



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년12월30일

(11) 등록번호 10-1477664

(24) 등록일자 2014년12월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H03M 7/30 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0113669

(22) 출원일자 2013년09월25일

심사청구일자 2013년09월25일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020100081901 A

S. Feizi et al., "A Power Efficient Sensing/Communication Scheme: Joint Source Channel Network Coding by using Compressive Sensing," 2011 Allerton, 28-30 Sept. 2011..*

권민혜 외 2인, "네트워크 코딩을 이용한 손실내성 지연민감데이터의 전송과 근사복호법," 한국통신학회지, Vol. 29, No. 3, 2012..*

F. Bassi et al., "Compressive Linear Network Coding for Efficient Data Collection in Wireless Sensor Networks," 20th EUSIPCO, 27-31 Aug. 2012..*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

이화여자대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)

(72) 발명자

권민혜

서울 은평구 연서로18길 33-2, (대조동)

박형곤

경기 고양시 덕양구 화신로 106, 2416동 204호 (행신동, 햇빛마을24단지아파트)

(74) 대리인

특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 22 항

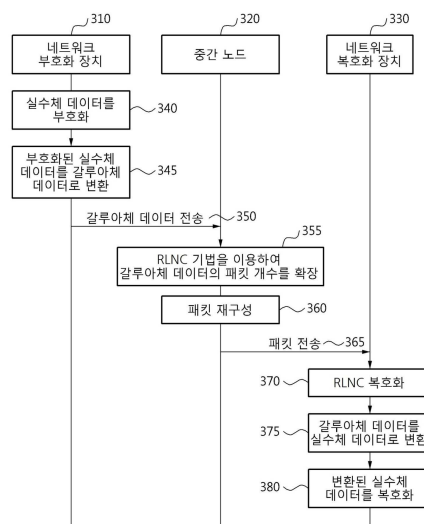
심사관 : 권성락

(54) 발명의 명칭 압축 센싱 기법을 이용한 네트워크 부호화 방법 및 장치, 네트워크 복호화 방법 및 장치

(57) 요약

압축 센싱 기법을 이용한 네트워크 부호화 방법 및 장치, 네트워크 복호화 방법 및 장치가 개시된다. 일실시에에 따른 네트워크 부호화 방법은 매트릭스를 이용하여 실수체(real field) 데이터를 부호화하는 단계; 및 상기 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체(Galois field) 데이터로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2010-0009717

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기초연구사업-일반연구차지원사업-기본연구(유형2)

연구과제명 다양한네트워크환경에서강인한실시간멀티미디어전송전략

기 여 율 0.2/1

주관기관 이화여자대학교

연구기간 2010.05.01 ~ 2015.04.30

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NIPA-2013-H0301-13-1002

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신산업진흥원

연구사업명 대학IT연구센터육성지원사업

연구과제명 초고속무선네트워크기반u-Office서비스연구개발

기 여 율 0.4/1

주관기관 중앙대학교 산학협력단

연구기간 2013.01.01 ~ 2013.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NIPA-2013-H0301-13-1008

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 정보통신산업진흥원

연구사업명 대학IT연구센터육성지원사업

연구과제명 디지털 방송장비 연구(차세대디지털TV방송시스템(실감형/모바일/양방향)핵심기술개발)

기 여 율 0.4/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2013.01.01 ~ 2013.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

네트워크 부호화 장치가 수행하는 네트워크 부호화 방법에 있어서,
 매트릭스를 이용하여 실수체(real field) 데이터를 부호화하는 단계; 및
 상기 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체(Galois field) 데이터로 변환하는 단계
 를 포함하고,
 상기 실수체 데이터를 부호화하는 단계는,
 랜덤하게 선택된 매트릭스 계수를 고려하여 실수체 데이터 세트들의 개수를 감소시킴으로써 실수체 데이터를 부호화하고,
 상기 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되며,
 상기 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환하는 단계는,
 상기 부호화된 실수체 데이터 및 상기 실수체 데이터의 최소값 간의 차이에 갈루아체 원소로 변환하기 위한 양자화 함수를 적용함으로써 갈루아체 데이터로 변환하는 네트워크 부호화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 실수체 데이터를 부호화하는 단계는,
 상기 실수체 데이터를 복수 개의 실수체 데이터 세트들로 구성하는 단계; 및
 상기 매트릭스를 이용하여 상기 실수체 데이터 세트들의 개수를 감소시키는 단계
 를 포함하는 네트워크 부호화 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 매트릭스는,
 랜덤하게 선택된 계수들을 포함하는 것을 특징으로 하는, 네트워크 부호화 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,
 상기 매트릭스의 차원은,
 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되는 것을 특징으로 하는, 네트워크 부호화 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 갈루아체 데이터를 중간 노드로 전송하는 단계
 를 더 포함하는 네트워크 부호화 방법.

청구항 7

중간 노드가 수행하는 네트워크 부호화 방법에 있어서,
 부호화된 갈루아체 데이터를 수신하는 단계;
 매트릭스를 이용하여 상기 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시키는 단계; 및
 상기 패킷이 확장된 갈루아체 데이터를 다른 중간 노드 또는 네트워크 복호화 장치로 전송하는 단계
 를 포함하고,
 상기 갈루아체 데이터는,
 상기 부호화된 실수체 데이터 및 상기 실수체 데이터의 최소값 간의 차이에 갈루아체 원소로 변환하기 위한 양
 자화 함수에 기초하여 생성되고,
 상기 부호화된 실수체 데이터는,
 랜덤하게 선택된 매트릭스 계수를 고려하여 실수체 데이터 세트들의 개수가 감소됨으로써 실수체 데이터가 부호
 화된 것이고
 상기 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되는 네트워크 부호화 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,
 상기 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시키는 단계는,
 수신한 갈루아체 데이터의 패킷들을 재결합하고, 중복 패킷(redundant packet)을 추가하는 단계
 를 포함하는 네트워크 부호화 방법.

청구항 9

제7항에 있어서,
 상기 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시키는 단계는,
 갈루아체에서 정의된 덧셈 연산 및 갈루아체에서 정의된 곱셈 연산에 기초하여 상기 갈루아체 데이터의 패킷을
 확장시키는 것을 특징으로 하는, 네트워크 부호화 방법.

청구항 10

제7항에 있어서,
 상기 매트릭스는,
 랜덤하게 선택된 계수들을 포함하는 것을 특징으로 하는, 네트워크 부호화 방법.

청구항 11

네트워크 복호화 장치가 수행하는 네트워크 복호화 방법에 있어서,
 부호화된 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환하는 단계; 및
 복호화 정보를 이용하여 상기 변환된 실수체 데이터를 복호화하는 단계
 를 포함하고,
 상기 부호화된 갈루아체 데이터는,
 네트워크 부호화 장치에 의해 부호화된 실수체 데이터 및 상기 실수체 데이터의 최소값 간의 차이에 갈루아체
 원소로 변환하기 위한 양자화 함수에 기초하여 생성되고,
 상기 부호화된 실수체 데이터는,
 랜덤하게 선택된 매트릭스 계수를 고려하여 실수체 데이터 세트들의 개수가 감소됨으로써 실수체 데이터가 부호

화된 것이고

상기 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되는 네트워크 복호화 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 부호화된 갈루아체 데이터는,

실수체 데이터가 부호화된 후 실수체에서 갈루아체로 필드 변환된 데이터인 것을 특징으로 하는, 네트워크 복호화 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 복호화 정보는,

상기 실수체 데이터를 부호화하는데 이용된 매트릭스 정보 및 직교 변환 매트릭스 정보 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는, 네트워크 복호화 방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 실수체 데이터를 복호화하는 단계는,

l_1 -norm 선형 프로그래밍 기법을 이용하여 상기 실수체 데이터에서 원본 데이터를 복원하는 단계를 포함하는 네트워크 복호화 방법.

