

BIOKYBERNETIK

Eine biologisch gesteuerte interaktive Schnittstelle

DAVE WARNER, JEFF SALE, TODD ANDERSON, JO JOHANSON

"Abenteuer im nächsten Paradigma der Mensch-Maschine-Interaktion"

Die Kapazität von Computern, riesige Datenmengen zu empfangen, zu verarbeiten und zu senden, ist ständig im Steigen begriffen. Die gegenwärtigen Bemühungen, neue Technologien für die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine zu entwickeln, brachten uns Datenhandschuh, Bewegungssensor, 3D-Ton und -Graphik. Derartige Hilfsmittel erhöhen unsere Fähigkeit beträchtlich, mit dieser wachsenden Informationsflut zu interagieren. Interaktive Schnittstellen-Technologien, die sich aus dem nächsten Paradigma der Mensch-Maschine-Interaktion ergeben, tasten bioelektrische Signale (von der Tätigkeit der Augen, Muskeln und des Gehirns herrührend) als Direkteingabe ab und bieten Informationen auf eine Weise dar, die sich die psycho-physiologische Signalverarbeitung des menschlichen Nervensystems (Psychophysik der Wahrnehmung) zunutze macht. Das nächste Paradigma der Mensch-Maschine-Schnittstelle wird die Technik optimal an die Physiologie anpassen — es handelt sich also um eine biologisch gesteuerte interaktive Schnittstelle.

"BIOKYBERNETIK"

Interaktive Informationstechnologie

Jede Technologie, die unsere Fähigkeit erhöht, Informationen auf eine interaktive Weise zu erstellen/ auszudrücken/ abzurufen/ zu analysieren/ zu verarbeiten/ mitzuteilen/ zu erleben, ist eine interaktive Informationstechnologie. Die Biokybernetik optimiert die interaktive Schnittstelle und stellt eine Technologie in Aussicht, die die Lebensqualität von real existierenden Menschen in unserer Zeit wesentlich verbessern kann. Das nächste Paradigma der Schnittstellen-Technologie basiert auf neuen physiologisch und kognitiv orientierten Theorien der Mensch-Maschine-Interaktion. Dieses zukünftige Paradigma der Interaktion zwischen Mensch und Computer umfaßt Technologien mit Vielfach-Abtastung, die anhaltende Auswirkungen auf unsere Wahrnehmung haben, und natürliche Benutzerschnittstellen-Elemente, die eine Vielzahl von physiologischen Parametern gleichzeitig messen und als Eingabedaten verwenden. Eine biologisch optimierte interaktive Informationstechnologie besitzt das Potential, eine effektive Kommunikation zu erleichtern. Diese erhöhte Effektivität hat in Form von "erhöhter Expressivität" Auswirkungen sowohl auf die Mensch-Maschine-Kommunikation als auch auf die zwischenmenschliche Kommunikation. In vielen Bereichen ist die Arbeit an der Mensch-Maschine-Interaktion ein ständiger Forschungsgegenstand. Diese Forschungen haben die Aufmerksamkeit verschiedener Berufsverbände auf sich gezogen, insbesondere der Unterhaltungsindustrie, der Flugzeugindustrie, der Kommunikationstechnologie und der Bildungstechnologie sowie der Medizin. Alle diese verschiedenen Bereiche werden auf vielfache Weise vom Fortschritt in den Technologien, die die Mensch-Maschine-Interaktion verbessern, beeinflußt.

Eine Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle muß auf den Erkenntnissen der Physiologie und der Neuropsychologie beruhen, das heißt, je mehr wir über die Art und Weise erfahren, auf die wir physiologisch Informationen aufnehmen, desto besser werden wir auch über die optimale Interaktion zwischen Mensch und intelligenten Informationssystemen Bescheid wissen. Das nächste Paradigma wird die "VERDÜNNUNG" der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu einer biologischen Durchsichtigkeit mit sich bringen, so daß die Schnittstelle sehr nahe am menschlichen Körper liegen wird.

