

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국



(10) 국제공개번호

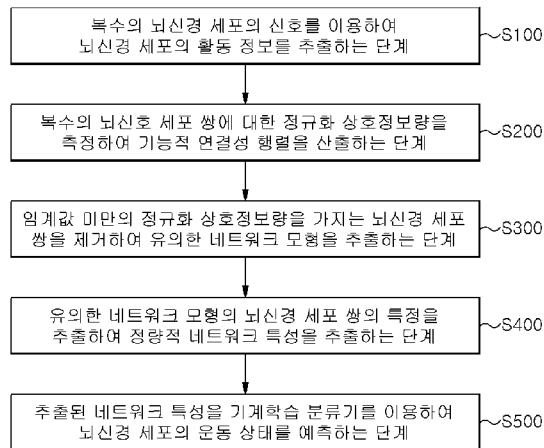
(43) 국제공개일
2022 년 1 월 27 일 (27.01.2022) WIPO | PCT

WO 2022/019429 A1

- (51) 국제특허분류: *G16H 50/70* (2018.01) *G16H 50/30* (2018.01)
G16H 50/20 (2018.01) *G16H 70/00* (2018.01)
G16H 20/30 (2018.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2021/002655
- (22) 국제출원일: 2021 년 3 월 4 일 (04.03.2021)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2020-0091219 2020 년 7 월 22 일 (22.07.2020) KR
- (71) 출원인: 울산과학기술원 (ULSAN NATIONAL INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [KR/KR]; 44919 울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50, Ulsan (KR).
- (72) 발명자: 김성필 (KIM, Sung Phil); 44919 울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50, Ulsan (KR). 김민기 (KIM, Min-ki); 44919 울산시 울주군 언양읍 유니스트길 50, Ulsan (KR).
- (74) 대리인: 제일특허법인(유) (FIRSTLAW P.C.); 06775 서울시 서초구 마방로 60, Seoul (KR).
- (81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR EXTRACTING MOTION-RELATED NETWORK CHARACTERISTICS BETWEEN CRANIAL NERVE CELLS FOR DECODING MOTION INFORMATION

(54) 발명의 명칭: 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법 및 장치



- S100...Use signals of plurality of cranial nerve cells to extract activity information of cranial nerve cells
- S200...Calculate functional connectivity matrix by measuring amount of normalized mutual information for plurality of brain signal cell pairs
- S300...Extract significant network model by removing cranial nerve cell pairs having less than threshold amount of normalized mutual information
- S400...Extract quantitative network characteristics by extracting characteristics of cranial nerve cell pairs of significant network model
- S500...Predict motion state of cranial nerve cells by using extracted network characteristics by using machine learning classifier

(57) Abstract: According to an embodiment, a method for extracting motion-related network characteristics between cranial nerve cells for decoding motion information may comprise the steps of: using signals of a plurality of cranial nerve cells to extract activity information of the cranial nerve cells; calculating a functional connectivity matrix by measuring the amount of normalized mutual information for a plurality of brain signal cell pairs; extracting a significant network model by removing the cranial nerve cell pairs having less than a threshold amount of normalized mutual information; extracting quantitative network characteristics by extracting the characteristics of the cranial nerve cell pairs of the significant network model; and predicting the motion state of the cranial nerve cells

SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역
내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE,
LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유
럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK,
MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

by using the extracted network characteristics by using a machine learning classifier.

(57) 요약서: 실시예는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법에 있어서, 복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 단계와, 상기 복수의 뇌신경 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계와, 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 유의한 네트워크 모형을 추출하는 단계와, 상기 유의한 네트워크 모형의 상기 뇌신경 세포 쌍의 특성을 추출하여 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계와, 상기 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

명세서

발명의 명칭: 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법 및 장치

기술분야

- [1] 실시예는 뇌신경 세포 간 활동 정보를 이용하여 운동 정보를 추출하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로, 뇌의 신경 조직에 장치를 접속하는 뇌-기계 접속 기술은 기록 전극을 두피와 두개골을 통해 운동 영역 내의 신경세포 근처에 삽입하고, 신경세포로부터 활동 전위가 발생하는 경우 신경세포 주변부의 전위의 변화를 측정함으로써 신경 신호를 수신하는 기술이 알려져 있다.
- [3] 이러한 뇌-기계 접속 기술은 뇌의 운동 영역에 기록전극을 이식하여, 운동 영역 내의 신경세포로부터 운동 정보를 추출하여 활용한다.
- [4] 종래 뇌-기계 접속 기술은 주로 뇌신경 세포 활동량을 생성하는 생성하는 공통된 신경망에 속해 있다고 가정할 수 있으므로, 뇌신경세포 간 상호 정보를 교환하며 활동할 가능성이 높다.
- [5] 하지만, 지금까지 그래프 이론을 바탕으로 이러한 뇌신경세포 간 네트워크 활동을 이용하여 실시간 운동 정보를 추출하는 방법은 알려진 바가 없다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 상술한 문제점을 해결하기 위해, 실시예는 개별 뇌신경세포의 활동전위 패턴을 바탕으로 세포 간 네트워크 활동을 정량적으로 계산하고 이를 통해 네트워크를 생성한 후, 그 특성으로부터 운동 정보를 추출하기 위한 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법 및 외부 장치를 제어하는 것을 그 목적으로 한다.

