



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년10월18일
(11) 등록번호 10-1666132
(24) 등록일자 2016년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B64C 39/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0190455

(22) 출원일자 2014년12월26일

심사청구일자 2014년12월26일

(65) 공개번호 10-2016-0082627

(43) 공개일자 2016년07월08일

(56) 선행기술조사문헌

CN102901498 A*

CN103699106 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

서울대학교산학협력단

서울특별시 관악구 관악로 1 (신림동)

(72) 발명자

김유단

서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12 107동
301호 (방배동, 방배아트힐아파트)

오경택

서울 관악구 관악로1, 서울대학교 관악사 904동
324호

(74) 대리인

도진봉

전체 청구항 수 : 총 15 항

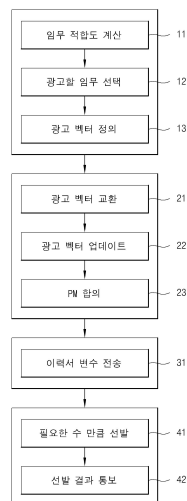
심사관 : 신성식

(54) 발명의 명칭 무인기의 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체

(57) 요약

무인기의 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체가 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 시장기반 분산형 임무 할당 방법은, (a) 할당되지 않은 임무에 대한 적합도를 포함하는 광고를 준비하는 단계; (b) 통신이 연결된 타 무인기와 적합도를 교환하여 가장 적합도가 높은 무인기를 프로젝트 관리자로 합의하는 단계; (c) 합의된 상기 프로젝트 관리자에게 상기 임무에 대해 지원하는 단계; 및 (d) 상기 프로젝트 관리자는 지원자 중에서 상기 임무에 필요한 수만큼의 팀원을 선발하여 팀을 만드는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 F13SN02D1310

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 BK21plus사업

연구과제명 융합지식기반 창조형 기계 항공인재양성사업단

기 여 율 1/1

주관기관 서울대학교 산학협력단

연구기간 2013.09.30 ~ 2020.08.30

명세서

청구범위

청구항 1

무인기의 제어부에서 수행되는 시장기반 분산형 임무 할당 방법으로서,

- (a) 할당되지 않은 임무에 대한 적합도를 포함하는 광고를 준비하는 단계;
- (b) 통신이 연결된 타 무인기와 적합도를 교환하여 가장 적합도가 높은 무인기를 프로젝트 관리자로 합의하는 단계;
- (c) 합의된 상기 프로젝트 관리자에게 상기 임무에 대해 지원하는 단계; 및
- (d) 상기 프로젝트 관리자는 지원자 중에서 상기 임무에 필요한 수만큼의 팀원을 선발하여 팀을 만드는 단계를 포함하되,

상기 단계 (a)는,

- (a1) 상기 무인기가 할당되지 않은 임무들에 대한 자신의 적합도를 계산하는 단계;
- (a2) 가장 적합도가 높은 임무를 광고할 임무로 선택하는 단계;
- (a3) 광고 벡터를 생성하는 단계를 포함하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 적합도는 도달시간의 역수인 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 단계 (a1)는 통신 불완전 상황에서 (자신과 연결된 무인기의 수+1) 이하의 무인기를 요구하는 임무들만을 수행 가능한 임무로 판단하여 적합도를 계산하는 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광고 벡터는 [자신의 무인기 식별정보, 광고할 임무의 식별정보, 적합도] 순서로 정의된 벡터인 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 단계 (b)는,

(b1) 자신의 통신이 연결된 타 무인기들과 상기 광고 벡터를 교환하는 단계;

(b2) 상대방이 가진 광고 벡터의 적합도가 더 큰 경우 자신의 광고 벡터를 상대방의 광고 벡터로 갱신하는 단계를 포함하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

모든 무인기가 하나의 무인기에 대한 광고 벡터를 가질 때까지 상기 (b1) 및 (b2)를 반복 수행하는 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

무인기들의 통신망이 부분 연결된(partially-connected) 상황에서 통신망 그래프의 다이어미터(diameter) 횡수만큼 상기 (b1) 및 (b2)를 반복 수행하는 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 9

제6항에 있어서,

상기 단계 (c)는 자신의 광고 벡터에 기재된 무인기에 자신의 이력서 변수를 기재한 이력서 레터를 전송하는 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 이력서 레터는 [지원 무인기의 식별정보, 지원 임무의 식별정보, 이력서 변수]로 정의된 벡터인 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 이력서 변수는 상기 프로젝트 관리자가 수행하고자 하는 임무에 대한 지원 무인기의 도달시간인 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

통신 불완전 상황에서 상기 프로젝트 관리자는 자신과 직접 연결된 경우에 한해서 지원이 가능하도록 하는 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 단계 (d)는,

(d1) 상기 프로젝트 관리자가 상기 이력서 변수를 기준으로 필요한 수만큼의 무인기를 선발하는 단계;

(d2) 제안 레터를 통해 선발 결과를 통보하여 상기 프로젝트 관리자가 맡은 팀에 상기 임무가 할당되는 단계를 포함하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제안 레터는 [프로젝트 관리자의 식별정보, 할당 임무의 식별정보]로 정의된 벡터인 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 단계 (b), (c) 및 (d)는 타 무인기들과 동기적으로(synchronously) 수행되는 것을 특징으로 하는 시장기반 분산형 임무 할당 방법.

청구항 16

제1항, 제3항 내지 제15항 중 어느 한 항에 기재된 시장기반 분산형 임무 할당 방법을 수행하기 위해 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 프로그램을 기록한 기록매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무인기의 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 무인기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)는 전쟁터, 재난지역과 같이 위험한 환경에서도 효율적이면서도 효과적으로 다양한 임무 수행을 할 수 있어, 감시, 정찰, 탐사, 운송 등과 같은 임무를 위해 광범위하게 사용되고 있다.

[0003] 임무 할당(Task Allocation)은 무인기를 포함하는 다중 에이전트 시스템의 동작에 있어서 성능을 극대화하기 위해 중요하다. 에이전트와 임무의 수가 증가함에 따라, 지상 운용자에게 더 많은 부담이 지워질 것이며, 안전성 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제점을 완화하기 위해, 자율 임무 할당 알고리즘이 널리 연구되고 있다. 임무 할당에 대한 이전 연구들은 집중형과 분산형으로 구분될 수 있다.

[0004] 집중형 방식에서는, 하나의 제어센터가 모든 에이전트의 전체 정보를 수신하고 각 에이전트에게 적절한 명령을 보내준다. 이 경우 제어센터에 과도한 연산력이 요구되며, 시의적절한 임무 할당이 이루어지지 못할 가능성도 배제할 수 없다.

[0005] 반면 분산형 방식에서는, 각 에이전트가 홀로 획득하거나 이웃하는 에이전트와의 통신을 통해 획득한 로컬 정보를 이용한다. 따라서, 재빨리 동적이면서도 예기치 못한 상황을 다룰 수 있다. 추가적으로 각 에이전트의 연산력을 이용할 수 있다. 하지만 상황인지의 합의가 중요한 이슈가 된다.

[0006] 종래에는 무인기 간의 통신을 통해 임무를 분배하는 것이 가능하기는 하지만, 여전히 하나의 임무에 대해 한 대의 무인기가 할당되는 경우만을 다루고 있다. 하지만, 한 대의 무인기만으로는 수행할 수 없는 임무가 존재하기

때문에, 이를 고려하는 임무 할당 알고리즘이 요구된다.

