(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년08월28일
(11) 등록번호 10-2149617
(24) 등록일자 2020년08월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 16/18 (2009.01) *H04W 64/00* (2009.01)
H04W 84/00 (2009.01) *H04W 84/06* (2019.01)
(52) CPC특허분류
H04W 16/18 (2013.01)
H04W 64/003 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0167924
(22) 출원일자 2019년12월16일
심사청구일자 2019년12월16일
(56) 선행기술조사문헌
Deployment of Drone Base Statons for Cellular Communication Without Apriori User Distribuition Information, Xiaohui Li, 2018 37th Chinese Control Conference, (2018.07.27)
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
채찬병
서울특별시 서초구 남부순환로323길 38-16, 102동 504호(서초동, 서초동한신아파트)
전홍배
인천광역시 연수구 송도과학로 85, 연세대학교 국제캠퍼스 F동 1113호(송도동)
노시찬
경기도 김포시 유현로 215, 214동 3002호(풍무동, 풍무 센트럴 푸르지오)
(74) 대리인
민영준

전체 청구항 수 : 총 10 항 심사관 : 이종익

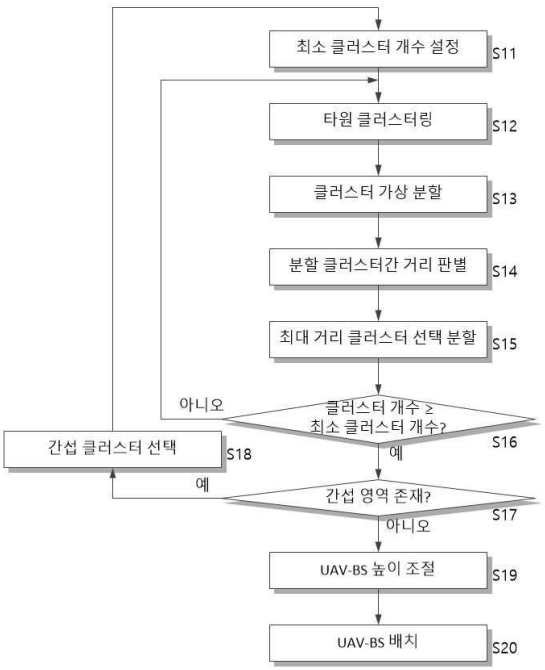
(54) 발명의 명칭 **에너지 효율적 무인 항공기 기지국 배치 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 기지정된 기법에 따라 서비스가 요구되는 영역에 배치된 사용자의 분포에 따라 최소 클러스터 개수를 설정하는 최소 클러스터 설정부, 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원형의 하나의 초기 타원 클러스터를 설정하고, 이후 설정된 적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 기지정된 방식에 따라 2개로 가상 분할하여, 가

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도7



상 분할된 클러스터들 사이에 기지정된 방식으로 계산되는 정규화된 거리가 최대가 되는 클러스터만을 실제 분할하며, 분할된 각각의 클러스터의 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원 클러스터를 설정하여, 설정된 전체 클러스터 개수가 최소 클러스터 개수에 도달할 때까지 반복 수행하는 계층적 클러스터링부 및 계층적 클러스터링부에서 설정된 다수의 클러스터 각각에서 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS 이상이 되도록 다수의 무인 항공기 기지국(이하 UAV-BS)의 위치를 결정하는 QoS 판별부를 포함하는 무인 항공기 기지국 배치 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

(52) CPC특허분류
H04W 84/005 (2013.01)
H04W 84/06 (2019.01)

(56) 선행기술조사문헌
Placement Optimization of UAV-Mounted Mobile Base Stations, Jiangin Lyu et al., IEEE Communications Letters, Vol.21, Issue 3, pp.604-607 (2016.11.29.)
US20170126309 A1
KR1020180056326 A
KR1020150129602 A
KR1020140059262 A
Energy Efficient Placement of a Drone Base Station for Minimum Required Transmit Power, Lei Wang et al., IEEE Wireless Commnication Letters, 2018.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2019-0-0685
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 정보통신기획평가원(한국연구재단부설)
연구사업명 정보통신방송연구개발사업
연구과제명 무선광통신 기반 수직 이동통신 네트워크 기술 개발 (1/5)
기 여 율 1/1
주관기관 연세대학교 산학협력단
연구기간 2019.04.01 ~ 2019.12.31
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

기지정된 기법에 따라 서비스가 요구되는 영역에 배치된 사용자의 분포에 따라 최소 클러스터 개수를 설정하는 최소 클러스터 설정부;

상기 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원형의 하나의 초기 타원 클러스터를 설정하고, 이후 설정된 적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 기지정된 방식에 따라 2개로 가상 분할하여, 가상 분할된 클러스터들 사이에 기지정된 방식으로 계산되는 정규화된 거리가 최대가 되는 클러스터만을 실제 분할하며, 분할된 각각의 클러스터의 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원 클러스터를 설정하여, 설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수에 도달할 때까지 반복 수행하는 계층적 클러스터링부; 및

상기 계층적 클러스터링부에서 설정된 다수의 클러스터 각각에서 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS 이상이 되도록 다수의 무인 항공기 기지국(이하 UAV-BS)의 위치를 결정하는 QoS 판별부를 포함하는 무인 항공기 기지국 배치 장치.

청구항 2

제1 항에 있어서, 상기 계층적 클러스터링부는

설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수이면, 각 클러스터 사이에 중첩되는 간섭 영역이 존재하는지 판별하고, 간섭 영역이 존재하면, 간섭 영역이 포함된 클러스터들의 영역을 상기 최소 클러스터 설정부로 전달하여, 간섭 영역이 포함된 클러스터들의 영역에 대한 최소 클러스터 개수를 다시 획득하는 무인 항공기 기지국 배치 장치.

청구항 3

제1 항에 있어서, 상기 계층적 클러스터링부는

가상 분할된 클러스터들 사이의 정규화된 거리를 분할된 클러스터 각각의 중심 사이의 거리를 분할되기 이전 타원 클러스터의 장축 길이로 나누어 계산하는 무인 항공기 기지국 배치 장치.

청구항 4

제1 항에 있어서, 상기 계층적 클러스터링부는

적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 k가 2인 k 평균 알고리즘에 따라 2개로 가상 분할하는 무인 항공기 기지국 배치 장치.

청구항 5

제1 항에 있어서, 상기 QoS 판별부는

상기 다수의 UAV-BS의 위치를 각각 대응하는 클러스터의 중심으로 설정하고, 중심에 위치하는 UAV-BS로부터 대응하는 클러스터 내에서 가장 먼 위치의 사용자의 신호대 잡음비가 기지정된 기준 신호대 잡음비 이상이 되도록 하는 높이를 판별하여 상기 다수의 UAV-BS 각각의 3차원 위치를 결정하고, 이에 대응하는 최소의 송신 전력을 계산하는 무인 항공기 기지국 배치 장치.

