(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0103822
(43) 공개일자 2021년08월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 7/022 (2017.01) *H04L 1/20* (2006.01)
H04L 12/24 (2006.01) *H04L 12/26* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 7/022 (2013.01)
H04L 1/203 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0018470
(22) 출원일자 2020년02월14일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국전자통신연구원
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
신우람
대전광역시 유성구 죽동로 251, 307동 1802호(죽동, 푸르지오아파트)
김석기
대전광역시 유성구 지족로 92, 101동 901호(지족동, 영무예다음 에코타운)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 무한

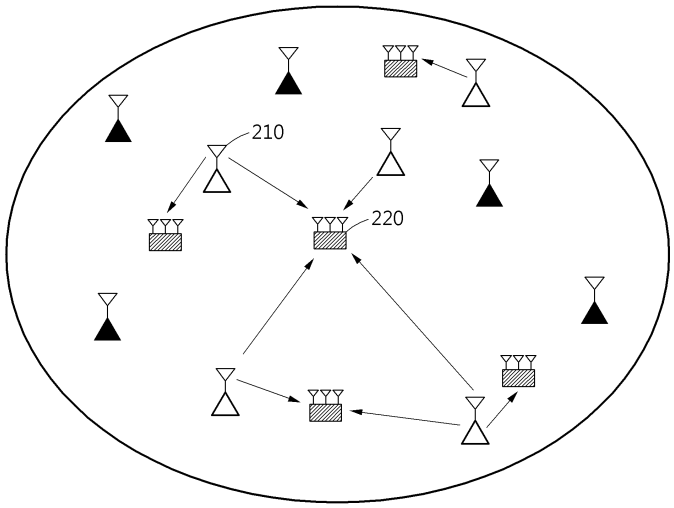
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **하향 링크 통신을 위한 분산 안테나 시스템 설계 방법 및 장치**

(57) 요 약

하향 링크 통신을 위한 분산 안테나 시스템 설계 방법 및 장치가 개시된다. 분산 안테나 시스템 설계 방법은 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 정의하는 단계; 상기 패킷 손실 확률을 최소화하는 코딩 에러 확률을 검색하는 단계; 상기 코딩 에러 확률을 이용하여 상기 분산 안테나 시스템에 최적화된 패킷 손실 확률을 결정하는 단계; 및 상기 최적화된 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건, 및 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터를 이용하여 상기 분산 안테나 시스템에 포함된 분산 안테나 (DA: Distributed antenna) 포트의 공간적 밀도를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
H04L 41/0836 (2013.01)
H04L 41/142 (2013.01)
H04L 43/0823 (2013.01)

(72) 발명자
박재현
부산광역시 남구 신선로 566, 307동 1101호(용호동, GS하이츠자이)

홍준표
부산광역시 남구 수영로 345, 115동 508호(대연동, 대연힐스테이트푸르지오)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711082927
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발(R&D)
연구과제명	셀룰러 기반 산업 자동화 시스템 구축을 위한 5G 성능 한계 극복 저지연, 고신뢰, 초연결 통합 핵심기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국전자통신연구원
연구기간	2019.01.01 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 정의하는 단계;

상기 패킷 손실 확률을 최소화하는 코딩 에러 확률을 검색하는 단계;

상기 코딩 에러 확률을 이용하여 상기 분산 안테나 시스템에 최적화된 패킷 손실 확률을 결정하는 단계; 및

상기 최적화된 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건, 및 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터를 이용하여 상기 분산 안테나 시스템에 포함된 분산 안테나 (DA: Distributed antenna) 포트의 공간적 밀도를 결정하는 단계

를 포함하는 분산 안테나 시스템 설계 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 분산 안테나 시스템 설계 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 분산 안테나 시스템의 자원이 최적화되도록 설계하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] Industry 4.0의 흐름으로 제조업과 같은 전통 산업에 IT 시스템을 결합하여 생산 시설들을 네트워크화하고 지능형 생산 시스템을 갖춘 스마트 공장 (smart factory)의 수요가 커지고 있다. 이에 5G 통신 시스템 표준화에서는 공장 자동화 (factory automation)을 위한 mission-critical machine-type communication 기술 (MTC)에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다. 최근 에릭슨(ERICSSON)이 발표한 보고서에 따르면, 네트워크 사업자의 5G 관련 신규 매출이 기존 통신매출 규모의 34%에 달하고 제조업에 5G 활용의 필요성이 증가함에 따라 industry IoT가 정체되어 있는 기존 통신 시장에 새로운 매출 창출의 기회로써 작용할 것으로 전망하고 있다.

[0003] 공장 자동화를 위한 MTC에서는 굉장히 낮은 지연과 높은 신뢰도가 보장된 통신 (Ultra reliable and low latency communications, URLLC) 기술이 요구된다. 예를 들어 공장에서의 기기 제어와 알람을 위해 MTC는 $1-10^{-6}$의 통신신뢰도와 0.5~5 ms 수준의 통신 지연을 만족시켜야 한다. 이와 같은 높은 성능 요구치를 만족시키기 위해 다양한 무선 통신 기술에 대한 논의가 이루어져 왔다.

[0004] URLLC를 위한 각 요소 기술(short blocklength packet, multi-antenna diversity, network densification, grant-free access)에 대한 연구는 많이 이루어져 있는 상황이지만 구체적인 성능지표 달성을 위한 요소 기술들의 효과적인 조율 및 활용에 대한 연구는 아직 많지 않은 상황이다.

[0005] 최근 싱가포르 SUTD의 Tony Quek 교수 연구진은 단일 기지국 환경에서 구체적인 통신 신뢰도 및 통신 지연 요구치를 동시에 만족시키기 위한 자원할당 문제를 effective bandwidth와 짧은 블록길이 패킷의 전송률 공식을 활용해 정의하고, 이를 해결하기 위한 heuristic 알고리즘을 제안하였다. 이는 지연과 신뢰도 요구치가 함께 고려된 문제를 처음 정의하였다는 점에서 의의가 있으나, 직교 채널 할당을 통한 간단한 형태의 전송 기법에 대해서만 다루고 있다는 점에서 성능 향상의 여지가 아직 남아있는 것으로 보인다.

[0006] 따라서, 분산 안테나 시스템의 자원이 최적화되도록 설계하는 방법이 요청되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 URLLC를 위한 주어진 성능 요구치, 대역폭, 분산 안테나 포트 내 안테나 개수에 따라 패킷 손실률과 같은 하향 링크 URLLC 성능 지표를 달성하기 위한 DA 포트의 공간적 밀도를 결정함으로써, 분산 안테나 시스템의 자원이 최적화되도록 설계하는 방법 및 장치를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 방법은 분산 안테나 시스템 설계 방법은 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 정의하는 단계; 상기 패킷 손실 확률을 최소화하는 코딩 에러 확률을 검색하는 단계; 상기 코딩 에러 확률을 이용하여 상기 분산 안테나 시스템에 최적화된 패킷 손실 확률을 결정하는 단계; 및 상기 최적화된 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건, 및 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터를 이용하여 상기 분산 안테나 시스템에 포함된 분산 안테나 (DA: Distributed antenna) 포트의 공간적 밀도를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 일실시예에 의하면, URLLC를 위한 주어진 성능 요구치, 대역폭, 분산 안테나 포트 내 안테나 개수에 따라 패킷 손실률과 같은 하향 링크 URLLC 성능 지표를 달성하기 위한 DA 포트의 공간적 밀도를 결정함으로써, 분산 안테나 시스템의 자원을 최적화할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 장치를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템의 일례이다.

