



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년04월07일

(11) 등록번호 10-1507102

(24) 등록일자 2015년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G05B 19/418 (2006.01) G05B 13/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0047471

(22) 출원일자 2014년04월21일

심사청구일자 2014년04월21일

(56) 선행기술조사문헌

논문(2012.03)

논문(2010.03)

KR101180994 B1

(73) 특허권자

한국기술교육대학교 산학협력단

충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1600, 내 (한국기술교육대학교)

(72) 발명자

유지환

충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 한국기술교육대학교

(74) 대리인

이성원

전체 청구항 수 : 총 5 항

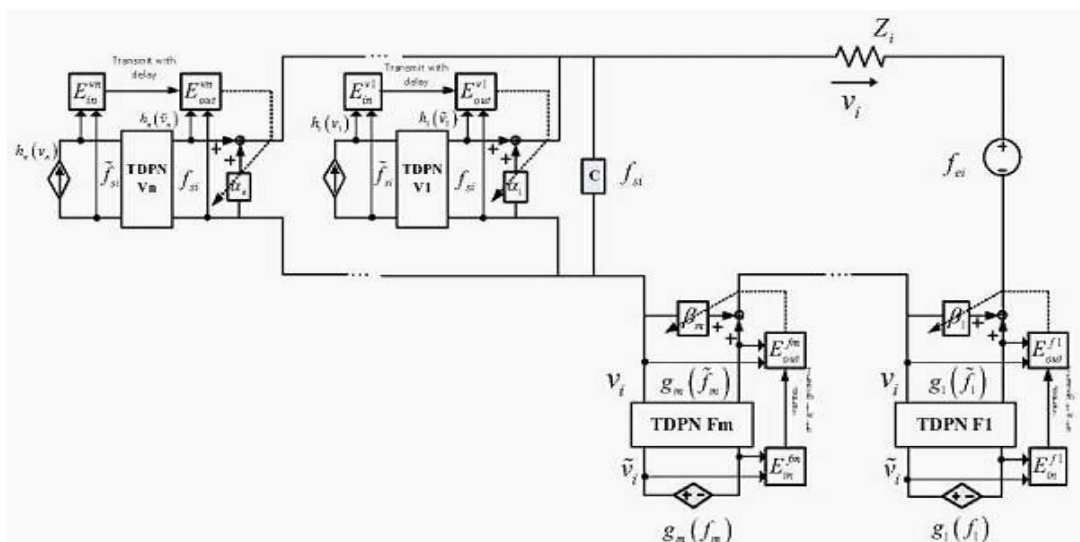
심사관 : 강석제

(54) 발명의 명칭 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법

(57) 요약

다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법이 제공된다. 상기 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법은, 다수의 터미널(마스터 또는 슬레이브)을 포함하는 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법에 있어서, 각 터미널의 수신 신호만을 고려하여, 속도 신호 및 힘 신호를 전류 및 전압에 각각 매핑하는 단계, 터미널 i에서의 속도 신호의 조합을 다수의 슬레이브로부터의 지연된 속도 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계, 터미널 i에서의 피드백 힘 신호의 조합을 다수의 터미널로부터의 지연된 힘 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계, 및 상기 터미널 i에서의 속도 신호의 조합의 가정 및 피드백 힘 신호의 조합의 가정에 기초하여 지연된 에퍼트 소스의 공역 전력 쌍 및 지연된 플로우 소스의 공역 전력 쌍을 결정하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도8



명세서

청구범위

청구항 1

다수의 터미널(마스터 또는 슬레이브)을 포함하는 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법에 있어서,
 각 터미널의 수신 신호만을 고려하여, 속도 신호 및 힘 신호를 전류 및 전압에 각각 매핑하는 단계;
 터미널 i에서의 속도 신호의 조합을 다수의 슬레이브로부터의 지연된 속도 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계;
 터미널 i에서의 피드백 힘 신호의 조합을 다수의 터미널로부터의 지연된 힘 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계; 및
 상기 터미널 i에서의 속도 신호의 조합의 가정 및 피드백 힘 신호의 조합의 가정에 기초하여 지연된 에퍼트 소스의 공액 전력 쌍 및 지연된 플로우 소스의 공액 전력 쌍을 결정하는 단계를 포함하는, 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 터미널 i에서의 속도 신호의 조합을 다수의 슬레이브로부터의 지연된 속도 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계는 수학적 식 1과 같이 가정하는 단계이고,
 상기 터미널 i에서의 피드백 힘 신호의 조합을 다수의 터미널로부터의 지연된 힘 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계는 수학적 식 2와 같이 가정하는 단계이고,
 상기 지연된 에퍼트 소스의 공액 전력 쌍 및 지연된 플로우 소스의 공액 전력 쌍을 결정하는 단계는 수학적 식 3 및 수학적 식 4와 같이 결정하는 단계인, 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법.

[수학적 식 1]

$$v_{sdi} = h_1(\tilde{v}_1) + h_n(\tilde{v}_2) + \dots + h_n(\tilde{v}_n) = \sum_{p=1}^n (h_p(\tilde{v}_p))$$

수학적 식 1에서, v_{sdi} 는 터미널 i에서의 목적 속도 신호이고, $h_p(v_p)$ 는 터미널 p로부터의 지연된 속도 신호 $\tilde{v}_p$ 의 함수이다.

[수학적 식 2]

$$f_{ci} = g_1(\tilde{f}_1) + g_2(\tilde{f}_2) + \dots + g_m(\tilde{f}_m) = \sum_{q=1}^m (g_q(\tilde{f}_q))$$

수학적 식 2에서, f_{ci} 는 터미널 i에서의 피드백 힘 신호이고, $g_q(\tilde{f}_q)$ 는 터미널 q로부터의 지연된 힘 신호 $\tilde{f}_q$ 의 함수이다.

