다중표적 환경에서 추적시스템을 위한 연동 소프트웨어 모듈 연구

A Study of Data Slaving Software Module for Instrumentation Systems on Multi-Target Environment

오 세 진*

Se-Jin, Oh

Abstract

In this paper, you can see the structure of data slaving software module that is in use on flight test and result of the test with the slaving. The data slaving software module has many functions, data slaving for various instrumentation systems(instrumentation radars, telemetry systems for missile, aircraft and so on), setting some slaving group for multi-target, communicating with the instrumentation systems in a far away site and sending a specific value as slaving data. This fits the requests for flight test that is being performed and improves performance of the instrumentation systems.

Keywords : Data Slaving Software Module, Flight Test, Instrumentation Systems

1. 서론

계측레이더는 극초단파를 이용하여 탐지 대상체에 전자기파를 방사시키고, 그 대상체에서 반사되는 전자기파를 수신하여, 탐지 대상체의 거리, 방향 등의 정보를 획득하는 장비로서, 현재 유도무기 비행시험에는 비콘 모드와 스킨 모드가 운용되고 있다. 비콘 모드는 비행체에 탑재된 비콘 송수신장치의 출력 및 빔 패턴에 따라, 스킨 모드는 비행체의 RCS(Radar Cross Section)에 의해서 최대추적거리 및 추적상태가 결정

된다. 이 때 클러터 신호크기가 큰 경우, 안테나의 빔 패턴이 안정적이지 않을 경우, 주파수 간섭, 저고도 비행시험 도중 해면 반사파에 의한 멀티패스가 심한경우 등의 요인에 의해 추적에 실패할 가능성이 있다^[1~3]. 일단 추적에 실패할 경우 빔 폭이 좁기 때문에 빠른 속도로 움직이는 표적을 수동으로 다시 추적하기는 매우 어렵다. 이를 보완하기 위해 다수의 계측레이더를 운용하고, 하나의 레이더가 표적을 놓칠 경우 정상적으로 추적중인 레이더의 자료를 연동하여 보다 쉽게 재추적하게 된다. 그러나, 계측레이더들은 동일한 특성을 가지고 있기 때문에 특정한 원인에는 동시에 추적에 실패할 수 있는 위험성에 노출될 수 있다. 이를 보완하기 위해 원격측정 시스템의 위치자료를 연동하기 위한 소프트웨어 모듈을 개발하여 사용해왔으나, 다양

† 2011년 5월 2일 접수~2011년 7월 15일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 오세진(spcozone@paran.com)

화되는 유도무기 비행시험의 요구조건에 맞추어 개선될 필요가 생겼다^[4]. 보다 많은 계측장비들의 자료를 수신하여 기존의 단방향 연동이 아닌 상호 연동할 필요가 있고, 섬에 가리는 등 보이지 않는 곳에서의 유도무기 발사시 초기 추적, 먼 거리에서 진입하는 비행체의 추적, 다중표적의 동시 추적, 위치자료의 송수신의 향상이 필요해졌다. 이와 같이 다양화되는 시험에 의한 연동 요구사항의 변화를 수용하여, 계측장비들의 계측 능력을 향상시키기 위하여 개선된 위치자료 연동 소프트웨어 모듈(이하 연동모듈)을 개발하였다.

연동모듈은 국방과학연구소 종합시험단(이하 시험단)에서 유도무기 비행시험에 사용하는, 비행 자료처리 시스템의 주요 기능의 하나인 자료연동을 담당하는 소프트웨어 모듈이다^[5]. 본 논문에서는 연동모듈의 개발을 위한 동작구조 설계, 검증, 개발 후 테스트와 실 시험 적용 및 개선된 성능 검증에 관한 내용을 보여준다.

