



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0017901
(43) 공개일자 2025년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/185 (2006.01) H04B 7/195 (2006.01)
H04W 40/24 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/18519 (2013.01)
H04B 7/195 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0098891
(22) 출원일자 2023년07월28일
심사청구일자 2023년07월28일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이인규
서울특별시 강남구 영동대로 640, 웨스트동 3303호 (삼성동, 아이파크삼성)
전영민
경기도 수원시 영통구 영통로 498, 145동 803호(황골마을주공1단지아파트)
부지림
서울특별시 성북구 고려대로10길 7, 303호 (안암동2가)
(74) 대리인
윤귀상

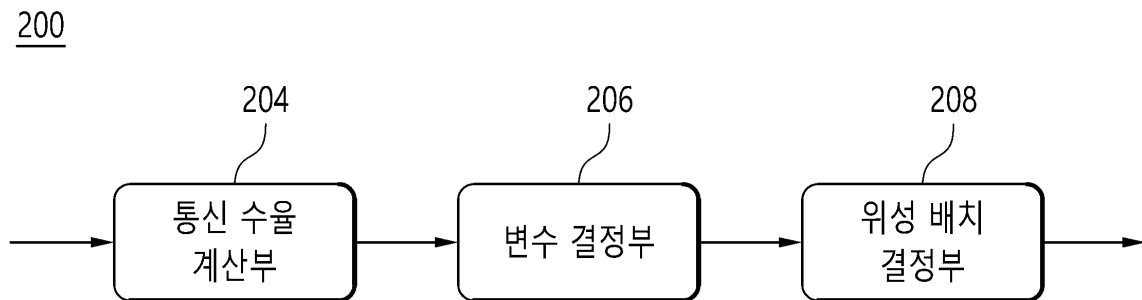
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 저궤도 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 경로 결정 방법, 기록 매체 및 장치

(57) 요약

본 발명은 송신 기지국 측의 제1 궤도와 수신 기지국 측의 제2 궤도 상에 위치하는 저궤도(LEO) 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법에 대한 것으로, 상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들과 상기 수신 기지국 간의 링크 각각에 대한 통신 수율(throughput)을 계산하고, 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산하고, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정하고, 상기 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

H04W 40/248 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711193716
과제번호	2021-0-00260-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D, 정보화)
연구과제명	저궤도 군집 소형 위성 간 통신 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2028.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

송신 기지국 측의 제1 궤도와 수신 기지국 측의 제2 궤도 상에 위치하는 저궤도(LEO: Low Earth Orbit) 위성(satellite) 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 라우팅(routing) 결정 방법으로서,

상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들과 상기 수신 기지국 간의 링크 각각에 대한 통신 수율(throughput)을 계산하고, 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산하는 과정과,

상기 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정하는 과정과,

상기 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정하는 과정을 포함하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전체 링크의 통신 수율은 전체 타임 슬롯 동안 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 통신 수율의 합으로 계산됨을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

타임슬롯(timeslot) n 에 대한 상기 전체 링크의 통신 수율은 상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 중 i 번째 위성과의 연결관계와, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들 중 j 번째 위성과 상기 수신 기지국과의 연결관계와, 상기 송신 기지국과 상기 i 번째 위성 간 링크의 통신 수율, 상기 i 번째 위성과 상기 j 번째 위성 간 링크의 통신 수율 및 상기 j 번째 위성과 상기 수신 기지국 간 링크의 통신 수율 중 최소 통신 수율을 기반으로 계산됨을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 라우팅 변수를 결정하는 과정은,

각 타임 슬롯 마다, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 라우팅 변수를 결정하는 과정인 것을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 위성 궤도 위치 변수를 결정하는 과정은,

각 타임 슬롯 마다, 상기 결정된 라우팅 변수가 적용된 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 위성 궤도 위치 변수를 결정하는 과정인 것을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들은 DF(Decode and Forward) 중계 방식으로 신호를 전송함을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법.

청구항 7

송신 기지국 측의 제1 궤도와 수신 기지국 측의 제2 궤도 상에 위치하는 저궤도(LEO: Low Earth Orbit) 위성(satellite) 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 라우팅(routing) 결정 장치에 있어서,

상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들과 상기 수신 기지국 간의 링크 각각에 대한 통신 수율(throughput)을 계산하고, 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산하는 통신 수율 계산부와,

상기 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정하는 변수 결정부와,

상기 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정하는 위성 배치 결정부를 포함하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 전체 링크의 통신 수율은 전체 타임 슬롯 동안 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 통신 수율의 합으로 계산됨을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

타임슬롯(timeslot) n 에 대한 상기 전체 링크의 통신 수율은 상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 중 i 번째 위성과의 연결관계와, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들 중 j 번째 위성과 상기 수신 기지국과의 연결관계와, 상기 송신 기지국과 상기 i 번째 위성 간 링크의 통신 수율, 상기 i 번째 위성과 상기 j 번째 위성 간 링크의 통신 수율 및 상기 j 번째 위성과 상기 수신 기지국 간 링크의 통신 수율 중 최소 통신 수율을 기반으로 계산됨을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 변수 결정부는 각 타임 슬롯 마다, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 라우팅 변수를 결정함을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 변수 결정부는 각 타임 슬롯 마다, 상기 결정된 라우팅 변수가 적용된 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대

값을 갖는 위성 궤도 위치 변수를 결정함을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들은 DF(Decode and Forward) 중계 방식으로 신호를 전송함을 특징으로 하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치.