[수학식 3]

$$\begin{cases} \text{Effort: } g_q(\tilde{f}_q) = g_q(f_q(t - T_q)), q \in \{1, 2, \dots, m\} \\ \text{Flow: } v_i \end{cases}$$

수학식 3에서, v_i 는 터미널 i에서 결과 속도 신호이다.

[수학식 4]

$$\begin{cases} \text{Effort: } f_{si} \\ \text{Flow: } h_p(\tilde{v}_p) = h_p(v_p(t - T_p)), p \in \{1, 2, \dots, n\} \end{cases}$$

수학식 4에서, f_{si} 는 터미널 i에서 속도 컨트롤러의 출력 힘 신호이다.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 지연된 에퍼트 소스를 지연되지 않는 위치에 시프트시키고, 시간 지연 전력 네트워크를 연결하는 단계; 및
상기 지연된 플로우 소스를 지연되지 않는 위치에 시프트시키고, 시간 지연 전력 네트워크를 연결하는 단계를 더 포함하는, 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 시간 지연 전력 네트워크에 시간 영역 수동성 기법을 구현하여, 수동성 관찰기 및 수동성 제어기 쌍이 에너지 플로우를 모니터링하여 활성 에너지를 제거하도록 하는 단계를 더 포함하는, 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 다자간 원격조종 시스템은 복수의 마스터를 포함하거나, 복수의 슬레이브를 포함하거나, 또는 복수의 마스터 및 복수의 슬레이브를 포함하는, 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 다자간 원격조종 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

원격조종 시스템은 로봇공학 영역에서 가장 어려운 문제 중의 하나가 되고 있다. 자율 로봇이 개발되고 많은 성공을 거두었음에도 불구하고, 많은 애플리케이션이 원격지 및 인간의 개입이 대체될 수 없는 곳에서 로봇이 복잡한 작업을 수행하는 것을 필요로 하고 있다. 원격조종 시스템에서, 인간 조작자(operator)는 네트워크를 통해 통신하는 마스터 및 슬레이브 로봇을 이용하여 작업을 수행한다. 네트워크 기술의 발전에 따라, 원격조종 기술은 애플리케이션이 원격수술, 원격보수 등을 가능하게 하여 더욱더 주목받고 있다. 또한, 원격조종 시스템에서, 힘(force) 피드백은, 조작자를 환경에 운동감각적으로(kinesthetically) 커플링함으로써, 복잡한 작업을 수행할 수 있는 조작자의 능력을 상당히 향상시킬 수 있다. 그러나, 원격조종 시스템의 분산된 마스터-슬레이브 특성의

로 인해서, 시간 지연(time-delay)은 피할 수 없다. 시간 지연은, 비록 작더라도, 힘 피드백이 시스템을 폐쇄시킬 때 불안정한 동작을 발생시킨다.

[0003] 여러 조작자가 협력하여 복잡한 작업을 수행하는 많은 애플리케이션에서, 다수의 조작자가 다수의 슬레이브 로봇을 제어하는 다자간 원격조종 시스템이 필요하다. 다자간 원격조종 시스템의 분산된 특성은 통신 시간 지연의 문제를 더욱 증대하게 만든다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 적응 제어, PD 제어, 과장 변수 등과 같은 몇몇 방법이 제안되었다.

[0004] "A Passive bilateral control scheme for a teleoperator with time - varying communication delay, Elsevier journal of Mechatronics, Vol. 20, No. 7, pp. 812 - 823, 2010."에서 제안된 프레임워크 시간 영역 수동성 기법은 임의의 통신 시간 지연 및 데이터 손실 하에서 시스템의 안정성을 보장하고, 어떠한 제어 구조에도 호환되며, 모호한 인과관계를 포함하는 양자간 원격조종 시스템을 처리하기 위하여, 시간 지연 전력 네트워크(Time Delay Power Network, TDPN)를 이용하는 것으로 확장되었다. "Passivity of Delayed Bilateral Teleoperation of Mobile Robots with Ambiguous Causalities: Time Domain Passivity Approach, Intelligent Robots and Systems (IROS), 2012 IEEE/RSJ International Conference on, pp. 2635-2640, 7-12 Oct. 2012."에서는, 시간 영역 수동성 기법(Time Domain Passivity Approach, TDPA) 및 시간 지연 전력 네트워크를 활용하여, 다양한 타입의 힘 피드백과 이러한 힘들의 조합을 포함하는 평가(rate) 모드의 이동 로봇 원격조종 시스템을 안정화시켰다. "A Peer-to-Peer Trilateral Passivity Controller for Delayed Collaborative Teleoperation, EuroHaptics 2012, Part I, LNCS 7282, pp. 395-406, 2012."에서는, 시간 영역 수동성 기법을 이용하여 임의의 제어 구조 및 임의의 통신 딜레이를 포함하는 삼자간 원격조종 시스템을 안정화하는 일반적인 방법을 제안하였다. 그러나, 이 방법은 주어진 제어 구조를 포함하는 삼자간 제어 설계에 제한되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명이 해결하려는 과제는 안정화된 다자간 원격조종 시스템을 설계할 수 있는 일반화된 프레임워크를 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하려는 과제들은 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 측면(aspect)에 따른 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법은, 다수의 터미널(마스터 또는 슬레이브)을 포함하는 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법에 있어서, 각 터미널의 수신 신호만을 고려하여, 속도 신호 및 힘 신호를 전류 및 전압에 각각 매핑하는 단계, 터미널 i 에서의 속도 신호의 조합을 다수의 슬레이브로부터의 지연된 속도 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계, 터미널 i 에서의 피드백 힘 신호의 조합을 다수의 터미널로부터의 지연된 힘 신호의 함수의 합으로 가정하는 단계, 및 상기 터미널 i 에서의 속도 신호의 조합의 가정 및 피드백 힘 신호의 조합의 가정에 기초하여 지연된 에퍼트 소스의 공역 전력 쌍 및 지연된 플로우 소스의 공역 전력 쌍을 결정하는 단계를 포함한다.

