



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0074887

(43) 공개일자 2015년07월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04L 1/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0163089

(22) 출원일자 2013년12월24일

심사청구일자 2013년12월24일

(71) 출원인

포항공과대학교 산학협력단

경상북도 포항시 남구 청암로 77 (지곡동)

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

(72) 발명자

허준

서울 강남구 광평로10길 6, 206동 103호 (일원동, 한솔마을)

서영길

서울 성북구 안암로9가길 71, 302호 (안암동5가)

백중현

서울 성북구 안암로 145, 자연계캠퍼스 공학별관 705호 (안암동5가, 고려대학교)

(74) 대리인

특허법인이상

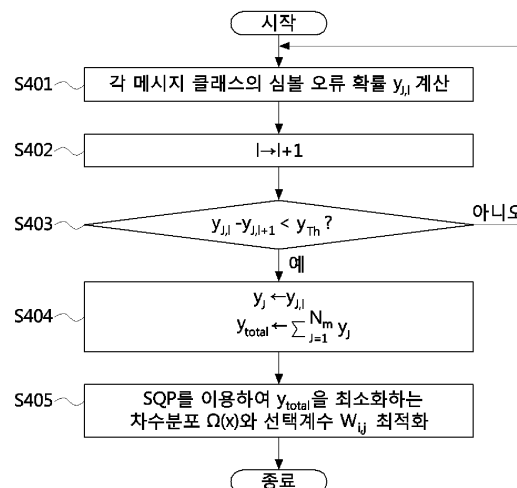
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법

(57) 요약

LT 부호의 차수 분포 최적화 방법이 개시된다. 송신 장치에서 수행되는 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법은 복수의 송신장치 사이에 서로 공통된 메시지 부분을 포함하는 전체 메시지를 복수의 클래스로 구분하는 단계와, 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계 및 계산된 심볼 오류 확률에 기초하여 심볼 오류 확률을 최소화할 수 있는 차수 분포를 획득하는 단계를 포함한다. 따라서, 다중 송신자들간에 공유 메시지를 포함하는 분산 LT 부호 시스템에서 심볼 복원 확률을 최대화 할 수 있다.

대표도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 ITAH0301130330020001000100100

부처명 지식경제부

연구관리전문기관 주식회사이노와이어리스

연구사업명 대학IT연구센터 육성 지원사업

연구과제명 융합 단말을 위한 내장형 소프트웨어 기술 연구

기 여 율 1/1

주관기관 포항공과대학교 산학협력단

연구기간 2013.01.01 ~ 2013.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

송신 장치에서 수행되는 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에 있어서,
복수의 송신장치 사이에 서로 공통된 메시지 부분을 포함하는 전체 메시지를 복수의 클래스로 구분하는 단계;
구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계; 및
계산된 심볼 오류 확률에 기초하여 심볼 오류 확률을 최소화할 수 있는 차수 분포를 획득하는 단계를 포함하는 LT 부호 차수 최적화 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
상기 복수의 클래스 각각에 포함된 메시지의 개수는 전체 메시지의 길이에 각 클래스에 설정된 메시지 심볼의 분포 계수를 곱하여 결정되는 것을 특징으로 하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,
상기 복수의 클래스 각각에 포함되는 메시지는 선택 계수에 의해 각 클래스별로 비대칭적으로 선택되는 것을 특징으로 하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,
상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는,
AND-OR 트리 분석법을 이용하여 계산되는 것을 특징으로 하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,
상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는,
반복적으로 수행되는 것을 특징으로 하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,
상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는,
1(여기서, 1은 2 이상의 자연수)번째 심볼 오류 확률 계산 과정에서 획득한 심볼 오류 확률과 1+1번째 심볼 오류 확률 계산 과정에서 획득한 심볼 오류 확률의 차이가 미리 설정된 임계값 미만인 경우, 1번째 심볼 오류 확률 계산 과정에서 획득한 심볼 오류 확률을 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률의 수렴값으로 설정하는 것을 특징으로 하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서,
상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는,
상기 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률의 수렴값을 모두 합하여 전체 심볼 오류 확률을 획득하는 것을 특징으로

하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 심볼 오류 확률을 최소화할 수 있는 차수 분포를 획득하는 단계는,

순차 이진 계획법을 이용하여 상기 전체 심볼 오류 확률을 최소화하는 차수분포 및 선택 계수를 획득하는 것을 특징으로 하는 LT 부호의 차수 최적화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 채널 부호화 기술에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 응용계층의 오류 정정에 적용할 수 있는 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 이진 손실 채널(binary erasure channel)에서 발생하는 패킷 또는 심볼의 소실(loss)로 인한 성능 열화를 보상하기 위한 방법으로 자동 반복 요청(Arq: Automatic Repeat Request)과 순방향 오류 정정(FEC: Forward Error Correction) 부호를 사용한다.