청구항 13

청구항 제1항의 저궤도 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법을 수행하기 위한 컴퓨터 프로그램이 기록된 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 저궤도(LEO: Low Earth Orbit) 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 경로를 결정하는 방법, 기록 매체 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 대륙 간의 통신과 같이 매우 먼 거리에 위치하는 두 기지국 간의 통신에서는 해저 케이블과 같은 유선 통신으로는 미래의 통신 수요를 맞추기에 자원이 부족하며, 이를 해결하기 위해 최근에는 먼 거리에 위치하는 두 기지국 간의 통신을 보조하고자 기지국 사이에 저궤도 위성을 배치하여 통신 효율성 및 성능을 높이는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0004] 이러한 저궤도 위성은 지구로부터 상대적으로 가까운 고도에 위치하여 지연 시간이 적으므로 빠른 실시간 통신이 가능하고 응답성이 뛰어나며, 높은 데이터 전송 레이트를 제공하고, 멀티플 라우팅이 가능하고, 저궤도에 위치하므로 발사 비용이 상대적으로 적다는 장점이 있다.

[0005] 한편, 저궤도 위성 네트워크에서는 지구와 위성의 상대적인 위치, 궤도 고도, 주기 등을 고려하여 위성들의 궤도를 최적으로 설정하여 지구의 다양한 지역을 최대한 커버하고, 최적의 경로를 설정하여 기지국간 통신을 보조하는 것이 매우 중요하다.

[0006] 따라서 저궤도 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치와 경로를 최적화하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국공개특허공보 제10-2021-0064032호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 저궤도 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 경로를 최적화하는 방법, 기록 매체 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 기지국 측의 제1 궤도와 수신 기지국 측의 제2 궤도 상에 위치하는 저궤도(LEO) 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법은, 상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들과 상기 수신 기지국 간의 링크 각각에 대한 통신 수율을 계산하고, 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산하는 과정과, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정하는 과정과, 상기 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정하는 과정을 포함한다.

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 송신 기지국 측의 제1 궤도와 수신 기지국 측의 제2 궤도 상에 위치하는 저궤도(LEO) 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 장치는, 상기 송신 기지국과 상기 제1 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 상기 제2 궤도 상에 배치된 위성들과 상기 수신 기지국 간의 링크 각각에 대한 통신 수율을 계산하고, 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신 기지국과 상기 수신 기지국 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산하는 통신 수율 계산부와, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정하는 변수 결정부와, 상기 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정하는 위성 배치 결정부를 포함한다.

발명의 효과

[0014] 기술한 본 발명의 일측면에 따르면, 저궤도 위성 네트워크를 위한 위성 궤도 위치 및 경로를 최적화하는 방법, 기록 매체 및 장치를 제공함으로써, 통신 수율 최대화 문제를 해결하고 이를 통해 통신 품질 향상에 기여할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 저궤도 위성 네트워크의 예를 나타낸 도면,
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 장치의 내부 블록을 도시한 도면,
 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 동작의 예를 설명하기 위한 도면,
 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 장치의 동작을 나타낸 순서도,
 그리고, 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅 최적화 기법을 적용한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예와 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.

[0018] 본 발명에 따른 구성요소들은 물리적인 구분이 아니라 기능적인 구분에 의해서 정의되는 구성요소들으로써 각각이

수행하는 기능들에 의해서 정의될 수 있다. 각각의 구성요소들은 하드웨어 또는 각각의 기능을 수행하는 프로그램 코드 및 프로세싱 유닛으로 구현될 수 있을 것이며, 두 개 이상의 구성요소의 기능이 하나의 구성요소에 포함되어 구현될 수도 있을 것이다. 따라서 이하의 실시예에서 구성요소에 부여되는 명칭은 각각의 구성요소를 물리적으로 구분하기 위한 것이 아니라 각각의 구성요소가 수행되는 대표적인 기능을 암시하기 위해서 부여된 것이며, 구성요소의 명칭에 의해서 본 발명의 기술적 사상이 한정되지 않는 것임에 유의하여야 한다.

