



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 10 2004 017 730 B4 2006.05.24**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 017 730.9**

(22) Anmeldetag: **10.04.2004**

(43) Offenlegungstag: **10.11.2005**

(45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **24.05.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H04N 5/232 (2006.01)**  
**G06T 3/60 (2006.01)**

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

(73) Patentinhaber:

**Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24118  
 Kiel, DE**

(74) Vertreter:

**BOEHMERT & BOEHMERT, 24105 Kiel**

(72) Erfinder:

**Koch, Reinhard, Prof. Dr., 24119 Kronshagen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 196 18 979 A1**

**DE 43 42 717 A1**

**DE 697 15 397 T2**

**US2004/00 46 888 A1**

**US 60 02 430 A**

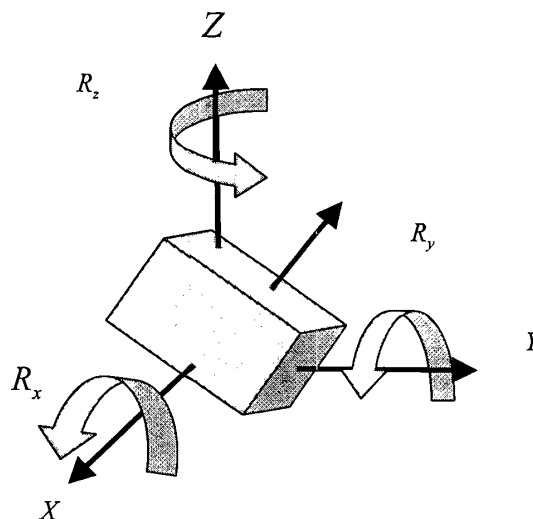
**WO 00/60 870 A1**

**You,S. u.a.: Orientation tracking for outdoor augmented reality registration. In: IEEE Computer Graphics and Applications. ISSN 0272-1716: Nov-Dez.1999, Vol.19, Issue 6, S.36-42;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Rotationskompensation sphärischer Bilder**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Erzeugen einer vereinfachten Rekonstruktion der Translation einer Kamera erlaubenden rotationskompensierten Bildsequenz durch Echtzeit-Rotationskompensation der von einer mit einem Rotationssensor versehenen, in einer Szene beliebig bewegten elektronischen Kamera sequentiell aufgenommenen Bilder, die sich durch eine Zuordnung von Farb- und/oder Helligkeitswerten der durch rechtwinklige Koordinaten indizierten Pixel eines Pixelfeldes der Kamera ergeben, mit den Schritten:

- Verwendung der Polarkoordinaten einer Fischaugen-Projektion eines sphärischen Bildes eines sphärischen Objektivs (Fischauge),
- Bestimmen von Kalibriermatrizen für das sphärische Objektiv,
- Berechnen von die aus den Messdaten des Rotationssensors ermittelte relative Verdrehung der Kamera beschreibenden Drehmatrizen,
- Berechnen der Zuordnung zwischen den Pixelkoordinaten eines Bildpunkts in aufeinander folgenden Bildern aus den Kalibriermatrizen und den Drehmatrizen,
- Berechnen der Pixelkoordinaten entsprechend der berechneten Zuordnung unter Kompensation der Kamerarotation und
- Zurückkopieren der Farb- und/oder Helligkeitswerte von neuen auf alte Pixelkoordinaten entsprechend der berechneten Zuordnung.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur rechnergestützten Stabilisierung von Bildern, insbesondere von elektronisch aufgezeichneten Bildern (z.B. mit einer Videokamera), gegenüber Verdrehungen der Kamera um eine beliebige Achse um beliebig große Winkel. Die Erfindung betrifft auch Bildaufnahmesysteme mit einem Fischaugen-Objektiv (engl. „fisheye“) für (halb-)sphärische Bilder, insbesondere auch Kameras mit 360°-Rundumsicht.

### Stand der Technik

**[0002]** Verfahren zur elektronischen Bildstabilisierung sind bekannt und lassen sich grob in zwei Kategorien unterscheiden: (i) Kompensationsvorrichtungen für die Kamera selbst oder für den Lichtweg vom Objekt zum Kameraschirm und (ii) die rechnergestützte Korrektur der aufgezeichneten Bilder, was i. a. eine elektronische Erfassung der Bilder voraussetzt und Nachbearbeitung erfordert.

