



(10) **DE 10 2020 210 676 B4** 2024.08.01

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 210 676.2**
(22) Anmeldetag: **21.08.2020**
(43) Offenlegungstag: **24.02.2022**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **01.08.2024**

(51) Int Cl.: **A61N 1/36 (2006.01)**
A61B 5/11 (2006.01)
A61F 2/48 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
CereGate GmbH, 81671 München, DE

(72) Erfinder:
Hagh Gooie, Saman, 20457 Hamburg, DE

(74) Vertreter:
**BARDEHLE PAGENBERG Partnerschaft mbB
Patentanwälte, Rechtsanwälte, 81675 München,
DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **CLOSED-LOOP COMPUTER-GEHIRN-SCHNITTSTELLENVORRICHTUNG**

(57) Hauptanspruch: Closed-Loop Computer-Gehirn-Schnittstellen Vorrichtung, CLCBI, (900, 1000) für ein Individuum (100), umfassend:

ein Empfängermodul (930, 1030), das so konfiguriert ist, dass es mindestens ein Sensorsignal erhält, das auf eine Bewegung oder Handlung des Individuums hinweist;

ein Verarbeitungsmodul (940, 1040), das betriebsfähig mit dem Empfängermodul verbunden und so konfiguriert ist, dass es mindestens ein neuronales Rückkopplungssignal zumindest teilweise auf Grundlage des erhaltenen Sensorsignals bestimmt; und

ein Sendemodul (910, 1010), das betriebsfähig mit dem Verarbeitungsmodul verbunden und so konfiguriert ist, dass es das bestimmte neuronale Rückkopplungssignal an eine Neurostimulationsvorrichtung (102) des Individuums oder

ein Neurostimulationsmodul (910), das betriebsfähig mit dem Verarbeitungsmodul verbunden ist, sendet;

wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es ein sensorisches Perzept im Kortex des Individuums über die Stimulierung afferenter sensorischer Axone des zentralen Nervensystems, die auf sensorische Neuronen (730) des Kortex des Individuums abzielen, hervorruft; und wobei das hervorgerufene sensorische Perzept eine Bewegungsunterstützungsinformation anzeigt, die sich auf das erhaltene Sensorsignal bezieht und die Ausführung der Bewegung oder Handlung des Individuums unterstützt, wobei die Bewegungsunterstützungsinformation dem Individuum eine oder mehrere der folgenden Informationen liefert:

eine Entfernungsangabe in Bezug auf ein Objekt, das von dem Individuum manipuliert werden soll;

eine Anzeige einer geographischen Position des Individuums;

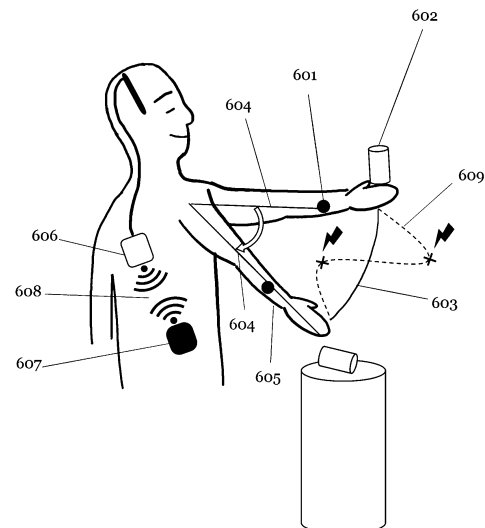
eine Erfolgs- oder Misserfolgsanzeige für eine von dem Individuum ausgeführte Trainingsaufgabe;

eine Anzeige, vorzugsweise kontinuierlich, einer erwünschten oder unerwünschten Trajektorie einer von der Person auszuführenden Bewegung oder Aktion;

eine Anzeige, die den Grad der Abweichung von einer gewünschten Trajektorie einer von dem Individuum auszuführenden Bewegung oder Aktion quantifiziert;

eine Anzeige, die ein erwünschtes oder unerwünschtes Objekt kennzeichnet, das von dem Individuum manipuliert werden soll; und

eine Anzeige, um dem Individuum eine nonverbale Anweisung zu geben die sich auf die Ausführung einer Aufgabe bezieht.



(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	10 2019 209 096	A1
US	8 290 596	B2
US	8 423 145	B2
US	8 475 172	B2
US	8 509 904	B2
US	9 357 938	B2
US	9 974 478	B1
US	2010 / 0 057 161	A1
US	2014 / 0 379 046	A1
US	2015 / 0 018 724	A1
US	2015 / 0 073 492	A1
EP	2 486 897	B1
EP	2 552 304	A1
WO	2011/ 123 059	A1
WO	2012/ 003 451	A2
WO	2012/ 003 451	A3

DONATI, Ana R. C. [u.a.]: Long-term training with a brain-machine interface-based gait protocol induces partial neurological recovery in paraplegic patients. In: Scientific Reports, Vol. 6, 2016, Artikelnummer: 30383 (S. 1-16). - ISSN 2045-2322. DOI: 10.1038/srep30383. URL: <https://www.nature.com/articles/srep30383.pdf> [abgerufen am 2020-09-08]

Beschreibung

1. Technischer Bereich

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Closed-Loop Computer-Gehirn-Schnittstellenvorrichtungen, auf Systeme und auf Computerprogramme, die sowohl für das Training von Verhaltensaufgaben als auch für die Genesung und Rehabilitation verwendet werden können.

2. Technischer Hintergrund

[0002] Bewegungsstörungen und unsichere, unerwünschte oder instabile Bewegungen können ihren Ursprung in einer Reihe von Erkrankungen haben, wie z. B. traumatische Hirnverletzungen, Schlaganfall, Zerebralparese, Parkinson-Krankheit (PD) und Parkinsonismus, Dystonie, Huntington-Krankheit, Ataxie, die vielen Varianten des Tremors, Myoklonus, Zuckungen, Tourette-Syndrom, Restless-Legs-Syndrom, Gangstörungen, Gleichgewichtsstörungen und dergleichen.

[0003] Zum Beispiel werden in den Vereinigten Staaten schätzungsweise über 270.000 Personen jedes Jahr wegen einer traumatischen Hirnverletzung ins Krankenhaus eingeliefert und überleben. Während traumatische Hirnverletzungen zu einer Vielzahl von kognitiven Beeinträchtigungen führen können, sind motorische Störungen zusammen mit Gleichgewichtsstörungen, die am häufigsten berichteten Symptome. Neben den motorischen Symptomen leiden viele Schlaganfallüberlebende an sensorischen Beeinträchtigungen der betroffenen oberen Gliedmaßen, die durch einen verminderten Tast-, Temperatur-, Propriozeptions- und Schmerzsinne gekennzeichnet sind. Diese Symptome können die Fähigkeit beeinträchtigen, die oberen Gliedmaßen bei alltäglichen Aktivitäten zu benutzen.

[0004] Es gibt konsistente klinische Beweise dafür, dass somatosensorische Dysfunktion die motorische Funktion negativ beeinflusst. Die Beeinträchtigungen betreffen die Fähigkeit, Texturen, Gewichte, Formen und Größen zu unterscheiden, Objekte ohne Sehvermögen zu greifen und zu manipulieren und Aufgaben im Alltag mit den Händen auszuführen. Allerdings wird sehr wenig Aufmerksamkeit auf sensorische Beeinträchtigungen in der Rehabilitation und Genesung und das Training von Verhaltensaufgaben gelegt.

[0005] Zum Beispiel beinhaltet die konventionelle Rehabilitation üblicherweise eine Reihe von motorischen oder kognitiven Aufgaben, die der Patient im Rahmen einer Physiotherapie ausführt, die von menschlichen Therapeuten durchgeführt wird. In jüngerer Zeit wurden Roboter-Rehabilitationssysteme beschrieben, die menschliche Therapeuten ergän-

zen und neuartige Rehabilitationsübungen ermöglichen, die von menschlichen Therapeuten allein nicht durchgeführt werden können. Zum Beispiel kann ein Rehabilitationsroboter wie z. B. der BURT (vgl. <https://medical.barrett.com>) aktives visuelles, auditives, propriozeptives und Vibrations-Feedback in Verbindung mit einer Verhaltenstrainingaufgabe geben.

[0006] Die Publikation Donati, A., Shokur, S., Morya, E. et al. „Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients“ Sci Rep 6, 30383 (2016); <https://doi.org/10.1038/srep30383> weist auf die Bedeutung von taktilem Feedback in der langfristigen Rehabilitation hin. Die Studie zeigt, dass eine langfristige Exposition mit Gehirn-Computer-Interface (BCI)-basierten Protokollen, die mit taktilem Feedback angereichert sind und mit robotischem Gehtraining kombiniert werden, kortikale und subkortikale Plastizität induzieren kann, die in der Lage ist, eine partielle neurologische Erholung auszulösen, selbst bei Patienten, bei denen ursprünglich eine chronisch vollständige Rückenmarksverletzung diagnostiziert wurde.

[0007] US 2010 / 0 057 161 A1 bezieht sich auf die Behandlung durch Neuromodulation von Erkrankungen wie einseitige motorische Defizite, Bewegungsstörungen, psychiatrische Störungen, Epilepsie, sprachliche oder kognitive Defizite, die mit hemisphärischen Läsionen verbunden sind. Darüber hinaus offenbart US 2010/0057161 A1 auch ein Verfahren zur Verbesserung des Gedächtnisses, des Lernens und/oder der kognitiven Kapazität bei einem gesunden Individuum durch Stimulierung einer Zielstelle einer zerebello-thalamo-kortikalen Bahn und/oder einer kortikalen-ponto-zerebellaren Bahn.

[0008] US 2015 / 0 073 492 A1 betrifft Systeme zur Behandlung von motorischen Defiziten bei Schlaganfallpatienten, die auf der Stimulierung des Vagusnervs der Patienten während der Ausführung einer ausgewählten therapeutischen Aufgabe basieren und dadurch die motorischen Defizite des Patienten verbessern.

[0009] US 9 974 478 B1 bezieht sich auf ein adaptives Bewegungserholungssystem zur Bereitstellung von Therapie und Training zur Verbesserung der funktionellen motorischen Genesung und der Bewegungssicherheit eines Subjekts, das an einer Verletzung oder an Bewegungsstörungen leidet.

[0010] US 8 509 904 B2 bezieht sich auf eine BCI-Vorrichtung zur Unterstützung der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten mit motorischen Beeinträchtigungen. Die offenbarte Vorrichtung umfasst eine Elektrokortikographie (EcoG)-Mehrfachelektroden-

sonde zur Aufzeichnung neuronaler Aktivitätssignale, eine Auswerteeinheit zur Analyse der Aktivitätssignale und einen Effektor, der von der Auswerteeinheit in Abhängigkeit von einer detektierten Bewegung gesteuert wird. Der Effektor kann eine Orthese sein, aber auch eine Anzeigevorrichtung oder ein anderes Effektormittel, wie z. B. ein Stimulator für Muskel- oder Hirngewebe, das dem Patienten eine Rückmeldung über den Grad des Steuerungserfolges gibt.

[0011] EP 2 486 897 B1 bezieht sich auf eine Schnittstelle zwischen einer Maschine und dem Gehirn eines Patienten, insbesondere eine Schnittstelle für eine oder mehrere Arten von neuronalen Signalen, die im Gehirn eines Patienten entstehen. Die neuronalen Signale werden überwacht und an eine ansprechende mechanische Vorrichtung übertragen, die ihrerseits sensorisches Feedback an den Patienten weiterleitet. Auf diese Weise werden ein oder mehrere neurale Signale, die im Gehirn eines Patienten entstehen, in einer mechanischen Vorrichtung in Bewegung umgesetzt.

[0012] WO 2012/ 003 451 A2 bezieht sich auf ein elektrisches Closed-Loop Stimulationssystem, das eine Elektrodenanordnung umfasst, die angepasst ist, um ein elektrisches Signal an das Nervensystem oder die Muskeln eines Benutzers zu stimulieren, ein Sensorsystem, das angepasst ist, um eine mechanische Reaktion auf ein Muskelstimulationssignal eines Muskels zu erfassen, der mit einer Muskelgruppe verbunden ist, die durch das Nervensystem stimuliert wird, und eine elektrische Stimulationsvorrichtung, die betriebsfähig mit der Elektrodenanordnung und dem Sensorsystem gekoppelt ist, die ein Steuersystem zum Empfangen einer Rückmeldung von dem Muskel und zum Einstellen eines Parameters des Muskelstimulationssignals sowie einen programmierten Mikroprozessor zum Empfangen einer Eingabe von dem Sensorsystem und zum Steuern der elektrischen Stimulation umfasst.

[0013] US 2014 / 0 379 046 A1 bezieht sich auf ein implantierbares Neurostimulatorsystem zur Behandlung von Bewegungsstörungen, das einen Sensor, ein Erkennungs-Subsystem, das in der Lage ist, Episoden einer Bewegungsstörung durch Analyse eines vom Sensor empfangenen Signals zu identifizieren, und ein Therapie-Subsystem, das in der Lage ist, therapeutische elektrische Stimulation zur Behandlung der Bewegungsstörung zu liefern, umfasst. Das System behandelt Bewegungsstörungen, indem es physiologische Zustände erkennt, die für eine Reihe von Symptomen der Bewegungsstörung charakteristisch sind, und selektiv eine Therapie einleitet, wenn solche Bedingungen erkannt werden.

[0014] In ähnlicher Weise bezieht sich US 8 423 145 B2 auf ein implantierbares Neurosti-

mulatorsystem, das für die Therapie verschiedener neurologischer Störungen geeignet ist und das in der Lage ist, die Strategien der Therapieabgabe basierend auf dem physiologischen oder sonstigen Kontext zu variieren, in dem die Therapie angewendet werden soll. Ansprechende und geplante Therapien können in Abhängigkeit von verschiedenen Sensormessungen, Berechnungen, Schlussfolgerungen und Vorrichtungszuständen variiert werden, um eine geeignete Therapie durchzuführen.

[0015] Weitere Informationen zum technischen Hintergrund der vorliegenden Erfindung finden sich in den Stand der Technik Dokumenten US 8 290 596 B2, US 8 475 172 B2, US 9 357 938 B2, EP 2 552 304 A1, US 2015 / 0 018 724 A1.

[0016] Die oben genannten Systeme und Vorrichtungen des Standes der Technik weisen verschiedene Mängel auf.

[0017] So erfordern einige der diskutierten Systeme des Standes der Technik die Implantation spezieller Schnittstellenvorrichtungen wie z. B. spezieller Kortex-Stimulationselektroden über invasive chirurgische Verfahren, die möglicherweise nicht sicher sind und/oder noch nicht vollständig für den breiten klinischen Einsatz zugelassen sind. Darüber hinaus verlassen sich die verfügbaren Systeme zur Unterstützung von Patienten bei der Rehabilitation nach neurologischen Erkrankungen oder Verletzungen auf unspezifisches oder indirektes Feedback, was zu einem unbefriedigenden Therapieerfolg führt. Darüber hinaus können viele der bisherigen Systeme nicht auf den einzelnen Patienten kalibriert werden und sind somit nicht in der Lage, eine patientenspezifische Therapieoptimierung durchzuführen.

[0018] Darüber hinaus nutzen einige der Systeme aus dem Stand der Technik, wie z. B. das in EP 2486897 B1 offenbarte Gehirn-Maschine-Interface, sensorisches Feedback, um die Steuerung einer mechanischen Vorrichtung über das Gehirn-Maschine-Interface zu verbessern. Solche Systeme sind jedoch grundsätzlich auf sensorisches Feedback beschränkt, das die bioelektrischen Signale nachahmt, die normalerweise von physiologischen Sinnesorganen erzeugt werden (z. B. visuelle Rückkopplungssignale, die von einem Retina-Implantat gewonnen werden, auditive Rückkopplungssignale, die von einem Cochlea-Implantat gewonnen werden usw.). Natürlich ist ein solches reines sensorisches Feedback damit auf physiologische Sinnesmodalitäten beschränkt.