- [0019] 이하에서는 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- [0020] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 저궤도 위성 네트워크의 예를 나타낸 도면이다.
- [0021] 도 1을 참조하면, 도시된 저궤도 위성 네트워크(100)는 신호를 송신하는 송신측 기지국(BS: Base Station)인 소스(source) BS(110), 상기 신호를 수신하는 수신측 BS인 목적지(destination) BS(160), 상기 신호를 중계(relay)하는 위성들(120,130,140,150)을 포함한다. 상기 저궤도 위성 네트워크(100)는 도시된 바와 같이 구면 좌표계의 상황을 평면 좌표계로 근사화 할 수 있다고 가정하며, LOS(Line-of-Sight) 채널 상황을 가정한다.
- [0022] 위성들(120,130,140,150) 중 도면부호 120,130에 해당하는 위성들은 소스 BS(110)와 가까운 궤도 I 상에 위치하고, 도면부호 140,150에 해당하는 위성들은 목적지 BS(160)와 가까운 궤도 J 상에 위치한다.
- [0023] 소스 BS(110), 목적지 BS(160), 위성들(120,130,140,150) 각각에 대하여 평면 좌표계에서의 위치를 나타내는 좌표 정보는 다음과 같이 나타낼 수 있다.
- [0024] 소스 BS(110)의 좌표 정보는 (x_s, y_s, H_s) , 목적지 BS(160)의 좌표 정보는 (x_D, y_D, H_D) 와 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 H는 평면 좌표계에서의 고도(altitude)를 나타내며, S는 소스 BS를 나타내는 인덱스이고, D는 목적지 BS를 나타내는 인덱스이다.
- [0025] 궤도 I 상에 위치하며 도면부호 120에 해당하는 위성의 좌표 정보는 $(x_I, y_{I,k}[n], H_I)$, 도면부호 130에 해당하는 위성의 좌표 정보는 $(x_I, y_{I,k+1}[n], H_I)$ 와 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 k는 위성의 개수를 나타내는 인덱스이고, n은 타임 슬롯을 나타내는 인덱스이다.
- [0026] 궤도 J 상에 위치하며 도면부호 140에 해당하는 위성의 좌표 정보는 $(x_J, y_{J,k}[n], H_J)$, 도면부호 150에 해당하는 위성의 좌표 정보는 $(x_J, y_{J,k+1}[n], H_J)$ 와 같이 나타낼 수 있다.
- [0027] 소스 BS(110)는 궤도 I 상에 위치한 위성들 중 어느 하나의 위성으로 신호를 송신할 수 있고, 목적지 BS(160)는 궤도 J 상에 위치한 위성들 중 어느 하나의 위성으로부터 소스 BS(110)의 송신 신호를 수신할 수 있다. 도 1에서는 소스 BS(110)가 궤도 I 상에 위치한 위성(120)으로 신호를 송신하고, 목적지 BS(160)는 궤도 J 상에 위치한 위성(140)을 통해 상기 신호를 수신하는 경우를 하나의 예로써 나타내었다.
- [0028] 이 경우 소스 BS(110)와 목적지 BS(160)를 어떤 위성과 연결할지를 결정하는 라우팅과 이러한 위성들의 궤도 상 위치를 결정하는 것은 통신 효율성 및 성능을 높이는데 있어 매우 중요하다. 따라서 본 발명의 실시예에서는 도시된 저궤도 위성 네트워크(100)를 위해 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 별도의 장치(200)를 제안한다. 상기 장치(200)는 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화함으로써 저궤도 위성 네트워크(100)의 통신 효율성 및 성능을 높일 수 있으며, 일례로 서버, 데스크 탑(desktop) 개인용 컴퓨터(personal computer: PC), 랩탑(laptop) PC, 스마트폰(smart phone), 태블릿(tablet) 개인용 컴퓨터(personal computer: PC), 혹은 스마트 워치(smart watch) 등으로 구현될 수 있다.
- [0029] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 장치의 내부 블록을 도시한 도면이다.
- [0030] 도 2를 참조하면, 도시된 장치(200)는 통신수율 계산부(204), 변수(variable) 결정부(206) 및 위성 배치 결정부(208)를 포함한다.
- [0031] 통신수율 계산부(204)는 송신측 BS(소스 BS)와 상기 송신측 BS와 가까운 제1 궤도(궤도 I) 상에 배치된 위성들 간의 링크, 수신측 BS(목적지 BS)와 가까운 제2 궤도(궤도 J) 상에 배치된 위성들과 상기 수신측 BS 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크 각각에 대한 통신 수율(throughput)을 계산하고, 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신측 BS와 상기 수신측 BS 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산한다.
- [0032] 변수 결정부(206)는 상기 계산된 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정한다. 즉 변수 결정부(206)는 각 타임 슬롯 마다, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 최적의 라우팅 변수를 결정하고, 상기 결정된 최적의 라우팅 변수가 적용된 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖

는 최적의 위성 궤도 위치 변수를 결정한다.

[0033] 위성 배치 결정부(208)는 상기 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정한다.

[0034] 도 3은 본 발명의 실시예에 다른 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 동작의 예를 설명하기 위한 도면이다.