- [0007] 전술한 배경기술은 발명자가 본 발명의 도출을 위해 보유하고 있었거나, 본 발명의 도출 과정에서 습득한 기술 정보로서, 반드시 본 발명의 출원 전에 일반 공중에게 공개된 공지기술이라 할 수는 없다.
- [0008] 임무 할당에 관련하여 한국공개특허공보 제10-2013-0068603호에는 군집로봇을 이루는 여러 대의 로봇들 중 어떤 로봇이 역할을 수행할 수 없는 경우에 다른 로봇이 해당 역할을 수행하여 군집로봇의 임무 완성도를 향상시킬 수 있는, 군집로봇의 역할 할당 방법이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2013-0068603호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 다수의 무인기로 하여금 서로 간의 통신을 통해 주어진 임무들을 신속하고 효율적으로 할당할 수 있는 무인기의 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체를 제공하기 위한 것이다.
- [0011] 본 발명은 기존의 분산형 임무 할당 알고리즘이 다수 로봇이 하나의 임무를 동시에 수행하는 상황을 고려하지 못한 것에 반해 특정 임무에 다수의 무인기가 동시에 도달하여 임무를 수행해야 하는 경우에도 적용 가능한 무인기의 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체를 제공하기 위한 것이다.
- [0012] 본 발명은 무인기 간의 통신거리 제한 등에 의해 특정 무인기 간의 통신만 가능한 상황에서도 주변 무인기와의 통신만으로 무인기 스스로 임무를 효과적으로 할당할 수 있는 무인기의 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체를 제공하기 위한 것이다.
- [0013] 본 발명의 이외의 목적들은 하기의 설명을 통해 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명의 일 측면에 따르면, 무인기의 제어부에서 수행되는 시장기반 분산형 임무 할당 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체가 제공된다.
- [0015] 일 실시예에 따른 시장기반 분산형 임무 할당 방법은, (a) 할당되지 않은 임무에 대한 적합도를 포함하는 광고를 준비하는 단계; (b) 통신이 연결된 타 무인기와 적합도를 교환하여 가장 적합도가 높은 무인기를 프로젝트 관리자로 합의하는 단계; (c) 합의된 상기 프로젝트 관리자에게 상기 임무에 대해 지원하는 단계; 및 (d) 상기 프로젝트 관리자는 지원자 중에서 상기 임무에 필요한 수만큼의 팀원을 선발하여 팀을 만드는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 단계 (a)는, (a1) 상기 무인기가 할당되지 않은 임무들에 대한 자신의 적합도를 계산하는 단계; (a2) 가장 적합도가 높은 임무를 광고할 임무로 선택하는 단계; (a3) 광고 벡터를 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 적합도는 도달시간의 역수일 수 있다.
- [0018] 상기 단계 (a1)는 통신 불완전 상황에서 (자신과 연결된 무인기의 수+1) 이하의 무인기를 요구하는 임무들만을 수행 가능한 임무로 판단하여 적합도를 계산할 수 있다.
- [0019] 상기 광고 벡터는 [자신의 무인기 식별정보, 광고할 임무의 식별정보, 적합도] 순서로 정의된 벡터일 수 있다.
- [0020] 상기 단계 (b)는, (b1) 자신의 통신이 연결된 타 무인기들과 상기 광고 벡터를 교환하는 단계; (b2) 상대방이

가진 광고 벡터의 적합도가 더 큰 경우 자신의 광고 벡터를 상대방의 광고 벡터로 갱신하는 단계를 포함할 수 있다.

- [0021] 모든 무인기가 하나의 무인기에 대한 광고 벡터를 가질 때까지 상기 (b1) 및 (b2)를 반복 수행할 수 있다.
- [0022] 또는 무인기들의 통신망이 부분 연결된(partially-connected) 상황에서 통신망 그래프의 다이어미터(diameter) 횡수만큼 상기 (b1) 및 (b2)를 반복 수행할 수 있다.
- [0023] 상기 단계 (c)는 자신의 광고 벡터에 기재된 무인기에 자신의 이력서 변수를 기재한 이력서 레터를 전송할 수 있다.
- [0024] 상기 이력서 레터는 [지원 무인기의 식별정보, 지원 임무의 식별정보, 이력서 변수]로 정의된 벡터일 수 있다.
- [0025] 상기 이력서 변수는 상기 프로젝트 관리자가 수행하고자 하는 임무에 대한 지원 무인기의 도달시각일 수 있다.
- [0026] 통신 불완전 상황에서 상기 프로젝트 관리자는 자신과 직접 연결된 경우에 한해서 지원이 가능하도록 할 수 있다.
- [0027] 상기 단계 (d)는, (d1) 상기 프로젝트 관리자가 상기 이력서 변수를 기준으로 필요한 수만큼의 무인기를 선발하는 단계; (d2) 제안 레터를 통해 선발 결과를 통보하여 상기 프로젝트 관리자가 맡은 팀에 상기 임무가 할당되는 단계를 포함할 수 있다.
- [0028] 상기 제안 레터는 [프로젝트 관리자의 식별정보, 할당 임무의 식별정보]로 정의된 벡터일 수 있다.
- [0029] 전술한 것 외의 다른 측면, 특징, 이점이 이하의 도면, 특허청구범위 및 발명의 상세한 설명으로부터 명확해질 것이다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명의 실시예에 따르면, 다수의 무인기로 하여금 서로 간의 통신을 통해 주어진 임무들을 신속하고 효율적으로 할당할 수 있다.
- [0031] 또한, 기존의 분산형 임무 할당 알고리즘이 다수 로봇이 하나의 임무를 동시에 수행하는 상황을 고려하지 못한 것에 반해 특정 임무에 다수의 무인기가 동시에 도달하여 임무를 수행해야 하는 경우에도 적용 가능한 효과가 있다.
- [0032] 또한, 무인기 간의 통신거리 제한 등에 의해 특정 무인기 간의 통신만 가능한 상황에서도 주변 무인기와의 통신만으로 무인기 스스로 임무를 효과적으로 할당할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 시장기반 분산형 임무 할당을 위해 설계된 시장 메커니즘의 개념도,
- 도 2는 임무 할당 과정에 있어서 기존의 순차적인 알고리즘,
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 동기적인 임무 할당 알고리즘을 나타낸 도면이고, 도 4는 임무 할당 알고리즘의 상세 순서도,
- 도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 일 실시예에 따른 임무 할당이 이루어지는 과정을 구체적으로 설명하기 위한 예시도,
- 도 6은 무인기의 다양한 연결 관계를 나타낸 그래프,
- 도 7 내지 도 9은 무인기간 통신망 종류에 따른 그래프 및 임무 할당 결과 모습,
- 도 10은 통신망 종류에 따른 임무 할당 결과를 수치화한 테이블,
- 도 11은 몬테카를로 시뮬레이션 결과 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0034] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0035] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0036] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0037] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0038] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0039] 또한, 각 도면을 참조하여 설명하는 실시예의 구성 요소가 해당 실시예에만 제한적으로 적용되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상이 유지되는 범위 내에서 다른 실시예에 포함되도록 구현될 수 있으며, 또한 별도의 설명이 생략될지라도 복수의 실시예가 통합된 하나의 실시예로 다시 구현될 수도 있음은 당연하다.
- [0040] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일하거나 관련된 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 시장기반 분산형 임무 할당을 위해 설계된 시장 메커니즘의 개념도이다.
- [0042] 시장기반 협력제어는 가상의 시장에 참여한 참가자 개개인이 자신의 이익을 위한 의사결정을 내리지만, 결과적으로 시장 전체의 이익이 되는 시장경제 이론을 제어이론에 접목시킨 개념이다.
- [0043] 본 실시예에서 참가자는 무인기가 되고, 각 무인기는 자신의 이익을 위해 임무를 획득하려고 하지만, 정교하게 설계된 시장 메커니즘에 의해서 무인기간의 의사가 조율되어 최종적으로 무인기들의 사용자가 원하는 목적을 달성시키게 된다.
- [0044] 분산형 임무 할당 기법은 임무 할당 기법 중에서도 무인기들이 서로간의 통신을 통해 완벽하지 않은 지역적 정보만을 이용하여 임무를 할당하는 기법이다.
- [0045] 따라서, 앞서 설명한 시장기반 협력제어의 개념은 무인기들의 자율성이 강조되는 분산형 임무 할당에 적용될 때 큰 장점을 지닌다.
- [0046] 본 실시예에 따른 시장기반 분산형 임무 할당 기법은 이러한 기법의 특성을 활용하여 설계한 새로운 시장 메커니즘에 따른다. 혼자서 수행할 수 없는 임무에 대해서는 동시에 복수의 무인기가 수행할 수 있도록 임무를 할당해야 한다는 것이다. 이를 위해, 혼자 수행할 수 없는 프로젝트를 함께 수행하기 위한 프로젝트 팀 구성과정을 모사하는 시장 메커니즘이 설계될 필요가 있다.
- [0047] 새롭게 설계된 시장 메커니즘은 도 1에 도시된 것과 같이 다음의 4단계로 구성된다.
- [0048] 1단계에서 무인기들이 주어진 임무들 중에서 자신이 가장 효율적으로 수행할 수 있는 프로젝트(임무)에 대하여 각자가 프로젝트 관리자 후보가 되어 광고를 준비한다. 2단계에서 각자의 적합도를 자신의 통신이 연결된 무인기들과 주고받음으로써 가장 적합도가 높은 무인기를 해당 프로젝트의 관리자로 합의한다. 3단계에서는 합의된 프로젝트 관리자에게 임무 수행을 위한 지원을 하며, 4단계에서는 관리자가 수치적으로 비교 가능한 이력서 변

수를 토대로 해당 임무에 필요한 수만큼의 팀원을 선발하여 팀을 만드는 과정이다.

