



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0076130
(43) 공개일자 2018년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04W 84/18 (2009.01) H04W 24/02 (2009.01)
(52) CPC특허분류
H04W 84/18 (2013.01)
H04W 24/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0180271
(22) 출원일자 2016년12월27일
심사청구일자 2016년12월27일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
박형곤
경기도 고양시 일산동구 강송로 156, 216동 1001호 (마두동, 강촌마을2단지아파트)
권민혜
서울특별시 은평구 연서로18길 33-2 (대조동)
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

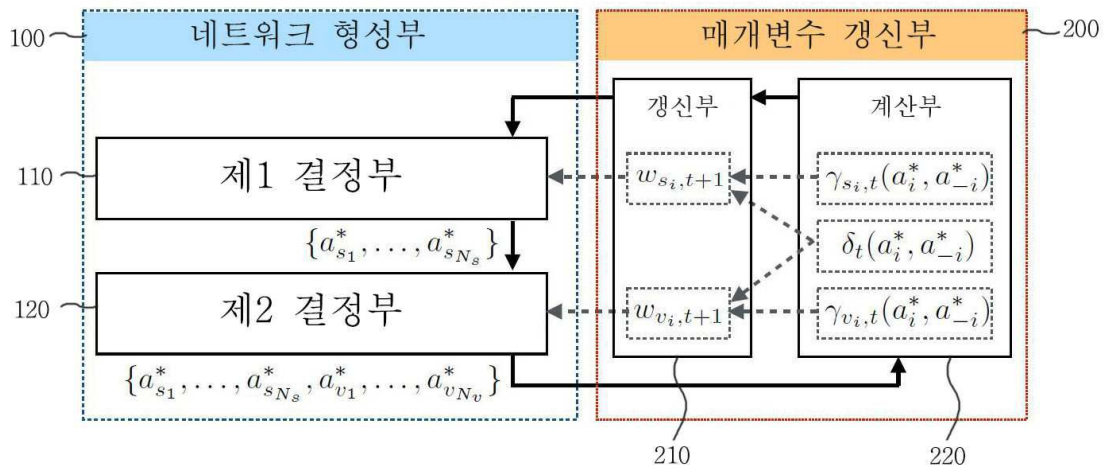
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 무선 네트워크 노드들이 중앙 집중 계획(centralized planning)에 따르는 것이 아닌, 각 노드들의 독립적인 의사결정을 바탕으로 무선 전송 전력(wireless transmission power), 전송 범위(transmission range) 및 네트워크 코딩 사용 등을 결정하는 분산적 자가 구성 네트워크(self-organizing network) 시스템 및 방법을 제공하기 위한 것으로서, 소스 노드(S) 및 중간 노드(V)가 각각 자신의 행동 및 다른 노드의 행동에 대해 최적 행동을 결정하여 네트워크를 형성하는 네트워크 형성부와, 상기 네트워크 형성부에서 형성된 네트워크의 최적 행동을 기반으로 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 확인하여 바이어스 전력을 갱신하는 매개변수 갱신부를 포함하여 구성되는데 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711043075
 부처명 미래창조과학부
 연구관리전문기관 한국연구재단
 연구사업명 개인연구지원
 연구과제명 지능적 사물 인터넷을 위한 네트워크 코딩 기반 자가 구성 스마트 네트워크 연구
 기 여 율 8/10
 주관기관 이화여자대학교
 연구기간 2016.11.01 ~ 2017.10.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711035256
 부처명 미래창조과학부
 연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
 연구사업명 정보통신기술인력양성
 연구과제명 초고속 무선 네트워크 기반 u-Office 서비스 연구 개발
 기 여 율 2/10
 주관기관 중앙대학교 산학협력단
 연구기간 2016.01.01 ~ 2016.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

소스 노드(S) 및 중간 노드(V)가 각각 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 바탕으로 자신의 최적 행동을 결정하여 네트워크를 형성하는 네트워크 형성부와,

상기 네트워크 형성부에서 형성된 네트워크의 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 확인하여 바이어스 전력을 갱신하는 매개변수 갱신부를 포함하여 구성되고,

이때, 상기의 최적 반응(best response)이란, 자신이 선택할 수 있는 후보 행동들 중에서 자신의 유틸리티를 최대화 시킬 수 있는 행동을 선택하는 행위를 의미하며, 이렇게 선택된 행동을 최적 행동(optimal action)인 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 네트워크 형성부는

소스 노드가 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 제 1 결정부와,

상기 제 1 결정부에서 결정된 소스 노드의 최적 행동에 대응하는 전력으로 소스 노드가 데이터를 송신하면, 중간 노드는 수신하는 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 제 2 결정부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 매개변수 갱신부는

네트워크 형성부에서 결정된 소스 노드 및 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 계산하는 계산부와,

상기 계산부에서 계산된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드 및 중간 노드의 바이어스 전력을 각각 갱신하는 갱신부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 계산부는 시스템 처리량의 경우 네트워크 내 노드들의 최적 반응 결과에 따라 소스 노드와 중간 노드 각각을 위한 서로 다른 값이 계산되고, 계산된 전송 실패 패널티의 경우 소스 노드와 중간 노드의 구분 없이 네트워크 내 모든 노드들이 서로 동일한 값으로 계산되는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템.

청구항 5

제 3 항에 있어서, 상기 갱신부는

소스 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 제 1 갱신부와,

중간 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 중간 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 제 2 갱신부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템.

