



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년01월31일  
(11) 등록번호 10-2492736  
(24) 등록일자 2023년01월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H02J 50/50 (2016.01) B60L 53/38 (2019.01)  
B64C 39/02 (2023.01) G06Q 50/06 (2012.01)  
H02J 50/10 (2016.01) H02J 50/40 (2016.01)  
H02J 50/80 (2016.01) H04B 5/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H02J 50/50 (2016.02)  
B60L 53/38 (2019.02)

(21) 출원번호 10-2020-0144467

(22) 출원일자 2020년11월02일

심사청구일자 2020년11월02일

(65) 공개번호 10-2022-0059184

(43) 공개일자 2022년05월10일

(56) 선행기술조사문헌

KR101840473 B1\*

JP2018177135 A\*

KR101973148 B1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

제주대학교 산학협력단

제주특별자치도 제주시 제주대학로 102 (아라일동, 제주대학교)

(72) 발명자

김중현

서울특별시 동작구 상도로 346-2, 212동201호(상도동, 상도엠코타운 에스토폰파크)

박수현

인천광역시 연수구 송도문화로28번길 28, 103동 1402호 (송도동, 송도글로벌캠퍼스푸르지오)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤귀상

전체 청구항 수 : 총 11 항

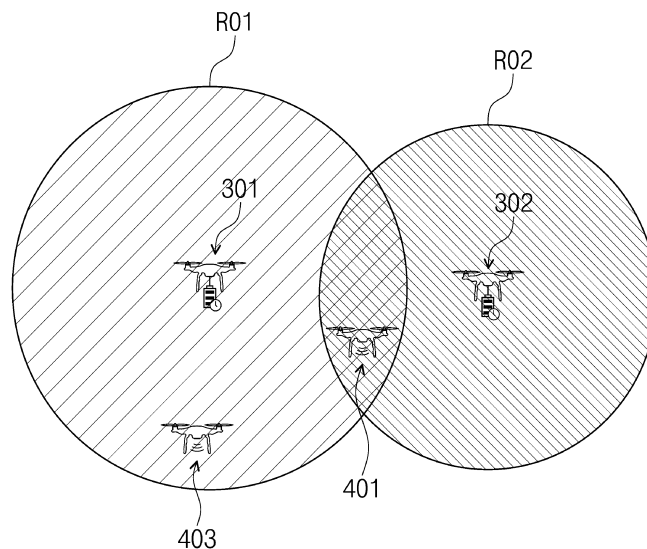
심사관 : 김상철

(54) 발명의 명칭 드론 기반 네트워크 통신서비스 시스템 및 이를 이용한 통신서비스 확장방법

(57) 요약

본 발명은 무인기 기반 네트워크 통신서비스 시스템 및 통신서비스 확장방법에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 드론 기반의 네트워크 통신서비스를 제공하기 위한 적어도 하나 이상의 MBS(Mobile Base Station)드론; MBS드론에게 전력을 제공하는 적어도 하나 이상의 충전드론; 충전드론이 MBS드론에게 전력을 제공할 수 있도록 충전드론을 충전시켜주는 적어도 하나 이상의 충전스테이션; 및 MBS드론, 충전드론 및 충전스테이션을 관리하는 관리서버;를 포함하므로, 드론기반 네트워크 통신서비스의 제공시간과 제공범위를 확장시킬 수 있는 기술이 개시된다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

*B64C 39/024* (2023.01)  
*B64U 50/34* (2023.01)  
*G06Q 50/06* (2013.01)  
*H02J 50/10* (2016.02)  
*H02J 50/40* (2016.02)  
*H02J 50/80* (2016.02)  
*H04B 5/0037* (2013.01)  
*B60L 2200/10* (2013.01)

(72) 발명자

**박승훈**

경기도 구리시 장자대로37번길 20, 203동 403호 (교문동, 교문(대우, 동양고속)아파트)

**최민석**

제주특별자치도 제주시 제주대학로 102,아라인빌 E동 309호(아라일동)

**신원용**

서울특별시 서대문구 성산로 371, 현대싱그런아파트 102동 102호(연희동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711120082
과제번호	2018-0-00170
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D)
연구과제명	이동체간 가상현실을 위한 5G 이동통신 기술 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2021.05.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

드론 기반의 네트워크 통신서비스를 제공하기 위한 모바일 기지국 역할을 임의의 위치에서 수행하는 복수개의 MBS(Mobile Base Station)드론;

상기 MBS드론이 충전할 수 있도록 상기 MBS드론에게 전력을 제공하는 복수개의 충전드론;

상기 충전드론을 충전시켜주는 적어도 하나 이상의 충전스테이션; 및

상기 충전드론이 충전할 수 있도록 상기 충전스테이션과 상기 충전드론을 매칭시켜주며, 상기 MBS드론을 공통적으로 충전할 복수개의 상기 충전드론을 선정하고, 상기 복수개의 충전드론 각각의 전력제공가능범위를 확인하고, 상기 MBS드론에 대한 충전 시 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 다른 상기 MBS드론의 개수에 따라 상기 충전되어야 할 상기 MBS드론에게 제공할 제공전력량을 개별적으로 지정하여 주는 관리서버;를 포함하고,

상기 관리서버는,

상기 복수개의 충전드론의 상기 전력제공가능범위를 확인하였을 때, 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 단수개인 경우에는 상기 충전드론이 상기 MBS드론에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 주고,

상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 복수개인 경우에는 상기 MBS드론을 충전할 수 있는 다른 충전드론과의 전력제공가능범위 내의 다른 충전드론의 개수에 따라 상대적으로 지정하여 주는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 충전드론은 전력제공을 위하여 하나의 상기 충전스테이션과 연결되어 충전되며, 하나의 상기 충전스테이션에는 적어도 하나 이상의 충전드론이 매칭되어 동시에 전력수급이 가능하도록 연결되어 상기 충전드론이 충전될 수 있는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서

상기 충전스테이션에서 충전되는 상기 충전드론은,

상기 충전드론이 완전히 충전되었을 때 갖는 전력의 양(capacity)과 상기 충전드론이 충전시 갖고 있는 잔여 전력의 양과의 차이만큼 상기 충전스테이션으로부터 전력을 공급받아 충전되는 것을 특징으로 하는

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

## 청구항 5

제 4항에 있어서

상기 관리서버는,

상기 충전드론이 상기 충전스테이션으로부터 전력을 공급받아 충전되는 양이 최대가 되도록 상기 충전드론과 상기 충전스테이션을 매칭시켜주는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

## 청구항 6

제 5항에 있어서,

하나의 상기 MBS드론에 대하여 복수개의 상기 충전드론이 동시에 전력을 공급하여 상기 MBS드론이 충전될 수 있는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

## 청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 관리서버는,

어느 하나의 상기 충전드론이 어느 하나의 상기 MBS드론에게로 이동하기에 이동소요전력량이 충분하지 않은 경우 상기 어느 하나의 충전드론과 상기 어느 하나의 MBS드론을 매칭시키지 않는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

## 청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 MBS드론은,

리아프노브 콘트롤(Lyapunov control)을 이용하여 에너지효율과 큐 안정성(queue stability) 사이의 트레이드오프(trade-off)를 조절하는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 시스템.

## 청구항 9

MBS(Mobile Base Station)드론, 충전드론, 충전스테이션 및 관리서버를 포함하는 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 이용한 통신서비스의 확장방법으로서,

상기 관리서버가 충전이 요구되는 상기 충전드론을 상기 충전스테이션에 매칭시켜주는 충전매칭단계;

상기 충전드론이 상기 충전매칭단계에서 매칭된 상기 충전스테이션으로 이동하여 상기 충전스테이션에서 전력을 제공받아 충전되는 충전드론충전단계;

상기 관리서버가 충전이 요구되는 상기 MBS드론에게 전력을 제공하기 위하여 상기 충전드론충전단계에서 충전된 하나 또는 복수개의 상기 충전드론을 매칭시켜주되, 상기 MBS드론을 공통적으로 충전할 복수개의 상기 충전드론을 선정하고, 상기 복수개의 충전드론 각각의 전력제공가능범위를 확인하고, 상기 MBS드론에 대한 충전 시 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 다른 상기 MBS드론의 개수에 따라 상기 충전되어야 할 상기 MBS드론에게 제공할 전력량을 개별적으로 지정하여 주는 드론매칭단계; 및

상기 드론매칭단계에서 상기 MBS드론이 매칭받은 상기 충전드론으로부터 각기 상기 지정된 전력량을 제공받아 충전하는 MBS드론충전단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는,  
드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법.

