



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0070472
(43) 공개일자 2017년06월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 10/90 (2013.01) H04B 14/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 10/90 (2013.01)
H04B 14/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0178022
(22) 출원일자 2015년12월14일
심사청구일자 2015년12월14일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
신현동
경기도 수원시 영통구 청명북로 81, 404동 901호 (영통동, 청명마을주공아파트)
등 푸영 트린
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 전자정보관 559 (서천동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
최영한, 지덕규

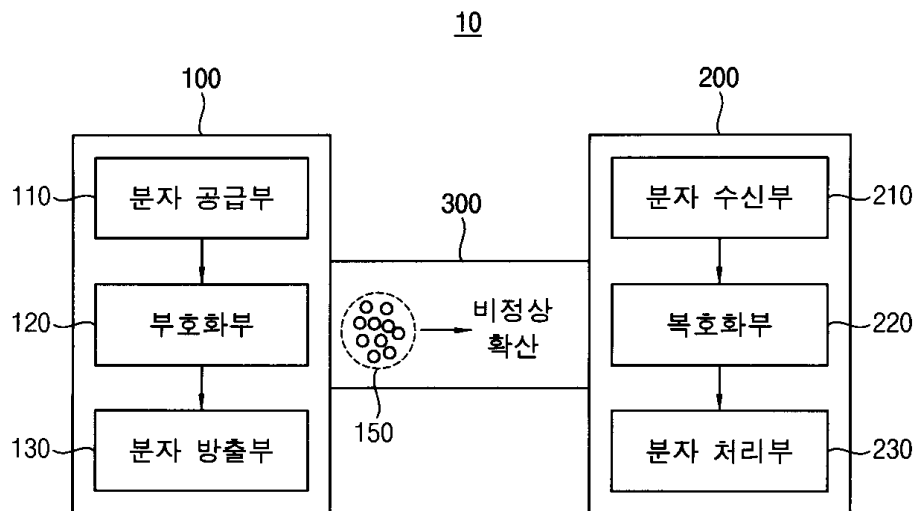
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 분자 통신 시스템, 분자 통신 방법, 분자 송신기 및 분자 수신기

(57) 요약

분자 통신 시스템은 분자 송신기, 분자 수신기 및 분자 전달 채널을 포함한다. 분자 송신기는 제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 송출한다. 분자 수신기는 적어도 하나의 제1 분자를 수신하여 제1 데이터를 획득한다. 분자 전달 채널은 분자 송신기와 분자 수신기 사이에 연결되어 적어도 하나의 제1 분자의 전달 경로를 제공한다. 적어도 하나의 제1 분자는 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다. 분자 전달 채널 내의 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

트랑 뇨고 카오

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 전자정보관
559 (서천동)

정영민

경기도 성남시 분당구 양현로 537, 313동 305호 (야탑동, 매화마을 아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-0083495

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 선도연구센터지원사업

연구과제명 지능형 자동차 IT 연구센터

기 여 율 30/100

주관기관 서울대학교 산학협력단

연구기간 2015.03.01 ~ 2016.02.29이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013-R1A1A2-019963

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업(모험연구)

연구과제명 분자 나노통신 핵심기술

기 여 율 70/100

주관기관 경희대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는 분자 송신기;

상기 적어도 하나의 제1 분자를 수신하여 상기 제1 데이터를 획득하는 분자 수신기; 및

상기 분자 송신기와 상기 분자 수신기 사이에 연결되어 상기 적어도 하나의 제1 분자의 전달 경로를 제공하는 분자 전달 채널을 포함하고,

상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동하며,

상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링되는 분자 통신 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 분자 전달 채널 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률인 $w(x,t)$ 는 하기의 [수학식 1]을 만족하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 시스템.

[수학식 1]

$$w(x,t) = \frac{1}{\alpha|x|} H_{3,3}^{2,1} \left[\frac{|x|}{K^{\frac{1}{\alpha}} t^{\frac{\mu}{\alpha}}} \left| \begin{matrix} \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{\mu}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \\ \left(1, 1\right), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \end{matrix} \right. \right]$$

상기의 [수학식 1]에서, K는 확산 계수, μ 는 대기 시간(waiting time)의 다이버전스(divergence), α 는 점프 길이(jump length)의 다이버전스, H는 폭스 H-함수(Fox's H-function)를 나타냄.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제1 분자가 상기 분자 송신기에서 송출된 후에 상기 분자 수신기에 도달하는데 소요되는 첫 통과 시간(FPT: First Passage Time)(T)에 대한 확률 밀도 함수인 $f_T(t)$ 는 하기의 [수학식 2] 및 [수학식 3]을 만족하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 시스템.

[수학식 2]

$$f_T(t) = H_{3,3}^{2,1}(1/t; \mathbf{P}_{pdf})$$

[수학식 3]

$$\mathbf{P}_{pdf} = \left(\frac{2K^{1/\mu}}{\alpha\alpha^{1/\mu}}, \frac{\alpha^{1/\mu}}{K^{1/\mu}}, \left(1 + \frac{1}{\mu}, 2, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(1 + \frac{\alpha}{\mu}, 1 + \frac{1}{\mu}, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{1}{\mu}, 1, \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, \frac{\alpha}{2\mu}\right) \right)$$

상기의 [수학식 3]에서, ℓ 는 상기 분자 전달 채널의 길이를 나타냄.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 분자 송신기는 상기 제1 분자의 송출 시점을 조절하는 타이밍 변조(timing modulation) 방식에 기초하여

부호화 동작을 수행하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 분자 송신기는 미리 정해진 주기마다 하나의 데이터를 나타내는 하나의 분자를 출력하고,

상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기의 시작 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력하며,

상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 주기의 중간 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 분자 송신기는 상기 제1 분자의 개수를 조절하는 진폭 변조(amplitude modulation) 방식에 기초하여 부호화 동작을 수행하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 기준 개수보다 적은 개수만큼 출력하며,

상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 상기 기준 개수보다 많은 개수만큼 출력하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 시스템.

청구항 8

제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 분자 송신기로부터 송출하는 단계;

상기 적어도 하나의 제1 분자가 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동하는 단계; 및

상기 적어도 하나의 제1 분자를 분자 수신기에서 수신하여 상기 제1 데이터를 획득하는 단계를 포함하고,

상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 송신기와 상기 분자 수신기 사이에 연결되는 분자 전달 채널 내에서 이동하며,

상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링되는 분자 통신 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 분자 전달 채널 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률인 $w(x,t)$ 는 하기의 [수학식 4]를 만족하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 방법.

[수학식 4]

$$w(x,t) = \frac{1}{\alpha|x|} H_{3,3}^{2,1} \left[\frac{|x|}{K^{\frac{1}{\alpha}} t^{\frac{\mu}{\alpha}}} \left| \begin{matrix} \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{\mu}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \\ (1, 1), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \end{matrix} \right. \right]$$

상기의 [수학식 4]에서, K는 확산 계수, μ 는 대기 시간(waiting time)의 다이버전스(divergence), α 는 점프 길이(jump length)의 다이버전스, H는 폭스 H-함수(Fox's H-function)를 나타냄.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 제1 분자가 상기 분자 송신기에서 송출된 후에 상기 분자 수신기에 도달하는데 소요되는 첫 통과 시간(FPT: First Passage Time)(T)에 대한 확률 밀도 함수인 $f_T(t)$ 는 하기의 [수학식 5] 및 [수학식 6]을 만족하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 방법.

[수학식 5]

$$f_T(t) = H_{3,3}^{2,1}(1/t; \mathbf{P}_{\text{pdf}})$$

[수학식 6]

$$\mathbf{P}_{\text{pdf}} = \left(\frac{2K^{1/\mu}}{\alpha\alpha^{1/\mu}}, \frac{\alpha^{1/\mu}}{K^{1/\mu}}, \left(1 + \frac{1}{\mu}, 2, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(1 + \frac{\alpha}{\mu}, 1 + \frac{1}{\mu}, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{1}{\mu}, 1, \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, \frac{\alpha}{2\mu}\right) \right)$$

상기의 [수학식 6]에서, ℓ 는 상기 분자 전달 채널의 길이를 나타냄.

