한국군사과학기술학회지 제16권 제4호, pp. 422～429, 2013년 8월

학술논문 유도무기 부문

MIL-STD-1553B 통신의 다중 메시지 체인과 더블 버퍼링 방식을 적용한 고속 데이터 처리기술 분석 및 구현

Analysis and Implementation of High Speed Data Processing Technology using Multi-Message Chain and Double Buffering Method with MIL-STD-1553B

김 기 표* 안 기 현* 권 용 성* 윤 석 재* 이 상 훈*
Ki-Pyo Kim Kee-Hyun Ahn Yong-Sung Kwon Seok-Jae Yun Sang-Hoon Lee

ABSTRACT

MIL-STD-1553B communication is globally used in the area of aerospace and defense which require safety and reliability in spite of its low communication speed. As recently increased requirements for high precision and robust guidance ability of missiles, missile sensor equipment needs more data to satisfy those requirements. Therefore, missile systems to adopt MIL-STD-1553B requires higher data transfer and processing capability than those of the current systems. In this paper, we describe the result of analysis and implementation of the existing methods that applied multi-message chain and double buffers to improve the current missile system.

Keywords : MIL-STD-1553B, Missile, Multi-Message Chain, Double Buffer

1. 서 론

MIL-STD-1553B(1553B)는 통신의 신뢰성과 안정성을 중요시 하는 분야인 항공우주 및 방위 분야에서 장비 간의 통신을 목적으로 광범위하게 사용되고 있다. 하지만 1553B 프로토콜상의 제약사항으로 인하여 통신 속도가 느리고 사용이 용이하지 않다는 단점이 있다[1].

최근 유도무기 분야에서는 외부 환경에 강건하면서도 고성능의 정밀타격 능력을 요구하고 있으며, 무기체계에 1553B 프로토콜의 적용범위가 확대되고 있는 추세이다. 이러한 요구사항 충족을 위해서는 첨단 센서 장비 및 정밀유도 알고리즘이 적용되어야 하며, 동시에 장비 간에 기존의 제어 데이터뿐만 아니라, 대용량의 데이터 전송 및 처리 성능이 요구된다. 특히 1553B 통신을 채택하고 있는 현재의 유도무기체계는 현 시스템에서 그 능력을 최대화할 필요성이 대두되었다.

본 논문에서는 1553B 통신을 사용하는 유도무기체계 장비간의 데이터 전송과 처리 성능 향상을 위해 1553B 통신 칩의 메시지 체인(Message Chain)과 더블 버퍼(Double Buffer)를 이용하는 방법을 그 유형별로 분석하고, 기존 시스템에 적용하기 위한 구현과정과 실험결과에 대하여 기술하였다.

† 2013년 4월 9일 접수～2013년 7월 26일 게재승인
* 국방과학연구소(ADD)
책임저자 : 김기표(kpkim@add.re.kr)

2. 시스템 개요

가. 통신 버스의 구조

1553B 통신은 BC(Bus Controller), RT(Remote Terminal) 그리고 MT(Monitor)로 구성된다. BC는 버스상의 모든 명령에 대한 제어권을 가지고 있으며, 모든 메시지에 대한 스케줄링을 수행한다. RT는 BC가 보낸 메시지를 수신하고, RT의 메시지 수신 상태를 BC에게 보낸다. 그리고 MT는 버스상의 데이터를 확인하는 기능을 수행한다[2].

유도무기체계는 일반적으로 지상통신 버스와 탄내통신 버스로 구분할 수 있으며, 지상통신 버스는 지상장비를 BC로 하고, 탑재장비 중 유도조종장치를 RT로 구성할 수 있으며, 탄내통신 버스는 유도조종장치를 BC로, 나머지 탑재장비들을 RT로 구성할 수 있다. Fig. 1은 유도무기체계의 1553B 버스의 구성 예이다.