2. 동작구조 설계

가. 연동모듈 요구기능

다양해진 요구사항을 만족시키는 연동모듈을 만들기 위해서는 다음의 기능을 구현해야 한다. 첫째, 서로 다른 장비를 포함하여 여러 계측장비들간의 상호 연동을 지원한다. 둘째, 다중표적의 경우 위치자료이기 때문에 동일한 표적을 추적하는 계측장비들만 자료를 공유할 수 있도록 연동그룹을 설정할 수 있어야 한다. 셋째, 가시선(Line of Sight) 밖의 먼 거리에서 진입하는 비행체의 경우, 이 비행체를 계측할 수 있는 위치의 계측장비로부터 자료를 받아서 연동할 수 있어야 한다^[1]. 넷째, 보이지 않는 곳에서 나타나는데 비행 초기 추적자료가 없을 경우, 특정 값을 설정하여 연동할 수 있어야 한다. 다섯째, 계측장비들의 성능이 향상됨에 따라 자료 전송율도 기존보다 향상시켜야 한다. 언급된 기능들을 포함하는 연동모듈의 동작구조를 다음과 같이 설계하였다.

나. 연동모듈 기본 개념

연동모듈은 여러 계측장비 중 하나의 위치자료를 연동 알고리즘에 의해 선택하여 다른 계측장비의 연동자료로 보내주게 된다. 이 때 선택된 계측장비를 ‘연동소스’라 칭한다. Table 1은 본 논문에서 사용할 연동소스 장비명의 약어이다.

Table 1. ‘연동소스 장비명’의 약어

약어	의미
TLM	원격측정 시스템
R#1	계측레이더 #1
R#2	계측레이더 #2
R#3	계측레이더 #3
R#4	계측레이더 #4
항공기	해미 시험장 항공기 통신장비 원거리 계측장비임

하나의 연동그룹은 하나의 독립된 연동 태스크로 동작하고 단일 표적을 추적하며 위치자료를 공유한다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이, 하나의 계측장비가 연동소스로 선택되면 자신을 포함하여 모든 계측장비가 선택된 계측장비의 자료를 받는다.

Fig. 1. 연동자료 송신

다. 연동 태스크의 상태 변화

연동 태스크는 ‘default’, ‘source selecting’, ‘duplication’의 세 가지 상태를 가진 유한상태기계(Finite State Machine)이며, 본 논문에서는 Table 2의 약어와 혼용해서 사용한다. 각 계측장비의 추적 성공여부 확인과 상태 천이는 위치자료 전송율에 맞추어 50Hz로 동작한다.

Table 2. ‘연동 태스크 상태’ 약어

약어	의미
DEF	default
SS	source selecting
DUP	duplication

Fig. 2는 연동 태스크의 상태가 변화되는 과정을 보여준다.

Fig. 2. 연동 태스크 상태 천이도

‘default’는 미션이 시작되기 전에 추적중인 계측장비가 없는 초기상태로 출력값은 시험 전에 설정된 기본값이다. ‘source selecting’은 미션 시작 전/후의 추적중인 계측장비가 있는 상태로 출력값은 선택된 계측장비의 위치자료이다. 마지막으로 ‘duplication’은 미션 도중이지만 추적 실패등의 사유로 추적중인 계측장비가 없는 상태로 이전 자료가 복제되어 출력된다.

연동 태스크의 상태는 ‘default’에서 시작한다. 하나의 계측장비라도 추적에 성공하게 되면 ‘source selecting’으로 변하고, 여러 개의 계측장비가 추적에 성공하면 이를 바탕으로 Table 3의 연동 알고리즘에 의해 선택된 계측장비의 위치자료가 연동자료로 송신된다. ‘source selecting’에서 모든 계측장비가 추적에 실패하면, ‘duplication’으로 변화되고 직전에 출력된 값을 다시 출력한다. ‘duplication’에서 하나의 계측장비라도 추적에 성공하면 다시 ‘source selecting’으로 변화된다. 그러므로 시험중에는 대부분 ‘source selecting’을 유지하게 된다.

라. 계측장비별 추적성공/실패 판단조건

연동태스크의 상태는 추적성공/실패에 의해 변화한다. 연동태스크의 추적성공/실패의 조건은 Fig. 2에 나타나고 ‘2. 다’에서 언급하였다. 각각의 계측장비별 추적성공/실패 판단조건은 Table 3, 4와 같다.

