



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년11월27일
(11) 등록번호 10-1333949
(24) 등록일자 2013년11월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H03M 7/30 (2006.01) H04L 1/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0071282
(22) 출원일자 2012년06월29일
심사청구일자 2012년07월02일
(56) 선행기술조사문헌
DRAFT(2012.02.29)
W002041651 A2

(73) 특허권자
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
박형곤
경기도 고양시 덕양구 행신3동 햇빛마을 24단지아파트 2416-204
권민혜
서울특별시 은평구 대조동 46-10번지 2층
(74) 대리인
김인철

전체 청구항 수 : 총 7 항

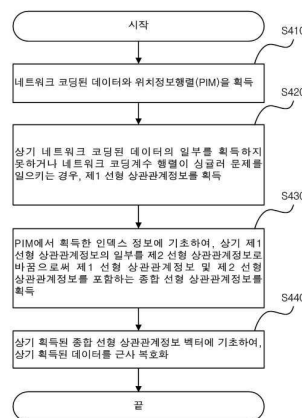
심사관 : 성경아

(54) 발명의 명칭 위치정보행렬을 활용한 네트워크 코딩된 데이터의 근사 복호화 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법은 네트워크 코딩된 데이터와 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계; 상기 네트워크 코딩된 데이터의 일부를 획득하지 못하거나 네트워크 코딩계수 행렬이 singlar 문제를 일으키는 경우, 제1 선형 상관관계정보를 획득하는 단계; PIM에서 획득한 인덱스 정보에 기초하여, 상기 제1 선형 상관관계정보의 일부를 제2 선형 상관관계정보로 바꿈으로써 제1 선형 상관관계정보 및 제2 선형 상관관계정보를 포함하는 종합 선형 상관관계정보를 획득하는 단계; 및 상기 획득된 종합 선형 상관관계정보에 기초하여, 상기 획득된 데이터를 근사 복호화하는 단계를 포함하되, 상기 네트워크 코딩된 데이터는 선형 상관관계를 갖는 소스 데이터에 네트워크 코딩기법을 적용하여 획득되는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도4a



이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	20110005184
부처명	교육과학기술부
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	다양한 네트워크 환경에서 강인한 실시간 멀티미디어 전송 전략
기 여 율	34/100
주관기관	이화여자대학교
연구기간	2011.05.01 ~ 2012.04.30
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	NIPA-2012-H0301-12-1008
부처명	지식경제부
연구사업명	대학 IT연구센터 육성지원사업
연구과제명	차세대 디지털 TV 방송 시스템(실감형/모바일/양방향) 핵심 기술 개발
기 여 율	33/100
주관기관	연세대학교
연구기간	2012.01.01 ~ 2012.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업	
과제고유번호	NIPA-2012-H0301-12-4004
부처명	지식경제부
연구사업명	대학 IT 연구센터 육성지원사업
연구과제명	초고속 무선 네트워크 기반 u-office 서비스 연구개발
기 여 율	33/100
주관기관	중앙대학교
연구기간	2012.06.01 ~ 2012.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법에 있어서,

네트워크 코딩된 데이터와 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계;

상기 네트워크 코딩된 데이터의 일부를 획득하지 못하거나 네트워크 코딩계수 행렬이 싱귤러 문제를 일으키는 경우, 제1 선형 상관관계정보를 획득하는 단계;

PIM에서 획득한 인덱스 정보에 기초하여, 상기 제1 선형 상관관계정보의 일부를 제2 선형 상관관계정보로 바꿈으로써 제1 선형 상관관계정보 및 제2 선형 상관관계정보를 포함하는 종합 선형 상관관계정보를 획득하는 단계; 및

상기 획득된 종합 선형 상관관계정보에 기초하여, 상기 획득된 네트워크 코딩된 데이터를 근사 복호화하는 단계를 포함하되,

상기 네트워크 코딩된 데이터는 선형 상관관계를 갖는 소스 데이터에 네트워크 코딩기법을 적용하여 획득되는 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제2 선형 상관관계정보는 적어도 한 가지 타입 이상의 상관관계정보를 포함하는 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 소스 데이터는 아래의 식과 같은 선형 상관관계를 갖는 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법.

$$\mathbf{x}_{N+1} = \mathbf{x}_N + \Delta \cdot \mathbf{1}$$

(여기서 $\mathbf{x}_N$ 은 n개 요소를 갖는 소스 데이터의 N번째 집합이고, $\mathbf{1}$ 은 1로만 구성된 벡터이고, 유사성 인자(factor)를 갖는 벡터임)

$$\Delta \in \mathbb{N}$$

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 유사성 인자 Δ 는 갈루아 필드(GF) 이내의 값인 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 유사성 인자 Δ 는 2^K 의 형태이고, K는 GF 이내의 값인 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 획득된 데이터를 근사 복호화하는 단계에서 근사 복호화가 수행된 결과는 아래의 식으로 표현되는 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법.

$$\hat{\mathbf{x}} = 1_{GR} \left(\left[\begin{array}{c} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{array} \right]^{-1} \odot \left[\begin{array}{c} \mathbf{y} \\ \Delta_{PIM}^{\mathcal{F}} \end{array} \right] \right)$$

(여기서, C는 코딩 계수 행렬이고, D는 제한 조건 행렬이고, $\odot$ 는 유한 필드 내에서 행렬 간의 곱이며, $\Delta_{PIM}^{\mathcal{F}}$ 는 PIM을 반영한 선형 상관관계정보임)

청구항 8

선형 상관관계를 갖는 소스 데이터의 선형 상관관계정보에 기초하여 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계;

상기 소스 데이터를 네트워크 코딩 노드로 전송하는 단계;

상기 전송된 소스 데이터를 네트워크 코딩 기법을 이용하여 코딩하여 네트워크 코딩된 데이터를 획득하는 단계; 및

상기 네트워크 코딩된 데이터 및 PIM을 디코더로 전송하는 단계를 포함하되, 상기 선형 상관관계정보는 상기 소스 데이터의 데이터 집합의 상관성의 정도를 나타내는 것을 특징으로 하는 네트워크 코딩 기법을 이용하여 소스 데이터를 부호화하는 방법.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 네트워크 코딩 기법, 구체적으로는 네트워크 코딩계수 행렬을 기초로 부호화된 선형 상관관계를 갖는 데이터를 복호화하는 방법에 관한 것이다.

[0002] 특히, 본 발명은 상기 부호화된 데이터의 일부를 획득하지 못하거나 상기 네트워크 코딩계수 행렬이 singlar 문제를 일으키는 경우, 함께 획득된 위치정보행렬에 기초하여 제1 선형 상관관계정보 중 일부를 제2 선형 상관관계정보로 바꿔줌으로써 제1 선형 상관관계정보 및 제2 선형 상관관계정보를 포함하는 종합 선형 상관관계정보를 획득하고, 획득된 종합 선형 상관관계정보를 이용하여 상기 획득된 데이터를 근사 복호화함으로써 근사 복호화의 성능을 높일 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근 센서 네트워크는 온도 같은 지역적 정보, 군사적 정보 용도 등 다양한 분야에서 사용되고 있다(Rout, R. R., Ghosh, S. K., and Chakrabarti, S., "A network coding based probabilistic routing scheme for wireless sensor network," in Wireless Communication and Sensor Networks (WCSN), Dec. 2010. 참조). 센서

네트워크 분야에서 핵심적으로 연구되고 있는 주제 중 하나는 시간에 맞게 정보를 전달하기 위한 효율적인 솔루션이다.