- [0049] 도 2는 임무 할당 과정에 있어서 기존의 순차적인 알고리즘이 도시되어 있다.
- [0050] 다수의 참가자들은 순차적으로(sequentially) 자기 차례에 다음의 임무 할당 알고리즘을 수행하게 된다.
- [0051] 각 참가자들은 자신 차례에서 다음과 같이 행동한다. 우선 팀원으로 선정된 경우 임무에 관한 제안을 확인하고 (단계 a), 지원서가 수신된 경우 팀원 선발을 위해 지원서를 확인하며(단계 b), 광고가 있는 경우에는 지원서를 보내 임무를 찾으며(단계 c), 임무가 남아 있다면 광고한다(단계 d).
- [0052] 어느 하나의 참가자가 상기 임무 할당 알고리즘을 수행하면 다른 (N-1)대의 참가자들은 아무것도 하지 않게 되는 단점이 있다. 또한, i번째 참가자와 (i+1)번째 참가자간의 통신이 가능해야 하며, 통신이 끊긴 경우에는 릴레이(relay)가 필요하게 된다.
- [0053] 이러한 문제점들을 해소하기 위해 본 실시예에서는 각 단계마다 모든 무인기가 자신과 통신이 연결된 주변의 무인기와 동기적으로(synchronously) 정보를 주고 받을 수 있게 한다.
- [0054] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 동기적인 임무 할당 알고리즘을 나타낸 도면이고, 도 4는 임무 할당 알고리즘의 상세 순서도이다.
- [0055] 도 3을 참조하면, 임무 할당 과정은 광고(1단계), 프로젝트 관리자 합의(2단계), 지원(3단계), 임무 할당(4단계)으로 구성되며, 각 단계마다 통신이 연결된 주변의 무인기와 동기적으로 정보를 주고 받는다. 무인기 j가 주변의 무인기 i 및 무인기 k와 정보를 주고 받게 되는 것이다.
- [0056] 4단계를 거친 후에는 하나의 임무가 하나의 팀에게 할당되며, 할당되지 않은 임무가 남아있지 않을 때까지 이 단계들을 반복적으로 다시 실시하게 된다.
- [0057] 이 경우 모든 무인기들은 동기적으로 각 단계를 계산하게 되며, 이웃한 무인기들과만 통신하면 되어 릴레이가 필요없게 되는 장점이 있다.
- [0058] 각 단계들의 상세 알고리즘은 다음과 같다(도 4 참조).
- [0059] 1단계에서는 무인기가 우선 할당되지 않은 임무들에 대해 자신의 적합도(fitness)를 계산한다(단계 11).
- [0060] 여기서, 적합도는 무인기 군집을 운용하는 사용자가 임의로 설정할 수 있는 함수이다. 예를 들면, 신속하게 수행하는 것이 중요한 임무의 경우에는 도달시간의 역수를 적합도로 사용할 수 있다.
- [0061] 이때, 통신거리 제약으로 인해 모든 무인기간의 통신이 가능하지 않은 경우(이하에서는 '통신 불완전 상황'이라 칭함)를 대비하여, 자신과 통신이 직접적으로 연결된 무인기들만을 동원 가능한 무인기로 한정할 수 있다. 즉, (자신과 연결된 무인기의 수+1) 이하의 무인기를 요구하는 임무들만을 수행 가능한 임무라고 생각하여, 이 임무들에 대해서만 적합도를 계산할 수 있다.
- [0062] 그 후에는 가장 적합도가 높은 임무를 광고할 임무로 선택하고(단계 12), 광고 벡터(Winning_AD)라는 3차원 벡터를 생성하여 [자신의 무인기 식별정보(예를 들면, UAV 번호), 광고할 임무의 식별정보(예를 들면, 임무 번호), 적합도] 순서로 정의한다(단계 13).
- [0063] 2단계에서는 자신의 통신이 연결된 무인기들과 광고 벡터를 교환한다(단계 21). 상대방이 가진 광고 벡터의 적합도가 더 큰 경우 자신의 광고 벡터를 상대방의 광고 벡터로 갱신한다(단계 22). 이 과정을 반복하면 모든 무인기의 광고 벡터는 하나의 무인기에 대한 광고 벡터로 수렴하게 되며, 각 무인기에 최종적으로 갱신된 광고 벡터에 정의되어 있는 UAV 번호가 프로젝트 관리자에 해당하는 것으로 합의될 수 있다.
- [0064] 무인기들의 통신망이 완전 연결된(fully-connected) 상황이 아닌 경우에도, 부분 연결된(partially-connected) 상황에서는 통신망 그래프의 다이어미터(diameter) 횡수만큼 이 과정이 수행되면 가장 적합도가 높은 무인기가 프로젝트 관리자로 합의될 수 있다(단계 23).
- [0065] 3단계에서는 각 무인기가 자신의 광고 벡터에 기재된 무인기(PM)에 자신의 이력서 변수를 기재한 이력서 레터를 전송한다(단계 31). 이력서 레터는 [지원 무인기의 식별정보(예를 들어, UAV 번호), 지원 임무의 식별정보(예를 들어, 임무 번호), 이력서 변수]로 정의될 수 있다.
- [0066] 이때 이력서 변수는 프로젝트 관리자(PM)가 선발에 참고할 수 있는 수치적인 값으로, 사용자가 무인기 군집의 운용목표에 따라 임의로 설정 가능하다.

- [0067] 예를 들면, 도달시각이 중요한 경우의 이력서 변수는 프로젝트 관리자가 수행하고자 하는 임무에 대한 지원 무인기의 도달시각이 될 수 있다.
- [0068] 또한, 통신 불완전 상황에서는 지원 제한이 있는데, 프로젝트 관리자가 자신과 직접 연결된 경우에 한해서 지원이 가능하도록 할 수 있다.
- [0069] 4단계에서는 프로젝트 관리자가 지원자들 중에서 이력서 변수를 기준으로 필요한 수만큼의 무인기를 선발하고(단계 41), 선발 결과를 통보하여 프로젝트 관리자가 맡은 팀에 해당 임무가 할당된다(단계 42). 선발된 팀원 무인기로 선발 결과를 통보할 때 이용되는 제안 레터는 [프로젝트 관리자의 식별정보(예를 들어, 프로젝트 관리자의 UAV 번호), 할당 임무의 식별정보(예를 들어, 임무 번호)]로 정의될 수 있다.
- [0070] 또한, 프로젝트 관리자는 전체 무인기에 해당 임무가 할당된 사실을 통보할 수 있다.
- [0071] 도 4에 도시된 시장 기반 임무 할당 방법은 디지털 처리 장치(본 실시예에서는 무인기의 제어부)에 내장되거나 설치된 프로그램 등에 의해 시계열적 순서에 따른 자동화된 절차로 수행될 수도 있음은 당연하다. 상기 프로그램을 구성하는 코드들 및 코드 세그먼트들은 당해 분야의 컴퓨터 프로그래머에 의하여 용이하게 추론될 수 있다. 또한, 상기 프로그램은 디지털 처리 장치가 읽을 수 있는 정보저장매체(computer readable media)에 저장되고, 디지털 처리 장치에 의하여 읽혀지고 실행됨으로써 상기 방법을 구현한다. 상기 정보저장매체는 자기 기록매체, 광 기록매체 및 캐리어 웨이브 매체를 포함한다.
- [0072] 도 5a 내지 도 5f는 본 발명의 일 실시예에 따른 임무 할당이 이루어지는 과정을 구체적으로 설명하기 위한 예시도이다.
- [0073] 임무 T1 및 T2는 별 모양으로 표시되어 있으며, 괄호 안의 숫자는 해당 임무에 필요한 무인기의 수를 나타낸다. 1번 임무 T1의 경우에는 2대의 무인기가 필요하고, 2번 임무 T2의 경우에는 4대의 무인기가 필요하게 된다.
- [0074] 도 5a를 참조하면, 1단계로 각 무인기가 자신의 적합도를 계산하여 정의한 광고 벡터가 도시되어 있다. 1~4번 무인기는 1번 임무에 대해 자신의 적합도를 정의하였고, 5~7번 무인기는 2번 임무에 대해 자신의 적합도를 정의하였다.
- [0075] 도 5b를 참조하면, 2단계로 무인기간에 광고 벡터의 교환을 통해 가장 높은 적합도를 가지는 광고 벡터로 각 무인기의 광고 벡터가 갱신된다.
- [0076] 1번 임무의 경우에는 2번 무인기의 적합도가 20으로 가장 높아, 주변의 무인기(1, 3, 4번 무인기)의 광고 벡터가 2번 무인기의 광고 벡터와 동일하게 갱신된다. 2번 임무의 경우에는 5번 무인기의 적합도가 12로 가장 높아, 주변의 무인기(6, 7번 무인기)의 광고 벡터가 5번 무인기의 광고 벡터와 동일하게 갱신된다.
- [0077] 도 5c를 참조하면, 2번째 반복(iteration) 과정을 거쳐 4번 무인기의 광고 벡터가 5번 무인기의 광고 벡터에 비해 적합도가 더 높아 5번 무인기의 광고 벡터가 4번 무인기와 동일하게 변경된다.
- [0078] 도 5d를 참조하면, 3번째 반복 과정을 거쳐 6번 및 7번 무인기의 광고 벡터가 5번 무인기의 광고 벡터와 동일하게 변경된다.
- [0079] 이 과정을 통해 모든 무인기가 2번 무인기의 광고 벡터와 동일한 광고 벡터를 가지게 되어, 1번 임무에 대한 프로젝트 관리자가 2번 무인기인 것으로 합의될 수 있다.
- [0080] 도 5e를 참조하면, 3단계로 프로젝트 관리자(2번 무인기)에 대해 이력서 변수(resume)를 기재한 지원서 레터를 제출한다. 지원서 레터의 제출은 프로젝트 관리자에 직접 연결된 무인기에 한해 수행될 수 있으며, 본 예시에서는 1번, 3번, 4번 무인기가 본인의 지원서 레터(L_{app})를 2번 무인기로 전송하여 해당 임무에 대해 지원하게 된다. 이력서 변수는 지원서 벡터의 마지막 인자로서, 예를 들면 해당 임무에 대한 적합도일 수 있다.
- [0081] 도 5f를 참조하면, 4단계로 프로젝트 관리자는 지원자들(1번, 3번, 4번 무인기) 중에서 이력서 변수를 기준으로 필요한 수만큼의 무인기를 선발한다.
- [0082] 1번 임무의 경우 2대의 무인기가 필요하므로, 프로젝트 관리자를 제외하고는 1대의 무인기만이 추가 선발되게 된다. 따라서, 이력서 변수가 가장 높은 4번 무인기가 선발될 수 있다.
- [0083] 프로젝트 관리자(2번 무인기)는 4번 무인기에 대해 프로젝트 관리자 정보 및 할당 임무 정보를 포함하는 제안

