(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년09월28일
(11) 등록번호 10-2306859
(24) 등록일자 2021년09월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 4/40 (2018.01) *B64C 39/02* (2006.01)
H04W 24/04 (2009.01) *H04W 4/021* (2018.01)
H04W 84/18 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 4/40 (2020.05)
B64C 39/024 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0082971
(22) 출원일자 2020년07월06일
심사청구일자 2020년07월06일
(56) 선행기술조사문헌
KR102023843 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
이형준
서울특별시 강남구 선릉로69길 19, 103동 101호 (역삼동, 역삼래미안아파트)
윤진이
인천광역시 남동구 호구포로 803, 2411동 2101호 (구월동 롯데캐슬골드2단지아파트)
도성주
대구광역시 수성구 청호로 370, 103동 606호 (범어동, 장원아파트)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

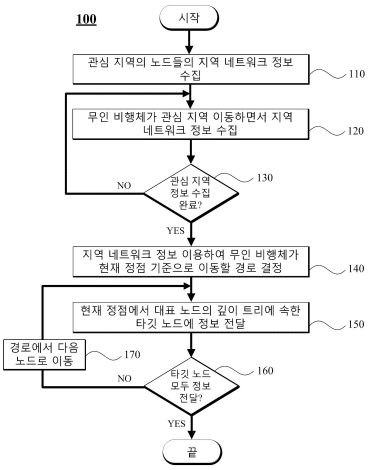
전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 성인구

(54) 발명의 명칭 **지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법**

(57) 요 약

지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법은 무인 비행체가 관심 지역을 비행하면서 상기 관심 지역에 위치한 노드들이 수집한 지역 네트워크 정보를 수집하는 단계, 상기 무인 비행체는 상기 지역 네트워크 정보를 이용하여 현재 위치 기준으로 이동할 경로를 결정하는 단계 및 상기 무인 비행체가 상기 경로를 구성하는 현재 위치에서 상기 노드들 중 가장 가까운 대표 노드에 타깃 노드 및 상기 타깃 노드에 전달한 정보를 송신하는 단계를 포함하되, 상기 노드들은 정보를 수신하기 위한 제한 시간을 갖고, 상기 무인 비행체는 상기 제한 시간을 고려하여 가장 많은 노드에 정보를 전달할 수 있도록 상기 경로를 결정한다.

대 표 도 - 도5



(52) CPC특허분류
H04W 24/04 (2013.01)
H04W 4/021 (2020.05)
H04W 84/18 (2013.01)
B64C 2201/122 (2013.01)
B64C 2201/141 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

무인 비행체가 관심 지역을 비행하면서 상기 관심 지역에 위치한 노드들이 수집한 지역 네트워크 정보를 수집하는 단계;

상기 무인 비행체는 상기 지역 네트워크 정보를 이용하여 현재 위치 기준으로 이동할 경로를 결정하는 단계; 및

상기 무인 비행체가 상기 경로를 구성하는 현재 위치에서 상기 노드들 중 가장 가까운 대표 노드에 타깃 노드 및 상기 타깃 노드에 전달한 정보를 송신하는 단계를 포함하되,

상기 노드들은 정보를 수신하기 위한 제한 시간을 갖고, 상기 무인 비행체는 상기 제한 시간을 고려하여 가장 많은 노드에 정보를 전달할 수 있도록 상기 경로를 결정하고,

상기 지역 네트워크 정보는 특정 노드와 다른 노드 사이의 링크 품질. 측정한 링크 품질 기준으로 결정한 상기 특정 노드와 인접한 노드의 정보, 양방향 링크 품질이 임계값 이상인 연결된 노드 그룹들의 정보 및 상기 노드 그룹들이 구성하는 깊이 트리 정보 중 적어도 하나를 포함하는 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 노드들 각각에 대하여 링크 품질이 최소 임계값 이상인 링크를 갖는 적어도 하나의 인접 노드를 유효한 인접 노드로 결정하고, 상기 노드들 및 상기 유효한 인접 노드를 기준으로 노드 사이의 양방향 링크가 임계값 이상인 노드인 요소 노드들을 결정하고, 상기 요소 노드들 중 서로 연결되는 적어도 하나의 노드들을 하나의 그룹으로 구분하여 복수의 그룹을 결정하고, 상기 복수의 그룹을 하나의 노드로 갖는 M 깊이 트리를 구성하고,

상기 무인 비행체는 상기 M 깊이 트리를 이용하여 상기 대표 노드를 기준으로 노드의 거리를 기준으로 최단 거리 트리를 구성하고, 제한 시간이 임계값보다 많이 남은 노드를 제거하여 M 깊이 트리를 재구성하고,

상기 타깃 노드는 재구성된 M 깊이 트리에 속한 노드로 결정되는 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 무인 비행체는 상기 현재 위치와 상기 현재 위치에서 방문 가능한 인접 위치들을 기준으로, 상기 인접 위치들에 대한 긴급성을 아래 수학식으로 연산하고, 긴급성이 낮은 하위 k개의 인접 위치들이 구성하는 경로 중 가장 많은 타깃 노드에 정보 전달이 가능한 노드를 상기 경로로 결정하는 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법.

$$w(G_i, N_j) = \alpha \cdot T_{N_j} + (1-\alpha) \cdot d(G_{current}, G_i)/\bar{v}_{uav}$$

($G_{current}$는 현재 위치, N_j는 조절 파라미터, G_i는 인접 위치, T_{N_j}는 G_i를 방문한 시점 기준의 잔여 제한 시간, $d(G_a, G_b)$는 정점 a와 정점 b의 물리적 거리, $\bar{v}_{uav}$는 무인 비행체의 평균 속도임)

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 무인 비행체는 상기 현재 위치에서 상기 경로 상 다음 위치로 이동하여 상기 다음 위치에서 타깃 노드에 대한 정보를 전송하고, 상기 다음 위치를 기준으로 다시 이동한 경로를 결정하는 단계를 더 포함하는 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 무인 비행체가 복수인 경우,

복수의 무인 비행체가 통신 가능한 반경에서 만나는 경우 서로 방문한 타깃 노드 리스트를 교환하고, 상기 복수의 무인 비행체는 각각 방문하지 않은 잔여 타깃 노드에 대한 정보 전달을 속행하는 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법.

