

UAV 감시정보정찰 임무분석 및 설계 도구 개발

김홍래, 전병일, 이나래, 최성동, 장영근*

Development of Mission Analysis and Design Tool
for ISR UAV Mission Planning

Hongrae Kim, Byung-Il Jeon, Narae Lee, Seong-Dong Choi and Young-Keun Chang*

School of Aerospace & Mechanical Engineering, Korea Aerospace University

ABSTRACT

The optimized flight path planning which is appropriate for UAV operation with high performance and multiplex sensors is required for efficient ISR missions. Furthermore, a mission visualization tool is necessary for the assessment of MoE(Measures of Effectiveness) prior to mission operation and the urgent tactical decision in peace time and wartime. A mission visualization and analysis tool was developed by combining STK and MATLAB, whose tool was used for UAV ISR mission analyses in this study. In this mission analysis tool, obstacle avoidance and FoM(Figure of Merit) analysis algorithms were applied to enable the optimized mission planning.

초 록

무인항공기(UAV)를 이용하여 효율적인 감시정찰을 수행하기 위해서는 센서의 고성능, 다중화와 함께 운용상황에 맞는 최적화된 비행경로계획이 요구된다. 이뿐만 아니라 시스템 개발 또는 임무운용 전 임무 효율성 평가, 평시와 전시에 빠른 작전 결정을 위해서는 임무를 가시화할 수 있는 가시화 도구가 필요하다. 본 연구에서는 STK(Systems Tool Kit)와 MATLAB을 통합한 임무 가시화 및 분석 도구를 개발하고 이를 통하여 UAV 감시정보정찰(ISR; Intelligence, Surveillance and Reconnaissance) 임무분석을 수행하였다. 개발된 임무분석 도구에는 비행최적화 뿐만 아니라 장애물 회피 알고리즘, FoM(Figure of Merit) 분석 알고리즘이 적용되어 최적의 임무계획이 가능하도록 하였다.

Key Words : Unmanned Aerial Vehicle(UAV, 무인기), Mission Route Planning(임무경로계획), Traveling Salesman Problem(TSP), Coverage Path Planning(CPP, 영역경로계획), Mission Visualization(임무 가시화), Mission Analysis Tool(임무분석 도구)

1. 서 론

기술의 발전과 함께 국가 안보에서 정보전의 중요성은 날로 증가하고 있다. 특히, 무인 시스템은 낮은 위협으로 적을 효율적으로 관측할 수 있

는 중요한 자산으로 평가되고 있다. 그 중 무인기는 다른 무인시스템에 비해 지형지물에 의한 영향이 적어 효율적인 감시정보정찰이 가능한 시스템이다. 최근 군에서도 무인기에 대한 중요성이 대두되면서 다양한 임무의 무인기 개발과 활

† Received: May 21, 2013 Accepted: January 31, 2014

* Corresponding author, E-mail : ykchang@kau.ac.kr<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

용을 위해 많은 투자가 진행되고 있다.

군 무인기 개발 또는 구매를 위해서는 적절한 작전요구성능(ROC; Requirements of Operational Capability)의 도출이 필수적이다. 작전요구성능을 도출하기 위해서는 운용개념(CONOPS; Concept of Operations)의 분석이 요구되며, 이는 운용환경을 고려한 임무 시나리오 분석을 요구한다. 이를 통해 성능지수(FoM; Figure of Merit)를 분석하고, 임무 효용성(MoE; Measures of Effectiveness)을 분석하는 것이 중요하다. 이러한 분석은 개발초기뿐만 아니라 무인기 획득 이후 실전에 배치되어 운용할 때도 비행 전 임무평가를 위해 필요하다. 미국 합참에서는 'Joint Doctrine for Targeting'을 발간하여 효율적인 타격을 위한 6단계를 제시하였으며, 임무 전에 반드시 시나리오 분석을 통해 임무를 계획하고 임무 효용성을 평가할 것을 권장하고 있다 [1]. 이러한 임무분석은 임무계획부터 임무 종료까지 반드시 필요한 과정이라고 할 수 있으며, 신속한 결과 도출 및 적용을 위해서는 임무분석 및 설계 도구의 개발이 필수적이다.

현재까지 무인기 임무분석을 위한 연구는 주로 경로 최적화에 대한 연구와 다수의 무인기를 협동하여 운용하는 연구를 중심으로 수행되어 왔다 [2~7]. 최근에는 과거의 연구를 활용한 임무분석 및 설계 도구가 개발되었다. 특히, AGI社의 STK(Systems Tool Kit)는 임무 가시화 기능에서 높은 평가를 받고 있으며, 많은 프로젝트에서 이를 활용하고 있다[8,9]. 현재 상용으로 판매 중인 상용 무인기 임무분석 및 설계 도구는 Orbit Logic社의 UAV Planner이며, 이는 STK를 이용하여 임무분석을 수행할 수 있도록 개발되었다[10].

본 연구는 국내에서 무인기 임무분석에 활용될 수 있도록 무인기 임무분석 및 설계 도구를 개발하는데 목적이 있다. 임무 가시화와 임무 효용성 분석을 위해 STK를 이용하였으며, 임무 경로 최적화, 협동 무인기 경로 생성 소프트웨어 등은 MATLAB을 이용하였다. STK에서 생성되는 모든 모델과 임무 효용성 분석은 STK/CON 기능을 이용하여 MATLAB에서 통합관리를 할 수 있도록 구성하였다. 또한 사용자가 쉽게 입력과 결과 분석이 가능하도록 GUI(Graphic User Interface)를 구성하였다.

