

# Structure Design of Surveillance Location-Based UAV Motor Primitives

Jeonghoon Kwak<sup>†</sup> · Yunsick Sung<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Recently, the surveillance system research has focused because Unmanned Aerial Vehicle(UAV) has the ability to monitor wide area. When the wide area are monitored, controlling UAVs repeatedly by pilots invokes the cost problem to operate UAVs. If monitoring path can be defined in advance, the cost problem can be solved by controlling UAVs autonomously based on the monitoring path. The traditional approach generates multiple motor primitives based on flied GPS locations. However, the monitoring points by UAVs are not considered by the generated motor primitives, the surveillance by UAVs is not performed properly. This paper proposes a motor primitive structure for surveillance UAVs to be flied autonomously. Motor primitives are generated automatically by setting surveillance points to denote surveillance targets accurately.

**Keywords :** Unmanned Aerial Vehicle, Ground Control System, Motor Primitive, Global Positioning System, Demonstration-Based Learning

## 감시 위치 기반의 UAV 모터프리미티브의 구조 설계

곽정훈<sup>†</sup> · 성연식<sup>††</sup>

### 요약

무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)는 짧은 시간 동안 넓은 범위의 정찰이 가능하기 때문에 최근에는 이를 활용한 감시 시스템 연구가 주목을 받고 있다. 넓은 범위를 감시할 때 조종사가 반복적으로 UAV를 비행시키는 것은 운영에 필요한 비용 문제가 발생한다. 감시를 위한 비행경로를 사전에 정의할 수 있다면 이를 기반으로 UAV를 자율 비행시켜 비용 문제를 해결할 수 있다. 전통적인 접근 방법은 GPS를 기반으로 비행할 경로를 다수 개의 모터프리미티브로 정의한다. 하지만, UAV가 감시할 지점이 모터프리미티브에 반영되지 않아 감시가 제대로 수행되지 못하는 문제가 발생한다. 이 논문에서는 감시용 UAV를 자율 비행시키기 위한 모터프리미티브의 구조를 제안한다. 모터프리미티브는 감시 대상을 정확히 기술하기 위해서 자동으로 감시할 지점을 선택하여 생성된다.

**키워드 :** 무인항공기, 지상관제시스템, 모터프리미티브, 위성 항법 장치, 데모기반학습

### 1. 서론

주차장과 같은 넓은 지역을 감시하기 위해서 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)를 활용하는 연구가 있다 [1]. 이 연구는 촬영한 이미지를 연결해서 넓은 지역을 분석한다. 주차장과 같이 넓은 장소를 감시하기 위해서 감시용 UAV를 직접 조종하면 운영에 있어서 비용 문제가 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서 위성항법장치(Global

Positioning System, GPS)를 기반으로 UAV의 웨이포인트를 지정하고 지정한 웨이포인트에 따라서 UAV를 자율 비행시키는 연구가 있다[2]. 비행 방향에 감시할 대상이 있다고 가정한다. 하지만 UAV의 비행 방향에 감시할 대상이 있지 않고 UAV를 기반으로 좌우에 감시할 대상이 있는 경우에는 이를 고려한 웨이포인트 설정 방법이 필요하다.

UAV를 비행하기 위해서 모터프리미티브 구조를 정의한 연구가 있다[3]. UAV를 비행하는 과정에서 동일한 시간으로 정해진 경로를 비행하기 위한 연구이다. 하지만 감시 대상을 관찰하기에는 모터프리미티브 구조 변경이 필요하다.

이 논문에서는 조종사가 설정한 감시 대상을 기반으로 웨이포인트를 자동으로 생성하고 웨이포인트를 따라서 비행시키기 위한 모터프리미티브 구조를 제안한다.

이 논문은 다음과 같이 구성한다. 2장에서는 감시용 UAV의 모터프리미티브 구조를 제안한다. 3장에서는 적용한 사례를 기술한다. 4장에서는 제안한 방법의 결론을 내린다.