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 분자 송신기는 미리 정해진 주기마다 하나의 데이터를 나타내는 하나의 분자를 출력하고,

상기 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는 단계는,

상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기의 시작 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력하는 단계; 및

상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 주기의 중간 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 방법.

청구항 12

제 8 항에 있어서, 상기 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는 단계는,

상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 기준 개수보다 적은 개수만큼 출력하는 단계; 및

상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 상기 기준 개수보다 많은 개수만큼 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 분자 통신 방법.

청구항 13

적어도 하나의 제1 분자를 제공하는 분자 공급부;

제1 데이터를 나타내도록 상기 적어도 하나의 제1 분자에 대한 부호화 동작을 수행하는 부호화부; 및

상기 적어도 하나의 제1 분자를 출력하는 분자 방출부를 포함하고,

상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 방출부와 연결되는 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동하며,

상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링되는 분자 송신기.

청구항 14

제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 수신하는 분자 수신부;

상기 적어도 하나의 제1 분자에 대한 복호화 동작을 수행하여 상기 제1 데이터를 획득하는 복호화부; 및

상기 적어도 하나의 제1 분자를 저장, 분해 또는 배출하는 분자 처리부를 포함하고,

상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 수신부와 연결되는 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous

diffusion) 프로세스에 기초하여 이동하며,

상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링되는 분자 수신기.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 통신 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 분자를 이용하여 정보를 전송하는 분자 통신 시스템 및 분자 통신 방법과, 상기 분자 통신 시스템에 포함되는 분자 송신기 및 분자 수신기에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 통신 시스템이 발전함에 따라, 네트워크에 포함되는 통신 장치들의 개수가 증가하고 있으며, 이 경우 통신 장치들 간의 충돌 및 간섭이 증가하여 전체 네트워크의 성능을 열화시킬 수 있다. 따라서, 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 통신 방식이 연구되고 있다.

[0003] 상기와 같은 새로운 통신 방식의 일 예로서, 분자를 이용하여 정보를 전달하는 분자 통신 시스템이 연구되고 있다. 분자 통신 시스템은 전력 소모가 적고 인체 적응력이 높다는 장점을 가지고 있으나, 정보를 전달하는 속도가 느리고 전달되는 정보의 정확성이 낮은 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명의 일 목적은 향상된 채널 성능을 가질 수 있는 분자 통신 시스템을 제공하는 것이다.

[0005] 본 발명의 다른 목적은 향상된 채널 성능을 가질 수 있는 분자 통신 방법을 제공하는 것이다.

[0006] 본 발명의 또 다른 목적은 상기 분자 통신 시스템에 포함되는 분자 송신기 및 분자 수신기를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 일 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템은 분자 송신기, 분자 수신기 및 분자 전달 채널을 포함한다. 상기 분자 송신기는 제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 송출한다. 상기 분자 수신기는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 수신하여 상기 제1 데이터를 획득한다. 상기 분자 전달 채널은 상기 분자 송신기와 상기 분자 수신기 사이에 연결되어 상기 적어도 하나의 제1 분자의 전달 경로를 제공한다. 상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다. 상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링된다.

[0008] 일 실시예에서, 상기 분자 전달 채널 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률인 $w(x, t)$ 는 하기의 [수학식 1]을 만족할 수 있다.

[0009] [수학식 1]

$$w(x, t) = \frac{1}{\alpha |x|} H_{3,3}^{2,1} \left[\frac{|x|}{K^{\frac{1}{\alpha}} t^{\frac{\mu}{\alpha}}} \left| \begin{matrix} \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{\mu}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \\ (1, 1), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \end{matrix} \right. \right]$$

[0010]

[0011] 상기의 [수학식 1]에서, K는 확산 계수, μ 는 대기 시간(waiting time)의 다이버전스(divergence), α 는 점프 길이(jump length)의 다이버전스, H는 폭스 H-함수(Fox's H-function)를 나타낼 수 있다.

[0012] 일 실시예에서, 상기 제1 분자가 상기 분자 송신기에서 송출된 후에 상기 분자 수신기에 도달하는데 소요되는 첫 통과 시간(FPT: First Passage Time)(T)에 대한 확률 밀도 함수인 $f_T(t)$ 는 하기의 [수학식 2] 및 [수학식 3]을 만족할 수 있다.

[0013] [수학식 2]

$$f_T(t) = H_{3,3}^{2,1}(1/t; \mathbf{P}_{\text{pdf}})$$

[0015] [수학식 3]

$$\mathbf{P}_{\text{pdf}} = \left(\frac{2K^{1/\mu}}{\alpha\alpha^{1/\mu}}, \frac{\alpha^{1/\mu}}{K^{1/\mu}}, \left(1 + \frac{1}{\mu}, 2, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(1 + \frac{\alpha}{\mu}, 1 + \frac{1}{\mu}, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{1}{\mu}, 1, \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, \frac{\alpha}{2\mu}\right) \right)$$

[0017] 상기의 [수학식 3]에서, ℓ 는 상기 분자 전달 채널의 길이를 나타낼 수 있다.

[0018] 일 실시예에서, 상기 분자 송신기는 상기 제1 분자의 송출 시점을 조절하는 타이밍 변조(timing modulation) 방식에 기초하여 부호화 동작을 수행할 수 있다.

[0019] 상기 분자 송신기는 미리 정해진 주기마다 하나의 데이터를 나타내는 하나의 분자를 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기의 시작 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 주기의 중간 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력할 수 있다.

[0020] 일 실시예에서, 상기 분자 송신기는 상기 제1 분자의 개수를 조절하는 진폭 변조(amplitude modulation) 방식에 기초하여 부호화 동작을 수행할 수 있다.

[0021] 상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 기준 개수보다 적은 개수만큼 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 분자 송신기는 상기 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 상기 기준 개수보다 많은 개수만큼 출력할 수 있다.

[0022] 상기 다른 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 방법에서, 제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 분자 송신기로부터 송출한다. 상기 적어도 하나의 제1 분자가 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다. 상기 적어도 하나의 제1 분자를 분자 수신기에서 수신하여 상기 제1 데이터를 획득한다. 상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 송신기와 상기 분자 수신기 사이에 연결되는 분자 전달 채널 내에서 이동한다. 상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링된다.

[0023] 일 실시예에서, 상기 분자 전달 채널 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률인 $w(x,t)$ 는 하기의 [수학식 4]를 만족할 수 있다.

[0024] [수학식 4]

$$w(x,t) = \frac{1}{\alpha|x|} H_{3,3}^{2,1} \left[\frac{|x|}{K^{\frac{1}{\alpha}} t^{\frac{\mu}{\alpha}}} \left| \begin{matrix} \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{\mu}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \\ \left(1, 1\right), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \end{matrix} \right. \right]$$

[0025]

[0026] 상기의 [수학식 4]에서, K는 확산 계수, μ 는 대기 시간(waiting time)의 다이버전스(divergence), α 는 점프 길이(jump length)의 다이버전스, H는 폭스 H-함수(Fox's H-function)를 나타낼 수 있다.

[0027] 일 실시예에서, 상기 제1 분자가 상기 분자 송신기에서 송출된 후에 상기 분자 수신기에 도달하는데 소요되는 첫 통과 시간(FPT: First Passage Time)(T)에 대한 확률 밀도 함수인 $f_T(t)$ 는 하기의 [수학식 5] 및 [수학식 6]을 만족할 수 있다.

