(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0041650
(43) 공개일자 2013년04월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
*H04B 7/14* (2006.01) *H04B 7/02* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0106046
(22) 출원일자 2011년10월17일
심사청구일자 2011년10월17일

(71) 출원인
**경상대학교산학협력단**
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
**정방철**
경상남도 통영시 서송정3길 21-18, 로즈빌 101호 (봉평동)
**전상운**
대전광역시 유성구 어은로 57, 103동 504호 (어은동, 한빛아파트)
**임성훈**
대전광역시 유성구 어은로 57, 103동 1503호 (어은동, 한빛아파트)
(74) 대리인
**권혁수, 송윤호, 오세준**

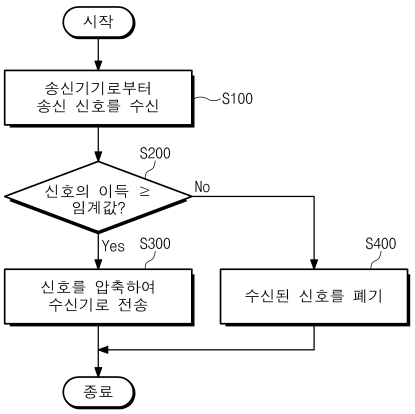
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법**

## (57) 요 약

본 발명에서는 적응형 잡음 네트워크 부호화(Opportunistic Noisy Network Coding, ONNC) 기술이 제공된다. 본 발명은 무선 신호를 전송하는 송신부, 수신된 무선 신호의 이득에 따라 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 복수의 중계기들 및 중계 신호를 수신하여 복호하는 수신부를 포함한다. 중계기는 임계값보다 큰 이득을 갖는 무선 신호만을 선별적으로 압축하여 전송한다. 임계값은 중계기의 수 또는 요구되는 데이터 신뢰성에 따라 결정될 수 있다.

*대 표 도* - 도6



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|---|---|
| 과제고유번호 | 03-2011-0358 |
| 부처명 | 한국과학기술연구원 |
| 연구사업명 | 협력중계분산노드 실시간 그룹핑 및 전력효율증대 기술 연구 |
| 연구과제명 | 협력중계분산노드 실시간 그룹핑 및 전력효율증대 기술 연구 |
| 주관기관 | 경상대학교 |
| 연구기간 | 2011.04.01 ~ 2012.01.31 |

## *특허청구의 범위*

**청구항 1**

중계부가 송신부로부터 무선 신호를 수신하는 단계;

상기 중계부에 포함된 복수의 중계기가 상기 무선 신호의 이득에 따라 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 단계; 및

수신부가 상기 중계 신호를 수신하여 복호하는 단계를 포함하는 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 무선 신호는 패킷 또는 페이지 단위인 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 3**

제 2 항에 있어서,

상기 무선 신호는 파일럿 신호를 포함하는 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 4**

제 3 항에 있어서,

상기 중계기들은,

상기 파일럿 신호로부터 상기 무선 신호의 이득을 각각 구하고, 상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 크거나 같으면 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 5**

제 4 항에 있어서,

상기 중계기들은,

상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 작으면 상기 무선 신호를 폐기하는 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,

상기 임계값은 상기 중계기의 수에 따라 결정되는 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 7**

제 6 항에 있어서,

상기 임계값은 상기 중계기의 수가 증가할수록 커지는 무선 통신 시스템의 제어 방법.

**청구항 8**

무선 신호를 전송하는 송신부;

상기 무선 신호의 이득에 따라 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 복수의 중계기를 포함하는 중계부; 및

상기 중계 신호를 수신하여 복호하는 수신부를 포함하는 무선 통신 시스템.

**청구항 9**

제 8 항에 있어서,

상기 무선 신호는 패킷 또는 페이지 단위인 무선 통신 시스템.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 무선 신호는 파일럿 신호를 포함하는 무선 통신 시스템.

**청구항 11**

제 10 항에 있어서,

상기 중계기들은,

상기 파일럿 신호로부터 상기 무선 신호의 이득을 각각 구하고, 상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 크거나 같으면 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 무선 통신 시스템.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 중계기들은,

상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 작으면 상기 무선 신호를 폐기하는 무선 통신 시스템.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 임계값은 상기 중계기의 수에 따라 결정되는 무선 통신 시스템.

**청구항 14**

제 13 항에 있어서,

상기 임계값은 상기 중계기의 수가 증가할수록 커지는 무선 통신 시스템.

## *명 세 서*

### *기 술 분 야*

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 복수의 중계기를 사용하여 협력 중계를 수행하는 무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법에 관한 것이다.

### *배 경 기 술*

[0002] 차세대 무선 통신으로서 복수의 안테나 노드를 그룹화하여 사용자에게 데이터를 협력 중계하는 방법이 제안되고 있다. 이러한 중계 방법에서는 사용자의 위치에 따라 새로운 안테나 노드들이 그룹화되거나 종래 그룹화된 안테나 노드들이 탈퇴될 수 있다. 이때, 그룹화되는 안테나 노드들이 달라지므로, 사용자와 중계기 또는 송신부를 연결하는 전송 채널도 변화한다.