\* 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2014R1A1A1005955).

\*\* 이 논문은 2015년도 한국정보처리학회 추계학술발표대회에서 '감시 위치 기반의 UAV 모터프리미티브의 구조 설계'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다.

† 준회원: 계명대학교 컴퓨터공학과 석사과정

†† 종신회원: 계명대학교 컴퓨터공학부 조교수

Manuscript Received : December 22, 2015

First Revision : March 24, 2016

Accepted : March 24, 2016

\* Corresponding Author : Yunsick Sung(yunsick@kmu.ac.kr)

## 2. 감시용 UAV를 위한 모터프리미티브 구조

### 2.1 경로 설정

이 논문에서는 UAV에 장착된 카메라로 감시할 대상을 감시 위치라 정의한다. 모터프리미티브를 생성할 때 감시 위치를 반영함으로써 명확히 감시 대상을 기술한다.  $p$ 번째 감시 지역을 관찰하기 위한 최적의 감시 위치는  $o_p$ 로 표현한다. 일반적으로 감시 위치는 지상관제시스템(GCS)에서 조종사가 GPS 기반의 지도에 직접 설정한다.

비행경로를 GPS 기반으로 지도상에서 표시하여 비행하는 방법[2]은 GPS 오차 범위 내에서 세밀하게 제어하지 못하고 비행 고도를 정의할 수 없다. 제안한 방법에서는 데모기 반학습으로 UAV가 비행할 경로를 설정한다. 정확하게 비행 경로를 학습하기 위해서 동일한 경로를 반복적으로 학습한다. 조종사는 직접 조종하면서 경로를 설정하기 때문에 장애물을 고려한 경로 설정이 가능하다.

UAV는 바람과 같은 외부 요인으로 정확한 제어가 어렵기 때문에 넓은 감시 지역을 오차 없이 한 번에 기록하고 모터프리미티브를 생성하기에는 많은 시행착오가 발생한다. 그래서 이 논문에서는 경로를 다수 개로 나누어서 정의한다.

Fig. 1과 같이 감시 위치 및 UAV가 비행한 경로이다. 이륙 지점과 착륙 지점은 비행 운영상의 이륙 및 착륙의 차이가 있을 뿐 경로의 양 끝점이다. 예를 들어, UAV를 보관하는 지점일 수 있다.  $i$ 번째 경로는  $p_i$ 로 표현한다.

### 2.2 감시 위치, 웨이포인트 및 구간(Section) 개요

웨이포인트는 감시 위치를 카메라로 촬영하기 위한 UAV의 위치이다. 웨이포인트는 조종사가 UAV를 경로를 따라서 비행시킬 때 조종사가 지정한 모든 감시 위치와 UAV 위치에 대한 거리차이를 이용하여 웨이포인트 설정거리  $y$  이내인 경우 설정한다. 하지만 웨이포인트 설정거리  $y$  이내가 아닌 경우에는 웨이포인트를 설정하지 않는다.

$i$ 번째의 경로에 대한 웨이포인트에 따라 나뉜  $j$ 번째의 구간은  $p_{i,j}$ 로 표현한다. 각각의 감시 위치에 대응되는 웨이포인트는 정의한 순서에 따라서  $i$ 번째 경로의  $x$ 번째 웨이포인트를  $W_{i,x}$ 라 정의한다.

구간은 웨이포인트 및 이륙 착륙을 기준으로 다음과 같이 나뉜다. 웨이포인트가 자동 설정되면 웨이포인트 간의 비행 거리를 구간으로 설정한다.