청구항 6

기지정된 기법에 따라 서비스가 요구되는 영역에 배치된 사용자의 분포에 따라 최소 클러스터 개수를 설정하는 단계;

상기 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원형의 하나의 초기 클러스터를 설정하는 단계;

설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수에 이상인지 판별하고, 상기 최소 클러스터 개수 미만이

면, 상기 최소 클러스터 개수에 도달하도록 기설정된 적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 기지정된 방식에 따라 2개로 가상 분할하고, 가상 분할된 클러스터들 사이에 기지정된 방식으로 계산되는 정규화된 거리가 최대가 되는 클러스터만을 실제 분할하며, 분할된 각각의 클러스터의 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원 클러스터를 설정하는 단계; 및

설정된 다수의 클러스터 각각에서 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS 이상이 되도록 다수의 무인 항공기 기지국(이하 UAV-BS)의 위치를 결정하는 단계를 포함하는 무인 항공기 기지국 배치 방법.

청구항 7

제6 항에 있어서, 상기 타원 클러스터를 설정하는 단계는

설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수이면, 각 클러스터 사이에 중첩되는 간섭 영역이 존재하는지 판별하는 단계; 및

간섭 영역이 존재하면, 간섭 영역이 포함된 클러스터들의 영역에 대해 다시 최소 클러스터 개수를 획득하는 단계를 포함하는 무인 항공기 기지국 배치 방법.

청구항 8

제6 항에 있어서, 상기 타원 클러스터를 설정하는 단계는

가상 분할된 클러스터들 사이의 거리를 분할된 클러스터 각각의 중심 사이의 정규화된 거리를 분할되기 이전 타원 클러스터의 장축 길이로 나누어 계산하는 무인 항공기 기지국 배치 방법.

청구항 9

제6 항에 있어서, 상기 타원 클러스터를 설정하는 단계는

적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 k가 2인 k 평균 알고리즘에 따라 2개로 가상 분할하는 무인 항공기 기지국 배치 방법.

청구항 10

제6 항에 있어서, 상기 UAV-BS의 위치를 결정하는 단계는

상기 다수의 UAV-BS의 위치를 각각 대응하는 클러스터의 중심으로 설정하는 단계;

중심에 위치하는 UAV-BS로부터 대응하는 클러스터 내에서 가장 먼 위치의 사용자의 신호대 잡음비가 기지정된 기준 신호대 잡음비 이상이 되도록 하는 높이를 판별하여 상기 다수의 UAV-BS 각각의 3차원 위치를 결정하는 단계; 및

상기 다수의 UAV-BS 각각의 3차원 위치에 대응하는 최소의 송신 전력을 계산하는 단계를 포함하는 무인 항공기 기지국 배치 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무인 항공기 기지국 배치 장치 및 방법에 관한 것으로, 기지국을 탑재한 무인항공기 기지국을 타원 클러스터링 기법에 따라 에너지 효율적으로 배치할 수 있는 배치 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 내부에 기지국을 탑재한 무인항공기 기지국(Unmanned Aerial Vehicles-Base Station: 이하 UAV-BS)은 긴급 상황 또는 기존 기지국이 역할을 할 수 없는 상황 등 다양한 환경에서의 무선 통신을 지원할 수 있는 기술로 떠오르고 있다. 일예로 대규모 군중이 특정 장소에 모여, 고정 기지국에서 제공 가능한 통신 용량이 초과된 경우나, 기지국이 설치되어 있지 않은 외지에서 인명 구조 등의 활동을 위해 긴급하게 통신 서비스가 요구될 때, UAV-BS가 유용하게 활용될 수 있다.

[0003] 이러한 UAV-BS는 기존의 통신 시스템에 문제가 생긴 경우 기존 기지국을 재구축하는 방법에 비하여 보다 신속하

게 지원이 가능하며 UAV의 높은 고도로 인하여 지상 사용자와의 가시선(Line-of-Sight: 이하 LoS) 통신 링크를 보장받을 수 있다는 장점을 갖는다.

[0004] 그러나 UAV-BS가 요구되는 상황의 대부분은 넓은 범위에서의 다수의 사용자에게 통신 서비스를 제공할 필요가 있으나, 실제 운용할 수 있는 UAV-BS의 개수는 제한된 경우가 많다. 또한 고정된 위치의 기존 기지국과 달리 공중에서 이동할 수 있는 UAV-BS의 특성을 고려하면, UAV-BS를 효율적으로 배치하는 것이 매우 중요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국 등록 특허 제10-2017390호 (2019.09.02. 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 송신 전력을 최소화하면서 에너지 효율성을 높일수 있도록 UAV-BS를 배치할 수 있는 무인 항공기 기지국 배치 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

[0007] 본 발명의 다른 목적은 제한된 개수의 UAV-BS 각각에 대응하는 클러스터간 간섭을 제거하면서 모든 사용자에 대한 QoS를 보장할 수 있도록 UAV-BS의 3차원 위치를 결정할 수 있는 무인 항공기 기지국 배치 장치 및 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 장치는 기지정된 기법에 따라 서비스가 요구되는 영역에 배치된 사용자의 분포에 따라 최소 클러스터 개수를 설정하는 최소 클러스터 설정부; 상기 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원형의 하나의 초기 타원 클러스터를 설정하고, 이후 설정된 적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 기지정된 방식에 따라 2개로 가상 분할하여, 가상 분할된 클러스터들 사이에 기지정된 방식으로 계산되는 정규화된 거리가 최대가 되는 클러스터만을 실제 분할하며, 분할된 각각의 클러스터의 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원 클러스터를 설정하여, 설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수에 도달할 때까지 반복 수행하는 계층적 클러스터링부; 및 상기 계층적 클러스터링부에서 설정된 다수의 클러스터 각각에서 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS 이상이 되도록 다수의 무인 항공기 기지국(이하 UAV-BS)의 위치를 결정하는 QoS 판별부를 포함한다.

[0009] 상기 계층적 클러스터링부는 설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수이면, 각 클러스터 사이에 중첩되는 간섭 영역이 존재하는지 판별하고, 간섭 영역이 존재하면, 간섭 영역이 포함된 클러스터들의 영역을 상기 최소 클러스터 설정부로 전달하여, 간섭 영역이 포함된 클러스터들의 영역에 대한 최소 클러스터 개수를 다시 획득할 수 있다.

[0010] 상기 계층적 클러스터링부는 가상 분할된 클러스터들 사이의 정규화된 거리를 분할된 클러스터 각각의 중심 사이의 거리를 분할되기 이전 타원 클러스터의 장축 길이로 나누어 계산할 수 있다.

[0011] 적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 k가 2인 k 평균 알고리즘에 따라 2개로 가상 분할할 수 있다.

[0012] 상기 QoS 판별부는 상기 다수의 UAV-BS의 위치를 각각 대응하는 클러스터의 중심으로 설정하고, 중심에 위치하는 UAV-BS로부터 대응하는 클러스터 내에서 가장 먼 위치의 사용자의 신호대 잡음비가 기지정된 기준 신호대 잡음비 이상이 되도록 하는 높이를 판별하여 상기 다수의 UAV-BS 각각의 3차원 위치를 결정하고, 이에 대응하는 최소의 송신 전력을 계산할 수 있다.

