



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 41 00 691 B4** 2004.02.19

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 41 00 691.7**
 (22) Anmeldetag: **11.01.1991**
 (43) Offenlegungstag: **25.07.1991**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **19.02.2004**

(51) Int Cl.7: **G06T 17/20**
G06T 15/00, G06F 17/50

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:
2-5354 **12.01.1990** **JP**
2-207793 **06.08.1990** **JP**

(71) Patentinhaber:
Mitsubishi Denki K.K., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
HOFFMANN · EITLÉ, 81925 München

(72) Erfinder:
Tsujido, Yoshinori, Amagasaki, Hyogo, JP

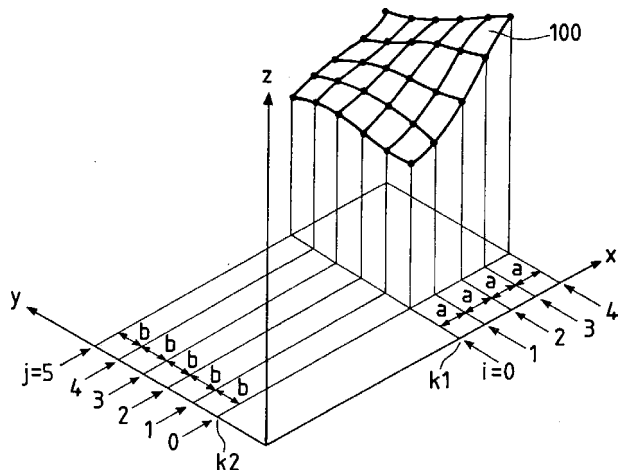
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
EP 02 40 246 A2
**CHEN u.a.: "Surface Shading in te Cuberille
 Environment", in IEEE Computer Graphics and
 Applications, Dezember 1985, S. 33-43;**
**NEWMAN, SPROULL: "Principles of Interaktive
 Computer Graphics", Mc Graw-Hill Book
 Company,
 1973, S. 313-330;**
**FELLNER: "Computer Grafik", BI
 Wissenschaftsver-
 lag Mannheim/Wien/Zürich 1988, S. 331-377;**
**FELLNER, Wolf-Dietrich: Computer Grafik, BI
 Wissenschaftsverl. Mannheim/Wien/Zürich, 1988,
 S. 1-5, 17-22, 229-238, 282-303, 331-347;**
**ROGERS,D.F.: Procedural Elements for Computer
 Graphics. McGraw-Hill, 1985, S. 69-70;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Darstellung eines
 3D-Modells auf einem 2D-Anzeigeschirm durch Einfärbung
 und Helligkeitseinstellung von einzelnen Pixeln des 2D-An-
 zeigeschirms, insbesondere zur Verwendung im CAD- oder
 CAM-Bereich, und mit einem Rechner, der die folgenden
 Schritte ausführt:

- elektronisches Erfassen und Speichern in dem Rechner
 von Koordinatendaten (x_i, y_i) einer Vielzahl von Punkten
 $(P_{ij}(x_i, y_i))$ auf der Oberfläche des 3D-Modells eines durch
 Koordinatenachsen (x, y, z) definierten Raums;
- Unterteilen der Oberfläche des 3D-Modells in eine Viel-
 zahl von benachbart zueinander angeordneten viereckigen
 3D-Patch-Elementen (100) und Zuordnen von jeweils vier
 Eckpunkten $(P_{ij}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ der Vielzahl von gespei-
 cherten Punkten $(P_{ij}(x_i, y_i))$ zu jeweils einem viereckigen
 3D-Patch-Element (100);
- Bestimmen der Einfärbung und Helligkeit für jedes viere-
 ckige 3D-Patch-Element (100) durch Berechnen eines zu-
 geordneten Normalenvektors aus den jeweiligen vier Eck-
 punkten $(P_{ij}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ zum nachfolgenden Einstel-
 len der Pixel des 2D-Anzeigeschirms;
- Durchführen einer Koordinatentransformation der Koor-
 dinatendaten (x_i, y_i) der jeweiligen vier Eckpunkte $(P_{ij}, P_{i+1,j},$
 $P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ jedes viereckigen 3D-Patch-Elements (100) in
 jeweils vier Koordinatendaten (x_i, y_i) für vier Eckpunkte $(Q_{ij},$
 $Q_{i+1,j}, Q_{i,j+1}, Q_{i+1,j+1})$ eines entsprechenden viereckigen
 2D-Patch-Elements in einem 2D-Koordinatensystem (X, Y)

auf dem 2D-Anzeigeschirm; . . .



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Darstellung eines 3D-Modells auf einem 2D-Anzeigeschirm durch Einfärbung und Helligkeitseinstellung von einzelnen Pixeln des 2D-Anzeigeschirms. Ein derartiges Verfahren ist aus folgender Publikation bekannt: Wolf-Dietrich Fellner: Computer Grafik, BI Wissenschaftsverlag Mannheim/Wien/Zürich, 1988.

[0002] Aus der Veröffentlichung Rogers, D. F.: Procedural Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill, 1985 ist die Approximation unregelmäßig gestalteter Vierecke durch ein Rechteck bekannt, dessen Seitenkanten parallel zu den horizontalen und vertikalen Achsen eines 2D-Koordinatensystems auf der Darstellungs- und Anzeigefläche ausgerichtet sind. Diese als "bounding box" bekannten Rechtecke dienen der Begrenzung des für die Einfärbung eines Polygons, zum Beispiel eines Vierecks, zu betrachtenden Bereiches.