레터(offer letter)를 보내어 팀 편성을 완료한다. 본 예시에서는 2번 무인기가 4번 무인기로 보낸 제안 레터 L_{off} 가 [2, 1]이어서, 프로젝트 관리자가 2번 무인기이고 할당 임무가 1번 임무임을 알려주고 있다.

[0084] 본 실시예에 따른 임무 할당 방법에 대한 확장성 분석에 대하여 알아보기로 한다. 여기서, 확장성이란 운용되는 무인기와 임무의 수가 증가함에 따라 소요되는 통신량이 어떠한 추세로 증가하는지에 관한 성질이다.

[0085] 통신량에 대한 확장성 분석은 다음과 같다.

[0086] 1단계에서는 통신을 하지 않고, 2단계에서는 주변 무인기들과 프로젝트 관리자에 대한 합의가 이루어질 때까지 통신을 수행해야 한다. 그래프 이론에서 그래프의 다이어미터(diameter)는 그래프에서 가장 멀리 떨어진 두 노드간의 거리를 의미한다.

[0087] 도 5a 내지 도 5f에 예시된 그래프의 다이어미터는 4이다. 그러므로 가장 높은 프로젝트 관리자를 합의하기 위해서는 최대 다이어미터만큼의 반복이 필요하다.

[0088] 이때 각 무인기는 자신과 통신이 연결된 무인기들과 통신을 수행해야 한다. 그러므로 2단계에서 프로젝트 관리자를 합의하기 위하여 각 무인기는 (이웃의 수)*(그래프의 다이어미터)만큼의 통신을 수행해야 한다.

[0089] 도 6은 무인기의 다양한 연결 관계를 나타낸 그래프이다.

[0090] 이웃이 가장 많은 무인기를 가진 그래프는 (a)와 같이 별 모양의 그래프이고, 다이어미터가 가장 큰 그래프의 형태는 (b)와 같이 선형 그래프이다.

[0091] 최대 통신횟수를 구하기 위하여 통신을 가장 많이 하는 그래프의 형태를 예상해보면, (c)와 같이 한 대의 무인기에는 k대의 무인기가 연결되어 있고, 그 중 한 대의 무인기에 나머지 m대의 무인기가 선형으로 연결된 경우이다.

[0092] 그러므로 전체 무인기가 N대라고 할 때, $k+m+1=N$ 의 관계를 가지므로, 다음의 식을 통해 2단계에서의 최대 통신 횟수를 계산할 수 있다.

$$C_{\max} = \max_{k+1+m=N} k(2+m)$$

$$= \max_k k(N-k+1) = \begin{cases} \frac{(N+1)^2}{4}, & N \text{ is odd} \\ \frac{N(N+2)}{4}, & N \text{ is even} \end{cases}$$

[0093]

[0094] 3단계는 지원 단계이므로 최대 1번의 통신이 이루어지고, 4단계에서는 선발 정보가 지원자들에게 통보되므로 최대 (N-1)번의 통신이 이루어진다.

[0095] 그러므로 이를 모두 합하면 M개의 임무를 N대의 무인기에 할당하는데 필요한 최대 통신 횟수는 다음과 같다.

$$C_{TA}(N, M) = \begin{cases} \frac{M(N^2 + 6N + 1)}{4}, & N \text{ is odd} \\ \frac{M(N^2 + 6N)}{4}, & N \text{ is even} \end{cases}$$

[0096]

[0097] 예를 들어, 5대의 무인기가 있을 때, 임무 하나를 할당하는데 필요한 최대 통신 횟수는 $(25+30+1)/4 = 14$ 회이고, 통신이 20Hz의 빈도로 이루어지는 경우 최대 0.7초가 걸린다는 것을 예상할 수 있다.

- [0098] 이처럼 본 발명은 정해진 문제 크기에 대하여 통신망 그래프에 관계없이 최대 소요시간 예측이 가능하게 된다.
- [0099] 또한, 시간 복잡도(time complexity) 측면에서 분석하면 다음과 같다.
- [0100] 1단계 광고 단계에서는 최대 M개의 임무에 대한 적합도를 계산하게 될 수 있고($O(M^2)$), 2단계 프로젝트 관리자 합의 단계에서는 이웃들과 $(N+1)^2/4$ 번 비교를 해야 할 수 있다($O(\frac{(N+1)^2}{4})$). 3단계 지원 단계에서는 최대 1:1 통신을 수행할 수 있으며($O(1)$), 4단계 임무 할당 단계에서는 (N-1)명의 지원자를 소팅(sorting)해야 할 수 있다($O(N-1)\log(N-1)$).
- [0101] 1~4단계를 거치면 하나의 임무가 할당되며, 이를 M번 반복할 필요가 있다. 따라서, 본 실시예에 따른 시장기반 분산형 임무 할당 방법에 의하면 시간 복잡도가 $T_{TA}(N, M) = O(M^3 + MN^2 + MN \log N)$ 이다.
- [0102] 이는 도 2에 도시된 것과 같은 순차적 알고리즘에 따른 때의 시간 복잡도인 $T_{TA}(N, M) = O(N^2 M \log N + NM^3)$ 에 비해 대략 1/N 감소한 결과이다.
- [0103] 즉, 본 실시예에 따른 경우 통신이 완벽하지 않은 상황에서 적용이 가능하다. 자신과 통신이 연결된 무인기들과만 통신하면 충분하므로, 완전 연결 상황이 아니더라도 릴레이가 불필요하다.
- [0104] 또한, 계산량과 통신량이 적다. 최대 M개의 임무에 대해 적합도를 계산하고 이력서 변수를 계산하는 기본적인 수준에 불과하며, 주고 받은 값은 3x1 벡터로서 12바이트 미만이다.
- [0105] 순차적 알고리즘이 아닌 동기적 알고리즘으로서, 기존에는 하나의 무인기가 알고리즘을 수행하면 나머지 무인기들은 대기모드에 있어 무인기의 대수가 커질수록 비효율성이 커지는 구조였다. 하지만, 본 실시예의 경우 각 단계를 이웃한 무인기들과 동기적으로 실행하게 되므로, N대의 무인기가 각 단계를 동시에 수행하게 된다.
- [0106] 또한, 직관적으로 설계되어 적합도, 이력서 변수를 변형하면 다양한 목적의 임무에 적용이 가능하다.
- [0107] 구체적인 수치 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.
- [0108] 도 7 내지 도 9에는 무인기간 통신망 종류에 따른 그래프 및 임무 할당 결과 모습이 도시되어 있고, 도 10은 통신망 종류에 따른 임무 할당 결과를 수치화한 테이블이다.
- [0109] 무인기간 통신망 종류를 완전히 연결된 그래프(도 7 참조), 메쉬 형태의 그래프(도 8 참조), 선형 그래프(도 9 참조)로 나누어 성능을 비교하고 있다.
- [0110] 시뮬레이션 환경은 2차원 상에서 등속으로 이동하는 질점 무인전투기 모델을 고려하였고, 임무 시나리오에 따르면 적 대공망 제압(SEAD) 작전에서 각 대공 방어막의 위협 정도에 따라 동시에 공격해야 하는 무인기의 대수가 정해져 있다.
- [0111] 그림 상에서 임무번호 옆 괄호 안의 숫자가 필요한 무인기의 수를 나타낸다. 이와 같은 임무 할당 결과에 통해 통신망이 달라지더라도 임무의 할당이 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있다. 동시도달을 위해서 미리 임무 주위에 도착한 무인기는 안전반경 주위를 선회하며 함께 수행할 무인기들을 기다리게 된다.
- [0112] 도 10을 참조하면, 완전히 연결된 그래프(도 7), 메쉬 형태의 그래프(도 8), 선형 그래프(도 9)의 경우의 통신망 다이어미터(diameter of network), 총 계산시간(Total runtime), 병렬 계산시간(Parallel runtime), 임무 완료 시간(Mission completion time), 무인기의 최대 통신 횟수(Maximum communications per agent), 통신 횟수의 상한(Upper-bound of communications)이 테이블로 나타나 있다.
- [0113] 여기서 총 계산시간은 한 대의 PC에서 본 실시예를 시뮬레이션할 때에 소요되는 시간을 의미한다. 또한 병렬 계산시간은 총 계산시간을 무인기의 수 5로 나눈 값으로, 제안한 방법이 동기적으로 수행될 때 각 무인기의 계산