청구항 15

제1항 내지 제4항 및 제14항 중 어느 한 항의 방법을 실행하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터에서 판독 가능한 기록 매체.

청구항 16

매트릭스를 이용하여 실수체 데이터를 부호화하는 데이터 부호화부; 및

상기 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환하는 필드 변환부를 포함하고,

상기 데이터 부호화부는,

상기 실수체 데이터를 부호화하는 단계는,

랜덤하게 선택된 매트릭스 계수를 고려하여 실수체 데이터 세트들의 개수를 감소시킴으로써 실수체 데이터를 부호화하고,

상기 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되며,

상기 갈루아체 데이터로 변환하는 단계는,

상기 부호화된 실수체 데이터 및 상기 실수체 데이터의 최소값 간의 차이에 갈루아체 원소로 변환하기 위한 양자화 함수를 적용함으로써 갈루아체 데이터로 변환하는 네트워크 부호화 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 데이터 부호화부는,

상기 실수체 데이터를 복수 개의 실수체 데이터 세트들로 구성하고, 상기 매트릭스를 이용하여 상기 실수체 데

이터 세트들의 개수를 감소시키는 것을 특징으로 하는, 네트워크 부호화 장치.

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 매트릭스는, 랜덤하게 선택된 계수들을 포함하고,

상기 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되는 것을 특징으로 하는, 네트워크 부호화 장치.

청구항 19

제16항에 있어서,

상기 갈루아체 데이터를 중간 노드로 전송하는 데이터 전송부

를 더 포함하는 네트워크 부호화 장치.

청구항 20

부호화된 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환하는 필드 변환부; 및

복호화 정보를 이용하여 상기 변환된 실수체 데이터를 복호화하는 데이터 복호화부

를 포함하고,

상기 부호화된 갈루아체 데이터는,

네트워크 부호화 장치에 의해 부호화된 실수체 데이터 및 상기 실수체 데이터의 최소값 간의 차이에 갈루아체 원소로 변환하기 위한 양자화 함수에 기초하여 생성되고,

상기 부호화된 실수체 데이터는,

랜덤하게 선택된 매트릭스 계수를 고려하여 실수체 데이터 세트들의 개수가 감소됨으로써 실수체 데이터가 부호화된 것이고,

상기 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정되는 네트워크 복호화 장치.

청구항 21

제20항에 있어서,

상기 부호화된 갈루아체 데이터는,

실수체 데이터가 부호화된 후 실수체에서 갈루아체로 필드 변환된 데이터인 것을 특징으로 하는, 네트워크 복호화 장치.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 복호화 정보는,

상기 실수체 데이터를 부호화하는데 이용된 매트릭스 정보 및 부호화된 직교 변환 매트릭스 정보 중 적어도 하나를 포함하는 것을 특징으로 하는, 네트워크 복호화 장치.

청구항 23

제20항에 있어서,

중간 노드로부터 부호화된 갈루아체 데이터를 수신하는 데이터 수신부

를 더 포함하는 네트워크 복호화 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 아래의 설명은 압축 센싱 기법을 이용한 네트워크 부호화 방법 및 장치, 네트워크 복호화 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]기존에는 네트워크 상의 노드들 간에 정보를 전송하는 과정에서 단순히 각 노드가 입력된 정보를 그대로 출력으로 전달하는 라우팅 기법이 주로 이용되었다. 그러나, 최근 들어 네트워크 상의 노드에서 새로운 방식으로 동작하는 네트워크 코딩(network coding) 기법이 새롭게 등장하였다. 네트워크 코딩이란 네트워크 상의 중간 노드(intermediate node)가 입력으로 들어온 정보를 결합하여 새로운 정보를 생성하고, 새롭게 생성된 정보를 다음 노드로 전달하는 기법이다.

[0003]네트워크 코딩은 기존의 라우팅만을 사용하는 경우와 비교할 때, 전송 효율 및 무선 자원 사용 측면에서 장점을 가진다. 또한, 네트워크 코딩은 도청과 같은 외부 공격에 대한 보안 측면에서도 장점을 가진다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0004]일실시예에 따른 네트워크 부호화 방법은, 매트릭스를 이용하여 실수체 데이터를 부호화하는 단계; 및 상기 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.

[0005]일실시예에 따른 네트워크 부호화 방법은, 상기 갈루아체 데이터를 중간 노드로 전송하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0006]다른 실시예에 따른 네트워크 부호화 방법은, 부호화된 갈루아체 데이터를 수신하는 단계; 매트릭스를 이용하여 상기 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시키는 단계; 및 상기 패킷이 확장된 갈루아체 데이터를 다른 중간 노드 또는 네트워크 복호화 장치로 전송하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007]일실시예에 따른 네트워크 복호화 방법은, 부호화된 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환하는 단계; 및 복호화 정보를 이용하여 상기 변환된 실수체 데이터를 복호화하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008]일실시예에 따른 네트워크 부호화 장치는, 매트릭스를 이용하여 실수체 데이터를 부호화하는 데이터 부호화부; 및 상기 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환하는 필드 변환부를 포함할 수 있다.

[0009]일실시예에 따른 네트워크 부호화 장치는, 상기 갈루아체 데이터를 중간 노드로 전송하는 데이터 전송부를 더 포함할 수 있다.

[0010]일실시예에 따른 네트워크 복호화 장치는, 부호화된 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환하는 필드 변환부; 및 복호화 정보를 이용하여 상기 변환된 실수체 데이터를 복호화하는 데이터 복호화부를 포함할 수 있다.

[0011]일실시예에 따른 네트워크 복호화 장치는, 중간 노드로부터 부호화된 갈루아체 데이터를 수신하는 데이터 수신부를 더 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012]도 1은 일실시예에 따른 네트워크 부호화 장치의 세부 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 일실시예에 따른 네트워크 복호화 장치의 세부 구성을 도시한 도면이다.

도 3은 일실시예에 따른 네트워크 부호화/복호화 시스템의 동작을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4는 일실시예에 따른 네트워크 부호화 장치가 수행하는 압축 믹싱 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 일실시예에 따른 패킷 구조와 패킷 전송 방법을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013]이하, 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 아래의 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 발명의 실시예들을 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 발명의 범위가 본문에 설명된 실시예들에 한정되

는 것으로 해석되어서는 안된다. 각 도면에 제시된 동일한 참조부호는 동일한 부재를 나타낸다.