- [0004] 네트워크 코딩(network coding)은 경로와 데이터 소스가 다양한 네트워크에서 효과적인 분산 전달 알고리즘(distributed delivery algorithm)을 제공하는 기법이다(Ahlsweide, R., Cai, N., Li, S.-Y. R., and Yeung, R. W., "Network information flow," 46, 1204-1216, July 2000. 참조). 네트워크 코딩은 정보 스트림(stream)에 대한 기본적인 연산을 수행할 수 있는 네트워크 노드에 기반한다.
- [0005] 네트워크 코딩(network coding) 기법을 사용하는 통신망은 일반적인 통신망과 달리 중간 경유 노드 또는 라우터에서 서로 다른 패킷들을 혼합한다. 일반적인 통신망의 송신단에서 생성된 패킷은 중간 경유 노드 또는 라우터에서 변경되지 않고 수신단까지 전달된다. 그러나 네트워크 코딩 기법을 사용하는 통신망은 중간 경유 노드 또는 라우터에서 서로 다른 패킷들의 혼합을 허용하거나, 패킷의 내용의 변경을 허용한다.
- [0006] 한편, 네트워크 코딩 기법을 사용하는 통신망의 경우에, 원본 데이터는 직접 전송되는 대신에 부호화된 데이터 조각들로 전송된다. 예를 들어, 이러한 부호화된 데이터 조각은 데이터 패킷이라 칭할 수 있다. 네트워크 코딩의 수신단은 데이터 패킷들을 전달받아 원본 데이터를 복원한다.
- [0007] 네트워크 코딩을 이용한 데이터 전송에서는 채널 환경의 동적 성향 등의 외부 요인으로 인해 각 노드가 데이터 복원에 필요한 일정 개수의 유효패킷을 받지 못하는 경우에는 원본 데이터를 복원할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 새로운 유효패킷을 받을 때까지 기다려야 하나 지연민감 데이터의 경우에는 특정한 시간이 지나면 해당 데이터를 사용할 수 없기 때문에 필요한 유효패킷이 도달할 때까지 기다리는 방법은 효율적이지 않다.
- [0008] 이러한 문제를 해결하기 위한 연구로 유효패킷이 완벽한 데이터 복원을 할 수 있을 정도로 충분하게 제공되지 못하는 경우에도 좋은 정확도를 갖고 원본 데이터를 복구하는 근사 복호화 알고리즘이 소개된 바 있다(Park, H., Thomos, N., and Frossard, P., "Transmission of correlated information sources with network coding," in Proc.EUSIPCO-2010, 1389-1393, Aug. 2010. 참조). 그러나 근사 복호화 알고리즘은 단순한 최적의 매칭 방법에 기반한 상관관계를 전제로 한 것으로 실제 데이터 간의 상관관계를 명확하게 고려하지는 못한 연구였다. 따라서 종래의 근사 복호화 기법은 그 성능이 항상 보장되지 못하고 제한적이라는 한계가 있었다.
- [0009] 한편, 원본 데이터의 선형 상관관계를 이용할 경우 근사 복호화 기법의 성능을 높일 수 있으나 데이터 상관성의 해석은 리얼 필드(Real Field)에서 이루어지는 반면 네트워크 코딩 시스템의 프로세스는 갈루아 필드(Galois Field)에서 이루어지기 때문에 필드 차이로 인한 연산의 불일치가 발생하게 되며, 이로 인해 근사 복호화 기법의 성능을 떨어뜨리는 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법은 다음과 같은 해결과제를 목적으로 한다.
- [0011] 첫째, 네트워크 코딩 기법을 이용해 데이터를 복원하는 네트워크 시스템에 사용하고자 한다.
- [0012] 둘째, 네트워크 시스템에서 데이터 복원을 위해 데이터 패킷이 충분하지 않은 경우라도 근사적으로 데이터를 복원하고자 한다.
- [0013] 셋째, 두 개의 데이터 집합이 얼마나 상관성이 있는지를 나타내는 선형 상관관계정보를 이용하여 데이터 복원률을 향상시키고자 한다.
- [0014] 넷째, 제1 선형 상관관계정보가 제2 선형 상관관계정보로 바뀌는 위치를 나타내는 위치정보행렬을 이용하여 데이터 복원률을 향상시키고자 한다.
- [0015] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0016] 본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법은, 네트워크 코딩기법

을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법에 있어서, 네트워크 코딩된 데이터와 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계; 상기 네트워크 코딩된 데이터의 일부를 획득하지 못하거나 네트워크 코딩계수 행렬이 싱글러 문제를 일으키는 경우, 제1 선형 상관관계정보를 획득하는 단계; PIM에서 획득한 인덱스 정보에 기초하여, 상기 제1 선형 상관관계정보의 일부를 제2 선형 상관관계정보로 바꿈으로써 제1 선형 상관관계정보 및 제2 선형 상관관계정보를 포함하는 종합 선형 상관관계정보를 획득하는 단계; 및 상기 획득된 종합 선형 상관관계정보에 기초하여, 상기 획득된 데이터를 근사 복호화하는 단계를 포함하되, 상기 네트워크 코딩된 데이터는 선형 상관관계를 갖는 소스 데이터에 네트워크 코딩기법을 적용하여 획득되는 것을 특징으로 한다.

[0017] 본 발명은, 상기 제2 선형 상관관계정보는 적어도 한 가지 타입 이상의 상관관계정보를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 본 발명은, 상기 소스 데이터는 아래의 식과 같은 선형 상관관계를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0019]
$$\mathbf{x}_{N+1} = \mathbf{x}_N + \Delta \cdot \mathbf{1}$$

[0020] (여기서 $\mathbf{x}_N$ 은 n개 요소를 갖는 소스 데이터의 N번째 집합이고, $\mathbf{1}$ 은 1로만 구성된 벡터이고, $\Delta \in \mathbb{N}$ 은 유사성 인자(factor)를 갖는 벡터임)

[0021] 본 발명은, 상기 유사성 인자 Δ 는 갈루아 필드(GF) 이내의 값인 것을 특징으로 한다.

[0022] 본 발명은, 상기 유사성 인자 Δ 는 2^K 의 형태이고, K는 GF 이내의 값인 것을 특징으로 한다.

[0023] 본 발명은, 상기 유사성 인자 Δ 가 2^K 의 형태가 아닌 경우, 하기 알고리즘 1(Algorithm 1)을 이용하여 종합 선형 상관관계정보를 획득하는 것을 특징으로 한다.

Algorithm 1 Finding candidates of $\Delta^{\mathcal{F}}$

Given: received similarity factor Δ , GF size 2^M .

- 1: **if** $\Delta = 2^k$, **then**
 - 2: use Property 1
 - 3: **else** // $\Delta \neq 2^k$
 - 4: Find $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$
 such that $\Delta = 2^{p_1} + 2^{p_2} + 2^{p_3} + \dots + 2^{p_n}$,
 for $M > p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_n \geq 0$
 - 5: Find all candidates $\Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_n})$ for each 2^{p_n} based on Property 1.
 - 6: Find Cartesian product set S ,
 $S = \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_1}) \times \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_2}) \times \dots \times \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_n}) =$
 $\{(\gamma_1, \dots, \gamma_n), \gamma_i \in \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_i})\}$
 - 7: **if** γ_n exists even times in S , **then**
 - 8: Eliminate γ_n in S
 - 9: **else** // odd times
 - 10: Choose only one γ_n in S
 - 11: $\Delta^{\mathcal{F}} \leftarrow S$
 - 12: **end if**
-

[0024]

[0025] 본 발명은, 상기 획득된 데이터를 근사 복호화하는 단계에서 근사 복호화가 수행된 결과는 아래의 식으로 표현되는 것을 특징으로 한다.

$$\hat{\mathbf{x}} = 1_{GR} \left(\left[\begin{array}{c} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{array} \right]^{-1} \odot \left[\begin{array}{c} \mathbf{y} \\ \Delta_{PIM}^{\mathcal{F}} \end{array} \right] \right)$$