[0008] 본 발명의 기타 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0009] 상기 본 발명의 다자간 원격조종 시스템의 안정화 방법에 따르면, 마스터/슬레이브의 수, 시간 지연의 크기, 제어 및 통신 구조와 독립적인 안정화된 다자간 원격조종 시스템을 설계할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1은 다자간 원격조종 시스템을 도시하는 도면이다.

도 2는 다수의 힘 및 속도 소스를 포함하는 i 번째 터미널의 네트워크 표현을 도시하는 도면이다.

도 3은 다수의 힘 소스만을 고려한 i 번째 터미널의 네트워크 표현을 도시하는 도면이다.

도 4는 다수의 힘 소스를 포함하는 i 번째 터미널의 증강 네트워크 표현을 도시하는 도면이다.

도 5는 다수의 속도 소스만을 고려한 i번째 터미널의 네트워크 표현을 도시하는 도면이다.

도 6은 다수의 속도 소스를 포함하는 i번째 터미널의 증강 네트워크 표현을 도시하는 도면이다.

도 7은 다수의 힘 및 속도 소스를 포함하는 i번째 터미널의 증강 네트워크 표현을 도시하는 도면이다.

도 8은 시간 영역 수동성 기법이 구현된 다자간 원격조종 시스템을 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 기술자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.
- [0012] 하나의 구성요소(elements)가 다른 구성요소와 "연결된(connected to)" 또는 "커플링된(coupled to)" 이라고 지칭되는 것은, 다른 구성요소와 직접 연결 또는 커플링된 경우 또는 중간에 다른 구성요소를 개재한 경우를 모두 포함한다. 반면, 하나의 구성요소가 다른 구성요소와 "직접 연결된(directly connected to)" 또는 "직접 커플링된(directly coupled to)"으로 지칭되는 것은 중간에 다른 구성요소를 개재하지 않은 것을 나타낸다.
- [0013] 본 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성요소를 지칭한다.
- [0014] 본 명세서에서 "및/또는"은 언급된 아이템들의 각각 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.
- [0015] 비록 제1, 제2 등이 다양한 구성요소, 모듈 및/또는 섹션들을 서술하기 위해서 사용되나, 구성요소, 모듈 및/또는 섹션들은 이들 용어에 의해 제한되지 않음은 물론이다. 이들 용어들은 단지 하나의 구성요소, 모듈 또는 섹션들을 다른 구성요소, 모듈 또는 섹션들과 구별하기 위하여 사용하는 것이다. 따라서, 이하에서 언급되는 제1 구성요소, 제1 모듈 또는 제1 섹션은 본 발명의 기술적 사상 내에서 제2 구성요소, 제2 모듈 또는 제2 섹션일 수도 있음은 물론이다.
- [0016] 본 명세서에서 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다.
- [0017] 본 명세서에서 사용되는 "포함한다(comprises)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급된 구성요소, 모듈 및/또는 섹션 외에 하나 이상의 다른 구성요소, 모듈 및/또는 섹션의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.
- [0018] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 통상의 기술자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.
- [0019] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명하기로 한다.
- [0020] 1. 개요
- [0021] 본 발명은 마스터/슬레이브의 수, 시간 지연의 크기, 제어 및 통신 구조와 독립적인 안정화된 다자간 원격조종 시스템을 설계할 수 있는 일반화된 프레임워크를 제안한다. 본 발명의 주요 공헌은 시간 영역 수동성 기법의 구현을 위하여 명확한 에너지 플로우를 갖도록, 다자간 원격조종 시스템의 네트워크 표현 방법을 제안하는 것이다. 특히, 여러 마스터 및 슬레이브가 통신 시간 지연을 포함하여 신호를 교환하는 때에, 공액(conjugate) 에너지 쌍을 어디에 위치시킬 것인지 또는 무엇인지가 불명확하다. 본 명세서는 시간 영역 수동성 기법을 이용하여 이러한 문제를 해결하는 방법 및 수동성을 입증한다.
- [0022] 이하에서는 2.에서 다자간 원격조종 시스템의 네트워크 표현, 3.에서 수동성 분석 및 제안된 프레임워크를 설명하기로 한다.
- [0023] 2. 다자간 원격조종 시스템의 네트워크 표현
- [0024] 도 1은 네트워크를 통해 n개의 슬레이브(20)와 이를 조작하기 위해 사용되는 m개의 마스터(10)를 포함하는 다자간 원격조종 시스템(1)을 도시한다. 다자간 원격조종 시스템(1)에서, 속도 및/또는 힘 신호는 마스터(10) 및 슬레이브(20)를 운동감각적으로 커플링하기 위하여 교환된다. 이와 같은 복잡한 다자간 원격조종 시스템(1)을 안정화시키는 것은 어려우며, 이 문제를 해결하기 위한 시도가 많지 않았다.
- [0025] 본 발명에서는, 시간 지연 원격조종 시스템의 컨트롤러로 성공적으로 사용되는 시간 영역 수동성 기법을 이용하

여, 다자간 원격조종 시스템을 안정화시키는 일반적 프레임워크를 제안한다. 그러나, 시간 영역 수동성 기법을 이용하기 위하여, 시스템을 명확한 에너지 플로우를 갖는 전기 네트워크 회로로 표현하는 것이 필요하다.

[0026]

신호 플로우만을 포함하는 다자간 원격조종 시스템의 통상적인 표현을 에너지 플로우를 갖는 네트워크 표현으로 변환하기 위하여, 각각의 네트워크 포트에서 전력 공액 쌍(힘 및 속도)을 명확하게 식별하는 것이 필요하다. 다자간 원격조종 시스템에서, 디바이스(device)에 할당된 힘은 종종 힘 및 속도 신호의 조합 또는 이들 중 하나이므로, 이러한 전력 공액 쌍을 식별하는 것은 어렵다. 이것은 일반적으로 제어 구조에 종속적이다. 본 섹션에서는, 다자간 원격조종 시스템을, 타임 영역 수동성 기법 프레임워크를 구현할 수 있도록, 명확한 에너지 관계를 갖는 네트워크로 표현하는 방법을 제안한다.