[0028] [수학식 5]

$$f_T(t) = H_{3,3}^{2,1}(1/t; \mathbf{P}_{\text{pdf}})$$

[0029]

[0030] [수학식 6]

$$\mathbf{P}_{\text{pdf}} = \left(\frac{2K^{1/\mu}}{\alpha\alpha^{1/\mu}}, \frac{\alpha^{1/\mu}}{K^{1/\mu}}, \left(1 + \frac{1}{\mu}, 2, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(1 + \frac{\alpha}{\mu}, 1 + \frac{1}{\mu}, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{1}{\mu}, 1, \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, \frac{\alpha}{2\mu}\right) \right)$$

[0031]

- [0032] 상기의 [수학식 6]에서, ℓ 는 상기 분자 전달 채널의 길이를 나타낼 수 있다.
- [0033] 일 실시예에서, 상기 분자 송신기는 미리 정해진 주기마다 하나의 데이터를 나타내는 하나의 분자를 출력할 수 있다. 상기 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는데 있어서, 상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기의 시작 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 주기의 중간 시점에 하나의 상기 제1 분자를 출력할 수 있다.
- [0034] 일 실시예에서, 상기 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는데 있어서, 상기 제1 데이터가 제1 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 기준 개수보다 적은 개수만큼 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값을 가지는 경우에, 상기 제1 주기 동안에 상기 제1 분자를 상기 기준 개수보다 많은 개수만큼 출력할 수 있다.
- [0035] 상기 또 다른 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 실시예들에 따른 분자 송신기는 분자 공급부, 부호화부 및 분자 방출부를 포함한다. 상기 분자 공급부는 적어도 하나의 제1 분자를 제공한다. 상기 부호화부는 제1 데이터를 나타내도록 상기 적어도 하나의 제1 분자에 대한 부호화 동작을 수행한다. 상기 분자 방출부는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 출력한다. 상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 방출부와 연결되는 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다. 상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링된다.
- [0036] 상기 또 다른 목적을 달성하기 위해, 본 발명의 실시예들에 따른 분자 수신기는 분자 수신부, 복호화부 및 분자 처리부를 포함한다. 상기 분자 수신부는 제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 수신한다. 상기 복호화부는 상기 적어도 하나의 제1 분자에 대한 복호화 동작을 수행하여 상기 제1 데이터를 획득한다. 상기 분자 처리부는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 저장, 분해 또는 배출한다. 상기 적어도 하나의 제1 분자는 상기 분자 수신부와 연결되는 분자 전달 채널 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다. 상기 분자 전달 채널 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링된다.

발명의 효과

- [0037] 상기와 같은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템 및 분자 통신 방법에 따르면, 분자 송신기와 분자 수신기 사이에 연결되어 분자의 전달 경로를 제공하는 분자 전달 채널 내에서 적어도 하나의 제1 분자가 비정상 확산 프로세스에 기초하여 이동할 수 있고, 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식에 기초하여 모델링될 수 있다. 따라서, 분자 전달 채널의 성능이 향상될 수 있고, 이에 따라 정보 전달의 속도 및 정확성이 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0038] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템을 나타내는 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템에 포함되는 분자 전달 채널의 첫 도착 시간을 나타내는 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템이 타이밍 변조 방식으로 동작하는 경우에 비트 에러율을 나타내는 도면이다.
- 도 4 및 5는 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템이 진폭 변조 방식으로 동작하는 경우에 비트 에러율을 나타내는 도면들이다.
- 도 6은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템이 진폭 변조 방식으로 동작하는 경우에 비트 검출을 위한 문턱 값을 나타내는 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 8 및 도 9는 도 7의 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는 단계의 예들을 나타내는 순서도들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들에 대해서, 특정한 구조적 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 된다.
- [0040] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본문에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0041] 제 1, 제 2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위로부터 이탈되지 않은 채 제 1 구성요소는 제 2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제 2 구성요소도 제 1 구성요소로 명명될 수 있다.
- [0042] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성요소들 간의 관계를 설명하는 다른 표현들, 즉 "~사이에"와 "바로 ~사이에" 또는 "~에 이웃하는"과 "~에 직접 이웃하는" 등도 마찬가지로 해석되어야 한다.
- [0043] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0044] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미이다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미인 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0045] 한편, 어떤 실시예가 달리 구현 가능한 경우에 특정 블록 내에 명기된 기능 또는 동작이 순서도에 명기된 순서와 다르게 일어날 수도 있다. 예를 들어, 연속하는 두 블록이 실제로는 실질적으로 동시에 수행될 수도 있고, 관련된 기능 또는 동작에 따라서는 상기 블록들이 거꾸로 수행될 수도 있다.
- [0046] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 보다 상세하게 설명하고자 한다. 도면상의 동일한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 사용하고 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0047] 도 1은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템을 나타내는 블록도이다.
- [0048] 도 1을 참조하면, 분자 통신 시스템(10)은 분자 송신기(100), 분자 수신기(200) 및 분자 전달 채널(300)을 포함한다.
- [0049] 분자 통신 시스템(10)은 복수의 분자들(150)을 이용하여 정보를 전달할 수 있다. 실시예에 따라서, 복수의 분자들(150)은 단일 종류의 분자로 이루어지거나(homogeneous) 서로 다른 종류의 분자들로 이루어질(heterogeneous) 수 있다.
- [0050] 분자 송신기(100)는 제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 송출한다. 분자 송신기(100)는 분자 공급부(110), 부호화부(120) 및 분자 방출부(130)를 포함할 수 있다.
- [0051] 분자 공급부(110)는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 포함하는 복수의 분자들(150)을 제공할 수 있다. 예를 들어, 분자 공급부(110)는 복수의 분자들(150)을 생성하거나, 외부로부터 복수의 분자들(150)을 공급받을 수 있다.
- [0052] 부호화부(120)는 상기 제1 데이터를 나타내도록 상기 적어도 하나의 제1 분자에 대한 부호화 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 상기 제1 데이터는 제1 비트 값(예를 들어, "0") 또는 상기 제1 비트 값과 다른 제2 비트 값(예를 들어, "1")을 가질 수 있다. 예를 들어, 부호화부(120)는 상기 제1 분자의 전달 시점을 조절하거나 상기

제1 분자의 개수를 조절하여 상기 부호화 동작을 수행할 수 있다.

[0053] 분자 방출부(130)는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 분자 전달 채널(300)로 출력할 수 있다. 분자 방출부(130)는 상기 제1 분자를 출력하도록 분자 전달 채널(300)과 연결될 수 있다.

[0054] 분자 수신기(200)는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 수신하고, 상기 적어도 하나의 제1 분자에 기초하여 상기 제1 데이터를 획득한다. 분자 수신기(200)는 분자 수신부(210), 복호화부(220) 및 분자 처리부(230)를 포함할 수 있다.

[0055] 분자 수신부(210)는 상기 제1 데이터를 나타내는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 분자 전달 채널(300)로부터 수신할 수 있다. 분자 수신부(210)는 상기 제1 분자를 수신하도록 분자 전달 채널(300)과 연결될 수 있다. 예를 들어, 분자 수신부(210)는 상기 제1 분자의 도달을 감지할 수 있는 적어도 하나의 센서(미도시)를 포함할 수 있다.

[0056] 복호화부(220)는 상기 적어도 하나의 제1 분자에 대한 복호화 동작을 수행하여 상기 제1 데이터를 획득할 수 있다. 예를 들어, 복호화부(220)는 상기 제1 분자의 전달 시점 또는 상기 제1 분자의 개수에 기초하여 상기 복호화 동작을 수행할 수 있다.

[0057] 분자 처리부(230)는 상기 적어도 하나의 제1 분자를 포함하는 복수의 분자들(150)을 저장 또는 분해하거나, 외부로 배출할 수 있다.

[0058] 분자 전달 채널(300)은 분자 송신기(100)와 분자 수신기(200) 사이에 연결되어 상기 적어도 하나의 제1 분자의 전달 경로를 제공한다. 다시 말하면, 상기 제1 분자는 분자 전달 채널(300)을 통해 분자 송신기(100)에서 분자 수신기(200)로 이동할 수 있다. 이 때, 상기 적어도 하나의 제1 분자는 분자 전달 채널(300) 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다.

[0059] 브라운 운동(Brownian motion)은 인접한 분자 간 충돌을 고려하여 분자의 자유롭고 랜덤한 확산 운동을 표현하는 수학 모형이다. 브라운 운동은 단일 종류의 분자로 이루어지고, 외력이 없고, 상호 작용이 거의 없고, 완전한 구형의 분자가 탄성 충돌을 하는 등의 단순한 확산 환경에 대해서는 적용이 용이할 수 있다. 하지만, 서로 다른 종류의 분자들로 이루어진 복잡한 구조의 확산 환경에 대해서는 브라운 운동과 같은 규칙적인 모형을 적용할 수 없으며, 따라서 불규칙 확산 모형이 적용되어야 한다. 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템(10)에서는, 비정상 확산 프로세스에 기초하여 분자 전달 채널(300) 내의 상기 적어도 하나의 제1 분자의 이동을 묘사할 수 있다. 다시 말하면, 분자 전달 채널(300)은 비정상 확산 채널일 수 있다.

