



BLICKGESTEUERTE KOPFKAMERA

Das dritte Auge

IN DER KOMMISSION „NEUROWISSENSCHAFTEN: SENSOMOTORIK BEI MENSCH UND MASCHINE“ STELLTE THOMAS BRANDT EINE BLICKGESTEUERTE KOPFKAMERA VOR, DIE EINE EXAKTE WIEDERGABE UND AUFNAHME DER VOM MENSCHLICHEN AUGE WAHRGENOMMENEN BILDER ERMÖGLICHT, OHNE DEN BENUTZER IN SEINEM GESICHTSFELD ODER SEINER BEWEGUNGSFREIHEIT EINZUSCHRÄNKEN

Blickgesteuerte Kopfkamera: Eine bewegliche Videokamera über der Stirn reagiert auf Augenbewegungen und bildet deshalb immer das ab, was die Trägerin sieht. Die Augenbewegungen werden über zwei seitliche Infrarotkameras registriert, in Echtzeit analysiert und als Steuersignal für die Motoren der Kopfkamera genutzt.



BRANDT, SCHNEIDER

war, sich ohne Einschränkung der Sicht frei zu bewegen und dabei Videoaufnahmen aus der eigenen subjektiven Perspektive zu erstellen.

Funktionsprinzip

Das menschliche Augenbewegungssystem dient als biologisches Modell und Antrieb für die mechanische Steuerung der Kamera. Die Information zur Ausrichtung des Kamerasystems liefert ein videogestütztes Messsystem (Video-Okulografie), das die Augenbewegungen des Kameraträgers ermittelt. Dabei werden die Augen mit kopffest montierten Kameras aufgezeichnet, um die Videobilder anschließend oder auch während der Aufnahme mit Bildbearbeitungsalgorithmen auf einem Rechner zu analysieren. Horizontale und vertikale Augenbewegungen werden vergleichsweise einfach aus dem Mittelpunkt des als Pupille detektierten Bereiches berechnet. Die Augentorsion, also die Drehung um die Blickrichtung, wird üblicherweise anhand markanter Muster in der Irisstruktur ermittelt. Im Vergleich zu einer 2D-Messung über den Pupillenmittelpunkt ist jedoch die 3D-Analyse unter Einbeziehung der Irisstruktur ein wesentlich aufwändigerer Prozess, der eine höhere Rechenleistung erfordert.

Die dreidimensionale Video-Okulografie erfasst sowohl willkürliche Augenbewegungen, wie sakkadische Blicksprünge oder langsame Folgebewegungen, als auch un-

willkürliche Augenbewegungen, wie sie bei der Aktivierung des vestibulo-okulären oder des opto-kinetischen Reflexes auftreten. Die Messwerte dienen dann als Signal für den Antrieb der in drei Ebenen angeordneten Kamera-Servomotoren. Das heißt, der motorische Ausgang eines in der Biologie über Millionen von Jahren optimierten sensomotorischen Systems zur Kontrolle von Augenbewegungen während gleichzeitiger Kopfbewegungen dient zur Steuerung eines technischen Augensystems.

Die technische Steuerung nutzt also alle Fähigkeiten der multisensorischen Reizaufnahme über Kopf-, Augen- und Umweltbewegungen, die im zentralen Nervensystem interpretiert und in motorische Signale umgesetzt werden. Ein so angesteuertes Kamerasystem kann eine natürliche visuelle Erkundung der Umwelt imitieren, während der vestibulo-okuläre Reflex bei Kopfbewegungen gleichzeitig die Blickrichtung kompensatorisch dreidimensional im Raum stabilisiert. Dadurch entstehen bei Kopfbewegungen oder freier Fortbewegung des Trägers keine Verwacklungsartefakte der Aufnahmen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras erlaubt das neue System einem frei beweglichen Benutzer unter Erhaltung des vollen Gesichtsfeldes die optische Achse der Kamera auf das Ziel auszurichten, auf das er bei der Erkundung der visuellen Szene gerade blickt.