도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 방법을 도시한 플로우차트이다.

도 4는 본 발명의 제2 실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 방법을 도시한 플로우차트이다.

도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 분산 안테나 시스템에서 사용하는 다중 대역의 일례이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 종래의 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률과 비교한 결과의 일례이다.

도 7은 본 발명의 제1 실시예에 따른 분산 안테나 시스템에서 DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

도 8은 본 발명의 제2 실시예에 따른 분산 안테나 시스템에서 DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있어서 특허출원의 권리 범위가 이러한 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 실시예들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물이 권리 범위에 포함되는 것으로 이해되어야 한다.

[0012] 실시예에서 사용한 용어는 단지 설명을 목적으로 사용된 것으로, 한정하려는 의도로 해석되어서는 안된다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 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.

[0013] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0014] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0015] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 장치를 도시한 도면이다.

[0016] 분산 안테나 시스템 설계 장치(100)는 도 1에 도시된 바와 같이 패킷 손실 확률 정의부(110), 코딩 에러 확률 검색부(120), 정전 확률 결정부(130) 및 공간적 밀도 결정부(140)를 포함할 수 있다. 이때, 패킷 손실 확률 정의부(110), 코딩 에러 확률 검색부(120), 정전 확률 결정부(130) 및 공간적 밀도 결정부(140)는 서로 다른 프로세서, 또는 하나의 프로세서에서 수행되는 프로그램에 포함된 각각의 모듈일 수 있다.

[0017] 패킷 손실 확률 정의부(110)는 전송 대역폭, 센서 노드에서의 수신 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)를 기초로 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 정의할 수 있다.

[0018] 코딩 에러 확률 검색부(120)는 패킷 손실 확률 정의부(110)가 정의한 패킷 손실 확률을 최소화하는 코딩 에러 확률을 수치적으로 검색할 수 있다.

[0019] 그리고, 패킷 손실 확률 정의부(110)는 코딩 에러 확률 검색부(120)가 검색한 코딩 에러 확률을 이용하여 분산 안테나 시스템에 최적화된 패킷 손실 확률을 결정할 수 있다.

[0020] 정전 확률 결정부(130)는 분산 안테나 시스템에 포함된 기준 센서 노드와 기준 센서 노드를 서빙하는 분산 안테나(DA: Distributed antenna) 포트 간의 거리에 따라 분산 안테나 시스템의 채널 정전(Outage) 확률을 결정할 수 있다.

[0021] 공간적 밀도 결정부(140)는 채널 정전 확률, 최적화된 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건, 및 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터를 이용하여 분산 안테나 시스템에 포함된 DA 포트의 공간적 밀도를 결정할 수 있다.

[0022] 분산 안테나 시스템 설계 장치(100)는 URLLC를 위한 주어진 성능 요구치, 대역폭, 분산 안테나 포트 내 안테나 개수에 따라 패킷 손실률과 같은 하향 링크 URLLC 성능 지표를 달성하기 위한 DA 포트의 공간적 밀도를 결정함으로써, 분산 안테나 시스템의 자원을 최적화할 수 있다.

[0023] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템의 일례이다.

[0024] 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템에서 분산된 DA 포트(210)는 도 2에 도시된 바와 같이 1개의 안테나를 가질 수 있다. 그리고, DA 포트(210)의 위치는 공간 밀도 λ_D를 가지는 독립적인 Poisson Point Process (PPP) $\Phi(\lambda_D)$에 따라 랜덤하게 결정될 수 있다

[0025] 또한, 센서 노드(220)들은 Nr개의 안테나를 가질 수 있다. 그리고, 센서 노드(220)들 위치는 공간 밀도 λ_S를 가지는 독립적인 PPP $\Phi(\lambda_S)$에 따라 랜덤하게 결정될 수 있다.

[0026] 네트워크 성능은 원점에 대표적인 기준 센서 노드가 있다고 가정하고 이 기준 센서 노드에서의 성능 분석 결과와 동일하므로, 분산 안테나 시스템 설계 장치(100)는 분산 안테나 시스템의 원점에 기준 센서 노드가 있다고 가정하여 분산 안테나 시스템을 분석 및 설계할 수 있다.

[0027] 이때, DA포트(210)의 위치 및 채널은 $\Phi(\lambda_D)=\{(r_i,\mathbf{g}_i),i=0,1,2,\ldots\}$으로 표현할 수 있다. 또한, ($r_i$, g_i)는 각각 i번째 DA포트(210)가 가지는 원점으로부터의 거리 및 i번째 DA 포트(210)로부터 기준 센서 노드 사이의 CSI(Short-term channel state information)를 나타낼 수 있다.

[0028] 또한, DA포트(210)가 $r_0<r_1<r_2<\cdots$형태로 정렬된 경우, $\mathbf{g}_i\in C^{N_r\times 1}$은 각각의 원소가 복소 가우시안 분포를 따르는 랜덤 변수일 수 있다 . 다만, $r_0<r_1<r_2<\cdots$형태로 정렬되지 않은 경우에도 확장 가능할 수 있다.

[0029] 이때, DA 포트(210)가 기준 센서 노드로부터 수신한 수신 신호는 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0030] [수학식 1]

[0031] $$y_0=r_0^{-\alpha/2}\mathbf{w}_0^H\mathbf{g}_0x_0+\sum_{i\in\Phi(\lambda_{AD})}r_i^{-\alpha/2}\mathbf{w}_0^H\mathbf{g}_ix_i+\mathbf{w}_0^H\mathbf{n}_0$$

[0032] 이때, $\mathbf{w}_0$는 기준 센서 노드에서의 Maximal ratio combining 벡터이고, λ_{AD}는 Active DA (활성화된 분산안테나) 포트의 공간적 밀도일 수 있다.

[0033] 도 3은 본 발명의 제1 실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 방법을 도시한 플로우차트이다.주파수 대역이 1개인 경우, 분산 안테나 시스템을 설계하는 방법이다. 예를 들어, 본 발명의 제1 실시예는 분산 안테나 시스템의 전체 대역폭이 B_T인 경우, 모든 노드들이 B_T의 대역폭을 가지는 하나의 대역에서 공존하는 형태로 동작하는 분산 안테나 시스템을 설계하는 방법이다.

[0034] 단계(310)에서 패킷 손실 확률 정의부(110)는 전송 대역폭, 센서 노드에서의 수신 SINR를 기초로 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 정의할 수 있다.

[0035] URLLC에서는 저지연 조건으로 인해 패킷 시간 길이가 짧아서 Shannon Capacity기반의 최대 전송속도를 달성할 수 없게 된다. 따라서, 패킷 손실 확률 정의부(110)는 짧은 패킷 길이로 인한 전송 속도 표현을 분석에 사용하기 위하여 수학식 2과 같은 전송률 표현식을 사용할 수 있다.

