



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 26 904 T2 2006.06.22**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 125 237 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 26 904.0**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/20104**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 948 105.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 00/26841**

(86) PCT-Anmeldetag: **03.09.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **11.05.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.08.2001**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **24.08.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **22.06.2006**

(51) Int Cl.⁸: **G06F 19/00 (2006.01)**

G06F 17/00 (2006.01)

A61M 21/00 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

106344 P 30.10.1998 US

122541 P 02.03.1999 US

(73) Patentinhaber:

**Walter Reed Army Institute of Research, Silver
Spring, Md., US**

(74) Vertreter:

Viering, Jentschura & Partner, 80538 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**BALKIN, J., Thomas, Ellicott City, US; BELENKY,
L., Gregory, Kensington, US; HALL, W., Stanley,
Silver Spring, US; KAMIMORI, H., Gary, Laurel, US;
REDMOND, P., Daniel, Silver Spring, US; SING, C.,
Helen, Takoma Park, US; THOMAS, L., Maria,
Columbia, US; THORNE, R., David, Washington,
US; WESENSTEN, Jo, Nancy, Silver Spring, US**

(54) Bezeichnung: **ANLAGE UND VERFAHREN ZUM VORHERSAGEN VON MENSCHLICHEN KOGNITIVEN LEISTUN-
GEN UNTER VERWENDUNG VON AKTIGRAPHDATEN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technischer Bereich

[0001] Diese Erfindung betrifft ein System zum Vorhersagen von kognitiver Leistung eines Individuums, die auf der Tageszeit und auf die vorherige Schlaf-/Wach-Vorgeschichte des Individuums, basierend auf Aktivitätsinformationen von einem Aktigraphen, der von dem Individuum getragen wurde, basiert.

Stand der Technik

[0002] Die Erhaltung der Leistungsfähigkeit unter allen Arbeitsplatzbedingungen hängt auf allen Ebenen von der Befehls/Kontrolle- oder Führungsebene bis hinunter zum einzelnen Soldaten oder Arbeiter von der effektiven kognitiven Leistung ab. Effektive kognitive Leistung wiederum hängt von komplexen mentalen Vorgängen ab. Es hat sich gezeigt, dass viele Faktoren die kognitive Leistung beeinflussen (z. B. Medikamente oder Alter). Dennoch, wurde gezeigt, dass von den unzähligen Faktoren, die Tag für Tag Variationen in der kognitiven Leistung verursachen, zwei den größten Einfluß haben. Diese zwei Faktoren sind eine vorherige Schlaf-/Wach-Vorgeschichte des Individuums und die Tageszeit.

[0003] Angemessener Schlaf unterstützt die kognitive Leistung. Mit weniger Schlaf als angemessen sinkt die kognitive Leistung mit der Zeit. Ein Artikel von Thorne et al. genannt "Plumbing Human Performance Limits During 72 hours of High Task Load" in Proceedings of the 24th DRG Seminar on the Human as a Limiting Element in Military Systems, Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, Seiten 17–40 (1983), ein Artikel von Newhouse et al. betitelt "The Effects of d-Amphetamine on Arousal, Cognition and Mood After Prolonged Total Sleep Deprivation", der in Neuropsychopharmacology, Vol. 2, Seiten 153–164 (1989) veröffentlicht ist, und ein anderer Artikel von Newhouse et al. betitelt "Stimulant Drug Effects on Performance and Behaviour After Prolonged Sleep Deprivation: A Comparison of Amphetamine, Nicotine, and Deprenyl", der in Military Psychology, Vol. 4, Seiten 207–233 (1992) veröffentlicht ist, beschreiben sämtliche Studien an normalen Freiwilligen, in denen dargestellt wird, dass stabile, anwachsende Abnahmen in kognitiver Leistung während eines andauernden totalen Schlafentzugs wie durch computergestützte Untersuchung und komplexe betriebsbedingte Simulationen gemessen wurde. Im "Dinges et al." betitelt "Cumulative Sleepiness, Mood Disturbance, and Psychomotor Vigilance Performance Decrements During a Week of Sleep Restricted to 4–5 Hours Per Night", der in Sleep, Vol. 20, Seiten 267–277 (1997) veröffentlicht wurde, ist offenbart, dass auch bei fest, begrenzten, täglichen Schlafmengen, auch sich anhäufender Schlafentzug zu einer

Abnahme der kognitiven Leistung führt. Daher wird in betrieblichen Einrichtungen, sowohl ziviler als auch militärischer Art, die Produktivität (Ausgabe von brauchbarer Arbeit per Zeiteinheit) bei kognitiven Aufgaben auch Schlafentzug reduziert.

[0004] Es hat sich also bei Gebrauch von computergestützten kognitiven Leistungstesten gezeigt, dass totaler Schlafentzug die menschliche kognitive Leistung um etwa 25% für jeden folgenden Wach-Zeitraum von 24 Stunden vermindert. Dennoch hat sich auch gezeigt, dass sogar kleine Schlaf-Mengen das Maß an Verminderung der durch Schlaflosigkeit induzierten kognitiven Leistung reduziert: Belenky et al. offenbaren in ihrem Artikel betitelt "Sustaining Performance During Continuous Operations: The U.S. Army's Sleep Management System", der in 20th Army Science Conference Proceedings, Vol. 2, Seiten 657–661 (1996) veröffentlicht ist, dass selbst ein einzelner 30-minütiger kurzer Schlaf alle 24 Stunden das Maß an kognitiver Leistungsverminderung über 85 Stunden Schlafentzug um 17% täglich verringert. Das suggeriert, dass die stärkste Erholung der kognitiven Leistung während des Schlafs meistens früh in der Schlafperiode erfolgt. Kein anderer Faktor neben der Schlafmenge trägt so wesentlich und übereinstimmend zu den normalen, täglichen Schwankungen in der kognitiven Leistung bei.

[0005] Zusätzlich zu der Schlaf-/Wach-Vorgeschichte wird eine kognitive Leistung eines Individuums zu einem gegebenen Zeitpunkt durch den Zeitpunkt des Tages bestimmt. In den frühen 50er haben Franz Halberg und Kollegen eine 24-Stunden-Periodizität in einer Menge an menschlichen physiologischen (einschließlich Körper-Temperatur und -Aktivität), hämatologischen und hormonalen Funktionen beobachtet und den Ausdruck "circadian" (lateinische Bezeichnung für "über einen Tag") erfunden, um diesen periodischen Rhythmus zu beschreiben. Halberg zeigte, dass die größte Störung in experimentellen Daten durch Vergleichen von Daten herführten, die an unterschiedlichen Tageszeiten gesammelt worden sind.

[0006] Wenn Menschen einen Nachtschlaf-/Tageswach-Ablaufplan befolgen (zum Beispiel einen 8-Stunden-Schlaf/16-Stunden-Wachzustand-Zyklus, mit nächtlichem Schlaf etwa um Mitternacht beginnend), erreicht die Körpertemperatur gewöhnlich zwischen 2 AM und 6 AM ein Minimum (ein Tief). Dann fängt die Körpertemperatur an, auf ein Maximum (das Gipfel) gewöhnlich zwischen 8:00 PM und 10:00 PM zu steigen. Ähnlich zeigen systematische Studien von täglichen menschlichen kognitiven Tagesleistungsrhythmen, dass sich die Antwortgeschwindigkeit langsam über den Tag hin aufbessert, um ein Maximum am Abend zu erreichen (gewöhnlich zwischen 8 PM und 10 PM), dann rascher auf ein Minimum am Abend absinkt, das in den frühen Morgenstunden auftritt (gewöhnlich zwischen 2:00 AM und 6:00 AM).

Ähnliche aber etwas weniger einheitliche Rhythmen wurden von in Tests gezeigt, die auf verschiedenen kognitiven Leistungsaufgaben aufbauten. Daher war überlagert auf dem oben genannten Effekt von totalem Schlafentzug auf die kognitive Leistung eine approximativ $\pm 10\%$ Prozent Variation in der kognitiven Leistung über jede 24-Stunden-Periode überlagert.

[0007] Bei verschiedenen Maßnahmen wurde gezeigt, dass sie im gewissen Ausmaß mit der kognitiven Leistung korrelieren. Dieses beinhaltet objektive und subjektive Maßnahmen an Schläfrigkeit (oder umgekehrt an Wachsamkeit). Manche Individuen, die sachkundig sind, benutzen "Schläfrigkeit", um das Gegenteil von "Wachsamkeit" anzudeuten (wie es in dem Fall im vorliegenden Dokument ist). "Benommenheit" wird oft austauschbar mit "Schläfrigkeit" eingesetzt, obwohl manche Sachkundige behaupten würden, dass "Schläfrigkeit" besonders den physiologischen Schlafbedarf betrifft, während "Benommenheit" mehr die Neigung oder die Fähigkeit betrifft, einzuschlafen (unabhängig von dem physiologischen Schlafbedarf). Der Begriff "Ermüdung" wurde als ein Synonym für "Schläfrigkeit" bei der Laienbevölkerung eingesetzt, aber solche, die sachkundig sind, betrachten "Ermüdung" nicht als austauschbar mit "Schläfrigkeit", vielmehr ist "Ermüdung" ein breiter Begriff, der mehr als nur die Effekte des Schlafentzugs auf die Leistung an sich umfasst. Auch wurde die "kognitive Leistung" als Leistung über eine breite Vielfalt von Aufgaben hin definiert, von denen die gewöhnlichst eingesetzten, Wachsamkeitsaufgaben waren (Aufgaben, die anhaltende Aufmerksamkeit voraussetzen). Von der Wachsamkeit und anderen Aufgaben benutzen manche Forscher Genauigkeit als ihr Maß an kognitiver Leistung, während andere Reaktionszeit (oder ihren Kehrwert, Geschwindigkeit) benutzen. Noch andere benutzen ein Maß, das als Geschwindigkeit multipliziert mit der Genauigkeit berechnet wird, welche die Menge an brauchbarer Arbeit ist, die pro Zeiteinheit ausgeführt wird (auch als Durchsatzleistung bekannt). Jene, die mit der Sache vertraut sind, sind sich im Allgemeinen einig, dass Wachsamkeitsaufgaben angebrachte Maßstäbe für kognitive Leistung unter Schlafentzug-Bedingungen sind und dass entweder Reaktionszeit (Geschwindigkeit) oder manche Maßstäbe, die Reaktionszeit (d.h. Durchsatzleistung) in betracht ziehen, ein zulässiger und sicherer Weg zum Messen der kognitiven Leistung ist.

[0008] Der multiple Schlaf-Latenz-Test (MSLT) ist ein weitgehend anerkannter objektiver Maßstab für Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit. Beim MSLT versuchen Individuen einzuschlafen, während sie in einem dunklen, ruhigen Schlafzimmer liegen. Verschiedene physiologische Maßstäbe, die dazu eingesetzt werden, um Schlaf oder Wachsamkeit zu bestimmen, werden aufgenommen (Augen-Bewegungen, Gehirn-Aktivität, Muskeltonus) und die Zeit, die genom-

men wird, um die ersten 30 Sekunden der Etappe 1 des (leichten) Schlafs zu erreichen, wird bestimmt. Es wird angenommen, dass Schlafverzögerungen in Etappe 1 größere Schläfrigkeit (gerige Aufmerksamkeit) andeuten. Es wird angenommen, dass Schlafverzögerungen unter 5 Minuten krankhaft sind (d.h. hinweisend auf eine Schlaffunktionsstörung oder Schlafentzug). Während beider, dem totalen und dem partiellen Schlafentzug, sinkt die Schlafverzögerung über das MLT (Aufmerksamkeit) und Leistung (d.h. die Schläfrigkeit, wie sie von MSLT gemessen wird, steigt). Obwohl jedoch eine Korrelation existiert zwischen der mit dem MSLT bestimmten Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit und der kognitiven Leistung (größere Schläfrigkeit als durch MSLT indiziert, die zu einer schlechteren kognitiven Leistung korrespondiert), konnte niemals gezeigt werden, dass diese Korrelation perfekt ist, und für den größten Teil stark ist. Als ein Ergebnis ist das MSLT ein schlechter (d.h. unzuverlässiger) Vorhersager kognitiver Leistung.

[0009] Es wurde auch gezeigt, dass subjektive Kriterien für Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit (wenn auch schwach) mit kognitiver Leistung ebenfalls korrelieren. Hoddes et al. beschreiben in ihrem Artikel betitelt "Quantification of Sleepiness: A New Approach", der in *Psychophysiology*, Vol. 10, Seiten 431–436 (1973) die Stanford-Schläfrigkeitsskala (SSS) (Stanford Sleepiness Scale (SSS)), einen subjektiven Fragebogen, der weitgehend eingesetzt wird, um Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit zu messen. In der SSS schätzen Individuen ihre aktuelle Ebene an Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit auf einer Skala von 1 zu 7, mit 1 entsprechend der Behauptung "sich aktiv und vital fühlend; aufmerksam; weitgehend munter" und 7 entsprechend der Behauptung "fast in Träumerei; baldiger Schlafbeginn; verlierend den Kampf, wach zu bleiben". Größere SSS-Punktwerte indizieren größere Schläfrigkeit. Wie bei dem MSLT, wachsen totaler Schlafentzug und partieller Schlafentzug während beider an. Dennoch ist wie bei MSLT die Korrespondenz zwischen der SSS-ermittelten Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit und der kognitiven Leistungsabnahme schwach und inkonsistent. Als ein Ergebnis, ist die SSS ebenfalls ein schwacher Vorhersager der kognitiven Leistung. Manche andere Beispiele von subjektiven Kriterien von Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit werden beschrieben von Epworth-Schläfrigkeitsskala von Johns in seinem Artikel betitelt "Daytime Sleepiness, Snoring, and Obstruktive Sleep Apnea", der in *Chest*, Vol. 103, Seiten 30–36 (1993) veröffentlicht ist und von Karolinska-Schläfrigkeitsskala, die von Akerstedt and Gillberg in ihrem Artikel betitelt "Subjektive and Objektive Sleepiness in the Active Individual" beschrieben werden, die in *International Journal of Neuroscience*, Vol. 52, Seiten 29–37 (1990) veröffentlicht ist. Die Korrespondenz zwischen diesen subjektiven Kriterien und der kognitiven Leistung ist schwach und inkonsistent.

[0010] Zusätzlich, können Faktoren, die kognitive Leistung modifizieren, nicht objektive oder subjektive Kriterien von Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit oder umgekehrt entsprechend beeinflussen. Zum Beispiel offenbart der Artikel Penetar et al. betitelt "Amphetamine Effects on Recovery Sleep Following Total Sleep Deprivation", der in *Human Psychopharmacology*, Vol. 6, Seiten 319–323 (1991) veröffentlicht ist, dass während Schlafentzug das stimulierende Medikament d-Amphetamin die kognitive Leistung verbessert, aber nicht Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit (wie durch das MSLT gemessen). In einer ähnlichen Studie hat Koffein, das als Schlafentzuggegenmaßnahme verabreicht wurde, eine erhöhte kognitive Leistung für über 12 Stunden gezeigt, während die Effekte auf die subjektive Schläfrigkeit, Vitalität und Ermüdung vorübergehend besser aber dann schlechter geworden sind. Thorne et al. beschreiben in ihrem Artikel betitelt "Plumbing Human Performance Limits During 72 Stunden of High Task Load" in *Proceedings of the 24th DRG Seminar of the Human as a Limiting Element in Military Systems, Defense and Civil Institute of Environmental Medicine*, Seiten 17–40 (1983), wie kognitive Leistung über 72 Stunden Schlafentzug kontinuierlich abnimmt, wobei sich die subjektive Schläfrigkeit/Aufmerksamkeit über die ersten 24 Stunden verschlechtert aber danach abflacht. Die Ermittlungen, dass kognitive Leistung und Schläfrigkeit/Aufmerksamkeits-Kriterien nicht immer in gleicher Weise beeinflusst werden, zeigt, dass sie nicht austauschbar sind. Das heißt, dass Schläfrigkeit/Aufmerksamkeits-Kriterien nicht eingesetzt werden können, um kognitive Leistung vorherzusagen, und umgekehrt.

[0011] Die Aufmerksamkeits-Erkennung betreffenden Verfahren und Vorrichtungen werden in fünf Hauptkategorien unterteilt: ein Verfahren/eine Vorrichtung für unauffälliges Überwachen von aktuellem Aufmerksamkeitsniveau; ein Verfahren/eine Vorrichtung für unauffälliges Überwachen von aktuellem Aufmerksamkeitsniveau und zum Bereitstellen einer Warnung/eines Alarms für den Verbraucher mit geringerer Aufmerksamkeit und/oder, um das Aufmerksamkeitsniveau des Verbrauchers zu erhöhen; ein Verfahren/eine Vorrichtung zum Überwachen von aktuellem Aufmerksamkeitsniveau basierend auf den Antworten des Verbrauchers auf manche sekundäre Aufgaben möglicherweise mit einer Alarmvorrichtung, um den Verbraucher vor verringerter Aufmerksamkeit zu warnen und/oder, um das Aufmerksamkeitsniveau des Verbrauchers zu steigern; und ein Verfahren/eine Vorrichtung zum Vorhersagen von vergangener, aktueller oder zukünftiger Aufmerksamkeit.

[0012] Diese Verfahren und Vorrichtungen, die unauffällig das aktuelle Aufmerksamkeitsniveau überwachen, basieren auf einem Ansatz "eingebetteten Kriterien". Das ist, solche Methoden folgern Aufmerk-

samkeit/Benommenheit von dem aktuellen Niveau von manchen Faktoren (d.h. Augenposition oder Schließung) ab, vorausgesetzt, dass sie mit Aufmerksamkeit/Benommenheit korrelieren. Manche kurz ausgegebene Patente dieses Typs umfassen U.S. Patent No. 5,689,241 von J. Clarke, Sr., et al., das eine Vorrichtung offenbart, die Augenschließen und Umgebungstemperatur um Nase und Mund erfasst; U.S. Patent No. 5,682, 144 von K. Mannik, das eine Vorrichtung offenbart, die Augenschließen erfasst; und U.S. Patent No. 5,570,698 von C. Liang et al., die eine Vorrichtung zum Überwachen von Augenposition und Bewegung offenbart, um Schläfrigkeit zu erfassen. Ein offensichtlicher Nachteil dieser Verfahrenstypen und Vorrichtungen ist, dass von den Maßnahmen eher die Schlafentstehung selbst als geringe Verminderungen der Aufmerksamkeit erfasst werden.

[0013] In manchen Patenten werden Verfahren für eingebettete Überwachung von Aufmerksamkeit/Benommenheit mit zusätzlichen Verfahren kombiniert, mit denen dem Verbraucher eine verminderte Aufmerksamkeit und/oder wachsende Aufmerksamkeit angezeigt werden. Kürzlich ausgestellte Patente dieser Art umfassen das U.S. Patent No. 5,691,693 von P. Kithil, das eine Vorrichtung beschreibt, von der die Position und die Bewegung des Kopfes eines Fahrzeugführers abgetastet wird, um die aktuellen Daten zu Profilen von "normaler" Kopfbewegung und "beeinträchtigter" Kopfbewegung zu vergleichen. Warnvorrichtungen werden aktiviert, wenn die Kopfbewegung von "normal" in irgendeiner vorbestimmten Weise abweicht. U.S. Patent No. 5,585,785 von R. Gwin et al. beschreibt eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen von Handgriffdruck auf einem Lenkrad, sodass ein Alarm ausgelöst wird, wenn der Griffdruck unter eine bestimmte "niedrige Grenze" fällt, die Benommenheit anzeigt. U.S. Patent Nr. 5,568,127 von H. Bang beschreibt eine Vorrichtung zur Benommenheitserkennung, die von dem eine Warnvorrichtung kontaktierenden Kinn des Verbrauchers angezeigt wird, die eine fühlbare und auditive Warnung produziert. U.S. Patent No. 5,566,067 von J. Hobson et al. beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Erkennen von Bewegungen der Augenlider. Eine Änderung der erkannten Augenlidbewegungen von einem vorbestimmten Grenzwert verursacht ein Ausgabe-Signal/Alarm (bevorzugt auditiv). Wie bei der ersten Gruppe von Verfahren und Vorrichtungen ist hier ein Nachteil, dass die Kriterien eher den Schlafbeginn selbst als kleine Aufmerksamkeitsverringerungen erkennen.

[0014] Andere Aufmerksamkeit/Benommenheit-Überwachungsvorrichtungen wurden, basierend auf einem "primäre/sekundäre Aufgabe"-Vorgang, entwickelt. Zum Beispiel beschreibt U.S. Patent Nr. 5,595,488 von E. Gozlan et al. eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Übermitteln hörbarer, optischer

oder taktiler Reize an ein Individuum, auf die das Individuum (sekundäre Aufgabe) während des Durchführens der primären Aufgabe von Interessen (z. B. Fahren) antworten muss. Antworten auf die sekundäre Aufgabe werden mit Grund-"Aufmerksamkeits"-Niveaus zum Antworten verglichen. Das U.S. Patent Nr. 5,259,390 von A MacLean beschreibt eine Vorrichtung, in der der Verbraucher auf einen relativ unschädlichen Vibrationsreiz antwortet. Die Antwortgeschwindigkeit auf den Reiz wird als Maß für das Aufmerksamkeitsniveau eingesetzt. Ein Nachteil hierbei ist, dass die Vorrichtung Antworten auf eine sekundäre Aufgabe benötigt, um auf Aufmerksamkeit zu folgen, und dabei die erste Aufgabe modifiziert und diese möglicherweise beeinträchtigt.

[0015] Andere Verfahren existieren allein zum Steigern der Aufmerksamkeit, in Abhängigkeit von dem Verbraucher zum Selbst-Einschätzen des Aufmerksamkeitsniveaus und zum Aktivieren der Vorrichtung, wenn der Verbraucher sich schläfrig fühlt. Ein Beispiel für das letztere ist das U.S. Patent No. 5,647,633 und die ähnlichen Patente von M. Fukuoka, in denen ein Verfahren/eine Vorrichtung beschrieben wird zum Verursachen einer Vibration des Verbrauchersitzes, wenn der Verbraucher Benommenheit erkennt. Ersichtliche Nachteile solcher Vorrichtungen sind, dass der Verbraucher in der Lage sein muss, sein/ihr aktuelles Aufmerksamkeitsniveau selbst genau einzuschätzen, und dass der Verbraucher in der Lage sein muss, auf diese Beeinflussung korrekt zu agieren.

[0016] Es existieren auch Verfahren zum Vorhersagen des Aufmerksamkeitsniveaus, basierend auf empirisch bekannten Eingaben an Verbraucher, um Aufmerksamkeit zu modifizieren. U.S. Patent Nr. 5,433,223 von M. Moore-Ede et al. beschreibt ein Verfahren zum Vorhersagen des wahrscheinlichen Aufmerksamkeitsniveaus eines Individuums zu einem spezifischen Zeitpunkt (vergangener, aktueller oder zukünftiger), basierend auf einer mathematischen Berechnung einer Vielfalt von Faktoren (betrachtet als "real-world" Faktoren), die manche Beziehungen auf Aufmerksamkeitsveränderung ausüben. Die Grundlinienaufmerksamkeitskurve (BAC) des Individuums wird erst basierend auf fünf Eingaben bestimmt und repräsentiert die optimale Aufmerksamkeitskurve, die in einer stabilen Umgebung aufrecht erhalten wird. Weiter wird die BAC durch aufmerksamkeitsmodifizierende Reize modifiziert, um eine modifizierte Grundlinienaufmerksamkeitskurve zu erreichen. Daher ist das Verfahren ein Mittel zum Vorhersagen eines Aufmerksamkeitsniveaus der nicht kognitiven Leistung des Individuums.

[0017] Ein anderes Verfahren wurde gestaltet, um eine "arbeitsbezogene Ermüdung" als eine Funktion von Stundenanzahl im Dienst vorherzusagen. Fletcher und Dawson beschreiben ihr Verfahren in einem Artikel betitelt "A Predictive Model of Work-Related

Fatigue Based on Hours of Work", der in Journal of Occupational Health and Safety, Vol. 13, 471–485 (1997) veröffentlicht ist. In diesem Modell wird eine einfache Annahme gemacht – es wird angenommen, dass die Länge der Zeit im Dienst positiv mit dem Wachzustand korreliert ist. Um dieses Verfahren zu implementieren, gibt der Verbraucher einen realen oder hypothetischen im-Dienst/nicht-im-Dienst-(Arbeit/Pause)-Ablaufplan ein. Ausgabe des Modells ist eine Punktzahl, von der "arbeitsbezogene Ermüdung" angezeigt wird. Obwohl gezeigt wurde, dass diese auf die "arbeitsbezogene Ermüdung" bezogene Punktzahl mit manchen Leistungsmessungen korreliert, ist es keine direkte Messung der kognitiven Leistung an sich. Es kann geschätzt werden, dass die Ermüdungspunktzahl unter Umständen genauer sein wird, wenn die vermutete Beziehung zwischen der Zeit im Dienst und der Wachzustandszeit wegfällt – zum Beispiel – wenn eine Person während einer kurzen Schicht arbeitet, aber dann Arbeitszeit mit Projekten zuhause verbringt, eher als mit Schlafen, oder wenn eine Person über lange Schichten arbeitet, aber gewissenhaft während der vorhandenen Zeit zuhause geschlafen hat. Auch ist dieses Verfahren aufdringlich, indem der Verbraucher im-Dienst/außer-Dienst-Informationen eher als solche Informationen eingeben muss, die automatisch von einer unauffälligen Aufnahmevorrichtung extrahiert werden. Zusätzlich ist das Modell auf Vorhersagen von "Ermüdung" basierend auf Arbeitsstunden begrenzt. Insgesamt ist dieses Modell auf arbeitsbetreffende Situationen begrenzt, in denen Schichtlänge konsistent (umgekehrt) mit der Schlafänge korrelieren.

[0018] Angesichts der Wichtigkeit der Schlafmenge und der Tageszeit zur Bestimmung von kognitiver Leistung (und deshalb der Schätzung Leistungsfähigkeit oder Effizienz) und angesichts der stets wachsenden Anforderungen der meisten Beschäftigungen an die kognitive Leistung ist es wünschenswert, ein betriebssicheres und genaues Verfahren zum Vorhersagen der kognitiven Leistung zu entwickeln. Es kann geschätzt werden, dass durch eine Vergrößerung der Anzahl der relevanten Eingaben die Genauigkeit der kognitiven Leistungsvorhersage verbessert wird. Dennoch müssen die relativen Leistungen, die von solchen Eingaben gewonnen werden, gegen zusätzliche Belastungen/Kosten assoziiert mit deren Sammlung und Eingabe abgewogen werden. Zum Beispiel, obwohl gezeigt worden ist, dass bestimmte Düfte Eigenschaften zur Erhöhung der Aufmerksamkeitseigenschaften haben, sind diese Effekte inkonsistent und vernachlässigbar im Vergleich zu den stabilen Effekten der Schlaf-/Wach-Zustand-Vorgeschichte des Individuums und der Tageszeit. Wichtiger ist, dass der Effekt von Düften auf die kognitive Leistung unbekannt ist. Ein Erfordernis, dass ein Individuum einen Bericht darüber führen müsste, wie lange er Düften ausgesetzt war, wäre zeitraubend für das Individuum, und es würde nur in vernachlässig-

baren Gewinnen der Genauigkeit in der Vorhersage der kognitiven Leistung resultieren. Zusätzlich, während die Effekte des Schlaf-/Wach-Zustands und die Tageszeit für die kognitive Leistung gut bekannt sind, sind die Effekte von anderen vermeintlichen aufmerksamkeitsabschwächenden Faktoren (z. B. Stress im Beruf oder Arbeitsbelastung), wie sie gemessen werden sollten (ihre betriebsbedingte Definition) und ihre Einflussrichtung (Wachstum oder Herabsetzung von kognitiven Leistung) praktisch unbekannt.

[0019] Ein wichtiger und kritischer Unterschied zwischen dieser Erfindung und dem Stand der Technik ist, dass diese Erfindung ein Modell zum Vorhersagen von Leistung bei Aufgaben mit einer kognitiven Komponente ist. Dagegen konzentrierten sich vorhergehende Modelle, die Schlaf und/oder zyklische Rhythmen (approximativ 24-Stunden) betreffen, auf die Vorhersage von "Aufmerksamkeit" und "Schläfrigkeit". Letztere sind Konzepte, die besonders die Neigung den Schlaf zu initiieren betreffen, aber nicht die Fähigkeit, eine kognitive Aufgabe durchzuführen.