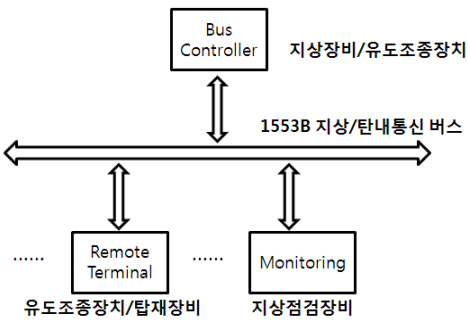


Fig. 1. 1553B Bus Structure Example of Guided Missile

나. 메시지체인 전송 및 처리 구조

메시지 체인은 두 개 이상의 임의의 메시지를 하나의 체인(프레임)으로 링크(Link)한 것으로, BC에서 메시지 체인(Message Chain) 단위로 전송할 수 있도록 한 것이다[3,4]. BC에서는 CPU의 통신 칩(Chip) 접근(Access) 빈도를 줄일 수 있고, 한 번의 접근으로 많은 메시지를 전송할 수 있는 장점이 있으나, RT에서는 1553B 통신 칩 수신 메시지의 버퍼 설정[5,6] 또는 데이터 처리시간 단축 등의 방법으로 실시간 처리 능력을 갖추어야 하는 어려운 점이 있다.

Fig. 2는 BC가 메시지 전송속도를 높이기 위해, 동일한 데이터 길이의 N개의 메시지 M1, M2, M3, …, MN으로 구성된 메시지 체인을 주기 T로 전송하고, RT에서 수신된 메시지 체인을 처리하는 구조를 예를 들어 나타낸 것이다.

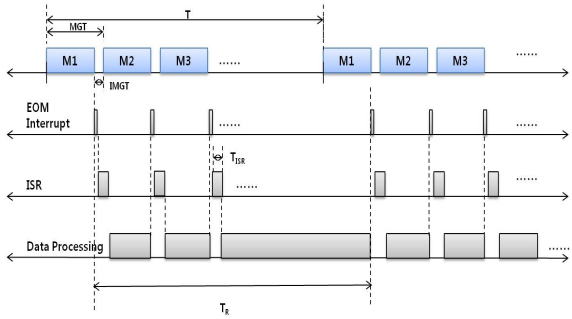


Fig. 2. Example of Message Chain Transfer and Process

메시지 체인은 구성 메시지의 시간간격 Message Gap Time(MGT)과 구성메시지 사이의 시간간격 Inter Message Gap Time(IMGT)으로 표현할 수 있으며, 본 논문에서는 각각의 메시지의 서브어드레스(Sub Address)가 동일할 경우를 단일메시지 체인(Single-Message Chain)이라 하고, 서로 다른 경우를 다중메시지 체인(Multi-Message Chain)이라 정의한다.

RT는 1553B 통신 칩에서 각 메시지의 EOM 인터럽트(End of Message Interrupt)[5,6]를 설정할 수 있으며, 탑재소프트웨어는 수신된 메시지를 처리하기위한 인터럽트 서비스 루틴(Interrupt Service Routine)과 메시지의 데이터 처리(Data Processing) 함수 또는 태스크(Task)로 구성할 수 있다.

인터럽트 서비스 루틴은 1553B 통신 칩의 버퍼(Buffer)에서 메모리의 큐(Queue)로 스택포인터 및 메시지 데이터를 저장하는 기능을 수행하며, 데이터 처리 함수는 큐에 저장된 메시지들을 목적에 맞게 처리하는 기능을 수행한다.

Fig. 2로부터 임의의 시스템에 대하여 다음과 같이 가정할 경우, 그 관계는 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

[가정]

- 각 메시지의 데이터 길이가 동일하고, 메시지의 내용에 따라 데이터 처리 함수의 실행시간이 일정하다.
- 통신오류가 발생하지 않고, MGT와 IMGT는 일정하여 물리적 계층의 메시지 전송시간이 동일하다.
- 메시지 한 개에 대한 인터럽트처리 및 데이터처리 시간이 다음 메시지 수신에 의한 인터럽트가 발생할 때까지의 시간보다 크다.

$$N(T_{ISR}+T_P)+T_o < T_R \quad (1)$$

- t_{ISR} : 인터럽트 서비스 루틴의 실행시간($t_{ISR} \leq T_{ISR}$)
- t_P : 한 개의 메시지의 처리시간($t_P \leq T_P$)
- t_O : BC의 송신주기 T 동안 탑재소프트웨어의 상위 우선순위(Priority)의 인터럽트 서비스 루틴 또는 태스크 최대 실행시간($t_O \leq T_O$)
- T_R : N개의 메시지 처리 요구 시간

각각의 실행시간은 시스템 하드웨어, 1553B RT의 통신구조 및 탑재소프트웨어의 설계결과에 따라 영향을 받게 되며, 수식 (1)을 만족시키지 못할 경우, 1553B 통신 칩의 M1 메시지 버퍼에 다음 메시지 체인의 M1 메시지가 겹쳐 써지므로 메시지 손실이 발생하게 된다. 따라서 T_R은 1553B 통신 칩의 M1 메시지 버퍼에 다음 메시지 체인의 M1 메시지의 도착 인터럽트가 발생하기까지의 시간과도 같다.