[0003] Aus der EP 240 246 A2 ist ein Verfahren bekannt, mit dem ein komplexes Polygon (beliebiges n-Eck) zum Einfärben in eine Anzahl einfacherer Polygone (Dreiecke) zerlegt wird. Dadurch kann gleichzeitig eine Verringerung der erforderlichen Komplexität der Grafikerarbeitung und eine Beschleunigung des Einfärbens erreicht werden.

[0004] In jüngster Zeit hat die Computergraphik durch die Verbesserung der elektronischen Ausrüstung und der Software auf dem Gebiet der Computertechnik bemerkenswerte Fortschritte erzielt. Ausgehend von der Drahtskelettmethode, bei der nur die Konturen eines Objektes bezeichnet werden, wurde eine Technik zur Darstellung sowohl eines dreidimensionalen Modells, als auch eines zweidimensionalen Modells (Planarmodell) ein Vollkörperverfahren entwickelt, bei dem die Oberfläche eines Objektes dargestellt wird.

[0005] Die Anzeige eines dreidimensionalen Modells mit Bildabschaltung wurde im einzelnen in den nachfolgenden Publikationen offenbart: "Principles of Interactive Computer Graphics", WH. Newman & R.F. Sproull, MCGRAW-HILL, 1981" und "Fundamentals of Interactive Computer Graphics", und "J.D. Foley & A. VAN DRM, Addison Wesley, 1982". In diesem Zusammenhang wird allgemein eine Methode verwendet, bei der die Oberfläche eines dreidimensionalen Modells in dreieckige, viereckige oder polygonale Abschnitte unterteilt (oder durch Sampling approximiert) wird. Die Normale jedes Abschnittes wird unter Verwendung der äußeren Produkte der Seiten desselben erhalten, während die Farbe des Abschnittes entsprechend dieser Normalen bestimmt wird, und der auf dem Bildschirm projizierte dreieckige, rechteckige oder polygonale Bereich wird mit der so bestimmten Farbe eingefärbt. Nachfolgend soll die Methode unter Bezugnahme auf den gewöhnlichen Fall

beschrieben werden, bei dem eine Oberfläche in viereckige Abschnitte unterteilt wird. Zunächst wird die Oberfläche des dreidimensionalen Modells in eine Anzahl von viereckigen Abschnitten unterteilt und der Normalvektor jedes viereckigen Abschnittes ermittelt. Danach wird die Helligkeit des Abschnittes entsprechend dem Normalvektor ermittelt. Die vier Scheitelpunkte $P_{i,j}$, $P_{i+1,j}$, $P_{i+1,j+1}$ und $P_{i,j+1}$ des viereckigen Abschnittes werden durch Koordinatentransformation jeweils in vier Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ eines zweidimensionalen Koordinatensystems auf dem Anzeigeschirm umgewandelt.

[0006] Danach wird der durch die vier Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ mit der vorbestimmten Farbe und Helligkeit eingefärbt. Die beschriebene Operation wird für alle, die Oberfläche des dreidimensionalen Modells bildenden viereckigen Abschnitte durchgeführt, wodurch das Modell mit Bildabschaltung dargestellt wird. Die Beseitigung der verdeckten Oberfläche kann durch Steuern der Verarbeitungssequenz des rechteckigen Abschnittes erreicht werden.

[0007] Das beschriebene herkömmliche Verfahren zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells besitzt folgende Nachteile: Um ein dreidimensionales, dem Positiv- und Negativverfahren unterworfenen Modell anzuzeigen, ist es erforderlich, auf dem Anzeigeschirm jeden viereckigen Abschnitt zu färben, dessen Seiten mit den Koordinatenachsen verschiedene Winkel bilden. Dann wird im Falle, dass die Anzahl der Probenpunkte (oder die Anzahl der viereckigen Abschnitte) groß ist, der Rechner hoch belastet, so dass die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Verfahrens entsprechend herabgesetzt ist. Die Verarbeitungsgeschwindigkeit kann durch Verkleinern der Anzahl der Einfärbungen erhöht werden, d.h., durch Verringern der Anzahl der Probenpunkte. Dadurch entsteht jedoch ein anderes Problem, dass nämlich die Darstellung des dreidimensionalen Modells weniger genau ist.

Aufgabenstellung

[0008] Es ist demgemäß Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Darstellung eines 3D-Modells auf einem 2D-Anzeigeschirm zu schaffen, wobei das 3D-Modell mit hoher Geschwindigkeit und hoher Genauigkeit dargestellt werden kann.

[0009] Diese Aufgabe in einem Verfahren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 wird durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils von Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung geben die abhängigen Patentansprüche wieder.

[0010] **Fig. 1** stellt ein Erläuterungsdiagramm zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells dar;

[0011] **Fig. 2** stellt ein Erläuterungsdiagramm zur Darstellung der Punkte dar, die in einem zweidimensionalen Koordinatensystem durch Koordinatentransformation erhalten werden;

[0012] **Fig. 3** stellt ein Erläuterungsdiagramm zur

Darstellung von Rechteckflächen oder Pixelfolgen dar, die durch Annäherung der Vierecke erhalten werden;

[0013] **Fig. 4** stellt ein Flussdiagramm zur Beschreibung des Verfahrens zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells gemäß der vorliegenden Erfindung dar; und

[0014] **Fig. 5** stellt ein Erläuterungsdiagramm zur Beschreibung einer Interpolationsmethode dar, die zur Gewinnung von X-Achsenwerten angewandt wird.