II. 무인기 운용개념

2.1 무인기 임무 분류

무인기 임무는 Fig. 1과 같이 분류되며, 무인기

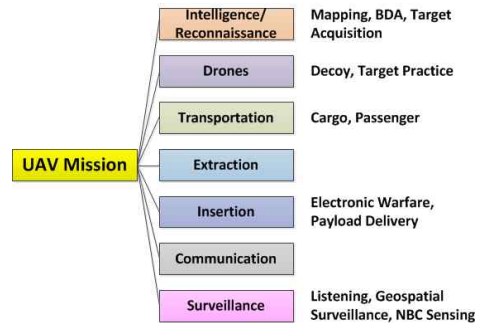


Fig. 1. Types of UAV Mission

의 성능에 따라 복합적인 임무를 수행하기도 한다. 본 논문에서는 이러한 무인기 임무 중 감시정보정찰(ISR; Intelligence Surveillance and Reconnaissance)에 초점을 맞추어 임무분석 및 설계 도구를 개발하였다.

2.2 감시정보정찰 임무의 운용개념

임무분석 도구 개발에 앞서 무인기의 감시정보정찰 임무의 운용개념은 평시에 국경 지역을 순찰하는 임무와 유사시 또는 전시에 주요 지역을 감시정찰 및 타격하는 임무, 이렇게 두 가지로 구분하였다.

국경지역 순찰 임무는 Fig. 2와 같이 국경을 따라 관측하는 것을 말하며, 단일 또는 다수의 무인기를 이용하여 주기적인 관측을 수행하는 것이다. 반면, 전시 또는 유사시 임무는 Fig. 3과

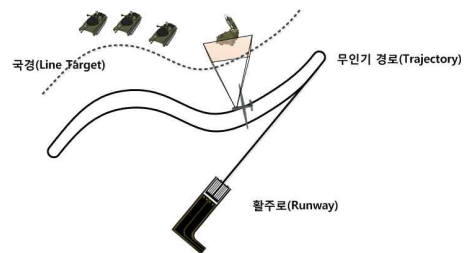


Fig. 2. Operational Concept of Border Patrol Mission

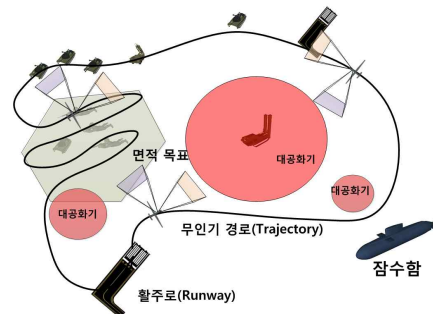


Fig. 3. Surveillance Operational Concept during Wartime

같이 나타낼 수 있으며, 대공화기가 배치된 위험지역을 회피함과 동시에 면적표적(Area Target)과 이동물체를 관측하거나 필요시 공격하는 임무이다.

2.3 감시정찰 임무문제 정의

두 임무 모두 기본적으로 모든 제약조건을 만족하면서 거리를 최소화해야 하는 문제이므로 Performance Index(J)를 다음 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$J = \sum_i^N d_i \quad (1)$$

d_i 는 i 번째 경로의 이동거리를 말한다. 결국 각 경로의 이동거리의 합이 최소가 되는 문제로 정의할 수 있다. 결국 최적화 문제로 정의될 수 있으며, 본 논문에서는 최적화 문제를 해결하기 위해 유전알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였다. 기본적인 최적화 문제는 식 (1)과 같이 정의되지만 운용에 따라 적용되어야 하는 추가적인 알고리즘은 다소 다르다.

순찰임무는 선표적(Line Target)을 만들고 그 선표적의 일정한 거리에서 관측을 하도록 경로를 생성하는 알고리즘이 적용되어야 하며, 복잡한 알고리즘을 요구하지 않는다.

이와 다르게 전시 또는 유사시 임무에서는 복합적인 알고리즘이 필요하다. 신속한 정찰을 위해서 최소의 비행경로를 정의하는 것과 함께 위험지역 회피 및 면적표적을 빈틈없이 관측하기 위한 추가적인 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 전시 및 유사 시의 임무를 위해 TSP (Traveling Salesman Problem), CPP(Coverage Path Planning), 충돌 회피 등의 알고리즘이 적용되었다.

III. 무인기 임무분석 및 설계도구

3.1 무인기 임무분석 및 설계 도구의 목적

본 연구를 통해 개발한 임무분석 도구는 최적으로 생성된 경로로 감시정보정찰 임무를 수행하였을 때의 성능지수(FoM)를 계산하고, 그 결과를 3차원으로 가시화하는 것이 주 목적이다. 임무분석 도구의 명칭은 KAU-UMAD Tool(Korea Aerospace University-UAV Mission Analysis & Design)이라 명명하였다.

3.2 무인기 임무분석 및 설계 도구의 개발

KAU-UMAD Tool은 AGI社의 STK 10과

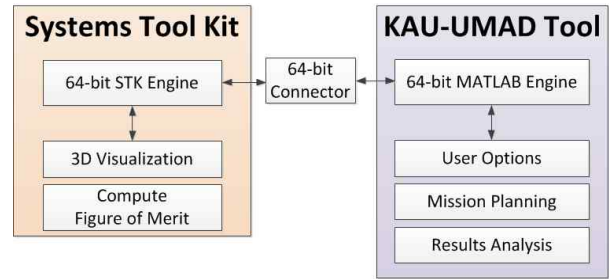


Fig. 4. Connection Concept between KAU-UMAD and STK

MathWorks社의 MATLAB 2012b를 활용하여 개발되었으며, 2GHz의 Dual Core CPU, RAM : 3GB 이상에 High-end OpenGL-compatible Graphic Card(512MB 이상)에서 작동하도록 개발되었다. 본 연구에서 개발된 도구는 크게 사용자 옵션 선택, 임무계획, 결과 분석, 3차원 임무 가시화, 성능지수 분석으로 나뉘며, 주요 기능과 구성, 그리고 STK와 KAU-UMAD Tool 연계 개념은 Fig. 4와 같다.

3.2.1 무인기 임무분석 및 설계도구의 기능

KAU-UMAD Tool의 기능은 앞서 기술한 목적에 따라 다음과 같은 기능으로 구성하였다.