3. 메시지 체인과 버퍼의 유형별 분석

본 논문에서는 BC의 데이터 길이가 동일한 메시지로 구성된 메시지 체인과 RT의 버퍼 설정에 따라 다중메시지 체인-싱글버퍼, 단일메시지 체인-더블버퍼 그리고 다중메시지 체인-더블버퍼의 3가지 유형에 대하여 그 특성을 분석하려고 한다.

가. 다중메시지 체인-싱글버퍼

다중메시지 체인-싱글버퍼는 Fig. 3과 같이 BC에서 N개의 서로 다른 메시지(M1, M2, M3, …, MN)를 체인으로 구성하고, RT에서는 각 메시지의 버퍼(A, B, C, …)를 하나씩 설정한 경우이다.

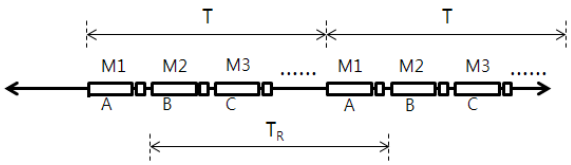


Fig. 3. Multi-Message Chain-Single Buffer

메시지 손실이 없도록 하기 위해 메시지 M1의 버퍼 A에 다음 M1이 도착하기 전까지의 시간 T_R 내에 N개의 메시지가 처리되어야 한다. 여기서 T_R은 T가 되고, 수식 (1)로부터 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T_P &< (T_R - T_o)/N \\ &= (T - T_o)/N - T_{ISR} \end{aligned} \quad (2)$$

수식 (2)에서 BC의 일정한 메시지 전송주기 T에 대하여 메시지 개수 N이 커질수록 T_P의 최대 허용 시간이 감소하게 되어, BC 메시지 체인의 구성 메시지 개수 N이 제한된다.

나. 단일메시지 체인-더블버퍼

단일메시지 체인-더블버퍼는 Fig. 4와 같이 BC에서 같은 종류의 메시지를 체인으로 구성하고, RT에서는 수신 메시지를 더블버퍼(A, A')로 설정한 경우이다.

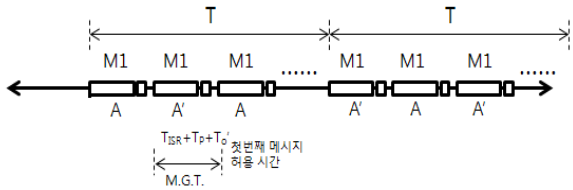


Fig. 4. Single-Message Chain-Double Buffer

더블버퍼의 경우, 하나의 메시지에 대하여 두 개의 버퍼가 수신시마다 자동스위칭(Auto-Switching)[2]되며, 시스템 자원절약 측면에서 효율적일 수 있다. 그리고 N이 2이하일 경우, 다중메시지 체인-싱글버퍼와 그 특성이 유사하다.

하지만, N이 3이상일 경우, 수식 (3)에서와 같은 제약사항이 따른다. 여기서 To'는 MGT(Message Gap Time) 동안의 시스템의 상위 우선순위의 인터럽트 또는 태스크가 실행되는 최대 시간이다.

$$T_{ISR}+T_P+T_o' < MGT \ (N>3) \quad (3)$$

수식 (3)에서 RT의 A버퍼에 다음 메시지가 도착하기 전까지의 시간은 MGT와 동일하고, T_{ISR}과 T_P그리고 T_O'의 합이 MGT보다 작아야 한다.