VON ERICH SCHNEIDER
UND THOMAS BRANDT

Anfang 2004 fiel der Startschuss zu dem auf drei Jahre angelegten Bayerischen Forschungsverbund FORBIAS, in dessen interdisziplinärem Rahmen Naturwissenschaftler, Ingenieure und Neurologen der beiden Münchner Universitäten eng zusammen arbeiten, um biologische Funktionsprinzipien auf neuartige technische Kamerasysteme zu übertragen. Durch diesen bioanalogen Ansatz erhoffen sich die Wissenschaftler, effizientere Bewegungssteuerungen für Kameras entwickeln zu können, die dann in Fahrzeugen, in der Medizin oder dem Kino- und Dokumentarfilm zum Einsatz kommen sollen. Bereits Ende 2004 stand in einem Teilprojekt des Verbundes der erste funktionsfähige Prototyp einer blickgesteuerten Kopfkamera zur Verfügung, mit der es möglich



Vorbild Natur

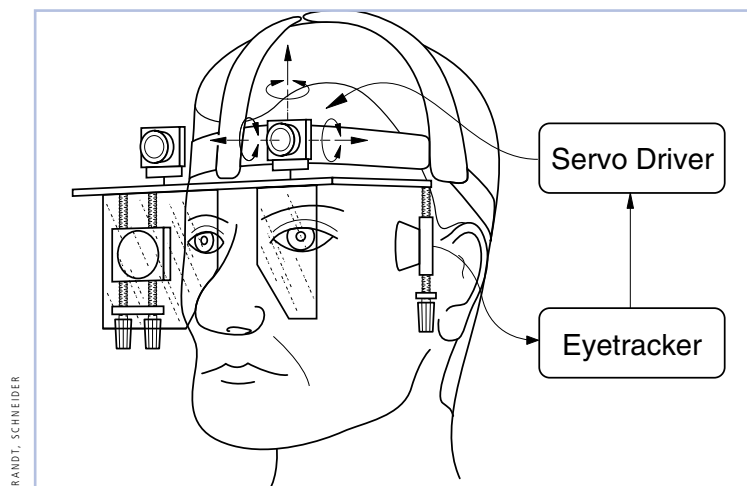
Im Laufe der Evolution sind in der Biologie bildstabilisierende Systeme entstanden, die ein ähnliches Funktionsprinzip wie manche mechanische Systeme der Videotechnik aufweisen, jedoch in ihrer Präzision und Funktionsvielfalt allen technischen Systemen überlegen sind. Im Rahmen des so genannten vestibulo-okulären Reflexes (VOR) übernimmt das Gleichgewichtsorgan im Innenohr von Wirbeltieren die Rolle des Bewegungssensors, der Informationen zur Drehgeschwindigkeit des Kopfes und der Lage des Kopfes zur Schwerkraft an das Gehirn liefert. Im Gehirn wird die Geschwindigkeitsinformation mittels mathematischer Integration zu einem Positionssignal umgeformt, das wiederum mit umgekehrtem Vorzeichen an die Augenmuskelkerne weitergeleitet wird. Dieser biologische Reflex führt dazu, dass sich die Augen immer entgegen der Kopfbewegung drehen und diese kompensieren, so dass der Blick im Raum stabilisiert wird, d.h. die Umwelt trotz der Kopfbewegung verwacklungsfrei auf der Netzhaut abgebildet wird. Durch diesen Reflex ist z.B. das Erkennen von Gesichtern oder das Lesen von Straßenschildern auch beim Laufen möglich. Ein ähnlicher Mechanismus tritt in Kraft, wenn großflächige visuelle Reize an einem Beobachter vorbeiziehen, etwa dann, wenn man aus dem Fenster eines fahrenden Zuges blickt. Das Gehirn extrahiert aus diesem optokinetischen Reiz eine Geschwindigkeitsinformation und leitet diese an die gleichen okulomotorischen Strukturen weiter, die auch dem VOR zugrunde liegen. Die Augen werden entgegen der Bewegung gesteuert, so dass der Betrachter trotz fahrenden Zuges ein unverwaschenes Bild seiner Umwelt erhält. Mittels schneller Augenbewegungen, so genannter Sakkaden, werden die Augen dabei in regelmä-

ßigen Intervallen zurückgesetzt, so dass der Betrachter weiterhin ein klares Bild der Umwelt vor sich hat. Dies ist der optokinetische Nystagmus (OKN), der aus einer Abfolge von langsamen, kompensatorischen Augenbewegungen und schnellen Rückstellbewegungen der Augen besteht. Kopfdrehungen führen hingegen im Rahmen des VOR zu einem vestibulären Nystagmus. Neben diesen unwillkürlichen Augenbewegungen können Menschen und Wirbeltiere zwei weitere Arten von willkürlichen Augenbewegungen ausführen: langsame Augenfolgebewegungen zu beweg-

Betrachten von Objekten auch die Vergenzstellung der Augen wichtig. Dabei nehmen die beiden Augen wie bei einer Triangulation einen vom Objektstand abhängigen Winkel zueinander ein, so dass jedes Auge das Objekt im Bereich höchster Auflösung, der Fovea, betrachten kann.