‘frame sync’는 원격측정 시스템의 안테나에 수신된

신호의 data sync가 맞는지 여부를, ‘track bit’은 계측레이더가 추적중인지 여부를 ‘0’, ‘1’로 표현한다. 계측레이더는 시리얼 통신으로 위치자료를 수신하므로 ‘CRC’는 시리얼 통신의 ‘CRC check’ 성공 여부를 표시한다. ‘range’, ‘azimuth’, ‘elevation’은 각 계측장비 안테나의 계측값이다. Table 3의 범위는 계측장비가 물리적으로 계측할 수 있는 범위이며, 이것을 벗어나면 자료에 오류가 있는 것으로 본다. Table 3에 나와있는 모든 조건을 만족하고, 추적실패 판단조건에 부합되지 않을 경우 추적 성공으로 판단하게 된다.

Table 3. 계측장비별 추적성공 판단조건

계측장비	추적성공 판단조건
원격측정 시스템	Frame sync ‘On’ -3° < elevation < 180° range > 0m 0° < azimuth < 360°
계측 레이더	Track bit ‘On’ CRC -7° < elevation < 180° range > 0m 0° < azimuth < 360°
항공기 정보	Frame sync ‘On’ -3° < elevation < 180° range > 0m 0° < azimuth < 360°
표적기 정보	Frame sync ‘On’ -3° < elevation < 180° range > 0m 0° < azimuth < 360°

Table 4. 계측장비별 추적실패 판단조건

계측장비	추적실패 판단조건
원격측정 시스템	추적성공 조건에 연속으로 5회 이상 만족하지 못했을 경우
레이더	Track bit ‘Off’
항공기	추적성공 조건에 연속으로 5회 이상 만족하지 못했을 경우
표적기	추적성공 조건에 연속으로 5회 이상 만족하지 못했을 경우

계측레이더는 ‘track bit’을 운영자가 수동으로 판정하여 주기 때문에 다른 계측장비와 추적실패 판단조건이 다르다. 계측레이더 이외의 계측장비는 자동으로 판정되기 때문에 표적과의 단순한 통신 오류에도 추적성공, 실패의 판단이 바뀔 수 있다. 이론적으로는 최악의 경우 위치자료 수신율인 50Hz로 바뀔 수 있는데, 이것이 원인이 되어 이 자료를 연동하는 계측장비의 떨림 현상이 발생할 수 있다. 떨림 현상은 해당 계측장비에 문제가 되기 때문에 피해야 한다. 따라서 일정 횟수 이상 연속으로 변경이 있을 경우에만 연동자료에 변화를 주어야만 한다. 기존의 시험자료를 조사한 결과, 실제로 추적에 실패하지 않은 통신오류의 경우 3회 이상 연속으로 오류가 나타나지 않음을 확인하고, 판단조건을 5회로 정하였다. 50Hz 수신율에서 5회의 지연은 100ms의 판단 지연을 가져오며, 이것은 추적성능에 영향을 미치지 않는 범위이다^[4].

마. 연동그룹

다중표적을 추적할 경우에는 연동그룹을 4개까지 설정할 수 있으며, 각각이 독립적으로 동작하는 연동태스크가 된다. 즉, 표적 갯수에 따라 연동태스크의 갯수가 결정된다.

바. 연동 알고리즘

계측장비가 추적에 성공하여 연동 태스크가 ‘source selecting’일 경우, Table 5의 연동 알고리즘에 의해 선택된 계측장비의 자료가 연동자료로 송신된다^[5].

Table 5. 연동 알고리즘

알고리즘	내 용
Priority Fixed	고정된 순서에 따라 계측장비 선택
Priority Favor	항상 우선순위가 높은 계측장비 선택
Device Fixed	고정된 하나의 계측장비 선택
Quality Favor	레이더의 SNB에 의해 계측장비 선택

연동 알고리즘은 시험 상황에 맞게 설정하여 사용한다. 주어진 상황 하에서 계측장비가 동일한 신뢰도를 가질 경우 ‘priority fixed’를, 하나의 장비가 매우 신뢰도가 높을 경우에 ‘device fixed’, 계측장비의 신뢰도가 차이가 나지만 완전히 하나만 믿을 수 없을 경우엔 ‘priority favor’를 선택한다. ‘quality favor’는 계측레이더

이외의 장비가 없고, 신뢰도에 영향을 미치는 다른 요소가 없을 경우 선택한다.