- UAV 성능 및 특성을 고려한 임무분석
- 최적 임무 경로 계산(이동거리 최소화)
- Google Map을 이용한 표적 위치 입력
- 센서(EO/IR 및 SAR) 모델링을 이용한 정찰 임무분석
- 성능지수(FoM; Figure of Merit) 계산
 - 재방문 주기(Revisit Time)
 - 관측 횟수(Number of Access)
 - 총 관측시간(Total Coverage Time)
- 통신 반경 계산
- 링크 버짓(Link Budget) 계산

성능지수(FoM)는 군의 ROC와 연결되는 임무 성능을 나타내는 지표이다. 그 중 재방문주기란 관심지역의 동태를 빠르게 파악할 수 있다는 의미를 가지며, 짧을수록 자주 관심지역을 관측할 수 있다는 의미이다. 관측횟수는 임무기간 중 몇 번이나 관측을 할 수 있는냐는 의미를 가지며, 그 횟수가 많을수록 적을 자주 관측할 수 있다는 의미를 가진다. 총 관측시간은 적을 임무기간 중 어느 정도로 감시가 가능한지에 대한 분석을 수행하기 위한 필요한 성능지수이며, 예를 들어, 임무기간이 5시간이라고 할 때, 그 중 1시간을

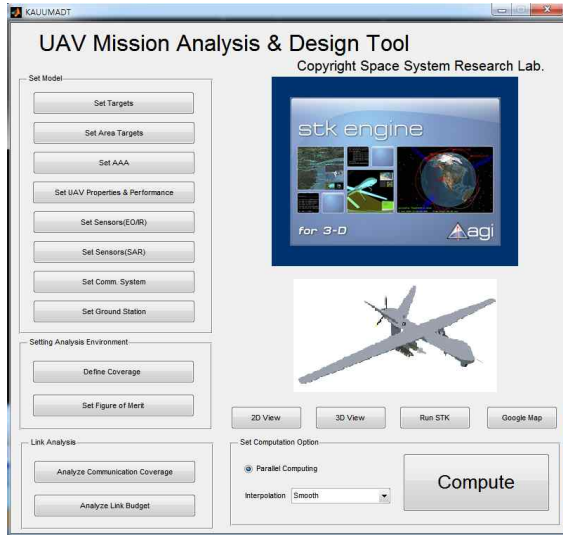


Fig. 5. GUI Configuration of KAU-UMAD Tool

감시할 수 있다면, 임무기간 중 20%를 적에 대한 동태를 파악할 수 있다는 의미로 해석할 수 있다.

위에 언급한 기능에 따라 사용자가 입력을 쉽게 할 수 있도록 GUI로 구성하였으며, 초기 화면은 Fig. 5와 같다. 세부 입력 창은 팝업(Pop-up)으로 입력이 가능하도록 구성하였다. 기본 화면에서는 실행 결과를 바로 볼 수 있고, 사용자가 선택한 모델은 MATLAB 상에서 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 이용하여 볼 수 있다.

3.2.2 무인기 임무분석 및 설계도구의 초기 입력 사항

KAU-UMAD Tool에서 UAV가 운영되는 환경을 모델링하기 위해서는 사용자가 주요 매개변수를 입력해야 한다. KAU-UMAD Tool에서 모델링되는 사항은 다음과 같다.

- 시나리오 날짜 및 시간
- 점표적의 위치(Point Target), 면적표적의 위치(Area Target)
- 대공화기(Anti-Aircraft Artillery)의 위치 및 반경
- 무인기 수, 특성 및 성능
 - 가속도(Turn G, Pull Up G, Push Over G Attitude Transition)
 - 무인기 속도(착륙, 이륙, 순항[최소, 최대])
 - 순항 고도
 - 이륙 및 착륙 유형(활주로, 수직이착륙)
 - 이륙 및 착륙 방향

- 무인기 3차원 모델
 - EO/IR 센서(시야각, 장착 위치와 방향)
 - SAR 센서(시야각, 장착 위치와 방향, 방사 패턴)
 - 무인기 통신장비(주파수, EIRP, 송수신 속도, 변복조 방식, 대역폭, 추가적인 이득/손실, 이득 스케일)
 - 지상국 장비 및 위치(지상국 장비 입력 사항, 무인기 통신장비와 동일, 통신 목표 설정)

3.3 임무분석 및 설계 프로세스

KAU-UMAD Tool의 분석 프로세스는 Fig. 6과 같으며, 사용자의 입력을 시작으로 경로 생성, 성능지수 분석, 링크 분석 순으로 수행되게 된다.

먼저 사용자는 앞서 설명한 입력사항을 Pop-up을 이용하여 넣게 된다. 특히 목표물(점표적, 면적표적)은 Google Map을 보고 클릭하여 입력하게 된다. 이에 따라 KAU-UMAD Tool 내에 Mission Planning Algorithm에 따라 이동거리를 최소화시킨 임무경로를 생성하게 된다.

생성된 경로에 따라 사용자가 모델링한 센서로 FoM(재방문주기, 관측횟수, 총 관측시간)을 분석하게 된다. 만약 FoM을 만족하지 못하게 되면 임무경로를 재설정하거나 무인기의 성능에 변화를 주면 된다.

링크해석은 STK를 이용하여 수행되며, 사용자가 설정한 지상국과 LOS(Line-of-Sight)가 충분히 나오는지, 그리고 링크 마진이 충분한지에 대한 분석이 수행된다.

최종적으로 앞서 분석된 결과를 보고서 형식으로 MATLAB 내에서 확인해 볼 수 있으며, 사용자는 최종 결과에 대해 분석을 수행하게 된다. 만약 사용자가 원하는 결과가 아닌 경우에는 입력 단계에서 입력 값을 수정하여 본 단계를 다시 수행하게 된다.

Figure 6의 오른 쪽에는 이를 통해서 나오는 각각의 결과를 간략하게 나타냈다.

