

스마트 무인기 비행제어 상태/모드 분석

오수훈*

한국항공우주연구원

States and Modes Analysis for Flight Control of Smart UAV

Soo Hun Oh

Korea Aerospace Research Institute, 305-333 Eoeun-dong, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

Abstract : This paper describes the results of applying States and Modes Analysis, one of the requirements analysis techniques, to the development requirements of flight control software for Smart UAV. State/mode table enabled us to investigate various operation and design concepts, and as a result essential requirements for flight control software were established without omitting necessary requirements. Through the use of scenario-specific state transition diagrams, dynamic behaviours and control/response interfaces between each state and mode could be clearly identified, which made it possible to establish requirements related to dynamic behaviours of states and modes which are essential to the design of flight control software.

Key Words : Requirements Analysis(요건 분석), States and Modes Analysis(상태/모드 분석), 비행제어(Flight Control), Smart UAV(스마트 무인기)

1. 서 론

21세기 프론티어 기술개발사업의 일환으로 수행 중인 스마트무인기 기술개발사업은 충돌 감지 및 회피 등의 지능형 자율비행 능력을 보유하고 수직이착륙과 고속비행이 가능한 지능형 고성능 무인항공기 시스템을 개발하는 체계개발사업으로 개발 성공 가능성을 극대화시키기 위하여 시스템 엔지니어링 프로세스를 적극적으로 적용하고 있다. [1, 2]

무인기 시스템에 있어서 비행제어 소프트웨어는 유인기의 경우 조종사를 보조하는 역할에 그치

는데 비하여 훨씬 포괄적으로 조종사의 역할을 대신할 뿐만 아니라 해당 시스템의 운용개념까지도 포괄하기 때문에 무인기 개발에 있어서 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 스마트 무인기의 경우 회전익 비행과 고정익 비행이 동시에 가능할 뿐만 아니라 충돌회피, 고장진단 및 재형상(Reconfiguration) 등의 지능형 자율비행 기능이 추가되므로 이를 관장하는 비행제어 소프트웨어의 기능은 일반 무인기에 비하여 훨씬 복잡 다양하고 따라서 그 설계 요건 도출을 위해 체계적인 접근 방식이 요구된다.

따라서 스마트무인기의 비행제어 소프트웨어(OFP : Operational Flight Program) 개발 요건

* 교신저자 : oshtiger@kari.re.kr

을 도출하고 분석하는 단계에서 여러 가지 요건 분석 기법을 이용하게 되었으며 본 논문에서는 요건 분석(Requirements Analysis) 기법의 한가지인 상태/모드 분석(States and Modes Analysis)을 적용한 결과와 그 유용성을 기술하고자 한다.

2. 요건 분석

요건은 개발사업의 설계, 제작, 시험, 운용 및 폐기에 이르는 Life Cycle 전반에 대한 논리 근거를 제공하므로 사업 성패에 가장 큰 영향을 미치는 프로젝트의 기반이다. 따라서 완벽하면서도 꼭 필요한 최소한의 요건을 프로젝트 초기에 수립하는 것은 프로젝트의 성공에 이르는 필수 요소이다.

그러므로 현대의 체계공학 프로세스에서 요건의 중요함은 상당히 강조되고 있으며, Fig. 1에서와 같이 체계설계 프로세스에서는 반복적인 요건 분석(Requirements Analysis)의 수행을 통하여 설계 수행기간 내내 요건의 무결성을 추구하게 된다.