청구항 7

컴퓨터에서 상기 제1항 및 제3항 내지 제6항 중 어느 하나의 항에 기재된 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법을 실행하기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 이하 설명하는 기술은 통신 장애가 발생한 지역에 통신 노드로 동작하는 무인 비행체를 배치하는 기법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 재난 등으로 특정 지역에 통신 장애가 발생할 수 있다. 재난에 의한 통신 장애는 시간과 지점이 동적으로 변화할 수 있다. 이와 같은 통신 장애를 복구하기 위한 기법으로 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicles, UAV)를 이용한 접근이 연구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 한국공개 특허 제10-2019-0120972호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 이하 설명하는 기술은 무인 비행체를 이용하여 관심 지역에서 긴급성에 차이가 있는 대상들에게 정보를 전달하는 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0005] 지역 애드혹 네트워크를 이용한 무인비행체의 정보 전달 방법은 무인 비행체가 관심 지역을 비행하면서 상기 관심 지역에 위치한 노드들이 수집한 지역 네트워크 정보를 수집하는 단계, 상기 무인 비행체는 상기 지역 네트워크 정보를 이용하여 현재 위치 기준으로 이동할 경로를 결정하는 단계 및 상기 무인 비행체가 상기 경로를 구성하는 현재 위치에서 상기 노드들 중 가장 가까운 대표 노드에 타깃 노드 및 상기 타깃 노드에 전달한 정보를 송신하는 단계를 포함한다. 상기 노드들은 정보를 수신하기 위한 제한 시간을 갖고, 상기 무인 비행체는 상기 제한 시간을 고려하여 가장 많은 노드에 정보를 전달할 수 있도록 상기 경로를 결정한다.

발명의 효과

[0006] 이하 설명하는 기술은 통신 장애가 발생한 관심 지역에서 시간의 흐름과 무인 비행체의 이동에 따라 전달 제한 시간이 동적으로 변경되는 상황에서 최적의 정보 전달 방법을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0007] 도 1은 무인 비행체를 이용하여 메시지를 전달하는 관심 지역에 대한 예이다.

도 2는 관심 지역의 노드의 연결 상태 및 최소 그래프의 예를 도시한다.

도 3은 단순 그래프에서 최단 경로 트리를 구성한 예이다.

도 4는 도 3의 최단 경로 트리에서 동적 깊이 트리를 구성한 예이다.

도 5는 무인 비행체가 관심 지역에 정보를 전달하는 과정에 대한 순서도의 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 한정하려는 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 설명된 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 802.11, IEEE 802.15.4 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. 따라서 AP에 장애가 발생하면 해당 AP 주변 지역은 통신 서비스가 제공되지 못한다.

[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] 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 있다고 가정한다. 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.

[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 관심 지역(Region of Interest, ROI)이라고 명명한다. 즉, 이하 설명하는 기술은 관심지역에서 무인 비행체를 이용하여 릴레이 서비스를 제공하기 위한 것이다.

[0018] 관심 지역에 대한 사전 정보는 알지 못한 상태라고 가정한다. 예컨대, 관심 지역에 위치하는 노드 위치 및 이웃 노드들과의 연결 상태 등을 알지 못하는 상태를 가정한다. 관심 지역에서 정보 수신을 대기하는 노드를 타깃 노드라고 명명한다. 타깃 노드는 특정 시점을 기준으로 정보가 전달되어야 하는 제한 시간(dead line)이 있다. 복수의 타깃 노드는 서로 다른 또는 일부는 동일한 정보 수신을 대기할 수 있고, 복수의 타깃 노드 각각의 제한 시간은 서로 다를 수 있다.

[0019] 이하 설명하는 기술은 무인 비행체가 제한 시간 내에 최대한 많은 타깃 노드에 메시지를 전달하기 위한 경로를 결정한다. 무인 비행체는 무선 통신으로 정보를 전달할 수 있다. 무인 비행체는 모두 동일한 통신 반경을 갖는다고 가정한다. 복수의 무인 비행체가 사용되는 경우, 동일한 타깃 노드에 대하여 중복되는 서비스를 제공하지 않도록 중복 경로(정확하게는 통신 반경 중첩되는 경로)를 제거하면서 이동 경로를 결정할 수 있다.

[0021] 도 1은 무인 비행체를 이용하여 정보를 전달하는 관심 지역에 대한 예이다. 설명의 편이를 위하여 관심 지역은 사각형 형태이고, 사각 그리드로 구분된다고 가정한다. 무인 비행체는 인접한 그리드가 구성하는 정점을 따라 이동한다고 가정한다.

[0022] 도 1은 무인 비행체 A 및 B를 도시하였고, 무인 비행체를 제어하는 제어 센터를 도시하였다. 제어 센터는 무인 비행체에 일정한 제어 명령을 전달할 수 있고, 무인 비행체가 수집한 정보를 취합하여 무인 비행체의 이동 경로를 결정할 수도 있다. 나아가, 무인 비행체는 제어 센터의 개입 없이, 자신이 수집한 정보를 이용하여 이동 경로를 결정할 수도 있다. 복수의 무인 비행체가 이용되는 경우, 각 무인 비행체가 수집한 정보를 교환하여, 각 무인 비행체의 이동 경로를 협력하여 결정할 수도 있다. 이하, 설명의 편의를 위하여 무인 비행체가 이동 경로를 결정한다고 설명한다.

[0024] 무인 비행체를 이용한 정보 라우팅은 다음과 3개의 과정으로 구분될 수 있다. 먼저, 각 과정에 대하여 간략하게 설명한다.

[0026] (1) 지역 네트워크 설정

[0027] 관심 지역에 배치된 노드는 인접한 노드에 대한 리스트를 보유할 수 있다. 노드는 일정한 주기로 비콘 정보를 교환하면서, 인접한 노드를 식별하고 리스트를 관리하고 갱신할 수 있다. 노드는 기준값 이상의 링크 품질을 갖는 다른 노드를 인접한 노드로 식별한다.

[0028] 한편, 링크의 품질이 높은 인접한 노드들이 하나의 그룹을 형성할 수 있다. 이와 같은 노드 그룹을 최소 그래프(minimal graph)라고 명명한다. 최소 그래프는 네트워크 구성을 위한 기본 구조가 된다. 최소 그래프에 대해서는 후술한다. 최소 그래프에 포함되는 노드는 최소 그래프를 형성하는 노드에 대한 리스트를 보유한다고 가정한다.

[0029] 인접한 노드들은 자신이 속한 최소 그래프에 대한 정보를 교환할 수 있다. 애드혹 노드는 M 홉 거리에 있는 노드까지 자신의 최소 그래프 정보를 공유할 수 있다. 이 경우, 하나의 노드를 루트(root)로 갖는 M 깊이의 그래프를 구성할 수 있다.

[0030] 도 1의 하단에 원형 음영으로 최소 그래프를 표현하였고, 검은색 노드로 표시한 루트를 기준으로 관심 지역의 노드들이 일정한 트리 형태로 표현될 수 있음을 도시하였다.