[0035] 도 3을 참조하면, 도시된 시스템은 도 1에서 설명한 저궤도 위성 네트워크를 가정하며, 동일한 도면부호를 사용하여 설명하도록 한다.

[0036] 도 1에서 설명한 바와 같이 LOS 채널 상황을 가정했을 때, 타임슬롯 n에 대한 소스 BS(110)와 목적지 BS(160) 간의 통신 수율은 하기 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$R[n] = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(d[n])^2} \right)$$

[0037]

[0038] 여기서 B는 채널의 대역폭(bandwidth)을 의미하고, d[n]은 n번째 타임슬롯에서의 링크간 거리를 의미하고, γ_0 는 1m 거리에서의 기준(reference) 신호 대 잡음 비(SNR: Signal to Noise Ratio) 값을 나타낸다.

[0039] 궤도 상에는 복수개의 위성들이 위치하며 이를 통해 다수의 링크가 생성될 수 있으므로, 소스 BS(110)와 목적지 BS(160)는 라우팅을 통해 하나의 링크를 정해야 하며 이를 위해서는 라우팅 변수가 필요하다. 상기 라우팅 변수에 대한 조건은 하기 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$\begin{aligned} a_{Si}[n], a_{jD}[n] &\in \{0, 1\} \\ \sum_{i \in I} a_{Si}[n] &\leq 1 \\ \sum_{j \in J} a_{jD}[n] &\leq 1 \end{aligned}$$

[0040]

[0041] 여기서 $a_{Si}[n], a_{jD}[n]$ 는 각각 소스 BS(110)와 I 궤도의 i번째 위성(120)과의 연결 관계, J 궤도의 j번째 위성(140)과 목적지 BS(160)와의 연결 관계를 나타내는 라우팅 변수이고, 0은 연결되지 않은 상태, 1은 연결된 상태를 의미한다고 정의한다. 소스 BS(110) 및 목적지 BS(160)는 각 궤도에서 하나의 위성하고만 연결되어야 하므로 BS와 각 궤도 간의 라우팅 변수의 값은 1보다 작거나 같다. 이를 고려한 각 링크의 통신 수율은 하기 수학식 3을 통해 계산할 수 있다.

수학식 3

$$R_{Si}[n] = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(x_I - x_S)^2 + (y_I[n] - y_S)^2 + (H_I - H_S)^2} \right)$$

$$R_{ij}[n] = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(x_I - x_J)^2 + (y_I[n] - y_J[n])^2 + (H_I - H_J)^2} \right)$$

$$R_{jD}[n] = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(x_J - x_D)^2 + (y_J[n] - y_D)^2 + (H_J - H_D)^2} \right)$$

[0042]

[0043] 여기서 $R_{Si}[n]$ 은 소스 BS(110)와 위성(120) 간 링크의 통신 수율을 의미하고, $R_{ij}[n]$ 은 위성(120)과 위성(140) 간 링크의 통신 수율을 의미하고, $R_{jD}[n]$ 은 위성(140)과 목적지 BS(160) 간 링크의 통신 수율을 의미한다.

[0044] 이때 위성들(120,140)은 DF(Decode and Forward) 중계 방식으로 신호를 전송하며, 이 경우 소스 BS(110)와 목적지 BS(160) 간의 전체 링크의 통신 수율은 하기 수학식 4를 통해 계산할 수 있다.

수학식 4

$$R_{SD}[n] = a_{Si}[n] a_{jD}[n] \min(R_{Si}[n], R_{ij}[n], R_{jD}[n])$$

[0045]

[0046] 여기서 $a_{Si}[n]$ 은 소스 BS(110)와 위성(120)과의 연결 관계를 나타내고, $a_{jD}[n]$ 은 위성(140)과 목적지 BS(160)과의 연결 관계를 나타내고, $R_{Si}[n]$ 은 소스 BS(110)와 위성(120) 간 링크의 통신 수율을 의미하고, $R_{ij}[n]$ 은 위성(120)과 위성(140) 간 링크의 통신 수율을 의미하고, $R_{jD}[n]$ 은 위성(140)과 목적지 BS(160) 간 링크의 통신 수율을 의미한다.

[0047] 위성의 특성상 주기성을 지니고 있고 궤도 상에 한번 배치하면 움직이는 것이 불가능하기 때문에 충분히 긴 시간 동안의 통신 수율을 최대화하도록 한다. 본 발명에서 최종적으로 얻고자 하는 것은 통신 수율을 최대화할 수 있는 위성 궤도 위치와 통신 경로를 나타내는 라우팅이므로, 전체 타임슬롯 동안 소스 BS(110)와 목적지 BS(160) 간의 전체 링크의 통신 수율은 하기 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\sum_{n=1}^N R_{SD}[n]$$

[0048]

[0049] 즉 소스 BS(110)와 목적지 BS(160) 간의 전체 링크의 통신 수율은 전체 타임 슬롯 동안 소스 BS(110)와 목적지 BS(160) 간의 통신 수율의 합으로 계산될 수 있다.