[0003] 1990년대 후반부터 FEC 부호는 응용 계층이나 네트워크 계층에 적용 가능한 형태로 연구되기 시작하였고, LT(Luby-Transform) 부호, 랩터(Raptor) 부호 등과 같은 파운틴 부호(fountain code) 계열의 채널 부호화 기술들이 연구되었다.

[0004] 파운틴 부호는 손실 채널로 표현되는 네트워크 상에서 다수에게 신호를 전송하는 브로드캐스팅 및 멀티캐스팅에서 전송 효율성과 낮은 부호화(encoding) 및 복호화(decoding) 연산을 고려하여 고안되었다.

[0005] 파운틴 부호의 핵심적인 설계 요소는 차수 분포(degree distribution)이며, 이는 부호화 및 복호화 연산량과 복호 성능을 결정한다.

[0006] LT 부호는 낮은 복잡도를 가지며, 메시지 개수와 비슷하거나 약간 더 많은 개수의 부호 심볼을 이용하여 정보를 모두 복원할 수 있는 대표적인 채널 손실 오류정정부호이다. LT 부호는 RSD(Robust Soliton Distribution)를 사용하는 부호이며, k 개의 메시지 심볼을 복원하기 위해 소량 $(1+\epsilon)k$, ϵ 은 매우 작은 양수의 부호 심볼만 요구되는 장점이 있다.

[0007] 그러나, 다중 송신자에 의해 정보를 전송하고자 하는 경우에는 기존의 LT부호에서 사용하는 최적의 차수분포 방법인 RSD가 최적의 성능을 보장하지 못하는 단점이 있다.

[0008] 다중 송신자로부터 단일 수신자에게 정보를 전송하고자 할 때 사용되는 LT 부호를 분산 LT 부호(Distributed LT code)라고 정의한다. 현재까지 분산 LT 부호의 설계를 위한 많은 연구들이 진행되었다.

[0009] 예를 들어, M. Luby의 "LT Codes"에서는 LT 부호를 제안하고 있고, 이진 손실 채널에서 부호화 과정과 복호과정을 기술하고 RSD 분포가 최적임을 기술하고 있다. 또한, M. Luby, M. Mitzenmacher 및 A. Shokrollahi의 "Analysis of random processes via and-or tree evaluation"에서는 AND-OR 트리(tree)를 이용하여 LT부호의 복호 그래프인 이분 그래프(bipartite graph) 구조로부터 메시지 심볼의 복원 확률을 점근적(asymptotic)으로 계산할 수 있는 분석 방법을 제공하고 있다. 한편, S. Puducheri, J. Klierer 및 T. Fuja의 "The Design and Performance of Distributed LT Codes"에서는 짝수 개의 송신자와 단일 릴레이, 단일 수신자로 구성된 네트워크에서 릴레이의 역할을 정의하고 그에 따라 디컨볼루션(deconvolution)을 통한 차수 분포 방법을 제공하고 있다. 또한, A. Liao, S. Yousefi 및 I. M Kim의 "Binary Soliton-Like Rateless Coding for the Y-Network"에서는 두 개의 송신자와 단일 릴레이, 단일 수신자로 구성된 네트워크에서 릴레이의 역할을 정의하고 그에 따라 설계된 차수 분포의 성능이 DLT(Distributed Luby Transform)보다 우수함을 기술하고 있다. 또한, D. Sejdinovic, R. Piechocki, A. Doufexi 및 M. Ismail의 "Decentralised distributed fountain coding: asymptotic analysis and design"에서는 다수의 송신자가 단일 수신자에게 정보를 전달할 때 고려할 수 있는 일반화된 LT 부호를 정의하고 성능을 평가하며 일부 경우에 직접 설계가 가능함을 기술하고 있다. 또한, M. Zeng, R. Calderbank 및 Suguang Cui의 "On Design of Rateless Codes over Dying Binary Erasure Channel"에서는