[0032] (2) 네트워크 프로빙(probing)

[0033] 무인 비행체가 관심 지역을 비행하면서 관심 지역에 위치한 노드에 대한 정보를 수집한다. 무인 비행체가 그리드로 구분되는 관심 지역에서 특정 정점을 방문하면, 해당 정점에서 연결가능한 노드(들) 및 각 노드의 지역 네트워크 정보를 수집한다. 지역 네트워크 정보는 인접한 노드 리스트 및 최소 그래프를 정보를 포함할 수 있다. 복수의 무인 비행체가 프로빙하면, 관심 지역을 일정하게 구분하여 서로 다른 정점을 방문하면서 지역 네트워크

정보를 수집할 수 있다. 복수의 무인 비행체가 수집한 서로 다른 지역 네트워크 정보는 무인 비행체가 서로 교환하거나, 제어 센터가 무인 비행체들이 수집한 지역 네트워크 정보를 수집할 수도 있다. 지역 네트워크 정보는 각 노드들이 정보를 수신해야 하는 제한 시간을 포함할 수 있다.

[0035] (3) 무인 비행체 라우팅

[0036] 모든 무인 비행체들은 관심 지역에 위치한 통신 가능한 모드 및 지역 네트워크 정보(트리 구조)를 공유한 상태가 된다. 주어진 정보를 이용하여, 무인 비행체는 자신의 경로를 결정할 수 있다. 무인 비행체는 일정한 시간 안에 각 노드들의 제한 시간을 만족하면서 최대한 많은 노드에 정보를 전달할 수 있는 경로를 결정한다. 무인 비행체는 다른 무인 비행체의 진행 상황(이동 경로 및 정보 전달 상황)을 알 수 없다. 무인 비행체가 다른 무인 비행체를 통신 반경에서 만나게 되면, 서로 방문한 정점 리스트를 공유하여 협력적으로 태스크를 분배할 수 있다.

[0037] 무인 비행체가 특정 정점에 위치하면 통신 가능한 노드를 확인한다. 설명의 편의를 위하여 특정 정점에 가장 가까운 노드를 대표 노드라고 명명한다. 무인 비행체는 대표 노드에 정보를 송신한다. 대표 노드는 자신의 M 깊이 트리를 확인하여 제한 시간 내에 소속 노드들에 정보를 전달한다. 이때, 제한 시간이 많은 남은 노드 및 제한 시간이 이미 경과한 노드는 타깃 노드 리스트에서 삭제된다.

[0039] 무인 비행체 및 노드를 위한 초기 설정 과정에 대하여 상세하게 설명한다. 제어 센터 또는 무인 비행체가 노드들이 측정한 수신율을 기준으로 아래 설명하는 초기 설정 과정을 수행할 수 있다.

[0040] 관심 지역의 각 노드는 비콘 신호를 이용하여 통신 가능한 인접 노드를 확인한다. 노드는 주변에 있는 노드 중 패킷 수신율(packet reception ratio, PRR)이 임계값인 최소 링크 품질을 만족하는 노드를 통신 가능한 인접 노드로 결정할 수 있다.

[0041] 각 노드는 통신 가능한 노드들의 패킷 수신율 PRR을 계산한다. $\overline{PRR}_{N_i \rightarrow N_j}$은 노드 i에서 노드 j로의 PRR 나타낸다고 정의한다. 각 노드는 패킷 수신율이 최소 임계값 Θ_{LK} 이상인 경우 유효한 통신 링크로 판단한다.

[0042] 도 2는 관심 지역의 노드의 연결 상태 및 최소 그래프의 예를 도시한다.

[0043] 도 2(A)는 PRR을 기준으로 노드들의 연결 관계를 표현한 그래프이다. 도 2(A)는 Θ_{LK} =0.5로 설정한 경우이다. 도 2(A)와 같은 그래프를 기본 그래프라고 명명한다. 도 2(A)와 같이 모든 노드들의 연결 관계를 고려하면 네트워크 분석의 복잡도가 높아질 수 있다. 따라서, 노드들의 관계를 보다 단순화하여 네트워크를 분석할 필요가 있다.

[0044] 노드의 관계를 단순화하여 표현한 그래프를 단순 그래프라고 명명한다. 기본 그래프를 기준으로 단순 그래프를 생성하는 과정을 설명한다.

[0045] 기본 그래프에서 양방향의 PRR의 기준값 Θ_{MG} 이상인 노드들을 하나의 그룹으로 구분할 수 있다. 이 그룹이 전술한 최소 그래프이다. 최소 그래프에 속한 노드들은 강하게 연결되었다고 말할 수 있다. MG_{N_i}는 노드 i가 속한 최소 그래프라고 정의한다. $\eta_{MG_{N_i}}$는 노드 i의 최소 그래프에 속한 노드 집합이라고 정의한다. 만약 어떤 하나의 노드가 강하게 연결된 인접 노드가 없는 경우, 하나의 노드 자체가 최소 그래프가 된다. 도 2(B)는 도 2(A)의 기본 그래프에 대한 단순 그래프의 예이다. 도 2(B)는 Θ_{MG} = 0.95로 설정한 경우이다.

[0046] 각 노드에 대하여 최소 그래프가 결정되면, 일반적으로 복수의 최소 그래프라 결정된다. 각 최소 그래프를 대표하는 가상의 노드를 기준으로 M 홉 거리에 있는 그래프를 M 깊이 그래프를 결정할 수 있다. 노드 i가 속한 MG_{N_i}가 구성하는 M 깊이 그래프를 $MDG(MG_{N_i})$라고 정의한다.

[0047] 마지막으로, 각 애드혹 노드는 M 깊이 그래프를 자신의 루트 노드로 갖는 최소 경로 트리(shortest-path tree)로 변환할 수 있다.

[0049] 무인 비행체(들)는 관심 지역을 비행하면서 지상의 애드혹 네트워크에 대한 지역적 연결 정보를 수집할 수 있다. 복수의 무인 비행체가 지상 정보를 수집한다면, 프로빙할 영역을 구분하여 각 무인 비행체에 업무를 할당하고, 각 무인 비행체가 수집한 지역 네트워크 정보를 병합하여 전체 네트워크 토폴로지를 구성한다. 복수의 무인 비행체가 비행할 영역을 구분하는 방법은 다양할 수 있다.

[0050] 무인 비행체는 초기 탐색을 위한 다양한 비행 알고리즘을 가질 수 있다. 예컨대, 무인 비행체는 현재 위치에서 가장 경계 영역이 가까운 방향으로 이동하고, 이동은 지그재그 경로를 사용할 수도 있다.

[0051] 무인 비행체는 어느 정점을 방문하면, 지역 네트워크를 검출하기 위하여 통신 가능한 노드들에 정보를 브로드캐스트할 수 있다. 브로드캐스트 패킷을 수신한 노드는 ACK 패킷을 수신하면서, 자신의 지역 M 깊이 라우팅 트리를 응답으로 전송할 수 있다. 무인 비행체는 수집한 정보를 기준으로 특정 노드를 기준으로 PRR이 최소 임계값 이상인 인접 노드를 결정할 수도 있다.