[0019] Es ist daher ein Problem, das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt, solche Unzulänglichkeiten bisheriger Technologien zu überwinden, indem neuartige neuronale Stimulationsvorrichtun-

gen bereitgestellt werden, die zur Behandlung oder Rehabilitation von kognitiven und/oder motorischen Defiziten aufgrund von neurologischen Störungen oder Verletzungen eingesetzt werden können. Der vorliegenden Erfindung liegt ferner die Aufgabe zugrunde, neuartige Verhaltenstrainingsparadigmen und -vorrichtungen bereitzustellen, die auf Neurostimulationstechniken beruhen.

3. Zusammenfassung der Erfindung

[0020] Die oben genannten Probleme werden zumindest teilweise durch eine Closed-Loop Computer-Gehirn-Schnittstellenvorrichtung (CLCBI) gemäß dem unabhängigen Anspruch 1 und durch das Computerprogramm des unabhängigen Anspruchs 17 gelöst. Exemplarische Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0021] Im Allgemeinen ermöglicht die vorliegende Erfindung die Implementierung eines neuartigen Closed-Loop Ansatzes zur Rehabilitation und Genesung von Patienten sowie zur Verbesserung der Sensorik und zum Training von Verhaltensaufgaben. Dieser Ansatz basiert auf der direkten Neurostimulation afferenter sensorischer Axone (z. B. thalamokortikale Axone und / oder afferente sensorische Axone des Rückenmarks), die direkt oder indirekt (d. h. über multisynaptische afferente Bahnen des Zentralnervensystems) auf spezifische sensorische Neuronen im Kortex abzielen, um ein Individuum bei der Ausführung einer Verhaltensaufgabe zu unterstützen, wobei die Aufgabenleistung und / oder ein Verhaltens- oder Bewegungszustand des Patienten über eine Rückkopplungsschleife berücksichtigt wird, zu Zwecken eines verbesserten motorischen, sensorischen und kognitiven Lernens und/oder der Gedächtnisbildung. Zum Beispiel ist die vorliegende Erfindung gut geeignet, um aktive Aufgaben des täglichen Lebens (ADL) bei Patienten zu verstärken, die sich von einem Post-Schlaganfall-Symptom erholen. Ein einfaches Beispiel für eine solche Verhaltensaufgabe kann eine Greifaufgabe sein, bei der eine selektive Neurostimulation, die in bestimmten Momenten während der Aufgabe erfolgt, dem Individuum sensorische Hinweise geben kann, die mit den Trainingsindikationen der Aufgabe verbunden sind, und zwar in der gleichen Weise wie ein menschlicher Therapeut, der dem Individuum hilft, die Aufgabe besser zu erlernen.

[0022] Genauer gesagt, stellt die vorliegende Erfindung eine CLCBI-Vorrichtung für ein Individuum bereit, die ein Empfängermodul, das so konfiguriert ist, dass es mindestens ein Sensorsignal erhält, das eine Bewegung oder Handlung des Individuums anzeigt, ein Verarbeitungsmodul, das betriebsfähig mit dem Empfängermodul verbunden ist und so konfiguriert ist, dass es mindestens ein neuronales

Rückkopplungssignal bestimmt, das zumindest teilweise auf dem erhaltenen Sensorsignal basiert, und ein Sendemodul umfasst, das betriebsfähig mit dem Verarbeitungsmodul verbunden ist und so konfiguriert ist, dass es das bestimmte neuronale Rückkopplungssignal an eine Neurostimulationsvorrichtung des Individuums oder ein Neurostimulationsmodul sendet, das betriebsfähig mit dem Verarbeitungsmodul verbunden ist, wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es ein sensorisches Perzept im Kortex des Individuums über die Stimulierung afferenter sensorischer Axone des zentralen Nervensystems, die auf sensorische Neuronen des Kortex abzielen, hervorruft, und wobei das hervorgerufene sensorische Perzept Bewegungsunterstützungsinformationen anzeigt, die sich auf das erhaltene Sensorsignal beziehen, um die Ausführung der Bewegung oder Handlung des Individuums zu unterstützen. Die Bewegungsunterstützungsinformation liefert dem Individuum dabei eine oder mehrere der folgenden Informationen: eine Entfernungsangabe in Bezug auf ein Objekt, das von dem Individuum manipuliert werden soll, eine Anzeige einer geographischen Position des Individuums, eine Erfolgs- oder Misserfolgsanzeige für eine von dem Individuum ausgeführte Trainingsaufgabe, eine Anzeige, vorzugsweise kontinuierlich, einer erwünschten oder unerwünschten Trajektorie einer von der Person auszuführenden Bewegung oder Aktion, eine Anzeige, die den Grad der Abweichung von einer gewünschten Trajektorie einer von dem Individuum auszuführenden Bewegung oder Aktion quantifiziert, eine Anzeige, die ein erwünschtes oder unerwünschtes Objekt kennzeichnet, das von dem Individuum manipuliert werden soll, und eine Anzeige, um dem Individuum eine nonverbale Anweisung zu geben die sich auf die Ausführung einer Aufgabe bezieht.

[0023] Die verschiedenen Module der hier offenbarten Vorrichtungen und Systeme können beispielsweise in Hardware, Software oder einer Kombination davon implementiert sein. Beispielsweise können die verschiedenen Module der hier offenbarten Vorrichtungen und Systeme über anwendungsspezifische Hardwarekomponenten wie anwendungsspezifische integrierte Schaltungen, ASICs, und / oder feldprogrammierbare Gate-Arrays, FPGAs, und / oder ähnliche Komponenten und / oder anwendungsspezifische Softwaremodule implementiert werden, die auf Mehrzweck-Daten- und Signalverarbeitungsvorrichtungen wie CPUs, DSPs und / oder Systems on a Chip (SOCs) oder ähnlichen Komponenten oder einer Kombination davon ausgeführt werden.

[0024] Beispielsweise können die verschiedenen Module der oben beschriebenen CLCBI-Vorrichtung auf einer Mehrzweck-Daten- und Signalverarbeitungsvorrichtung implementiert werden, die für die Ausführung anwendungsspezifischer Softwaremo-

dule und für die Kommunikation mit verschiedenen Sensor- und / oder Neurostimulationsvorrichtungen über herkömmliche drahtlose Kommunikationsschnittstellen wie eine NFC-, eine WIFI- und / oder eine Bluetooth-Schnittstelle konfiguriert ist.

[0025] Alternativ können die verschiedenen Module der oben beschriebenen CLCBI-Vorrichtung auch Teil einer integrierten Neurostimulationsvorrichtung sein, die darüber hinaus spezialisierte elektronische Schaltungen (z. B. Neurostimulationssignalgeneratoren, Verstärker usw.) zum Erzeugen und Anlegen der bestimmten neuronalen Rückkopplungssignale an eine Neurostimulationsschnittstelle des Individuums (z. B. eine Mehrfachkontakt-Elektrode für die tiefe Hirnstimulation (DBS), eine Elektrode für die Rückenmarkstimulation usw.) umfasst.

Die von der oben beschriebenen CLCBI-Vorrichtung erzeugten neuronalen Rückkopplungssignale können beispielsweise auch an eine neuronale Stimulationsvorrichtung übertragen werden, die einen Signalverstärker umfasst, der eine Multikontakt-DBS-Elektrode ansteuert, die möglicherweise bereits zu einem anderen Zweck als der Bereitstellung der neuronalen Rückkopplungssignale in das Gehirn eines Patienten implantiert ist, oder an eine Schnittstelle zur Rückenmarkstimulation. Alternativ können dedizierte DBS-ähnliche Elektroden oder Rückenmarkstimulationselektroden zum Zweck der Anwendung der von der CLCBI-Vorrichtung erzeugten neuronalen Rückkopplungssignale über etablierte und zugelassene chirurgische Verfahren implantiert werden, die für die Implantation von herkömmlichen DBS-Elektroden oder Rückenmarkstimulationselektroden entwickelt wurden. Des Weiteren kann, wie oben erwähnt, die oben beschriebene CLCBI-Vorrichtung auch zusammen mit einer neuronalen Stimulationsvorrichtung in eine einzige Vorrichtung integriert werden.

[0026] Weiterhin ist es wichtig zu beachten, dass sich die Bewegungsunterstützungsinformation, die durch das sensorische Perzept, hervorgerufen durch das neuronale Rückkopplungssignal, angezeigt wird, von einem reinen sensorischen Feedback unterscheidet. Wie weiter unten im Detail erläutert wird (siehe z. B. **Fig. 6** und **Fig. 11a /b**), kann jede Art von abstrakter Information, die die Ausführung der Bewegung oder Handlung unterstützen kann (z. B. eine geographische Positionsangabe, eine Entfernungsangabe, eine Bewegungsbahnangabe usw.), an das Individuum mit einer CLCBI-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung übertragen werden. Zum Beispiel können verschiedene neuronale Rückkopplungssignale so konfiguriert sein, dass sie sensorische Perzepte in Bezug auf eine bestimmte Empfindung (z. B. eine harte Berührungsempfindung in der linken Hand) mit unterschiedlichen Eigenschaften (z. B. unterschiedliche Intensitäten oder Frequenzen) hervorrufen. Die CLCBI-Vorrichtung,

die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellt wird, kann dann so kalibriert werden, dass die unterschiedlichen Charakteristiken der hervorgerufenen sensorischen Perzepte unterschiedliche Bewegungsunterstützungsinformation anzeigen, wie z. B. unterschiedliche Abstände zu einem Objekt, das von der Person manipuliert werden soll oder einen Grad der Abweichung von einer gewünschten Bewegungstrajektorie, die von der Person ausgeführt werden soll.

Beispielsweise kann die von der Person ausgeführte und von der CLCBI-Vorrichtung unterstützte Aktion oder Bewegung mit einer Trainingsaufgabe verbunden sein, und die Bewegungsunterstützungsinformation können das Individuum bei der Durchführung der Trainingsaufgabe unterstützen.

[0027] Die vorliegende Erfindung stellt auch ein Computerprogramm bereit, das Anweisungen zur Ausführung der folgenden Schritte enthält, wenn es von einem Signalverarbeitungs- und Transceivermodul einer Signal- und Datenverarbeitungsvorrichtung, einer neuronalen Stimulationsvorrichtung oder eines Systems ausgeführt wird: Erhalten mindestens eines Sensorsignals, das eine Bewegung oder Handlung eines Individuums anzeigt, Bestimmen eines neuronalen Rückkopplungssignals zumindest teilweise auf der Grundlage des erhaltenen Sensorsignals und Übertragen des neuronalen Rückkopplungssignals an eine Neurostimulationsvorrichtung oder -modul des Individuums, wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es ein sensorisches Perzept in dem Kortex des Individuums über die

Stimulierung afferenter sensorischer Axone des zentralen Nervensystems, die auf sensorische Neuronen des Kortex zielen, hervorruft, und wobei das hervorgerufene sensorische Perzept eine künstliche Bewegungsunterstützungsinformation anzeigt, die sich auf das erhaltene Sensorsignal beziehen, um die Ausführung der Bewegung oder Handlung des Individuums zu unterstützen. Die Bewegungsunterstützungsinformation liefert dem Individuum dabei eine oder mehrere der folgenden Informationen: eine Entfernungsangabe in Bezug auf ein Objekt, das von dem Individuum manipuliert werden soll, eine Anzeige einer geographischen Position des Individuums, eine Erfolgs- oder Misserfolgsanzeige für eine von dem Individuum ausgeführte Trainingsaufgabe, eine Anzeige, vorzugsweise kontinuierlich, einer erwünschten oder unerwünschten Trajektorie einer von der Person auszuführenden Bewegung oder Aktion, eine Anzeige, die den Grad der Abweichung von einer gewünschten Trajektorie einer von dem Individuum auszuführenden Bewegung oder Aktion quantifiziert, eine Anzeige, die ein erwünschtes oder unerwünschtes Objekt kennzeichnet, das von dem Individuum manipuliert werden soll; und eine Anzeige, um dem Individuum eine nonverbale Anweisung zu geben die sich auf die Ausführung

einer Aufgabe bezieht.

Weiterhin kann das mindestens ein Sensorsignal, das von der CLCBI-Vorrichtung erhalten wird, mindestens eines der folgenden anzeigen:

- eine Position, einen Abstand und / oder eine Orientierung eines Körperteils des Individuums in Bezug auf einen festen Bezugsrahmen und / oder ein anderes Körperteil des Individuums und / oder ein von dem Individuum zu manipulierendes Objekt;
- einen Muskelspannungs-, Kontraktions- und / oder Entspannungszustand des mindestens einen Körperteils des Individuums;
- einen Flexions-, Extensions-, Supinations-, Pronations- und / oder Rotationswinkel eines Gelenks des mindestens einen Körperteils des Individuums;
- eine Bewegungsgeschwindigkeit, die mit dem mindestens einen Körperteil verknüpft ist;
- einen Kontaktdruck zwischen einem Abschnitt des mindestens einen Körperteils und einem von dem Individuum zu manipulierenden Objekt.

[0028] Auf diese Weise wird die CLCBI-Vorrichtung in die Lage versetzt, detaillierte Informationen über den Zustand des Körpers des Individuums zu erhalten und zu berücksichtigen, das die CLCBI-Vorrichtung bedient (z. B. während der Durchführung einer verhaltensbezogenen Lern-/Trainingsaufgabe oder eines Rehabilitations- und Genesungsverfahrens), und wird somit in die Lage versetzt, hochspezifische neuronale Rückkopplungssignale zu ermitteln und zu übertragen, die einen schnelleren und aufgabenspezifischeren Lernerfolg ermöglichen. Wie bereits erwähnt, kann das neuronale Rückkopplungssignal auf der Grundlage verarbeiteter Eingangsdaten von mehreren Signalquellen, wie z. B. Videokameras und Kraft-, Beschleunigungs- und/oder Positionssensoren oder Biopotentialaufnehmern, bestimmt werden. Die verarbeiteten Rückkopplungsinformationen können zur Auslösung der Neurostimulation durch Aktivierung geeigneter Wahrnehmungs- / sensorischer Kommunikationskanäle verwendet werden. Auf diese Weise ermöglicht die vorliegende Erfindung die Verwendung von genau getimten Nachrichtenblöcken, die effektive und automatische sensorische Rückkopplungshinweise an die Person liefern, um die Leistung bei Verhaltensaufgaben zu verbessern und zu optimieren.

[0029] Zum Beispiel können die erhaltenen Sensorsignale von mindestens einem der folgenden Sensorvorrichtungen empfangen werden: Eine Computer-Vision-Tracking-Vorrichtung; eine kinematische Sensorvorrichtung; ein Berührungssensor; eine Kraft-, Winkel-, Positions-, Spannungs- und / oder Beschleunigungssensorvorrichtung; eine Elektroen-

zephalographievorrichtung; eine Elektromyographievorrichtung; eine Hautleitfähigkeit-, Atemfrequenz-, Elektrokardiogramm- und Temperatursensorvorrichtung, eine Vorrichtung zur Aufzeichnung des lokalen Feldpotenzials im Tiefenhirn; und eine Elektrokortikographievorrichtung.

[0030] Das Empfängermodul der CLCBI-Vorrichtung kann ferner so konfiguriert sein, dass es Trainingsdaten erhält, die auf eine Trainingsaufgabe hinweisen, die mit der Bewegung oder Handlung des Individuums verknüpft ist.

[0031] Die Bewegungsunterstützungsinformationen können der CLCBI-Vorrichtung zum Beispiel anzeigen, dass eine gewünschte Verhaltensaufgabe erfolgreich oder teilweise erfolgreich abgeschlossen wurde oder dass die Aufgabe fehlgeschlagen ist. Andere Bewegungsunterstützungsinformation können Informationen über eine gewünschte Bewegungstrajektorie liefern, die während des Trainings ausgeführt werden soll. Als Reaktion darauf kann die CLCBI-Vorrichtung ein neuronales Rückkopplungssignal erzeugen, das an eine neuronale Stimulationsvorrichtung des Individuums (z. B. einen Neurostimulationssignalgenerator und -verstärker, der einen oder mehrere Kontakte einer DBS-Elektrode oder einer Rückenmarkstimulationselektrode ansteuert) übertragen wird, wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass im Kortex des Individuums ein sensorisches Perzept hervorgerufen wird, die der gewünschten Bewegungsunterstützungsinformation entspricht, z. B. die gewünschte Trainingsanzeige wie oben beschrieben.