[0060] 일 실시예에서, 분자 전달 채널(300) 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링될 수 있다. 이하에서는 분자 전달 채널(300)의 모델링 방식을 상세하게 설명하도록 한다.

[0061] 상기 적어도 하나의 제1 분자는, 분자 송신기(100)와 분자 전달 채널(300)이 연결되는 확산 시작 위치에서, 분자 수신기(200)와 분자 전달 채널(300)이 연결되는 확산 종료 위치까지, 상기 비정상 확산 프로세스에 기초하여 이동할 수 있다. 이는 하기의 [수학식 7]과 같은 카푸토 분수 도함수 확산 방정식(Caputo fractional derivative diffusion equation)에 기초한 1차원 비정상 확산 프로세스로 모델링될 수 있다.

[0062] [수학식 7]

$$\left(D_{0+}^{\mu,1}w(x,t)\right)(t)=K\frac{\partial^{\alpha}}{\partial|x|^{\alpha}}w(x,t),\quad t>0$$

[0063]

[0064] 상기의 [수학식 7]에서, x는 분자 전달 채널(300) 내의 위치를 나타내며, 예를 들어 상기 확산 시작 위치에서 x=0일 수 있다. t는 시간을 나타내며, 예를 들어 상기 제1 분자가 분자 송신기(100)에서 송출되는 순간에 t=0일 수 있다. w(x,t)는 분자 전달 채널(300) 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률을 나타내며, K는 확산 계수를 나타낸다. μ 는 대기 시간(waiting time)의 다이버전스(divergence)를 나타내며, 예를 들어 $0<\mu\leq 1$ 일 수 있다. α 는 점프 길이(jump length)의 다이버전스를 나타내며, 예를 들어 $0<\alpha\leq 2$ 일 수 있다.

[0065] $t>0$ 일 때 $w(\pm\infty,t)=0$ 인 경계 조건 및 $w(x,0)=\delta(x)$ 인 초기 조건에 기초하였을 때, 상기의 [수학식 7]로 표현된 카푸토 분수 도함수 확산 방정식의 해는 하기의 [수학식 8]을 만족할 수 있다. 다시 말하면, 분자 전달 채널(300) 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률인 w(x,t)는 하기의 [수학식 8]을 만족할 수

있다.

[수학식 8]

$$w(x, t) = \frac{1}{\alpha |x|} H_{3,3}^{2,1} \left[\frac{|x|}{K^{\frac{1}{\alpha}} t^{\frac{\mu}{\alpha}}} \left| \begin{matrix} \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{\mu}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \\ (1, 1), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \end{matrix} \right. \right]$$

상기의 [수학식 8]에서, H는 폭스 H-함수(Fox's H-function)를 나타낸다.

여기서 폭스 H-함수란, 오더 시퀀스(order sequence) $\mathbf{O} = (m, n, p, q)$ 와 파라미터 시퀀스(parameter sequence) $\mathbf{P} = (\kappa, c, \mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{A}, \mathbf{B})$ 의 폭스 H-커널(Fox's H-kernel)에 기초한 함수 $f(t)$ 의 H-변환(H-transform)을 나타내며, 하기의 [수학식 9]와 같이 정의될 수 있다.

[수학식 9]

$$F(s) = \kappa \int_0^\infty H_{p,q}^{m,n} \left[c s t \left| \begin{matrix} (\mathbf{a}, \mathbf{A}) \\ (\mathbf{b}, \mathbf{B}) \end{matrix} \right. \right] f(t) dt \quad (s > 0)$$

표기(notation) $\mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{f(t); \mathbf{P}\}(s)$ 은 $f(t)$ 의 H-변환을 나타낸다. 널 시퀀스들(null sequences)은 $\mathbf{P}_\emptyset = (1, 1, -, -, -, -)$ 및 $\mathbf{O}_\emptyset = (0, 0, 0, 0)$ 이며, 폭스 H-함수는 하기의 [수학식 10] 및 [수학식 11]을 만족할 수 있다.

[수학식 10]

$$H_{0,0}^{0,0}(t; \mathbf{P}_\emptyset) = \delta(t - 1)$$

[수학식 11]

$$\mathbb{H}_{0,0}^{0,0} \{f(t); \mathbf{P}_\emptyset\}(s) = \frac{1}{s} f\left(\frac{1}{s}\right)$$

또한, H-변환 $\mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{f(t); \mathbf{P}\}(s)$ 은 (1) 커널 파라미터들의 쌍들 $(a_1, \mathcal{A}_1), \dots, (a_n, \mathcal{A}_n); (a_{n+1}, \mathcal{A}_{n+1}), \dots, (a_p, \mathcal{A}_p); (b_1, \mathcal{B}_1), \dots, (b_m, \mathcal{B}_m);$ 및 $(b_{m+1}, \mathcal{B}_{m+1}), \dots, (b_q, \mathcal{B}_q)$ 에서 대칭인 특징(symmetry), (2) $\alpha \in \mathbb{R}_{++}$ 에 대해 하기의 [수학식 12] 및 [수학식 13]을 만족하는 스케일링 특징(scaling), (3) $\gamma \in \mathbb{C}$ 에 대해 하기의 [수학식 14] 및 [수학식 15]를 만족하는 공액 특징(conjugacy), (4) $\ell \in \mathbb{N}$ 에 대해 하기의 [수학식 16] 및 [수학식 17]을 만족하는 미분 특징(differentiation), (5) $f(t) = H_{p_2, q_2}^{m_2, n_2}(t; \mathbf{P}_2)$ 일 때 하기의 [수학식 18]을 만족하는 기본 연산 특징(elementary operation), 및 (6) $f(t) = H_{p_2, q_2}^{m_2, n_2}(t; \mathbf{P}_2)$ 일 때 하기의 [수학식 19] 및 [수학식 20]을 만족하는 역 연산 특징(inverse operation) 등의 속성(property)을 가질 수 있다.

[수학식 12]

$$\mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{f(\alpha t); \mathbf{P}\}(s) = \mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{f(t); \mathbf{P}|\alpha\rangle\}(s)$$

[수학식 13]

$$\mathbf{P}|\alpha\rangle \triangleq \left(\frac{\kappa}{\alpha}, \frac{c}{\alpha}, \mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{A}, \mathbf{B} \right)$$

[0082] [수학식 14]

$$\mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{s^\gamma f(t); \mathbf{P}\}(s) = \mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{t^{-\gamma} f(t); \langle 1, 1, \gamma | \mathbf{P} \rangle\}(s)$$

[0084] [수학식 15]

$$\langle \alpha, \beta, \gamma | \mathbf{P} \triangleq \left(\frac{\kappa}{(\alpha c)^{\beta\gamma}}, (\alpha c)^\beta, \mathbf{a} + \beta\gamma \mathbf{A}, \mathbf{b} + \beta\gamma \mathbf{B}, \beta \mathbf{A}, \beta \mathbf{B} \right)$$

[0085]

[0086] [수학식 16]

$$(-1)^\ell \frac{\partial^\ell}{\partial s^\ell} \mathbb{H}_{p,q}^{m,n} \{f(t); \mathbf{P}\}(s) = \mathbb{H}_{p+1,q+1}^{m+1,n} \{t^\ell f(t); \partial^\ell \mathbf{P}\}(s)$$

[0087]

[0088] [수학식 17]

$$\partial^\ell \mathbf{P} \triangleq \left(\kappa c^\ell, c, (\mathbf{a} - \ell \mathbf{A}, -\ell), (0, \mathbf{b} - \ell \mathbf{B}), (\mathbf{A}, 1), (1, \mathbf{B}) \right)$$

[0089]

[0090] [수학식 18]

$$\begin{aligned} \mathbb{H}_{p_1,q_1}^{m_1,n_1} \left\{ \frac{t^\gamma}{\beta} f(\alpha t^{1/\beta}); \mathbf{P}_1 \right\}(s) \\ = \mathbb{H}_{p_1,q_1}^{m_1,n_1} \left\{ H_{p_2,q_2}^{m_2,n_2}(t; \langle \alpha, \beta, \gamma | \mathbf{P}_2 \rangle); \mathbf{P}_1 \right\}(s) \end{aligned}$$