[0027]

각각의 마스터(10) 또는 슬레이브(20)(이하, 터미널)에서는, 터미널에의 수신(incoming) 신호 및 터미널로부터의 발신(outgoing) 신호가 존재한다. 일반적으로, 포트로부터의 발신 신호들은 상기 포트에 직접적인 영향을 미치지 않지만, 다른 포트로부터의 발신 신호들에 의해 영향을 받은 수신 신호를 통해서, 간접적인 영향을 미친다. 그러므로, 신호의 종속성이 고려되는 한, 포트를 모델링하기 위해서, 수신 신호만을 고려하는 것으로도 충분하다.

[0028]

속도를 전류에, 그리고 힘을 전압에 매핑하고, 각 터미널에의 수신 신호만을 고려하는 종래의 기계 전기적 분석을 이용하여, 도 2에 도시된 바와 같이, 각각의 포트를 전기 회로로 표현할 수 있다. 터미널 i에서의 목적 속도

(v_{sdi}) 및 피드백 힘(f_{ci})은 각각 종속 전류 및 에퍼트(effort) 소스로 표현된다. 터미널 i에서, v_i 는 결과 속도이고, Z_i 는 디바이스의 임피던스이고, c 는 슬레이브 컨트롤러이고, f_{ei} 는 i번째 터미널에 할당되는 외부 힘이다.

[0029]

터미널 i에서의 속도 신호의 조합을 다음의 수학적 식 1과 같이 가정한다.

[0030]

[수학적 식 1]

$$v_{sdi} = h_1(\tilde{v}_1) + h_n(\tilde{v}_2) + \dots + h_n(\tilde{v}_n) = \sum_{p=1}^n (h_p(\tilde{v}_p))$$

[0031]

수학적 식 1에서, $h_p(v_p)$ 는 터미널 p로부터의 속도 신호 v_p 의 함수이다. $\tilde{v}_p$ 는 통신 네트워크 후의 v_p 의 지연된 신호이다.

[0032]

[0033]

유사하게, 피드백 힘 신호의 조합을 다음의 수학적 식 2와 같이 가정한다.

[0034]

[수학적 식 2]

$$f_{ci} = g_1(\tilde{f}_1) + g_2(\tilde{f}_2) + \dots + g_m(\tilde{f}_m) = \sum_{q=1}^m (g_q(\tilde{f}_q))$$

[0035]

수학적 식 2에서, $g_q(\tilde{f}_q)$ 는 터미널 q로부터의 지연된 힘 커맨드 $\tilde{f}_q$ 의 함수이다. 도 2에 도시된 바와 같이, 서로 다른 값의 시간 지연을 포함하는 두 개의 다른 타입의 증강 소스가 존재한다. 그러므로, 시스템은 지연된 종속 소스로부터 생산된 활성 에너지로 인해서, 활성화되고 불안정해질 높은 가능성을 갖고 있다. 시간 영역 수동성 기법은 상기 활성 에너지를 제거하고, 시스템을 수동적으로, 그리고 안정하게 할 수 있다. 그러나, 도 2의 네트워크 표현은 활성 에너지를 주로 생산하는 지연된 통신 블록을 명확하게 도시하지 않으므로, 시간 영역 수동성 기법을 구현할 수 없다. 지연된 통신 블록을 명확하게 추출하기 위해서, 먼저 도 2의 네트워크 표현을 종속 소스에 종속적인 두 개의 네트워크로 분리할 수 있다. 도 3은 힘 소스만을 갖는 네트워크를 도시한다. 지연된 힘 소스는 수학적 식 2에 따라 증가되므로, 각각의 지연된 힘 소스는 직렬로 연결된다. 잘 알려진 바와 같이, 직렬로 연결된 전기적 가지(branch)는 동일한 전류를 공유한다.

[0036]

[0037] 따라서, 각각의 지연된 에퍼트 소스의 공액 전력 쌍은 다음의 수학적 식 3과 같이 결정된다.

[0038] [수학적 식 3]

$$\begin{cases} \text{Effort: } g_q(\tilde{f}_q) = g_q(f_q(t - T_q)), q \in \{1, 2, \dots, m\} \\ \text{Flow: } v_i \end{cases}$$

[0039]

[0040] 결과적으로, 각각의 지연된 에퍼트 소스의 전력 공액 쌍이 식별되었으므로, 각각의 통신 채널의 수동성을 독립적으로 분석하는 것이 가능해진다. 그러나, 지연된 에퍼트 소스의 전체 에너지가 지연된 에퍼트 소스의 에너지와 시간 지연에 의해 생산된 에너지의 합이므로, 시간 지연으로부터 활성 에너지만을 구별하는 것은 불가능하다. "Network Representation and Passivity of Delayed Teleoperation Systems, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 177-183, 2011."에서는, 소스를 지연되지 않는 위치에 시프트(shift)시키고, 시간 지연 전력 네트워크라 불리워지는 전송 네트워크에 위치시킴으로써, 원(original) 에퍼트 또는 플로우 소스와 함께 지연으로 인한 활성 에너지 성분을 제거하는 방법을 제안하였다. 시간 지연 전력 네트워크로 인해, 에너지의 원 소스와 지연으로 인한 활성 에너지가 분리되고, 지연되지 않은 에너지와 지연된 소스를 간단하게 비교함으로써, 시간 지연으로 인한 활성 에너지를 평가하는 것이 가능하다. 시간 지연 전력 네트워크의 아이디어를 모든 지연된 소스에 활용하면, 도 3의 네트워크 회로는 도 4에 도시된 바와 등가로 표현될 수 있다. 도 5는 속도 소스만이 고려된 네트워크를 도시한다. 속도 신호의 조합은 수학적 식 1에 따르므로, 지연된 속도 소스는 서로 병렬로 연결된다. 병렬 회로의 모든 가지에 걸친 전압은 동일하므로, 각각의 지연된 플로우 소스의 공액 전력 쌍은 다음의 수학적 식 4와 같다.