Fig. 2A와 같이  $|o|$ 개의 감시 위치를 기반으로  $i$ 번째 경로의 생성된 구간은 이륙 지점  $W_{i,start}$ 부터 웨이포인트  $i$ 번째 경로의 첫 번째 웨이포인트  $W_{i,1}$ 까지, 특정 웨이포인트  $W_{i,x}$ 에서 다음 웨이포인트  $W_{i,x+1}$ 까지, 혹은 웨이포인트  $W_{i,|w|}$ 에서  $i$ 번째 경로의 착륙 지점  $W_{i,end}$ 까지이다. 웨이포인트가 없는 경우에는 이륙 지점부터 착륙 지점까지가 하나의 구간이다. 웨이포인트가 없는 경우에는 Fig. 2B와 같이 구간은 이륙 지점  $W_{i,start}$ 부터 착륙 지점  $W_{i,end}$ 까지이다.

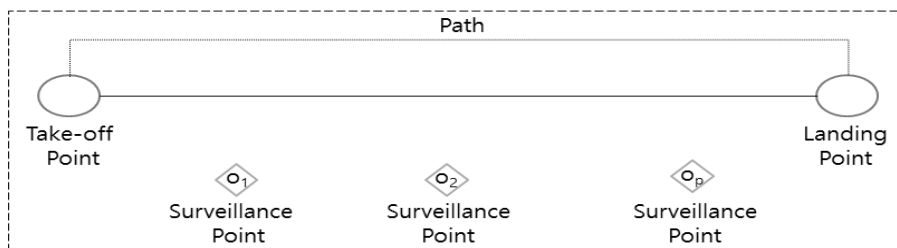


Fig. 1. Surveillance Point and UAV Path Generation

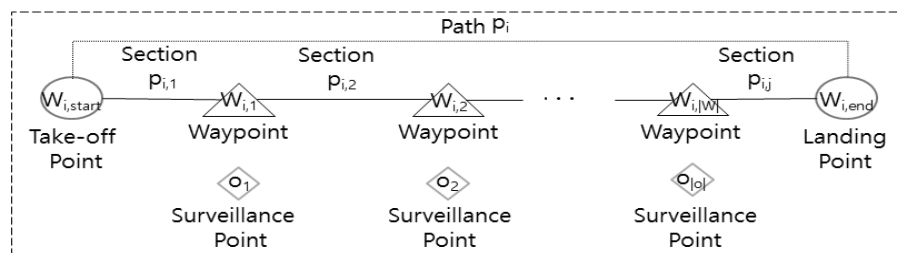


Fig. 2A. Surveillance Points-based Section and Way Point Generation

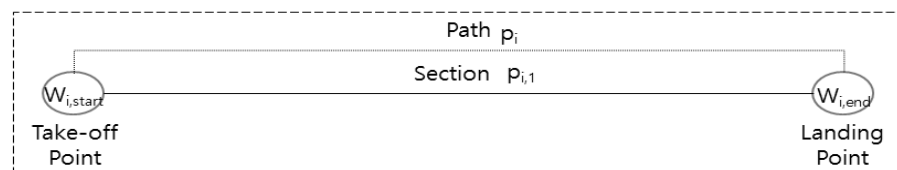


Fig. 2B. None Surveillance Points-based Section Generation

2.3 모터프리미티브 개요

이 논문에서 모터프리미티브는 조종사가 UAV를 비행시키기 위한 연속적인 명령 신호의 묶음이다. 학습한 경로를 비행시키기 위한 비행 위치도 포함한다.

데모기반학습이기 때문에 같은 경로를 반복적으로 비행하는 것이 필요하고 묶어서 집합으로 표현한다. Equation (1)과 같이  $i$ 번째 경로를 위한 순서 집합을  $M_i$ 라 정의한다. 경로 순서 집합에는 경로를 따라 이동하는  $j$ 번째 모터프리미티브를  $M_{i,j}$ 라 정의한다. 해당 경로를 따라 비행할 때  $x$ 번째로 자동 설정한 웨이포인트  $W_{i,x}$ 이다. 이륙 지점은  $W_{i,start}$ 로 표현하며 착륙 지점은  $W_{i,end}$ 로 표현한다.

