(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0119436
(43) 공개일자 2014년10월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 1/00 (2006.01) *H03M 13/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0035066
(22) 출원일자 2013년04월01일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
삼성전자주식회사
경기도 수원시 영통구 삼성로 129 (매탄동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
백종현
경기도 성남시 분당구 백현로 227 (수내동, 푸른마을쌍용아파트) 602동 1205호
서영길
전라남도 목포시 양을로 90 (산정동 178-6)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
권혁록, 이정순

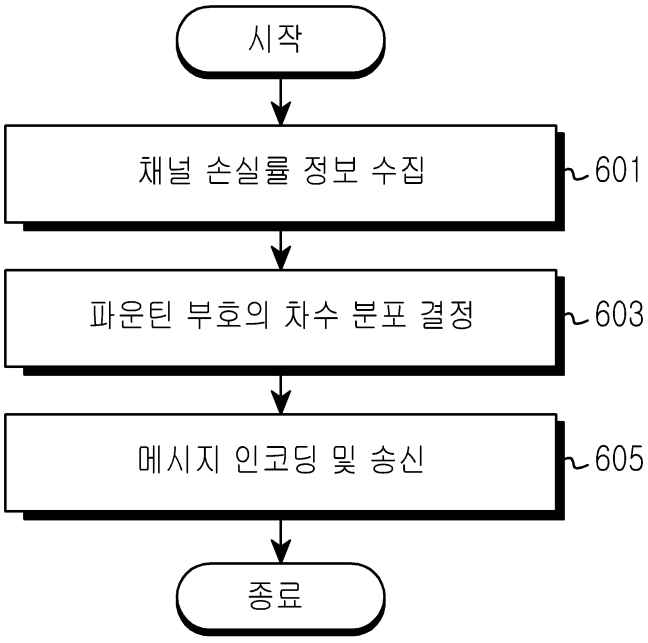
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **무선 통신 시스템에서 파운틴 부호를 이용한 데이터 송신 장치 및 방법**

(57) 요 약

본 발명은 파운틴 부호를 이용한 데이터 송신에 대한 것으로, 송신단의 동작 방법은, 적어도 하나의 수신단에 대한 채널 손실률 정보를 수집하는 과정과, 손실률 정보에 기초하여 파운틴 부호(Fountain code)의 차수 분포를 결정하는 과정과, 상기 차수 차수에 따라 파운틴 부호화를 수행하는 과정과, 상기 파운틴 부호화를 통해 생성 심벌들을 송신하는 과정을 포함한다.

대 표 도 - 도6



(72) 발명자

김성원

서울특별시 성북구 종암로23길 35 (종암동, 래미안세레니티) 201동 702호

허준

서울특별시 강남구 광평로10길 6 (일원동, 한솔건영아파트) 206동 103호

특허청구의 범위

청구항 1

무선 통신 시스템에서 송신단의 동작 방법에 있어서,

적어도 하나의 수신단에 대한 채널 손실률 정보를 수집하는 과정과,

손실률 정보에 기초하여 파운틴 부호(Fountain code)의 차수 분포를 결정하는 과정과,

상기 차수 차수에 따라 파운틴 부호화를 수행하는 과정과,

상기 파운틴 부호화를 통해 생성 심벌들을 송신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 채널 손실률은, 상기 송신단 및 상기 적어도 하나의 수신단 간 링크가 형성된 후 채널이 단절되기까지의 시간 길이를 나타내는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 채널 손실률은, 상기 시간 길이를 지시하거나, 또는, 상기 시간 동안 수신한 심벌 개수를 지시하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 채널 손실률은, 순시적인 값 및 통계적인 값 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 차수 분포를 결정하는 과정은,

상기 적어도 하나의 수신단과의 채널에 대한 채널 수명의 확률 분포를 결정하는 과정과,

상기 채널 수명의 확률 분포를 이용하여 채널 손실률을 조건으로 하는 수신 오버헤드의 조건부 확률 분포를 결정하는 과정과,

수집된 상기 채널 손실률을 이용하여 수신 오버헤드의 확률 분포를 결정하는 과정과,

수신 오버헤드의 확률 분포에 기초한 심벌 복원 확률을 산출하는 과정과,

상기 파운틴 부호의 중도 성능(intermediate performance)의 상한(upper bound) 및 상기 심벌 복원 확률에 따른 중도 성능의 차를 최소화하는 차수 분포를 결정하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 채널 수명의 확률 분포는, 상기 송신단이 상기 적어도 하나의 수신단과 통신 가능한 지역을 벗어날 이탈 확률 평균, 및, 상기 적어도 하나의 수신단이 상기 송신단과 통신 가능한 지역을 벗어날 이탈 확률의 평균 중 적어도 하나를 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 이탈 확률은, 미리 정의된 시스템 모델로부터 얻어지는 미리 정의된 값이거나, 상기 통신 가능한 지역의 넓이 및 상기 송신단과 상기 수신단의 이동 속도를 기초로 산출되거나, 또는, 상기 송신단 및 상기 수신단의 이탈 이력(history)에 대한 통계로부터 산출되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 수신 오버헤드의 분포는, 상기 수신 오버헤드의 조건부 확률 및 대응하는 채널 손실률의 발생 확률의 곱들을 모든 손실률들에 대하여 합산함으로써 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 심벌 복원 확률은, 수신 오버헤드 및 차수 분포를 이용하여 재귀적으로(recursive) 갱신되는 심벌 복원 실패 확률을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 차수 분포는, 상기 수신 오버헤드의 확률 및 상기 중도 성능의 차의 곱을 최소화하는 차수 분포인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11

무선 통신 시스템에서 송신단 장치에 있어서,

적어도 하나의 수신단에 대한 채널 손실률 정보를 수집하고, 손실률 정보에 기초하여 파운틴 부호(Fountain code)의 차수 분포를 결정하고, 상기 차수 차수에 따라 파운틴 부호화를 수행하는 제어부와,

상기 파운틴 부호화를 통해 생성 심벌들을 송신하는 송신부를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 채널 손실률은, 상기 송신단 및 상기 적어도 하나의 수신단 간 링크가 형성된 후 채널이 단절되기까지의 시간 길이를 나타내는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 채널 손실률은, 상기 시간 길이를 지시하거나, 또는, 상기 시간 동안 수신한 심벌 개수를 지시하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 채널 손실률은, 순시적인 값 및 통계적인 값 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 제어부는, 상기 적어도 하나의 수신단과의 채널에 대한 채널 수명의 확률 분포를 결정하고, 상기 채널 수명의 확률 분포를 이용하여 채널 손실률을 조건으로 하는 수신 오버헤드의 조건부 확률 분포를 결정하고, 수집된 상기 채널 손실률을 이용하여 수신 오버헤드의 확률 분포를 결정하고, 수신 오버헤드의 확률 분포에 기초한 심벌 복원 확률을 산출하고, 상기 파운틴 부호의 중도 성능(intermediate performance)의 상한(upper bound) 및 상기 심벌 복원 확률에 따른 중도 성능의 차를 최소화하는 차수 분포를 결정하는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 채널 수명의 확률 분포는, 상기 송신단이 상기 적어도 하나의 수신단과 통신 가능한 지역을 벗어날 이탈 확률 평균, 및, 상기 적어도 하나의 수신단이 상기 송신단과 통신 가능한 지역을 벗어날 이탈 확률의 평균 중 적어도 하나를 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 이탈 확률은, 미리 정의된 시스템 모델로부터 얻어지는 미리 정의된 값이거나, 상기 통신 가능한 지역의 넓이 및 상기 송신단과 상기 수신단의 이동 속도를 기초로 산출되거나, 또는, 상기 송신단 및 상기 수신단의 이탈 이력(history)에 대한 통계로부터 산출되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 18

제15항에 있어서,

상기 수신 오버헤드의 분포는, 상기 수신 오버헤드의 조건부 확률 및 대응하는 채널 손실률의 발생 확률의 곱들을 모든 손실률들에 대하여 합산함으로써 결정되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 19

제15항에 있어서,

상기 심벌 복원 확률은, 수신 오버헤드 및 차수 분포를 이용하여 재귀적으로(recursive) 갱신되는 심벌 복원 실

패 확률을 이용하여 결정되는 것을 특징으로 하는 장치.