Nutzwert

Der Gebrauch der blickgesteuerten Kamera ermöglicht es einem Kameramann, sich frei zu bewegen und dabei den Ausschnitt der visuellen Szene zu filmen, auf den

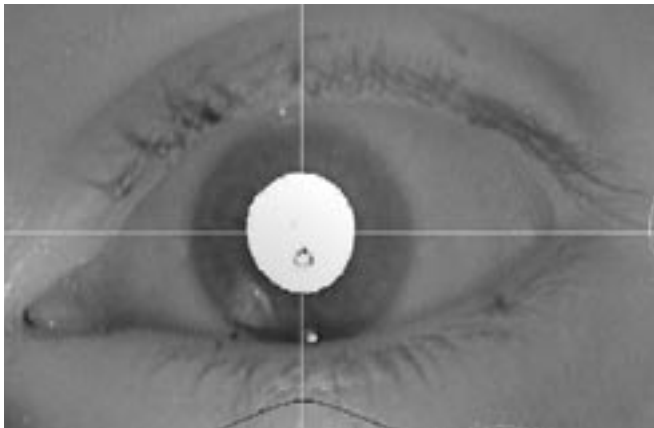


Ein „Eyetracker“ erhält Bilder vom linken und rechten Auge von jeweils einer Videokamera und berechnet daraus ein 3D-Stellsignal für Servomotoren, die wiederum eine oder zwei Kopfkameras parallel zur Blickrichtung des Trägers ausrichten.

ten Sehzielen und schnelle Blicksprünge (Sakkaden) von einem Sehziel zum anderen. Augenfolgebewegungen setzt ein Beobachter ein, wenn er z.B. mit den Augen einem fliegenden Vogel folgt; Sakkaden setzt er ein, wenn er z. B. die Augen zwischen zwei Gesprächspartnern hin- und herbewegt. Da die anatomischen Strukturen sowie die quantitativen Beziehungen zwischen Reizeingang und Augenbewegungsausgang gut untersucht sind, konnten mathematische Modelle entwickelt werden, die die Funktion der dabei beteiligten Hirnstammregionen quantitativ beschreiben. Weiterhin ist beim binokulären

er bei voll erhaltenem Gesichtsfeld bei der Erkundung seiner Umgebung gerade blickt, ohne dass dabei störende Bewegungsartefakte oder Bildunschärfen auftreten. Während diese Fähigkeit im biologischen System verwirklicht ist, sind in keinem bisher vorgeschlagenen künstlichen Augen- bzw. Kamerasystem Bildstabilisation, freie Beweglichkeit des Benutzers sowie freie visuelle Erkundbarkeit der Umwelt in einer Einheit integriert. Bildstabilisationssysteme sind bisher vorwiegend für die Foto- und Videotechnik entwickelt und patentiert worden. Sie werden in Kameras eingesetzt, die der

Benutzer meist mit einer Hand vor seinem Auge hält, um durch ein Okular ein Ziel in der visuellen Umgebung zu erfassen. Unter diesen Umständen ist das Bild zwar frei von Bewegungsartefakten, der Benutzer kann sich aber weder frei bewegen, noch kann er seine Umwelt in allen biologisch



BRANDY, SCHNEIDER

**Video-Okulografie:
Bildverarbeitungs-
algorithmen berechnen
die Augenposition
aus Pupille und Iris-
merkmalen.**

möglichen Freiheitsgraden visuell erkunden. Bisher vorgestellte kopffeste Kamerasysteme mit blickgesteuerter Achse erlauben hingegen zwar eine freie Beweglichkeit des Trägers, aber sie ermöglichen keine Bildstabilisation, da sie nicht alle Freiheitsgrade der möglichen Augenbewegungen erfassen und in Kamerabewegungen umsetzen. Während für die Erfassung und Nachahmung willkürlicher Augenbewegungen zwei Freiheitsgrade ausreichen (Nicken und Gieren), haben die reflexiven Augenbewegungen, die für die Bildstabilisation unerlässlich sind, auch Komponenten entlang des dritten Freiheitsgrades (Rollen). Die Aufnahmen eines Systems, das diese Komponenten vernachlässigt, haben wegen des höheren Anteils an Bewegungsartefakten im Vergleich zu einem dreidimensional arbeitenden System eine schlechtere Qualität. Mit dem vorgeschlagenen, dreidimensionalen System werden deshalb auch Aufnahmen aus der Sicht bewegter Träger möglich.