[0020] Obwohl Schläfrigkeit (oder das Gegenteil, Aufmerksamkeit) als eine Zwischenvariable betrachtet werden kann, die kognitive Leistung vermitteln kann, zeigt die wissenschaftliche Literatur klar, dass kognitive Leistung und Aufmerksamkeit begrifflich verschieden sind, wie durch Johns in dem Artikel betitelt "Rethinking the Assessment of Sleepiness" überprüft werden kann, der in *Sleep Medicine Reviews*, Vol. 2, Seiten 3–15 (1998) veröffentlicht ist und wie durch Mitler et al. in dem Artikel betitelt "Methods of Testing for Sleepiness", der in *Behavioral Medicine*, Vol. 21, Seiten 171–183 (1996) veröffentlicht ist. Thomas et al. in dem Artikel betitelt "Regional Cerebral Metabolic Effects of Prolonged Sleep Deprivation", der in *NeuroImage*, Vol. 7, Seite S130 (1998) veröffentlicht ist, offenbaren, dass 1–3 Tage an Schlafentzug zu Reduzierung von globaler Gehirnaktivierung von approximativ 6% führen, wie durch örtliche zerebrale Glukoseaufnahme gemessen wurde. Dennoch sind solche Regionen (heteromodale Assoziations-Kortexe), die die höchste oder kognitive Funktionen vermitteln (einschließlich, aber nicht beschränkt auf Aufmerksamkeit, Wachsamkeit, situationsbezogene Erkenntnis, Planung, Beurteilung und Treffen von Entscheidungen) werden selektiv durch Schlafentzug in viel größerem Maße deaktiviert – bis auf 50% – nach drei Tage Schlafentzug. Dadurch werden Verringerungen in neurobiologischen Funktionen während Schlafbegrenzung/Schlafentzug direkt in der kognitiven Leistungsverminderung reflektiert. Diese Ergebnisse sind übereinstimmend mit Studien, die beweisen, dass Aufgaben, die kognitive Funktionen höherer Ordnung benötigen, speziell solche Aufgaben, die Aufmerksamkeit, Planung, usw. benötigen (Fähigkeiten, die durch heteromodale Assoziations-Kortexe vermittelt werden) besonders empfindlich sind auf Schlaflosigkeit. Andererseits werden Ge-

hirnregionen wie die primären sensorischen Regionen in geringerem Maße deaktiviert. Begleitend ist die Leistung (z. B. das Sehvermögen, das Gehör, die Stärke und die Ausdaueraufgaben), die von diesen Regionen abhängig ist, durch Schlaflosigkeit nahezu unbeeinflusst.

[0021] Folglich sind Vorrichtungen oder Erfindungen, die "Aufmerksamkeit" an sich vorhersagen (z. B. Moore-Ede et al.) vermeintliche Quantifizierung der unterliegenden Neigung des Gehirns, um den Schlafzustand zu jedem gegebenen Zeitpunkt zu initiieren. Das heißt, dass Vorrichtungen oder Erfindungen, die "Aufmerksamkeit" (oder seine Umkehrung "Schläfrigkeit") vorhersagen, das Ausmaß vorhersagen, bis zu dem voraussichtlich der Schlafbeginn wahrscheinlich ist. Diese Erfindung unterscheidet sich von solchen Methoden darin, dass die Natur der Aufgabe zu berücksichtigen ist – z. B. ist es nicht die Neigung, Schlaf, der vorhergesagt ist, zu initiieren. Stattdessen sagt diese Erfindung das Ausmaß voraus, um das die Leistung durch eine besondere Aufgabe beeinträchtigt wird durch deren Wirkung auf Gehirnregionen, die am meisten durch Schlafentzug beeinträchtigt sind (heteromodale Assoziationsregionen des Gehirns). Das höchst wünschenswerte Verfahren wird eine sehr glaubwürdige und genaue kognitive Leistungsschätzung erzeugen, die auf den Schlafzustand-/Wachzustand-Vorgeschichte eines Individuums und der Tageszeit basiert.

Offenbarung der Erfindung

[0022] Ein Ziel der Erfindung ist, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bestimmen eines Wertes bereitzustellen, der eine vorhergesagte kognitive Leistung an einem Zeitpunkt angibt aus einem Tragen eines Aktigraphen von dem Individuum sowie aus korrespondierenden Programmen, computerlesbaren Medien und Systemen, welche eine akkurate Vorhersage erlauben, welche die Vorhersage von Effekten einer möglichen zukünftigen Wachzustand/Schlafzustand Vorgeschichte auf die kognitive Leistung erleichtern (Vorwärts-Vorhersage), welche eine rückblickende Analyse von einer wahrscheinlichen vorherigen kognitiven Leistung basierend auf die Schlafzustand/Wachzustand-Vorgeschichte des Individuums und der Tageszeit erleichtern, und welche die Koordination und die Optimierung von verfügbarer Schlafzustand/Wachzustand-Zeit erlauben, um netto optimal vorhergesagte kognitive Leistung für ein Individuum oder eine Gruppe von Individuen zu erhalten.

[0023] Dies wird erreicht mittels eines Verfahrens und einer Vorrichtung mit den Merkmalen in Anspruch 1 bzw. Anspruch 23. Ferner werden Ausführungsbeispiele in den entsprechenden abhängigen Ansprüchen beschrieben. Korrespondierende Programme, sowie computerlesbare Medien und Systeme werden in den Ansprüchen 20 bis 22 und 31 bis

37 beansprucht.

[0024] Ein Merkmal dieser Erfindung ist, dass sie eine numerische Repräsentation der vorhergesagten kognitiven Leistung liefert, mit einem sofortigen ergonomischen und wirtschaftlichen Vorteil, d.h. eine Anzeige von Produktivität oder Effektivität eines Individuums. Andere Merkmale dieser Erfindung sind, dass sie nicht Messungen/Berechnungen braucht, die indirekte, zwischenliegende, folgende oder hypothetische Begleitumstände der kognitiven Leistung sind. Beispiele für das Letztere sind Aufmerksamkeit, Schläfrigkeit, Schlafzeitbeginn, Körpertemperatur und/oder andere physiologische Messungen, die mit der Zeit variieren. Ein weiteres Merkmal der Erfindung ist, dass sie für vorübergehende oder hinzukommende Variationen in der kognitiven Leistung von jeder Quelle als ein Ergebnis dessen, wie diese Quelle den Schlafzustand/Wachzustand-Vorgeschichte (z. B. Alter) und/oder physiologische Tageszeit (z. B. die Schichtarbeit) beeinflusst. Im Ergebnis werden solche Quellen nicht so behandelt, als hätten sie Einflüsse auf die kognitive Leistung unabhängig von der Schlafzustand/Wachzustand-Vorgeschichte und/oder der Tageszeit, und als solche erfordern sie keine getrennte Messung, Tabellierung und Eingabe in das Verfahren.

[0025] Es kann eingeschätzt werden, dass ein impliziter Vorteil und die Neuheit des Verfahrens dessen Sparsamkeit ist. Das Verfahren benutzt solche Faktoren, die einen maximal voraussagenden Wert (wie empirisch bewiesen) besitzt, wie fortlaufend erhöhte Eingaben. Also wird das Modell einfach zu implementieren sein. Andere Modelle, die "Aufmerksamkeit" vorhersagen benötigen, dass bei dem Verwender multiple Inputvariablen (z. B., Koffein, Alkoholaufnahme, Licht/Dunkelheit-Beanspruchung, tägliche Ausföhrung) erfolgen, statt das Präsentieren dieser Eingaben als optionale "Anlagerungen" zu einem vereinfachten Standardmodell, das auf solchen Faktoren basiert, die maximale kognitive Leistungsänderung bedingen. Zum Beispiel werden, in Übereinstimmung mit einem Teil dieses Verfahrens die Effekte des Alters auf die kognitive Leistung implizit durch die empirisch hergeleiteten Effekte des Alters auf Schlaf betrachtet. Das heißt, dass sich Schlafqualität mit dem Alter verringert. Die inhärente Verminderung der Schlafqualität mit dem Alter würde implizit in einer Vorhersage von degenerierter kognitiver Leistung resultieren (da in dem bisherigen Verfahren verminderter Schlaf in einer Vorhersage von verminderter, kognitiver Leistung resultiert), selbst wenn das Alter des Individuums unbekannt war. Daher braucht das Alter nicht eine getrennte (unabhängige) Eingabevariable für ein Modell darstellen, das die kognitive Leistung vorhersagt.

[0026] Die Erfindung liefert auch andere bedeutende Vorteile. Zum Beispiel ist ein Vorteil dieser Erfin-

dung die Entfernung des Bedarfs für empirische Bewertung.

[0027] Ein anderer Vorteil dieser Erfindung ist die Erlangung einer genauen Vorhersage der kognitiven Leistung eines Individuums. Der Vorteil kann erreicht werden durch ein Verfahren, das zwei Faktoren vereinigt, wobei empirisch bewiesen wurde, dass sie einen bedeutenden Effekt auf die kognitive Leistung ausüben würden und zwar (1) die Schlafzustand/Wachzustand Vorgeschichte des Individuums und (2) die Tageszeit ("Tag" betrifft hier eine 24-stündige Dauer, die beide, Nachtzeit- und Tageslicht-Stunden beinhalten).

[0028] Ein anderer Vorteil, der durch diese Erfindung erreicht wird, ist eine genaue Vorhersage der aktuellen kognitiven Leistung.

[0029] Ein anderer Vorteil, der durch diese Erfindung erreicht wird, ist, dass sie in der Lage ist, eine reelle Zeitvorhersage der kognitiven Leistung zu liefern.

[0030] Noch ein anderer Vorteil, der durch diese Erfindung erreicht wird, ist eine Vorhersage von zukünftig erwarteter kognitiver Leistung während des ganzen Tages, die auf hypothetischen zukünftigen Schlafzustand-/Wachzustand-Perioden basiert.

[0031] Einen zusätzlichen Vorteil, der durch diese Erfindung erreicht wird, ist eine rückblickende Analyse der kognitiven Leistung zu gegebenen Zeiten.

[0032] Ein anderer Vorteil der Erfindung ist, dass eine besondere kognitive Leistungsvorhersage nicht auf normativen Daten basiert (d.h., dass sie keine "look-up Tabelle" für die Ausgabe benötigt), sondern, dass sie stattdessen berechnet wird auf Basis der Schlafzustand-/Wachzustand-Information des jeweiligen Individuums und der Tageszeit.

[0033] Ein anderer Vorteil der Erfindung ist, dass sie eingesetzt werden kann, um den zukünftigen Schlafzustand-/Wachzustand-Zeitplan des Individuums zu optimieren, der auf einem fixierten Einsatz-/Arbeit-Zeitplan basiert. Frühere Verfahren und Vorrichtungen sind darauf gerichtet den Arbeitszeitplan und/oder den Einsatz "an dem Individuum zu justieren". In den meisten Situationen sind jedoch, Arbeitszeitplan und/oder Einsätze sind fixiert. Also ist die Modifizierung des Arbeitszeitplans oder Einsatzes, um sie an das Individuum anzupassen, unpraktisch und unmöglich. Eine sinnvollere Methode, das in diesem Verfahren vereinigt ist, ist es, dem Individuum zu erlauben, seine/ihre Schlafzustands-/Wachzustands-Perioden anzupassen, um seinen/ihren Arbeits-/Einsatz-Bedarf zu treffen. Also präsentiert dieses Verfahren eine weitere praktische Alternative durch Bereitstellen eines Mittels, um Arbeitsstunden

auf eine direkt anwendbare Metrik (kognitive Leistung) anstelle von Arbeitsstundenregulierung durch die Dienstzeit oder durch Einsatz von indirekten Maßen von kognitiver Leistung wie Aufmerksamkeit zu regulieren.

[0034] Ein Merkmal dieser Erfindung ist die Beschaffung einer graphischen Repräsentierung, die eine Vorgeschichte des Schlafzustands/Wachzustands des Individuums und die Tageszeit in einen sofort nützlichen selbstverständlichen Index überträgt. Eine Vorhersage der kognitiven Leistung, die unterschiedlich von einer "Aufmerksamkeit-" oder "Schläfrigkeit"-Vorhersage ist, benötigt keine weitere Interpretation.

[0035] Das System zum Vorhersagen von menschlicher kognitiver Leistung basierend auf Informationen von einem Aktigraphen in Übereinstimmung mit der Erfindung erreicht die obigen Ziele und erzieht die obigen Vorteile. Das System ist leicht anpaßbar an eine breite Auswahl von Situationen und Eingabetypen.

[0036] Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird die Aktivität eines Individuums mittels eines Aktigraphen gemonitort, wobei die Aktivitätsinformationen in eine Schlaf-/Wach-Vorgeschichte des Individuums konvertiert wird, welche in eine Entwicklungsvorrichtung eingegeben wird. Die Entwicklungsvorrichtung klassifiziert die einzelnen Stücke der Schlaf-/Wach-Vorgeschichtsdaten entweder als Schlafzustand oder Wachzustand ein. Basierend auf der Einordnung von Daten selektiert und kalkuliert die Entwicklungsvorrichtung eine kognitive Leistungskapazität, die zu dem gegenwärtigen Zustand des Individuums korrespondiert, wobei die kognitive Leistungskapazität durch einen Tageszeitwert modifiziert werden kann, um die kognitive Leistungskapazität an eine vorhergesagte kognitive Leistung anzupassen. Die vorhergesagte kognitive Leistung repräsentiert die Fähigkeit des Individuums, die kognitiven Aufgaben zu erfüllen. Die vorhergesagte kognitive Leistung kann angezeigt werden als eine Realzeit-Anzeige oder als ein Teil einer Kurve, die mit der Information gedruckt wird, die angezeigt hätte werden können, und/oder kann für spätere Auffindung und/oder Benutzung gespeichert werden. Die Berechnung der kognitiven Leistungskapazität wird basierend auf Funktionen gemacht, die den Effekt des Zusammenhangs zwischen Schlafen und Wachsein auf die kognitive Leistung modellieren. Die Tageszeitfunktion modelliert den Effekt eines zyklischen Rhythmus auf die kognitive Leistung.

[0037] Gemäß dem grundlegenden Verfahren gemäß der Erfindung kann das Verfahren durch eine breite Auswahl von Vorrichtungen ergänzt werden. Beispiele für die möglichen Ausführungsbeispiele der Vorrichtungen weisen elektronische Hardware wie

auch eine geeignete Apparatur oder computerinterne Apparatur, Software, die im computerlesbaren Material zum Einsatz durch Computer enthalten ist, Software, die in dem Datenspeicher ansässig ist oder ein programmiertes Chip zum Einsatz in Recheneinlagen oder zugehörigen Anlage, oder manche Kombination von beiden, Hardware und Software, auf. Die zugehörige Anlage kann ein Teil einer größeren Vorrichtung sein, die den Zweck der zugehörigen Anlage ergänzen würde.

[0038] Mit der folgenden Beschreibung der Figuren sollte die Erfindung für den Durchschnittsfachmann offensichtlich werden.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0039] [Fig. 1\(a\)](#) ist eine Block-Diagramm-Darstellung der Modulation in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel. [Fig. 1\(b\)](#) zeigt graphisch die Kombination der Ausgabe der Funktionen, die von [Fig. 3\(a\)](#) mit der Tageszeitmodulation dargestellt werden, um die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit zu erhalten.

[0040] [Fig. 2](#) ist eine Block-Diagramm-Darstellung der Wach-, Schlaf-, Verzögerungs- und Schlafträglichkeits-Funktionen, für die Berechnung der vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit.

[0041] [Fig. 3\(a\)](#) zeigt graphisch den Effekt des Wachseins oder des Schlafens auf die kognitive Leistungsfähigkeit über eine 24-Stunden-Periode. [Fig. 3\(b\)](#) ist eine vergrößerte Sicht der Kreis-Sektion [3\(b\)](#) von [Fig. 3\(a\)](#) und zeigt graphisch die Schlafverzögerungsfunktion in Bezug auf die kognitive Leistungsfähigkeit. [Fig. 3\(c\)](#) ist eine vergrößerte Sicht der Kreis-Sektion [3\(c\)](#) der [Fig. 3\(a\)](#) und zeigt graphisch die Schlafträglichkeitsfunktion mit Bezug auf die kognitive Leistungskapazität.

[0042] [Fig. 4\(a\)](#)–(b) bezeichnen ein detailliertes Flußdiagramm, das die Schritte des Verfahrens der Erfindung zeigt.

[0043] [Fig. 5](#) zeigt die funktionelle Darstellung eines alternativen Ausführungsbeispiels.

[0044] [Fig. 6](#) zeigt ein Block-Diagramm von strukturellen Komponenten für das bevorzugte Ausführungsbeispiel.

[0045] [Fig. 7\(a\)](#)–(b) zeigt ein detailliertes Flußdiagramm, das die Schritte einer alternativen Realisierung anzeigt.

[0046] [Fig. 8](#) erläutert die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit bei 8 Stunden Schlaf pro Nacht.

[0047] [Fig. 9](#) zeigt die vorhergesagte kognitive Leis-

tungsfähigkeit bei 4 Stunden Schlaf pro Nacht.

[0048] [Fig. 10](#) zeigt die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit ohne Schlaf während 72 Stunden von totalem Schlafentzug.

[0049] [Fig. 11](#) zeigt die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit mit einem Erholungsschlaf von 8 Stunden nach einer Nacht von totalem Schlafentzug.

[0050] [Fig. 12](#) zeigt die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit mit einem täglichen 30-minütigen "Nickerchen" während 85 Stunden von Schlafentzug.

[0051] [Fig. 13](#) zeigt die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit mit Schlafunterbrechungen mit 10-Mal Wecken pro Stunde.

[0052] [Fig. 14](#) verdeutlicht die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit für zwei Nachtschichten mit Schlafphasen tagsüber.

[0053] [Fig. 15](#) zeigt die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit vor dem Unfall eines kommerziellen Fahrzeuglenkers.

[0054] [Fig. 16](#) zeigt die kognitive Leistungsfähigkeit von 15 Stunden Dienst und 8 Stunden dienstfreier Ablaufplan mit 6 Stunden Schlaf pro Nacht während der Dienstage.

[0055] [Fig. 17](#) zeigt die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit mit einer alternativen 12 Stunden Dienst und 12 Stunden dienstfreie Ablaufplan mit 8 Stunden Schlaf pro Nacht während der Dienstage.

[0056] [Fig. 18\(a\)](#) zeigt eine Aktigraphen-Schaltung. [Fig. 18\(b\)](#) zeigt einen tatsächlichen Aktigraphen, der auf die Aktigraphen-Schaltung aus [Fig. 18\(a\)](#) basiert.

[0057] [Fig. 19\(a\)](#) zeigt eine andere Aktigraphen-Schaltung. [Fig. 19\(b\)](#) zeigt eine Draufsicht eines tatsächlichen Aktigraphen, der auf die Aktigraphen-Schaltung aus [Fig. 19\(a\)](#) basiert. [Fig. 19\(c\)](#) zeigt eine Untersicht eines tatsächlichen Aktigraphen, der auf die Aktigraphen-Schaltung aus [Fig. 19\(a\)](#) basiert.

Möglichkeiten, um die beschriebenen Ausführungsbeispiele umzusetzen

[0058] Diese Erfindung beinhaltet ein Verfahren, um die kognitive Leistung zu einer gegebenen Zeit in der Vergangenheit, Gegenwart oder Zukunft als Folge aus der Schlafmenge, der Wachzeit bis zu diesem Zeitpunkt und weiter als eine Funktion der Tageszeit vorherzusagen. Das Verfahren berechnet eine numerische Schätzung der kognitiven Leistung für ein Individuum als eine kontinuierliche Funktion der Zeit. Die Berechnungen (unten beschrieben) basieren auf em-

pirisch ermittelten, direkten mathematischen Zusammenhängen zwischen (1) der kontinuierlichen Verminderung der kognitiven Leistung während der Wachphasen; (2) Erholung der kognitiven Leistung während des Schlafs; and (3) zyklische Veränderung der kognitiven Leistung während des Verlaufs des Tages.

[0059] In Übereinstimmung mit der Erfindung wird ein numerischer Wert geliefert, der die vorhergesagte kognitive Leistung zu einem gegebenen Zeitpunkt angibt, wie in den [Fig. 1\(a\)–Fig. 4\(b\)](#) gezeigt wird. Wie in den [Fig. 1\(a\)–\(b\)](#) gezeigt, gleicht die vorhergesagte kognitive Leistung dem Ergebnis einer Serie von Rechnungen, die in drei Hauptschritten erhalten werden, durch Verwendung von Funktionen, die man empirisch von Direktmessungen der kognitiven Leistung unter wissenschaftlich kontrollierten Bedingungen abgeleitet hat. Bei dem ersten Schritt wird, wie in Diagramm 2 gezeigt wird, eine Zusammenstellung von Funktionen zum Berechnen eines Anfangswerts hergenommen, der Bezug auf den Level des kognitiven Leistungs-Niveaus nimmt, wie es in den [Fig. 3\(a\)–\(c\)](#) dargestellt wird. Ist das kognitive Leistungsniveau berechnet, berechnet und verwendet der zweite Schritt einen vorher berechneten Tageszeit-Modulator M, der als G8 in [Fig. 1\(b\)](#) und als S8 in [Fig. 4\(b\)](#) dargestellt ist. Der dritte Schritt beinhaltet eine mathematische Kombination der Ergebnisse aus dem ersten und dem zweiten Schritt und liefert vorhergesagte, kognitive Leistung, die als Block-Diagramm in [Fig. 1\(a\)](#) und in Diagramm [Fig. 1\(b\)](#) graphisch darstellt ist.

[0060] Vier Funktionen, die sich auf die Wach-/Schlaf-Vorgeschichte beziehen, werden verwendet, um den Level der kognitiven Leistungsfähigkeit zu berechnen, wie in [Fig. 2–Fig. 4\(b\)](#) gezeigt wird. Die Wach-Funktion $w(t)$ quantifiziert empirisch erhaltene Beziehungen zwischen der Wach-Zeit und Verminderung der kognitiven Leistung. Die Schlaf-Funktion $s(t)$ quantifiziert empirisch erhaltene Beziehungen zwischen der Schlaf-Zeit und der Beibehaltung und/oder der Erholung der kognitiven Leistung. Zusätzlich zu diesen zwei primären Funktionen, die während des Umfangs der Wach- bzw. Schlafzeit operieren, gibt es zwei weitere Funktionen, die kurz zwischen den Übergängen zwischen den beiden Stadien operieren. Sie beinhalten die Verzögerung der Erholungs-Funktion $d(t)$ und die Schlaf-Trägheitsfunktion $i(t)$. Die Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ repräsentiert die Beziehung zwischen den Wach- zu Schlaf-Übergängen und zu der Erholung der kognitiven Leistung. Diese Funktion operiert während der Anfangsperiode des Schlafes, die dem Wachsein folgt, wie in [Fig. 3\(b\)](#) gezeigt. Die Schlafträgheitsfunktion $i(t)$ repräsentiert die Beziehung zwischen dem Schlaf-Wach-Übergang und der kognitiven Leistung. Diese Funktion operiert während der Anfangszeitperiode des Wachseins nach dem Schlafen,

wie in [Fig. 3\(c\)](#) gezeigt.

[0061] Die Funktion, die die Effekte der Tageszeit M 's auf die kognitive Leistung darstellt, wird benutzt, um einen Modulations-Faktor zu berechnen. Die Tageszeitfunktion beschreibt empirisch erhaltene Beziehungen zwischen der Tageszeit (Zeitpunkt während einer 24-Stunden Periode) und der Veränderung der kognitiven Leistung über den Tagesverlauf, wie exemplarisch von $G8$ in [Fig. 1\(b\)](#) dargestellt wird.

[0062] Eine mathematische Operation, die in [Fig. 1\(b\)](#) als Multiplikation gezeigt ist, wird genutzt, um die Ergebnisse des ersten und des zweiten Schritts in einer einzelnen vorhergesagten kognitiven Leistungskurve E im dritten Schritt zu kombinieren.

[0063] Die in das Verfahren eingegebenen Daten $S2$ beinhalten eine Wiedergabe der individuellen Schlaf-/Wach-Vorgeschichte. Die Schlaf-/Wach-Vorgeschichte ist eine Zeitserie oder temporärer Aufzeichnung, die auf der lokalen Uhrzeit basiert. Jede aufeinanderfolgende Periode, Interval oder Epoche ist einem der zwei Stadien zuzuordnen: wach oder schlafend. Eine derartige Schlaf-/Wach-Vorgeschichte ist nicht notwendigerweise „historisch“ in dem Sinne, dass sie in der Vergangenheit stattgefunden hat, kann aber zum Beispiel als hypothetisch, projiziert, idealisiert oder erwartet betrachtet werden. Letztere sind im Besonderen für den Vorhersage-Nutzen dieses Verfahrens angebracht.

[0064] Eine bevorzugte Vorrichtung zum Bestimmen des Schlafes aus dem Wachzustand ist eine, die tragbar, unauffällig und verlässlich ist und deren Aufzeichnungen automatisch ausgewertet werden können. Eine solche Vorrichtung ist ein Aktigraph, der Bewegungs-Aktivitäten überwacht. Es gibt eine Vielfalt von hergestellten Aktigraphen, welche umfasst: den ActiTrac von IM Systems, die Actiwatch von Mini Mitter Co, In., Actiwatch[®] von Cambridge Neurotechnology, und die Sleep Watch[®] von Ambulatory Monitoring, Inc. Die [Fig. 18\(a\)](#) bis (b) zeigen einen Aktigraphen, der produziert wurde vom Walter Reed Army Institute of Research Department of Neurobiology and Behavior. Die [Fig. 19\(a\)](#) bis (c) zeigen einen zweiten Aktigraphen, der auch produziert vom Walter Reed Army Institute of Research Department of Neurobiology and Behavior. Die Sensoren **100** bzw. **120** detektieren die Bewegung des Individuums, das den Aktigraphen trägt. Die Speicher **110** bzw. **130** speichern Daten, welche die Bewegungen repräsentieren, die mittels der Sensoren **100** und **120** detektiert wurden. Der Aktigraph wird typischerweise an dem nicht-bevorzugten Handgelenk eines Individuums getragen, jedoch kann der Aktigraph anderswo auf dem Körper des Individuums platziert oder befestigt werden, zum Beispiel an einem Fußgelenk, dem Kopf, einem Bizeps, dem Rumpf, und möglicherweise einer Verse. Jedoch wurde die Mehrheit der Forschung be-

züglich der Verlässlichkeit und Gültigkeit eines Aktigraphen durchgeführt anhand des Tragens des Aktigraphen an dem nicht-bevorzugtem Handgelenk eines Individuums. Wenn der Aktigraph auf diese Weise getragen wurde, hat sich gezeigt, dass diese Vorrichtungen zutreffende Ergebnisse bezüglich Schlaf- und Wach-Phasen liefern, verglichen mit den PSG-Standarts (die Zuverlässigkeit beträgt 90%).

[0065] Das am weitesten verbreitete Verfahren, um actigraphische Daten auszuwerten, ist ein Algorithmus, der von Cole und Partnern entwickelt wurde und in deren Artikel betitelt „Automatic Sleep/Wake Identification from Wrist Actigraphy“ beschrieben wurde, der in Sleep, Vol. 15, Seiten 461–469 (1992) veröffentlicht ist. Erfolgreiche actigraphische Schlaf-Messungs-Algorithmen, wie der Algorithmus von Cole et al. (auch als Cole-Kripke Algorithmus bekannt) sind für die Benutzung von konventionellen (Zahl der Null-Durchgänge)-Actigraphen, und einige Algorithmen, die die Anzahl von Ereignissen über einem gewissen Schwellenwert berücksichtigen. Diese Algorithmen sind nur geeignet für einfache Wach-Schlaf-Unterscheidungen und sind nicht geeignet, Schlaf-Phasen-Änderungen (z. B. Etappe 1 zu Etappe 2 oder Etappe 3 zu REM), also mithin den Schlafzustand selber zu bestimmen. Als Konsequenz können solche Algorithmen erholsamen Schlaf (Etappe 2, 3, 4 und REM) von nichterholsamem Schlaf (Etappe 1) nicht unterscheiden. Die meisten Hersteller von Aktigraphen stellen Computersoftware zum Analysieren der mittels des Aktigraphen aufgezeichneten Daten bereit, einschließlich von Schlaf-Auswertungs-Algorithmen.

[0066] In letzter Zeit haben sich digital ausgewertete (DSP) Aktigraphen weiterentwickelt. Denn der DSP Aktigraph kann weitaus viel mehr Information liefern, als nur die konventionelle Anzahl der Nulldurchgänge oder Zählungen oberhalb eines Schwellenwerts, (diese und andere Information, die von einem konventionellen Aktigraphen geliefert wird, wird jedoch behalten), und zeigt vielversprechende Möglichkeiten, um Messergebnisse zur Unterscheidung der verschiedenen Schlafetappen zu liefern. Also werden Schlaf-Auswertungssysteme für DSP nicht nur den Cole-Kripke-Algorithmus ersetzen, sondern ihn auch unbedeutend machen. Ein Schlafauswertungssystem für DSP wird entwickelt, wenn die DSP-Datenbank aus empirischen Daten aus der Benutzung von DSP-Aktigraphen wächst.