[0052] 복수의 무인 비행체가 지역 네트워크 정보를 수집한 경우, 모든 무인 비행체가 출발점에 모이거나, 특정 지점에서 각각 수집한 정보를 교환할 수 있다. 전술한 제어 센터가 무인 비행체가 수집한 정보를 취합할 수도 있다.

[0054] 초기 네트워크 설정과 네트워크 프로빙이 종료되면, 무인 비행체는 전체 네트워크에 대한 정보를 확보하게 된다. 무인 비행체는 관심 지역에서 연결된 노드들을 확인할 수 있고, 대표 노드 및 노드의 지역 라우팅 트리를 알게 된다. 즉, 무인 비행체는 타깃 노드로 정보 전달하기 위한 경로 설정을 할 준비가 된다.

[0055] 무인 비행체는 서로 다른 데이터를 지정된 제한 시간 내에 타깃 노드로 전달한다고 가정한다. 예컨대, 무인 비행체는 10분 안에 특정 타깃 노드에 특정 정보를 전달해야 한다. 이와 같은 조건을 고려하여 무인 비행체가 각 제한 시간 내에 최대한 많은 노드에 정보를 전달하기 위한 경로를 결정해야 한다. 이를 위하여 복수의 무인 비행체가 업무를 잘 분담해야 하고, 각 무인 비행체는 연결된 지역 네트워크를 잘 활용해야 한다.

[0056] 무인 비행체는 현재 정점에서 다른 정점으로 이동할 때 데이터 긴급성 및 지역 라우팅 정보를 기준으로 이동할 정점을 동적으로 선택한다. 데이터 긴급성은 특정 노드에 대한 제한 시간을 의미한다.

[0058] 이하 무인 비행체가 이동 경로를 결정하는 과정을 상세하게 설명한다.

[0059] 무인 비행체는 타깃 노드에 직접 정보를 전달할 수도 있고, 현재 연결된 대표 노드를 경유하여 정보를 간접적으로 전달할 수도 있다.

[0060] 무인 비행체 경로 결정을 위한 파라미터는 다음과 같다. (1) 현재 정점에서 이동할 수 있는 다른 정점까지의 이동 시간, (2) 어느 정점에서 대표 노드를 통해 정보 전달 가능한 타깃 노드의 개수 및 (3) 어느 정점을 방문할 때 예상되는 제한 시간 상태(만료 상태)이다. 무인 비행체는 상기 언급한 파라미터에 대한 가중치를 부여하여 경로를 결정할 수 있다.

[0061] 무인 비행체가 특정 정점에 방문하면, 해당 정점을 기준으로 정보 전달이 가능한 노드를 알 수 있다. 정점 i에서 정보 전달이 가능한 노드 세트를 η_{G_i} 라고 정의한다. $\eta_{G_i} = \{N_{n_1}, N_{n_2}, \ldots, N_{n_l}\}$ 이다. N_{n_i}는 제한 시간이 만료되지 않은 노드이다. 어떤 노드는 서로 다른 다수의 정점을 통해 정보를 전달받을 수도 있다.

[0062] 현재 정점 $G_{current}$ 에서 이동 가능한 미래 정점 G_i을 기준으로, 현재 정점과 남은 정점들의 상대적인 방문 긴급성은 아래 수학식 1로 표현될 수 있다.

수학식 1

[0064] $$w(G_i, N_j) = \alpha \cdot T_{N_j} + (1-\alpha) \cdot d(G_{current}, G_i)/\bar{v}_{uav}$$

[0065] 수학식 1은 $G_{current}$를 기준으로 조절 파라미터 N_j를 고려하여 이동 가능한 후보 정점 G_i에 대한 방문 긴급성을 표현한다. T_{N_j}는 정점 i를 방문한 시점 기준으로 잔여 제한 시간을 의미한다. $d(G_a, G_b)$는 정점 a와 정점 b의 물리적 거리이다. $\bar{v}_{uav}$는 무인 비행체의 평균 속도이다.

[0067] 상기 방문 긴급성을 기준으로 무인 비행체는 이동할 다음 정점을 결정한다. 무인 비행체는 이동 가능한 정점 중 상기 방문 긴급성이 적은 하위 k 개 정점을 후보 정점 세트로 선택한다.

[0068] k 개의 정점들은 무인 비행체의 이동 경로를 구성한다. 무인 비행체는 k 개 정점의 가능한 순열(permutation)을 모두 검토하여 최적의 경로를 결정한다. 무인 비행체는 일정한 라우팅 비용으로 가장 많은 노드를 서비스할 수 있는 경로를 결정할 수 있다. 만약 복수의 경로가 동일한 개수의 노드를 서비스할 수 있다면, 무인 비행체는 무

인 비행체는 추정되는 이동 시간, 현재 위치에서 가장 인접한 정점을 먼저 방문하는 경로 등을 더 이용하여 특정 경로를 결정할 수 있다. 또는 무인 비행체는 복수의 경로 중 임의의 경로를 선택할 수도 있다.

[0069] 무인 비행체는 현재 위치에 다음 위치를 결정할 때마다 상기 방문 긴급성을 점검하여 경로 및 다음 방문한 정점을 결정한다.

[0071] 무인 비행체가 경로를 결정하고 방문한 노드에서 대표 노드에 전달한 패킷을 송신한다. 무인 비행체는 대표 노드에 타깃 노드, 전송할 정보 및 타깃 노드의 제한 시간(남은 시간)을 전달한다.

[0072] 대표 노드는 애드혹 네트워크로 정보를 전달하기 위하여 최소 그래프를 이용하여 동적인 깊이 트리를 구성한다. 대표 노드는 이미 제한 시간이 도래하였거나, 또는 제한 시간의 잔여 시간이 많은 경우 리프 노드 또는 특정 가지를 제거하여 최소 경로를 갖는 트리를 구성한다.

[0073] 각 최소 그래프 m에 대하여 각각 대표 잔여 시간 T_{MG_m}을 연산한다. 대표 잔여 시간은 트리에 속한 노드들의 잔여 제한 시간 중 가장 작은 잔여 시간이 된다.

[0074] 대표 노드는 자신이 루트인 깊이 트리에서 특정 자식 최소 그래프에 대한 대표 잔여 시간이 너무 많이 남았는지 확인한다. 대표 노드는 자식 최소 그래프의 대표 잔여 시간이 임계값 $T_{MG_{root}}+\delta$보다 큰지 확인한다. δ는 필요한 최소 시간(margin)을 의미한다. $\delta = |median_{\forall MG_i \in localNet(MG_{root})}(T_{MG_i} - T_{MG_{root}})|$로 연산될 수 있다. 대표 노드는 잔여 제한 시간이 임계값보다 작은 자식 최소 그래프에는 데이터를 전달한다.