[0036] [수학식 2]

[0037] $$R_0 \approx \frac{B}{ln2}\left[ln(1+\gamma_0) - \sqrt{\frac{V_0}{\phi B}} f_Q^{-1}(\epsilon_c)\right] \text{ (bps)}$$

[0038] 이때, ϕ는 패킷 시간 길이이고, B는 전송 대역폭을 나타내며, γ_0는 기준 센서 노드에서의 수신 SINR일 수 있다. 그리고, γ_0는 수학식 3과 같이 주어질 수 있다.

[0039] [수학식 3]

[0040] $$\gamma_0 = \frac{r_0^{-\alpha}|\mathbf{w}_0^H \mathbf{g}_0|^2}{\sum_{i\in\Phi(\lambda_{AD})} r_i^{-\alpha}|\mathbf{w}_0^H \mathbf{g}_i|^2 + \sigma_n^2/P_{tx}}$$

[0041] 이때, $V_0 = 1-(1+\gamma_0)^{-2}$이고, ϵ_c는 짧은 패킷 길이로 인한 채널 코딩 오차 확률을 나타낼 수 있다. 또한, f_Q^{-1}는 Inverse Q function을 나타낼 수 있다.

[0042] URLLC에서 신뢰도와 연관 있는 성능 척도로써 패킷 손실 확률을 고려하며, 큐(Queue)에서의 드로핑(Dropping) 확률을 고려하지 않는 경우, 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률인 P_{loss}는 수학식 4와 같이 유도될 수 있다.

[0043] [수학식 4]

[0044] $$\begin{aligned} P_{loss} &= 1 - P(\phi R_0 > u)(1-\epsilon_c) \\ &= 1 - (1 - P(R_0 < R_{th}))(1-\epsilon_c) \\ &\approx P(R_0 < R_{th}) + \epsilon_c \\ &\approx P(\gamma_0 < \gamma_{th}(\epsilon_c)) + \epsilon_c, \end{aligned}$$

[0045] 이때, u는 패킷 크기이며, $\Pr(\gamma_0 < \bar{\gamma}_{th})$는 채널 정전 확률일 수 있다. 또한, ϵ_c은 짧은 패킷 길이로 인한 코딩 에러 확률이므로, $\gamma_{th}(\epsilon_c)$는 수학식 5와 같이 주어질 수 있다.

[0046] [수학식 5]

[0047] $$\gamma_{th}(\epsilon_c) = e^{\frac{ln2u}{\phi B} + \sqrt{\frac{1}{\phi B}} f_Q^{-1}(\epsilon_c)} - 1,$$

[0048] 즉, 분산 안테나 시스템의 DA 포트에서 송신한 각각의 패킷이 성공적으로 기준 센서 노드에 전송되기 위해서는 실질적인 패킷 전송률이 특정 속도인 S_{th}보다 크고, 전송된 패킷의 짧은 패킷 길이(Short packet length)로 인한 채널 코딩 에러도 발생하지 않아야 한다.

[0049] 단계(320)에서 코딩 에러 확률 검색부(120)는 단계(310)에서 정의한 패킷 손실 확률을 최소화하는 코딩 에러 확률을 수치적으로 검색할 수 있다.

[0050] 이때, 코딩 에러 확률인 ϵ_c은 채널 정전(Channel outage)확률에도 영향을 미치고 있으므로, 전체적인 패킷 손실 확률을 줄이기 위해서는 코딩 에러 확률인 ϵ_c를 최적화하여야 한다. 이때, 코딩 에러 확률 검색부(120)는 채널

피드백이 없어서 DA포트가 Short term CSI는 알 수 없는 상태에서 코딩 에러 확률인 ϵ_c를 최적화할 수 있다.

[0051] 코딩 에러 확률 검색부(120)는 기준 수신 센서 노드에서의 간섭량을 $I_0 = \sum_{i \in \Phi(\lambda_{AD})} r_i^{-\alpha/2} \mathbf{w}_0^H \mathbf{g}_i x_i + \mathbf{w}_0^H \mathbf{n}_0$으로 정의할 수 있다. 이때, 간섭 센서 노드들이 매우 많을 경우, 코딩 에러 확률 검색부(120)는 중심 극한 정리(Central limit theorem)에 의해 간섭량은 가우시안 분포를 따르는 확률 변수(Random variable)로 근사화할 수 있다. 이때, 평균은 0이고 분산은 $\sigma_{I_0}^2 = P_{tx} \sum_{i \in \Phi(\lambda_{AD})} r_i^{-\alpha} + \sigma_{n_0}^2$일 수 있다. 그리고, 분산 값은 Long-term CSI에 의존하며, 각각의 DA 포트는 Short term CSI 없이 분산 값을 추정할 수 있다. 따라서, 코딩 에러 확률 검색부(120)는 기준 수신 센서 노드에서의 SINR은 수학식 6과 같이 근사화할 수 있다.

[0052] [수학식 6]

[0053] $$\gamma_0 \approx \frac{r_0^{-\alpha} \Psi_0}{\sigma_{I_0}^2}$$

[0054] 그리고, 코딩 에러 확률 검색부(120)는 패킷 손실 확률을 수학식 7과 같이 정리할 수 있다.

[0055] [수학식 7]

[0056] $$P_{loss} \approx 1 - exp\left[-\frac{\sigma_{I_0}^2}{r_0^{-\alpha} P_{tx}} \gamma_{th}(\epsilon_c)\right] \sum_{k=0}^{N_r-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\sigma_{I_0}^2}{r_0^{-\alpha} P_{tx}} \gamma_{th}(\epsilon_c)\right)^k + \epsilon_c$$

[0057] 다음으로, 코딩 에러 확률 검색부(120)는 수학식 7에서 패킷 손실 확률인 P_{loss}를 최소화하는 ϵ_c를 수치적으로 검색할 수 있다. 또한, 수학식 7의 패킷 손실 확률은 ϵ_c에 대해 Convex이므로, 계산 복잡도가 적은 Bisection 방식 등의 선형 최적화 기법을 통해 효율적으로 최적값을 찾을 수 있다.

[0058] 단계(340)에서 정전 확률 결정부(130)는 분산 안테나 시스템에 포함된 기준 센서 노드와 기준 센서 노드를 서빙하는 분산 안테나(DA: Distributed antenna) 포트 간의 거리에 따라 분산 안테나 시스템의 채널 정전(Outage) 확률을 결정할 수 있다. 예를 들어, 기준 센서 노드와 기준 센서 노드를 서빙하는 DA포트 간의 간격이 r_0인 경우, 정전 확률 결정부(130)는 수학식 8에 따라 채널 정전(Outage) 확률인 $\Pr(\gamma_0 < \bar{\gamma}_{th})$을 결정할 수 있다.