$$M_i = [[M_{i,1}, M_{i,2}, \dots, M_{i,|M_i|}], [W_{i,1}, W_{i,2}, \dots, W_{i,|W_i|}], [W_{i,start}, W_{i,end}]] \quad (1)$$

모터프리미티브  $M_{i,j}$ 는 구간별 비행에 필요한 명령 신호 집합으로 표현한다. Equation (2)와 같이  $k$ 번째 명령어 신호 집합  $M_{i,j,k}$ 는 구간마다 설정한다.

$$M_{i,j} = \{M_{i,j,1}, M_{i,j,2}, \dots, M_{i,j,k}, \dots\} \quad (2)$$

명령어 신호 집합  $M_{i,j,k}$ 는 Equation (3)과 같다.

$$M_{i,j,k} = \{C_{i,j,k,1}, C_{i,j,k,2}, \dots\} \quad (3)$$

예를 들어, 첫 번째 명령 신호는  $C_{i,j,k,1}$ 이다. 명령 신호  $C_{i,j,k,1}$ 는 Equation (4)와 같이 명령어 실행 시간  $t$ , UAV 제어 벡터  $\vec{c}$ , UAV 상태 벡터  $\vec{s}$  그리고 사용자 벡터  $\vec{u}$ 로 구성한다.

$$C_{i,j,k,1} = [t, \vec{c}, \vec{s}, \vec{u}] \quad (4)$$

웨이포인트  $W_{i,y}$ 에는 Equation (5)와 같이 감시 위치  $o_{i,y}$ 와 웨이포인트 위치  $w_{i,y}$ 가 있다. 웨이포인트  $o_{i,y}$ 는 웨이포인트  $W_{i,y}$ 를 설정하는 시점에 있는  $p$ 번째 감시 위치  $o_p$ 이다.

$$W_{i,y} = \{o_{i,y}, w_{i,y}\} \quad (5)$$

모든 감시 위치와 UAV의 위치에 대해 거리차이가 웨이포인트 설정거리  $y$ 보다 작은 감시 위치를  $o_{i,y}$ 로 설정하고 UAV의 위치를  $w_{i,y}$ 로 설정하여  $i$ 번째 경로에  $y$ 번째 웨이포인트  $W_{i,y}$ 를 생성한다. 만약 웨이포인트 설정거리  $y$ 보다 작은 감시 위치가 두 개 이상 있는 경우 탐욕 알고리즘을 사용하여 거리차이가 최소인 감시 위치를  $o_{i,y}$ 로 설정한다. 또한  $i$ 번째 경로에  $y-1$ 번째 웨이포인트에 대한 감시 위치와 거리차이가 최소인 감시 위치인 동일한 경우 웨이포인트를 생성하지 않는다.

모터프리미티브 집합  $M_i$ 는 Fig. 3과 같이 표현한다. 모터프리미티브 집합  $M_i$ 에는 다수 개의 모터프리미티브  $M_{i,j}$ , 웨이포인트  $W_{i,j}$ , 이륙 지점  $W_{i,start}$ , 그리고 착륙 지점  $W_{i,end}$ 을 포함한다. 모터프리미티브  $M_{i,j}$ 에는 다수 개의 명령 신호 집합  $M_{i,j,k}$ 이 있다. 명령 신호 집합  $M_{i,j,k}$ 에는 다수 개의 명령 신호  $C_{i,j,k,l}$ 가 있다.