- [0014] 도 1은 일실시예에 따른 네트워크 부호화 장치(100)의 세부 구성을 도시한 도면이다.
- [0015] 네트워크 부호화 장치(100)는 네트워크 코딩(network coding)을 이용한 데이터 전송 환경에 압축 센싱(compressed sensing) 기법을 적용함으로써 네트워크 코딩에서 발생할 수 있는 All-or-Nothing 문제를 해결할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(100)는 네트워크 코딩을 이용함으로써 자원(예를 들어, 대역폭, 소비 전력) 효율성의 개선, 계산 복잡성(complexity)의 감소, 네트워크 환경 변환에 대한 강인함 등의 이점을 가진다. 압축 센싱 기법은 성긴 신호(sparse signal)를 under-determined의 선형 관찰 신호로부터 복원하는 방법에 관한 것으로서, 결정되지 않은 선형 시스템에 대한 솔루션을 탐색함으로써 신호를 효과적으로 획득하고 재구성하는 신호 처리 기법을 나타낸다. 성긴 신호는 대부분의 값이 0인 신호로서, 적은 영역에서 0이 아닌(non zero)의 값을 갖는 신호를 나타낸다.
- [0016] 네트워크 코딩은 전송할 데이터 간의 결합(combining)을 발생시킬 수 있다. 네트워크 코딩을 통해 경로 다양성(path diversity)이 극대화하고, 시스템 처리량(throughput)이 개선될 수 있다. 다만, 네트워크 코딩에서는 결합한 데이터 수와 동일한 양의 패킷이 디코더 측에 전달되지 않으면, 디코더 측에서 복호화를 정상적으로 수행할 수 없는 All-or-Nothing 문제를 가지고 있다. All-or-Nothing 문제는 클라이언트 노드가 최소한 초기 innovative 패킷량과 동일한 량의 패킷을 수신하지 못하는 경우, 클라이언트 노드가 수신한 데이터로부터 정보를 복원할 수 없는 문제를 나타낸다. 예를 들어, 멀티미디어 데이터 스트리밍과 같이 지연(delay)에 민감한 데이터 전송에서, 복호화 과정에 네트워크 코딩된 데이터 패킷이 제대로 제공되지 않는다면, 전체 복호화 과정이 제대로 수행되지 않을 수 있다. 실수체 또는 리얼 필드(Real Field)에서 압축 센싱 기술이 이용되는 경우, 네트워크 코딩 과정에서 수행되는 덧셈 연산 및 곱셈 연산으로 인하여 데이터의 크기는 점차 증가하고, 변수 하나를 표현하는데 필요한 비트(bit) 수는 증가하게 된다. 즉, 실수체에서 압축 센싱 기술이 이용되는 경우 페이로드(payload)에 할당되어야 하는 비트의 수가 점차적으로 증가하는 문제가 발생할 수 있다. 실수체에서는 홉(hop)의 개수가 증가함에 따라 덧셈 연산 및 곱셈 연산에 의해 페이로드의 크기가 증가할 수 있다.
- [0017] 네트워크 부호화 장치(100)는 갈루아체(Galois Field)에서의 네트워크 코딩 기법에 기초하여 데이터를 전송할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(100)는 압축 센싱 기술을 갈루아체에서 적용함으로써 데이터 전송 과정에서 데이터 페이로드가 증가하는 것을 방지할 수 있다. 네트워크 코딩이 갈루아체에서 수행되기 때문에 페이로드의 크기는 홉의 개수가 증가하더라도 일정하게 유지될 수 있다. 네트워크 부호화 장치(100)는 유한체(finite field)인 갈루아 필드를 이용하여 하나의 변수에 필요한 비트 수를 일정하게 유지시킬 수 있다.
- [0018] 도 1을 참조하면, 네트워크 부호화 장치(100)는 데이터 부호화부(110) 및 필드 변환부(120)를 포함할 수 있다. 일실시예에 따르면, 네트워크 부호화 장치(100)는 데이터 전송부(130)를 더 포함할 수 있다.
- [0019] 데이터 부호화부(110)는 매트릭스(matrix)를 이용하여 실수체 데이터를 부호화할 수 있다. 데이터가 부호화됨에 따라 네트워크 부호화 장치 측에서 데이터 재구성을 위해 필요로 하는 패킷의 수는 감소될 수 있다. 매트릭스는 랜덤하게 선택된 계수들을 포함할 수 있다. 매트릭스의 차원은 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정될 수 있다.
- [0020] 데이터 부호화부(110)는 실수체 데이터를 복수 개의 실수체 데이터 세트들로 구성할 수 있다. 데이터 부호화부(110)는 매트릭스를 이용하여 실수체 데이터 세트들의 개수를 감소시킬 수 있다. 데이터 부호화부(110)는 실수체 데이터 세트들을 결합시키고, 차원 축소 방법 중 하나인 랜덤 프로젝션(random projection) 기법을 이용하여 실수체 데이터 세트들을 부호화할 수 있다. 랜덤 프로젝션 기법은 무작위로 차원이 선택된 저 차원의 공간에 데이터를 나타내는 점들을 투사하는 기법을 나타낸다. 데이터 부호화부(110)는 랜덤하게 선택된 계수를 실수체 데이터들에 곱하고, 계수가 곱해진 실수체 데이터들을 결합시킬 수 있다. 실수체 데이터 세트가 부호화됨에 따라 전송할 데이터 세트의 개수는 감소될 수 있다.
- [0021] 필드 변환부(120)는 데이터 부호화부(110)에 의해 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환할 수 있다. 필드 변환부(120)는 부호화된 실수체 데이터의 최소값 및 필드 변환을 위한 양자화 함수를 이용하여 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환할 수 있다. 실수체 데이터가 유한체인 갈루아 필드 데이터로 변환됨에 따라 중간 노드의 랜덤 선형 네트워크(Random Linear Network Coding, RLNC) 과정에 의해 페이로드의 크기가 증가하는 것을 방지할 수 있다.
- [0022] 데이터 전송부(130)는 부호화된 갈루아체 데이터를 중간 노드로 전송할 수 있다. 중간 노드는 부호화된 갈루아체 데이터를 수신하고, 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시킬 수 있다. 중간 노드는 갈루아체에서 RLNC 기반의 부

호화를 수행할 수 있다. 중간 노드는 패킷이 확장된 갈루아체 데이터를 다른 중간 노드 또는 네트워크 복호화 장치로 전송할 수 있다. 중간 노드는 수신한 갈루아체 데이터의 패킷들을 재결합하고, 중복 패킷(redundant packet)을 부가할 수 있다. 중간 노드는 갈루아체에서 정의된 덧셈 연산 및 갈루아체에서 정의된 곱셈 연산에 기초하여 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시킬 수 있다.

