



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년06월11일
(11) 등록번호 10-1988168
(24) 등록일자 2019년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 12/751 (2013.01) H04L 12/26 (2006.01)
H04L 12/801 (2013.01) H04W 40/04 (2009.01)
H04W 76/10 (2018.01)
(52) CPC특허분류
H04L 45/02 (2013.01)
H04L 43/12 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0043024
(22) 출원일자 2018년04월13일
심사청구일자 2018년04월13일
(56) 선행기술조사문헌
KR101686335 B1
KR1020150129601 A

(73) 특허권자
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
이형준
서울특별시 성동구 매봉길 50, 120동 205호(옥수동, 옥수 파크힐스)
박소연
서울특별시 송파구 중대로 24, 203동 1306호(문정동, 올림픽힐밀리타운)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

전체 청구항 수 : 총 12 항

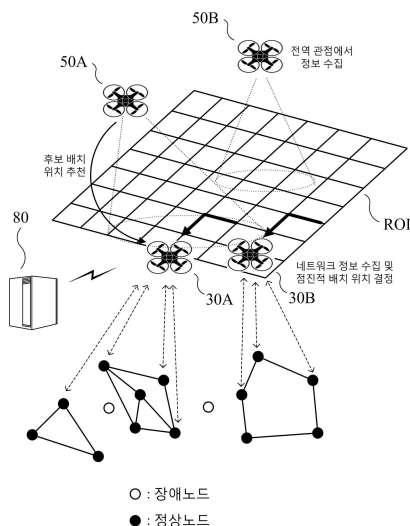
심사관 : 윤태섭

(54) 발명의 명칭 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법

(57) 요약

무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법은 제1 무인비행체와 제2 무인비행체가 서로 다른 패턴으로 그리드를 구성하는 복수 정점 상에서 관심지역을 이동하는 단계, 상기 제1 무인비행체가 방문한 정점에서 프로브 패킷을 송신하고, 상기 제1 무인비행체가 상기 프로브 패킷을 수신한 상기 관심지역의 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하는 단계, 상기 제1 무인비행체가 상기 통신 노드로부터 수신한 프로브패킷으로 통신 노드의 정보를 확인하고, 상기 정보를 기준으로 제1 배치 위치를 결정하는 단계, 상기 제2 무인비행체가 상기 제1 무인비행체로부터 통신 노드의 정보를 수신하거나, 상기 관심지역의 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하여 통신 노드에 대한 토폴로지를 확인하는 단계 및 상기 제2 무인비행체가 상기 토폴로지를 기준으로 상기 제1 무인비행체에 대한 후보 위치를 상기 제1 무인비행체에 전달하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H04L 47/14 (2013.01)

H04L 47/16 (2013.01)

H04W 40/04 (2013.01)

H04W 76/10 (2018.02)

(72) 발명자

신수용

경기도 고양시 일산서구 강선로 9, 1907동 805호(주엽동, 강선마을19단지아파트)

윤진이

인천광역시 남동구 호구포로 803, 2411동 2101호(구월동, 롯데캐슬골드2단지아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1D1A1A01057902

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업(학술진흥)(2015)-이공학개인지초연구지원사업-기본연구

연구과제명 재난 상황 시 무인비행체의 분산적 협업 탐색 및 효율적인 네트워크 센싱을 통한 네트워크 복구 시스템 연구

기 여 율 1/2

주관기관 이화여자대학교 산학협력단

연구기간 2017.11.01 ~ 2018.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2018R1A2B6004006

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업(학술진흥)(2018)-중견연구자지원사업-총연구비0.5억이상~3억이하

연구과제명 사물인터넷 기기들간의 효율적인 컴퓨팅, 저장공간, 네트워크 자원 공유를 통한 로컬 기반 분산 처리를 위한 포그 네트워크 아키텍처 설계

기 여 율 1/2

주관기관 이화여자대학교 산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2021.02.28

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

제1 무인비행체와 제2 무인비행체가 서로 다른 패턴으로 그리드를 구성하는 복수 정점 상에서 관심지역을 이동하는 단계;

상기 제1 무인비행체가 방문한 정점에서 프로브 패킷을 송신하고, 상기 제1 무인비행체가 상기 프로브 패킷을 수신한 상기 관심지역의 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하는 단계;

상기 제1 무인비행체가 상기 통신 노드로부터 수신한 프로브패킷으로 통신 노드의 정보를 확인하고, 상기 정보를 기준으로 제1 배치 위치를 결정하는 단계;

상기 제2 무인비행체가 상기 제1 무인비행체로부터 통신 노드의 정보를 수신하거나, 상기 관심지역의 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하여 통신 노드에 대한 토폴로지를 확인하는 단계; 및

상기 제2 무인비행체가 상기 토폴로지를 기준으로 상기 제1 무인비행체에 대한 후보 위치를 상기 제1 무인비행체에 전달하는 단계를 포함하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 정보는 상기 프로브 패킷이 전달된 경로에 위치하는 통신 노드의 식별자와 상기 경로 상의 통신 노드의 상대적 위치를 포함하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 프로브 패킷은 최대한 기준 홉 거리만 전달되어, 상기 제1 무인비행체 또는 상기 제2 무인비행체는 복수의 프로브 패킷을 수신하고,

상기 제1 무인비행체 또는 상기 제2 무인비행체는 상기 복수의 프로브 패킷에 포함된 상기 정보를 기준으로 상기 복수의 프로브 패킷이 각각 전달된 경로를 연결하면서 상기 토폴로지를 추정하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 무인비행체는 자신이 수집한 상기 정보를 이용하여 상기 제1 무인비행체가 방문한 정점 중 현재 파악한 각 통신 노드로 연결되는 경로가 가장 적은 정점을 상기 제1 배치 위치로 결정하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 제2 무인비행체는 상기 토폴로지를 기준으로 복수의 강결합요소로 네트워크를 구분하고, 상기 복수의 강결합요소 중 연결된 통신 노드가 가장 많은 2개의 강결합요소를 중계할 수 있는 위치를 상기 후보 위치로 결정하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 후보 위치는 복수이고,

상기 제1 무인비행체가 상기 후보 위치 중 어느 하나를 새로운 배치 위치로 결정하는 단계를 더 포함하는 무인 비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제1 무인비행체는 상기 복수의 후보 위치 중 연결가능한 강결합요소의 개수가 많은 위치를 상기 새로운 배치 위치로 결정하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 제1 무인비행체는 상기 복수의 후보 위치 중 연결가능한 강결합요소의 중심에 가까운 위치를 상기 새로운 배치 위치로 결정하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제2 무인비행체가 상기 제1 무인 비행체를 통신 가능한 반경에서 만나면, 상기 후보 위치를 결정하고, 상기 후보 위치를 둘러싸는 경로로 이동하면서 다른 무인비행체 또는 통신 가능한 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하면서 상기 토폴로지를 갱신하는 단계를 더 포함하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 제2 무인비행체는 상기 갱신된 토폴로지에서도 복수의 강결합요소 중 연결된 통신 노드가 가장 많은 2개의 강결합요소를 중계할 수 있는 위치를 새로운 후보 위치로 결정하는 단계를 더 포함하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 제1 무인비행체는 현재 위치에서 인접한 정점을 모두 방문하는 경로로 상기 관심지역을 이동하고, 상기 제2 무인비행체는 상기 제1 무인비행체 보다 넓은 영역 단위로 상기 관심지역을 이동하는 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법.

청구항 12

컴퓨터에서 상기 제1항 내지 제11항 중 어느 하나의 항에 기재된 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법을 실행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 이하 설명하는 기술은 관심지역에서 릴레이 노드로 동작하는 무인비행체에 대한 배치 위치를 결정하는 기법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 최근 드론(drone)과 같은 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)를 이용한 다양한 서비스가 주목받고 있다. 예컨대, 무인 비행체는 물건을 배달하는 택배 서비스를 하기도 하고, 통신 음영 지역에서 통신 중계기로 기능하기도 한다.

선행기술문헌

비특허문헌

- [0003] (비특허문헌 0001) P. Corke , S. Hrabar , R. Peterson , D. Rus , S. Saripalli , G. Sukhatme , Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004 IEEE International Conference on (Volume:4), "Autonomous Deployment and Repair of a Sensor Network Using an Unmanned Aerial Vehicle", 3602-3608page.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 관심지역의 통신 장애는 시간에 따라 장애 지역이 달라지는 등 동적으로 변경될 수 있다. 또 무인비행체가 광활한 범위의 지역을 모두 이동하면서 네트워크 장애 여부 및 릴레이 노드의 배치 위치를 결정하면 많은 시간이 소요될 수도 있다. 이하 설명하는 기술은 두 가지 종류의 무인비행체를 이용하여 점진적으로 릴레이 노드의 배치 위치를 결정하는 기법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0005] 무인비행체를 이용한 점진적 릴레이 배치 방법은 제1 무인비행체와 제2 무인비행체가 서로 다른 패턴으로 그리드를 구성하는 복수 정점 상에서 관심지역을 이동하는 단계, 상기 제1 무인비행체가 방문한 정점에서 프로브 패킷을 송신하고, 상기 제1 무인비행체가 상기 프로브 패킷을 수신한 상기 관심지역의 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하는 단계, 상기 제1 무인비행체가 상기 통신 노드로부터 수신한 프로브패킷으로 통신 노드의 정보를 확인하고, 상기 정보를 기준으로 제1 배치 위치를 결정하는 단계, 상기 제2 무인비행체가 상기 제1 무인비행체로부터 통신 노드의 정보를 수신하거나, 상기 관심지역의 통신 노드로부터 프로브 패킷을 수신하여 통신 노드에 대한 토폴로지를 확인하는 단계 및 상기 제2 무인비행체가 상기 토폴로지를 기준으로 상기 제1 무인비행체에 대한 후보 위치를 상기 제1 무인비행체에 전달하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

- [0006] 이하 설명하는 기술은 무인비행체가 현재 수집한 정보를 기준으로 우선적으로 릴레이 노드의 위치를 결정하고, 이후 추가적인 정보에 따라 릴레이 노드를 갱신하여 동적인 장애 환경에 효율적인 대처가 가능하다. 또 이하 설명하는 기술은 서로 동작이 다른 전역 무인비행체와 지역 무인비행체를 사용하여 동적인 장애 환경에 효율적인 대처가 가능하다.

도면의 간단한 설명

- [0007] 도 1은 관심 지역을 비행하면서 정보를 수집하는 무인 비행체에 대한 예이다.
 도 2는 무인비행체를 이용하여 네트워크를 복구하는 과정에 대한 순서도의 예이다.
 도 3은 무인 비행체가 관심 지역을 비행하는 경로에 대한 예이다.
 도 4는 전역 무인비행체가 페어링 모드에서 이동하는 경로에 대한 예이다.
 도 5는 무인비행체가 정점을 이동하면서 프로브 패킷을 송수신하는 과정에 대한 예이다.
 도 6은 관심지역의 통신 노드에서 전달된 프로브 패킷을 이용하여 통신 노드의 토폴로지를 결합하는 예이다.
 도 7은 전역 무인비행체가 릴레이 노드를 배치하여 연결할 네트워크를 결정하는 예이다.
 도 8은 지역 무인비행체가 수집정보에 기반하여 자신의 배치위치를 결정하는 예이다.
 도 9는 지역 무인비행체가 후보 위치 중 배치될 위치를 결정하는 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 이하 설명하는 기술은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시례를 가질 수 있는 바, 특정 실시례들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 이하 설명하는 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려