기술적 해결방법

- [7] 실시예는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법에 있어서, 복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 단계와, 상기 복수의 뇌신호 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계와, 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 유의한 네트워크 모형을 추출하는 단계와, 상기 유의한 네트워크 모형의 상기 뇌신경 세포 쌍의 특성을 그래프 이론을 기반으로 추출하여 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계와, 상기 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계를 포함할 수 있다.

- [8] 상기 뇌신경 세포의 활동 정보는 상기 뇌신경 세포의 운동 전 구간, 가속 구간, 감속 구간을 포함할 수 있다.
- [9] 상기 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계에서, 상기 정규화 상호정보량은 수학적식 1에 의해 측정될 수 있다.
- [10] [수학적식 1]
- [11]
- $$\text{Adjacency}(i,j) = I_{\text{norm}}(Z_i;Z_j) = \frac{2(H(Z_i) - (H(Z_i | Z_j)))}{H(Z_i) + H(Z_j)}$$
- [12] 상기 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계에서, 상기 정규화 상호정보량은 0 내지 1 범위로 표현되고, 상기 정규화 상호정보량은 1에 가까울수록 연결성이 클 수 있다.
- [13] 상기 유의한 네트워크 모형을 추출하는 단계에서, 상기 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍의 제거는 수리통계적 기법(False Discovery Rate, FDR)을 이용할 수 있다.
- [14] 상기 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계에서, 상기 정량적 네트워크 특성은 그래프 이론 기반의 노드 군집 계수, 노드 최단 거리, 네트워크 가중치 및 네트워크 밀도를 포함할 수 있다.
- [15] 상기 노드 군집 계수는 수학적식 2에 의해 측정될 수 있다.
- [16] [수학적식 2]
- [17]
- $$C_i = \frac{2\lambda}{k(k-1)}$$
- [18] 상기 노드 최단 거리는 수학적식 3에 의해 측정될 수 있다.
- [19] [수학적식 3]
- [20]
- $$\text{Average path length}_G = \frac{\sum_{i \neq j} d(v_i, v_j)}{m(m-1)}$$
- [21] 상기 네트워크 가중치는 수학적식 4에 의해 측정될 수 있다.
- [22] [수학적식 4]
- [23]
- $$s_j = \sum_i^{j^4} E_{i,j}$$
- [24] 상기 네트워크 밀도는 수학적식 5에 의해 측정될 수 있다.
- [25] [수학적식 5]
- [26]
- $$\sigma = \frac{\text{SPL}_{\text{random}}}{\text{SPL}} - \frac{C}{C_{\text{lattice}}}$$
- [27] 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계에서, 상기 기계학습 분류기는 서포트 벡터 머신을 포함할 수 있다.
- [28] 또한, 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련

네트워크 특성 추출 장치는 복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 활동 정보 추출부와, 상기 복수의 뇌신호 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출하는 행렬 산출부와, 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 유의한 네트워크 모형을 추출하는 네트워크 모형 추출부와, 남은 뇌신경 세포 쌍의 특성을 추출하여 정량적 네트워크 특성을 추출하는 네트워크 특성 추출부와, 상기 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 운동상태 예측부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [29] 실시예는 신경세포 간 기능적 연결성 특성을 통해 신경망을 구성하고 이를 바탕으로 정보를 추출함으로써 뇌신경망과 운동 정보 간 상호관계를 설명하기 용이한 효과가 있다.
- [30] 또한, 실시예는 뇌신경세포 간 연결되어 있는 네트워크를 구성함으로써 물리적 그래프 이론을 적용할 수 있고, 그래프 이론을 기반으로 신경망의 밀도와 노드(신경세포) 군집화, 노드 거리, 네트워크 효율 등을 정량화할 수 있는 효과가 있다.
- [31] 또한, 실시예는 신경세포 간 기능적 연결성 정보를 통해 기존 벡터공간에서는 찾을 수 없는 잠재적 정보를 추출할 수 있고, 이를 통해 운동 관련 정보량을 증가시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [32] 도 1은 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법을 나타낸 순서도이다.
- [33] 도 2는 상지(팔) 운동 상태와 그에 상응하는 신경세포 간 기능적 연결성을 표상하는 이미지를 나타낸 도면이다.
- [34] 도 3은 노드 군집 계수를 측정하기 위한 노드들의 관계를 나타낸 도면이다.
- [35] 도 4는 노드의 최단 거리를 측정하기 위한 노드들의 관계를 나타낸 도면이다.
- [36] 도 5 및 도 6은 운동 정보 예측의 예시 결과를 나타낸 도면이다.
- [37] 도 7은 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 장치를 나타낸 블록도이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [38] 이하, 도면을 참조하여 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[39]

- [40] 도 1은 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법을 나타낸 순서도이고, 도 2는 상지 운동 상태와 그에 상응하는 신경세포 간 기능적 연결성을 표상하는 이미지를 나타낸 도면이고, 도 3은 노드 군집 계수를 측정하기 위한 노드들의 관계를 나타낸 도면이고, 도 4는 노드의 최단 거리를 측정하기 위한 노드들의 관계를 나타낸 도면이고, 도 5 및 도

6은 운동 정보 예측의 예시 결과를 나타낸 도면이다.