청구항 6

- (A) 소스 노드가 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 단계와,
 (B) 상기 결정된 소스 노드의 최적 행동에 대응하는 전력으로 소스 노드가 데이터를 송신하면, 중간 노드가 수신하는 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하여 네트워크를 형성하는 단계와,
 (C) 매개변수 갱신부를 통해 상기 결정된 소스 노드 및 중간 노드에 대한 최적 반응을 기반으로 네트워크에서의 시스템 처리량과 전송 실패 패널티를 계산한 후, 바이어스 전력을 갱신하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 (A) 단계는

스테이지 게임의 최종 네트워크에서 $1 \leq s \leq N_s$ 에 대한 소스 노드(S) 데이터를 생성하는 단계와,

상기 소스 노드들이 각각 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 단계와,

상기 결정된 최적 행동에 대응하는 소비전력의 전력으로 상기 생성된 데이터를 무선 전송하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법.

청구항 8

제 6 항에 있어서, 상기 (B) 단계는

(B1) 소스 노드들(또는 이전 중간 노드들)로부터 결정된 최적 반응에 대응하는 전력으로 송신된 데이터가 중간 노드에 수신되면, 중간 노드들이 각각 상기 수신되는 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 단계와,

(B2) 상기 결정된 최적 행동에서 네트워크 코딩 여부를 검출하여 네트워크 코딩을 수행하는지 여부의 결정을 판단하는 단계와,

(B3) 상기 판단 결과, 네트워크 코딩을 수행하는 것으로 결정되면, 네트워크 코딩을 수행하고, 그 결과 구성된 네트워크 코딩된 패킷 P_i 를 최적 반응에 대응하는 소비전력의 전력으로 중간 노드에서 터미널 노드로 무선 전송하는 단계와,

(B4) 상기 판단 결과, 네트워크 코딩을 수행하지 않는 것으로 결정되면, 소스 노드(또는 이전 중간 노드)에서 수신된 데이터 중 하나의 데이터를 임의로 선정하여 최적 반응에 대응하는 소비전력의 전력으로 중간 노드에서 터미널 노드로 무선 전송하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 (B2) 단계는

수식 $\mathbf{a}_i = \{a_i | a_i = (l_{ij}, e), i \in \mathbf{V}, j \in \{\mathbf{V}, \mathbf{T}\}, e \in \{0, \bar{e}\}\}$ 로 나타내는 중간 노드에서의 행동후보의 노드 i 와 노드 j 사이의 유클리드 거리 l_{ij} 및 네트워크 코딩 수행을 위해 필요한 소비전력 e 를 고려하여 송신 전력과 네트워크 코딩을 수행하는지 여부의 결정하는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법.

청구항 10

제 6 항에 있어서, 상기 (C) 단계는

소스 노드와 중간 노드의 최적 행동에 따라 시스템 처리량은 서로 다른 값으로 계산되고, 전송 실패 패널티는 소스 노드와 중간 노드의 구분 없이 서로 동일한 값으로 계산되는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 (C) 단계는

소스 노드의 최적 행동을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 단계와,

중간 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 중간 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 네트워크 노드들이 중앙 집중 계획(centralized planning)에 따르는 것이 아닌, 각 노드들의 독립적인 의사결정을 바탕으로 무선 전송 전력(wireless transmission power), 전송 범위(transmission range) 및 네트워크 코딩 사용 등을 결정하는 분산적 자가 구성 네트워크(self-organizing network) 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 사물인터넷(Internet of Things; IoT)에서는 클라우드 센싱(cloud sensing)과 같이 다수의 무선 장치의 개별적인 데이터 수집을 기반으로 한 분산 데이터 수집 시스템(distributed data collection)이 널리 활용되어지고 있다. 이러한 응용사례에서는 한 수집 장치에서 획득된 데이터가 동시에 여러 장치에게 전달되어야 하여 멀티캐스트 흐름(multicast flow)이 형성되는 경우가 많은데, 네트워크 내에는 많은 수의 수집 장치들이 존재하기 때문에 다중 소스 멀티캐스트 흐름(multi-source multicast flow)이 필연적으로 발생한다. 이러한 다중 소스 멀티캐스트 네트워크에서는 다중 흐름의 경로가 쉽게 겹쳐 질 수 있으므로 데이터 전달 중에 병목 현상으로 인한 시간 지연(bottleneck delay)이 자주 발생한다.

[0003] 이러한 병목 문제(bottleneck problem)는 네트워크 코딩을 활용함으로써 해결될 수 있다. 네트워크 코딩 기반의 멀티 캐스트 네트워크는 전송 횟수를 줄임으로써 멀티 캐스트 흐름의 처리량을 크게 향상시키고 무선 장치의 소비전력을 줄일 수 있다. 이를 통해 네트워크 신뢰성을 향상시키고 데이터 수집 어플리케이션의 에너지 소비량 및 데이터 전송 시간 지연을 줄일 수 있다.

[0004] 그러나 다중 소스 멀티캐스트 흐름이 존재하는 네트워크에서 네트워크 코딩을 사용한 경우, 네트워크 처리량(throughput)의 상한계값(upper bound)을 알아내는 것은 아직 풀리지 않은 문제로 남아 있으며, 따라서 최적의(optimal) 네트워크 토폴로지를 구성하는 방법 또한 알려져 있지 않다. 이는 네트워크 처리량이 데이터의 이동 경로에 크게 의존하기 때문에 일부 시나리오에서는 네트워크 코딩을 사용하는 것이 좋지 않은 선택이 될 수도 있기 때문이다. 따라서 다중 소스 멀티 캐스트 흐름을 다룰 때에는, 네트워크를 구성하는 각 노드에서 네트워크 코딩 연산을 수행할지 여부를 선택적으로 결정하는 것이 중요하다.