[0026]

[0027]

(여기서, C는 코딩 계수 행렬이고, D는 제한 조건 행렬이고, $\odot$ 는 유한 필드 내에서 행렬 간의 곱이며, $\Delta_{PIM}^{\mathcal{F}}$ 는 PIM을 반영한 선형 상관관계정보임)

[0028]

본 발명에 따른 네트워크 코딩 기법을 이용하여 소스 데이터를 부호화하는 방법은 선형 상관관계를 갖는 소스 데이터의 선형 상관관계정보에 기초하여 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계; 상기 소스 데이터를 네트워크 코딩 노드로 전송하는 단계; 상기 전송된 소스 데이터를 네트워크 코딩 기법을 이용하여 코딩하여 네트워크 코딩된 데이터를 획득하는 단계; 및 상기 네트워크 코딩된 데이터 및 PIM을 디코더로 전송하는 단계를 포함하되, 상기 선형 상관관계정보는 상기 소스 데이터의 데이터 집합의 상관성의 정도를 나타내는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0029]

본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법은 네트워크 시스템의 장애 또는 기타 이유로 데이터 복호화를 위한 소스 데이터가 충분히 전송되지 않는 경우, 불충분한 데이터를 이용하여 근사적으로 데이터를 복호화할 수 있는 효과가 있다. 즉, 본 발명은 어느 정도 이상의 품질만 보장되면 충분한 시스템 환경에서 데이터를 복호화하는데 이용할 수 있는 효과가 있다.

[0030]

본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0031]

도 1은 본 발명이 적용될 수 있는 분산된 데이터 전송 시스템의 일예를 나타낸다.

도 2는 본 발명에 따른 데이터 구조의 일예를 나타낸다.

도 3은 본 발명에 따른 PIM의 구조의 일례를 나타낸다.

도 4는 (a) 본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법의 순서 및 (b) 본 발명에 따른 네트워크 코딩 기법을 이용하여 소스 데이터를 부호화하는 방법을 개략적으로 도시한 순서도이다.

도 5는 PIM을 이용한 근사 복호화 알고리즘의 성능을 나타내는 그래프이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 근사 복호화 방법의 특성 2을 확인하는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032]

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

[0033]

특히, 본 명세서에서 정보(information)란, 값(values), 파라미터(parameters), 계수(coefficients), 성분(elements), 행렬(matrix), 벡터(vectors) 등을 모두 포함하는 용어로서, 경우에 따라 그 의미는 달리 해석될 수 있으므로 본 발명은 이에 한정되지 아니한다.

[0034]

또한 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않으며, 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

- [0035] 본 명세서에서 사용되는 용어에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 해석되지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함한다" 등의 용어는 실시된 특징, 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 의미하는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0036] 본 발명은 네트워크 코딩이 적용되는 시스템에 사용된다. 도 1은 본 발명이 적용될 수 있는 분산된 데이터 전송 시스템의 일예를 나타낸다. 이 시스템에서 전송되는 데이터는 서로 일정한 상관관계를 갖는다. 상관관계 데이터는 센서 네트워크를 통해 측정된 데이터와 같은 외부 상관관계를 갖거나, 비디오 시퀀스에서의 이미지와 같이 근접한 데이터 사이의 상관관계가 높은 데이터일 수 있다. 이러한 상관관계 데이터의 전송에 대한 연구는 분산 시스템에서 널리 수행되어 왔다. 네트워크 코딩 기법은 네트워크를 통해 상관관계 데이터를 전송하는 기법으로 연구되었다. 본 발명은 네트워크 코딩 기법을 이용하는 시스템에서 패킷손실이 발생시 데이터를 근사적으로 복호화하기 위한 기술이다.
- [0037] 본 발명은 데이터 간 상관관계를 고려한 근사 복호화 기법을 제공하고자 한다. 특히 본 발명은 선형적 상관관계를 갖는 데이터에 대한 근사 복호화 기법을 연구한 것이다. 본 발명은 선형적 상관관계를 갖는 데이터에 대한 근사 복호화의 정확도를 매우 향상시킨다. 본 발명 효과에 대해서는 후술하도록 한다.
- [0038] 본 발명에서는 랜덤 선형 네트워크 코딩(random linear network coding: RLNC)을 사용한다(Ho, T., Medard, M., Shi, J., Effros, M., and Karger, D. R., "On randomized network coding," in Proc. Allerton Annual Conf. Commun., Control, and Comput., Oct. 2003. 참조). RLNC에 기반한 분산 솔루션은 노드 간에 낮은 코디네이션(coordination)과 낮은 통신 비용을 유지하면서도 일반적으로 선형 네트워크 코딩과 같은 전역적 최적화 솔루션과 거의 유사한 성능을 갖는다.
- [0039] 본 발명에서는 데이터가 손실되는 애드-혹 네트워크를 이용하는 센서에서 RLNC에 기반하여 인코딩되는 연관 데이터 소스의 전송을 고려한다. 일반적으로 연관 소스 전송은 상관관계가 높은 데이터끼리 연합하여 상관계수를 이용한 압축형태로 인코딩한 후 함께(jointly) 디코딩하는 시스템 기반으로 연구되어 왔다.(Slepian, D. and Wolf, J. K., "Noiseless coding of correlated information sources," 19, 471-480, Jul. 1973. 참조). 그러나 본 발명은 압축이 일어나지 않은 연관 데이터에 초점을 맞추고자 한다. 본 발명에서 연관 데이터는 네트워크 코딩을 사용하여 전송되고, 적시(適時)에 공동으로 복호화가 된다.

[0040] RLNC 기반 인코딩

- [0041] 먼저 본 발명에서 이용하는 RLNC 기반한 인코딩에 대해 살펴보도록 한다. 소스(source), 중간 노드(intermediate node) 및 클라이언트 노드로 구성된 애드-혹 네트워크를 가정한다. 소스 데이터는 네트워크 코딩을 수행할 수 있는 중간 노드를 통해 클라이언트 노드로 전달된다.
- [0042] 이하 $x_1, \dots, x_N$ 을 N 개의 음이 아닌(non-negative) 상관 소스 데이터라고 명명한다. RLNC 연산은 GF(Galois Field)에서 수행되기 때문에, 각 x_n 은 GF에 속한 요소에 해당한다. RLNC 연산은 어떤 필드(field)의 값을 다른 영역의 대응되는 값으로 맵핑하는 식별 함수(identity function)에 의해 수행될 수 있다.

- [0043] 특히 본 발명에서는 식별 함수 $1_{RG}: \mathbb{R} \rightarrow GF$ 로 정의하고, 이때 $1_{RG}(x) = x^{\mathcal{F}}$ 로 정의된다. 여기서 윗첨자 $\mathcal{F}$ 는 유한 필드(finite field)에 존재하는 요소를 의미한다. 유사하게, 역식별 함수는 $1_{GR}: GF \rightarrow \mathbb{R}$ 으로 정의되고, 이때 $1_{GR}(x^{\mathcal{F}}) = x$ 로 정의된다. 따라서 RLNC에 있는 노드 k 는 아래의 식과 같이 전송할 수 있다.

$$y(k) = \sum_{n=1}^N \bigoplus \{c_n(k) \otimes x_n^{\mathcal{F}}\}$$

$$\triangleq \{c_1(k) \otimes x_1^{\mathcal{F}}\} \oplus \{c_2(k) \otimes x_2^{\mathcal{F}}\} \oplus \dots \oplus \{c_N(k) \otimes x_N^{\mathcal{F}}\}$$

[0044]

[0045] 이 식은 $x_n^{\mathcal{F}}$ 과 코딩 계수 $c_n(k)$ 의 선형 조합을 의미한다. $\oplus$ 과 $\otimes$ 는 각각 GF에서 정의된 가산 연산과 곱셈 연산을 나타낸다. y 와 c 는 항상 GF에 존재하는 요소이다.