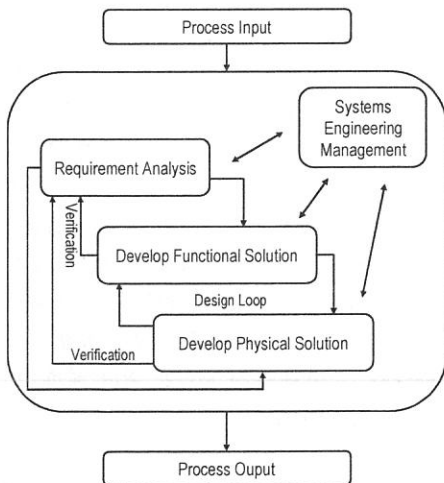


Fig. 1 System Design Process

요건 분석을 위한 다양한 기법들이 개발되어 사용되고 있는데 보편적으로 적용되는 기법들 및 그 적용 순서도는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에 제시된 기법 이외에도

- Design Requirements Analysis
 - Out of Range Analysis
 - Stakeholder Value Analysis
 - Verification Requirements Analysis
- 등의 요건 분석 기법들이 존재한다.[3]

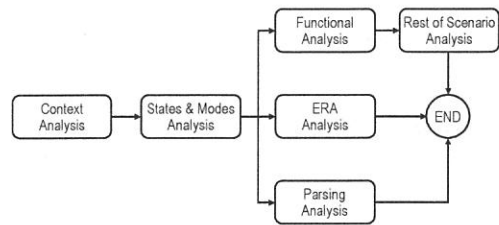


Fig. 2 Flowchart of Requirements Analysis

Context Analysis는 외부 체계 및 이해당사자(Stakeholders)와의 환경/물리적 인터페이스 요건을 식별하기 위한 기법으로 시스템의 경계를 인지할 수 있게 해준다.

States and Modes Analysis는 3장에서 설명하기로 한다.

Functional Analysis는 체계가 수행해야 할 모든 기능을 그 성능 및 조건과 함께 식별함으로써 구체적인 설계요건을 수립하는 기법이다.

Rest of Scenario Analysis는 주 운용 시나리오로부터 도출하지 못하고 누락된 요건을 나머지 운용 시나리오를 검토함으로써 도출하는 기법이다.

ERA Analysis는 ERA Diagram을 이용하여 체계를 구성하는 각 요소(Element - 기능, 데이터, 부품 등)간의 관계(Relationships)와 속성(Attributes)을 이해함으로써, 요소간의 논리적, 물리적 요건을 식별하는 기법이다.

Parsing Analysis는 요건 문장을 행위자, 행위, 행위대상 등으로 분해하여 검토함으로써 요건 문구에 내재되어 있는 오류를 식별하는 기법이다.

3. 상태/모드 분석

상태(State)란 동시에 존재할 수 없는 시스템의 시변(Time Variant) 상태를 추상화한 것이다. 각각의 상태별로 다른 상태와는 구별되는 요건 특성을 가지며, 한 상태에서 다른 상태로의 전이 메커니즘에 대한 명확한 구분이 있어야 한다.

모드는 어떤 목적을 위한 연관된 기능들을 그룹화한 것으로 그 자체로 기능적인 특성을 갖는다. 모드는 상태보다 하위 수준의 시변 특성을 추상화한 것이다. 상태와는 달리 여러 가지 모드가 동시에 존재할 수 있으며, 하나의 모드가 여러 가지 상태에서 요구될 수 있다. 모드는 서브모드를 가질 수 있다.

상태/모드 분석은 시스템에 요구되는 특성들을 상태와 모드를 이용하여 추상화 및 그룹화 함으로써 효과적인 의사소통을 가능케 하는 동시에 필요한 요건을 설정하기 위한 것이다. 즉,

- 시스템에 요구되는 상태와 모드를 식별하여
- 각각의 상태와 모드에서 요구되는 요건 및 상태간 또는 모드간의 동적 요건을 도출하고
- 정의된 상태와 모드를 이용하여 요건을 정확하게 표현할 수 있게 된다.

상태/모드 분석 절차는 다음과 같다.

- 1) 시스템에 요구되는 여러 특성들을 그룹화하여 상태와 모드를 식별한다.
- 2) 식별된 상태/모드의 정의를 기술한다.
- 3) 상태/모드표(State/Mode Table)를 작성하여 각 상태와 모드간의 배타성(동시에 존재할 수 없음)과 동시성을 식별한다.
- 4) 상태전이도(State Transition Diagram)를 작성하여 각각의 상태와 모드간 전이 경로와 전이를 위한 제어(Control)와 응답(Response)을 식별한다.