[0005] 다수의 장치를 포함한 네트워크에서 풀어야 할 또 다른 과제는 네트워크의 확장성(scalability)이다. 특히 네트워크 크기가 커짐에 따라 중앙 집중 계획 방식을 기반으로 네트워크 토폴로지를 관리하는 것이 상당히 비효율적일 수 있다. 따라서 이러한 문제점들을 극복하기 위해 분산 솔루션을 설계하는 것이 필수적이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 등록특허공보 제10-1624184호 (등록일자 2016.05.19)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출한 것으로서, 무선 네트워크 노드들이 중앙 집중 계획(centralized planning)에 따르는 것이 아닌, 각 노드들의 독립적인 의사결정을 바탕으로 무선 전송 전력(wireless transmission power), 전송 범위(transmission range) 및 네트워크 코딩 사용 여부 등을 결정하는 분산적 자가 구성 네트워크(self-organizing network) 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0008] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템의 특징은 소스 노드(S) 및 중간 노드(V)가 각각 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 바탕으로 자신의 최적 행동을 결정하여 네트워크를 형성하는 네트워크 형성부와, 상기 네트워크 형성부에서 형성된 네트워크의 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 확인하여 바이어스 전력을 갱신하는 매개변수 갱신부를 포함하여 구성되고, 이때, 상기의 최적 반응(best response)이란, 자신이 선택할 수 있는 후보 행동들 중에서 자신의 유틸리티를 최대화시킬 수 있는 행동을 선택하는 행위를 의미하며, 이렇게 선택된 행동을 최적 행동(optimal action)인 것을 특징으로 한다.

[0010] 바람직하게 상기 네트워크 형성부는 소스 노드가 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 제 1 결정부와, 상기 제 1 결정부에서 결정된 소스 노드의 최적 행동에 대응하는 전력으로 소스 노드가 데이터를 송신하면, 중간 노드는 수신한 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 제 2 결정부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 바람직하게 상기 매개변수 갱신부는 네트워크 형성부에서 결정된 소스 노드 및 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 계산하는 계산부와, 상기 계산부에서 계산된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드 및 중간 노드의 바이어스 전력을 각각 갱신하는 갱신부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 바람직하게 상기 계산부는 시스템 처리량의 경우 네트워크 내 노드들의 최적 반응 결과에 따라 소스 노드와 중간 노드 각각을 위한 서로 다른 값이 계산되고, 계산된 전송 실패 패널티의 경우 소스 노드와 중간 노드의 구분 없이 네트워크 내 모든 노드들이 서로 동일한 값으로 계산되는 것을 특징으로 한다.

[0013] 바람직하게 상기 갱신부는 소스 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 제 1 갱신부와, 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 중간 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 제 2 갱신부를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법의 특징은 (A) 소스 노드가 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 단계와, (B) 상기 결정된 소스 노드의 최적 행동에 대응하는 전력으로 소스 노드가 데이터를 송신하면, 중간 노드는 수신하는 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하여 네트워크를 형성하는 단계와, (C) 매개변수 갱신부를 통해 상기 결정된 소스 노드 및 중간 노드에 대한 최적 반응을 기반으로 네트워크에서의 시스템 처리량과 전송 실패 패널티를 계산한 후, 바이어스 전력을 갱신하는 단계를 포함하여 이루어지는데 있다.

[0015] 바람직하게 상기 (A) 단계는 스테이지 게임의 최종 네트워크에서 $1 \leq s \leq N_s$ 에 대한 소스 노드(S) 데이터를 생성하는 단계와, 상기 소스 노드(S)들이 각각 자신의 행동에 대한 최적 반응을 결정하는 단계와, 상기 결정된 최적 반응에 대응하는 소비전력의 전력으로 상기 생성된 데이터를 소스 노드에서 터미널 노드로 무선 전송하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0016] 바람직하게 상기 (B) 단계는 (B1) 소스 노드들(또는 이전 중간 노드들)로부터 결정된 최적 반응에 대응하는 전력으로 데이터가 송신되면, 중간 노드들이 각각 상기 수신한 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 단계와, (B2) 상기 결정된 최적 행동에서 네트워크 코딩 여부를 검출하여 네트워크 코딩을 수행하는지 여부의 결정을 판단하는 단계와, (B3) 상기 판단 결과, 네트워크 코딩을 수행하는 것으로 결정되면, 네트워크 코딩을 수행하고, 그 결과 구성된 네트워크 코딩된 패킷 P_i 를 최적 반응에 대응하는

소비전력의 전력으로 중간 노드에서 터미널 노드로 무선 전송하는 단계와, (B4) 상기 판단 결과, 네트워크 코딩을 수행하지 않는 것으로 결정되면, 소스 노드(또는 이전 중간 노드)에서 수신된 데이터 중 하나의 데이터를 임의로 선정하여 최적 반응에 대응하는 소비전력의 전력으로 중간 노드에서 터미널 노드로 무선 전송하는 단계로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0017] 바람직하게 상기 (B2) 단계는 수식 $a_i = \{a_i | a_i = (l_{ij}, e), i \in V, j \in \{V, T\}, e \in \{0, \bar{e}\}\}$ 로 나타내는 중간 노드에서의 행동후보의 노드 i 와 노드 j 사이의 유클리드 거리 l_{ij} 및 네트워크 코딩 수행을 위한 소비 전력 e 를 기반으로 송신 전력과 네트워크 코딩을 수행하는지 여부를 각각 결정하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 바람직하게 상기 (C) 단계는 소스 노드와 중간 노드의 최적 행동에 따라 시스템 처리량은 서로 다른 값으로 계산되고, 전송 실패 패널티는 소스 노드와 중간 노드의 구분 없이 서로 동일한 값으로 계산되는 것을 특징으로 한다.