[0059] [수학식 8]

[0060] $$P(\gamma_0 < \bar{\gamma}_{th}) = 1 - \int_0^\infty \left(2\pi\lambda_D r e^{-\pi\lambda_D r^2} \sum_{j=0}^{N_r-1} \frac{(-1)^j}{j!} \left(\frac{\bar{\gamma}_{th} r^\alpha}{P_{tx}}\right)^j \frac{d^j}{dz^j} L_{I|r}(z)\Big|_{z=\frac{\bar{\gamma}_{th} r^\alpha}{P_{tx}}}\right) dr.$$

[0061] 이때, 기준 센서 노드에서 수신되는 간섭 신호 전력의 라플라스 변환인 $L_{I|r_0}(z)$은 수학식 9와 같이 주어질 수 있다.

[0062] [수학식 9]

[0063] $$L_{I|r_0}(z) = exp\left[-\pi\lambda_{AD} r_0^2 \left[{}_2F_1\left(-\frac{2}{\alpha}, 1; 1 - \frac{2}{\alpha}; -z P_{tx} r_0^{-\alpha}\right) - 1\right]\right]$$

[0064] 이때, ${}_2F_1(\cdot)$은 가우스 초기하급수(Gauss Hypergeometric) 함수일 수 있다. 그리고, 간섭 신호 전력의 라플라스 변환인 $L_{I|r_0}(z)$는 수학식 10과 같이 유도될 수 있다.

[0065] [수학식 10]

$$L_{I|r_0}(z) = exp\left[-2\pi\lambda_{AD}\frac{(zP_{tx})^{\frac{2}{\alpha}}}{\alpha}C(z)\right]$$

[0066]

[0067] 이때, $C(z) = (B(\frac{2}{\alpha},1-\frac{2}{\alpha}) - B(\frac{1}{1+zP_{tx}r_0^{-\alpha}},\frac{2}{\alpha},1-\frac{2}{\alpha}))$ 이고, $B(a,b) = \frac{\Gamma(a)\Gamma(b)}{\Gamma(a+b)}$, $B(x,a,b) = \int_0^x u^{a-1}(1-u)^{b-1}du$ 일 수 있다.

[0068] 다음으로, 공간적 밀도 결정부(140)는 채널 정전 확률, 최적화된 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건, 및 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터를 이용하여 분산 안테나 시스템에 포함된 DA 포트의 공간적 밀도를 결정할 수 있다. 예를 들어, 분산 안테나 시스템에 최적화된 패킷 손실 확률이 ϵ_{th}인 경우, 공간적 밀도 결정부(140)는 채널정전확률이 ϵ_{th}/2이고, 코딩 에러 확률이 ϵ_{th}/2가 되는 공간적 밀도를 결정할 수 있다. 따라서, 센서 노드들의 공간적 밀도가 λ_S로 주어지고, 패킷 손실 확률이 ϵ_{th}보다 작아야 한다는 제약 조건이 있는 경우, 공간적 밀도 결정부(140)는 수학식 8로부터 유도한 수학식 11을 사용하여 제약 조건을 만족하기 위한 DA포트의 공간적 밀도인 $\bar{\lambda}_D$를 결정할 수 있다.

[0069] [수학식 11]

$$\bar{\lambda}_D = \frac{\bar{C}\gamma_{th}^{\frac{2}{\alpha}}(\epsilon_{th})}{\pi\bar{K}}\frac{\lambda_S}{\epsilon_{th}},$$

[0070]

[0071] 이때, $\bar{C}$는 수학식 12와 같이 주어질 수 있다.

[0072] [수학식 12]

$$\begin{aligned}\bar{C} &= \frac{2\pi}{\alpha}C(z)|_{z=\frac{\gamma_{th}(\epsilon_{th})r^{\alpha}}{P_{tx}}} \\ &= B(\frac{2}{\alpha},1-\frac{2}{\alpha}) - B(\frac{1}{1+\gamma_{th}(\epsilon_{th})},\frac{2}{\alpha},1-\frac{2}{\alpha}).\end{aligned}$$

[0073]

[0074] 또한, $\bar{K}$는 수학식 13과 같이 주어질 수 있다.

[0075] [수학식 13]

$$\bar{K} = \beta_{N_r}\left(\sum_{j=1}^{N_r-1}\frac{1}{\alpha j!}\prod_{l=0}^{j-1}(l-\frac{2}{\alpha})\right)^{-1}.$$

[0076]

[0077] 이때, β_{N_r}는 비례상수이며, 본 발명에서는 $\beta_{N_r} = 10^{N_r-1}$로 설정하였으나, 시스템에 따라 변경할 수 있는 파라미터이다.

[0078] 수학식 11에 따르면, 분산 안테나 시스템에서 요구되는 패킷 손실 확률이 작아지면 이것에 반비례해서 필요한 DA포트의 공간적 밀도가 증가하게 된다. 즉 공간적 밀도가 증가하게 되면 센서 노드와 DA포트 사이의 경로 손실을 줄일 수 있기 때문에 패킷 손실 확률이 줄어들 수 있다. 또한 센서 노드들의 밀도가 증가하게 되면 이것에 비례해서 요구되는 DA포트의 공간적 밀도가 증가하게 된다.

[0079] 도 4는 본 발명의 제2 실시예에 따른 분산 안테나 시스템 설계 방법을 도시한 플로우차트이다. 본 발명의 제2 실시예는 주파수 대역이 복수인 경우, 분산 안테나 시스템을 설계하는 방법이다. 예를 들어, 본 발명의 제2 실시예는 도 5에 도시된 바와 같이 하향링크를 위해 N개의 다중 부대역(Multiple subband)을 가지는 분산 안테나

시스템을 설계하는 방법이다. 이때, 주파수 대역들 B_{sub}들은 분산 안테나 시스템의 전체 대역폭 B_T 에 대하여 수학식 14와 같이 나타낼 수 있다.

[0080] [수학식 14]

[0081]
$$B_{sub} = \frac{B_T}{N}$$

[0082] 이때, 각각의 센서 노드는 자신이 활용할 수 있는 N개의 부대역 슬롯 중에 가장 채널이득이 큰 부대역 슬롯을 선택하여 하향링크 데이터를 수신 받는 프로토콜을 활용할 수 있다. 또한, 센서 노드는 순간 채널 이득을 바탕으로 센서노드에서 부대역을 선택하여 송신단에 알려주는 프로토콜이 필요하며, 부대역의 개수에 비례해서 logN bit의 피드백 비트량이 요구된다.

[0083] 단계(410)에서 패킷 손실 확률 정의부(110)는 전송 대역폭, 센서 노드에서의 수신 SINR를 기초로 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 정의할 수 있다.

[0084] 단계(420)에서 코딩 에러 확률 검색부(120)는 단계(410)에서 정의한 패킷 손실 확률을 최소화하는 코딩 에러 확률을 수치적으로 검색할 수 있다.

[0085] 단계(430)에서 패킷 손실 확률 정의부(110)는 단계(420)에서 검색한 코딩 에러 확률을 이용하여 분산 안테나 시스템에 최적화된 패킷 손실 확률을 결정할 수 있다.

[0086] 단계(410) 내지 단계(430)은 단계(310) 내지 단계(330)과 동일한 동작을 수행하므로, 상세한 설명은 생략한다.

[0087] 단계(440)에서 정전 확률 결정부(130)는 분산 안테나 시스템의 채널 정전(Outage) 확률을 결정할 수 있다. 예를 들어, 정전 확률 결정부(130)는 수학식 15에 따라 채널 정전(Outage) 확률인 $\Pr(\gamma_0 < \bar{\gamma}_{th})$을 결정할 수 있다.