- [0023] 네트워크 부호화 장치(100)가 실수체 데이터를 부호화하는 동작 및 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환하는 동작에 대해서는 도 3에서 보다 자세히 설명하도록 한다.
- [0024] 도 2는 일실시예에 따른 네트워크 복호화 장치(200)의 세부 구성을 도시한 도면이다.
- [0025] 도 2를 참조하면, 네트워크 복호화 장치(200)는 필드 변환부(220) 및 데이터 복호화부(230)를 포함할 수 있다. 일실시예에 따르면, 네트워크 복호화 장치(200)는 데이터 수신부(210)를 더 포함할 수 있다.
- [0026] 데이터 수신부(210)는 중간 노드로부터 부호화된 갈루아체 데이터를 수신할 수 있다.
- [0027] 필드 변환부(220)는 수신한 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환할 수 있다. 필드 변환부(220)가 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환함으로써, l_1 -norm 기반의 복호화가 수행될 수 있다. 필드 변환부(220)는 부호화된 실수체 데이터의 최소값 정보에 기초하여 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환할 수 있다.
- [0028] 데이터 복호화부(230)는 복호화 정보를 이용하여 필드 변환부(220)로부터 출력된 실수체 데이터를 복호화할 수 있다. 예를 들어, 복호화 정보는 실수체 데이터를 부호화하는데 이용된 매트릭스 정보, 직교 변환 매트릭스 정보 등을 포함할 수 있다. 데이터 복호화부(230)는 l_1 -norm 선형 프로그래밍(linear programming) 기법을 이용하여 실수체 데이터에서 원본 데이터를 복원할 수 있다.
- [0029] 네트워크 복호화 장치(200)가 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환하는 동작 및 실수체 데이터를 복호화하는 동작에 대해서는 도 3에서 보다 자세히 설명하도록 한다.
- [0030] 도 3은 일실시예에 따른 네트워크 부호화/복호화 시스템의 동작을 설명하기 위한 흐름도이다.
- [0031] 네트워크 부호화/복호화 시스템은 네트워크 부호화 장치(310), 중간 노드(320), 및 네트워크 복호화 장치(330)를 포함하는 오버레이 애드 혹 네트워크(overlay ad hoc network)일 수 있다. 일례에 따르면, 네트워크 부호화 장치(310)는 소스 노드(source node)에 대응할 수 있고, 네트워크 복호화 장치(330)는 클라이언트 노드(client node)에 대응할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(310)에 의해 부호화된 데이터는 중간 노드(320)를 거쳐 네트워크 복호화 장치(330)로 전송될 수 있다.
- [0032] 네트워크 부호화 장치(310)는 압축 믹싱(compressed mixing) 및 필드 변환을 수행할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(310)는 전송할 데이터 세트를 결합시키고, 데이터 세트들을 부호화할 수 있다. 데이터 세트가 부호화됨에 따라 전송할 데이터 세트의 개수가 감소될 수 있다.
- [0033] 중간 노드(320)는 갈루아체에서 랜덤 선형 네트워크(Random Linear Network Coding, RLNC) 기반의 부호화를 수행할 수 있다. 중간 노드(320)는 복수 개의 중간 노드(320)들로 구성될 수 있고, 중간 노드(320)들 사이의 패킷(packet) 기반의 데이터 전송은 RLNC를 이용하여 수행될 수 있다. 채널 환경으로 인해 일부 패킷이 손실되는 경우, 중간 노드(320)는 중복되는 패킷들을 부가함으로써 패킷의 개수를 확장시킬 수 있다. 중간 노드(320)는 간단한 처리 동작을 이용하여 수신한 패킷들을 결합시키고, 결합된 패킷을 다른 중간 노드(320) 또는 네트워크 복호화 장치(330)에 전송할 수 있다.
- [0034] 네트워크 복호화 장치(330)는 l_1 -norm 선형 프로그래밍 기법에 기초하여 수신한 데이터로부터 원래 데이터(original data)를 복원할 수 있다.
- [0035] 이하에서는, 네트워크 부호화 장치(310)에서 부호화된 데이터가 중간 노드(320)를 거쳐 네트워크 복호화 장치(330)에 전송되고, 전송된 데이터가 네트워크 복호화 장치(330)에 의해 복호화되는 동작은 수학적식을 통해 설명하도록 한다. 아래의 수학적식들에 사용된 기호에 대해서는 다음의 표 1을 참고할 수 있다.

표 1

Notation	Description	Field
$\mathbf{x}$	source data set	$\mathbb{R}^{n \times L}$
$\mathbf{x}_N$	N th set of source data vector	$\mathbb{R}^L$
$x_N(i)$	i th element of set $\mathbf{x}_N$	$\mathbb{R}$
Φ	Compression coefficient matrix	$\mathbb{R}^{m \times n}$
$\mathbf{p}$	Compressed data at source node	$\mathbb{R}^{m \times L}$
$\mathbf{p}_{min}$	Minimum value in $\mathbf{p}$	$\mathbb{R}$
$\mathbf{s}$	transform coefficient	$\mathbb{R}^L$
$\mathbf{y}(t)$	t -hop RLNC Encoded data set	$\mathbb{GF}^{n \times L}$
$\tilde{\mathbf{y}}(t)$	First m received packets at $t + 1$ hop	$\mathbb{GF}^{m \times L}$
$y_N(t)$	N th vector of $\mathbf{y}(t)$	$\mathbb{GF}^{1 \times L}$
$\mathbf{C}(t)$	t -hop network coding coefficient matrix	$\mathbb{GF}^{n \times m}$
$\mathbf{c}_N(t)$	N th vector of $\mathbf{C}(t)$	$\mathbb{GF}^n$
$c_N^{(i)}$	i th element of $\mathbf{c}_N(t)$	$\mathbb{GF}$
Ψ	orthonormal transform matrix	$\mathbb{C}^{L \times L}$

$\mathbf{x}_N (\in \mathbb{R}^L)$ 은 $\mathbf{x}_N = [x_N^{(1)}, x_N^{(2)}, \dots, x_N^{(L)}]$ 의 원소를 가지는 소스 심볼 세트(source symbol set)를 나타낸다고 가정한다. 여기서, $x_N^{(i)}$ 는 $\mathbf{x}_N$ 의 i 번째 원소를 나타내고, i 는 $1 \leq i \leq L$ 의 범위를 가진다.

이하에서, $\mathbf{x}_N$ 은 다음의 수학적 식 1과 같이 직교 변환 매트릭스 Ψ 에서의 k-sparse 라고 가정한다.

수학적 식 1

$$\mathbf{x}_N = \Psi \mathbf{s}_N, \text{ and } x_N^{(a)} = \sum_{i=1}^L \psi_i^{(a)} s_N^{(i)}$$

여기서, $\mathbf{s}_N = \Psi^T \mathbf{x}_N$ 이고, $s_N^{(i)} = \langle \mathbf{x}_N, \boldsymbol{\psi}_i \rangle$ 이다. $\Psi (\in \mathbb{C}^{L \times L}) = [\boldsymbol{\psi}_1, \boldsymbol{\psi}_2, \dots, \boldsymbol{\psi}_L]$ 는 $\boldsymbol{\psi}_i^T = [\psi_i^{(1)}, \dots, \psi_i^{(L)}]$ 와 같은 L 개의 벡터들을 가진 직교 변환 단위 행렬(orthogonal transform unitary matrix)(즉, $\Psi \Psi^T = I$)을 나타낸다. $\mathbb{C}$ 는 복소수체(complex number field)를 나타낸다.

$\mathbf{s}_N (\in \mathbb{R}^L) = [s_N^{(1)}, s_N^{(2)}, \dots, s_N^{(L)}]$ 는 k 개의 영이 아닌 원소들을 가진 변환 계수를 나타낸다. 여기서, k 는 $k \ll L$ 의 범위를 가진다. 네트워크 복호화 장치(330)는 네트워크 부호화 장치(310)로부터 직교 변환 매트릭스 Ψ 에 관한 정보를 미리 획득할 수 있다..

단계(340)에서, 네트워크 부호화 장치(310)는 실수체 데이터를 부호화할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(310)

는 랜덤 프로젝션 기법을 통해 실수체 데이터의 압축 믹싱을 수행할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(310)는 랜덤한 계수를 포함하는 압축 계수 매트릭스 $\Phi(\in \mathbb{R}^{m \times n})$ 를 이용하여 압축 믹싱을 수행할 수 있다. 네트워크 부호화 장치(310)는 압축 계수 매트릭스 $\Phi(\in \mathbb{R}^{m \times n})$ 를 이용하여 실수체 데이터 세트의 개수를 n 개에서 m 개로 압축할 수 있다. 여기서, m 은 기존의 실수체 데이터 세트의 개수 n 보다 작은 숫자로서, 채널 환경의 패킷 손실율에 기초하여 결정될 수 있다.