[0019] 바람직하게 상기 (C) 단계는 소스 노드의 최적 행동을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 단계와, 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 중간 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0020] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템 및 방법은 각 노드의 송신 전력 소모량은 줄이고, 선택적으로 네트워크 코딩을 사용함으로써 전체 네트워크 처리량은 높일 수 있는 효과가 있다. 이에 따라, 무선 디바이스들 사이에서 자체적으로 네트워크를 구성하여 애드 혹(ad-hoc)으로 데이터 전송을 하고자 하는 상황에서는 어디에서나 적용 가능하다.

[0021] 예를 들어, 사물인터넷을 포함한 모바일 디바이스를 기반으로 한 클라우드 센싱(crowd sensing)과 같은 상황이나, 의료 센서가 포함된 디바이스들 사이에서 기기간 통신을 이용한 네트워크 구축 상황에서 적용할 수 있어, 스마트폰이나 병원 의료기기에 적용이 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1 은 본 발명의 실시예에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템의 구성을 나타낸 구성도

도 2 는 본 발명의 실시예에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법을 설명하기 위한 흐름도

도 3 은 도 2에서 소스 노드(S)들이 최적 반응을 결정하는 방법을 설명하기 위한 흐름도

도 4 는 도 2에서 중간 노드(V)들이 최적 반응을 결정하는 방법을 설명하기 위한 흐름도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명의 다른 목적, 특성 및 이점들은 첨부한 도면을 참조한 실시예들의 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.

[0024] 본 발명에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템 및 방법의 바람직한 실시예에 대하여 첨부한 도면을 참조하여 설명하면 다음과 같다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며 통상의 지식을 가진자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 따라서 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0025] 도 1 은 본 발명의 실시예에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템의 구성을 나타낸 구성도이다.

[0026] 도 1에서 도시하고 있는 것과 같이, 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템은 소스 노드(S) 및 중간 노드(V)가

각각 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 바탕으로 자신의 최적 행동을 결정하여 네트워크를 형성하는 네트워크 형성부(100)와, 상기 네트워크 형성부(100)에서 형성된 네트워크의 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 확인하여 바이어스 전력을 갱신하는 매개변수 갱신부(200)로 구성된다. 이때, 상기의 최적 반응(best response)이란, 자신이 선택할 수 있는 후보 행동들 중에서 자신의 유틸리티를 최대화 시킬 수 있는 행동을 선택하는 행위를 의미하며, 이렇게 선택된 행동을 최적 행동(optimal action)이라 말한다.

[0027] 상기 네트워크 형성부(100)는 소스 노드가 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 제 1 결정부(110)와, 상기 제 1 결정부(110)에서 결정된 소스 노드의 최적 행동에 대응하는 전력으로 소스 노드로부터 데이터가 송신되면, 중간 노드는 수신한 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정하는 제 2 결정부(120)로 구성된다.

[0028] 상기 매개변수 갱신부(200)는 네트워크 형성부(100)에서 결정된 소스 노드 및 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 계산하는 계산부(220)와, 상기 계산부(220)에서 계산된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드 및 중간 노드의 바이어스 전력을 각각 갱신하는 갱신부(210)로 구성된다. 이때, 상기 계산부(220)는 시스템 처리량의 경우 네트워크 내 노드들의 최적 반응 결과에 따라 소스 노드와 중간 노드 각각을 위한 서로 다른 값이 계산되고, 계산된 전송 실패 패널티의 경우 소스 노드와 중간 노드의 구분 없이 네트워크 내 모든 노드들이 서로 동일한 값으로 계산된다.

[0029] 따라서 상기 갱신부(210)는 소스 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 소스 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 제 1 갱신부와, 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 중간 노드의 바이어스 전력을 갱신하는 제 2 갱신부로 구성된다.

[0031] 이와 같이 구성된 본 발명에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 시스템의 행동을 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명하면 다음과 같다. 도 1과 동일한 참조부호는 동일한 기능을 수행하는 동일한 부재를 지칭한다.

[0032] 도 2 는 본 발명의 실시예에 따른 선택적 네트워크 코딩이 가능한 분산적 자가 구성 무선 네트워크 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0033] 도 2를 참조하여 설명하면, 먼저 네트워크 형성부(100)의 제 1 결정부(110)를 통해 소스 노드(S)들이 자신의 행동에 대한 최적 행동을 결정 및 수행하고(S100), 상기 결정된 소스 노드(S)들의 최적 행동을 입력으로 네트워크 형성부(100)의 제 2 결정부(120)를 통해 중간 노드(V)들이 다른 노드의 행동에 대해 최적 행동을 결정 및 수행하여 네트워크를 형성한다(S200). 이때 상기의 최적 반응(best response)이란, 자신이 선택할 수 있는 후보 행동들 중에서 자신의 유틸리티를 최대화 시킬 수 있는 행동을 선택하는 행위를 의미하며, 이렇게 선택된 행동을 최적 행동(optimal action)이라 말한다.