[0091]

[0092] [수학식 19]

$$\mathbb{H}_{p_1,q_1}^{m_1,n_1} \left\{ f(t^{-1}); \mathbf{P}_1 \right\}(s) = \mathbb{H}_{p_1,q_1}^{m_1,n_1} \left\{ H_{q_2,p_2}^{n_2,m_2}(t; \mathbf{P}_2^{-1}); \mathbf{P}_1 \right\}(s)$$

[0093]

[0094] [수학식 20]

$$\mathbf{P}^{-1} \triangleq \left(\kappa, \frac{1}{c}, \mathbf{1}_q - \mathbf{b}, \mathbf{1}_p - \mathbf{a}, \mathbf{B}, \mathbf{A} \right)$$

[0095]

[0096] 상기의 [수학식 12] 및 [수학식 13]에서 $\mathbf{P}|a\rangle$ 는 파라미터 시퀀스 P에 대한 스케일링 연산을 나타내고, 상기의 [수학식 15] 및 [수학식 18]에서 $\langle \alpha, \beta, \gamma | \mathbf{P}$ 는 파라미터 시퀀스 P에 대한 기본 연산을 나타내고, 상기의 [수학식 16] 및 [수학식 17]에서 $\partial^\ell \mathbf{P}$ 는 파라미터 시퀀스 P에 대한 미분 연산을 나타내며, 상기의 [수학식 19] 및 [수학식 20]에서 $\mathbf{P}^{-1}$ 는 파라미터 시퀀스 P에 대한 역 연산을 나타낸다.

[0097] 폭스 H-함수에 대해서는 Youngmin Jeong, Hyundong Shin 및 Moe Z. Win의 논문인 "H-Transforms for Wireless Communication", IEEE Transactions on Information Theory, vol. 61, no. 7, pp. 3773-3809, July 2015. 에 보다 상세하게 기재되어 있다.

[0098] 일 실시예에서, 분자 통신 시스템(10)의 분자 전달 채널(300)의 길이가 ℓ 인 경우, 상기 제1 분자가 분자 송신기(100)에서 송출된 후에 분자 수신기(200)에 도달하는데 소요되는 첫 통과 시간(FPT: First Passage Time)인 T는 하기의 [수학식 21]을 만족할 수 있다.

[0099] [수학식 21]

$$T = \inf \{t : x(t) = a\}$$

[0100]

[0101] 상술한 것처럼, 상기 확산 시작 위치에서 $x=0$ 일 수 있다. 또한, 상기 확산 종료 위치에서 $x=a$ 일 수 있다. 첫 통과 시간(T)은 분자 전달 채널(300)의 성능을 평가하는 주요 지표 중 하나일 수 있다.

[0102] 일 실시예에서, 첫 통과 시간(T)에 대한 확률 밀도 함수(PDF: Probability Density Function)인 $f_T(t)$ 는 하기의 [수학식 22] 및 [수학식 23]을 만족할 수 있고, 첫 통과 시간(T)에 대한 누적 분포 함수(CDF: Cumulative Distribution Function)인 $F_T(t)$ 는 하기의 [수학식 24] 및 [수학식 25]를 만족할 수 있다.

[0103] [수학식 22]

$$f_T(t) = H_{3,3}^{2,1}(1/t; \mathbf{P}_{pdf})$$

[0105] [수학식 23]

$$\mathbf{P}_{pdf} = \left(\frac{2K^{1/\mu}}{\alpha\alpha^{1/\mu}}, \frac{\alpha^{1/\mu}}{K^{1/\mu}}, \left(1 + \frac{1}{\mu}, 2, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(1 + \frac{\alpha}{\mu}, 1 + \frac{1}{\mu}, 1 + \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{1}{\mu}, 1, \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, \frac{\alpha}{2\mu}\right) \right)$$

[0107] [수학식 24]

$$F_T(t) = 1 - H_{4,4}^{2,2}(1/t; \mathbf{P}_{cdf})$$

[0109] [수학식 25]

$$\mathbf{P}_{cdf} = \left(\frac{2}{\mu}, \frac{\alpha^{1/\mu}}{K^{1/\mu}}, (1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 0), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, 1, \frac{\alpha}{2\mu}\right), \left(\frac{\alpha}{\mu}, \frac{1}{\mu}, \frac{\alpha}{2\mu}, \frac{\alpha}{\mu}\right) \right)$$

[0111] 도 2는 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템에 포함되는 분자 전달 채널의 첫 도착 시간을 나타내는 도면이다.

[0112] 도 2를 참조하면, 수평 축은 첫 통과 시간을 나타내며, 수직 축은 상기 첫 통과 시간에 대한 확률 밀도 함수를 나타낸다. CASE1은 $(\alpha, \mu) = (1.76, 0.96)$ 인 제1 비정상 확산(예를 들어, superdiffusion)을 나타내고, CASE2는 $(\alpha, \mu) = (1.88, 0.77)$ 인 제2 비정상 확산(예를 들어, subdiffusion)을 나타내며, CASE3은 $(\alpha, \mu) = (2, 1)$ 인 정상 확산(normal diffusion)을 나타낸다. CASE1, CASE2 및 CASE3에서, $K = 10^{-9} [\text{m}^2/\text{s}]$, $a = 1.5 \times 10^{-5} [\text{m}]$ 로 동일할 수 있다.

[0113] 도 2에 도시된 것처럼, 분자들이 정상 확산되는 경우(CASE3)와 비교하였을 때, 본 발명의 실시예들에 따른 비정상 확산 프로세스에 기초하여 분자들이 이동하는 경우에(CASE1, CASE2) 상대적으로 높은 분산(dispersion) 현상을 관찰할 수 있으며, 따라서 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템(10)의 분자 전달 채널(300)이 향상된 채널 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

[0114] 다시 도 1을 참조하면, 일 실시예에서, 분자 송신기(100)는 상기 제1 데이터를 나타내는 상기 제1 분자의 송출 시점을 조절하는 타이밍 변조(timing modulation) 방식에 기초하여 상기 부호화 동작을 수행할 수 있다. 상기 타이밍 변조 방식은 단일 분자를 사용하여 구현될 수 있다.

[0115] 구체적으로, 분자 송신기(100)는 미리 정해진 주기(time interval)마다 하나의 데이터를 나타내는 하나의 분자를 출력할 수 있다. 이 때, 분자 송신기(100)의 분자 방출 시간(molecule release time)(X)은 상기 제1 비트 값(예를 들어, "0") 및 상기 제2 비트 값(예를 들어, "1")에 대해 $X \in \{0, T_b/2\}$ 를 만족할 수 있다.

[0116] 다시 말하면, 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값을 가지는 경우에, 분자 송신기(100)는 상기 제1 데이터를 전 송하기 위한 제1 주기(T_b)의 시작 시점에 하나의 제1 분자를 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 상기 제2 비트 값을 가지는 경우에, 분자 송신기(100)는 제1 주기(T_b)의 중간 시점에 상기 하나의 제1 분자를 출력할 수 있다.

[0117] 분자 수신기(200)는 상기 하나의 제1 분자를 검출하는 도달 시간(arrival time)(Y_{tm})에 기초하여 상기 복호화 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 도달 시간(Y_{tm})은 $Y_{tm} = X + T$ 일 수 있고, T는 첫 도착 시간일 수 있다.

[0118] 상기과 같은 타이밍 변조 방식에서, 비트 검출을 위한 최대 우도법(maximum likelihood detection)은 하기의 [수학식 26] 및 [수학식 27]을 만족할 수 있고, 비트 에러율(BER: Bit Error rate)(P_b)은 하기의 [수학식 28]과

같이 폭스 H-함수로 상향 경계값을 유도할 수 있다.