[0046] 코딩 계수는 균일하고 랜덤하게 2^M 크기를 갖는 GF에서 선택된다(GF(2^M))으로 표기함). 각 노드에서 생성되는 패킷은 싱크(sink) 또는 클라이언트 노드 방향에 있는 이웃 노드에 전달된다. 본 발명에서는 (GF(2^M))에서 올바르게 동작하는 코딩 동작이 가능하도록 소스 데이터 그룹의 크기가 $|\mathcal{X}| \leq 2^M$ 라고 가정한다.

[0047] 만약 K개의 선형 독립(linearly independent)한 패킷 $y(1), \dots, y(K)$ 가 디코더(decoder)에서 이용 가능한 경우라면, 선형 시스템 $\mathbf{y} = \mathbf{C} \odot \mathbf{x}$ 는 아래의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$[y(1), \dots, y(K)]^T = \sum_{n=1}^N \bigoplus \{ \mathbf{c}_n \otimes x_n^{\mathcal{F}} \}$$

[0049] 여기서 $\odot$ 는 유한 필드 내에서 행렬 간의 곱을 의미하고, $K \times N$ 크기의 행렬 $\mathbf{C}$ 는 행 벡터 $\mathbf{c}_n = [c_n(1), c_n(2), \dots, c_n(K)]^T$ 로 구성된 네트워크 코딩 계수 행렬에 해당한다.

[0050] 근사 복호화법의 개요

[0051] 전술한 바와 같이 본 발명은 종래 근사 복호화법의 문제점을 개량한 것이다. 여기서는 근사 복호화법에 대한 개략적인 내용을 설명하고자 한다.

[0052] 디코더(decoder, 복호화기)가 네트워크 코딩된 패킷 $\mathbf{y}$ 집합을 전송받은 경우, 디코더는 소스 데이터를 복원하게 된다. 만약 $K = N$ 이라면, 즉 네트워크 코딩 계수 행렬 $\mathbf{C}$ 가 풀 랭크(full-rank)를 이루게 된다면 $\mathbf{x}$ 는 상기 수학적 식 1로 표현되는 선형 시스템으로부터 $\mathbf{x} = \mathbf{1}_{GR} (\mathbf{C}^{-1} \odot \mathbf{y})$ 식으로 결정된다. $\mathbf{C}^{-1}$ 은 코딩 계수 행렬 $\mathbf{C}$ 의 역행렬이며, 유한 필드에 가우시안(Gaussian) 소거법을 적용하여 도출될 수 있다.

[0053] 그러나 디코더에 수신되는 패킷이 부족한 경우(즉, $K < N$ 인 경우)에는 상기 선형 시스템에 대해 해 $(\hat{\mathbf{x}}^{\mathcal{F}} = [\hat{x}_1^{\mathcal{F}}, \dots, \hat{x}_N^{\mathcal{F}}]^T)$ 의 개수가 무한히 많아질 수 있다. 이 경우에 코딩 계수 행렬을 풀 랭크로 만들기 위해서는 추가적인 제한조건이 부여되어야 한다. 근사 복호화 기법에서 입력 데이터의 상관관계는 추가적인 제한 조건(행렬 D)을 설정하여 이용할 수 있다. 행렬 D에서 추가적인 제한 조건은 입력 데이터 간의 상관관계 모델에 기반하여 결정된다.

[0054] Park 등이 공개한 논문에서는 단순한 근사 복호화 알고리즘을 사용하였다(Park, H., Thomos, N., and Frossard, P., "Transmission of correlated information sources with network coding," in Proc.EUSIPCO-2010, 1389-1393, Aug. 2010. 참조). $(N-K) \times N$ 크기를 갖는 행렬 D는 각 행(row)은 "1" 값을 갖는 두 개의 요소를 제외하고 0(zero)으로 구성된다. 이는 가장 잘 매칭되는 데이터 $x_i, x_j \in \mathcal{X}$ 의 위치에 대응된다.

최종적으로 원본 데이터의 근사값 $\hat{\mathbf{X}}$ 는 아래의 수학적 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{1}_{G\mathbb{R}}(\hat{\mathbf{x}}^{\mathcal{F}}) = \mathbf{1}_{G\mathbb{R}}\left(\left[\begin{array}{c} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{array}\right]^{-1} \odot \left[\begin{array}{c} \mathbf{0}_{(N-K)}^{\mathcal{F}} \\ \mathbf{y} \end{array}\right]\right)$$

여기서 $\mathbf{0}_{(N-K)}^{\mathcal{F}}$ 는 (N-K)크기의 0 (zero)를 갖는 벡터이다.

설명한 근사 복호화 알고리즘은 원본 데이터를 복원할 수 있지만, 행렬 D를 구성하는 접근법은 알고리즘이 제한된 성능을 발휘하게 한다. 이러한 한계는 휴리스틱 접근법에 기반한 최적 매칭 데이터에 의존하기 때문이다.

이 한계를 극복하기 위해서 본 발명에서는 소스 데이터의 상관 관계를 연구하였고, 근사 복호화를 개량하였다. 이하 본 발명의 핵심적인 내용에 대해 설명하도록 한다.

선형 상관관계 데이터에 대한 근사 복호화법

$\mathbf{x}_N = [x_1, \dots, x_n]^T$ 는 n개의 요소를 갖는 소스 데이터의 N번째 집합이라고 하자. 이 데이터는 아래의 수학적 식 3과 같은 관계를 갖는다.

수학적 식 3

$$\mathbf{x}_{N+1} = \mathbf{x}_N + \Delta \cdot \mathbf{1}$$

여기서 $\mathbf{1}$ 및 $\Delta \in \mathbb{N}$ 는 각각 모두 1로 구성된 벡터 및 유사성 인자(similarity factor)를 갖는 벡터이다. 유사성 인자는 GF 이내의 값으로 정의하고, 이는 두 개의 데이터 집합이 얼마나 상관성이 있는지를 나타낸다. Δ 값이 커지면 데이터 상관성은 낮아지는 것을 의미하며, Δ 값이 작아지면 상관성이 높아지는 것을 의미한다. 즉, Δ 는 두 개의 데이터 집합의 선형상관성을 나타내는 정보이므로 이하에서, Δ 를 선형 상관관계정보 또는 제 1 선형 상관관계 정보라 한다.

본 발명에서는 추가적 연산으로 인한 복잡도를 낮추기 위해 아래 수학적 식 4의 조건을 만족해야 하는 것으로 전제한다.

만약 $\Delta = 0$, 즉 두 개의 데이터 집합이 완벽하게 조절된 상태라면, 종래 근사 복호화법이 소스 데이터를 완벽하게 복구하게 된다. 따라서 본 발명에서는 $\Delta > 0$ 인 경우만을 고려한다. 선형 상관관계정보 Δ 는 정수 영역 내에서 결정되고, 근사 복호화 알고리즘에서 GF 내에 존재한다.

선형 상관관계정보를 고려하면 소스 데이터는 아래의 수학적 식 4와 같이 산출될 수 있다.

수학식 4

$$\hat{\mathbf{x}} = 1_{GR} \left(\left[\begin{array}{c} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{array} \right]^{-1} \odot \left[\begin{array}{c} \mathbf{y} \\ \Delta^{\mathcal{F}} \cdot \mathbf{1}_{(N-K)} \end{array} \right] \right)$$

[0066]

[0067]

여기서 $1_{(N-K)}$ 는 $(N-K)$ 개의 1 값을 갖는 벡터이다. 상기 수학식 4는 전술한 수학식 2와 유사하나, 소스 데이터에서 선형 상관관계정보를 고려한다는 접근방법이 명백히 상이하다.