[0067] Andere Algorithmen und Methodologien für automatisiertes actigraphisches Messen wurden zum Beispiel von Jean-Louis et al., 1996; Sadeh et al., 1989; und Zisapel et al., 1995 entwickelt. Jedes dieser Erfassungssysteme zeigt bedenkenswerte Vorzüge, ganz besonders zur Auswertung von actigraphisch aufgezeichneten Schlaf-/Wach-Zuständen von Individuen mit Schlafstörungen oder anderen

medizinischen Störungen. Verfügbare Auswertungssysteme unterscheiden sich hauptsächlich in technischer Hinsicht, zum Beispiel, bis zu welchem Ausmaß Aktivitätszählungen in vorherigen und in späteren Epochen die Bewertung der aktuellen Epoche beeinflussen und in Unterschieden zwischen den mathematischen Prinzipien, auf denen das jeweilige Auswertungssystem basiert. Wie jeder Fachmann aus dem Lesen dieser Beschreibung verstehen wird, ist jedes der aktigraphischen Auswertungssysteme in der Lage, die Schlaf-/Wach-Zustände für das Verfahren dieser Erfindung zu liefern.

[0068] Die Schlaf-Wach-Vorgeschichte sollte bevorzugt in Form einer Daten-Serie vorliegen. Die Schlaf-Wach-Vorgeschichte kann die Vergangenheit, Gegenwart und/oder des zukünftige (vorhergesagte) Schlaf-/Wach-Zustand-Muster eines Individuums beinhalten. Die Schlaf-/Wachzustands-Vorgeschichte ist eine Darstellung eines Zustands eines Individuums als entweder schlafend oder wach und ist außerdem unterteilt in Epochen. Die Epochen haben dieselbe Länge, aber diese Länge kann einen beliebigen Zeitraum umfassen, wie es die Erfordernisse des Verfahrens und des Apparats erfordert, die zur Datengewinnung und/oder entsprechend der gewünschten Präzision der schlaf-Wach-Schemata eingesetzt werden.

[0069] Es ist klar einzusehen, dass die Genauigkeit der kognitiven Leistungsvorhersage direkt abhängig ist von der Genauigkeit der Eingabe der Schlaf-/Wach-Vorgeschichte und des Schlafauswertungssystems, das zur Interpretation der Schlaf-/Wach-Zustände des Individuums verwendet wird. Eine mögliche Quelle für Ungenauigkeiten könnte aus der zeitlichen Auflösung der Eingabe-Epoche oder Eingabe-Intervalle erwachsen. Das bedeutet, je kürzer die Eingabe-Epoche ist, desto höher ist die zeitliche Auflösung und konsequente Moment-zu-Moment-Aufzeichnungsgenauigkeit der Schlaf-/Wach-Zustände des Individuums ist möglich. Zum Beispiel haben vergangene Erfahrungen mit der Aktigraphy gezeigt, dass die effektivste Länge für eine Epoche etwa eine Minute ist. Eine weitere Quelle von Ungenauigkeiten könnte von der Mehrdeutigkeit der Schlaf-/Wach-Unterscheidung selber erwachsen. In dem Fall, wenn die Vorgeschichte-Eingabe mehrdeutig ist (z. B. wenn der Schlaf- oder Wach-Zustand unsicher ist), kann die Berechnung der vorhergesagten kognitiven Leistung zweimal gleichzeitig erfolgen, einmal für jeden möglichen Zustand (Schlaf oder Wach), was zu einem doppelten Daten-Output führt, was den möglichen Bereich der erwarteten kognitiven Leistung darstellt. Ein Durchschnittsfachmann wird einzuschätzen wissen, dass der doppelte Output weiter unterteilt werden kann, wenn es mehr als eine Mehrdeutigkeit in der Schlaf-/Wachphasen-Vorgeschichte gibt. Derartiges Handeln bei der Ausführung der Funktionen weiter unten ist eine

Komponente dieses Verfahrens und jeder implizierten Vorrichtung.

[0070] Die Methode dieser Erfindung ist nicht beschränkt in Hinsicht auf Zeit oder Technik: ob on-line/real-time oder off-line/post-hoc; oder inkremental, iterativ oder diskrete Lösungen aus diesen Gleichungsformen.

[0071] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel dieses Verfahrens umfasst ein mathematisches Model, das die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E zu einer Zeit t als eine Modulation der gegenwärtigen kognitiven Leistungsfähigkeit C durch eine Tageszeit-Funktion M ausdrückt. Es kann als allgemeine Beschreibung in seiner einfachsten Form geschrieben werden als:

$$E = C \nabla M \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei ∇ einen mathematischen Operator darstellt. Ein beliebiger mathematischer Operator kann verwendet werden, um die kognitive Leistungsfähigkeit C und die Tageszeit-Funktion M kombinieren. Die Form und Art der Tageszeit-Funktion M gibt den exakten Operator vor, der am besten geeignet ist. Am besten wäre es, wenn Gleichung 1a weiter unten benutzt würde, um die kognitive Leistungsfähigkeit C und die Tageszeit Funktion M zu kombinieren.

$$E = C \cdot M \quad \text{Gleichung 1a}$$

[0072] Als Alternative könnte Gleichung 1b unten ebenfalls benutzt werden, um die kognitive Leistungsfähigkeit C und die Tageszeit Funktion M zu kombinieren.

$$E = C + M \quad \text{Gleichung 1b}$$

Die kognitive Leistungsfähigkeit C stellt eine Funktion der Schlaf-/Wach-Vorgeschichte dar:

$$C = w(t) + s(t) + d(t) + i(t) \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei $w(t)$, $s(t)$, $d(t)$ und $i(t)$ die momentanen Werte der Wach-, Schlaf-, Verzögerung- und Schlafträglichkeitsfunktionen zum Zeitpunkt t sind. Die Tageszeitfunktion M stellt eine Funktion der Tageszeit dar, so dass:

$$M = m(t) \quad \text{Gleichung 3}$$

wobei $m(t)$ der momentane Wert der Tageszeitfunktion zum Zeitpunkt t ist.

[0073] Ein Drei-Stufen-Prozess kann entweder nach einem Startsetting der Startzeit t, der kognitiven Startleistungsfähigkeit C und der Zeitpunkt des letzten Durchgangs t_{LS} , wenn übereinstimmend mit S1 von Fig. 4, in dem diese Daten in einer beliebigen Rei-

henfolge verwendet werden können. Im ersten Schritt kann der Level der kognitiven Leistungsfähigkeit C zum Zeitpunkt t auf der Basis der individuellen Schlaf-/Wach-Vorgeschichte errechnet werden unter der Verwendung der Funktionen $w(t)$, $s(t)$, $d(t)$ und $i(t)$ wie durch S3-S7e in [Fig. 4\(a\)](#) und (b) dargestellt wird. Im zweiten Schritt kann der Tageszeit-Modulator M berechnet werden unter Verwendung der Tageszeit-Funktion wie durch S8 in [Fig. 4](#) dargestellt wird. Bezugnehmend auf einen Aspekt der Erfindung kann der zweite Schritt einmal durchgeführt werden, um eine Serie von Datenpunkten in Zeit-sequenzieller Reihenfolge für mehrere Ausführungen des ersten Schrittes vorzusehen. Im dritten Schritt kann vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E erhalten werden aus der Kombination der kognitiven Leistungsfähigkeit C und der Tageszeitmodulation M , was zu einer Modulation der kognitiven Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Tageszeitfunktion M führt, wie erläutert von S9 in [Fig. 4\(b\)](#).

Erster Schritt: Berechnung der kognitiven Leistungsfähigkeit C

[0074] [Fig. 2](#) ist ein schematisches Fluß-Diagramm, das die Verwendung der unten beschriebenen Funktionen darstellt. Beispiele der besprochenen Berechnungen werden in den [Fig. 3\(a\)](#)–(c) erläutert. Die [Fig. 4\(a\)](#) und (b) sind detaillierte Flußdiagramme der Schritte in dem Verfahren. Als ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Modells wurde der kognitiven Leistungsfähigkeit C Werte zugewiesen, die einem Gesamtbereich von 0 bis 100 haben und daher Prozente darstellen. Die Bereiche in dieser Anwendung sollen die Endpunkte des festgestellten numerischen Bereichs umfassen. Wie auch immer kann die kognitive Leistungsfähigkeit C auch nach anderen Werten oder Einheiten skaliert werden, entsprechend der jeweiligen Anwendungen.

[0075] In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel läuft nur eine der vier Funktionen $w(t)$, $s(t)$, $d(t)$ und $i(t)$ zu einem gegebenen Zeit-Intervall ab und die anderen sind in Gleichung 2 gleichwertig zu 0, wie von S7a bis S7d dargestellt. Die Funktionen $w(t)$ und $s(t)$ beschreiben die Nicht-Durchgangsstadien, während die Funktionen $d(t)$ und $i(t)$ die Durchgangsstadien beschreiben. Zum Beispiel ist in einem Nicht-Durchgangsstadium, wenn das Individuum wach ist, die Funktion $s(t)$ auf 0 gesetzt, und wenn das Individuum schläft, wird die Funktion $w(t)$ gleich Null gesetzt. Genauso ist während der entsprechenden Intervalle des Übergangs von Wachsein zu Schlaf und umgekehrt nur eine der Übergangsfunktionen $d(t)$ oder $i(t)$ aktiv, die andere wird zu Null gesetzt. Wenn es eine Änderung zwischen Wachsein und Schlafzustand gibt, oder umgekehrt, wird ein Zeit-Zähler t_{LS} zurückgesetzt, um die Zeiten in dem aktuellen Stadium festhalten zu können und Entscheidungsregeln für die Übergangsfunktionen $d(t)$ und $i(t)$ festzulegen, wie in

[Fig. 4\(b\)](#) gezeigt.

(1) Wach-Funktion $w(t)$

[0076] Die Wachfunktion S7a stellt die Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit mit dem Verstreichen der Wachzeit dar. Sie basiert auf dem Beweis, dass (1) nahezu 100% kognitiver Leistung von Tag zu Tag zur Verfügung steht, vorausgesetzt die Individuen können 8 Stunden pro Nacht schlafen; und (2) die kognitive Leistung verringert sich ungefähr um 25% für alle 24 Stunden Wachzeit.

[0077] In S7a berechnet die Wachfunktion $w(t)$ den aktuellen Wert der kognitiven Leistungsfähigkeit C als Ergebnis der Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit, die über ein Zeitintervall von $t-1$ bis t auftritt, was in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel die Länge einer Epoche darstellt. Wie oben erwähnt, wird die Berechnung unabhängig von und vor der Modulation der kognitiven Leistungsfähigkeit C von der Tageszeit Funktion M in S9 durchgeführt. Eine allgemeine Form der Wachfunktion ist gegeben durch die Gleichung

$$C_w = w(t) \quad \text{Gleichung 4}$$

wo die Wachfunktion $w(t)$ jede positive Funktion sein kann, die mit t abnimmt. Noch besser, ist die Wachfunktion $w(t)$ eine lineare Funktion, die die Leistung mit einer konstanten Steigung abbaut, und am besten wird die Wachzeitfunktion $w(t)$ mit der Zeit t wie folgt ausgedrückt:

$$w(t) = C_{t-1} - k_w \quad \text{Gleichung 4a}$$

wobei das Intervall der Wachheit von $t - 1$ bis t (in Epochen) und der Abbau der Leistung pro Minute k_w ist. Wenn daher $t - 1$ bis t keine Minute ist, wird k_w entsprechend angeglichen. Der totale Bereich von k_w ist eine positive, reelle Zahl und vorzugsweise ist k_w in einem Bereich von .003 bis .03% pro Minute, und am allerbesten entspricht k_w ungefähr 1% pro Stunde oder 0,017 pro Minute. Der Wert k_w basiert auf empirischen Daten, die zeigen, dass die kognitive Leistung ungefähr um 25% pro 24 Stunden an kontinuierlicher Schlaflosigkeit abnimmt. Gleichung 4a ist in [Fig. 2](#) und [Fig. 4\(b\)](#) durch S7a dargestellt. Ein Beispiel ist anhand der Wachfunktion in [Fig. 3\(a\)](#) erläutert, bei einer kognitiven Anfangsleistungsfähigkeit von 100%, einer Abbaurrate von 0,017 pro Minute, über ein Intervall von 16 Stunden (960 Minuten).

(2) Schlaf Funktion ($s(t)$)

[0078] Die Schlaffunktion S7c stellt die kognitive Leistungsfähigkeit mit dem Verlauf der Schlafzeit wieder her. Die Schlaffunktion $s(t)$ basiert auf empirischen Nachweisen, dass der Erholungswert von Schlaf für die kognitive Leistungsfähigkeit über die

Zeit nicht linear ansteigt. Das bedeutet, dass die Rate der Erholung der kognitiven Leistungsfähigkeit am Schlafbeginn höher ist und mit der vergehenden Schlafzeit wieder abfällt. Andere Daten zeigen, dass Schlaf ab einem bestimmten Punkt nur noch wenig oder gar keinen zusätzlichen Vorteil in Bezug auf die kognitive Leistungsfähigkeit bringt und die Rate der Erholung Null erreicht. Also sind zum Beispiel zwei Stunden Schlaf nicht doppelt so erholsam, wie eine Stunde Schlaf. Die Schlaffunktion erhöht die kognitive Leistungsfähigkeit mit einer Rate, die von dem aktuellen Level der kognitiven Leistungsfähigkeit abhängt- je niedriger die anfängliche kognitive Leistungsfähigkeit ist, desto schneller erfolgt die Erholung. Zum Beispiel erfolgt nach einem vollen Tag (16 Stunden) Wachsein während des folgenden Nachtschlafs die meiste Erholung bereits früh in der Nacht. Um so weiter sich die kognitive Leistungsfähigkeit während der Schlafphase erhöht, um so geringer wird die Erholungsrate. Nach einem Schlafentzug ist die kognitive Leistungsfähigkeit noch niedriger als nach einem normalen 16-Stunden-Tag, und die Rate der Erholung ist am Beginn des Erholungsschlafes noch höher. Während chronischem Teilschlafentzug kann die kognitive Leistungsfähigkeit nicht ganz wiederhergestellt werden, trotz dieser hohen Anfangserholungsrate.

[0079] Die Schlaffunktion errechnet den aktuellen Wert der kognitiven Leistungsfähigkeit C als Ergebnis des Erholungspotentials, das zur Verfügung steht, während ein Individuum während eines Zeitintervalls T (von $t - 1$ bis t) schläft. Wie oben erwähnt ist diese Rechnung unabhängig von und vor der Modulation von C durch die Tageszeitfunktion M zu errechnen. Eine allgemeine Form der Schlaffunktion ist gegeben durch die Gleichung:

$$C_s = s(t) \quad \text{Gleichung 5}$$

wobei die Schlaffunktion $s(t)$ eine beliebige, positive Funktion sein kann, deren Wert mit t zunimmt, und idealerweise ist die Schlaffunktion $s(t)$ eine Exponentialfunktion. Das folgt aus empirischen Daten, die zeigen, dass die Erholung der kognitiven Leistungsfähigkeit während des Schlafes nicht linear stattfindet, wobei die Erholungsrate am Anfang am höchsten ist und schrittweise während der Schlafzeit abnimmt.

[0080] Also ist die bestgeeignete Schlaffunktion eine Exponentialfunktion, welche in ihrer diskreten Form so aussehen kann:

$$C_t = C_{t-1} + (100 - C_{t-1})/k_s \quad \text{Gleichung 5a}$$

wobei das Schlafintervall von $t-1$ bis t (in Minuten), der Wert der maximalen kognitiven Leistungsfähigkeit **100** ist, C_{t-1} die kognitive Leistungsfähigkeit in der Periode vor der Verfahrenszeit t ist und k_s die Erholungs-"Zeitkonstante" ist. In anderen Worten, ist k_s

die Zeit, die benötigt wird, um die kognitive Leistungsfähigkeit C vollkommen wiederherzustellen, wenn sich diese mit einer konstanten Rate gleich der Anfangssteigung der Erholungskurve wiederaufbauen würde. Die Erholungszeitkonstante k_s wurde erhalten durch empirische Teilschlafentzugsdaten und ist entsprechend der Länge einer Epoche auszuwählen. In Übereinstimmung mit dem bevorzugten Ausführungsbeispiel ist k_s gleich einer positiven realen Zahl. Zum Beispiel kann k_s im Bereich von 100 bis 1000 liegen und kann insbesondere ungefähr 300 betragen mit einer Epochenlänge von einer Minute. Dennoch, hängen die optimalen Werte für k_s zumindest teilweise von der Epochenlänge ab. Gleichung 5a ist in den [Fig. 2](#) und [Fig. 4\(b\)](#) als S7c dargestellt. Ein graphisches Beispiel ist an der Schlaffunktion in [Fig. 3\(a\)](#) erläutert, unter der Verwendung einer anfänglichen kognitiven Leistungsfähigkeit von 100 und einer Zeitperiode von einer Minute und $k_s = 300$, wobei dem Effekt von acht Stunden Schlaf **16** Stunden Wachsein folgen.

(3) Verzögerungsfunktion $d(t)$ für Wach- nach Schlaf-Übergänge

[0081] Die Verzögerungsfunktion der Erholungsfunktion $d(t)$ definiert die Dauer eines Intervalls nach dem Schlafbeginn, während der die Erholung der kognitiven Leistungsfähigkeit von der Schlaffunktion verzögert ist. Während dieses Intervalls setzt sich die Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit der Wachfunktion fort, wie von S7d in [Fig. 4\(b\)](#) dargestellt wird. Indem man einen sofortigen Zuwachs der kognitiven Leistungsfähigkeit zu Beginn der Schlafperiode oder der Aufwachperiode verhindert, korrigiert diese Verzögerung die Berechnung der kognitiven Leistungsfähigkeit in S6b.

[0082] Die Verzögerung der Erholungsfunktion basiert auf empirischen Studien, die zeigen, dass die ersten wenigen Minuten des Schlafes generell aus 1. Schlafetappe bestehen, die nicht zur Erholung der kognitiven Leistungsfähigkeit beiträgt. Regelmäßige Annäherungen zum Wachzustand oder 1. Schlafetappe (Schlaf-Fragmentierung) reduzieren den Erholungswert von Schlaf für die kognitive Leistungsfähigkeit drastisch. Verfügbare Daten lassen vermuten, dass ungefähr fünf Minuten vergehen, um von einer solchen Annäherung an den Wachzustand oder 1. Schlafetappe wieder in erholsamen Schlaf (2. Etappe oder tiefer) zurückzukommen. Wenn man viele Stunden ohne Unterbrechungen geschlafen hat, machen diese Verzögerungen nur einen kleinen Unterschied in der Erholung der kognitiven Leistungsfähigkeit insgesamt aus. Wenn der Schlaf durch regelmäßige Aufwachphasen unterbrochen wird, summieren sich die Verzögerungen der Erholung nach jedem Aufwachvorgang und das reduziert gravierend die wiederherstellbare kognitive Leistungsfähigkeit während der gesamten Schlafperiode.

[0083] Die Verzögerungsfunktion spezifiziert die Dauer eines Intervalls, während welchem sich die Anwendung der Schlaffunktion verschiebt und eine Übergangsformel benutzt wird. Eine allgemeine Form der Verzögerungsfunktion für Wach-Schlaf-Übergänge wird dargestellt von der Entscheidungsroutine:

$$\begin{aligned} d(t): & \text{ IF } (t - t_{LS}) \leq k_d \\ & \text{ THEN } C_t = d(t) \\ & \text{ ELSE } C_t = s(t) \end{aligned} \quad \text{Gleichung 6}$$

wobei LS für die letzte Änderung steht und also die Wach- zu Schlaf-Übergangszeit t_{LS} die Zeit des letzten Wachintervalls kennzeichnet, die einer zusammenhängenden Serie von Schlafintervallen vorhergeht. Diese Entscheidungsregel ist gezeigt in den [Fig. 2](#) und [Fig. 4\(b\)](#) als S6b, S7c und S7d zusammengefasst. Um die kognitive Leistungsfähigkeit während des Intervalls k_d zu berechnen, wird die kognitive Leistungsfähigkeit C_t von einer Übergangsformel $C_t = d(t)$ ausgewertet. Nachdem k_d verstrichen ist, ist $C_t = s(t)$. Bedenke, dass, wenn Wachsein vor dem Ablauf von k_d auftritt, sich C_t niemals zu $s(t)$ ändert. Das heißt, dass die Schlaffunktion während des kurzen Schlafintervalls nicht angewendet wird.

[0084] Es wird angenommen, dass ein bevorzugter Bereich von k_d von 0 bis 30 Minuten reicht, noch besser wäre, wenn k_d gleich fünf Minuten wäre, gemessen von der Einschlafzeit bevor Erholung durch den Schlaf einsetzt. Vorzugsweise ist $d(t)$ gleich $w(t)$. Ein Fachmann wird erkennen, dass es eine Menge Faktoren gibt, die die Länge von k_d beeinflussen. Also kann eine noch mehr bevorzugte Verzögerungsfunktion folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} d(t): & \text{ IF } (t - t_{LS}) \leq 5 \\ & \text{ THEN } C_t = w(t) \\ & \text{ ELSE } C_t = w(t) \end{aligned} \quad \text{Gleichung 6a}$$

[0085] Die Effekte der verzögerten kognitiven Leistungsfähigkeit, wie von Gleichung 6a verkörpert, sind graphisch im Detail in [Fig. 3\(b\)](#) erläutert.

(4) Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ für Schlaf-Wach-Übergänge

[0086] Die Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ definiert die Dauer eines Intervalls nach dem Aufwachen aus dem Schlaf, während der sich die kognitive Leistungsfähigkeit als unter dem eigentlich aktuellen Level erweist. Die Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ basiert auf empirischen Daten, die zeigen, dass die kognitive Leistungsfähigkeit direkt nach dem Aufwachen beeinträchtigt ist, sich aber als eine Funktion der Wachzeit verbessert. Positron-Emission-Tomographie-Studien zeigen deaktivierte, heteromodale Associationscortices (die Regionen, die kognitive Leistung vermitteln) direkt nach dem Aufwachen, gefolgt von einer

Reaktivierung dieser Regionen in den folgenden Minuten des Wachseins. Das heißt, dass die aktuelle kognitive Leistungsfähigkeit durch den Schlaf aufgebaut ist, nicht verfügbar direkt nach dem Aufwachen ist. Die Daten lassen erkennen, dass es ungefähr 20 Minuten dauert, bis die kognitive Leistungsfähigkeit den Stand erreicht, der der Erholung durch den Schlaf entspricht.

[0087] Ein Schlafträglichkeits-Verzögerungsfaktor k_i definiert die Länge des Intervalls nach dem Aufwachen, während welchem sich die kognitive Leistungsfähigkeit übergangsweise unter der eigentlich durch den Schlaf wiederhergestellten kognitiven Leistungsfähigkeit befindet. Während dieses Zeitraumes stellte eine Übergangsfunktion die Brücke zwischen dem Anfangslevel bis zu dem, der durch die Wachfunktion alleine dargestellt wird. Eine allgemeine Form dieser Schlafträglichkeitsfunktion für Schlaf-Wach-Übergänge wird als eine Entscheidungsregel ausgedrückt:

$$\begin{aligned} i(t): & \text{ IF } (t - t_{LS}) < k_i \\ & \text{ THEN } C_t = i(t) \\ & \text{ ELSE } C_t = w(t) \end{aligned} \quad \text{Gleichung 7}$$

wobei die Schlaf-Wach-Übergangszeit t_{LS} die Zeit des letzten Schlafintervalls bezeichnet, das einer anschließenden Serie von Wachintervallen vorausgeht. Um die kognitive Leistungsfähigkeit während des Intervalls k_i zu errechnen, wird C_t durch eine Übergangsformel $C_t = i(t)$ ausgewertet. Nach dem Ablauf von k_i ist $C_t = w(t)$. Gleichung 7 wird in den [Fig. 2](#) und [Fig. 4\(b\)](#) als S6a, S7a und S7b zusammengefasst dargestellt.

[0088] Der bevorzugte Bereich von k_i reicht von 0 bis 60 Minuten und liegt noch besser zwischen 10 bis 25 Minuten, idealerweise zwischen 18 und 22 Minuten.

[0089] Die Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ kann jede Funktion über das Intervall 0 bis k_i sein, vorzugsweise eine negativ beschleunigte Funktion. Eine bevorzugte Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ ist eine einfache, quadratische Gleichung. Diese Funktion sollte vorzugsweise die kognitive Leistungsfähigkeit direkt nach dem Aufwachen um 10% bis 25% senken und am besten bei 25% liegen. Die Funktion sollte 75% der unterdrückten kognitiven Leistungsfähigkeit innerhalb der ersten 10 Minuten nach dem Aufwachen und 100% der unterdrückten kognitiven Leistungsfähigkeit üblicherweise 20 Minuten nach dem Aufwachen wiederherstellen, wonach sich die Wachfunktion fortsetzt. Diese Werte basieren auf empirischen Daten, die den Übergang vom Schlaf- zum Wachzustand betreffen. Diese Studien zeigen, dass die kognitive Leistungsfähigkeit unmittelbar nach dem Aufwachen beeinträchtigt ist, der Umfang der Beeinträchtigung reduziert sich während der ersten paar Minuten nach dem Aufwachen und dass ungefähr 20

Minuten nötig sind, um die Leistung wieder voll herzustellen. Wenn man die vorzuziehenden 25% Verminderung der kognitiven Leistungsfähigkeit verwendet und etwa 20 Minuten Wiederherstellungszeit, kann die vorzuziehende Form der Schlaf-Trägheitsfunktion als Entscheidungsregel ausgedrückt werden:

$i(t)$: IF $(t - t_{LS}) < 20$
 THEN $C_t = C_{SW} \cdot (0.75 + 0.025(t - t_{LS}) - (0.025(t - t_{LS}))^2)$
 ELSE $C_t = w(t)$ Gleichung 7a

wobei C_{SW} die kognitive Leistungsfähigkeit am Ende der Schlaf-Periode ist, die errechnet von der Schlaffunktion während der Schlaf-/Wach-Übergangszeit t_{LS} ist. Diese Entscheidungsregel wird in [Fig. 2](#) und 4 als S6a, S7a und S7b zusammengenommen gezeigt. Gleichung 7a erläutert die Anfangs-Reduzierung von 25% und k_i gleich 20 Minuten, und eine negativ beschleunigte Steigung, die das Intervall überbrückt, bis die Wachfunktion $w(t)$ wirksam wird. Die Auswirkungen der Schlafträgheitsfunktion $i(t)$ auf die kognitive Leistungsfähigkeit, die von Gleichung 7a verkörpert ist, ist in [Fig. 3\(c\)](#) graphisch dargestellt.

[0090] Eine alternative Variante der Schlafträgheitsfunktion $i(t)$ ist eine lineare Gleichung, die auf k_i gleich 10 Minuten basiert und einer Anfangs-Verminderung von 10% in der kognitiven Leistungsfähigkeit. Die entsprechende Entscheidungsregel ist dann:

$i(t)$: IF $(t - t_{LS}) < 10$
 THEN $C_t = C_{SW} \cdot [0.9 + (t - t_{LS})/100]$
 ELSE $C_t = w(t)$ Gleichung 7b

[0091] Wie ein Fachmann erkennen wird, können beide Gleichungen 7a und 7b angepasst werden für eine Änderung des Werts von k_i und die Anfangsreduktion der kognitiven Leistungsfähigkeit.

Zweiter Schritt Berechnung der Tageszeitanpassung
 M

(1) Tageszeitfunktion $m(t)$

[0092] Die Tageszeitfunktion $m(t)$, gezeigt in S8 in [Fig. 4\(b\)](#), beschreibt die zyklische Veränderung der kognitiven Leistungsfähigkeit innerhalb von 24 Stunden. Die Tageszeitfunktion $m(t)$ basiert auf empirischen Daten, die zeigen, dass unter einer konstanten Routine und/oder totalen Schlafentzugsbedingungen (zum Beispiel mit einer überwachten Schlaf-/Wachzustands-Vorgeschichte), die kognitive Leistungsfähigkeit zwischen 5% und ungefähr 20% von Höhepunkt zu Höhepunkt über eine 24-Stunden-Periode schwankt. Dieser Effekt wird üblicherweise den wiederkehrenden Rythmen des Individuums zugeordnet. Die Ausgabe dieser Funktion moduliert entsprechend der Tageszeit die aktuelle kognitive Leistungsfähigkeitsvorhersage C (wie in dem

ersten Schritt berechnet). Das Ergebnis dieser Anpassung ist die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E . Eine allgemeine Form der Tageszeitfunktion wird angegeben durch:

$M = m(t)$ Gleichung 8

wobei $m(t)$ jede rhythmische Funktion mit einer Basisperiode von 24 Stunden sein kann, und, vorzugsweise, $m(t)$ die Summe von zwei Sinusfunktionen ist, eine mit einer Periode von 24 Stunden und die zweite mit einer Periode von 12 Stunden, was eine zweiphasen, circadian Komponente erzeugt. Diese Funktion kann auf empirische Daten gestützt werden, die zeigen, dass ein beträchtliches Verhältnis von Variationen, beobachtet in Messungen der kognitiven Leistungsfähigkeit, durch solche zwei-sinus-Wellengleichungen beschrieben werden können. Wie schon zuvor angemerkt, treten der Höhepunkt in empirisch beobachteter kognitiver Leistungsfähigkeit üblicherweise zwischen 20 und 22 Uhr Abends, und das Minimum zwischen 2:00 und 6:00 Uhr Morgens auf, mit einer Variation von ungefähr 5% bis ungefähr 20% für jeden Tag. Ein weiteres Minimum tritt üblicherweise um 3 Uhr Nachmittags auf. Verwendet man diese Werte für die bevorzugte Form der Funktion $m(t)$, liefert die daraus hervorgehende Funktion Entsprechungen für die empirisch bewiesene Asymmetrie des täglichen Rythmus der kognitiven Leistungsfähigkeit, mit einem Rückgang am frühen Nachmittag.