[0119] [수학식 26]

$$\hat{X} = \arg \max_{x \in \{0, T_b/2\}} f_{Y_{tm}|X}(y|x)$$

[0121] [수학식 27]

$$f_{Y_{tm}|X}(y|x) = \begin{cases} f_T(y-x) & y > x \\ 0, & y \leq x \end{cases}$$

[0123] [수학식 28]

$$P_b < \frac{1}{\alpha} H_{4,4}^{2,2} \left[\frac{a(2R)^{\frac{\mu}{\alpha}}}{K^{\frac{1}{\alpha}}} \left| \begin{matrix} (1, 1), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{\mu}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right) \\ (1, 1), \left(1, \frac{1}{\alpha}\right), \left(1, \frac{1}{2}\right), (0, 1) \end{matrix} \right. \right]$$

[0125] 상기의 [수학식 28]에서, $R = 1/T_b$ [bits/s] 은 데이터 전송 속도(data rate)를 나타낸다.

[0126] 도 3은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템이 타이밍 변조 방식으로 동작하는 경우에 비트 에러율을 나타내는 도면이다.

[0127] 도 3을 참조하면, 수평 축은 데이터 전송 속도를 나타내며, 수직 축은 비트 에러율을 나타낸다. 도 3에서, CASE1, CASE2 및 CASE3은 도 2를 참조하여 상술한 것과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0128] 상기와 같은 타이밍 변조 방식에서, 비트 에러율에 대한 로우 레이트 슬로프(low-rate slope)(ζ)는 하기의 [수학식 29]를 만족할 수 있다. 도 3의 예에서, CASE1, CASE2 및 CASE3의 로우 레이트 슬로프(ζ)는 각각 0.55, 0.41 및 0.50일 수 있다.

[0129] [수학식 29]

$$\zeta \triangleq \lim_{R \rightarrow 0} \frac{-\log P_b}{\log R}$$

[0131] 다시 도 1을 참조하면, 다른 실시예에서, 분자 송신기(100)는 상기 제1 데이터를 나타내는 상기 제1 분자의 개수를 조절하는 진폭 변조(amplitude modulation) 방식에 기초하여 상기 부호화 동작을 수행할 수 있다. 상기 진폭 변조 방식은 복수의 분자들을 사용하여 구현될 수 있다.

[0132] 구체적으로, 분자 송신기(100)는 미리 정해진 주기 동안에 하나의 데이터를 나타내는 복수의 분자들을 출력할 수 있다. 이 때, 분자 송신기(100)에서 방출되는 상기 제1 분자의 개수(X)는 상기 제1 비트 값(예를 들어, "0") 및 상기 제2 비트 값(예를 들어, "1")에 대해 $X \in \{N_0, N_1\}$ 를 만족할 수 있다.

[0133] 다시 말하면, 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값을 가지는 경우에, 분자 송신기(100)는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기(T_b) 동안에 제1 분자를 기준 개수보다 적은 제1 개수(N_0)만큼 출력할 수 있다. 상기 제1 데이터가 상기 제2 비트 값을 가지는 경우에, 분자 송신기(100)는 제1 주기(T_b) 동안에 상기 제1 분자를 상기 기준 개수보다 많은 제2 개수(N_1)만큼 출력할 수 있다.

[0134] 분자 수신기(200)는 상기 제1 분자의 검출 개수(Y_{am})에 기초하여 상기 복호화 동작을 수행할 수 있다. 예를 들어, 검출 개수(Y_{am})는 이항 분포(binomial distribution)의 합으로 나타나며, 포아송(Poisson) 랜덤 변수로 근사할 수 있다. 다시 말하면, 검출 개수(Y_{am})는 $Y_{am} \sim \text{Binom}(X, p)$ 일 수 있다. Binom(n,p)는 평균(mean)(np) 및 분산(variance)(np(1-p))에 기초한 이항 분포를 나타낸다. p는 출력된 상기 제1 분자들이 제1 주기(T_b) 동안에 분자 수신기(200)에 도달할 확률을 나타내고, 하기의 [수학식 30]을 만족할 수 있다.

[0135] [수학식 30]

$$p = 1 - H_{4,4}^{2,2}(R; \mathbf{P}_{\text{cdf}})$$

[0137] 상기와 같은 진폭 변조 방식에서, 비트 검출을 위한 최대 우도법은 하기의 [수학식 31] 및 [수학식 32]를 만족할 수 있다. 비트 검출을 위한 문턱 값(γ_{th})은 하기의 [수학식 33]으로부터 획득될 수 있고, 비트 에러율(P_b)은 하기의 [수학식 34]로부터 획득될 수 있다.

[0138] [수학식 31]

$$\hat{X} = \arg \max_{x \in \{N_0, N_1\}} P_{Y_{\text{am}}|X}(y|x)$$

[0140] [수학식 32]

$$P_{Y_{\text{am}}|X}(y|x) = \binom{x}{y} p^y (1-p)^{x-y}, \quad y = 0, 1, 2, \dots$$

[0142] [수학식 33]

$$\frac{\Gamma(N_1 - \gamma_{\text{th}} + 1)}{\Gamma(N_0 - \gamma_{\text{th}} + 1)} = \frac{N_1!}{N_0!} (1-p)^{N_1-N_0}$$

[0144] [수학식 34]

$$P_b = \frac{1}{2} I_p(\gamma^* + 1, N_0 - \gamma^*) + \frac{1}{2} I_{1-p}(N_1 - \gamma^*, \gamma^* + 1)$$

[0146] 상기의 [수학식 33]에서, $\Gamma(x)$ 는 오일러 감마 함수(Euler's gamma function)를 나타낸다. 상기의 [수학식 34]에서, $\gamma^* = \min\{N_0, \gamma_{\text{th}}\}$ 이고, $I_x(a, b)$ 는 정규화된 불완전 베타 함수(regularized incomplete beta function)를 나타낸다.

[0147] 도 4 및 5는 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템이 진폭 변조 방식으로 동작하는 경우에 비트 에러율을 나타내는 도면들이다.

[0148] 도 4를 참조하면, 수평 축은 데이터 전송 속도를 나타내며, 수직 축은 비트 에러율을 나타낸다. 도 4에서, 제1 개수(N_0)는 10이고, 제2 개수(N_1)는 20이며, CASE1, CASE2 및 CASE3은 도 2를 참조하여 상술한 것과 실질적으로 동일할 수 있다. 도 4의 비트 에러율은 도 3의 비트 에러율과 유사한 경향을 가질 수 있다.

[0149] 도 5를 참조하면, 수평 축은 제2 개수(N_1)를 나타내며, 수직 축은 비트 에러율을 나타낸다. 도 5에서, 제1 개수(N_0)는 10이고, 데이터 전송 속도는 1 bits/s이며, CASE1, CASE2 및 CASE3은 도 2를 참조하여 상술한 것과 실질적으로 동일할 수 있다. 도 5의 비트 에러율은 제2 개수(N_1)가 증가함에 감소할 수 있다.

[0150] 도 6은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템이 진폭 변조 방식으로 동작하는 경우에 비트 검출을 위한 문턱 값을 나타내는 도면이다.

[0151] 도 6을 참조하면, 제1 개수(N_0)는 10이고, 제2 개수(N_1)는 20이며, CASE1, CASE2 및 CASE3은 도 2를 참조하여 상술한 것과 실질적으로 동일할 수 있다.

[0152] 상기 비트 검출을 위한 문턱 값은 CASE1, CASE2, CASE3의 순서로 증가할 수 있다. 예를 들어, 데이터 전송 속도가 1 bits/s인 경우에, 제1 비정상 확산(CASE1)에서는 분자 수신기(200)가 약 2.86개 이상의 분자를 검출하면 상기 제1 데이터를 상기 제2 비트 값(예를 들어, "1")으로 판단할 수 있고, 제2 비정상 확산(CASE2)에서는 분자 수신기(200)가 약 7.15개 이상의 분자를 검출하면 상기 제1 데이터를 상기 제2 비트 값으로 판단할 수 있으며, 정상 확산(CASE3)에서는 분자 수신기(200)가 약 10개 이상의 분자를 검출하면 상기 제1 데이터를 상기 제2 비트

값으로 판단할 수 있다.