[0032] Des Weiteren kann die oben beschriebene CLCBI-Vorrichtung so konfiguriert sein, dass sie auf eine Datenspeichervorrichtung zugreift, die eine Vielzahl von für das Individuum spezifischen Beziehungen speichert, die eine Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen mit einer Vielzahl von entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformationen assoziieren. In einigen Ausführungsformen kann die CLCBI-Vorrichtung auch die Datenspeichervorrichtung umfassen, die die Vielzahl von Beziehungen speichert, die für das Individuum spezifisch sind und die die Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen mit der Vielzahl von entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformationen assoziiert.

[0033] Beispielsweise kann die Vorrichtung zur Datenspeicherung eine personalisierte Kommunikationsbibliothek für das Individuum enthalten, wobei die Bibliothek die Beziehungen zwischen einer Vielzahl von Bewegungsunterstützungsinformationen und einer Vielzahl von entsprechenden neuronalen Rückkopplungssignalen speichert. Eine solche Bibliothek von Stimulations-/Rückkopplungssignalen

kann für jedes Individuum durch Neuroimaging und / oder individualisierte Tests des Individuums kalibriert werden. Neuroimaging kann zunächst dazu verwendet werden, theoretisch mögliche Aktivierungsbereiche für eine individuelle Stimulationselektrode zu identifizieren, während durch individualisiertes Testen bestimmt wird, welche Punkte im Parameterraum der Rückkopplungssignalparameter vom Kortex des Individuums wahrgenommen und dekodiert werden können. Es sollte betont werden, dass das bewusste individualisierte Testen eines Individuums nur ein spezifisches Beispiel dafür ist, wie die im Speicher gespeicherten individualisierten Beziehungen erzeugt werden können. In anderen Ausführungsformen können solche Beziehungen auch von unbewussten Patienten gewonnen werden, z. B. durch die nicht-invasive Beobachtung entsprechender funktioneller MRT-Antworten am somatosensorischen Kortex oder EEG-Aufzeichnungen.

[0034] Außerdem kann, sobald die Kommunikationsbibliothek eingerichtet ist oder während sie für ein Individuum eingerichtet wird, ein spezifisches Trainingsverfahren ausgeführt werden, das ein bestimmtes sensorisches Perzept mit der entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformation verknüpft. Solange der Kortex des Individuums auf klassische Konditionierung anspricht, kann Paarlernen durchgeführt werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung besteht ein solches Paar aus einem gegebenen sensorischen Perzept, das einem gegebenen neuronalen Rückkopplungssignal entspricht, und der entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformation (z. B. eine Anzeige, die sich auf die Ausführung einer verhaltensbezogenen Trainingsaufgabe/-prozedur bezieht, wie oben beschrieben), die mit dem gegebenen sensorischen Perzept und dem entsprechenden neuronalen Rückkopplungssignal assoziiert werden soll.

[0035] Wichtig ist, dass die Art der über die oben beschriebene CLCBI-Vorrichtung zu übermittelnder Information, ob es sich um eine Bewegungsunterstützungsinformation oder eine ähnliche Information handelt, mehr oder weniger frei gewählt werden kann. Jede Information oder Nachricht, die in Nachrichtenblöcke zerlegt werden kann (d.h. Stücke von konzeptuellen Informationen, die vom Kortex eines Individuums dekodiert werden können), kann übertragen werden. Dazu gehören auch kontinuierliche neuronale Rückkopplungssignale, wie z. B. eine (quasi-) kontinuierliche Anzeige einer gewünschten Bewegungsbahn oder andere Informationen, die für die Ausführung der gewünschten Bewegung oder Handlung relevant sein können (z. B. eine Start- oder Stoppanzeige, eine Anzeige von zu vermeidenden oder zu manipulierenden Objekten usw.).

[0036] Insbesondere können die spezifischen Beziehungen zumindest teilweise auf einem oder

mehreren der folgenden Punkte beruhen: konzeptionelle oder wahrnehmungsbezogene Lerndaten für das Individuum, Neuro-Imaging-Daten für das Individuum, elektrophysiologische Messdaten für das Individuum, neuronale Verbindungsinformationen für das Individuum, elektrische Feldsimulationsdaten für die Neurostimulationsvorrichtung des Individuums und neuronale Erregbarkeitsmodelldaten für das Individuum.

[0037] Auf diese Weise können selbst komplexe Bewegungsunterstützungsinformation, wie z. B. eine kontinuierliche Bewegungsbahnanzeige, mit entsprechenden sensorischen Perzepten assoziiert werden, die für jedes Individuum spezifisch sind. Zum Beispiel kann das Individuum an einem konzeptionellen Lernverfahren teilnehmen, um einen perzeptiven Kommunikationskanal (PC) für die Kommunikation von künstlichen sensorischen Eingangssignalen einzurichten, die von einem Motion-Tracking-Kamerasystem oder einer ähnlichen Sensorausrüstung bereitgestellt werden.

[0038] Weiterhin kann das neuronale Rückkopplungssignal durch eine Vielzahl von Signalparametern charakterisiert sein, wie z. B. eine Signalwellenform, eine Signalfrequenz, eine Signalpolarität, eine Signalimpulsform, eine Signalamplitude und / oder eine Signalimpulsbreite, und wobei unterschiedliche Kombinationen von Signalparametern unterschiedlichen Bewegungsunterstützungsinformationen entsprechen.

[0039] Darüber hinaus kann das neuronale Rückkopplungssignal so angepasst sein, dass es ein sensorisches Perzept in einem Teil des Kortex des Individuums hervorruft, der mit einer spezifischen sensorischen Modalität assoziiert ist, und wobei der Teil des Kortex einer oder mehrere der folgenden ist: ein somatosensorisches Kortexgebiet; ein auditorisches Kortexgebiet; ein visuelles Kortexgebiet; ein olfaktorisches Kortexgebiet; ein entorhinales Kortexgebiet oder Komponenten des Papez-Kreises.

[0040] Insbesondere kann das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert sein, dass es thalamokortikale Axone stimuliert, die vom Thalamus zu den sensorischen Neuronen des Kortex projizieren. Wenn das neuronale Rückkopplungssignal z. B. über eine herkömmliche DBS-Elektrode angelegt wird, können die Signalparameter des neuronalen Rückkopplungssignals so eingestellt werden, dass Aktionspotentiale in spezifischen Teilpopulationen solcher thalamokortikalen Axone ausgelöst werden, z. B. in einer Gruppe von Axonen, die zu spezifischen somatosensorischen Neuronen im Kortex projizieren. Alternativ oder zusätzlich kann das neuronale Rückkopplungssignal auch so konfiguriert sein, dass es afferente sensorische Axone des Rückenmarks stimuliert, die direkt (d. h. über eine monosyn-

naptische Bahn) oder indirekt (d. h. über eine multisynaptische Bahn) zum Thalamus oder zum Kortex projizieren.

[0041] Im Allgemeinen können die Empfindungsmodalität, der Ort, die Art und die Intensität des sensorischen Perzepts, die im Kortex als Reaktion auf diese afferenten Aktionspotenziale ausgelöst wird, über die genaue Elektrodenposition und die Auswahl der Neurostimulationsparameter gesteuert werden. Die vorliegende Erfindung nutzt solche künstlichen Empfindungen, um Informationen in Form von diskreten oder kontinuierlichen Nachrichtenblöcken direkt an das Gehirn zu übertragen, indem die gewünschten PCs gebildet werden. Wie oben beschrieben, können die PCs über einen einzelnen oder über mehrere elektrische Kontakte einer DBS-Elektrode oder einer Rückenmarkstimulationselektrode gebildet werden, die mit kalibrierten Neurostimulationsparametern elektrisch aktiviert werden, um spezifische sensorische Nachrichten an das Individuum zu liefern. Die Empfindungsmodalität der genannten PCs kann taktile, propriozeptive, visuelle oder auditive Empfindungen umfassen, die auf der Anwendung oder der Lage und Ausrichtung der implantierten Stimulationselektrode basieren.

[0042] Darüber hinaus könnten verschiedene biologische Signale, einschließlich kinematischer Daten (Beschleunigungsmesser) und solche, die mit Elektromyographie (EMG), EEG, EKoG und lokalen Feldpotentialen (LFPs) gewonnen werden, ebenfalls als Sensoreingangssignale betrachtet werden, die von der CLCBI-Vorrichtung verwendet werden können, um entsprechende neuronale Rückkopplungssignale zu bestimmen. Jede dieser Feedback-Modalitäten variiert in Bezug auf Invasivität, Auflösung, Signalinhalt und klinischer Relevanz. Zum Beispiel können Daten von Beschleunigungssensoren den Beginn der Bewegung erkennen oder alternativ Symptome wie Tremor erfassen. Oberflächen-EMG (sEMG) von symptomatischen Gliedmaßen oder Muskelgruppen kann nützliche Informationen als Biomarker liefern, um beispielsweise eine bewegungsgetriggerte Stimulation einzuleiten.

[0043] In einer weiteren Ausführungsform stellt die vorliegende Erfindung ein Erholungs- und Rehabilitationssystem bereit, das die oben beschriebene CLCBI-Vorrichtung umfasst. Beispielsweise kann ein solches Genesungs- und Rehabilitationssystem zusätzlich zu der CLCBI-Vorrichtung auch mindestens eine der oben beschriebenen Sensorvorrichtungen und / oder die oben beschriebene Datenspeichervorrichtung und / oder eine neuronale Stimulationsvorrichtung und / oder eine entsprechende Neurostimulationselektrode umfassen. Mehrere oder alle dieser Systemkomponenten können auch in einer einzigen integrierten Mehrzweck-Neuronalen Stimulationsvorrichtung integriert sein.

[0044] Darüber hinaus kann die oben beschriebene CLCBI-Vorrichtung auch in einem prothetischen System für ein Individuum verwendet werden, das - zusätzlich zur CLCBI-Vorrichtung - Folgendes umfasst:

Eine elektromechanische prothetische Vorrichtung für das Individuum und eine Steuerschnittstellenvorrichtung, die konfiguriert ist, um die elektromechanische prothetische Vorrichtung zu steuern, wobei die von der CLCBI-Vorrichtung übertragene Bewegungsunterstützungsinformation konfiguriert ist, um die Steuerung der elektromechanischen prothetischen Vorrichtung über die Steuerschnittstelle zu unterstützen.

[0045] Ein solches Prothesensystem kann ferner mindestens eine der oben im Detail beschriebenen Sensorvorrichtungen und / oder die Datenspeichereinrichtung umfassen.

[0046] Darüber hinaus kann die Steuerschnittstellenvorrichtung eines solchen Prothesensystems eine Gehirn-Computer-Schnittstellen-Vorrichtung, BCI, umfassen, die so konfiguriert ist, dass sie die neuronale Aktivität des Individuums in Bezug auf die Steuerung der elektromechanischen Prothesenvorrichtung überwacht.

[0047] Auf diese Weise erleichtert die vorliegende Erfindung sogar die Konstruktion neuartiger Closed-Loop künstlicher Körperteile.

4. Kurze Beschreibung der Figuren

[0048] Verschiedene Aspekte der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher beschrieben. Diese Figuren zeigen:

Fig. 1 ein Diagramm zur Veranschaulichung eines Individuums, das an einer Verhaltenstrainingsaufgabe, wie z.B. einem Genesungs- und Rehabilitationsverfahren, unter Verwendung einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung teilnimmt;

Fig. 2 ein Diagramm zur Veranschaulichung einer Bewegung oder Handlung eines Individuums, die durch Bewegungsunterstützungsinformationen unterstützt werden kann, die von einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erzeugt werden;

Fig. 3 ein Diagramm, das einen Kraftsensor veranschaulicht, der ein Sensorsignal erzeugt, das als Eingabe für eine CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann;

Fig. 4 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Aufbaus eines Closed-Loop Gleichgewichts-Rehabilitationssystems unter Verwendung einer Anordnung von Beschleunigungssensoren in Verbindung mit einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5 ein Diagramm, das den Aufbau eines Closed-Loop Gleichgewichts-Rehabilitationssystems unter Verwendung von Beschleunigungsmessern und Gyroskopen in Verbindung mit einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 6 ein Diagramm, das den Aufbau eines Closed-Loop (quasi-)kontinuierlichen Bewegungskorrektursystems auf der Basis einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

Fig. 7 ein Diagramm, das eine neuronale Stimulationselektrode zur Stimulation afferenter Axone zeigt, die auf den sensorischen Kortex eines Individuums zielen. Die neuronale Stimulationselektrode kann mit einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verbunden werden;

Fig. 8 ein Diagramm, das eine therapeutische Multikontakt-Neuromodulationselektrode zeigt. Die Elektrode kann zur Stimulation afferenter Axone des zentralen Nervensystems verwendet werden, die auf den sensorischen Kortex eines Individuums über eine CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zielen.

Fig. 9 ein funktionelles Blockschaltbild zur Veranschaulichung einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10 ein funktionelles Blockschaltbild, das eine CLCBI-Vorrichtung gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

Fig. 11a ein Diagramm, das ein Individuum darstellt, das an einer Verhaltenstrainingsaufgabe unter Verwendung einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung teilnimmt; das Subjekt wird nonverbal darüber informiert, dass es aufhören soll, sich einem unerwünschten Ziel zu nähern, wobei ein spezifischer PC verwendet wird, der über mit dem Armbereich assoziierte sensorische Perzepte eingerichtet wird.

Fig. 11b ein Diagramm, das ein Individuum zeigt, das an einer Verhaltenstrainingsaufgabe unter Verwendung einer CLCBI-Vorrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden

Erfindung teilnimmt; das Subjekt wird nonverbal informiert, sich einem gewünschten Ziel zu nähern, wobei ein spezifischer PC verwendet wird, der über sensorische Perzepte etabliert wird, die mit dem Handbereich assoziiert sind.

5. Detaillierte Beschreibung einiger beispielhafter Ausführungsformen

[0049] Im Folgenden werden einige beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung näher beschrieben, wobei auf eine CLCBI-Vorrichtung Bezug genommen wird, die mit neuronalen Stimulationselektroden wie DBS-Elektroden und / oder Rückenmarkstimulationselektroden verbunden werden kann, z. B. über eine zwischengeschaltete neuronale Stimulationsvorrichtung. Die vorliegende Erfindung kann jedoch auch mit jeder anderen neuronalen Stimulationsschnittstelle verwendet werden, die in der Lage ist, afferente sensorische Axone des zentralen Nervensystems zu stimulieren, die auf den sensorischen Kortex eines Individuums zielen.

[0050] Während im Folgenden spezifische Merkmalskombinationen in Bezug auf die beispielhaften Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben werden, ist zu verstehen, dass nicht alle Merkmale der besprochenen Ausführungsformen vorhanden sein müssen, um die Erfindung, die durch den Gegenstand der Ansprüche definiert ist, zu realisieren. Die offenbarten Ausführungsformen können modifiziert werden, indem bestimmte Merkmale einer Ausführungsform mit einem oder mehreren Merkmalen einer anderen Ausführungsform kombiniert werden. Insbesondere wird der Fachmann verstehen, dass Merkmale, Komponenten und / oder Funktionselemente einer Ausführungsform mit technisch kompatiblen Merkmalen, Komponenten und / oder Funktionselementen jeder anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kombiniert werden können.

[0051] **Fig. 1** zeigt ein Individuum 100, z. B. einen Schlaganfallpatienten, der an einer Verhaltenstrainingsaufgabe, wie z. B. einem Rehabilitations- und Genesungsprozess, teilnimmt. Dem Individuum 100 wurde eine neuronale Stimulationselektrode 101 implantiert, wie z. B. eine DBS-Elektrode oder eine Rückenmarkstimulationselektrode, die mehrere unabhängig voneinander steuerbare elektrische Kontakte aufweisen kann (siehe auch **Fig. 8**). Die neuronale Stimulationselektrode 101 kann z. B. bereits in das Gehirn des Individuums 100 implantiert sein, um eine Neuromodulationstherapie durchzuführen, z. B. zur Behandlung von Parkinson-Symptomen. Die neuronale Stimulationselektrode 101 kann auch zu anderen Zwecken implantiert werden, z. B. zum Zweck der neuronalen Kommunikation und/oder zur Behandlung anderer Bewegungseinschränkungen und neurologischer Erkrankungen, wie z. B. der

Alzheimer-Krankheit, Epilepsie, Depression usw. Alternativ kann die Elektrode 101 auch als dedizierte Neurostimulationsschnittstelle für die CLCBI-Vorrichtungen gemäß der vorliegenden Erfindung implantiert werden.