[0013] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 방법은 기지정된 기법에 따라 서비스가 요구되는 영역에 배치된 사용자의 분포에 따라 최소 클러스터 개수를 설정하는 단계; 상기 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원형의 하나의 초기 클러스터를 설정하는 단계; 설정된 전체 클러스터 개수가 상기 최소 클러스터 개수에 이상인지 판별하고, 상기 최소 클러스터 개수 미만이면, 상기 최소 클러스터 개수에 도달하도록 기설정된 적어도 하나의 타원 클러스터 각각을 기지정된 방식에 따라 2개로 가상 분할하고,

가상 분할된 클러스터들 사이에 기지정된 방식으로 계산되는 정규화된 거리가 최대가 되는 클러스터만을 실제 분할하며, 분할된 각각의 클러스터의 사용자가 모두 포함되는 최소 크기를 갖는 타원 클러스터를 설정하는 단계; 및 설정된 다수의 클러스터 각각에서 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS 이상이 되도록 다수의 무인 항공기 기지국(이하 UAV-BS)의 위치를 결정하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0014] 따라서, 본 발명의 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 장치 및 방법은 요구되는 클러스터에 개수를 고려하여 다수의 클러스터간에 서로 간섭을 발생하지 않고, 송신 전력을 줄이면서도 모든 사용자의 QoS를 만족할 수 있도록 다수의 UAV-BS를 배치할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 장치의 개략적 구조를 나타낸다.

도 2는 다수의 무인 항공기 기지국의 빔 패턴과 이에 따른 서비스 영역 형상을 나타낸다.

도 3은 도 1의 계층적 클러스터링부가 타원 클러스터링을 수행한 일예를 나타낸다.

도 4는 무인 항공기 기지국과 사용자 사이의 수평 거리에 따른 평균 경로 손실을 나타낸다.

도 5는 무인 항공기 기지국과 사용자 사이의 수직 거리에 따른 평균 경로 손실을 나타낸다.

도 6은 시스템 레벨 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 방법을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 본 발명과 본 발명의 동작상의 이점 및 본 발명의 실시에 의하여 달성되는 목적을 충분히 이해하기 위해서는 본 발명의 바람직한 실시예를 예시하는 첨부 도면 및 첨부 도면에 기재된 내용을 참조하여야만 한다.

[0017] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 설명함으로써, 본 발명을 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0018] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라, 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...기", "모듈", "블록" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 장치의 개략적 구조를 나타내고, 도 2는 다수의 무인 항공기 기지국의 빔 패턴과 이에 따른 서비스 영역 형상을 나타내고, 도 3은 도 1의 계층적 클러스터링부가 타원 클러스터링을 수행한 일예를 나타낸다. 그리고 도 4는 무인 항공기 기지국과 사용자 사이의 수평 거리에 따른 평균 경로 손실을 나타내고, 도 5는 무인 항공기 기지국과 사용자 사이의 수직 거리에 따른 평균 경로 손실을 나타낸다.

[0020] 도 1을 참조하면, 본 실시예에 따른 무인 항공기 기지국(이하 UAV-BS) 배치 장치는 최소 클러스터 설정부(100), 계층적 클러스터링부(200), QoS 판별부(300) 및 UAV-BS 배치부(400)를 포함한다.

[0021] 최소 클러스터 설정부(100)는 UAV-BS를 이용한 서비스가 요구되는 영역에 제공할 최소 클러스터 개수(K_{origin})를 설정한다. 최소 클러스터 설정부(100)는 미리 획득된 사용자 분포에 따라 최소 클러스터 개수(K_{origin})를 설정할 수 있다. 최소 클러스터 설정부(100)는 사용자 분포가 주어지면 기존에 알려진 다양한 기법에 따라 클러스터링하여 최소 클러스터 개수(K_{origin})를 설정할 수 있다. 여기서는 일예로 최소 클러스터 설정부(100)가 사용자 분포를 기초로 실루엣 색인(Silhouette Index)을 사용한 계층적 군집 분석(Hierarchical Clustering)에 따라 클러스터링을 수행하여 최소 클러스터 개수(K_{origin})를 설정하는 것으로 가정한다.

[0022] 계층적 클러스터링부(200)는 최소 클러스터 설정부(100)에 의해 설정된 최소 클러스터 개수(K_{origin})가 될 때까지

사용자 분포를 계층적으로 클러스터를 분할하면서 타원 클러스터링하고, 클러스터링 결과에 기초하여 클러스터가 간섭 영역이 발생되지 않도록 추가적으로 클러스터를 분할하여 최소 클러스터 개수(K_{origin}) 이상의 최적 클러스터 개수 및 최적 클러스터 개수에 따른 클러스터 영역을 판별한다.

[0023] 계층적 클러스터링부(200)는 클러스터링부(210), 클러스터 분할부(220), 분할 클러스터 거리 판별부(230) 및 간섭 영역 판별부(240)를 포함할 수 잇다.

[0024] 클러스터링부(210)는 획득된 사용자 분포를 클러스터링한다. 클러스터링부(210)는 우선 획득된 사용자 분포의 모든 사용자를 포함하는 하나의 초기 클러스터를 설정한다. 이후, 클러스터 분할부(220)에서 클러스터가 분할되고, 분할 클러스터 거리 판별부(230)에서 분할된 클러스터 사이에 계산되는 거리(d)에 따라 클러스터의 개수가 최소 클러스터 개수(K_{origin})에 도달할 때까지 순차적으로 클러스터의 개수를 증가시키면서 반복 클러스터링을 수행한다.

[0025] 여기서는 UAV-BS 각각은 빔 폭을 가변할 수 있는 지향성 안테나가 실장되는 반면, 다수의 사용자 각각의 사용자 단말은 이득이 1인 무지향성 안테나를 포함하는 것으로 가정한다.

[0026] 지향성 안테나가 실장된 UAV-BS가 공중에서 이동하며 지상의 사용자들에 대해 서비스를 제공하는 경우, UAV-BS는 지향성 안테나의 방위각(Azimuth angle)과 상하각(Elevation angle)에 대한 반전력 빔폭(Half Power Beam Width: HPBW)인 3dB 빔 폭을 독립적으로 조절할 수 있으며, 이로 인해 도 2에 도시된 바와 같이, 서비스 영역이 타원형으로 형성될 수 있다. 따라서 클러스터링부(210)는 적어도 하나의 클러스터 각각을 타원형으로 형성한다.

[0027] 이에 클러스터링부(210)는 도 2에 도시된 바와 같이, 적어도 하나의 클러스터 각각을 타원 형태로 형성한다.

[0028] 클러스터링부(210)는 적어도 하나의 클러스터를 설정함에 있어, 수학식 1에 따른 최적화 문제를 통해 사용자 분포에 따른 각 클러스터에 사용자가 모두 포함되는 최소 크기의 타원 클러스터를 획득한다.

수학식 1

[0029] $$\text{minimize}_{A,\,b}\ \log\det A^{-1}$$

$$\text{s.t}\ \|Ax-b\|_2 \le 1\ (\forall x \in \text{Cluster})$$

[0030] 여기서 $\|\ \|_2$는 L2-놈 함수이고, A는 타원의 2차원 행렬, b는 벡터값, x는 해당 클러스터 포함되는 사용자 분포로서 $\|Ax-b\|_2$는 타원을 나타내는 식이다. 그리고 $\det A^{-1}$은 타원의 넓이를 나타낸다.

[0031] 즉 클러스터링부(210)는 사용자 분포로부터 동일 클러스터에 클러스터링되어야 하는 모든 사용자가 포함되는 최소 크기의 타원 형상을 획득하여 클러스터링을 수행한다.