[0093] Die beschreibende Form dieser Funktion $m(t)$, eingeschlossen ihrer Verschiebung und Amplitudenwerte variieren mit dem Operator, den man für den dritten Schritt auswählt. Der errechnete Wert der Funktion kann entweder als Prozentsatz der kognitiven Leistungsfähigkeit (abhängig oder unabhängig von dem aktuellen Wert der kognitiven Leistungsfähigkeit C_t) oder als multiplikativer, einheitenloser Skalar ausgedrückt werden. Die bevorzugte Form dieser Funktion, unter Verwendung des multiplikativen Operators, wird ausgedrückt als:

$m(t) = F + (A_1 \cdot \cos(2\pi(t - V_1)/P_1) + A_2 \cdot \cos(2\pi(t - V_2)/P_2))$ Gleichung 8a

wobei F eine Verschiebung ist, t die Tageszeit, P_1 und P_2 Perioden von zwei Sinusfunktionen sind, V_1 und V_2 sind die Höhepunkte des Tages in Zeit- oder Epochen-Einheiten nach Mitternacht, und A_1 und A_2 sind Amplituden ihrer zugehörigen Cosinus-Kurven. Diese Funktion kann verwendet werden, um die vorher errechnete kognitive Leistungsfähigkeit C zu modulieren, das Ergebnis ist die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E . Die Gleichung 8a wird als S8 in [Fig. 1\(a\)](#) und [Fig. 4\(b\)](#) gezeigt und graphisch als G8 in [Fig. 1\(b\)](#) erläutert. Wie in [Fig. 4\(b\)](#) gezeigt, ist t eine Eingabe in die Tageszeitfunktion $m(t)$ für jede Daten-Epoche.

[0094] Als Beispiel könnten in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel die Variablen wie folgt gesetzt werden: t ist die Anzahl der Minuten nach Mitternacht, $P1$ ist gleich 1440 Minuten, $P2$ ist gleich 720 Minuten, $V1$ ist gleich 1225 und $V2$ ist gleich 560. Weiterhin, wenn $A1$ und $A2$ Skalare sind, sind ihre Amplituden in einem Bereich von 0 bis 1, bevorzugt in einem Bereich von 0,01 bis 0,2 und am bevorzugtesten ist $A1$ gleich 0,082 und $A2$ gleich 0,036. Weiterhin ist F in diesem Beispiel entweder gleich 0 oder 1 und bevorzugt ist F gleich 1. Der Ergebniswert der Tageszeitfunktion $m(t)$ in diesem Beispiel ist der Bereich von 0 bis 2, und bevorzugt in dem Bereich von 0,8 bis 1,2, und am besten in dem Bereich von 0,92 bis 1,12.

Dritter Schritt: Berechnung der vorhergesagten kognitiven Leistungsfähigkeit

[0095] Der gesamte Prozess der Errechnung der vorhergesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E wird schematisch in den [Fig. 1\(a\)](#)–(b) und [Fig. 4\(a\)](#)–(b) erläutert. Die Tageszeit-Funktion M moduliert die kognitive Leistungsfähigkeit C , die man von der Schlaf-Wach-Vorgeschichte des Individuums erhält, um die endgültige, vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E wie in den [Fig. 1\(a\)](#)–(b) gezeigt, zu erhalten. Im dritten Schritt wird die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E aus der Kombination der kognitiven Leistungsfähigkeit C und der Tageszeitfunktion M erhalten. In seiner allgemeiner Form:

$$E = C \nabla M \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei ∇ eine mathematische Operation ist, um die kognitive Leistungsfähigkeit C mit der Tageszeitfunktion M zu verknüpfen. Die übliche Wahl von Operationen um diese Kombination zu erreichen, ist Addition oder Multiplikation. Abhängig von der Form der Tageszeitfunktion $m(t)$, weiter oben ausgewählt, kann derselbe numerische Wert der vorhergesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E von beiden Operationen erreicht werden. Am besten wird die Kombination jedoch durch die Multiplikation $S9$ durchgeführt, dargestellt als

$$E = C \cdot M \quad \text{Gleichung 1a}$$

[0096] In Gleichung 1a ist die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E die Modulation der aktuellen kognitiven Leistungsfähigkeit C und einem Wert, im Bereich um 1 zentriert, der den aktuellen Wert der Tageszeitfunktion-Modulation M darstellt.

[0097] Wie weiter oben angemerkt, ist die bevorzugte, numerische Darstellung der kognitiven Leistungsfähigkeit C ein Wert von 0 bis 100, um die zur Verfügung stehenden kognitive Leistungsfähigkeit C in Prozent zu beschreiben. Jedoch kann die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E bedeutungsvoll

100% unter bestimmten Umständen überschreiten, wegen der Tageszeitfunktion über den aktuellen Wert der kognitiven Leistungsfähigkeit C ansteigen. Ein mögliches Beispiel solcher Umstände würde eine Schlaf-Periode sein, die zu 100% kognitive Leistungsfähigkeit C führt und zum abendlichen Höhepunkt terminiert (nachdem die Schlafrägheit abgebaut ist). Um die 100% Skala beizubehalten, muss entweder die vorhergesagte, kognitive Leistungsfähigkeit E bei 100% beschnitten/gestutzt werden, oder 0 bis 120% werden auf 0 bis 100% skaliert. Jede Wahl wird ein Maximum von 100% erhalten. Die am wahrscheinlichst angewandte Lösung wäre als Skalierung von 120% zu 100% implementiert sein, und dann das Abschneiden/Begrenzen der vorhergesagten kognitive Leistungsfähigkeit E bei 100%.

[0098] Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, wiederholt sich das Verfahren für jede neue Datenepoche. Für jeden Iterationsschritt des Verfahrens kann eine Zeiteinheit gleich der Länge einer Epoche zur Zeit t angehängt werden, vorzugsweise in der Form eines Zälers $S11$ wie in [Fig. 1](#) exemplarisch darstellt wird.

[0099] In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird, wie oben beschrieben, wird die Schlafrägheitsfunktion $i(t)$ auf die kognitive Leistungsfähigkeit C angewendet, bevor die kognitive Leistungsfähigkeit C von Tagesmodulationsfunktion M angepasst wird. Ein alternatives Ausführungsbeispiel wendet die Schlafrägheitsfunktion $i(t)$ nicht auf die kognitive Leistungsfähigkeit C an, sondern auf die vorhergesagte, kognitive Leistungsfähigkeit E an, das heißt, später als bei der Modulation der kognitive Leistungsfähigkeit C durch die Tageszeitfunktion M . Der Stand des empirischen Wissens ist nicht ausreichend, um zu entscheiden, ob das bevorzugte Ausführungsbeispiel oder das alternative bevorzugte Ausführungsbeispiel besser ist.

[0100] Auch in dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wird die Wachfunktion $w(t)$ auf Null gesetzt, wenn die Schlafrägheitsfunktion $i(t)$ angewendet wird. Ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel wendet die Schlafrägheitsfunktion $i(t)$ und die Wach-Funktion $w(t)$ gleichzeitig an. Wenn die Schlafrägheitsfunktion $i(t)$ und die Wachfunktion $w(t)$ gleich werden oder die Schlafrägheitsfunktion $i(t)$ größer als die Wachfunktion $w(t)$ wird, dann wird die kognitive Leistungsfähigkeit C unter Verwendung der Wachfunktion $w(t)$ errechnet.

[0101] Das bevorzugte Ausführungsbeispiel kann weiter modifiziert werden, um den Effekten von Narcotika oder anderen Einflüssen gerecht zu werden, die möglicherweise die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflussen können, wie in [Fig. 5](#) gezeigt. Weitere Änderungen an dem bevorzugten Ausführungsbeispiel erlauben die Betrachtung des Jet-Lags und ähnlicher Zeitverschiebungseignisse, zum Beispiel

durch verkürzen oder erweitern der 24 Stunden Periode der Tagesfunktion $M(t)$ über eine Anzahl von Tagen, um die Tageszeitfunktion $M(t)$ mit dem angepassten Plan anzugleichen.

Anwendung des Verfahrens

[0102] Das bevorzugte Ausführungsbeispiel kann als Software realisiert werden, um in Echtzeit den Status der kognitiven Leistungsfähigkeit eines Individuums ermitteln zu können und bei Bedarf auch die Entwicklung der kognitiven Leistungsfähigkeit in der Zukunft extrapolieren zu können. Ein Flußdiagramm stellt die Schritte dar, die von der Software für das bevorzugte Ausführungsbeispiel durchgeführt werden müssen, dargestellt in den [Fig. 4\(a\)](#)–(b) und für alternative Ausführungsbeispiele, die später in den [Fig. 7\(a\)](#)–(b) beschrieben werden.

[0103] Die Software kann als Computer-Programm oder anderes elektronisches Kontroll- oder Betriebssystem integriert werden. Vorzugsweise kann die Software in einem Aktigraphen, der an einem Individuum befestigt ist, angesiedelt sein, falls der Aktigraph auch Schlaf-Auswerte-Fähigkeiten hat, oder in einer Stand-Alone-Vorrichtung angesiedelt sein. Alternativ kann die Software in einer Stand-Alone-Vorrichtung angesiedelt sein, die in Intervallen oder kontinuierlich mit dem Aktigraphen kommuniziert. Die Stand-Alone-Vorrichtung kann zum Beispiel seinein Personal Computer, eine PAL-Vorrichtung, eine persönlicher, digitaler Assistent (PDA), ein E-Book oder ein anderes handhabbares oder tragbares Computer-Gerät (darin eingeschlossen Palm OS, Widows CE, EPOC oder zukünftige Generationen, wie codenamed Produkte Razor von 3Com oder Bluetooth von einem Konsortium mit IBM und Intel), oder eine spezielle Vorrichtung für spezielle Verwendungszwecke, die Signale von einer Vorrichtung erhält, z. B. einem Aktigraphen, das an einem Individuum befestigt ist. Die Software kann gespeichert werden, z. B. in einem wahllosem Zugriff-Speicher (RAM) oder read only Memory (ROM); auf einer Speichervorrichtung, wie eine Festplatte, Diskette, Compact-Disc, Lochkarte, Magnetband oder andere Computerlesbaren Materialien; im virtuellen Speicher eines Netzwerkes, wie zum Beispiel einem Intranet oder dem Internet, einem Computer oder andererseits einer optischen Speichervorrichtung, auf einem magnetischen Speichergerät, und/oder auf einem EPROM. Alternativ kann es die Software erlauben, die Variablen in den weiter oben besprochenen Gleichungen anzupassen und/oder zu verändern. Diese Fähigkeit wird es den Benutzern erlauben, die Variablen auf der Basis von empirischem Wissen anzupassen und außerdem etwas über die Zusammenhänge der Variablen zu lernen.

[0104] Wenn die Software auf dem Aktigraphen angesiedelt ist, wird die Software sämtliche dezimale

Zahlen in ganze Zahlen umwandeln, die entsprechend skaliert sind, wie es einem Fachmann bekannt ist. Weiterhin würden die Ganzzahlen dann angenähert, so dass nur ein minimaler Fehler erzeugt wird, zum Beispiel werden die Gewichtungsfaktoren für die Näherung des Cole-Kripke-Algorithmus 256, 128, 128, 512, 128 und 128 sein. Verwendet man lineare Näherungsverfahren, vereinfacht sich die binäre Arithmetik und der entsprechende Assembler-Code für die Software-Implementierung.

[0105] Vorzugsweise würde der Tageszeit-Modulator als eine Tabelle realisiert in Schritten von einer Stunde, was zu 24 Reihen führt, unter Verwendung von 8-Bit Ganzzahlen ohne Vorzeichen. Die dazwischen liegenden Schritte würden von den Schritten von einer Stunde interpoliert werden, um Schritte von 15 Minuten zur Verfügung zu haben. Die Vereinfachung liefert eine ausreichende Auflösung für die zur Verfügung stehenden Displays. Sowie die Auflösung der Displays sich verbessert, können kleinere zeitliche Schritte verwendet werden für die Tabelle und/oder die Interpolation, um den Tageszeit-Modulator aufzubauen. Es kann ein Zeiger-System verwendet werden, um die geeigneten Daten abzurufen, um den Tageszeit-Modulator zu berechnen. Abhängig von unzähligen Faktoren, wird ein Fachmann wahrscheinlich eine multiplikative Modulation wählen, um eine passende Skalierung, oder eine additive Modulation für weniger komplexe, dafür aber schnellere Auswertung zu erzielen, z. B. wenn Geschwindigkeit eine große Wichtigkeit hat. Der Hauptnachteil der additiven Modulation ist, dass ungefähr ein 3% Fehler zu erwarten ist, verglichen mit der multiplikativen Modulation von nur 1% in dieser Erfindung. Dieses System wird es erlauben, die Tageszeitfunktion hochzuladen, wenn der Aktigraph eingeschaltet wird, und den wiederholenden Berechnungsaufwand reduzieren, der existieren würde, wenn eine Cosinus-Tabelle eingesetzt wäre und die Tageszeitfunktion für jede Epoche aus der Tabelle berechnet worden wäre.

[0106] Das bevorzugte Ausführungsbeispiel, wie in [Fig. 6](#) gezeigt, kann auch realisiert werden durch eine Stand-Alone-Vorrichtung oder eine Add-on-Komponente zu einem Aktigraphen **10**. Ein geeignete Stand-Alone-Vorrichtung enthält einen Eingabe-Baustein (Eingabe-Mittel **20**), um physikalisch angeschlossen zu sein an eine Eingabe-Vorrichtung, zum Beispiel eine Tastatur oder eine Daten-Eingabe-Vorrichtung, oder einen Aktigraphen durch entweder eine separate Interface-Vorrichtung oder einem Kabel/Draht. Alternativ kann dieser physikalische Eingabe-Anschluss ersetzt werden durch drahtlose Kommunikationssysteme, inklusive Telemetrie, Radio-Wellen, Infrarot, PCS, digital, zellular oder licht-basierte Systeme, oder ähnliche Systeme. Das drahtlose Kommunikationssystem hätte einen Vorteil, dass der Bedarf an physikalischer Verbindung wie Kabel, Leitungen, Stecker, etc unnötig ist,

was besonders komfortabel ist, wenn man ein mobiles Subjekt überwacht. In Übereinstimmung mit einem Aspekt der Erfindung, kann der Aktigraph über ein kabelloses Kommunikationssystem mit einer externen Vorrichtung kommunizieren, die an die Stand-Alone-Vorrichtung angeschlossen ist. Der Aktigraph **10** stellt vorzugsweise eine Schlaf-Vorgeschichte bereit, die sowohl die Vergangenheit, Gegenwart und/oder vorhergesagtes/beabsichtigtes Schlaf-Muster eines Individuums umfasst, die mittels einem Schlaf-Auswerter **15** analysiert werden kann, wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist. Alternativ, falls die Daten des Aktigraphen **10** nicht in Form einer Schlafzustand/Wachzustand-Vorgeschichte vorliegen, können die Aktigraphen-Daten mittels einer Software, beispielsweise einer vom Hersteller, analysiert werden, um die Aktigraphen-Daten hinsichtlich eines Schlafzustandes auszuwerten, bevor sie in die Stand-Alone-Vorrichtung eingegeben werden.

[0107] Die Stand-Alone-Vorrichtung beinhaltet weiterhin einen Daten-Analysator (Interpretationsmittel **30**) zum Analysieren und Klassifizieren des vorliegenden Zustande in den Eingabe-Daten üblicherweise entweder als Schlafzustand oder als Wachzustand. Das Interpretationsmittel **30** wählt aus oder erzeugt zumindest eine der nachfolgenden Berechnungsfunktionen abhängig von der Zusammenstellung der eingegebenen Daten 1) Wachfunktion, 2) Schlaffunktion, 3) Verzögerungsfunktion, 4) Schlafträglichkeitsfunktion. Das Interpretationsmittel **30** kann durch einen passend programmierten, integrierten Schaltkreis (IC) realisiert werden. Ein Durchschnittsfachmann wird erkennen, dass eine Vielzahl von Vorrichtungen zusammen mit oder für einen IC ersetzt werden, wie einem diskreten, analogen Schaltkreis, einer Hybrid analog/IC Schaltung oder ähnlichen Prozessor-Elementen verwendet werden können.

[0108] Die Stand-Alone-Vorrichtung beinhaltet weiterhin ein Bestimmungsmittel **40**. Das Bestimmungsmittel **40** kann mittels geeigneten Programmierens der IC des Interpretationsmittels implementiert werden oder es kann durch eine separat programmierte IC implementiert werden, wobei die kognitive Leistungsfähigkeitsfaktorisierung der Schlaf-/Wach-Vorgeschichte und der aktuelle Status bestimmt und berechnet wird.

[0109] Das Interpretationsmittel **30** und das Bestimmungsmittel **40**, können kombiniert werden in einem kombinierten Mittel oder Vorrichtung.

[0110] Die berechnete kognitive Leistungsfähigkeit kann gespeichert werden in einem Erstspeicher **60**, der die Modulations-Daten inklusive die Modulations-Daten-Serien oder Kurven speichert, vorzugsweise in der Darstellung einer Tageszeitkurve. Die Stand-Alone-Vorrichtung beinhaltet weiterhin einen zweiten Speicher-Bereich **50**, der Daten für die Er-

stellung einer Datenserie oder einer Kurve speichert, die die kognitive Leistungsfähigkeit C über der Zeit t darstellt. Der Erstspeicher **60** und der Zweitspeicher **50** können ein beliebiger Speicher sein, der einem Durchschnittsfachmann bekannt ist. Der Zweitspeicher **50** ist vorzugsweise ein first-in-first out Speicher mit Mitteln zum Addieren des Wertes von dem Determinationsmitteln **40** bis zum Ende der Datenserie oder der Kurve. Der Erst- und Zweit-Speicher kann zu einer Speichereinheit zusammengeführt werden.

[0111] Das Stand-Alone-Vorrichtung beinhaltet außerdem einen separaten IC oder in Kombination mit der zuvor erwähnten ICs, ein Modulatormittel **70** zum Modulieren der ersten Datenreihe oder der Kurve (kognitive Leistungsfähigkeit) mit der Modulations-Datenreihe oder -Kurve (Tageszeit). Die Modulation sollte vorzugsweise durch Übereinstimmung der Zeit-Sequenz-Information, die die Daten-Serien betreffen oder der Kurven erfolgen, die auf der Zeitlänge von der ersten Dateneingabe, wie vorzugsweise durch die Anzahln der Epochen und der Anfangsstartzeit, bezüglich dem ersten Schlaf-/Wach-Zustand.

[0112] Die Stand-Alone-Vorrichtung kann außerdem ein Display aufweisen, um eine gezeichnete, modulierte Kurve darzustellen, die das Modulations-Ergebnis über der Zeit oder eine numerische Wiedergabe eines Punktes auf der modulierten Kurve für eine ausgewählte Zeit von dem Modulationsmittel **70**, das die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E darstellt. Die numerische Darstellung kann die Form eines Anzeigeinstrumentes, ähnlich einer Tank-Uhr in einem Motor-Fahrezug annehmen. Die Stand-Alone-Vorrichtung kann als Alternative oder zusätzlich zum Display über einen Printer oder einem Kommunikations-Anschluss verfügen, um mit einer externen Vorrichtung zum Drucken oder Speichern der modulierten Kurve oder Datenreihe.

[0113] Die Stand-Alone-Vorrichtung könnte statt spezieller Hardware auch Speicherplatz und Prozessor-Power besitzen, um ein Software Programm und Daten-Dateien zu bearbeiten. In diesem Fall könnte die Stand-Alone-Vorrichtung ein Desktop-Computer, ein Notebook Computer oder ein ähnliches Computer-Gerät sein. Das Software-Programm bearbeitet die Erhaltung von Daten, die die Schlaf-Vorgeschichte von einer äußeren Quelle, durch einen Kommunikationsanschluss und leistet dann die notwendigen Analysen und Prozeduren des Verfahrens, das hier beschrieben wurde. Der Speicherplatz kann ein Speichermedium in der Form von Computer lesbarem Material sein, das zumindest die Tageszeitkurve und möglicherweise die Eingabe-Daten, die auch in einem Random-Access-Memory (RAM) eines Computers zur temporären Nutzung zur Verfügung stehen können. Die Eingabe-Daten und die resultierenden erzeugten Daten, die verschiedenen kognitiven Leis-

tungsfähigkeits-Ebenen eines Individuums anzeigen, können auch auf einem dauerhafteren Speicher oder Ablage als sie in RAM-Speicher möglich ist, gespeichert werden.

[0114] Eine weiteres Ausführungsbeispiel lässt für das Interpretationsmittel **30** die Filterung der Schlaf-Wach-Daten durchführen, so dass für die erste k_d Anzahl von Schlaf-Epochen nach einer Wach-Epoche zu Wach-Epochen verändert werden. Im Sinne der Erfindung gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, wie die Filterung durchgeführt werden kann. Der bevorzugte Weg ist, einen Entscheidungsschritt vor S3 in **Fig. 4** einzufügen, so dass, wenn D_{sw} eine Schlaf-Epoche ist und $t - t_{LS} = k_d$ ist, dann S3–S6a übersprungen werden und S7a folgt. Das Ergebnis ist, dass die Entscheidungsregel als $d(t)$ in Gleichung 6 oben eliminiert würden und S6b und S7d in den **Fig. 4(a)**–(b) und **Fig. 7(a)**–(b) unnötig wären.

[0115] Die Add-On-Komponente zu einem Aktigraphen mit Schlaf-Auswerte-Fähigkeiten kann ähnliche Komponenten besitzen, wie die Stand-Alone-Vorrichtung, die weiter oben beschreiben und in **Fig. 6** gezeigt wurde. Vorzugsweise ist die Zusatzkomponente auf einem integrierten Chip eingebaut, um den benötigten Einbauraum zu minimieren. Wie auch immer, die Add-On Zusatzkomponente kann mehr als eine elektrische Komponente enthalten, z. B. ein Speicher-Chip und einen IC. Der Zusatzkomponenten kann die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit zu einer entfernt liegenden Vorrichtung für weitere Analysen übertragen werden.

[0116] Beides, die Software und die Hardware werden betrachtet als in der Lage zu sein, in Echtzeit zu operieren und zu funktionieren. Für den Zweck dieser Erfindung ist die Echtzeit als ein kontinuierlicher Strom aus den Daten und der Analyse des Levels der kognitiven Leistungsfähigkeit für jede Epoche aus den eingegebenen Schlaf-Wach-Daten zu betrachten. Also werden die Software und die Hardware beide zu einem Individuum oder einer anderen Dateneinheit, die aktuelle kognitive Leistungsfähigkeit auf der Basis der Daten der zuletzt eingegebenen Epoche von Schlaf-Wach-Daten sowohl in die Software, als auch die Hardware eingegeben. Die meisten Schlafanalyse-Systeme führen die Schlaf-Wach-Bestimmung basierend auf Daten von Epochen auf jeder Seite der Epoche durch. Daraus folgt eine Verzögerung in der Datenübermittlung an den Anwender.

[0117] Wie ein Durchschnittsfachmann aus der folgenden Diskussion entnehmen wird, ist das beschriebene Verfahren in der Lage, einen kontinuierlichen Datenstrom von einzelnen oder Gruppen von Epochen des Individuums zu verarbeiten. Wenn Zeitblöcke eingegeben werden, werden dann nach den Anfangsübergängen die ersten wenigen Epochen von den entsprechenden Übergangsfunktionen mit

der richtigen Zeit von tiefem Schlaf oder Wachsamkeit unter der Verwendung der Nicht-Übergangsfunktionen beherrscht.

[0118] Als eine Fähigkeit der Erfindung können die Daten den Zeitpunkt enthalten, in dem ein Zustand-Wechsel vom Schlafzustand nach Wachzustand oder vom Wachzustand nach Schlafzustand stattfindet. Die Schlaf-Wach-Daten können auch die Dauer der individuellen Wach-Stadiums und die Dauer des Schlafzustands des Individuums enthalten. Um die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeits-Kurve zu erstellen, können die Schlaf-Wach-Daten extrapoliert und/oder ausgedehnt werden in einer Serie von einzelnen Epochen. Wie oben diskutiert, stellt eine Epoche eine vordefinierten Zeitraum dar. Also können die Schlaf-Wach-Daten in konventionellen Zeit-Einheiten dargestellt werden, oder in Epochen präsentiert werden. Zum Beispiel, wenn die Schlaf-Wach-Daten 10 Epochen Schlaf und 3 Epochen Wachsein enthalten, wenn man dann die kognitive Leistungsfähigkeit errechnen will, können die Epochen 1 bis 10 den Schlafzustand und die Epochen 11 bis 13 den Wachzustand darstellen.

[0119] In Übereinstimmung mit einem Aspekt der Erfindung kann die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E zu einer bestimmten Zeit q bestimmt werden, indem entweder die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E oder die kognitiven Leistungsfähigkeit C zum Zeitpunkt r als Basispunkt genommen wird, wobei r sowohl zeitlich vor oder hinter der Zeit q liegt. Von dem Basis-Punkt kann man die kognitive Leistungsfähigkeit für die Zeitpunkte zwischen den Zeiten q und r bestimmen, wenn es einen Zustandswechsel gab.

[0120] Wie in den **Fig. 7(a)**–(b) gezeigt, sind die Schritte im Wesentlichen dieselben wie in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel mit Änderungen an den Wach- und Schlaf-Funktionen, wobei konsequenterweise die Definition der Variablen die gleichen sind, wie sie in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel festgesetzt wurden. Die weiter unten beschriebenen Gleichungen und die Schritte, die in den **Fig. 7(a)**–(b) gezeigt werden, sind für die Situation, wenn der kognitive Anfangswert zeitlich vor dem gewünschten vorhergesagten kognitiven Wert liegt. Jedes Element der Schlaf-Wach-Daten ist klassifiziert als entweder Schlafzustand oder Wachzustand.

[0121] Wenn die Schlafzustand-Wachzustand-Daten einen Wachzustand darstellten, wird eine Auswahl zwischen zwei Funktionen getroffen, je nachdem, welche aus der folgenden Entscheidungsroutine hervorgeht:

IF $\Delta t = k_i$
THEN $C_t = i(t)$

ELSE $C_t = W_m(t)$ Gleichung 10

wobei Δt die Menge an Zeit in dem aktuellen Status, zum Beispiel $t - t_{LS}$ darstellt. Die Schlaf-Trägheitsfunktion $i(t)$ wird nur benutzt, wenn der letzte Daten-Eintrag der Wachzustand für eine Zeitperiode kürzer oder gleich k_i ist. Also wird dieselbe Schlaf-Trägheitsfunktion $i(t)$ wie in der alternativen Ausführungsbeispiel auch in diesem alternativen Ausführungsbeispiel verwendet. Die veränderte Wach-Funktion $W_m(t)$ berücksichtigt, dass die Schlaf-Trägheitsfunktion $i(t)$ eine Verzögerung von k_i liefert, wenn eine Kurve formuliert wird, sodass nachdem ein Individuum sich von der Anfangs-Reduzierung der kognitiven Leistungsfähigkeit erholt und zu dem Level der kognitiven Leistungsfähigkeit der letzten Etappe zurückkommt, in der das Individuum vor dem Aufwachen geschlafen hat. Diese Verzögerung liefert die folgende Gleichung:

$W_m(t) = C_{t-1} - k_w (\Delta t - k_i)$ Gleichung 11

[0122] Wenn Schlaf-Wach-Daten den Schlaf-Zustand darstellen, dann wird eine Auswahl aus zwei Funktionen getroffen, wie es die folgende Entscheidungsroutine zeigt:

IF $\Delta t = k_d$
 THEN $C_t = d(t)$
 ELSE $C_t = S_m(t)$ Gleichung 12

[0123] Die Verzögerungsfunktion $d(t)$ wird nur verwendet, wenn der letzte Daten-Eintrag ein Schlafzustand für eine Zeitperiode kürzer oder gleich k_d ist. Also wird in diesem alternativen Ausführungsbeispiel die gleiche Verzögerungsfunktion $d(t)$ wie in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel verwendet. Die modifizierte Schlaffunktion $C_m(t)$ berücksichtigt die Verzögerungsfunktion für einen bestimmten Zeitraum, der k_d entspricht. Unter Berücksichtigung der Verzögerungsfunktion $d(t)$ wird folgendes geliefert:

$S_m(t) = ((C_{t-1} - (k_w \cdot k_d)) + (100 - (100 - C_{t-1})(1 - 1/k_s)^{\Delta t - k_d}))$ Gleichung 13

wobei der erste Teil der Gleichung die Verzögerungsfunktion $d(t)$ und der zweite Teil die Erholung der kognitiven Leistungsfähigkeit C darstellt.