[0052] Das Individuum 100 kann außerdem mit einer Neurostimulationsvorrichtung 102 ausgestattet sein, bei der es sich um einen implantierbaren und programmierbaren Impulsgenerator (IPG) handeln kann, der unter die Haut des Individuums implantiert wird. Alternativ kann die Neurostimulationsvorrichtung 102 am Kopf des Individuums 100 oder an einer anderen Stelle am oder in der Nähe des Körpers des Individuums 100 angeordnet sein. Die Neurostimulationsvorrichtung 102 kann in drahtloser Kommunikation (z. B. über Bluetooth, WI-FI, NFC oder eine ähnliche drahtlose Schnittstellentechnologie) mit einer Steuervorrichtung/einem Taschenprozessor 103 stehen, die/der durch eine dedizierte Signal- und Datenverarbeitungsvorrichtung wie z. B. ein Smartphone oder eine ähnliche elektronische Informationsverarbeitungsvorrichtung implementiert sein kann. Je nach Implementierungsdetails können die CLCBI-Vorrichtungen, die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellt werden, über anwendungsspezifische Hardware- und / oder Software-Module implementiert werden, die Schaltungen und / oder Softwareanweisungen umfassen, um die Vorrichtungen und Systeme gemäß der vorliegenden Erfindung zu implementieren.

[0053] Die Steuervorrichtung / der Taschenprozessor 103 kann dem Individuum 100 eine Benutzeroberfläche zur Verfügung stellen, um die neuronalen Rückkopplungssignale und/oder eine Neuromodulationstherapie einzustellen, die über die Neurostimulationsvorrichtung 102 und die neuronale Stimulationselektrode 101 angewendet wird. Die Steuervorrichtung 103 kann auch Konnektivität zu einem paketbasierten drahtlosen Großflächennetzwerk, wie z. B. einem LTE- oder 5G-Netzwerk, bereitstellen. Das Individuum 100 kann die Steuervorrichtung 103 beispielsweise verwenden, um Signalparameter wie eine Signalfrequenz, eine Pulsbreite, eine Pulsform und/oder eine Signalamplitude der neuronalen Rückkopplungssignale einzustellen sowie um Daten aus dem Internet abzurufen.

[0054] Die verschiedenen Module der erfindungsgemäßen CLCBI-Vorrichtung können durch die Steuervorrichtung 103, die neuronale Stimulationsvorrichtung 102 oder durch eine Kombination davon realisiert werden (Beispiele siehe **Fig. 9** und **10**).

[0055] Die erfindungsgemäße CLCBI-Vorrichtung kann z. B. Patienten bei der Rehabilitation von sensomotorischen Defiziten aufgrund einer akuten oder chronischen neurologischen Erkrankung, wie z. B. einem Schlaganfall, unterstützen, indem sie wieder-

holte zielgerichtete sensomotorische Aufgaben ausführt, wie in **Fig. 1** dargestellt. Während der Rehabilitation wird der Patient angewiesen, eine therapeutische Aufgabe auszuführen, wie z. B. das Erreichen und Greifen eines Objekts 108. Die Greifbewegung kann so definiert werden, dass sie bestimmte Muskelgruppen einbezieht, die einer Rehabilitation bedürfen.

[0056] Die von der CLCBI-Vorrichtung eingerichteten Kommunikationskanäle können auf verschiedene Weise genutzt werden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf das Ansprechen des Patienten zu einem bestimmten Zeitpunkt, um dem Patienten sensorische Rückmeldungen zu geben. Die Hinweise können physische Anforderungen für die korrekte Ausführung einer Aufgabe beinhalten, wie z. B. die ideale Handposition, Gelenkwinkel, ausreichende Kraft zum Halten eines Objekts oder Informationen über die Form oder Textur von Objekten.

[0057] Informationen wie die sEMG-Muskelaktivität 105, Beschleunigungsmesser- oder Gyroskopdaten 106 sowie die Ausgaben eines Bewegungsverfolgungssystems 107 können in die Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 103 eingespeist werden. Die Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 103 kann für die Vorverarbeitung der rohen Eingangsdaten verantwortlich sein, um Rauschen und Artefakte zu entfernen. Anschließend können die Eingabedaten von der Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 103 weiter analysiert werden, um zu bestimmen, zu welchem Zeitpunkt welche Art von Stimulationsprogramm durch das IPG 102 aktiviert werden muss. Jeder Nachrichtenblock kann daher eine Reihe von Stimulationsprogrammen enthalten, die während einer Kalibrierungsphase in das IPG vorgeladen werden können. Sobald die Datenverarbeitung im Taschenprozessor 103 abgeschlossen ist, kann dieser die Trigger-Informationen zusammen mit einer Liste von Programmen über eine drahtlose Verbindung 104 an das IPG übertragen.

[0058] Um einen PC zu etablieren, können Individuen an einem anfänglichen Kalibrierungs- und Lernverfahren teilnehmen, bei dem das Individuum 100 die Interpretation jeder Bewegungsunterstützungsinformation durch eine anfängliche Trainingsperiode lernt. Zum Beispiel könnte die Aktivierung des ersten PC mit mittlerer Intensität im Arm des Individuums gefühlt und dann einer Versuchserfolgsanzeige zugeordnet werden. Andere PCs könnten verwendet werden, um das Individuum 100 über einen Gelenkwinkel der Hand des Individuums in abgestufter Weise zu informieren, so dass niedrige Intensitäten einem entspanntem Gelenk und höhere Stimulationsintensitäten einer greifenden oder vollständig geschlossenen Hand entsprechen.

[0059] Darüber hinaus kann die Position der Gliedmaßen des Individuums während der Ausführung der Aufgabe kontinuierlich über ein Video-Tracking-System 107 und/oder übertragbare Beschleunigungssensoren 106 verfolgt werden. Die Verfolungsdaten können mit einem erwarteten Trajektorienmodell durch den Taschenprozessor / die Steuervorrichtung 103 verglichen werden. Falls die tatsächliche Bewegung der Gliedmaßen mit der erwarteten oder gewünschten Trajektorie übereinstimmt, wird über die CLCBI-Vorrichtung ein Erfolgs-Feedback-Signal an das Individuum gesendet. Dies kann verwendet werden, um das Individuum 100 bei der Verstärkung der korrekten Bewegung zu unterstützen und den Lern- und neuronalen Reorganisationsprozess durch das Gehirn zu erleichtern.

[0060] Darüber hinaus könnte die Bewegungsunterstützungsinformation auch über oder basierend auf der Überwachung von sEMG-Signalen ausgelöst werden. Genauer gesagt, kann die Beweglichkeit des Individuums aufgrund einer begrenzten Intensität der efferenten motorischen Signale des Gehirns eingeschränkt sein. Während diese unterschwelligen motorischen Signale nicht zu einer Bewegung der Gliedmaßen führen könnten, kann das Vorhandensein von Rest-EMG-Aktivität detektiert werden und nach jeder Detektion kann eine Erfolgsmeldung als neuronales Rückkopplungssignal an das Individuum übermittelt werden.

[0061] Ein PC mit spezifischem Intensitätsniveau kann auch verwendet werden, um Timing-Hinweise an das Individuum zu übersetzen. Wie in **Fig. 2** dargestellt, könnte eine andere Ausführungsform darin bestehen, Zeithinweise zu erzeugen, um das Individuum anzuweisen, die Hand wie in 201 zu öffnen oder sie wieder zu schließen, sobald sich die Hand in der richtigen Position 202 befindet.

[0062] In einer anderen Ausführungsform, wie in **Fig. 3** dargestellt, könnte das Zielobjekt mit mindestens einem Kraft- oder Berührungssensor 303 ausgestattet sein, der ein Sensorsignal liefert, das der Stärke einer Greifkraft entspricht, die das Individuum beim Ergreifen des Zielobjekts 301, 302 ausübt. Der Kraftsensor 303 kann auch mit der Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 103 verbunden sein und das IPG 102 kann die Stimulationsintensität oder andere Signalparameter eines PCs basierend auf der Stärke des auf das Objekt ausgeübten Drucks modulieren.

[0063] Dies kann beim Training von Individuen, die aufgrund von Hirnverletzungen oder Krankheiten den Tastsinn verloren haben, von Vorteil sein. Die CLCBI-Vorrichtung könnte ein Individuum bei der Durchführung von Gelenkwinkelantizipationsaufgaben unterstützen, bei denen das Individuum den kor-

rekten Gelenkwinkel in der betroffenen Gliedmaße ohne visuelle Informationen erraten muss. Die korrekten Gelenkwinkel könnten im Echtzeitmodus mit einem Computer-Vision-System extrahiert und dann in kontinuierliche Stimulationsmuster übersetzt werden, nachdem sie einem PC zugewiesen wurden. Auf diese Weise kann das Individuum in Echtzeit und kontinuierlich trainieren, indem es den Gelenkwinkel über eine substituierte sensorische Modalität wahrnimmt.

[0064] Die CLCBI-Vorrichtungen, die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellt werden, können weiter auf Virtual Reality, Augmented Reality und sensorische Anreicherungs-Paradigmen mit dem Ziel der Schaffung einer sensorisch-reichen Umgebung für das Individuum angewendet werden. In solchen Anwendungen trägt das Individuum eine Brille, die mit eingebauten Displays ausgestattet ist, und führt dann verschiedene Aufgaben aus, indem es mit Objekten in der virtuellen Welt über drahtlose Joysticks interagiert. Jedes Objekt kann bestimmte Eigenschaften haben, wie z. B. Textur, Form, Größe oder Steifigkeit. Die Position der handgehaltenen Joysticks wird kontinuierlich über eingebaute Beschleunigungssensoren und Infrarot-Tracking-Ausrüstung erfasst. Dieser Ansatz kann verwendet werden, um dem Individuum Bewegungsunterstützungsinformationen zur Verfügung zu stellen, um motorische Fähigkeiten neu zu trainieren, z. B. dem Individuum beizubringen, wie man nach einem Zielobjekt reicht und es richtig greift. Nachdem das Individuum die Greifaufgabe bewältigt hat, könnte eine Reihe von separaten Bewegungsunterstützungsinformationen (unter Verwendung anderer PCs) den Tastsinn künstlich ersetzen, um dem Individuum beizubringen, einen konstanten Druck aufrechtzuerhalten, der zum Halten des virtuellen Zielobjekts erforderlich ist.

[0065] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Unterstützung von Individuen, z. B. von Patienten nach einem Schlaganfall, mit einem beeinträchtigten Gleichgewichtssinn. Zum Beispiel kann das in **Fig. 4** dargestellte System einem Individuum ermöglichen, eine korrekte Körperhaltung beizubehalten und Stürze zu verhindern. Eine Anordnung von Beschleunigungssensoren 403 könnte zum Beispiel in eine Trainingsjacke eingebaut werden. Die Sensoren 403 können mit einer Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 405 verbunden sein, die in drahtloser Kommunikation 404 mit einem implantierten IPG/einer Neurostimulationsvorrichtung 402 steht. Das IPG 402 kann mit mindestens einer oder idealerweise zwei (oder mehr) implantierten Stimulationselektroden 401 verbunden sein. Die Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 405 analysiert kontinuierlich die von allen Beschleunigungssensoren 403 gelieferten Sensorsignale und kann so konfiguriert sein, dass sie

erkennt, wenn der Körper durch Schwanken in eine Richtung das Gleichgewicht verliert. Die Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 405 kann dann drahtlos notwendige Auslöser an das IPG 402 senden, um Bewegungsunterstützungsinformationen für das Individuum zu erzeugen, um dem Schwanken des Körpers entgegenzuwirken.

[0066] Die wahrgenommene Intensität dieser Gleichgewichtshinweise kann proportional zum Ausmaß des Körperschwankens sein. Kleine Körperschwankungen werden vom Probanden als schwache Empfindungen wahrgenommen, während große Schwankungen mit Sturzgefahr mit größerer wahrgenommener Intensität empfunden werden.

[0067] Die Verwendung bilateraler DBS-Elektroden oder bilateraler Rückenmarkstimulationselektroden kann dem Individuum ermöglichen, eine natürlichere Empfindung in Bezug auf die Richtung des Körperschwankens zu erfahren, so dass der Ort der künstlichen Wahrnehmung ipsilateral zur Richtung des Körperschwankens liegt.

[0068] Wie in **Fig. 5** gezeigt, könnten die Beschleunigungssensoren und/oder Gyroskope 503 auch in das IPG 502 integriert werden, um die Notwendigkeit eines externen, tragbaren Arrays von Beschleunigungsmessern sowie die drahtlose Kommunikation zu verringern und so den Stromverbrauch zu reduzieren, während ähnliche implantierte Stimulationselektroden 501 wie in **Fig. 4** beschrieben verwendet werden.

[0069] Die hier offenbarten CLCBI-Vorrichtungen und Systeme könnten auch in einer Art und Weise verkörpert werden, um Individuen durch die Verbesserung der Sicherheit und Effizienz ihrer Bewegungen dabei zu unterstützen bestimmte sich wiederholende Aktionen oder Fähigkeiten zu erlernen oder zu meistern. Zum Beispiel könnte das System von integrierten Trägheitssensoren profitieren, um einen Zustand des Individuums wie Gehen, Laufen oder Radfahren zu erkennen. Jede der genannten Aktivitäten beinhaltet bestimmte Muskelgruppen, die nacheinander in bestimmten Phasen des Aktivitätszyklus aktiv werden müssen. In einem Gehszenario können zwei PCs eingesetzt werden, so dass das Individuum zwei Sätze von bilateralen Hinweisen mit unterschiedlichen wahrgenommenen Intensitäten erhalten kann. Die Intensitäten der Kanäle können mit vier verschiedenen Phasen im Gangzyklus korrespondieren, einschließlich Fersenauftritt, frühes Auftreten, spätes Auftreten und Zehenabsetzen. Der gleiche Zyklus kann dann für den anderen Fuß wiederholt werden.

[0070] In einer anderen Ausführungsform könnte die CLCBI-Vorrichtung als Closed-Loop Bewegungskorrekturvorrichtung eingesetzt werden, wie in **Fig. 6**

gezeigt. Es ist ein Beispiel für eine Greifaufgabe dargestellt, bei der ein Individuum ein Ziel 602 erreichen und dann, nachdem es einer bestimmten Trajektorie 603 gefolgt ist, das Ziel 602 in einen Eimer legen muss. Die Trajektorie der Hand 605 kann mit einem tragbaren Beschleunigungssensor 601 am Handgelenk des Individuums bestimmt werden. Der Beschleunigungssensor 601 könnte auch mit infraroten reflektiven Markern ausgestattet sein, um die Verfolgung der Handbewegung mit einer Videokamera wie oben beschrieben zu ermöglichen. Der Winkel 604 mindestens eines Gelenks kann anhand der Positionsdaten in Bezug auf die horizontale Ebene berechnet werden. Die Berechnung des Gelenkwinkels 604 kann z. B. von einer tragbaren Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 607 durchgeführt werden. Der anfängliche und der endgültige Schultergelenkwinkel in der Sagittalebene wird ebenfalls von der Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 607 erfasst. Korrigierende Bewegungsunterstützungsinformationen könnten von der Taschenprozessor-/Steuervorrichtung 607 ausgelöst werden, die in drahtloser Kommunikation 608 mit einer IPG-/Neurostimulationsvorrichtung 606 steht, die so konfiguriert ist, dass sie neuronale Rückkopplungssignale an afferente sensorische Axone des zentralen Nervensystems anlegt, die auf den sensorischen Kortex des Individuums abzielen, wie oben im Detail erläutert. Verschiedene Bewegungsunterstützungsinformationen können zu bestimmten Zeitpunkten bereitgestellt werden, an denen die tatsächliche Handposition 609 außerhalb der definierten Trajektorie 603 schwankt (angezeigt durch die Blitzsymbole in **Fig. 6**). Die Stimulation könnte auch zur Korrektur der Armstellung ausgelöst werden, sofern der Gelenkwinkel außerhalb des definierten Bereichs 604 liegt.