Physiologisch orientiertes Schnittstellen-Design

Die Erkenntnisse der Sinnesphysiologie und der Psychophysik der Wahrnehmung werden dazu herangezogen, unsere zukünftige Interaktion mit dem Computer zu optimieren. Dadurch, daß wir die Anzahl und die Variationen der gleichzeitig erfolgenden sensorischen Eindrücke erhöhen, können wir den menschlichen Körper zu einem integralen Bestandteil des Informationssystems machen, zu "einem sensorisch-kombinetrischen Integrator". Wir können dann die räumlichen Parameter des optimalen Wahrnehmungszustandes bestimmen, bei denen die Informationen am besten dargeboten werden können, d.h. welche Art von Informationen für jede einzelne Sinnesmodalität am besten dargeboten werden kann, also eine "sinnesspezifische Optimierung der dargebotenen Informationen". Die Erforschung der menschlichen Sinnesphysiologie, insbesondere der Umformungsmechanismen unserer Sinne, zeigt, daß unser Nervensystem Anlagen enthält, die für das Erkennen bestimmter Eigenschaften von räumlich dargebotenen Informationen, zeitlich dargebotenen Informationen und Texturen optimiert sind. Auf den Fähigkeiten dieser neurophysiologischen Strukturen aufbauende Modelle der Informationsverarbeitung kommen unseren Bemühungen entgegen, die Wahrnehmung komplexer Beziehungen durch die Integration visueller, binauraler und taktiler Modalitäten zu verbessern. Die Verwendung der natürlichen bioelektrischen Energie als Signalquelle für den Input ermöglicht es, mit Hilfe der Elektroenzephalographie, Elektrookulographie und Elektromyographie (Aufzeichnung der elektrischen Ströme von Gehirn, Auge und Muskel) in hohem Maße interaktive Systeme zu schaffen, in denen diese biologischen Signale bestimmte Ereignisse initiieren. Eine solche Echtzeitanalyse ermöglicht ein multimodales Feedback und Interaktionen in geschlossenen Regelkreisen.

Biokybernetische Steuerung

Die interaktive Schnittstellen-Technologie bietet den menschlichen Sinnessystemen inhaltspezifische Informationen dar und führt auf diese Weise zu einem anhaltenden Wahrnehmungseffekt, während sie gleichzeitig die menschliche Reaktion in Form von physiometrischen Gesten, Sprache, Augenbewegungen und verschiedenen anderen Eingabeparametern mißt. Eine solche quantitative Messung der Aktivität während zweckmäßiger Aufgaben erlaubt es uns, den jeweiligen individuellen kognitiven Stil quantitativ zu charakterisieren. Das dürfte sich als nützliches Werkzeug zur Charakterisierung der komplexen Natur normaler und beeinträchtigter Leistung erweisen. Die zukünftigen Systeme werden die Handlungen eines Benutzers überwachen, aus ihnen lernen und sich durch Veränderung bestimmter Aspekte der Systemkonfiguration so anpassen, daß die Leistung optimiert wird. Durch Immersion der externen Sinne und wiederholte Interaktion mit durch Biosignale ausgelösten Ereignissen können komplexe Aufgaben leichter ausgeführt werden.

Dieser Paradigmenwechsel der Massenkommunikations- und -informationstechnologien bietet eine hochinteressante Möglichkeit, den raschen Austausch relevanter Informationen zu erleichtern und erhöht dadurch die individuelle Produktivität von Personen in der Informationsindustrie. Gebiete wie z.B. computerunterstützte Zusammenarbeit, Wissenstechnologie, Expertensysteme, interaktives Aufmerksamkeitstraining und adaptive Task-Analyse, werden durch diese erhöhte Informatikfähigkeit wesentlich verändert werden. Die psychosozialen Implikationen dieser technologisch vermittelten Mensch-Maschine-Kommunikation und zwischenmenschlichen Kommunikation sind sehr weitreichend. Die Bereitstellung des Wissens und der Technologie, die den Menschen in die Lage versetzen, mit Hilfe der Informationstechnologie eine Verbesserung zu erreichen, fördert vielleicht auch die

Entwicklung eines sozialen Verantwortungsgefühls bezüglich der Verwendung dieser Technologie und könnte einen wesentlichen Fortschritt in der modernen gesellschaftlichen Entwicklung darstellen. Anwendungen, die zu einer Verbesserung der Lebensqualität beitragen, wie z.B. Anwendungen in der Medizin, Pädagogik, Erholung und Kommunikation, müssen gesellschaftliche Priorität erhalten.

Die Anwendung der Technologie zur Verbesserung der Lebensqualität

Das Potential dieser technologischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Lebensqualität läßt sich am besten durch die Anwendung im Leben wirklicher Menschen mit wirklichen Bedürfnissen verstehen. Das Human-Performance-Institute am Medical-Center der Loma-Linda-University ist ein interdisziplinäres Forschungszentrum, das in dem Bemühen, die neuesten technologischen Entwicklungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle zur Verbesserung der Lebensqualität einzusetzen, eine führende Rolle spielt. Das Hauptforschungsgebiet ist die Entwicklung von interaktiven Schnittstellen, die es Schwerstbehinderten ermöglichen, ein produktives Leben zu führen, und die Planung von Umgebungssystemen, die die empirische Interaktion mit Informationssystemen so unterstützen, daß sie dadurch zur Aufrechterhaltung eines guten Gesundheitszustands beitragen.