[0032] 클러스터 분할부(220)는 상기한 바와 같이, 클러스터링부(210)에서 클러스터링되어 획득된 적어도 하나의 클러스터 각각을 기지정된 방식으로 클러스터로 분할한다. 여기서 클러스터 분할부(220)는 일예로 적어도 하나의 클러스터 각각을 k = 2로 설정된 k 평균 알고리즘(k-means algorithm)에 따라 2개의 클러스터로 분할할 수 있다.

[0033] 분할 클러스터 거리 판별부(230)는 적어도 하나의 클러스터 각각에서 분할된 2개의 클러스터 사이의 정규화된 거리(d)를 수학식 2에 따라 계산한다.

수학식 2

[0034] $$d = \frac{\text{나뉜 두 클러스터의 각 중심 사이의 거리}}{\text{타원의 장축의 길이}}$$

[0035] 즉 분할 클러스터 거리 판별부(230)는 분할된 두 개의 클러스터의 중심 간의 거리를 분할되기 이전 타원 클러스

터의 장축 길이로 나누어 정규화된 거리(d)를 획득한다.

[0036] 분할 클러스터 거리 판별부(230)는 분할된 클러스터간 거리(d)가 계산되면, 적어도 하나의 클러스터 각각에 대해 계산된 분할된 클러스터간 거리(d) 중 가장 큰 값을 갖는 분할되기 이전 클러스터를 판별하고, 판별된 클러스터를 클러스터 분할부(220)로 통지한다.

[0037] 이에 클러스터 분할부(220)는 분할 클러스터 거리 판별부(230)에서 판별된 클러스터만을 2개의 타원 형태의 클러스터로 분할하고, 나머지 클러스터는 이전 클러스터링부(210)에서 클러스터링된 상태로 복원시킨다.

[0038] 클러스터링부(210)는 클러스터 분할부(220)에서 분할된 클러스터의 사용자가 모두 포함되는 최소 크기의 타원 형상을 다시 수학식 1에 따라 획득하여 클러스터링을 수행한다. 즉 클러스터링부(210)에서 획득된 적어도 하나의 클러스터는 클러스터 분할부(220)와 분할 클러스터 거리 판별부(230)를 거치면서 1개씩 클러스터가 증가된다.

[0039] 클러스터링부(210)는 클러스터 분할부(220)와 분할 클러스터 거리 판별부(230)를 거치면서 1개씩 증가된 클러스터의 개수가 기지정된 최소 클러스터 개수(K_{origin})에 도달하는지 판별하고, 클러스터의 개수가 최소 클러스터 개수(K_{origin})에 도달하면, 각 클러스터의 영역을 간섭 영역 판별부(240)로 전달한다.

[0040] 간섭 영역 판별부(240)는 클러스터링부(210)에서 전달되는 클러스터들의 영역을 분석하여, 클러스터 영역이 중첩되는 간섭 영역이 존재하는지 판별한다. 클러스터 영역이 중첩되는 영역은 서로 다른 다수의 UAV-BS가 동일한 사용자에게 중복으로 서비스를 제공하게 되어 상호 간섭이 발생할 수 있다. 이러한 간섭을 발생하는 것을 방지하기 위해, 간섭 영역 판별부(240)는 간섭 영역에 대응하는 다수의 클러스터 정보를 클러스터링부(210)로 전달하고, 클러스터링부(210)는 간섭 영역 판별부(240)에서 간섭이 발생된 것으로 판별된 클러스터들의 합집합을 최소 클러스터 설정부(100)로 전달하여, 최소 클러스터 설정부(100)가 클러스터들의 합집합에 해당하는 영역에 대해 다시 최소 클러스터 개수를 설정하도록 한다.

[0041] 즉 계층적 클러스터링부(200)는 서비스가 제공되어야 하는 모든 사용자가 포함되는 최소 크기의 타원을 판별하여 하나의 초기 클러스터를 설정한 이후, 설정된 적어도 하나의 클러스터 중 2개로 분할시 분할된 클러스터간 거리가 최대가 클러스터만을 실제로 분할하여 클러스터링하여 클러스터의 개수를 기지정된 최소 클러스터 개수(K_{origin})가 될 때까지 순차적으로 증가시키고, 클러스터의 개수를 최소 클러스터 개수(K_{origin})에 도달하면 클러스터간 간섭 영역을 분석하여, 간섭 영역이 발생된 클러스터들에 대해 다시 최소 클러스터 개수를 설정하여 유사한 방식으로 반복 분할함으로써, 클러스터간 간섭 영역이 발생되지 않을 때까지 클러스터의 개수를 증가시킬 수 있다.

[0042] 결과적으로 계층적 클러스터링부(200)는 도 3에 도시된 바와 같이, 서로 사용자가 서로 중첩되지 않는 최소 클러스터 개수(K_{origin}) 이상으로 다수의 타원형 클러스터로 클러스터링을 수행할 수 있다.

[0043] 계층적 클러스터링부(200)에서 최소 클러스터 개수(K_{origin}) 이상으로 다수의 클러스터가 획득되면, QoS 판별부(300)는 계층적 클러스터링부(200)에서 획득된 클러스터 영역 각각에 UAV-BS가 위치할 때, 각 클러스터에서 최외곽에 배치된 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS를 만족시키도록 UAV-BS의 높이를 결정한다.

[0044] QoS 판별부(300)는 우선 다수의 클러스터 각각의 중심에 UAV-BS를 위치시키고, UAV-BS의 위치에서 해당 클러스터의 최외곽에 위치하는 사용자의 QoS가 기준 QoS를 만족시키도록 하는 최소 송신 전력을 계산한다.

[0045] 도 2에서는 UAV-BS의 지향성 안테나의 방위각($2^{\Theta_1} \in (0, \pi)$)과 상하각($2^{\Theta_2} \in (0, \pi)$)에 따른 반전력 빔폭(HPBW)에 대한 빔 패턴과 서비스 영역의 형상을 나타내며, 이때 UAV-BS의 지향성 안테나의 안테나 이득(G)은 수학식 3으로 주어질 수 있다.

수학식 3

[0046]
$$G = \begin{cases} \dfrac{G_0}{\theta\phi} & (|\theta| \le \Theta_1,\ |\phi| \le \Theta_2) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

[0047] 여기서 Θ와 Φ는 각각 각도법으로 표현된 방위각과 고도각을 나타내고, G_0는 초기 안테나 이득으로 대략 30000(G_0 ?? 30000)으로 가정한다.

[0048] 그리고 지상의 다수의 사용자 중 n번째 사용자와 다수의 UAV-BS 중 m번째 UAV-BS 사이의 경로 손실(Path-Loss)($PL_n^{(m)}$)은 가시선(LoS) 링크와 비가시선(NLoS) 링크로 구분되어 수학식 4와 같이 계산될 수 있다.

수학식 4

[0049]
$$PL_n^{(m)} = \begin{cases} FSPL_n^{(m)} + E_{LoS} - G_m & (\text{LoS}) \\ FSPL_n^{(m)} + E_{NLoS} - G_m & (\text{NLoS}) \end{cases} \quad [\text{dB}]$$

[0050] 여기서 $FSPL_n^{(m)}$ 은 n번째 사용자와 m번째 UAV-BS 사이의 자유 공간 경로 손실(Free-Space Path Loss)를 나타내고, E_{LoS}와 E_{NLoS}는 각각 환경에 의한 가시선 및 비가시선 링크의 추가 경로 손실을 나타내며, G_m 은 수학식 3으로 계산되는 m번째 UAV-BS의 이득을 나타낸다.