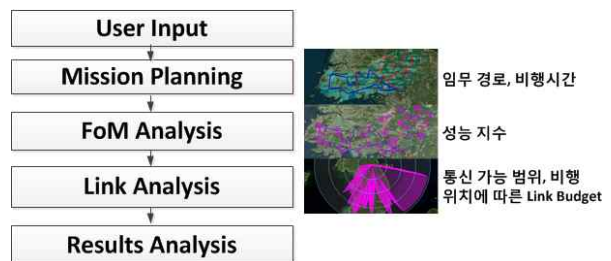


Fig. 6. KAU-UMAD Tool Analysis Process

향후의 KAU-UMAD Tool에서는 본 연구를 통해 구현된 Fig. 6에 추가적으로 EO/IR 및 SAR 영상 시뮬레이션, 관성항법 및 GPS 항법 정확도 시뮬레이션, 비행체의 자세 시뮬레이션까지 고려할 예정이다.

IV. 무인기 임무경로 분석

4.1 임무경로 최적화의 개념 및 절차

본 연구에서 개발한 KAU-UMAD Tool의 기능 중 하나인 무인기 임무경로의 최적화는 무인기 임무분석에서 가장 필수적인 요소이다. 무인기 경로 최적화는 전형적인 TSP(Traveling Salesman Problem)의 하나로 볼 수 있다. TSP는 NP(Non-deterministic Polynomial)-Hard 문제의 하나로 모든 경우를 살펴보는 것 이외에는 최적해를 찾을 수 없다. 게다가 단순히 지점만 이동하는 것이 아닌 위험 지역을 회피해야 하고 면적표적을 관측해야 한다는 측면에서 문제는 보다 복잡해지게 된다[2]. 모든 것을 한 번에 고려하게 되면 문제의 해를 찾기 어려움으로 단계적인 접근이 필요하다.

단계적인 최적화를 위해서 최적설계에서 자주 사용되는 Collaborative Optimization(CO) 알고리즘과 같은 개념이 필요하다[11]. 시스템 수준에서 최적화를 수행함과 동시에 서브시스템 수준에서 최적화를 수행해야 하는 다분야 설계에 CO 알고리즘이 적용되어 그 효과가 검증되었으며[12], 다수의 비행체의 경로 계획에도 사용되기도 하였다[13]. CO 알고리즘으로는 전역의 최적 값(Global Optimum)을 도출하기는 힘들다는 한계가 있지만 어느 정도 최적성(Optimality)을 기대할 수 있다[12].

본 논문에서는 CO와 유사하게 프로세스 순서를 정하여 임무 최적화를 수행할 수 있도록 하였다. 먼저 사용자가 입력해 준 단일표적과 면적표적을 바탕으로 경로를 생성한다. 면적표적의 경우는 면적의 중심을 점표적으로 설정한다. 이를 바탕으로 먼저 경로를 찾게 된다. 이러한 과정에서 1차적으로 경로 최적화가 수행된다.

2차적으로는 면적표적 관측 및 위험지역 회피에 대한 최적화를 수행하게 된다. 면적표적을 최소의 이동거리로 관측할 수 있는 경로를 생성하고, 최종적으로 위험지역에 대한 제약 조건을 적용하여 최소의 이동경로로 위험지역을 회피할 수 있는 경로를 산출한 후 임무경로 산출이 종료되게 된다.

이러한 각 프로세스를 통해 본 연구에서는 기 연구된 알고리즘(TSP[14], CPP[15, 16], Obstacle/Collision Avoidance[17])을 바탕으로 수정하고 조합하여 무인기 임무에서 거리가 최소인 경로 생성이 가능하도록 하였다.

4.2 TSP 해결을 통한 최적 경로 생성

앞 절에서 설명한 바와 같이 먼저 주어진 경로점을 바탕으로 TSP를 해결하게 된다. TSP는 1930년대의 일반적인 형태의 초기 알고리즘부터 현재까지 다양한 알고리즘들이 TSP 해결을 위해 연구되어 왔다[14]. 현재는 유전알고리즘(GA; Genetic Algorithm)을 많이 적용하고 있으며, 본 연구에서도 유전알고리즘을 이용하여 TSP를 해결하였다.

무인기 임무경로는 시작 위치와 종료 위치가 정해져 있는 FSEP(Fixed Start/End Point) 문제이며, 다수 무인기의 동시 운용이 고려된 Multiple Traveling Salesmen Problem(MTSP) 문제로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 유전알고리즘을 적용하였다. 또한 본 연구에서는 Swap, 2-opt, Sliding, Random Break Point를 통해 변이를 생성하고 Tournament 선택 방법을 이용하여 최적해를 찾아갈 수 있도록 하였다.

각 변이 방식은 다음과 같다.

- Swap : 순서를 뒤집어서 변이를 만드는 방법
- 2-opt : 부분적으로 Cross-over를 하여 변이를 만드는 방법
- Sliding : 처음 순서를 뒤로 넣어서 변이를 만드는 방법
- Random Break Point : 각 무인기가 어디까지를 담당하게 할 것인지에 대한 구분하는 기준을 변경하여 변이를 만드는 방법
예) UAV1: {1지점, 2지점, 3지점} UAV2: {4지점, 5지점, 6지점} UAV3: {7지점, 8지점, 9지점, 10지점} → UAV1: {1지점, 2지점, 3지점, 4지점} UAV2: {5지점, 6지점, 7지점} UAV3: {8지점, 9지점, 10지점}

Figure 7은 유전알고리즘을 이용한 최적화 과정을 나타낸 것이고, 아래 정리한 의사코드는 본 연구에 사용된 유전알고리즘을 이용한 최적화를 위한 것이다. Random Break Point는 다른 알고리즘과도 같이 사용되어 총 8가지에 대한 변이가 발생하며 Case 6, 7, 8은 Case 2, 3, 4에 Random Break Point를 추가한 것이다.