[0050] 수학식 5의 전체 링크의 통신 수율 계산식과 제약 조건을 포함한 전체 문제는 하기 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\begin{aligned}
 (\mathcal{P}) : \max_{x_I, x_J, A_{SI}, A_{JD}} \sum_{n=1}^N R_{SD}[n] \quad \text{where} \quad & \mathcal{A}_{SI} = \{a_{si}[n], \forall i \in \mathcal{I}, \forall n \in \mathcal{N}\}, \\
 & \mathcal{A}_{JD} = \{a_{jd}[n], \forall j \in \mathcal{J}, \forall n \in \mathcal{N}\} \\
 \text{s.t.} \quad & a_{si}[n], a_{ij}[n] \in \{0,1\}, \forall i, j, n \\
 & x_I < x_J \\
 & \sum_{i \in \mathcal{I}} a_{si}[n] \leq 1, \forall n \\
 & \sum_{j \in \mathcal{J}} a_{jd}[n] \leq 1, \forall n
 \end{aligned}$$

[0051]

[0052] 여기서 x_I 및 x_J 는 각각 I, J 궤도 상에서 위성의 위치를 나타내는 위성 궤도 위치 변수이고, A_{SI} 는 소스 BS와 I 궤도에 위치한 위성과의 연결 관계를 나타내는 라우팅 변수이고, A_{JD} 는 J 궤도에 위치한 위성과 목적지 BS와의 연결 관계를 나타내는 라우팅 변수이다.

[0053] 한편, 수학식 6에서 전체 변수, 즉 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수에 대해 동시에 최대값을 구하는 것은 매우 어려운 문제이므로, 본 발명의 실시예에서는 위성 궤도 위치 변수 x_I , x_J 와 라우팅 변수 $a_{si}[n]$, $a_{jd}[n]$ 에 대한 최적화 문제를 하기 수학식 7 및 수학식 8과 같이 분리하여 단계별로 진행한다.

수학식 7

$$\begin{aligned}
 (\mathcal{P1}) : \max_{a_{SI}, a_{JD}} R_{SD} \quad \text{where} \quad & a_{SI} = \{a_{si}, \forall i \in \mathcal{I}\}, \\
 & a_{JD} = \{a_{jd}, \forall j \in \mathcal{J}\} \\
 \text{s.t.} \quad & a_{si}, a_{ij} \in \{0,1\}, \forall i, j \\
 & \sum_{i \in \mathcal{I}} a_{si} \leq 1 \\
 & \sum_{j \in \mathcal{J}} a_{jd} \leq 1
 \end{aligned}$$

[0054]

수학식 8

$$\begin{aligned}
 (\mathcal{P2}) : \max_{x_I, x_J} \sum_{n=1}^N g(x_I, x_J; n) \\
 \text{s.t.} \quad x_I < x_J
 \end{aligned}$$

[0055]

[0056] 즉 수학식 7을 통해 각 타임슬롯마다 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 라우팅 변수를 결정하고, 수학식

8을 통해 상기 결정된 라우팅 변수가 적용된 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 위성 궤도 위치 변수를 결정한다. 수학적식 8에서 함수 g 는 수학적식 7을 통해 획득된다.

[0057] 수학적식 8의 목적함수는 비-볼록(non-convex) 함수이고, 이러한 비-볼록 함수의 문제는 SCA(Successive Convex Approximation) 기법을 통해 해결할 수 있다. 함수 g 는 하기 수학적식 9와 같이 나타낼 수 있다.

수학적식 9

$$g_{1,n}(x_I) = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(x_S - x_I)^2 + (y_S - y_I)^2 + (H_S - H_I)^2} \right)$$

$$g_{2,n}(x_I, x_J) = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(x_I - x_J)^2 + (y_I - y_J)^2 + (H_I - H_J)^2} \right)$$

$$g_{3,n}(x_J) = B \log_2 \left(1 + \frac{\gamma_0}{(x_J - x_D)^2 + (y_J - y_D)^2 + (H_J - H_D)^2} \right)$$

[0058]

[0059] 여기서 $g_{1,n}, g_{2,n}, g_{3,n}$ 은 각각 라우팅 변수가 정해진 $R_{Si}[n], R_{ij}[n], R_{jD}[n]$ 을 나타내고, $R_{SD}[n] = \min(R_{Si}[n], R_{ij}[n], R_{jD}[n])$ 이므로 $g_n(x_I, x_J) = \min(g_{1,n}, g_{2,n}, g_{3,n})$ 로 나타낼 수 있다.

[0060] 이때, 함수 g 가 위성 궤도 위치 변수에 대하여 비-볼록 함수이므로, 대리 함수(surrogate function)를 이용하여 이 문제를 해결할 수 있다. 상기 대리 함수는 하기 수학적식 10 내지 수학적식 12와 같은 테일러(Taylor) 함수를 이용한다.