3. 동작구조 검증

연동모듈을 개발할 당시, 2009년 10월 현재, 지금까지 진행되었던, 그리고 앞으로 진행해야 하는 요구사항이 있는 모든 시험을 수행할 수 있는지에 대해 검증을 해 보았다. 여러 계측장비를 연동하며 조건을 만족시키려면 미션 시작 전부터 초기 구간까지가 중요하기 때문에, 검증 내용은 각 시험 상황에서 여러 계측장비를 연동할 때, 비행 초기구간을 중점적으로 분석하여, 기본값을 포함 적절한 계측장비의 자료가 연동소스로 선택되어서 송신되는지에 대해 논리적으로 검증한 결과이다. 시험단내의 계측장비(원격측정 시스템, 레이더)를 기본장비로 하고, 항공기 통신장비는 추가적인 사항으로 다루었다. 추적하는 표적이 하나일 경우를 기준으로 하고, 표적이 둘 이상일 경우는 특수한 상황으로 보고 분석했다. 시험 종류의 경우의 수는 실제로 존재하는 시험에 한정되었다. 우선순위는 원격측정 시스템, 계측레이더 #1, 계측레이더 #2, 계측레이더 #3, 계측레이더 #4, 항공기 통신장비의 순으로 하고, 연동 알고리즘은 ‘Priority Favor’를 선택했다. Table 7은 그 검증 결과이고, Table 6은 Table 7 항목의 의미이다.

Table 6. Table 7 항목 의미

항목	의 미
1	원격측정 시스템 사용여부
2	해미 시험장 항공기 통신장비 사용여부. 원거리 계측장비임.
3	미션 시작 전 원격측정 시스템의 추적여부. 추적이 불가능한 경우가 존재함.
4	미션 시작 전 계측레이더의 추적여부. 추적이 불가능한 경우가 존재함.
5	미션 시작 전 원격측정 시스템이 추적하는 경우, 실측값이 나오는지 여부. 미션이 시작해야 실측값이 나오는 경우가 있다.
미션 시작전	통제소에서 유도무기 비행시험을 시작하기 이전
미션 시작후	통제소에서 유도무기 비행시험을 시작한 이후

계측레이더는 사용여부가 없이 항상 사용한다. 1~5까지의 외부 요인의 변화에 따라서, 미션 도중 연동소스와 연동 태스크의 상태가 바뀌게 된다. Table 7의 ‘미션 시작 전’ 및 ‘미션 시작 후’ 항목의 값은 [연동소스 장비명(연동 태스크 상태)] 형태로 표시하였다.

Table 7의 결과를 보면, 우선순위가 높은 원격측정 시스템의 자료가 주로 선택되어지고, 이 자료가 적절치 못할 경우에 계측레이더 자료나 때에 따라서는 항공기 통신장비 자료, 모두 없으면 기본값이 선택되어서 항상 적절한 연동자료가 송신되는 것을 볼 수가 있다. 이에 동작구조 검증을 마치고 개발을 진행하였다.

Table 7. 비행 초기구간 연동자료 송신 검증

1	2	3	4	5	미션 시작 전	미션 시작 후
O	X	O	O	O	TLM(SS)	
O	X	O	O	X	R#1(SS)	TLM(SS)
O	X	O	X	O	TLM(SS)	
O	X	O	X	X	기본값(DEF)	TLM(SS)
O	X	X	O	X	R#1(SS)	TLM(SS)
X	X	X	O	X	R#1(SS)	
O	O	X	X	X	항공기(SS)	TLM(SS)
O	X	X	X	X	기본값(DEF)	TLM(SS)

4. 기능동작 테스트

설계된 동작구조에 따라 개발된 연동모듈을 비행시험에 적용하기 전에 동작 점검을 위한 테스트를 실시하였다. 테스트는 각 계측장비간 단위 테스트를 실시한 후 버그를 수정하고 통합 테스트를 실시하였다. 단위 테스트는 각 계측장비와 비행 자료처리 시스템과의 자료 송수신에 대해 진행하였고, 통합 테스트는 실제 시험 상황을 가정한 시나리오에 따른 연동모듈 동작 테스트를 진행하였다.

통합 테스트는 표적의 수가 1개, 2개, 4개인 상황을 가정하여 시나리오를 만들었다. Table 9는 표적이 1개 일 경우에 대한 테스트 시나리오를 요약한 표이고, Table 8은 Table 9 항목의 의미이다.