[0071] In **Fig. 7** ist eine neuronale Stimulationselektrode 702 zur Stimulation afferenter Axone 730 dargestellt, die auf sensorische Neuronen im Kortex eines menschlichen Gehirns abzielen. Die afferenten Axone 730 können auf verschiedene sensorische Bereiche 710, 720 des Kortex abzielen, die mit verschiedenen sensorischen Modalitäten (z. B. Berührung, Temperatursensor, Sehen, Hören usw.) und / oder verschiedenen Körperregionen (z. B. Cochlea, Retina, Hand, Zunge, Fuß usw.) verbunden sein können, von denen die jeweilige sensorische Modalität durch den jeweiligen Bereich des Kortex wahrgenommen wird. Beispielsweise kann der kortikale Bereich 710 ein somatosensorischer Bereich des rechten Fußes und der kortikale Bereich 720 ein somatosensorischer Bereich der linken Hand sein.

[0072] Die afferenten sensorischen Axone 730 sind über Synapsen (nicht dargestellt) mit ihren jeweiligen Zielneuronen im jeweiligen sensorischen Bereich 710, 720 verbunden. Die Axone 730 können z. B. thalamokortikale Axone sein, die sensorische Infor-

mationen vom Thalamus an den Kortex weiterleiten. Die neuronale Stimulationselektrode 720 kann eine Vielzahl von unabhängig steuerbaren elektrischen Kontakten umfassen (siehe **Fig. 8** unten), die in der Nähe eines Bündels afferenter sensorischer Axone 730 angeordnet sein können, die auf die sensorischen Bereiche 720 und 710 des zerebralen Kortex abzielen.

[0073] Im dargestellten Beispiel ist die neuronale Stimulationselektrode 702 mit einer neuronalen Stimulationsvorrichtung 701 verbunden, die eingerichtet ist, um neuronale Stimulationssignale an Hirnareale, die mit bestimmten neurophysiologischen Symptomen assoziiert sind, und / oder an die afferenten sensorischen Axone 730 zu applizieren, z. B. über unabhängig ansteuerbare elektrische Kontakte der neuronalen Stimulationselektrode 702. Die neuronale Stimulationsvorrichtung 701 kann die erfindungsgemäße CLCBI-Vorrichtung umfassen oder (z. B. drahtlos) mit der CLCBI-Vorrichtung kommunizieren. Darüber hinaus kann die neuronale Stimulationsvorrichtung 701 eine drahtlose Schnittstelle zum Verbinden der neuronalen Stimulationsvorrichtung 701 mit anderen Vorrichtungen wie den oben beschriebenen Sensorvorrichtungen oder anderen Vorrichtungen umfassen, die geeignet sind, die Wellenform und/oder Signalparameter (z. B. Impulsbreite, Impulsform, Frequenz, Amplitude, Anzahl der Impulse usw.) des neuronalen Rückkopplungssignals zu erhalten und/oder zu bestimmen, das von der neuronalen Stimulationsvorrichtung 701 über die Stimulationselektrode 702 an die afferenten sensorischen Axone 730 angelegt wird.

[0074] Zum Beispiel kann die CLCBI-Vorrichtung, die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellt wird, die Wellenform und / oder die Signalparameter des neuronalen Stimulationssignals bestimmen, so dass ein gewünschtes sensorisches Perzept in einem gewünschten Bereich des sensorischen Kortex des Individuums hervorgerufen wird. In einigen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann der Kortex des Individuums, der das neuronale Stimulationssignal empfängt (d. h. über afferente Aktionspotentiale der stimulierten afferenten Axone 730), das entsprechende sensorische Perzept mit mehreren Arten von Bewegungsunterstützungsinformationen assoziieren. Ähnlich wie beim Erlernen der Morsezeichen kann das Individuum beispielsweise zuvor an einem Lernprozess teilgenommen haben, der eine assoziative Verbindung zwischen einem bestimmten sensorischen Perzept, das durch ein bestimmtes neuronales Stimulationssignal hervorgerufen wird, und einer entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformation herstellt, die dem Individuum über die neuronale Stimulationselektrode 702 mitgeteilt werden soll.

[0075] Bei diesem Ansatz wird vorzugsweise keine kern- oder neuroneneiche graue Substanz von der neuronalen Stimulationselektrode 702 angesprochen, sondern vorzugsweise die Axonen-reiche weiße Substanz des Gehirns oder des Rückenmarks, die die Informationsübertragungswege enthält, die das Gehirn für die natürliche neuronale Kommunikation von sensorischen Informationen verwendet. Auf diese Weise stellt die vorliegende Erfindung eine Computer-Gehirn-Schnittstelle der weißen Substanz zur Verfügung, d. h. eine Vorrichtung, die elektrischen Signale erzeugt und bereitstellt, die das Gehirn als sinnvollen sensorischen Input interpretieren kann, z. B. als Gleichgewichts-Hinweis, um dem Verlust des Gleichgewichts bei sich erholenden Schlaganfallpatienten entgegenzuwirken.

[0076] Wie bereits erwähnt, ist die vorliegende Erfindung nicht darauf beschränkt, afferente sensorische Axone, die im Gehirn angeordnet sind, zu stimulieren. Eine weitere Möglichkeit besteht beispielsweise darin, afferente sensorische Axone im Rückenmark des Individuums zu stimulieren, z. B. durch Anlegen der von der CLCBI-Vorrichtung erzeugten neuronalen Rückkopplungssignale über eine Ein- oder Multi-Kontakt-Rückenmarkstimulationselektrode. Solange das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es informationstragende sensorische Perzepte im Kortex des Individuums hervorruft, kann die Stimulation an verschiedenen Stellen der afferenten Sinnesbahnen des zentralen Nervensystems erfolgen.

[0077] In **Fig. 8** ist eine Multikontakt-Neuromodulationselektrode 802 dargestellt, die z. B. für die Neuromodulation des subthalamischen Nukleus 820 über elektrische Kontakte 830 eingerichtet ist. Die Elektrode 802 kann auch zur Stimulation afferenter sensorischer Axone 842, 844, die vom Thalamus 810 zum sensorischen Kortex eines Individuums projizieren, über eine CLCBI-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Beispielsweise können neuronale Rückkopplungssignale von nicht verwendeten Kontakten 840, 850 der Neuromodulationselektrode 802 bereitgestellt werden, die für einen anderen therapeutischen Zweck implantiert wurde (z. B. Neuromodulation des subthalamischen Nukleus 820 über die therapeutischen elektrischen Kontakte 830) als die Bereitstellung des neuronalen Stimulationssignals für die afferenten sensorischen Axone 844, 842. Beispielsweise können die Kontakte, die nicht für die Neuromodulation des subthalamischen Nukleus 820 dazu verwendet werden, dem Kortex des Individuums verschiedene Arten von Bewegungsunterstützungsinformationen zur Verfügung zu stellen, z. B. zur Unterstützung des Individuums bei der Durchführung einer Verhaltens Trainingsaufgabe wie einer Genesungs- und Rehabilitation-Prozedur. Solche Bewegungsunterstützungsinformation können beispielsweise über ein

sensorisches Perzept signalisiert werden, die durch ein neuronales Rückkopplungssignal ausgelöst wird, das an die Axone 844 angelegt wird, die auf einen Kortextbereich abzielen, der mit einer Berührungsempfindung verbunden ist, z. B. im dem linken Fuß oder der rechten Hand.

[0078] In vielen Fällen ist eine Elektrode 802, die als Neuromodulator, z. B. zur Behandlung von Symptomen von Morbus Parkinson usw., verwendet wird, nicht immer aktiv und / oder kann unabhängig steuerbare Kontakte umfassen, die zur Erreichung des therapeutischen Zwecks nicht erforderlich sind. Somit kann die Neuromodulationselektrode auch zur Applikation von neuronalen Stimulationssignalen verwendet werden, die von einer CLCBI-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung bereitgestellt werden. Bei einer Implantation z. B. in den subthalamischen Nukleus 820 könnten die Spitzenkontakte 830 zur Steuerung z. B. der primären Parkinson-Symptome distalere Kontakte 840, 850 in Kombination mit der oben offenbarten Erfindung zur Übertragung von Bewegungsunterstützungsinformationen direkt in das Gehirn des Patienten verwendet werden.

[0079] Fig. 9 zeigt eine beispielhafte CLCBI-Vorrichtung 900 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform umfasst die CLCBI-Vorrichtung 900 ein integriertes Neurostimulationsmodul 910 (z. B. mit einem neuronalen Signalgenerator und einem Ausgangsverstärker), das mit einer Vielzahl von Ausgangssignalleitungen 915 verbunden ist, die mit einer Neurostimulationsschnittstelle des Individuums (z. B. einer DBS-Elektrode oder einer Rückenmarkstimulationselektrode) verbunden werden können. Die CLCBI-Vorrichtung 900 umfasst ferner eine Kommunikationsantenne 920, die betriebsfähig mit einem Transceivermodul 930 verbunden ist, das für die drahtlose Kommunikation konfiguriert ist (z. B. über NFC, Bluetooth oder eine ähnliche drahtlose Kommunikationstechnologie).

[0080] Das Transceivermodul 930 ist beispielsweise so konfiguriert, dass es ein oder mehrere Sensorsignale von einem oder mehreren Sensoren (wie oben beschrieben) empfängt, die eine Aktion oder Bewegung eines Individuums anzeigen (z. B. eine Entfernungsmessung, die von einer Vorrichtung zur Bewegungsverfolgung erhalten wird, Beschleunigungssignale, die von einem Beschleunigungsmesser erhalten werden usw.). Das Transceivermodul 930 ist betriebsfähig mit einem Daten-/Signalverarbeitungsmodul 940 verbunden, das so konfiguriert ist, dass es ein oder mehrere neuronale Rückkopplungssignale und/oder Signalparameter (z. B. Wellenform, Impulsform, Amplitude, Frequenz, Burst-Anzahl, Burst-Dauer usw.) zur Erzeugung des einen oder der mehreren neuronalen Rückkopplungssignale erzeugt. Beispielsweise kann das Ver-

arbeitungsmodul 940 auf ein Datenspeichermodul 950 zugreifen, das so konfiguriert ist, dass es eine Vielzahl von für das Individuum spezifischen Beziehungen speichert, die eine Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen (oder von Parametern, die zur Erzeugung einer Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen verwendet werden) mit einer Vielzahl von entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformationen assoziieren.

[0081] Das erzeugte neuronale Rückkopplungssignal und/oder die Signalparameter werden in das integrierte Neurostimulationsmodul 910 eingegeben, das so konfiguriert sein kann, dass es das eine oder die mehreren vom Verarbeitungsmodul 940 erzeugten neuronalen Rückkopplungssignale verarbeitet (z. B. moduliert, schaltet, verstärkt, konvertiert, gleichrichtet, multiplexiert, phasenverschiebt usw.) oder das eine oder die mehreren neuronalen Rückkopplungssignale auf der Grundlage der vom Verarbeitungsmodul 940 bereitgestellten Signalparameter erzeugt.

[0082] Die erzeugten und verarbeiteten neuronalen Rückkopplungssignale werden dann vom Neurostimulationsmodul 910 ausgegeben und können über Ausgangsleitungen 915 an einen oder mehrere elektrische Kontakte einer Neurostimulationselektrode (z. B. eine DBS-Elektrode oder eine Rückenmarkstimulationselektrode; nicht dargestellt) angelegt werden.

[0083] Die CLCBI-Vorrichtung 900 kann auch eine wiederaufladbare Energiequelle 960 umfassen, die beispielsweise über eine drahtlose Ladeschnittstelle 970 drahtlos geladen werden kann.

[0084] Fig. 10 zeigt eine weitere beispielhafte CLCBI-Vorrichtung 1000 gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dieser Ausführungsform umfasst die CLCBI-Vorrichtung 1000 kein integriertes Neurostimulationsmodul (siehe Fig. 9 oben). Stattdessen ist das Daten-/Signalverarbeitungsmodul 1040 mit einem drahtlosen Sendemodul 1010 verbunden, das mit einer drahtlosen Sendeanenne 1070 verbunden ist. Das Verarbeitungsmodul 1040 kann so konfiguriert sein, dass es ein oder mehrere neuronale Rückkopplungssignale und/oder Signalparameter (z. B. Wellenform, Impulsform, Amplitude, Frequenz, Burst-Anzahl, Burst-Dauer usw.) zur Erzeugung des einen oder der mehreren neuronalen Rückkopplungssignale erzeugt. Beispielsweise kann das Verarbeitungsmodul 1040 auf ein Datenspeichermodul 1050 zugreifen, das so konfiguriert ist, dass es eine Vielzahl von für das Individuum spezifischen Beziehungen speichert, die eine Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen (oder von Parametern, die zur Erzeugung einer Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen verwendet werden) mit einer Vielzahl von

entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformationen assoziieren.

[0085] Das Sendemodul 1010 ist für eine drahtlose Kommunikation (z. B. über NFC, Bluetooth, WIFI oder eine ähnliche drahtlose Kommunikationstechnologie) mit einer Neurostimulationsvorrichtung des Individuums konfiguriert (nicht dargestellt; siehe **Fig. 1,4, 11a und 11b.**). Das Sendemodul 1010 kann so konfiguriert sein, dass es das erzeugte neuronale Rückkopplungssignal und/oder die erzeugten Rückkopplungssignalparameter an die Neurostimulationsvorrichtung des Individuums überträgt, die so konfiguriert sein kann, dass sie das eine oder die mehreren vom Sendemodul 1010 empfangenen neuronalen Rückkopplungssignale verarbeitet (z. B. moduliert, schaltet, verstärkt, konvertiert, gleichrichtet, multiplexiert, phasenverschiebt usw.) oder das eine oder die mehreren neuronalen Rückkopplungssignale auf der Grundlage der vom Sendemodul 1010 empfangenen Signalparameter erzeugt.

[0086] Die CLCBI-Vorrichtung 1000 umfasst ferner ein verdrahtetes Empfängermodul 1030, das so konfiguriert ist, dass es ein oder mehrere Sensorsignale von einem oder mehreren Sensoren (wie oben beschrieben) empfängt/erhält, die auf eine Aktion oder Bewegung eines Individuums hinweist (z. B. eine Entfernungsmessung, die von einer Vorrichtung zur Bewegungsverfolgung erhalten wird, Beschleunigungsdaten, die von einem Beschleunigungsmesser erhalten werden usw.). In der Ausführungsform von **Fig. 10** werden die Sensorsignale nicht drahtlos empfangen, sondern über Sensornalleitungen 1020 gewonnen.

[0087] Die Neurostimulationsvorrichtung des Individuums ist so konfiguriert, dass sie die erzeugten und verarbeiteten neuronalen Rückkopplungssignale an einen oder mehrere elektrische Kontakte einer Neurostimulationselektrode (z. B. eine DBS-Elektrode oder eine Rückenmarkstimulationselektrode; nicht dargestellt) ausgibt und anlegt, um die gewünschte sensorische Perzept hervorzurufen.

[0088] Die CLCBI-Vorrichtung 1010 kann auch eine Energiequelle 1060 umfassen, die z. B. eine herausnehmbare Batterie sein kann.

[0089] Ähnlich wie in **Fig. 1** dargestellt, zeigen **Fig. 11a** und **Fig. 11b** ein Individuum, z. B. einen Schlaganfallpatienten, das an einer Verhaltenstrainingaufgabe, z. B. einer Rehabilitation- und Genesungsprozedur, teilnimmt. Dem Individuum wurde eine neuronale Stimulationselektrode 1101 / 1201 implantiert, wie z. B. eine DBS-Elektrode oder eine Rückenmarkstimulationselektrode, die mehrere unabhängig voneinander steuerbare elektrische Kontakte haben kann.