[0003] 한편, 무선 중계 방식의 하나로서 압축 전송(Compressed and Forward, CF) 방식이 있다. 압축 전송은 중계기에서 수신한 무선 신호를 압축하여 사용자에게 전송하는 중계 방식이다. 압축 전송에서 중계기는 수신된 신호를 양자화(Quantization)하여 사용자에게 전송한다. 압축 전송은 광범위하고 일반적인 형태의 전송 채널에 적용될 수 있는 장점이 있다. 압축 전송에 대한 구체적인 내용은 2011년 5월에 발행된 IEEE Transaction에 기재된 선행문헌 “Noisy network coding,” (저자 S. H. Lim, Y.-H. Kim, A. El Gamal, S.-Y. Chung)에 개시되어 있다.

[0004] 압축 전송에서 주요한 기술적 과제는 전송 채널이 변화하는 통신 환경에서 전송되는 데이터의 신뢰성을 보증하고 전송률을 향상시키는 것이다.

### *발명의 내용*

### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 전송 데이터의 신뢰성을 향상시킨 무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 다른 목적은 데이터 전송률을 향상시킨 무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법을 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명의 또 다른 목적은 중계기로부터 송신부로의 피드백 오버헤드가 없는 무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법을 제공하는 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 본 발명에 따른 무선 통신 시스템의 제어 방법은 중계부가 송신부로부터 무선 신호를 수신하는 단계; 상기 중계부에 포함된 복수의 중계기가 상기 무선 신호의 이득에 따라 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 단계; 및 수신부가 상기 중계 신호를 수신하여 복호하는 단계를 포함한다.

[0009] 실시 예로서, 상기 무선 신호는 패킷 또는 페이지 단위일 수 있다.

[0010] 실시 예로서, 상기 무선 신호는 파일럿 신호를 포함할 수 있다.

[0011] 실시 예로서, 상기 중계기들은, 상기 파일럿 신호로부터 상기 무선 신호의 이득을 각각 구하고, 상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 크거나 같으면 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공한다.

[0012] 실시 예로서, 상기 중계기 들은, 상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 작으면 상기 무선 신호를 폐기한다.

[0013] 실시 예로서, 상기 임계값은 상기 중계기의 수에 따라 결정될 수 있다.

[0014] 실시 예로서, 상기 임계값은 상기 중계기의 수가 증가할수록 커진다.

[0015] 본 발명에 따른 무선 통신 시스템은 무선 신호를 전송하는 송신부; 상기 무선 신호의 이득에 따라 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공하는 복수의 중계기를 포함하는 중계부; 및 상기 중계 신호를 수신하여 복호하는 수신부를 포함한다.

[0016] 실시 예로서, 상기 무선 신호는 패킷 또는 페이지 단위일 수 있다.

[0017] 실시 예로서, 상기 무선 신호는 파일럿 신호를 포함할 수 있다.

[0018] 실시 예로서, 상기 중계기들은, 상기 파일럿 신호로부터 상기 무선 신호의 이득을 각각 구하고, 상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 크거나 같으면 상기 무선 신호를 압축하여 중계 신호로서 각각 제공한다.

[0019] 실시 예로서, 상기 중계기들은, 상기 무선 신호의 이득이 임계값보다 작으면 상기 무선 신호를 폐기한다.

[0020] 실시 예로서, 상기 임계값은 상기 중계기의 수에 따라 결정될 수 있다.

[0021] 실시 예로서, 상기 임계값은 상기 중계기의 수가 증가할수록 커진다.

### 발명의 효과

[0022] 본 발명에 따르면 무선 전송 데이터의 신뢰성이 향상된다.

[0023] 또한, 무선 전송 데이터의 전송률이 향상된다.

[0024] 또한, 중계기로부터 송신부로의 피드백 오버헤드가 없는 무선 통신 시스템 및 그것의 제어 방법이 제공된다.

### 도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 본 발명에 따른 무선 통신 시스템을 나타내는 도면이다.

도 2는 도 1에 도시된 송신기, 제 1 중계기 및 수신기 사이의 전송 채널을 예시적으로 나타내는 도면이다.

도 3은 도 2에 도시된 제 1 중계기의 압축 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 무선 통신 시스템을 컴퓨터 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다.

도 5는 본 발명에 따른 무선 통신 시스템의 성능을 종래 기술과 비교한 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 무선 통신 시스템의 제어 방법을 나타내는 순서도이다.

## *발명을 실시하기 위한 구체적인 내용*

[0026] 앞의 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명들은 모두 청구된 발명의 부가적인 설명을 제공하기 위한 예시적인 것이다. 그러므로 본 발명은 여기서 설명되는 실시 예에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 여기서 소개되는 실시 예는 개시된 내용이 철저하고 완전해 질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되는 것이다.

[0027] 본 명세서에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 포함한다고 언급되는 경우에, 이는 그 외의 다른 구성요소를 더 포함할 수도 있다는 것을 의미한다. 또한, 여기에서 설명되고 예시되는 각 실시 예는 그것의 상보적인 실시 예도 포함한다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0028] 무선 이동 통신에 사용되는 중계 방식의 하나로서 잡음 네트워크 부호화(Noisy Nework Coding) 기술에 기반한 분산 안테나 노드 협력 중계 방식이 있다. 잡음 네트워크 부호화는 기존의 중계 채널에서 사용된 압축 전송(Compressed and Forward, CF) 방식을 개량한 것이다. 잡음 네트워크 부호화 기술에 대한 구체적인 내용은 2011년 5월에 발행된 IEEE Transaction에 기재된 선행 문헌 "Noisy network coding"(저자 Sung Hoon Lim, Young-Han Kim, Abbas El Gamal, Sae-Young Chung)에 개시되어 있다.