- [0153] 또한, 상기 비트 검출을 위한 문턱 값은 데이터 전송 속도가 증가할수록 감소할 수 있다. 예를 들어, 제2 비정상 확산(CASE2)에서는, 데이터 전송 속도가 0.1 bits/s인 경우에 분자 수신기(200)가 약 10개 이상의 분자를 검출하면 상기 제1 데이터를 상기 제2 비트 값(예를 들어, "1")으로 판단할 수 있고, 데이터 전송 속도가 1 bits/s인 경우에 분자 수신기(200)가 약 7.15개 이상의 분자를 검출하면 상기 제1 데이터를 상기 제2 비트 값으로 판단할 수 있으며, 데이터 전송 속도가 10 bits/s인 경우에 분자 수신기(200)가 약 1.84개 이상의 분자를 검출하면 상기 제1 데이터를 상기 제2 비트 값으로 판단할 수 있다.
- [0154] 도 7은 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0155] 도 1 및 7을 참조하면, 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 방법에서, 제1 데이터를 나타내는 적어도 하나의 제1 분자를 분자 송신기(100)로부터 송출한다(단계 S100). 상기 적어도 하나의 제1 분자가 분자 송신기(100)와 분자 수신기(200) 사이에 연결되는 분자 전달 채널(300) 내에서 비정상 확산(anomalous diffusion) 프로세스에 기초하여 이동한다(단계 S200). 상기 적어도 하나의 제1 분자를 분자 수신기(200)에서 수신하여 상기 제1 데이터를 획득한다(단계 S300).
- [0156] 일 실시예에서, 분자 전달 채널(300) 내의 상기 비정상 확산 프로세스는 분수 확산 방정식(FDE: Fractional Diffusion Equation)에 기초하여 모델링될 수 있다. 예를 들어, 분자 전달 채널(300) 내의 위치(x) 및 시간(t)에 따른 상기 제1 분자의 존재 확률인 $w(x, t)$ 는 포스 H-함수에 기초한 상기의 [수학식 8]을 만족할 수 있고, 상기 제1 분자의 첫 통과 시간(T)에 대한 확률 밀도 함수인 $f_T(t)$ 는 포스 H-함수에 기초한 상기의 [수학식 22] 및 [수학식 23]을 만족할 수 있다.
- [0157] 도 8 및 도 9는 도 7의 적어도 하나의 제1 분자를 송출하는 단계의 예들을 나타내는 순서도들이다.
- [0158] 도 1, 7 및 8을 참조하면, 상기 적어도 하나의 제1 분자를 송출(단계 S100)하는데 있어서, 상기 제1 분자의 송출 시점을 조절하고 단일 분자를 사용하는 타이밍 변조 방식에 기초하여 상기 제1 데이터를 부호화할 수 있다.
- [0159] 구체적으로, 분자 공급부(110)는 하나의 제1 분자를 제공할 수 있다(단계 S110). 부호화부(120)는 상기 하나의 제1 분자에 대한 부호화 동작을 수행할 수 있다(단계 S120). 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값(예를 들어, "0")을 가지는 경우에(단계 S130: 예), 분자 방출부(130)는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기(T_b)의 시작 시점에 상기 하나의 제1 분자를 출력할 수 있다(단계 S140). 상기 제1 데이터가 상기 제2 비트 값(예를 들어, "1")을 가지는 경우에(단계 S130: 아니오), 분자 방출부(130)는 제1 주기(T_b)의 중간 시점에 상기 하나의 제1 분자를 출력할 수 있다(단계 S150).
- [0160] 이 때, 분자 수신기(200)는 상기의 [수학식 26], [수학식 27] 및 [수학식 28]을 참조하여 상술한 방식에 기초하여 비트 검출을 수행할 수 있다.
- [0161] 도 1, 7 및 9를 참조하면, 상기 적어도 하나의 제1 분자를 송출(단계 S100)하는데 있어서, 상기 제1 분자의 개수를 조절하고 복수의 분자들을 사용하는 진폭 변조 방식에 기초하여 상기 제1 데이터를 부호화할 수 있다.
- [0162] 구체적으로, 분자 공급부(110)는 제1 분자들을 제공할 수 있다(단계 S115). 부호화부(120)는 상기 제1 분자들에 대한 부호화 동작을 수행할 수 있다(단계 S125). 상기 제1 데이터가 상기 제1 비트 값(예를 들어, "0")을 가지는 경우에(단계 S130: 예), 분자 방출부(130)는 상기 제1 데이터를 전송하기 위한 제1 주기(T_b) 동안에 기준 개수보다 적은 제1 개수(N_0)의 상기 제1 분자들을 출력할 수 있다(단계 S160). 상기 제1 데이터가 상기 제2 비트 값(예를 들어, "1")을 가지는 경우에(단계 S130: 아니오), 분자 방출부(130)는 제1 주기(T_b) 동안에 상기 기준 개수보다 많은 제2 개수(N_1)의 상기 제1 분자들을 출력할 수 있다(단계 S170).
- [0163] 이 때, 분자 수신기(200)는 상기의 [수학식 31], [수학식 32], [수학식 33] 및 [수학식 34]를 참조하여 상술한 방식에 기초하여 비트 검출을 수행할 수 있다.
- [0164] 한편, 실시예에 따라서, 분자 송신기(100)는 상기 제1 데이터를 나타내는 상기 제1 분자의 밀도를 조절하는 농도(concentration) 변조 방식에 기초하여 상기 부호화 동작을 수행할 수도 있다. 상기 농도 변조 방식은 복수의 분자들을 사용하여 구현될 수 있다.
- [0165] 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템 및 분자 통신 방법은 컴퓨터로 판독 가능한 매체에 저장된 컴퓨터

로 판독 가능한 프로그램 코드를 포함하는 제품 등의 형태로 구현될 수 있다. 상기 컴퓨터로 판독 가능한 프로그램 코드는 판독 장치를 통해 다양한 컴퓨터 또는 다른 데이터 처리 장치의 프로세서로 제공될 수 있다. 컴퓨터로 판독 가능한 매체는 컴퓨터로 판독 가능한 신호 매체 또는 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체일 수 있다. 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체는 명령어 실행 시스템, 장비 또는 장치 내에 또는 이들과 접속되어 프로그램을 저장하거나 포함할 수 있는 임의의 유형적인 매체일 수 있다.

[0166] 본 발명의 실시예들에 따른 분자 통신 시스템 및 분자 통신 방법은, 휴대폰(Mobile Phone), 스마트 폰(Smart Phone), 태블릿(Tablet) PC(Personal Computer), 노트북(Laptop Computer), 개인 정보 단말기(Personal Digital Assistant; PDA), 휴대형 멀티미디어 플레이어(Portable Multimedia Player; PMP), 디지털 카메라(Digital Camera), 음악 재생기(Music Player), 휴대용 게임 콘솔(Portable Game Console), 네비게이션(Navigation) 시스템 등과 같은 임의의 모바일 기기에 적용될 수도 있고, PC(Personal Computer), 서버 컴퓨터(Server Computer), 워크스테이션(Workstation), 디지털 TV(Digital Television), 셋-탑 박스(Set-Top Box) 등과 같은 임의의 컴퓨팅 시스템에 적용될 수도 있다. 상기 모바일 기기는 웨어러블(wearable) 기기, 사물 인터넷(Internet of Things: IoT) 기기, 만물 인터넷(Internet of Everything: IoE) 기기, e-북(e-book) 등을 더 포함할 수 있다.

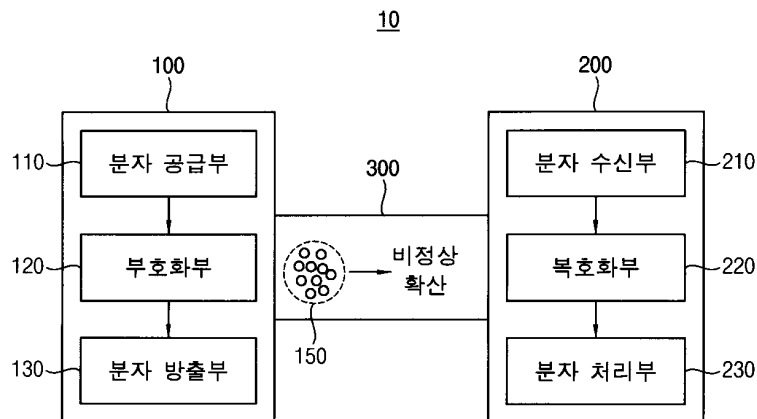
산업상 이용가능성

[0167] 본 발명은 송신 장치, 수신 장치, 이를 포함하는 다양한 통신 장치 및 통신 시스템에 적용될 수 있다. 따라서 본 발명은 휴대폰, 스마트 폰, PDA, PMP, 디지털 카메라, 캠코더, PC, 서버 컴퓨터, 워크스테이션, 노트북, 디지털 TV, 셋-탑 박스, 음악 재생기, 휴대용 게임 콘솔, 네비게이션 시스템, 스마트 카드, 프린터 등과 같은 다양한 전자 기기에 유용하게 이용될 수 있다.