청구항 20

제15항에 있어서,

상기 차수 분포는, 상기 수신 오버헤드의 확률 및 상기 중도 성능의 차의 곱을 최소화하는 차수 분포인 것을 특징으로 하는 장치.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 무선 통신 시스템에서 파운틴 부호(Fountain code)를 이용한 데이터 송신을 수행하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 파운틴 부호(Fountain code)는 낮은 복잡도의 알고리즘(algorithm)으로 메시지(message) 개수와 비슷하거나 약간 더 많은 개수의 부호 심벌을 이용하여 채널 용량을 달성할 수 있는 대표적인 채널 손실 오류 정정 부호이다. 상기 파운틴 부호는, 데이터의 복원 여부가 수신된 심벌의 개수에 의해서만 결정되기 때문에, 다수의 수신자가 존재하는 브로드캐스팅(broadcasting) 시스템에서 보다 효과적이다. 예를 들어, RSD(Robust Soliton Distribution)를 이용하는 LT(Luby Transform) 부호, 3GPP(3rd Generation Partnership Project) MBMS(Multimedia Braodcast and Multicast System) 표준에 포함된 랩터(raptor) 부호 등이 알려져 있다.

[0003] 충분한 개수의 심벌을 수신할 수 있는 환경이 보장되지 않는 경우, 수신자는 현저히 낮은 확률로 심벌 복원에 성공하게 된다. 수신된 부호 심벌 개수가 메시지의 수보다 작은 경우의 심벌 복원 확률을 최대화하기 위한 파운틴 부호 설계 연구가 진행되고 있다. 나아가, 수신 부호 심벌의 개수가 확률 변수인 경우, 평균 심벌 복원 확률을 최대화하는 부호 설계에 관한 연구도 진행 중이다.

[0004] 수신 부호 심벌의 개수가 메시지 개수보다 많은 경우를 언제나 보장할 수는 없다. 따라서, 수신 부호 심벌이 메시지 수보다 작은 경우의 파운틴 부호 설계가 필요하다. 그러나, 기존의 연구에서는 채널 손실률(erasure rate)을 고정된 상수로 제한하며, 이에 따라, 수신자가 다수 존재하는 브로드캐스팅 서비스의 경우, 최적의 부호 설계가 이루어지지 아니한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 따라서, 본 발명의 일 실시 예는 무선 통신 시스템에서 고정된 채널 손실률(erasure rate)을 전제로 정의된 파운틴 부호보다 더욱 정확한 채널 손실 모델을 고려한 새로운 파운틴 부호 및 차수 분포를 제공한다.

[0006] 본 발명의 다른 실시 예는 무선 통신 시스템에서 채널 손실률을 고려한 파운틴 부호를 이용하여 데이터를 송신하기 위한 장치 및 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단의 동작 방법은, 적어도 하나의 수신단에 대한 채널 손실률 정보를 수집하는 과정과, 손실률 정보에 기초하여 파운틴 부호(Fountain code)의 차수 분포를 결정하는 과정과, 상기 차수 차수에 따라 파운틴 부호화를 수행하는 과정과, 상기 파운틴 부호화를 통해 생성 심벌들을 송신하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0008] 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단 장치는, 적어도 하나의 수신단에 대한 채널 손실률 정보를 수집하고, 손실률 정보에 기초하여 파운틴 부호의 차수 분포를 결정하고, 상기 차수 차수에 따라 파운틴 부호화를 수행하는 제어부와, 상기 파운틴 부호화를 통해 생성 심벌들을 송신하는 송신부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0009] 무선 통신 시스템에서 채널 손실률을 고려하여 평균 심벌 복원 확률을 최대화하는 파운틴 부호의 차수 분포를 설계함으로써, 보다 효과적인 부호 설계가 가능해진다. 이로 인해, 파운틴 부호(Fountain code)를 사용하는 시스템에서, 평균 심벌 복원 확률의 최대화이다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 파운틴 부호(Fountain code)의 특성을 도시하는 도면,

도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 파운틴 부호의 인코딩(encoding) 예를 도시하는 도면,

도 3는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 채널 단절 시 심벌 유실의 예를 도시하는 도면,

도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템의 통신 환경을 도시하는 도면,

도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 파운틴 부호의 차수 분포를 결정하는 절차를 도시하는 도면,

도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단의 동작 절차를 도시하는 도면,

도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단의 블록 구성을 도시하는 도면,

도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템의 성능을 도시하는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하 본 발명의 바람직한 실시 예를 첨부된 도면의 참조와 함께 상세히 설명한다. 그리고, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단된 경우, 그 상세한 설명은 생략한다.

[0012] 이하 본 발명은 무선 통신 시스템에서 채널 손실률(erasure rate)을 고려한 파운틴 부호를 정의하고, 상기 파운틴 부호를 이용하여 데이터를 송신하기 위한 기술에 대해 설명한다.

[0013] 도 1은 파운틴 부호(Fountain code)의 특성을 도시하고 있다. 상기 도 1을 참고하면, 송신단(110)은 K개의 메시지 심벌(message symbol)들을 파운틴 부호로 인코딩(encoding)한 후, 인코딩된 심벌들을 수신단(120)으로 송신한다. 이때, 채널 상황에 따라, 일부 심벌들이 유실될 수 있다. 상기 파운틴 부호는 응용 계층(application layer)에서 널리 사용되는 채널 손실 오류 정정 부호이다. 예를 들어, 대표적인 파운틴 부호로서, LT(Luby Transform) 부호가 널리 알려져 있다. 상기 파운틴 부호의 부호율(code rate)은 정의되지 아니하며, 이론적으로 무한개의 부호 심벌들을 생성할 수 있는 특징을 지닌다.

[0014] 상기 파운틴 부호는 특정 차수 분포(degree distribution)에 의해 정의된다. 도 2는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 파운틴 부호의 인코딩 예를 도시한다. 상기 도 2를 참고하면, 차수 분포 Ω(x)(210)는 Ω_1 내지 Ω_K를 포함한다. 상기 도 2에 도시된 표에서, 제1열(211)은 Ω_i를, 제2열(212)는 대응하는 Ω_i의 분포 확률을 의미한다. 상기 도 2의 경우, Ω_2는 0.598로 정의되며, 이는 2개의 메시지들로부터 인코딩되는 심벌의 발생 확률이 0.598임을 의미한다. 이때, 각 심벌은 선택된 메시지들의 XOR(eXclusive OR) 연산에 의해 생성된다. 다시 말해, 주어진 차수 분포에 의해 차수(degree)가 정해지면, 송신단은 상기 차수(degree)의 개수 만큼의 메시지 심벌들을 균일(uniform)하게 선택하고, XOR 연산에 의해 부호 심벌들을 생성한다. 수신단은 수신된 부호 심벌들은 MP(Message Passing) 알고리즘에 의해 복호한다.

[0015] 이때, 메시지의 복원 성공률은 수신한 부호 심벌의 개수에 의해 결정된다. 수신한 부호 심벌의 개수와 메시지 개수의 비율(ratio)은 수신 오버헤드(overhead)라고 정의된다. RSD(Robust Soliton Distribution)를 이용한 LT 부호는 메시지를 모두 복원하기 위해 필요한 수신 오버헤드를 최소화하는 성능을 갖는다. 이때, 수신 오버헤드는 1을 넘는다고 가정하는데, 1을 초과하는 오버헤드는 수신한 부호 심벌의 개수가 메시지의 개수보다 많아야 함을 의미한다. 낮은 복잡도에서 낮은 오버헤드로 모든 메시지를 복호할 수 있기 때문에, 파운틴 부호는 멀티미

디어 스트리밍(multimedia streaming) 등의 응용 분야에서 널리 사용되고 있다.