는 것이 아니며, 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

- [0009] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않으며, 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 이하 설명하는 기술의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.
- [0010] 본 명세서에서 사용되는 용어에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 해석되지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함한다" 등의 용어는 실시된 특징, 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 의미하는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0011] 도면에 대한 상세한 설명을 하기에 앞서, 본 명세서에서의 구성부들에 대한 구분은 각 구성부가 담당하는 주기능 별로 구분한 것에 불과함을 명확히 하고자 한다. 즉, 이하에서 설명할 2개 이상의 구성부가 하나의 구성부로 합쳐지거나 또는 하나의 구성부가 보다 세분화된 기능별로 2개 이상으로 분화되어 구비될 수도 있다. 그리고 이하에서 설명할 구성부 각각은 자신이 담당하는 주기능 이외에도 다른 구성부가 담당하는 기능 중 일부 또는 전부의 기능을 추가적으로 수행할 수도 있으며, 구성부 각각이 담당하는 주기능 중 일부 기능이 다른 구성부에 의해 전담되어 수행될 수도 있음은 물론이다.
- [0012] 또, 방법 또는 동작 방법을 수행함에 있어서, 상기 방법을 이루는 각 과정들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 과정들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0014] 무선 네트워크는 무선으로 통신을 수행하는 네트워크를 말한다. 무선 네트워크는 사용하는 통신 방식에 따라 다양한 네트워크가 존재한다. 예컨대, 3G/LTE와 같은 이동통신 네트워크, IEEE 802.11에 따른 무선 통신(Wi-Fi), IEEE 802.15.4에 따른 근거리 무선 통신(Zigbee) 등과 같은 다양한 기술이 존재한다. 무선 네트워크에서 사용자 단말은 AP(Access Point)를 통해 코어 네트워크에 접속한다. 사용자 단말은 이동통신 네트워크의 기지국, 기타 근거리 무선 통신을 위한 AP 장치 등을 통해 데이터를 주고받는다. 통신 사업자는 서비스 지역에 지형적 특징을 고려하여 AP를 배치한다. 따라서 AP에 장애가 발생하면 해당 AP 주변 지역은 통신 서비스가 제공되지 못한다. 나아가 지형적 특성에 따라 AP를 설치하기 어려운 지역은 음영 지역이 될 수 있다.
- [0015] 또한 통신 노드가 서로 협력하여 통신을 수행하는 방식도 있다. 애드혹 네트워크(Ad-Hoc network) 경우에는 통신 노드가 애드혹 네트워크를 구성하여 데이터를 전송한다. 통신 노드는 고정된 노드 또는/및 이동가능한 노드로 구성된다. 애드혹 네트워크도 일부 노드에 장애가 발생하면 원활한 통신 서비스가 제공될 수 없다.
- [0016] 통신 기능이 있는 무인비행체(UAV)는 무선 네트워크에서 릴레이 노드로 역할을 수행할 수 있다. 무인비행체는 통신 기능을 수행하기 위한 통신 모듈을 갖는다고 전제한다. 무인비행체는 드론(drone)과 같이 자체적으로 비행할 수 있는 장치이다.
- [0017] 이하 설명하는 기술은 릴레이 역할을 하는 무인비행체를 이용하여 무선 네트워크를 구성한다. 무인비행체를 이용하여 장애가 발생한 무선 네트워크를 복구할 수 있다. 또는 무인비행체를 이용하여 무선 네트워크의 신호가 제대로 전달되지 못하는 음영 지역(radio shadow area)을 해소할 수 있다. 이를 위하여 무인비행체는 적절한 위치에 배치되어야 한다. 이하 통신 장애가 발생한 지역을 관심지역(Region of Interest, ROI)이라고 명명한다. 즉, 이하 설명하는 기술은 관심지역 내에서 무인비행체를 배치하기 위한 것이다. 구체적으로 이하 설명하는 기술은 릴레이 노드인 무인비행체의 배치 위치를 결정하기 위한 것이다. 또한 이하 설명하는 기술은 릴레이 노드인 무인비행체를 이용하여 네트워크 장애를 복구하기 위한 것이다.
- [0018] 관심지역에 대규모 재난이 발생한 경우, 관심지역의 네트워크는 광범위하게 손상을 받을 수 있다. 나아가 재난이 계속적으로 발생하면서 시간 흐름에 따라 손상 영역이 확대되거나 변경될 수도 있다. 이러한 동적 환경에서도 무인비행체가 효과적으로 네트워크 상태를 파악하고, 손상된 통신 노드를 대체하는 릴레이 노드로 동작해야 한다. 이를 위해 이하 설명하는 기술은 전역 무인비행체와 지역 무인비행체를 사용하고, 각각이 서로 다른 기능을 수행한다.
- [0019] 이하 설명하는 기술은 두 가지 종류의 무인비행체를 사용한다. 하나는 전역(global) 무인비행체이고, 다른 하나는 지역(local) 무인비행체이다. 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 서로 협력하여 보다 효과적으로 릴레이

를 배치한다. 지역 무인비행체가 릴레이 노드 역할을 한다고 가정한다.

- [0020] 지역 무인비행체는 비교적 작은 영역 단위로 비행하면서 해당 지역의 네트워크 상태를 파악한다. 지역 무인비행체는 비행하면서 수집한 정보를 기반으로 반복적으로 최적 배치 지점을 찾는다.
- [0021] 전역 무인비행체는 비교적 큰 영역을 비행하면서 관심지역에 대한 상위 계층 정보를 수집하고, 지역 무인비행체의 배치 지점을 제어한다.
- [0022] 이하 설명하는 기술은 무인비행체가 관심지역의 네트워크 상태를 모두 파악하고, 최종적으로 릴레이에 대한 최적의 배치 지점을 찾는 방식이 아니다. 이하 설명하는 기술은 무인비행체가 수집한 정보를 기반으로 점진적으로 릴레이에 대한 최적의 배치 지점을 찾는다.
- [0024] 이하 설명의 편의를 위해 애드혹 네트워크를 기준으로 설명하고자 한다. 먼저 몇 가지 전제 사항에 대하여 설명한다. 무인비행체는 일정한 통신 방식을 사용하여 서로 정보를 교환할 수 있다고 가정한다. 예컨대, 무인비행체는 IEEE 802.11 또는 802.15.4와 같은 무선 통신 인터페이스를 사용할 수 있다. 무인비행체는 사전에 관심지역에 대한 위치 정보를 알고 있는 상태이다. 무인비행체는 GPS와 같은 위성항법시스템을 이용하여 좌표로 정의되는 관심지역을 탐색할 수 있다. 또는 무인비행체는 특정 지점을 기준으로 이동하는 위치 및 거리를 파악할 수 있는 센서 장치(지자기 센서, 가속도 센서 등)를 이용하여 비행을 시작하는 지점을 기준으로 정의되는 관심지역을 탐색할 수도 있다.
- [0025] 이하 설명하는 기술은 크게 두 가지 과정으로 구성된다. 첫 째는 무인비행체가 관심지역을 비행하면서 해당 지역에 배치된 통신 노드의 토폴로지를 파악하는 과정이다. 이를 통해 무인비행체는 통신 장애가 있는 지역이나 지점을 파악할 수 있다. 둘째는 릴레이 노드인 무인비행체의 배치 위치를 결정하는 과정이다.
- [0027] 도 1은 관심지역을 비행하면서 정보를 수집하는 무인비행체에 대한 예이다. 도 1을 살펴보면 관심지역은 사각형 형태이고, 사각형 그리드 형태로 구분되었다. 무인비행체는 도 1에서 도시한 바와 같이 그리드를 구성하는 정점을 따라 이동한다고 가정한다. 도 1의 하단에는 관심지역의 통신 노드 상태를 도시하고 있다. 통신 노드 중 검은색으로 표시한 노드는 정상적으로 동작하는 노드(정상 노드)이고, 하얀색으로 표시한 노드가 장애가 발생한 노드(장애 노드)이다. 특정 노드에 장애가 발생하면, 특정 지역 또는 전체 지역에 통신 장애가 발생할 수 있다. 장애가 발생한 노드는 주변 노드와 통신을 할 수 없다. 도 1의 관심지역 네트워크는 장애로 인하여 3개의 서브네트워크로 분할된 상태이다.
- [0028] 도 1은 무인비행체(30A, 30B, 50A, 50B)를 도시한다. 도 1은 지역 무인비행체(30A 및 30B)를 도시하였고, 전역 무인비행체(50A 및 50B)를 도시하였다. 지역 무인비행체의 개수 또는 전역 무인비행체의 개수는 다양할 수 있다. 지역 무인비행체(30A 및 30B)는 일정한 경로를 이동하면서 관심지역 네트워크 정보를 수집한다. 또한 지역 무인비행체(30A 및/또는 30B)는 수집한 정보를 이용하여 점진적으로 자신의 배치 위치를 결정한다. 지역 무인비행체(30A 및/또는 30B)는 배치 위치에서 릴레이 노드로 동작한다. 지역 무인비행체(30A 및/또는 30B)가 적절한 위치에 배치되면 관심지역의 전체 네트워크가 연결되어 복구될 수 있다.
- [0029] 전역 무인비행체(50A 및 50B)는 일정한 경로 이동하면서 전역적 관점에서 정보를 수집한다. 전역 무인비행체(50A 및 50B)는 자체적으로 네트워크 정보를 수집할 수 있다. 나아가 지역 무인비행체(30A 및/또는 30B)는 지역 무인비행체(30A 및/또는 30B)가 수집하는 정보를 취합할 수 있다. 지역 무인비행체(30A 및/또는 30B)는 수집한 정보를 이용하여 지역 무인비행체의 후보 배치 위치를 추천할 수 있다.
- [0030] 도 1은 제어 장치(80)를 도시한다. 제어 장치(80)는 무인비행체(30A, 30B, 50A, 50B)를 제어할 수 있다. 도 1은 네트워크로 연결된 서버와 같은 장치를 예로 도시한다. 제어 장치(80)는 무인비행체(30A, 30B, 50A, 50B)의 비행 경로를 결정하고, 비행을 위한 명령을 무인비행체(30A, 30B, 50A, 50B)에 전달할 수 있다. 나아가 무인비행체(30A, 30B, 50A, 50B)가 제어 장치(80) 관여 없이 독립적으로 비행 경로를 결정하고, 릴레이 노드로 동작하는 지역 무인비행체의 배치 위치를 결정할 수 있다.
- [0031] 무인비행체(30A, 30B, 50A, 50B) 또는 제어 장치(80)는 관심지역을 비행하기 위한 위치 정보를 사전에 보유하고 전제한다. 관심지역에 대한 위치 정보는 관심지역을 정의하는 지리적 정보, 관심지역을 그리드 형태로 구분하였을 때 각 정점의 위치 등을 포함한다.
- [0033] 도 2는 무인비행체를 이용하여 네트워크를 복구하는 과정(100)에 대한 순서도의 예이다. 지역 무인비행체 및 전역 무인비행체는 각각 이동 경로로 비행하면서 관심지역 네트워크 정보를 수집한다(110). 네트워크 정보는 관심지역 네트워크의 연결성 내지 토폴로지를 포함한다. 이 과정에서 복수의 무인비행체가 서로 만나면(통신 가능

영역에 위치하면), 무인비행체들은 서로 수집한 정보를 교환한다.