[0043] 네트워크 부호화 장치(310)는 다음의 수학적 식 2에 기초하여 압축 믹싱을 수행할 수 있다.

수학적 식 2

$$\mathbf{p} = \Phi \mathbf{x}$$

[0044]

[0045]

여기서, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^{n \times L}$ 는 $\mathbf{x} = [\mathbf{x}_1^T, \dots, \mathbf{x}_n^T]$ 와 같이 n 개의 실수체 데이터 세트를 구성한다. $\mathbf{p}$ 는 부호화된 실수체 데이터를 나타낸다. $\mathbf{x}$ 의 부호화된 실수체 데이터 $\mathbf{p} \in \mathbb{R}^{m \times L}$ 는 $\mathbf{x}$ 에 대해 데이터 세트가 m 개로 압축된 형태 및 데이터들이 서로 결합된 형태를 가진다. $\mathbf{A}^T$ 는 매트릭스 $\mathbf{A}$ 의 전치(transpose)를 나타낸다. 수학적 식 2에 기초한 압축 믹싱 과정은 도 4에 도시되어 있다. 도 4는 압축 믹싱 기법 및 Ψ 영역에서의 데이터 sparsity 특성을 나타내는 도면이다.

[0046]

다시 도 3으로 돌아오면, RIP(restricted isometry property) 조건을 만족하는 압축 계수 매트릭스 Φ 는 RLNC에서 계수 매트릭스로 이용될 수 있다. RIP 조건은 매트릭스 Φ 가 모든 $\mathbf{x}$ 를 균일한 에너지로 투사해야 하는 조건을 나타낸다. 압축 계수 매트릭스 Φ 는 일종의 센싱 매트릭스(sensing matrix)로 이용될 수 있다.

[0047]

변수 δ_k 이 충분히 작은 값이라고 가정할 때, 모든 $\mathbf{x}$ 의 k -sparse 열벡터(row vector)들이 아래 수학적 식 3의 조건을 동시에 만족시키는 경우, 정규화된 열(즉, $\sum_{j=1}^n \Phi_{i,j}^2 = 1$ for $i = 1, 2, \dots, m$)을 가진 $m \times n$ 압축 계수 매트릭스 Φ 는 k 차수의 RIP 조건을 만족한다.

수학적 식 3

$$(1 - \delta_k) \|\mathbf{x}\|_{l_2}^2 \leq \|\Phi \mathbf{x}\|_{l_2}^2 \leq (1 + \delta_k) \|\mathbf{x}\|_{l_2}^2$$

[0048]

[0049]

위와 같은 특성이 유지되는 경우, 압축 계수 매트릭스 Φ 로부터 선택된 k 개 행(column)들의 모든 부분 집합들은 사실상 거의 직교가 될 수 있다.

[0050]

매트릭스의 성분(entry)들이 $1/m$ 의 분산(variance)을 가진 영평균(zero-mean) 랜덤 변수들의 독립 동일 분포(independent and identically distributed, i.i.d)를 따르는 $m \times n$ 매트릭스들은 매우 높은 확률로 RIP 조건을 만족시킬 수 있다.

[0051]

기존의 압축 센싱 기법과는 다르게, 네트워크 부호화 장치(310)에서 All-or-Nothing 문제를 해결하기 위해 데이터 세트의 개수를 줄인다..

[0052]

단계(345)에서, 네트워크 부호화 장치(310)는 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환할 수 있다. 중간 노드(320)가 수행하는 RLNC에서는 덧셈 연산 및 곱셈 연산이 수행되고, 그 결과 페이로드의 크기가 증가할 수 있다. 이를 방지하기 위해 네트워크 부호화 장치(310)는 중간 노드(320)에 부호화된 데이터를 전송하기 전에 다음의 수학적 식 4와 같이 부호화된 실수체 데이터를 갈루아체 데이터로 변환할 수 있다.

수학식 4

$$\mathbf{y}(1) = 1_{\mathbb{R}G}(\mathbf{Q}[\mathbf{p} - \mathbf{p}_{min}])$$

여기서, $\mathbf{y}(t)$ 는 t 번째 중간 노드(320)에서 처리된 데이터 세트를 나타낸다. 수학식 4에서는 네트워크 부호화 장치(310)가 첫 번째 홉이라고 가정하였고, 네트워크 부호화 장치(310)에서 처리된 데이터 세트를 $\mathbf{y}(1)$ 로 나타내었다. $\mathbf{y}(1) (\in GF^{m \times L})$ 은 갈루아체로 변환된 $\mathbf{P}$ 를 나타내고, $\mathbf{p}_{min}$ 는 $\mathbf{P}$ 의 최소값을 나타낸다. $\mathbf{P}$ 는 부호화된 실수체 데이터를 나타내고, $\mathbf{Q}[\cdot]$ 는 입력값을 가장 근접한 갈루아체 원소로 변환하는 양자화 함수를 나타낸다.

네트워크 부호화 장치(310)는 데이터가 실수체 데이터인지 또는 갈루아체 데이터 인지 여부를 판단하기 위해 다음의 수학식 5에 정의된 항등 함수(identity function)를 이용할 수 있다.

수학식 5

$$\begin{cases} 1_{\mathbb{R}G} : \mathbb{R} \rightarrow GF, & 1_{\mathbb{R}G}(\mathbf{p}) = \mathbf{y}(1) \\ 1_{GR} : GF \rightarrow \mathbb{R}, & 1_{GR}(\mathbf{y}(1)) = \mathbf{p} \end{cases}$$

여기서, $\mathbf{y}(1)$ 는 $\mathbf{P}$ 에 대응되는 갈루아체에서의 원소를 나타낸다.

네트워크 부호화 장치(310)는 네트워크 코딩의 All-or-Nothing 문제를 해결하기 위해 압축 믹싱 기법을 이용하고, 페로드의 사이즈를 고정시키기 위해 필드 변환을 수행할 수 있다.

단계(350)에서, 네트워크 부호화 장치(310)는 갈루아체 데이터를 중간 노드(320)에 전송할 수 있다. 갈루아체로 변환된 $\mathbf{y}(1)$ 는 중간 노드(320)에 전송될 수 있다.

갈루아체 데이터를 수신한 중간 노드(320)는 RLNC 기반의 부호화를 수행하고, 패킷을 형성할 수 있다. 단계(355)에서, 중간 노드(320)는 RLNC 기법을 이용하여 수신한 갈루아체 데이터의 패킷을 확장시킬 수 있다.