[0034] 상기 S100 단계의 소스 노드(S)들이 최적 반응을 결정하는 방법은 도 3에서 설명하고 있는 것과 같이, 먼저 스테이지 게임의 최종 네트워크에서 $1 \leq s \leq N_s$ 에 대한 소스 노드(S) 데이터를 생성한다(S110). 이때, 스테이지 게임은 도 1에서 설명된 네트워크 형성부(100)와 매개변수 갱신부(200) 과정을 모두 거치는 것으로, 스테이지 게임의 결과로 네트워크 형성 및 데이터 전송이 일어난다. 스테이지 게임 후에 결정된 네트워크에서 전송실패가 발생한다면 스테이지 게임은 반복되고, 만약 전송실패가 없다면 자가 구성 네트워크(self-organizing network) 형성은 종료되고 해당 네트워크 토폴로지를 계속적으로 사용한다.

[0035] 이어, 소스 노드(S)들이 각각 자신의 행동들의 행동후보들 중 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정한다(S120). 이때, 소스 노드(S)들 중 소스 노드 i의 최적 반응 a_i^* 는 a_{-i} 로 주어진 유틸리티를 최대로 하는 행동이며, 다음 수학적 식 1과 같이 표현된다.

수학적 식 1

$$a_i^* = \arg \max_{a_i \in \mathbf{a}_i} u_{i,t}(a_i, a_{-i})$$

[0036]

[0037] 여기서 a_i 는 i 의 동작을 나타내는 것으로, 이는 어떤 노드가 최적 행동을 고를 때 고려하는 ‘행동후보’ 들이다. 이때, 소스 노드의 경우에는 노드사이의 유클리드 거리를 고려하는 것으로 행동후보가 결정되며, 다음 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

[0038]
$$\mathbf{a}_i = \{a_i | a_i = l_{ij}, i \in S, j \in \{i, V, T\}\}$$

[0039] 여기서 l_{ij} 는 노드 i 와 노드 j 사이의 유클리드 거리를 나타내며, $i = j$ 이면 $l_{ij} = 0$ 이다.

[0040] 그리고 소스 노드(S)들은 수학식 2를 통한 유클리드 거리를 이용하여 최적 행동을 결정하고, 결정된 최적 행동에 대응하는 소비전력의 전력으로 상기 생성된 데이터를 무선 전송한다(S130).

[0042] 또한, 상기 S200 단계의 중간 노드(V)들이 최적 행동을 결정하는 방법은 도 4에서 설명하고 있는 것과 같이, 소스 노드(S)들(또는 이전 중간 노드(V)들)로부터 데이터를 수신하면(S210), 중간 노드(V)들이 각각 상기 수신되는 데이터를 기반으로 다른 노드의 행동에 대해 최적 반응을 가지는 최적 행동을 결정한다(S220). 이때, 중간 노드(V)들 중 중간 노드 i 의 최적 반응 a_i^* 는 a_{-i} 로 주어진 유틸리티를 최대로 하는 행동이며, 상기 수학식 1과 같이 표현된다.

[0043] 상기 수학식 1에서 a_i 는 i 의 동작을 나타내는 것으로, 이는 어떤 노드가 최적 행동을 고를 때 고려하는 ‘행동후보’ 들이다. 이때, 중간 노드의 경우에는 네트워크 코딩을 할 수 있는 노드이기 때문에 노드사이의 유클리드 거리 및 네트워크 코딩을 할지의 경우의 수를 모두 고려한다.

[0044] 중간 노드의 동작은 소스 노드와 달리 전송 범위뿐만 아니라 네트워크 코딩을 사용하는지 여부도 결정한다. 따라서 $i \in V$ 의 경우, 중간 노드에서의 행동후보는 다음 수학식 3과 같이 표현된다.

수학식 3

[0045]
$$\mathbf{a}_i = \{a_i | a_i = (l_{ij}, e), i \in V, j \in \{V, T\}, e \in \{0, \bar{e}\}\}$$

[0046] 여기서 e 는 네트워크 코딩 작업에 필요한 소비 전력을 나타내고, l_{ij} 는 노드 i 와 노드 j 사이의 유클리드 거리를 나타낸다.

[0047] 그리고 중간 노드(V)들은 수학식 3을 통해 유클리드 거리와 네트워크 코딩 수행에 필요한 소비전력을 고려하여 최적 행동을 결정한다.

[0048] 이렇게 결정된 수행할 최적 행동이 네트워크 코딩을 수행하는 결정인지를 판단한다(S230). 이때, 상기 네트워크 코딩의 수행 결정은 중간 노드가 선택한 행동후보에 의해 결정되는데, 상기 결정된 행동후보의 행동이 네트워크 코딩을 수행하는 경우에는 네트워크 코딩을 수행하는 것으로 결정되고, 결정된 행동후보의 행동이 네트워크 코딩을 수행하지 않는 경우에는 네트워크 코딩을 수행하지 않는 것으로 결정된다.

[0049] 즉, 네트워크 코딩을 수행한 행동후보는 수학식 3에서 나타내는 소비 전력 e 의 값이 0(zero)이 아닌 값을 나타내게 되고, 네트워크 코딩을 수행하지 않는 행동후보는 수학식 3에서 나타내는 소비전력 e 의 값이 0(zero)을 나타내게 된다.

[0050] 이때, 상기 네트워크 코딩의 수행을 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0051] $x_1, \dots, x_{N_S}$ 를 소스 노드 $s_1, \dots, s_{N_S}$ 가 각각 생성하는 소스 데이터라 할 때, x_i 가 소스 노드 s_i 로부터 브로드캐스트되면, s_i 의 전송 범위에 있는 중간 및 터미널 노드는 x_i 를 수신 할 수 있다. 그리고 $\mathcal{L}_{v_i}$ 를 중간

노드 v_i 에 도달 한 데이터 집합이라 할 때, 집합의 원소의 개수가 두 개 이상이면($|\mathcal{L}_{v_i}| \geq 2$), v_i 는 $\mathcal{L}_{v_i}$ 의 모든 데이터를 결합하여 다음 수학적 4에서와 같이 네트워크 코딩 작업을 수행 할 수 있다.