수학적식 10

$$h_{1,n}(x_I \mid x_I^{(k)}) = g_{1,n}(x_I^{(k)}) + \frac{\partial g_{1,n}}{\partial x_I}(x_I^{(k)})(x_I - x_I^{(k)}) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g_{1,n}}{\partial x_I^2}(x_I^{(k)})(x_I - x_I^{(k)})^2$$

[0061]

수학적식 11

$$h_{2,n}(x_I, x_J \mid x_I^{(k)}, x_J^{(k)}) = g_{2,n}(x_I^{(k)}, x_J^{(k)}) + \frac{\partial g_{2,n}}{\partial x_I}(x_I^{(k)}, x_J^{(k)})(x_I - x_I^{(k)}) + \frac{\partial g_{2,n}}{\partial x_J}(x_I^{(k)}, x_J^{(k)})(x_J - x_J^{(k)})$$

$$+ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 g_{2,n}}{\partial x_I^2}(x_I^{(k)}, x_J^{(k)})(x_I - x_I^{(k)})^2 + \frac{\partial^2 g_{2,n}}{\partial x_J^2}(x_I^{(k)}, x_J^{(k)})(x_J - x_J^{(k)})^2 + 2 \frac{\partial^2 g_{2,n}}{\partial x_I \partial x_J}(x_I^{(k)}, x_J^{(k)})(x_I - x_I^{(k)})(x_J - x_J^{(k)}) \right)$$

[0062]

수학적식 12

$$h_{3,n}(x_J \mid x_J^{(k)}) = g_{3,n}(x_J^{(k)}) + \frac{\partial g_{3,n}}{\partial x_J}(x_J^{(k)})(x_J - x_J^{(k)}) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g_{3,n}}{\partial x_J^2}(x_J^{(k)})(x_J - x_J^{(k)})^2$$

[0063]

[0064] 여기서 $h_{1,n}, h_{2,n}, h_{3,n}$ 은 각각 $g_{1,n}, g_{2,n}, g_{3,n}$ 의 대리 함수이고, k는 SCA 기법의 k번째 반복(iteration)을 나타낸다.

[0065] 전체 함수는 하기 수학식 13 및 수학식 14 와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 13

[0066]
$$h_n(x_I, x_J \mid x_I^{(k)}, x_J^{(k)}) = \min(g_{1,n}, g_{2,n}, g_{3,n})$$

수학식 14

[0067]
$$h(x_I, x_J \mid x_I^{(k)}, x_J^{(k)}) = \sum_{n=1}^N h_n$$

$$= A + B(x_I - x_I^{(k)}) + C(x_J - x_J^{(k)}) + \frac{D}{2}(x_I - x_I^{(k)})^2 + \frac{E}{2}(x_J - x_J^{(k)})^2 + F(x_I - x_I^{(k)})(x_J - x_J^{(k)})$$

[0068] 수학식 13 및 수학식 14에 나타낸 전체 함수의 최대값을 구해야 하므로, 하기 수학식 15 및 수학식 16과 같이 편미분을 통해 해를 구한다.

수학식 15

[0069]
$$\frac{\partial h}{\partial x_I} = B + D(\hat{x}_I^{(k)} - x_I^{(k)}) + F(\hat{x}_J^{(k)} - x_J^{(k)}) = 0$$

수학식 16

[0070]
$$\frac{\partial h}{\partial x_J} = C + E(\hat{x}_J^{(k)} - x_J^{(k)}) + F(\hat{x}_I^{(k)} - x_I^{(k)}) = 0$$

[0071] 여기서 $\hat{x}_I^{(k)}, \hat{x}_J^{(k)}$ 는 함수 h의 최적점의 좌표가 되고, 하기 수학식 17 및 수학식 18과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 17

[0072]
$$\hat{x}_I^{(k)} = \frac{(DE - F^2)x_I^{(k)} - BE + FC}{DE - F^2}$$

수학식 18

$$\hat{x}_J^{(k)} = \frac{(F^2 - DE)x_J^{(k)} - BF + DC}{F^2 - DE}$$

[0073]

[0074] 수학식 18에서 $F^2 - DE = 0$ 인 경우에는 분모가 0이 되는 문제가 생기므로, 이 경우에는 초기값인 $x_I^{(0)}, x_J^{(0)}$ 을 새로 정의하여 같은 과정을 반복한다. SCA 기법에 따라 매 반복시마다 하기 수학식 19와 같이 진행한다.

수학식 19

$$\begin{aligned} x_I^{(k+1)} &= x_I^{(k)} + \gamma(\hat{x}_I^{(k)} - x_I^{(k)}) \\ x_J^{(k+1)} &= x_J^{(k)} + \gamma(\hat{x}_J^{(k)} - x_J^{(k)}) \end{aligned}$$

[0075]

[0076] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅을 최적화하는 장치의 동작을 나타낸 순서도이다.