동작구조 분석과 마찬가지로 우선순위는 원격측정 시스템, 계측레이더 #1, 계측레이더 #2, 계측레이더 #3,

계측레이더 #4, 항공기 통신장비의 순으로 하고, 연동 알고리즘은 ‘Priority Favor’를 선택했다.

Table 8. Table 9 항목의 의미

항목	의 미
1	원격측정 시스템 추적 여부
2	계측레이더 #1 추적 여부
3	계측레이더 #2 추적 여부
4	계측레이더 #3 추적 여부
5	계측레이더 #4 추적 여부
6	해미 시험장 항공기 통신장비 추적여부
state	연동 태스크 state
source	연동소스로 선택된 계측장비

Table 9는 1~6까지 외부 요인에 의해서 변화되는 ‘연동 태스크 상태’와 ‘연동소스로 선택된 계측장비’를 시간의 흐름에 따라 보여준다.

Table 9. 연동 태스크 상태의 변화 및 연동소스의 시간에 따른 변화

1	2	3	4	5	6	state	source
X	X	X	X	X	X	DEF	기본값
X	X	X	X	X	O	SS	항공기
O	X	X	X	X	O	SS	TLM
O	X	X	X	O	O	SS	TLM
O	X	X	O	O	O	SS	TLM
O	X	O	O	O	O	SS	TLM
O	O	O	O	O	O	SS	TLM
X	O	O	O	O	O	SS	R#1
X	O	O	O	O	X	SS	R#1
X	X	O	O	O	X	SS	R#2
X	X	X	O	O	X	SS	R#3
X	X	X	X	O	X	SS	R#4
X	X	X	X	X	X	DUP	이전값
O	X	X	X	X	X	SS	TLM
X	X	X	X	X	X	DUP	이전값

모든 계측장비를 연결 후, 표적의 수가 1개, 2개, 4개일 경우 모두 시나리오와 일치하게 동작하는지 점검하여 개발을 완료하였다.

5. 실 시험 적용 및 개선된 성능 검증

개선된 연동모듈은 2010년 유도무기 비행시험에 사용하여 60여회의 시험을 성공적으로 수행하였다.

Fig. 3과 4는 개발된 연동모듈을 사용하여 항공기 통신장비의 위치자료를 연동자료로 받았을 경우와 기존의 연동모듈을 사용하여 연동자료가 없을 경우에 대해, 원거리에서 진입하는 항공기의 경로를 계측레이더로 추적한 결과를 보여준다.

Fig. 3. 항공기 궤적(위도/경도)

Fig. 4. 항공기 궤적(고도/경도)

Fig. 3은 위도/경도 궤적이고, Fig. 4는 고도/경도 궤적이다. 이동중인 항공기를 빔 폭이 좁은 계측레이더로 찾기란 매우 어렵다. 위치자료 연동을 했을 경우(With Slaving)와 하지 않았을 경우(Without Slaving)가 서로 다른 시험이라 수평 궤적과 고도가 다르지만, 비행 초기 구간의 추적 범위가 차이를 보여준다. 비행 초기 시험단에서는 계측이 불가능하지만 항공기 통신 장비에서는 계측이 가능하여, 이 자료를 받아서 추적을 쉽게 한 것이다.

Fig. 5~7의 자료는, 원거리의 보이지 않는 곳에서 나타나는 것을, 연동 모듈에 미리 설정한 기본값을 각 계측장비로 송신하여 그 위치를 지향하고 있는 상태에서, 미션 시작 후 빔 폭이 상대적으로 넓고 잡음 내성이 강한 원격측정 시스템이 먼저 추적을 시작하고, 이 자료를 계측레이더에 송신하는 형태로 진행된 시험의 자료이다^[2].

이 결과는 같은 시험에 사용된 원격측정 시스템, 계측레이더 2대의 자료에 대한 비교 결과이다. 이 시험에선 상대적으로 계측이 유리한 원격측정 시스템의 우선순위를 높게 하고, 계측레이더 2에 전달하는 형태로 진행되었다. 계측레이더 1은 자료연동 없이 스캔 추적을 실시하였다.