[0015] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben.

Ausführungsbeispiel

[0016] **Fig. 1** stellt ein Erläuterungsdiagramm zur Darstellung eines Beispiels eines dreidimensionalen Modells dar. In der Figur bezeichnet das Bezugszeichen **100** die Oberfläche des dreidimensionalen Modells.

[0017] Bei dem oben beschriebenen dreidimensionalen Modell kann ein Punkt (schwarzer Knoten in **Fig. 1**) auf der Oberfläche **100** durch eine z-Koordinate ausgedrückt werden, die eine durch die nachfolgende Gleichung (1) definierte x-Koordinate und eine durch die nachfolgende Gleichung (2) definierte y-Koordinate besitzt: $x = a \cdot i + K1$

(1), wobei $i = 0, 1, 2, 3$ und 4 in **Fig. 1** ist, und die x-Koordinaten in gleichen Abständen a von einem Anfangspunkt $x = k1$ in Richtung der x-Achse auftreten. $y = b \cdot j + K2$

(2) wobei $j = 0, 1, 2, 3, 4$ und 5 in **Fig. 1** ist, und die y-Koordinaten in gleichen Abständen b von einem Anfangspunkt $y = k2$ in Richtung der y-Achse auftreten und * ein Multiplikationssymbol darstellt.

[0018] Ein dreidimensionales Modell wird im allgemeinen in der obigen Weise dargestellt. In einem analytisch dargestellten dreidimensionalen Modell kann eine Anzahl von Punkten einfach durch Probenahme (Sampling) gewonnen werden. Auch im Falle eines elektronisch in einem Rechner erfassten dreidimensionalen Modells können die Punkte automatisch erhalten werden. Insbesondere können im Falle, dass die x-Koordinaten der Punkte der Oberfläche im Rechner in der Weise erfaßt sind, dass sie in einer zweidimensionalen, durch die Variablen i und j bezeichneten Gruppierungen gespeichert sind, die so gespeicherten Daten im nachfolgenden Verfahrensprozess in der Form benutzt werden, wie sie vorliegen.

[0019] Nachfolgend soll die Durchführung der vorliegenden Ausführungsform der Erfindung beschrieben werden. In der folgenden Beschreibung wird ein Punkt (schwarzer Knoten in **Fig. 1**) auf der oberen Grenzfläche entsprechend einem Indexwert i, j durch $P_{i,j}$ dargestellt. Wie beschrieben, wird bei der Darstel-

lung mit Bildschattierung der Normalvektor eines viereckigen Abschnittes durch vier benachbarte Punkte $P_{i,j}$, $P_{i+1,j}$, $P_{i+1,j+1}$ und $P_{i,j+1}$ definiert, die Helligkeit des Abschnittes wird aus dem Normalvektor berechnet, und die vier Punkte werden der Koordinatentransformation unterzogen, so dass sie in einem Koordinatensystem auf dem Bildschirm in Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ umgewandelt werden, und die durch die vier Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ definierte Fläche wird farbig angelegt. Die vorliegende Ausführungsform bezieht sich auf die Koordinatentransformation und das Einfärben der durch die vier Punkte definierten Fläche.

[0020] Bei der Koordinatentransformation werden folgende Transformationsgleichungen (3) und (4) verwendet: $x = (n/a) \cdot (x - k1) - (n/b) \cdot (y - k2) + k_{xoff}$

$$(3) y = k3 \cdot (x - k1) + k4 \cdot (y - k2) + k5 \cdot z + k_{yoff}$$

(4), wobei K_{xoff} , k_{yoff} , $k3$, $k4$ und $k5$ Konstanten oder Versetzungswerte sind.

[0021] Die Gleichungen (3) und (4) können unter Heranziehung der obengenannten Gleichungen (1) und (2) in folgende Gleichungen (5) und (6) vereinfacht werden: $X = n \cdot i - n \cdot j + k_{xoff}$

$$(5) Y = k31 \cdot i + k41 \cdot j + k5 \cdot z + k_{yoff}$$

(6), wobei $k31 = k3 \cdot a$ und $k41 = k4 \cdot b$ ist.

[0022] Wenn die Gleichungen (5) und (6) auf die Punkte $P_{i,j}$, $P_{i+1,j}$, $P_{i+1,j+1}$ und $P_{i,j+1}$ angewandt werden, werden auf dem Bildschirm die Koordinatenpunkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ erhalten, wie **Fig. 2** zeigt. Wie aus Gleichung (5) hervorgeht, ist der X-Koordinatenwert des Punktes $Q_{i+1,j}$ um das n -fache größer als derjenige des Punktes $Q_{i,j}$, während der X-Koordinatenwert des Punktes $Q_{i,j+1}$ um das n -fache kleiner als derjenige des Punktes $Q_{i,j}$ ist. Der X-Koordinatenwert des Punktes $Q_{i+1,j+1}$ entspricht demjenigen des Punktes $Q_{i,j}$.