이렇게 총 8개의 변이를 발생시켜 토너먼트를

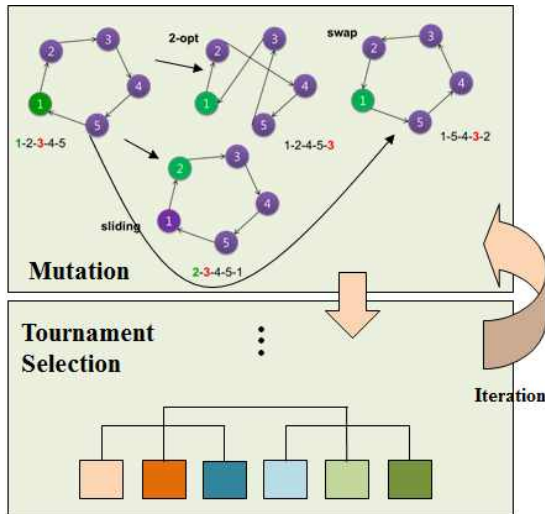


Fig. 7. TSP Solving Problem Process using Genetic Algorithm

하여 가장 최소의 거리를 갖는 경우를 최적의 경로로 보고 산출된 해를 바탕으로 다시 변이를 발생시켜준다. 사용자가 정해준 반복횟수 또는 상대적 오차가 더 이상 발생하지 않을 때까지 계속 반복하여 수행하게 되며 반복이 멈추면 최종해가 산출되게 된다.

Input

(Waypoints position, Number of UAVs, Minimum Waypoints, Maximum Iteration)

Initializations for Route Break Point Selection

Initialize the Populations

if $!(\text{Num. of Iterations} > \text{Maximum Iteration}) \mid (\text{relative error} > \text{user-defined relative tolerance})$ - Run the GA

Evaluate Members of the Population

Find the Best Route in the Population

Generate New Solutions (8 Cases)

- Case 1 - Nothing
- Case 2 - 2-opt
TempPopRoute(I:J) = TempPopRout(J:-1:I)
- Case 3 - Swap
TempPopRoute([I J]) = TempPopRout([J I])
- Case 4 - Slide
TempPopRoute([I J]) = TempPopRout([I+1:J I])
- Case 5 - Modify Breaks
Generate Random Set of Break Points
- Case 6 - 2-opt, Modify Breaks
TempPopRoute(I:J) = TempPopRout(J:-1:I)
Generate Random Set of Break Points
- Case 7 - Swap, Modify Breaks
TempPopRoute([I J]) = TempPopRout([J I])
Generate Random Set of Break Points
- Case 8 - Slide, Modify Breaks
TempPopRoute([I J]) = TempPopRout([I+1:J I])
Generate Random Set of Break Points

end

본 연구에서 개발한 알고리즘을 적용하면 Fig.

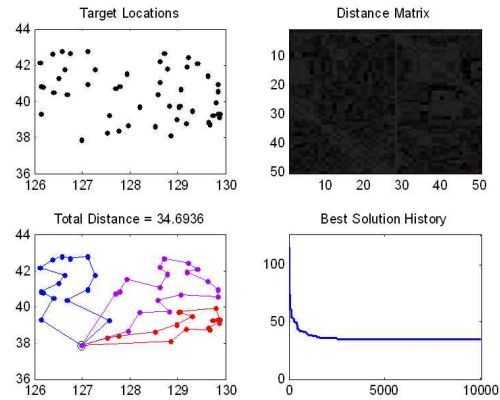


Fig. 8. FSEP/MTSP solution by using GA

8과 같은 결과를 획득할 수 있다. Fig. 8은 3개의 무인기와 50개의 목표물을 설정하여 10,000회의 반복 계산을 수행한 결과이며, 왼쪽 상단 그래프는 경로점의 위치, 오른쪽 상단은 각 경로점 간의 거리 행렬, 왼쪽 하단은 최상의 해, 오른쪽 하단은 해의 수렴 정도를 볼 수 있다. Fig. 8의 해를 구하기 위해서 10,000회의 반복 계산을 하는데 걸린 시간은 65.107초이었다.

4.3 면적표적 최적 관측 알고리즘

무인기의 일반적인 관측은 주요 포인트를 관측하는 것이지만 경우에 따라서는 적의 행동반경으로 예측되는 면적표적 관측이 가능해야 한다. 이러한 면적표적 관측 문제는 영역 경로 계획(CPP; Coverage Path Planning)으로 불리며, 지상에 적용된 바 있고[15], 최근에 무인기에도 이러한 알고리즘이 적용된 바 있다[16].

본 논문에서는 다양한 다각형의 CPP를 위하여 볼록면 분해(Convex Decomposition) 알고리즘을 적용하여 무인기 탐색이 용이하도록 수행하였다. 하지만 무인기와 같이 선회속도가 느린 시스템은 볼록면이 많아질수록 선회속도를 고려하지 못한 경로가 생성된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 근사 볼록면 분해 (ACD; Approximated Convex Decomposition) 알고리즘을 적용하였다. ACD 알고리즘은 적절하게 노치(Notch) 부분을 제거할 수 있어, 분해 이후에도 다각형들이 적게 생성되어 무인기 시스템에 적용하기에 적절해진다. ACD 알고리즘으로 볼록면을 분할하게 되면, 생성된 각 다각형에 따라 CPP를 수행하게 된다. CPP의 알고리즘은 Fig. 9와 같다.

Figure 10은 본 연구에서 구현한 알고리즘에 따라 주어진 구간을 분할하여 경로점을 생성한 결과이다. 면적표적을 UAV의 관측폭에 따라 회전하면서 관측하는 것을 알 수 있다.