[0016] 수신 오버헤드가 1보다 작은 구간에서 심벌 복원 확률을 높이려는 여러 연구들이 진행된 바 있다. 상기 심벌 복원 확률을 높이려는 연구들은 수신 오버헤드의 구간에 따라 달성 가능한 최대 성능을 추측하고, 이에 대한 차수 분포를 이론적으로 결정하는 것으로부터 시작되었다.

[0017] 본 발명은 이하 도 3과 같이 채널이 단절되는 상황을 고려한 파운틴 코드의 차수 분포 결정 방안을 제안한다.

[0018] 도 3는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 채널 단절 시 심벌 유실의 예를 도시하고 있다. 상기 도 3을 참고하면, 송신단(310)은 수신단(320)으로 파운틴 부호에 따라 인코딩된 심벌들을 송신한다. 송신 과정에서, 채널 상황에 따라 일부 심벌들이 유실될 수 있다. 이때, 특정 시점에 채널이 단절되고, 이에 따라, 상기 채널이 단절된 시점 이후 모든 심벌들이 상기 수신단(320)으로 송신되지 못한다. 이에 따라, 상기 수신 오버헤드가 1보다 작은 상황이 발생하게 된다.

[0019] 상술한 바와 같이 채널 단절이 발생할 수 있는 환경으로, 본 발명은 이하 도 4와 같은 경우를 고려한다.

[0020] 도 4는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템의 통신 환경을 도시하고 있다. 상기 도 4를 참고하면, 기지국(400)은 일정한 지리적 영역을 셀룰러 커버리지(cellular coverage)로 가지며, 상기 셀룰러 커버리지 내에 위치한 단말들과 통신을 수행할 수 있다. 상기 도 4의 경우, 단말E(414) 및 단말F(415)가 상기 기지국(400)과 통신을 수행한다.

[0021] 또한, 본 발명의 실시 예에 따른 시스템은 D2D(Device-to-Device) 통신을 지원한다. 상기 D2D 통신은, 상기 기지국(400)을 거치지 아니하고, 단말들 간 직접 데이터를 전달하는 통신 방식이다. 상기 도 4의 경우, 단말A(411), 단말B(412), 단말C(413), 단말D(414)가 D2D 통신을 수행한다. 본 발명의 실시 예에 따라, 전력, 주파수 자원 등의 절약이 가능한 셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신 방식이 수행될 수 있다. 상기 셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신의 경우, 상기 단말들(411, 412, 413, 414)은 상기 기지국(400)으로부터 자원 할당, 전력 제어 등의 제어를 받는다. 또한, 링크 생성 및 데이터 전송은 D2D 통신을 하고자 하는 단말들(411, 412, 413, 414)이 상기 기지국(400)의 셀룰러 커버리지 내에 존재할 때 가능하다. 이때, 상기 단말A(411)가 상기 단말B(412), 상기 단말C(413), 상기 단말D(414)에게 데이터를 브로드캐스팅한다. 이에 따라, 상기 단말A(411)는 D2D 커버리지를 가진다.

[0022] 상기 기지국(400) 및 상기 단말E(414)와 상기 단말(415) 간 셀룰러 통신의 경우, 상기 단말E(414) 또는 상기 단말(415)가 상기 셀룰러 커버리지를 벗어나면, 채널 단절이 발생할 수 있다. 또한, 상기 D2D 통신의 경우, 상기 단말B(412), 상기 단말C(413) 또는 상기 단말D(414)이 상기 단말A(411)의 D2D 커버리지를 벗어나면, 채널 단절이 발생할 수 있다.

[0023] 상기 셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신 방식을 가정하면, 송신 단말이 이웃 셀로 이동하거나, 수신 단말이 상기 송신 단말의 브로드캐스팅 커버리지를 벗어나는 경우, 링크가 단절될 수 있다. 따라서, 수신 오버헤드가 1보다 무조건 크다는 요건을 보장할 수 없으며, RSD를 사용한 경우, 심벌 복원 확률이 매우 낮아진다. D2D 채널을 통해 전달 가능한 부호 심벌의 개수는 송신 단말의 수명, 전송 가능한 심벌의 개수와 채널 손실률에 의해 결정된다. 또한, 수신 오버헤드의 수학적 모델은 마코브 체인(Markov chain)의 원리에 기초하여 결정될 수 있다.

[0024] D2D 기반의 브로드캐스팅 환경에서, 각각의 단말이 이동성을 가진다면 채널 손실률은 고정된 상수로 고려될 수 없다. 이에 따라, 본 발명의 실시 예에 따른 시스템의 경우, 송신 단말은 링크 형성 시 각 수신 단말로부터 채널 손실률 정보를 수집한다. 링크가 형성된 후 채널이 단절되기 이전까지 전송 가능한 심벌의 개수는 확률 변수로 정의되며, 채널 손실률에 따라 수신된 심벌의 개수가 결정된다. 브로드캐스팅 서비스와 같이 다수의 수신단을 고려하는 경우, 서로 다른 다수의 손실률들이 존재한다. 이에 따라, 본 발명은 모든 수신단의 손실률을 고려한 수신 부호 심벌의 개수를 확률적으로 모델링하고, 이에 따른 수신 오버헤드의 확률 분포를 결정한다. 본 발명은 D2D 기반의 브로드캐스팅 서비스에서의 채널 손실률 정보를 이용하여 보다 정확한 수신 오버헤드의 확률 분포를 계산하고, 이를 적용한 파운틴 부호 설계 방식 및 차수 분포를 제안한다.

[0025] 본 발명의 실시 예에 따른 파운틴 부호의 차수 분포 결정을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다.

[0026] 먼저, 송신단은 채널 수명의 확률 분포에 기초하여 확률변수로 정의된 채널 손실률을 적용하여 정확한 수신 오버헤드의 확률 분포를 산출한다. 이후, 상기 송신단은 중도 성능(intermediate performance)의 상한(upper bound)과의 차이를 최소화하도록 하는 평균 심벌 복원 확률을 목적 함수로 정의하고, 연결 정도 분포의 확률 값이 모두 양수이고 합이 1이 되도록 하는 제약 조건을 포함하여 최적화 문제를 설정한다. 여기서, 상기 중도 성능은, 송신될 메시지의 개수가 K인 때, K보다 적은 수의 인코딩 심벌을 수신한 수신단이 심벌을 복원할 확률을 의미한다. 그리고, 상기 중도 성능의 상한은 미리 정의된 바에 따를 수 있다. 이후, 상기 송신단은 최적의 연결 정도 분포를 설계한다. 예를 들어, 상기 송신단은 새로운 수신 오버헤드의 확률 분포를 SQP(Sequential Quadratic Programming) 알고리즘에 적용할 수 있다. 상기 SQP 알고리즘은 최적화하고자 하는 함수가 다변수 비선형 함수인 ㄱ경우, 함수 값이 효과적으로 수렴하도록 하는 이차 프로그래밍(Quadratic Programming) 방식의 일종이다. 보다 구체적으로, 상기 SQP 알고리즘은 최적화 문제의 제약 조건(constraint)를 만족하는 영역에서 비선형 함수로 정의된 목적 함수(objective function)의 지역 최적해(local minimum)를 찾아내며, 상기 목적 함수가 재귀 함수의 형태인 경우, 실험적인 방법으로 최적의 함수값을 찾는다. 상기 SQP 알고리즘은 지역 최적해(local minimum)를 찾아내는 알고리즘이기 때문에, Ω(x)의 초기값에 따라 서로 다른 결과를 도출할 가능성도 존재한다. 그러나, 본 발명의 경우, 초기값에 관계없이 동일한 결과를 도출함이 확인되었다.

[0027] 본 발명의 실시 예는 이동성을 가진 수신단들이 존재하는 환경에서 송신단이 각 상기 수신단들의 손실률 정보를 수집한 경우, 최대 심벌 복원 확률을 갖도록 하는 파운틴 부호의 차수 분포를 설계 방법을 제공한다.