**[0003]** Beispiele für Vorrichtungen der ersten Kategorie sind in den Druckschriften DE 43 42 717 A1 oder DE 196 18 979 A1 beschrieben. Diese eignen sich insbesondere auch zur Kompensation von Verwacklungen bei Aufnahmen auf Filmmaterial.

**[0004]** Mit modernen Digitalkameras und mittlerweile gestiegener Rechnerleistung kommt aber auch der zweiten Kategorie praktische Bedeutung zu. Bestehende Verfahren zur Verwacklungskompensation, wie etwa die elektronische Bildstabilisierung in HandyCams, können aufgrund des begrenzten Öffnungswinkels perspektivischer Kameras nur geringfügige Kompensationen durchführen, wobei das Bild aufgrund der perspektivischen Transformation verzerrt wird. Bei einem Schwenk über mehr als den Öffnungswinkel der Kamera kann keine Kompensation mehr durchgeführt werden.

**[0005]** Es ist eine grundsätzliche Schwierigkeit der elektronischen Nachbearbeitung, dass ein reales Bild einer (dreidimensionalen) Szene lediglich von einer zweidimensionalen Pixelanordnung erfasst wird. Um allein aus einer Sequenz von Bildern auf eine zwischenzeitlich erfolgte Rotation oder Translation der Kamera zurück zu schließen, ist eine numerische Rekonstruktion der 3D-Szene erforderlich, die sich auch heute nicht ohne größeren Aufwand, insbesondere in Echtzeit, bewerkstelligen lässt.

**[0006]** Man zieht deshalb bei der Szenenrekonstruktion manchmal zusätzliche externe Sensorik als Hilfsmittel hinzu. Beispielsweise ist bekannt, eine Kamera mit einem fest montierten Beschleunigungs-Gyro-Sensor auszustatten, um neben Bildern auch gleichzeitig die Rotation der Kamera aufzuzeichnen (z.B. Suya You, Ulrich Neumann, and Ronald Azuma: Orientation Tracking for Outdoor Augmented Reality Registration. IEEE Computer Graphics and Applications 19, 6 (Nov/Dec 1999), 36–42). Der Rotationssensor misst durch Beschleunigungsmesser (Gyroskop-Prinzip) die relative Änderung der 3D Orientierung zwischen unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten. Zusätzlich können weitere absolute Messgrößen wie magnetischer Nordpol und Gravitation (Lot) zur Erzeugung einer absoluten Orientierungsreferenz mit verwendet werden. Durch Integration der relativen Änderung über die Zeit wird eine absolute 3D-Orientierung bestimmt. Die Rotation des Sensors kann durch 3 Winkel ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ) um die 3 Raumachsen ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) beschrieben werden (Euler-Winkel, vgl. **Fig. 1a**) oder durch eine Rotation um eine Drehachse im Raum (vgl. **Fig. 1b**, Achse-Winkeldarstellung ( $A$ ,  $\alpha$ ), auch: Quaternionen-Darstellung).

**[0007]** Auf diese Weise kann eine Entkopplung von Rotation und Translation der Kamera erreicht werden, d.h. beide lassen sich getrennt bestimmen.

**[0008]** Bekannt ist auch ein hemisphärisches Bildaufnahmesystem, insbesondere eine Kamera mit Fischaugen-Objektiv. Dieses bildet eine Hemisphäre des Raumes auf eine Kreisscheibe in der Bildebene ab. Die 2D-Bildrepräsentation erfolgt dabei in den Winkelkoordinaten über der Einheitskugel. Die Bildmitte bildet den Pol der Hemisphäre ab. Die Kugeloberfläche wird durch zwei Winkel parametrisiert, welche entlang der Längengrade ( $\vartheta$ ) und Breitengrade ( $\varphi$ ) der Kugel verlaufen (vgl. **Fig. 2a**). Ein Punkt ( $\vartheta$ ,  $\varphi$ ) der Kugeloberfläche wird durch die sphärische Abbildung auf die Bildebene ( $x$ ,  $y$ ) abgebildet, wobei ( $x_0$ ,  $y_0$ ) den Pol (optische Achse) abbildet (vgl. **Fig. 2b**).

**[0009]** Beispielsweise aus der US 6 002 430 ist auch ein sphärisches Bildaufnahmesystem bekannt, das den gesamten umgebenden Raum abbildet, indem zwei mit dem Rücken zueinander montierte hemisphärische Kameras jeweils einen Halbraum aufnehmen.