[0075] 대표 잔여 시간이 너무 많이 남은 자식 최소 그래프는 정보를 전달하기 위한 트리에서 삭제된다. 무인 비행체는 대표 잔여 시간이 많이 남아 현재 정점에서 정보를 전달하는 않게 된 노드는 앞으로 정보를 전달할 타깃 노드로 남겨 둔다. 또한 이미 잔여 제한 시간이 경과한 노드도 삭제한다.

[0077] 도 3은 단순 그래프에서 최단 경로 트리를 구성한 예이다. 노드의 숫자는 노드를 식별하는 정보이다. 1번 노드가 루트 노드이다. 각 노드에 표시된 시간은 해당 노드의 제한 시간이다. 노드는 인접한 노드에 정보를 전달할 수 있다. 정보 전달 비용은 노드 사이의 거리 및 통신 상태에 따라 달라진다. 통신 상태가 동일하다면, 정보 전달 비용은 노드 사이의 거리로만 결정될 수도 있다. 도 3에서 방향성 에지에 정보 전달 비용을 표시하였다. 도 3은 정보 전달 비용을 기준으로 루트 노드에서 결정한 최단 경로 트리(굵은색 에지)이다.

[0078] 도 4는 도 3의 최단 경로 트리에서 동적 깊이 트리를 구성한 예이다. 임계값 결정을 위한 δ = 3으로 설정한 경우이다. 즉, 임계값 $T_{MG_{root}} + \delta$ = 10s + 3s = 13s이다. 도 4를 살펴보면, 노드 5와 노드 11은 임계값보다 많은 잔여 제한 시간을 갖고 있어, 동적 깊이 트리에서 삭제된다. 다만, 노드 7은 임계값보다 많은 잔여 제한 시간(18s)를 갖지만, 노드 7의 자식 노드 12가 임계값보다 작은 잔여 제한 시간을 가져 노드 7을 삭제하지 않았다.

[0080] 루트 최소 그래프가 불필요한 노드나 가지를 제거하여 자신의 동적 깊이 트리를 확정하면, 무인 비행체에 동적 깊이 트리에 속한 타깃 노드 리스트를 전달한다. 무인 비행체는 자신이 보유한 타깃 노드 리스트에서, 루트 노드가 전달한 타깃 노드 리스트를 삭제한다.

[0081] 그리고, 무인 비행체는 다음 정점으로 이동하여 해당 정점에서의 대표 노드와 동일한 동작을 수행한다. 이와 같은 과정을 반복하면서 무인 비행체가 관심 지역의 타깃 노드에 정보를 전달한다.

[0082] 한편, 복수의 무인 비행체가 동작하는 경우, 무인 비행체가 다른 무인 비행체를 만나면 현재 방문한 정점 및 정보를 전달한 타깃 노드 정보를 교환하고, 남은 타깃 노드에 대한 정보 전달을 할 수 있다.

[0084] 도 5는 무인 비행체가 관심 지역에 정보를 전달하는 과정(100)에 대한 순서도의 예이다.

[0085] 관심 지역의 노드들은 인접한 노드들과 통신하면서 지역 네트워크 정보를 수집한다(100). 지역 네트워크 정보는 특정 노드 기준으로 링크 품질이 최소 임계값 이상인 인접 노드, 인접 노드의 제한 시간에 대한 정보를 포함한다. 또는 지역 네트워크 정보는 노드들 각각에서 측정한 다른 노드와의 패킷 수신율 정보를 포함할 수도 있다. 지역 네트워크 정보는 특정 노드와 다른 노드 사이의 링크 품질. 측정한 링크 품질 기준으로 결정한 상기 특정 노드와 인접한 노드의 정보, 양방향 링크 품질이 임계값 이상인 연결된 노드 그룹(최소 그래프)들의 정보 및 노드 그룹(최소 그래프)들이 구성하는 깊이 트리 정보 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0086] 무인 비행체는 관심 지역을 비행하면서, 관심 지역의 노드들이 수집한 지역 네트워크 정보를 수집한다(120).

[0087] 관심 지역 정보 수집이 완료되면(130의 YES), 무인 비행체는 지역 네트워크 정보를 이용하여 현재 위치(정점) 기준으로 이동 경로를 결정한다(140). 무인 비행체는 정점들에 대하여 수학식 1의 방문 긴급성을 연산하고, 방문 긴급성의 값이 낮은 k개의 정점들을 선별한다. 무인 비행체는 k 개의 정점의 순열 중 가장 많은 타깃 노드에 정보를 전달할 수 있는 경로를 최종 경로로 선택한다.

[0088] 무인 비행체는 현재 정정에서 대표 노드를 통해 타깃 노드들에 정보를 전달한다(150). 무인 비행체는 관심 지역 정보를 이용하여 최소 그래프를 구성하고, 기본 그래프를 단순 그래프로 변환한다(도 2). 무인 비행체는 단순 그래프를 하나의 노드로 가정하고 M 홉 거리에서 연결되는 깊이 트리를 구성한다. 무인 비행체는 M 깊이 단순 그래프에서 비용 기준으로 최단 경로 트리를 구성하고(도 3), 제한 시간 기준으로 깊이 트리를 동적으로 재구성한다(도 4). 무인 비행체는 최종 동적 깊이 트리가 구성되면, 대표 노드를 통하여 동적 깊이 트리에 속한 타깃 노드에 정보를 전달한다.

[0089] 타깃 노드에 정보 전달이 끝나지 않았다면(160의 NO), 무인 비행체는 이동 경로 상의 다음 노드로 이동하고(170), 해당 노드에서 동일한 과정을 통해 타깃 노드에 정보를 전달한다.

[0091] 이하 전술한 각 과정에 대한 수도 코드를 예시한다. 아래 표 1은 각 노드에대한 깊이 트리를 구성하는 과정에 대한 예이다. 노드의 깊이 트리는 노드가 구성할 수도 있고, 노드가 수집한 정보를 기준으로 무인 비행체와 같은 다른 객체가 수행할 수도 있다. 아래 표 2는 무인 비행체가 정보를 관심 지역 정보를 수집하는 네트워크 프로빙에 대한 예이다. 아래 표 3은 무인 비행체가 경로를 결정하고, 각 노드에서 관심 지역의 타깃 노드에 정보를 전달하는 과정에 대한 예이다.