[0028] 상기 차수 분포 설계의 최종적인 최적화 문제는 하기 <수학식 1>과 같다.

수학식 1

$$\min_{\Omega(x)} \quad \int_0^{\infty} \Pr\{R = r\} \cdot \Big(U(r) - \mathrm{s}\big(\mathrm{r}, \Omega(\mathrm{x})\big)\Big)\, dr$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_i \Omega_i = 1, \Omega_i \geq 0$$

[0029]

[0030] 상기 <수학식 1>에서, 상기 Ω(x)는 차수 분포, 상기 Ω_i는 차수-i를 가지는 심벌의 생성 확률, 상기 r은 총 메시지 심벌 개수(=k) 대비 수신자가 수신한 인코딩 심벌 개수(=n)의 비율(=n/k), 상기 U(r)은 파운틴 부호의 중도 성능 상한 값(upper bound), 상기 s(r,Ω(x))는 차수 분포 Ω(x)로 인코딩된 파운틴 부호 심벌이 r의 오버헤드를 가진 경우에 대한 중도 성능을 의미한다.

[0031] 상기 <수학식 1>과 같은 최적화 문제를 구성하는 항들은 목적 함수(objective function)의 3개 항들 및 제한 조건(constraint)의 2개 항들으로 정리될 수 있다.

[0032] 상기 제한 조건에 포함되는 Ω_i는 파운틴 부호의 차수 분포, 즉, 인코딩(encoding) 심벌이 차수(degree)-i를 가질 확률 값이다. 따라서, 모든 i에 대한 Ω_i의 총합은 1이고, 각 Ω_i는 0보다 크거나 같은 값을 가진다. 상기 차수 분포 Ω(x)는 [Ω_1 Ω_2 Ω_3 …]와 같은 벡터 형식으로 표현되거나, 또는, 「$\Omega(x)= \Omega_1 x+\Omega_2 x^2+\Omega_3 x^3+\cdots$」과 같은 다항식 형태로 표현될 수 있다. 상기 다항식은 생성 다항식(generator polynomial)이라 지칭되기도 한다.

[0033] 상기 목적 함수에 포함되는 함수 U(r)은 파운틴 부호의 중도 성능 상한 값(upper bound)을 나타낸다. 여기서, 상기 중도 성능은 1-SER(symbol error rate)를 의미하고, 상기 r은 총 메시지 심벌 개수(=k) 대비 수신자가 수신한 인코딩 심벌 개수(=n)의 비율(=n/k)을 나타낸다. 상기 U(r)은 닫힌 형태(closed form)로 표현될 수 없다. 이론적으로, 정보 복원률은 수신한 인코딩 심벌의 정보량보다 클 수 없으므로, 상기 U(r)은 상등 함수(y=x)보다 작은 함수 값을 가진다. 따라서, 점근선적(asymptotic) 가정을 하면, 상기 r이 1인 경우, 메시지 심벌 복원률은

1에 수렴한다.

[0034] 상기 <수학식 1>에서, 상기 s(r,Ω(x))는 차수 분포 Ω(x)로 인코딩된 파운틴 부호 심벌이 r의 오버헤드를 가진 경우에 대한 중도 성능을 나타낸다. 상기 중도 성능은 하기 <수학식 2>와 같이 결정될 수 있다.

수학식 2

[0035]
$$s(r,\Omega(x)) = 1 - \lim_{l\to\infty} y_l$$

$$y_{l+1} = \exp\{r\Omega'(1-y_l)\}$$

[0036] 상기 <수학식 2>에서, 상기 s(r,Ω(x))는 차수 분포 Ω(x)로 인코딩된 파운틴 부호 심벌이 r의 오버헤드를 가진 경우에 대한 중도 성능, 상기 r은 총 메시지 심벌 개수 대비 수신자가 수신한 인코딩 심벌 개수의 비율, 상기 Ω(x)는 차수 분포, 상기 y_l은 심벌의 복원 실패 확률, 상기 Ω'는 차수 분포의 미분을 의미한다. 극한값 $\lim_{l\to\infty} y_l$ 은, 파운틴 코드의 점근선적(asymptotic) 분석 툴(tool)인, 앤드-오어-트리(AND-OR tree) 분석 수식이다. 상기 y_l은 재귀적으로(recursive) 갱신되는 값이며, l이 충분히 크다면, 0과 1사이의 값으로 수렴하게 된다.

[0037] 상술한 바와 같이, 상기 y_l은 파운틴 부호의 메시지 심볼에 대한 복원 실패확률을 의미한다. 일반적으로 y_l은 감소 함수이며, 함수 값은 l이 증가함에 따라 0에 가까워진다. 상기 <수학식 2>의 경우 r 및 Ω(x)에 의해 y_l의 수렴값이 결정되며, 결과적으로 상술한 최적화 문제는 평균적인 y_l의 값이 최소화되도록 하는 문제와 동등해진다. 파운틴 부호의 메시지 길이가 길수록 점근선적 분석의 결과와 일치하지만, 유한한 메시지 길이에 대한 성능분석 툴에 비해 복잡도가 매우 낮으므로, 본 발명은 앤드-오어-트리 분석 방식을 사용한다.

[0038] 상기 <수학식 1>에서 포함된 (U(r)-s(r,Ω(x)))은 오버헤드 r에 대한 성능의 상한 값 및 차수 분포 Ω(x)을 사용한 경우의 성능 차이를 의미하며, 항상 양수를 가진다. 상기 성능 차이를 확률 변수 R에 대해 마진화(marginalization)함으로써 성능 차이 값의 평균이 결정될 수 있으며, 상기 성능 차이 값의 평균을 최소화하는 것이 상기 <수학식 1>의 풀이이다.

[0039] 상기 <수학식 1>에 포함된 Pr{R=r}은 수신단이 수신에 성공하는 오버헤드의 확률 분포이다. 상기 확률 분포는 채널 수명(life time) 및 인코딩 심벌의 손실률을 이용하여 표현될 수 있다.

[0040] 상기 채널의 수명은 하기 <수학식 3>과 같은 지수(exponential) 분포로 모델링될 수 있다. 본 발명의 실시 예에 따른 시스템에서, 채널이 단절되는 경우는 송신자가 셀을 이탈하는 경우 및 수신자가 송신자의 커버리지 밖으로 이탈하는 경우를 포함한다. 상술한 두 가지 경우들 모두 임의의 시간에 발생 가능성이 일정하다고 가정할 수 있으며, 이는 상술한 두 가지 경우들에 의한 채널 수명도 지수 분포를 따름을 의미한다. 상기 지수 분포는 단일 인자 λ를 가지는 분포이고, 상기 단일 인자는 확률 변수의 평균 값과 동일하다. 두 확률 변수들 T_1, T_2이 송신단이 셀을 이탈하기까지 전송되는 심벌의 개수를 나타내는 확률 변수 및 수신단이 송신단의 커버리지를 이탈하기까지 전송되는 심벌의 개수를 나타내는 확률 변수라 정의하고, 각 확률 변수의 평균을 λ_1, λ_2라고 정의한다. 두 확률 변수들 중 더 낮은 확률 변수에 의해 채널이 단절되기 때문에, 채널이 단절되는 시점 T는 $T=\min(T_1, T_2)$이고, 확률 변수 T는 하기 <수학식 3>과 같은 지수 분포를 가진다.

수학식 3

[0041]
$$\Pr\{T = t\} = \frac{1}{\lambda}\exp\left(-\frac{t}{\lambda}\right) \quad \text{where } \lambda = \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}\right)^{-1}$$

[0042] 상기 <수학식 3>에서, 상기 Pr{T=t}은 채널 단절 시점이 t일 확률, 상기 λ는 채널 수명에 대한 지수 분포의 인자, 상기 λ_1는 송신단이 셀을 이탈하기까지 전송되는 심벌의 개수를 나타내는 확률 변수, 상기 λ_2는 수신단이 송신단의 커버리지를 이탈하기까지 전송되는 심벌의 개수를 나타내는 확률 변수를 의미한다.