Die Autoren lehren und forschen im Zentrum für Sensomotorik im Klinikum Großhadern der Ludwig-Maximilians-Universität München

Mögliche Anwendungen

Das Funktionsprinzip einer blickgesteuerten Kopfkamera, die das biologische System des Kameraträgers zur Bildstabilisierung benutzt, eröffnet ein weites Feld möglicher Einsatzgebiete. So müssen z. B. Operationen im medizinischen Bereich aufgrund von Haftungsregelungen (Produkthaftung in den USA) immer lückenloser dokumentiert werden. Eine blickgesteuerte Kamera, die das visuelle Blickfeld des Chirurgen erfasst, stellt für diese Art der Anforderung das ideale Hilfsmittel dar. Im Bereich von Film und Fernsehen können Aufnahmen produziert werden, die die tatsächliche, subjektive Sicht des Kameramanns wiedergeben. Dadurch entsteht eine gegenüber der heute üblichen Technik neue Qualität der filmischen Darstellung in Unterhaltung, Dokumentation und Kunst. Berücksichtigt man die häufigen, spontanen Kopf- und Augenbewegungen eines Individuums, so kann man Filmprodukte erwarten, die dem „natürlichen“ (spontanen) Beobachtungsverhalten der Menschen mehr entsprechen als der künstlichen, regiegesteuerten Kameraführung. Ein weiteres denkbares Einsatzgebiet ist die Sportberichterstattung. Hier würde die Übermittlung von verwacklungsfreien Bildern aus Sicht eines Sportlers, selbst von Skifahrern, Springspringern oder Tänzern ermöglicht. Die Vorteile eines blickgesteuerten Kamerasystems dürften aber auch beim amateurhaften Filmen von z. B. wichtigen Familienereignissen, Veranstaltungen oder Besichtigungen eine entscheidende Rolle spielen: Der Filmende kann ungehindert am Geschehen teilnehmen.

Ebenso ist im sicherheitstechnischen Bereich eine neue Art von Sichtgeräten denkbar, durch die entweder bereits im Training von Einsatzkräften Qualitätssicherung betrieben werden kann oder aber im späteren realen Einsatz eine effizientere

Koordinierung durch eine Zentrale möglich wird, die Bilder aus Sicht der Einsatzkräfte vor Ort erhält. Die Einsatzkräfte können bei voll erhaltenem Gesichtsfeld und bei voller Einsatzfähigkeit ihren Blick auf kritische Ziele ausrichten. In der neurowissenschaftlichen Forschung kann das System benutzt werden, um das Explorationsverhalten an frei beweglichen Probanden oder Patienten zu analysieren. Damit ist z. B. die Analyse von Verhaltensstörungen bei psychiatrischen, neurologischen oder ophthalmologischen Erkrankungen möglich. Im Bereich der Industrie wäre eine Möglichkeit die Dokumentation und Analyse der reizbedingten Blicksteuerung bei Werbung (Marketing), am Arbeitsplatz (Ergonomie) oder bei der Bedienung komplexer Geräte (Arbeitssicherheit).

Entwicklungsbedarf

Die Aktivitäten im Forschungsverbund FORBIAS haben schnell zu einem funktionsfähigen Demonstrator geführt, mit dem das Funktionsprinzip verdeutlicht werden kann. Die erreichten Latenzen, die Robustheit gegenüber Störeinflüssen wie Sonneneinstrahlung und die Qualität der eingesetzten Videotechnik müssen jedoch noch erheblich verbessert werden. Es besteht Entwicklungsbedarf im Bereich der ergonomischen Eigenschaften des Kopfgestells sowie im Bereich der Kompensation heftiger Kopfbewegungen, bei denen die Kameras relativ zum Kopf verschoben werden. Der Rahmen, in dem die Bayerische Forschungsstiftung die interdisziplinären Aktivitäten im Forschungsverbund fördert, bietet die idealen Voraussetzungen dafür, dass unter der Federführung der Lehrstühle für Realzeit-Computersysteme und Angewandte Mechanik der TU München sowie der Neurologischen Klinik der LMU diese Herausforderungen im Projektzeitraum gelöst werden.