무율 코드(rateless code)의 수신 오버헤드를 특정 랜덤 변수로 가정하고, 채널 손실률을 고정된 상수로 가정하여 무작위로 채널이 단절되는 환경에서 평균 심볼 복원 확률을 최대화 하는 차수 분포의 설계 방법을 제안하고 있다. 여기서, 제안하는 설계방식은 AND-OR 트리 분석 기법과 순차 이진 계획(SQP : sequential quadratic programming) 알고리즘을 포함하고 있다.

[0010] 그러나, 상술한 바와 같은 종래의 LT 부호 설계 방법들은 다수의 송신자 간에 공유하고 있는 정보가 없이 각 송신자가 독립적으로 전송하는 경우만을 고려한 방법들이다.

[0011] 따라서, 다수의 송신자들간에 일부의 정보가 공유되는 실제적인 환경에서는 최적의 성능을 발휘할 수 없는 단점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 상술한 문제를 해결하기 위한 본 발명의 목적은 다수의 송신자들 간의 정보가 공유되어 있는 환경을 포함하는 모든 실제적인 환경에서 최적의 차수 분포를 얻을 수 있는 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명에서 이루고자 하는 목적들은 상기한 목적들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 다른 목적들은 하기의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 상술한 본 발명의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 측면에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법은, 송신 장치에서 수행되는 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법으로, 복수의 송신장치 사이에 서로 공통된 메시지 부분을 포함하는 전체 메시지를 복수의 클래스로 구분하는 단계와, 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계 및 계산된 심볼 오류 확률에 기초하여 심볼 오류 확률을 최소화할 수 있는 차수 분포를 획득하는 단계를 포함한다.

[0015] 여기서, 상기 복수의 클래스 각각에 포함된 메시지의 개수는 전체 메시지의 길이에 각 클래스에 설정된 메시지 심볼의 분포 계수를 곱하여 결정될 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 복수의 클래스 각각에 포함되는 메시지는 선택 계수에 의해 각 클래스별로 비대칭적으로 선택될 수 있다.

[0017] 여기서, 상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는, AND-OR 트리 분석법을 이용하여 계산될 수 있다.

[0018] 여기서, 상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는, 반복적으로 수행될 수 있고, 1(여기서, 1은 2 이상의 자연수)번째 심볼 오류 확률 계산 과정에서 획득한 심볼 오류 확률과 1+1번째 심볼 오류 확률 계산 과정에서 획득한 심볼 오류 확률의 차이가 미리 설정된 임계값 미만인 경우, 1번째 심볼 오류 확률 계산 과정에서 획득한 심볼 오류 확률을 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률의 수렴값으로 설정할 수 있다.

[0019] 여기서, 상기 구분된 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률을 계산하는 단계는, 상기 각 클래스에 대한 심볼 오류 확률의 수렴값을 모두 합하여 전체 심볼 오류 확률을 획득할 수 있다.

[0020] 여기서, 상기 심볼 오류 확률을 최소화할 수 있는 차수 분포를 획득하는 단계는, 순차 이진 계획법을 이용하여 상기 전체 심볼 오류 확률을 최소화하는 차수분포 및 선택 계수를 획득할 수 있다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에서는 다중 송신자들 간에 일부 공유되어있는 메시지를 전송하고자 하는 분산 LT 부호 시스템에서 심볼 오류 확률을 최소화할 수 있는 차수 분포 설계 방법을 제공한다. 따라서, 다중 송신자들간에 공유 메시지를 포함하는 분산 LT 부호 시스템에서 심볼 복원 확률을 최대화 할 수 있다.

[0022] 또한, 독립적인 메시지 클래스에 대한 이론적 성능과 관계없이 목적 함수를 수치적으로 계산함으로써 가능한 모든 경우에 대한 최적화 문제를 정의할 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 적용하는 경우, 수신단에서 수신되는 모든 메시지에 대한 복원 성능은 물론, 특정 메시지에 대한 복원 성능을 극대화하기 위한 LT 부호를 설계할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법이 적용되는 통신 환경을 나타내는 개념도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에서 고려하는 복호 그래프를 나타낸다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 적용하여 획득한 결과를 나타내는 것이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.