[0043] 상기 <수학식 3>과 같이, 상기 채널 수명의 확률 분포는 상기 송신단이 상기 적어도 하나의 수신단과 통신 가능한 지역을 벗어날 이탈 확률의 평균, 및, 상기 적어도 하나의 수신단이 상기 송신단과 통신 가능한 지역을 벗어날 이탈 확률의 평균 중 적어도 하나를 이용하여 결정될 수 있다. 여기서, 상기 이탈 확률은 구체적인 실시 예에 따라 다양한 방법으로 결정될 수 있다. 예를 들어, 상기 이탈 확률은 미리 정의된 시스템 모델로부터 얻어질 수 있다. 또는, 상기 이탈 확률은 상기 통신 가능한 지역의 넓이 및 송신단과 수신단의 이동 속도를 기초로 산출될 수 있다. 또는, 상기 이탈 확률은 과거 이탈 이력(history)에 대한 통계로부터 산출될 수 있다.

[0044] 상기 <수학식 3>에서, t의 단위는 채널이 단절되기까지 전송된 인코딩 심벌의 개수이다. T에 대한 확률 분포를 오버헤드 R에 대한 확률 분포로 나타내기 위해 T=kR로 변수를 치환하고, T 및 R 사이의 자코비언(Jacobean)을 곱하면, 상기 확률 변수는 하기 <수학식 4>와 같이 표현될 수 있다.

수학식 4

$$\Pr\{\mathrm{R}=\mathrm{r}|\epsilon=0\}=\frac{k}{\lambda}\exp\left(-\frac{kr}{\lambda}\right)$$

[0045]

[0046] 상기 <수학식 4>에서, 상기 ε는 손실률, 상기 r은 총 메시지 심벌 개수 대비 수신단이 수신한 인코딩 심벌 개수의 비율, 상기 Pr{R=r|ε=0}은 손실률이 0인 때, 오버헤드가 r일 확률, 상기 k는 총 메시지 심벌 개수, 상기 λ는 채널 수명에 대한 지수 분포의 인자를 의미한다.

[0047] 상기 <수학식 4>에서 손실률 ε를 고려하면, 수신단의 오버헤드는 지수 분포를 정확히는 따르지 아니한다. 그러나, 상기 수신단의 오버헤드는 지수 분포로 근사화될 수 있다. 상기 손실률 ε를 고려한 오버헤드 r의 확률 분포는 하기 <수학식 5>와 같다.

수학식 5

$$\Pr\{\mathrm{R}=\mathrm{r}|\epsilon=v\}=\frac{k}{\lambda(1-v)}\exp\left(-\frac{kr}{\lambda(1-v)}\right)$$

[0048]

[0049] 상기 <수학식 5>에서, 상기 ε는 손실률, 상기 r은 총 메시지 심벌 개수 대비 수신자가 수신한 인코딩 심벌 개수의 비율, 상기 Pr{R=r|ε=v}은 손실률이 v인 때 오버헤드가 r일 확률, 상기 k는 총 메시지 심벌 개수, 상기 λ는 채널 수명에 대한 지수 분포의 인자를 의미한다.

[0050] 상기 <수학식 1>에 사용되는 최종적인 오버헤드 확률 분포는 하기 <수학식 6>과 같이 상기 <수학식 5>를 변수 ε에 대해 마진화(marginalization)함으로써 결정될 수 있다.

수학식 6

$$\Pr\{\mathrm{R}=\mathrm{r}\}=\sum_{v}\Pr\{R=r|\epsilon=v\}\cdot\Pr\{\epsilon=v\}$$

[0051]

[0052] 상기 <수학식 6>에서, 상기 ε는 손실률, 상기 r은 총 메시지 심벌 개수 대비 수신자가 수신한 인코딩 심벌 개수의 비율, 상기 Pr{R=r}은 오버헤드가 r일 확률, 상기 Pr{R=r|ε=v}은 손실률이 v인 때 오버헤드가 r일 확률,

상기 Pr{ε=v}는 손실률이 v일 확률을 의미한다.

[0053] 송신단은 각 수신단이 측정 및 피드백한 손실률 정보를 통해 상기 Pr{ε=v}를 알 수 있다. 수신단의 개수가 N이고, 각 수신단이 측정한 손실률이 각각 ε_1 내지 ε_N 중 하나이면, 상기 Pr{ε=v}는 하기 <수학식 7>과 같이 표현 가능하다.

수학식 7

[0054]
$$\Pr\{\epsilon = v\} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\delta(v-\varepsilon_i)$$

[0055] 상기 <수학식 7>에서, 상기 ε는 손실률, 상기 Pr{ε=v}는 손실률이 v일 확률, 상기 N은 손실률을 제공한 수신단의 개수, 상기 δ()는 연속 변수에서 정의되는 단위 충격 함수, 상기 ε_i는 수신단-i의 손실률을 나타낸다.

[0056] 상술한 본 발명의 실시 예에 따른 파운틴 부호의 차수 분포 결정 과정은 하나의 송신단이 다수의 수신단으로 브로드캐스팅하는 상황을 전제하였다. 그러나, 본 발명은 하나의 송신단 및 하나의 수신단이 유니캐스트(unicast) 방식으로 통신하는 경우에도 동일하게 적용될 수 있다.

[0057] 도 5는 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 파운틴 부호의 차수 분포를 결정하는 절차를 도시하고 있다. 이하 설명의 편의를 위해, 본 발명은 상기 차수 분포를 결정하는 주체를 '생성자'라 지칭한다.

[0058] 상기 도 5를 참고하면, 생성자는 501단계에서 송신단 및 수신단의 체류 시간들로부터 지수 분포를 결정하고, 채널 수명의 확률 분포를 모델링한다. 예를 들어, 상기 채널 수명의 확률 분포는 상기 <수학식 3>과 같이 모델링될 수 있다.

[0059] 이어, 상기 생성자는 503단계로 진행하여 각 채널에 대한 손실률 정보를 수집하고, 상기 손실률 정보를 이용하여 수신 오버헤드의 조건부 확률 분포를 산출한다. 예를 들어, 상기 조건부 확률 분포는 상기 <수학식 5>와 같이 산출될 수 있다.

[0060] 이후, 상기 생성자는 505단계로 진행하여 수신 오버헤드의 확률 분포를 결정한다. 즉, 상기 생성자는 수신 오버헤드의 조건부 확률 및 조건의 발생 확률의 곱들을 모든 손실률들에 대하여 합산함으로써, 상기 수신 오버헤드의 확률 분포를 결정할 수 있다. 예를 들어, 상기 수신 오버헤드의 확률 분포는 상기 <수학식 6>과 같이 결정될 수 있다.

[0061] 이어, 상기 생성자는 507단계로 진행하여 최적화를 위한 심벌 복원 확률을 산출한다. 예를 들어, 상기 생성자는 엔드-오어 트리(AND-OR tree) 분석 방법을 이용하여 상기 심벌 복원 확률을 산출할 수 있다. 예를 들어, 상기 심벌 복원 확률은 상기 <수학식 2>와 같이 산출될 수 있다.

[0062] 이후, 상기 생성자는 509단계로 진행하여 파운틴 부호의 차수 분포를 최적화한다. 예를 들어, 상기 생성자는 SQP를 이용하여 상기 차수 분포를 최적화할 수 있다. 즉, 상기 생성자는 상기 <수학식 1>과 같은 최적화 문제의 해를 결정한다.

[0063] 도 6은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단의 동작 절차를 도시하고 있다.

[0064] 상기 도 6을 참고하면, 상기 송신단은 601단계에서 채널 손실률 정보를 수집한다. 예를 들어, 상기 송신단은 적어도 하나의 수신단으로부터 채널 손실률을 피드백받는다. 즉, 상기 적어도 하나의 수신단은 링크가 형성된 후 채널이 단절되기까지의 시간 길이를 나타내는 채널 손실률 정보를 생성하고, 상기 채널 손실률 정보를 상기 송신단으로 피드백한다. 여기서, 상기 채널 손실률 정보의 형태는 구체적인 실시 예에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 상기 채널 손실률 정보는 상기 시간 길이 자체를 지시하거나, 상기 시간 길이 동안 수신한 심벌 개수를

지시할 수 있다. 또한, 상기 채널 손실률 정보는 순시적인 값 또는 통계적인 값일 수 있다.