- [0034] 지역 무인비행체는 일정한 정보를 수집하여 일부 영역의 네트워크 정보를 획득하면, 자체적으로 릴레이 노드로 동작하기 위한 배치 위치를 결정할 수 있다(120). 지역 무인비행체가 수집한 정보를 이용하여 결정하는 배치 위치를 제1 배치 위치라고 명명한다. 나아가 지역 무인비행체는 자신이 결정한 배치 위치에서 릴레이 노드로 동작한다(120).
- [0035] 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 통신 가능 반경에 위치하면 페어링 모드로 동작할 수 있다. 페어링 모드 및 관련 동작은 후술한다. 페어링 모드에 진입하지 않는다면(130의 NO), 전역 무인비행체와 지역 무인비행체는 각자 경로를 계속 이동하면서 정보를 수집하고, 릴레이 노드로 동작하는 지역 무인비행체는 제1 배치 위치에서 릴레이 노드로 동작한다. 지역 무인비행체는 이동하거나, 네트워크 정보를 더 획득하여 제1 배치 위치를 갱신할 수 있다.
- [0036] 페어링 모드에 진입하면(130의 YES), 전역 무인비행체는 수집한 정보를 이용하여 지역 무인비행체가 릴레이로 동작할 수 있는 후보 위치를 추천한다(140). 지역 무인비행체는 추천받은 후보 위치 중 최적의 위치를 결정하고, 결정한 위치에서 릴레이 노드로 동작한다(150).
- [0037] 관심지역의 모든 노드를 방문했다면 알고리즘은 종료된다(160의 YES). 관심지역에 아직 방문할 노드가 남아 있다면(160의 NO), 전역 무인비행체 및/또는 지역 무인비행체는 해당 노드를 방문하면서 정보를 수집하고 전술한 동작을 반복한다.
- [0039] 지역 무인비행체는 비교적 근거리를 비행하면서 수집한 정보에 기반하여 최적의 배치 위치를 찾는다. 전역 무인비행체는 보다 광범위한 영역에 대한 정보를 수집하면서 전역적 관점에서 손상이 큰 영역 내지 지점을 파악한다. 전역 무인비행체는 지역 무인비행체에게 복수의 배치 위치를 전달할 수 있다. 이 경우 지역 무인비행체는 전역 무인비행체가 전달한 복수의 후보 위치 중 적절한 위치를 결정한다.
- [0040] 전역 무인비행체와 지역 무인비행체는 일정한 영역에서 서로 통신 가능한 반경에 위치한다. 이 경우 전역 무인비행체와 지역 무인비행체는 쌍을 이루어 통신을 수행할 수 있다. 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 관심지역에서 만나면 일단 이동을 중단하고, 서로 정보를 교환하고, 릴레이 노드 배치 위치를 결정하는 과정을 수행한다. 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 만난 후 쌍을 이루어 수행하는 과정을 페어링 모드(pairing mode)라고 명명한다.
- [0042] **관심지역 경로 탐색**
- [0043] 무인비행체가 관심지역을 탐색하는 과정을 설명한다. 설명의 편의를 위해 관심지역은 사각형 형태를 갖고, 관심지역은 사각형 그리드(grid) 형태로 구분된다고 가정한다. 또한 관심지역에는 비행에 지장을 주는 장애물은 없다고 가정한다.
- [0044] 무인비행체가 스스로 경로를 설정하고 이동하여 관심지역을 탐색할 수 있다. 또는 별도의 제어 장치가 무인비행체의 이동 경로를 결정하고, 무인비행체에 이동에 대한 명령을 전달할 수도 있다. 이 경우 제어 장치는 네트워크에 연결된 서버 또는 무인비행체와 직접 통신을 수행하는 컴퓨터 장치일 수 있다.
- [0046] 도 3은 무인 비행체가 관심 지역을 비행하는 경로에 대한 예이다. 관심지역은 사각형 그리드(grid)로 구성되고, $m \times m$ 개의 정점(vertex)을 갖는다. 도 3은 2차원 영역을 예로 도시한다. 도 3과 같이 평면에서 무인비행체는 4개의 방향으로 이동할 수 있다. 위해 특정 지점을 기준으로 관심지역의 위쪽 방향을 N(North), 아래 방향을 S(South), 우측 방향을 E(East), 좌측 방향을 W(West)라고 할 수 있다. 도 3은 지역 무인비행체(30A 및 30B) 및 전역 무인비행체(50A 및 50B)를 도시한다. 지역 무인비행체(30A)는 자신의 경로에 따라 이동하고 있다. 전역 무인비행체(50A)는 자신의 경로에 따라 이동하고 있다. 지역 무인비행체(30B)와 전역 무인비행체(50B)는 통신 가능한 반경에 위치하여 서로 정보를 교환할 수 있다.
- [0047] 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 반드시 특정한 방식으로 비행해야만 하는 것은 아니다. 무인비행체는 다양한 패턴으로 비행할 수도 있고, 랜덤하게 이동하면서 비행할 수도 있다.
- [0048] 도 3은 전역 무인비행체(50A)가 L1의 길이와 L2의 폭을 갖는 지그재그 패턴으로 이동하는 예를 도시한다. 도 3은 지역 무인비행체(30A)가 나선형의 패턴으로 근처의 모든 정점을 방문하는 예를 도시한다. 지역 무인비행체(30A)는 현재 위치를 중심으로 바로 이웃한 모든 모드를 방문할 수 있는 경로로 이동한다. 지역 무인비행체(30A)는 도 3과 같이 중심지점을 변경하면서 계속적으로 이동할 수 있다. 전체적으로 지역 무인비행체(30A)는

ES(동남) 방향으로 이동하게 된다. 물론 도 3은 무인비행체의 이동 경로에 대한 하나의 예이다.

- [0049] 전역 무인비행체는 관심지역을 지그재그로 이동하면서 비교적 큰 영역 단위로 관심지역 네트워크 토폴로지의 연결성(connectivity)을 확인한다. 무인비행체가 네트워크 연결성을 확인하는 과정은 후술한다. 전역 무인비행체가 이동하면서 경로를 이동하는 또는 특정 지점에 릴레이 노드로 배치된 지역 무인비행체를 만난다. 도 3 좌측 하단에 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 통신 가능한 반경에 위치한 상태를 도시한다. 즉, 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 페어링 모드 상태이다. 페어링 모드 상태는 일정한 시간(윈도우 W) 동안 유지될 수 있다. 다만 윈도우 W 중에 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 통신할 수 없는 상태가 되거나, 지역 무인비행체가 배치될 위치를 최적 위치를 찾지 못하는 경우, 페어링 모드가 해제될 수 있다.
- [0051] 도 4는 전역 무인비행체가 페어링 모드에서 이동하는 경로에 대한 예이다. 예컨대, 도 4는 도 3에서 전역 무인비행체(50B)와 지역 무인비행체(30A)가 만나서 수행하는 과정에 대한 예일 수 있다. 페어링 모드에서 전역 무인비행체는 지역 무인비행체에 대한 배치 위치 후보를 결정한다. 도 4에서 X로 표시한 위치가 전역 무인비행체가 추천한 후보 위치에 해당한다. 후보 위치는 정점(2,4), 정점(3,3) 및 정점(4,2)이다. 정점의 위치는 "(가로축 좌표, 세로축 좌표)" 형태로 위치를 표현한다.
- [0052] 전역 무인비행체는 복수의 후보 위치를 지역 무인비행체에 전달한다. 그리고 전역 무인비행체는 자신이 추천한 복수의 후보 위치를 일정한 거리 간격으로 둘러싸는 경로(이하 둘러싼 경로라고 함, encircling trajectory)를 이동한다. 즉, 전역 무인비행체는 후보 위치를 포함하는 경로를 한 바퀴 이동한다. 예컨대, 전역 무인비행체는 복수의 후보 위치를 한 홑 간격으로 둘러싼 경로를 이동할 수 있다. 도 4에서 전역 무인비행체는 3개의 후보 위치를 1홑 거리로 둘러싸는 경로(실선 표시한 경로)로 먼저 이동한다. 전역 무인비행체는 후보 위치들을 둘러싼 경로를 이동하면서 해당 지역 네트워크의 연결성을 확인한다. 전역 무인비행체는 후보 위치를 둘러싼 경로를 이동하면 네트워크 연결성 정보를 수집하고, 후보 위치에서 가까운 거리에 보다 적합한 배치 위치가 있는지 확인한다.
- [0053] 전역 무인비행체가 둘러싼 경로를 이동하는 동안 함께 페어링 모드에 있었던 지역 무인비행체가 이동할 수 있다. 따라서 전역 무인비행체는 둘러싼 경로를 한 바퀴 이동하면서 페어링 모드로 쌍을 이루었던 지역 무인비행체를 통신 반경 범위에서 만나지 못할 수도 있다. 이 경우 전역 무인비행체는 자신이 비행했던 둘러싼 경로보다 큰 경로를 다시 이동하면 네트워크 연결성을 확인한다. 예컨대, 전역 무인비행체는 직전에 후보 위치로부터 1홑 거리를 갖는 둘러싼 경로를 이동했는데 지역 무인비행체를 만나지 못했다면, 전역 무인비행체는 후보 위치들로부터 2홑 거리를 갖는 새로운 둘러싼 경로를 이동할 수 있다. 도 2에서 전역 무인비행체는 3개의 후보 위치를 2홑 거리로 둘러싼 경로(점선 표시한 경로)를 이동할 수 있다. 전역 무인비행체가 계속 지역 무인비행체를 만나지 못한다면, 전역 무인비행체는 후보 위치들로부터 최대 n홑 거리를 갖는 둘러싼 경로까지 반복적으로 이동할 수 있다. n홑은 관심지역의 크기, 무인비행체의 이동 성능, 무인비행체의 통신 성능에 따라 결정될 수 있다.
- [0054] 전역 무인비행체가 둘러싼 경로를 이동하면서 해당 지역의 네트워크 연결성에 대한 정보를 수집한다. 전역 무인비행체가 둘러싼 경로를 이동하면서 페어링 모드로 쌍을 이루었던 지역 무인비행체를 만난다면, 자신이 둘러싼 경로를 이동하면서 수집했던 최신의 정보에 기반하여 새로운 후보 위치를 전달할 수 있다. 경우에 따라서는 전역 무인비행체가 둘러싼 경로를 이동하면서 정보를 수집해도, 종전의 후보 위치가 최적의 위치일 수도 있다. 만약 전역 무인비행체가 후보 위치들로부터 최대 n홑 거리를 갖는 둘러싼 경로까지 반복이동하였는데, 쌍을 이루었던 지역 무인비행체를 만나지 못한다면 페어링 모드를 해제하고 다시 지그재그 경로로 이동한다.
- [0055] 한편 전역 무인비행체는 둘러싼 경로를 반복 이동하는 기준으로 n 홑 거리로 하지 않고, 일정한 시간을 기준으로 해당 시간 동안 계속 홑 거리를 증가시키면서 둘러싼 경로를 이동할 수도 있다.
- [0057] 지역 무인비행체는 도 3에 도시한 바와 같이 자신의 현재 위치를 기준으로 인접한 정점을 방문하면서 이동할 수 있다. 지역 무인비행체는 시계방향 또는 반시계방향으로 회전하는 패턴으로 갖는 경로로 이동할 수 있다.
- [0058] 지역 무인비행체는 현재 지점에서 인접한 정점 중 아직 방문하지 않은 정점을 방문할 수 있는 경로를 이동하면서 해당 영역의 네트워크 연결성을 확인한다. 지역 무인비행체는 인접 정점 중 방문하지 않은 정점을 방문할 수 있는 경로를 사전에 생성하여 이동할 수 있다. 한편 지역 무인비행체는 현재 지점에서 인접한 정점 중 방문하지 않은 정점이 없다면, 현재 지점에서 이동가능한 4개의 정점 중 임의로 하나로 이동하고, 이후 시계방향 또는 반시계방향으로 회전하는 패턴으로 이동할 수 있다.
- [0059] 지역 무인비행체가 이동하면서 전역 무인비행체를 통신 반경 내에서 만난다면, 페어링 모드에 진입한다. 페어링

모드에서 지역 무인비행체는 직전 이동 경로에 따른 이동을 중단하고, 전역 무인비행체가 전달한 후보 위치를 모두 방문한다. 지역 무인비행체는 후보 위치를 모두 방문한 후에 자신이 배치될 최종 위치를 결정한다. 지역 무인비행체가 전역 무인비행체와 페어링 모드를 이루는 상태에서 전역 무인비행체로부터 새로운 후보 위치를 전달받을 수 있다. 지역 무인비행체는 페어링 모드에서 전역 무인비행체의 추천에 따라 배치 위치를 변경할 수 있다. 페어링 모드가 해제되면 지역 무인비행체는 직전 페어링 모드에서 최종적으로 배치받았던 위치에 머무른다. 통신 모두가 해제된 후 지역 무인비행체는 최종 위치에서 릴레이 노드로 동작한다. 지역 무인비행체는 새로운 전역 무인비행체를 만나기 전까지 최종 위치에 위치한다. 새로운 전역 무인비행체를 만난다면, 새로운 전역 무인비행체가 추천하는 후보 위치를 방문하는 과정을 반복한다.

[0061] 무인비행체의 통신

[0062] 무인비행체는 관심지역을 이동하면서 다른 객체와 통신을 수행한다. 무인비행체는 관심지역의 네트워크 상태 진단을 위해 관심지역에 위치한 통신 노드와 통신할 수 있다. 통신 노드는 관심지역의 지상에 고정된 노드이거나 이동하는 노드일 수도 있다. 또 무인비행체는 관심지역을 비행하는 다른 무인비행체와 통신하면서 각자 이동했던 경로 및 수집했던 정보를 교환(공유)할 수 있다. 통신 가능한 환경은 무인비행체 또는 통신 노드의 성능에 따라 다를 수 있다. 다만 설명의 편의를 위해 일단 모든 무인비행체와 통신 노드의 통신 환경은 동일하다고 가정한다.