[0088] [수학식 15]

[0089]
$$\Pr(\gamma_0 < \bar{\gamma}_{th}) = 1 - \int_0^{\infty} \left(2\pi\lambda_D r e^{-\pi\lambda_D r^2} \sum_{n=1}^{N} {}_N C_n (-1)^{n+1} L_{I|r}(z)\big|_{z=\frac{n\bar{\gamma}_{th} r^{\alpha}}{P_{tx}}} \right) dr$$

[0090] 이때, 수학식 15는 수학식 8이 비하여 하나의 센서 노드가 활용할 수 있는 대역폭이 1/N으로 줄어들고 요구되는 피드백 비트 수는 증가하지만, 주파수 다양성 (frequency diversity)이득을 획득할 수 있으며, 각 부대역 슬롯에 존재하는 간섭량을 1/N로 줄일 수 있다.

[0091] 단계(450)에서 공간적 밀도 결정부(140)는 단계(440)에서 결정한 채널 정전 확률, 최적화된 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건, 및 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터를 이용하여 분산 안테나 시스템에 포함된 DA 포트의 공간적 밀도 및 부대역 슬롯 수들을 결정할 수 있다. 예를 들어, 시스템 파라미터는 센서 노드들의 안테나 개수 및 센서 노드들의 공간적 밀도, 패킷 시간 길이 및 크기 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0092] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 종래의 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률과 비교한 결과의 일례이다.

[0093] 가로 80m, 세로 80m의 정사각형 모양의 영역에서 Homogeneous PPP의 조건에 따르거나, 랜덤하게 센서 노드들 및 DA 포트들이 분산 배치될 수 있다. 그리고, DA 포트들은 100mW의 송신 전력을 쓰고 있으며, 각각의 수신 센서 노드들에 더해지는 잡음 전력은 316uW일 수 있다. 이때, 경로 손실 지수(Path loss exponent)는 4이고, 대역폭(B) 및 패킷 길이(ω) 는 각각 100MHz, 0.2msec이며, 패킷 길이의 크기(u)는 100bits일 수 있다. 그리고, 분산 안테나 시스템의 시스템 파라미터들은 $N_r = 1$, $\lambda_{\mathcal{S}} = 0.01 nodes/m^2$일 수 있다.

[0094] 본 발명의 일실시예에 따라 최적의 패킷 손실 확률을 결정하여 설계된 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률(620)은 도 6에 도시된 바와 같이 종래의 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률을 결정한 경우(610)에 비하여 성능이 개선될 수 있다. 이때, 종래의 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률 $\epsilon_{\mathcal{C}} = \epsilon_{th} = 10^{-3}$이며, 도 6의 그래프에서 x축은 DA포트의 공간적 밀도를 나타낼 수 있다.

[0095] 도 6에 도시된 바와 같이 DA포트의 공간적 밀도가 증가함에 따라 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템과 종래의 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률이 모두 감소할 수 있다. 다만, 본 발명의 일실시예에 따라 설계된 분산 안테나 시스템의 손실 확률은 동일한 DA 포트의 공간적 밀도 상에서 종래의 분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률 보다 적을 수 있다.

[0096] 도 7은 본 발명의 제1 실시예에 따른 분산 안테나 시스템에서 DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

[0097] 도 7에서 점선은 수학식 11에 대응하는 그래프이고 Circle마크의 실선은 수학식 7에 따라 최적 코딩 에러 확률 ϵ_c을 찾는 패킷 손실 확률 최소화 기법을 적용한 결과에 따른 그래프이다. 도 7에 따르면, 점선을 따라 목표하는 패킷 손실률에 따른 DA포트 밀도를 활용하여 DAS를 구성하였을 때 항상 원하는 목표 패킷 손실률을 달성할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0098] 도 8은 본 발명의 제2 실시예에 따른 분산 안테나 시스템에서 DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

[0099] 도 8의 그래프(810)는 전제 대역폭을 을 100MHz로 설정한 상태에서 전체대역폭을 나누지 않고 사용하는 경우, DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

[0100] 또한, 도 8의 그래프(820)는 전제 대역폭을 B_T을 100MHz로 설정한 상태에서 전체대역폭을 2개로 분할하여 사용하는 경우, DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

[0101] 그리고, 도 8의 그래프(830)는 전제 대역폭을 B_T을 100MHz로 설정한 상태에서 전체대역폭을 4개로 분할하여 사용하는 경우, DA 포트의 공간적 밀도에 따른 패킷 손실 확률의 일례이다.

[0102] 또한, 비교군으로써 부대역의 채널 이득이 가장 큰 부대역을 선택하는 기법과 모든 센서 노드는 채널 이득에 상관없이 모든 부대역을 활용하여 신호를 보내는 기법을 비교하였다.

[0103] 그래프(810)에 도시된 바와 같이 부대역으로 분할하지 않고, 분산 안테나 시스템을 설계한 경우, 두 비교군이 동일한 성능을 가질 수 있다. 그러나, 전체 대역폭을 복수의 부대역으로 분할하는 경우, 주파수 다양성 이득과 각 부대역 슬롯에 존재하는 간섭량을 1/N로 줄일 수 있는 장점이 있어 더 낮은 패킷 손실확률을 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다.

[0104] 다만, 그래프(820)과 그래프(830)를 비교하면, 부대역으로 분할된 개수가 일정 개수 이상으로 증가하는 경우, 센서 노드가 활용할 수 있는 대역폭이 줄어들기 때문에 성능 개선이 더 이상 이루어지지 않고 성능 열하가 발생할 수 있다.

[0105] 또한, 선택 부대역의 인덱스를 피드백하는 과정의 피드백 비트수는 그래프(820)에서는 1비트가 필요하지만 그래프(830)에서는 2비트가 필요하다.

[0106] 이때, 수학식 15에 따라 계산된 채널 정전 확률이 $\epsilon_{th}/2$이고, 코딩 에러 확률이 $\epsilon_{th}/2$가 되는 공간적 밀도를 결정하기 위한 공간적 밀도 함수를 수학식 11과 같이 유도할 수 있다. 또한, 계수 K는 수학식 16과 같이 유도된 값일 수 있다.

[0107] [수학식 16]

[0108] $$\bar{K}_N^t = \beta_N \left(\sum_{n=1}^{N} {}_N C_n (-1)^{n+1} n^{2/\alpha} \right)^{-1}$$

[0109] 따라서, 공간적 밀도 결정부(140)는 수학식 11과 같이 유도된 공간적 밀도 함수를 이용하여 URLLC를 위한 패킷 손실 확률에 대한 제약 조건과 DAS시스템 내의 네트워크 구조와 관련된 파라미터들에 대응하는 DA포트의 공간적 밀도와 필요한 부대역 슬롯 수들을 수식적으로 결정하여 분산 안테나 시스템을 설계할 수 있다.