[0029] 본 발명에서는 잡음 네트워크 부호화 기술을 송신부, 수신부 및 복수의 중계기(또는 안테나 노드)로 구성된 네트워크에 특화시켜 개량한 적응형 잡음 네트워크 부호화(Opportunistic Noisy Network Coding, 이하 ONNC라 한다) 기술을 제안한다.

[0030] 도 1은 본 발명에 따른 무선 통신 시스템을 나타내는 도면이다. 도 1을 참조하면, 무선 통신 시스템은 송신기(100), 수신기(500) 및 복수의 중계기(200, 300, 400)를 포함한다. 본 발명에서는 세 개의 중계기가 표현되었지만 이는 예시적인 것으로서, 중계기는 2 이상의 복수 개가 존재할 수 있다.

[0031] 송신기(100)는 각 중계기들(200, 300, 400)에 무선 신호를 전송한다. 무선 신호는 일반적으로 패킷 단위로 전송될 수 있다. 다만, 각 중계기(200, 300, 400)에서 처리되는 데이터 단위는 패킷 또는 페이지 단위일 수 있다. 전송되는 무선 신호는 송신기(100)와 각 중계기들(200, 300, 400)을 연결하는 무선 채널들에 의해 영향받는다. 즉, 송신기(100)에서 각 중계기들(200, 300, 400)에 전송하는 무선 신호들은 동일하지만, 각 중계기들(200, 300, 400)이 수신하는 신호들은 서로 다를 수 있다.

[0032] 구체적으로, 송신기(100)와 제 1 중계기(200)를 연결하는 무선 채널(이하, 제 1 전송 채널이라 한다) 상의 잡음과 송신기(100)와 제 2 중계기(300)를 연결하는 무선 채널(이하, 제 2 전송 채널이라 한다) 상의 잡음은 상이할 수 있다. 따라서, 제 1 전송 채널을 통해 전달되는 무선 신호와 제 2 전송 채널을 통해 전달되는 무선 신호는 신호의 왜곡 정도가 다를 수 있다.

[0033] 각 중계기들(200, 300, 400)은 각각 전송받은 무선 신호를 선택적으로 압축하여 수신기(500)로 전송한다. 각 중계기들(200, 300, 400)은 전송받은 무선 신호의 이득에 따라 무선 신호의 압축 여부를 결정한다. 중계기의 동작에 대한 구체적인 내용은 도 3에 대한 설명과 함께 후술될 것이다.

[0034] 수신기(500)는 각 중계기들(200, 300, 400)로부터 전송된 신호를 수신하여 복호한다. 이때, 수신기(500)와 각 중계기들(200, 300, 400)을 연결하는 무선 채널들은 서로 상이할 수 있다. 수신기(500)는 각 중계기들(200, 300, 400)로부터 수신된 무선 신호들을 비교 및 조합하여 최초에 송신기(100)로부터 전송된 무선 신호를 복원한다.

[0035] 도 2는 도 1에 도시된 송신기, 제 1 중계기 및 수신기 사이의 무선 채널을 예시적으로 나타내는 도면이다. 각 중계기의 동작 및 구성은 서로 동일하다. 따라서, 도 2에서는 제 1 중계기(200)와 연결되는 무선 채널에 대해서만 설명하기로 한다.

[0036] 도 2를 참조하면, 송신기(100)와 제 1 중계기(200)는 제 1 전송 채널(h1)을 통해 연결된다. 그리고, 제 1 중계기(200)와 수신기(500)는 제 1 수신 채널(g1)을 통해 연결된다. 송신기(100)는 제 1 중계기(200)에 무선 신호로서 전송 신호(X)를 전송한다. 전송 신호(X)는 제 1 전송 채널(h1)을 통해 제 1 중계기(200)로 전달된다. 제 1 전송 채널(h1) 상에서는 제 1 채널 노이즈(Z1)가 전송 신호(X)에 부가된다. 따라서, 제 1 중계기(200)는 전송 신호(X)와 제 1 채널 노이즈(Z1)가 합해진 제 1 전송 채널 신호(Y1)를 수신한다.

[0037] 제 1 중계기(200)는 수신된 제 1 전송 채널 신호(Y1)를 양자화하여 디지털 신호로서 압축한다. 압축된 신호는 제 1 중계 신호(X1)로서 제공된다. 이때, 제 1 중계기(200)는 수신된 제 1 전송 채널 신호(Y1)의 이득값에 따라

제 1 전송 채널 신호(Y1)의 압축 여부를 결정한다.