[0064] 무인비행체는 관심지역을 비행하면서 관심지역에 위치한 통신 노드와 통신을 수행한다. 무인비행체는 현재 위치한 정점에서 프로브(probe) 패킷을 통신 노드에 전송한다. 프로브 패킷을 수신한 통신 노드는 다른 통신 노드에 프로브 패킷을 전송할 수 있다. 한편 프로브 패킷은 특정 통신 노드를 경유하면 해당 통신 노드의 식별자를 패킷에 포함하게 된다. 무인비행체는 특정 정점에서 통신 노드가 전송하는 프로브 패킷을 수신하고, 수신한 프로브 패킷에 포함된 통신 노드의 식별자를 통해 관심지역의 통신 노드가 어떤 연결 상태를 갖는지 확인할 수 있다. 관심지역의 네트워크 토폴로지를 확인하는 구체적인 과정은 후술한다.

[0066] 무인비행체는 관심지역 비행 중에 다른 무인비행체를 만날 수 있다. 무인비행체가 다른 무인비행체를 만나면 기본적으로 수집한 정보를 서로 교환할 수 있다. 교환하는 정보는 무인비행체가 관심지역을 이동했던 경로(즉, 방문했던 정점) 및 관심지역의 네트워크 연결성 정보이다. 연결성 정보는 수집한 프로브 패킷, 프로브 패킷을 분석한 네트워크 토폴로지 중 적어도 하나를 포함한다. 무인비행체는 정보를 교환하고, 다른 무인비행체가 이미 방문한 정점은 최대한 방문하지 않도록 경로를 결정할 수 있다.

[0067] 지역 무인비행체가 이동 중에 다른 지역 무인비행체를 만나면 서로 수집한 정보를 교환한다.

[0068] 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 만나면 페어링 모드로 진입한다. 페어링 모드에서 전역 무인비행체는 지역 무인비행체가 수집한 정보를 수신한다. 전역 무인비행체는 자신이 수집한 정보 및 지역 무인비행체가 수집한 정보를 취합하여 지역 무인비행체가 배치될 수 있는 후보 위치를 추천한다. 다만 전역 무인비행체가 현재 취합한 정보로부터 후보 위치를 결정할 수 없다면, 페어링 모드를 해제하고 무인 비행체 각각의 다시 이동 경로를 따라 비행한다.

[0070] 관심지역 네트워크 토폴로지 확인

[0071] 프로브 패킷을 이용한 네트워크 토폴로지 과정을 설명한다. 무인비행체 중 특정한 무인비행만 프로브 패킷을 전송할 수 있다. 예컨대, 지역 무인비행체만 프로브 패킷을 전송할 수 있다. 다만 전역 무인비행체와 지역 무인비행체가 모두 프로브 패킷 수집을 통한 네트워크 토폴로지를 확인할 수 있다.

[0073] 도 5는 무인비행체가 정점을 이동하면서 프로브 패킷을 송수신하는 과정에 대한 예이다.

[0074] 무인비행체(50)는 관심지역을 비행하면서 현재 방문한 정점에서 프로브 패킷을 송신한다. 현재의 정점에서 통신 환경 범위에 있는 지상의 통신 노드가 있다면, 해당 프로브 패킷을 수신하게 된다. 프로브 패킷을 수신한 통신 노드는 홉 통신으로 전달 가능한 이웃 통신 노드에 프로브 패킷을 전달한다. 이때 프로브 패킷을 수신한 통신 노드는 자신의 식별자와 현재의 홉수를 프로브 패킷에 기록한다. 결국 프로브 패킷은 패킷이 전달된 경로에 위치한 통신 노드와 전달된 순서에 대한 정보를 보유하게 된다. 한편 프로브 패킷은 최대 일정한 기준 홉 거리만 이동할 수 있다. 통신 노드가 프로브 패킷을 전달하는 프로토콜이나 알고리즘은 통신 노드가 사전에 보유한다고 전제한다.

[0075] 도 5는 무인비행체(50)가 정점 (1,4)에서 프로브 패킷을 송신한다. 프로브 패킷이 전송될 수 있는 최대 홉 거리(n)는 4라고 가정한다. 정점 (1,4)에서 무인비행체(50)의 통신 환경에 위치한 통신 노드 1은 프로브 패킷을 수

신한다. 이후 통신 노드 1은 패킷에 자신의 식별자를 기록하고 인접한 통신 노드 2에 프로브 패킷을 전달한다. 이후 통신 노드 2 → 통신 노드 3 → 통신 노드 4 → 통신 노드 5 순서로 프로브 패킷이 전송된다. 즉 프로브 패킷은 최대 홉 거리만큼 이동하였다. 각 통신 노드는 프로브 패킷에 자신의 식별자를 기록하고, 해당 통신 노드가 전달된 순서도 기록한다. 프로브 패킷은 통신 노드의 식별자와 전달 순서를 별도의 필드 또는 헤더에 저장할 수 있다. 한편 프로브 패킷이 전달된 순서는 별도로 저장하지 않고, 통신 노드의 식별자가 저장된 순서로 패킷의 전달 순서를 식별할 수도 있다. 무인비행체(50)는 정점(5,4)에 이르러 통신 노드 5로부터 프로브 패킷을 수신한다. 이 경우 무인비행체(50)가 이동한 경로와 프로브 패킷을 송신 또는 수신한 정점의 위치를 기준으로 프로브 패킷의 대략적인 이동 경로를 추정할 수 있다. 기본적으로 통신 노드 1은 정점 (1,4)에 인접하고, 통신 노드 5는 정점 (5,4)에 인접하다. 또한 통신 노드 2 내지 통신 노드 4는 통신 노드 1과 통신 노드 5 사이에 위치하는 것을 알 수 있다.

[0077] 아래 표 1 및 표 2는 무인비행체가 관심지역을 비행하면서 지상의 통신 노드 토폴로지를 확인하기 위한 동작에 대한 수도 코드(pseudo code)의 예이다.

표 1

```

1: Input: CurrentVertexID
2: Output: NextVertexID
   // Part I: Motion planning
3: if (future-vertex-visit-trajectory ==  $\emptyset$ ) or (future-vertex-visit-trajectory's
   next vertex is taken or null) then
4:   if (any unvisited neighboring vertex in North, East, South, West)
   then
5:     Regenerate the future-vertex-visit-trajectory
       with the longest length that starts from an unvisited vertex;
6:     NextVertexID = future-vertex-visit-trajectory's first vertex ID;
7:     Move with one step to the next vertex;
8:   else
9:     if (there exists any unvisited vertex) then
10:      NextVertexID = the nearest vertex's ID on the grid coordinate
        from CurrentVertexID;
11:      Invoke path-probing();
12:      Fly to the next vertex;
13:    else
14:      Terminate;
15:    end if
16:  end if
17: else
18:   NextVertexID = future-vertex-visit-trajectory's next vertex ID;
19:   Invoke path-probing();
20:   Move with one step to the next vertex;
21: end if

```

[0079]

[0080] 상기 표 1은 무인비행체가 관심지역을 이동하는 과정에 대한 알고리즘의 예이다. 'future-vertex-visit-trajectory'는 무인비행체가 현재 지점을 기준으로 이동할 경로를 구성하는 정점 리스트이다. 정점 리스트는 정점에 대한 식별자(vertex ID)로 구성될 수 있다. 아래 표 2는 path-probing()에 대한 수도코드이다.

표 2

```

// Part II: Path probing
22: Function path-probing()
23:   Broadcast a path-probing packet;
24:   Any neighboring stationary nodes keep relaying the probing packet
      up to  $n$  hops, while recording a series of relay node ID in the header;
25:   Receive completed path-probing packets stored at the currently
      visiting node initiated by itself or other UAVs;
26:   if (any UAVs within radio range) then
27:     Exchange vertex-visit-list and update it;
28:     if (any duplicated visited vertexes) then
29:       Decrement the navigation width  $L$  by 1;
30:       future-vertex-visit-trajectory =  $\emptyset$ ;
31:     end if
32:   end if
33: EndFunction

```

[0082]

[0083]

라인 26 내지 32는 복수의 무인비행체를 활용하여, 무인비행체가 다른 무인비행체와 조우하는 경우 정보를 교환하는 과정에 대한 예이다. 무인비행체는 통신 가능 범위에 진입한 다른 무인비행체와 방문한 정점에 대한 정보를 교환한다. 'vertex-visit-list'는 이미 방문한 정점에 대한 리스트이다. 무인비행체는 다른 무인비행체가 방문한 정점도 이미 방문한 정점으로 업데이트한다. 또한 무인비행체는 방문 정점이 중복되는 경우 전술한 바와 같이 지그재그의 폭 길이 L 을 일정하게 줄인다. 표 2의 라인 29는 L 을 1만큼 줄인 예를 나타낸다.

[0085]

이제 프로브 패킷을 사용하여 통신 노드의 토폴로지를 추정하는 과정을 설명한다. 복수의 무인비행체가 관심지역을 비행하면서 프로브 패킷을 송신하고, 수집하는 경우 어느 하나의 무인비행체가 수신하는 프로브 패킷은 다른 무인비행체가 송신한 프로브 패킷일 수도 있다.

[0086]

관심지역에 존재하는 모든 정점에 대한 방문이 끝나고, 각 정점에서 프로브 패킷을 송신하고, 수신하는 과정이 종료된 상태를 전제한다. 무인비행체(50)나 제어 장치(80)가 통신 노드의 토폴로지 추정할 수 있다. 이때 무인비행체(50)나 제어 장치(80)는 관심지역을 비행한 모든 무인비행체로부터 프로브 패킷을 수집하여야 한다. 무인비행체(50)나 제어 장치(80)는 모든 프로브 패킷을 수집하고, 프로브 패킷에 저장된 정보를 기반으로 전체 통신 노드의 토폴로지를 추정한다. 특정 통신 노드로부터 전달받은 프로브 패킷은 복수의 통신 노드로 구성되는 경로에 해당한다. 즉 프로브 패킷 하나는 통신 노드와 통신 노드가 연결된 상태를 나타내는 세그먼트(segment)에 해당한다. 무인비행체(50)나 제어 장치(80)는 모든 프로브 패킷이 나타내는 복수의 세그먼트를 일정하게 결합(stitching)하여 통신 노드에 대한 토폴로지를 추정한다.

[0087]

도 6은 관심지역의 통신 노드에서 전달된 프로브 패킷을 이용하여 통신 노드의 토폴로지를 결합하는 예이다. 도 6(A)는 프로브 패킷이 나타내는 세그먼트에 대한 예이다. 관심지역 위치하며 통신 가능한 통신 노드는 모두 18개라고 가정한다. 전체 수집한 프로브 패킷은 모두 6개이다. 프로브 패킷이 최대 전달될 수 있는 기준 홉 거리 $n = 4$ 라고 가정한다. 각 세그먼트를 살펴보면 서로 중복되는 노드가 존재한다. 무인비행체(50)나 제어 장치(80)는 중복되는 노드를 결합하여 하나의 연결된 구조(그래프)를 마련할 수 있다. 도 6(B)는 도 6(A)의 세그먼트를 결합하여 연결된 구조에 해당한다. 세그먼트를 결합하여 생성된 구조를 하나의 서브 네트워크 토폴로지라고 명명한다.

[0088]

다만 전술한 바와 같이 관심지역의 통신 노드는 모두 연결되지 않을 수 있다. 예컨대, 특정 노드에 장애가 발생하는 경우 전체 노드가 서로 연결되지 않을 수 있다. 이 경우 세그먼트를 결합하여도 서로 연결되지 않은 복수의 서브 네트워크 토폴로지가 생성된다.

[0090]

점진적 릴레이 노드 배치

[0091]

지역 무인비행체가 관심지역에 릴레이 노드로 배치된다. 무인비행체가 관심지역을 모두 방문하고 배치 위치를 결정하지 않고, 무인비행체가 비행하면서 수집한 정보에 기반하여 점진적으로 배치 위치를 결정한다. 지역 무인비행체는 자신이 수집한 정보를 기반으로 최적의 위치로 이동하여 릴레이 노드 역할을 한다. 지역 무인비행체는 수집한 정보를 기반으로 네트워크가 복수의 세그먼트로 분리되었는지 확인한다. 지역 무인비행체는 복수의 세그

먼트를 연결할 수 있는 위치를 확인했다면, 더 이상의 경로 결정을 중단하고, 해당 위치에서 릴레이 노드로 동작한다. 경우에 따라서는 지역 무인비행체가 복수의 세그먼트를 확인했으나, 배치 위치를 결정하지 못할 수도 있다. 이 경우 지역 무인비행체는 계속 종전 이동 경로로 이동하면서 정보를 수집한다.