**[0010]** Die WO 00/60870 A1 schlägt vor, eine Rundumsichtkamera umfassend ein Paar gegeneinander gerichtete Fischaugen-Kameras zu Erkundungszwecken an ferngesteuerte Vehikel zu montieren.

**[0011]** Aufgrund des von Null verschiedenen Abstandes der beiden Kamerazentren ist es dabei nahe liegend, Fischaugen-Objektive mit z.B.  $190^\circ$  Blickwinkel zu verwenden, um beide Bilder zu einem vollständigen Rundumbild nahtlos zusammensetzen zu können. Dennoch existieren stets (i) eine „Totzone“ der Vorrichtung in unmittelbarer Nachbarschaft der Doppel-Kamera, die nicht eingesehen werden kann, sowie (ii) eine „Nahzone“, in der sich die Parallaxenverschiebung der beiden Kameras bemerkbar macht. Für ausreichend weit entfernte Szenenpunkte spielt der Kamerazentrenabstand indes praktisch keine Rolle mehr.

**[0012]** Die US 2004/0046888 A1 gibt ein Verfahren an, wie die Kalibrierparameter einer Fischaugen-Kamera zur Linearisierung der Abbildung einer Hemisphäre auf einen zweidimensionalen Schirm ermittelt werden können.

**[0013]** Im Bereich der so genannten „Augmented Vision“ ist man bestrebt, Personen z.B. bei komplexen Arbeitsgängen zusätzliche Informationen in ihr Sichtfeld einzublenden. Man stattet die Personen dazu etwa mit transparenten Display-Brillen aus, die Texte oder Grafiken in eine Realansicht einblenden können, vergleichbar dem bekannten Head-Up Display (HUD) aus militärischen Flugzeugen. Um die dazu erforderliche genaue Kenntnis der Lage der Brille im 3D-Raum automatisch zu ermitteln, kann man Rundumsicht-Kameras starr mit der Brille verbinden. Die Echtzeit-Analyse z.B. der Bewegung von bekannten Markierungspunkten im aufgezeichneten Bild erlaubt die Positionsbestimmung der Brille im Arbeitsraum. Um aber – etwa für Außenanwendungen – auf solche Markierungen verzichten zu können, sind wesentlich komplexere Bildanalysen erforderlich.

**[0014]** Dabei wird es hilfreich sein, Einflüsse von Rotation und Translation auf das Bild der a priori unbekanntem Szene getrennt zu analysieren. Es liegt deshalb nahe, auch hier Rotationssensoren einzusetzen. Allerdings wurde bislang noch kein Verfahren veröffentlicht, wie die zusätzlichen Rotationsdaten zur Echtzeit-Rotationsstabilisierung des sphärischen Bildes zu benutzen sind.

**[0015]** Die DE 697 15 397 T2 beschreibt ein System zur Kompensation der Kamerabewegung in elektronisch aufgezeichneten Bildern, bei dem mit externen Sensoren Kamerabewegungen erfasst und daraus „Pixelinformationsübertragungsgeschwindigkeiten“ errechnet werden. Das Bild wird durch kontrolliertes Umkopieren der Pixelinformationen gegen die Eigenbewegung der Kamera stabilisiert. Die Durchführung der Lehre der DE 697 15 397 T2 setzt allerdings die vollständige Information über Dreh-, Nick- und Gierbewegungen sowie die Translation der Kamera voraus, wie sie etwa bei der Luftbildaufzeichnung von der Flugzeugavionik bereitgestellt werden. Wenn nur die Rotation der Kamera bekannt ist, kann eine reine Rotationskompensation nach dem Verfahren der DE 697 15 3 97 T2 nicht durchgeführt werden.

#### Aufgabenstellung

**[0016]** Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, das elektronisch aufgezeichnete Bild einer sphärischen Kamera in Echtzeit so zu bearbeiten, dass es bei der Darstellung auf einem Sichtschirm (z.B. eines PC) gegenüber beliebigen Verdrehungen der Kamera invariant bleibt.

**[0017]** Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen an.

#### Ausführungsbeispiel

**[0018]** **Fig. 1** Mögliche Darstellungen der Kameradrehungen, a) Euler-Winkel, b) Achse-Winkel-Darstellung;

**[0019]** **Fig. 2** Skizze der hemisphärischen Geometrie und ihres zweidimensionalen Abbildes mit Bezeichnungen der hier benutzten Koordinaten;

**[0020]** **Fig. 3** Schematischer Verlauf der Kalibrierfunktion  $k(\vartheta)$  eines Fischaugen-Objektivs

**[0021]** Grundsätzliche Voraussetzung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die starre Kopplung einer sphärischen Kamera mit einem 3 DoF (Degree of Freedom) Rotationssensor.