[0026] 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.

[0027] 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.

[0028] 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 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가진 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0029] 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.

[0030] LT 부호는 응용 계층에서 널리 사용되는 대표적인 채널 손실 오류정정부호이다. LT 부호의 부호율은 정의되지 않으며 이론적으로 무한개의 부호 심볼을 생성할 수 있는 특징을 가진다.

[0031] 송신단에서는 주어진 차수 분포(degree distribution)에 의해 차수가 정해지면 무작위로 차수의 개수만큼 선택된 메시지 심볼들을 XOR 연산하여 부호 심볼을 생성한다. 수신단에서는 메시지 패싱(MP : Message Passing) 알고리즘을 이용하여 수신된 부호 심볼들을 복원한다. 여기서, 메시지의 복원 성공률은 수신한 부호 심볼의 개수에 의해 결정된다. 수신한 부호 심볼의 개수와 메시지 개수의 비(ratio)를 수신 오버헤드라고 정의한다.

[0032] RSD를 이용한 LT부호의 경우, 메시지를 모두 복원하기 위해 필요한 수신 오버헤드를 최소화하는 성능을 갖는다. 이 때 수신 오버헤드는 1을 넘는다고 가정하는데, 이는 수신한 부호심볼의 개수가 메시지의 개수보다 많아야 한다는 것을 의미한다.

[0033] 낮은 복잡도에서 낮은 오버헤드로 모든 메시지를 복호할수 있기 때문에 LT 부호는 멀티미디어 스트리밍 등의 응용 분야에서 널리 사용된다. 그러나 다중 송신자가 동시에 단일 수신자에 메시지를 전송하고자 할 때, 다중 송신자가 각각 RSD를 사용하는 경우 최적의 성능을 보장할 수 없다. 따라서, 다중 송신자를 고려한 새로운 차수 분포가 필요하다.

[0034] 다중 송신자로부터 정보를 전달하고자 하는 분산 LT 부호와 관련된 연구가 다수 진행되었고, 그 시초는 릴레이

프로토콜을 정의하고 디컨볼루션을 통해 차수분포를 설계하는 것이었다. 이후 다양한 상황에서 분산 LT 부호의 성능을 개선하고 제한사항을 줄이고자하는 연구되었다. 그러나 이와 같은 연구들은 각 송신단의 메시지가 독립적이며 동일한 길이를 갖는다는 가정 하에 진행되었고 송신자 간에 공유하는 메시지가 존재하는 경우에 대해서는 적절한 해결방법을 제시하지 못하는 문제점이 있다. 또한, 종래의 분산 LT 부호와 관련된 연구들 중에는 일반화된 분산 LT 부호를 정의하고 이론적인 성능분석을 통해 일부 제한적인 상황에서 선형 계획법(linear programming) 기반의 최적화 방법에 대한 연구가 진행되었다. 그러나, 이 방법 역시 가능한 모든 상황에서 최적의 차수분포를 설계할 수 있는 방법은 제시하고 있지 않다. 따라서, 일반화된 분산 LT 부호를 위한 새로운 최적화 기법이 필요하다.

[0035] 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에서는 일반화된 분산 LT 부호의 이론적 성능분석을 통해 순차적 이차 계획법(sequential quadratic programming) 기반의 최적화 문제를 정의하고 LT 부호의 차수 분포 설계 방법을 제공한다.

[0036] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 보다 구체적으로 설명한다.

[0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법이 적용되는 통신 환경을 나타내는 개념도이다.

[0038] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법은 다수의 송신자(101 ~ 106)가 단일 수신자(110)에 메시지를 전송하는 통신 환경에 적용될 수 있다. 여기서, 다수의 송신자(101 ~ 106)는 서로 공통 부분을 포함하는 메시지를 단일 수신자(110)에 전송한다.

[0039] 도 1에서, K는 수신자(110)가 복원하고자 하는 메시지의 길이를 의미하며, S_i 는 다수의 송신자(101 ~ 106)중 i 번째 송신자를 의미한다. 또한, N_s 는 송신자의 수를 의미한다.