3. 사례 연구

실험에서는 계명대학교 성서캠퍼스의 대운동장에서 불법으로 대운동장에 침입하는 사람을 감시하기 위한 다수 개의 경로를 생성하였다. 생성한 경로에 따른 모터프리미티브 집합을 생성하였다. Fig. 4와 같이 조종사가 설정한 세 개의 감시 위치를 관찰하기 위한 모터프리미티브를 생성한다. 생

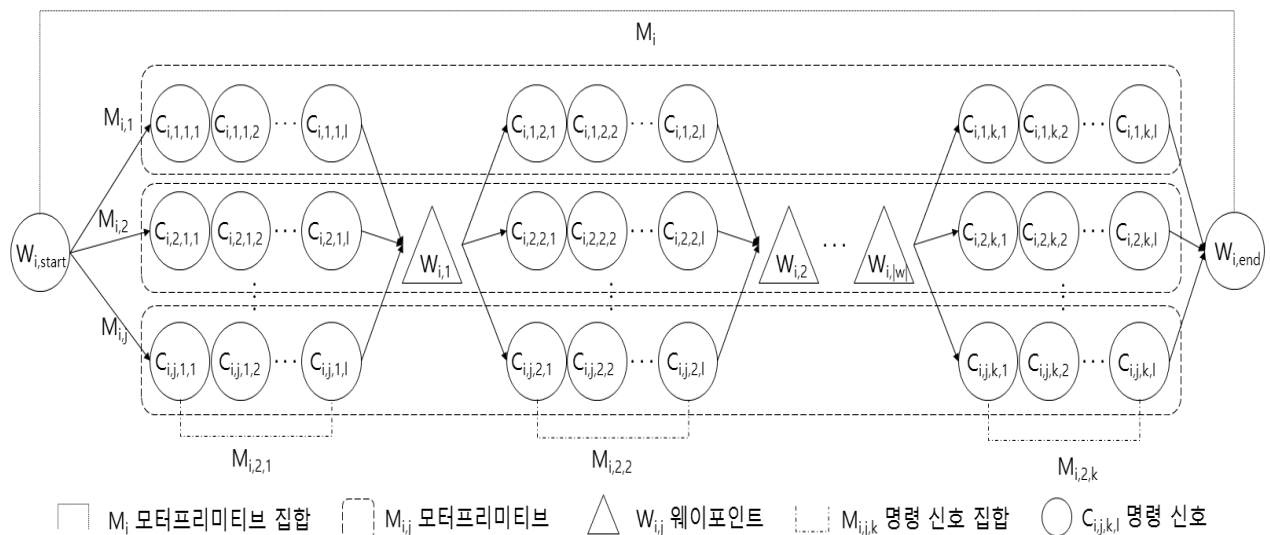


Fig. 3.  $i$ th Motor Primitive Set

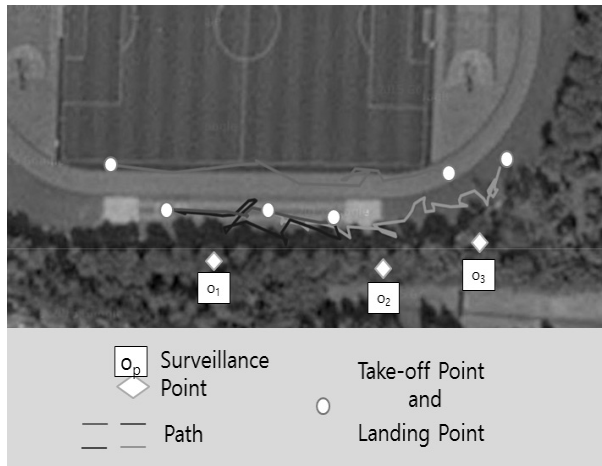


Fig. 4. Three Surveillance Point and Four UAV Path Generation

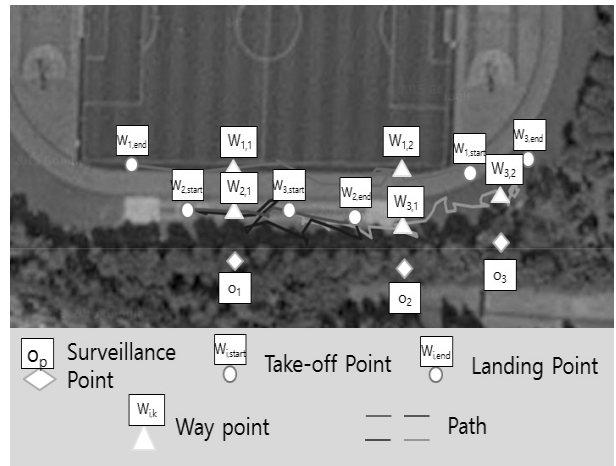


Fig. 5. Generated Waypoints: Take-off Points and Landing Points

성을 위해 네 번의 데모기반학습을 통하여 UAV가 비행할 경로를 수집했다.

Fig. 5와 같이 네 개의 비행할 경로에 대해서 세 개의 감시 위치 그리고 경로를 설정할 때 감시 위치, 이륙 지점  $W_{i,start}$ , 착륙 지점  $W_{i,end}$ 가 결정된다. 