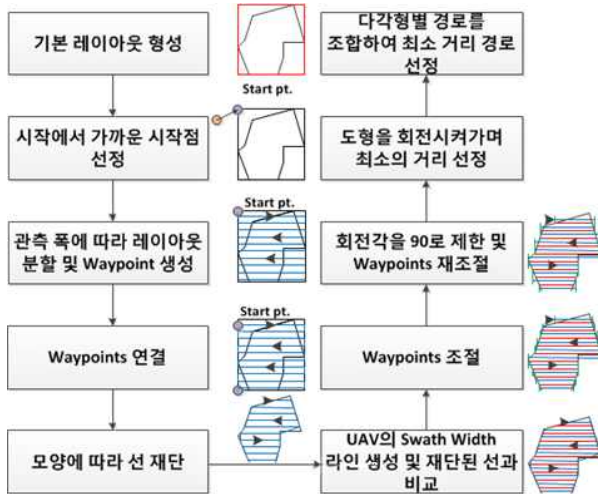


Fig. 9. CPP for Generating Waypoints

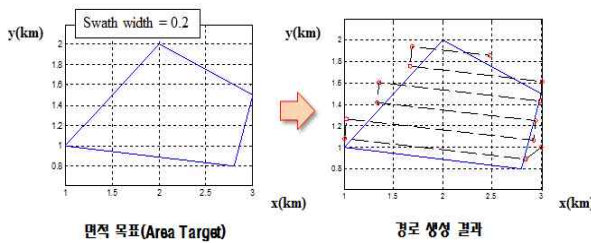


Fig. 10. Path Generation Results through CPP

4.4 위험회피 알고리즘

현재까지는 Dijkstra, A*, Greedy(최상우선검색, Best-First- Search) 등의 알고리즘이 로봇, 무인기 등의 충돌 회피를 위해 사용되고 있다[17]. Dijkstra 알고리즘은 네덜란드의 컴퓨터 과학자 Dijkstra에 의해서 개발된 알고리즘으로 너비 우선 탐색(BFS; Breadth-first Search)을 통해 경로를 탐색하고, A* 알고리즘은 Hart, Nilsson과 Raphael에 의해서 개발되었으며, 목표지점의 방향성을 나타내는 휴리스틱 함수를 이용하여 깊이 우선 탐색(DFS; Depth-first Search)을 통해 경로를 탐색한다. Greedy 알고리즘은 A* 알고리즘과 마찬가지로 휴리스틱 함수를 이용하여 그 순간마다 최적해를 결정하는 방법이다.

본 연구에 적합한 최적의 알고리즘을 선택하기 위해 Fig. 11과 같이 Dijkstra, A*, Greedy 알고리즘의 성능을 비교해보았다. 그 결과 Fig.11에서 보는 바와 같이 Dijkstra, A*가 Greedy 알고리즘보다 최적의 해를 찾아 낼 수 있었으며, A* 알고리즘이 Dijkstra 알고리즘보다 계산시간이 단축되는 장점이 있다는 것을 알 수 있었다.

Greedy 알고리즘은 경로 검색 시 순간마다 최적해를 찾는 알고리즘이기 때문에 지역적으로는

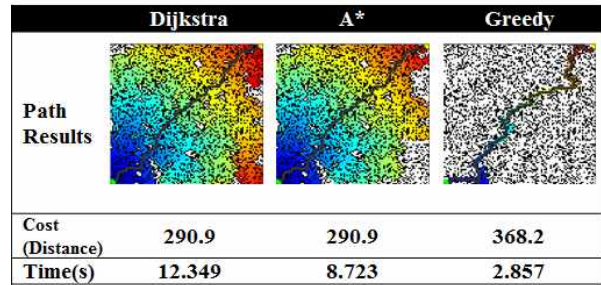


Fig. 11. Comparison Results among Algorithms

최적이지만, 그 선택들을 계속 수집하여 최종적인 해답을 만들었다고 해서 최종해가 반드시 최적성(Optimality)을 보장하지 못한다는 단점이 있다. 앞서 시뮬레이션에서 보는 바와 같이 Dijkstra와 A*의 성능에는 차이가 없었으나 Dijkstra는 A*에 비해 비교적 많은 검색을 통해 해를 도출하기 때문에 오랜 시간이 걸린다. 문제가 복잡할수록 오랜 시간을 요구하게 된다.

본 연구에서는 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 알고리즘의 특성을 고려하여 A* 알고리즘을 충돌 회피 알고리즘으로 활용하였다.

4.5 국경 순찰 위치 결정

국경 순찰의 경로점을 설정하기 위해서는 국경지역에서 얼마큼 떨어진 곳에서 비행할 것인지를 결정해야 한다. 결정되는 위치의 경로는 Fig. 12와 같이 계산할 수 있다. 이를 위해서는 방위각(θ)과 거리(r)가 필요하다. 기준 위치, 방위각과 떨어진 거리를 알고 있으면, 다음 식 (2)~(4)에 의해 위도, 경도의 변화 계산이 가능하다. 이를 통해 식 (5)와 같이 경로의 위도와 경도를 계산할 수 있다.

$$R_E = \sqrt{\frac{a^2 \cos^2(\phi) + \phi^2 \sin^2(\phi)}{a \cos^2(\phi) + b \sin^2(\phi)}} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \Delta x = r \cos(\theta) \\ \Delta y = r \sin(\theta) \end{cases} \quad (3)$$

$$\Delta \lambda = \frac{\Delta y}{R_E}, \Delta \phi = \frac{\Delta x}{(R_E \cos(\phi))} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \lambda_{path} = \lambda_{target} + \Delta \lambda \\ \phi_{path} = \phi_{target} + \Delta \phi \end{cases} \quad (5)$$

여기서, a 는 적도의 지구 반지름을 의미하며 6378.137km이고, b 는 극지방의 지구 반지름을 의미하며 6356.752km이다. 그리고 Δx 는 x방향으로의 변화량, Δy 는 y방향으로의 변화량, λ 는 위도,

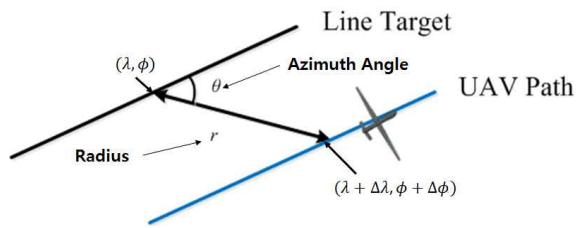


Fig. 12. Path Calculation Concept along the Border

ϕ 는 경도, $\Delta\lambda$ 는 위도의 변화량, $\Delta\phi$ 는 경도의 변화량을 의미한다.