[0110] 본 발명은 URLLC를 위한 주어진 성능 요구치, 대역폭, 분산 안테나 포트 내 안테나 개수에 따라 패킷 손실률과 같은 하향 링크 URLLC 성능 지표를 달성하기 위한 DA 포트의 공간적 밀도를 결정함으로써, 분산 안테나 시스템의 자원을 최적화할 수 있다.

[0111] 한편, 본 발명에 따른 분산 안테나 시스템 설계 장치 또는 분산 안테나 시스템 설계 방법은 컴퓨터에서 실행될

수 있는 프로그램으로 작성되어 마그네틱 저장매체, 광학적 판독매체, 디지털 저장매체 등 다양한 기록 매체로도 구현될 수 있다.

[0112] 본 명세서에 설명된 각종 기술들의 구현들은 디지털 전자 회로조직으로, 또는 컴퓨터 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어로, 또는 그들의 조합들로 구현될 수 있다. 구현들은 데이터 처리 장치, 예를 들어 프로그램가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 컴퓨터들의 동작에 의한 처리를 위해, 또는 이 동작을 제어하기 위해, 컴퓨터 프로그램 제품, 예를 들어 기계 판독가능 저장 장치(컴퓨터 판독가능 매체)에서 유형적으로 구체화된 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수 있다. 상술한 컴퓨터 프로그램(들)과 같은 컴퓨터 프로그램은 컴파일된 또는 인터프리트된 언어들을 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 기록될 수 있고, 독립형 프로그램으로서 또는 모듈, 구성요소, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서의 사용에 적절한 다른 유닛으로서 포함하는 임의의 형태로 전개될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 사이트에서 하나의 컴퓨터 또는 다수의 컴퓨터들 상에서 처리되도록 또는 다수의 사이트들에 걸쳐 분배되고 통신 네트워크에 의해 상호 연결되도록 전개될 수 있다.

[0113] 컴퓨터 프로그램의 처리에 적절한 프로세서들은 예로서, 범용 및 특수 목적 마이크로프로세서들 둘 다, 및 임의의 종류의 디지털 컴퓨터의 임의의 하나 이상의 프로세서들을 포함한다. 일반적으로, 프로세서는 판독 전용 메모리 또는 랜덤 액세스 메모리 또는 둘 다로부터 명령어들 및 데이터를 수신할 것이다. 컴퓨터의 요소들은 명령어들을 실행하는 적어도 하나의 프로세서 및 명령어들 및 데이터를 저장하는 하나 이상의 메모리 장치들을 포함할 수 있다. 일반적으로, 컴퓨터는 데이터를 저장하는 하나 이상의 대량 저장 장치들, 예를 들어 자기, 자기-광 디스크들, 또는 광 디스크들을 포함할 수 있거나, 이것들로부터 데이터를 수신하거나 이것들에 데이터를 송신하거나 또는 양쪽으로 되도록 결합될 수도 있다. 컴퓨터 프로그램 명령어들 및 데이터를 구체화하는데 적절한 정보 캐리어들은 예로서 반도체 메모리 장치들, 예를 들어, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM(Compact Disk Read Only Memory), DVD(Digital Video Disk)와 같은 광 기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-Optical Media), 롬(ROM, Read Only Memory), 램(RAM, Random Access Memory), 플래시 메모리, EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM) 등을 포함한다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적 논리 회로조직에 의해 보충되거나, 이에 포함될 수 있다.

[0114] 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용매체일 수 있고, 컴퓨터 저장매체를 모두 포함할 수 있다.

[0115] 본 명세서는 다수의 특정한 구현물의 세부사항들을 포함하지만, 이들은 어떠한 발명이나 청구 가능한 것의 범위에 대해서도 제한적인 것으로서 이해되어서는 안되며, 오히려 특정한 발명의 특정한 실시형태에 특유할 수 있는 특징들에 대한 설명으로서 이해되어야 한다. 개별적인 실시형태의 문맥에서 본 명세서에 기술된 특정한 특징들은 단일 실시형태에서 조합하여 구현될 수도 있다. 반대로, 단일 실시형태의 문맥에서 기술한 다양한 특징들 역시 개별적으로 혹은 어떠한 적절한 하위 조합으로도 복수의 실시형태에서 구현 가능하다. 나아가, 특징들이 특정한 조합으로 동작하고 초기에 그와 같이 청구된 바와 같이 묘사될 수 있지만, 청구된 조합으로부터의 하나 이상의 특징들은 일부 경우에 그 조합으로부터 배제될 수 있으며, 그 청구된 조합은 하위 조합이나 하위 조합의 변형물로 변경될 수 있다.

[0116] 마찬가지로, 특정한 순서로 도면에서 동작들을 묘사하고 있지만, 이는 바람직한 결과를 얻기 위하여 도시된 그 특정한 순서나 순차적인 순서대로 그러한 동작들을 수행하여야 한다거나 모든 도시된 동작들이 수행되어야 하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 특정한 경우, 멀티태스킹과 병렬 프로세싱이 유리할 수 있다. 또한, 상술한 실시형태의 다양한 장치 컴포넌트의 분리는 그러한 분리를 모든 실시형태에서 요구하는 것으로 이해되어서는 안되며, 설명한 프로그램 컴포넌트와 장치들은 일반적으로 단일의 소프트웨어 제품으로 함께 통합되거나 다중 소프트웨어 제품에 패키징 될 수 있다는 점을 이해하여야 한다.