[0090] Das Individuum kann außerdem mit einer neuronalen Stimulationsvorrichtung 1105 / 1205 ausgestattet sein, die ein unter die Haut des Individuums implantiertes IGB sein kann. Die neuronale Stimulationsvorrichtung 1105 / 1205 kann in drahtloser Kommunikation 1104 / 1204 (z. B. über Bluetooth, WI-FI, NFC usw.) mit einer Steuervorrichtung / einem Taschenprozessor 1103 / 1203 stehen, die/der durch eine spezielle Signal- und Datenverarbeitungsvorrichtung, ein Smartphone oder eine ähnliche elektronische Informationsverarbeitungsvorrichtung implementiert sein kann. Je nach Implementierungsdetails können die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellten Vorrichtungen über anwendungsspezifische Hardware- und / oder Softwaremodule implementiert werden, die Schaltungen und / oder Softwareanweisungen zur Implementierung der Vorrichtungen und Systeme gemäß der vorliegenden Erfindung umfassen.

[0091] Wie oben unter Bezugnahme auf **Fig. 9** und **10** erläutert, können die verschiedenen Module der CLCBI-Vorrichtung, die durch die vorliegende Erfindung bereitgestellt wird, durch die Steuervorrichtung 1103 / 1203 oder die neuronale Stimulationsvorrichtung 1105 / 1205 oder durch eine Kombination davon implementiert werden.

[0092] Ähnlich wie bei der oben unter Bezugnahme auf **Fig. 1** ausführlich beschriebenen Verhaltenstrainingaufgabe kann die CLCBI-Vorrichtung so konfiguriert sein, dass sie Sensorsignale von einer Bewegungsverfolgungskamera 1107 / 1207 und einem tragbaren Beschleunigungsmesser 1106 / 1206 empfängt.

[0093] Zum Beispiel kann die Position der Gliedmaßen des Individuums während der Ausführung der Aufgabe kontinuierlich verfolgt werden. Anhand der Verfolgungsdaten kann ermittelt werden, ob die Hand des Individuums in die Nähe eines Objekts 1102 / 1202 bewegt wird. Abhängig von der verhaltensbasierten Lernaufgabe kann das Individuum über die CLCBI-Vorrichtung Bewegungsunterstützungsinformationen erhalten, die anzeigen, ob das Objekt 1102 / 1202 vom Individuum gemieden (siehe **Fig. 11a**) oder manipuliert (z. B. gegriffen, siehe **Fig. 11b**) werden sollte. Zum Beispiel kann ein neuronales Rückkopplungssignal, das von der CLCBI-Vorrichtung bereitgestellt wird, mit einer bestimmten sensorischen Modalität und einem bestimmten Ort assoziiert sein, wie z.B. einer Berührungsempfindung mit zunehmender Intensität am Oberarm des Individuums (siehe 1108 in **Fig. 11a**), um den Grad der Nähe zu Objekten anzuzeigen, die vermieden werden sollten. Auf diese Weise ist die CLCBI-Vorrichtung in der Lage, das Individuum zu informieren, wenn es in die Nähe eines heißen oder gefährlichen Objekts kommt.

[0094] Ein weiteres neuronales Rückkopplungssignal, das von der CLCBI-Vorrichtung bereitgestellt wird, kann mit einer Berührungsempfindung zunehmender Intensität in der Handfläche des Individuums assoziiert sein (siehe Region 1208 in Fig. 11b), um den Grad der Nähe zu einem Objekt anzuzeigen, das von dem Individuum manipuliert werden soll (z.B. um einem Schlaganfallpatienten zu helfen, das Trinken aus einer Tasse wieder zu trainieren).

[0095] Natürlich kann dieser Ansatz auch mit weiteren Sensorsignalen kombiniert werden, wie z. B. einem Berührungssensor auf der Oberfläche des Bechers oder einem der oben im Detail beschriebenen Sensorsignale.

Patentansprüche

1. Closed-Loop Computer-Gehirn-Schnittstellen Vorrichtung, CLCBI, (900, 1000) für ein Individuum (100), umfassend:
 ein Empfängermodul (930, 1030), das so konfiguriert ist, dass es mindestens ein Sensorsignal erhält, das auf eine Bewegung oder Handlung des Individuums hinweist;
 ein Verarbeitungsmodul (940, 1040), das betriebsfähig mit dem Empfängermodul verbunden und so konfiguriert ist, dass es mindestens ein neuronales Rückkopplungssignal zumindest teilweise auf Grundlage des erhaltenen Sensorsignals bestimmt; und
 ein Sendemodul (910, 1010), das betriebsfähig mit dem Verarbeitungsmodul verbunden und so konfiguriert ist, dass es das bestimmte neuronale Rückkopplungssignal an eine Neurostimulationsvorrichtung (102) des Individuums oder ein Neurostimulationsmodul (910), das betriebsfähig mit dem Verarbeitungsmodul verbunden ist, sendet; wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es ein sensorisches Perzept im Kortex des Individuums über die Stimulierung afferenter sensorischer Axone des zentralen Nervensystems, die auf sensorische Neuronen (730) des Kortex des Individuums abzielen, hervorruft; und wobei das hervorgerufene sensorische Perzept eine Bewegungsunterstützungsinformation anzeigt, die sich auf das erhaltene Sensorsignal bezieht und die Ausführung der Bewegung oder Handlung des Individuums unterstützt, wobei die Bewegungsunterstützungsinformation dem Individuum eine oder mehrere der folgenden Informationen liefert:
 eine Entfernungsangabe in Bezug auf ein Objekt, das von dem Individuum manipuliert werden soll;
 eine Anzeige einer geographischen Position des Individuums;
 eine Erfolgs- oder Misserfolgsanzeige für eine von dem Individuum ausgeführte Trainingsaufgabe;
 eine Anzeige, vorzugsweise kontinuierlich, einer erwünschten oder unerwünschten Trajektorie einer

von der Person auszuführenden Bewegung oder Aktion;
 eine Anzeige, die den Grad der Abweichung von einer gewünschten Trajektorie einer von dem Individuum auszuführenden Bewegung oder Aktion quantifiziert;
 eine Anzeige, die ein erwünschtes oder unerwünschtes Objekt kennzeichnet, das von dem Individuum manipuliert werden soll; und
 eine Anzeige, um dem Individuum eine nonverbale Anweisung zu geben die sich auf die Ausführung einer Aufgabe bezieht.

2. CLCBI-Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei die von dem Individuum ausgeführte Handlung oder Bewegung mit einer Trainingsaufgabe verknüpft ist und die Bewegungsunterstützungsinformation das Individuum bei der Durchführung der Trainingsaufgabe unterstützt.

3. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 oder 2, wobei das mindestens eine Sensorsignal mindestens eines der folgenden anzeigt:
 eine Position, einen Abstand und / oder eine Orientierung eines Körperteils des Individuums in Bezug auf einen festen Bezugsrahmen und / oder ein anderes Körperteil des Individuums und / oder ein von dem Individuum zu manipulierendes Objekt;
 einen Muskelspannungs-, Kontraktions- und / oder Entspannungszustand des mindestens einen Körperteils des Individuums;
 einen Flexions-, Extensions-, Supinations-, Pronations- und / oder Rotationswinkel eines Gelenks des mindestens einen Körperteils des Individuums;
 eine Bewegungsgeschwindigkeit, die mit dem mindestens einen Körperteil verknüpft ist;
 einen Kontaktdruck zwischen einem Abschnitt des mindestens einen Körperteils und einem von dem Individuum zu manipulierenden Objekt.

4. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche 2 oder 3, wobei das Empfängermodul ferner so konfiguriert ist, dass es Trainingsdaten erhält, die eine mit der Bewegung oder Handlung des Individuums verknüpfte Trainingsaufgabe anzeigen.

5. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, wobei das erhaltene Sensorsignal von mindestens einer der folgenden Sensorvorrichtungen empfangen wird: einer Computer-Vision-Tracking-Vorrichtung; einer kinematischen Sensorvorrichtung; einem Berührungssensor; einer Kraft-, Winkel-, Positions-, Spannungs- und/oder Beschleunigungssensorvorrichtung; einer Elektroenzephalographie-Vorrichtung; einer Elektromyographie-Vorrichtung; einer Hautleitfähigkeits-, Atemfrequenz-, Elektrokardiogramm- und Temperatursensorvorrichtung; einer Tiefenhirn-Lokalfeldpo-

tential-Aufzeichnungsvorrichtung; einer GPS-Vorrichtung und einer Elektrokortikographie-Vorrichtung.

6. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, die ferner so konfiguriert ist, dass sie auf eine Datenspeichervorrichtung oder ein Datenspeichermodul (950, 1050) zugreift, das eine Vielzahl von Beziehungen speichert, die für das Individuum spezifisch sind und eine Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen mit einer Vielzahl von entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformationen verknüpfen.

7. CLCBI-Vorrichtung gemäß dem vorhergehenden Anspruch 6, wobei die Datenspeichervorrichtung die Vielzahl von Beziehungen speichert, die für das Individuum spezifisch sind und die die Vielzahl von neuronalen Rückkopplungssignalen mit der Vielzahl von entsprechenden Bewegungsunterstützungsinformationen verknüpfen.

8. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 6 oder 7, wobei die spezifischen Beziehungen zumindest teilweise auf einem oder mehreren der folgenden basieren: konzeptuelle oder wahrnehmungsbezogene Lerndaten für das Individuum; Neuro-Bildgebungsdaten für das Individuum; elektrophysiologische Messdaten für das Individuum; neuronale Konnektivitätsinformationen für das Individuum; elektrische Feldsimulationsdaten für die Neurostimulationsvorrichtung des Individuums; und neuronale Erregbarkeitsmodelldaten für das Individuum.

9. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 8, wobei das neuronale Rückkopplungssignal durch eine Vielzahl von Signalparametern gekennzeichnet ist, wie z.B. eine Signalwellenform, eine Signalfrequenz, eine Signalpolarität, eine Signalimpulsform, eine Signalamplitude, eine Signalimpulsbreite, eine Burstfrequenz, eine Burstimpulsanzahl und/oder eine Burstdauer; und wobei unterschiedliche Kombinationen von Signalparametern unterschiedlichen Bewegungsunterstützungsinformationen entsprechen.

10. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 9, wobei das neuronale Rückkopplungssignal eingerichtet ist, ein sensorisches Perzept in einem Teil des Kortex des Individuums hervorzurufen, der mit einer spezifischen sensorischen Modalität verknüpft ist; und wobei der Teil des Kortex einer oder mehrere der folgenden ist: ein somatosensorisches Kortexgebiet; ein auditorisches Kortexgebiet; ein visuelles Kortexgebiet; ein olfaktorisches Kortexgebiet; ein entorhinales Kortexgebiet oder Komponenten des Papez-Kreises.

11. CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es thalamokortikale Axone stimuliert, die vom Thalamus zu den sensorischen Neuronen des Kortex projizieren, und/oder wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es afferente sensorische Axone des Rückenmarks stimuliert, die über monosynaptische oder multisynaptische Bahnen zum Thalamus oder zum Kortex des Individuums projizieren.

12. Genesungs- und Rehabilitations-System, umfassend die CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 11.

13. Genesungs- und Rehabilitations-System gemäß dem vorhergehenden Anspruch 12, ferner umfassend mindestens eine der Sensorvorrichtungen gemäß dem vorhergehenden Anspruch 5 und/oder die Datenspeichereinrichtung gemäß Anspruch 6.

14. Prothesensystem für ein Individuum, umfassend:
die CLCBI-Vorrichtung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 11;
eine elektromechanische prothetische Vorrichtung für das Individuum; und
eine Steuerschnittstellenvorrichtung, die zur Steuerung der elektromechanischen Prothesenvorrichtung konfiguriert ist,
wobei die von der CLCBI-Vorrichtung übertragene Bewegungsunterstützungsinformation so konfiguriert ist, dass sie die Steuerung der elektromechanischen Prothesenvorrichtung über die Steuerschnittstelle unterstützt.

15. Prothesensystem gemäß dem vorhergehenden Anspruch, ferner umfassend mindestens eine der Sensorvorrichtungen des vorhergehenden Anspruchs 5 und / oder die Datenspeichervorrichtung des Anspruchs 6.

16. Prothesensystem gemäß dem vorhergehenden Anspruch 14 oder 15, wobei die Steuerschnittstellenvorrichtung eine Gehirn-Computer-Schnittstellen-, BCI-, Vorrichtung umfasst, die so konfiguriert ist, dass die neurale Aktivität des Individuums in Bezug auf die Steuerung der elektromechanischen prothetischen Vorrichtung überwacht wird.

17. Computerprogramm mit Anweisungen zum Ausführen der folgenden Schritte bei Ausführung durch Signalverarbeitungs- und Transceivermodule einer Signal- und Datenverarbeitungsvorrichtung, einer neuronalen Stimulationsvorrichtung oder eines neuronalen Stimulationssystems:
Erhalten mindestens eines Sensorsignals, das auf eine Bewegung oder Handlung eines Individuums

hinweist;

Bestimmen eines neuronalen Rückkopplungssignals zumindest teilweise auf der Grundlage des erhaltenen Sensorsignals; und

Übertragen des neuronalen Rückkopplungssignals an eine Neurostimulationsvorrichtung oder -modul des Individuums;

wobei das neuronale Rückkopplungssignal so konfiguriert ist, dass es ein sensorisches Perzept in dem Kortex des Individuums über die Stimulierung afferenter sensorischer Axone des zentralen Nervensystems, die auf sensorische Neuronen des Kortex zielen, hervorruft; und

wobei das hervorgerufene sensorische Perzept eine Bewegungsunterstützungsinformation anzeigt, die sich auf das erhaltene Sensorsignal beziehen, und die Ausführung der Bewegung oder Handlung des Individuums unterstützt, wobei die Bewegungsunterstützungsinformation dem Individuum eine oder mehrere der folgenden Informationen liefert:

eine Entfernungsangabe in Bezug auf ein Objekt, das von dem Individuum manipuliert werden soll;

eine Anzeige einer geographischen Position des Individuums;

eine Erfolgs- oder Misserfolgsanzeige für eine von dem Individuum ausgeführte Trainingsaufgabe;

eine Anzeige, vorzugsweise kontinuierlich, einer erwünschten oder unerwünschten Trajektorie einer von der Person auszuführenden Bewegung oder Aktion;

eine Anzeige, die den Grad der Abweichung von einer gewünschten Trajektorie einer von dem Individuum auszuführenden Bewegung oder Aktion quantifiziert;

eine Anzeige, die ein erwünschtes oder unerwünschtes Objekt kennzeichnet, das von dem Individuum manipuliert werden soll; und

eine Anzeige, um dem Individuum eine nonverbale Anweisung zu geben die sich auf die Ausführung einer Aufgabe bezieht.