#### 청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 드론매칭단계에서,

상기 관리서버는, 상기 복수개의 충전드론의 상기 전력제공가능범위를 확인하였을 때, 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 단수개인 경우에는 상기 충전드론이 상기 MBS드론에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 주고,

상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 복수개인 경우에는 상기 MBS드론을 충전할 수 있는 다른 충전드론과의 전력제공가능범위 내의 다른 충전드론의 개수에 따라 상대적으로 지정하여 주는 것을 특징으로 하는 드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법.

#### 청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 드론매칭단계에서 상기 관리서버는,

어느 하나의 상기 충전드론이 어느 하나의 상기 MBS드론에게로 이동하기에 전력이 충분하지 않은 경우 상기 어느 하나의 충전드론과 상기 어느 하나의 MBS드론을 매칭시키지 않는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법.

#### 청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 MBS드론충전단계에서 충전된 상기 MBS드론은,

리아프노브 콘트롤(Lyapunov control)을 이용하여 에너지효율과 큐 안정성(queue stability) 사이의 트레이드오프(trade-off)를 조절하는 것을 특징으로 하는,

드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 드론을 기반으로 하여 네트워크 통신서비스를 제공하는 시스템 및 통신서비스 확장방법에 관한 것으로서 보다 상세하게는 드론을 통한 통신서비스의 제공시간과 제공범위를 확장시켜줄 수 있는 통신서비스 시스템 및 확장방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 현대의 셀룰러 네트워크(cellular network)에서는 모바일 기지국(MBS)을 이용한 네트워크 구축을 통해 유연한 통신환경을 제공하기 위한 기술이 언급되고 있으며, 이에 관련되는 다양한 연구가 진행되고 있다.

[0003] 차량과 드론이 모바일 및 네트워크 컴퓨팅 시스템으로 널리 사용되고 있으며, 무인항공기 즉 드론의 경우 차량이 접근하기 어려운 극한 지역의 환경에서도 운행이 가능하다는 장점이 있기 때문에 셀룰러 네트워크 용량의 개선이나 셀룰러 서비스 적용 범위의 확대를 목적으로 드론을 사용하는 연구가 이루어지고 있다.

[0004] 무인항공기인 드론의 경우 작동을 위한 전기에너지원을 꾸준히 공급받을 수 있는 연결이 이루어지기 곤란하기 때문에 배터리를 작동을 위한 에너지원으로서 이용하고 있으나, 이러한 배터리에는 전기에너지 용량상의 한계가 존재하고 있다. 따라서 종래에는 이러한 배터리의 전기에너지 용량상의 한계로 인하여 드론기반의 네트워크 통신서비스를 제공함에 있어서 제공가능한 시간이나 제공가능한 영역이 상당히 제한될 수 밖에 없는 문제점이 있었으며 이러한 문제점을 해결할 수 있는 기술이 요구되고 있었다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2019-0138294호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 상기한 바와 같은 종래의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 드론기반의 네트워크 통신서비스의 제공시간과 제공범위를 확장시켜줄 수 있는 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템 및 이를 이용한 통신서비스 확장방법을 제공함에 있다.

### 과제의 해결 수단

[0007] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템은, 드론 기반의 네트워크 통신서비스를 제공하기 위한 모바일 기지국 역할을 임의의 위치에서 수행하는 복수개의 MBS(Mobile Base Station)드론; 상기 MBS드론이 충전할 수 있도록 상기 MBS드론에게 전력을 제공하는 복수개의 충전드론; 상기 충전드론을 충전시켜주는 적어도 하나 이상의 충전스테이션; 및 상기 충전드론이 충전할 수 있도록 상기 충전스테이션과 상기 충전드론을 매칭시켜주며, 상기 MBS드론을 공통적으로 충전할 복수개의 상기 충전드론을 선정하고, 상기 복수개의 충전드론 각각의 전력제공가능범위를 확인하고, 상기 MBS드론에 대한 충전시 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 다른 상기 MBS드론의 개수에 따라 상기 충전되어야 할 상기 MBS드론에게 제공할 제공전력량을 개별적으로 지정하여 주는 관리서버;를 포함하는 것을 하나의 특징으로 할 수도 있다.

[0008] 여기서, 상기 관리서버는, 상기 복수개의 충전드론의 상기 전력제공가능범위를 확인하였을 때, 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 단수개인 경우에는 상기 충전드론이 상기 MBS드론에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 주고, 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 복수개인 경우에는 상기 MBS드론을 충전할 수 있는 다른 충전드론과의 전력제공가능범위 내의 다른 충전드론의 개수에 따라 상대적으로 지정하여 주는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

[0009] 여기서, 상기 충전드론은 전력제공을 위하여 하나의 상기 충전스테이션과 연결되어 충전되며, 하나의 상기 충전스테이션에는 적어도 하나 이상의 충전드론이 매칭되어 동시에 전력수급이 가능하도록 연결되어 상기 충전드론이 충전될 수 있는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

[0010] 여기서, 상기 충전스테이션에서 충전되는 상기 충전드론은, 상기 충전드론이 완전히 충전되었을 때 갖는 전력의 양(capacity)과 상기 충전드론이 충전시 갖고 있는 잔여 전력의 양과의 차이만큼 상기 충전스테이션으로부터 전력을 공급받아 충전되는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

[0011] 여기서, 상기 관리서버는, 상기 충전드론이 상기 충전스테이션으로부터 전력을 공급받아 충전되는 양이 최대가 되도록 상기 충전드론과 상기 충전스테이션을 매칭시켜주는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

[0012] 여기서, 하나의 상기 MBS드론에 대하여 복수개의 상기 충전드론이 동시에 전력을 공급하여 상기 MBS드론이 충전될 수 있는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

[0013] 여기서, 상기 관리서버는, 어느 하나의 상기 충전드론이 어느 하나의 상기 MBS드론에게로 이동하기에 이동소요 전력량이 충분하지 않은 경우 상기 어느 하나의 충전드론과 상기 어느 하나의 MBS드론을 매칭시키지 않는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

- [0014] 여기서, 상기 MBS드론은, 리아프노브 콘트롤(Lyapunov control)을 이용하여 에너지효율과 큐 안정성(queue stability) 사이의 트레이드오프(trade-off)를 조절하는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.
- [0015] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스의 확장방법은, MBS(Mobile Base Station)드론, 충전드론, 충전스테이션 및 관리서버를 포함하는 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 이용한 통신서비스의 확장방법으로서, 상기 관리서버가 충전이 요구되는 상기 충전드론을 상기 충전스테이션에 매칭시켜주는 충전매칭단계; 상기 충전드론이 상기 충전매칭단계에서 매칭된 상기 충전스테이션으로 이동하여 상기 충전스테이션에서 전력을 제공받아 충전되는 충전드론충전단계; 상기 관리서버가 충전이 요구되는 상기 MBS드론에게 전력을 제공하기 위하여 상기 충전드론충전단계에서 충전된 하나 또는 복수개의 상기 충전드론을 매칭시켜주되, 상기 MBS드론을 공통적으로 충전할 복수개의 상기 충전드론을 선정하고, 상기 복수개의 충전드론 각각의 전력제공가능범위를 확인하고, 상기 MBS드론에 대한 충전 시 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 다른 상기 MBS드론의 개수에 따라 상기 충전되어야 할 상기 MBS드론에게 제공할 전력량을 개별적으로 지정하여 주는 드론매칭단계; 및 상기 드론매칭단계에서 상기 MBS드론이 매칭받은 상기 충전드론으로부터 각기 상기 지정된 전력량을 제공받아 충전하는 MBS드론충전단계;를 포함하는 것을 하나의 특징으로 할 수도 있다.
- [0016] 여기서, 상기 드론매칭단계에서, 상기 관리서버는, 상기 복수개의 충전드론의 상기 전력제공가능범위를 확인하였을 때, 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 단수개인 경우에는 상기 충전드론이 상기 MBS드론에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 주고, 상기 충전드론의 전력제공가능범위에 포함되는 상기 MBS드론이 복수개인 경우에는 상기 MBS드론을 충전할 수 있는 다른 충전드론과의 전력제공가능범위 내의 다른 충전드론의 개수에 따라 상대적으로 지정하여 주는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.
- [0017] 여기서, 상기 드론매칭단계에서 상기 관리서버는, 어느 하나의 상기 충전드론이 어느 하나의 상기 MBS드론에게로 이동하기에 전력이 충분하지 않은 경우 상기 어느 하나의 충전드론과 상기 어느 하나의 MBS드론을 매칭시키지 않는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.
- [0018] 여기서, 상기 MBS드론충전단계에서 충전된 상기 MBS드론은, 리아프노브 콘트롤(Lyapunov control)을 이용하여 에너지효율과 큐 안정성(queue stability) 사이의 트레이드오프(trade-off)를 조절하는 것을 또 하나의 특징으로 할 수도 있다.