[0023] Wie **Fig. 2** zeigt, wird der durch die vier Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ definierte Abschnitt durch eine Rechteckfläche mit der Breite n und einer von Punkt $Q_{i,j}$ bis Punkt $Q_{i+1,j+1}$ reichenden Länge approximiert. Anstelle des durch die vier Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ definierten Abschnittes wird die Rechteckfläche **200** mit einer vorbestimmten Farbe eingefärbt. Im Vergleich zu anderen unregelmäßigen Flächen kann die Rechteckfläche **200** leicht gefärbt werden. Die erwähnte Approximation steigert also die Verfahrensgeschwindigkeit. In gleicher Weise kann ein durch vier Punkte $P_{i+1,j}$, $P_{i+2,j}$, $P_{i+2,j+1}$ und $P_{i+1,j+1}$ definierter viereckiger Abschnitt durch eine Rechteckfläche **201** angenähert werden, die eine Breite n und eine von Punkt $Q_{i+1,j}$ bis Punkt $Q_{i+2,j+1}$ reichende Länge besitzt. Auf diese Weise werden also alle viereckigen Abschnitte der Oberfläche auf dem Bildschirm durch Rechteckflächen näherungsweise ersetzt.

[0024] Diese Annäherung liefert ein sehr genaues

Resultat im Falle, dass der Wert n wesentlich kleiner als der Anzeigebereich ist. Bei $n = 1$ wird ein besonderer Effekt erzielt. Wie **Fig. 3** zeigt, wird gemäß den Gleichungen (5) und (6) der X-Koordinatenwert des Punktes $Q_{i+1,j}$ in einen größeren Wert umgewandelt als derjenige des Punktes $Q_{i,j}$, während der X-Koordinatenwert des Punktes $Q_{i,j+1}$ in einen kleineren Wert als den des Punktes $Q_{i,j}$ umgewandelt wird. Die X-Koordinate des Punktes $Q_{i+1,j+1}$ hingegen entspricht derjenigen des Punktes $Q_{i,j}$. Dies bedeutet, dass in **Fig. 3** ein Quadrat ein Pixel darstellt. Die einzufärbende Rechteckfläche hat eine Breite von "1", wobei eine Zeile (Folge) von Pixeln **202** eingefärbt werden muss. Das auf der oberen Grenzfläche **100** durch die vier Punkte $P_{i+1,j}$, $P_{i+2,j}$, $P_{i+2,j+1}$ und $P_{i+1,j+1}$ definierte Viereck wird auf dem Bildschirm durch die Pixelfolge **203** angenähert. Auf diese Weise kann die Einfärbung leichter erfolgen und die Verfahrensgeschwindigkeit entsprechend erhöht werden.

[0025] Die Einfärbung entsprechend dem konventionellen Verfahren leidet unter folgenden Nachteilen: Wenn die Fläche durch die vier Punkte $Q_{i,j}$, $Q_{i+1,j}$, $Q_{i+1,j+1}$ und $Q_{i,j+1}$ definiert ist, werden die die Scheitelpunkte umfassenden Pixel, nämlich die Punkte $Q_{i+1,j}$ und $Q_{i,j}$ eingefärbt. Beim Einfärben ihrer benachbarten Fläche werden die die Punkte $Q_{i+1,j}$ und $Q_{i+1,j+1}$ umfassenden Punkte erneut eingefärbt. Dieser Nachteil kann jedoch durch die Approximation unter Verwendung der Rechteckflächen beseitigt werden, d.h., dass das dreidimensionale Modell mit großer Genauigkeit dargestellt werden kann. Bei der Flächenannäherung durch die Rechteckflächen **200** und **201** oder durch die Pixelfolgen **202** und **203** können alle, der Koordinatentransformation unterzogenen Pixel der oberen Grenzfläche gemäß dem Stande der Technik eingefärbt werden.

Mit $a = b$ und

$$\text{mit } k3 = 1/\tan 60^\circ = 0.57735$$

$$k4 = 1/\tan 60^\circ = 0.57735$$

$$k5 = 2/\tan 60^\circ = 1.15470$$

stellt die Koordinatentransformation auf der Basis der Gleichungen (5) und (6) eine isometrische Projektion dar, so dass ein allgemein geltender visueller Darstellungswinkel erzielt wird. Und im Falle, dass ein dreidimensionales Modell als zweidimensionale Gruppierung im Rechner gespeichert ist, werden die Daten sowohl in Richtung der x-Achse als auch in Richtung der y-Achse in gleichen Abständen gewählt.

Mit $a = b$ und

$$\text{mit } k3 = 0.5 = 1/2$$

$$k4 = 0.5 = 1/2$$

$$k5 = 1.0$$

ist die isometrische Projektion nicht genau. Die Multiplikation kann aber durch eine Versetzungsoperation ersetzt werden, wodurch die Verfahrensgeschwindigkeit weiter erhöht wird.

[0026] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf das in **Fig. 4** dargestellte Flussdiagramm eine Folge von Operationen der Koordinatentransformation und der Pixeleinfärbungen beschrieben. **Fig. 4** betrifft

den Fall, dass $n = 1$, $k_{\text{xoff}} = 0$ und $k_{\text{yoff}} = 0$ ist.

[0027] Als erstes werden der Wert X der X-Koordinate und die Werte $Y1$ und $Y2$ der Y-Koordinate der Punkte $Q_{i,j}$ und $Q_{i+1,j+1}$ entsprechend den Gleichungen (5) und (6) berechnet (Schritt ST300). Als nächstes werden die Werte $Y1$ und $Y2$ miteinander verglichen (Schritt ST301). Wenn $Y2 < Y1$ ist, weist der viereckige Abschnitt mit der Rückseite zum Anzeigeschirm, so daß es nicht erforderlich ist, ihn darzustellen. Nur wenn $Y2 \geq Y1$ ist, wird eine Pixelfolge von Punkt $Q_{i,j}$ bis Punkt $Q_{i+1,j+1}$ eingefärbt (Schritte ST303 bis ST305). Das heißt, dass solange Pixel gefärbt werden, bis der Y-Koordinatenwert den Wert $U2$ erreicht, wobei er um "1" erhöht wird. In Schritt ST303 wird das in der Position X,Y auf dem Anzeigeschirm befindliche Pixel durch eine Farbe (c) ersetzt, die in Bezug auf ihren Abschnitt vorbestimmt ist. Die erwähnte Serie von Schritten wird für alle viereckigen Abschnitte auf der oberen Grenzfläche des dreidimensionalen Modells durchgeführt.