[0038] 실시 예로서, 제 1 전송 채널 신호(Y1)의 이득값을 알기 위해 파일럿 신호가 사용될 수 있다. 구체적으로, 송신기(100)가 전송하는 전송 신호(X)에 포함된 파일럿 신호의 크기는 미리 제 1 중계기(200)에 알려질 수 있다. 제 1 중계기(200)는 알려진 파일럿 신호의 크기와 수신된 제 1 전송 채널 신호(Y1)에 포함된 파일럿 신호의 크기를 비교하여 제 1 전송 채널 신호(Y1)의 이득값을 산출한다. 제 1 중계기(200)는 산출된 제 1 전송 채널 신호(Y1)의 이득값이 임계값보다 크거나 같으면 제 1 전송 채널 신호(Y1)를 압축하여 제 1 중계 신호(X1)로서 제공한다. 반면에, 제 1 중계기(200)는 제 1 전송 채널 신호(Y1)의 이득값이 임계값보다 작으면 제 1 전송 채널 신호(Y1)를 폐기한다.

[0039] 제 1 중계기(200)로부터 제공된 제 1 중계 신호(X1)는 제 1 수신 채널(g1)을 통해 수신기(500)로 전달된다.

[0040] 한편, 여기서 제공된 제 1 중계기(200)에 대한 설명은 다른 중계기들에도 적용될 수 있다. 즉, 송신기(100)로부터 제 2 전송 채널(h2)을 통해 전달된 무선 신호가 제 2 중계기(300, 도 1 참조)에 수신되고, 제 2 중계기(300)가 수신한 무선 신호에는 제 2 전송 채널(h2)에서 부가된 제 2 채널 노이즈가 포함될 수 있다. 제 2 중계기(300)는 제 1 중계기(200)와 마찬가지로 수신된 신호를 선택적으로 압축하여 제 2 중계 신호로서 제 2 수신 채널을 통해 수신기(500)에 제공한다. 제 2 중계기(300)의 구체적인 동작 및 구성은 제 1 중계기(200)와 동일하다.

[0041] 이때, 수신기(500)는 복수의 중계기(200, 300, 400)로부터 중계 신호들을 수신한다. 수신기(500)는 수신한 각 중계 신호들에 공통 노이즈(Z)가 합해진 신호를 수신 신호(Y)로서 수신한다.

[0042] 수신기(500)는 수신된 신호를 복호하여 송신기(200)에서 전송된 데이터를 복원한다. 수신기(500)가 복수의 중계기를 통하여 중계 신호들을 수신한 경우, 수신기(500)는 수신된 중계 신호들을 비교 및 조합하여 최초에 송신기(200)가 전송한 데이터를 복원한다.

[0043] 실시 예로서, 본 발명에서 각 전송 채널 신호들과 비교되는 임계값은 무선 통신 시스템에 사용된 중계기의 숫자에 의해 결정될 수 있다. 임계값이 높을수록 수신기에 전송되는 무선 신호의 신뢰성은 증가할 것이다. 그러나, 임계값이 높을 수록 폐기되는 무선 신호의 양이 증가하고, 수신기에 전송되는 무선 신호의 양이 감소한다. 수신기에 전송되는 무선 신호의 양이 지나치게 적으면 데이터가 온전히 복원될 수 없다. 따라서, 소수의 중계기들을 포함하는 무선 통신 시스템은 높은 임계값을 채택할 수 없다. 따라서, 본 실시 예에서는 무선 통신 시스템에 포함되는 중계기의 수가 증가할수록 각 중계기들(200, 300, 400)은 높은 임계값을 설정하도록 제어된다.

[0044] 위와 같은 구성에 따르면, 이득값이 임계치보다 높은 무선 신호만 수신기에 전송되므로, 데이터의 신뢰성이 보증될 수 있다. 또한, 무선 신호가 복수의 중계기를 사용하여 중계되고, 전송 채널 정보(구체적으로 이득값)가 파일럿 신호에 의해 얻어진다. 따라서, 중계기와 송신기 사이의 피드백 오버헤드가 제거된다. 따라서, 무선 통신 시스템의 전송률이 향상될 수 있다.

[0045] 도 3은 도 2에 도시된 제 1 중계기의 압축 동작을 설명하기 위한 도면이다. 도 3을 참조하면, 제 1 중계기(200)는 수신된 제 1 전송 채널 신호(210)를 선택적으로 압축하여 제 1 중계 신호(220)를 생성한다. 여기서, 제 1 전송 채널 신호(210) 및 제 1 중계 신호(220)는 도 2에 도시된 제 1 전송 채널 신호(Y1) 및 제 1 중계 신호(X1)와 각각 대응될 수 있다.

[0046] 앞서 설명한 바와 같이, 제 1 중계기(200)는 수신된 제 1 전송 채널 신호(210)의 이득값에 따라 제 1 전송 채널 신호(210)의 압축 여부를 결정한다. 제 1 전송 채널 신호(210)의 이득값은 제 1 전송 채널 신호(210)에 포함된 파일럿 신호의 크기에 의해 결정된다. 제 1 전송 채널 신호(210)의 압축 여부를 결정하는 방법에 대한 구체적인 내용은 위에서 설명한 바와 같다.