[0065] 상기 채널 손실률 정보를 수집한 후, 상기 송신단은 603단계로 진행하여 파운틴 부호의 차수 분포를 결정한다. 다시 말해, 상기 송신단은 수집된 채널 손실률 정보로부터 현재 채널 손실률 확률 분포를 파악하고, 상기 손실률 확률 분포에 최적화된 파운틴 부포의 차수 분포를 결정한다. 예를 들어, 상기 송신단은 채널 수명의 확률 분포를 결정하고, 상기 채널 수명의 확률 분포를 이용하여 채널 손실률을 조건으로 하는 수신 오버헤드의 조건부 확률 분포를 결정하고, 수집된 채널 손실률 정보를 이용하여 수신 오버헤드의 확률 분포를 결정한다. 그리고, 상기 송신단은 결정된 수신 오버헤드의 확률 분포에 기초한 심벌 복원 확률을 산출한 후, 파운틴 부호의 중도 성능의 상한 및 상기 심벌 복원 확률에 따른 중도 성능의 차를 최소화하는 차수 분포를 결정한다. 예를 들어, 상기 송신단은 상기 도 5와 같은 절차를 통해 상기 차수 분포를 결정할 수 있다.

[0066] 상기 파운틴 부호의 차수 분포를 결정한 후, 상기 송신단은 605단계로 진행하여 메시지를 인코딩하고, 인코딩된 심벌들을 송신한다. 예를 들어, 상기 송신단은 상기 차수 분포에 포함되는 각 차수 만큼의 메시지 심벌들을 균일하게 선택하고, 미리 정의된 연산에 의해 선택된 메시지 심벌들을 연산함으로써, 인코딩 심벌을 생성한다. 예를 들어, 상기 미리 정의된 연산은 XOR 연산을 포함할 수 있다.

[0067] 도 7은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템에서 송신단의 블록 구성을 도시하고 있다.

[0068] 상기 도 7을 참고하면, 상기 송신단은 RF(Radio Frequency)처리부(710), 기저대역(baseband)처리부(720), 저장부(730), 제어부(740)를 포함한다.

[0069] 상기 RF처리부(710)는 신호의 대역 변환, 증폭 등 무선 채널을 통해 신호를 송수신하기 위한 기능을 수행한다. 즉, 상기 RF처리부(710)는 상기 기저대역처리부(720)으로부터 제공되는 기저대역 신호를 RF 대역 신호로 상향변환한 후 안테나를 통해 송신하고, 상기 안테나를 통해 수신되는 RF 대역 신호를 기저대역 신호로 하향변환한다. 예를 들어, 상기 RF처리부(710)는 송신 필터, 수신 필터(712), 증폭기, 믹서(mixer), 오실레이터(oscillator), DAC(Digital to Analog Convertor), ADC(Analog to Digital Convertor) 등을 포함할 수 있다. 상기 도 7에서, 하나의 안테나만이 도시되었으나, 상기 송신단은 다수의 안테나들을 구비할 수 있다. 또한, 상기 RF처리부(710)는 다수의 RF 체인들을 포함할 수 있다.

[0070] 상기 기저대역처리부(720)은 시스템의 물리 계층 규격에 따라 기저대역 신호 및 비트열 간 변환 기능을 수행한다. 예를 들어, 데이터 송신 시, 상기 기저대역처리부(720)은 송신 비트열을 부호화 및 변조함으로써 복소 심벌들을 생성한다. 또한, 데이터 수신 시, 상기 기저대역처리부(720)은 상기 RF처리부(710)로부터 제공되는 기저대역 신호를 복조 및 복호화를 통해 수신 비트열을 복원한다.

[0071] 상기 기저대역처리부(720) 및 상기 RF처리부(710)는 상술한 바와 같이 신호를 송신 및 수신한다. 이에 따라, 상기 기저대역처리부(720) 및 상기 RF처리부(710)는 송신부, 수신부, 또는, 송수신부로 지칭될 수 있다.

[0072] 상기 저장부(730)는 상기 송신단 동작을 위한 기본 프로그램, 응용 프로그램, 설정 정보 등의 데이터를 저장한다. 특히, 상기 저장부(730)는 파운틴 부호의 차수 분포 및 상기 차수 분포를 결정하기 위해 필요한 정보를 저장한다. 그리고, 상기 저장부(730)는 상기 제어부(740)의 요청에 따라 저장된 데이터를 제공한다.

[0073] 상기 제어부(740)는 상기 송신단의 전반적인 동작들을 제어한다. 예를 들어, 상기 제어부(740)는 상기 기저대역처리부(720) 및 상기 RF처리부(710)을 통해 신호를 송수신한다. 본 발명의 실시 예에 따라, 상기 제어부(740)는 현재 채널의 채널 손실률 확률 분포에 최적화된 파운틴 부호의 차수 분포를 결정하는 차수분포결정부(742)를 포함한다. 예를 들어, 상기 제어부(740)는 상기 송신단이 상기 도 5, 상기 도 6에 도시된 절차를 수행하도록 제어한다. 본 발명의 실시 예에 따른 상기 제어부(740)의 동작은 다음과 같다.

[0074] 먼저, 상기 제어부(730)는 채널 손실률 정보를 수집한다. 예를 들어, 상기 제어부(730)는 적어도 하나의 수신단으로부터 채널 손실률을 피드백받는다. 상기 채널 손실률 정보의 형태는 구체적인 실시 예에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 상기 채널 손실률 정보는 상기 시간 길이 자체를 지시하거나, 상기 시간 길이 동안 수신한 심벌 개수를 지시할 수 있다. 또한, 상기 채널 손실률 정보는 순시적인 값 또는 통계적인 값일 수 있다. 상기 채널 손실률 정보를 수집한 후, 상기 제어부(730)는 파운틴 부호의 차수 분포를 결정한다. 다시 말해, 상기 제어부(730)는 수집된 채널 손실률 정보로부터 현재 채널 손실률 확률 분포를 파악하고, 상기 손실률 확률 분포에 최적화된 파운틴 부포의 차수 분포를 결정한다. 예를 들어, 상기 제어부(730)는 상기 도 5와 같은 절차를 통해 상기 차수 분포를 결정할 수 있다. 이후, 상기 제어부(730)는 상기 차수 분포에 따라 메시지를 인코딩하고, 인코

딩된 심벌들을 송신한다.

[0075] 도 8은 본 발명의 실시 예에 따른 무선 통신 시스템의 성능을 도시하고 있다. 상기 도 8은 본 발명, LT 코드, 고정 손실률을 가정한 시스템에 대한 모의 실험 결과를 나타낸다.

[0076] 상기 모의 실험은 상기 <수학식 1>의 최적화 알고리즘의 풀이를 위해 널리 알려진 SQP이 사용하였다. 즉, 상기 모의 실험은 SQP를 이용하여 연결 정도 분포를 최적화한다. D2D 통신 환경에서 채널 수명의 평균 값 E[T]를 모델링하였다면, 심벌 복원을 위해 E[T]보다 작은 수의 메시지 길이 K를 이용하는 것이 타당하다. 상기 모의 실험은 K 값을, 하기 <수학식 8>과 같이, 관찰된 E[T]의 특정 비율 α에 의해 결정한다고 가정한다.

수학식 8

[0077] $$K = \alpha \cdot E[T]$$

[0078] 상기 <수학식 8>에서, 상기 K는 메시지 길이, 상기 E[T]는 채널 수명의 평균 값, 상기 α는 채널 수명 평균 및 메시지 길이의 비율을 의미한다.