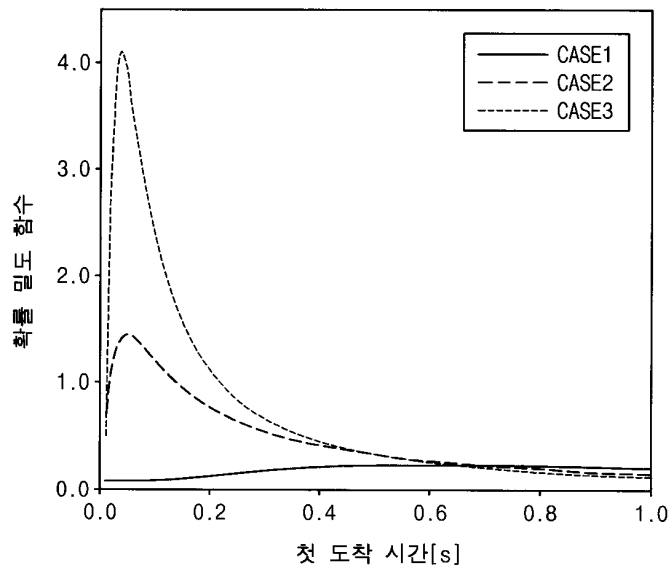
[0168] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 것이다.

도면

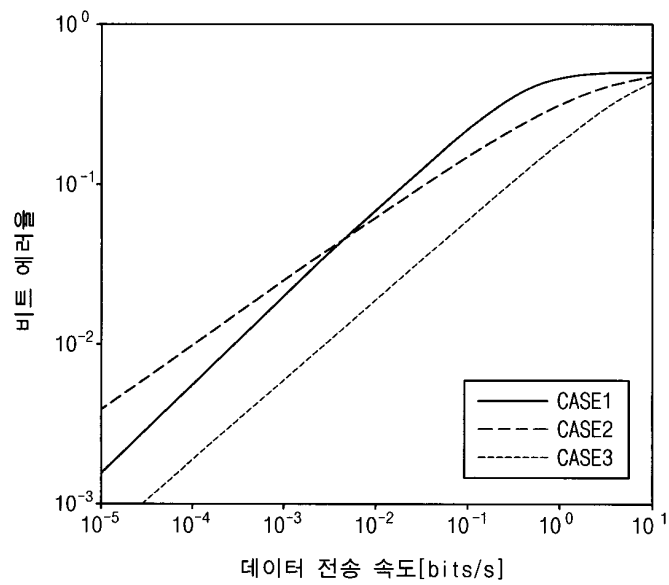
도면1



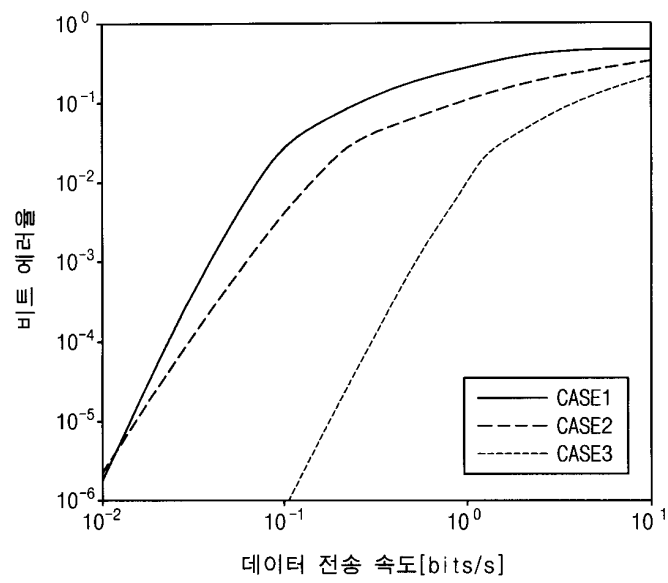
도면2



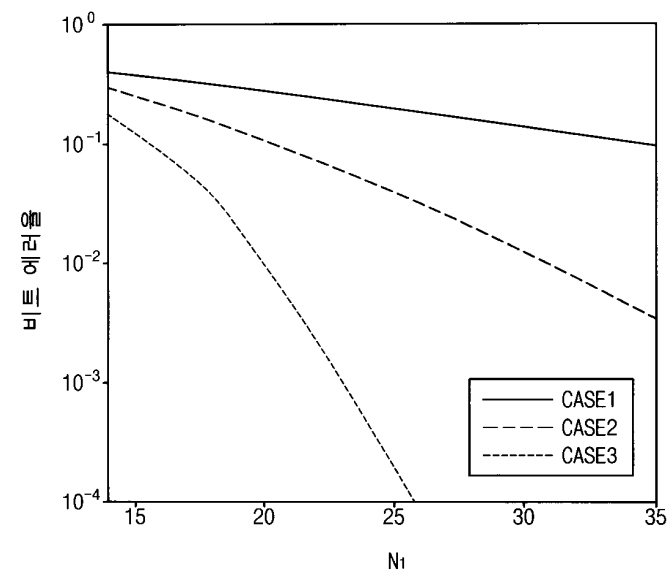
도면3



도면4



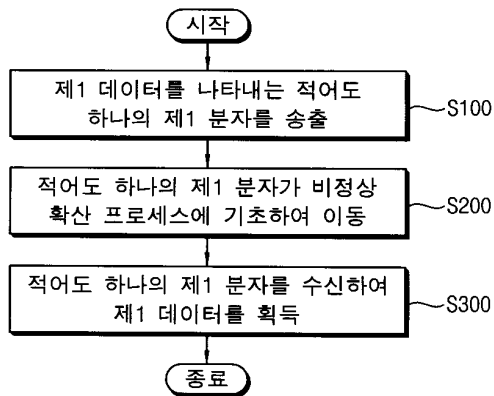
도면5



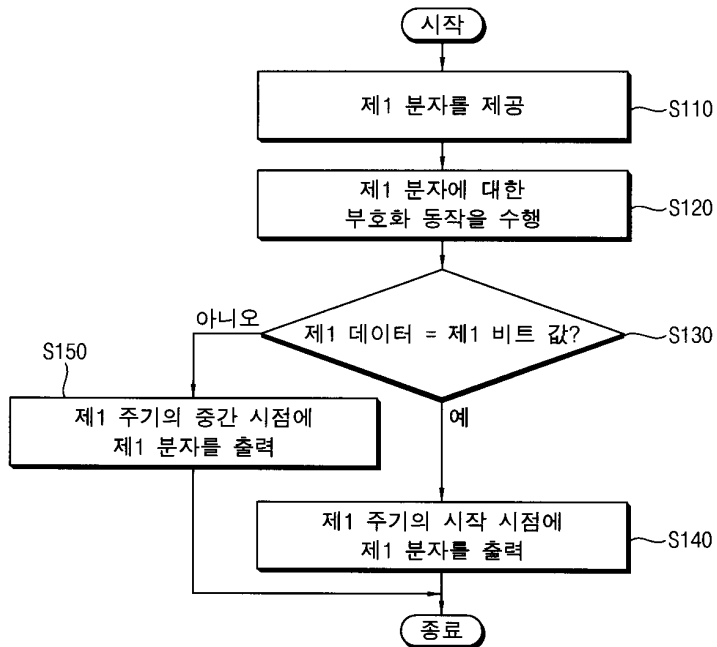
도면6

	데이터 전송 속도[bits/s]				
	0.1	0.5	1	5	10
CASE1	9.82	6.79	2.86	0.58	0.13
CASE2	10	9.35	7.15	4.38	1.84
CASE3	10	10	10	8.04	4.29

도면7



도면8



도면9