$\mathbf{y}(t) (\in GF^{n \times L}, t \geq 2)$ 는 t 번째 중간 노드(320)에서의 부호화된 데이터를 나타낸다. 네트워크 부호화 장치(310)가 첫 번째 홉으로 고려되기 때문에, 중간 노드(320)들은 $t = 2$ 부터 카운트된다. $\mathbf{y}(t)$ 는 n 개의 데이터 세트를 포함할 수 있고, 각각의 데이터 세트들은 패킷으로 표현될 수 있다. 각각의 패킷들은 L 개의 원소들을 가지고 있다고 가정한다. 다시 말해, $\mathbf{y}(t)^T = [\mathbf{y}_1(t), \dots, \mathbf{y}_n(t)]$, $\mathbf{y}_i(t) = [y_i^{(1)}(t), \dots, y_i^{(L)}(t)]$ 로 나타낼 수 있다.

t 번째 중간 노드(320)는 처음으로 수신한 m 개의 패킷들을 재결합하고, 중복의 패킷들을 추가하는 것에 의해 n 개의 패킷들(여기서, $m < n$)을 재생성할 수 있다. 중간 노드(320)는 $n \times m$ 사이즈의 랜덤 계수 매트릭스 $\mathbf{C}(t)$ 를 기초로 한 RLNC에 의해 패킷 확장을 수행할 수 있다. n 개의 패킷들은 다른 중간 노드(320)로 전송될 수 있고, $t+1$ 번째 홉(또는, 중간 노드(320))에서 패킷이 확장되는 과정이 반복될 수 있다. 필요한 패킷 이상의 패킷이 전송되기 때문에, 패킷의 전송 과정에서 $n-m$ 개의 패킷이 손실되지 않는 한, All-or-Nothing 문제는 발생하지 않는다.

RLNC는 갈루아체 연산을 이용한 m 개의 수신된 패킷들 $\tilde{\mathbf{y}}(t-1)$ 에 포함된 데이터와 랜덤 계수 매트릭스 $\mathbf{C}(t)$ 의 선형 결합을 나타낸다.

$\mathbf{C}(t) (\in GF^{n \times m}) = [\mathbf{c}_1(t), \dots, \mathbf{c}_m(t)]$ 는 $\mathbf{c}_i(t)^T = [c_i^{(1)}(t), \dots, c_i^{(n)}(t)]$ ($1 \leq i \leq m$)와 같은 m 개의 벡터들을 가진 랜덤

계수 매트릭스를 나타낸다. 랜덤 계수 매트릭스 $\mathbf{C}(t)$ 에 포함된 계수들은 랜덤하게 결정될 수 있다.

[0065] t 번째 중간 노드(320)에서의 부호화 과정은 다음의 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

[0066]

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}(t) \odot \tilde{\mathbf{y}}(t-1)$$

[0067]

여기서, $\odot$ 는 갈루아체에서의 매트릭스들 간의 곱셈을 나타낸다. 보다 구체적으로, $\mathbf{y}(t)$ 에서 임의의 숫자 a, b에 대한 원소 $y_a^{(b)}(t)$ 는 다음의 수학식 7에 기초하여 결정될 수 있다.

수학식 7

[0068]

$$\begin{aligned} y_a^{(b)}(t) &= \sum_{i=1}^m \bigoplus \{c_i^{(a)}(t) \otimes \tilde{y}_i^{(b)}(t-1)\} \\ &\triangleq \{c_1^{(a)}(t) \otimes \tilde{y}_1^{(b)}(t-1)\} \\ &\quad \oplus \cdots \oplus \{c_m^{(a)}(t) \otimes \tilde{y}_m^{(b)}(t-1)\} \end{aligned}$$

[0069]

여기서, $\oplus$ 는 갈루아체에서 정의된 덧셈 연산을 나타내고, $\otimes$ 는 갈루아체에서 정의된 곱셈 연산을 나타낸다. 예를 들어, 갈루아체에서 $\oplus$ 는 이진 숫자들에 대한 논리적 비트 단위의 exclusive-OR(XOR) 연산자에 의해 수행될 수 있다. $\mathbf{y}(t)$ 및 $\mathbf{C}(t)$ 는 항상 갈루아체의 원소로 간주된다. 부호화 계수들은 2^M 크기의 갈루아체 ($GF(2^M)$)로 나타냄)로부터 균등하고, 랜덤하게 선택될 수 있다. 여기서, $\mathbf{C}(t)$ 는 단수가 아니라고 가정한다.

[0070]

단계(360)에서, 중간 노드(320)는 패킷이 확장된 갈루아체 데이터의 패킷을 재구성할 수 있다. 중간 노드(320)에서 부호화된 데이터는 헤더(header)처럼 계수들과 함께 압축될 수 있다. 계수의 누적된 형태가 $\mathbf{y}(1)$ 의 복원을 위해 이용되기 때문에, 각각의 중간 노드(320)들에서 계수들은 누적되고, 업데이트된다. 중간 노드(320)는 누적되고 업데이트된 계수 정보에 기초하여 갈루아체 데이터의 패킷을 재구성할 수 있다.

[0071]

t+1 번째 중간 노드(320)에서, 처음으로 전달된 m 개의 패킷들 $\tilde{\mathbf{y}}(t)$ 는 다음의 수학식 8에 기초하여 해석될 수 있다.

수학식 8

[0072]

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{y}}(t) &= \tilde{\mathbf{C}}(t) \odot \tilde{\mathbf{y}}(t-1) \\ &= \tilde{\mathbf{C}}(t) \odot \tilde{\mathbf{C}}(t-1) \odot \mathbf{y}(t-2) \\ &= \cdots \\ &= \left(\prod_{i=2}^t \odot \tilde{\mathbf{C}}(i) \right) \odot \mathbf{y}(1) \\ &= \tilde{\mathbf{C}}_{(2,t)} \odot \mathbf{y}(1) \end{aligned}$$

[0073] 여기서, $\tilde{\mathbf{C}}_{(2,t)}$ 는 $\tilde{\mathbf{C}}_{(2,t)} = \prod_{i=2}^t \odot \tilde{\mathbf{C}}(i) = \tilde{\mathbf{C}}(t) \odot \cdots \odot \tilde{\mathbf{C}}(2)$ 와 같이 t 번째 중간 노드(320)에서 누적된 계수를 나타낸다. 패킷은 $\mathbf{y}_i(t)$ 및 $\prod_{j=2}^m \odot \tilde{\mathbf{C}}_j^{(i)}(t)$ 을 구성하고, 다음 중간 노드(320)(또는, 홉)으로 전송될 수 있다. 도 3에서는 설명의 편의를 위해 중간 노드(320)가 하나라고 가정하나, 중간 노드(320)의 개수에 의해 실시예의 범위가 제한되는 것은 아니다.

[0074] 단계(365)에서, 중간 노드(320)는 패킷을 네트워크 복호화 장치(330)로 전송할 수 있다. 네트워크 복호화 장치(330)는 원본 데이터(original data)를 복원하는 과정에서 네트워크 복호화 장치(330)에 전송되는 m 개의 패킷들, 압축 계수 매트릭스 Φ , $\mathbf{P}$ 의 최소값 $\mathbf{P}^{min}$ 을 이용할 수 있다. 위에서 이미 언급하였듯이, 네트워크 복호화 장치(330)는 네트워크 부호화 장치(310)로부터 직교 변환 매트릭스 Ψ 에 관한 정보를 미리 획득할 수 있다.

[0075] 단계(370)에서, 네트워크 복호화 장치(330)는 RLNC 복호화를 수행할 수 있다. 네트워크 복호화 장치(330)는 중간 노드(320)에 의해 수행된 RLNC에서 이용된 매트릭스 정보를 이용하여 RLNC 복호화를 수행할 수 있다.