[0028] Die beschriebene Koordinatentransformation des dreidimensionalen Modells in ein zweidimensionales Koordinatensystem ist eine feststehende Transformationsmethode unter Verwendung der isometrischen Projektion. Diese Transformation ist für die Darstellung eines dreidimensionalen Modells auf dem zweidimensionalen Bildschirm in praktischer Hinsicht ausreichend.

[0029] Nun soll der Fall beschrieben werden, dass bei der Darstellung des dreidimensionalen Modells die Teilungsintervalle und die Koordinatentransformation in ein zweidimensionales Koordinatensystem voneinander unabhängig sind. Es sei der Fall betrachtet, dass ein dreidimensionales Modell in ein zweidimensionales Koordinatensystem transformiert wird. In diesem Falle kann durch Umwandlung der Daten a , b , $k3$, $k4$ und $k5$ in den Gleichungen (3) und (4) entsprechend dem Drehwinkel um die Visierlinie das dreidimensionale Modell als in Richtung einer gewünschten Visierlinie betrachtet, dargestellt werden. Bei der obigen Ausführungsform der Erfindung stehen die Teilungsabstände a und b und das Samplingintervall miteinander in Beziehung. Wenn sie jedoch als voneinander unabhängige Parameter behandelt werden, können die rechteckigen Abschnitte durch Rechteckflächen approximiert werden.

[0030] Nachfolgend wird der Fall beschrieben, bei dem das Sampling-Intervall in Richtung der x-Achse und der y-Achse unabhängig von den Teilungsabständen a und b als Konstante d gesetzt wird. Auch in diesem Falle wird der z-Achsenwert eines Punktes $P_{i,j}$ auf der oberen Grenzfläche durch Verwendung der durch die Gleichungen (1) und (2) dargestellten Koordinatenwerte erhalten. In diesem Falle kann der z-Koordinatenwert des Punktes $P_{i,j}$ nicht direkt unter Verwendung von "i,j" erhalten werden, weil die Teilungsabstände a und b nicht in Beziehung mit dem Sampling-Intervall d stehen. Wie jedoch **Fig. 5** zeigt, umgeben vier Probenpunkte $R_{m,n}(X_m, Y_m, Z_{m,n})$, $R_{m+1,n}(X_{m+1}, Y_n, Z_{m+1,n})$, $R_{m+1,n+1}(X_{m+1}, Y_{n+1}, Z_{m+1,n+1})$ und $R_{m,n+1}$

$(X_m, Y_{n+1}, Z_{m,n+1})$ den Punkt, der den x-Koordinatenwert und den y-Koordinatenwert (dargestellt durch die Gleichungen (1) und (2)) entsprechend "i,j" besitzt. Die z-Koordinatenwerte dieser vier Probenpunkte können dazu benutzt werden, den z-Koordinatenwert des Punktes P_{ij} durch folgende Linearinterpolation zu gewinnen: $z = z_{m,n} \cdot (x_{m+1} - x) \cdot (y_{n+1} - y) / d^2 + z_{m+1,n} \cdot (x - x_m) \cdot (y_{n+1} - y) / d^2 + z_{m+1,n+1} \cdot (x - x_m) \cdot (y - y_n) / d^2 + z_{m,n+1} \cdot (x_{m+1} - x) \cdot (y - y_n) / d^2$

(7)

[0031] Der so erhaltene z-Koordinatenwert wird verwendet. Das heißt, dass wie bei der oben beschriebenen Ausführungsform der Erfindung die durch die vier Punkte P_{ij} , $P_{i+1,j}$, $P_{i+1,j+1}$ und $P_{i,j+1}$ definierte Fläche näherungsweise durch eine rechteckige Fläche oder eine Impulsfolge auf dem Anzeigeschirm ersetzt und in gleicher Weise eingefärbt wird.

[0032] Bei dem Verfahren zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells gemäß der vorliegenden Erfindung werden viereckige Abschnitte der oberen Grenzfläche des dreidimensionalen Modells durch Rechteckflächen entlang der x-Achse und der y-Achse eines zweidimensionalen Koordinatensystems auf dem Bildschirm approximiert. Es ist also bei Anwendung der Erfindung nicht mehr erforderlich, die Operation der Einfärbung unregelmäßig gestalteter Vierecke, die der Koordinatentransformation unterzogen werden müssen, durchzuführen, und daher kann das Verfahren zur Einfärbung der Abschnitte mit hoher Geschwindigkeit und hoher Genauigkeit und Bildabschaltung erfolgen.