**[0022]** Zur vereinfachten Erläuterung soll im Folgenden nur noch von einer einzelnen Fischaugen-Kamera die

Rede sein, die eine Hemisphäre abbildet. Zur Rundumsicht wird das Verfahren für beide Kameras simultan angewendet, und die erfindungsgemäß stabilisierten Bilder werden dann in an sich bekannter Weise zusammengefügt.

**[0023]** Die Pixelebene der Kamera erfordert ein zweidimensionales Koordinatensystem im 3D-Raum. Die Orientierung der Pixelebene ist dabei beliebig. Technische CCD-Chips weisen normalerweise rechteckige Pixel in rechtwinkliger Anordnung auf, so dass das kartesische Koordinatensystem  $(x, y)$  die natürliche Wahl ist. Sein Ursprung liegt typisch in einem Eckpixel.

**[0024]** Durch die sphärische Projektion des Fischauges werden Objektpunkte auf einer Halbkugel (o. B. d. A. mit Radius Eins) um das Kamerazentrum auf eine Kreisscheibe in der Pixelebene abgebildet. Die natürlichen Koordinaten des Bildes sind dann ebene Polarkoordinaten  $(r, \varphi)$ . Die optische Achse der Kamera soll senkrecht zur Pixelebene durch einen zentralen Pixel mit Koordinaten  $(x_0, y_0)$  verlaufen. Jeder Objektpunkt auf der Halbkugel erscheint unter einem Winkel  $\vartheta$  zur optischen Achse und ist zudem durch seine Azimutposition  $\varphi$  gekennzeichnet. Die Festlegung von  $\varphi = 0$  ist dabei willkürlich.

**[0025]** Die Besonderheit der Fischaugen-Projektion besteht darin, dass der Winkel  $\vartheta$  im idealen Fall linear auf den Radius der Kreisscheibe abgebildet wird. Dies ist in Praxis für kleine Winkel sehr gut erfüllt, aber für  $\vartheta \rightarrow 90^\circ$  wird die Abbildung typisch nicht-linear. **Fig. 3** zeigt exemplarisch die Kalibrierfunktion  $k(\vartheta)$ , die den jeweiligen Umrechnungsfaktor von Winkel (z.B. Radian) auf Pixelkoordinaten angibt und für jedes Objektiv einmal zu bestimmen ist.

**[0026]** Das sphärische Bild kann wegen der oben genannten Linearität durch die Polarkoordinaten  $(\vartheta, \varphi)$  beschrieben werden.

**[0027]** Lässt man die Problematik diskreter Pixel außer acht, so besitzt ein Objektpunkt auf der Halbkugel bei den Koordinaten  $(\vartheta, \varphi)$  in der Pixelebene die Pixelkoordinaten:

$$x_p = x_0 + k(\vartheta) \times \vartheta \cos(\varphi) \text{ und } y_p = y_0 + k(\vartheta) \times \vartheta \sin(\varphi) \quad (1)$$

**[0028]** Ändern sich nun bei einer Drehung der Kamera die Winkelkoordinaten des Objekts, etwa von  $(\vartheta, \varphi)$  nach  $(\vartheta', \varphi')$ , so wandert auch das Bild des Objekts von  $(x_p, y_p)$  nach  $(x_p', y_p')$ . Verlässt es dabei die zulässigen Pixelkoordinaten des CCD-Chips, so ist das Objekt durch die Kameradrehung aus dem Blickfeld geraten. Es ist dann aber sicher im Blickfeld der zweiten, rückwärts gerichteten Kamera.

**[0029]** Das Prinzip der erfindungsgemäßen Bildstabilisierung besteht in der direkten Berechnung der Koordinatenverschiebungen  $(x_p, y_p) \rightarrow (x_p', y_p')$  für alle Bildpunkte aus zusätzlichen Rotationsdaten sowie in deren Rückgängigmachen durch Umkopieren der Farbwerte von  $(x_p', y_p')$  zurück nach  $(x_p, y_p)$ . Dieses Umkopieren ist heute in allen gängigen Graphikkarten implementiert und für Echtzeitanwendungen optimiert, z.B. zum Rotieren einer virtuellen Kamera in einem rechnergenerierten Raum.