- [41] 도 1을 참조하면, 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법은 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 단계(S100)와, 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계(S200)와, 유의한 네트워크 모형을 추출하는 단계(S300)와, 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계(S400)와, 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계(S500)를 포함할 수 있다.
- [42] 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 단계(S100)는 복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 추출할 수 있다. 뇌신경 세포의 활동 정보는 뇌신경 세포의 신호일 수 있다. 여기서, 실시예에서 사용된 데이터는 영장류(Rhesus macaque 종)의 대뇌운동피질영역(M1)으로부터 196개 뉴런의 신경활동 신호를 추출하였다.
- [43] 도 2에 도시된 바와 같이, 해당 영장류는 특정 운동 공간에서 상지(팔) 뻗기 운동을 수행하여 신호를 수집하였다. 뇌신경 세포의 활동 정보는 운동 전(baseline) 구간, 가속(accel) 구간, 감속(decel) 구간으로 나누어 분석하였다.
- [44] 도 1로 돌아가서, 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계(S200)는 복수의 뇌신경 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출할 수 있다. 여기서, 정규화 상호정보량은 뇌신경 세포 i, j 간의 상호정보량 측정 후 정규화하는 과정으로 수학적 식 1에 의해 측정될 수 있다.
- [45] [수학적 식 1]
- [46]
- $$\text{Adjacency}(i, j) = I_{\text{norm}}(Z_i; Z_j) = \frac{2(H(Z_i) - (H(Z_i | Z_j)))}{H(Z_i) + H(Z_j)}$$
- [47] 여기서, I_{norm} 은 정규화 상호정보량을 의미하고, i, j 는 뇌신경 세포의 인덱스를 의미하고, Z_i, Z_j 는 뇌신경 세포 i 와 j 의 뇌신경 신호를 나타내며, $H(Z_i)$ 는 뇌신경 신호 Z_i 의 정보량을 의미할 수 있다.
- [48] 정규화 상호정보량은 0 내지 1 사이의 범위로 표현될 수 있으며, 1에 가까울 수록 연결성이 큰 것을 의미할 수 있다. 정규화 상호정보량은 가중치 행렬을 생성할 수 있으며, 도 2의 두번째 행의 2차원 이미지들의 각 픽셀을 의미할 수 있다.
- [49] 도 1로 돌아가서, 유의한 네트워크 모형을 산출하는 단계(S300)는 유의한 연결성을 갖는 뇌신경 세포를 추출하기 위해 수리통계적 기법(False Discovery Rate, FDR)을 통해 필수 연결 정보를 갖는 노드를 추출할 수 있으며, 이는 도 2의 세번째 행과 같이 도시될 수 있다.
- [50] 즉, 유의한 네트워크 모형을 산출하는 단계(S300)는 뇌신경 세포 간의 정규화 상호정보량이 높지 않은 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 산출할 수 있다. 이를 위해, 정규화 상호정보량이 임계값 미만인 뇌신경 세포 쌍은 제거할 수 있으며, 정규화 상호정보량이 임계값 이상인 뇌신경 세포 쌍만을 남겨두어

유의한 네트워크 모형을 산출할 수 있다.

- [51] 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계(S400)는 유의한 네트워크 모형의 뇌신경 세포 쌍의 특성을 이용하여 추출할 수 있다. 여기서, 정량적 네트워크 특성은 노드 군집 계수, 노드 최단 거리, 네트워크 가중치 및 네트워크 밀도를 포함할 수 있다.

- [52] 노드 군집 계수는 점 세 개가 서로 연결된 노드 그룹 개수와 점 세 개가 서로 연결되거나 연결되지 않은 노드 그룹의 전체 개수를 이용하여 측정할 수 있다. 노드 군집 계수는 수학식 2에 의해 측정될 수 있다. 여기서, 노드는 뇌신경 세포를 의미할 수 있다.

- [53] [수학식 2]

$$[54] \quad C_i = \frac{2\lambda}{k(k-1)}$$

- [55] 여기서, C_i 는 뇌신경 세포 i 의 노드 군집 계수, λ 은 실제 연결된 노드 개수이고, k_i 는 뇌신경 세포 i 와 이웃하는 노드 개수를 의미할 수 있다.

- [56] 도 3에 도시된 바와 같이, 기준 신경 세포와 이웃하는 신경 세포의 노드간 연결 구조를 보고, 수학식 2에 대입하여 노드 군집 계수를 측정할 수 있다.

- [57] 예컨대, 첫번째 구조의 노드 군집 계수는 $C_i = \frac{2 \cdot 3}{3(3-1)} = 1$ 와 같이 측정될 수

있다. 두번째 구조의 노드 군집 계수는 $C_i = \frac{2 \cdot 2}{3(3-1)} = \frac{2}{3}$ 와 같이 측정될 수

있다. 세번째 구조의 노드 군집 계수는 $C_i = \frac{2 \cdot 1}{3(3-1)} = \frac{1}{3}$ 와 같이 측정될

수 있다.

- [58] 노드 최단 거리는 노드와 노드간 연결된 가중치의 합, 즉 노드간 거리 중 가장 짧은 거리를 의미할 수 있다.

- [59] 도 4에 도시된 바와 같이, 그래프 G 에 대해 노드 i 와 j 사이의 최단 거리 $d(v_i, v_j)$ 의 예시를 나타내며, 모든 노드 쌍 별 거리의 평균을 수학식 3에 의해 계산할 수 있다.

- [60] [수학식 3]

$$[61] \quad \text{Average path length}_G = \frac{\sum_{i \neq j} d(v_i, v_j)}{m(m-1)}$$

- [62] 여기서, V_i, V_j 는 노드 i, j 를 의미하고, m 은 전체 노드 개수를 의미하고, $d(V_i, V_j)$ 는 V_i, V_j 의 최단 거리를 의미할 수 있다.