[0079] 채널 손실률의 평균이 0.25이고 분포가 Pr{ε=0.1}=0.4, Pr{ε=0.2}=0.2, Pr{ε=0.3}=0.1, Pr{ε=0.4}=0.1, Pr{ε=0.5}=0.2 와 같을 때, 각각의 α에 대한 최적의 차수 분포는 하기 <표 1>과 같다.

표 1

[0080]

1/α	Ω(x)
4	Ω_1 = 0.4187 Ω_2 = 0.5813
3.5	Ω_1 = 0.4531 Ω_2 = 0.5469
3	Ω_1 = 0.5005 Ω_2 = 0.4995
2.5	Ω_1 = 0.5711 Ω_2 = 0.4289
2	Ω_1 = 0.6911 Ω_2 = 0.3089
1.5	Ω_1 = 0.9696 Ω_2 = 0.0304
1	Ω_1 = 1 Ω_2 = 0

[0081] 상기 도 8을 참고하면, 모든 α 값에 대하여, 본 발명의 실시 예에 따른 파운틴 부호가 LT 부호 및 고정 손실률을 사용한 경우에 비하여 높은 복원 확률을 보임이 확인된다.

[0082] 본 발명의 청구항 및/또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들은 하드웨어, 소프트웨어, 또는 하드웨어와 소프트웨어의 조합의 형태로 구현될(implemented) 수 있다.

[0083] 소프트웨어로 구현하는 경우, 하나 이상의 프로그램(소프트웨어 모듈)을 저장하는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 제공될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장되는 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치(device) 내의 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능하도록 구성된다(configured for execution). 하나 이상의 프로그램은, 전자 장치로 하여금, 본 발명의 청구항 및/또는 명세서에 기재된 실시 예들에 따른 방법들을 실행하게 하는 명

령어(instructions)를 포함한다.

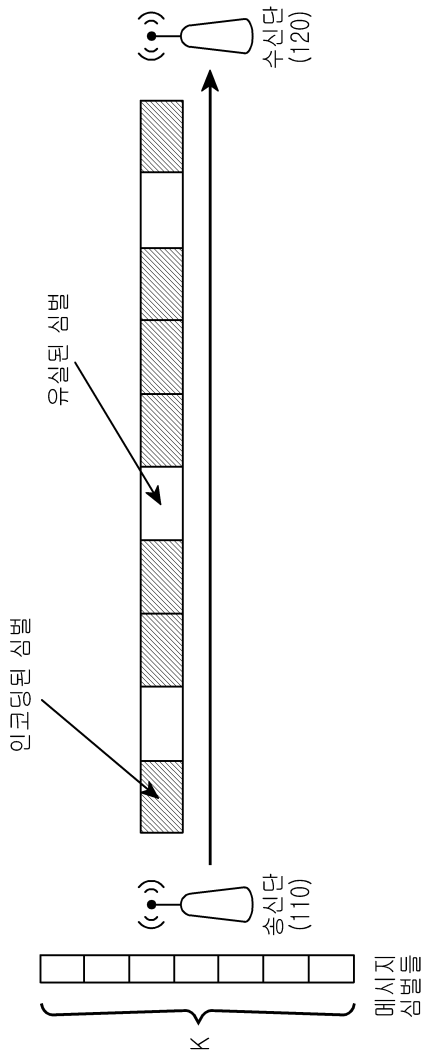
[0084] 이러한 프로그램(소프트웨어 모듈, 소프트웨어)은 랜덤 액세스 메모리 (random access memory), 플래시(flash) 메모리를 포함하는 불휘발성(non-volatile) 메모리, 롬(ROM, Read Only Memory), 전기적 삭제가능 프로그램가능 롬(EEPROM, Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), 자기 디스크 저장 장치(magnetic disc storage device), 컴팩트 디스크 롬(CD-ROM, Compact Disc-ROM), 디지털 다목적 디스크(DVDs, Digital Versatile Discs) 또는 다른 형태의 광학 저장 장치, 마그네틱 카세트(magnetic cassette)에 저장될 수 있다. 또는, 이들의 일부 또는 전부의 조합으로 구성된 메모리에 저장될 수 있다. 또한, 각각의 구성 메모리는 다수개 포함될 수도 있다.

[0085] 또한, 상기 프로그램은 인터넷(Internet), 인트라넷(Intranet), LAN(Local Area Network), WLAN(Wide LAN), 또는 SAN(Storage Area Network)과 같은 통신 네트워크, 또는 이들의 조합으로 구성된 통신 네트워크를 통하여 접근(access)할 수 있는 부착 가능한(attachable) 저장 장치(storage device)에 저장될 수 있다. 이러한 저장 장치는 외부 포트를 통하여 본 발명의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수 있다. 또한, 통신 네트워크상의 별도의 저장장치가 본 발명의 실시 예를 수행하는 장치에 접속할 수도 있다.

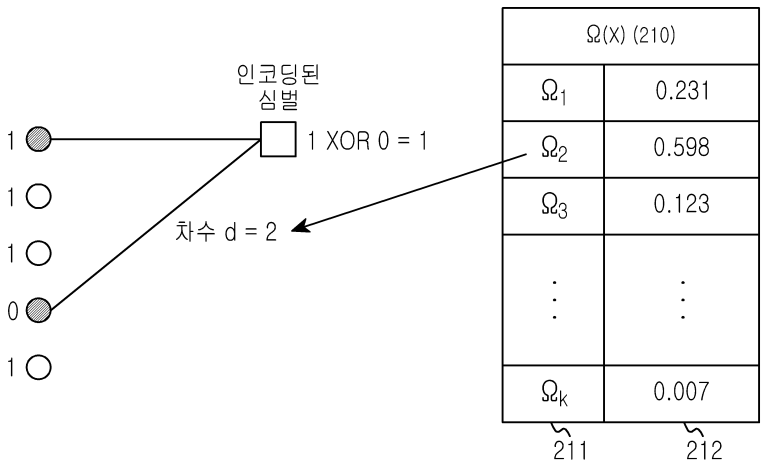
[0086] 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시 예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시 예에 국한되어 정해져서는 아니 되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