[0041] [수학적 식 4]

$$\begin{cases} \text{Effort: } f_{si} \\ \text{Flow: } h_p(\tilde{v}_p) = h_p(v_p(t - T_p)), p \in \{1, 2, \dots, n\} \end{cases}$$

[0042]

[0043] 수학적 식 4에서, f_{si} 는 i번째 터미널에서 속도 컨트롤러의 출력 힘이다.

[0044] 유사하게, 도 5의 각각의 지연된 플로우 소스를 지연되지 않는 위치에 시프트시키고, 시간 지연 전력 네트워크에 연결한다. 도 5의 전기적 스킴(scheme)은 도 6의 증강 네트워크와 등가로 표현될 수 있다.

[0045] 결과적으로, 다자간 원격조종 시스템은 수신 신호만을 고려하는 다수의 터미널(각각이 마스터 또는 슬레이브)로 분리되고, 다수의 수신 에퍼트 및 플로우 소스를 포함하는 터미널은 도 7에 도시된 바와 같이 명확한 에너지 플로우를 갖도록 표현될 수 있다.

[0046] 3. 수동성 분석 및 제안된 프레임워크

[0047] 본 발명에서, 시간 영역 수동성 기법은 시간 지연 수동 하의 통신 네트워크를 이용하여, 각각의 터미널을 생성하는 톨로서 이용된다. 시간 영역 수동성 기법은 두 개의 요소를 갖는다. 수동성 관찰기(Passivity Observer, PO)는 에너지 플로우를 모니터링하고, 시간 지연에 의해 생산된 활성 에너지의 크기를 평가하고, 수동성 제어기(Passivity Controller, PC)는 활성 에너지를 제거하여 시스템을 수동화한다. 본 섹션에서는, 다자간 원격조종 시스템의 수동성 분석이 제시되고, 시간 영역 수동성 기법을 이용하여 시스템을 안정화하는 방법이 제시된다.

[0048] 수동 시스템의 기본 특성에 기초하여, 네트워크 시스템의 모든 구성이 수동이면, 전체적인 네트워크 시스템은 수동이고 안정화될 수 있다. 적절하게 설계되어 있는 한, 도 7에 도시된 컨트롤러 임피던스(Z_i), 속도 컨트롤러(C) 등과 같은 대부분의 구성은 수동 구성이다. 시스템이 수동인 한, 생산된 모든 에너지가 제거될 수 있으므로, 이상적인 독립 소스(f_{ei}) 및 종속 소스(v_i, f_i)는 시스템의 수동성에 영향을 미치지 않는다. 오직 하나의 구성, 시간 지연 전력 네트워크만이 활성화되고, 시스템 수동성에 영향을 미칠 수 있다.

[0049] i번째 터미널에서 모든 시간 지연 전력 네트워크에 저장된 전체 에너지는 다음 수학적 식 5와 같다.

[0050] [수학식 5]

$$E_i^N(t) = E_v^N(t) + E_f^N(t)$$

[0051]

[0052] 수학식 5에서, E_v^N 및 E_f^N 는 각각 속도 커맨드 및 힘 피드백 채널에 저장된 에너지이다.

[0053] 각각의 시간 지연 전력 네트워크는 하나의 포트로부터 다른 포트로의 두 개의 에너지 플로우를 갖고, 이들 모두는 활성 에너지를 생산할 수 있다. 그러나, 종속 소스는 무제한의 크기의 에너지를 흡수할 수 있으므로, 소스로의 에너지 플로우는 시간 지연 전력 네트워크의 수동성에 영향을 미치지 않는다. 그러므로, 시간 지연 전력 네트워크의 수동성을 보장하기 위하여, 소스로부터 어카운트(account)로의 에너지 플로우를 잡는 것만으로 충분하다.

[0054] 공액 전력 쌍이 식별되므로, 시간 지연 전력 네트워크의 각각의 포트의 에너지는 쉽게 획득되고, 샘플링 시간 k에서 각각의 시간 지연 전력 네트워크에 저장된 에너지는 다음의 수학식 6과 같이 평가된다.

[0055] [수학식 6]

$$\begin{aligned} E_{v_p}^{in}(k) &= \Delta T \sum_{j=0}^k \tilde{f}_{si}(j) h_p(v_p(j)) \\ E_{v_p}^{out}(k) &= \Delta T \sum_{j=0}^k f_{si}(j) h_p(\tilde{v}_p(j)) \\ E_{f_q}^{in}(k) &= \Delta T \sum_{j=0}^k \tilde{v}_i(j) g_q(f_q(j)) \\ E_{f_q}^{out}(k) &= \Delta T \sum_{j=0}^k v_i(j) g_q(\tilde{f}_q(j)) \\ E_{v_p}(k) &= E_{v_p}^{in}(k) - E_{v_p}^{out}(k) \\ E_{f_q}(k) &= E_{f_q}^{in}(k) - E_{f_q}^{out}(k) \end{aligned}$$

[0056]

[0057] 이후, 전체적인 저장된 에너지는 다음 수학식 7과 같이 평가된다.

[0058] [수학식 7]

$$\begin{aligned} E_v^N(k) &= \sum_{j=1}^k E_{v_p}(k) \\ E_f^N(k) &= \sum_{j=1}^k E_{f_q}(k) \end{aligned}$$

[0059]

[0060] "Time-Domain Passivity Control of Haptic Interfaces," IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 18, No. 1, February 2002."에 의하면, 저장된 에너지가 모든 시간에서 양(positive)으로 유지되는 것은, 시스템이 수동으로 정의되는 것과 동가이다. 그러므로, i번째 터미널에서 통신 시스템의 수동성 조건은 다음 수학식 8과 같다.