**[0030]** Die Erfindung befasst sich daher allein mit der Abbildung  $(x_p, y_p) \rightarrow (x_p', y_p')$ , die es schnell aus den Daten eines Rotationssensors zu bestimmen gilt. Da die Kameradrehung in natürlicher Weise durch eine  $3 \times 3$ -Drehmatrix beschrieben werden kann, ist es sinnvoll, das Problem dreidimensional zu formulieren, wofür man zusätzlich eine z-Achse entlang der optischen Achse, also senkrecht zur Pixelebene, definiert. Ebenso wird eine z'-Achse im gedrehten Kamerakoordinatensystem eingeführt, und man kann schreiben

$$(2) \quad \begin{pmatrix} x_p' \\ y_p' \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{M} \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{M} \underline{p}_p \quad .$$

**[0031]** Dabei bezeichnet  $\underline{M} = \underline{M}(\vartheta', \varphi', \vartheta, \varphi)$  eine  $3 \times 3$ -Matrix, die von den neuen und alten Winkelkoordinaten des Objektpunktes auf der Halbkugel nach und vor der Kameradrehung abhängt. Die Erfindung zeigt nun einen Weg auf, sich diese Matrix schnell zu verschaffen, was für die Echtzeitstabilisierung des Bildes wesentlich ist.

**[0032]** Die Gleichungen (1) lassen sich als Matrixgleichung zusammenfassen

$$(3) \quad \underline{p}_p = \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k(\vartheta) & 0 & x_0 \\ 0 & k(\vartheta) & y_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vartheta \cos \varphi \\ \vartheta \sin \varphi \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{K}(\vartheta) \underline{p}_i, \quad ,$$

wobei  $\underline{K}$  eine 3x3-Kalibriermatrix (mit Kalibrierfunktion  $k(\vartheta)$ ) und

$\underline{p}_i$

die Normdarstellung des Pixelpunktes  $(x_p, y_p)$  in den Polarkoordinaten  $(\vartheta, \varphi)$  ist. Die Matrix  $\underline{K}$  ist nur einmal für alle  $\vartheta$  aufzustellen und abzuspeichern. Sie ist immer invertierbar, und die Normdarstellung

$$(4) \quad \underline{p}_i = \underline{K}^{-1}(\vartheta) \underline{p}_p$$

hat den Vorteil, dass sich die 3D-Position

$\underline{p}$

des zugehörigen Objektpunktes auf der Halbkugel unmittelbar aus den Winkelkoordinaten – und damit aus der Normdarstellung – angeben lässt. Gemäß der bekannten Definition sphärischer Polarkoordinaten für die Einheitskugel hat man nämlich

$$(5) \quad \underline{p} = \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \vartheta \cos \varphi \\ \sin \vartheta \sin \varphi \\ \cos \vartheta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} si(\vartheta) & 0 & 0 \\ 0 & si(\vartheta) & 0 \\ 0 & 0 & \cos \vartheta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vartheta \cos \varphi \\ \vartheta \sin \varphi \\ 1 \end{pmatrix} = \underline{A}(\vartheta) \underline{p}_i = \underline{A}(\vartheta) \underline{K}^{-1}(\vartheta) \underline{p}_p$$

mit

$$si(\vartheta) = \frac{\sin \vartheta}{\vartheta},$$

so dass  $\underline{A}(\vartheta)$  eine invertierbare Matrix für  $\vartheta \neq 90^\circ, 180^\circ$  ist.

**[0033]** Ohnehin ist der Fall  $\vartheta = 180^\circ$  hier durch die eingangs getroffene Festlegung auf eine hemisphärische Kamera ausgeschlossen. Zwar könnte man eine 360°-Rundumsicht auf eine einzige Kreisscheibe abbilden, aber dies hätte schon wegen der damit verbundenen Verzerrungen Nachteile. Insbesondere würde der rückwärtige Pol der Objektsphäre, also bei  $\vartheta = 180^\circ$ , auf den gesamten Rand der Kreisscheibe abgebildet werden.

**[0034]** Der Fall  $\vartheta = 90^\circ$  kann indes vorkommen, und er zieht wegen  $(\underline{A}^{-1})_{zz} = 1/\cos \vartheta$  eine nicht definierte (unendliche) Matrixkomponente nach sich. Die fragliche Komponente ist aber nur ein Artefakt der Beschreibung. Es kann bei der Implementierung abgefangen werden. Seine Herkunft wird weiter unten aufgezeigt.