Fig. 2에서와 같이 MGT는 하나의 메시지 전송시간과 IMGT로 구성되며, 하나의 메시지의 전송시간은 최대 32워드(Word) 데이터 길이일 경우, 약 700 μsec이고, IMGT는 일반적으로 수십 μsec로 설정하므로, MGT를 800 μsec로 가정할 경우, RT의 메시지 처리 최대

허용 시간을 안정적으로 만족시키기가 어렵게 된다. 또한 IMGT를 증가시킬 경우, 메시지 체인의 전송효율이 감소하게 된다. 반면에 이러한 조건을 만족할 경우, 시스템의 자원을 효율적으로 사용하면서도 BC의 주기 T의 최대 N에 대한 메시지 체인을 처리할 수 있게 된다.

다. 다중메시지 체인-더블버퍼

다중메시지 체인-더블버퍼 방식은 Fig. 5와 같이 BC의 다중메시지 체인과 RT에서 수신 메시지를 각각 더블버퍼(A, B, C, …, A', B', C', …)로 설정한 경우이다. 더블 버퍼로 설정되면 서브 어드레스가 다른 각각의 M1, M2, M3, …에 대하여 버퍼 A-A', B-B', C-C', …를 할당하고, 각 메시지가 할당된 임의의 버퍼에 도착하면 다음 메시지 수신을 위한 포인터(Pointer)가 또 다른 버퍼로 바뀌는 자동스위칭 과정이 반복해서 발생한다.

T_R은 다중메시지 체인-싱글버퍼와 동일 기준으로 보았을 때 2T로 두 배 증가하게 된다. 따라서 2T에 대한 T_{ISR}과 T_O도 각각 2배가 되며, 수식 (1)로부터 아래의 수식 (4)~(6)와 같이 나타낼 수 있다.

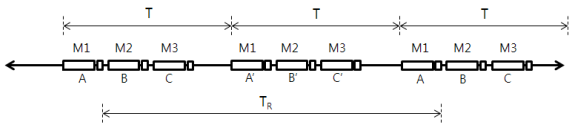


Fig. 5. Multi-Message Chain-Double Buffer

$$N(2T_{ISR} + T_P) + 2T_o < 2T \quad (4)$$

$$2T_{ISR} + T_P < 2(T - T_o)/N \quad (5)$$

$$T_P < 2((T - T_o)/N - T_{ISR}) \quad (6)$$

RT에서 T_P의 최대 허용 시간이 다중메시지 체인-싱글버퍼의 수식 (2)와 비교하였을 때, 수식 (6)과 같이 2배로 증가하였다. 따라서 실시간성 성능문제에서 안정성이 증가하고, 메시지 체인의 N이 그 만큼 증가하게 된다.

4. 시스템에의 구현 및 실험결과

기존의 시스템은 대용량 자료의 전송을 위해 BC에서 메시지 체인을 사용하지 않고 단일 메시지를 전송하고, RT에서 Single Buffer를 이용하여 데이터를 처리하는 단일메시지-싱글버퍼 방식(Single-Message Single Buffer)이다. 기존 시스템의 데이터 전송속도를 높이기 위해 시스템을 분석하고, 그 결과에 따라 아래와 같이 적합한 메시지 체인방식과 더블버퍼를 적용하고 그 결과를 분석하였다.

가. 시스템 개요

기존 시스템은 1553B 통신버스로 탑재장비와 지상장비가 연결되어 있으며, 탑재장비의 하드웨어 사양 및 특징은 Table 1과 같다. 1553B 통신 칩으로는 DDC사 BU-61588을 적용하였으며, 통신 칩 버퍼로부터 시스템 메모리로의 읽기 또는 쓰기 속도의 범위는 통신 칩의 메모리 관리 기능에 의해 약 0.4 ~ 3 μsec/word (16 bit)이다[7].

Table 1. System Main Characteristic

항목	사양 및 특징
운영체제	WindRiver VxWorks
통신칩	DDC BU-61588
CPU	MPC74xx
BC 전송주기 T	2 msec
BC message chain	no use(single message)
대용량 자료 전송방식	Single-Message Single Buffer

Fig. 6과 같이 시스템의 1553B 통신은 지상 장비가 BC를 하고, 탑재장비가 RT를 수행하는 구조이며, BC에서 2 msec 마다 하나의 메시지를 전송하고, RT에서는 Fig. 2와 같이 수신 메시지의 데이터를 인터럽트 서비스 루틴과 데이터 처리를 위한 백그라운드 태스크(Background Task)로 처리하는 방식이다.