[0076] 네트워크 복호화 장치(330)가 m 개의 패킷을 수신하고, 부호화 계수 매트릭스 $\tilde{\mathbf{C}}_{(2,t)}$ 가 full-rank 매트릭스인 경우, $\mathbf{y}^{(1)}$ 는 다음의 수학적 식 9에 기초하여 유일하게 결정될 수 있다. 이는, 부호화 계수 매트릭스 $\tilde{\mathbf{C}}_{(2,t)}^{-1}$ 의 역(inverse)도 유일하게 결정되기 때문이다.

수학적 식 9

[0077]
$$\hat{\mathbf{y}}^{(1)} = \tilde{\mathbf{C}}_{(2,t)}^{-1} \odot \tilde{\mathbf{y}}(t)$$

[0078] 여기서, 헷(hat, ^) 기호는 복호화된 데이터를 나타낸다. 부호화 계수 매트릭스의 역에 대한 계산은 가우시안 소거법(Gaussian elimination)과 같이 잘 알려진 방법에 의해 효과적으로 수행될 수 있다.

[0079] 단계(375)에서, 네트워크 복호화 장치(330)는 갈루아체 데이터를 실수체 데이터로 변환할 수 있다. l_1 -norm 기반의 복호화를 수행하기 위해서는, $\hat{\mathbf{y}}^{(1)}$ 가 실수체 데이터로 변환될 필요가 있다. 네트워크 복호화 장치(330)는 수학적 식 4과 역의 관계에 있는 다음의 수학적 식 10에 기초하여 갈루아체 데이터인 $\hat{\mathbf{y}}^{(1)}$ 을 실수체 데이터로 변환할 수 있다.

수학적 식 10

[0080]
$$\hat{\mathbf{p}} = \mathbf{1}_{GR}(\hat{\mathbf{y}}^{(1)}) + \mathbf{P}^{min}$$

[0081] $\hat{\mathbf{p}}$ 는 변환된 실수체 데이터를 나타낸다. $\hat{\mathbf{p}}$ 는 $\hat{\mathbf{x}}$ 가 압축되고, 결합된 형태이기 때문에, 특별한 재구성 단계가 필요하다.

[0082] 단계(380)에서, 네트워크 복호화 장치(330)는 l_1 -norm 선형 프로그래밍 기법을 이용하여 단계(375)에서 변환된 실수체 데이터를 복호화할 수 있다.

[0083] 압축 센싱 이론에서, 직교 변환 매트릭스 Ψ 이 RIP 조건을 만족할 때, l_1 -norm ($\|\cdot\|_{l_1}$)은 희소해(sparse solution)를 결정한다는 것은 잘 알려진 사실이다. 이는 압축된 데이터 $\hat{\mathbf{p}}$ 가 많은 n 차원 벡터 $\hat{\mathbf{x}}$ 에 의해 생성될 수 있으나, 압축 계수 매트릭스 Φ 의 RIP 조건은 단지 n 차원 벡터 $\hat{\mathbf{x}}$ 들 중 어느 하나가 희소하다(sparse)는

것을 나타내기 때문이다.

[0084] 따라서, 관측들(observations) $\mathbf{p} = \Phi \mathbf{s} \Psi^T$ 의 주어진 벡터, k-sparse 벡터들의 알려지지 않은 세트들(즉, k 개의 영이 아닌 원소들을 가진 $\mathbf{s}(\in \mathbb{R}^{n \times L}) = [\mathbf{s}_1^T, \dots, \mathbf{s}_n^T]$)은 다음의 수학적 11에 기초하여 유일해 $\hat{\mathbf{s}}$ 로 재구성될 수 있다.

수학적 11

$$\underset{\hat{\mathbf{s}}}{\text{minimize}} \quad \|\hat{\mathbf{s}}\|_{l_1}$$

$$\text{subject to} \quad \mathbf{p} = \Phi \hat{\mathbf{s}} \Psi^T$$

[0085]

[0086] 수학적 2로부터, 실수체 데이터 x는 $\hat{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{s}} \Psi^T$ 와 같이 유일하게 결정될 수 있다.

[0087] 도 5는 실시예에 따른 패킷 구조와 패킷 전송 방법을 설명하기 위한 도면이다. t 번째 중간 노드에서 n 개의 패킷들을 t+1 번째 중간 노드로 전송하면, t+1 번째 중간 노드에서는 일부 패킷들이 손실되어 m 개의 패킷들을 수신할 수 있다. 중간 노드에 의해 전송되는 패킷에는 부호화 과정에서 이용된 계수 정보 및 부호화된 데이터 세트들이 포함될 수 있다.

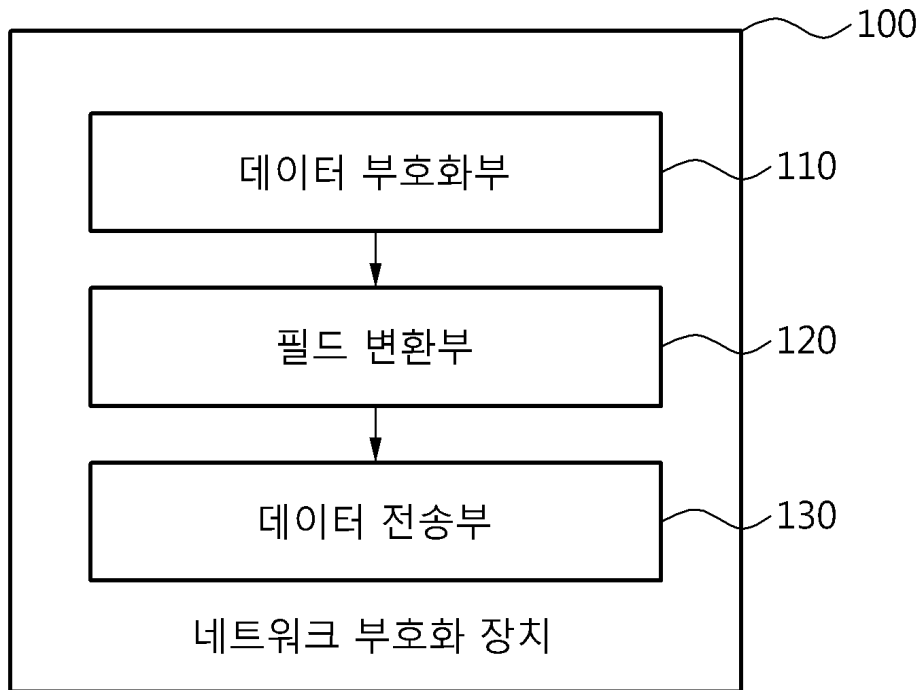
[0088] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0089] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