[0092] 한편 릴레이 노드로 기능하는 지역 무인비행체가 다른 지역 무인비행체로부터 수신한 정보를 분석하여, 보다 최적의 배치 위치가 있다면 해당 위치로 이동할 수 있다. 또 지역 무인비행체는 페어링 모드에서 전역 무인비행체가 추천한 후보 위치 중 어느 하나로 이동하여 릴레이 노드로 동작할 수 있다. 즉, 지역 무인비행체는 점진적으로 최적의 위치를 찾아가 릴레이 노드로 동작한다.

[0093] 전역 무인비행체가 릴레이 노드의 배치 위치를 결정하는 동작에 대하여 설명한다. 전역 무인비행체는 지역 무인비행체를 만나면, 해당 지역 무인비행체를 위한 배치 위치를 결정한다. 전역 무인비행체는 수집한 정보를 기반으로 네트워크 토폴로지를 확인하고, 고립된 네트워크 세그먼트를 연결하기 위한 정점에 대한 우선순위를 결정한다.

[0095] 전역 무인비행체가 릴레이 노드의 배치 위치를 결정하는 과정은 다음과 같다. (i) 전역 무인비행체는 먼저 수집한 정보를 이용하여 현재 시점에서의 네트워크 토폴로지를 확인한다. 네트워크 토폴로지를 확인하는 과정은 전술한 바와 같다. (ii) 그리고 전역 무인비행체는 고차원에서 네트워크를 분할한다. 전역 무인비행체는 전체 네트워크 토폴로지를 강결합 요소(strongly connected component) 단위로 분할한다. 강결합 요소는 그래프 이론에서 널리 알려진 개념이다. 간단하게 설명하면 강결합 요소는 방향 그래프를 구성하는 모든 정점에 대해 제1 정점과 제2 정점 사이에서 이동가능한 경로가 있는 요소를 의미한다. (iii) 마지막으로 전역 무인비행체는 분할한 네트워크 정보를 이용하여 릴레이 노드(지역 무인비행체)가 배치될 후보 위치를 결정한다. 전역 무인비행체는 분할한 강결합 요소 각각에 대하여 요소내에 포함된 간선(edge)와 정점(vertex)의 비율로 결합 정도를 파악한다. 이하 간선(edge)와 정점(vertex)의 비율을 결합도라고 명명한다. 이때 전역 무인비행체는 방향 그래프를 기준으로 간선 개수를 결정할 수 있다. 즉, 방향 그래프에서 어느 두 개의 정점이 연결되었다면, 간선은 2개로 볼 수 있다.

[0096] 전역 무인비행체는 하나의 정점으로 연결될 수 있는 모든 강결합 요소 쌍에 대하여 각 결합도를 더한 값을 연산한다. 전역 무인비행체는 결합도를 더한 값 중에서 값이 높은 순서에 따라 우선순위를 결정한다. 우선순위는 강결합 요소 중 릴레이 노드를 배치하여 연결한 요소에 대한 순위를 의미한다. 전역 무인비행체는 우선순위에 따라 가용한 릴레이 노드에 대하여 후보 위치를 결정할 수 있다. 우선순위가 결정되면 전역 무인비행체는 두 개의 강결합 요소를 연결할 수 있는 후보 위치(들)를 결정하여 지역 무인비행체에 전달한다.

[0098] 도 7은 전역 무인비행체가 릴레이 노드의 후보 위치를 결정하는 예이다. 도 7은 전역 무인비행체가 네트워크 토폴로지를 파악하고, 강결합요소로 구분한 예이다. 네트워크에 화살표를 표시하지 않았지만 방향성 그래프라고 가정한다. 한편 방향성 그래프에서 강결합요소를 구분하는 알고리즘은 다양한 알고리즘이 있다. 대표적으로 전역 무인비행체는 특정 트리구조에 기반한 경로 이동으로 강결합요소를 추출할 수 있다. 도 7은 모두 5개의 강결합요소(N1, N2, N3, N4 및 N5)로 네트워크를 분할한 예이다.

[0099] 전역 무인비행체는 전술한 바와 같이 강결합요소 각각에 대한 결합도를 연산한다. 결합도(C)는 아래 수학적 식 1과 같다. 결합도는 강결합요소가 연결된 정도를 나타낸다.

수학적 식 1

$$C = \frac{\text{\# of unidirectional edges}}{\text{\# of vertexes}}$$

[0102] #of unidirectional edges는 단방향 에지의 개수이고, #of vertexes는 정점의 개수이다.

[0104] 강결합요소(N1, N2, N3, N4 및 N5)에 대한 결합도는 도 7의 하단에 표시하였다. N1과 N2가 가장 결합도가 높다. 전역 무인비행체는 N1과 N2를 연결할 수 있는 위치를 먼저 후보 위치로 결정할 수 있다. 나아가 전역 무인비행체는 각 강결합요소를 연결할 수 있는 위치를 추가적인 후보 위치로 결정할 수도 있다. 전역 무인비행체는 N1과 N2를 하나의 홑 거리로 연결할 수 있는 위치를 후보 위치로 결정할 수 있다. 나아가 전역 무인비행체는 현재 페어링된 지역 무인비행체의 위치 등을 고려하여 후보 위치를 결정할 수도 있다. 전역 무인비행체는 N1과 N2를 연결할 수 있는 정점 (4,2), 정점(4,3) 및 정점 (6,5)를 후보 위치로 결정할 수 있다.

[0106] 아래 표 3은 전역 무인비행체의 동작에 대한 수도코드의 예이다.

표 3

```

1: Input: currentVertex, pairingState
2: Output: nextVertex, pairingState
3: if (any UAVs within radio range) then
4:   Share visiting history and global network information;
5:   if (encountered UAV is local UAV, local) then
6:     if (# of my pairs < N) && (local.pairingState == 'unpaired') then
7:       Make a new pair with local;
8:       Process recommendation;
9:     else if (pairingState == 'paired') && (local is one of my pairs) then
10:      Initialize pairing time window to W;
11:      Process recommendation;
12:    end if
13:  end if
14: end if
15: if (pairingState == 'unpaired') then
16:  zigzagTrajectory = zigzag patten that starts with an unvisited vertex
    based on L1 and L2;
17:  if (zigzagTrajectory ==  $\emptyset$ ) then
18:    Done;
19:  end if
20:  nextVertex = the first vertex of zigzagTrajectory;
21: else
22:  for (i = 1; i ≤ n; i++) do
23:    encirclingTrajectory = unvisited i-hop vertexes from candidates;
24:    if (encirclingTrajectory ≠  $\emptyset$ ) then
25:      nextVertex = the first vertex of encirclingTrajectory;
26:      break;
27:    end if
28:  end for
29:  if (i > n) then
30:    pairingState = 'unpaired';
31:    Regenerate zigzagTrajectory;
32:    nextVertex = the first vertex of zigzagTrajectory;
33:  end if
34: end if
35: Process UAV-to-Ground path probing;

```

[0108]

[0109] 표 3의 알고리즘에서 입력값은 현재 위치(*currentVertex*)와 페어링 상태(*pairing State*)이다. 라인 3에서 라인 14는 전역 무인비행체가 다른 무인 비행체를 통신 반경에서 만난 경우에 대한 동작의 예이다. 라인 15에서 라인 20은 페어링 모드가 아닌 경우에 대한 동작의 예이다. 라인 21에서 라인 34는 페어링 모드에서의 동작에 대한 예이다.

[0110] 전역 무인비행체가 다른 무인비행체를 만나면 서로 정점을 방문하여 수집한 정보를 교환한다(라인 4). 전역 무인비행체가 지역 무인비행체를 만난 경우 해당 무인 비행체와 페어링 상태가 아니고, 페어링된 개수가 *N* 미만이라면, 현재 만난 지역 무인비행체와 페어링 모드에 들어간다(라인 7). *local.pairing.state*는 현재 만난 지역 무인비행체(*local*)와의 페어링 상태에 대한 정보이다. 표 3은 하나의 전역 무인비행체가 한 번에 복수의 지역 무인비행체와 페어링할 수 있는 경우도 고려한다. 페어링 모드에서는 전술한 바와 같이 해당 지역 무인비행체에 대하여 적절한 후보 위치를 추천한다(라인 8). 만약 현재 만난 지역 무인비행체가 이미 페어링된 상대라면, 전역 무인비행체는 페어링 윈도우 *W*를 초기화할 수 있다. 또 페어링 모드에서는 전술한 바와 같이 해당 지역 무인비행체에 대하여 적절한 후보 위치를 추천한다(라인 11).

[0111] 페어링 상태가 아니라면(라인 15에서 라인 20) 전역 무인비행체는 지그재그 경로로 이동한다. 지그재그 경로는 *L1* 길이와 *L2*의 폭을 갖는다. *zigzagTrajectory*는 지그재그 경로로 이동하면서 관심지역에서 아직 방문하지 않은 정점을 의미한다. 전역 무인비행체가 아직 방문하지 않은 정점이 있다면 방문하지 않은 정점으로 이동하고,

모든 정점을 방문하면 이동을 종료한다.

[0112] 페어링 상태에서 전역 무인비행체는 결정한 후보 위치를 둘러싼 경로를 이동한다. 전역 무인비행체는 둘러싼 경로를 이동하면서 정보를 수집한다. 전술한 바와 같이 후보 위치에서 최대 n개 홉 거리까지 떨어진 둘러싼 경로를 이동할 수 있다(라인 22에서 라인 28). 전역 무인비행체가 최대 n개 홉 거리까지 떨어진 둘러싼 경로를 이동하였다면, 이후 페어링 상태를 해제하고(라인 30), 자신이 이동할 지그 채그 경로를 갱신하여 이동한다(라인 31 및 32).

[0113] 전역 무인비행체는 정점을 방문하면서 관심지역 토폴로지를 확인하는 과정(path probing)을 수행한다(라인 35).

[0115] 지역 무인비행체가 전역 무인비행체를 만나기 전에 자신이 릴레이 노드로 동작할 지점을 결정하는 과정을 설명한다. 지역 무인비행체는 자신이 이동하면서 수집한 정보를 기준으로 먼저 배치 위치를 결정한다. 지역 무인비행체는 전역 무인비행체를 만나기 전에 자신이 방문한 네트워크에 대한 정보를 생성하고 갱신한다. 지역 무인비행체는 현재 파악한 네트워크에 속한 모든 정점 쌍 src(source)와 dst(destination)에 대하여 src에서 dst에 이르는 경로가 얼마나 많은지 결정한다. 지역 무인비행체는 어느 하나의 정점 src에서 네트워크에 있는 나머지 정점에 이르는 경로가 있는지 결정한다. 지역 무인비행체는 현재 파악한 네트워크에 속한 모든 정점 쌍에서 src에서 dst에 이르는 경로가 없는 개수와 전체 정점 쌍의 개수의 비율을 기준으로 잠재적인 후보 위치를 결정할 수 있다. src에서 dst에 이르는 경로가 없는 개수와 전체 정점 쌍의 개수의 비율을 네트워크의 붕괴도(disruption rate)라고 명명한다. 지역 무인비행체는 각 정점에 대하여 붕괴도를 연산한다. 그리고 지역 무인비행체는 현재 네트워크에서 붕괴도가 가장 높은 정점을 배치 위치로 결정할 수 있다.

[0116] 도 8은 지역 무인비행체가 수집정보에 기반하여 자신의 배치위치를 결정하는 예이다. 도 8은 지역 무인비행체가 제1 배치 위치를 결정하는 예이다. 도 8(A)는 시점 t = 0에서 지역 무인 비행체가 제1 배치 위치를 결정하는 예이다. 도 8(B)는 시점 t = 1에서 지역 무인 비행체가 제1 배치 위치를 결정하는 예이다. 시점 t = 1은 t = 0 이후의 어느 시간에 해당한다.

[0117] 도 8(A)를 살펴보면, 지역 무인비행체(30B)는 최초 정점(2,2)에 위치하였다. 지역 무인비행체(30B)는 중심 정점(2,2)를 중심으로 이웃한 정점을 방문한다. 지역 무인비행체(30B)가 이웃한 정점을 방문하면서 네트워크 정보(연결성)를 수집한다. 지역 무인비행체(30B)는 네트워크 토폴로지를 기준으로 인접한 통신 노드의 위치, 통신 노드 사이의 연결성을 확인할 수 있다. 지역 무인비행체(30B)는 현재 방문한 정점을 기준으로 전술한 붕괴도(D)를 연산한다. 붕괴도는 아래 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$D = \frac{\text{경로가 존재하지 않는 \# of src to dst 쌍}}{\text{\# of 모든 노드 쌍}}$$

[0119]

[0120] 수학식 2에서 "경로가 존재하지 않는 # of src to dst 쌍"은 특정 정점 src에서 다른 정점 dst에 이르는 경로가 존재하지 않는 쌍의 개수를 의미한다. "# of 모든 노드 쌍"은 네트워크에 존재하는 모든 노드 쌍의 개수를 의미한다.