[0068]

원본 데이터의 완벽한 복구가 충분하게 Δ 에 관한 정보가 알려진, 즉 $\mathbf{x}_{N+1} - \mathbf{x}_N = \Delta \cdot \mathbf{1}$ 인 실수 영역에서의 연산과 달리, GF에서의 동등한 연산인 $\mathbf{x}_{N+1} \oplus \mathbf{x}_N$ 는 Δ 뿐만 아니라 다른 값 또한 결과물로 산출될 수 있으며 이로 인해 시스템의 성능이 떨어진다.

[0069]

시스템의 성능을 향상시키기 위해서는, $\mathbf{x}_{N+1} \oplus \mathbf{x}_N$ 로부터 계산된 결과물의 세트는 $N \times N$ 행렬 $\Delta^{\mathcal{F}}$ 로 나타나야 하고, 상기 행렬의 각 성분은 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 로 표현되며, 여기서 n 은 위치 인덱스이다. 그러므로 $\Delta^{\mathcal{F}}$ 에는 $\Delta_1^{\mathcal{F}}, \Delta_2^{\mathcal{F}}, \dots, \Delta_n^{\mathcal{F}}$ 의 n 개의 다른 성분들이 있을 수 있다. 예를 들어, 실수 영역에서 단일 숫자인 3(즉, $x_{n+1} - x_n = 3 = \Delta$)이 $\mathbf{x}_{N+1} \oplus \mathbf{x}_N$ 의 연산에 의해 GF(2^5)에서는 3, 5, 7, 13, 15, 29, 31과 같이 다수가 유도될 수 있다. 도 2는 본 발명에 따른 데이터 구조의 일예를 나타낸다.

[0070]

도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 데이터 구조에서 각 데이터 세트 x_n 은 $N \times N$ 성분으로 구성되어 있고 각 성분의 아래 첨자(예컨대, " x_1 "에서 "1", " x_2 "에서 "2"는 데이터 x_n 의 위치 인덱스를 나타낸다.

[0071]

상기 GF에서의 연산 결과는 복호화 성능에 직접적인 영향을 주기 때문에, 근사 복호화의 실행에 있어서 위치 정보 행렬(PIM, Position Information Matrix)을 이용할 경우 근사 복호화의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0072]

PIM을 이용한 근사 복호화법의 실행

[0073]

상술한 바와 같이, $\Delta^{\mathcal{F}} = \mathbf{x}_{N+1} \oplus \mathbf{x}_N$ 에는 복수의 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 가 있을 수 있다. 따라서 상이한 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 에 관한 정보와 데이터 세트 내에서의 대응하는 위치 인덱스에 관한 정보가 디코더에 전송될 경우 보다 효율적인 근사 복호화가 가능하다.

[0074]

즉, 선형 상관관계정보가 대응하는 위치 인덱스 정보를 포함하는 PIM의 형태로 전송될 수 있다. 도 3은 본 발명에 따른 PIM의 구조의 일례를 나타낸다.

[0075]

도 3에 도시된 바와 같이, PIM의 구조는 위치 인덱스 번호를 포함한다.

[0076]

PIM에 기반하여, 상기 수학식 4의 근사 복호화 알고리즘은 PIM에 포함된 정보를 이용하여 보다 효율적인 근사 복호화가 가능하다. 특히, 수학식 4의 Δ 는 수학식 5와 같이 $(N-K)$ 크기의 PIM을 반영한 선형 상관관계정보인 $\Delta_{PIM}^{\mathcal{F}}$ 으로 대체된다.

수학식 5

$$\hat{\mathbf{x}} = 1_{GR} \left(\left[\begin{array}{c} \mathbf{C} \\ \mathbf{D} \end{array} \right]^{-1} \odot \left[\begin{array}{c} \mathbf{y} \\ \Delta_{PIM}^{\mathcal{F}} \end{array} \right] \right)$$

[0077]

[0078] 수학식 5의 알고리즘을 실행하기 위해, 상기 PIM을 반영한 선형 상관관계 정보 $\Delta_{PIM}^{\mathcal{F}}$ 는 $\Delta^{\mathcal{F}} \cdot \mathbf{1}_{(N-K)}$ 으로 초기화되고, 이어서 PIM에서 획득한 인덱스(index) 정보를 활용하여 일부성분은

$\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 로 바뀐다. 여기서 성능 향상을 위하여 대체하는 성분인 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 을 제2 선형 상관관계정보라 정의한다. 즉, PIM을 반영한 선형 상관관계정보는 제1 선형 상관관계정보로 초기화되고, 이어서 PIM에서 획득한 인덱스 정보에 기초하여 제1 선형 상관관계정보의 일부가 제2 선형 상관관계정보(즉, $\Delta_n^{\mathcal{F}}$)로 바뀐다.

[0079] PIM의 n번째 행에 있는 인덱스 번호들은 $\Delta_{n+1}^{\mathcal{F}}$ (즉, 제n+1 선형 상관관계정보)을 의미하며 이는 하기 PIM을 갖는 근사 복호화의 특성들 중 특성 1(Property 1)에 의해 계산된다.

[0080] 이하에서는 "PIM을 갖는 근사 복호화법의 특성"에 대해 구체적으로 설명한다.

[0081] PIM을 갖는 근사 복호화법의 특성

[0082] 상술한 바와 같이, 유사성 인자(Δ), 즉 선형 상관관계정보가 2^k 의 형태일 때, 근사 복호화법의 성능은 최대가 된다. 하기 증명에서 $\Delta^{\mathcal{F}} = 2^k$ 일 때, x의 LSB(최하위 비트)로부터 k번째 비트 위치에서 $B_{x(k)}$ 와 $\overline{B}_{x(k)}$ 는 각각 1과 0을 나타낸다. 여기서, δ 는 $x_n \oplus x_{n+1}$ 의 결과, 즉 $\delta = x_n \oplus x_{n+1}$ 으로 정의되고, 이는 $\Delta^{\mathcal{F}}$ 에서의 성분들을 나타낸다.

[0083] (특성 1): $GF(2^M)$ 에서 $\Delta^{\mathcal{F}} = 2^k$ ($0 \leq k < M$)의 형태인 경우, $\Delta^{\mathcal{F}}$ 는 최대 (M-k)개의 후보(candidate)가 있으며, 여기서 n번째 후보인 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 는 수학식 6으로 표현되고 그 확률은 수학식 7이다.

수학식 6

$$\Delta_n^{\mathcal{F}} = \sum_{i=k}^{k+n-1} 2^{k+i}$$

[0084]

수학식 7

$$\Pr(\delta = \Delta_n^{\mathcal{F}}) = \frac{2^{(M-k-n)}}{2^{(M-k)} - 1}$$

[0085]

[0086] (특성 1에 대한 증명) $GF(2^M)$ 의 성분은 M 비트로 표현될 수 있다. $\Delta^{\mathcal{F}} = 2^k$ 인 경우, (k+1)번째 위치의 1비트, 즉 $B_{x(k+1)}$ 은 1이고, 나머지 비트 위치에서는 0이다. 0은 XOR 연산에 아무런 영향을 주지 못하기 때문에, 비트가 "1"인 위치들을 고려할 필요가 있다.