[0047] 한편, 이때, 제 1 중계기(200)가 압축 여부를 결정하는 신호의 단위는 패킷 또는 페이지 단위일 수 있다. 일반적으로, 제 1 전송 채널 신호(210)는 패킷 단위의 무선 신호일 수 있다. 그러나, 동일한 패킷 내에서도 신호의 왜곡이 심한 부분(즉, 채널 노이즈의 영향을 강하게 받은 부분)과 그렇지 않은 부분이 있을 수 있다. 따라서, 본 발명의 제 1 중계기(200)는 수신된 무선 신호의 압축 여부를 제 1 전송 채널 신호(210) 단위로 판단하지 않고, 제 1 전송 채널 신호(210)에 포함된 페이지 단위로 판단할 수 있다. 이를 위해 각각의 페이지는 상응하는 파일럿 신호를 포함할 수 있다.

[0048] 구체적인 설명을 위해 도 3을 참조하면, 제 1 전송 채널 신호(210)는 복수의 데이터 페이지(211, 212, 213, 214, 215)를 포함한다. 여기서, 데이터 페이지들(211, 212, 213)은 신호 이득이 임계값보다 작은 페이지들이다.

데이터 페이지들(214, 215)는 신호 이득이 임계값보다 크거나 같은 페이지들이다. 페이지들(211, 212, 213, 214, 215) 각각의 이득값은 상응하는 파일럿 신호의 크기로부터 산출될 수 있다. 구체적인 이득값 산출의 방법은 위에서 설명한 바와 동일하다.

[0049] 제 1 중계기(200)는 제 1 전송 채널 신호(210)에 포함된 페이지들 중 신호 이득이 임계값보다 크거나 같은 페이지들(214, 215)을 압축하여 제 1 중계 신호(220)로 제공한다. 반면에, 제 1 중계기(200)는 데이터 신뢰성을 보증하기 위해 제 1 전송 채널 신호(210)에 포함된 페이지들 중 신호 이득이 임계값보다 작은 페이지들(211, 212, 213)을 폐기한다.

[0050] 도 4는 본 발명에 따른 무선 통신 시스템을 컴퓨터 시뮬레이션한 결과를 나타내는 도면이다. 이하에서는, 참고적으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하기 위한 수학식의 유도 과정을 설명한다.

[0051] 먼저, 본 발명의 성능을 분석하기 위해 수학식 1과 같은 표기법 또는 정의를 사용한다.

*수학식 1*

$$[1:N]=\{1,2,\cdots,N\},\ x^n=\{x[1],\cdots,x[n]\},\ \mathsf{C}(x)=\log(1+x)\ \text{이다}$$
$$\mathcal{S}\subseteq[1:N]\ \text{에서},\ \mathcal{S}^c=[1:N]\backslash\mathcal{S}\ \text{이고}\ X(\mathcal{S})=(X_k:k\in\mathcal{S})\text{이다}$$
$$\text{한편},\ X^N=(X_1,\ldots,X_N),\ H=\{h_1,\cdots,h_N\},\ G=\{g_1,\cdots,g_N\}\text{라 한다.}$$

[0052]

[0053] 이때, 도 1 및 2에서 설명한 무선 통신 시스템에 있어서, k 번째 중계기에 도착한 제 k 전송 채널 신호는 수학식 2와 같이 표현될 수 있다.

*수학식 2*

$$Y_k[t]=h_k[t]X[t]+Z_k[t]$$

[0054]

[0055] 여기서, t는 시간이고, $h_k$는 송신기와 k 번째 중계기 사이의 무선 전송 채널을 나타내는 값이고, X는 송신기에서 전송된 신호이고, $Z_k$는 제 k 전송 채널 신호의 잡음을 의미한다. 이때, $Z_k$는 AWGN 잡음일 수 있다.

[0056] 한편, 앞서 설명한 바와 같이, 각 중계기에서 무선 신호의 압축이 수행되고, 압축된 신호가 중계 신호로서 수신단에 전달된다. 이대, 수신단에 도착하는 신호는 수학식 3과 같다.

*수학식 3*

$$Y[t]=\sum_{k=1}^{N}g_k[t]X_k[t]+Z[t],$$

[0057]

[0058] 여기서 $g_k$는 k 번째 중계기와 수신기 사이의 무선 전송 채널을 나타내는 값이고, $X_k$는 k 번째 중계기에서 전송되는 중계 신호이고, Z는 수신단에서 발생한 잡음을 의미한다. 이때, Z는 AWGN 잡음일 수 있다. 수신단에서는 각 N 개의 중계기로부터 전송된 중계 신호들이 모두 더해져서 수신된다.

[0059] 이때, 일반적인 잡음 네트워크 부호화 기술의 이론적 한계 전송률 값(Cutset Upper Bound)은 수학식 4와 같이 정의된다.

*수학식 4*

[0060]
$$C \leq \max \min_{\mathcal{S}\subseteq[1:N]} I(X, X(\mathcal{S}); Y(\mathcal{S}^c), Y | X(\mathcal{S}^c), H, G),$$

[0061] 수학식 4를 정리하면, 수학식 5가 도출된다.

*수학식 5*

[0062]
$$C \leq \min_{\mathcal{S}\subseteq[1:N]} \mathsf{E}\left[\mathsf{C}\left(\sum_{k\in\mathcal{S}^c} |h_k|^2 P\right) + \mathsf{C}\left(\sum_{k\in\mathcal{S}} |g_k|^2 \frac{P_r}{N}\right)\right]$$

[0063] 여기서, P는 송신기에서 전송되는 무선 신호의 출력이고, $P_r$은 중계기에서 전송되는 무선 신호의 출력이고, N은 중계기의 수이다.