Im folgenden seien einige tatsächliche Fälle aufgezählt, um den Nutzen dieser Technologie für die Zukunft von Behinderten aufzuzeigen.

— Crystal, ein 18 Monate altes Mädchen mit "C1-Tetraplegie" (vom Hals abwärts vollständig gelähmt, benötigt zum Atmen ein Beatmungsgerät) war die erste, bei der diese biokybernetische Technologie im medizinischen Bereich Verwendung fand. Die Verarbeitung von Veränderungen des elektrischen Potentials entlang der Augenmuskeln und der benachbarten Muskeln zu einem biologischen Signal erlaubte es dem Kind, in Echtzeit mit den Bildschirmbildern zu interagieren, d.h. bei der Erzeugung von Befehlen für den Bildschirm "übernahmen seine Augen die Funktion der Hände". Die Aktivität war direkt und die Implikationen waren weitreichend: das Mädchen konnte in eine einheitliche Rückkoppelungsschleife eintreten, in der die direkte Echtzeitreaktion auf ein physiologisches Signal dazu benutzt wurde, diesen psychophysiologischen Ausgangszustand zu verbessern. In ihrem Fall wurde also die Fähigkeit zu lernen und mit der Welt willentlich zu interagieren wiederhergestellt.

— Andy, ein zehnjähriger Junge mit "C2-Tetraplegie", dessen Sprechen durch den Atemrhythmus seines Beatmungsgerätes so sehr eingeschränkt ist, daß er mehr als eine Minute braucht, um eine verbale Bitte vorzubringen, fand sich in einer dreidimensional gewordenen Umwelt, in der ihm durch seine Gesichtsmuskeln ausgedrückte Befehle ermöglichten, in einer dreidimensionalen Computerumgebung "umherzuflitzen". Es war seit fünf Jahren das erste Mal, daß er imstande war, irgend etwas in seiner Umgebung ohne fremde Hilfe willentlich zu steuern.

— Ein 17 jähriger Jugendlicher, das Opfer eines Autounfalles, wurde dazu motiviert, seine eingeschränkten psychomotorischen Fähigkeiten durch ein interaktives "Luftgitarre"-System zu verbessern, das die schwachen bioelektrischen Signale von seinen beeinträchtigten Muskeln in Rock-and-Roll-Musik umsetzte.

Wir haben auch ein BioAuto entwickelt, eine primitive, aber dennoch funktionelle Demonstration von direkt biokybernetisch gesteuerten telerobotischen Geräten. Das BioAuto

demonstriert auf einfache Weise, wie die Biosignale dazu verwendet werden können, Gegenstände in unserer Umgebung zu steuern. Für diese Demonstration wurde ein ferngesteuertes Auto der Firma Radio Shack so adaptiert, daß es über die parallele Anschlußstelle eines üblichen IBM-kompatiblen PCs gesteuert werden kann. Da es nur sieben verschiedene Funktionen gibt (eine Proportionalsteuerung gibt es nicht), die das Auto ausführen kann (geradeaus vorwärts, nach links vorwärts, nach rechts vorwärts, stehenbleiben, Rückwärtsgang geradeaus, Rückwärtsgang nach links und Rückwärtsgang nach rechts), sind mindestens drei Paar Elektroden notwendig, um alle Funktionen zu steuern ($2^3=8$). Die Software des BioAutos ist dafür verantwortlich, die bioelektrischen Signale vom Benutzer zu interpretieren und die Befehle an das ferngesteuerte Auto zu senden.

— Michael, ein 27 jähriger Ingenieur, der seit kurzem aufgrund eines Autounfalls gelähmt ist, konnte das BioAuto mit Hilfe seiner Gesichts- und Armmuskeln auf einem sehr komplizierten Kurs steuern. Dasselbe System, das es ihm ermöglichte, dieses Spielzeugauto zu steuern, könnte leicht für die Steuerung seines Rollstuhls oder eines Roboterarms adaptiert werden. Durch das biokybernetische Schnittstellendesign ist es also möglich, Behinderte in die Lage zu versetzen, funktionelle Mitglieder unserer Gesellschaft zu werden.