[0061] [수학식 8]

$$E_i^N(k) = \sum_{j=1}^k E_{v_p}(k) + \sum_{j=1}^k E_{f_q}(k) \geq 0, \forall j \geq 0$$

[0062]

[0063] 수학식 8에서, 샘플링 시간 k에서 모든 출력 에너지는 터미널에서 모니터될 수 있으나, 터미널에서 동일한 샘플링 시간 k에서 각각의 입력 에너지를 모니터하는 것은 어렵다. 그러므로, 저장된 에너지를 소스에 대응하여 나누고, 네트워크 채널의 수동성을 독립적으로 만족시키기 위해, 다음의 수학식 9의 충분 조건을 찾는다.

[0064] [수학식 9]

$$\begin{cases} E_{v_p}(k) \geq 0, 0 \leq p \leq n, \forall k \geq 0 \\ E_{f_q}(k) \geq 0, 0 \leq q \leq m, \forall k \geq 0 \end{cases}$$

[0065]

[0066] 수학식 9는 여전히 시간 지연으로 인해 실시간에서 만족하는 것은 어렵다.

[0067] "A Passive bilateral control scheme for a teleoperator with time - varying communication delay, Elsevier journal of Mechatronics, Vol. 20, No. 7, pp. 812 - 823, 2010."에서는, 다음의 수학식 10과 같이 전류 출력 에너지와 함께 지연된 입력 에너지를 비교함으로써, 네트워크의 수동성 조건을 만족시키기 위한 충분 조건을 제시하였다.

[0068] [수학식 10]

$$\begin{cases} E_{v_p}(k) \geq E_{v_p}^{obs} = E_{v_p}^{in}(k - T_p) - E_{v_p}^{out}(k) \geq 0, \\ \quad 0 \leq p \leq n, \forall k \geq 0 \\ E_{f_q}(k) \geq E_{f_q}^{obs} = E_{f_q}^{in}(k - T_q) - E_{f_q}^{out}(k) \geq 0, \\ \quad 0 \leq q \leq m, \forall k \geq 0 \end{cases}$$

[0069]

[0070] 수학식 10에서, T_p 및 T_q 는 p번째 터미널 및 q번째 터미널로부터 i번째 터미널로의 통신 채널에서 시간 지연이다. 각각의 시간 지연 전력 네트워크에서 활성 에너지를 흡수할 수 있어, 수동성 제어기는 이러한 크기의 에너지를 제거할 수 있다. 감폭(damping) 인자는 다음의 수학식 11과 같이 결정된다.

[0071] [수학식 11] - 힘 커맨딩 채널의 경우

$$\alpha_q = \begin{cases} -\frac{E_{f_q}^{obs}(k)}{v_i^2 \Delta T} & \text{if } E_{f_q}^{obs}(k) < 0 \ \& \ v_i \neq 0 \\ 0 & \text{if } E_{f_q}^{obs}(k) \geq 0 \ \parallel \ v_i = 0 \end{cases}$$

[0072]

[0073] [수학식 12] - 속도 커맨딩 채널의 경우

$$\beta_p = \begin{cases} -\frac{E_{v_p}^{obs}(k)}{f_{si}^2 \Delta T} & \text{if } E_{v_p}^{obs}(k) < 0 \ \& \ f_{si} \neq 0 \\ 0 & \text{if } E_{v_p}^{obs}(k) \geq 0 \ \parallel \ f_{si} = 0 \end{cases}$$

[0074]

[0075] 본 발명에서는 결론적으로, 도 8에 도시된 일반화된 프레임워크를 제안한다. 간단하게 설명하면, 각각의 통신 채널이 2-포트 네트워크로 모델링되고, 수동성 관찰기/수동성 제어기 쌍이 에너지 플로우를 모니터하여, 활성 에너지를 제거함으로써 이 채널을 수동화할 수 있다.

[0076] 4. 결론

[0077] 본 발명에서는, 다자간 원격조종 시스템을 안정화하기 위한 일반화된 프레임워크를 제안한다. 이 같은 다자간 원격조종 시스템의 네트워크 표현이 제안되고, 시간 영역 수동성 기법이 상기 네트워크 시스템을 안정화하기 위해서 구현된다. 본 발명에서 제안된 네트워크 표현 방법은, 시간 영역 수동성 기법의 구현을 위해서, 다수의 마스터 및 슬레이브를 포함하는 다자간 원격조종 시스템에서 에너지 플로우를 명확하게 한다. 시스템의 수동성은

시간 영역 수동성 기법에 의해 증명된다. 제안된 프레임워크의 가장 큰 이점은, 시간 지연의 크기, 마스터/슬레이브의 수, 제어 구조 및 동적 불안정성과 무관하게 어떠한 다자간 원격 조종 시스템에도 일반적으로 구현될 수 있다는 것이다.

[0078]

본 발명의 실시예들과 관련하여 설명된 방법 또는 알고리즘의 단계는, 프로세서에 의해 실행되는 하드웨어 모듈, 소프트웨어 모듈, 또는 그 2 개의 결합으로 직접 구현될 수 있다. 소프트웨어 모듈은 RAM(Random Access Memory), ROM, EPROM, EEPROM, 플래시 메모리, 레지스터, 하드 디스크, 착탈형 디스크, CD-ROM, 또는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 잘 알려진 임의의 형태의 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체에 상주할 수도 있다. 예시적인 기록 매체는 프로세서에 연결되며, 상기 프로세서는 기록 매체로부터 정보를 독출할 수 있고 기록 매체에 정보를 기입할 수 있다. 다른 방법으로, 기록 매체는 프로세서와 일체형일 수도 있다. 프로세서 및 기록 매체는 주문형 집적회로(ASIC) 내에 상주할 수도 있다. ASIC는 사용자 단말기 내에 상주할 수도 있다. 다른 방법으로, 프로세서 및 기록 매체는 사용자 단말기 내에 개별 구성 요소로서 상주할 수도 있다.