### 발명의 효과

- [0019] 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템 및 이를 이용한 통신서비스 확장방법은, 임의의 고정된 위치에서 모바일 네트워크 통신서비스를 제공하는 MBS드론이 전기에너지를 안정적으로 제공받을 수 있으므로 드론기반 네트워크 통신서비스의 제공시간과 제공범위를 확장시켜줄 수 있는 효과가 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 개략적으로 나타낸 개념도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템에서 관리서버에 의해 충전드론이 MBS드론에게 매칭되는 것을 설명하기 위한 개념도이다.
- 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 이용한 드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법을 개략적으로 나타낸 순서도이다.
- 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템에서의 충전드론과 충전스테이션을 개략적으로 나타낸 개념도이다.
- 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템에서 충전드론 및 MBS드론을 개략적으로 나타낸 개념도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하에서는 본 발명에 대하여 보다 구체적으로 이해할 수 있도록 첨부된 도면을 참조한 바람직한 실시 예를 들어 설명하기로 한다.
- [0022] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시 예를 가질 수 있는 바, 특정 실시 예들을 도면에 예시하



고 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.

- [0023] 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. 예를 들어, 본 발명의 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.
- [0024] 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.
- [0025] 본 출원에서 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 출원에서, "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.
- [0026] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0027] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 본 발명을 설명함에 있어 전체적인 이해를 용이하게 하기 위하여 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 개략적으로 나타낸 개념도이다.
- [0029] 먼저 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템(10)은, MBS(Mobile Base Station)드론(400), 충전드론(300), 충전스테이션(200) 및 관리서버(100)를 포함한다. 여기서 MBS드론(400), 충전드론(300) 그리고 충전스테이션(200)은 각기 하나 또는 복수개가 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템(10)에 포함될 수 있다.
- [0030] MBS(Mobile Base Station)드론(400)은 드론 기반의 네트워크 통신서비스를 제공하기 위한 모바일 기지국 역할을 임의의 지정된 위치에서 지속적으로 수행한다. 이러한 MBS드론(400)은 적어도 하나 이상 즉, 하나 또는 복수개가 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템(10)에 포함된다.
- [0031] 이러한 MBS드론(400)은 지정된 위치에서 통신서비스를 제공하면서 충전드론(300)으로부터 전력을 제공받아서 충전될 수 있다. 하나의 MBS드론(400)에 대하여, 적어도 하나 이상의 충전드론(300)이 동시에 전력을 공급하여 MBS드론(400)이 충전되는 것도 충분히 가능하다. 하나 또는 다수의 충전드론(300)으로부터 전력을 제공받아서 충전하기 위하여 MBS드론(400)에는 충전플레이트가 적어도 하나 이상 마련된 형태도 충분히 가능하다.
- [0032] MBS드론(400)은 관리서버(100)와 무선정보통신이 가능하다. 따라서, MBS드론(400)은 배터리의 충전상태 즉, 잔여전력량에 대한 정보와 충전에 필요한 요구전력량에 대한 정보를 관리서버(100)로 전송한다. 식별을 위한 MBS드론(400)의 고유번호나 위치정보 또한 관리서버(100)로 전송될 수 있다.
- [0033] 관리서버(100)는 MBS드론(400)으로부터 전송받은 MBS드론(400)의 잔여전력량에 대한 정보, 충전에 필요한 요구전력량에 대한 정보, MBS드론(400)의 고유번호나 위치정보를 토대로 충전드론(300)을 MBS드론(400)에 매칭하기 위한 판단을 하는데 활용할 수 있다.
- [0034] 그리고, 충전드론(300)으로부터 전력을 공급받아서 충전되는 MBS드론(400)은, 리아프노브 콘트롤(Lyapunov control)을 이용하여 에너지효율과 큐 안정성(queue stability) 사이의 트레이드오프(trade-off)를 조절할 수 있다.



- [0035] 충전드론(300)은 MBS드론(400)이 모바일 기지국 역할을 수행하기 위한 전력을 충전할 수 있도록 MBS드론(400)에게 전력을 제공한다. 이러한 충전드론(300)도 하나 또는 복수개가 마련되어 있는 것이 바람직하다.
- [0036] 충전드론(300)은 관리서버(100)와 무선정보통신이 가능하다. 따라서, 충전드론(300)은 배터리의 충전상태 즉, 잔여전력량에 대한 정보를 관리서버(100)로 전송한다. 또한 충전드론이 이동하는데 소요되는 이동소요전력량 및 MBS드론(400)에게 제공할 수 있는 제공가능전력량을 포함하는 전력량정보가 관리서버(100)로 전송될 수 있다. 아울러, 식별을 위한 충전드론(300)의 고유번호 또는 충전드론(300)의 위치정보 또한 관리서버(100)로 전송될 수 있다.
- [0037] 관리서버(100)는 충전드론(300)으로부터 전력제공가능범위, 고유번호나 위치정보 또는 전력량정보를 전송받을 수 있다.
- [0038] 여기서, 전력제공가능범위는 충전드론(300)의 이동가능한 범위에 관한 것으로서, 충전드론(300)이 현재위치에서 충전이 필요한 MBS드론(400)에게 이동하고, 충전을 위한 전력을 제공한 후 다시 재충전을 위해 충전스테이션(200)으로 이동할 수 있을 것이라는 제한조건 하에서 충전드론(300)이 MBS드론(400)에게 이동할 수 있는 최대 거리를 말한다.
- [0039] 그리고 관리서버(100)는 이러한 전력제공가능범위에 대하여 충전드론(300)의 이동전력량이 충전을 요구하는 MBS드론(400)의 요구충전량의 10% 이하인 조건을 만족하는 충전드론(300)을 MBS드론(400)에게 충전을 위한 전력을 제공할 수 있는 충전드론(300)으로서 선정할 수도 있다.
- [0040] 충전드론(300)의 전력량에는 충전드론(300)이 이동을 위해 사용되는 이동전력량과 MBS드론(400)이 충전할 수 있도록 MBS드론(400)에게 제공되는 제공전력량이 포함된다. 즉, 이동전력량은, 충전드론(300)이 현재위치에서 MBS드론(400)에게 이동하는데 소요되는 전력량 및 충전드론(300)이 충전스테이션(200)으로 돌아가는데 소요되는 전력량을 총칭한다.
- [0041] 따라서, 충전드론(300)이 MBS드론(400)에게 제공할 수 있는 전력량은, 충전드론의 전력량에서 이동전력량을 제외한 잔여전력량으로서 MBS드론(400)에게 제공되는 제공전력량이라고 할 수 있다.
- [0042] 관리서버(100)는 충전드론(300)이 충전을 위하여 매칭된 충전스테이션(200)의 위치정보를 충전드론(300)으로 전송한다. 충전을 위하여 매칭된 충전스테이션(200)의 위치정보를 관리서버(100)로부터 전송받은 충전드론(300)은 관리서버(100)의 제어에 따라 충전을 위해 매칭받은 충전스테이션(200)으로 이동한 후 충전스테이션(200)으로부터 전력을 공급받아 충전을 하게 된다.
- [0043] 이와 같이 전력을 제공받기 위하여 충전드론(300)은 관리서버(100)에 의해 매칭되는 하나의 충전스테이션(200)으로 이동한다. 그리고, 매칭된 충전스테이션(200)으로부터 전력을 수급받을 수 있도록 연결되어 충전된다. 충전드론(300)은 매칭된 충전스테이션(200)으로부터 무선으로 충전이 이루어질 수 있다. 그리고, 이와 같이 충전된 적어도 하나 이상의 충전드론(300)이 앞서 언급한 바와 같이 하나 또는 복수개의 MBS드론(400)에게 동시에 전력을 공급함으로써 MBS드론(400)이 충전을 하는 것도 충분히 가능하다.
- [0044] 충전스테이션(200)은 충전드론(300)이 MBS드론(400)에게 전력을 제공할 수 있도록 충전드론(300)을 충전시켜준다. 이러한 충전스테이션(200)은 적어도 하나 이상이 마련될 수 있다. 충전스테이션(200)은 통신서비스를 제공하기 위한 지리적 여건에 따라 적절한 위치에 고정적으로 배치될 수 있다.
- [0045] 앞서 언급한 바와 같이, 충전드론(300)이 전력을 수급받을 수 있도록 관리서버(100)에 의해 매칭되는 하나의 충전스테이션(200)과 연결되어 충전된다. 그리고, 하나의 충전스테이션(200)에는 적어도 하나 이상의 충전드론(300)이 매칭되어 동시적으로 전력을 제공받을 수 있도록 연결될 수 있다.
- [0046] 이를 위해 충전스테이션(200)에는 하나의 충전드론(300)이 무선으로 전력을 수급받을 수 있도록 연결되어 충전될 수 있는 충전플레이트가 다수 마련되어 있는 것도 바람직하다.
- [0047] 충전스테이션(200)은 관리서버(100)와 통신가능하게 연결되어 있다. 따라서, 충전스테이션(200)은 충전 중인 충전드론(300)의 개수, 충전드론(300)의 충전진행상황과 같이 충전스테이션(200)에서 충전 중인 충전드론(300)에 관한 정보를 관리서버(100)로 전송할 수도 있다.
- [0048] 그리고, 충전스테이션(200)으로부터 충전드론(300)이 충전되기 위한 전기적 연결형태는 무선으로 전력을 전달하는 무선충전방식이 활용될 수도 있다. 따라서 충전스테이션(200)에서 하나 또는 다수의 충전드론(300)이 충전될 수 있다.

