



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 00 122 T2 2004.07.08**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 255 219 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 00 122.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 252 696.6**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.04.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **06.11.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.12.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.07.2004**

(51) Int Cl.7: **G06K 11/08**

G06K 11/18, G06K 11/20, G06F 3/033

(30) Unionspriorität:

845544 30.04.2001 US

(73) Patentinhaber:

Agilent Technologies, Inc., Palo Alto, Calif., US

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Dietz, Zachary, Logmont, US; Moore, Charles E.,
Loveland, US; Wallace, Hugh, Fort Collins, US**

(54) Bezeichnung: **Optisches Navigationssystem**

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

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein optisches Navigationssystem. Der Gegenstand dieser Anmeldung bezieht sich auf jene der U.S.-Patente Nr. 6.057.540; Nr. 5.578.813 und Nr. 5.786.804. Diese drei Patente beschreiben Techniken zum Verfolgen einer Positionsbewegung, wobei die Techniken Komponenten des bevorzugten Ausführungsbeispiels umfassen, das nachfolgend beschrieben ist.

[0002] Eine optische Navigation auf beliebigen Oberflächen erzeugt Bewegungssignale, die eine relative Bewegung entlang der Richtungen von Koordinatenachsen anzeigen, und wird immer häufiger. Sie wird z. B. in optischen Computermäusen und Fingerspitzenverfolgungsvorrichtungen verwendet, um herkömmliche Mäuse und Führungskugeln bzw. Trackballs für die Positionssteuerung von Bildschirmzeigern in als Fenster angezeigten Benutzerschnittstellen für Computersysteme zu ersetzen. Sie hat viele Vorteile, unter welchen das Fehlen von beweglichen Teilen ist, die Schmutz ansammeln und unter mechanischem Benutzungsverschleiß leiden. Ein anderer Vorteil einer optischen Maus ist, daß sie kein Mauspad benötigt, da sie allgemein in der Lage ist, auf beliebigen Oberflächen zu navigieren, solange diese nicht optisch merkmalslos sind.

[0003] Eine optische Navigation arbeitet durch Verfolgen der relativen Verlagerung von Bildern. Eine zweidimensionale Ansicht eines Abschnitts der Oberfläche wird auf ein Array aus Photodetektoren fokussiert, dessen Ausgaben digitalisiert sind und als ein Referenzbild in einem entsprechenden Speicherarray gespeichert werden. Eine kurze Zeit später wird ein Abtastbild ebenfalls digitalisiert. Wenn keine Bewegung stattgefunden hat, dann sind das Abtastbild und das Referenzbild identisch (oder annähernd). Was natürlich ausgedrückt werden soll, ist, daß die gespeicherten Arrays als übereinstimmend erscheinen. Wenn andererseits eine bestimmte Bewegung ausgeführt wurde, dann erscheint das Abtastbild innerhalb seiner Grenzen verschoben, und die digitalisierten Arrays stimmen nicht mehr überein (d. h., wenn ihre Grenzen ebenfalls abgeglichen sind). Der Übereinstimmungsprozeß wird „Korrelation“ genannt und kann auf verschiedene Weisen durchgeführt werden, wobei eine derselben in den aufgenommenen Patenten beschrieben ist. Isoliert betrachtet beantwortet die Korrelation die enge Frage „Sind diese zwei Bilder ausgerichtet?“ Wenn die Antwort „Nein“ ist, könnte dies aufgrund einer zwischenzeitlichen Bewegung in eine Richtung sein, und ein zusätzlicher Mechanismus wird benötigt, um die Richtung und den Betrag der Verlagerung herauszufinden, die ein Korrelationsergebnis von „Ja“ oder „Annähernd“ erzeugt. Was durchgeführt wird, ist das Ausführen von Korrelationen zwischen einem der gespeicherten Bilder (hier dem Referenzbild) und einer Sammlung von verschobenen Versionen des anderen (Abtast-) Bildes. Die Verschiebungen sind keine Verschiebung,

eins zur Seite, eins zur Seite und eins nach oben, eins nach oben, eins zur Seite in die andere Richtung etc., für acht eigentliche Verschiebungen und eine „Null“-Verschiebung. Es würde dann erwartet werden, daß eine dieser neun Korrelationen besser als die anderen ist, und ihre Richtung und ihr Betrag der Verschiebung wird als eine Anzeige der dazwischenliegenden Bewegung genommen.