[0079]

이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였지만, 통상의 기술자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0080]

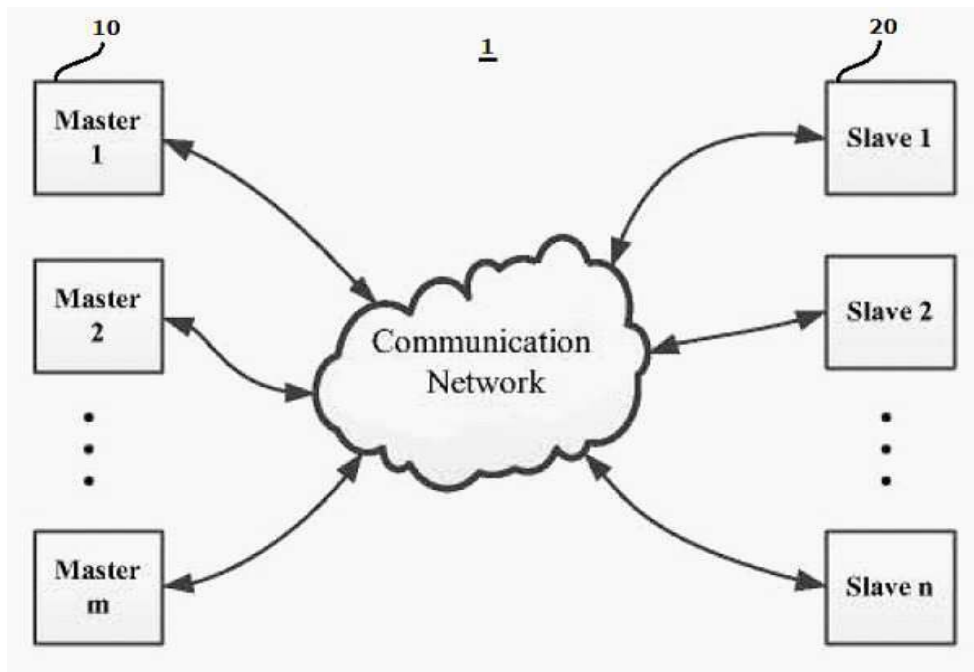
1: 다자간 원격조종 시스템

10: 마스터

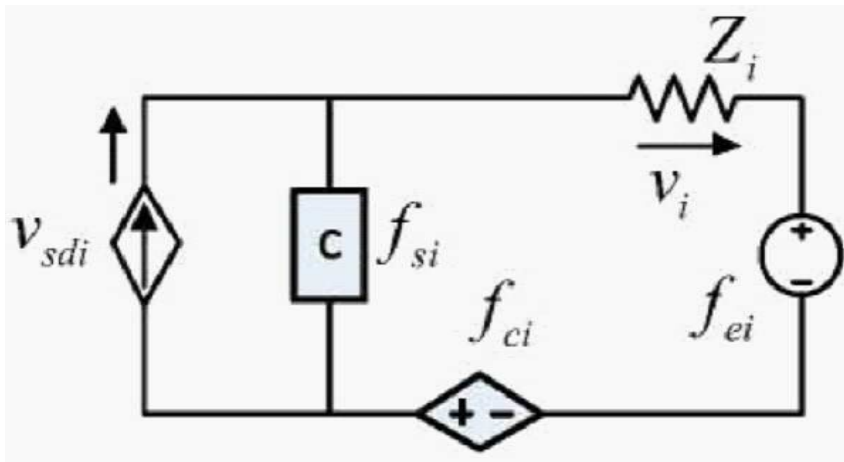
20: 슬레이브

도면

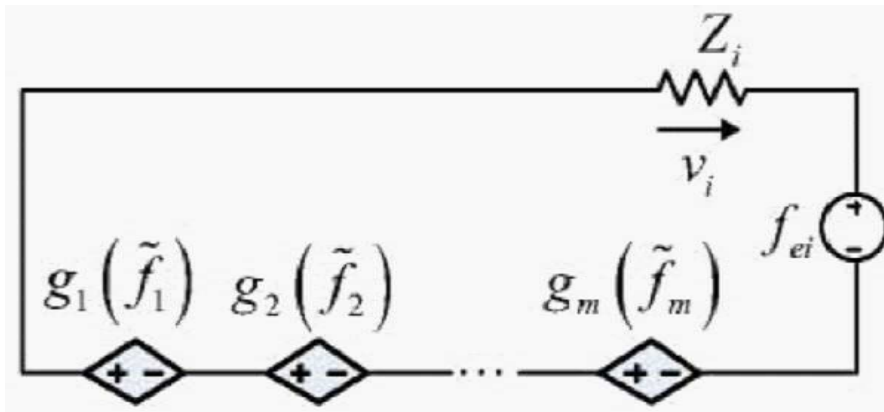
도면1



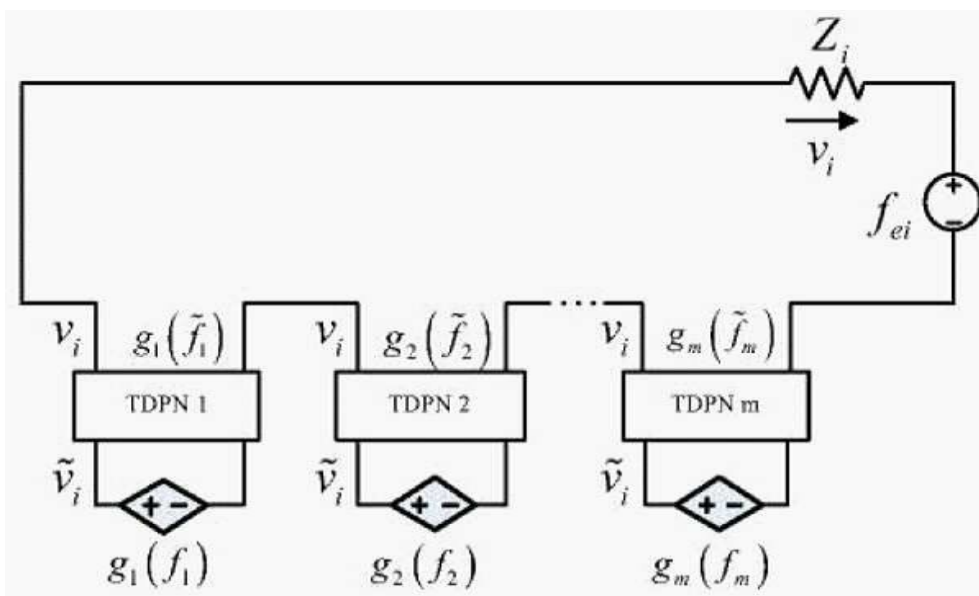