Ein weiteres Bemühen unseres Laboratoriums ging dahin, die Anwendung dieser biokybernetischen Steuerung auszuweiten. Wir adaptierten ein Nintendo-Spiel so, daß es von unserem System Befehle entgegennahm, als ob sie von der üblichen Handsteuerung herrührten. Diese einfache Adaption ermöglicht es behinderten Kindern, mit der ihnen verbleibenden Muskelaktivität, dieselben Spiele zu spielen wie normale Kinder. Diese generalisierte biokybernetische Steuerung eröffnet den Zugang zu einer enormen Fülle von faszinierenden Spielen, die in Rehabilitationstherapien integriert werden können. Auf diese Weise erhalten wir von Patienten viel früher als bisher koordinierte Bewegungen. Anstelle irgendeiner beliebigen Aufgabe können sie mit Computer-generierten Gegenständen arbeiten, die mit bestimmten Bewegungen verbunden sind; so erhalten sie die entsprechende Rückkoppelung dadurch, daß sie sehen, wie sie einen virtuellen Gegenstand aufheben, selbst wenn ihnen die physische Kraft fehlt, den wirklichen Gegenstand aufzuheben.

Zukünftige Bemühungen werden sich darauf konzentrieren, die biokybernetische Steuerung über Spiele und Spielzeug hinaus für funktionelle Informationssysteme zu adaptieren. Die Fähigkeit, pädagogische interaktive multimediale Systeme zu bedienen, wird einen ganz neuen Bereich erschließen, in dem die menschliche Expressivität in Anwendungen optimiert werden kann, die das pädagogische Umfeld präzise auf die Fähigkeiten des einzelnen zuschneiden.

Kybernetischer Hedonismus

Der zweite Schwerpunkt unserer Arbeit ist die Entwicklung von in hohem Maße interaktiven biokybernetischen Systemen, in denen biologische Signale die Parameter einer Umweltkammer modifizieren können, wodurch es dem Benutzer ermöglicht wird, mit dreidimensionalen Umgebungen bioelektrisch zu kommunizieren. Wir glauben, daß derartige physiologisch modulierte Umgebungssysteme eine gesundheitserhaltende Wirkung besitzen können. Schnittstellen, die die Stimulierung steuern, können für jede Art von Biosignal adaptiert werden. Das Ergebnis ist die Möglichkeit, ein Stimulus-Regime herzustellen, das die Entspannung beschleunigt und die Streßreduktion erleichtert. Das ist eine Anwendung der Technologie im Interesse der Gesunderhaltung. "Der Nirvana-Expresß"

Ein Mikroskop des Geistes

Das Ziel ist es, diese Umgebungssteuersysteme zu neuen Methoden der Forschung auszubauen, wie z.B. zu einem Test der grundsätzlichen kognitiven Funktionalität oder der Fähigkeit, die Aufmerksamkeit aufrechtzuerhalten, die zur Lösung einer wiederholten Reihe von kognitiven Aufgaben notwendig ist. Die Verknüpfung von Sensordaten mit Parametern der Benutzerinteraktion erlaubt sinnvolle Korrelationen über verschiedene Leistungsmodalitäten hinweg. Ein Ziel dieser Anwendung ist die Bemühung, einen qualitativen Unterschied zwischen den beiden Leistungs-/Verhaltenszuständen zu identifizieren und dann verschiedene Methoden der Quantifizierung dieses Unterschiedes auf eine Weise zu erforschen, die sich verallgemeinern läßt.

Es wird postuliert, daß sich dabei ein Unterschied in der Modulation von einigen der natürlichen Rhythmen zeigen wird. Weiters wird postuliert, daß eine kognitiv induzierte Modifikation für eine bestimmte Person jeweils konsistent sein wird, zwischen verschiedenen Personen aber höchstwahrscheinlich unterschiedlich sein wird. Die psychosoziale Verhaltensstruktur des einzelnen ist einer der Faktoren in der Anfangsbeurteilung seiner kognitiven Funktion. Andere Indikatoren der kognitiven Funktion sind das Ultrakurzzeit-, das Kurzzeit- und das Langzeitgedächtnis, ein gesunde Urteilsfähigkeit und die Fähigkeit, an verwandten Gegenständen Ähnlichkeiten festzustellen. Die Leistung in diesen kognitiven Funktionen ist ein starker Indikator der biologischen Gesundheit des Gehirns. Eine schlechte Leistung korreliert hoch mit einer organischen Dysfunktion des Gehirns.

DAS POTENTIAL DIESES NEUEN BIOKYBERNETISCHEN PARADIGMAS IST AUSSCHLIESSLICH DURCH DIE PHANTASIE (und die Geldmittel) DER BENUTZER BEGRENZT.

Bitte richten Sie alle Anfragen, Kommentare etc. an:

Dave Warner/ Medical Neuroscientist/ Human Performance Institute/ Loma Linda University Medical Center

11406 Loma Linda Drive/ Loma Linda CA 92354

Tel. 909-799-6190/ Fax 909-799-6106

davew@well.sf.ca.us Email

Unser besonderer Dank gilt Dave Gilsdorf und Patrick Keller für ihre ständigen Bemühungen, die Welt zu einem lebenswerteren Ort zu machen.