표 1

Algorithm 1 Local Routing Tree Construction (by Each Node)

Input: *Its own node n, θ_{LK}, θ_{MG}, M-depth*
Output: *Local routing tree (having node n itself as root)*
// I. Make 1-hop Neighbor Node List
$neighborNode(N_n) = \emptyset$; // 1-hop neighbor node set of node n
for node i that has ever sent ACK back **do**
  if $\overline{PRR}_{N_n \to N_i} \geq \theta_{LK}$ **then**
    $neighborNode(N_n) = \{N_i\} \cup neighborNode(N_n)$;
  end if
end for
// II. Coarsen network graph
$\eta_{MG_{N_n}} = \{N_n\}$; // Initialize a minimal graph including itself
for node $i \in neighborNode(N_n)$ **do**
  if $\overline{PRR}_{N_n \to N_i} \geq \theta_{MG}$ && $\overline{PRR}_{N_i \to N_n} \geq \theta_{MG}$ **then**
    $\eta_{MG_{N_n}} = \eta_{MG_{N_i}} \cup \eta_{MG_{N_n}}$;
  end if
end for
$neighborMG(MG_{N_n}) = \emptyset$; // 1-hop neighbor MG set of MG_{N_n}
for node $s \in \eta_{MG_{N_n}}$ **do**
  for node $t \in neighborNode(N_s)$ **do**
    if $MG_{N_s} \neq MG_{N_t}$ **then**
      $neighborMG(MG_{N_n}) = MG_{N_t} \cup neighborMG(MG_{N_n})$;
      $\overline{PRR}_{MG_{N_n} \to MG_{N_t}} = \max_{N_i \in \eta_{MG_{N_n}}, N_j \in \eta_{MG_{N_t}}} \overline{PRR}_{N_i \to N_j}$;
    end if
    $Weight_{MG_s \to MG_t} = 1/\overline{PRR}_{MG_s \to MG_t}$;
  end for
end for
// III. Construct M-depth network and its shortest-path tree
$localNet(MG_{N_n}) = neighborMG(MG_{N_n})$;
for M-1 times **do**
  Send $localNet(MG_{N_n})$ to $MG_m \in neighborMG(MG_{N_n})$;
  Receive all $localNet(MG_m)$ from neighbor MGs and merge them;
end for
Make its own shortest-path tree $SPT(MG_{N_n})$ with MG_{N_n} as root from M-depth network;

[0092]

표 2

Algorithm 2 Network Probing

Input: *grid topology, # of UAVs: N*, θ_{LK}
Output: *grid point-to-neighbor node list, localized routing tree*
// I. Find the grid point visiting path with *mTSP-GA*
[probing path for each UAV] = mTSP-GA(grid topology, N)
// II. Network Detection
for UAV $u = 1$ to N **do**
  $networkInfo(u) = \emptyset$;
  for each grid point G_i in a given probing path **do**
    UAV u sends hello packets;
    for node j that has ever sent ACK back **do**
      if $\overline{PRR}_{G_i \to N_j} \geq \theta_{LK}$ **then**
        $networkInfo(u) = \{(G_i, N_j, localNet(MG_{N_j}))\} \cup networkInfo(u)$;
      end if
    end for
  end for
end for
while any of UAV still probing **do**
  Wait until all of UAVs finish and return back to the center;
end while
Merge all the collected local network information into *networkInfo*;

[0093]

표 3

Algorithm 3 Time-Dependent Ad-Hoc Routing With UAVs

while there exist new data at data center **do**
  Retrieve target node and their deadline list $\{N_i, T_{N_i}\}$;
  $\Delta = 0$; // Reset relative time clock
  while there exist feasible nodes **do**
    // I. Path planning of UAV
    Select k candidate grid points according to **criteria**;
    Find the best trajectory out of $k!$ permutations of k grid points;
    Move to the next grid point of the trajectory;
    // II. Time-dependent ad-hoc routing
    for node i s.t. $\{G_{cur}, N_i\} \in networkInfo$ **do**
      $childNodeList$ $= time\text{-}dependent\text{-}routing(MG_{N_i}, T_{MG_{N_i}} - \Delta)$;
      Delete all $N_i \in childNodeList$ from target node list;
    end for
    // III. Task division among multiple UAVs
    if multiple UAVs encountered **then**
      Exchange their own visited grid point list;
      Perform task division for the remaining grid points;
    end if
  end while
  Go back to the data center;
end while
Function $time\text{-}dependent\text{-}routing(MG_{root}, T_{MG_{root}})$
  Initialize dynamic depth tree $DDT(MG_{root}) = SPT(MG_{root})$;
  for $MG_m \in localNet(MG_{root})$ **do**
    Define $T_{MG_m} = min_{N_i \in \eta_{MG_m}} T_{N_i}$ as deadline of MG_m;
    if $T_{MG_m} > T_{MG_{root}} + \delta$ **then**
      Remove MG_m from $DDT(MG_{root})$;
    end if
    if any descendant of MG_m included in $DDT(MG_{root})$ **then**
      Insert MG_m and all upward parent MGs into $DDT(MG_{root})$;
    end if
  end for
end Function

[0094]

[0096] 또한, 상술한 바와 같은 무인 비행체의 정보 전달 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 실행가능한 알고리즘을 포함하는 프로그램(또는 어플리케이션)으로 구현될 수 있다. 상기 프로그램은 일시적 또는 비일시적 판독 가능 매체(non-transitory computer readable medium)에 저장되어 제공될 수 있다.

[0097] 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 (read-only memory), PROM (programmable read only memory), EPROM(Erasable PROM, EPROM) 또는 EEPROM(Electrically EPROM) 또는 플래시 메모리 등과 같은 비일시적 판독 가능 매체에 저장되어 제공될 수 있다.