스마트 무인기 비행제어 상태와 모드는 Fig. 3의 표준임무형상(Standard Mission Profile) 및 운용 개념으로부터[4] Table 1 및 Table 2와 같이 도출되었다. 각 상태와 모드의 사전적 정의를 표에 함께 기술하였다.

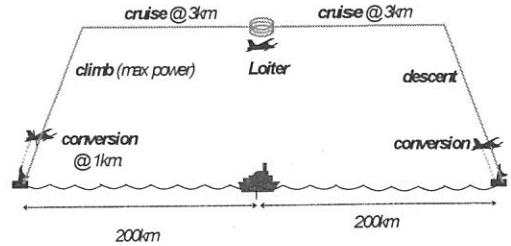


Fig. 3 Standard Mission Profile

Table 1 Definition of States

States	기호	정의
Off	S1	시스템 전원 Off 상태
On Ground	S2	시스템 전원 On, 비행전 점검이나 정비 등을 위해 지상 계류 중인 상태
Take Off	S3	수직이륙 비행 상태. 회전익 모드로 수직 이륙하여 수평비행을 위한 충분한 고도를 확보한 상태까지를 포함
Rotary Wing	S4	Take Off 및 Land 상태를 제외한 회전익 비행 상태
Transition	S5	회전익에서 고정익으로 또는 그 역순의 전이 비행 상태
Fixed Wing	S6	고정익 비행 상태
Landing	S7	수직 착륙 비행 상태. 회전익 모드로 착륙 비행을 시작하여 착지할 때까지를 포함

비행제어에 요구되는 상태와 모드의 정의가 끝나면 각 상태와 모드간의 배타성과 동시성을 식별해야 하며 이를 상태/모드표로 나타내게 된다. Table 1, 2를 바탕으로 구성된 스마트 무인기 체계의 상태/모드표를 Table 3에 나타내었다. 표에서 동시에 일어날 수 없는 배타적 관계는 'X' 기호로 동시에

일어날 수 있는 관계는 ‘●’ 기호로 표시하였다.
이 표는 대칭형이 되므로 반쪽만 표기하였다.

Table 2 Definition of Modes

Modes	기호	정의
Maintenance	M11	지상에서 비행체의 정비를 위하여 사용되는 모드. 관제장비 또는 비행체 시험장치를 이용하여 비행체 정비시 이용된다.
Pre-Flight Check	M12	비행 직전 지상에서 최종 시스템 점검을 위한 모드
Post-Flight Check	M13	비행 직후 지상에서 시스템 점검을 위한 모드
Auto Takeoff	M21	외부조종사의 도움 없이 비행체 스스로 자동 이륙하는 비행모드
Auto Land	M22	외부조종사의 도움 없이 비행체 스스로 자동 착륙하는 비행모드
Stick	M23	내/외부 조종기의 조종간 입력을 이용하여 조종면 등을 직접 제어하는 비행모드. 조종간 입력이 그대로 출력에 반영되는 수동 조종간 모드와 자동조종장치가 조종간의 입력에 대한 출력을 안전성 관점에서 제한하는 자동 조종간 모드로 구분된다.
Auto Knob	M24	관제장비 내부의 노브를 이용하여 비행체의 속도, 고도, 방위각 및 롤 각 등을 제어하는 비행모드
Waypoint Navigation	M25	지도상에 비행경로점을 설정함으로써 비행경로를 제어하는 비행모드
Preprogram	M26	사전에 입력된 비행경로점을 비행체 스스로 경유하는 비행모드
Camera Guide	M27	카메라의 시선벡터 방향으로 비행체의 heading을 유도시키는 비행모드
Autonomous	M28	지능형 자율비행을 구현하기 위한 모드로 충돌회피, 고장진단 및 재형상 기능이 적용되는 모드
Hover	M31	회전익 비행 상태에서의 제자리 비행모드
RTF Transition	M32	회전익에서 고정익 비행 상태로 자동으로 천이하는 비행모드
FTR Transition	M33	고정익에서 회전익 비행 상태로 자동으로 천이하는 비행모드
Emergency	M41	통신두절 및 각종 시스템 고장 등의 비상시를 대비하기 위한 모드로 비상상황 발생시 상황에 맞게 자동으로 인가됨