[0117] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

부호의 설명

[0118] 100: 분산 안테나 시스템 설계 장치

110: 패킷 손실 확률 정의부

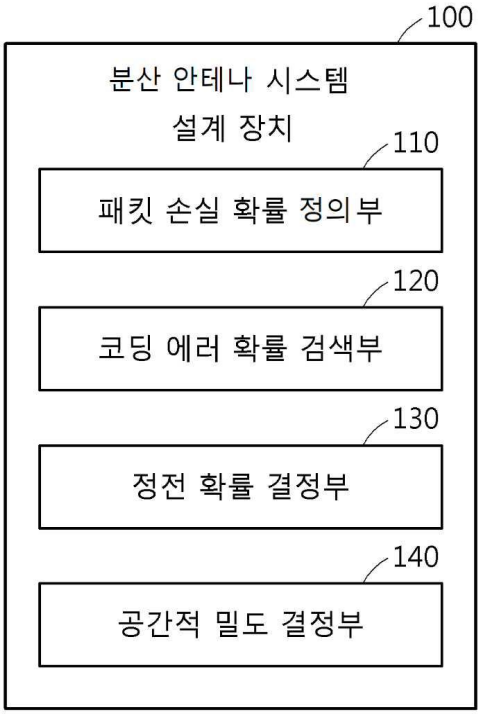
120: 코딩 에러 확률 검색부

130: 정전 확률 결정부

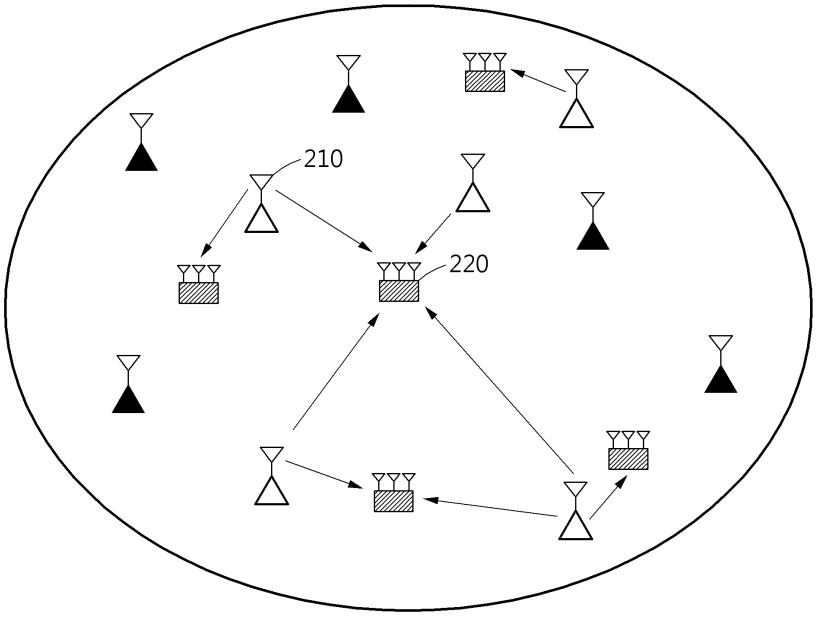
140: 공간적 밀도 결정부

도면

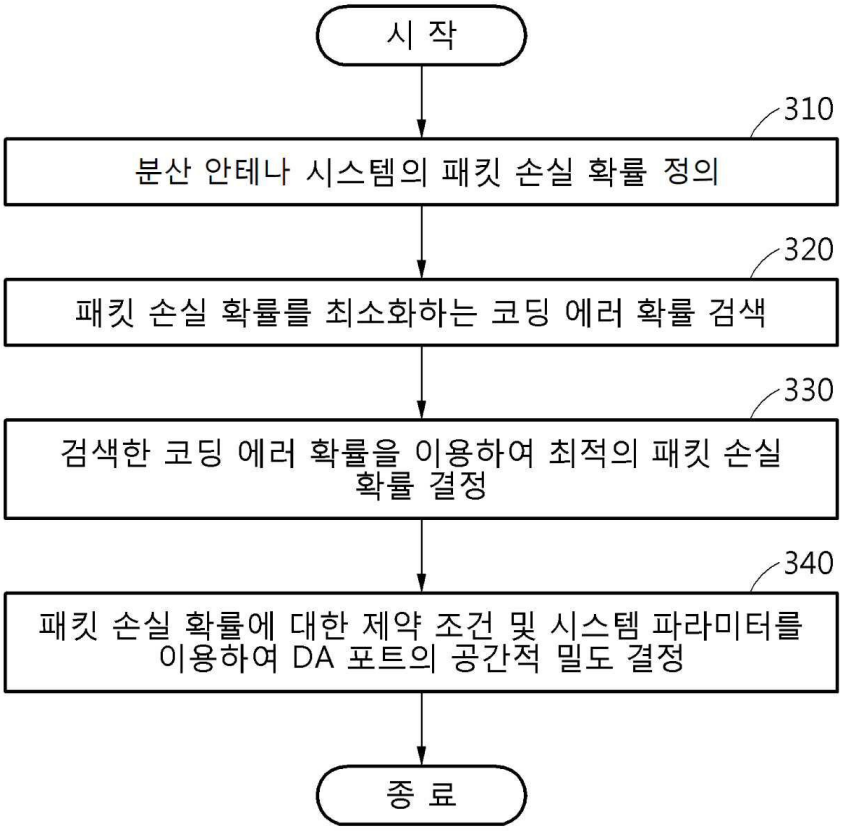
도면1



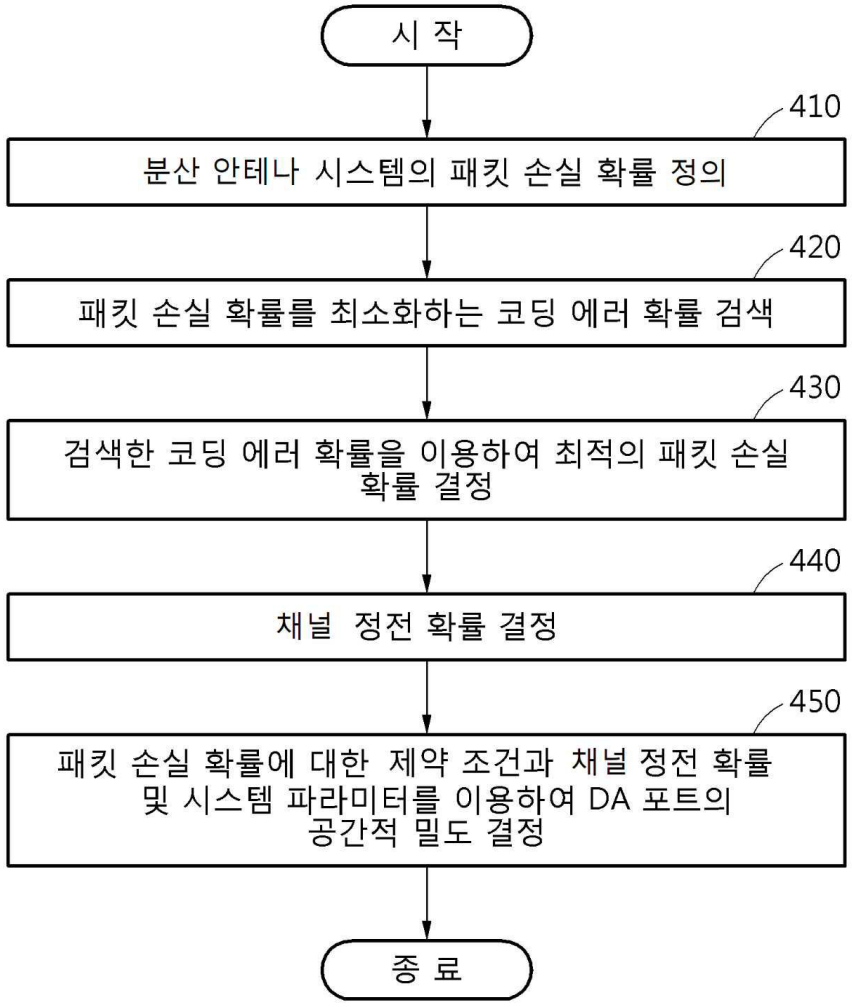
도면2



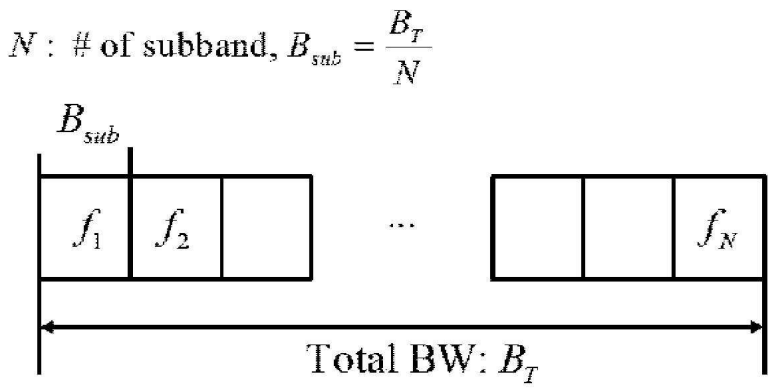
도면3


시 작
310
분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률 정의
320
패킷 손실 확률를 최소화하는 코딩 에러 확률 검색
330
검색한 코딩 에러 확률을 이용하여 최적의 패킷 손실 확률 결정
340
패킷 손실 확률에 대한 제약 조건 및 시스템 파라미터를 이용하여 DA 포트의 공간적 밀도 결정
종 료