시간에 대한 예측치를 의미한다. 본 실시예의 수치 시뮬레이션에 사용된 컴퓨터의 사양은 Intel Core i5 4670 3.4GHz CPU와 8GB RAM 이다. 수치 시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 Windows 7 운영체제에서 구동되는 MATLAB 2014a 버전이다.

[0114] 다음으로 확장성 분석 결과를 검증하기 위해, 무인기의 수와 임무의 수를 N 개로 놓고, N 을 1부터 30까지 변화시키면서 각 N 에 대하여 100번의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 몬테카를로 시뮬레이션에서 매번 임의로 달라지는 값은 무인기와 임무의 위치, 무인기간의 통신망 그래프, 그리고 각 임무에 필요한 무인기의 수이다.

[0115] 도 11에는 몬테카를로 시뮬레이션 결과 그래프가 도시되어 있다.

[0116] 100번의 시물레이션 중에서 가장 통신 횟수가 많은 무인기의 통신 횟수를 저장하여 각 N에 대하여 파란색 점선 그래프(320)를 그리면 도 11에 도시된 바와 같다. 여기서, 빨간색 점선(310)은 확장성 분석에서 계산한 최대 통신 횟수로 파란색 점선(320)이 항상 빨간색 점선(310) 이내에 있음을 통하여 확장성 분석이 잘 이루어졌으며, 임의의 통신망에 대해서는 최대값에 크게 못미치는 통신 횟수로도 임무 할당을 마칠 수 있음을 확인할 수 있다.

[0117] 본 실시예에 따르면, 기존 임무 할당 방법으로는 풀기 어려운 동시도달이 필요한 임무 할당 문제를 분산적이고 신속하게 풀 수 있게 된다. 그러므로 다수의 로봇이나 무인기를 이용하는 매우 광범위한 분야에 대해 적용이 가능하다.

[0118] 군사적인 목적으로는 실시예에서 적용한 적 대공망 제압 작전에서 무인전투기의 실시간 임무 할당 알고리즘으로 채택될 수 있을 것이다. 동시공격은 군사적으로 매우 효과적인 작전 중의 하나이다.

[0119] 또한, 다수의 무인기를 이용하여 산불을 진압하는 경우에도, 산불의 크기에 따라 다수의 무인기를 할당하게 되면 보다 효율적인 진압이 가능하게 될 것이다.

[0120] 본 실시예에 따른 시장 기반 임무 할당 방법은 복잡한 계산을 요구하지 않으므로, 시중에서 저가로 쉽게 구할 수 있는 DSP와 같은 마이크로프로세서를 이용한 비행제어 컴퓨터에서도 동작이 가능하다.

[0121] 또한, 통신거리 제한 등으로 인하여 모든 무인기간의 통신이 가능하지 않은 상황에서도 효과적으로 임무를 할당할 수 있으므로, 상대적으로 저가인 통신장비로도 구현이 가능하여 시장경쟁력이 높다.

[0122] 시장 메커니즘에서 적합도나 이력서는 사용자가 임의로 설정할 수 있는 값이므로, 임무수행 예상시간 등으로 설정하는 경우에는 주어진 임무를 신속히 수행할 수 있으므로 운용시간과 임무수행 비용을 절약할 수 있다.

[0123] 또한, 본 발명은 무인기뿐만 아니라 지상 및/또는 해양로봇에 대해서도 동일하게 적용될 수 있다.

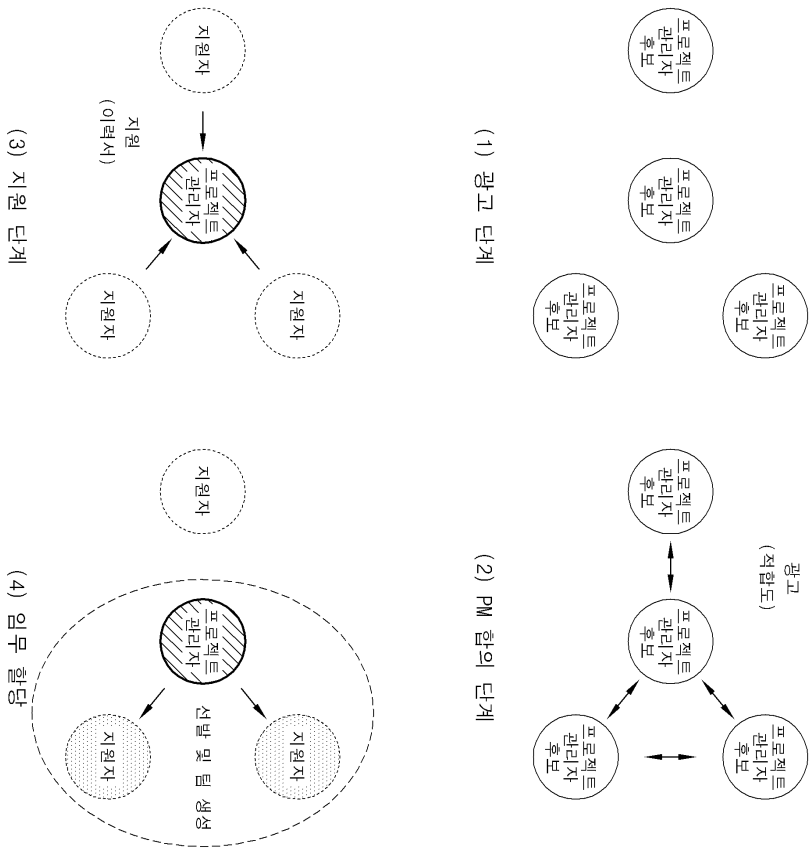
[0124] 상기에서는 본 발명의 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