- [0049] 충전스테이션(200)에서 충전되는 충전드론(300)은, 충전드론(300)이 완전히 충전되었을 때 갖는 전력의 양(capacity)과 충전드론(300)이 충전시 갖고 있는 잔여 전력의 양과의 차이만큼 충전스테이션(200)으로부터 전력을 공급받아 충전될 수도 있다.
- [0050] 관리서버(100)는 충전이 필요한 충전드론(300)이 충전할 수 있도록 충전스테이션(200)과 충전드론(300)을 매칭시켜준다. 그리고, 충전이 필요한 MBS드론(400)이 충전드론(300)으로부터 전력을 제공받아서 충전할 수 있도록 충전드론(300)과 MBS드론(400)을 매칭시켜준다. 이를 위해 관리서버(100)는 충전드론(300) 또는 MBS드론(400)의 전력량, 현재위치 또는 식별을 위한 고유번호를 전송받을 수 있도록 충전드론(300), MBS드론(400)과 통신가능하게 연결될 수 있다.
- [0051] 관리서버(100)는 MBS드론(400)을 공통적으로 충전할 복수개의 충전드론(300)을 선정한다. 각 충전드론(300)의 전력제공가능범위를 선정기준으로 하여 MBS드론(400)을 공통적으로 충전할 복수개의 충전드론(300)을 선정할 수 있다.
- [0052] 여기서, 전력제공가능범위는 앞서 언급한 바와 같이, 충전드론(300)의 이동가능한 범위에 관한 것으로서, 충전드론(300)이 현재위치에서 충전이 필요한 MBS드론(400)에게 이동하고, 충전을 위한 전력을 제공한 후 다시 재충전을 위해 충전스테이션(200)으로 이동할 수 있을 것이라는 제한조건 하에서 충전드론(300)이 MBS드론(400)에게 이동할 수 있는 최대 거리를 말한다.
- [0053] 그리고, 관리서버(100)는 복수개의 충전드론(300) 각각의 전력제공가능범위를 확인하고, MBS드론(400)에 대한 충전시 충전드론(300)의 전력제공가능범위에 포함되는 다른 MBS드론(400)의 개수에 따라 충전되어야 할 MBS드론(400)에게 제공할 전력량을 개별적으로 지정하여 줄 수 있다.
- [0054] 그리고, 관리서버(100)는, 복수개의 충전드론(300)의 전력제공가능범위를 확인하였을 때, 충전드론(300)의 전력제공가능범위에 포함되는 MBS드론(400)이 단수개인 경우에는 충전드론(300)이 MBS드론(400)에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 준다. 충전드론(300)의 전력제공가능범위에 포함되는 MBS드론(400)이 복수개인 경우 관리서버(100)는, MBS드론(400)을 충전할 수 있는 다른 충전드론(300)과의 전력제공가능범위 내의 다른 충전드론(300)의 개수에 따라 상대적으로 지정하여 준다.
- [0055] 여기서 도 2를 더 참조하여 설명하자면, 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템에서 관리서버에 의해 충전드론이 MBS드론에게 매칭되는 것을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0056] 예를 들어, 도 2를 더 참조되는 바와 같이, 제1MBS드론(401)을 충전시키기 위하여, 관리서버(100)는 각 충전드론의 현재위치와 각 충전드론이 가지고 있는 전력량과 전력제공가능범위를 토대로 하여 제1충전드론(301)과 제2충전드론(302)을 제1MBS드론(401)을 충전시킬 충전드론으로서 선정할 수 있다. 여기서 제1충전드론(301)의 전력제공가능범위(R01)에 제1MBS드론(401)이 속하고, 제2충전드론(302)의 전력제공가능범위(R02)에도 제1MBS드론(401)이 속하므로 제1충전드론과 제2충전드론을 제1MBS드론(401)을 충전시킬 충전드론으로서 선정한다는 것이다.
- [0057] 그리고, 제1충전드론(301)의 전력제공가능범위(R01) 내에는 제2MBS드론(403)도 포함되어 있다. 제2충전드론(302)의 전력제공가능범위(R02) 내에는 제1MBS드론(401)만이 포함되어 있다. 따라서, 관리서버(100)는 제2충전드론(302)이 제1MBS충전드론(401)에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 줄 수 있다.
- [0058] 여기서, 제1MBS충전드론(401)에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정한다는 것은 앞서 언급한 충전드론의 전력량 중에서 이동전력량을 제외한 나머지의 잔여전력량을 제공전력량으로 지정한다는 것이다.
- [0059] 아울러 관리서버(100)는 제1충전드론(301)이 제공할 수 있는 전력량의 최대값의 10%를 제1MBS충전드론(401)에게 제공할 전력량으로 지정하여 주고, 나머지 전력량 즉, 제1충전드론(301)이 제공할 수 있는 전력량의 최대값의 90%를 제2MBS충전드론(403)에게 제공하기 위한 전력량으로 지정할 수 있다.
- [0060] 이와 같이, 관리서버(100)는 제1MBS드론(401)과 제2MBS드론(403)의 충전을 위하여 제1충전드론(301)과 제2충전드론(302)에게 제공할 전력량을 지정하여 줄 수 있다.
- [0061] 이상에서 설명한 바와 같이 관리서버(100)로부터 전달받은 매칭정보에 따라 충전드론(300)은 충전스테이션(200)으로 이동하여 충전스테이션(200)으로부터 전력을 공급받아서 충전하거나, 매칭된 MBS드론(400)의 위치로 이동하여 MBS드론(400)이 충전할 수 있도록 MBS드론(400)에게 지정된 전력량만큼을 제공하게 된다. 관리서버(100)는 어느 하나의 충전드론(300)이 어느 하나의 MBS드론(400)에게로 이동하기에 전력이 충분하지 않은 경우 어

는 하나의 충전드론(300)과 어느 하나의 MBS드론(400)을 매칭시키지 않는 것도 충분히 가능하다.