[0051] 수학식 4로부터 m번째 UAV-BS에서 n번째 사용자로의 평균 경로 손실($\overline{PL_n}^{(m)}$)은 수학식 5와 같이 유도될 수 있다.

수학식 5

[0052]
$$\overline{PL_n}^{(m)} = 10^{\frac{FSPL_n^{(m)} - G_m}{10}} \left(P_{n,LoS}^{(m)} \, 10^{\frac{E_{LoS}}{10}} + P_{n,NLoS}^{(m)} \, 10^{\frac{E_{NLoS}}{10}} \right)$$

[0053] 여기서 $PL_{n,LoS}^{(m)}$ 와 $PL_{n,LoS}^{(m)}$ 는 각각 m번째 UAV-BS에서 n번째 사용자로의 링크가 가시선일 확률과 비가시선일 확률을 나타낸다.

[0054] $PL_{n,LoS}^{(m)}$ 와 $PL_{n,LoS}^{(m)}$ 및 $FSPL_n^{(m)}$ 은 모두 m번째 UAV-BS의 높이(h_m)와 m번째 UAV-BS에서 n번째 사용자 사이의 수평 거리($r_n^{(m)}$)에 대한 함수 이므로, 평균 경로 손실($\overline{PL_n}^{(m)}$) 또한 높이(h_m)와 수평 거리($r_n^{(m)}$)에 대한 함수 함수로 볼 수 있다.

[0055] 그리고 상기에서는 계층적 클러스터링부(200)가 다수의 클러스터 사이에 중첩되는 간섭 영역이 없도록 클러스터링을 수행하는 것으로 설명하였다. 따라서 수학식 6과 같이 m번째 UAV-BS에 대응하는 m번째 클러스터에 포함된 n번째 사용자에 대한 신호대 잡음비(SNR)($\zeta_n^{(m)}$)가 기지정된 기준 신호대 잡음비(ζ_{th}) (기준 QoS) 이상이 되는지 판별한다.

수학식 6

[0056]
$$\zeta_n^{(m)} = \frac{P_{r,n}^{(m)}}{\sigma^2} \geq \zeta_{th}$$

[0057] 여기서 $P_{r,n}^{(m)}$ 은 n번째 사용자가 m번째 UAV-BS로부터 수신한 수신 전력으로, $P_{r,n}^{(m)} = \frac{P_{t,m}}{\overline{PL_n}^{(m)}}$ 로 계산되고, $P_{t,m}$

은 m번째 UAV-BS의 송신 전력을 나타내며, σ^2 는 잡음 세기를 나타낸다.

[0058] QoS 판별부(300)는 판별된 최외곽 사용자의 신호대 잡음비($\zeta_n^{(m)}$)가 기준 신호대 잡음비(ζ_{th}) 이상이 되도록 타원형 클러스터의 중심에 배치된 UAV-BS의 높이를 조절한다.

[0059] QoS 판별부(300)가 최외곽에 위치하는 n번째 사용자의 QoS를 계산하는 것은 도 4에 도시된 바와 같이, UAV-BS로부터 사용자 사이의 수평 거리가 멀어질수록 경로 손실이 커지기 때문이다. 그리고 UAV-BS로부터 사용자 사이의 수평 거리가 고정된 경우, 도 5에 도시된 바와 같이, UAV-BS의 높이에 따라 경로 손실이 최소화되는 높이가 존재한다. 이에 QoS 판별부(300)는 도 5를 기초로 미리 저장된 환경 및 높이별 경로 손실에 기초하여 획득된 타원 클러스터의 영역을 커버할 수 있으며 경로 손실이 최소화되는 높이를 결정할 수 있다. 즉 QoS 판별부(300)는 다수의 클러스터 각각에 대응하는 다수의 UAV-BS 각각의 3차원 위치를 결정할 수 있다.

[0060] 또한 QoS 판별부(300)는 다수의 UAV-BS 각각에 요구되는 최소 요구 송신 전력($P_{req,m}$)을 수학식 7에 따라 획득한다.

수학식 7

[0061] $$P_{req,m} = P_{th,e}^{(m)} + \min(\overline{PL_e}^{(m)})$$

[0062] 여기서 $P_{th,1}^{(m)}$ 는 클러스터의 최외곽 사용자가 QoS를 보장받기 위한 최소 송신 전력을 나타내고, $\min(\overline{PL_e}^{(m)})$은 결정된 UAV-BS의 높이에 따른 최소 경로 손실을 나타낸다.

[0063] 도 6은 시스템 레벨 시뮬레이션 결과를 나타내고, 표 1은 클러스터링 방식에 따른 전체 송신 전력과 사용자들에 대한 지원 비율을 나타낸다.

[0064] 도 6은 본 발명에 따른 타원 클러스터링을 수행한 경우를 기존의 서클 패킹(Circle-Packing) 알고리즘에 따라 클러스터링을 수행한 결과를 나타내며, 여기서는 대역폭이 20MHz인 경우를 가정하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.

표 1

[0065]

클러스터링 방법	전체 송신 전력	전체 사용자 지원 비율
Circle-Packing (9 UAVs)	44 mW	0.69
Circle-Packing (7 UAVs)	52 mW	0.85
완전 탐색 (9 UAVs)	18 mW	1
타원 클러스터링 (9 UAVs)	22 mW	1

[0066] 표 1과 도 6을 살펴보면, 완전 탐색 클러스터링 기법의 경우, 모든 사용자에 대해 서비스를 지원할 수 있을 뿐만 아니라 최소 전력 소모를 달성할 수 있으나, 휴리스틱 기법에 따라 클러스터링을 수행해야 하므로, 현실적으로 시스템에 적용이 어렵다는 문제가 있다. 그러나 본 실시예에 따른 타원 클러스터링 기법은 9개의 UAV-BS를 이용할 때, 모든 사용자에 대해 지원이 가능할 뿐만 아니라, 송신 전력 측면에서도 완전 탐색 클러스터링 기법과 유사하게 매우 적은 전력을 요구함을 알 수 있다. 그에 반해 서클 패킹 클러스터링 기법은 모든 사용자에 대해 서비스를 지원할 수 없을 뿐만 아니라 전력 소모가 2배 이상으로 크다.

[0067] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 무인 항공기 기지국 배치 방법을 나타낸다.

[0068] 도 1 내지 도 6을 참조하여, 도 7의 무인 항공기 기지국 배치 방법을 설명하면, 미리 획득된 사용자 분포에 따라 서비스가 요구되는 영역에 제공할 최소 클러스터 개수(K_{origin})를 설정한다(S11). 여기서 최소 클러스터 개수(K_{origin})는 사용자 분포를 기초로 실루엣 색인을 사용한 계층적 군집 분석 기법으로 획득될 수 있다.

[0069] 최소 클러스터 개수(K_{origin})가 설정되면, 하나의 초기 클러스터로부터 타원 클러스터링을 수행한다(S12). 여기서 타원 클러스터링은 현재 지정된 클러스터 개수에 따른 각 클러스터에 모든 사용자가 포함되는 최소 크기의 클러스터를 타원 형태로 획득하여 수행된다.

