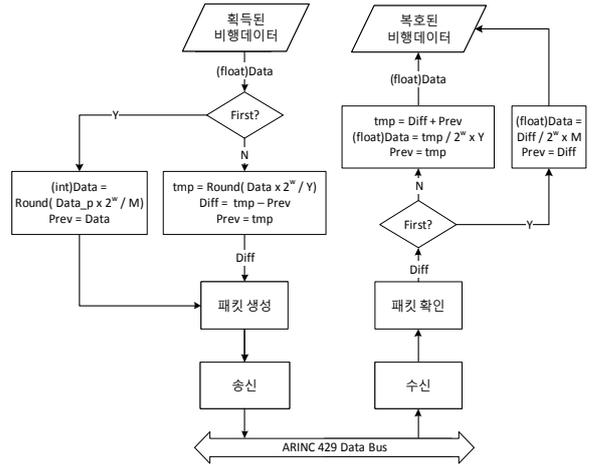


그림 6. 제안하는 비행데이터 송·수신 방식
Fig. 6. The proposed transmission method.

데이터 포맷의 구조를 나타내고 있다.

표 3의 데이터 포맷은 기존 32비트 데이터 포맷에서 Data Field 영역을 감소시켜 24비트로 구성된 것이다. 따라서 Data Field 영역을 제외한 나머지 부분들의 정의와 역할은 기존과 동일하다. 표 3에서 BNR 데이터인 경우 Data Field는 10비트로 할당되어 최대 1023의 차분데이터 값을 표현할 수 있다. BCD 데이터 포맷의 경우는 Data Field에 11비트가 할당되어 최대 799를 표시할 수 있다.

그림 6은 표 3의 데이터 포맷을 기반으로 새로운 전송방식을 나타낸 것이다. 그림 6은 BNR로 표시되는 비행데이터가 차분데이터로 변환된 후 표 3의 데이터 포맷에 의하여 송, 수신되는 과정을 보여준다. 그림 1로 표현된 기존 전송방식과 비교해 볼 때 1회의 산술 연산과 저장 공간이 추가됨을 알 수 있다. 그러나 이것은 제안 방식에 의한 전송 데이터양 감소를 고려할 때 극히 미미하며 데이터 처리 장치의 엄격한 실시간 처리 조건에 영향을 미치지 않는다.

IV. 모의 실험

제안하는 전송방식의 성능을 확인하기 위하여 모의 실험을 수행하였다. 본 논문에서는 X-Plane 9에서 FA 22 Raptor로 10분간 비행하여 얻어진 정상 비행데이터와 비정상 비행데이터를 실험 데이터로 사용하여 압축, 복원을 수행하였다. 그리고 그림 6에서 표현된 제안 방식을 Java 언어로 구현하여 송, 수신되는 비행 데이터량을 측정, 비교하였다.

표 4는 Air Speed와 Altitude 비행데이터에 제안 방식을 적용하여 얻어진 실험결과를 요약한 것이다. 표 4로부터 제안 방식이 기존 방식에 비하여 유효 데이터 전송량과 전체 데이터 전송량에서 각각 46% 이득과 25% 이득이 얻어짐을 알 수 있다. 또한 기존방식과 비교하여 양자화 오차가 동일함을 알 수 있다.

표 4. 기존 방법과 제안 방법의 데이터 전송량 비교
Table 4. Comparison of the amount of data transmitted by proposed and conventional method.

구 분		기존 방법	제안 방법	이득
전체 데이터 전송량(Bit)	Air Speed	96,000	72,000	25%
	Altitude	96,000	72,000	25%
유효 데이터 전송량(Bit)	Air Speed	54,000	30,000	46%
	Altitude	54,000	30,000	46%
전송 패킷 수	Air Speed	3,000	3,000	-
	Altitude	3,000	3,000	-
양자화 오차		동일		-

V. 결 론

신뢰성 확보가 중요하게 인식되는 항공기에서 비행 데이터의 증가는 실시간 데이터 처리에서 요구되는 시간적 제약을 만족시키는데 문제를 야기할 수 있다. 이에 본 논문에서 무손실 압축 기법을 통하여 비행데이터를 압축한 후 이를 직렬 전송하는 향상된 기법을 제안하였다. 모의실험은 기존 ARINC 429 기반의 전송 방식에 비하여 제안 방식에서 46%의 유효 데이터 전송량 이득이 얻어짐을 보였다. 이것은 기존 전송기법의 성능을 약 2배 향상시키는 것으로 항공기의 신뢰성 향상에 효과적일 것으로 예상된다. 또한 제안 방식에 의하여 추가되는 계산량 증가는 매우 미미하기 때문에 송, 수신단의 실시간 처리 과정에 문제를 야기하지 않을 것이다. 실제 항공 시스템에서의 구현을 통하여 이 같은 제

안 방식의 장점들을 검증하고 그 효과를 분석하는 추가적인 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Carbonari. A., "Avionic systems overview", Integrated Circuits and Systems Design 17th Symposium 2004.
- [2] Ridouard, F., "Probabilistic upper bounds for heterogeneous flows using a Static Priority Queueing on an AFDX network", Emerging Technologies and Factory Automation Conference, 2008.
- [3] Ian Moir and Allan Seabridge, "Aircraft System Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration", WILEY, 2008.
- [4] 김승환, 윤종효, 박부식, "이중 트래픽 조절기능이 있는 항공데이터버스용 전이중 이더넷 교환시스템의 성능 분석", 전자공학회 논문지 제 46권 TC 편 제 2호, 2009.
- [5] Decker, T. P., "Avionics Data Bus Basic", DDC Application Note, ILC Data Device Corporation, AN/A-4, 1999.
- [6] AERONAUTICAL RADIO INC., "MARK 33 DIGITAL INFORMATION TRANSFER SYSTEM (DITS) PART 1", ARINC SPECIFICATION 429, May 17, 2004.
- [7] Tooley, "Aircraft Digital Electronic and Computer Systems: Principles, Operation and Maintenance", ELSEVIER, 2007.
- [8] LAMINAR RESEARCH, "X-Plane Description", X-Plane Manual, 2011.

— 저 자 소 개 —



강민우(학생회원)
 2011년 경상대학교 정보과학과 졸업(공학사).
 2011년 3월~현재 경상대학교 정보과학과 석사과정.
 <주관심분야: 임베디드 시스템 소프트웨어, 영상처리, SoC>



하석운(정회원)
 1981년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 1983년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학석사).
 1995년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학박사).

현재 경상대학교 정보과학과 교수
 <주관심분야: 디지털영상처리, 임베디드 시스템 소프트웨어, 항공영상처리>



문용호(정회원)
 1992년 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 1994년 부산대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사).
 1998년 부산대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학박사).

1998년~2001년 삼성전자 DM연구소 책임연구원.
 현재 경상대학교 정보과학과 부교수
 <주관심분야: 동영상압축, 영상처리, 임베디드 시스템, SoC>