[0062] 이와 같이 관리서버(100)가 충전드론(300)으로부터 전송받은 전력량정보를 토대로 하여 MBS드론(400)을 충전시키기 위한 최적의 경우로 매칭시켜주며, 관리서버(100)는 MBS드론(400)이 임의의 지정된 위치에서 모바일기지국 역할을 지속적으로 수행할 수 있도록 MBS드론(400), 충전드론(300) 및 충전스테이션(200)을 관리한다.

[0063] 관리서버(100)가 충전스테이션(200)과 충전드론(300)을 매칭시켜주는 것에 대하여 좀 더 설명하자면 다음과 같다.

[0064] MBS드론(400)으로의 전기에너지 공급과 MBS 드론 사이의 비행으로 충전드론(300)의 전기에너지가 소진될 때, 충전드론(300)에 대해 충전할 수 있는 전기에너지의 양을 최대화 할 수 있도록 충전스테이션(200)과 충전드론(300)을 매칭시켜준다.

[0065] 충전드론(300)은 하나의 충전스테이션(200)에 매칭되며, 하나의 충전스테이션(200)에는 다수의 충전드론(300)이 동시에 충전될 수 있다. 충전스테이션(200)에는 다수의 충전드론(300)이 동시에 충전될 수 있도록 충전플레이트가 다수 마련되어있는 것도 충분히 가능하다.

[0066] 충전스테이션(200)에 충전드론(300)이 매칭되어 충전하는 것을 다음의 수식 1로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \max : & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} \sum_{\forall k \in \mathcal{T}} (E_j^c - e_j^c[t]) \cdot x_{(k,j)}^t[t] \\ \text{s.t.} & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} x_{(k,j)}^t[t] \leq n_k^t, \forall k \in \mathcal{T} \\ & \sum_{\forall k \in \mathcal{T}} x_{(k,j)}^t[t] \leq 1, \forall j \in \mathcal{C} \end{aligned}$$

[0067] (수식 1)

[0068] 수식 1에서  $E_j^c$  는 충전드론(300)이 완전히 충전되었을 때 갖는 전기에너지의 양(capacity)을 의미한다.  $e_j^c[t]$ 는 타임스텝(time step) t에서 충전드론(300)이 갖고 있는 잔여에너지의 양을 의미한다. 그리고  $x_{(k,j)}^t[t]$ 는 충전 드론 j와 충전스테이션(200) k의 매칭 여부를 나타내며 매칭이 이루어질 경우 1, 이루어지지 않는 경우 0의 값을 갖는다.

[0069] 충전스테이션(200)에는  $n_k^t[t]$  개의 충전플레이트가 마련되어 있다. 하나의 충전스테이션(200)에서 동시에  $n_k^t[t]$ 개의 충전드론(300)과 매칭이 가능하다. 여기서,  $\mathcal{T}$  와  $\mathcal{C}$  는 각각 충전스테이션(200)과 충전드론(300)의 세트(set)를 의미한다.

[0070] 이와 같은 최적화식에 따라 MBS드론(400)으로 전기에너지를 공급하는 충전드론(300)들이 충전스테이션(200)으로부터 공급받는 에너지의 양  $(E_j^c - e_j^c[t])$  이 최대화되기 때문에 충전드론(300)을 이용한 MBS드론(400)의 운용 연장 및 드론기반 네트워크의 통신서비스 제공시간의 연장과 제공범위(coverage)확장이 가능하게 된다. 충전드론(300)과 MBS드론(400)에 대한 매칭은 다음과 같이 이루어질 수 있다. 충전드론(300)이 MBS드론(400)으로 전달하는 전기에너지의 총합을 최대화할 수 있도록 두 종류의 드론 즉, 충전드론(300)과 MBS드론(400)을 매칭시켜준다.

[0071] (수식 2)

$$\begin{aligned}
 \max : & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} v_{(i,j)}[t] \cdot x_{(i,j)}^m[t] \\
 \text{s.t.} & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} e_{(i,j)}[t] \cdot \eta_j^c \cdot \eta_i^m \cdot x_{(i,j)}^m[t] \leq \\
 & E_i^m - e_i^m[t], \forall i \in \mathcal{M} \\
 & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} x_{(i,j)}^m[t] \leq n_i^m, \forall i \in \mathcal{M} \\
 & \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} x_{(i,j)}^m[t] \leq 1, \forall j \in \mathcal{C} \\
 & \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} e_{(i,j)}[t] \leq e_j^c[t], \forall j \in \mathcal{C} \\
 & e_{(i,j)}[t] \geq 0, \forall i \in \mathcal{M}, \forall j \in \mathcal{C}
 \end{aligned}$$

[0072]

[0073] 충전스테이션(200)과 충전드론(300) 사이 매칭과 유사하게, 충전드론(300)이 어떤 MBS드론(400)으로 이동하여 충전을 할 것인지를 결정하면서 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템(10) 내에 존재하는 MBS드론(400)들이 충전받는 에너지가치( $v_{(i,j)}[t]$ )의 합이 최대가 되기 때문에 MBS 드론의 운용 연장 및 UAV 기반 네트워크의 제공범위 및 제공시간의 연장이 가능하다. 수식 2에서  $e_{(i,j)}[t]$ 는 충전드론(300) j가 MBS드론(400) i로 전달하려는 에너지를 의미,  $\eta_j^c \cdot \eta_i^m$ 는 무선 충전에서의 에너지효율 값을 의미한다. MBS드론(400) i와 충전드론(300) j의 매칭을 나타내는 집합 F에 대해서 변수 x는 매칭이 이루어질 경우에는 1, 매칭이 이루어지지 않는 경우에는 0의 값을 갖는다( $x_{(i,j)}^m[t] \in \mathcal{F}_{(i,j)}[t]$ ).

[0074] 그리고,  $E_i^m$ 는 MBS드론(400)이 충전드론(300)으로 받을 수 있는 최대에너지의 양(즉, MBS드론의 에너지 최대 수용량),  $e_i^m[t]$ 와  $e_j^c[t]$ 는 타임스텝(time step) t에서 MBS드론(400)과 충전드론(300)이 현재 각각 가지고 있는 에너지,  $e_{(i,j)}^c[t]$ 는 충전드론(300) j가 MBS드론(400) i를 충전하는 동안에 추가적으로 소모되는 전기에너지를 의미한다.

[0075] 충전드론(300)과 충전스테이션(200)의 매칭에서 설명한 바와 유사하게 MBS드론(400)은 각각의 충전플레이트의 갯수(n)에 따라 최대  $n_i^m$  개의 충전드론(300)으로부터 동시에 에너지를 공급받을 수 있다. 여기서,  $\mathcal{C}$ 와  $\mathcal{M}$ 은 각각 충전드론(300)과 MBS드론(400)의 셋트(set)을 의미한다.