[0087] $\Delta^{\mathcal{F}}$ 의 (k+1)번째 비트 위치 및 소스 데이터 x, 즉 $B_{\Delta^{\mathcal{F}}(k+1)}$ 및 $B_{x(k+1)}$ 가 1이면, $\Delta^{\mathcal{F}} (\neq \Delta^{\mathcal{F}})$ 의 후보가 생성될 수 있다. (k+1)번째 비트로부터 (k+2)번째 비트까지 캐리지 리턴(carriage return)이 발생하기 때문에, $\Delta_2^{\mathcal{F}}$ 가 생성되고, 여기서 $2^{k+1} + 2^k$ 로 표현된다. 만약 $B_{x(k+2)}$ 이면, $\Delta_3^{\mathcal{F}}$ 로 표현되는 $\Delta^{\mathcal{F}}$ 의 다른 후보가 생성되고 $\Delta_3^{\mathcal{F}} = 2^{k+2} + 2^{k+1} + 2^k$ 이다. $\overline{B}_{x(M)} \overline{B}_{x(M-1)} \cdots B_{x(k+1)}$ 까지 상기 프로세스가 계속된다. 그러므로 $\Delta^{\mathcal{F}}$ 는 최대 (M-k)개의 후보가 있을 수 있고 n번째 후보는 $\Delta_n^{\mathcal{F}} = \sum_{i=k}^{k+n-1} 2^{k+i}$ 로 표현된다.

[0088] 다음으로 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 의 확률질량함수(Probability mass function)를 알아냈으며, $\overline{B}_{x(k+1)}$ 이면, $\Delta_1^{\mathcal{F}} (= \Delta^{\mathcal{F}} = 2^k)$ 는 수학식 8의 확률로 생성된다.

[0089]

수학식 8

$$\Pr(\delta = \Delta_1^{\mathcal{F}}) = \frac{2^{M-1}}{2^M - 2^k}$$

[0090]

[0091] 이는 전체 최대 $2^M - 2^k$ 케이스가 있는데 반해 $\overline{B}_{x(k+1)}$ 인 경우, 2^{M-1} 케이스가 있기 때문이다.

이를 일반화함으로써, $\overline{B}_{x(k+n)} B_{x(k+n-1)} \cdots B_{x(k+1)}$ 번(여기서, $2 \leq n \leq M - k$), $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 는 수학식 9의 확률로 생성된다.

수학식 9

$$\Pr(\delta = \Delta_n^{\mathcal{F}}) = \frac{2^{M-n}}{2^M - 2^k}$$

그러므로, $\Pr(\delta = \Delta_n^{\mathcal{F}})_{(1 \leq n \leq M - k)}$ 은 수학식 10로 표현된다.

수학식 10

$$\Pr(\delta = \Delta_n^{\mathcal{F}}) = \frac{2^{(M-n)}}{2^M - 2^k} \quad (1 \leq n \leq M - k),$$

$GF(2^M)$ 내의 $\delta = 2^k$ 인 경우에 있어, $\Delta^{\mathcal{F}}$ 의 후보 및 대응하는 확률이 표 1에 도시되어 있다.

표 1

	$\Delta_1^{\mathcal{F}}$	$\Delta_2^{\mathcal{F}}$	...	$\Delta_n^{\mathcal{F}}$	...	$\Delta_{M-k}^{\mathcal{F}}$
$\Delta^{\mathcal{F}}$	2^k	$2^{k+1} + 2^k$	...	$2^{k+(n-1)} + 2^{k+(n-2)} + \dots + 2^{k+1} + 2^k$	...	$2^{M-1} + \dots + 2^{k+1} + 2^k$
Probability	$\frac{2^{(M-1)}}{2^M - 2^k}$	$\frac{2^{(M-2)}}{2^M - 2^k}$	...	$\frac{2^{(M-n)}}{2^M - 2^k}$	...	$\frac{2^k}{2^M - 2^k}$

특성 1에 근거하여, 잠재적인 후보들의 확률질량함수가 제공되므로 PIM의 각 행이 각 후보인 PIM을 구현할 수 있다. 예를 들어, 제1 행은 $\Delta_2^{\mathcal{F}}$, 제2 행은 $\Delta_3^{\mathcal{F}}$, (M-k-1)번째 행은 $\Delta_{M-k}^{\mathcal{F}}$ 의 인덱스 번호들을 갖는다.

$\Delta^{\mathcal{F}}$ 는 가능한 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 중에서 가장 높은 확률을 갖기 때문에, PIM 내에는 $\Delta^{\mathcal{F}}$ 를 제외한 오직 (M-k-1)개의 후보들을 포함한다.

PIM은 디코더에 소스 데이터의 상관성 구조에 관한 더 개선된 정보를 제공할 수 있게 되고 결과적으로 근사 복호화법의 성능이 향상된다. 그러나 더 많은 정보를 전송하는 것(즉, PIM 내에 더 많은 정보가 포함됨)은 더 많은 커뮤니케이션 오버헤드를 요구한다. 이런 이유로 PIM 내에 포함된 정보의 양과 성능 향상 사이의 트레이드오프(tradeoff)를 조사할 필요가 있다. 이는 하기 특성 2에서 설명된다.

[0100] (특성 2) : 근사 복호화에 PIM의 (n-1)번째 행(즉, $\Delta_n^{\mathcal{F}}$)이 추가적으로 사용되는 경우, 성능은 $1/2^{(n-1)}$ 만큼 향상된다.

[0101] (특성 2에 대한 증명) : 표 1에 도시된 바와 같이, $\delta = 2^k$ 의 확률은 $\frac{2^{(M-k-n)}}{2^{(M-k)}-1}$ 로 주어진다. 이는 n이 증가할수록 확률은 $1/2^n$ 만큼 감소한다는 것을 의미한다. 따라서 근사 복호화에 $\Delta_n^{\mathcal{F}}$ 가 추가적으로 사용되는 경우, 성능은 마지막 성능 향상의 $1/2^{(n-1)}$ 배 향상될 수 있다.

[0102] PIM 내에 추가적인 정보를 사용함으로써 얻게 되는 성능 향상은 "추가적인 수정(correction)"의 결과를 야기한 다.

[0103] 상술한 특성들은 $\Delta^{\mathcal{F}} = 2^k$ 인 경우에 해당하고, $\Delta^{\mathcal{F}} \neq 2^k$ 이면, $\Delta^{\mathcal{F}}$ 의 후보는 하기 알고리즘 1을 이용하여 찾을 수 있다.

Algorithm 1 Finding candidates of $\Delta^{\mathcal{F}}$

Given: received similarity factor Δ , GF size 2^M .

- 1: **if** $\Delta = 2^k$, **then**
 - 2: use Property 1
 - 3: **else** // $\Delta \neq 2^k$
 - 4: Find $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$
 such that $\Delta = 2^{p_1} + 2^{p_2} + 2^{p_3} + \dots + 2^{p_n}$,
 for $M > p_1 > p_2 > p_3 > \dots > p_n \geq 0$
 - 5: Find all candidates $\Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_n})$ for each 2^{p_n} based on Property 1.
 - 6: Find Cartesian product set S ,
 $S = \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_1}) \times \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_2}) \times \dots \times \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_n}) =$
 $\{(\gamma_1, \dots, \gamma_n), \gamma_i \in \Delta^{\mathcal{F}}(2^{p_i})\}$
 - 7: **if** γ_n exists even times in S , **then**
 - 8: Eliminate γ_n in S
 - 9: **else** // odd times
 - 10: Choose only one γ_n in S
 - 11: $\Delta^{\mathcal{F}} \leftarrow S$
 - 12: **end if**
-

[0104]

[0105] 도 4는 (a) 본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법의 순서 및 (b) 본 발명에 따른 네트워크 코딩 기법을 이용하여 소스 데이터를 부호화하는 방법을 개략적으로 도시한 순서도이다.