- [63] 네트워크 가중치는 노드와 노드간 연결성의 강도를 의미하며, 가중치의 합 또는 네트워크 강도는 수학식 4에 의해 측정될 수 있다.

- [64] [수학식 4]

[65]
$$s_j = \sum_i^j E_{i,j}$$

[66] 여기서, S_j 는 노드 j 에 대한 가중치 합을 의미하고, E_{ij} 는 노드 i 와 j 사이의 연결성 강도를 의미할 수 있다.

[67] 네트워크 밀도는 작은 세상 네트워크 지표(small-world-ness index)일 수 있다. 제안한 작은 세상 네트워크는 무작위(random) 네트워크와 격자(lattice) 네트워크의 중간 수준에 해당하는 네트워크로, 노드의 평균군집계수와 노드간 평균 최단거리의 비율로 결정될 수 있다.

[68] 작은 세상 네트워크 지표 σ 는 수학식 5에 의해 계산될 수 있다.

[69] [수학식 5]

[70]
$$\sigma = \frac{SPL_{\text{random}}}{SPL} - \frac{C}{C_{\text{lattice}}}$$

[71] 여기서, SPL_{random} 은 무작위 네트워크의 노드간 평균 최단 거리를 의미하며, SPL 은 실제 네트워크의 노드간 평균 최단거리를 나타내고, C_{lattice} 는 격자 네트워크의 평균 노드 군집계수를 나타내며, C 는 실제 네트워크의 평균 노드 군집계수를 의미할 수 있다.

[72] 도 1로 돌아가서, 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계(S500)는 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 운동 상태를 예측할 수 있다. 여기서, 기계학습 분류기는 서포트 벡터 머신(support vector machine)을 포함할 수 있다.

[73] 뇌신경 세포의 운동 상태는 서포트 벡터 머신을 이용하여 수학식 6에 의해 결정될 수 있다.

[74] [수학식 6]

[75]
$$WX - b = 0$$

[76] 여기서, w 는 hyperplane의 normal vector이고, x 는 input vector이고, b 는 바이어스를 의미할 수 있다.

[77] 도 5는 실제 영장류 팔 운동의 특정 수행 실험(trial)을 예시화한 도면으로, 실제 영장류 팔 운동의 속력을 나타내며 각 시간구획에 따라 움직임이 없는 구간(baseline), 가속구간(accel), 감속구간(decel)을 서로 다른 기호로 표시한 그래프이다.

[78] 종래 방법인 신경신호(firing rate)를 그대로 이용하여 운동 상태를 예측한 것과 실시예에 따른 네트워크 특성 정보(network)를 이용하여 운동상태를 예측한 결과를 살펴보면, 네트워크 특성정보를 이용하여 운동상태를 예측할 경우, 가속(accel) 구간에서 뇌신경 신호를 그대로 이용했을 때보다 더 정확한 예측을 수행할 수 있음을 알 수 있다.

[79] 도 6은 해당 영장류의 전체 실험(trial)에 대해 교차검증(10-fold

cross-validation)을 통해 획득한 성능을 나타낸 그래프로서, 실시예에 따른 네트워크 특성 정보(network)를 이용하여 운동상태를 예측한 결과의 성능이 보다 높은 것을 알 수 있다.

[80] 도 7은 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 장치를 나타낸 블록도이다.

[81] 도 7을 참조하면, 실시예에 따른 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 장치는 활동 정보 추출부(100)와, 행렬 산출부(200)와, 네트워크 모형 추출부(300)와, 네트워크 특성 추출부(400)와, 운동상태 예측부(500)를 포함할 수 있다.

[82] 활동 정보 추출부(100)는 복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출할 수 있다.

[83] 행렬 산출부(200)는 복수의 뇌신호 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출할 수 있다.

[84] 네트워크 모형 추출부(300)는 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 유의한 네트워크 모형을 추출할 수 있다.

[85] 네트워크 특성 추출부(400)는 남은 뇌신경 세포 쌍의 특성을 추출하여 정량적 네트워크 특성을 추출할 수 있다.

[86] 운동상태 예측부(500)는 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측할 수 있다.

[87] 이러한 실시예에 따른 뇌신경 세포의 운동정보 추출 장치의 동작은 앞서 설명된 도 1 내지 도 6에 도시된 바와 같이, 동작될 수 있다.

[88] 상기에서는 도면 및 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 실시예의 기술적 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 실시예는 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음은 이해할 수 있을 것이다.