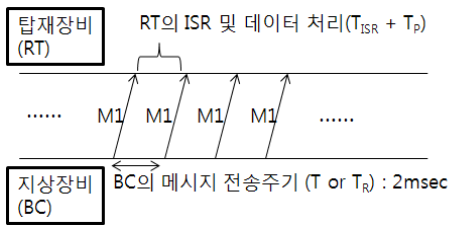


Fig. 6. Data Transfer Method of the current system

32워드 메시지일 경우, 1553B 통신 프로토콜을 고려할 때, 그 통신 사용량은 0.34 Mbps로 1553B의 통신 속도 1 Mbps의 34 % 수준이다.

1553B의 통신 속도의 70 % 범위 내에서 전송속도를 높이기 위하여, RT에서 Fig. 7과 같이 5 msec 마다 5개의 메시지를 전송받아 처리하는 것을 설계 목표로 하였다. BC 메시지 체인의 IMGT는 80 μsec이다.

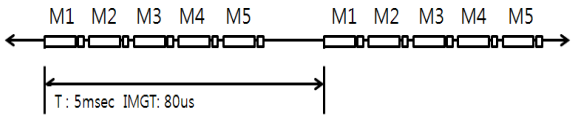


Fig. 7. BC Message Chain and Period for Test

나. 시스템 분석

시스템의 메시지 체인과 더블버퍼의 적용 가능성을 검토하기 위하여 t_{ISR}과 t_P를 측정하였다. N이 5인 메시지 체인을 BC에서 5msec 주기로 전송하고, 500 msec 마다 최근 10개의 t_{ISR}과 t_P를 BC에서 송신명령(Tx Command)으로 읽어 저장하는 방법으로 3회 반복 수행 하였으며, 그 결과를 Fig. 8, 9와 Table 2, 3으로 나타내었다. 단, t_P의 경우 15개의 응답 메시지를 1553B 통신 칩에 쓰는 루틴의 실행시간이 빠져있으나, 실제 탑재소프트웨어에서는 포함되어 있다.

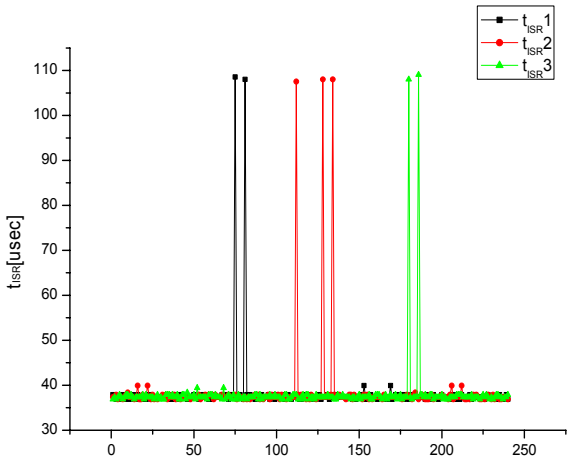


Fig. 8. Interrupt Service Routine Execution Time(t_{ISR}) of current System

Table 2에서 t_{ISR}의 평균 실행시간은 약 40 μsec이며, 최대 실행시간은 약 109 μsec이다.

Table 2. t_{ISR} Measurement Result of Current System

	$t_{ISR}1$	$t_{ISR}2$	$t_{ISR}3$
최대값 [μsec]	108.54	108.03	109.06
최소값 [μsec]	36.86	36.86	36.86
평균 [μsec]	37.99	**38.30**	38.01
표준편차 [μsec]	6.47	**7.86**	6.49

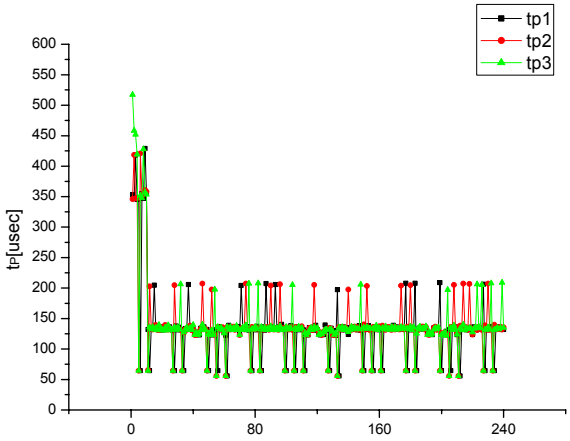


Fig. 9. Data Process Time(t_P) of current System

Table 3에서 데이터 쓰기 루틴을 제외한 t_P의 평균 실행시간은 약 140 μsec이며, 최대실행시간은 약 520 μsec이다.