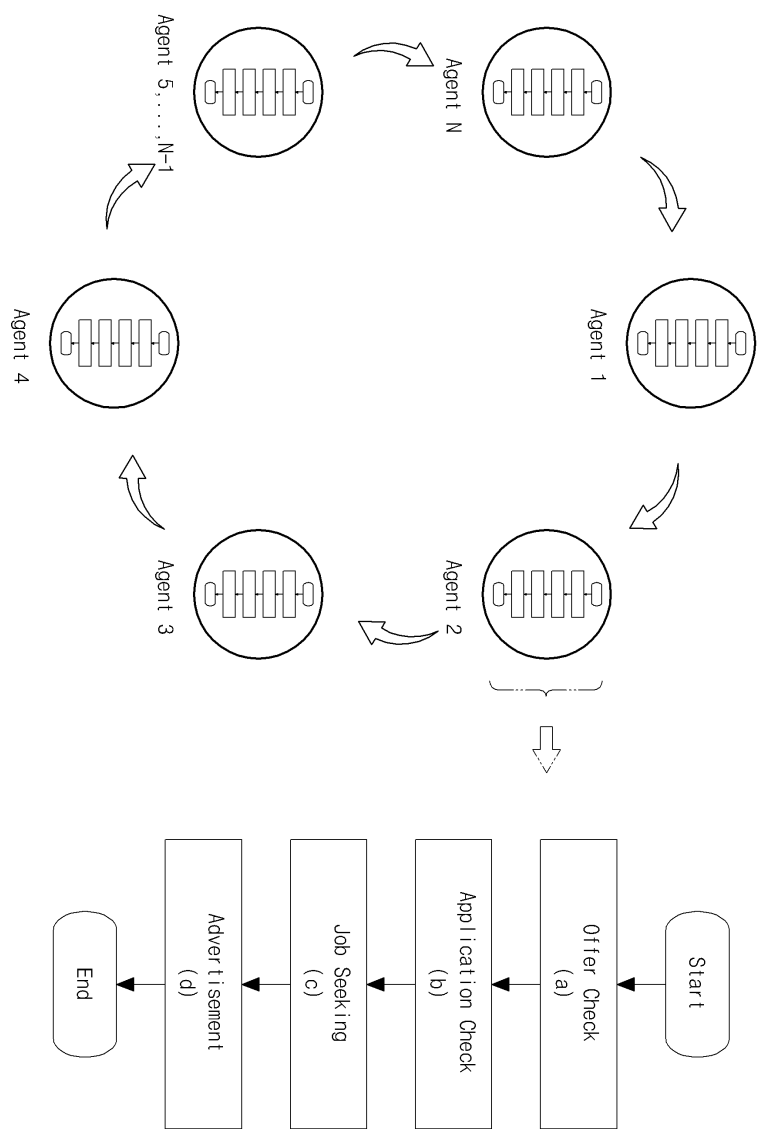
[0125] UAV: 무인기 Agent : 에이전트(혹은 무인기)