청구범위

- [청구항 1] 뇌신경 세포 간의 운동정보 추출 장치에서 수행되는 뇌신경 세포의 운동정보 추출 방법에 있어서,
복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 상기 복수의 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 단계;
상기 복수의 뇌신호 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계;
임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 유의한 네트워크 모형을 추출하는 단계;
상기 유의한 네트워크 모형의 상기 뇌신경 세포 쌍의 특성을 추출하여 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계; 및
상기 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계를 포함하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.
- [청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 뇌신경 세포의 활동 정보는 상기 뇌신경 세포의 운동 전 구간, 가속 구간, 감속 구간을 포함하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.
- [청구항 3] 제1항에 있어서,
상기 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계에서,
상기 정규화 상호정보량은 수학적 식 1에 의해 측정되는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.
- [수학적 식 1]

$$\text{Adjacency}(i,j) = I_{\text{norm}}(Z_i;Z_j) = \frac{2(H(Z_i) - (H(Z_i | Z_j)))}{H(Z_i) + H(Z_j)}$$

(여기서, I_{norm} 은 정규화 상호정보량을 의미하고, i,j 는 뇌신경 세포의 인덱스를 의미하고, Z_i, Z_j 는 뇌신경 세포 i 와 j 의 뇌신경 신호를 나타내며, $H(Z_i)$ 는 뇌신경 신호 Z_i 의 정보량을 의미함)

- [청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 기능적 연결성 행렬을 산출하는 단계에서,
상기 정규화 상호정보량은 0 내지 1 범위로 표현되고, 상기 정규화 상호정보량은 1에 가까울수록 연결성이 큰 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.
- [청구항 5] 제1항에 있어서,
상기 유의한 네트워크 모형을 추출하는 단계에서,
상기 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포

쌍의 제거는 수리통계적 기법(FDR)을 이용하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.

[청구항 6]

제1항에 있어서,

상기 정량적 네트워크 특성을 추출하는 단계에서,

상기 정량적 네트워크 특성은 노드 군집 계수, 노드 최단 거리, 네트워크 가중치 및 네트워크 밀도를 포함하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.

[청구항 7]

제6항에 있어서,

상기 노드 군집 계수는 수학식 2에 의해 측정되는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.

[수학식 2]

$$C_i = \frac{2\lambda}{k(k-1)}$$

(여기서, C_i 는 뇌신경 세포 i 의 노드 군집 계수, λ 은 실제 연결된 노드 개수이고, k_i 는 뇌신경 세포 i 와 이웃하는 노드 개수를 의미함)

[청구항 8]

제6항에 있어서,

상기 노드 최단 거리는 수학식 3에 의해 측정되는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.

[수학식 3]

$$\text{Average path length}_G = \frac{\sum_{i \neq j} d(v_i, v_j)}{m(m-1)}$$

(여기서, V_i, V_j 는 노드 i, j 를 의미하고, m 은 전체 노드 개수를 의미하고, $d(V_i, V_j)$ 는 V_i, V_j 의 최단 거리를 의미함)

[청구항 9]

제6항에 있어서,

상기 네트워크 가중치는 수학식 4에 의해 측정되는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.

[수학식 4]

$$s_j = \sum_i^{j^4} E_{i,j}$$

(여기서, S_j 는 노드 j 에 대한 가중치 합을 의미하고, E_{ij} 는 노드 i 와 i 사이의 연결성 강도를 의미함)

[청구항 10]

제6항에 있어서,

상기 네트워크 밀도는 수학식 5에 의해 측정되는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.

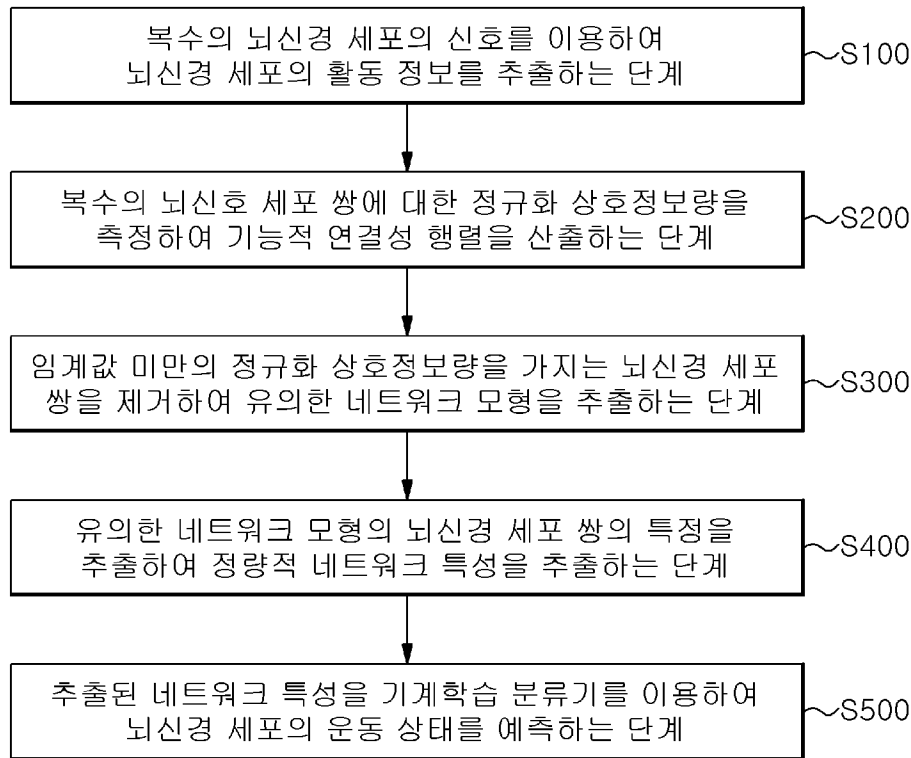
[수학식 5]