Table 3. t_P Measurement Result of Current System without Data write routine

	t_P1	t_P2	t_P3
최대값 [μsec]	429.06	420.86	517.12
최소값 [μsec]	55.81	55.81	55.81
평균 [μsec]	137.30	139.06	**139.19**
표준편차 [μsec]	52.83	53.95	**60.92**

데이터 처리 루틴 내의 응답 메시지의 쓰기 루틴은 32워드 하나의 메시지에 대하여 통신 칩의 쓰기 속도 범위를 고려할 때, 최소 12.8 μsec, 최대 96 μsec이다. 응답 메시지의 쓰기 루틴은 데이터 처리 루틴 내에 포함되며, 15개의 응답 메시지에 대한 데이터 쓰기가

실행된다. 아래 Fig. 10은 Fig. 2로부터 5개의 수신 메시지로 구성된 메시지 체인을 RT에서 처리할 경우, Table 4와 같이 실행시간을 가정하고, 데이터 처리 루틴 내의 응답메시지 쓰기루틴을 구분하여 나타내었다.

Table 4. Assumed Value for Fig 10

항목	가정 값
the number of response messages	15
T_{ISR} [μsec]	50
T_P [μsec]	150
IMGT [μsec]	100
MGT [μsec]	800
maximum data write time per one message [μsec]	100
minimum data write time per one message [μsec]	10

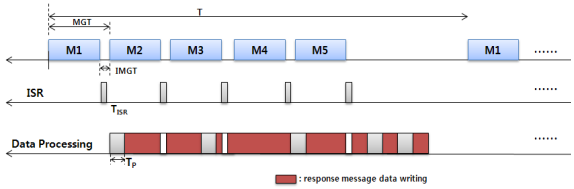


Fig. 10. Response Message Writing Time in Data processing of current System

M1에서 M5까지 5개의 메시지로 구성된 다중메시지 체인의 경우, 통신 칩의 메시지 수신 구간에서 최대 시간이 소요되고, 나머지 구간에서 최소 시간이 걸린다고 가정하여 아래 수식 (7)에서 (9)와 같이 그 평균값을 계산하였다.

수식 (7)에서 Fig. 10으로부터 메시지 수신 구간 4MGT에서 T_{ISR}, T_P, IMGT를 제외한 통신 칩의 데이터 쓰기 실행시간은 2.55 msec 이며, 수식 (8)에서 하나의 메시지의 최대 쓰기 시간 100 μsec로 나누면 25.5개의 메시지 쓰기가 가능하다. 5개의 데이터 처리 루틴을 실행할 경우 하나의 루틴이 15개이므로, 모두 75개의 메시지 쓰기를 수행해야 하므로, 수식 (9)와 같이 산술평균을 통하여 하나의 메시지 쓰기 평균시간은 40.6 μsec이고, 15개의 메시지를 쓰는 데는 평균 609 μsec가 필요하다.

$$4MGT-4T_{ISR}-3T_p-2(IMGT-T_{ISR}) \quad (7)$$
$$=4(800)-2(50)-3(150)-2(100-50)$$
$$=2550\,[usec]$$

$$\frac{2550}{100}=25.5\,message \quad (8)$$

$$\frac{25.5\times100+(75-25.5)\times10}{75}\times15 \quad (9)$$
$$=40.6\times15=609\,[usec]$$

다. 다중 메시지체인 더블버퍼 방식 구현

현재 시스템의 각 함수의 실행시간으로부터 다중메시지체인 더블버퍼 방식을 적용하기 위하여 Table 5와 같이 설계 입력 값을 설정하였다. T_{ISR}과 T_P는 Table 2와 3의 평균값과 표준편차의 합한 최대값을 참고하여 설정하였다. 단, T_P의 경우 데이터 쓰기 루틴의 실행시간을 합한 값이다.