[0040] 또한, 도 1에서 N_s 개의 송신자(101 ~ 106)는 동일한 송신물로 부호 심볼을 전송한다고 가정하며, 각 송신자의 메시지는 서로 다른 길이를 가질 수 있다.

[0041] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 분산 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에서 고려하는 복호 그래프를 나타낸다.

[0042] 도 2는 수신자(110)가 하나의 BP(Belief Propagation) 복호기를 이용하여 K개의 모든 메시지를 복원하고자 하는 경우를 나타내는 그래프이다.

[0043] 송신자(101 ~ 106) 간에 서로 공통적으로 공유하고 있는 메시지가 존재하는 경우 부호화 과정에서 공유 메시지가 다중으로 참여하게 되면, 모든 메시지의 동등한 복원 가능성을 방해하게 된다.

[0044] 따라서, 전체 메시지를 클래스로 구분하여 $A_j, j=1, \dots, N_m$ 로 정의한다. 여기서, A_j 는 j번째 클래스를 의미하고, N_m 은 클래스의 개수를 의미한다.

[0045] 각 클래스에 포함된 메시지의 개수는 $\pi_j K$ (여기서, π_j 는 메시지 심볼의 분포 계수를 의미함)이며, 각 송신자의 부호화 과정에서 각각의 클래스에 소속된 메시지는 선택 계수 $w_{i,j}, i=1, \dots, N_s, j=1, \dots, N_m$ 에 의해 비대칭적으로 선택된다.

[0046] 상술한 바와 같은 그래프 모델을 정의한 연구에서는 AND-OR 트리 분석 방법을 이용하여 각 클래스의 이론적 심볼 오류 확률을 산출하였으나, 도 2에 도시한 그래프를 통해 고려할 수 있는 모든 상황에 대한 최적화된 차수 분포와 선택 계수를 구하지는 못하였다.

[0047] 즉, D. Sejdinovic, R. Piechocki, A. Doufexi 및 M. Ismail의 "Decentralised distributed fountain coding: asymptotic analysis and design"에서는 다수의 송신자가 단일 수신자에게 메시지를 전송하는 환경에서, 이론적 성능을 바탕으로 선형 계획법 기반의 최적화 기법을 고려하였는데, 상기 연구에서는 모든 송신자의 메시지 길이

가 같고 송신자간 공유 메시지가 한 개의 클래스만 존재하는 특이 환경에서만 차수분포를 얻을 수 있다. 따라서, 본 발명에서 고려하고 있는 송신자의 메시지 길이가 서로 다르거나 공통 메시지 클래스가 두 개 이상인 경우에는 상기 연구에서 개시하고 있는 선형 계획법 기반의 최적화 방법을 적용할 수 없다.

본 발명의 일 실시예에 따른 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법에서는 각 메시지 클래스의 이론적 성능 분석을 바탕으로 수학적 1에 나타난 바와 같은 최적화 기법을 적용하여 다수의 송신자가 공통 부분을 소유하는 메시지를 전송하는 경우를 포함하는 모든 경우에 대한 최적의 LT 부호를 설계할 수 있도록 한다.

수학적 1

$$\begin{aligned} \min R(\Omega(x), w_{i,j}) \\ s.t. \sum_i^{d_{\max}} \Omega_i = 1, \Omega_i \geq 0 \end{aligned}$$

수학적 1에서, $R(\Omega(x), w_{i,j})$ 은 달성 가능한 최저의 심볼 오류 확률을 의미하며, 수학적 2와 같은 이론적 성능 분석을 바탕으로 계산된다. $\Omega(x)$ 는 차수 분포 생성을 위한 다항식을 의미하며, $d_{\max}$ 는 최대 차수를 나타낸다.

즉, 수학적 1은 수학적 2에 나타난 바와 같은 각 클래스별 오류 확률 y_j 의 선형 결합으로 정의할 수 있다. 여기서, y_j 는 수치적으로 계산된 j 번째 클래스 A_j 의 오류 확률을 의미하며 이론적으로 무한한 횟수의 반복 복호와 무한한 길이의 메시지를 가정하였을 때의 성능이다.