도면

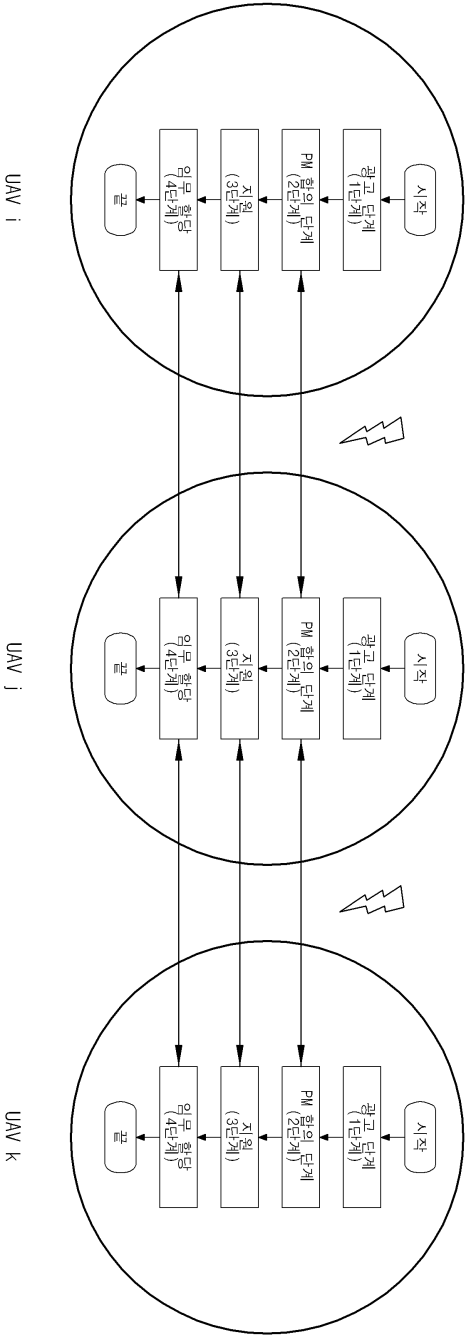
도면1



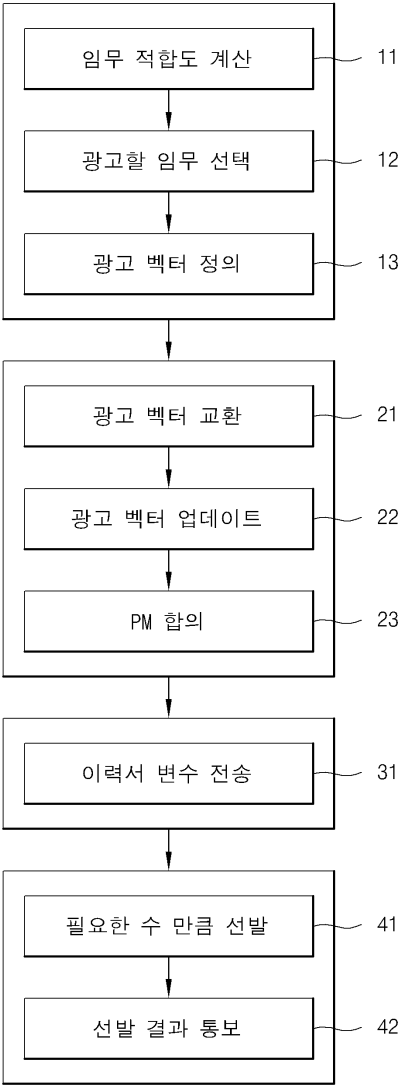
도면2



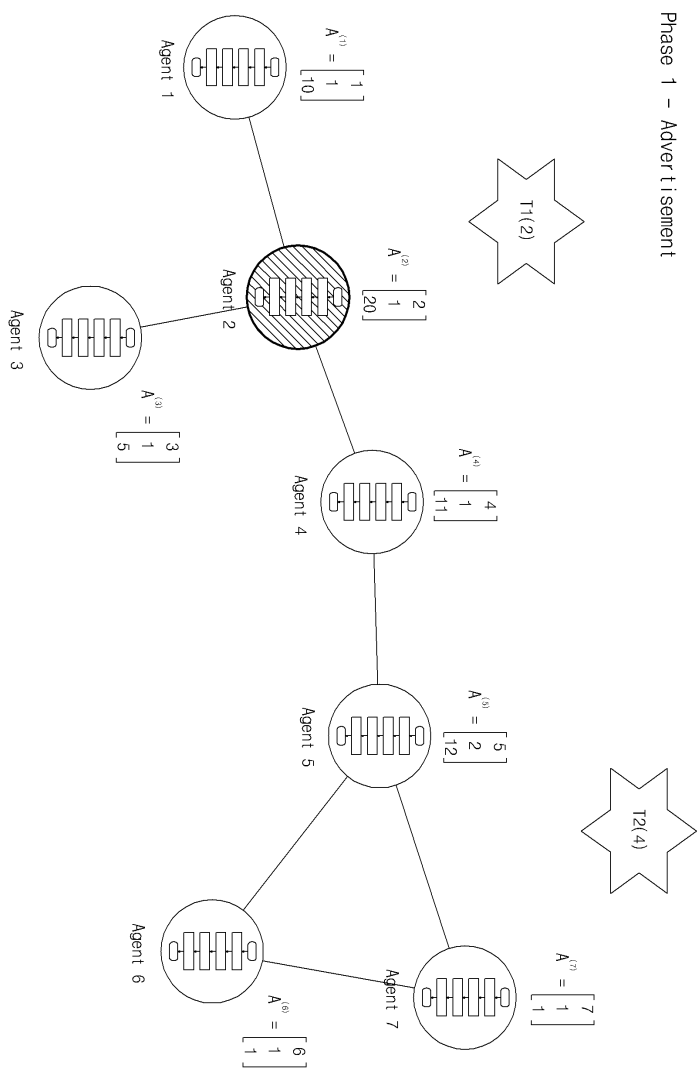
도면3



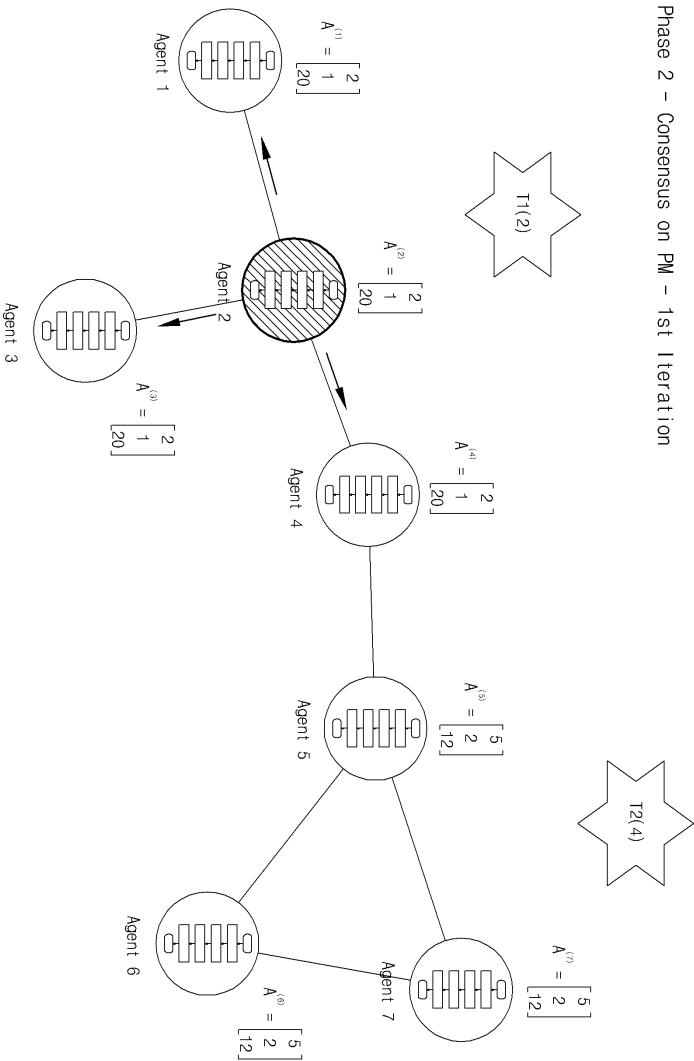
도면4



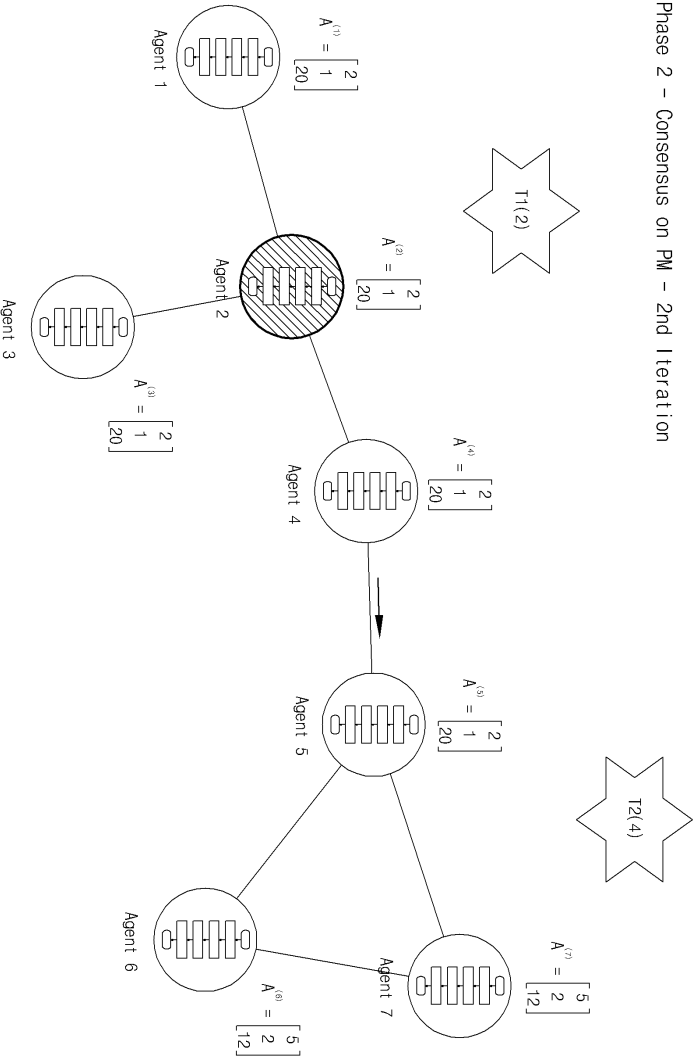
도면5a



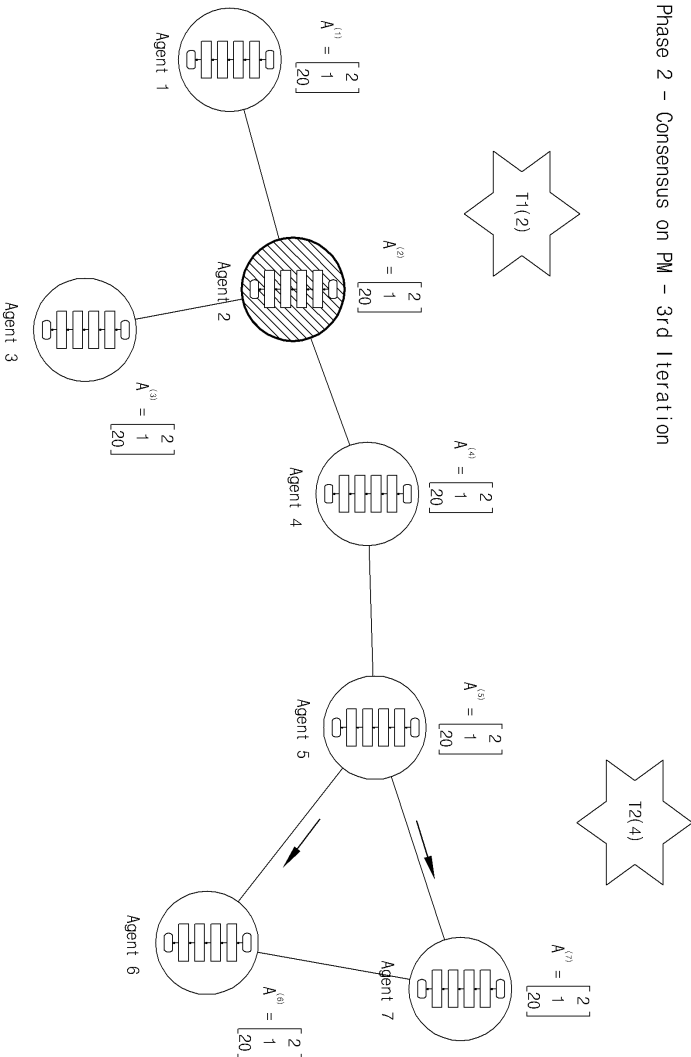
도면5b



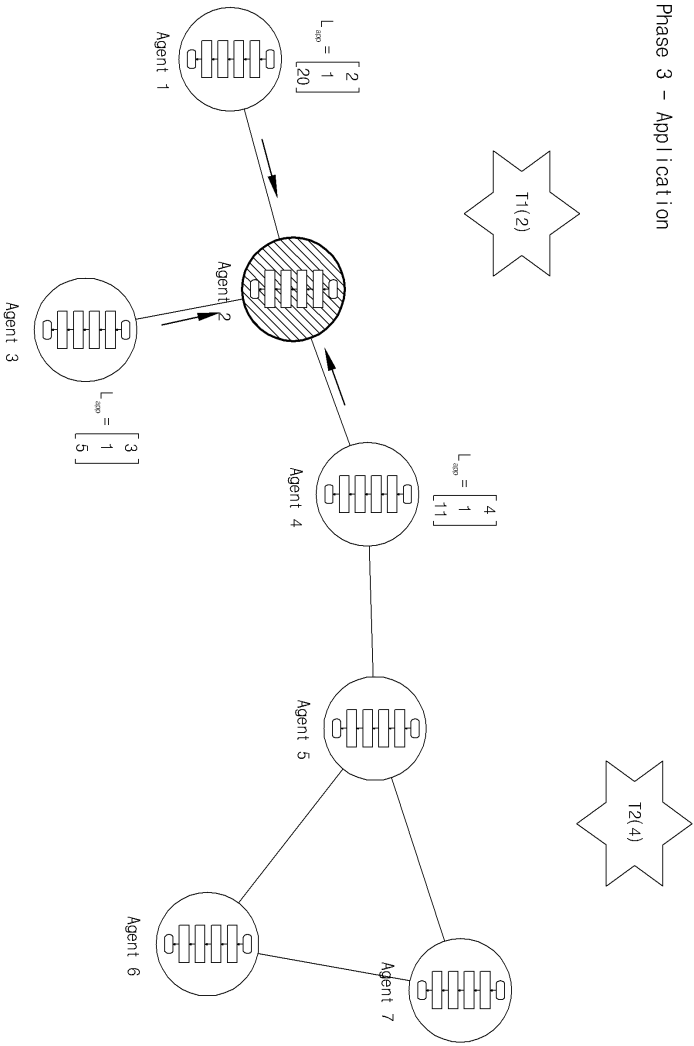
도면5c



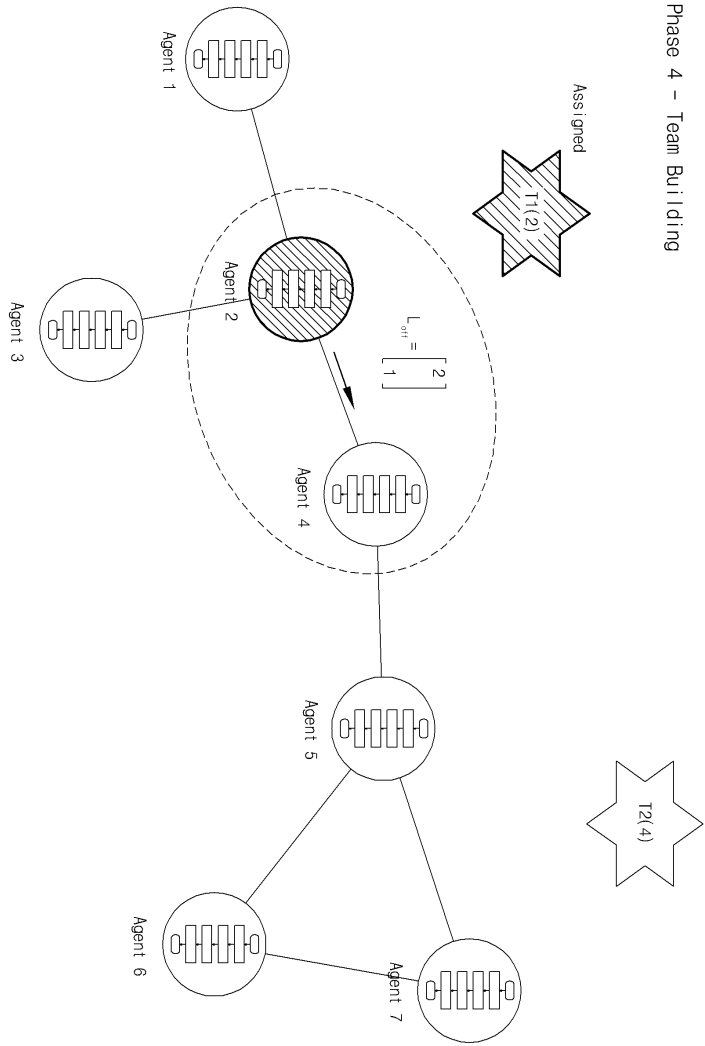
Phase 2 – Consensus on PM – 3rd Iteration



도면5e

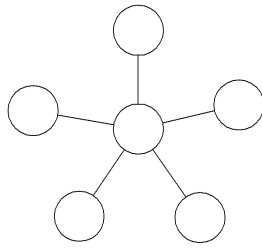


도면5f

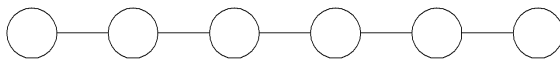


도면6

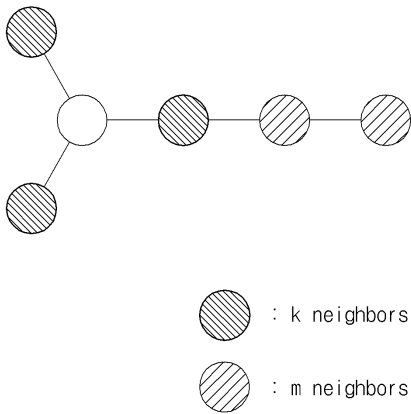
(a) Star topology



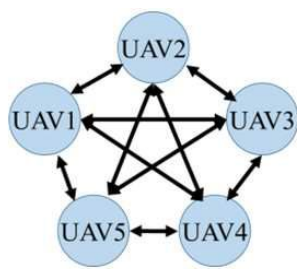
(b) Linear topology