[0124] Eine Summierung der Zeit-Komponenten der Schlaf-Wach-Daten wird durchgeführt, wobei jeder Teil der Schlaf-Wach-Daten in Bezug auf die Berechnung der kognitiven Leistungsfähigkeit oder vor der Modulation der endgültigen kognitiven Leistungsfähigkeit mit der Tageszeitfunktion $m(t)$ behandelt wird. Letzteres wird in den [Fig. 7\(a\)](#)–(b) gezeigt. Nachdem die neue kognitive Leistungsfähigkeit C_t berechnet wird, wiederholt das Verfahren die Bearbeitung des nächsten Teils der Schlaf-Wach-Daten, wenn das aktuelle Teil nicht der letzte Teil ist. Nach dem letzten

Teil wird die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E auf der Basis von Gleichung 1 betrachtet, wie weiter oben und ausführlich in dem bevorzugten Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0125] Es sollte wiederum bemerkt werden, dass dieses Verfahren alle Prozesse und Rechnungen enthält, die auf den Gleichungen 1 bis 8 basieren, die in ihrer allgemeinen Form ausgedrückt sind. Ausführungsbeispiele sollten Funktionen verwenden, die auf die verwendeten Variablen Bezug nehmen, die passend zu dem empirischen Wissen sind, was zu speziellen Ausdrücken dieser Gleichungen führt, wie im Text und in den [Fig. 1](#)–[Fig. 7\(b\)](#) oben erläutert wird (aber sich auf diese nicht beschränkt), welche passend zu dem aktuellen Stand des empirischen Wissens geändert oder verfeinert werden können.

Anwendungen des Verfahrens

[0126] Für die Diskussionen, die über die [Fig. 8](#)–[Fig. 17](#) folgen, ist die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E (z. B. die Kombination aus der kognitiven Leistungsfähigkeit C und der Tageszeitfunktion M) als eine kontinuierliche Linie über mehrere Tage gezeichnet. Die dunkleren Sektionen der Linie zeigen Schlaf-Perioden und die helleren Sektionen der Linie zeigen Wach-Perioden an. Die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E ist auf einer Skala von 0 bis 120% erläutert. Unter der Verwendung des bevorzugten Ausführungsbeispiel, kann die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E theoretisch 120% erreichen, aber nur, wenn die kognitive Leistungsfähigkeit C 100% beträgt (z. B. 20 Minuten, nachdem Aufwachen von einer Schlafperiode, in welcher die kognitive Leistungsfähigkeit C wieder voll hergestellt wurde) und gleichzeitig die Tageszeitfunktion M an ihrem Höhepunkt ist. Obwohl möglich, ist diese Situation in der Praxis unwahrscheinlich. Für Zwecke der Erläuterung und Beschreibung akzeptable vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E auf 85% gesetzt. Dieser Wert repräsentiert den ungefähren prozentuellen Rückgang der vorhergesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E nach 16 Stunden dauerhaften Wachseins, wenn zuvor einen 8 Stunden Nachtschlaf vorangegangen ist (z. B. ein typischer Schlaf-Wach-Zyklus). Die zeitliche Auflösung entlang der Abszisse der Abbildung ist eine Stunde pro vertikaler Markierung. Die vertikalen Haupt-Linien entsprechen 0:00 AM (Mitternacht) nach lokaler Zeit.

(1) Einfluss von idealisiertem Schlaf auf die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E

[0127] In ihrer einfachsten Anwendung kann das Verfahren entsprechend der Erfindung genutzt werden, um die Einflüsse einiger verschiedener idealisierter (z. B. unfragmentierter) Mengen an Nachtschlaf auf die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E vorherzusagen. Für diese Übung, erhält das

Individuum 8 bzw. 4 Stunden ununterbrochenen Schlaf in der ersten Nacht. Als nächstes erhält er 8 (Fig. 8) oder 4 (Fig. 9) Stunden ununterbrochenen Schlaf pro Nacht. Dann erhält das Individuum wieder acht Stunden ununterbrochenen Schlafes.

[0128] Wie in Fig. 8 erklärt, sagt das Verfahren voraus, dass mit acht Stunden Schlaf pro Nacht akzeptable vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E während der gesamten Wachzeit überschritten wird, wobei sie nur während der 40 Minuten vor dem Einschlafen jeden Tag leicht unterschritten wird. Wie in Fig. 9 dargestellt, sagt das Verfahren für vier Stunden Schlaf pro Nacht voraus, dass die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E nach der ersten Nacht mit unterbrochenem Schlaf für die gesamte Wachzeit unter einem akzeptierbaren Level abfällt. Weiterhin wird wegen der verkürzten Schlafperiode, die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E jede Nacht nicht komplett wiederhergestellt, trotz der höheren Erholungsrate der kognitiven Leistungsfähigkeit E während des Schlafes.

[0129] Unter Bedingungen von totalem Schlafentzug, die in Fig. 10 folgend der 2. Nacht dargestellt werden, sagt das Verfahren vorher, dass die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E am 4. Tag nach 88 Stunden Wachsein auf einem Level nahe Null abfällt. Die vorhergesagte Rate der Anhäufung der kognitiven Leistungsfähigkeit während des Erholungsschlafs ist in Fig. 11 dargestellt. Die steile Rate der Anhäufung in der ersten Nacht (Tag 2) des Erholungsschlafs ist das Ergebnis auf die nahezu vollständig abgebaute vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E. Wie auch immer, trotz dieser steilen Rate wird die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E noch nicht vollständig (über den akzeptierbaren 85% Level) bis nach der zweiten Nacht (Tag 3) des Erholungsschlafs. Ebenso ist die Rate der der Anhäufung in der zweiten Nacht des Erholungsschlafs leicht niedriger als die Rate der ersten Nacht während des Erholungsschlafes, auf Grund des geringeren Levels des vorausgehenden Schlafdefizits (und entsprechend höherem Level der vorhergesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E) zu Schlafbeginn.

[0130] Der Einfluss einer fast vollständigen Verarmung der vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E auf die Rate der Anhäufung der vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E während des Schlafes ist in Fig. 12 dargestellt. Diese Figur zeigt die vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E über einen Zeitraum von 3,5 Tagen an Schlafentzug, in der am Tag 2–4 eine tägliche, 30-minütige Schlafperiode auftauchte. Die Rate der Anhäufung während der 30-Minuten-Schlafperiode ist fast vertikal. Obwohl die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E mit und über jeden Tag abnimmt, gibt es einen erheblichen Versatz vor und nach der 30 Minuten Schlafperiode.

(2) Einfluss von Schlaf-Unterbrechungen auf die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E

[0131] Eine weitere praktische Anwendung verwendet das Verfahren, um die kognitive Leistungsfähigkeit für ein Individuum mit Schlafunterbrechungen vorherzusagen, entweder wegen einer Schlafstörung, wie zum Beispiel Schlaf-Apnoe oder wegen Umwelt-Störungen, wie Flugzeug- oder Zug-Lärm.

[0132] Fig. 13 illustriert die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E über drei Nächte von unterbrochenem Schlaf, während derer Hochschreckungen (kurzes Aufwachen) zehnmal pro Stunde auftraten. Die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E tagsüber, die den Nächten an den 2.–4. Tagen folgten (wenn der Schlaf unterbrochen wurde), ist deutlich beeinträchtigt und sinkt weiter während jedem Tag. Die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E wird nicht komplett wiederhergestellt werden, sogar nach einer Nacht von 8 Stunden mit ungestörtem Schlaf.

(3) Vorhergesagte kognitive Leistungsfähigkeit E während zweier Nachtschichten

[0133] Eine weitere praktische Anwendung verwendet das Verfahren, um die kognitive Leistungsfähigkeit E für ein Individuum während zweier Arbeits-Nachtschichten vorauszusagen. Fig. 14 zeigt die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E während zweier Nächte, während derer das Individuum zwischen 11:00 PM und 7:00 AM arbeitet und zwischen 8 AM und 4 PM schläft. Vor der ersten Schicht schläft das Individuum seine üblichen Tag-Schicht-Stunden, z. B. von Mitternacht bis 8:00 AM. Er bleibt den ganzen Tag wach und startet seine erste Schicht um 11:30 an diesem Abend. Die schattierte Zone zeigt, dass er arbeitet, während seine vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E am schlechtesten für diese 24-Stunden-Periode ist. Das folgt aus den kombinierten Einflüssen von Schlaf-Entzug und Tageszeit. Die Person schläft dann von 8 AM bis 4 PM, zum Zwecke dieser Übung nehmen wir an, dass die Person tatsächlich die ganzen acht Stunden dieser letzten Schlafperiode durchschläft. Erhebliche Erholung der vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E wird während dieser Schlafperiode erreicht. Die zweite Schicht beginnt mit einer vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E auf nahezu optimalen Niveaus. Dennoch findet, wegen der Tageszeit-Einflüsse, der Hauptteil der Schicht statt, wenn das Verfahren die schlechteste kognitive Leistungsfähigkeit E voraussagt.

(4) Retrospektive Analyse der vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E

[0134] In einer weiteren Anwendung, wird dieses Verfahren verwendet, um rückblickend die kognitive

Leistungsfähigkeit E zu ermitteln, die ein kommerzieller Kraftfahrer aufweist, der in einen Verkehrsunfall verwickelt war. Die ungefähren Schlaf- und Wach-Zeiten des Fahrers (entnommen von seiner persönlichen Geschichte) für einige Tage vor der Kollision dienen als Eingabe. Die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E, die auf diesen ungefähren Schlaf-Wach-Daten basiert, ist in [Fig. 15](#) dargestellt. Der Fahrer begann seinen Trip am Morgen des Tags 1. Wegen einer frühen Starzeit begann der Fahrer den Trip mit teilweisem Schlafentzug. Daraus ergibt sich, dass seine vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E zum Startzeitpunkt des Tripps leicht oberhalb der willkürlich gewählten, akzeptablen Grenze von 85% lag. Während des ersten Tages auf der Straße arbeitete der Fahrer für 16 Stunden, wobei die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E während des letzten Teils dieser Periode unter einem akzeptablen Level fiel. Der Fahrer hielt für die erste Schlafpause um 4:00 AM am Tag 2 an. Der Schlaf am 2. und 4. Tag war nicht lang genug, um die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E wieder herzustellen. Am Tag 5 bekam der Fahrer nur wenig Schlaf (30 Minuten). Die Kollision erfolgte später an diesem Tag, als bei der vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit des Fahrers den schnellen Abstieg am Abend begann. Zum Zeitpunkt der Kollision betrug die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E des Fahrers ungefähr 50% eines optimalen Levels. Schlussendlich, wegen der extremen Schlafentziehung, erfolgte die Erholung am Tag 6 (nach dem Unfall) mit einer steilen Steigung und stellte die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E nahe zu dem willkürlichen 85%-Level wieder.

(5) Vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E basierend auf aktuellen Schlaf-Wach-Plänen und -Veränderungen von zukünftigen Schlaf-Wach-Zeiten, um die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E zu optimieren.

[0135] In dieser Anmeldung wird ein Verfahren verwendet, um zunächst die kognitive Leistungsfähigkeit E eines Individuums entsprechend einem Zeitraum vorherzusagen, der auf dem aktuellen Schlaf-Wach-Plan desselben beruht. Als nächstes wird das Verfahren verwendet, um die Schlaf- und Wach-Zeiten zu verändern, um die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E während diesem Intervall zu optimieren.

[0136] In diesem Beispiel haben wir zuerst die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E basierend auf seinem aktuellen Schlaf-Wach-Plan vorhergesagt. Der aktuelle Schlaf-Wach-Plan des Fahrers wurde um die maximalen Arbeitsstunden generiert, die die Federal Highway Administration (FHWA)-Gesetze zur Arbeitsstundenregulierung erlauben. Diese Regeln erlauben dem Fahrer maximal 15 Stunden zu arbeiten (davon maximal 10 Stunden fahren plus fünf

Stunden im Dienst, aber nicht fahrend) gefolgt von einem Minimum von 8 Stunden Freizeit. Der Fahrer kann dieses Dienst/Nicht-im-Dienst-Zyklus fortsetzen, bis 60 Dienst-Stunden zusammengekommen sind zu diesem Zeitpunkt muss der Fahrer Freizeit nehmen bis sieben Tage verstrichen sind, seitdem er den Dienst angefangen hat. [Fig. 16](#) zeigt den Schlaf/Wach-Plan des Fahrers und sagt die vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit E unter diesen Einschränkungen voraus. Der Fahrer schläft 6 von den 8 dienstfreien Stunden. Der Zeitplan führt zu einem 23-Stunden-"Tag", der bedeutet, dass der Fahrer beginnt den Schlaf eine Stunde früher jeden Abend beginnt. Weil teilweiser Schlafentzug auftritt und der Schlaf täglich früher angesetzt wird, sagt die Erfindung voraus, dass am zweiten Dienstag der Fahrer einen erheblichen Teil seiner Dienstzeit mit einer vorausgesagten kognitiven Leistungsfähigkeit E unter der willkürlichen 85%-Grenze leisten wird. Wenn der Fahrer sein Maximum von 60 Dienst-Stunden erreicht hat, muss er einige Tage frei nehmen, obwohl die Erfindung vorhersagt, dass kognitive Leistungsfähigkeit E nach nur einer Nacht von 10 Stunden Schlaf wiederhergestellt wird.

[0137] [Fig. 17](#) illustriert ein alternatives Arbeitsschema, ebenfalls unter den aktuellen FHWA-Gesetzen erlaubt. Diese Arbeitsschema basiert auf einem Zeitplan von 12 Stunden im Dienst und 12 Stunden Freizeit. Es wird angenommen, dass der Fahrer 8 Stunden von seinen 12 dienstfreien Stunden schläft. Weil kein Schlafentzug wegen der Verschiebung der Schlaf-Zeiten auftritt, sagt die Erfindung voraus, dass der Fahrer seine kognitive Leistungsfähigkeit E während seinen Arbeitstagen ständig um oder über 85% erhält.

Industrielle Anwendungsmöglichkeiten

[0138] Obwohl oben in Verbindung mit einer Vielzahl spezieller Aktivitäten beschreiben, hat diese Erfindung noch etliche andere Anwendungsmöglichkeiten. Das Verfahren, das die kognitive Leistungsfähigkeit voraussagt, wird entscheidende Informationen liefern, sowohl für die individuelle als auch die Gruppen-Produktivität. Zum Beispiel wird dieses Verfahren den Befehlshabern erlauben präzise zu bestimmen, basierend auf der vorangegangenen Schlaf-Vorgeschichte, den Level der kognitiven Leistungsfähigkeit eines jeden Soldaten zu einem aktuellen oder zukünftigen Zeitpunkt einzuschätzen. Befehlshaber können ebenso einen wahrscheinlichen Schlaf/Wach-Plan eingeben und dabei die kognitive Leistungsfähigkeit eines Soldaten während einer bevorstehenden Mission vorhersagen. Während der Durchführung der Mission selber können die letzten Vorhersagen der kognitiven Leistungsfähigkeit (ursprünglich auf dem Schlaf-Wach-Plan basierend) ständig dem aktuellen Schlafbedarf angepasst werden. Die Fähigkeit, die zukünftige kognitive Leistung

vorherzubestimmen, wird Befehlhabern erlauben, die Leistung ihrer Truppen während fortgesetzter Missionen, zum Beispiel, um die Schlaf-/Wach-Pläne rund um die Mission so zu planen, dass die kognitive Leistungsfähigkeit optimiert wird, oder dass solche Truppen oder Kombinationen von Truppen ausgewählt werden, deren vorausgesagte kognitive Leistungsfähigkeit zu einem kritischen Zeitpunkt maximal ist, u.s.w.. Dieses Verfahren wird helfen, die Produktivität beider, des Individuums und der Einheit zu maximieren.

[0139] Diese Erfindung kann in einer Vielzahl von beruflichen Anwendungen zum Zweck der Optimierung der Arbeitserträge (der Produktivität) dienen. Die Erfindung verschafft Managern die Fähigkeit, Projekte und Arbeitsstunden nach einem Standard zu planen, der auf objektiver, kognitiver Leistungsvorhersage basiert. Das ist im Gegensatz zu dem häufig verwendeten Verfahren, Arbeitszeiten durch dienstfreie Zeit zu regeln (eine relativ schlechte Vorhersage für Schlaf-Wach-Mustern und eine entsprechend schlechte Vorhersage der kognitiven Leistung) oder durch Vorhersage von Wachsamkeit- und Schläfrigkeit-Vorhersage (die, wie oben angemerkt, nicht immer mit der kognitiven Leistungsfähigkeit übereinstimmen). Diese Erfindung kann erprobt werden in hypothetischen Schlaf-Wach-Szenarien, um eine Schätzung der kognitiven Leistung unter diesen Umständen bereit zu stellen. Bis zu der Erweiterung, dass eine Optimierung der kognitiven Leistung von Interesse für die allgemeine Öffentlichkeit ist, gibt es die Möglichkeit zum Einsatz in einer Vielzahl von Anwendungen.

[0140] Das Verfahren kann auch genutzt werden, um die Effekte der kognitiven Leistung auf jeglichen biomedizinischen, psychologischen oder anderen (z. B. Schlafhygiene, Licht-Therapie, etc.) Behandlungen oder Eingriffen, bei der gezeigt wurde, dass der Schlaf verbessert wird, anzuzeigen und zu bewerten. Diese Beispiele beinhalten, aber sind nicht limitiert auf Patienten mit offenkundigen Schlafstörungen, zyklischen Rythmus-Störungen, anderen medizinischen Bedingungen, die die Schlaf-Qualität und/oder -Dauer beeinflussen, schlechten Schlafhygiene, Jet-Lag, oder beliebigen anderen Schlaf-Wach-Problemen. Derzeit wird die Wirksamkeit der Behandlungen zur Verbesserung des Schlafes durch Vergleichen von polysomnographischen Basis-Linien-Messungen des Nachschlafs mit einigen Messungen der Wachsamkeit Tagsüber bestimmt (z. B., der MSLT, der Test zur Erhaltung der Wachsamkeit (MWT), die Stanford-Schläfrigkeit-Skala oder die Karolinka-Schläfrigkeit-Skala), mit den gleichen Maßen bestimmt, die nach der Behandlung erhalten wurden. Beides, die Effizienz der Behandlung und der wahrscheinliche Einfluss auf die Leistung während der Wach-Perioden überlagern sich mit den Ergebnissen der Tageszeit-Wachsamkeitstests. Zum Beispiel for-

dert derzeit die Federal-Aviation-Administration von jedem kommerziellen Piloten, bei dem eine Schlaf-Apnoe diagnostiziert wurde, sich behandeln zu lassen. Derartige Behandlung ist von Tages-Wachsamkeits-Untersuchung einer modifizierten Version des MWT gefolgt. Während des MWTs sitzen die Piloten in einem komfortablen Stuhl in einem abgedunkelten Raum und sind beauftragt, über längere Zeiträume wach zu bleiben. Wenn die Piloten in der Lage sind, offenen Schlaf unter diesen schlaf-fördernden Bedingungen zu vermeiden, dann erachtet man sie als fit für den Dienst. Es folgt, dass die minimale Fähigkeit, Wachsamkeit an einem bestimmten Zeitpunkt zu erhalten auf die Fähigkeit übertragen wird, ein Flugzeug sicher zu fliegen (z. B. folgt es, dass Wachsamkeit gleichbedeutend mit kognitiver Leistung ist). Dennoch kann Schlafentzug die kognitive Leistungsfähigkeit beeinflussen, auch, wenn sie nicht zu offenem Schlaf führt, insbesondere während eines Wachsamkeitstest, wenn aus verschiedenen Gründen das Individuum hochmotiviert ist, wach zu bleiben.

[0141] Im Gegensatz dazu erlaubt das aktuelle Verfahren die kognitive Leistung direkt von den gemessenen Schlaf-Parametern zu schätzen, die im Zusammenhang mit der Tageszeit betrachtet werden. Die Vorteile dieses Verfahrens gegenüber anderen aktuellen Verfahren, für Auswertung von Behandlungswirksamkeit sind: (1) die Motivationen und die Motivationslevel der Patienten, die getestet werden, können die Ergebnisse nicht beeinflussen (Bestimmungen der kognitiven Leistung); und (2) das Verfahren erlaubt numerische Beschreibung und die Voraussage der kognitiven Leistungsfähigkeit während geplanten Wach-Stunden, eher als die Wachsamkeit zu einem bestimmten, nicht bekannten Zeitpunkt anzuzeigen. Also liefert das Verfahren eine kontinuierliche Skala zur Eichung der kognitiven Leistung über die Zeit eher als nur eine minimale Bestimmung „Fitheit für den Dienst“ anzubieten, die auf der Fähigkeit des Patienten basiert, die über das EEG definierte Wachheit zu einer bestimmten Zeit aufrecht zu erhalten.

[0142] Das Verfahren kann auch klinisch als Zusatz zur Diagnose von Schlafstörungen wie Narcolepsy und idiopathische CNS-Hypersomnolenz dienen. Ebenso wichtig, kann es auch genutzt werden, um differenzierte Schlafstörungen zu unterscheiden. Letzteres ist entscheidend für den Ablauf der Behandlung und die folgende Effizienz der Behandlung hängt von einer stichhaltigen und verlässlichen Diagnose ab. Zum Beispiel, sind Schlaf-Apnoe und periodische Körpergliedbewegungen während des Nachschlafs (d.h., teilweisen Schlafentzug) begleitet von Defiziten der kognitiven Leistung tagsüber charakterisiert. Im Gegensatz dazu tendieren Narcolepsie und idiopathische Hypersomnolence dazu, sich durch einen

beinahe normalen Nachschlaf auszuzeichnen, aber tagsüber durch Defizite der kognitiven Leistungsfähigkeit begleitet. Basierend auf dem augenscheinlichen normalen Nachschlaf in den letzten beiden Gruppen, würde die Erfindung relativ normale kognitive Leistung vorhersagen. Also könnte die Diskrepanz zwischen der vorhergesagten kognitiven Leistung (basierend auf der aktuellen Erfindung) und der beobachteten oder gemessenen kognitiven Leistungsfähigkeit genutzt werden, um eine Schlafstörung von der anderen zu unterscheiden. Zum Beispiel, Narcolepsie, idiopathische Hypersomnolenz oder andere CNS-bezogene-Gründe für Defizite der kognitiven Leistungsfähigkeit tagsüber (wenn kein Schlaf-Defizit ersichtlich ist) könnten von Schlaf-Apnoe, periodischen Körperbewegungen oder anderen Gründen für die Beeinträchtigung der kognitiven Leistungsfähigkeit tagsüber (wenn Schlafbeeinträchtigungen erwiesen sind) unterschieden werden.

[0143] Durchschnittsfachleute werden anerkennen, dass verschiedene Adaptierungen und Möglichkeiten der oben beschriebenen, bevorzugten Ausführungsbeispiele zusammengestellt werden können, ohne von dem Rahmen und dem Ziel der Erfindung abzuweichen. Deshalb ist es zu verstehen, dass im Rahmen der beigefügten Ansprüche die Erfindung möglicherweise anders praktisch angewendet werden kann, als hier speziell beschrieben.

figure	= Figur
time of day funtion	= Tageszeitfunktion
predicted cognitive performance	= vorhergesagte kognitive Leistung
cognitive performance capacity	= kognitive Leistungsfähigkeit
time	= Zeit
past	= nach
midnight	= Mitternacht
wake funftion	= Wachfunktion
wake	= Wachzustand
sleep history	= Schlaf-Vorgeschichte
sleep	= Schlafzustand
time t	= Zeitpunkt t
transition	= Übergang
transition funktions	= Übergangsfunktionen
delay funftion (for k interval)	= Verzögerungsfunktion (für Intervall k)
for	= für
then	= dann
sleep intertia funktion (for k interval)	= Schlafträgheitsfunktion (für Intervall k)
sleep funktion	= Schlaffunktion
wake funktion	= Wachfunktion
sleep period	= Schlafdauer
delay	= Verzögerung
sleep inertia	= Schlafträgeit
set	= gesetzt
and	= und
input	= Eingabe

data	= Daten
classify	= Klasifizieren
outputing	= Ausgabe
external effect function	= Externeffektfunktion
input means	= Eingabemittel
interpretation mittel	= Interpretationsmittel
determination means	= Bestimmungsmittel
actigraph	= Aktigraph
sleep scorer	= Schlafvorrichtung
first	= erster
second	= zweiter
memory	= Speicher
modulation means	= Modulationsmittel
yes	= ja
no	= nein
optimum	= Optimum
day	= Tag
start	= Beginn
crash	= Zusammenbruch
end	= Ende
max	= maximal
hours	= Stunden
on-duty	= im Dienst
reached	= erreicht
mandatory	= obligatoriosch
days off	= freie Tage
*note: jumpers or component for S ₂ 4K RAM configuration	= *Anmerkung: Jumper- oder Komponentenänderungen für S ₂ 4K RAM-Konfiguration

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen eines Wertes, der eine vorhergesagte kognitive Leistung E eines Individuums, das einen Actigraph trägt, zu einer Zeit t angibt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Sammeln von Daten mittels des Actigraphs, die Bewegungsaktivität des Individuums repräsentieren,
- Erstellen einer Serie von Datensignalen mittels eines Schlafauswertungssystems, die Datentypen enthält, die Wachzustände und Schlafzustände des Individuums repräsentieren, die auf einer Analyse der Bewegungsaktivitätsdaten basieren,
- Speichern der Serie von Datensignalen in einem Datenspeicher,
- automatisches Selektieren mindestens einer Anzahl von Berechnungsmitteln zum Bearbeiten der gespeicherten Serie von Datensignalen in einem gegebenen Zeitintervall in Abhängigkeit von dem Datentyp, wobei jedes Berechnungsmittel angepasst ist, gemäß einer empirisch abgeleiteten Funktion (w(t) oder s(t)) einen Wert zu berechnen, der die kognitive Leistungskapazität C zu einer Zeit t repräsentiert, die in einem Zeitintervall vom t - 1 bis t auftritt, wobei mittels einer Wachfunktion w(t) der aktuelle Wert der kognitiven Leistungskapazität C_w berechnet wird, die aus dem Abfallen der kognitiven Leistungskapazität resultiert, das in einem Zeitintervall zwischen t - 1

und t auftritt, und wobei mittels einer Schlaffunktion $s(t)$ der aktuelle Wert der Leistungskapazität C_s berechnet wird, der aus der Erholung der Kapazität resultiert, die auftritt, während ein Individuum über ein Zeitintervall zwischen $t - 1$ und t hin schläft,

e. Berechnen einer Tageszeitfunktion $M = m(t)$, um einen Tageszeitwert $m(t)$ bereitzustellen, oder Bereitstellung eines Tageswertes $m(t)$, der eine empirisch abgeleitete Relation zwischen der Tageszeit und der Variation der kognitiven Leistung über den Ablauf des Tages hin beschreibt,

f. Modulieren des Wertes, der die kognitive Leistungskapazität C mit dem Tageszeitwert repräsentiert, um den Wert bereitzustellen, der die vorhergesagte kognitive Leistung E repräsentiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiter aufweisend:

Speichern der vorhergesagten kognitiven Leistungswerte als Koordinaten, die Zeit und Amplitude repräsentieren,

Wiederholen der Schritte d bis f aus Anspruch 1,

Zeichnen einer Kurve mittels der gespeicherten vorhergesagte Werte der kognitiven Leistung und Ausgeben der Kurve, die das Niveau der kognitiven Leistung über eine Zeitdauer hin repräsentiert.