도면2



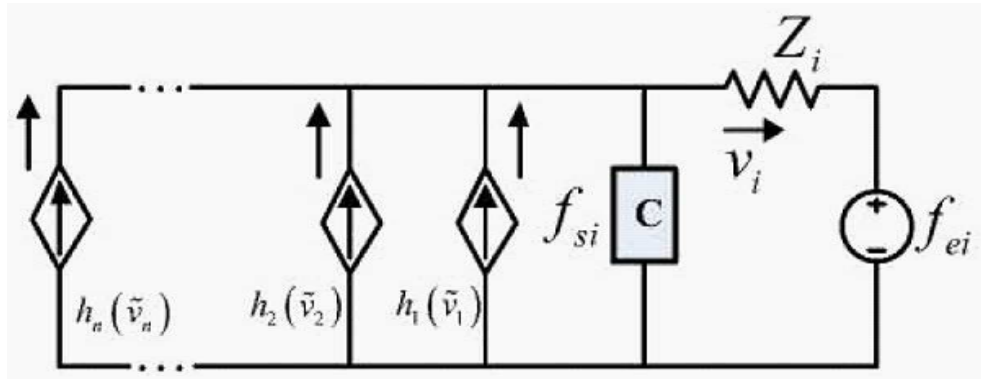
도면3



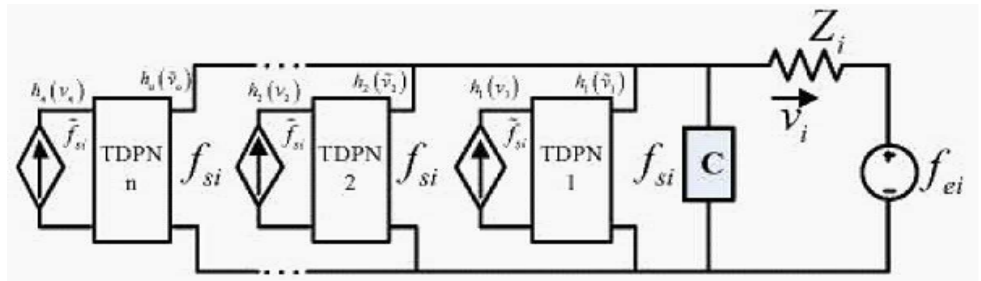
도면4



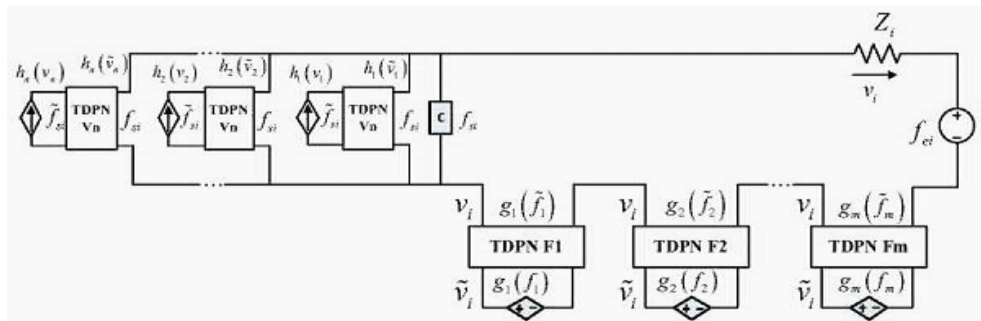
도면5



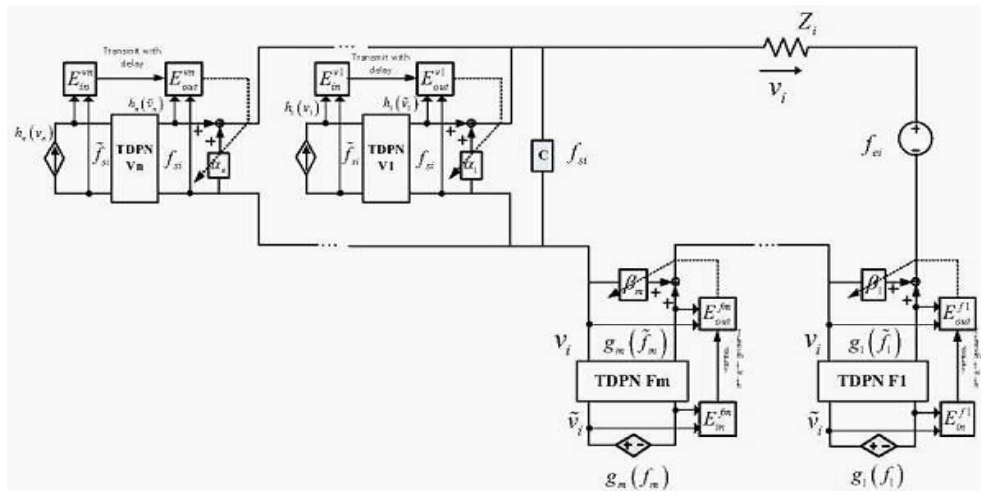
도면6



도면7



도면8



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 제2항의 넷째줄

【변경전】

싱기; 터미널 i

【변경후】

싱기 터미널 i