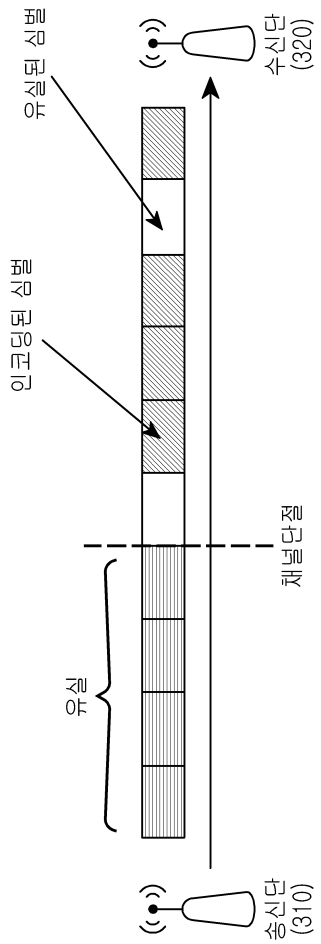
도면1



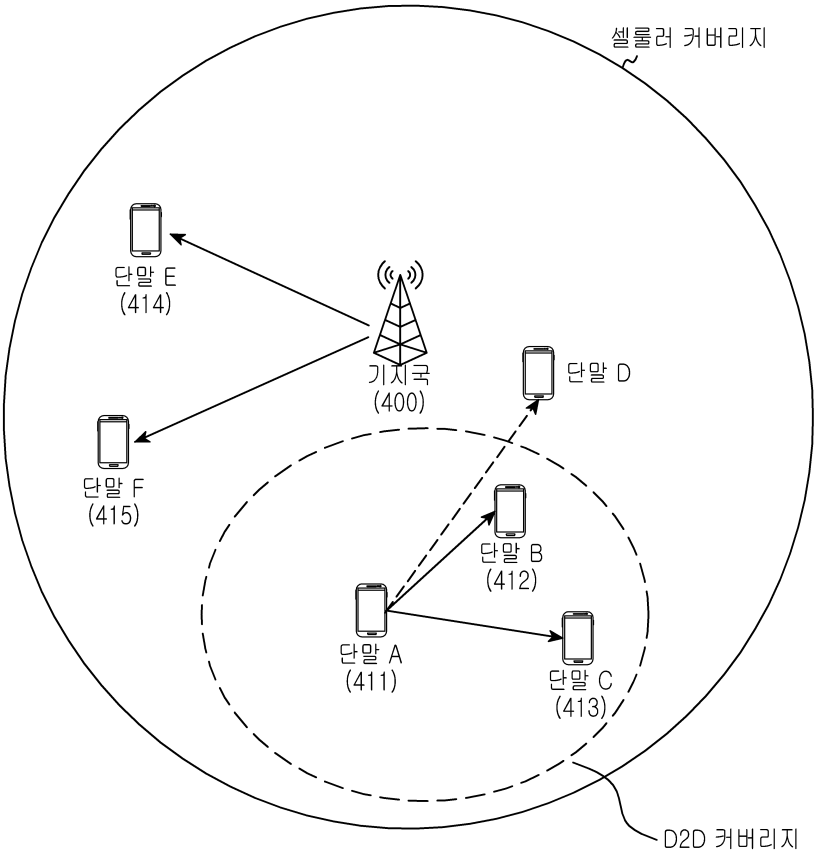
도면2


인코딩된
심벌
1
1
1
0
1
1 XOR 0 = 1
차수 d = 2
Ω(X) (210)
Ω1
0.231
Ω2
0.598
Ω3
0.123
Ωk
0.007
211
212

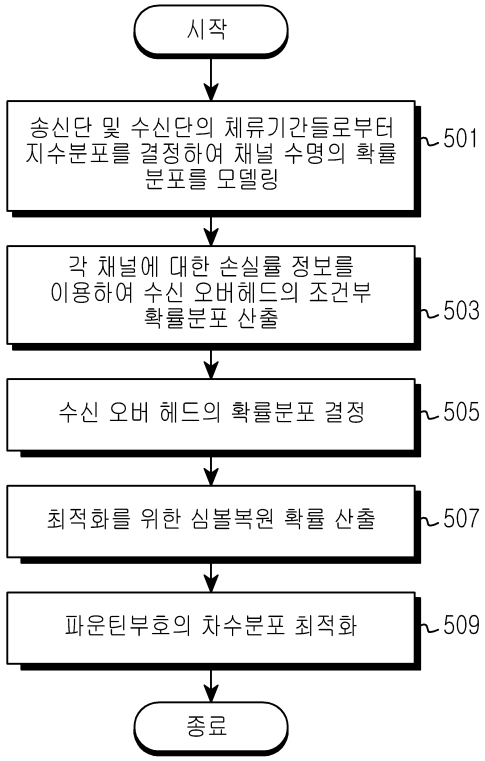
도면3


유실된 심벌
인코딩된 심벌
수신단
(320)
채널단절
유실
송신단
(310)

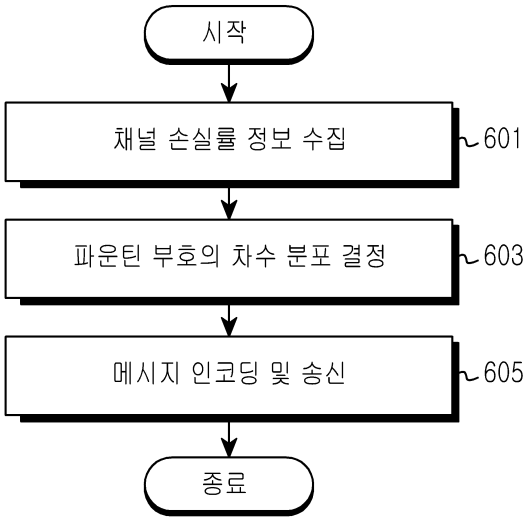
도면4


셀룰러 커버리지
단말 E
(414)
기지국
(400)
단말 D
단말 F
(415)
단말 B
(412)
단말 A
(411)
단말 C
(413)
D2D 커버리지

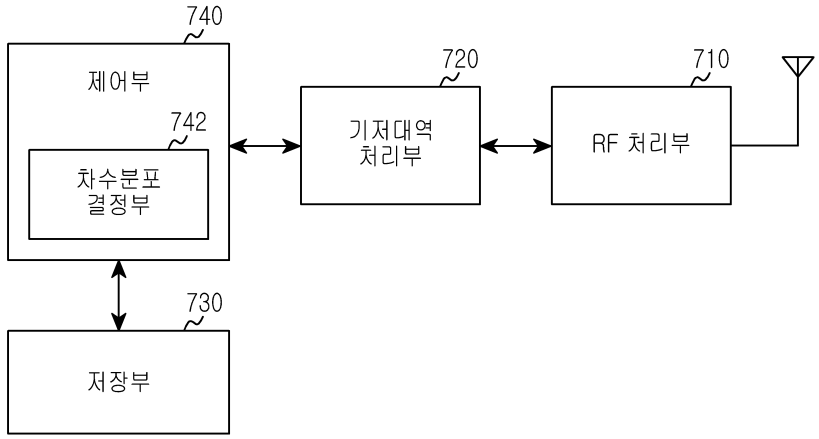
도면5


시작
송신단 및 수신단의 체류기간들로부터 지수분포를 결정하여 채널 수명의 확률 분포를 모델링
501
각 채널에 대한 손실률 정보를 이용하여 수신 오버헤드의 조건부 확률분포 산출
503
수신 오버 헤드의 확률분포 결정
505
최적화를 위한 심볼복원 확률 산출
507
파운틴부호의 차수분포 최적화
509
종료

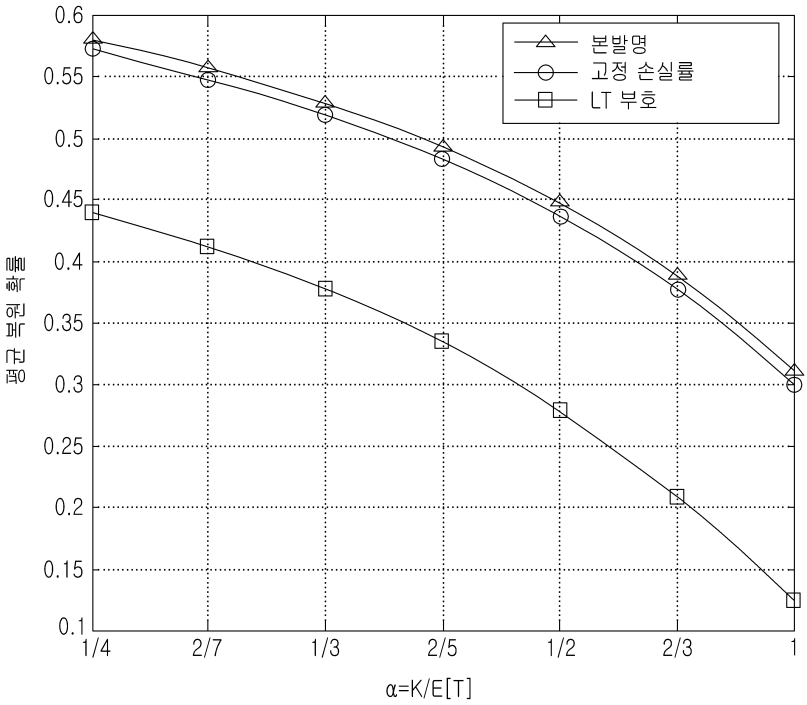
도면6


시작
채널 손실률 정보 수집
601
파운틴 부호의 차수 분포 결정
603
메시지 인코딩 및 송신
605
종료

도면7


740
제어부
742
차수분포
결정부
720
기저대역
처리부
710
RF 처리부
730
저장부

도면8


0.6
0.55
0.5
0.45
0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
평균 복원 확률
1/4
2/7
1/3
2/5
1/2
2/3
1
α=K/E[T]
본발명
고정 손실률
LT 부호