3. Verfahren nach Anspruch 2, weiter das Extrapolieren einer solchen vorhersagenden Kurve aus der Kurve aufweisend, die auf voraussichtlichen Wachzuständen und voraussichtlichen Schlafzuständen basiert.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter das Ausgeben des vorhergesagten Wertes der kognitiven Leistung auf einer Anzeige aufweisend.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter das Ausgeben des vorhergesagten Wertes der kognitiven Leistung in einer Datendatei aufweisend.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, weiter das Ausgeben des vorhergesagten Wertes der kognitiven Leistung an eine Druckvorrichtung aufweisend.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Tageszeitfunktion $m(t)$ eine Kurve mit einer Periode von 24 Stunden repräsentiert, sodass die Kurve eine erste sinusförmige Kurve mit einer 24-Stunden-Periode und eine zweite sinusförmige Kurve mit einer 12-Stunden-Periode aufweist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Tageszeitfunktion $m(t)$ eine Kurve mit einer Periode von 24 Stunden repräsentiert, sodass die Kurve eine erste sinusförmige Kurve mit einer 24-Stunden-Periode und eine zweite sinusförmige Kurve mit einer 12-Stunden-Periode aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Selektionsschritt aufweist:

Bestimmen des aktuellen Zustands der Datenserie als den Wachzustand und/oder als den Schlafzustand,

Berechnen einer Zeitdauer in dem aktuellen Zustand, und

Selektieren der Funktion basierend auf einer aus: der Zeitdauer in dem aktuellen Zustand und dem aktuellen Zustand, und der Zeitdauer eines letzten Übergangs vom Wachsein zum Schlaf oder vom Schlaf zum Wachsein.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Berechnungsmittel ein Niveau der kognitiven Leistung als einen Prozentwert berechnet, sodass 100% ein Maximum der kognitiven Leistungskapazität ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Verfahren in Echtzeit ausgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Wachfunktion $w(t)$

$$C_t = C_{t-1} - k_w \text{ ist,}$$

wobei C_{t-1} die vorher berechnete kognitive Leistungskapazität repräsentiert, und k_w das Abfallen der kognitiven Leistungskapazität pro Zeitraum repräsentiert.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Schlaffunktion $s(t)$

$$C_t = C_{t-1} + (100 - C_{t-1})/k_s \text{ ist,}$$

wobei C_{t-1} die vorher berechnete kognitive Leistungskapazität repräsentiert, und k_s die Erholungszeitkonstante für Erholung der kognitiven Leistungskapazität während des Schlafs repräsentiert.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Gruppe von Berechnungsmitteln weiter eine Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ aufweist, wobei die Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ ist:

$$d(t): \text{ WENN } (t - t_{LS}) \leq 5$$

$$\text{DANN } C_t = w(t)$$

$$\text{SONST } C_t = s(t),$$

wobei t die aktuelle Zeit repräsentiert, t_{LS} die Zeit des vorherigen unterschiedlichen Wach-/Schlaf-Zustands repräsentiert, $w(t)$ die Wachfunktion repräsentiert, und $s(t)$ die Schlaffunktion repräsentiert.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis

14, wobei die Gruppe von Berechnungsmitteln weiter eine Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ aufweist, wobei die Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ ist:

$i(t)$: WENN $(t - t_{LS}) < 20$
DANN $C_t = C_{SW} \cdot [0.75 + 0.025 (t - t_{LS}) - (0.025 (t - t_{LS}))^2]$
SONST $C_t = w(t)$,

wobei t die aktuelle Zeit repräsentiert,
 t_{LS} die Zeit des vorherigen unterschiedlichen Wach-/Schlaf-Zustands repräsentiert,
 C_{SW} die kognitive Leistungskapazität am Ende der Schlafdauer repräsentiert, die mittels der Schlaffunktion zu dem Zeitpunkt t_{LS} des Übergangs vom Schlaf zum Wach-Zustand berechnet wird, und
 $w(t)$ die Wachfunktion repräsentiert.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Gruppe von Berechnungsmitteln ein Berechnungsmittel aufweist, das angepasst ist, um gemäß einer Wachfunktion $w(t)$ eine Schlaffunktion $s(t)$, eine Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ und eine Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ zu berechnen, und wobei mittels einer Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ der aktuelle Wert der kognitiven Leistungskapazität C_t während eines Zeitintervalls k_d berechnet wird, während welchem die Anwendung der Schlaffunktion aufgeschoben wird, und wobei mittels einer Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ der aktuelle Wert der kognitiven Leistungskapazität C_t während eines Zeitintervalls k_i berechnet wird, während welchem das Manifestieren der kognitiven Leistungskapazität vorübergehend unter dem durch Schlaf wiederhergestellten Niveau der kognitiven Leistungskapazität unterdrückt werden kann.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, weiter aufweisend das Ausführen der Schritte c bis f für beide Zustände, wenn die Bewegungsaktivitätsinformation nicht eindeutig zwischen einem Wachzustand und einem Schlafzustand unterscheidet, einen Wachzustand und einen Schlafzustand und das Wiederholen der Schritte a bis f mindestens hin und wieder bei Aufrechterhaltung beider vorhergesagten kognitiven Leistungswerte.

18. Datensignal, das in einer Trägerwelle verkörpert ist, die mittels einer Vorrichtung zum Berechnen lesbar ist und Vorschriften zum Ausführen des Prozesses zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17 codiert.

19. Computervorrichtung, die Mittel zum Durchführen aller Schritte eines der Ansprüche 1 bis 17 aufweist.

20. Computerprogramm, das Codierungsmittel aufweist, mittels welchem alle Schritte eines der Ansprüche 1 bis 17 durchgeführt werden, wenn es von

einem Computer ausgeführt wird.

21. Computerprogramm auf einem tragenden Trägercode, mittels welches alle Schritte eines der Ansprüche 1 bis 17 durchgeführt werden, wenn es auf einem Computer betrieben wird.

22. Vom Computer lesbare Medium, das von Computer ausführbare Befehle für das Verfahren aufweist, das in einem der Ansprüche 1 bis 17 vorgetragen wird.

23. Vorrichtung zum Bestimmen eines Wertes, der eine vorhergesagte kognitive Leistung E eines Individuums zu einer Zeit t angibt, wobei die Vorrichtung aufweist:

einen Actigraph zum Sammeln von Daten, die Bewegungsaktivität des Individuums repräsentieren, ein Schlafauswertungssystem zum Erstellen einer Serie von Datensignalen, die Datentypen enthält, die Wachzustände und Schlafzustände des Individuums repräsentieren, die auf einer Analyse der Bewegungsaktivitätsdaten basieren, einen Datenspeicher zum Speichern der Serie von Datensignalen,

eine Anzahl von Berechnungsmitteln zum Betreiben der gespeicherten Serie von Datensignalen in einem gegebenen Zeitintervall in Abhängigkeit von dem Datentyp, wobei jedes Berechnungsmittel angepasst ist, gemäß einer empirisch abgeleiteten Funktion ($w(t)$ oder $s(t)$) einen Wert zu berechnen, der die kognitive Leistungskapazität C zu einer Zeit t repräsentiert, die in einem Zeitintervall zwischen $t - 1$ bis t auftritt, wobei mittels einer Wachfunktion $w(t)$ der aktuelle Wert der kognitiven Leistungskapazität C_w berechnet wird, die aus dem Abfallen der kognitiven Leistungskapazität resultiert, das in einem Zeitintervall zwischen $t - 1$ und t auftritt, und wobei mittels einer Schlaffunktion $s(t)$ den aktuellen Wert der Leistungskapazität C_s berechnet wird, der aus der Erholung der Kapazität resultiert, die auftritt, während ein Individuum über einen Zeitintervall zwischen $t - 1$ und t hin schläft, Mittel zum automatischen Selektieren mindestens einer Anzahl von Berechnungsmittel zum Bearbeiten der gespeicherten Serie von Datensignalen in jedem gegebenen Zeitintervall in Abhängigkeit von dem Datentyp,

Mittel, angepasst zum Berechnen oder Bereitstellen eines Tageszeitwertes M , der mittels einer Tageszeitfunktion $M = m(t)$ erhalten wird, die eine empirisch abgeleitete Relation zwischen der Tageszeit und der Variation der kognitiven Leistung über den Ablauf des Tages hin beschreibt,

Mittel zum Modulieren des Wertes, der die kognitive Leistungskapazität C mit der Tageszeitfunktion repräsentiert, um den Wert bereitzustellen, der die vorhergesagte kognitive Leistung E repräsentiert.

24. Vorrichtung nach Anspruch 23, weiter eine Anzeige aufweisend, die an dem Mittel zum Modulie-

ren angeschlossen ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 23 oder 24, weiter eine Ausgabe aufweisend, die an dem Mittel zum Modulieren angeschlossen ist.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, weiter einen zweiten Datenspeicher aufweisend, der Daten umfasst und an dem Mittel zum Modulieren angeschlossen ist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, wobei der erste Datenspeicher und der zweite Datenspeicher einstückig als ein Datenspeicher ausgebildet sind.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26, wobei das zweite Mittel einen FIFO (first-in-first-out)-Datenspeicher ist.

29. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 28, weiter einen an dem Mittel zum Modulieren angeschlossenen FIFO (first-in-first-out)-Datenspeicher aufweisend, in dem die vorhergesagte kognitive Leistungswerte gespeichert werden.

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 33 weiter ein Gehäuse aufweisend, wobei der Actigraph, das Schlafüberwachungssystem, der Datenspeicher, das Berechnungsmittel, das Berechnungs-/Bereitstellungsmittel und das Mittel zum Modulieren innerhalb des Gehäuses sind.

31. System aufweisend:
eine zentrale Dateneinheit und
mindestens eine Vorrichtung gemäß Anspruch 30, die weiter einen Transmitter aufweist, der an dem Mittel zum Selektieren und/oder an dem Mittel zum Modulieren angeschlossen ist, wobei der Transmitter an dem Gehäuse angebracht ist, wobei der Transmitter mit der zentralen Dateneinheit kommuniziert.

32. System nach Anspruch 31, wobei die zentrale Dateneinheit Daten speichert und analysiert, die von mehreren Actigraphen gesammelt sind.

33. System nach einem der Ansprüche 23 bis 30, wobei die Gruppe von Berechnungsmitteln ein Berechnungsmittel aufweist, das angepasst ist, gemäß einer Wachfunktion $w(t)$ eine Schlaffunktion $s(t)$, eine Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ und eine Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ zu berechnen, und wobei mittels einer Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ der aktuelle Wert der kognitiven Leistungskapazität C_t während eines Zeitintervalls k_d berechnet wird, während welchem die Anwendung der Schlaffunktion aufgeschoben ist, und wobei mittels einer Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ der aktuelle Wert der kognitiven Leistungskapazität C_t während eines Zeitintervalls k_i berechnet wird, während welchem das Manifestieren

der kognitiven Leistungskapazität vorübergehend unter das durch Schlaf wiederhergestellte Niveau der kognitiven Leistungskapazität heruntergedrückt werden kann.

34. System nach einem der Ansprüche 23 bis 30, wobei die Wachfunktion $w(t)$

$$C_t = C_{t-1} - k_w \text{ ist,}$$

wobei C_{t-1} die vorher berechnete kognitive Leistungskapazität repräsentiert, und k_w das Abfallen der kognitiven Leistungskapazität pro Zeitraum repräsentiert.

35. System nach einem der Ansprüche 23 bis 30 oder 34, wobei die Schlaffunktion $s(t)$

$$C_t = C_{t-1} + (100 - C_{t-1})/k_s \text{ ist,}$$

wobei C_{t-1} die vorher berechnete kognitive Leistungskapazität repräsentiert, und k_s die Erholungszeitkonstante für Erholung der kognitiven Leistungskapazität während des Schlafs repräsentiert.

36. System nach einem der Ansprüche 23 bis 30, 34 oder 35, wobei die Gruppe von Berechnungsmitteln ein Berechnungsmittel aufweist, das angepasst ist, gemäß einer Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ zu berechnen, wobei die Verzögerung der Erholungsfunktion $d(t)$ ist:

$$d(t): \text{ WENN } (t - t_{LS}) \leq 5$$

$$\text{DANN } C_t = w(t)$$

$$\text{SONST } C_t = s(t),$$

wobei t die aktuelle Zeit repräsentiert, t_{LS} die Zeit des vorherigen unterschiedlichen Wach-/Schlaf-Zustands repräsentiert, $w(t)$ die Wachfunktion repräsentiert, und $s(t)$ die Schlaffunktion repräsentiert.

37. System nach einem der Ansprüche 23 bis 30 oder 34 bis 36, wobei die Gruppe von Berechnungsmitteln weiter ein Berechnungsmittel aufweist, das angepasst ist, um gemäß einer Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ zu berechnen, wobei die Schlafträglichkeitsfunktion $i(t)$ ist:

$$i(t): \text{ WENN } (t - t_{LS}) < 20$$

$$\text{DANN } C_t = C_{SW} \cdot [0.75 + 0.025(t - t_{LS}) - (0.025(t - t_{LS}))^2]$$

$$\text{SONST } C_t = w(t),$$

wobei t die aktuelle Zeit repräsentiert, t_{LS} die Zeit des vorherigen unterschiedlichen Wach-/Schlaf-Zustands repräsentiert, C_{SW} die kognitive Leistungskapazität am Ende der Schlafdauer repräsentiert, die mittels der Schlaffunktion zu dem Zeitpunkt t_{LS} des Übergangs vom Schlaf-

zum Wach-Zustand, und
 $w(t)$ die Wachfunktion repräsentiert.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen

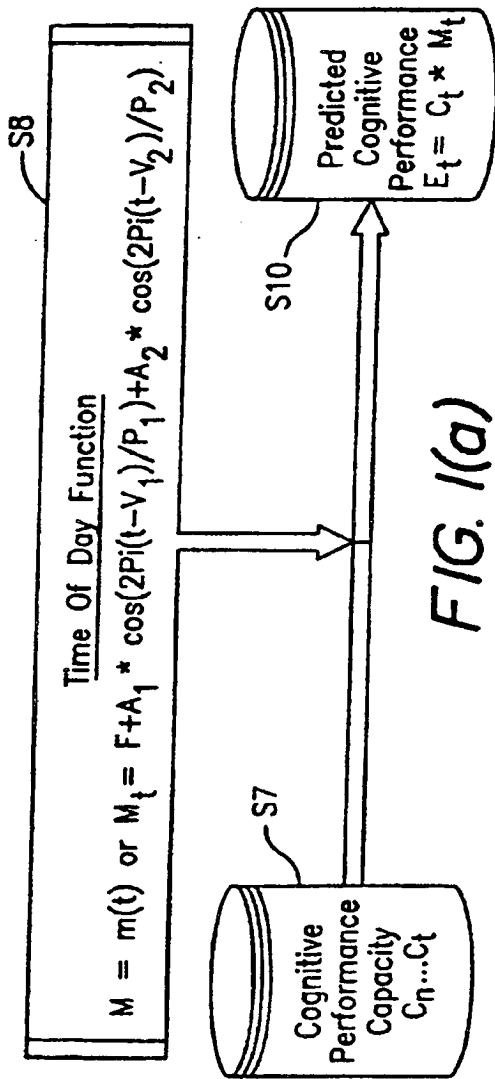


FIG. 1(a)

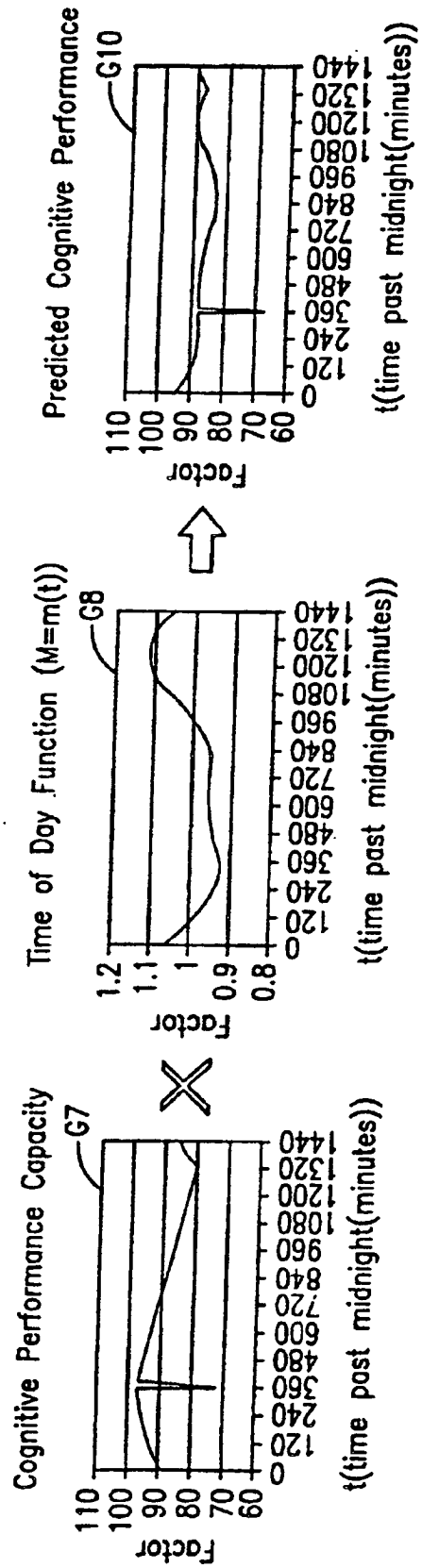


FIG. 2

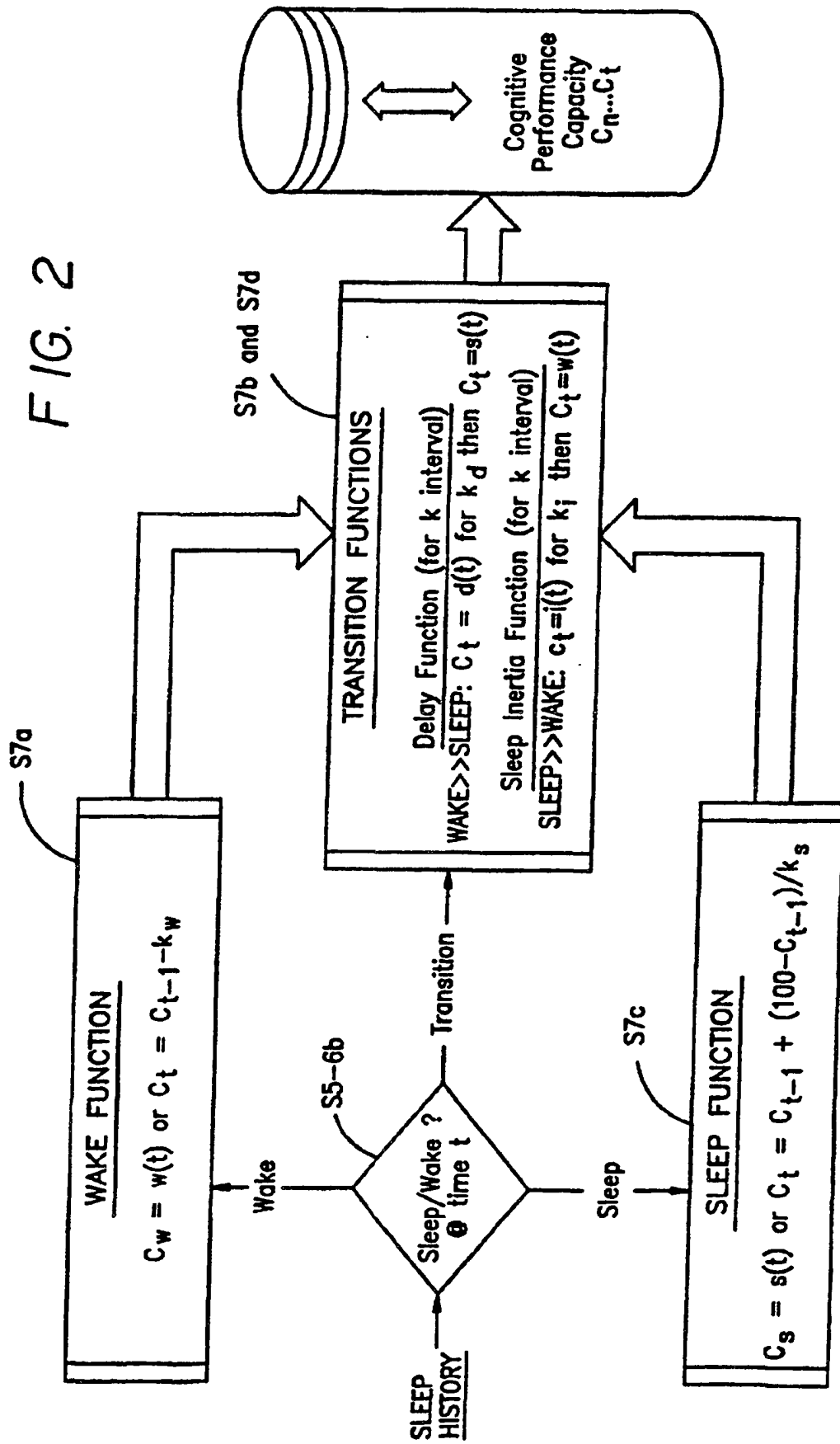


FIG. 3(a)

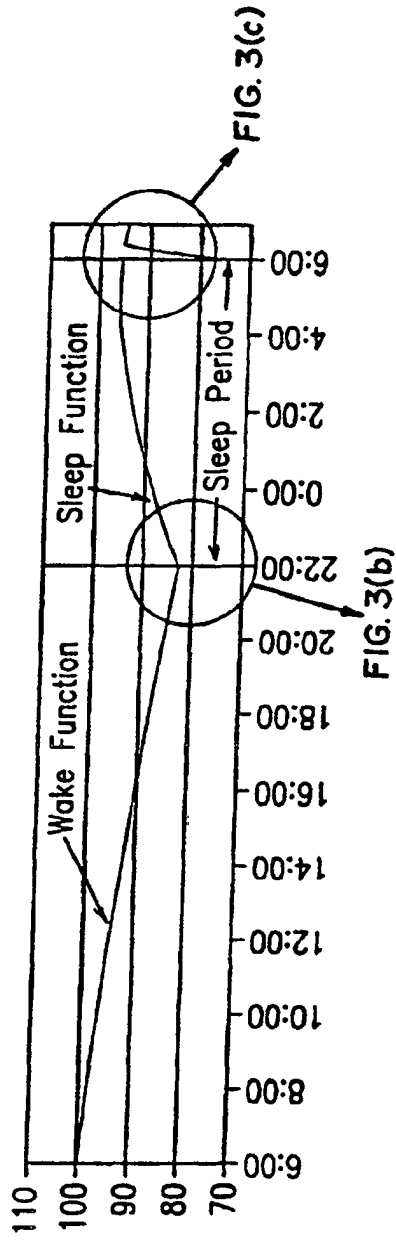


FIG. 3(b)

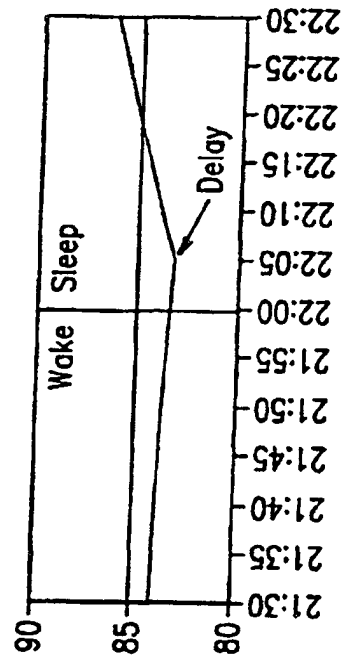


FIG. 3(c)

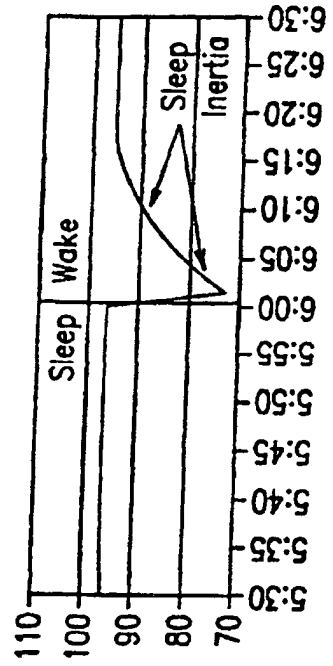


FIG. 4(a)

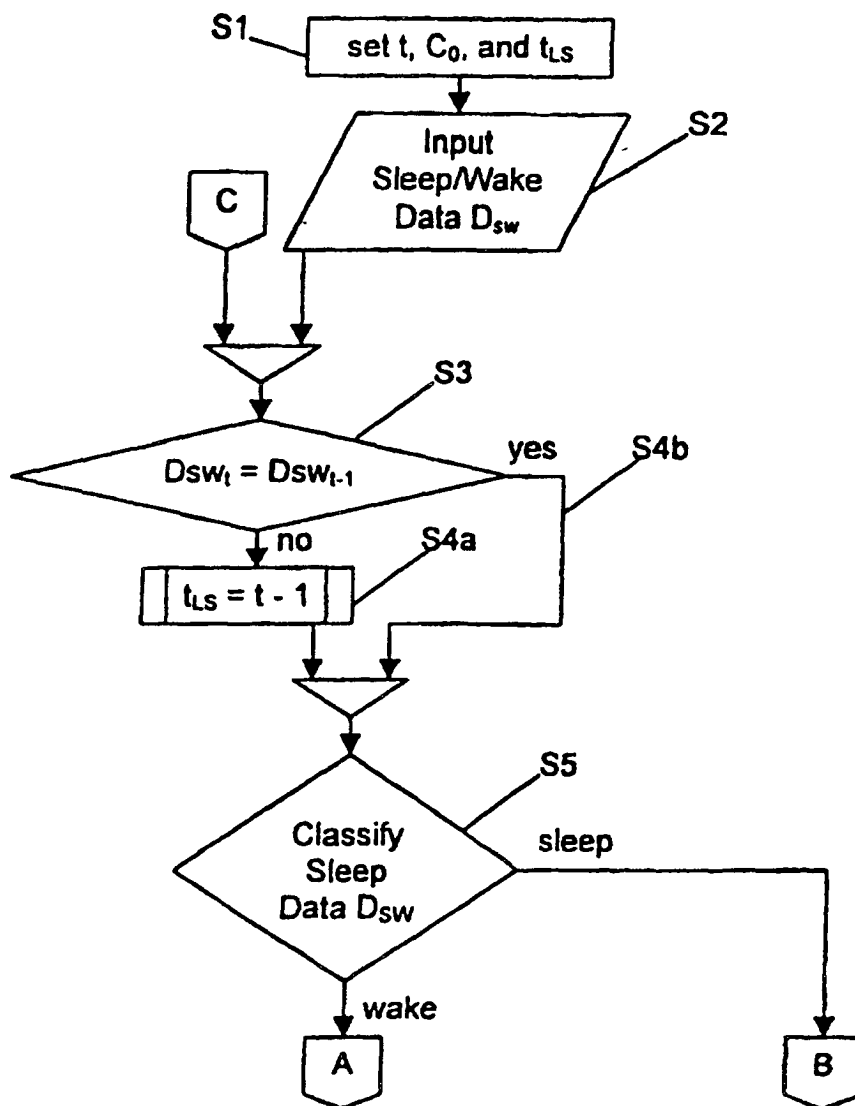


FIG. 4(b)