[0077] 도 4를 참조하면, 402 단계에서 최적화 장치는 각 링크, 즉 송신측 BS와 상기 송신측 BS와 가까운 제1 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크, 수신측 BS와 가까운 제2 궤도 상에 배치된 위성들과 상기 수신측 BS 간의 링크, 상기 제1 및 제2 궤도 상에 배치된 위성들 간의 링크 각각에 대한 통신 수율을 계산한다.

[0078] 404단계에서 최적화 장치는 402단계에서 계산된 각 링크의 통신 수율을 기반으로 상기 송신측 BS와 상기 수신측 BS 간의 전체 링크의 통신 수율을 계산한다.

[0079] 406단계에서 최적화 장치는 404단계에서 계산된 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대가 되도록, 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 결정한다. 즉 최적화 장치는 각 타임 슬롯 마다, 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 최적의 라우팅 변수를 결정하고, 상기 결정된 최적의 라우팅 변수가 적용된 상기 전체 링크의 통신 수율이 최대값을 갖는 최적의 위성 궤도 위치 변수를 결정한다.

[0080] 408단계에서 최적화 장치는 406단계에서 결정된 위성 궤도 위치 변수 및 라우팅 변수를 기반으로 상기 제1 및 제2 궤도 상에서 위성들의 배치를 결정한다.

[0081] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 위성 궤도 위치 및 라우팅 최적화 기법을 적용한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그래프이다.

[0082] 도 5를 참조하면, 도시된 그래프는 전체 타임슬롯 개수 N에 따른 통신 수율을 나타낸 것으로, 궤도 I(H_I)와 궤도 J(H_J)의 높이는 각각 500km, 400km, 두 궤도에 배치되는 위성의 개수(K_I, K_J)는 40개, 기준 SNR(γ₀)은 10⁻⁹, 대역폭(B)은 10⁹Hz, 스텝 사이즈(γ)는 -0.1인 경우를 가정한다. 또한 송신 BS와 수신 BS의 좌표는 각각 (0,0,0), (3000km,3000km,0)과 같이 설정하였다고 가정한다.

[0083] 도 5를 통해 확인할 수 있는 바와 같이, 본 발명에서 제안하는 위성 궤도 위치 및 라우팅 최적화 기법이 적용된 proposed 그래프에 따른 통신 수율은 모든 경우의 수를 나열해보고 확인하는 기법이 적용된 exhaustive search 그래프에 따른 통신 수율과 거의 일치함을 알 수 있다.

[0084] 이와 같은 본 발명의 위성 궤도 위치 및 라우팅 결정 방법은 다양한 컴퓨터 구성요소를 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령어의 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체는 프로그램 명령어, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.

[0085] 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록되는 프로그램 명령어는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된

것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야의 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

[0086] 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체의 예에는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD 와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령어를 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다.

[0087] 프로그램 명령어의 예에는, 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드도 포함된다. 상기 하드웨어 장치는 본 발명에 따른 처리를 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0088] 이상에서는 본 발명의 다양한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어져서는 안될 것이다.