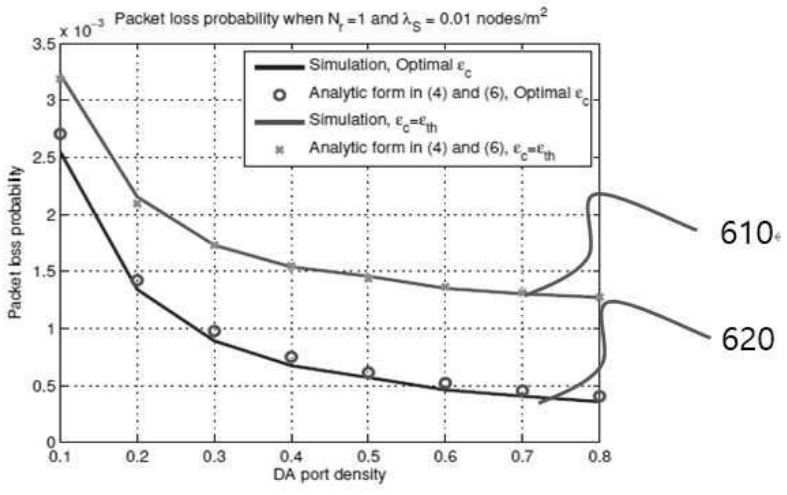
도면4


시 작
410
분산 안테나 시스템의 패킷 손실 확률 정의
420
패킷 손실 확률를 최소화하는 코딩 에러 확률 검색
430
검색한 코딩 에러 확률을 이용하여 최적의 패킷 손실 확률 결정
440
채널 정전 확률 결정
450
패킷 손실 확률에 대한 제약 조건과 채널 정전 확률 및 시스템 파라미터를 이용하여 DA 포트의 공간적 밀도 결정
종 료

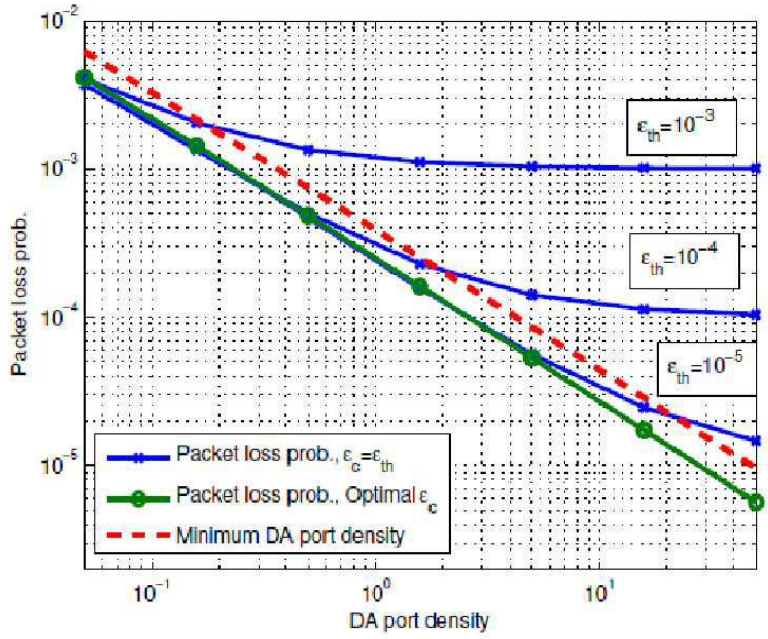
도면5


N : # of subband, $B_{sub} = \frac{B_T}{N}$
B_{sub}
f_1
f_2
...
f_N
Total BW: B_T

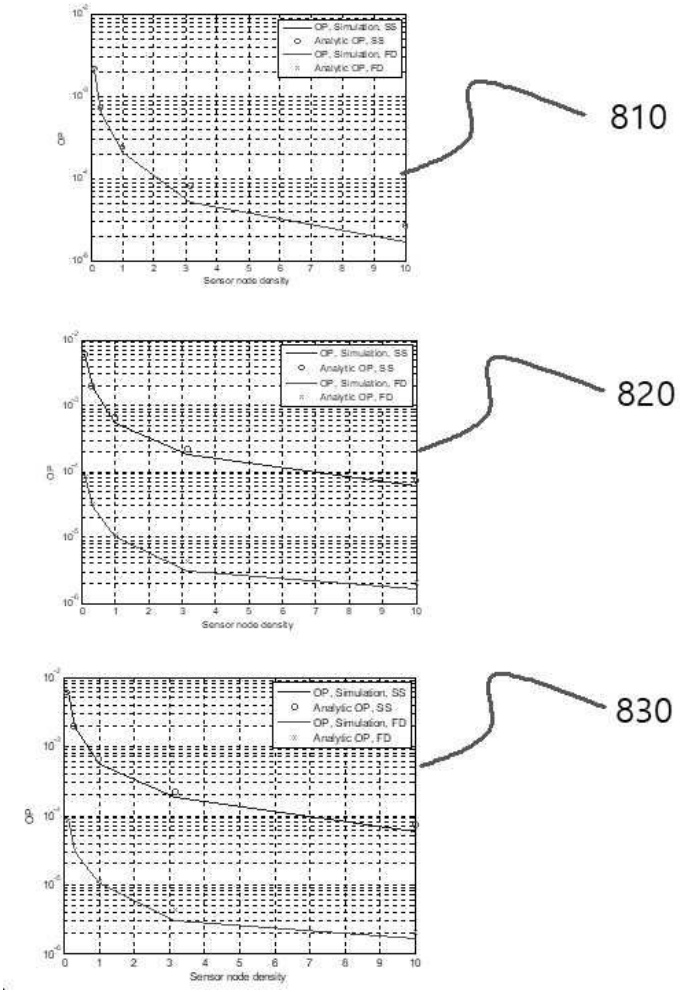
도면6


Packet loss probability when N_r=1 and λ_S = 0.01 nodes/m^2
x 10^{-3}
Simulation, Optimal ε_c
Analytic form in (4) and (6), Optimal ε_c
Simulation, ε_c=ε_{th}
Analytic form in (4) and (6), ε_c=ε_{th}
Packet loss probability
DA port density
610
620

도면7


ε_{th}=10^{-3}
ε_{th}=10^{-4}
ε_{th}=10^{-5}
Packet loss prob., ε_c=ε_{th}
Packet loss prob., Optimal ε_c
Minimum DA port density
Packet loss prob.
DA port density

도면8


OP, Simulation, SS
Analytic OP, SS
OP, Simulation, FD
Analytic OP, FD
OP
Sensor node density
810
820
830