[0122] 도 8(A) 하단에 지역 무인비행체(30B)가 방문한 노드에 대하여 연산한 붕괴도를 표시하였다. 붕괴도가 가장 높은 정점은 (3,3)이다. 따라서 지역 무인비행체(30B)는 정점(3,3)으로 이동한다. 정점(3,3)이 제1 배치 위치이다.

[0123] 도 8(B)를 살펴보면, 지역 무인비행체(30B)는 현재의 중심 정점 (3,3)을 기준으로 이웃한 정점을 다시 방문한다. 지역 무인비행체(30B)가 이웃한 정점을 방문하면서 네트워크 정보(연결성)를 수집한다. 지역 무인비행체(30B)는 네트워크 토폴로지를 기준으로 인접한 통신 노드의 위치, 통신 노드 사이의 연결성을 확인할 수 있다. 지역 무인비행체(30B)는 현재 방문한 정점을 기준으로 전술한 붕괴도(D)를 연산한다. 도 8(B) 하단에 지역 무인비행체(30B)가 방문한 노드에 대하여 다시 연산한 붕괴도를 표시하였다. 붕괴도가 가장 높은 정점은 (3,3)이다. 따라서 지역 무인비행체(30B)는 더 이상 제1 배치 위치를 변경하지 않고, 정점(3,3)으로 이동한다. 지역 무인비행체(30B)는 정점(3,3)에서 릴레이 노드로 동작할 수 있다.

[0125] 지역 무인비행체가 전역 무인비행체를 만나면, 전역 무인비행체로부터 후보 위치를 전달받는다. 지역 무인비행체는 일반적으로 복수의 후보 위치를 수신한다. 지역 무인비행체는 복수의 후보 위치 중 보다 많은 강결합 요소

를 연결할 수 있는 위치를 배치 위치로 결정할 수 있다.

- [0126] 만약 복수의 후보 위치 중 연결가능한 강결합 요소의 개수가 같은 위치들이 있다면, 지역 무인비행체는 추가적인 기준을 사용하여 우선 순위를 결정할 수 있다. 지역 무인비행체는 후보 위치 중 강결합 요소의 중심과 가까운 위치를 자신의 배치 위치로 결정할 수 있다. 네트워크 요소의 중심과 가까운 위치는 다양한 기준으로 결정할 수 있다. 예컨대, 어떤 강결합 요소(N1이라고 함)에서 후보 위치와 연결 가능한 어느 정점(x라고 함)이 있다고 가정한다. x는 복수일 수도 있다. 지역 무인비행체는 x에서 N1에 있는 다른 정점에 이르는 거리를 모두 합산한다. 합산한 값의 역수는 N1에서 x의 중심도를 나타낼 수 있다. 만약 중심도까지 동일한 복수의 후보위치가 있다면, 지역 무인비행체는 복수의 후보 위치 중 임의의 위치를 배치 위치로 결정할 수 있다. 지역 무인비행체가 후보 위치 중 결정하는 배치 위치를 제2 배치 위치라고 명명한다.
- [0127] 도 9는 지역 무인비행체가 후보 위치 중 배치될 위치를 결정하는 예이다. 도 9는 도 7에서 전역 무인비행체가 결정했던 강결합 요소 및 후보 위치를 표시한다. 지역 무인비행체는 각 후보 위치 중 배치 위치를 결정하기 위한 기준을 연산한다. 후보 위치는 정점 V1(4,2), V2(4,3) 및 V3(6,5)이다. 도 9에서 강결합 요소의 정점 중 후보 위치와 연결되는 노드는 흰색 원으로 표시하였다. 먼저 지역 무인비행체는 후보 위치 중 보다 많은 네트워크를 연결할 수 있는 정점(기준 1)을 선택한다. V3가 3개의 강결합 요소(N1, N2 및 N3)를 연결할 수 있다. 따라서 지역 무인비행체는 V3(6,5)를 제2 배치 위치로 결정할 수 있다.
- [0128] 또는 지역 무인비행체는 후보 위치의 중심도를 기준으로 제2 배치 위치를 결정할 수도 있다. 지역 무인비행체는 각 후보 위치를 기준으로 연결하고자 하는 강결합 요소의 각 정점에 이르는 거리를 모두 합산한다. 예컨대, 지역 무인비행체는 V1(4,2)에서 N1에 속한 정점에 대한 거리를 합산한 값의 역수와 N2에 속한 정점에 거리를 합산한 값의 역수를 더한 값(기준 2)을 중심도로 결정할 수 있다. 이와 같이 지역 무인비행체는 각 후보 위치에서 후보 위치가 강결합 요소라는 그래프의 중심에 얼마나 가까운지 파악한다. 물론 지역 무인비행체는 다른 기준으로 후보 위치가 강결합 요소의 중심에 얼마나 가까운지 결정할 수도 있을 것이다. 중심도라는 기준으로 살펴보면, 지역 무인비행체는 중심도가 가장 높은 V1(4,2)을 제2 배치 위치로 결정할 수 있다.
- [0129] 나아가 기준 1에 따라 연결 가능한 강결합 요소의 개수가 동일한 후보 위치가 복수인 경우, 지역 무인비행체는 기준 1이 동일한 후보 위치에서 중심도를 기준으로 최종 후보 위치를 결정할 수 있다.
- [0131] 아래 표 4는 전역 무인비행체의 동작에 대한 수도코드의 예이다.

표 4

```

1: Input: currentVertex, pairingState, deployState
2: Output: nextVertex, pairingState, deployState
3: if (any UAVs within radio range) then
4:   Share visiting history and local network information with local-inf-table;
5:   if (encountered UAV is a global, global) then
6:     if (pairingState==‘unpaired’)&&( global.pairNum<N) then
7:       Make a new pair with global;
8:       Update its candidate list;
9:     else if (pairingState==‘paired’)&&( global is my pair) then
10:      Initialize pairing time window to W;
11:      Update its candidate-list;
12:    end if
13:  end if
14: end if
15: if (pairingState == ‘unpaired’) then
16:   futureTrajectory = unvisited vertexes surrounding centerVertex;
17:   while (futureTrajectory ==  $\emptyset$ ) do
18:     newCenterVertex = selected vertex based on local-inf-table;
19:     futureTrajectory = unvisited vertexes surrounding newCenterVertex;
20:     if (newCenterVertex == centerVertex) then
21:       deployState = ‘deployed’;
22:       Deployed to centerVertex and wait;
23:     end if
24:   end while
25:   nextVertex = the first vertex of futureTrajectory;
26:   Calculate (# of no valid routes / # of possible src-dst pairs);
27:   Update its local-inf-table;
28: else
29:   futureTrajectory = unvisited vertexes in candidate-list;
30:   if (futureTrajectory ==  $\emptyset$ ) then
31:     Deploy to the worst vertex based on global-recommend-table;
32:   else
33:     nextVertex = the first vertex of futureTrajectory;
34:     Calculate priority1 and priority2;
35:     Update its global-recommend-table;
36:   end if
37: end if

```

[0133]

[0135] 지역 무인비행체는 현재 위치(*currentVertex*), 페어링 상태(*paringState*) 및 배치 상태(*deployState*)를 입력 받는다(라인 1). 라인 3 내지 라인 14는 지역 무인비행체가 다른 무인비행체를 만난 상태의 동작 예이다. 라인 15 내지 라인 37은 지역 무인비행체가 다른 무인비행체를 만나지 않은 상태의 동작 예이다.

[0136] 지역 무인비행체가 다른 무인비행체를 만난 경우, 지역 무인비행체는 만난 무인비행체와 정보를 교환한다. 교환하는 정보는 방문했던 정점 및 네트워크 토폴로지를 확인할 수 있는 정보를 포함한다(라인 4). 지역 무인비행체가 전역 무인비행체를 만난 경우, 페어링 상태가 아니고 해당 전역 무인비행체가 페어링 가능한 상태(*global.pairNum* < *N*)인지 확인한다(라인 6). 코드에서 *global*은 전역 무인비행체를 의미하고, *global.pairNum*은 해당 전역 무인비행체가 다른 무인비행체와 페어링한 개수를 의미한다. 표 4는 표 3과 같이 전역 무인비행체가 최대 *N*개까지 페어링 가능한 것으로 가정한다.

[0137] 지역 무인비행체가 현재 만난 전역 무인비행체와 페어링 가능하다면, 지역 무인비행체는 배치될 후보 위치 리스트(*candidate list*)를 수신 내지 갱신한다(라인 8). 후보 위치 리스트(*candidate list*)는 지역 무인비행체가 수신한 후보 위치를 보유한다. 후보 위치 리스트는 복수의 전역 무인비행체로부터 수신한 위치를 포함할 수 있다. 이미 지역 무인비행체가 현재 만난 전역 무인비행체와 페어링한 상태라면, 페어링 윈도우 *W*를 초기화하고, 후보 위치 리스트를 갱신한다(라인 11).