[0106] 도 4a를 참고하면, 본 발명에 따른 네트워크 코딩기법을 이용하여 부호화된 데이터를 근사 복호화하는 방법은 네트워크 코딩된 데이터와 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계(S410), 상기 네트워크 코딩된 데이터의 일부를 획득하지 못하거나 네트워크 코딩계수 행렬이 싱귤러 문제를 일으키는 경우, 제1 선형 상관관계정보를 획득하는

단계(S420), PIM에서 획득한 인덱스 정보에 기초하여, 상기 제1 선형 상관관계정보의 일부를 제2 선형 상관관계 정보로 바꿈으로써 제1 선형 상관관계정보 및 제2 선형 상관관계정보를 포함하는 종합 선형 상관관계정보를 획득하는 단계(S430), 및 상기 획득된 종합 선형 상관관계정보에 기초하여, 상기 획득된 데이터를 근사 복호화하는 단계(S440)를 포함하되, 상기 네트워크 코딩된 데이터는 선형 상관관계를 갖는 소스 데이터에 네트워크 코딩 기법을 적용하여 획득되는 것을 특징으로 한다. 한편, 상기 종합 선형 상관관계정보는 적어도 하나 이상의 상관관계정보를 포함하며, 선형 상관관계 정보는 최대 $M-k$ 개 까지 가능하다.

[0107] 도 4b를 참고하면, 본 발명에 따른 네트워크 코딩 기법을 이용하여 소스 데이터를 부호화하는 방법은 선형 상관관계를 갖는 소스 데이터의 선형 상관관계정보에 기초하여 위치정보행렬(PIM)을 획득하는 단계(S460), 상기 소스 데이터를 네트워크 코딩 노드로 전송하는 단계(S450), 상기 전송된 소스 데이터를 네트워크 코딩 기법을 이용하여 코딩하여 네트워크 코딩된 데이터를 획득하여 디코더로 전송하는 단계(S470) 및 상기 PIM을 디코더로 전송하는 단계(S480)를 포함하되, 상기 선형 상관관계정보는 상기 소스 데이터의 데이터 집합의 상관성의 정도를 나타내는 것을 특징으로 한다.

[0108] 본 발명에 대한 효과 실험

[0109] PIM과 결합된 근사 복호화를 실행하는 방법에 대해 설명하였는데, 이하에서는 PIM을 이용하는 경우에 있어서, 실험을 통해 3개의 상관관계 소스 데이터에 상기 방법을 적용하였다. 소스 데이터는 Δ 의 유사성 인자로 선형 상관되어 있으며, Δ 는 8, GF 크기는 2^{10} 로 설정하였다.

[0110] 도 5는 PIM을 이용한 근사 복호화 알고리즘의 성능을 나타내는 그래프이다. 도 5에 도시된 바와 같이, 정규화된 평균 에러율을 나타내며 더 낮은 값들은 더 적은 왜곡(더 높은 성능)을 나타낸다. 본 발명에 따른 PIM을 갖는 근사 복호화 방법은 PIM이 사용되지 않은 근사 복호화 방법에 비해, 패킷 손실율의 모든 범위에서 성능이 우수한 것으로 나타난다.

[0111] 그러나, 두 가지 모두의 근사 복호화 방법에 패킷 손실율이 50%이상 증가할 경우 성능이 눈에 띄게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 근사 복호화 과정에서 인공적으로 추가된 데이터의 양이, 디코더에서 수신한 데이터의 양보다 많다는 것을 의미한다. 따라서 복호화된 데이터의 오차량이 패킷 손실율 50%를 기점으로 급속도로 커지는 것이다.

[0112] 근사 복호화 방법의 성능은 패킷 손실율의 크기와 PIM을 통하여 전달되는 추가적인 선형 상관관계정보의 개수에 따라 다양하게 나타난다. 따라서 여러 활용 시스템에 따라 목표성능, 패킷 손실율을 고려하여 PIM을 구성하면 보다 적절하게 구조화 될 수 있다.

[0113] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 근사 복호화 방법의 특성 2를 확인하는 그래프이다. 1/3 패킷 손실율을 가지며 Δ 는 4, GF 크기는 2^{10} 로 설정하였다.

[0114] 상기 특성 2에서 묘사한 바와 같이, 추가적인 정보의 수가 증가할수록 정규화된 평균 에러율은 감소한다는 것을 확인할 수 있다. 더 구체적으로는, PIM를 통해 제공되는 정보가 하나씩 더 증가할 때 마다, 근사 복호화 방법의 성능은 기존에 비하여 50% 성능 향상이 있음을 확인할 수 있다. 본 실험에서는 PIM을 통하여 6개의 정보가 전달될 때에 PIM을 활용한 근사 복호화법이 가질 수 있는 최대의 성능을 발휘한다. 이는 특성 1에 상술된

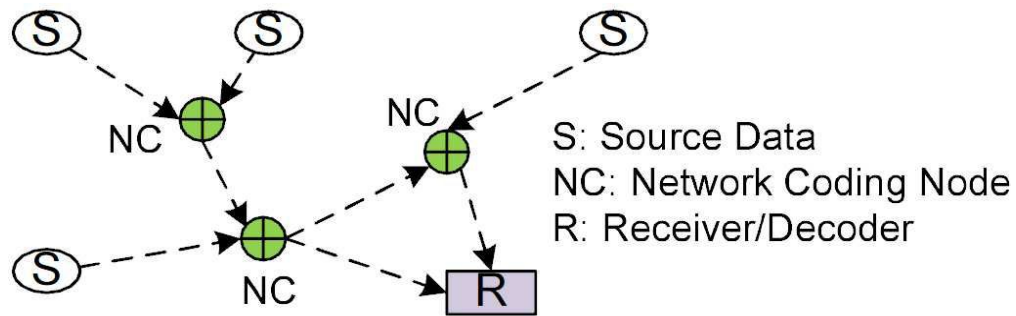
$M-k=8-2=6$ 과 같이, PIM에 포함될 수 있는 최대 정보수가 6개이기 때문이다.

[0115] 상술한 바와 같이, 본 발명은 부호화된 데이터의 일부를 획득하지 못하거나 네트워크 코딩계수 행렬이 싱글러 문제를 일으키는 경우, 획득된 인덱스 정보(즉, PIM)에 기초하여 제1 선형 상관관계정보 중 일부를 제2 선형 상관관계정보로 바꿈으로써 제1 선형 상관관계정보 및 제2 선형 상관관계정보를 포함하는 종합 선형 상관관계정보를 획득한다. 그리고 획득된 종합 선형 상관관계정보를 이용하여 상기 획득된 데이터를 근사 복호화함으로써 근사 복호화의 성능을 높일 수 있는 근사 복호화 방법을 제공할 수 있다.