생성된 첫 번째 모터프리미티브 집합에는 이륙 지점  $W_{1,start}$ 에서 착륙 지점  $W_{1,end}$ 까지 비행하는 과정에서 감시 위치  $o_1$ 로부터 수직인 지점에 웨이포인트  $W_{1,1}$  그리고 감시 위치  $o_2$ 로부터 수직인 지점에 웨이포인트  $W_{1,2}$ 가 생성되었다. 두 번째 모터프리미티브 집합에는 두 개의 비행할 경로가 결합하여 이륙 지점

$W_{2,start}$ 에서 착륙 지점  $W_{2,end}$ 까지 비행하는 과정에서 한 개의 웨이포인트  $W_{2,1}$ 가 생성되었다. 세 번째 모터프리미티브 집합에는 감시 위치  $o_2$ 로부터 수직인 지점에 웨이포인트  $W_{3,1}$  그리고 감시 위치  $o_3$ 로부터 수직인 지점에 웨이포인트  $W_{3,2}$ 가 생성되었다.

Fig. 5는 생성된 경로에 따른 세 개의 모터프리미티브 집합이다. 생성한 모터프리미티브 집합에서 동일한 모터프리미티브 집합은 이륙 지점  $W_{i,start}$  차이와 착륙 지점  $W_{i,end}$  차이가 5m 이내인 경우에 동일한 모터프리미티브 집합으로 제작하였다. Fig. 6의  $M_{2,1}$ 인 경우에  $M_{2,1}$ 와  $M_{2,2}$ 가 동일 경로이다.