18. Computerprogramm gemäß Anspruch 17, das weitere Anweisungen zur Implementierung der CLCBI-Vorrichtung gemäß den vorhergehenden Ansprüchen 2 bis 11 umfasst, wenn es von den Signalverarbeitungs- und Transceivermodulen einer Signal- und Datenverarbeitungsvorrichtung, einer neuronalen Stimulationsvorrichtung oder eines neuronalen Stimulationssystems ausgeführt wird.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

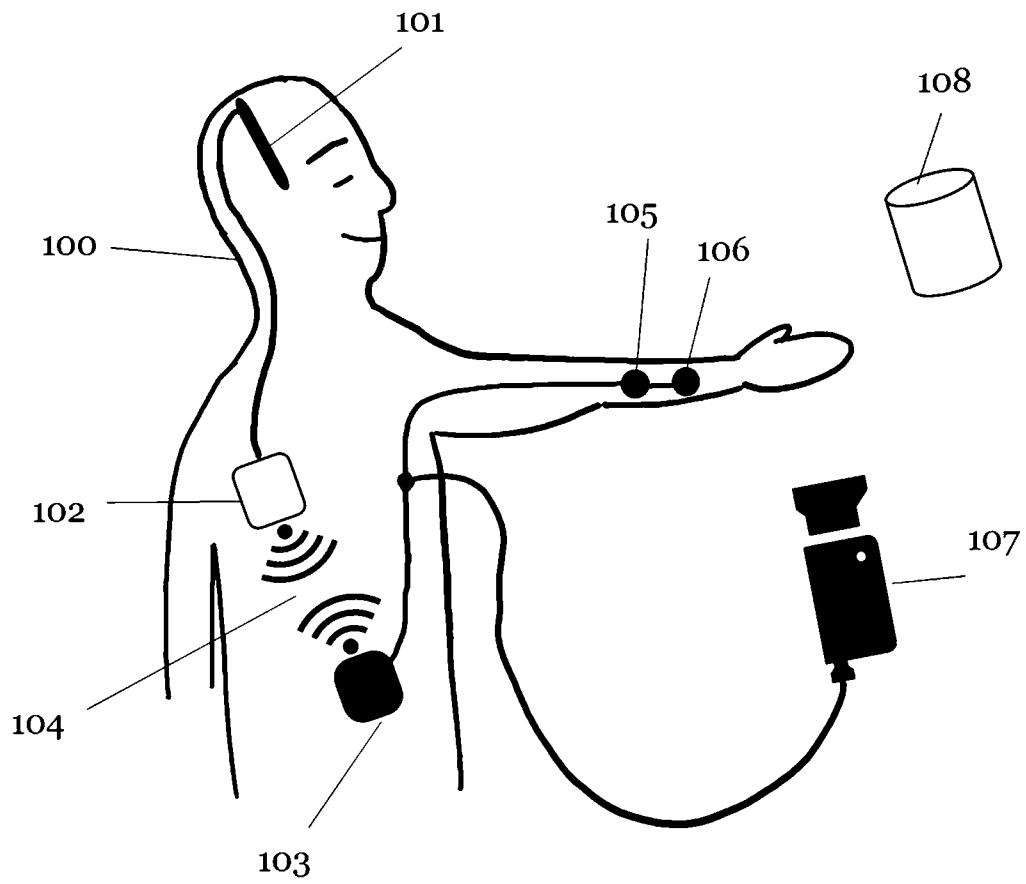


Fig.1

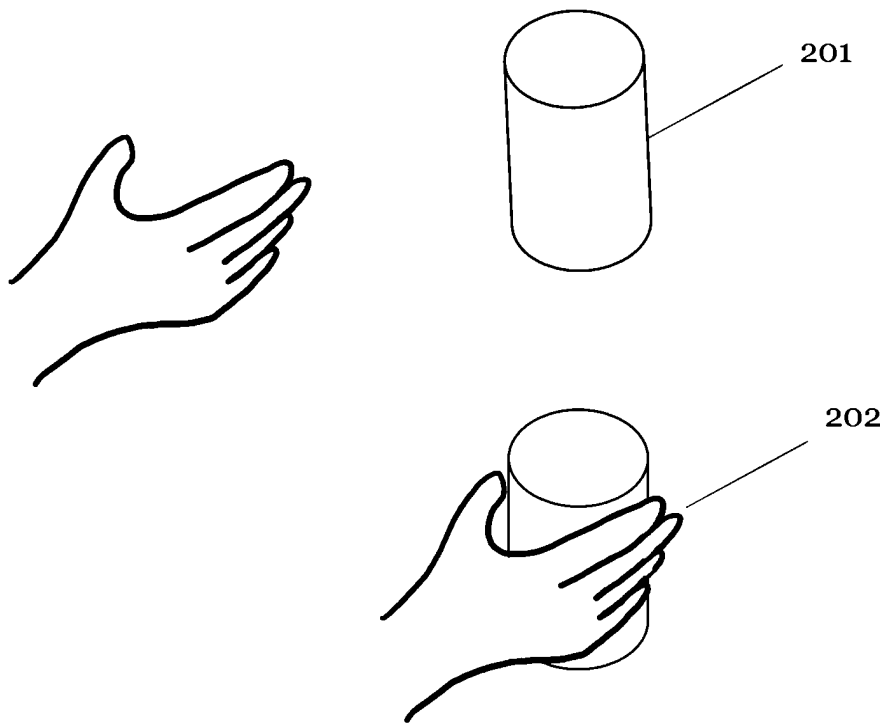