[0004] Der Navigationsmechanismus behält Geschwindigkeits(Schnelle- und Richtungs-) Informationen bei. Wenn ein neuer Abtastrahmen mit dem Referenzrahmen korreliert werden soll, kann eine vorhergesagte Verschiebung als der Startpunkt für die neun Verschiebungen verwendet werden. Bei dieser Anordnung tragen die Korrelationsergebnisse zu einer aktualisierten Geschwindigkeit bei und ratifizieren oder modifizieren die Bewegung, die soeben vorhergesagt wurde. Eine Vorhersage wird verwendet, um den Referenzrahmen „vorab zu verschieben“, bis zu einer Zeit, zu der der neue Abtastrahmen nicht mit einem beträchtlichen Abschnitt des verschobenen Referenzrahmens überlappt. Zu dieser Zeit wird ein neuer Referenzrahmen genommen. Eine Vorhersage kann verwendet werden, um die Abtastrate zu verlangsamen, um Leistung zu sparen (wenn die Lichtquelle gepulst ist oder zwischen Abtastungen abgeschaltet werden kann), wenn die Stromgeschwindigkeit niedrig ist.

[0005] Die grundlegende Technik, die oben beschrieben wurde, funktioniert gut, wenn die Oberfläche Bilder erzeugt, die als Regionen von hell und dunkel definiert durch geschlossene Grenzen erscheinen. Die Grenzen müssen nicht abrupt sein; sie können graduell sein. Und wenn die Formen der Regionen ausreichend asymmetrisch oder unregelmäßig sind, dann kann eine Verschlusßanforderung für die Grenzen gelockert werden. Der Verschiebungs- und Korrelations-Mechanismus kann jedoch Schwierigkeiten antreffen, wenn viel Symmetrie und keine geschlossenen Grenzen vorliegen. Zum Beispiel, wenn eine Maus auf einem holzgefasernten Schreibtisch navigiert. Unter den richtigen Umständen könnten die Bilder, die dem Korrelierer vorgelegt werden, derart erscheinen, daß sie eine Reihe von parallelen Linien darstellen. Es ist einfach, eine Bewegung in der Richtung über die Linien zu erfassen, aber nicht in der Richtung entlang der Linien. Das Ergebnis ist eine überlistete Maus und ein frustrierter Benutzer (faserige Oberflächen sind nur manchmal lästig. Viel hängt von der Merkmalsgröße ab, sowie von der Orientierung. Parallele Merkmale, deren Abstand geringer ist als die Beabstandung zwischen zwei Photodetektoren, werden nicht als getrennte Entitäten aufgelöst. Schwierige Fälle entstehen für parallele Merkmale, die z. B. mit jedem zweiten oder jedem dritten Photodetektor ausgerichtet sind. Im allgemeinen, je mehr die Merkmalsbeabstandung von jenen lästigen Fällen abweicht, desto weniger Schwierigkeit entsteht. Nur weil eine Oberfläche faserig ist, bedeutet dies nicht, daß sie einen schwierigen Fall darstellt.)

[0006] Eine Lösung für diese gelegentliche Schwierigkeit wäre es, die Auflösung zu erhöhen, mit der Bilder dargestellt werden. Man könnte das Bild mehr vergrößern, die Pixeldichte erhöhen oder jedes Pixel auf eine größere Anzahl von Bits digitalisieren. Die Hoffnung ist, daß solche Merkmale, die als sich regelmäßig wiederholend erscheinen, (und somit nicht unterscheidbar) unregelmäßig werden (und somit voneinander unterscheidbar). Jede dieser Lösungen hat ihren eigenen Nachteil, worunter erhöhte Kosten und Komplexität und ein Bedarf nach größerer Geschwindigkeit sind, nur um eine gegebene Verfolgungsrate über die Oberfläche beizubehalten.

[0007] Eine andere Technik, die verwendet wurde, um das Parallel-Linienproblem zu verringern, ist ein (räumliches) Filtern der Bilder, bevor sie korreliert werden. Die Idee ist das Modifizieren der Arrays, die korreliert werden sollen, derart, daß ein regelmäßiges Muster in den Daten zumindest teilweise unterdrückt wird. Dies ermöglicht, daß das Ansprechen des Korrelationsmechanismus mehr auf unregelmäßigen Merkmalen in dem Bild basiert und weniger auf regelmäßig wieder auftretenden Merkmalen, die starke Korrelationen erzeugen, die nicht von einer Bewegung abhängig sind. Die Idee ist ähnlich zum Herausfiltern eines bekannten starken Signals, um ein schwächeres wiederzugewinnen. Das Filtern wird durch Ändern der Werte in den verschiedenen Positionen eines Arrays gemäß einer arithmetischen Kombination mit den Werten in symmetrisch gegenüberliegenden Positionen durchgeführt, die um den Ort von Interesse angeordnet sind. Die Entfernung eines störenden Signals durch Gleichtaktunterdrückung mit einem Differentialverstärker wird präsent. Ein Beispiel wird nachfolgend gegeben, aber sogar aktuell wird angenommen, daß diese Technik das Bild verzerrt oder ändert, das verfolgt wird. Diese ist akzeptabel, da Wiedergabetreue sowieso nicht von besonderem Interesse ist. Die Inhalte des Arrays werden nie als ein Bild angezeigt; der Wunsch ist nur das Verfolgen. Die bekannte Technik enthält unterschiedliche räumliche Filter, die auf die Weise verwendbar sind, die soeben beschrieben wurde, und sobald ein Geeignetes durch den Entwerfer identifiziert wurde, wird dasselbe einfach als ein permanentes Merkmal in das System eingelagert.