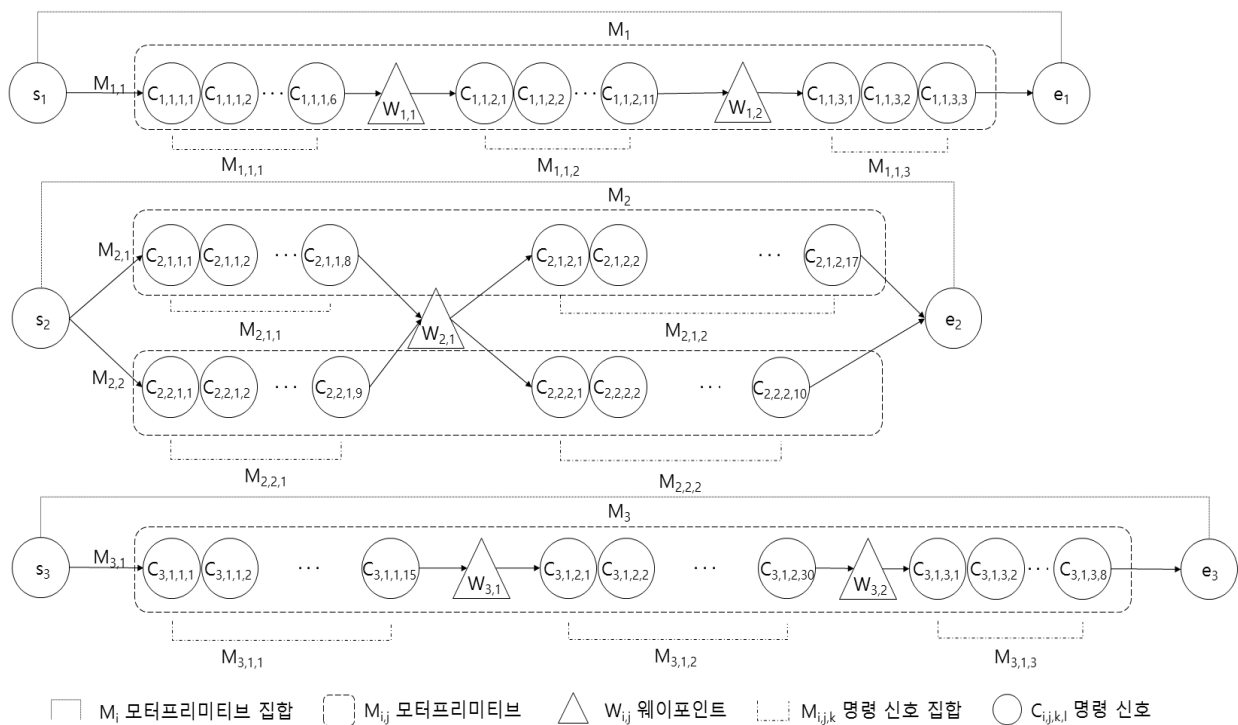


Fig. 6. Generated Motor Primitive Set

Table. 1. An Generated Motor Primitive

		Time t	UAV Control Vector $\vec{c}$					UAV State Vector $\vec{s}$								User Vector $\vec{u}$		
		Time	Command	Yaw	Pitch	Roll	Gaz	Yaw	Pitch	Roll	Altitude	Velocity x	Velocity y	Velocity z	Latitude	Longitude		
M <sub>3,1</sub>	M <sub>3,1,1</sub>	C <sub>3,1,1,1</sub>	7	Takeoff	-2	-2	-2	-2	-3.1406	-0.00426	0	0	0	0	0	35.8524	128.4887	-
		C <sub>3,1,1,2</sub>	4429	Progressive	0	0	0	0.3	3.04436	-0.04423	0.103673	0.777	-0.06852	-0.1153	0	35.85241	128.4887	-
		...																
	M <sub>3,1,2</sub>	C <sub>3,1,1,15</sub>	38634	Hover	0	0	0	0	3.030415	0.05414	-0.17958	2.173	1.518878	-3.04108	0	35.85237	128.4891	-
		C <sub>3,1,1,11</sub>	40426	Progressive	0	0.3	0	0	3.039247	-0.05442	-0.00087	2.054	0.196057	0.767664	0	35.85236	128.4891	-
		C <sub>3,1,1,2</sub>	42157	Hover	0	0	0	0	3.067852	0.158633	-0.00771	2.218	-1.66684	1.312629	0	35.85235	128.4891	-
	M <sub>3,1,3</sub>	C <sub>3,1,1,30</sub>	105059	Hover	0	0	0	0	0.046478	-0.03173	0.010315	2.946	0.049121	-0.04049	0	35.85245	128.4894	-
		C <sub>3,1,1,1</sub>	108561	Hover	0.3	0	0	0	0.046705	0.008552	0.000262	3.005	0.146869	-0.02138	0	35.85245	128.4894	-
		C <sub>3,1,1,2</sub>	111430	Hover	0	0	0	0	1.981699	0.104929	-0.02459	2.921	0.239363	-0.17355	0	35.85244	128.4894	-
	...																	
	C <sub>3,1,1,8</sub>	122237	Land	-2	-2	-2	-2	2.293572	0.00918	-0.28133	2.903	0.128981	0.5874	0	35.8525	128.4895	-	

또한, 동일한 경로를 비행한 모터프리미티브더라도 동일한 개수의 명령 신호 집합이 생성되지 않는 것을 확인하였다.