[0070] 타원 클러스터링이 수행되어 적어도 하나의 클러스터가 획득되면, 획득된 적어도 하나의 클러스터 각각을 기지정된 방식에 따라 가상으로 분할한다(S13). 여기서 적어도 하나의 클러스터 각각은 2개로 분할될 수 있으며, k가 2인 k 평균 알고리즘에 따라 분할될 수 있다.

[0071] 적어도 하나의 클러스터 각각이 2개의 클러스터로 가상 분할되면, 분할된 2개의 가상 클러스터 사이의 정규화된 거리를 기지정된 방식으로 계산하여 판별한다(S14). 그리고 판별된 거리 중 최대 거리를 갖는 클러스터를 판별하여, 최대 거리로 분할된 클러스터에 대해서는 실제로 분할하는 반면 나머지 가상 분할된 클러스터는 실제 분할하지 않는다(S15).

[0072] 최대 거리를 갖는 클러스터가 실제 분할되어 전체 클러스터의 개수가 증가되면, 증가된 클러스터 개수가 기설정된 최소 클러스터 개수(K_{origin}) 이상인지 판별한다(S16). 만일 최소 클러스터 개수(K_{origin}) 미만이면, 다시 분할된 클러스터의 모든 사용자가 포함되는 최소 크기의 타원 형태를 판별하여 타원 클러스터링을 수행한다(S12). 그러나 최소 클러스터 개수(K_{origin}) 이상이면, 현재 획득된 다수의 타원 클러스터 사이에 중첩 영역인 간섭 영역이 존재하는지 판별한다(S17).

[0073] 만일 간섭 영역이 존재하면, 간섭 영역이 존재하는 모든 클러스터를 선택한다(S18). 그리고 해당 클러스터의 합 집합에 대응하는 영역에 대해 다시 최소 클러스터 개수(K_{origin})를 설정한다(S11). 즉 해당 클러스터의 합 집합에 대응하는 영역에 대해 다시 타원 클러스터링을 수행한다.

[0074] 그러나 간섭 영역이 존재하지 않으면, 획득된 다수의 타원 클러스터 각각의 중심에 UAV-BS가 배치되는 경우를 가정하여, 각 타원 클러스터의 최외곽, 즉 중심에 배치된 UAV-BS로부터 가장 먼 위치의 사용자의 QoS가 기지정된 기준 QoS를 만족하도록 하는 UAV-BS의 높이를 도 5의 결과를 이용하여 조절한다(S19). 여기서 UAV-BS의 높이는 획득된 타원 클러스터의 영역을 커버할 수 있으며 경로 손실이 최소화되는 높이로 설정될 수 있다.

[0075] 그리고 결정된 UAV-BS 위치 및 높이로 획득된 타원 클러스터의 개수에 대응하는 개수의 UAV-BS가 배치되도록 제어한다(S20).

[0076] 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행시키기 위한 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로 구현될 수 있다. 여기서 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스 될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 또한 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함하며, ROM(판독 전용 메모리), RAM(랜덤 액세스 메모리), CD(컴팩트 디스크)-ROM, DVD(디지털 비디오 디스크)-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광데이터 저장장치 등을 포함할 수 있다.

[0077] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다.

[0078] 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0079] 100: 최소 클러스터 설정부 200: 계층적 클러스터링부