[0076] (수식 3)

$$\begin{aligned}
 v_{(i,j)}[t] = & \left( u^m - \frac{d_{(i,j)}[t]}{s_j} \right) \cdot \\
 & \eta_j^c \cdot \eta_i^m \cdot \frac{\max \left\{ e_j^c[t] - e_{(i,j)}^c[t], 0 \right\}}{e_i^m[t]} \cdot \\
 & (e_j^c[t] - e_{(i,j)}[t])
 \end{aligned}$$

[0077]

[0078] 수식 3에 의해 MBS드론(400)이 받게 되는 에너지가치가 계산된다. 에너지가치( $v_{(i,j)}[t]$ ) 계산 시에는 MBS드론(400)과 충전드론(300) 매칭의 총 작동시간(operation time)( $u^m$ ), MBS드론(400) i와 충전드론(300) j사이의 거리( $d_{(i,j)}[t]$ ), 무선충전에서의 에너지효율의 값( $\eta_j^c \cdot \eta_i^m$ )을 고려한다. 충전드론(300) j가 MBS드론(400) i로 이동하기에 에너지가 충분하지 않는 경우  $\max \left\{ e_j^c[t] - e_{(i,j)}^c[t], 0 \right\}$ 에 따라  $v_{(i,j)}[t]$ 의 값은 0이 되고, 결과

적으로 MBS드론(400) i와 충전드론(300) j 사이의 매칭은 이루어지지 않게 됨을 위의 수식 3에서 확인할 수 있다.

[0079] 참고로 수식 2의 수학적 프로그램은 비볼록(non-convex) 방정식으로서, 최적화 문제로 바로 해결하기에는 문제가 있다. 따라서, 본 발명에서는 2차 헤시안(second-order Hessian)을 통해 비볼록(non-convex)임을 증명하고 이를 볼록(convex)형태로 변형하여 문제를 해결할 수 있는 가능성을 함께 제시한다.

[0080] (수식 4)

$$\sum_{\forall j \in \mathcal{C}} \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} v_{(i,j)}[t] \cdot x_{(i,j)}^m[t]$$

[0082] 이를 증명하기 위해  $|\mathcal{C}| = |\mathcal{M}| = 1$ 인 상황을 가정한다. 이러한 가정에 의해 수식 4는  $f_1 = v_{(i,j)}[t] \cdot x_{(i,j)}^m[t]$ 로 변형될 수 있으며,  $f_1$ 의 2차헤시안행렬(second-order Hessian matrix)( $\nabla^2 f_1$ )는 다음과 같아진다.

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

[0084] 여기서, 2차헤시안(Second-order Hessian)의 고유값(eigenvalues)이  $\pm 1$ 이고 두 값이 모두 비-네거티브(non-negative)가 아님을 확인할 수 있다. 이에 따라 결과적으로 수식 4의 최적화함수(optimization function)가 비볼록(non-convex)임이 증명된다.

[0085] (수식 5)

$$\text{s.t.} \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} e_{(i,j)}[t] \cdot \eta_j^c \cdot \eta_i^m \cdot x_{(i,j)}^m[t] \leq E_i^m - e_i^m[t], \forall i \in \mathcal{M}$$

[0087] 이와 비슷하게 수식 5에서도 2차헤시안 행렬과 고유값(eigenvalues) ( $\pm (\eta_j^c \cdot \eta_i^m)$ )을 통해 해당 최적화함수가 비볼록(non-convex)임을 알 수 있다.

[0088] 수식 2의 2가지 함수가 비볼록(non-convex)이므로, 앞서 말한 바와 같이 수식 2의 수학적 프로그램은 비볼록(non-convex)이다. 비볼록(Non-convex)인 경우 최적해(optimal solution)을 구할 수 없기 때문에 수식 2를 볼록 프로그래밍(convex programming)으로 변형하여 해를 구하는 방향을 제시한다.

$$\begin{bmatrix} 0 & \eta_j^c \cdot \eta_i^m \\ \eta_j^c \cdot \eta_i^m & 0 \end{bmatrix}$$

[0090] 위의 수식 5는 다음의 수식 6로 변형이 가능하다.

[0091] (수식 6)

$$\sum_{\forall j \in \mathcal{C}} e_{(i,j)}[t] \cdot \eta_j^c \cdot \eta_i^m \leq (E_i^m - e_i^m[t]) \cdot x_{(i,j)}^m[t], \forall i \in \mathcal{M}$$

[0093]  $x_{(i,j)}^m[t] = 1$ 인 경우에는 변형된 수식 5가 기존의 수식 4와 동일하지만,  $x_{(i,j)}^m[t] = 0$ 인 경우에는 MBS드론(400)과 충전드론(300) 사이의 매칭이 이루어지지 않는( $e_{(i,j)} = 0$ ) 경우이기 때문에 이러한 경우에는 수식 7을 거쳐 수식 8과 같은 결과로 도출될 수 있다.

[0094] (수식 7)

$$\sum_{\forall j \in \mathcal{C}} e_{(i,j)}[t] \cdot \eta_j^c \cdot \eta_i^m \leq (E_i^m - e_i^m[t]) \cdot \underbrace{0}_{x_{(i,j)}^m[t]=0} = 0$$



[0096] (수식 8)

$$\sum_{\forall j \in \mathcal{C}} e_{(i,j)}[t] \leq 0, \forall i \in \mathcal{M}$$

[0097]

[0098] 그리고 위와 같은 수식 유도로부터 위 수식 4는 다음의 수식 9와 같이 업데이트가 가능하다.

[0099] (수식 9)

$$\max : \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} v_{(i,j)}[t].$$

[0100]

[0101] 따라서, 최종적으로 비볼록(non-convex) 형태의 수식 2는 다음의 수식 10과 같이 볼록(convex) 형태로 변형되어 최적화해(optimal solution)를 해결할 수 있다.

[0102] (수식 10)

$$\begin{aligned} \max : & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} v_{(i,j)}[t] \cdot x_{(i,j)}^m[t] \\ \text{s.t.} & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} e_{(i,j)}[t] \cdot \eta_j^c \cdot \eta_i^m \cdot x_{(i,j)}^m[t] \leq \\ & E_i^m - e_i^m[t], \forall i \in \mathcal{M} \\ & \sum_{\forall j \in \mathcal{C}} x_{(i,j)}^m[t] \leq n_i^m, \forall i \in \mathcal{M} \\ & \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} x_{(i,j)}^m[t] \leq 1, \forall j \in \mathcal{C} \\ & \sum_{\forall i \in \mathcal{M}} e_{(i,j)}[t] \leq e_j^c[t], \forall j \in \mathcal{C} \\ & e_{(i,j)}[t] \geq 0, \forall i \in \mathcal{M}, \forall j \in \mathcal{C} \end{aligned}$$

[0103]

[0104] 충전드론(300)과 MBS드론(400)의 매칭이 완료된 후 MBS드론(400)의 큐안정성(queue stability)과 에너지효율 사이에 존재하는 트레이드오프(trade-off)를 해결하기 위해 리아프노브 최적화(Lyapunov optimization)를 사용하여 최적의 전력전송(transmit power)을 결정한다. 다이내믹 파워할당 방법(dynamic power allocation method)를 통해 MBS드론(400) 자체적으로 에너지효율을 향상시킬 수 있다.

[0105] MBS드론(400)의 큐(queue)에서 패킷(packet)처리를 위한 시간 평균 에너지 소비량( $E(\alpha[t])$ )을 최소화하는 파워할당(power allocation)( $\alpha[t]$ )에 따라 결정된 큐출발절차(queue departure process)( $b(\alpha[t])$ )를 통해 조절되며 다음의 수식 11과 같이 정리될 수 있다.

[0106] (수식 11)

$$\begin{aligned} \min : & \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{\tau=0}^{t-1} E(\alpha[\tau]) \\ \text{s.t.} & \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \sum_{\tau=0}^{t-1} Q[\tau] < \infty \text{ (stability constraint)} \end{aligned}$$

[0107]

[0108] MBS드론(400)의 큐안정성(queue stability)을 위한 리아프노브함수(Lyapunov function)는  $L(Q[t]) = \frac{1}{2}(Q[t])^2$ 로 정의되고, 조건부 2차 리아프노브함수(conditional quadratic Lyapunov function)( $\Delta(\cdot)$ )는  $\mathbb{E}[L(Q[t+1]) - L(Q[t])|Q[t]]$ 로 수식화 될 수 있다.

[0109] MBS드론(400)은 현재의 큐(queue) 길이( $Q(t)$ )와 매 타임슬롯(time slot)마다 얼마만큼의 파워가 필요한 지를 관찰하고  $\Delta(Q[t]) + V\mathbb{E}[E(\alpha[t])]$ 에 의해 제공되는 '드리프트 플러스 패널티(drift-plus-penalty)'를 최소화 하면서 큐안정성(queue stability)를 유지한다.