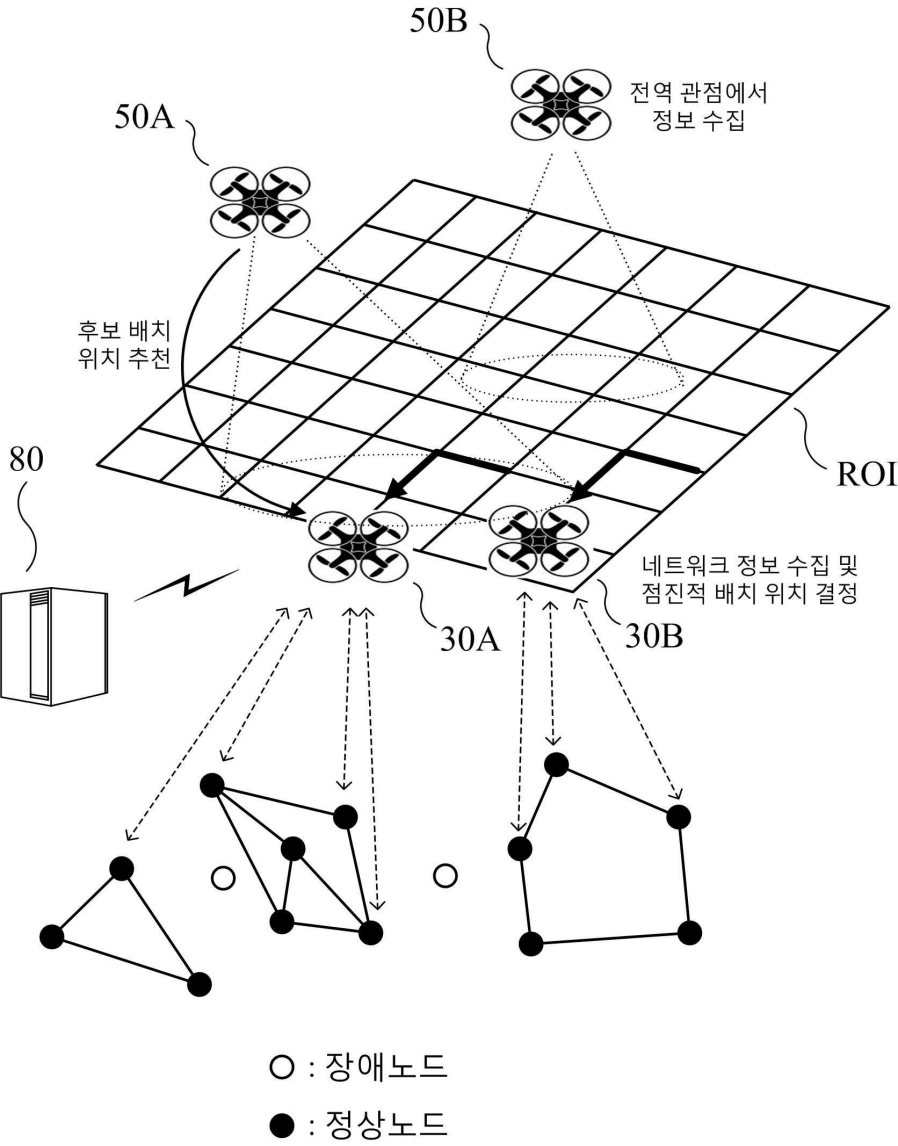
- [0138] 페어링 상태가 아니라면, 지역 무인비행체는 현재 정점(centerVertex)에 이웃한 정점 중에서 아직 방문하지 않은 정점을 방문할 경로로 설정한다(라인 16). futureTrajectory는 지역 무인비행체가 방문할 예정인 정점으로 구성된다. newCenterVertex는 이동하여 현재 위치한 정점을 의미한다. 지역 무인비행체가 현재 위치에서 이미 모든 정점을 방문했다면, 배치 상태로 전환한다(라인 21). 배치 상태에서 지역 무인비행체는 자신이 수집한 네트워크 정보를 이용하여 전술한 붕괴도를 결정하고 해당 정보를 local-inf-table에 저장한다(라인 26 및 27). 이 과정에서 지역 무인비행체는 자신이 파악한 정보를 기반으로 배치 위치를 결정하고, 해당 위치에서 릴레이 노드로 동작할 수 있다.
- [0139] 페어링 상태라면, 지역 무인비행체는 전역 무인비행체가 추천한 후보 위치 중 가장 최적의 위치로 이동한다. global-recommend-table은 전역 무인비행체가 추천한 후보 위치 및 후보 위치에 대한 정보를 보유한다. 지역 무인비행체는 후보 위치에 대하여 전술한 기준에 따라 배치 위치를 결정하기 위한 정보(강결합 요소를 연결하는 개수 및 연결되는 지점의 중심성)를 생성한다(f라인 34 및 35). 더 이상 방문할 정점이 없는 상태라면, 지역 무인비행체는 현재 후보 위치에 대한 정보 중 가장 최적인 지점으로 이동하고, 릴레이 노드로 동작한다(라인 31).
- [0140] 경우에 따라서 두 개 이상의 지역 무인비행체가 동일한 정점에 배치되기 위해 경쟁할 수도 있다. 예컨대, 하나의 전역 무인비행체가 동시에 두 개 이상의 지역 무인비행체에 동일한 후보 위치를 추천할 수도 있고, 복수의 전역 무인비행체가 서로 다른 지역 무인비행체에 중첩된 후보 위치를 추천할 수도 있다. 두 개의 지역 무인비행체가 중첩된 후보 위치를 두고 경쟁한다고 가정하면, 페어링 상태가 아닌 지역 무인비행체가 페어링 상태인 다른 지역 무인비행체에 우선 순위에 있는 후보 위치를 양보할 수 있다. 만약 두 개의 지역 무인비행체가 모두 페어링 상태라면, 보다 많은 후보 위치를 추천받은 지역 무인비행체가 우선 순위에 있는 후보 위치를 다른 지역 무인비행체에 양보할 수 있다. 나아가 두 개의 무인비행체 중 어느 하나가 우선순위가 높은 후보 위치를 선점하고, 다른 하나는 차순위의 후보 위치를 선택할 수 있다.
- [0142] 또한, 상술한 바와 같은 릴레이 노드의 위치 결정 방법 및 네트워크 복구 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 실행가능한 알고리즘을 포함하는 프로그램(또는 어플리케이션)으로 구현될 수 있다. 상기 프로그램은 비일시적 판독 가능 매체(non-transitory computer readable medium)에 저장되어 제공될 수 있다.
- [0143] 비일시적 판독 가능 매체란 레지스터, 캐쉬, 메모리 등과 같이 짧은 순간 동안 데이터를 저장하는 매체가 아니라 반영구적으로 데이터를 저장하며, 기기에 의해 판독(reading)이 가능한 매체를 의미한다. 구체적으로는, 상술한 다양한 어플리케이션 또는 프로그램들은 CD, DVD, 하드 디스크, 블루레이 디스크, USB, 메모리카드, ROM 등과 같은 비일시적 판독 가능 매체에 저장되어 제공될 수 있다.
- [0145] 본 실시례 및 본 명세서에 첨부된 도면은 전술한 기술에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 전술한 기술의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시례는 모두 전술한 기술의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

부호의 설명

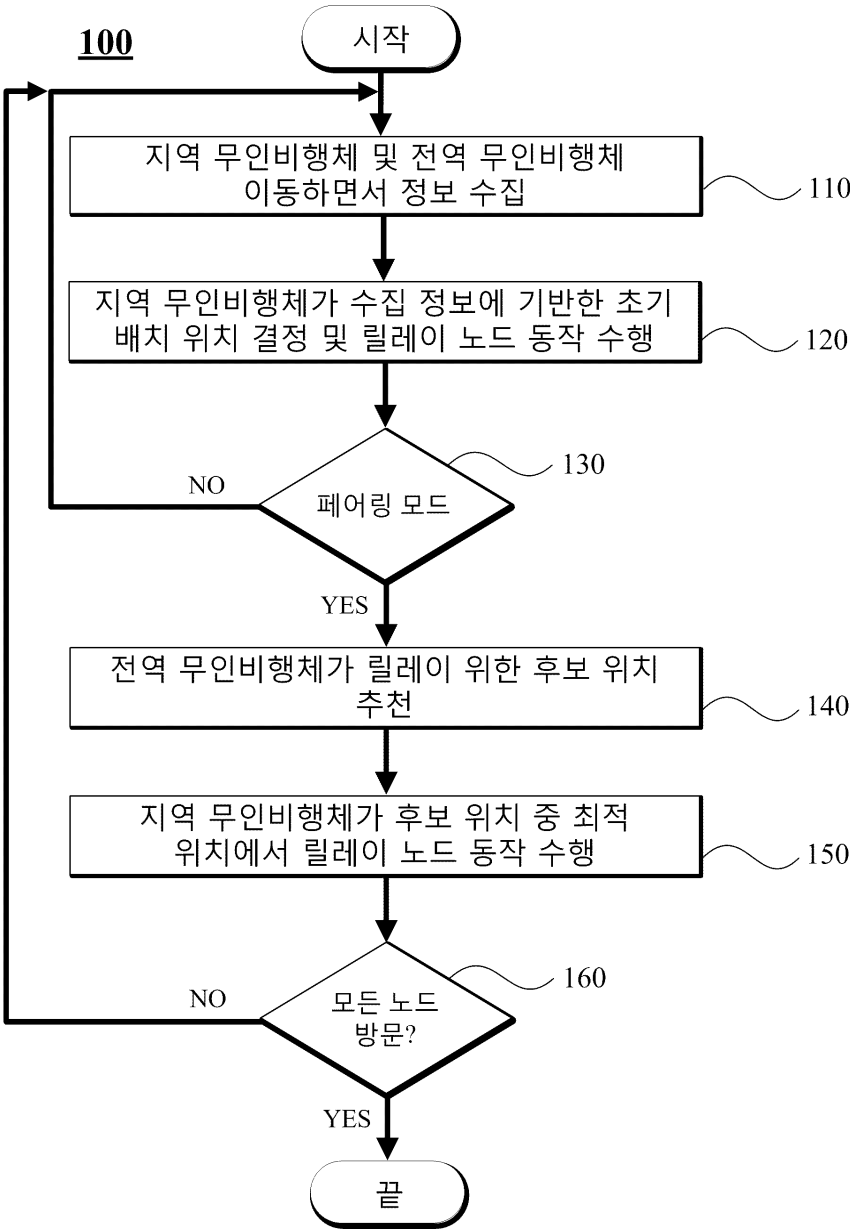
- [0146] 30A, 30B : 지역 무인비행체
50A, 50B : 전역 무인비행체
80 : 제어 장치