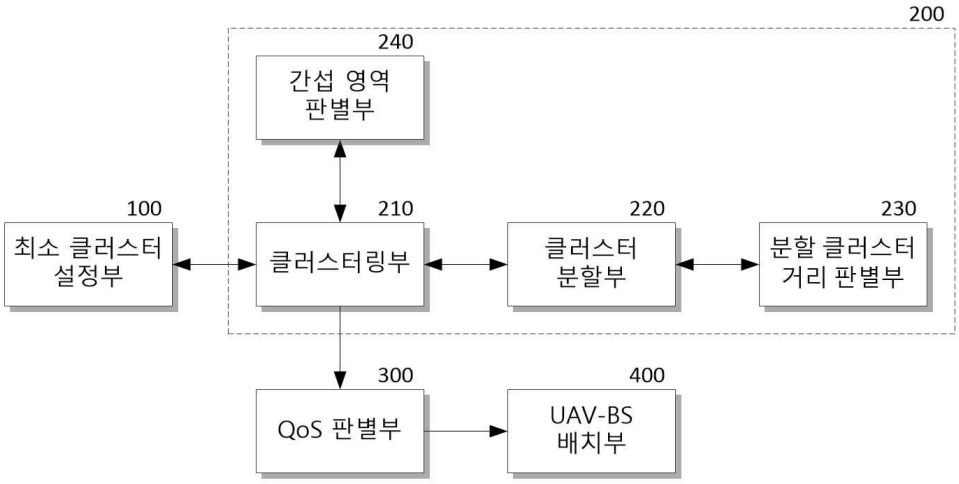
210: 클러스터링부 220: 클러스터 분할부

230: 분할 클러스터 거리 판별부 240: 간섭 영역 판별부

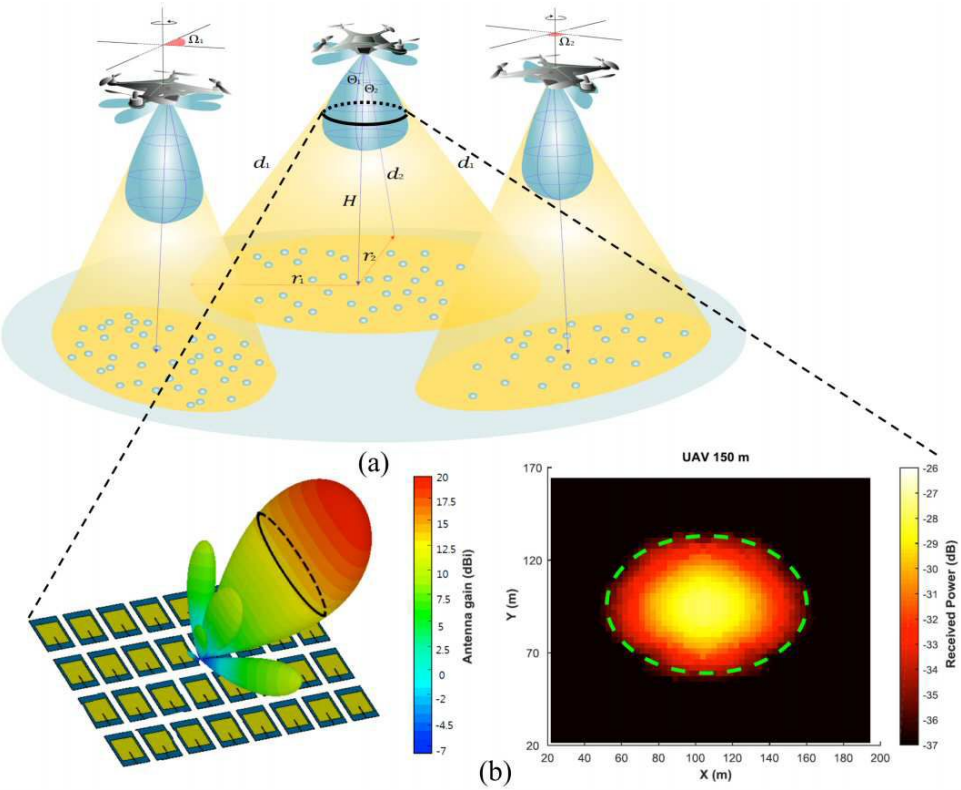
300: QoS 판별부 400: UAV-BS 배치부

도면

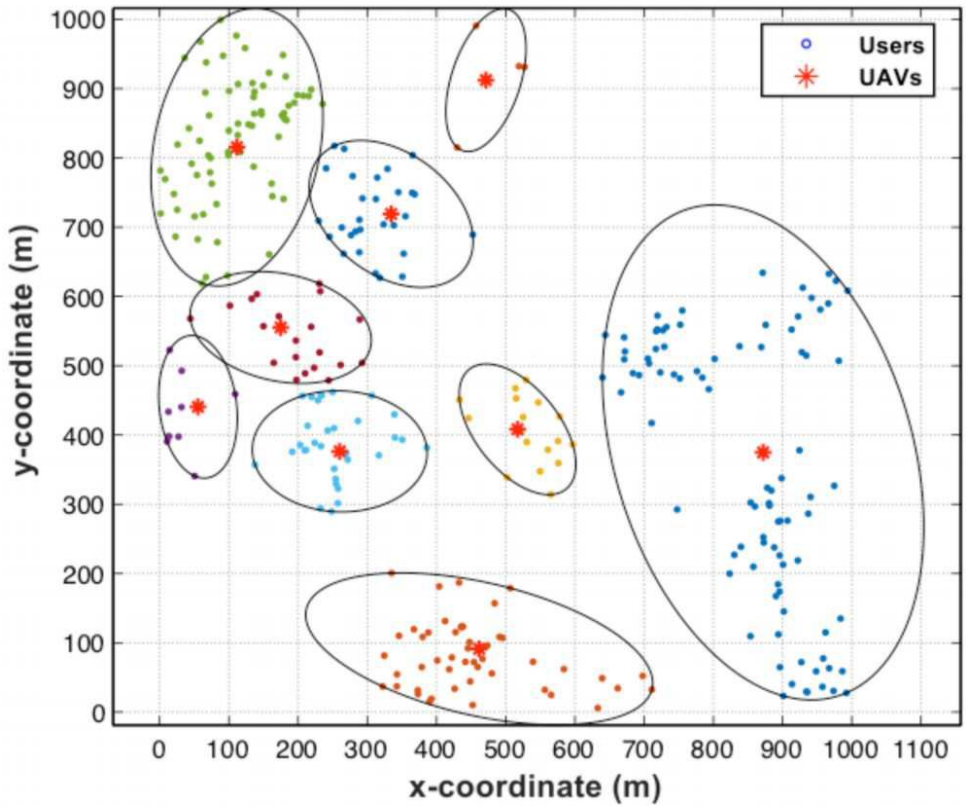
도면1


200
240
간섭 영역
판별부
100
최소 클러스터
설정부
210
클러스터링부
220
클러스터
분할부
230
분할 클러스터
거리 판별부
300
QoS 판별부
400
UAV-BS
배치부

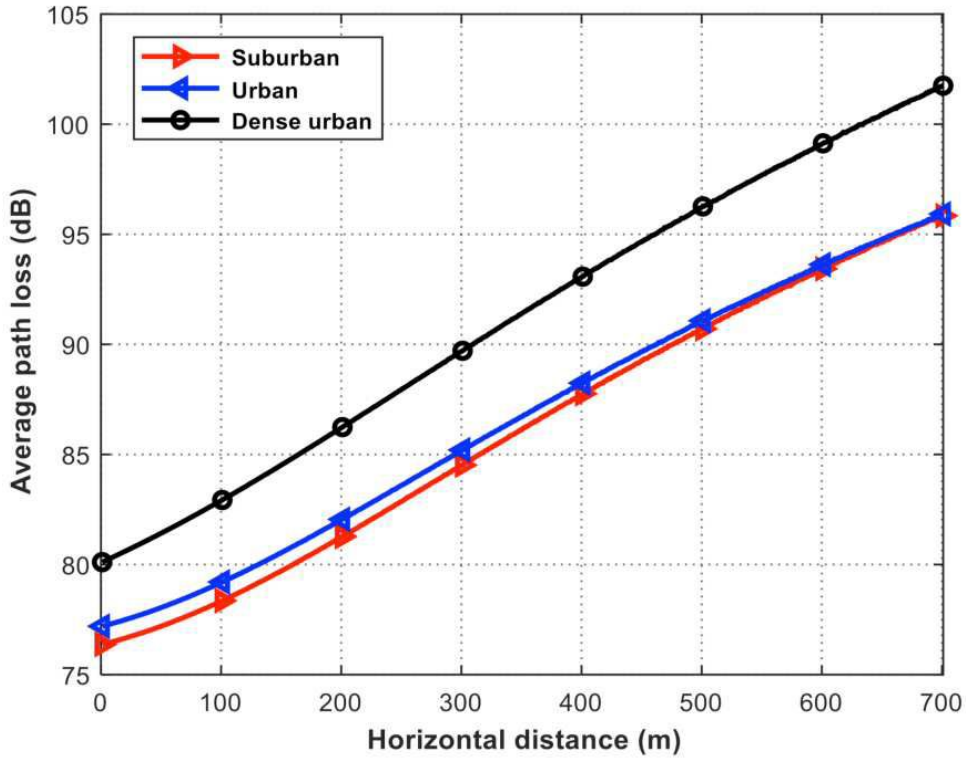
도면2


(a)
(b)
UAV 150 m
Antenna gain (dBi)
Received Power (dB)
X (m)
Y (m)

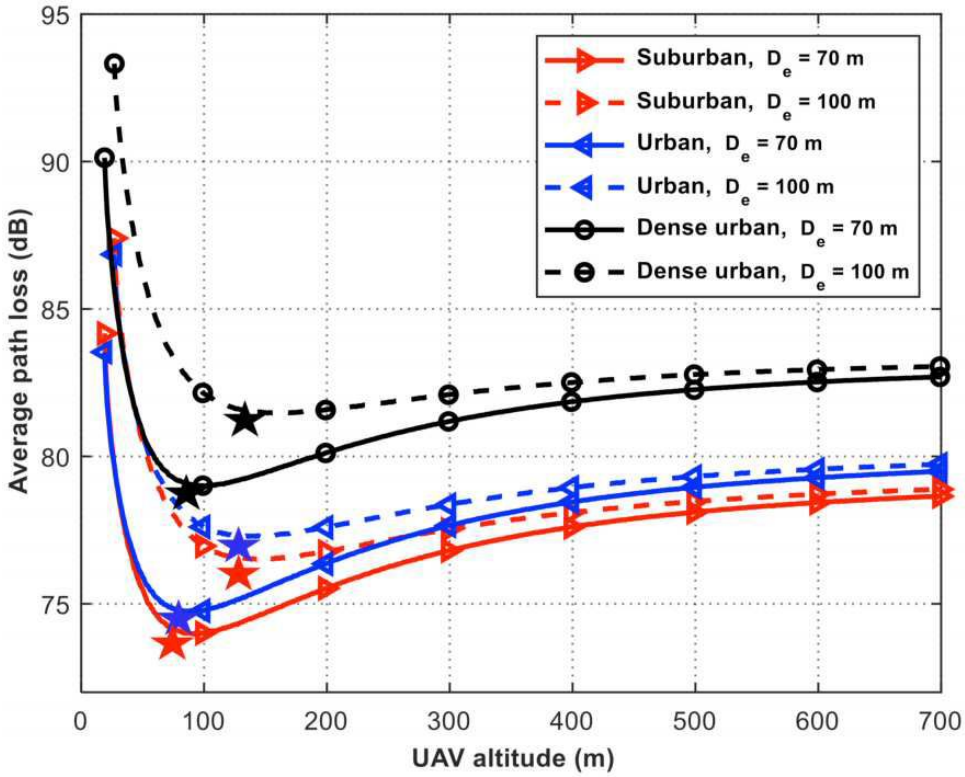
도면3


Users
UAVs
y-coordinate (m)
x-coordinate (m)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100