[0110] 리아프노브 함수(Lyapunov function)의 드리프트 상한선(upper bound on the drift)은 다음의 수식 12와 같이 유도될 수 있으며, 본 발명에서는 조건부 환경에서  $C$ 가 상수이고 MBS드론(400) 큐(queue)의 도착과정(arrival process)이 조절될 수 없음에 따라 수식 13과 같이 '드리프트 플러스 패널티(drift-plus-penalty)'를 최소화 할 수 있다.

[0111] (수식 12)

$$L(Q[t+1]) - L(Q[t]) = \frac{1}{2} \left( Q([t+1]^2 - Q[t]^2) \right) \leq \frac{1}{2} \left( a[t]^2 + b(\alpha[t])^2 \right) + Q[t](a[t] - b(\alpha[t]))$$

[0112]

[0113] (수식 13)

$$V\mathbb{E}[E(\alpha[t])] - \mathbb{E}[Q[t] \cdot b(\alpha[t])]$$

[0114]

$$\Delta(Q(t)) = \mathbb{E}[L(Q[t+1]) - L(Q[t]) | Q[t]] \leq C + \mathbb{E}[Q[t](a[t] - b(\alpha[t])) | Q[t]]$$

[0115]

$$\frac{1}{2} \mathbb{E}[a[t]^2 + b(\alpha[t])^2 | Q[t]] \leq C.$$

[0116]

[0117] 그리고 수식 13은 현재의 큐상태(queue state)에 대한 관찰과 이를 바탕으로 한 타임슬롯별 전력할당(power allocation)( $\alpha[t]$ )에 의해 기댓값(E)를 최소화 할 수 있고 이를 만족하는 최적화결정(optimal decision)( $\alpha^*[t]$ )은 수식 14로 표현할 수 있다.

[0118] (수식 14)

$$\alpha^*[t] \leftarrow \arg \min_{\alpha[t] \in \mathcal{A}} [V \cdot E(\alpha[t]) - Q[t]b(\alpha[t])]$$

[0119]

[0120] 수식 14로 표현되는 최적화결정(optimal decision)( $\alpha^*[t]$ )에 대해서 MBS드론(400)의 큐(queue)가 각각  $Q[t] = 0$ ,  $Q[t] \approx \infty$ 인 상황일 때,  $\alpha^*[t]$ 이 항상 최적화(optimal)인지 여부를 확인할 수 있다.  $Q[t] = 0$ 인 경우 수식 14에 따라  $\alpha^*[t]$ 는  $V \cdot E(\alpha[t])$ 를 최소화 한다. MBS드론(400)의 큐안정성(queue stability)을 이미 충족하고,  $V$ 는 전력효율(power efficiency)의 중요인자(importance weight)이므로 MBS드론(400)의 패킷(packet) 전송을 위해 필요한 전력전송량( $E(\alpha[t])$ )를 최소화 한다. 반대로  $Q[t] \approx \infty$ 인 경우  $\alpha^*[t]$ 는 큐(queue)의 출발절차(departure process)인  $b(\alpha[t])$ 를 최대화 하면서 큐안정성(queue stability)을 유지하도록 선택된다.

[0121] 오버플로우(Overflow)를 방지하기 위해 MBS드론(400)의 에너지효율(energy-efficiency)보다 큐(queue)의 백로그(backlog) 조절이 우선 고려되어야하기 때문이다. 이러한 과정에 따라 제안하는 발명은 MBS드론(400)의 시간에 따라 변하는 큐상태(queue state)를 바탕으로 항상 최적의 전력전송(power transmission)을 수행하면서 자체적으로 에너지 효율을 높일 수 있다.

[0122] 위와 같이 설명한 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 이용하여 드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법에 대한 설명을 도 3을 더 참조하여 이어가기로 한다.

[0123] 도 3은 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 확장방법을 개략적으로 나타낸 순서도이다.

[0124] 도 3을 더 참조하면, 본 발명의 실시 예에 따른 네트워크 통신서비스 확장방법은, MBS(Mobile Base Station)드론, 충전드론, 충전스테이션(200) 및 관리서버(100)를 포함하는 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템을 이용한

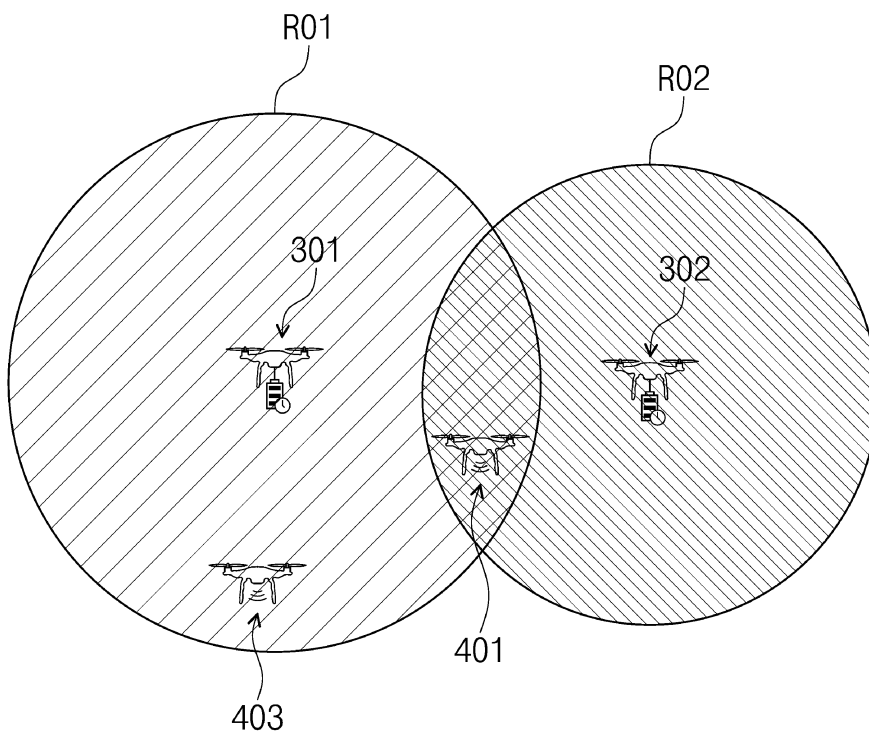


통신서비스 확장방법으로서, 충전매칭단계(S110), 충전드론 충전단계(S120), 드론매칭단계(S130) 및 MBS드론 충전단계(S140)를 포함한다.