[0033] Bei dem Verfahren zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells gemäß einem Beispiel wird ein Paar der diagonalen Punkte jeder der Gruppen der viereckigen Abschnitte, die die obere oder untere Grenzfläche des dreidimensionalen Modells bilden, auf ein- und denselben Koordinatenwert einer ersten Koordinatenachse (X-Achse oder Y-Achse) des zweidimensionalen Koordinatensystems projiziert, wobei einer der verbleibenden beiden Punkte auf einen Koordinatenwert projiziert wird, der um das n-fache (n ist eine natürliche Zahl) kleiner als der Koordinatenwert ist, auf den das Paar der diagonalen Punkte projiziert wird, während der andere Punkt auf einen Koordinatenwert projiziert wird, der um das n-fache größer als der Koordinatenwert ist, auf den das Paar der diagonalen Punkte projiziert wird, und wobei ein durch die so projizierten Punkte definierter viereckiger Abschnitt durch eine Rechteckfläche angenähert wird, die in Richtung der X-Achse oder der Y-Achse des zweidimensionalen Koordinatensystems eine Breite n besitzt.

[0034] Weiter wird bei dem Verfahren zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells gemäß einem weiteren Beispiel unter Benutzung von Koordinatenwerten auf der x-Achse und der y-Achse als Indices das dreidimensionale Modell im Rechner durch eine zweidimensionale Gruppierung ausgedrückt, die auf der z-Achse des dreidimensionalen Modells einen

oberen oder unteren Grenzwert umfasst.

[0035] Darüber hinaus wird bei dem Verfahren zur Darstellung eines dreidimensionalen Modells gemäß einem weiteren Beispiel im Falle, dass die Teilungs- und Sampling-Intervalle des dreidimensionalen Modells voneinander unabhängig sind, der z-Koordinatenwert eines Punktes auf der oberen, durch vier Scheitelpunkte (Probenpunkte) abgesteckten Grenzfläche auf dem Bildschirm aus den Koordinatenwerten von vier Probenpunkten durch Linearinterpolation bestimmt, und der so berechnete Punkt wird der Koordinatentransformation unterzogen.

[0036] Bei dem Verfahren zur Darstellung des dreidimensionalen Modells gemäß einem weiteren Beispiel wird die Koordinatentransformation eines Punktes auf dem dreidimensionalen Modell in einen Punkt auf dem Bildschirm unter Berücksichtigung der Pixels des Bildschirms durchgeführt, wobei die Abschnitte des dreidimensionalen Modells durch einfache Rechteckflächen oder Pixelfolgen angenähert werden, die dann eingefärbt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Darstellung eines 3D-Modells auf einem 2D-Anzeigeschirm durch Einfärbung und Helligkeitseinstellung von einzelnen Pixeln des 2D-Anzeigeschirms, insbesondere zur Verwendung im CAD- oder CAM-Bereich, und mit einem Rechner, der die folgenden Schritte ausführt:

- a) elektronisches Erfassen und Speichern in dem Rechner von Koordinatendaten (x_i, y_i) einer Vielzahl von Punkten $(P_{ij}(x_i, y_i))$ auf der Oberfläche des 3D-Modells eines durch Koordinatenachsen (x, y, z) definierten Raums;
- b) Unterteilen der Oberfläche des 3D-Modells in eine Vielzahl von benachbart zueinander angeordneten viereckigen 3D-Patch-Elementen (100) und Zuordnen von jeweils vier Eckpunkten $(P_{ij}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ der Vielzahl von gespeicherten Punkten $(P_{ij}(x_i, y_i))$ zu jeweils einem viereckigen 3D-Patch-Element (100);
- c) Bestimmen der Einfärbung und Helligkeit für jedes viereckige 3D-Patch-Element (100) durch Berechnen eines zugeordneten Normalenvektors aus den jeweiligen vier Eckpunkten $(P_{ij}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ zum nachfolgenden Einstellen der Pixel des 2D-Anzeigeschirms;
- d) Durchführen einer Koordinatentransformation der Koordinatendaten (x_i, y_i) der jeweiligen vier Eckpunkte $(P_{ij}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ jedes viereckigen 3D-Patch-Elements (100) in jeweils vier Koordinatendaten (x_i, y_i) für vier Eckpunkte $(Q_{ij}, Q_{i+1,j}, Q_{i,j+1}, Q_{i+1,j+1})$ eines entsprechenden viereckigen 2D-Patch-Elements in einem 2D-Koordinatensystem (X, Y) auf dem 2D-Anzeigeschirm;
- e) Einstellen der Helligkeit und Einfärbung der einzelnen Pixel des 2D-Anzeigeschirms für jedes 2D-Patch-Element mit der für jedes zugeordnete 3D-Patch-Element (100) aus dem jeweiligen Norma-

lenvektor bestimmten Helligkeit und Einfärbung; **dadurch gekennzeichnet**, dass

die Koordinatentransformation derart erfolgt, dass ein erstes Paar diagonalen Eckpunkte des entsprechenden viereckigen 2D-Patch-Elements auf einer der Koordinatenachsen des 2D-Koordinatensystems (X, Y) denselben Wert hat und das andere Paar diagonalen Eckpunkte auf derselben Koordinatenachse des 2D-Koordinatensystems (X, Y) einen Wert hat, der gegenüber dem Wert für das erste Paar um das n -fache verschoben ist, und zwar für jeweils einen Eckpunkt in eine jeweils andere Richtung; und dass das Verfahren vor der Einstellung im Schritt e) weiterhin folgenden Schritt aufweist:

f) Approximieren der viereckigen 2D-Patch-Elemente durch regelmäßige rechteckige 2D-Patch-Elemente $(200, 201)$, deren Seitenkanten parallel zu den horizontalen und vertikalen Achsen des 2D-Koordinatensystems (X, Y) auf dem Anzeigeschirm ausgerichtet sind, wobei zwei einander gegenüberliegende Eckpunkte $(Q_{i,j}, Q_{i+1,j+1})$ eines entsprechenden viereckigen 2D-Patch-Elements auf zwei einander gegenüberliegenden Seitenkanten in deren Mitte liegen.