V. 무인기 임무분석 및 설계 도구의 적용

5.1 무인기 선택

본 논문에서는 평시의 국경지역 순찰 임무와 전시 상황의 정찰 임무를 수행할 수 있도록 다음과 같이 무인기를 설정하였다. 무인기의 형상과 규격은 Fig. 13, Table 1과 같다.



Fig. 13. UAV Configuration (MQ-9)

Table 1. UAV Specification for Scenario Simulation

항목		수치
Acc.	Turn G	1.1547 G
	Pull G	1.1547 G
	Push Over G	0.75 G
	Attitude Transition	20 deg./s(Roll, Yaw) 10 deg./s(Pitch)
Velocity	Landing	100 nm/hr
	Takeoff	100 nm/hr
	Cruise	80 nm/hr ~ 250 nm/hr
Cruise Altitude		5 km
Takeoff/Landing Type		Runway
Takeoff/Landing Runway	Length	850 ft
	Heading Direction	50 deg

Table 2. Line Target for Border Patrol

Waypoint #	위치 (위도, 경도)
1	(36.8°, 126.1°)
2	(36.9°, 126.3°)
3	(36.8°, 126.5°)
4	(36.9°, 126.8°)
5	(36.8°, 127.1°)
Runway	(36.7°, 128.0°)

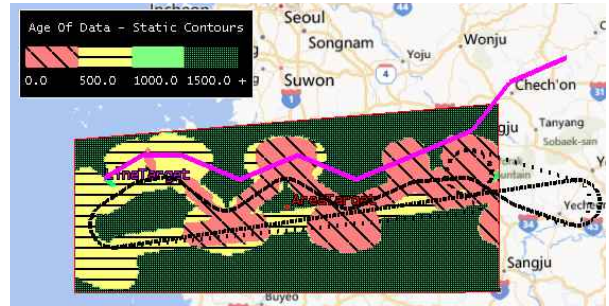


Fig. 14. Border Patrol Mission Analysis Results (FoM : Age of Data)

5.2 국경지역 순찰 임무분석 결과

본 논문에서는 Table 2와 같이 임의의 국경을 설정하여 그 주변을 비행하는 임무를 수행하도록 하였다. 총 3 대의 무인기가 비행하여 임무를 수행하도록 하였다. Fig. 14는 3대의 무인기를 가지고 경로를 생성한 결과이다. 검은색 점선은 무인기가 비행할 경로이다. 성능지수로 데이터 수명(Age of Data)을 분석한 결과를 Fig. 14에 나타냈으며, 사선 빗금은 0초 이상, 가로 빗금은 500초 이상, 민무늬는 1,000초 이상, 십자 빗금은 1,500초 이상을 의미한다. 이러한 데이터 수명은 적진에 대한 정보의 수명을 말하며, 데이터 수명이 짧을수록 적에 대한 정보가 빠르게 확보되고 있음을 의미한다. 이러한 데이터 수명은 반대로 재방문주기(Revisit Time)와도 연관이 있으며, 주기적인 관측을 수행하는 국경지역 순찰임무에는 주요한 성능지수이다.

5.3 전시상황의 정찰 임무분석 결과

전시상황의 정찰임무는 국경지역 순찰 임무와 다르게 다양한 표적을 다수의 무인기로 탐색한다고 하였다. 다수의 무인기는 같은 경로를 탐색하지 않고 독립된 경로로 탐색하며, 같은 표적을 촬영하도록 운용한다고 가정하였다. 대공화기와 같은 위협 지역의 회피는 고려하였으나 두 무인기의 충돌회피는 고려되지 않았다. 다수의 무인기의 경로의 합을 최소화하는 것으로 최적화 문

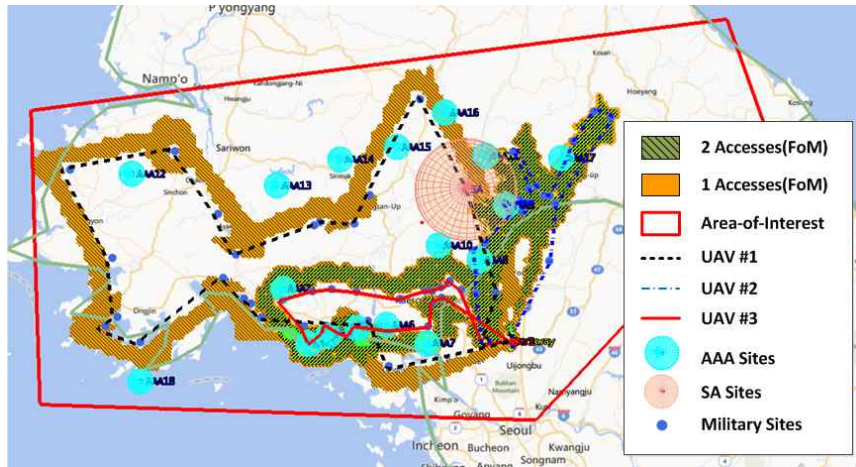


Fig. 15. Surveillance Mission Analysis Results during Wartime (FoM : Number of Access)

제를 구성하였고, 이를 해결할 수 있도록 KAU-UMAD Tool을 제작하였다.