[0008] Ein solches (räumliches) Filter wurde bei herkömmlichen optischen Mäusen verwendet, um mit dem Problem von parallelen Linien umzugehen, die z. B. aus Holzfaserlauf entstehen. Es ist in zwei orthogonalen Richtungen wirksam (relativ zu der räumlichen Struktur, mit der das Array aus Photosensoren ausgelegt ist), und es wird das „Standard“-Filter genannt. Es besteht jedoch ein wesentlicher Bereich von Orientierungen in der Mitte zwischen diesen zwei Achsen, die das Standard-Filter täuschen und bei denen die Maus wiederum verwirrt erscheint, wenn sie auf lange parallele Merkmale trifft.

[0009] Die vorliegende Erfindung schafft eine verbesserte optische Navigation.

[0010] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum räumlichen Filtern eines Bildes geschaffen, um einen Faserlauf vor der Navigation zu entfernen, gemäß Anspruch 1.

[0011] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Minimieren der Auswirkung von Faserlauf auf die Navigation gemäß Anspruch 3 geschaffen.

[0012] Eine bevorzugte Lösung für das Problem des optischen Navigierens auf Oberflächen mit Faserlauf, deren Orientierung mit ungefähr 45° zu der X- und Y-Achse des Navigationsmechanismus geneigt ist, ist: zuerst das Erfassen, daß das verwendete räumliche Filter unangemessen für die Orientierung ist, die momentan auftritt, und: zweitens das Verwenden eines unterschiedlichen und geeigneteren räumlichen Filters nachfolgend zu einer solchen Erfassung. Zwei Zusatzfilter wurden entwickelt, die jeweils um die 45° - und 135° -Neigungen (die Problemregionen) des Standardfilters (der entlang der X- und Y-Achse orientiert ist) wirksam sind. Es wurde ein Test entwickelt für die Form einer Korrelationsoberfläche (oder Schale, von unten betrachtet), die bei dem Navigationsprozeß verwendet wird. Der Test verwendet das Vorhandensein eines Stegs (oder Sattels) in der Korrelationsoberfläche (Schale) und erzeugt eine Steuerungsmetrik, deren Exkursionen durch ein Steuerungssystem verfolgt werden, das das in Verwendung befindliche Filter ändert. Das Steuerungssystem umfaßt eine Zeitkonstante, um eine Überlastung und eine übermäßige Empfindlichkeit gegenüber isolierten zufälligen Abweichungen zu verhindern. Die Richtung, aus der die Beleuchtung ankommt, relativ zu der X- und Y-Achse, scheint eine Auswirkung auf den Winkelbereich zu haben (z. B. relativ zu der Y-Achse), indem ein Filter wirksam ist, durch Ändern der scheinbaren Größe und Proportionen der Erhellungen und Schatten, die die wahrgenommenen Merkmale sind, auf denen letztendlich navigiert wird. Zum Beispiel, wenn Licht die Navigationsoberfläche als Strahlen im wesentlichen parallel zu der Y-Achse trifft (eine übliche Tatsache), dann kann der Winkelbereich (für Faserlauforientierung) des Standardfilters um die X-Achse ungefähr die Hälfte des entsprechenden Bereichs um die Y-Achse sein. Ähnliche Asymmetrien in den Operationsbereichen werden in den geneigten Filtern bemerkt. Die Operation des Steuerungssystems kann verbessert werden, durch Sicherstellen einer Überlappung der Filteroperationsbereiche, aus Furcht, daß eine fehlende Überlappung eine Instabilität des Steuerungssystems induziert. Eine Filterbereichsüberlappung kann veranlaßt werden, durch dynamisches Ändern der Richtung, aus der die Beleuchtung die Navigationsoberfläche erreicht, so daß sie dem in Verwendung befindlichen Filter entspricht oder in Bezug auf denselben variiert.