Table 5. Design Input Value

항목	실제 값	입력 값	비고
T_{ISR}	46.16 μsec	0.05 msec	
T_P	809.08 μsec	0.81 msec	데이터 쓰기평균 수행시간 포함
T_O	-	0.3 msec	
T_O'	-	0.1 msec	
IMGT	-	0.08 msec	
MGT	-	0.78 msec	메시지길이 32워드
N	-	5 개	
T	-	5 msec	

시스템 분석 결과를 이용하여 Table 6와 같이 3가지 방식에 대한 관련 수식에 대입하여 그 적용 가능성을 검토 하였다.

다중메시지 체인 싱글버퍼의 경우, 수식 (2)의 조건을 만족하나, 설계 여유가 부족하다. 그리고 단일메시지 체인 더블버퍼의 경우는 수식 (3)의 조건을 만족시키지 못한다. 그리고 다중메시지 체인 더블버퍼의 경우, 수식 (6)의 조건을 만족하며 설계 여유 등을 고려하였을 때, 적용 가능할 것으로 판단된다.

Table 6. Analysis Result of the Message Chain and Buffer Types

	좌변 [msec]	우변 [msec]	관련 수식
다중 메시지체인 -싱글버퍼	0.81	0.89	(2)
단일 메시지체인 -더블버퍼	0.96	0.78	(3)
다중 메시지체인 -더블버퍼	0.81	1.78	(6)

라. 실험결과 및 비교분석

Fig. 11과 같이 1553B 통신버스에 탑재장비(RT), BC 모의 컴퓨터 그리고 버스모니터링 컴퓨터를 연결하였다. RTX[8]를 적용한 BC 모의 컴퓨터는 5 msec 마다 서로 다른 5개의 메시지로 구성된 다중 메시지체인을 전송하고, 탑재장비의 소프트웨어를 수정하여 더블버퍼로 처리토록 구현하였다. 그리고 데이터 확인은 버스모니터링 컴퓨터로 저장 확인하였다.

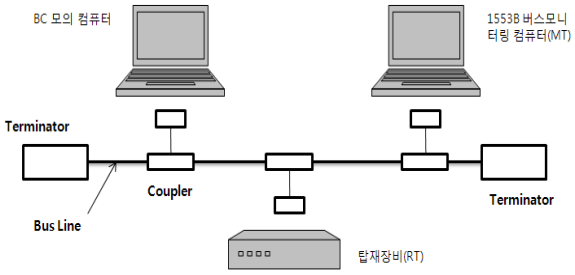


Fig. 11. Test Environment for 1553B Data Transfer

전송할 자료는 7,684개의 메시지로 구성되며, 전송결과의 전송유무는 탑재장비의 응답 메시지로 확인하는 방법과 탑재장비의 메모리로부터 전송된 자료를 읽고 파일로 저장하여, 전송자료와 비교하는 방법으로 확인하였다.

Fig. 12와 13은 BC와 RT의 통신자료를 모니터링 한 것이다. Fig. 13은 Fig. 12의 일부 구간을 확대한 것으로, 메시지 체인으로 전송됨을 확인할 수 있다.

Table 7은 실험결과를 요약한 것이다. BC에서 자료전송만을 수행한 경우(A)과 자료전송 외에 실제 환경과 유사하게 100 msec 마다 30 msec의 일부 구간에서 송신명령을 통해 탑재장비의 응답메시지 확인을 수행한 경우(B)에 대하여 각각 10회씩 수행하였으며, 시험결과 모두 정상 전송되었음을 확인하였다. 단, 탑재장비와 BC 모의 컴퓨터간의 자료 전달을 위한 약속된 프로토콜에 의해 계산된 결과와 수백 msec 정도의 시간이 늘어날 수 있다.