상태/모드표를 작성하기 위해서는 다양한 비행제

어 운용개념 및 설계개념의 검토가 선행되어야 한다. 예를 들면,

- 천이비행을 비행제어 소프트웨어가 자동으로 수행하게 할 것인지, 안정성 증강장치가 개입된 상태에서 조종사가 수행할 것인지?
- 회전익 비행 상태에서 카메라 유도 비행이 가능케 할 것인지?
- 조종간 모드로 회전익과 고정익 비행을 동시에 수행하기 위한 조종기의 설계개념은?

등 여러 가지 가능성과 필요성에 대한 검토가 필요하며 이러한 검토 결과를 바탕으로 좀더 면밀하게 비행제어 시스템의 요건을 설정할 수 있음은 물론이고 결과적으로 꼭 필요한 기능이 모두 반영된 비행제어 소프트웨어를 설계할 수 있게 된다는 데 상태/모드 분석의 유용함이 있다.

상태/모드표가 완성되면 이를 기준으로 상태전이도(State Transition Diagram)를 작성하게 된다. 상태전이도는 상태간 또는 모드간의 전이 순서를 이해하고 각각의 전이를 유발하는 사건(Event) 즉, 제어(Control)와 응답(Response)을 파악함으로써 체계의 상태와 모드의 전이 구조를 파악하기 위한 것으로 상태/모드 전이표에서 파악할 수 없었던 동적 특성과 각 상태/모드간 인터페이스를 시각적으로 명료하게 확인할 수 있도록 해준다. 이를 통해 대상 시스템의 동적 거동과 인터페이스를 인지할 수 있다.

상태전이도 작성을 위해서는 각 상태와 모드의 전이를 일으키는 제어와 이에 대한 응답을 검토해야 하므로, 해당 시스템의 동적 거동 개념을 설계하게 되며, 따라서 본 과정을 통하여 해당 시스템에 요구되는 동적 거동 개념의 요건을 설정할 수 있게 된다.

상태전이도는 2가지로 구분되는데 한 가지는 상태간의 전이를 나타내는 것이고 다른 하나는 모드간의 전이를 나타내는 것이다. 전이를 일으키는 제어와 응답을 전이 경로 옆에 표시하는데 선을 그어 제어는 선 위에, 응답은 선 아래에 표시한다.

Table 3 State/Mode Table

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	M11	M12	M13	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M31	M32	M33	M41	
S1		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
S2			X	X	X	X	X	●	●	●	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	●
S3				X	X	X	X	X	X	X	●	X	●	X	X	X	X	●	X	X	X	X	●
S4					X	X	X	X	X	X	X	●	●	●	●	●	●	●	●	X	X	●	●
S5						X	X	X	X	X	X	●	X	X	X	X	●	X	●	●	●	●	●
S6							X	X	X	X	X	●	●	●	●	●	●	●	X	X	X	●	●
S7								X	X	X	X	●	●	X	X	X	X	●	X	X	X	●	●
M11									X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	●
M12										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	●
M13											X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	●
M21												X	X	X	X	X	X	●	X	X	X	●	●
M22													X	X	X	X	X	●	X	X	X	●	●
M23														●	X	X	X	●	●	X	X	●	●
M24															X	X	X	●	●	X	X	●	●
M25																X	X	●	●	X	X	●	●
M26																	X	●	X	X	X	●	●
M27																		●	X	X	X	●	●
M28																			●	●	●	●	●
M31																					X	X	●
M32																						X	●
M33																							●
M41																							●

스마트 무인기 비행제어의 7가지 상태에 대한 상태전이도를 Fig. 4에 나타내었다.