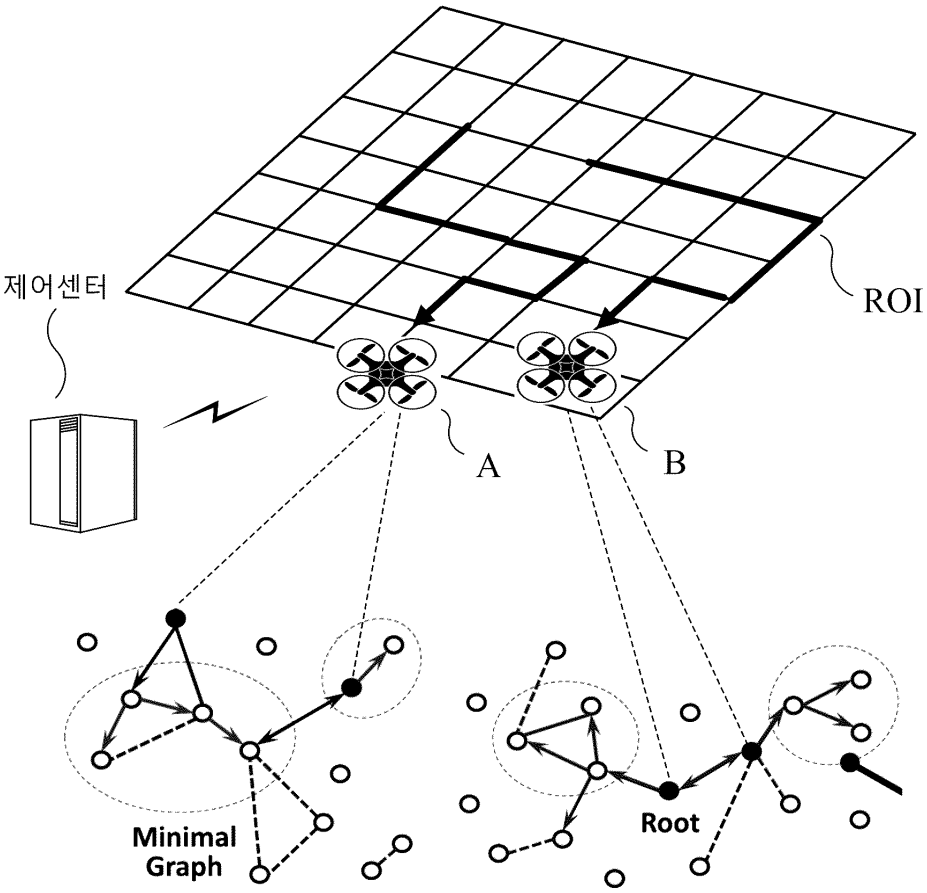
[0098] 일시적 판독 가능 매체는 스태틱 램(Static RAM, SRAM), 다이내믹 램(Dynamic RAM, DRAM), 싱크로너스 디램

(Synchronous DRAM, SDRAM), 2배속 SDRAM(Double Data Rate SDRAM, DDR SDRAM), 증강형 SDRAM(Enhanced SDRAM, ESDRAM), 동기화 DRAM(Synclink DRAM, SLDRAM) 및 직접 램버스 램(Direct Rambus RAM, DRRAM) 과 같은 다양한 RAM을 의미한다.

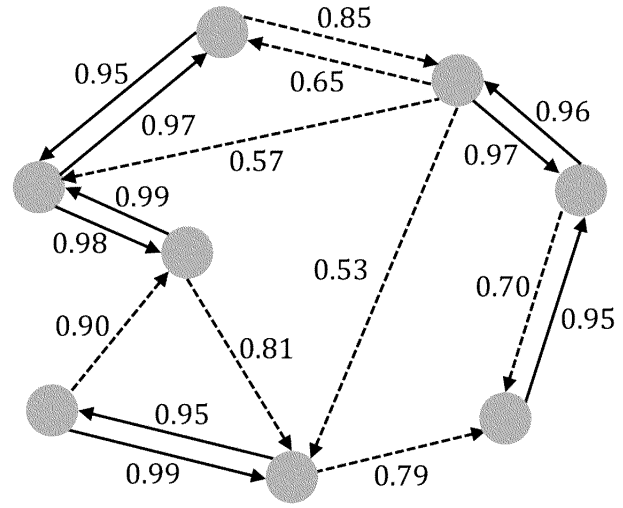
[0100] 본 실시례 및 본 명세서에 첨부된 도면은 전술한 기술에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 전술한 기술의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시례는 모두 전술한 기술의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

도면

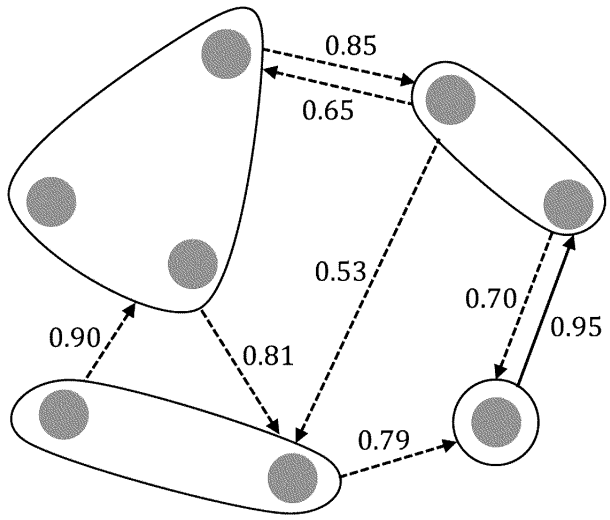
도면1



도면2

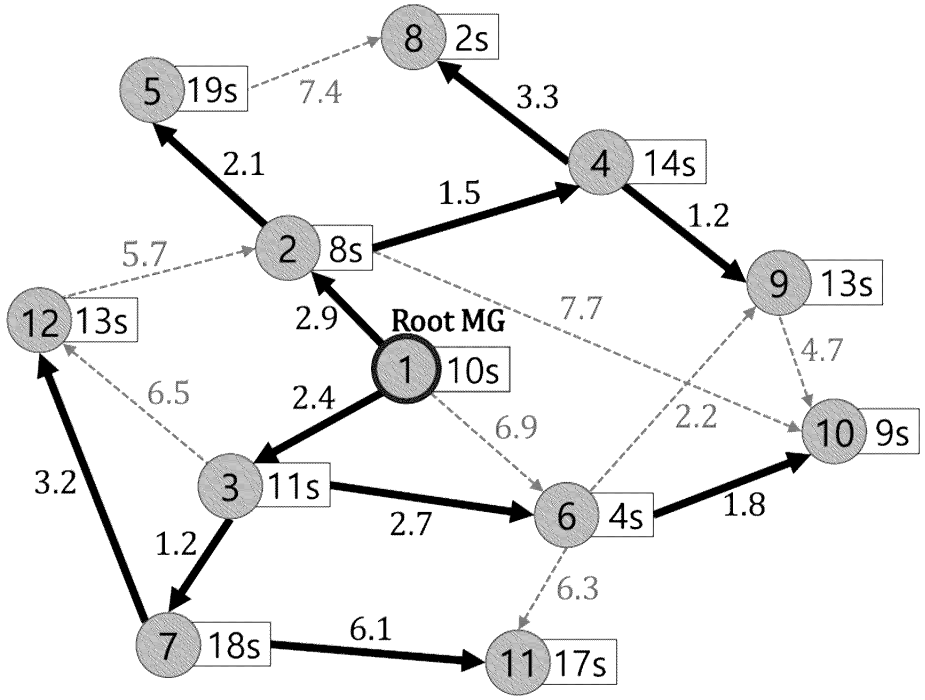

0.85
0.65
0.95
0.97
0.57
0.96
0.97
0.99
0.98
0.53
0.70
0.95
0.90
0.81
0.95
0.99
0.79

(A)