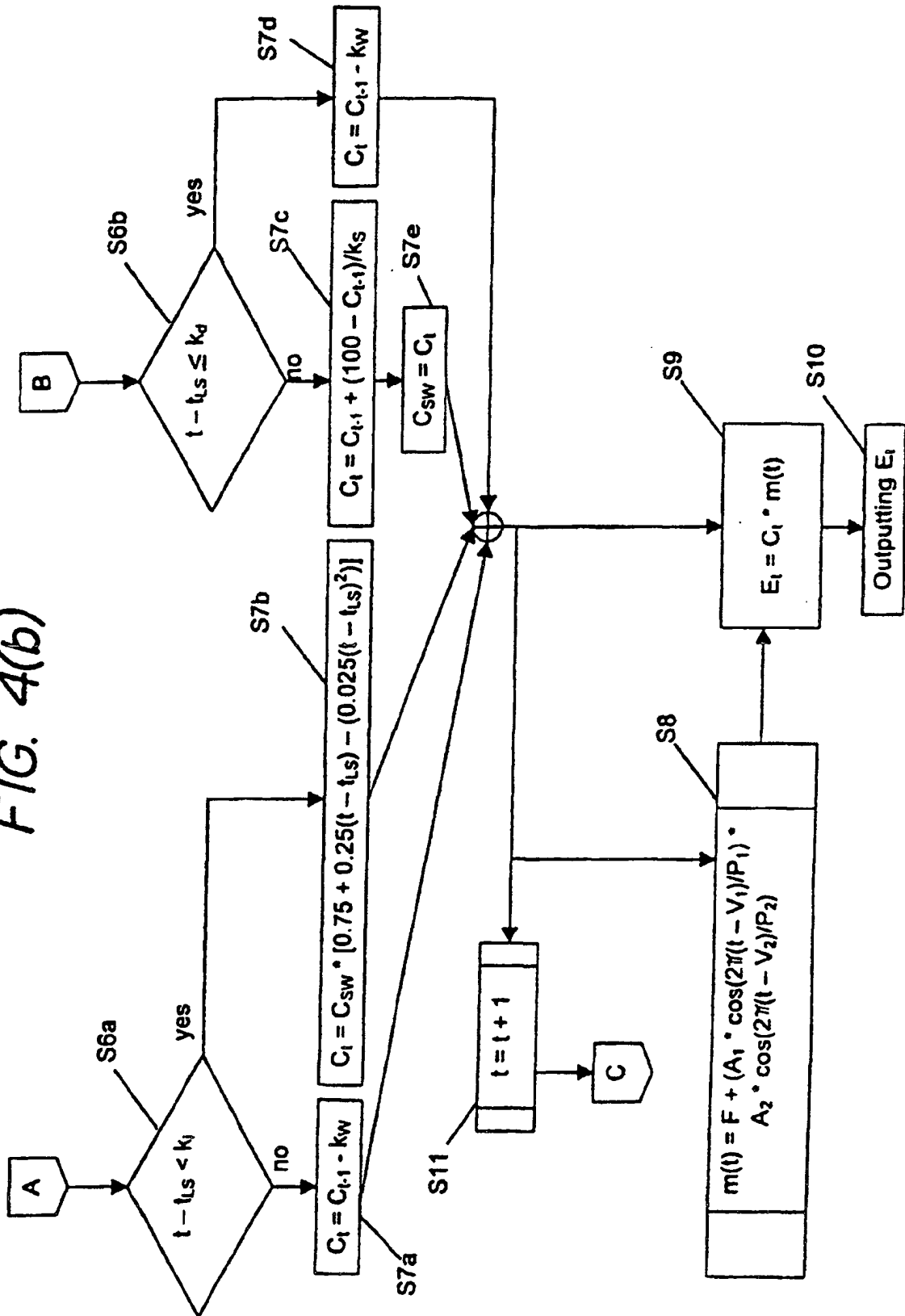


FIG. 5

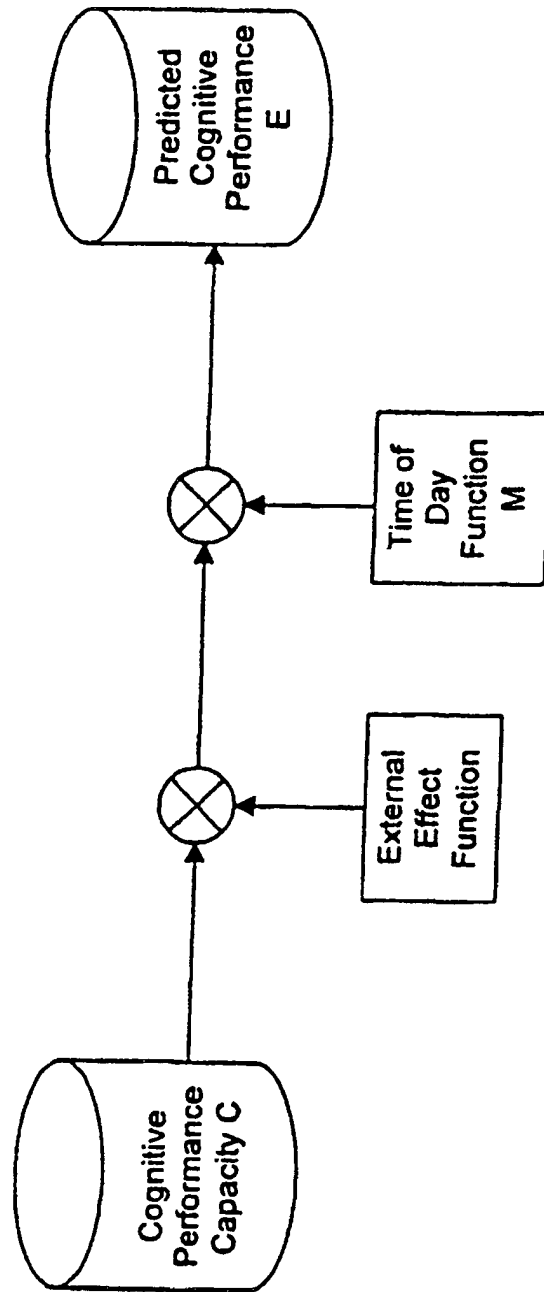


FIG. 6

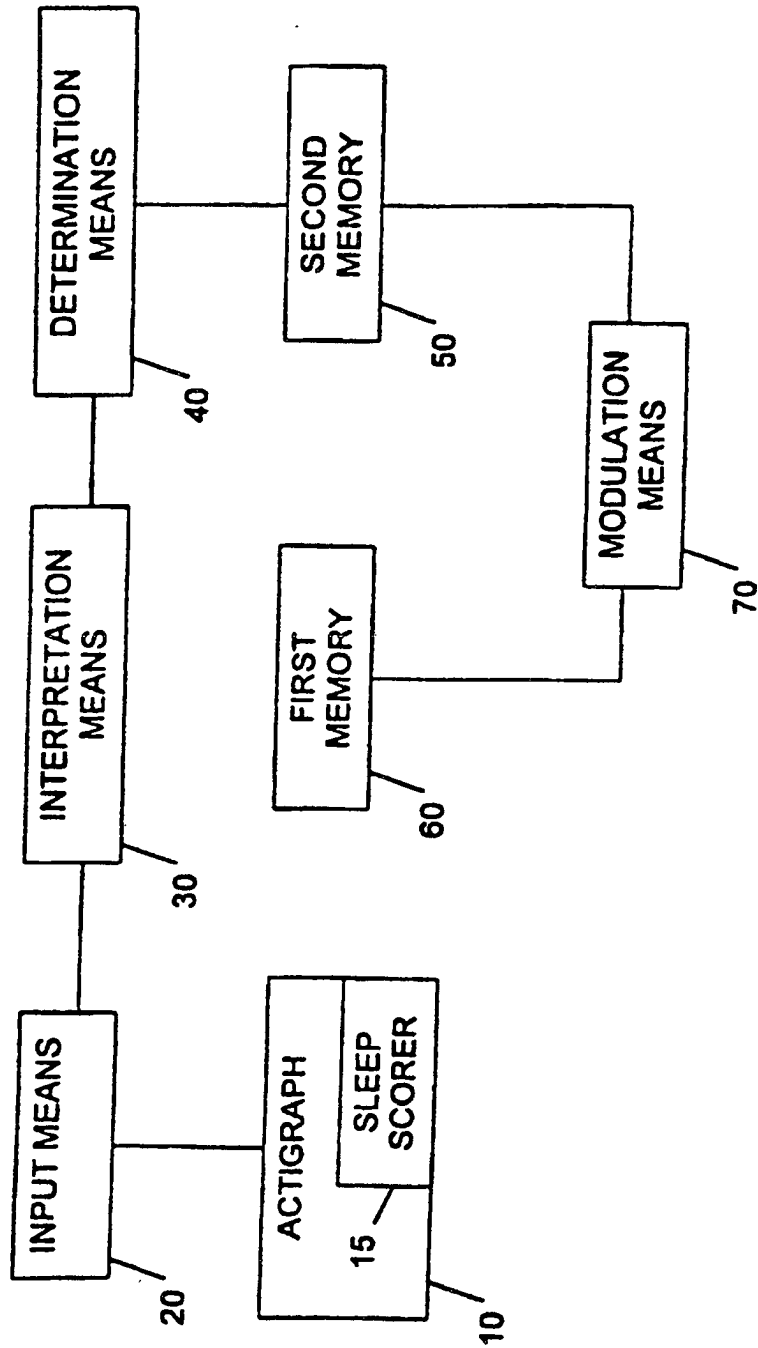


FIG. 7(a)

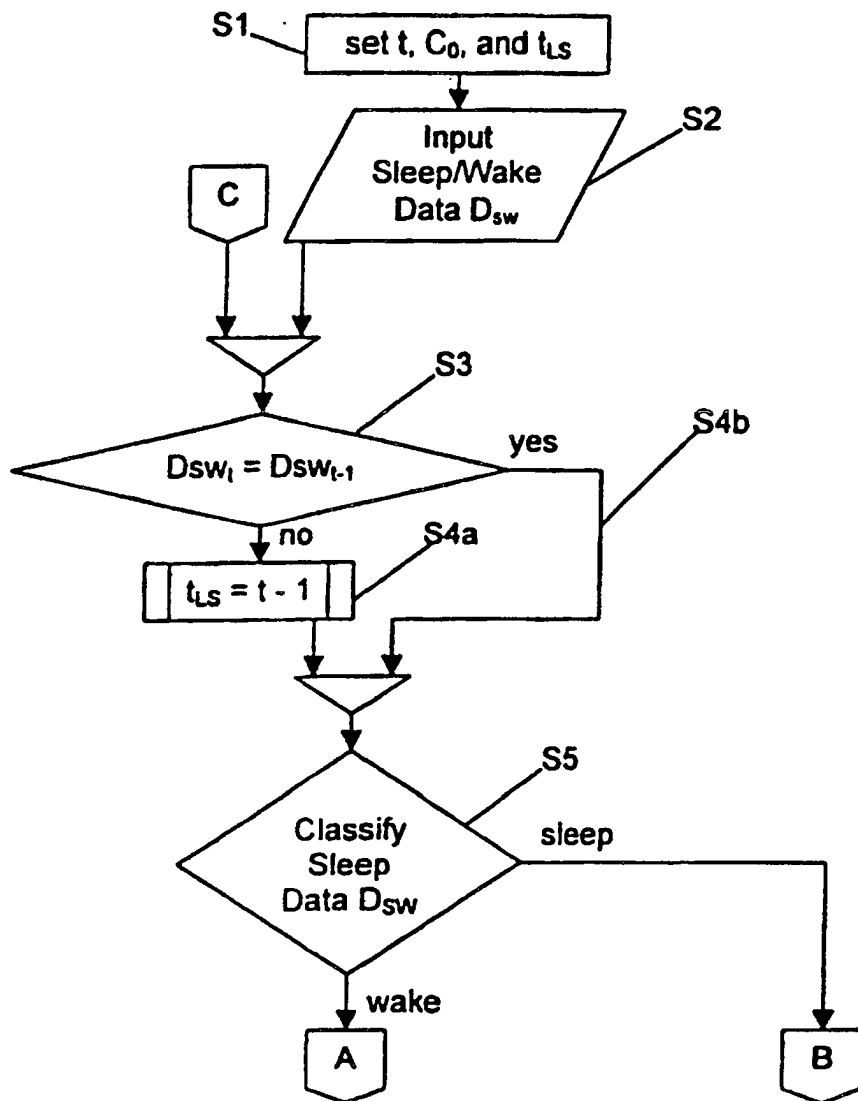


FIG. 7(b)