**[0035]** Es ist nach Aufstellen von Gleichung (5) besonders vorteilhaft, die exakt bekannte Matrixfunktion  $\underline{A}(\vartheta)$  von vornherein mit der nur einmal zu bestimmenden Matrix  $\underline{K}^{-1}(\vartheta)$  zu multiplizieren und in einer Tabelle für alle  $\vartheta$  abzuspeichern. Die Produktmatrix  $\underline{A} \underline{K}^{-1}$  ist ebenfalls invertierbar mit

$$(\underline{A} \underline{K}^{-1})^{-1} = \underline{K} \underline{A}^{-1} \tag{6}$$

und sollte genauso berechnet und tabelliert werden.

**[0036]** Bei der Kameradrehung liefert der Rotationssensor unmittelbar Messdaten für die um jede der Achsen gedrehten Winkel mit typischen Taktraten von 100–200 Messungen pro Sekunde, einer Winkelauflösung von typisch 0.05 Grad und einer Kurzzeitgenauigkeit von 0.1–0.3 Grad. Hieraus lässt sich sofort in an sich bekannter Weise eine 3x3-Drehmatrix aufstellen, die die Koordinatentransformation eines beliebigen Raumpunktes in das nunmehr gedrehte – mit der Kamera verbundene – Koordinatensystem erlaubt. Dies gilt auch für jeden Objektpunkt der Einheitskugel, insbesondere für

$\underline{p}$ .

Im gedrehten Koordinatensystem besitzt er die Darstellung

$$(7) \quad \underline{P}' = \underline{R} \underline{P} \quad ,$$

und da Gleichung (5) natürlich auch im gedrehten Koordinatensystem gilt, hat man

$$(8) \quad \underline{P}'_p = \underline{K}(\mathcal{G}') \underline{A}^{-1}(\mathcal{G}') \underline{P}' = \underline{K}(\mathcal{G}') \underline{A}^{-1}(\mathcal{G}') \underline{R} \underline{A}(\mathcal{G}) \underline{K}^{-1}(\mathcal{G}) \underline{P}_p \quad .$$

**[0037]** Der Vergleich mit Gleichung (2) zeigt, dass die dort auftretende Matrix  $\underline{M}$  mit dem Matrixprodukt in Gleichung (8) identisch ist. Dieses wird effektiv als Produkt aus drei  $3 \times 3$ -Matrizen für jeden Pixel berechnet – zwei tabellierten Matrizen und einer gemessenen Rotationsmatrix, die für das gesamte Bild zu einem festen Zeitpunkt gilt.

**[0038]** Gleichung (8) erklärt auch, wie die unendliche Matrixkomponente  $(\underline{A}^{-1})_{zz}$  entsteht. Ein Objektpunkt

$$\underline{P}'$$

bei  $\mathcal{G}' = 90^\circ$  befindet sich in der Ebene des Kamerazentrums, um das gedreht wurde, also bei

$$\underline{P}'_z = 0 \quad .$$

Gleichwohl soll sein

$$(8') \quad \underline{P}'_p = \underline{K}(\mathcal{G}') \underline{A}^{-1}(\mathcal{G}') \underline{P}' \quad \text{mit} \quad \underline{P}' = \begin{pmatrix} x'_p \\ y'_p \\ 1 \end{pmatrix} \quad ,$$

was nur geht, wenn  $(\underline{A}^{-1})_{zz}$  gegen Unendlich strebt. Die Wahl der z-Komponente Eins bei der Erhebung der Pixelkoordinaten in die dritte Dimension ist eine willkürliche, aber bequeme Festlegung in Gleichung (2). Sie verursacht das Beschreibungsproblem für  $\mathcal{G}' = 90^\circ$ .

**[0039]** Das Ausführen von  $3 \times 3$ -Matrixprodukten ist durch moderne Hardwareimplementierung heute mit sehr hoher Geschwindigkeit möglich. Durch Vorausberechnung des Mapping in Tabellen kann die Rotationskompensation des Bildes echtzeitfähig, d.h. schritthaltend mit der Taktrate der Bildaufnahme, durchgeführt werden. Typische Bildaufnahmeleistungen sind hierbei 15–30 Bilder pro Sekunde. Mit Hilfe dieses Mapping lassen sich die Farbwerte aus ihren neuen Positionen auslesen und auf ihre alten zurückkopieren.