[0064] 한편, 본 발명에 따른 ONNC 기술의 전송률은 수학식 6으로 표현될 수 있다.

*수학식 6*

[0065]
$$C \geq \max \min_{\mathcal{S}\subseteq[1:N]} \mathsf{E}\left[\mathsf{C}\left(\sum_{k\in\mathcal{S}^c} \frac{|h_k|^2 P}{1+\eta_k(h_k)}\right) + \mathsf{C}\left(\sum_{k\in\mathcal{S}} |g_k|^2 \frac{P_r}{N}\right) - \sum_{k\in\mathcal{S}} \mathsf{C}\left(\frac{1}{\eta_k(h_k)}\right)\right]$$

[0066] 이때, |S|는 집합 S의 원소의 개수를 의미한다.

[0067] 한편, 수학식 6은 다음과 같은 과정을 통해 도출될 수 있다. 먼저, 본 발명에 따른 ONNC 기술의 전송률은 일반적으로 수학식 7과 같이 표현될 수 있다.

*수학식 7*

[0068]
$$C \geq \max \min_{\mathcal{S}\subseteq[1:N]} I(X; \hat{Y}(\mathcal{S}^c)|H) + I(X(\mathcal{S}); Y | X(\mathcal{S}^c), G) - I(Y(\mathcal{S}); \hat{Y}(\mathcal{S}) | X, X^N, H).$$

[0069] 이때, X와 Xr의 입력 분포가 가우시안이라면, 수신단에 전달되는 신호는 수학식 8과 같이 표현될 수 있다.

*수학식 8*

[0070]
$$\hat{Y}_k = Y_k + \hat{Z}_k, \ \hat{Z}_k \sim \mathcal{N}_{\mathbb{C}}(0, \eta_k(h_k)) \ k \in [1:N]$$

[0071] 한편, 각 채널의 이득값의 분포가 exponential 함수를 따른다고 가정하고, 본 발명의 채널 적응 함수를 수학식

9와 같이 정의한다.

*수학식 9*

[0072]
$$\eta_k(h_k) = \begin{cases} Q_k & \text{if } |h_k|^2 \geq \gamma_k, \\ \infty & \text{otherwise,} \end{cases}$$

[0073] 여기서 $Q_k$는 압축 잡음 수준(compression noise level)을 의미한다. 만일 압축 잡음 레벨이 채널 잡음 레벨과 동일하다고 가정하면, Qk는 1이 되고, 본 발명에 따른 ONNC 기술의 전송률은 수학식 6과 같이 표현될 수 있다.

[0074] 도 4는 전송률의 이론적 한계치인 수학식 5와 본 발명에 따른 전송률인 수학식 6을 MATLAB으로 시뮬레이션하여 그 결과를 나타낸 도면이다. 도 4를 참조하면, X축은 무선 통신 중계를 수행하는 중계기 수(N)를 나타내고, Y축은 본 발명에 따른 ONNC 기술의 성능 비율(Ratio)을 나타낸다.

[0075] 도 4에서 그래프 A는 중계 신호에 대한 본 발명의 전송률을 나타내는 성능 비율이고, 그래프 B는 일반적인 잡음 네트워크 부호화 기술의 이론적 한계 전송률에 대한 본 발명의 전송률을 나타내는 성능 비율이다.

[0076] 도 4에서 알 수 있듯이, 그래프 A 및 B의 성능 비율은 최대 1까지 가능하고, 중계기의 개수(N)가 증가함에 따라 성능 비율은 각각 1에 수렴한다.

[0077] 도 5는 본 발명에 따른 무선 통신 시스템의 성능을 종래 기술과 비교한 도면이다. 도 7을 참조하면, X축은 전송기의 출력을 의미한다.

[0078] 도 5에서 그래프 C는 잡음 네트워크 부호화 기술의 이론적 한계 전송률 (Cutset Upper Bound)을 나타낸다. 그래프 D는 복호 전송(Decode and Forward, DF) 기술의 전송률을 나타낸다. 그래프 E는 증폭 전송(Amplify and Forward, AF) 기술의 전송률을 나타낸다. 그래프 F는 본 발명에 따른 ONNC 기술의 전송률을 나타낸다.

[0079] 도 5에서, 각각의 그래프는 복수 개의 그래프를 포함한다. 이때 각 그래프에 포함된 복수 개의 그래프들은 아래로부터 중계기의 수가 2, 4, 8, 16, 32인 경우의 전송률을 각각 의미한다.

[0080] 도 5를 참조하면, 본 발명에 따른 ONNC 기술의 전송률이 가장 우수하고 이론적 한계 전송률(C)에 근접한 값을 가짐을 알 수 있다. 한편, 복호 전송(D) 기술의 경우에는 잡음 환경에서 중계기의 개수와 무관하게 동일한 성능을 보인다.

[0081] 도 6은 본 발명에 따른 무선 통신 시스템의 제어 방법을 나타내는 순서도이다. 도 6을 참조하면, 본 발명에 따른 무선 통신 시스템의 제어 방법은 S100 내지 S400 단계를 포함한다.