부호의 설명

[0090] 100: 저궤도 위성 네트워크

110: 소스 BS

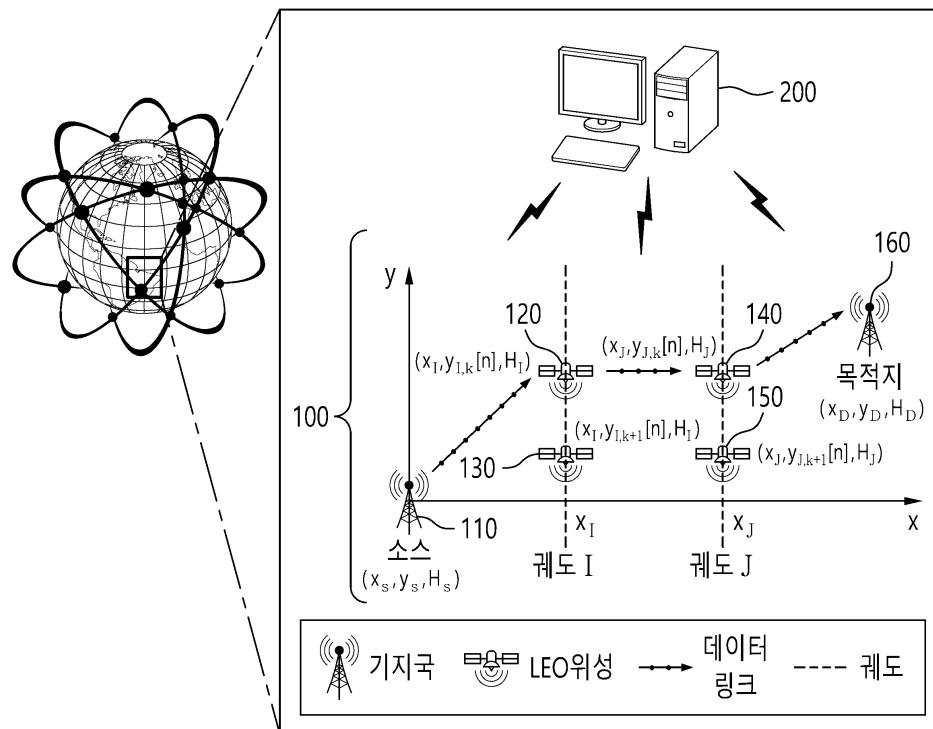
120, 130, 140, 150: 위성

160: 목적지 BS

200: 장치

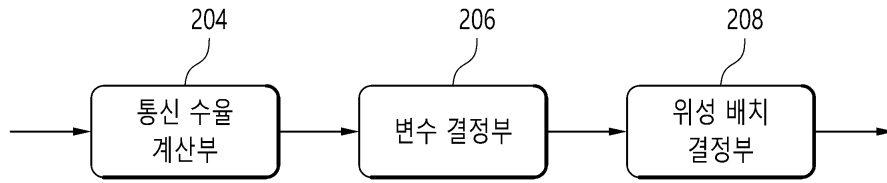
도면

도면1

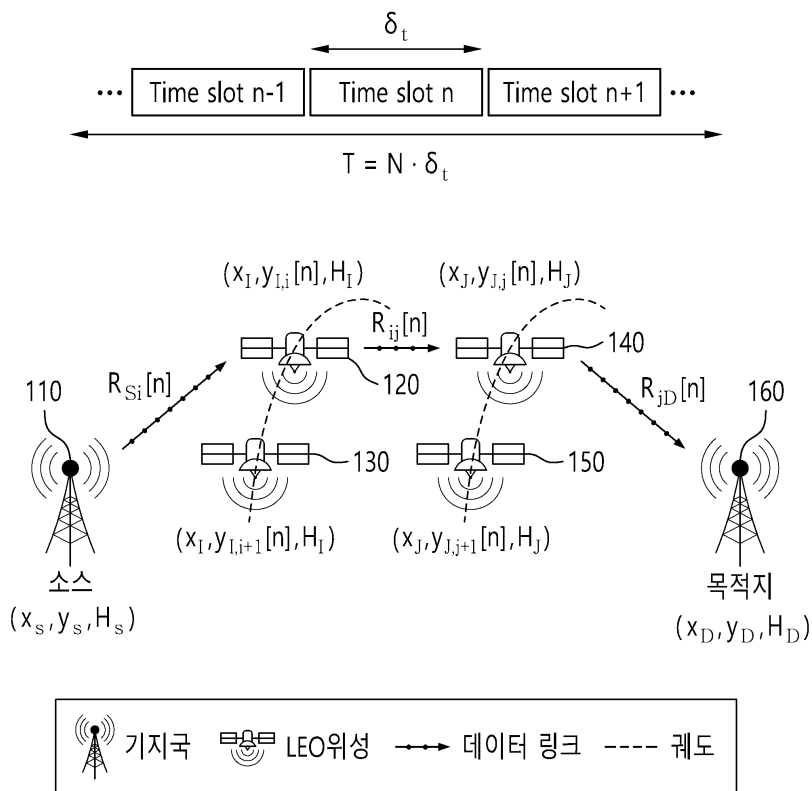


도면2

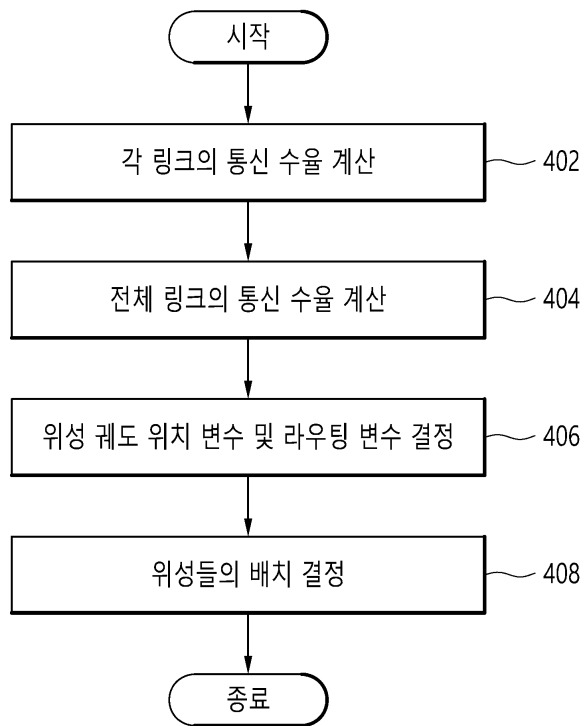
200



도면3



도면4



도면5