$$\sigma = \frac{SPL_{\text{random}}}{SPL} - \frac{C}{C_{\text{lattice}}}$$

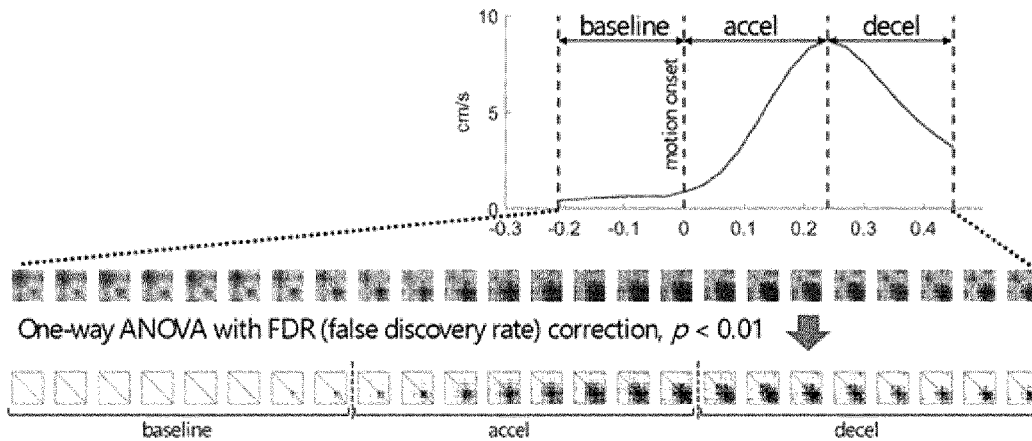
(여기서, SPL_{random} 은 무작위 네트워크의 노드간 평균 최단 거리를 의미하며, SPL 은 실제 네트워크의 노드간 평균 최단거리를 나타내고, C_{lattice} 는 격자 네트워크의 평균 노드 군집계수를 나타내며, C 는 실제 네트워크의 평균 노드 군집계수를 의미함)

- [청구항 11] 제1항에 있어서,
 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 단계에서,
 상기 기계학습 분류기는 서포트 벡터 머신을 포함하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 방법.
- [청구항 12] 복수의 뇌신경 세포의 신호를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 활동 정보를 추출하는 활동 정보 추출부;
 상기 복수의 뇌신경 세포 쌍에 대한 정규화 상호정보량을 측정하여 기능적 연결성 행렬을 산출하는 행렬 산출부;
 임계값 미만의 상기 정규화 상호정보량을 가지는 상기 뇌신경 세포 쌍을 제거하여 유의한 네트워크 모형을 추출하는 네트워크 모형 추출부;
 남은 뇌신경 세포 쌍의 특성을 추출하여 정량적 네트워크 특성을 추출하는 네트워크 특성 추출부; 및
 상기 추출된 네트워크 특성을 기계학습 분류기를 이용하여 상기 뇌신경 세포의 운동 상태를 예측하는 운동상태 예측부를 포함하는 운동정보 디코딩을 위한 뇌신경 세포 간의 운동관련 네트워크 특성 추출 장치.

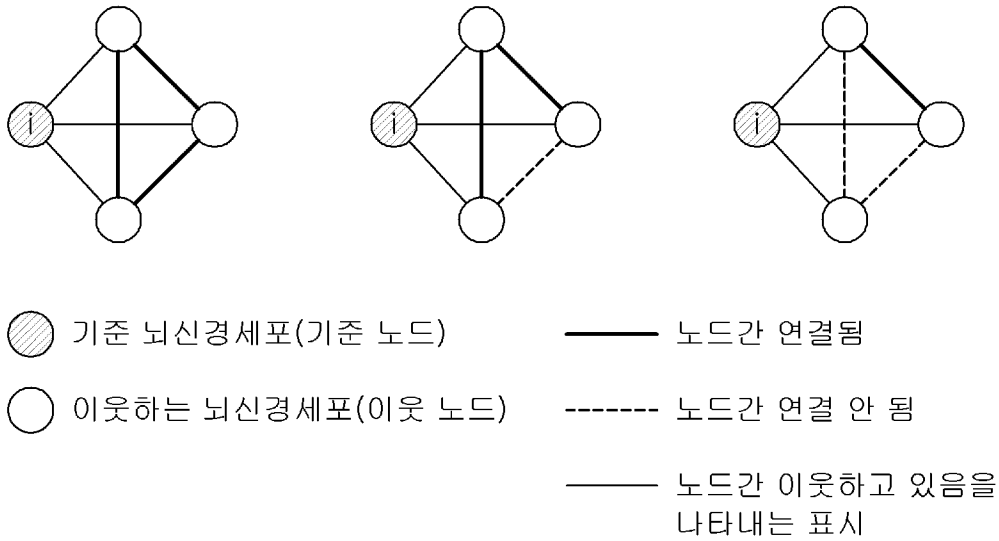
[도1]



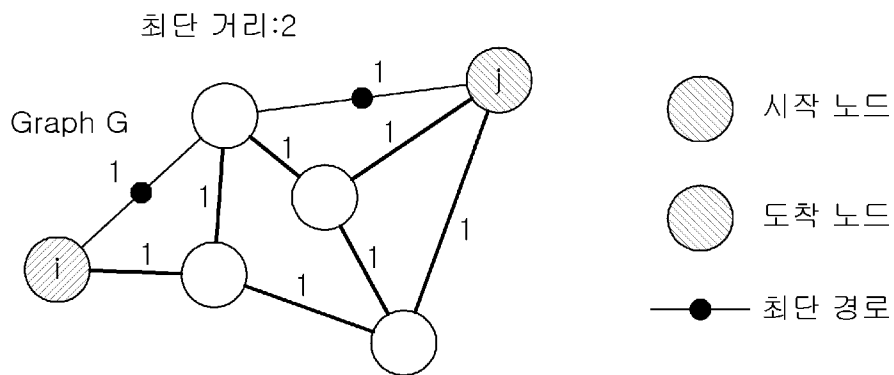
[도2]