수학적 2

$$R(\Omega(x), w_{i,j}) = \sum_{j=1}^{N_m} \pi_j y_j$$

따라서, 수학적 1에 나타난 LT 부호 설계 방법은 K개의 모든 메시지 심볼에 대해 이론적으로 달성 가능한 성능을 최소화하는 차수 분포와 선택 계수를 찾는 문제가 이해할 수 있다.

한편, AND-OR 트리 분석을 다룬 기존의 연구에서 밝혀진 바와 같이 1(여기서, 1은 2 이상의 자연수)번째 반복 복호 스텝에서의 이론적 클래스별 오류 확률 $y_{j,1}$ 은 1에 대한 감소함수이다. 따라서, 본 발명에 성능 분석 결과를 적용하기 위해서는 $y_{j,1}$ 의 수렴값을 계산할 수 있어야 한다. 본 발명의 실시예에서는 이론적 성능이 수렴과정에서 미리 설정된 특정 임계값 y_{th} 보다 작은 차이를 보이게 되면 클래스별 오류 확률의 수렴값으로 간주하여 최적화 문제를 풀도록 정의한다.

즉, 수학적 3에 나타난 조건을 만족하는 1에서 복호 스텝을 정지하도록 한다.

수학적 3

$$\begin{aligned} y_j &= y_{j,l} \\ \text{where } y_{j,l} - y_{j,l+1} &< y_{th} \end{aligned}$$

또한, 본 발명에서는 순차 이진 계획법(SQP : Sequential Quadratic Programming)을 이용하여 수학적 1에 정의한 최적화 문제의 해를 구한다.

따라서 본 발명의 일 실시예에 따른 LT 부호의 차수 분포 최적화를 위한 LT 부호 설계기는 메시지 심볼의 분포

$\{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{N_m}\}$ 를 입력으로 받아 최적의 차수 분포와 선택 계수인 $\{\Omega(x), w_{ij}\}, i = 1, \dots, N_s, j = 1, \dots, N_m$ 를 출력하게 된다.