수학적 4

$$y_i = \sum_{y_j \in \mathcal{L}_{v_i}} \bigoplus (c_j \otimes y_j) = \sum_{s=1}^{N_S} \bigoplus (C_{is} \otimes x_s)$$

[0052]

여기서, c_j 는 로컬 코딩 계수이고, C_{is} 는 글로벌 코딩 계수이고, y_i 는 인코딩된 데이터이다. 이때, 상기 글로벌 코딩 계수는 새로운 로컬 코딩 계수를 곱하여 모든 인코딩 프로세스에서 갱신된다. 글로벌 코딩 계수의 벡터를 헤더로, y_i 를 페이로드(payload)하여 패킷을 구성한다. 즉, $p_i = [C_{i1}, \dots, C_{iN_S}, y_i]$ 이다.

[0053]

본 발명에서는 랜덤 선형 네트워크 코딩(RLNC)을 기반으로 네트워크 코딩을 구현하고 연산은 갈루아 필드(GF)에서 수행된다. 그리고 네트워크 내의 모든 데이터는 $GF(2^M)$ (즉, $x_s \in GF(2^M)$) 로 표시되는 크기 2^M 의 GF의 요소이고, c_j 는 $GF(2^M)$, 즉 $c_j \in GF(2^M)$ 에서 균일하게 랜덤 선택된다. 연산자 $\oplus$ 와 $\otimes$ 는 GF에서의 덧셈과 곱셈을 각각 나타낸다.

[0054]

터미널 노드는 글로벌 코딩 계수 행렬 C 와 네트워크 코딩된 데이터 y 를 포함하는 N_S 혁신 패킷(innovative packets)이 주어지면, $\hat{x} = [\hat{x}_1 \dots \hat{x}_{N_S}]^T$ 에서, $\hat{x} = C^{-1} \odot y$ 를 기반으로 소스 데이터의 벡터를 재구성함으로써 디코딩 프로세스를 수행 할 수 있다. 연산자 $\odot$ 는 GF에서 행렬 곱셈을 나타낸다.

[0055]

행렬 반전(matrix inversion)의 연산을 위해, GF에서 잘 알려진 가우시안(Gaussian) 소거법이 전개되고 재구성된 소스 데이터 $\hat{x}_1 \dots \hat{x}_{N_S}$ 가 유일하게 결정될 수 있다.

[0056]

이어, 상기 결정된 최적 행동에 대응하는 전송 전력으로 데이터를 무선 전송한다(S260).

[0057]

이처럼 네트워크 형성부(100)의 네트워크 형성 과정에서 노드는 유틸리티 기능을 최적 반응하는 행동을 결정하는데, 이를 위해, 최적 행동의 결정을 내리려면 유틸리티 함수의 매개변수를 적절하게 갱신하여야 한다.

[0058]

따라서 매개변수 갱신부(200)에서는 상기 네트워크 형성부(100)에서 결정된 최적 행동을 기반으로 네트워크에서의 시스템 처리량($\gamma_{i,t}(a_i^*, a_{-i}^*)$)과 전송 실패 패널티($\delta_t(a_i^*, a_{-i}^*)$)를 계산한다(S300). 즉, 네트워크 형성부(100)는 t번째 스테이지 게임에서 (a_i^*, a_{-i}^*) 를 감안할 때, 계산부(220)를 통해 소스 노드 i 및 중간 노드 i는 보상 매개 변수 $f(\gamma_{i,t}(a_i^*, a_{-i}^*))$ 와 패널티 매개변수 $g(\delta_t(a_i^*, a_{-i}^*))$ 를 계산한다.

[0059]

그리고 전송 실패가 발생하면(S400), 바이어스 전력($w_{i,t}(a_i, a_{-i})$)을 갱신한다(S500). 즉, 갱신부(210)를 통해 상기 계산된 보상 매개 변수 및 패널티 매개변수를 이용하여 바이어스 전력 $w_{i,t+1}(a_i^*, a_{-i}^*)$ 를 갱신하게 된다.

[0060]

또한 전송이 성공하면(S400), 이때 결정된 행동을 모든 노드들은 유지하며 따라서 자가구성 네트워크의 토폴로지는 완성된다.

[0061]

한편, 소스 노드와 중간 노드의 최적 반응에 따라 시스템 처리량은 서로 다른 값으로 계산되고, 전송 실패 패널티는 소스 노드와 중간 노드의 구분 없이 서로 동일한 값으로 계산된다. 따라서 소스 노드의 바이어스 전력의 갱신은 소스 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널티를 이용하여 계산되고, 중간 노드의 바이어스 전력의 갱신은 중간 노드의 최적 반응을 기반으로 산출된 시스템 처리량 및 전송 실패 패널

[0062]

티를 이용하여 계산된다.

[0064] 상기 S300의 단계를 좀 더 상세히 설명하면, 노드 i 에 대해, $\mathbf{E} = \{E(a_i) | a_i \in \mathbf{a}_i\}$ 를 $\mathbf{a}_i$ 의 모든 행동에 대한 소비전력 세트라 할 때, $E_{[m]} \in \mathbf{E}$ 를 E 의 m 번째로 작은 구성 요소, 즉 $1 \leq m \leq |\mathbf{a}_i| - 1$ 에 대한 $E_{[m]} \leq E_{[m+1]}$ 과 $E_{[m]}$ 에 대한 행동을 $a_{[m]}$ 로 정의한다. 즉, $E(a_{[m]}) = E_{[m]}$ 이다.