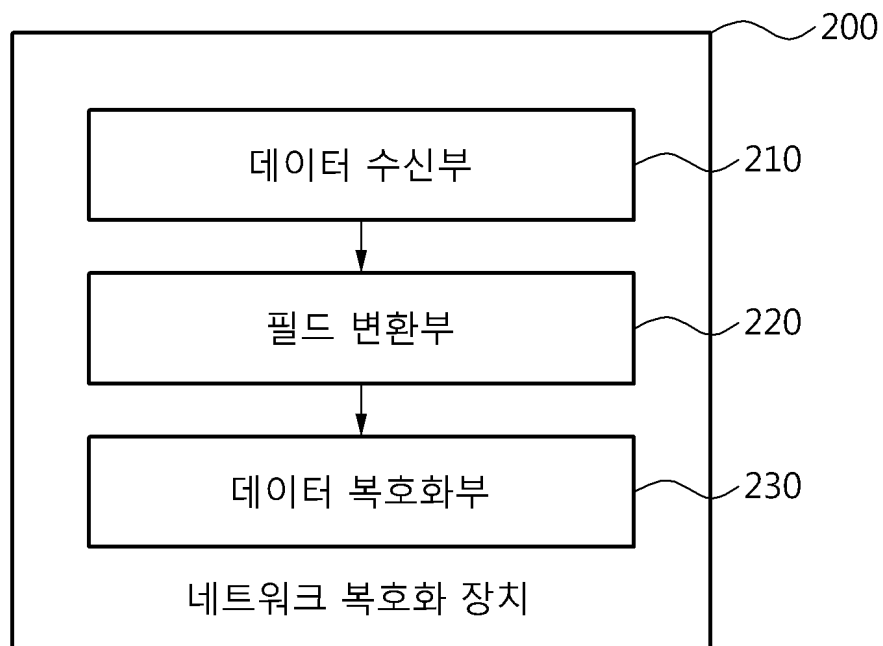
[0090] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

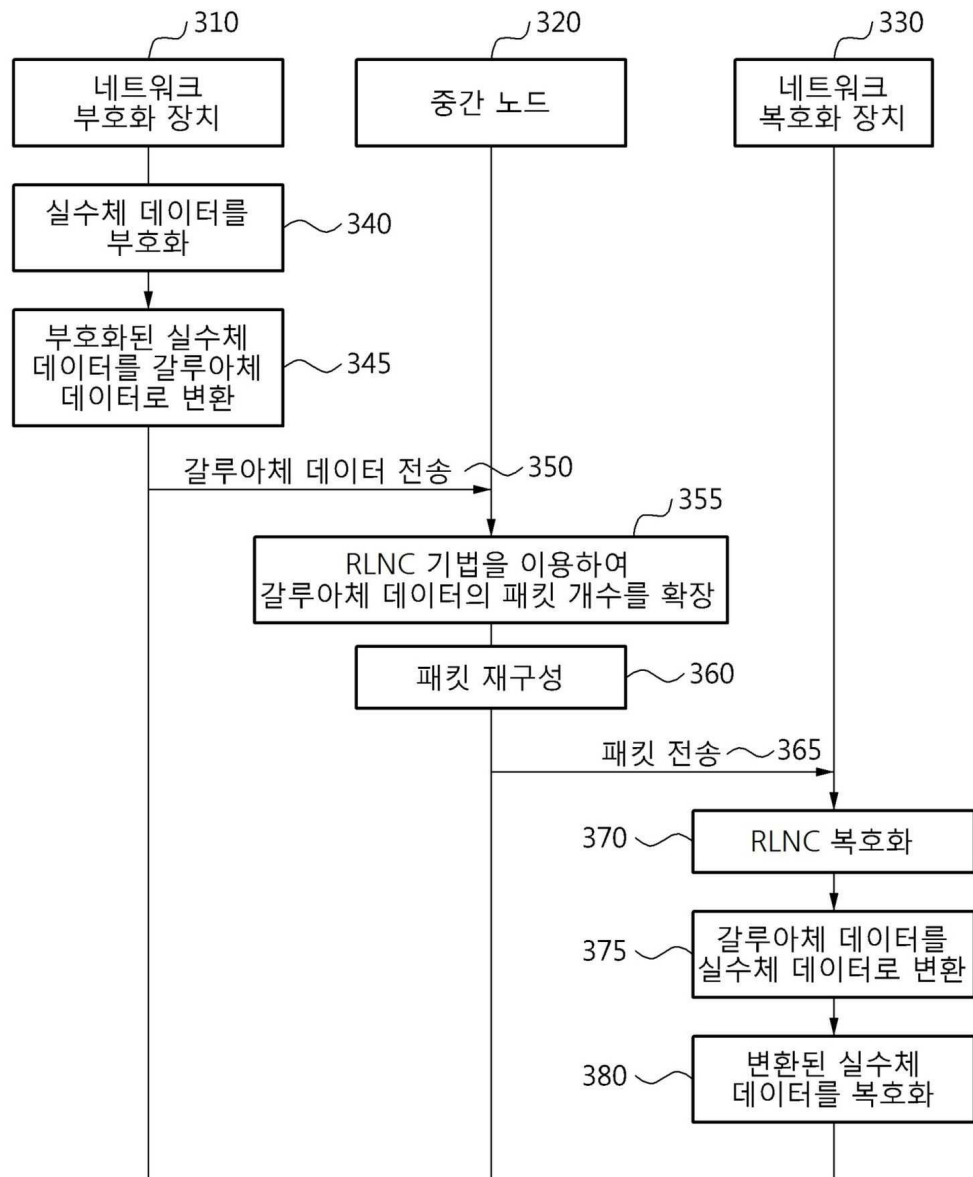
도면1



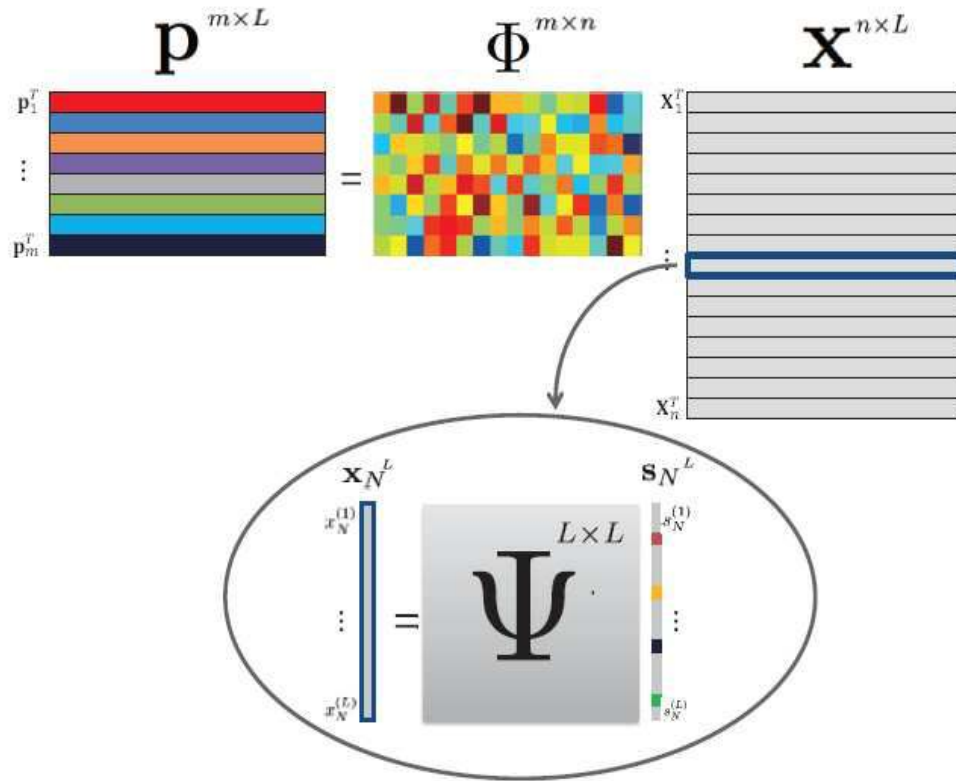
도면2



도면3



도면4



도면5