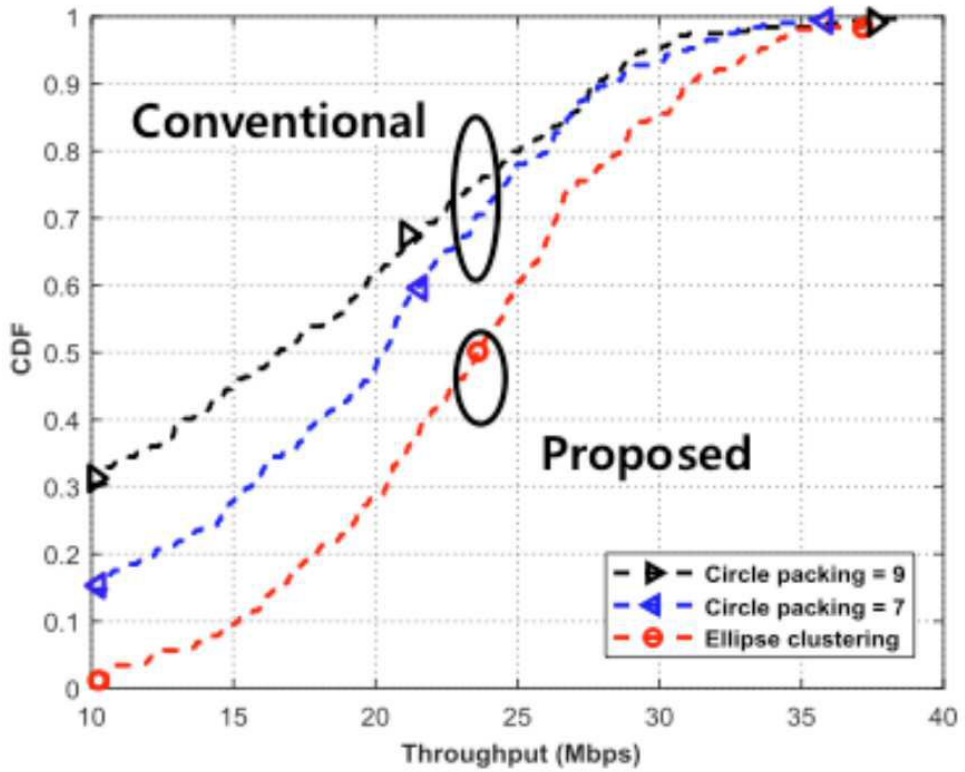
도면4


Suburban
Urban
Dense urban
Average path loss (dB)
Horizontal distance (m)
75
80
85
90
95
100
105
0
100
200
300
400
500
600
700

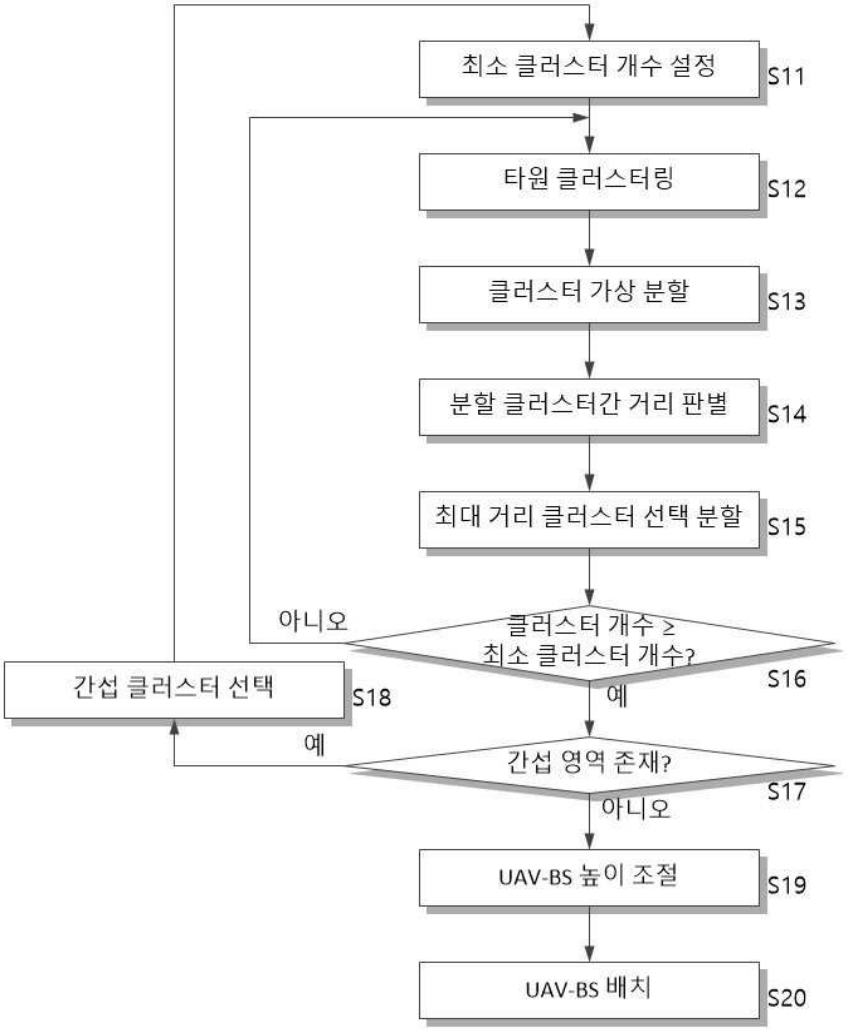
도면5


Suburban, D_e = 70 m
Suburban, D_e = 100 m
Urban, D_e = 70 m
Urban, D_e = 100 m
Dense urban, D_e = 70 m
Dense urban, D_e = 100 m
Average path loss (dB)
UAV altitude (m)
95
90
85
80
75
0
100
200
300
400
500
600
700

도면6


Conventional
Proposed
Circle packing = 9
Circle packing = 7
Ellipse clustering
CDF
Throughput (Mbps)
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
10
15
20
25
30
35
40

도면7


최소 클러스터 개수 설정
S11
타원 클러스터링
S12
클러스터 가상 분할
S13
분할 클러스터간 거리 판별
S14
최대 거리 클러스터 선택 분할
S15
클러스터 개수 ≥
최소 클러스터 개수?
S16
아니오
예
간섭 영역 존재?
S17
예
아니오
간섭 클러스터 선택
S18
UAV-BS 높이 조절
S19
UAV-BS 배치
S20