Table 1은 생성한 모터프리미티브 집합 중 모터프리미티브 집합 M<sub>3</sub>에 대해서 UAV 제어 벡터  $\vec{c}$ , UAV 상태 벡터  $\vec{s}$ , 그리고 사용자 벡터  $\vec{u}$ 로 구성된 모터프리미티브 M<sub>3,1</sub>의 생성 결과이다. UAV 제어 벡터  $\vec{c}$ 에는 UAV 명령 신호와 명령어 신호에 필요한 요, 피치, 롤, 그리고 게즈로 구성하였다. UAV 상태 벡터  $\vec{s}$ 에는 UAV 상태를 나타내는 요, 피치, 롤, 고도, UAV 속도, 그리고 GPS 위치를 저장하였다. 사용자 벡터  $\vec{u}$ 는 정의하지 않았다. 웨이포인트에 따라 명령어 신호 집합 M<sub>3,1,1</sub>, 명령어 신호 집합 M<sub>3,1,2</sub> 그리고 명령어 신호 집합 M<sub>3,1,3</sub>이 생성되었다. 각 모터프리미티브에 생성된 명령 신호 집합의 개수가 모터프리미티브마다 다른 것을 확인하였다.

#### 4. 결론

위치를 기반으로 UAV가 비행을 하면서 측정된 UAV 상태 및 UAV를 제어한 신호를 이용하여 모터프리미티브 구조를 제안하였다. 그리고 다수 개의 모터프리미티브를 포함하는 모터프리미티브 집합 구조를 제안하였다. 실험에서는 세 개의 모터프리미티브 집합을 생성하였다. 그리고 동일한 경로를 비행하였을 때 생성된 두 개의 모터프리미티브 구조에 대해서 점검해보았다.

추후 연구로는 다수 개의 모터프리미티브 집합을 연결하는 방법과 모터프리미티브와 모터프리미티브를 연결하여 비행하는 방법이 필요하다.

#### References

[1] S. Yahyanejad, D. Wischounig-Struel, M. Quaritsch, and B. Rinner, "Incremental mosaicking of images from autonomous, small-scale uavs," *2010 Seventh IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)*, Boston, MA, USA, pp.329-336, Aug., 29-Sept., 1, 2010.

[2] Lucas Vago Santana, Alexandre Santos Brandão, and Mário Sarcinelli-Filho, "Outdoor Waypoint Navigation with the ARDrone Quadrotor," *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Denver, Colorado, USA, pp.303-311, June, 9-12, 2015.

[3] Yunsick Sung, Jeonghoon Kwak, and Jong Hyuk Park, "Graph-based motor primitive generation framework: UAV motor primitives by demonstration-based learning," *Human-centric Computing and Information Sciences*, Vol.5, No.35, pp.1-9, 2015.



#### 곽정훈

e-mail : jeonghoon@kmu.ac.kr

2015년 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 (학사)

2015년~현재 계명대학교 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : Unmanned Aerial Vehicle,

Ground Control System, Demonstration-based Learning



## 성 연 식

e-mail : yunsick@kmu.ac.kr

2004년 부산대학교 정보컴퓨터공학전공  
(학사)

2006년 동국대학교 컴퓨터공학과(석사)

2012년 동국대학교 게임공학과(박사)

2006년~2009년 삼성전자(주)

2009년 신홍대학교 겸임교수

2010년 동국대학교 겸임조교수

2012년~2013년 University of Florida, Postdoctoral Fellow.

2013년~현 재 계명대학교 컴퓨터공학부 조교수

2016년 한국정보처리학회 이사(대학협력위원)

관심분야: Unmanned Aerial Vehicle, Serious Game,

Pervasive Computing, Robotics.