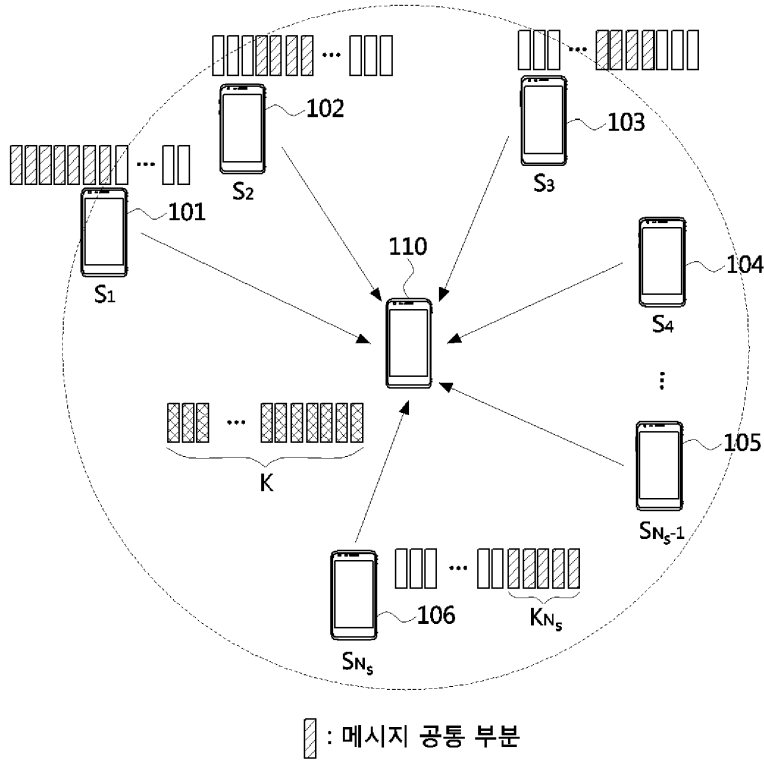
- [0059] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 적용하여 획득한 결과를 나타낸다.
- [0060] 도 3에서는 송신자의 개수가 2(즉, $N_s=2$)일 때, 입력 변수 $\{\pi_1, \pi_2, \pi_3\}$ 에 대한 선택계수 및 차수분포를 획득한 결과를 나타낸다.
- [0061] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법을 나타내는 흐름도이다. 도 4에 도시한 LT 부호의 차수 분포 최적화 방법은 도 1에 도시한 바와 같은 통신 환경에서 각 송신자(또는 송신 장치)에 의해 수행될 수 있다.
- [0062] 도 4를 참조하면, 먼저, 송신자는 송신자들간 공통적으로 공유하는 부분을 포함하는 메시지를 N_m 개의 클래스로 구분하고, 구분된 각 클래스의 심볼 오류 확률 $y_{j,l}$ 을 계산한다(S401). 여기서, N_m 개의 클래스에 대한 심볼 오류 확률은 AND-OR 트리 분석법을 이용하여 이론적으로 계산될 수 있다. 또한, 각 클래스의 심볼 오류 확률 $y_{j,l}$ 의 수렴값을 획득하기 위해 $y_{j,l}$ 이 미리 설정된 특정 임계값 y_{th} 보다 작은 차이값을 가질 때까지 심볼 오류 확률 계산 과정을 반복한다.
- [0063] 즉, 송신자는 단계 S401에서 각 클래스의 심볼 오류 확률 $y_{j,l}$ 을 계산한 후, l 을 1만큼 증가시킨 후(S402), 수학적 식 3에 나타난 바와 같이 현재 스텝에서 계산된 심볼 오류 확률과 이전 스텝에서 계산된 심볼 오류 확률의 차이를 계산하고, 계산된 차이값을 미리 설정된 임계값 y_{th} 과 비교한다(S403).
- [0064] 송신자는 상기 계산된 차이값이 미리 설정된 임계값 y_{th} 보다 작은 경우에는 1번째 스텝에서 획득한 심볼 오류 확률을 심볼 오류 확률의 수렴값으로 설정하고, 각 클래스별로 획득한 심볼 오류 확률을 더하여 전체 심볼 오류 확률 y_{total} 을 획득한다(S404).
- [0065] 이후, 송신자는 순차 이진 계획법(SQP)를 이용하여 전체 심볼 오류 확률 y_{total} 을 최소화하는 차수 분포 $\Omega(x)$ 와, 선택 계수 w_{ij} 최적화 값을 획득한다(S405).
- [0066] 이상 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

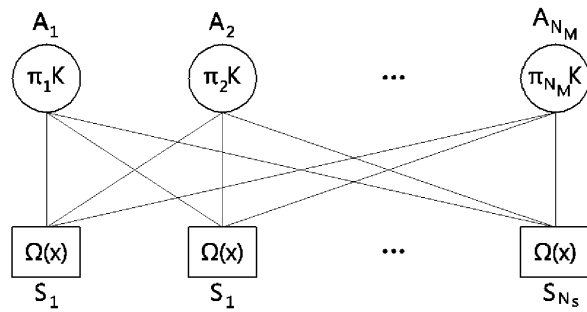
- [0067] 101 ~ 106 : 송신자
110 : 수신자

도면

도면1



도면2



도면3

입력 변수 { π_1, π_2, π_3 }	선택계수	차수분포
{0.4, 0.2, 0.4}	$w_{1,1}=w_{2,3}=0.7942$ $w_{1,2}=w_{2,2}=0.2058$	$\Omega(x)=0.0793x+0.2511x^2+0.4317x^3+0.0662x^4+0.017x^{10}$ $+0.0085x^{11}+0.0179x^{12}+0.0201x^{13}+0.0055x^{14}$ $+0.0489x^{17}+0.0059x^{98}+0.0479x^{100}$
{0.2, 0.3, 0.5}	$w_{1,1}=0.4226$ $w_{1,2}=0.5774$ $w_{2,2}=0$ $w_{2,3}=1$	$\Omega(x)=0.1997x+0.0905x^2+0.1054x^3+0.4937x^4+0.0021x^8$ $+0.0052x^{11}+0.008x^{12}+0.0085x^{13}+0.0081x^{14}$ $+0.0072x^{15}+0.004x^{16}+0.004x^{17}+0.0029x^{96}$ $+0.0042x^{98}+0.0203x^{99}+0.036x^{100}$

도면4