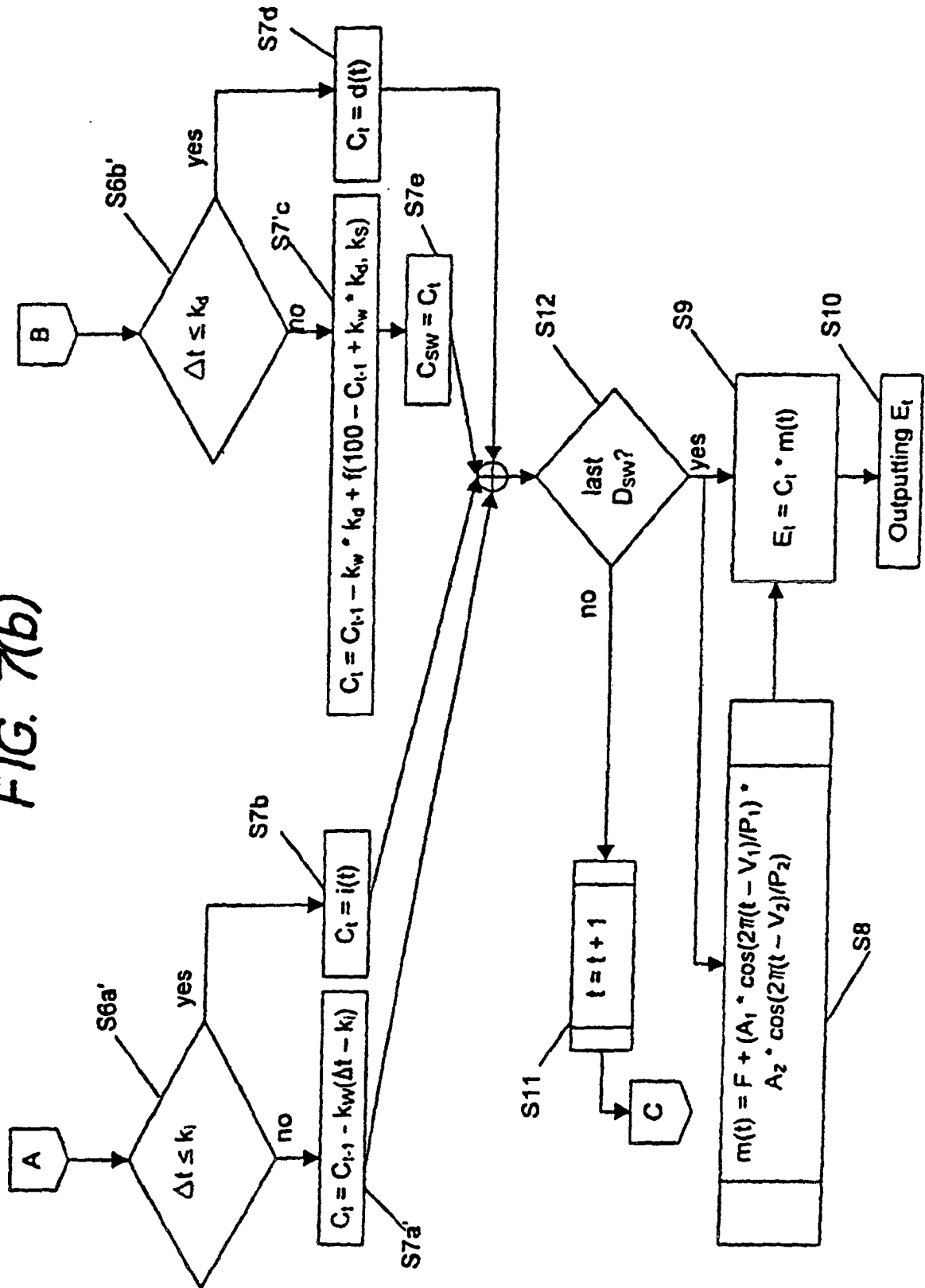


FIG. 8

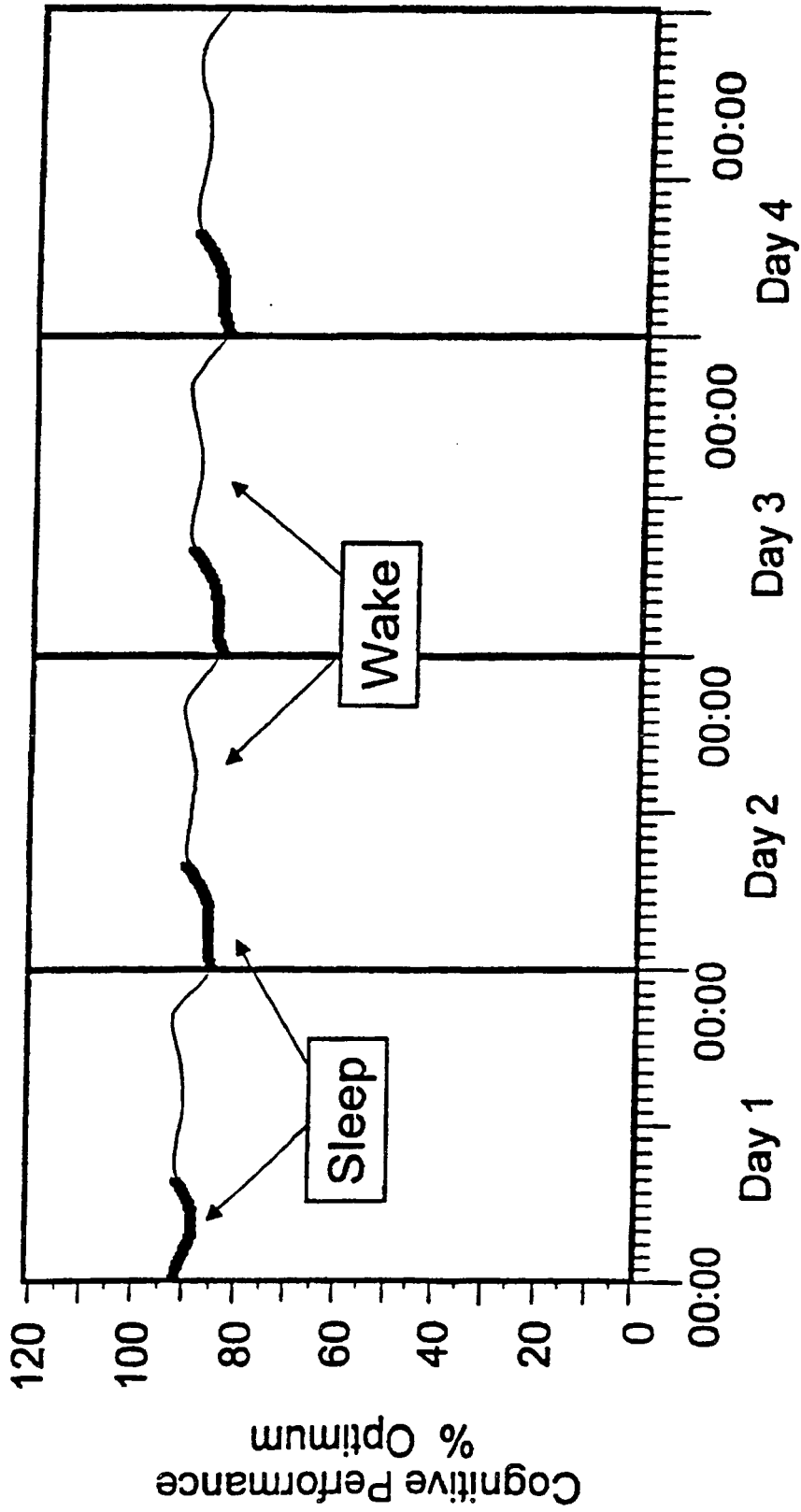


FIG. 9

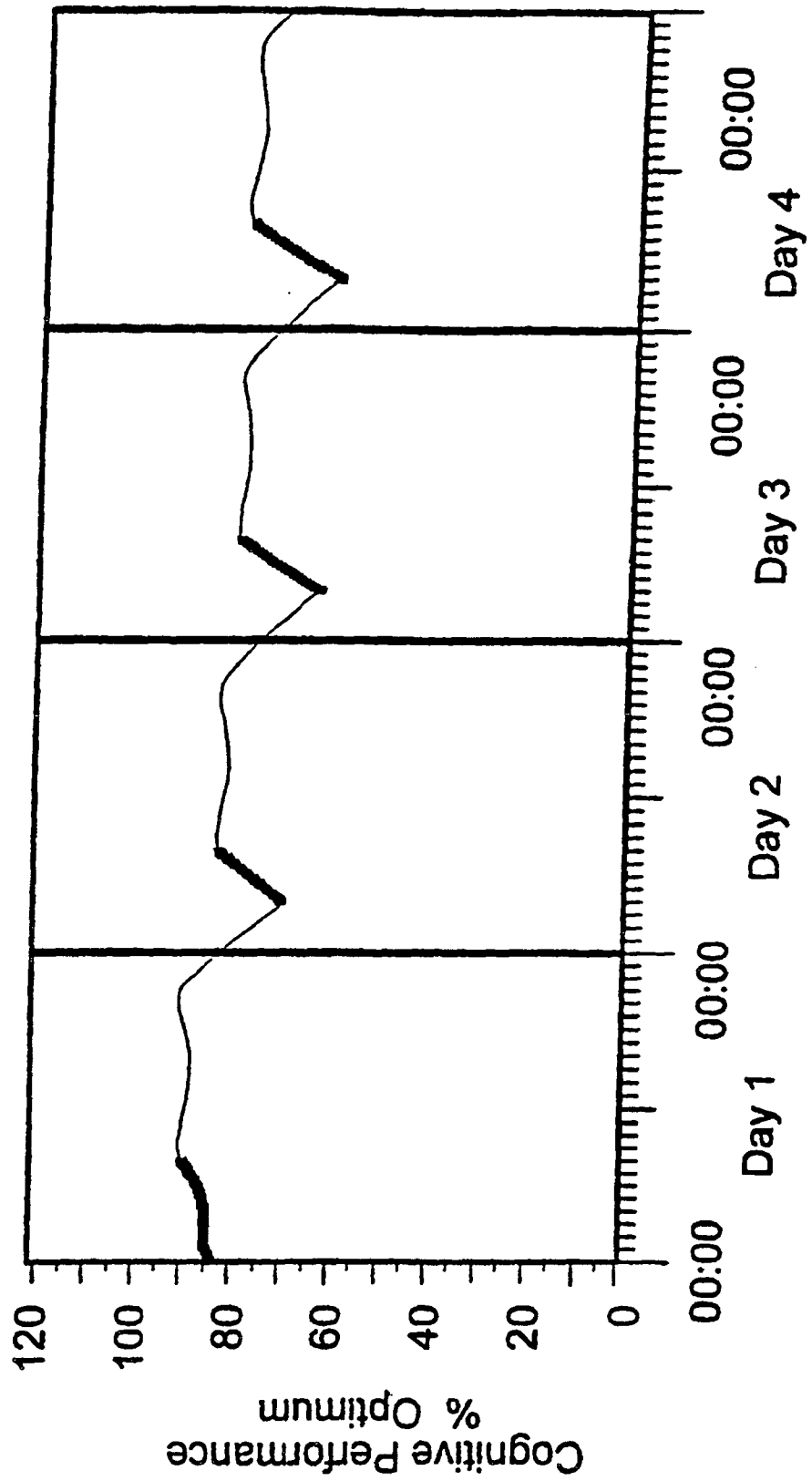


FIG. 10

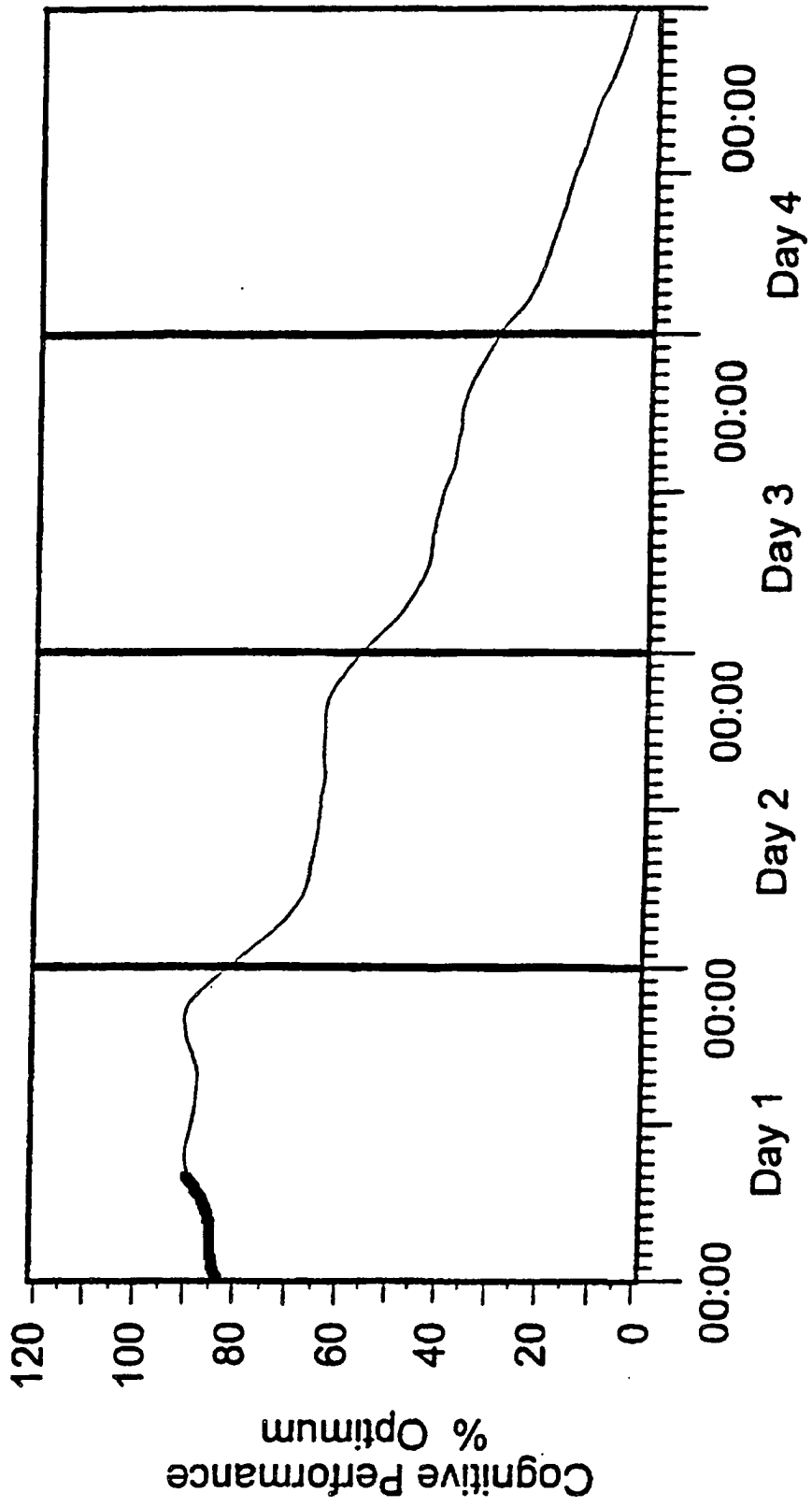


FIG. 11

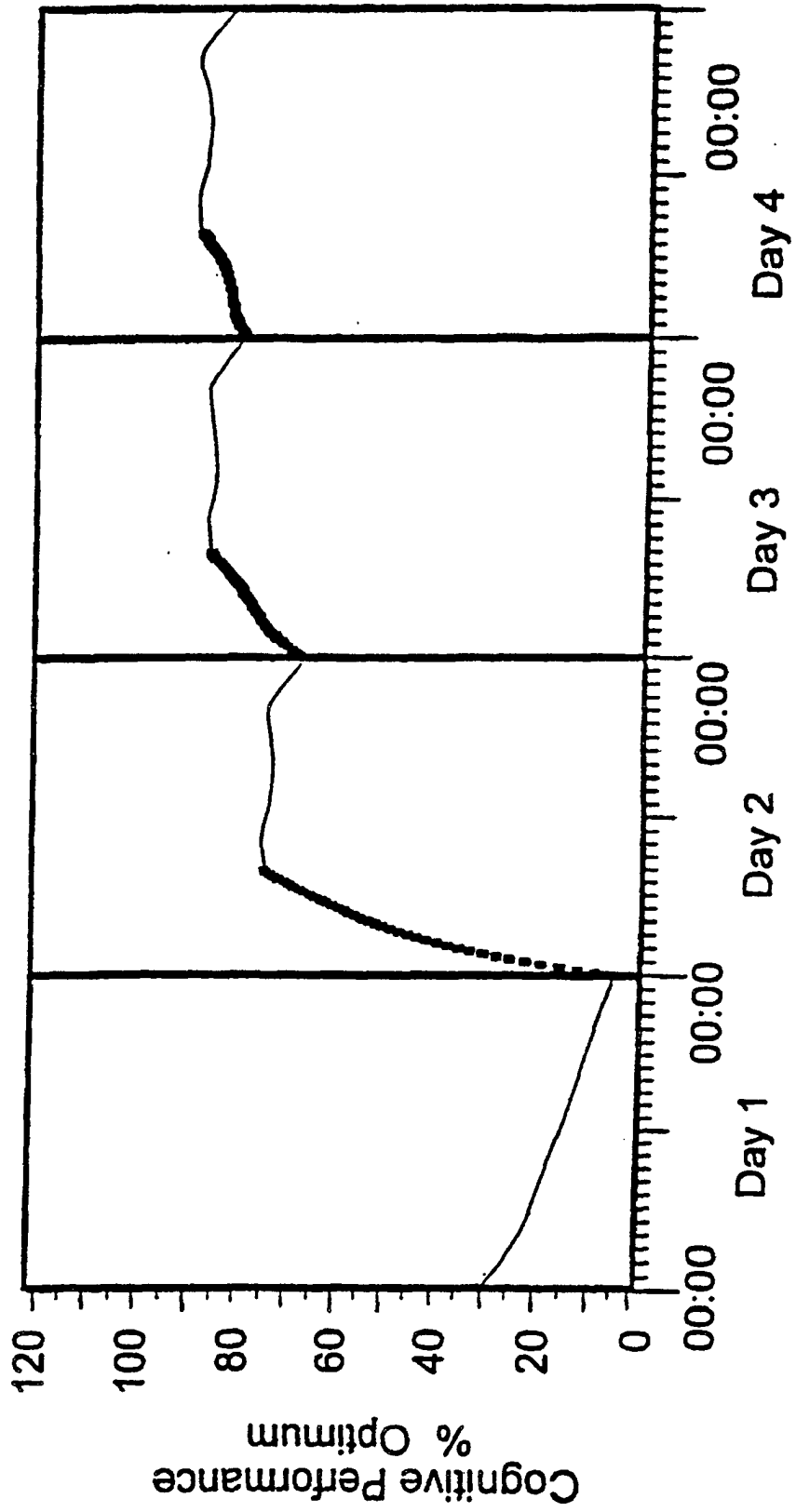


FIG. 12

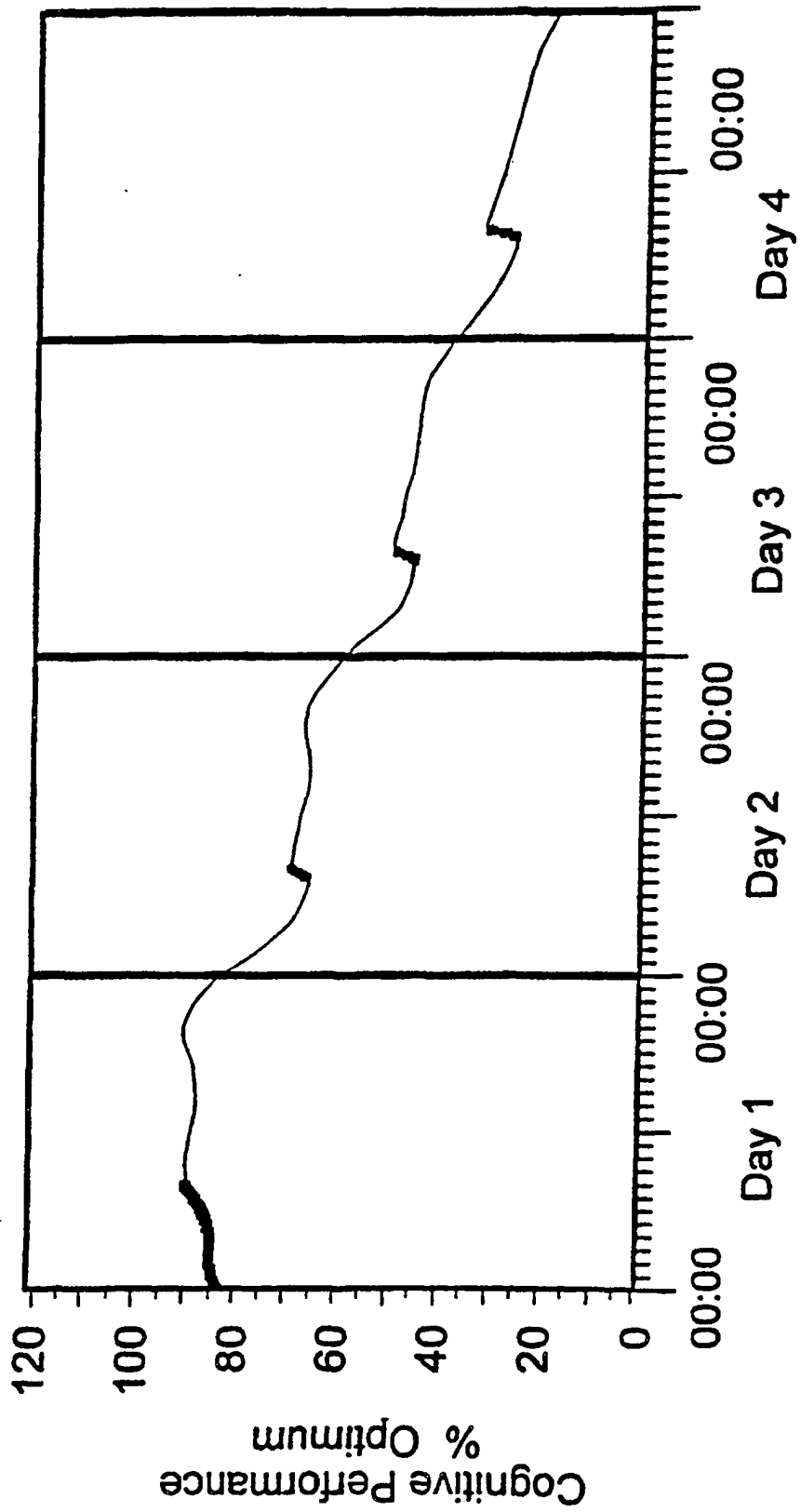


FIG. 13

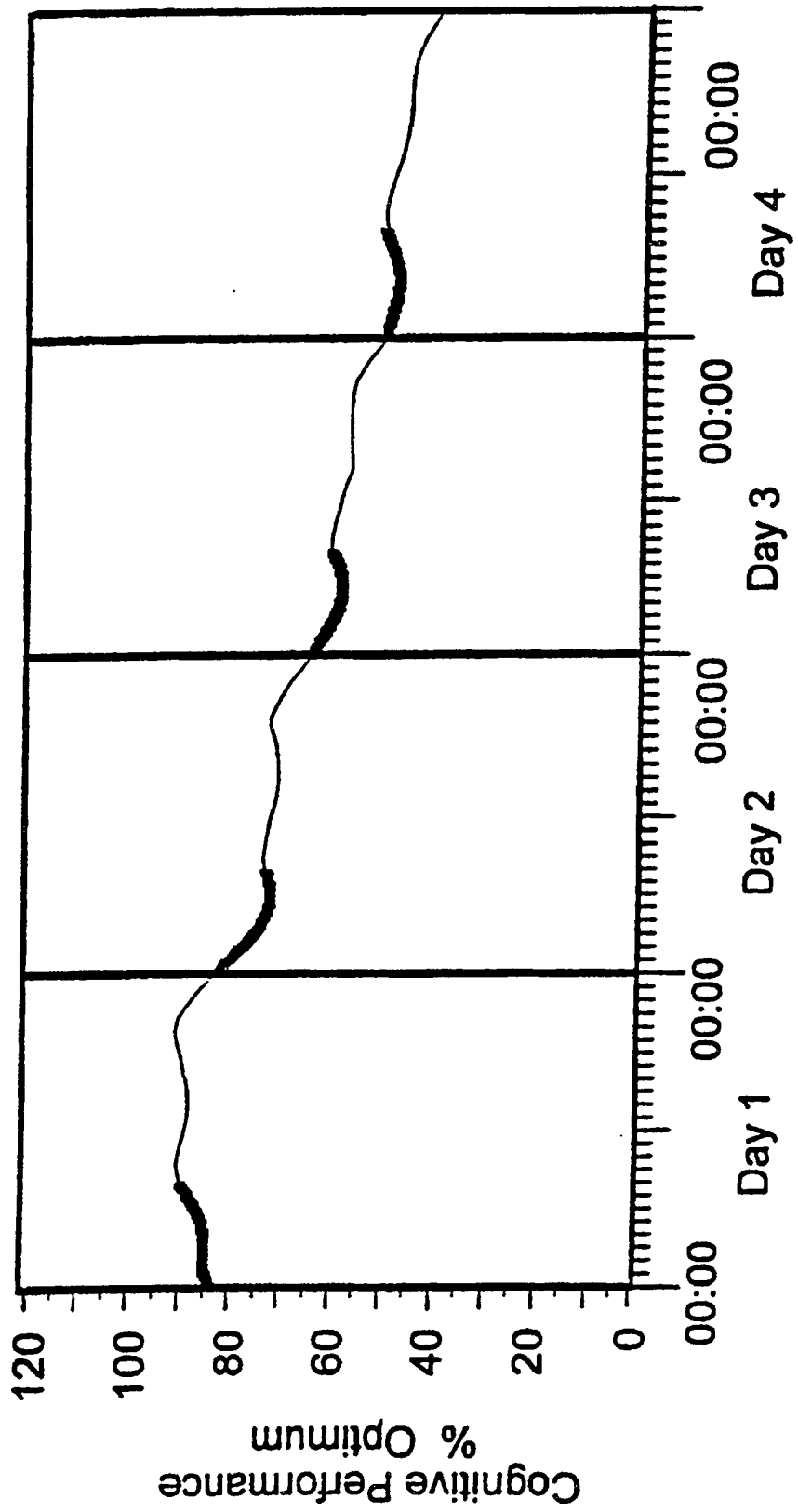


FIG. 14

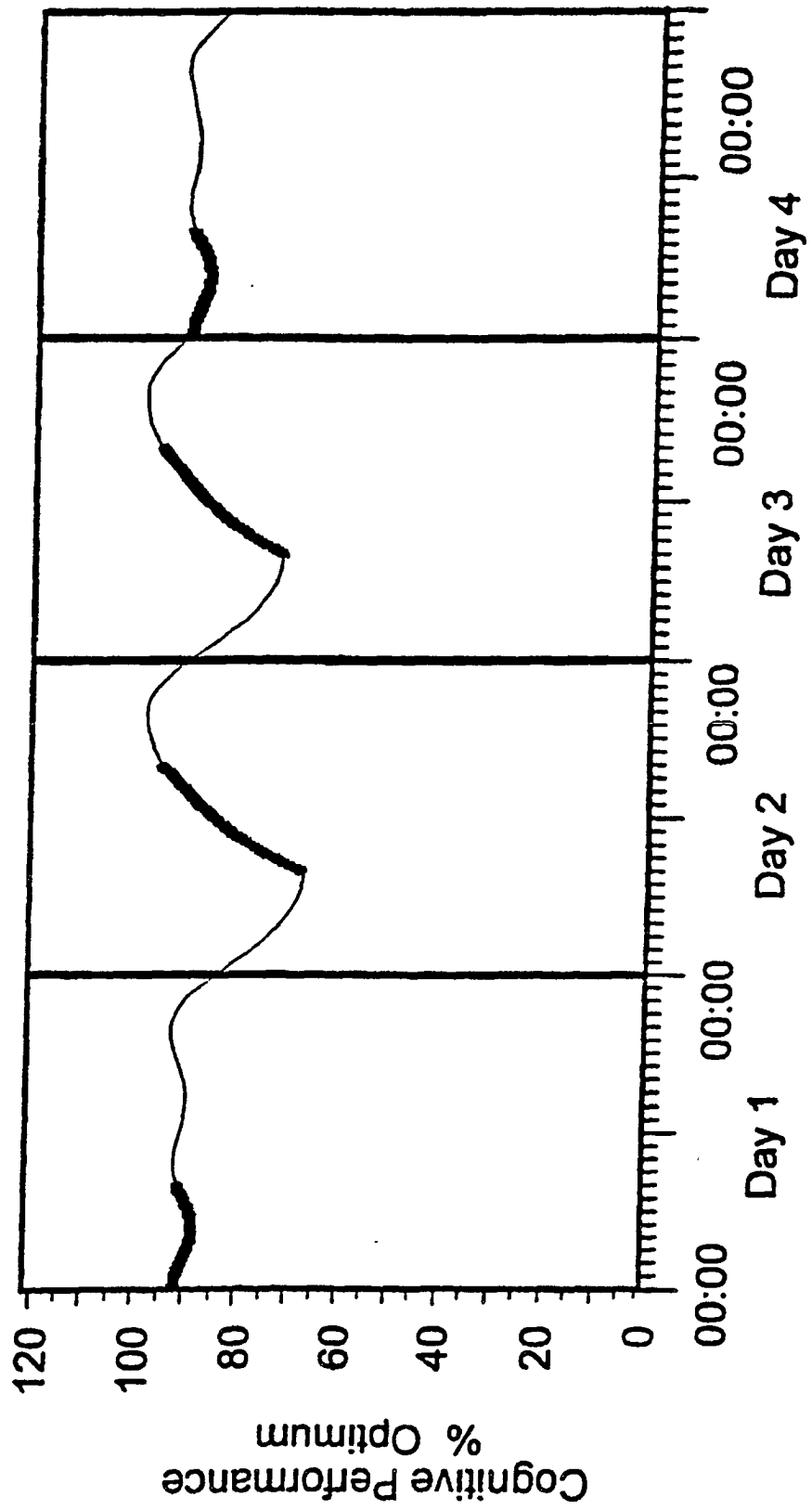


FIG. 15

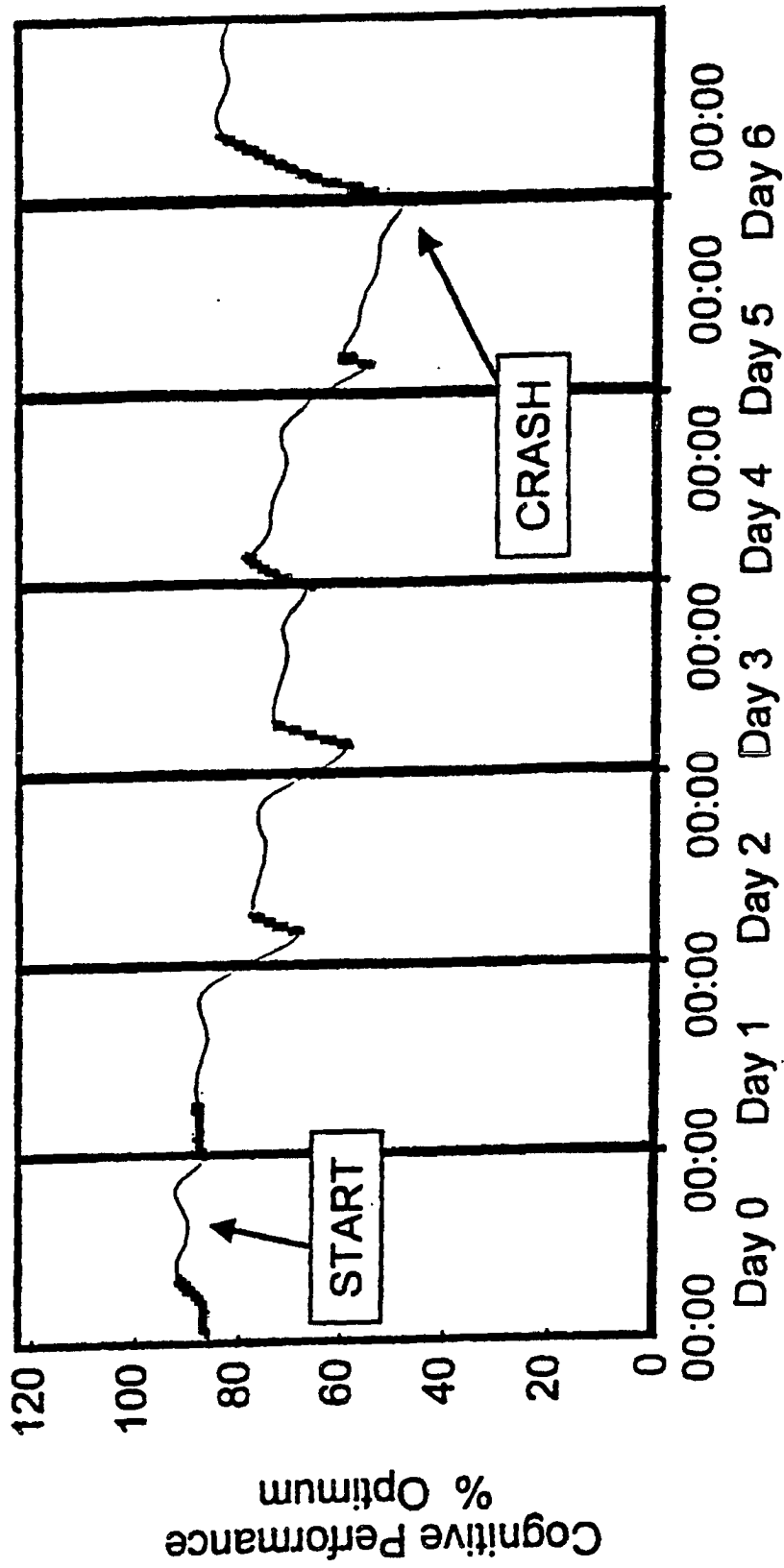


FIG. 16

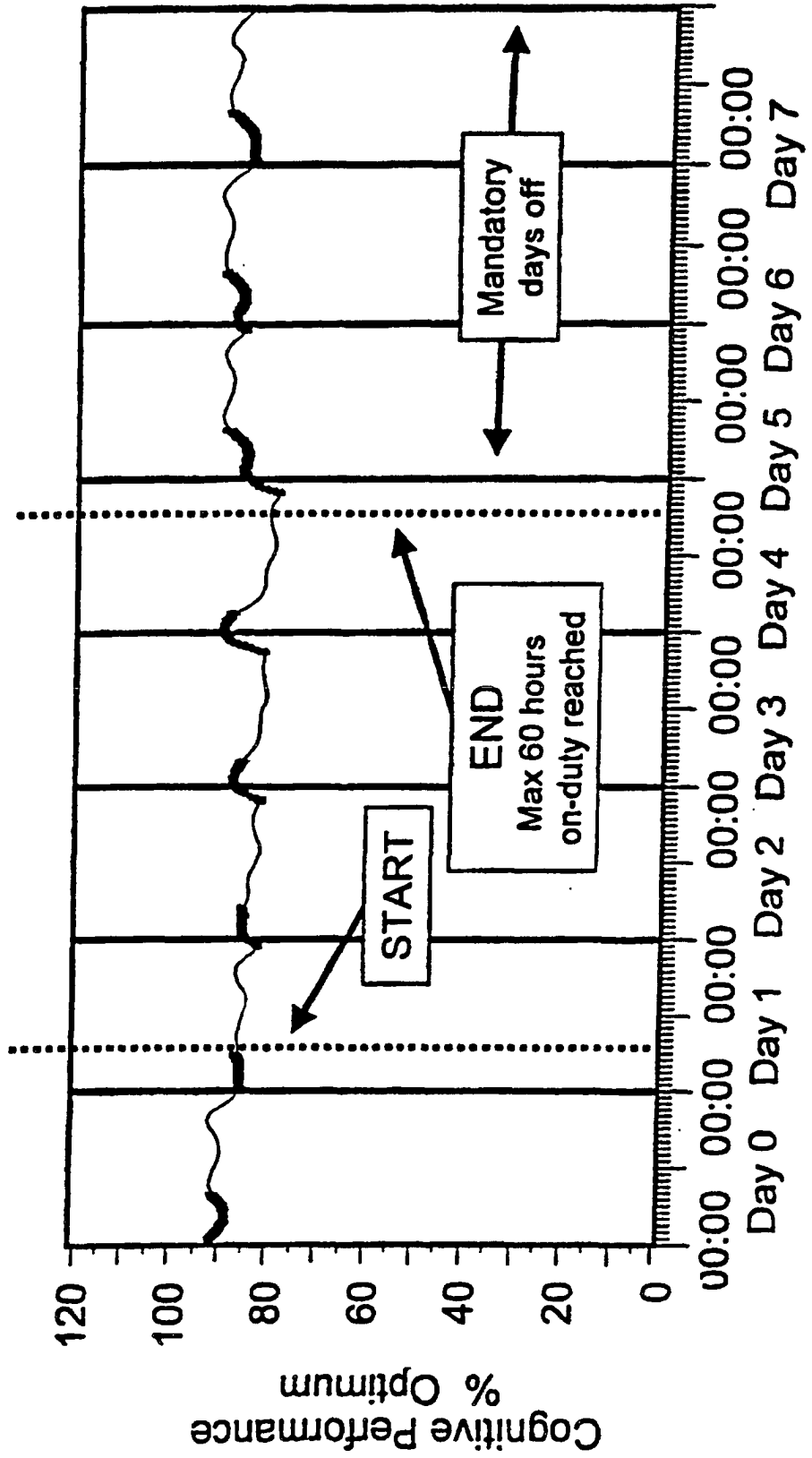
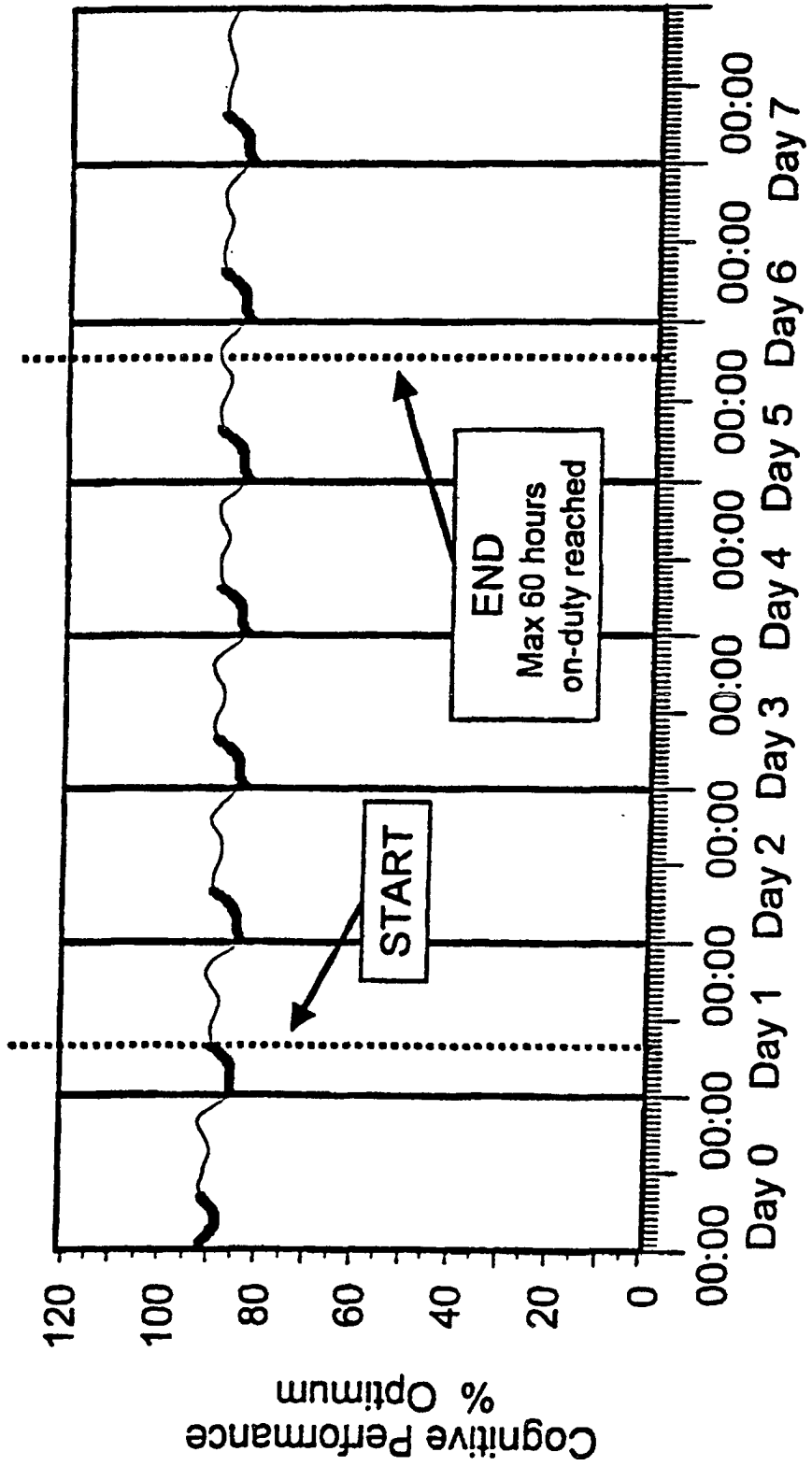


FIG. 17



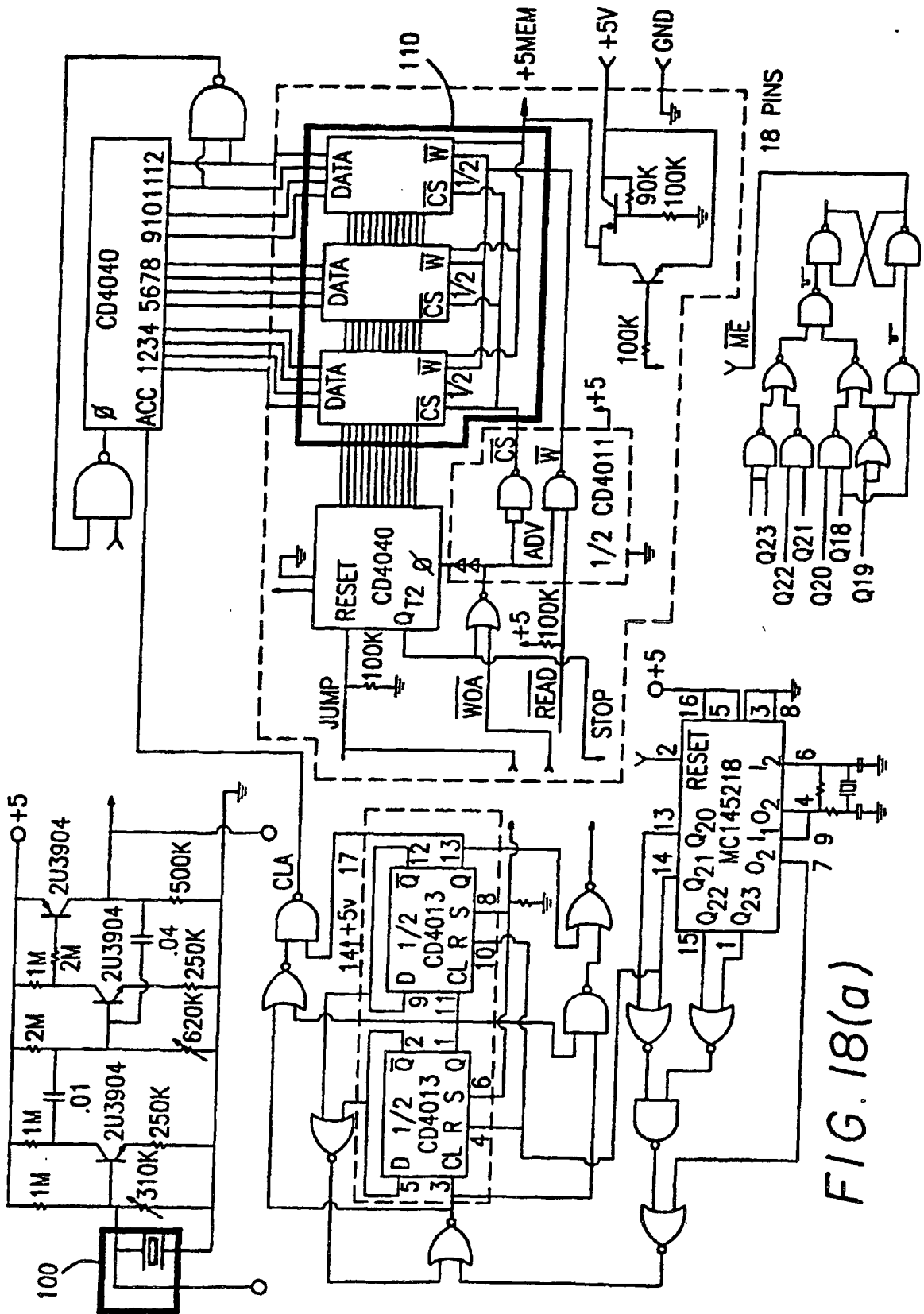


FIG. 18(a)

FIG. 18(b)

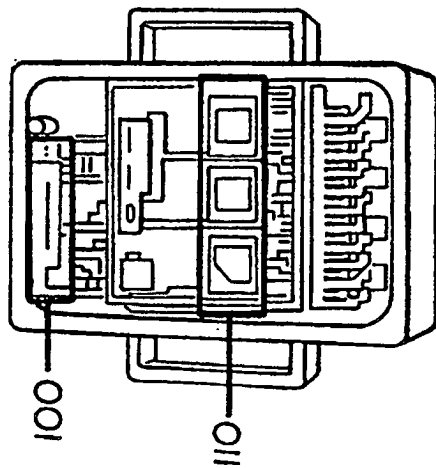


FIG. 19(b)

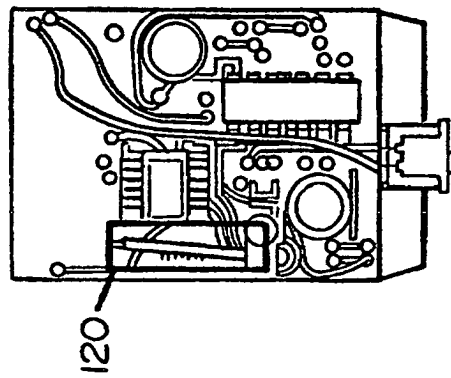


FIG. 19(c)