본 연구에서 수행한 분석에서는 무인기의 전시 임무 수행 지역과 대공화기의 성능은 플레인 맨의 블로그를 참고[18]하였으며, 세 대의 무인기가 대공화기를 회피하며 북한의 주요 지역을 탐색한다고 가정하였고 최소의 거리로 탐색하도록 하였다. 분석 결과는 Fig. 15에 나타냈으며, UAV 1의 경로는 점선, UAV 2의 경로는 1점 쇄선, UAV 3의 경로는 실선으로 표시하였다.

FoM(Figure of Merit) 분석을 위해 관심지역 (AoI; Area-of-Interest)을 설정하였고, 수치적인 분석을 위해 AoI를 위도, 경도 0.01도 단위로 그리드(Grid)를 나누어 분석하였다. 생성된 관심지역의 접촉 횟수를 분석한 결과 또한 경로분석 결과와 같이 Fig. 15에 나타냈으며, 민무늬는 1회, 사선 빗금은 2회 접촉했음을 나타낸다. 이러한 접촉 횟수는 무인기 임무에 있어 적진에 대한 관측 횟수를 의미하며, 관측 횟수가 많을수록 적진에 대한 정보를 자주 확보할 수 있음을 의미한다. 이런 관측 횟수는 적진을 관측하는 정찰임무에 중요한 성능지수이다.

VI. 결 론

무인기 개발 또는 운용에 있어 임무 효율성 평가를 위해서는 임무분석이 필수적이다. 임무분석을 위해서는 시스템 모델링과 다양한 알고리즘, FoM 분석 알고리즘 등이 필요하다.

본 연구에서는 STK와 MATLAB을 이용하여 감시정보정찰 무인기의 임무분석 및 설계가 가능한 KAU-UMAD Tool을 개발하였다. 감시정보정찰 임무를 위해 크게 두 가지의 상황을 고려하였

고, 이에 따른 다양한 알고리즘을 적용하였다. 평시에 국경을 따라 관측하는 경로생성 알고리즘을 적용하였으며, 이에 따라 경로가 생성됨을 확인하였다. 또한, 전시에 다수의 무인기가 협동적으로 다수의 표적을 관측하는 FSEP/MTSP 유전 알고리즘을 이용하여 해결하였다. 마지막으로 ACD가 적용된 CPP 알고리즘을 적용하여 단일 표적이 아닌 관심 면적표적을 관측할 수 있도록 구현하였으며, 어떤 면적표적이 주어져도 알고리즘이 잘 작동함을 확인하였다.

본 연구를 통하여 감시정보정찰 무인기의 임무를 분석하고 설계할 수 있는 KAU-UMAD Tool을 개발하였으며, 이는 ROC 도출 및 무인기 운용 전 임무의 효율성을 판단하기 위해 활용될 수 있을 것이다.

본 연구팀은 향후에 지속적인 연구를 통해 전자광학(EO/IR; Electro-Optical/Infrared) 및 전천후영상레이더(SAR; Synthetic Aperture Radar) 등의 영상 시뮬레이션에 대한 추가적인 모듈을 개발하여 보다 다양한 임무평가가 가능하도록 할 계획이다.

References

- 1) Abizaid, J. P., "Joint Doctrine for Targeting", Joint Publication 3-60, pp. II-1-II-10, 2002
- 2) Lee, C., Park, S., Ryoo, C., Choi, K., and Cho, J., "A path planning algorithm for surveillance UAVs with timing mission constraints", ICCAS 2010 International Conference, pp.2371 - 2375
- 3) Yang, G. and Kapila, V., "Optimal Path

Planning for Unmanned Air Vehicles with Kinematic and Tactical Constraints", Proceeding of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, 2002

4) Ye, Y., Min, C., Shen, L., and Chang, W., "Voronoi Diagram Based Spatial Mission Planning for UAVs", Acta Simulata Systematica Sinica, Vol. 17, No. 6, 2005 pp. 1353-1359

5) Lim, S. H., "Waypoint Guidance of Cooperative UAVs for Intelligence, Surveillance and Reconnaissance", M.S. Thesis, KAIST, 2009

6) Polycarpou, M. M., Yang, Y., and Passino, K. M., "A Cooperative Search Framework for Distributed Agents", Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2001, pp. 1-6

7) Jin, Y., Minai, A. A., and Polycarpou, M.M., "Cooperative real-time search and task allocation in UAV teams", Proceeding of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control, 2003

8) Lee, B., Lee, S., and Lee, W., "High Resolution Spaceborne SAR Operation and Target Recognition Simulator Using STK", Journal of Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 24, No. 3, 2013, pp. 299 ~ 209

9) AGI, Case Studies, <http://www.agi.com/resources/user-resources/downloads/case-studies/>

10) UAV, Planner, <http://www.orbitlogic.com/products/uav.php>

11) Rraun, B., Collaborative optimization: an

architecture for large-scale distributed design, Ph.D. Dissertation, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, Stanford, CA

12) Sobieszczanski-Sobieski, J., & Haftka, R. T., Multidisciplinary aerospace design optimization: survey of recent developments. Structural optimization, Vol. 14. No. 1, pp.1 ~23

13) Kroo, I., "Distributed multidisciplinary design and collaborative optimization." VKI lecture series on optimization methods & tools for multicriteria/multidisciplinary design, 2004, pp. 1-22.

14) Gutin, G and Punnen, G. G., "Traveling Salesman Problem and Its Variations", Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2002

15) Gabriely, Y. and Rimon, E., "Spanning-tree based coverage of continuous areas by a mobile robot", Proceeding of the 2001 IEEE international conference on robotics & automation, pp.1927-1933

16) Öst, G., "Search path generation with UAV applications using approximate convex decomposition", M. S. Thesis, Linköping University, 2012

17) Wang, X., Yadav, V., and Balarishnan, S. N., "Cooperative UAV formation flying with obstacle/collision avoidance", IEEE Transactions on Control System Technology, Vol.15, No.4, pp. 672 - 679, 2007

18) Planeman, Guide of North Korean <http://planeman-bluffersguide.blogspot.com>