[0065] 그러면, 초기 단계에서 노드 i 에 대해 결정된 최적 반응 a_i^* 는 다음 수학식 5와 같이 결정된다.

수학식 5

[0066]
$$a_i^* = \arg \max_{a_i \in \mathbf{a}_i} (w_0 - E_{[m]}) = \arg \min_{a_i \in \mathbf{a}_i} E(a_{[m]}) = a_{[1]}$$

[0067] 첫 번째 스테이지 게임의 가장 좋은 행동인 $a_i^* = a_{[1]}$ 가 주어지면, 바이어스 전력 $w_{i,2}(a_{[1]}, a_{-i}^*)$ 는 다음 수학식 6에 의해 갱신된다. 이에 따라 두 번째 스테이지 게임의 유틸리티는 $u_{i,2}(a_{[1]}, a_{-i}^*) = w_0 + f(\gamma_{i,1}(a_{[1]}, a_{-i}^*)) - g(\delta_1(a_{[1]}, a_{-i}^*)) - E_{[1]}$ 으로, $2 \leq m \leq |\mathbf{a}_i|$ 에 대해 $u_{i,2}(a_{[m]}, a_{-i}) = w_0 - E_{[m]}$ 이다.

수학식 6

[0068]
$$\begin{aligned} w_{i,t}(a_i, a_{-i}) &= w_0 + \sum_{\tau=0}^{t-1} f(\gamma_{i,\tau}(a_i, a_{-i})) - \sum_{\tau=0}^{t-1} g(\delta_{\tau}(a_i, a_{-i})) \\ &= w_{i,t-1}(a_i, a_{-i}) + f(\gamma_{i,t-1}(a_i, a_{-i})) - g(\delta_{t-1}(a_i, a_{-i})) \end{aligned}$$

[0069] 여기서 $w_0 = w_{i,1}(a_i, a_{-i})$ 는 바이어스 전력을 나타낸다.

[0070] 이에 따라, 다음 스테이지 게임에서, 다른 행동 $a_{[2]}$ 는 다음 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0071]
$$\begin{aligned} u_{i,t}(a_{[1]}, a_{-i}^*) &= w_0 + \sum_{\tau=1}^t (f(\gamma_{i,\tau}(a_{[1]}, a_{-i}^*)) - g(\delta_{\tau}(a_{[1]}, a_{-i}^*))) - E_{[1]} \\ &< w_0 - E_{[2]} = u_{i,t}(a_{[2]}, a_{-i}^*). \end{aligned}$$

[0072] 이것은 다음 수학식 8의 조건으로 이어진다.

수학식 8

$$\sum_{\tau=1}^t (f(\gamma_{i,\tau}(a_{[1]}, a_{-i}^*)) - g(\delta_{\tau}(a_{[1]}, a_{-i}^*))) < E_{[1]} - E_{[2]} < 0$$

[0073]

[0074] 동일한 방법으로 다른 행동 $a_{[m]}$ 은 다음 수학식 9와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 9

$$f(\gamma_{i,t}(a_i^*, a_{-i}^*)) - g(\delta_t(a_i^*, a_{-i}^*)) < 0$$

[0075]

[0076] 상기 수학식 9의 조건을 만족하면 다른 행동을 스테이지 게임에 적용 할 수 있다. 수학식 9의 조건은 $w_{i,t}(a_i^*, a_{-i}^*)$ 를 축소 함수(decreasing function)로 만들고, 또한 유틸리티 함수 $u_{i,t}(a_i^*, a_{-i}^*)$ 를 만든다.

[0077] 또한 다음 수학식 10이면, 네트워크 형성 과정에서 모든 행동을 조사 할 수 있다.

수학식 10

$$|f(\gamma_{i,t}(a_i^*, a_{-i}^*)) - g(\delta_t(a_i^*, a_{-i}^*))| < \min_m (E_{[m+1]} - E_{[m]})$$

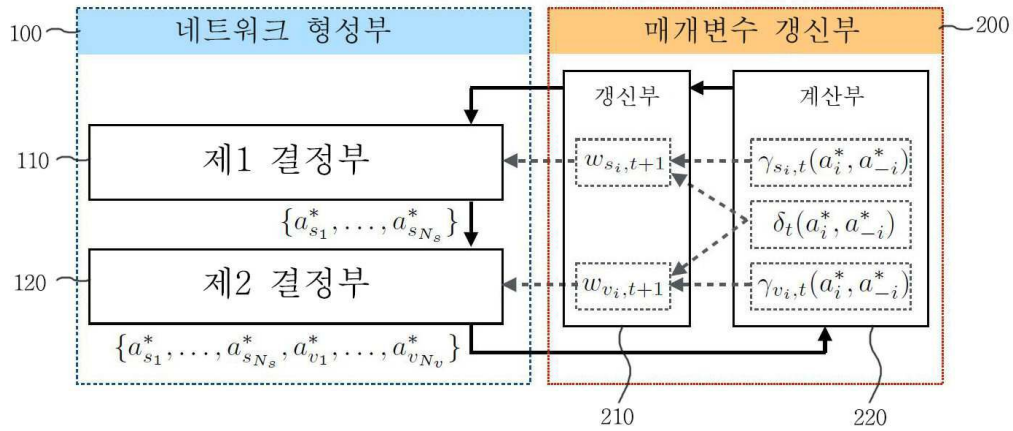
[0078]

[0079] 상기 수학식 9, 10의 조건이 만족되면, 소스 노드에서 터미널 노드로 데이터를 전송하는 행동을 포함하므로, 한정되는 스테이지에서 $\delta_t(a_i^*, a_{-i}^*) = 0$ 을 이루는 (a_i^*, a_{-i}^*) 를 반환한다는 것을 보장한다.