Fig. 5는 비행 초기구간의 위도/경도 수평궤적이다. 제일 먼저 원격측정 시스템이 추적을 시작하였고, 계측레이더 2가 뒤이어 추적하고, 계측레이더 1이 마지막으로 추적함을 보여준다. 이 때, 계측레이더 2는 원격측정 시스템과 거의 일치하고, 계측레이더 1은 추적을 시작한 후에도 여러 차례 놓쳐서 재추적하는 모습을 보인다.

Fig. 5. 비행 초기구간 수평궤적

Fig. 6은 Fig. 5의 수평궤적 중 특정 부분을 확대한 그림이다. 계측레이더 1의 궤적이 초기구간에 표적을 놓친 후 재추적하는 모습을 보여준다.

Fig. 6. 비행 초기구간 수평궤적 확대

Fig. 7은 계측레이더 1, 2의 미션 수행시간 대비 range 값의 변화를 보여준다. 80km 가까운 구간에서 점점 다가오는 동안 레이더 1은 고르지 못한 추적결과를 보여주지만, 레이더 2는 고른 추적결과를 보인다.

Fig. 7. 계측레이더 시간 대비 range 값

원거리 계측장비 자료연동과 임의의 자료를 설정하여 초기구간에 기본값으로 전송하는 기능만 검증했으나, 그 외의 기능은 검증하지 않아도 개선 효과 비교가 가능하다. Table 10은 기존 연동모듈과 개선된 연동모듈의 비교 표이다.

Table 10. 기존 연동모듈과 개선된 연동모듈 비교

시스템 기능	기존 연동모듈	개선된 연동모듈
적용 분야	단일 표적	단일 및 다중표적
계측장비 연결수	5대	11대
자료처리 속도	10Hz	50Hz
연동 관계	원격측정 시스템만 연동	모든 계측장비간 상호연동
원거리 계측장비 자료연동	없음	가능
임의자료 연동	없음	가능

6. 결 론

개선된 연동모듈은 다양한 계측장비들의 상호 보안을 통한 추적성능 개선을 위하여 개발되었다. 여기에 원거리 진입, 다중표적 등 다양화되는 비행시험의 요구사항을 모두 수용하였다. 이는 동작구조 분석을 통하여 개발 전에 그 동작논리가 검증되었고, 개발 후 단위별 및 통합 기능동작 테스트를 통하여 그 기능이 검증되었으며, 유도무기 비행시험에의 적용을 통하여 그 효과를 입증하였다. 또한 지원 가능한 계측장비의 종류와 수가 증가하였고, 연동소스 선택의 유연성이 증대되었으며, 자료전송 속도가 증가하였고, 다중표적을 위한 연동그룹의 설정이 가능해졌다.

2010년 비행시험에 적용하여 계측성능 개선에 많은 효과를 보았으며, 앞으로도 지속적으로 유용하게 사용될 것이다. 향후 시뮬레이션 자료 등을 연동하여 새로운 방향의 시험평가 기술을 제시하고, 그 발전에 더욱 기여할 것으로 기대한다.

References

- [1] Merrill I. Skolnik, "Radar Handbook Second Edition" McGraw-Hill, Inc, 1990
- [2] 정희영, 방희진, 최동민, "원격측정 시스템-레이더 연동 프로그램 개발", 국방과학연구소, 2009.
- [3] 류중호, 예성혁, 황규환, 서일환, "표적의 자세 변화를 고려한 계측 레이더의 비콘 추적 성능 분석",

한국군사과학기술학회지, 2010

- [4] 이성필, “Self-Slaving을 이용한 원격측정 신호추적 기법 연구”, 한국군사과학기술학회지, 2008.
- [5] 정경호, 오세진, 방희진, 이용재, 김홍범, “다중표적 비행시험을 위한 비행 자료처리 시스템 설계”, 한국항공우주학회지, 2010.
- [6] 정희영, 방희진, 최동민, “유도무기 비행시험 자료 수신 및 전시 S/W 성능개선”, 국방과학연구소, 2006.
- [7] 류정호, “비행시험을 위한 전위처리 시스템 구축”, 국방과학연구소, 1998.
- [8] Range Commanders Council, “Telemetry Application Handbook”, Document 199-88, pp. 5.1-1.
- [9] Ziemer, Principles of Communications, Houghton Mifflin, 1990.