[0082] S100 단계에서, 중계기는 송신기로부터 송신 신호를 수신한다. 이때, 중계기는 복수 개가 존재할 수 있으며, 각 중계기는 송신기로부터 고유한 무선 채널을 통해 송신 신호를 수신한다.

[0083] S200 단계에서, 중계기는 수신된 송신 신호의 이득값과 임계값을 비교한다. 송신 신호의 이득값은 송신 신호에 포함된 파일럿 신호의 크기로부터 산출될 수 있다. 한편, 임계값은 요구하는 데이터 신뢰성 및 무선 통신 시스템에 사용된 중계기의 수에 따라 달라질 수 있다. 임계값이 증가할수록 데이터 신뢰성은 높아지지만, 필요한 중계기의 수도 증가한다. 송신 신호의 이득값 산출 및 임계값 설정 방법에 관한 내용은 위에서 설명한 바와 동일하다.

[0084] S300 단계에서, 중계기는 임계값보다 크거나 같은 이득값을 갖는 송신 신호를 압축하여 수신기로 전송한다. 이때, 각 중계기는 수신기와 연결되는 고유한 무선 채널을 통해 압축된 신호를 전송한다.

[0085] 한편, 수신기는 복수의 중계기로부터 전송되는 압축 신호를 수신하여, 최초에 송신기로부터 각 중계기로 전송된 데이터를 복원할 수 있다.

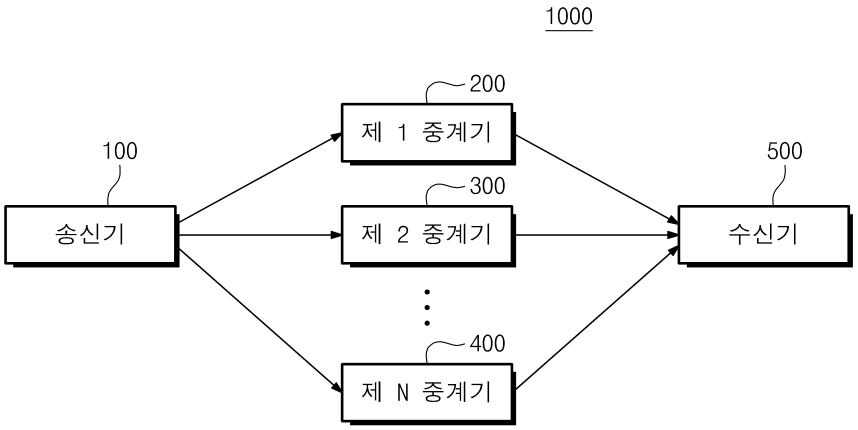
[0086] S400 단계에서, 중계기는 임계값보다 작은 이득값을 갖는 송신 신호를 폐기한다. 임계값보다 작은 이득값을 갖는 송신 신호는 잡음의 영향으로 왜곡되었을 가능성이 크다. 따라서, 데이터 신뢰성을 위해 그러한 송신 신호는 수신기로 전달되지 않고 폐기된다.

[0087] 위와 같은 무선 통신 시스템의 제어 방법에 의하면, 이득값이 임계치보다 높은 무선 신호만 수신기에 전송되므로, 데이터의 신뢰성이 보증될 수 있다. 또한, 무선 신호가 복수의 중계기를 사용하여 중계되고, 전송 채널 정보(구체적으로 이득값)가 파일럿 신호에 의해 얻어진다. 따라서, 중계기와 송신기 사이의 피드백 오버헤드가 제거된다. 따라서, 무선 통신 시스템의 전송률이 향상될 수 있다.

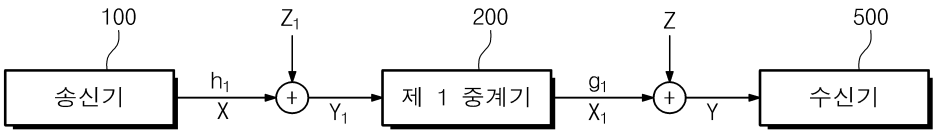
[0088] 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예를 들어 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한 각 실시 예는 여러 가지 형태로 변형될 수 있다. 또한, 여기서 특정한 용어들이 사용되었으나, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 발명의 범위는 상술한 실시 예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허 청구범위뿐만 아니라 이 발명의 특허 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