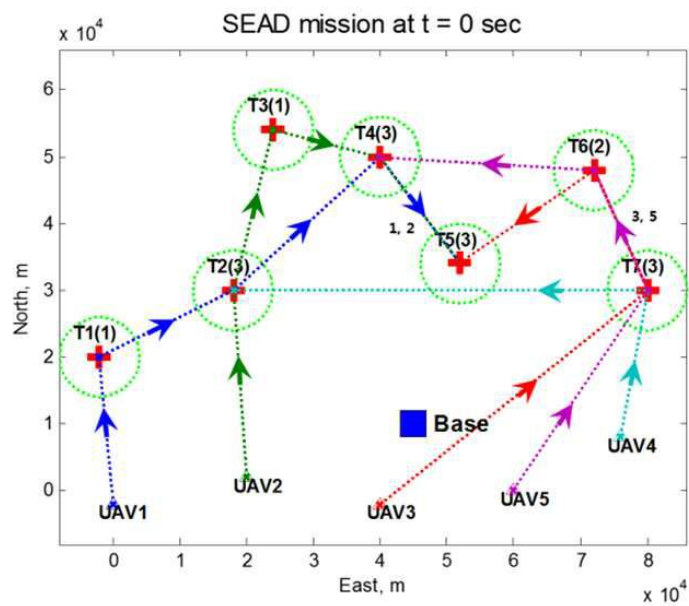
(c) Worst-case topology



도면7

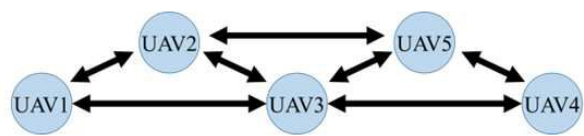


(a) fully-connected

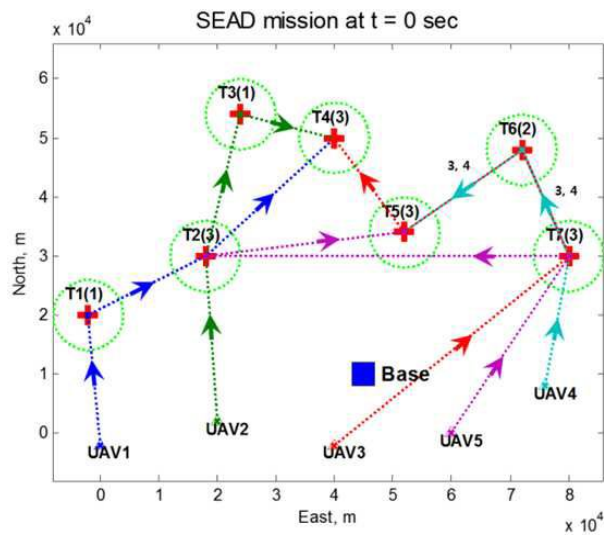


(b) 임무 할당 결과

도면8

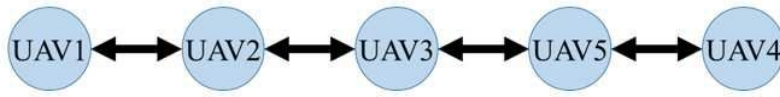


(a) Mesh topology

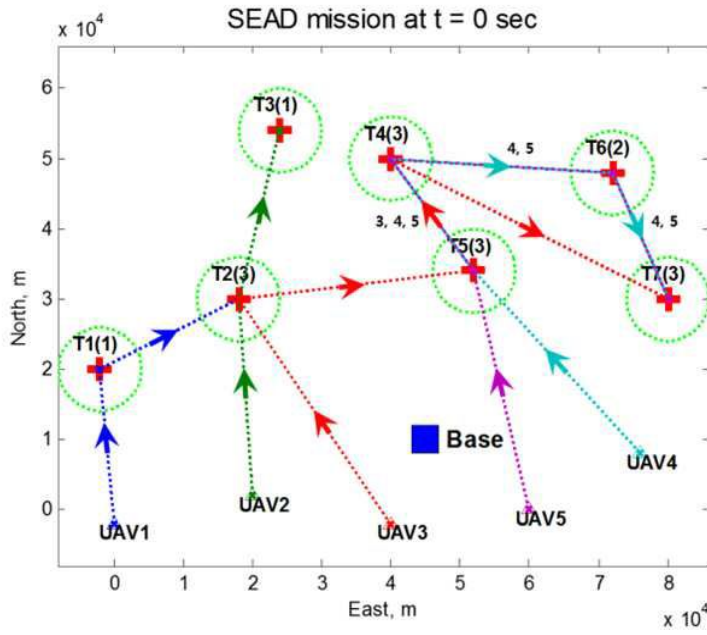


(b) 임무 할당 결과

도면9



(a) Linear topology



(b) 임무 할당 결과

도면10

	Fully-connected	Mesh topology	Line topology
Diameter of network	1	2	4
Total runtime (sec)	0.033	0.035	0.035
Parallel runtime (sec)	0.007	0.007	0.007
Mission completion time (sec)	925	875	785
Maximum communications per agent	64	89	65
Upper-bound of communications	98	98	98

도면11