모드간의 상태전이도는 같은 방식으로 작성되나, 모드와 함께 관련된 상태를 나타낸다는 점이 다르다. 스마트무인기 비행제어 모드간 상태전이도는 다양한 Diagram으로 표시되는데 그 중에서 대표적인 예를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5는 정상 이륙 후 고정익 모드로 전환하여 임무지역으로 비행하다가 비상상황이 발생하여 자동으로 귀환 및 착륙하는 과정의 모드간 상태전이도를 나타낸 것이다. 시나리오별로 모드간 상태전이도를 작성함으로써 각 구간별로 어떤 절차로 비행 및 임무제어 논리가 수행되어야 하는지를 명확히 할 수 있다.

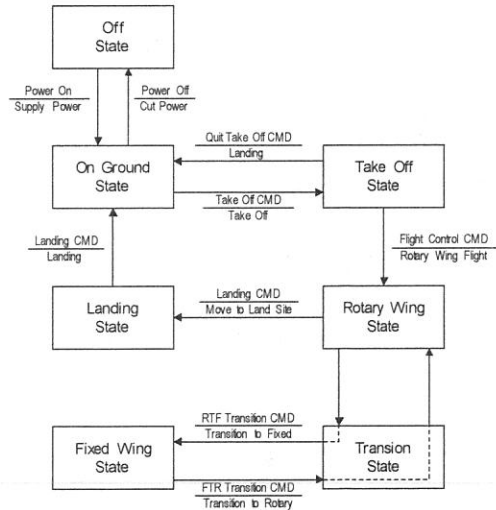


Fig. 4 State Transition Diagram

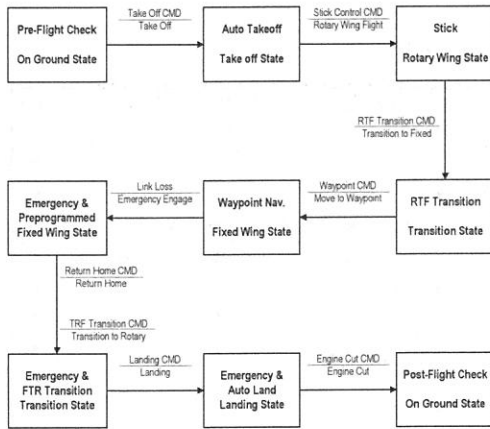


Fig. 5 State Transition Diagram between Modes

4. 결론

본 연구에서는 스마트무인기의 비행제어 소프트웨어 개발요건에 요건분석 기법의 한 가지인 상태/모드분석 기법을 적용한 결과를 기술하였다.

상태/모드표를 작성함으로써 다양한 비행제어 운용개념 및 설계개념의 검토가 가능하였고 이러한 검토 결과를 바탕으로 좀더 면밀하게 비행제어 시스템의 요건을 설정할 수 있었으며 결과적으로 필수 기능이 모두 반영된 비행제어 소프트웨어를 설계할 수 있게 되었다.

상태전이도를 통하여 각 상태와 모드간 동적 거동과 제어/응답 인터페이스를 명료하게 확인할 수 있었으며 이를 통해 비행제어 소프트웨어에 요구되는 동적 거동 개념의 요건을 설정할 수 있었다.

후 기

이 연구는 산업자원부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 기술개발사업(스마트무인기기술 개발사업)의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. S.M. Ahn, K.T. Kim, S.W. Choi, K.B. Kim, "SE Application On the Smart UAV Development", KCOSE Spring Symposium Proceeding, 2003
2. S.H. Oh, S.O. Koo, C.H. Lim, "Functional Analysis of Smart UAV System", KCOSE Spring Symposium Proceeding, 2003
3. Robert Halligan, "Systems Engineering Course Textbook", Project Performance Pty Ltd, 2003
4. S.J. Hwang, S.H. Oh, S.O. Koo, J.M. Kim, C.H. Lim, "Application and Operating Performance Requirements for Smart UAV", Proceedings of the 2002 KSAS Fall Conference, pp. 817-820, 2002