Fig. 2

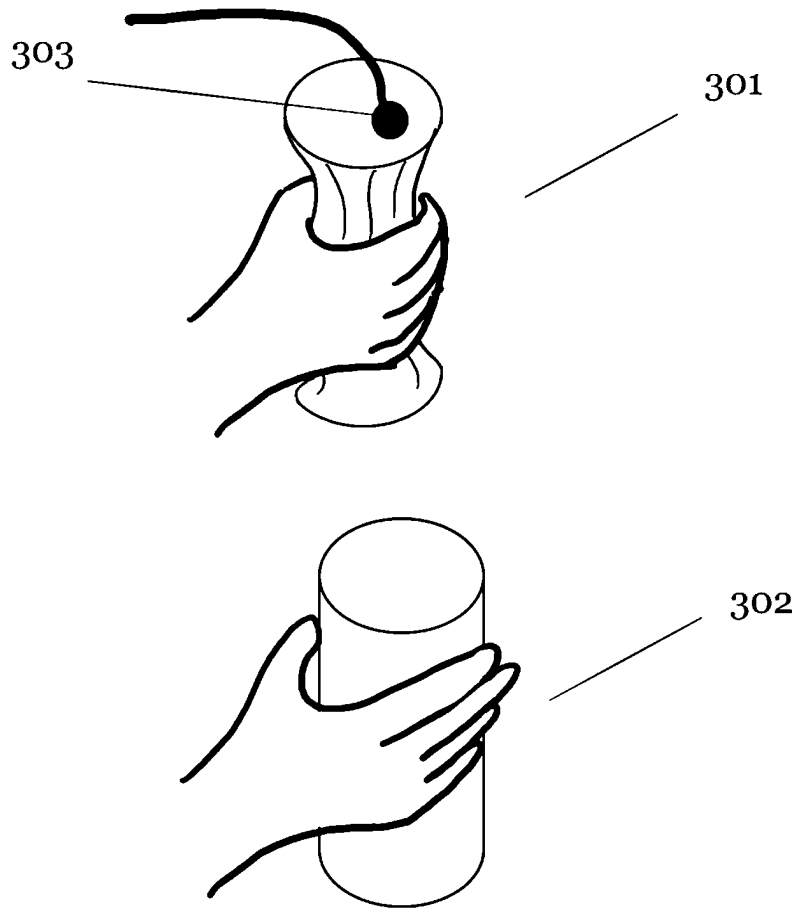


Fig. 3

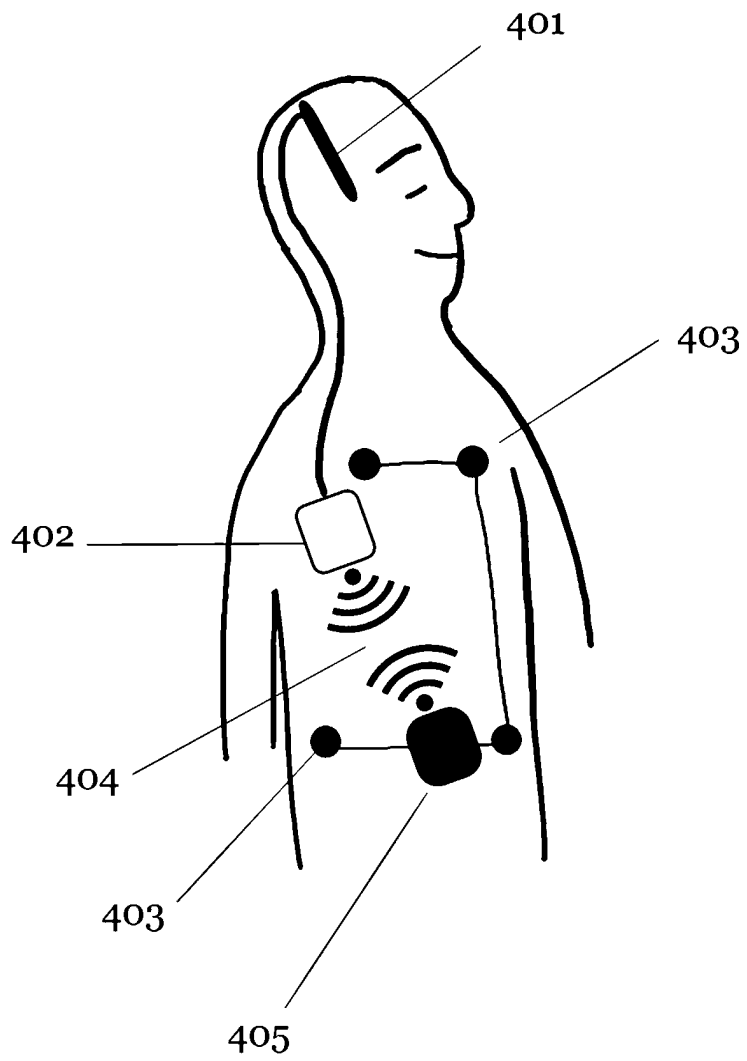


Fig. 4

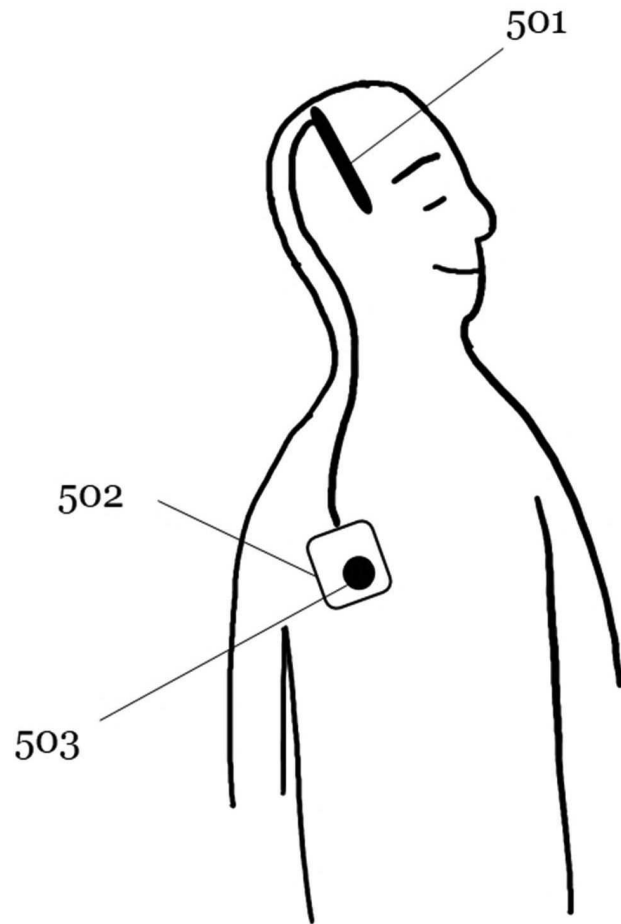


Fig. 5

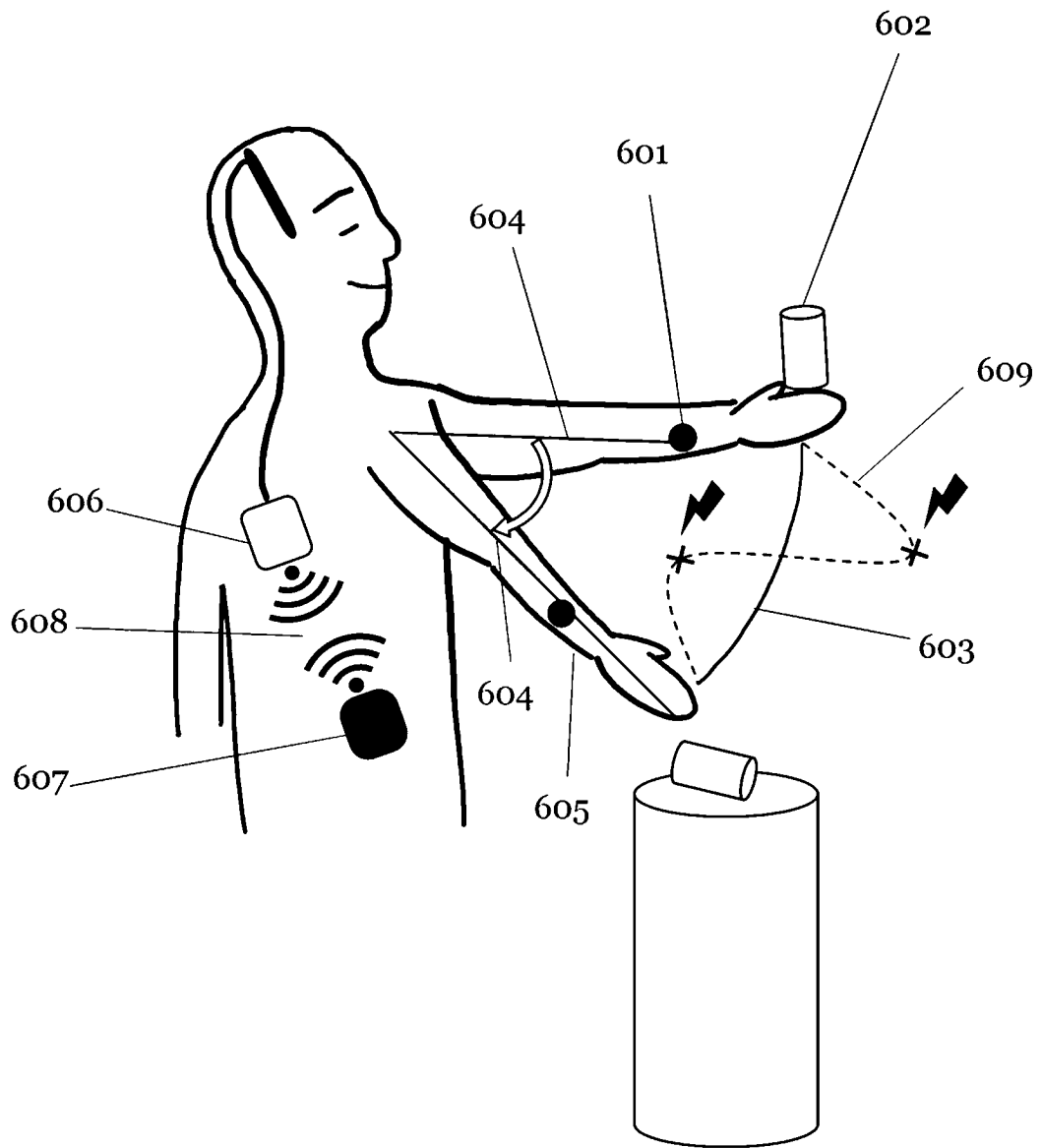


Fig. 6

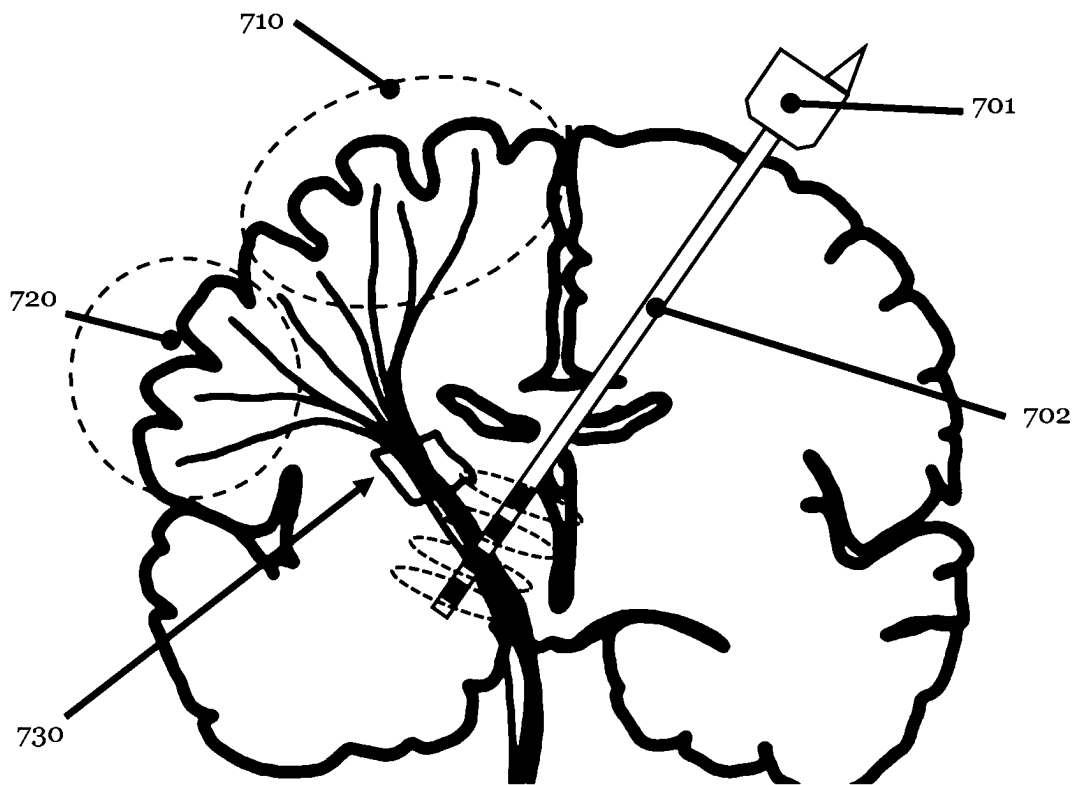


Fig. 7

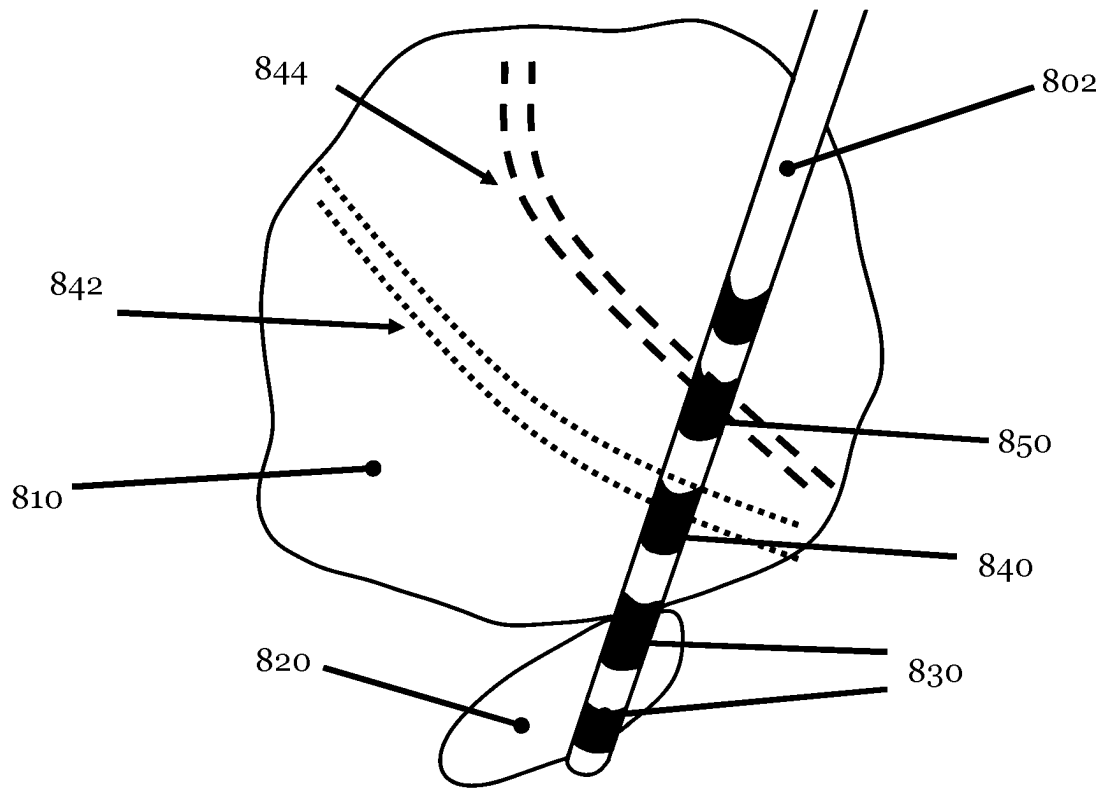


Fig. 8

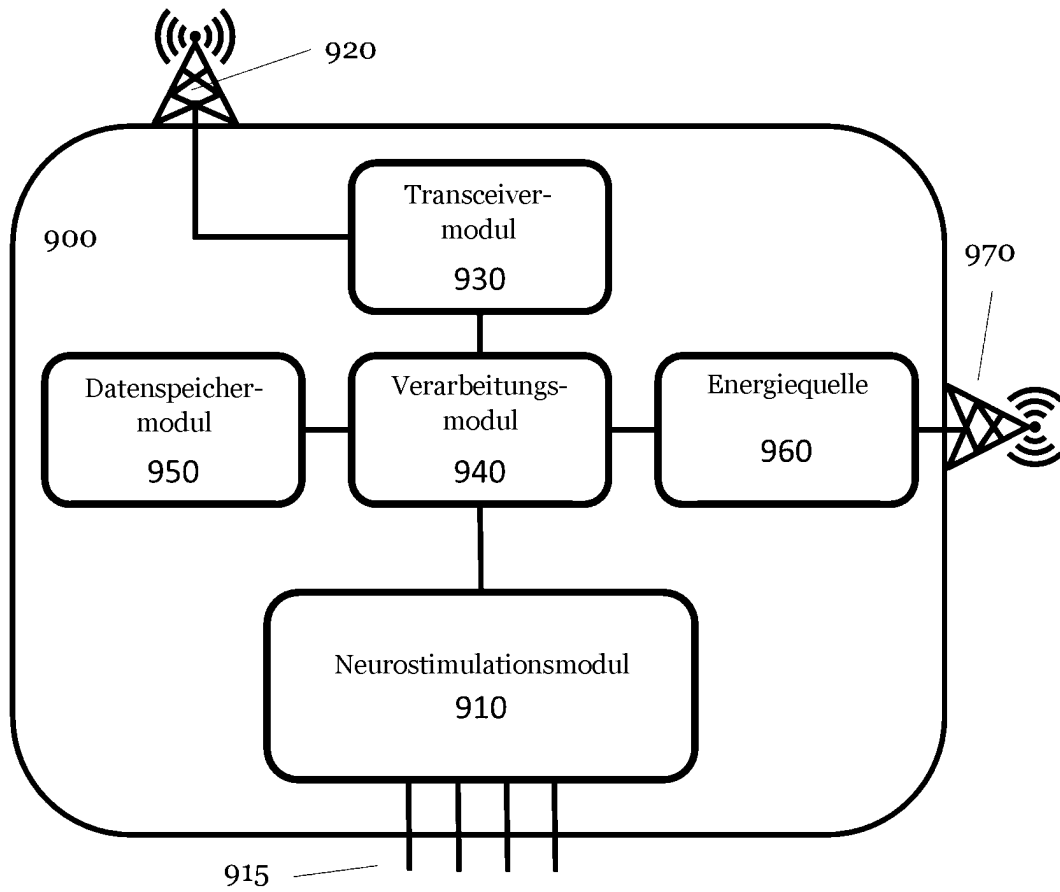


Fig. 9

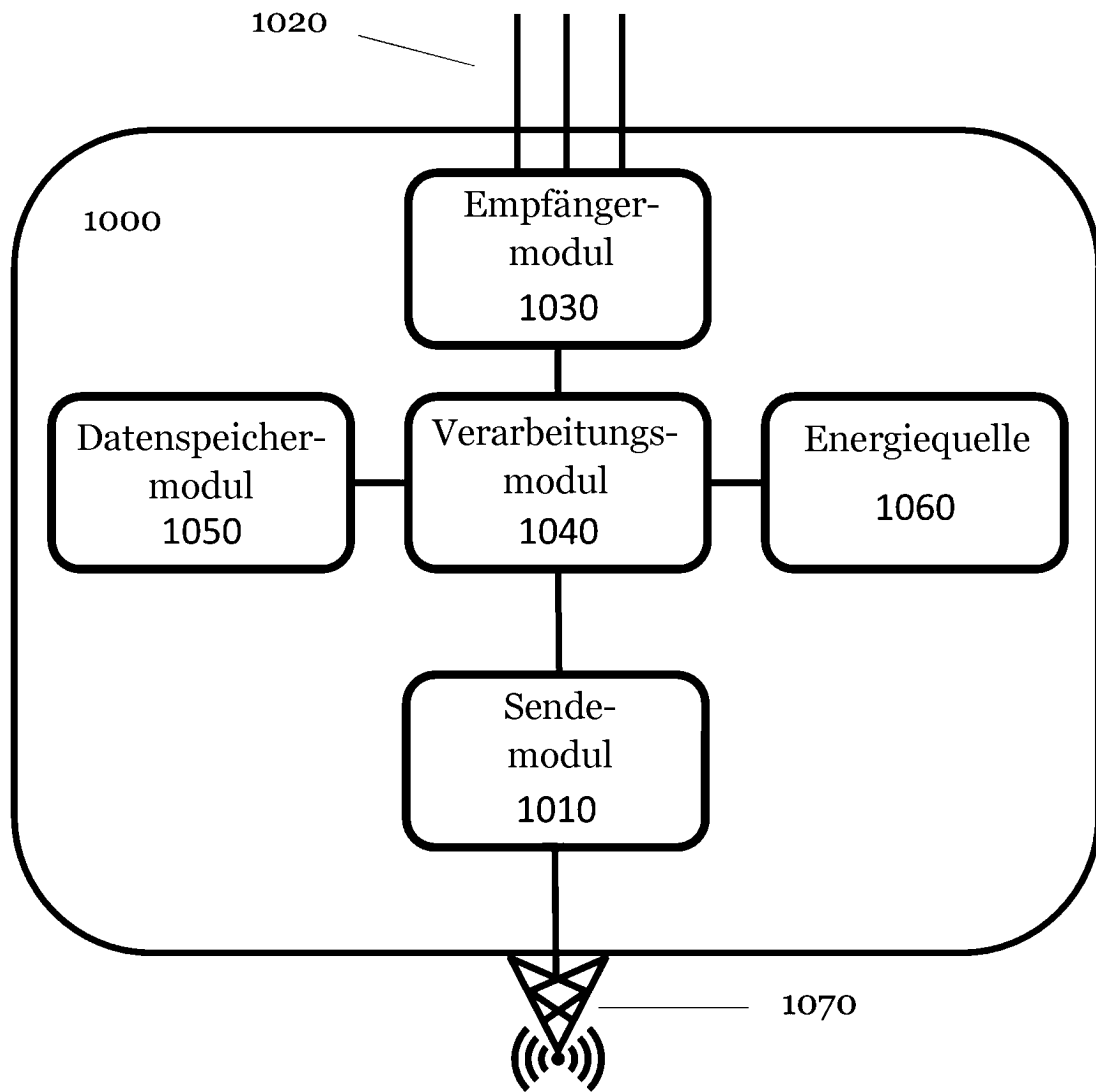


Fig. 10

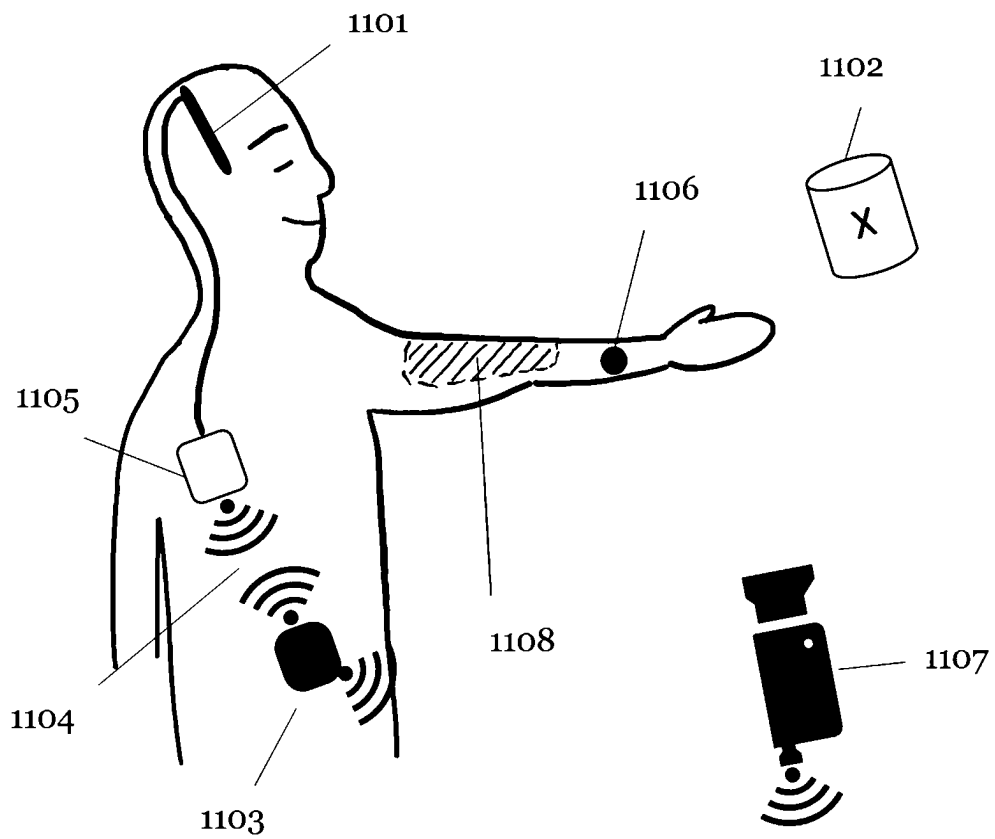


Fig. 11a

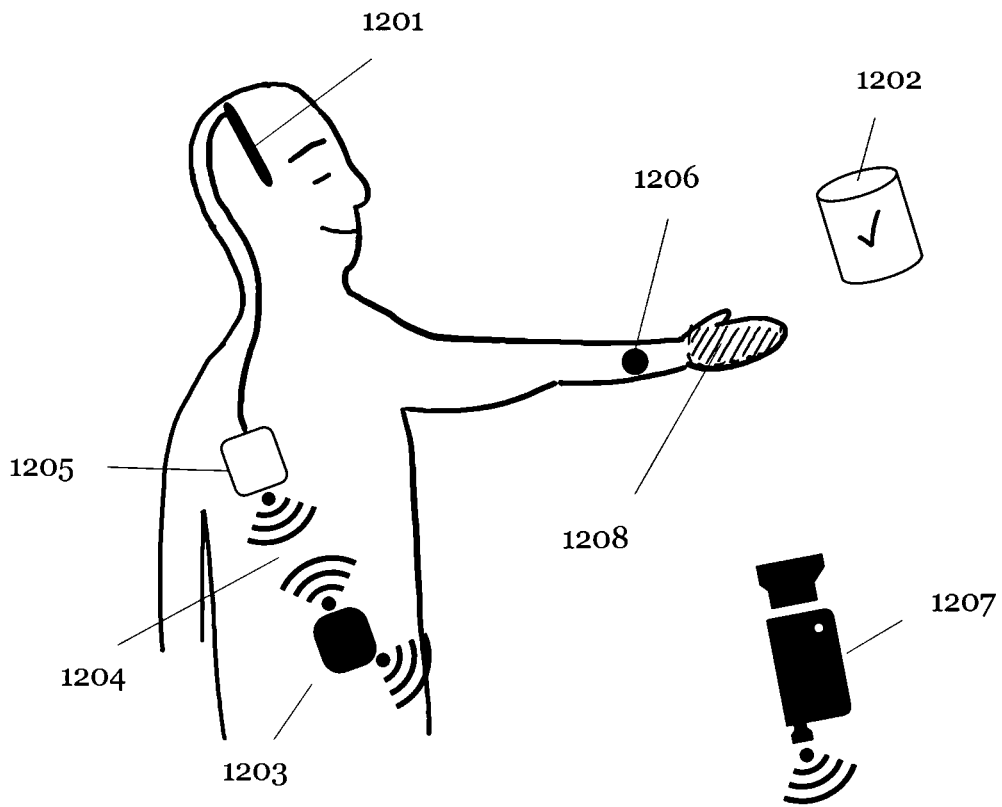


Fig. 11b