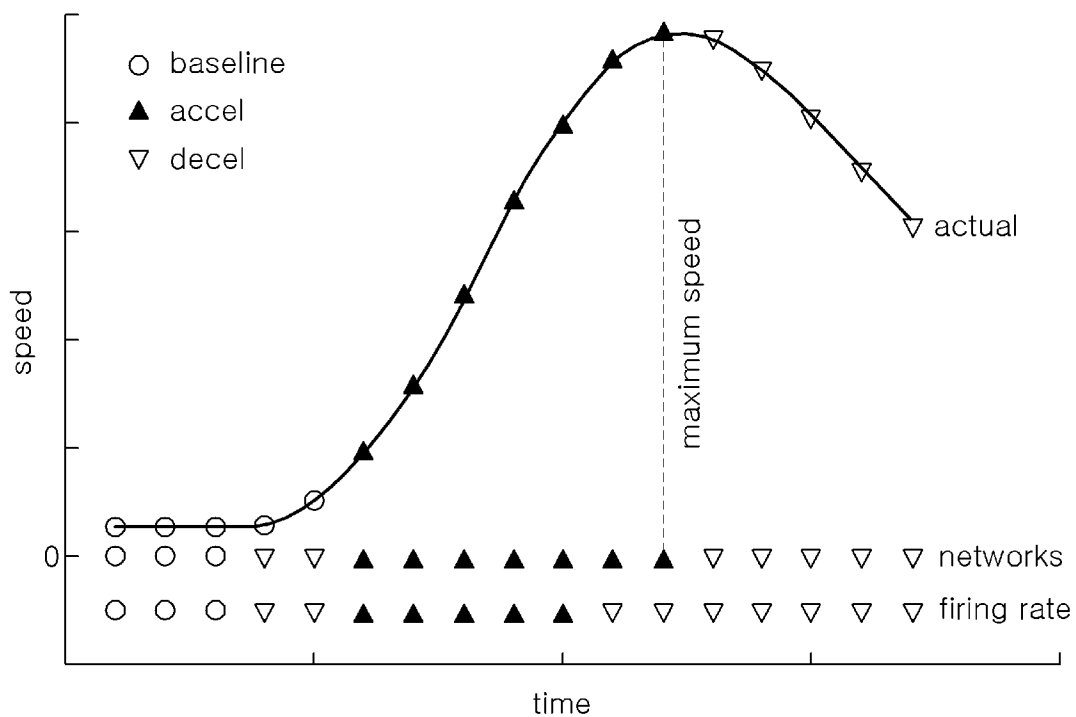
[도3]



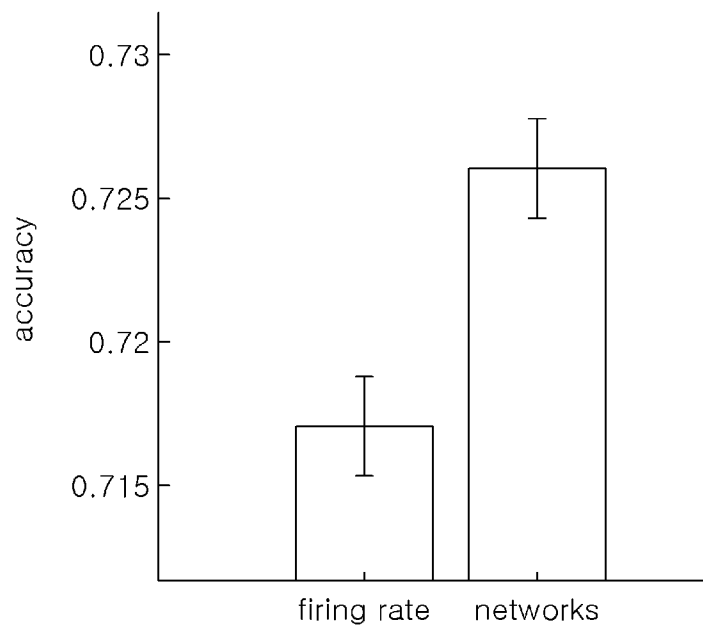
[도4]



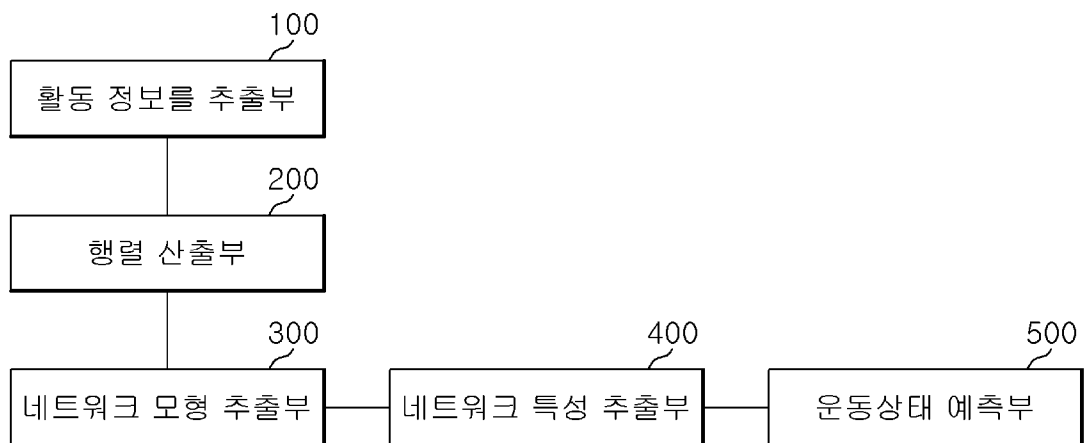
[도5]