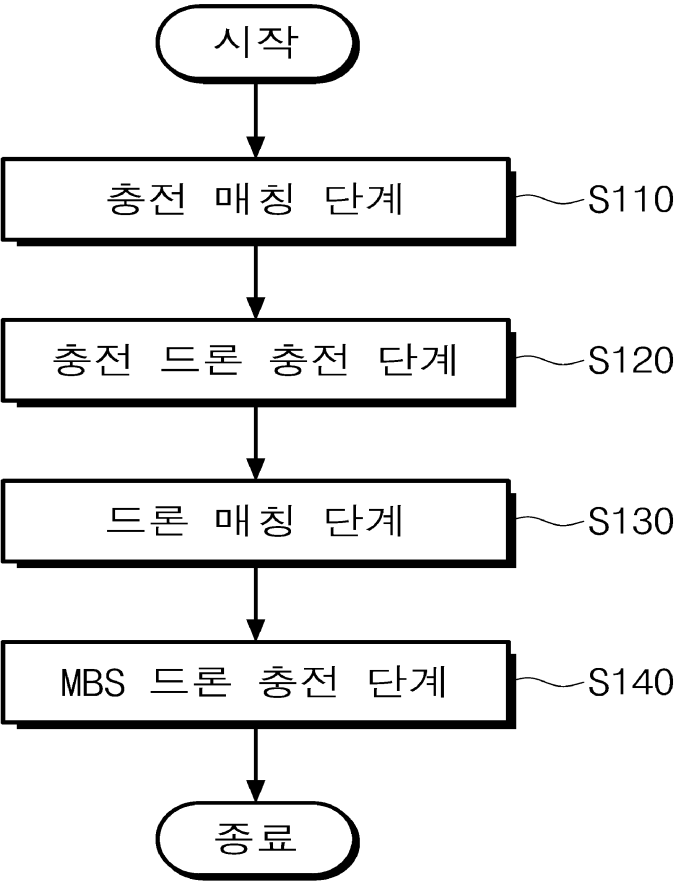
- [0125] 충전매칭단계(S110)에서는 충전이 요구되는 충전드론(300)이 충전될 충전스테이션(200)을 관리서버(100)가 매칭시켜준다. 이를 위해 관리서버(100)는 앞서 설명한 바와 같이 각각의 충전드론(300)들의 잔여전력량에 대한 정보를 전송받고 적절한 충전스테이션(200)을 선정하여 매칭시켜준다. 충전을 위해 매칭된 충전스테이션(200)에 대한 위치정보 등을 관리서버(100)가 충전드론(300)으로 전송하여 주면 충전드론(300)은 그에 따라 충전을 하기 위하여 충전드론단계(S120)에서 이동을 하게 된다.
- [0126] 다음으로 충전드론충전단계(S120)에서는 충전드론(300)이 충전매칭단계(S110)에서 매칭된 충전스테이션(200)으로 이동한다. 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템에서의 충전드론(300)과 충전스테이션(200)을 개략적으로 나타낸 개념도이다. 도 4에서 더 참조되는 바와 같이, 충전드론(300)이 충전스테이션(200)에서 충전된다. 하나의 충전스테이션(200)에 대하여 다수의 충전드론(300)이 이시적 또는 동시적으로 충전될 수 있으며, 충전을 마친 충전드론(300)은 충전스테이션(200)에서 떠난다.
- [0127] 다음으로 드론매칭단계(S130)에서는 관리서버(100)가 충전이 요구되는 MBS드론(400)에게 전력을 제공하기 위하여 충전드론충전단계(S120)에서 충전된 하나 또는 복수개의 충전드론(300)을 매칭시켜줄 수 있다. 관리서버(100)는 MBS드론(400)을 공통적으로 충전할 복수개의 충전드론(300)을 선정한다. 각 충전드론(300)의 전력제공 가능범위를 선정기준으로 하여 MBS드론(400)을 공통적으로 충전할 복수개의 충전드론(300)을 선정할 수 있다.
- [0128] 그리고, 관리서버(100)는 복수개의 충전드론(300) 각각의 전력제공가능범위를 확인하고, MBS드론(400)에 대한 충전 시 충전드론(300)의 전력제공가능범위에 포함되는 다른 MBS드론(400)의 개수에 따라 충전되어야 할 MBS드론(400)에게 제공할 전력량을 개별적으로 지정하여 줄 수 있다.
- [0129] 그리고, 관리서버(100)는, 복수개의 충전드론(300)의 전력제공가능범위를 확인하였을 때, 충전드론(300)의 전력제공가능범위에 포함되는 MBS드론(400)이 단수개인 경우에는 충전드론(300)이 MBS드론(400)에게 제공할 전력량을 최대값으로 지정하여 준다. 충전드론(300)의 전력제공가능범위에 포함되는 MBS드론(400)이 복수개인 경우 관리서버(100)는, MBS드론(400)을 충전할 수 있는 다른 충전드론(300)과의 전력제공가능범위 내의 다른 충전드론(300)의 개수에 따라 상대적으로 지정하여 줄 수 있다.
- [0130] 여기서, 관리서버(100)는 앞서 설명한 바와 같이 어느 하나의 충전드론(300)이 어느 하나의 MBS드론(400)에게로 이동하기에 전력이 충분하지 않은 경우 어느 하나의 충전드론(300)과 어느 하나의 MBS드론(400)을 매칭시키지 않는다.
- [0131] 관리서버(100)로부터 위와 같이 전력을 제공할 대상으로서 MBS드론(400)을 지정받은 복수개의 충전드론(300)은 각기 지정받은 MBS드론(400)에게로 이동한다. 그리고 공통적으로 전력제공대상이 되는 MBS드론(400)에게 충전드론(300) 각각이 지정받은 전력량을 제공한다. 이와 같은 전력량의 제공은 동시적 또는 이시적으로 이루어질 수도 있으며, 충전드론(300) 각각으로부터 제공받은 전력량으로부터 MBS드론(400)이 충전된다.
- [0132] 지정된 MBS드론(400)에 대하여 지정받은 전력량을 제공한 충전드론(300)들 각각은 다시 관리서버(100)의 제어에 따라 다른 MBS드론(400)에게 전력량을 제공하기 위하여 재지정받거나 충전을 위해 충전스테이션으로 이동할 수 있다.
- [0133] 관리서버(100)로부터 전달받은 매칭정보에 따라 충전드론(300)은 충전스테이션(200)으로 이동하여 충전스테이션(200)으로부터 전력을 공급받아서 충전하거나, 매칭된 MBS드론(400)의 위치로 이동하여 MBS드론(400)이 충전할 수 있도록 MBS드론(400)에게 지정된 전력량만큼을 제공하게 된다. 여기서, 관리서버(100)는, 어느 하나의 충전드론(300)이 어느 하나의 MBS드론(400)에게로 이동하기에 전력이 충분하지 않은 경우 어느 하나의 충전드론(300)과 어느 하나의 MBS드론(400)을 매칭시키지 않는 것도 충분히 가능하다.
- [0134] 이와 같이 관리서버(100)가 충전드론(300)으로부터 전송받은 전력량정보를 토대로 하여 MBS드론(400)을 충전시키기 위한 최적의 경우로 매칭시켜준다.
- [0135] MBS드론충전단계(S140)는 충전드론(300)이 드론매칭단계(S130)에서 매칭된 MBS드론(400)에게로 이동하여 MBS드론(400)이 충전되도록 전력을 제공하는 단계이다. 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 드론기반 네트워크 통신서비스 시스템에서 충전드론 및 MBS드론을 개략적으로 나타낸 개념도이다.
- [0136] 도 5에서 더 참조되는 바와 같이, 충전이 요구되는 MBS드론(400)의 근처로 다수의 충전드론(300)이 이동하여 온다. 그리고 앞서 설명한 바와 같이 선정된 다수의 충전드론(300) 각각이 지정받은 전력량을 전력제공대상이 되



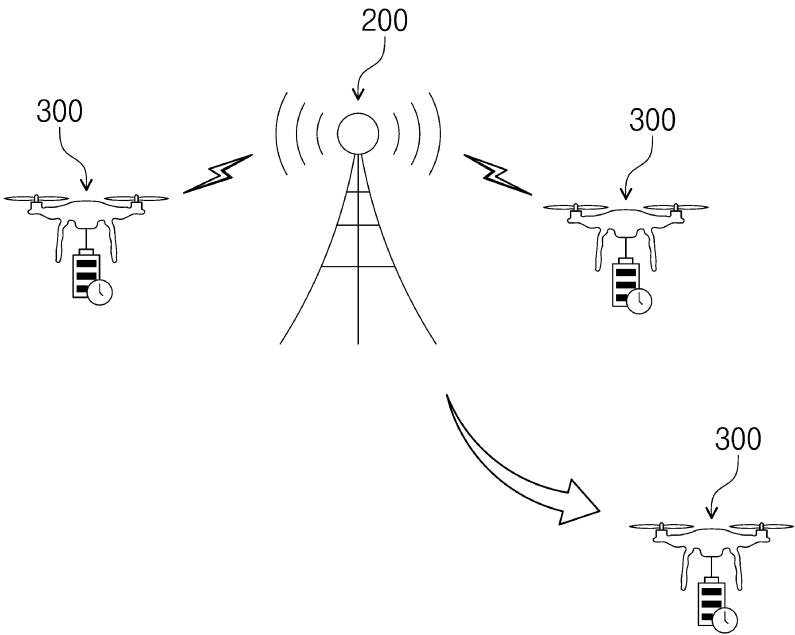
도면2



도면3



도면4



도면5