2. Verfahren zur Darstellung eines 3D-Modells nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass unter Verwendung der Koordinatenwerte der ersten (x) und der zweiten Koordinatenachse (y) als Index das 3D-Modell im Rechner durch eine zweidimensionale Gruppierung ausgedrückt wird, die einen oberen oder unteren Grenzwert auf der dritten Koordinatenachse (z) des 3D-Modells umfasst.

3. Verfahren zur Darstellung eines 3D-Modells nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Koordinatenwerte auf der dritten Koordinatenachse (z) der vier in das 2D-Koordinatensystem (X, Y) auf dem 2D-Anzeigeschirm transformierten Eckpunkte $(Q_{i,j}, Q_{i+1,j}, Q_{i,j+1}, Q_{i+1,j+1})$ durch Linearinterpolation aus den Koordinatenwerten der vier den Eckpunkten $(Q_{i,j}, Q_{i+1,j}, Q_{i,j+1}, Q_{i+1,j+1})$ benachbarten Eckpunkte $(P_{i,j}, P_{i+1,j}, P_{i,j+1}, P_{i+1,j+1})$ bestimmt werden.

4. Verfahren zur Darstellung eines 3D-Modells nach Anspruch 1, ausgeführt auf einem Computer, zur Verwendung im CAD- oder CAM-Bereich, umfassend einen 2D-Anzeigeschirm, eine Speichereinrichtung und eine Steuereinrichtung zum Ausführen der Schritte a)-f) gemäß Anspruch 1.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