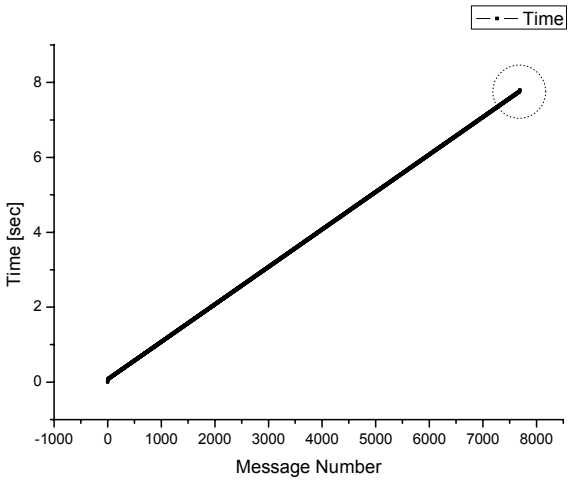


Fig. 12. Bus Monitor Result 1/2

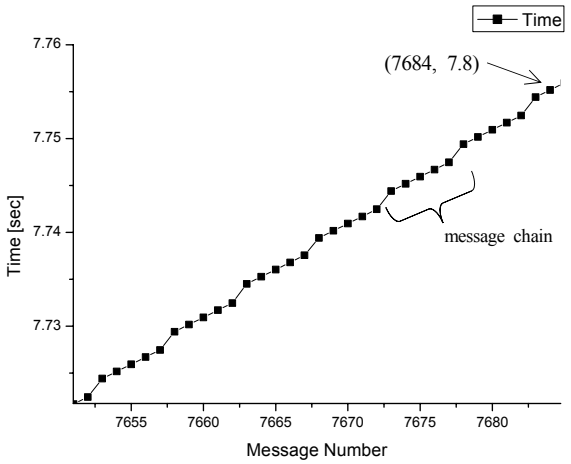


Fig. 13. Bus Monitor Result 2/2

Table 7. Test Result

종류	시험 회수	탑재장비 응답결과	파일 비교결과	전송 완료 시간
A	10	모두 정상	모두 정상	약 7.8초
B	10	모두 정상	모두 정상	약 11.2초

아래 Table 8은 BC에서 자료전송만을 수행하였을 때, 기존의 방식과 비교한 것이다. 메시지의 전송속도 [msg/msec]가 기존의 1 msg / 2 msec에서 5 msg / 5 msec로 두 배로 증가함에 따라, 주어진 자료를 전송하는데 소요되는 시간이 15.4초에서 7.8초로 반으로 감소하였음을 확인할 수 있다 통신사용량은 1553B의 전송속도 1 Mbps에 대한 사용량으로 기존 34 %에서 68 % 까지 사용되었다.

Table 8. Comparison of existing and new System

	기존	메시지 체인
BC 전송방식	0.5 msg/sec	1 msg/sec
소요시간	15.4 초	7.8 초
통신사용	34 %	68 %

5. 결 론

유도무기체계의 발전에 따른 탑재장비의 첨단화 및 정밀 유도 알고리즘 수행으로 통신 자료가 늘어나고, 1553B 통신 체계를 채택한 유도무기체계에서는 성능 개선이 요구된다. 이에 본 논문에서는 메시지 체인방식과 더블버퍼 방식에 대하여 분석하고, 그 중에서 가장 효율적이라고 예상되는 BC의 다중메시지 체인과 RT의 더블버퍼 방식을 기존 시스템에 적용한 결과 메시지 전송속도가 2배로 증가하였고, 요구하는 자료를 주어진 시간에 더 많이 또는 전송 시간을 단축할 수 있었다.

References

[1] 정대영, 박상곤, 고정환, 이종순, “효율적인 MIL-STD-1553B 통신 S/W 개발 방법론”, 항공우주 무기체계 발전세미나, 2008.

[2] “MIL-STD-1553B NOTICE II”, Department of Defence, Washington D.C. 20360. 1986, 9.

[3] “Integrated Avionics Library Reference Manual, Version 8.x”, SBS Technologies, 2005.

[4] “MIL-STD-1553 ABI/ASF User’s Manunal”, SBS Technologies, 2005.

[5] “ACE Series BC/RT/MT Advanced Communication Engine Integrated 1553 Terminal User’s Guide, Rev, G”, ILC DATA DEVICE CORPORATION, 1997.

[6] Zhang Yong-xiang, Zhang Wei-gong, Zhou-Quan, Ding Rui, Shang Yuan-yuan, “The Design of 1553B Communication Bus Based of BU-61580”, Industrial Electronics and Applications IEEE, 2010.

[7] 권용성, 이상훈 “유도전자장치 개발(유도조종장치)”, 국방과학연구소, 2011.

[8] Interval Zero, “Hard Real Time with IntervalZero RTX® on the Windows® Platform”, www.intervalzero.com. 2010.