도면

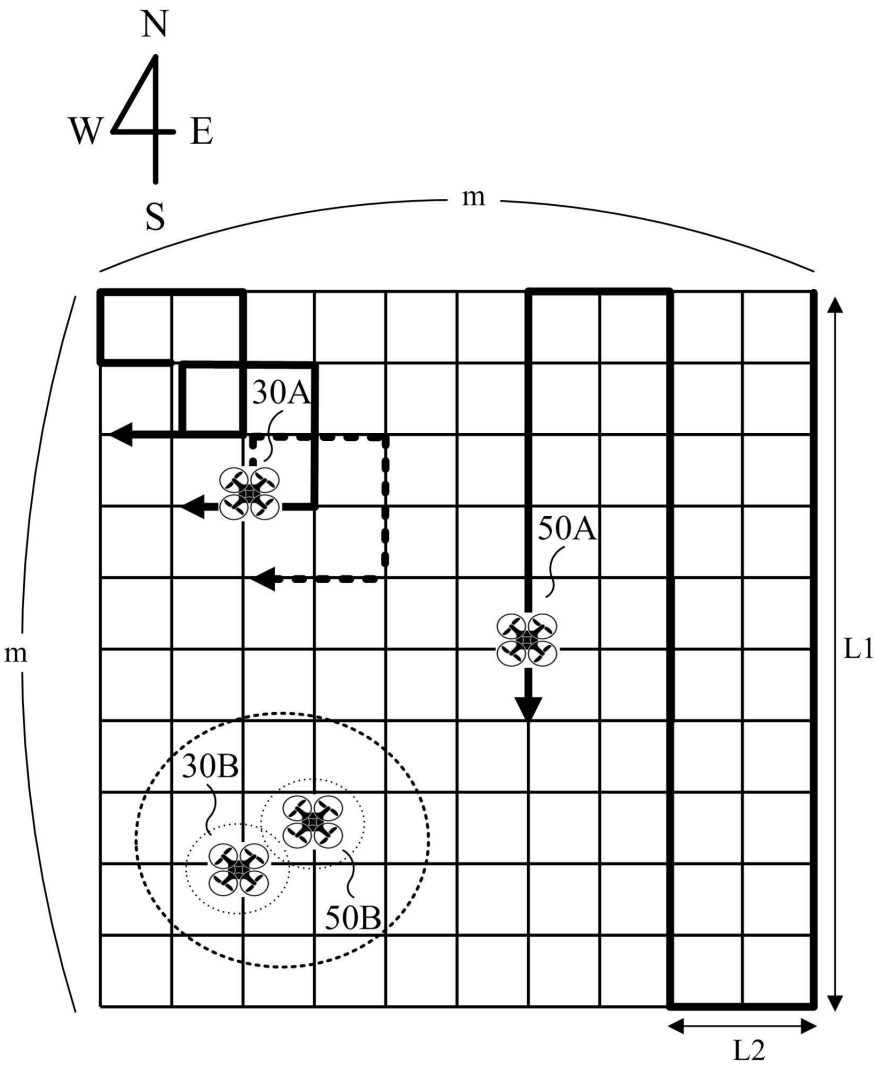
도면1



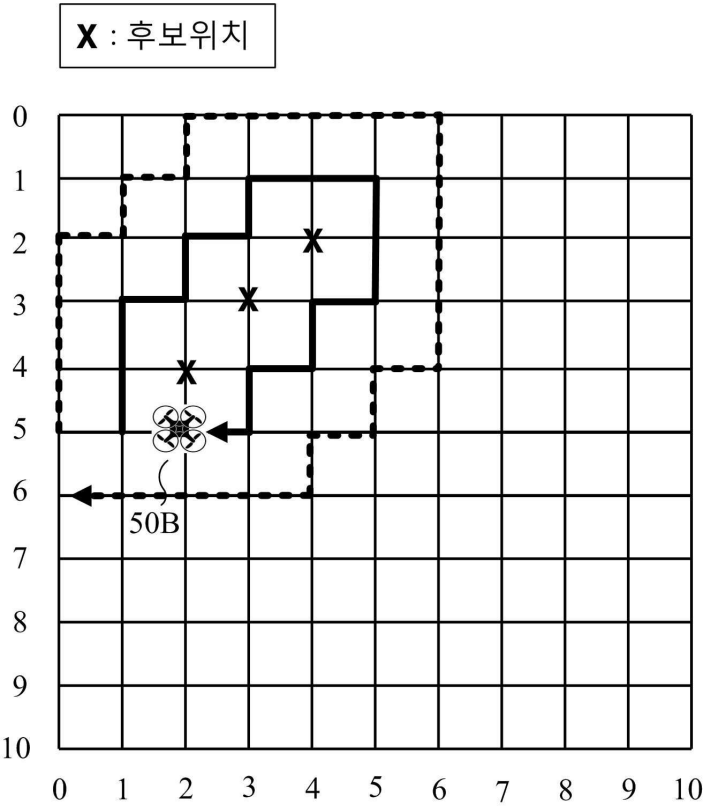
도면2



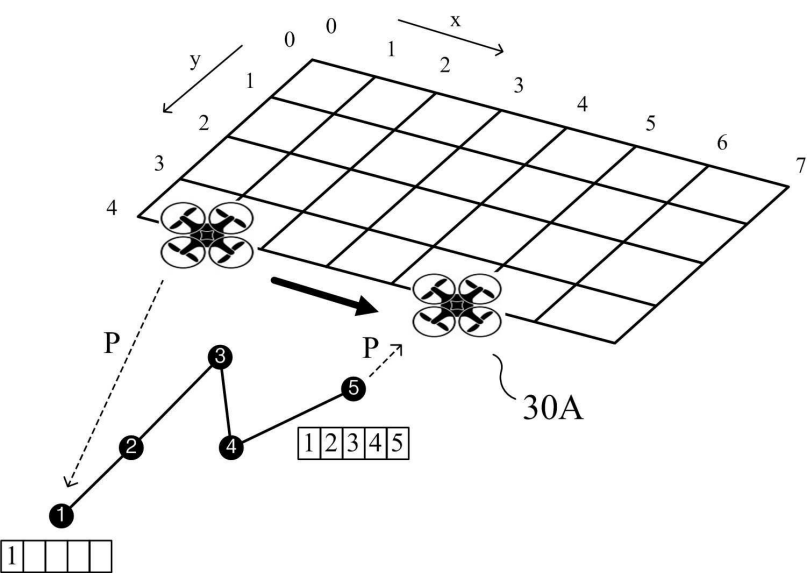
도면3



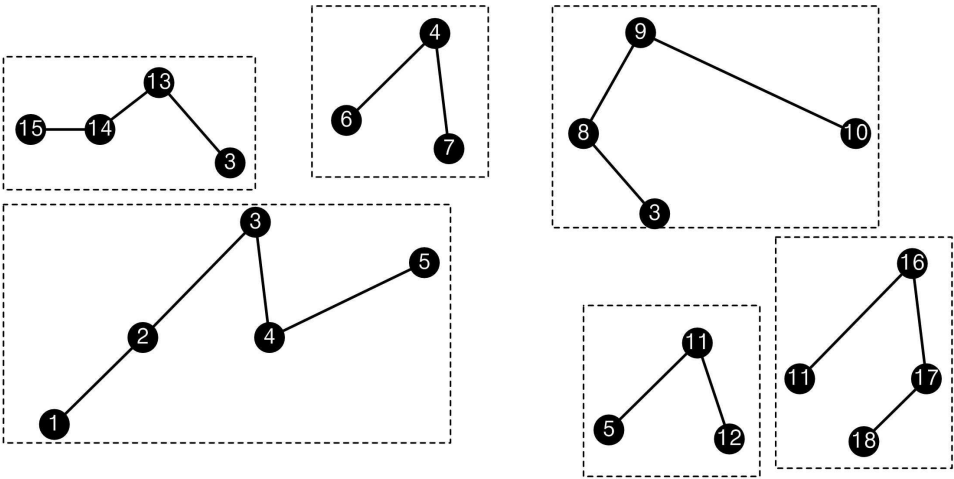
도면4



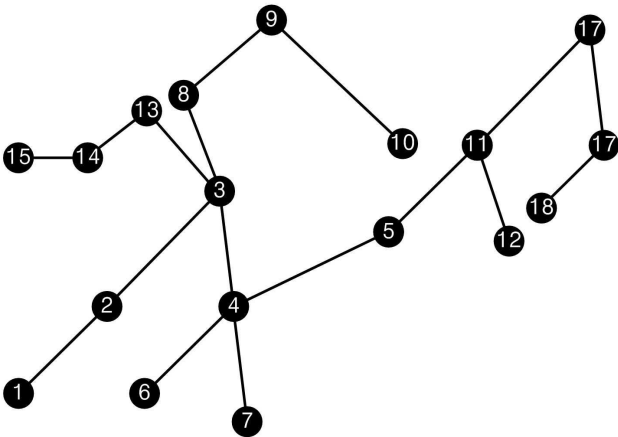
도면5



도면6

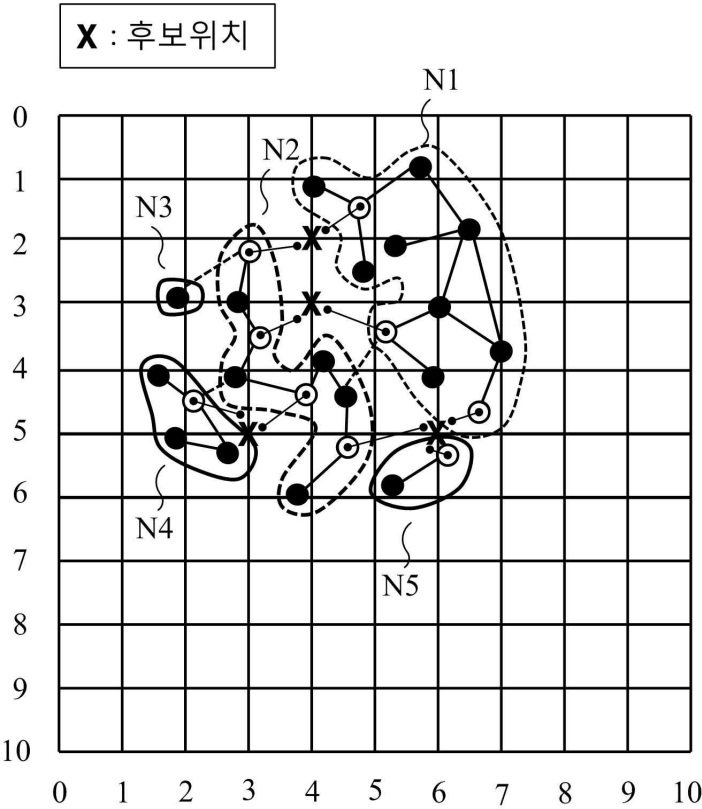


(A)



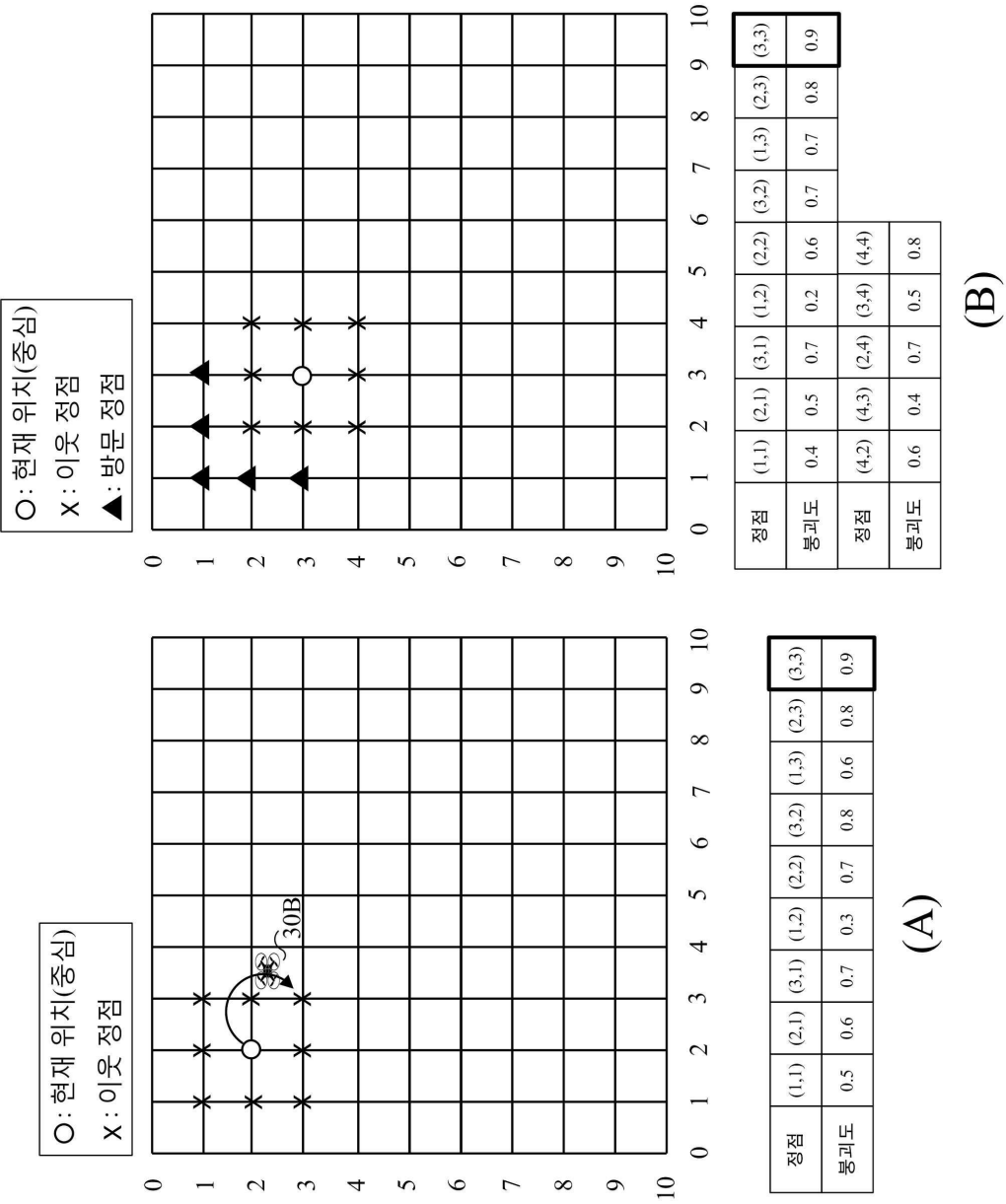
(B)

도면7

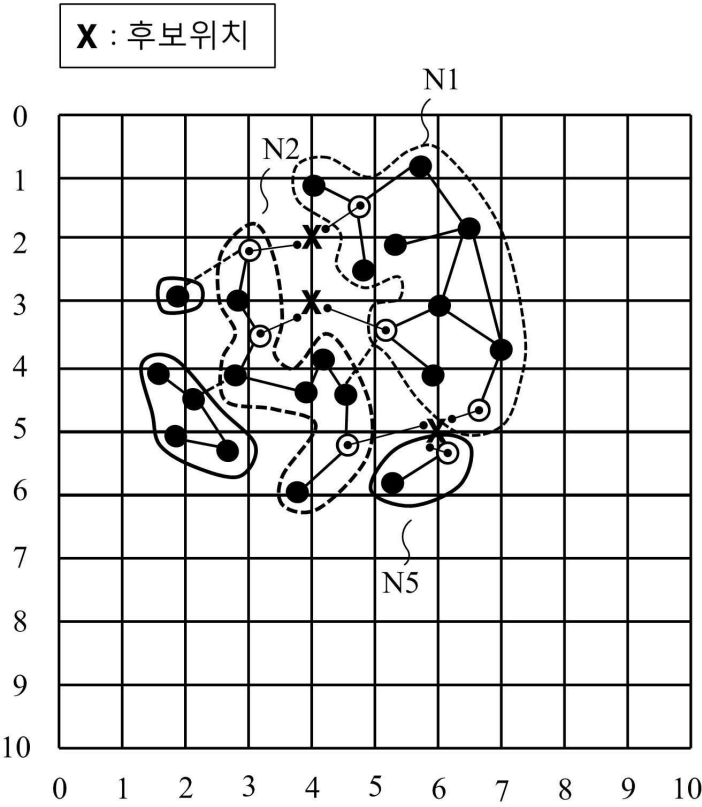


강결합요소	결합도
N1	$\frac{22}{11} = 2$
N2	$\frac{16}{9} = 1.8$
N3	$\frac{0}{1} = 0$
N4	$\frac{6}{4} = 1.25$
N5	$\frac{2}{2} = 1$

도면8



도면9



후보위치 판단기준	V1 (4,2)	V2 (4,3)	V3 (6,5)
기준1	2	2	3
기준2	$\frac{1}{36} + \frac{1}{27} = 0.038$	$\frac{1}{24} + \frac{1}{29} = 0.036$	$\frac{1}{29} + \frac{1}{32} = 0.032$