## 도면

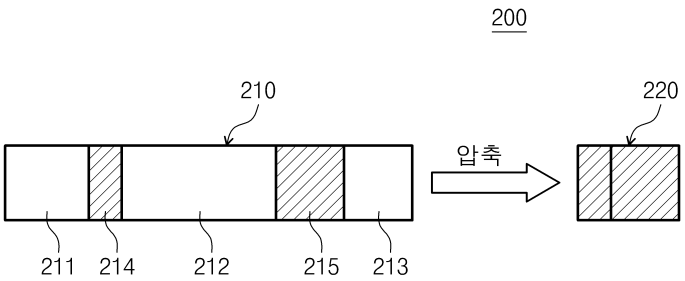
### 도면1



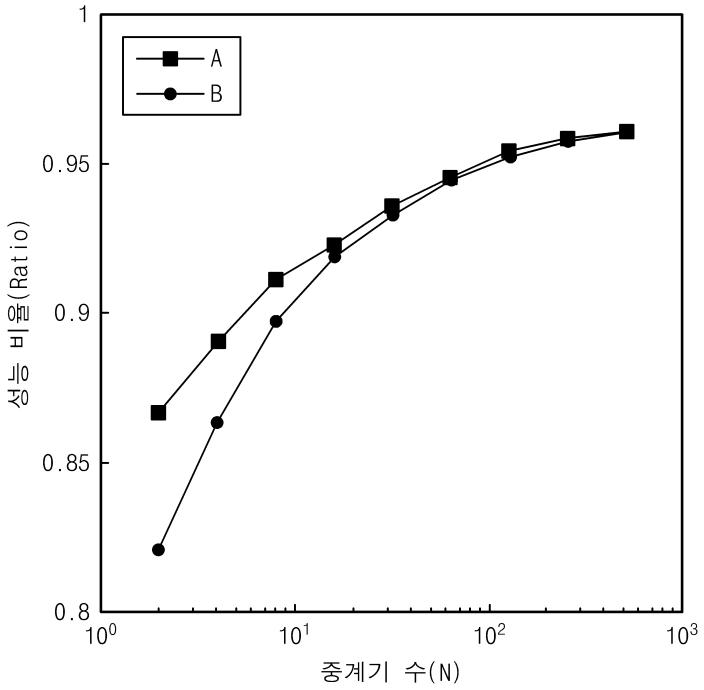

### 도면2



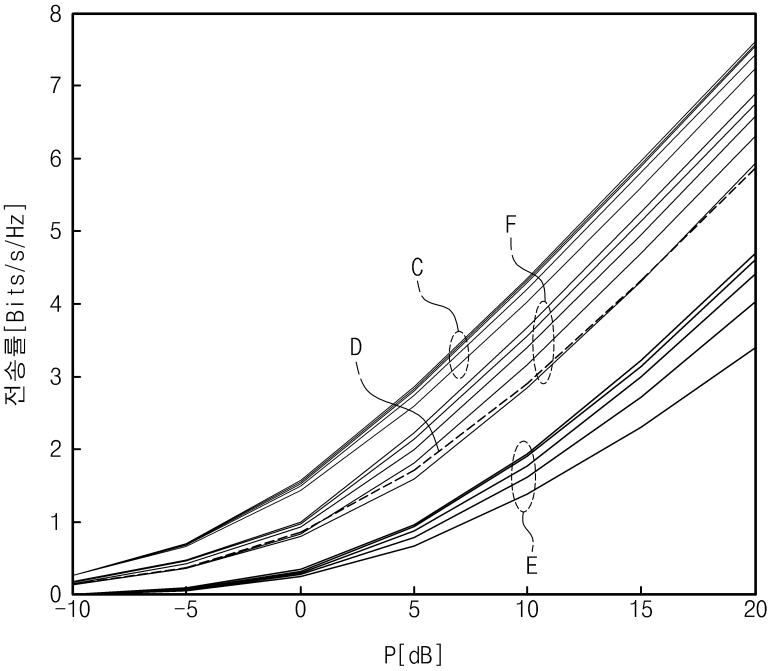

### 도면3



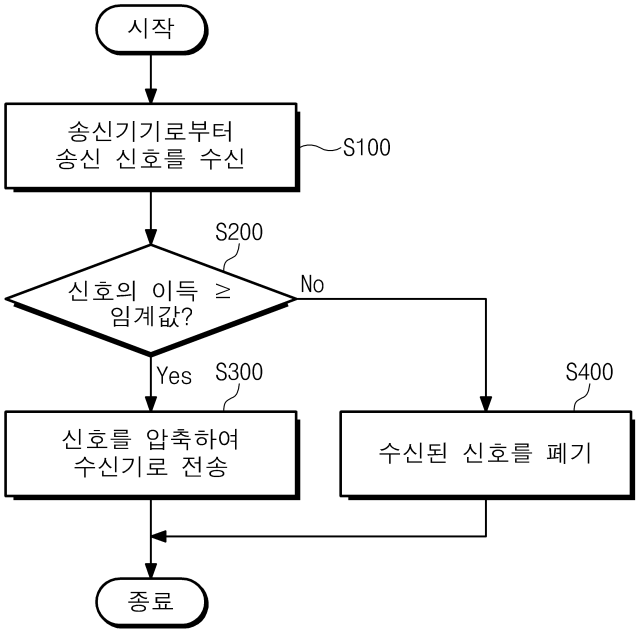
도면4


A
B
1
0.95
0.9
0.85
0.8
성능 비율(Ratio)
$10^0$
$10^1$
$10^2$
$10^3$
중계기 수(N)

도면5


8
7
6
5
4
3
2
1
0
전송률[Bits/s/Hz]
-10
-5
0
5
10
15
20
P[dB]
C
D
E
F

도면6


시작
송신기기로부터
송신 신호를 수신
S100
S200
신호의 이득 ≥
임계값?
No
Yes
S300
신호를 압축하여
수신기로 전송
S400
수신된 신호를 폐기
종료