**[0040]** Bei einer Drehung der Kamera um das Kamerazentrum – in Abwesenheit von Kamera-Translation – ergibt sich so im Rechner und ggf. auf dem Monitor ein statisches, sphärisches Bild. Wird die Position des Kamerazentrums zusätzlich verändert, zeigt das Bild eine rotationsfreie Verschiebung der Szene, aus der sich der Translationszustand der Kamera vereinfacht rekonstruieren lässt.

**[0041]** Wenn die Bildstabilisierung besonders schnell erfolgen soll oder wenn sehr große Bilder zu stabilisieren sind, ist es eine vorteilhafte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, das Mapping nicht für alle Pixel, sondern nur für eine Auswahl aus diesen durchzuführen. Wählt man insbesondere die Knotenpunkte eines über das Bild gelegten Dreiecksmaschen-Netzes („triangular mesh“), so werden zunächst zwar nur diese Netzpunkte zurückkopiert, aber moderne Graphikkarten verfügen auch über einen so genannten „Fragment-Shader“, welcher Farbwerte zwischen bekannten Stützstellen interpolieren kann. Dies kommt typisch bei der Texturierung von Computergraphiken zum Einsatz. Bei vielen Anwendungen (gerade auch im Bereich des menschlichen Sehens) wird es auf die pixelgenaue Stabilisierung des Bildes nicht ankommen, so dass die Reduktion des Verfahrens auf wenige Netzknoten hohe Geschwindigkeitsvorteile bringen kann.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen einer die vereinfachte Rekonstruktion der Translation einer Kamera erlaubenden rotationskompensierten Bildsequenz durch Echtzeit-Rotationskompensation der von einer mit einem Rotationssensor versehenen, in einer Szene beliebig bewegten elektronischen Kamera sequentiell aufgenommenen Bilder, die sich durch eine Zuordnung von Farb- und/oder Helligkeitswerten der durch rechtwinklige Koordinaten indizierten Pixel eines Pixelfeldes der Kamera ergeben, mit den Schritten:

- Verwendung der Polarkoordinaten einer Fischaugen-Projektion eines sphärischen Bildes eines sphärischen Objektivs (Fischauge),
- Bestimmen von Kalibriermatrizen für das sphärische Objektiv,

- Berechnen von die aus den Messdaten des Rotationssensors ermittelte relative Verdrehung der Kamera beschreibenden Drehmatrizen,
- Berechnen der Zuordnung zwischen den Pixelkoordinaten eines Bildpunkts in aufeinander folgenden Bildern aus den Kalibriermatrizen und den Drehmatrizen,
- Berechnen der Pixelkoordinaten entsprechend der berechneten Zuordnung unter Kompensation der Kamerarotation und
- Zurückkopieren der Farb- und/oder Helligkeitswerte von neuen auf alte Pixelkoordinaten entsprechend der berechneten Zuordnung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch nahtloses Zusammensetzen des von der Kamera aufgenommenen Halbbildes mit dem von einer zweiten Kamera aufgenommenen entgegengerichteten Halbbild.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1 a)

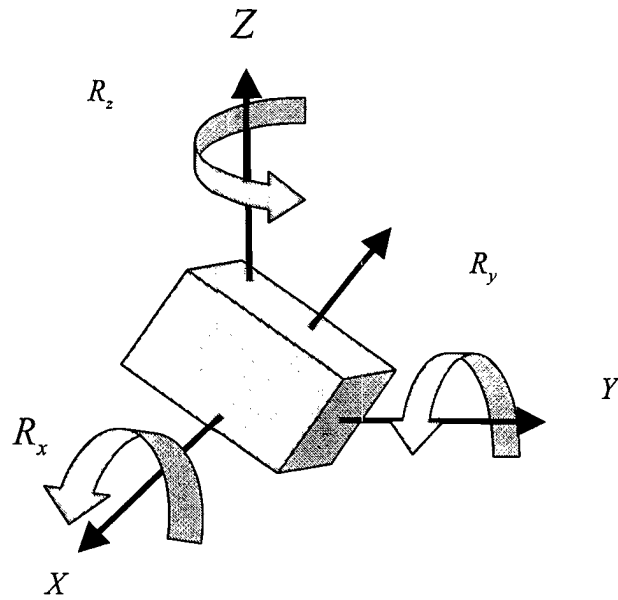


Fig. 1 b)