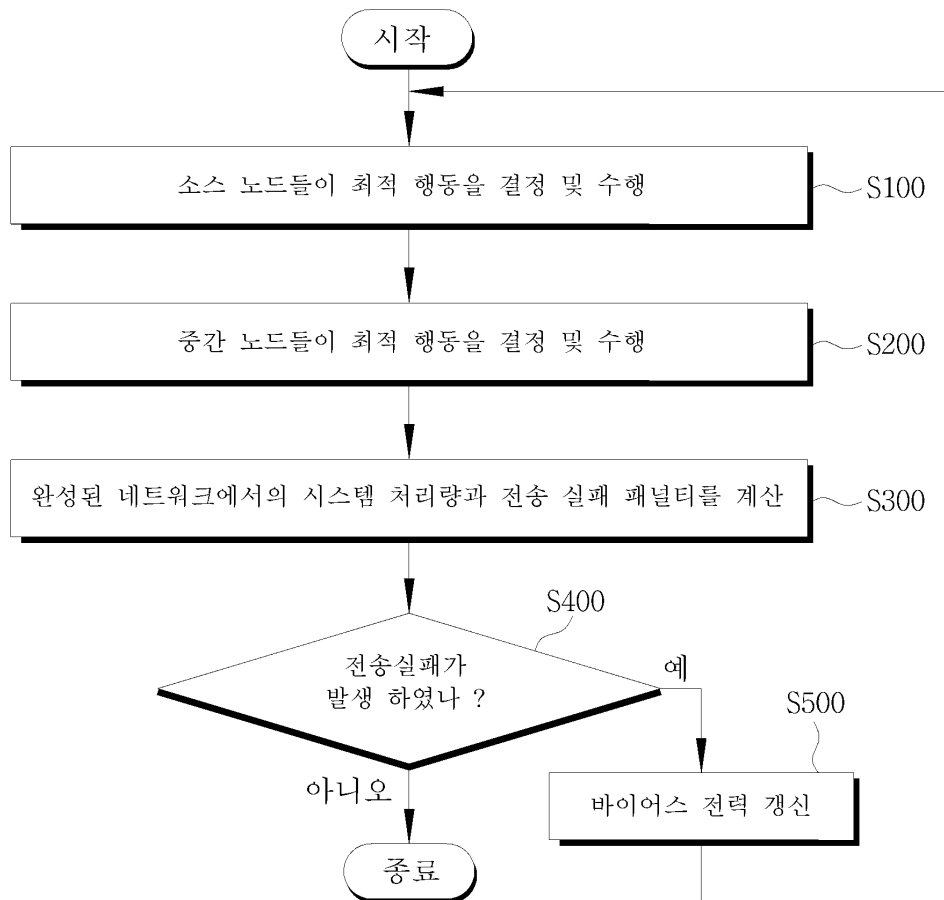
[0081] 상기에서 설명한 본 발명의 기술적 사상은 바람직한 실시예에서 구체적으로 기술되었으나, 상기한 실시예는 그 설명을 위한 것이며 그 제한을 위한 것이 아님을 주의하여야 한다. 또한, 본 발명의 기술적 분야의 통상의 지식을 가진자라면 본 발명의 기술적 사상의 범위 내에서 다양한 실시예가 가능함을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

도면

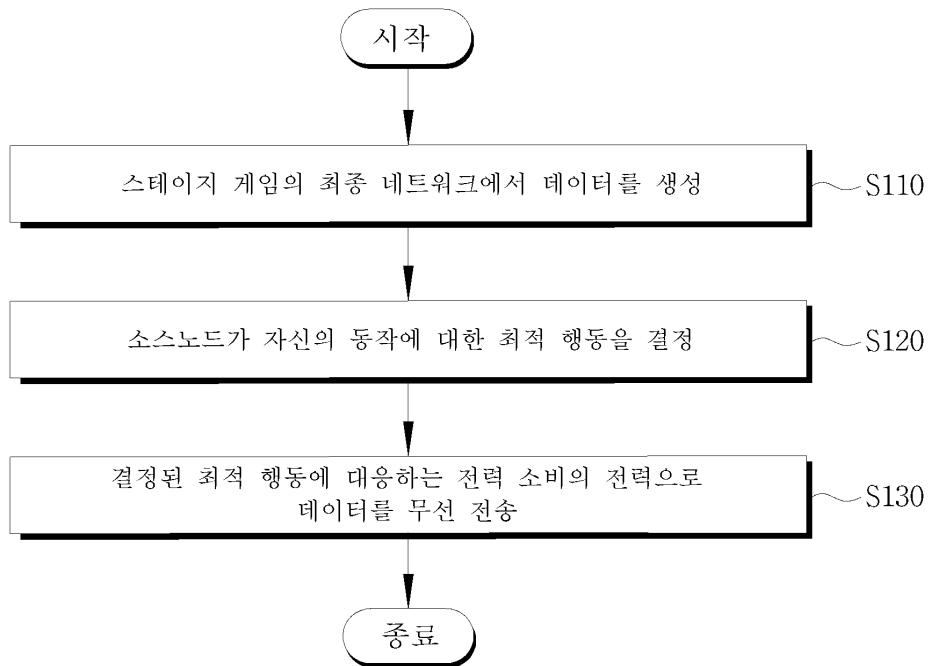
도면1



도면2



도면3



도면4