[0116] 본 실시예 및 본 명세서에 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

도면

도면1



도면2

$$\mathbf{X}_{n+1} \oplus \mathbf{X}_n = \Delta^F$$

$$\mathbf{X}_{n+1} = \mathbf{X}_n + \Delta \cdot \mathbf{1}$$

$$\mathbf{X}_{n+1} \oplus \mathbf{X}_n = \Delta^F$$

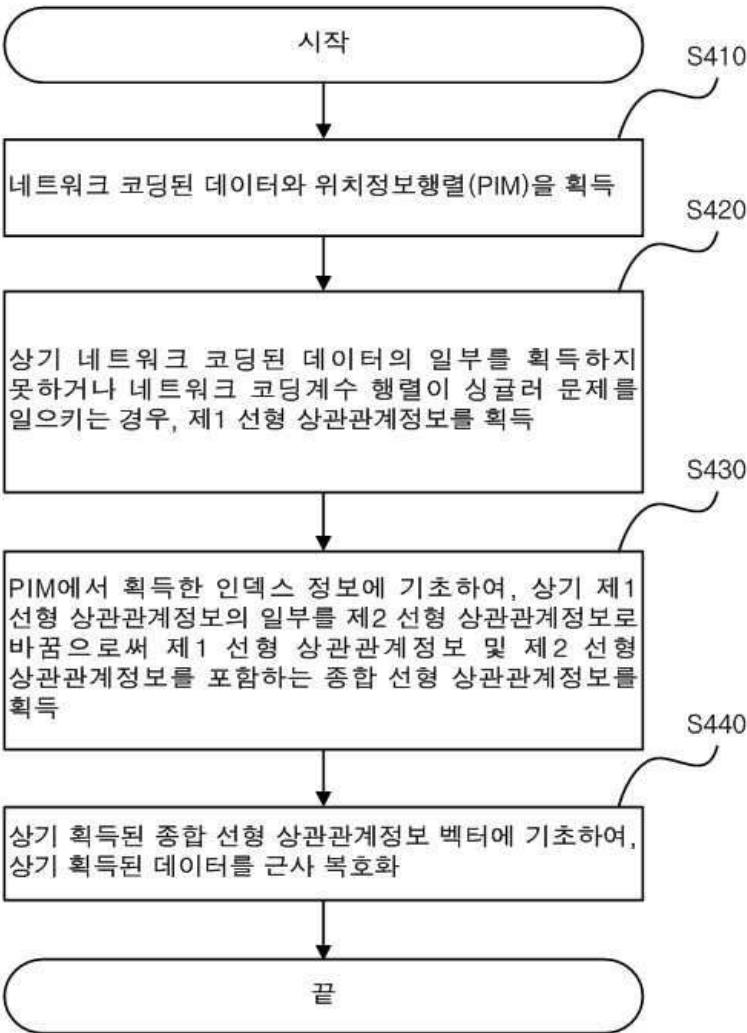
The diagram shows the relationship between two data matrices $\mathbf{X}_{n+1}$ and $\mathbf{X}_n$ and their difference matrix Δ^F . The matrices are represented as grids of elements. The equation $\mathbf{X}_{n+1} \oplus \mathbf{X}_n = \Delta^F$ indicates that the element-wise XOR of the two matrices results in the difference matrix. Below this, the equation $\mathbf{X}_{n+1} = \mathbf{X}_n + \Delta \cdot \mathbf{1}$ shows that $\mathbf{X}_{n+1}$ is equal to $\mathbf{X}_n$ plus a constant value Δ multiplied by a vector of ones. The final equation $\mathbf{X}_{n+1} \oplus \mathbf{X}_n = \Delta^F$ is repeated.

도면3

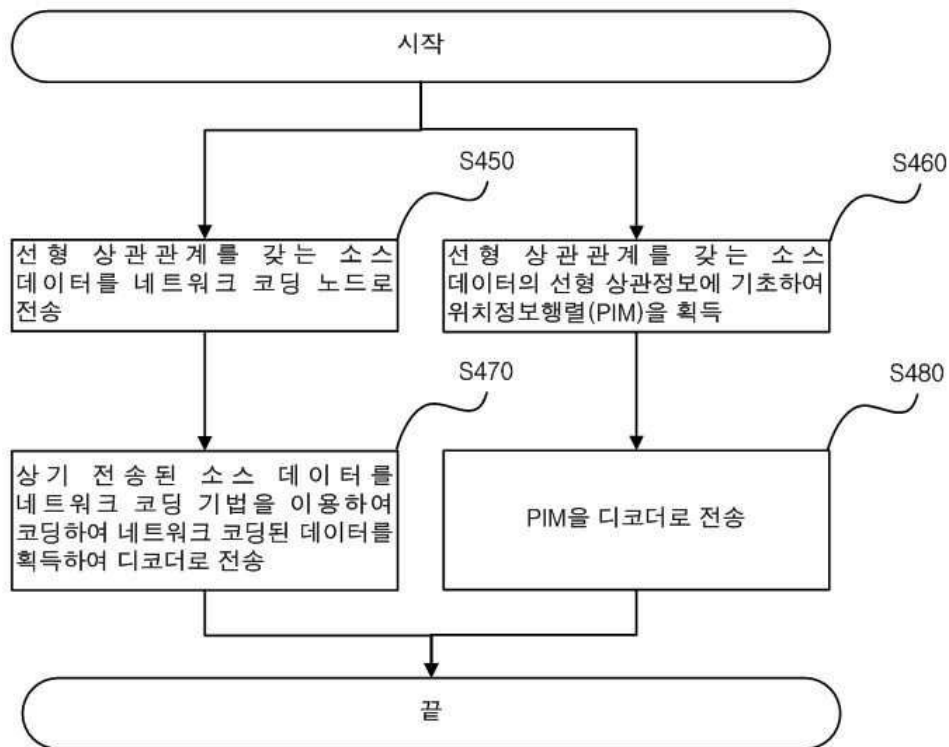
Index Numbers

$M-k-1$ rows	Δ_2^F	2	3	8	...
	Δ_3^F	1	4	10	...
		...			
	Δ_{M-k}^F	9	14	25	...

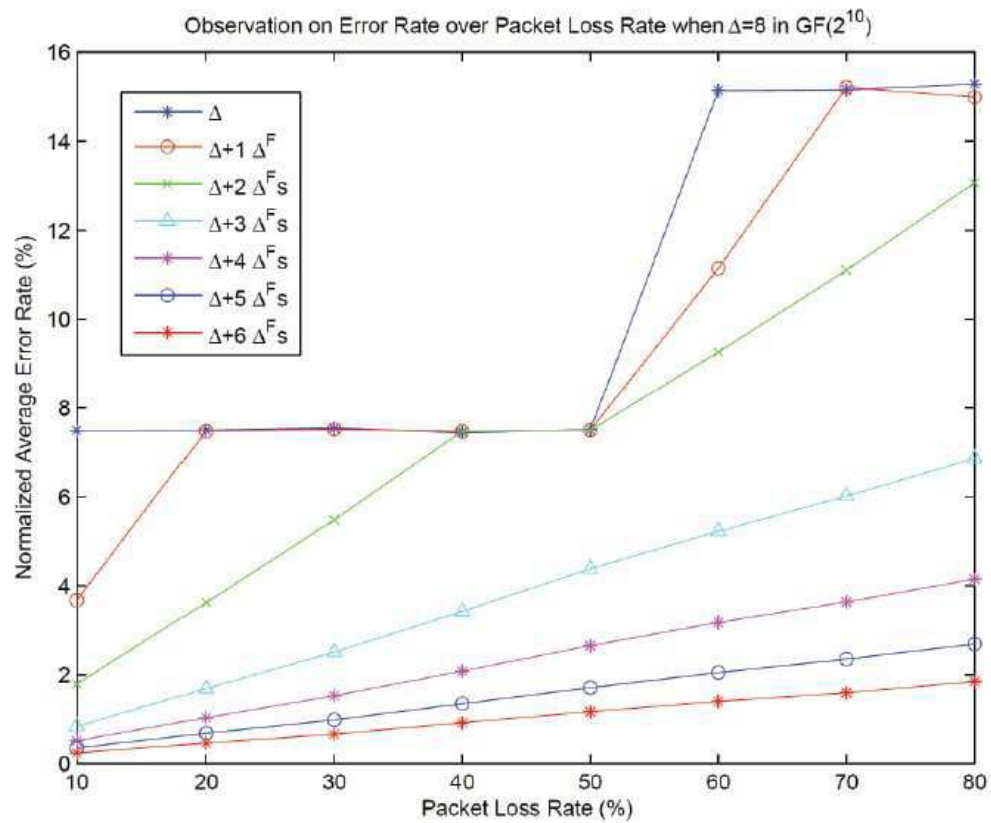
도면4a



도면4b



도면5



도면6