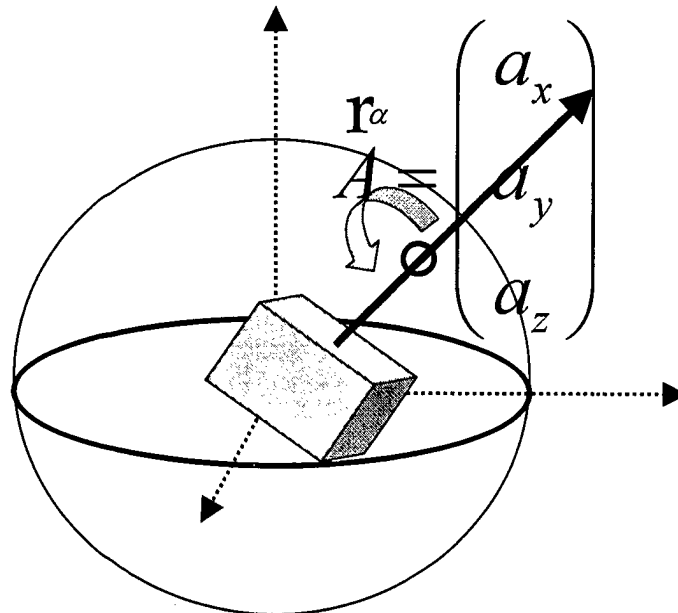


Fig. 2 a)

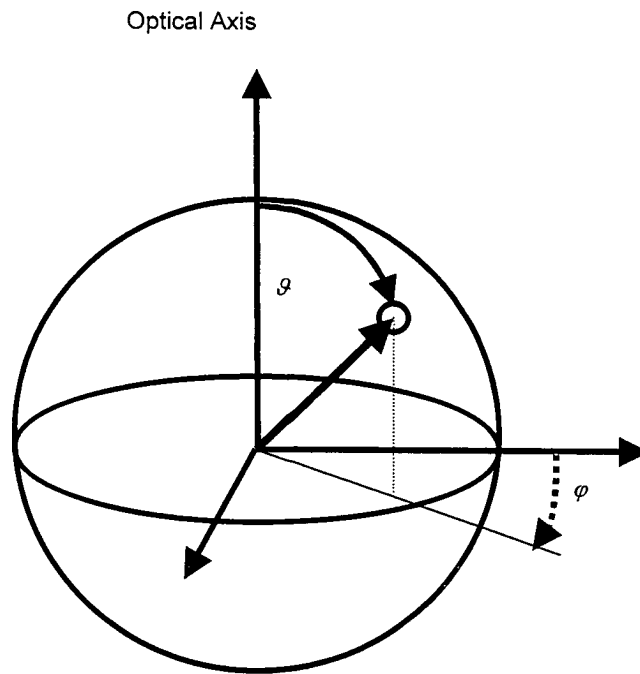
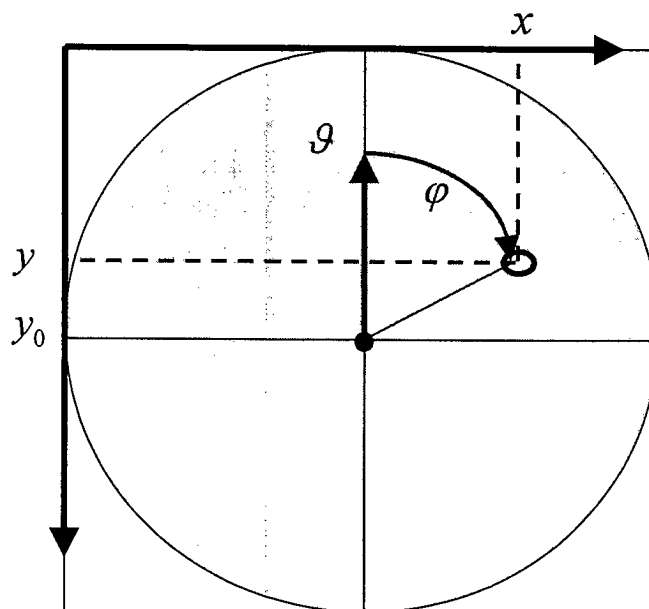


Fig. 2 b)



$$x = x_0 + k \cdot \varrho \cdot \cos \varphi, \quad 0 \leq \varrho < 180^\circ$$

$$y = y_0 + k \cdot \varrho \cdot \sin \varphi, \quad 0 \leq \varphi < 360^\circ$$

Fig. 3