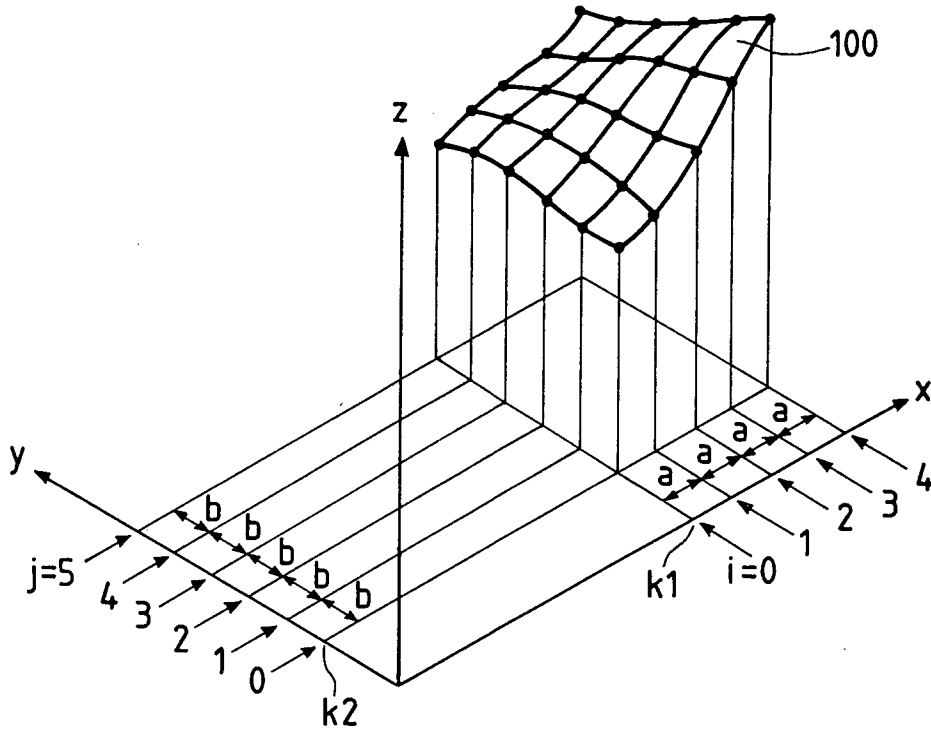


FIG. 2

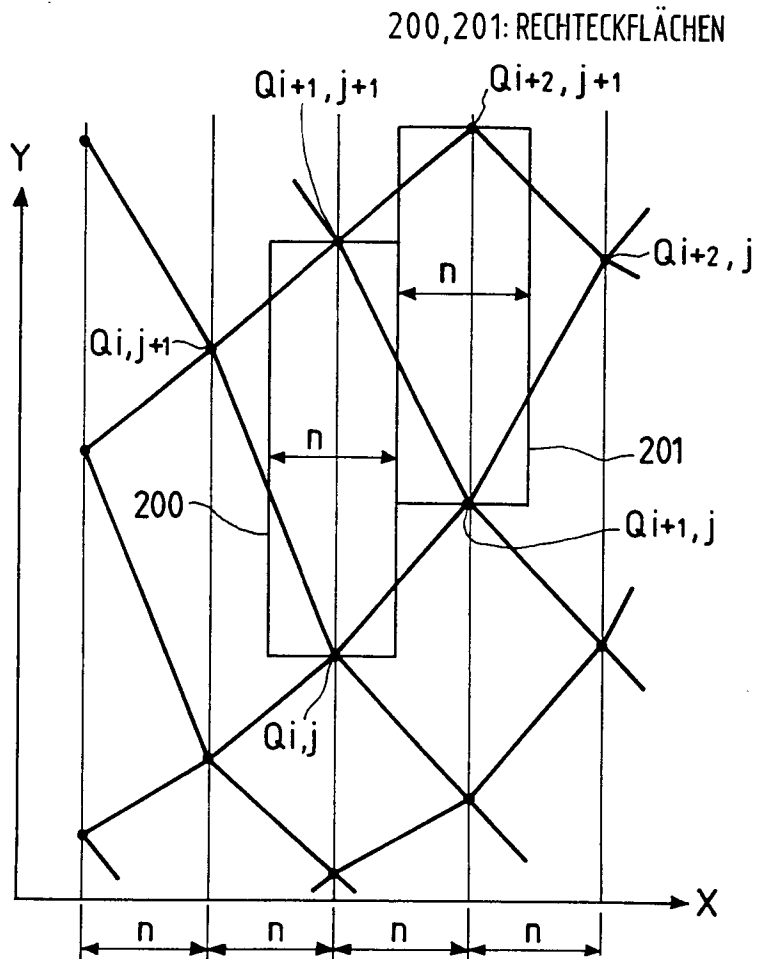


FIG. 3

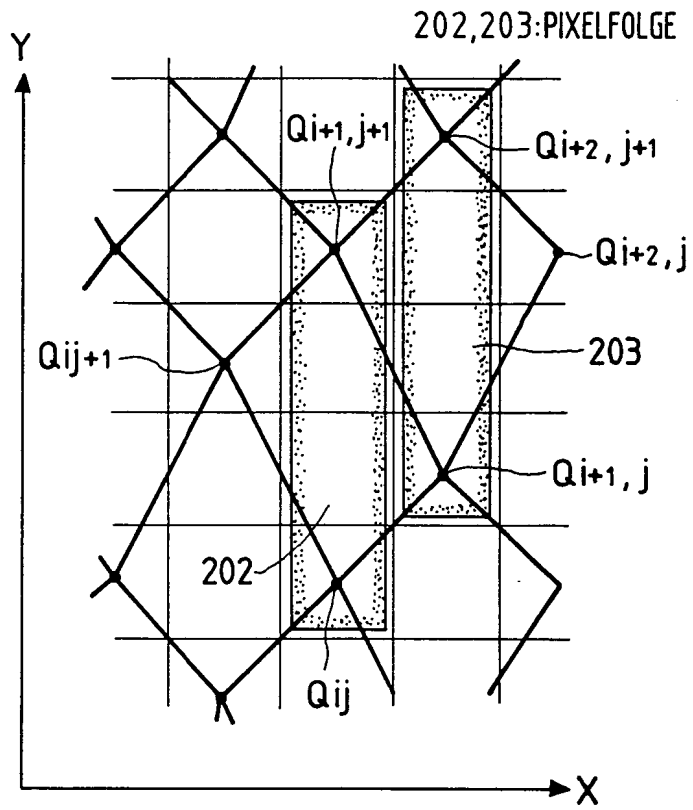


FIG. 5

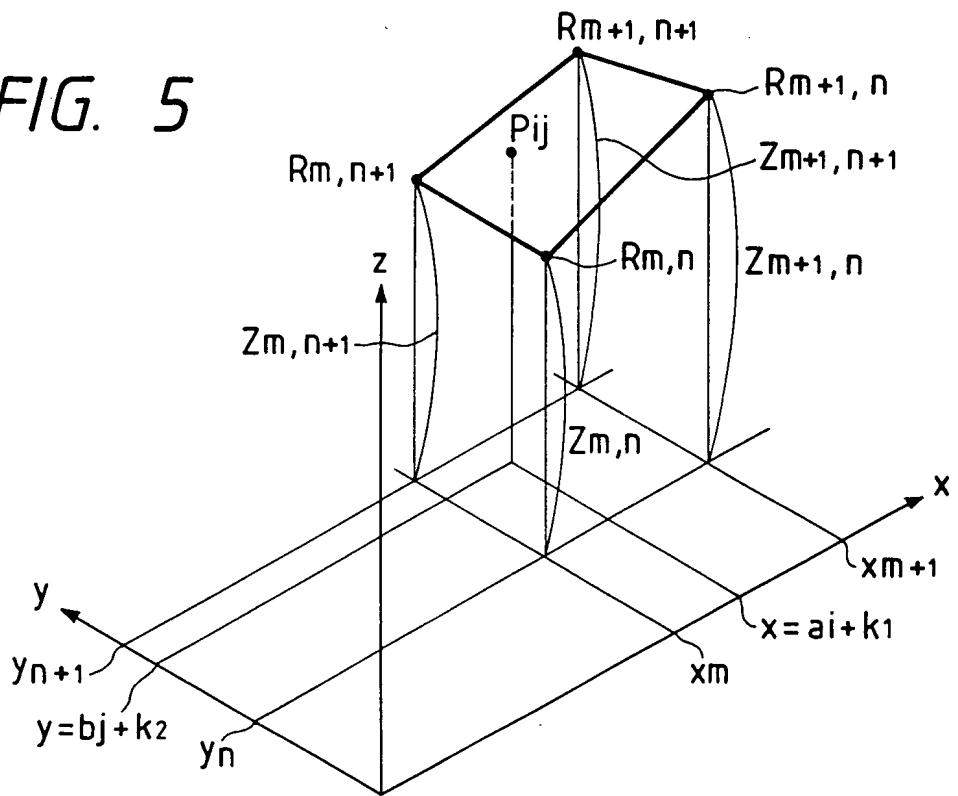


FIG. 4