[도6]



[도7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/002655

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G16H 50/70(2018.01)i; G16H 50/20(2018.01)i; G16H 20/30(2018.01)i; G16H 50/30(2018.01)i; G16H 70/00(2018.01)i**

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G16H 50/70(2018.01); A61B 5/04(2006.01); A61B 5/0476(2006.01); A61H 1/00(2006.01); A61H 99/00(2006.01); C12M 1/34(2006.01); G06F 15/18(2006.01); G06F 3/01(2006.01); G06N 3/08(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 뇌신경(cranial nerves), 운동(activity), 네트워크(network), 특성(feature), 추출(extraction)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-305704 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL & TECHNOLOGY) 04 November 2004 (2004-11-04) See paragraphs [0014]-[0018] and [0038] and claims 1-2.	1-12
A	KR 10-2015-0128471 A (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 18 November 2015 (2015-11-18) See paragraphs [0055]-[0064].	1-12
A	KR 10-2006-0115192 A (HALLYM UNIVERSITY) 08 November 2006 (2006-11-08) See claims 21-26.	1-12
A	KR 10-2009-0028807 A (REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MINNESOTA) 19 March 2009 (2009-03-19) See entire document.	1-12
A	KR 10-2020-0059129 A (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 28 May 2020 (2020-05-28) See entire document.	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 November 2021

Date of mailing of the international search report

01 November 2021

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2021/002655

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
JP	2004-305704	A	04 November 2004	JP	3931238 B2	13 June 2007
KR	10-2015-0128471	A	18 November 2015	US	2015-0325139 A1	12 November 2015
KR	10-2006-0115192	A	08 November 2006	KR	10-0715201 B1	07 May 2007
KR	10-2009-0028807	A	19 March 2009	AU	2007-269608 A1	10 January 2008
				CA	2657407 A1	10 January 2008
				CN	101583308 A	18 November 2009
				EP	2037803 A2	25 March 2009
				IL	196369 A	22 September 2009
				JP	2009-542351 A	03 December 2009
				US	2008-0091118 A1	17 April 2008
				US	9101276 B2	11 August 2015
				WO	2008-005513 A2	10 January 2008
				WO	2008-005513 A3	04 September 2008
KR	10-2020-0059129	A	28 May 2020	KR	10-2300459 B1	10 September 2021

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G16H 50/70(2018.01)i; G16H 50/20(2018.01)i; G16H 20/30(2018.01)i; G16H 50/30(2018.01)i; G16H 70/00(2018.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G16H 50/70(2018.01); A61B 5/04(2006.01); A61B 5/0476(2006.01); A61H 1/00(2006.01); A61H 99/00(2006.01); C12M 1/34(2006.01); G06F 15/18(2006.01); G06F 3/01(2006.01); G06N 3/08(2006.01) 조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌 한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC 국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우)) eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 뇌신경(cranial nerves), 운동(activity), 네트워크(network), 특성(feature), 추출(extraction)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	JP 2004-305704 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL & TECHNOLOGY) 2004.11.04 단락 14-18, 38 및 청구항 1-2 참조.	1-12
A	KR 10-2015-0128471 A (삼성전자주식회사) 2015.11.18 단락 55-64 참조.	1-12
A	KR 10-2006-0115192 A (학교법인 한림대학교) 2006.11.08 청구항 21-26 참조.	1-12
A	KR 10-2009-0028807 A (리전즈 오브 더 유니버시티 오브 미네소타) 2009.03.19 전체 문헌 참조.	1-12
A	KR 10-2020-0059129 A (고려대학교 산학협력단) 2020.05.28 전체 문헌 참조.	1-12
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌 “E” 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌 “L” 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌 “O” 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌 “P” 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌 “T” 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌 “X” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다. “Y” 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다. “&” 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌		
국제조사의 실제 완료일 2021년11월01일(01.11.2021)		국제조사보고서 발송일 2021년11월01일(01.11.2021)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 박혜련 전화번호 +82-42-481-3463

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 2004-305704 A	2004/11/04	JP 3931238 B2	2007/06/13
KR 10-2015-0128471 A	2015/11/18	US 2015-0325139 A1	2015/11/12
KR 10-2006-0115192 A	2006/11/08	KR 10-0715201 B1	2007/05/07
KR 10-2009-0028807 A	2009/03/19	AU 2007-269608 A1	2008/01/10
		CA 2657407 A1	2008/01/10
		CN 101583308 A	2009/11/18
		EP 2037803 A2	2009/03/25
		IL 196369 A	2009/09/22
		JP 2009-542351 A	2009/12/03
		US 2008-0091118 A1	2008/04/17
		US 9101276 B2	2015/08/11
		WO 2008-005513 A2	2008/01/10
		WO 2008-005513 A3	2008/09/04
KR 10-2020-0059129 A	2020/05/28	KR 10-2300459 B1	2021/09/10