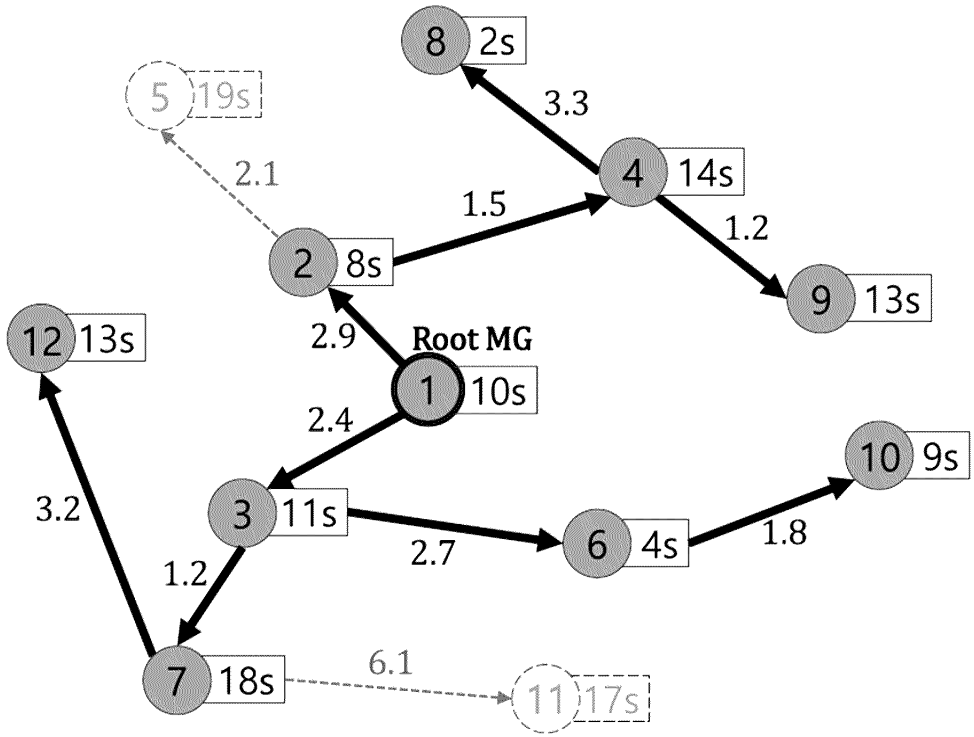

0.85
0.65
0.53
0.70
0.95
0.90
0.81
0.79

(B)

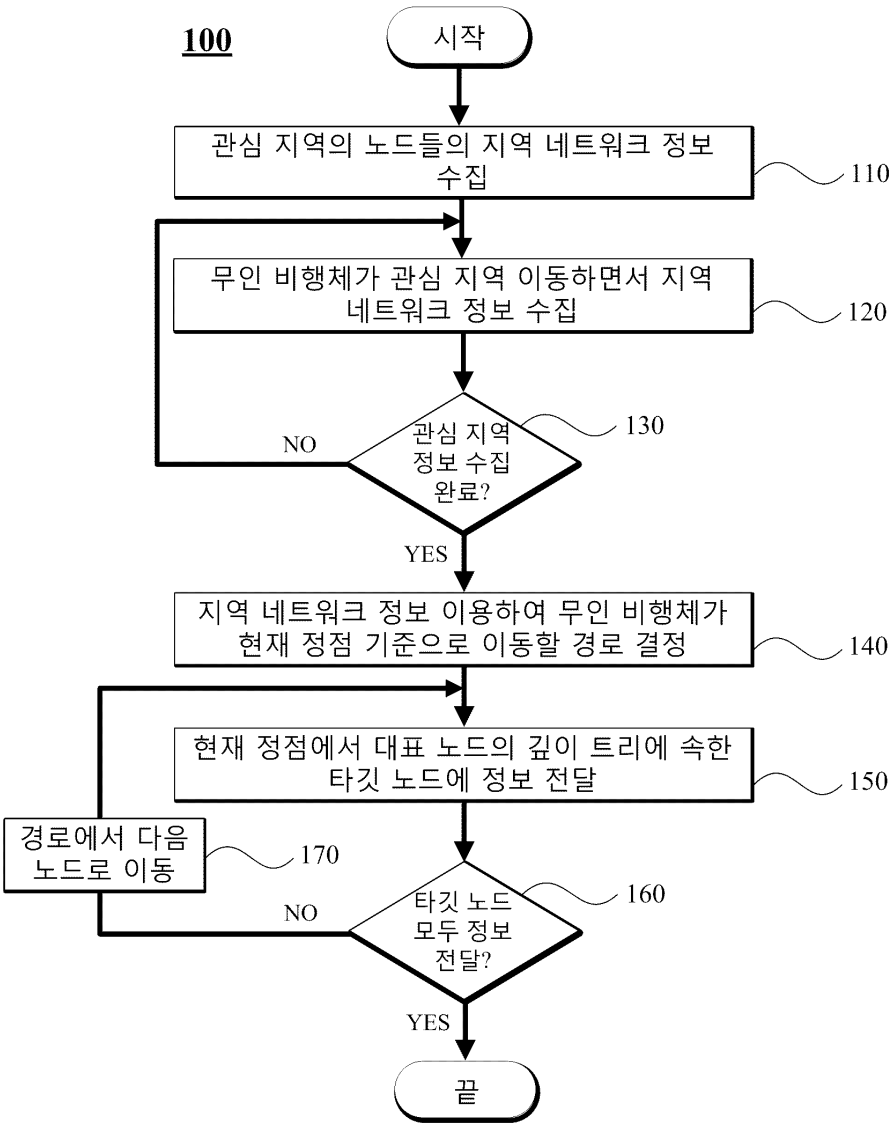
도면3


8 2s
5 19s
7.4
3.3
2.1
4 14s
1.5
1.2
5.7
2 8s
9 13s
12 13s
2.9
Root MG
7.7
4.7
1 10s
6.5
2.4
6.9
2.2
10 9s
3.2
3 11s
6 4s
1.8
2.7
1.2
6.3
7 18s
6.1
11 17s

도면4


8 2s
5 19s
3.3
2.1
4 14s
1.5
1.2
2 8s
9 13s
12 13s
2.9
Root MG
1 10s
2.4
10 9s
3.2
3 11s
6 4s
1.8
2.7
1.2
7 18s
6.1
11 17s

도면5


100
시작
관심 지역의 노드들의 지역 네트워크 정보 수집
110
무인 비행체가 관심 지역 이동하면서 지역 네트워크 정보 수집
120
관심 지역 정보 수집 완료?
130
NO
YES
지역 네트워크 정보 이용하여 무인 비행체가 현재 정점 기준으로 이동할 경로 결정
140
현재 정점에서 대표 노드의 깊이 트리에 속한 타깃 노드에 정보 전달
150
타깃 노드 모두 정보 전달?
160
NO
경로에서 다음 노드로 이동
170
YES
끝