[0013] Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend ausschließlich beispielhaft Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen

gen beschrieben, in denen:

[0014] **Fig. 1** eine Darstellung eines digitalisierten Fünfundzwanzig-Zellen-Bildes für ein optisches Navigationssystem ist, das in einem Speicher als eine zweidimensionale Datenstruktur gespeichert ist;

[0015] **Fig. 2** ein Bild nach der Art und Weise von **Fig. 1** ist, das aber künstlich vergrößert wurde, um ein Filtern zu ermöglichen;

[0016] **Fig. 3** eine Darstellung eines „Standard“-Filters ist, das in der bekannten Technik verwendet wird, aber Probleme verursacht, wenn ein diagonalen Faserlauf angetroffen wird;

[0017] **Fig. 4** das arithmetische Ergebnis des Filterns eines vergrößerten Bildes aus **Fig. 2** mit dem Filter aus **Fig. 3** darstellt;

[0018] **Fig. 5** ein Beispiel ist, das ein sich bewegendes Eingabebild gegen den horizontalen Faserlauf und seine verwendbaren gefilterten Ergebnisse zeigt;

[0019] **Fig. 6** ein Beispiel ist, das dasselbe sich bewegende Eingabebild wie in **Fig. 5** zeigt, aber gegen einen diagonalen Faserlauf, und das die Erzeugung von unbenutzbaren Ergebnissen aus dem Standardfilter darstellt;

[0020] **Fig. 7** eine Darstellung eines Filters ist, das unter bestimmten Umständen verwendet werden kann, wenn das Standardfilter aus **Fig. 3** ausfällt;

[0021] **Fig. 8** eine Darstellung eines anderen Filters ist, das unter bestimmten anderen Umständen verwendet werden kann, wenn das Standardfilter aus **Fig. 3** ausfällt;

[0022] **Fig. 9** ein Beispiel ist, das das sich bewegende Eingabebild aus **Fig. 6** zeigt, aber gefiltert mit dem Filter aus **Fig. 7**, um verwendbare Ergebnisse zu erzeugen;

[0023] **Fig. 10** ein Beispiel ähnlich zu **Fig. 9** ist, das jedoch das Filter aus **Fig. 8** verwendet;

[0024] **Fig. 11** eine Darstellung einer Abtastkorrelationsoberfläche ist, die aus einem Array aus Korrelationswerten erzeugt wird;

[0025] **Fig. 12** ein Zustandsdiagramm ist, das einen Filterauswahlprozeß zeigt, basierend auf der Form einer Korrelationsoberfläche, die während einer optischen Navigation verfolgt werden kann, um den Schaden zu vermeiden, der durch einen Faserlauf verursacht wird, der nachteilig für ein in Verwendung befindliches Filter ist;

[0026] **Fig. 13** ein Zustandsdiagramm ähnlich zu dem aus **Fig. 12** ist, das jedoch eine Änderung der Beleuchtungsposition einlagert, die durch eine Untersuchung der Form einer Korrelationsoberfläche gesteuert wird; und

[0027] **Fig. 14** ein Diagramm ist, das die Positionen von Beleuchtungsquellen zeigt, die durch eine Analyse der Korrelationsergebnisse auswählbar sind.

[0028] Bevor eine Erklärung der bevorzugten Lösung für das Problem unternommen wird, ist es zweckmäßig, das Problem zu demonstrieren. Im Verlauf werden einige vereinfachte Beispiele präsentiert, die als gute „Vorher“- und „Nachher“-Darstellungen dienen, und ferner hilfreich sind durch Bereitstellen

einer nützlichen Schreibweise, die in der nachfolgenden Ausführung verwendet wird. Bestimmte Beispiele entfernen auch das Gefühl von Abstraktion, das anderweitig das gewünschte Verständnis schmälern könnte.

[0029] Es wird nun Bezug auf **Fig. 1** genommen, in der ein Fünf-Pixel- ($X = 1$ bis 5) mal Fünf-Pixel- ($Y = 1$ bis 5) Bildarray (**1**) aus fünfundzwanzig digitalisierten Werten ($a-y$) gezeigt ist, die aus einem Array von Photosensoren (nicht gezeigt) erhalten werden. Das digitalisierte Bildarray **1** kann derart betrachtet werden, daß fünfundzwanzig Sechs-Bit- (oder vielleicht Acht-Bit-) Werte, die in einer Speicherdatenstruktur gespeichert sind, als ein zweidimensionales Array organisiert sind. Bei einer bevorzugten optischen Navigationsschaltung für eine Maus oder eine andere Zeigeeingabevorrichtung für einen Computer wäre das tatsächliche digitalisierte Bild vorzugsweise Sechzehn mal Sechzehn oder vielleicht Achtzehn mal Achtzehn. Es wird ausgewählt bei dieser Erklärung mit Fünf mal Fünf zu verfahren, nicht unbedingt für eine intellektuelle Vereinfachung (es entstehen dieselben Probleme), aber da die Größe des tatsächlichen Falls unbequem groß ist, sowohl im Hinblick auf das Zeichnen der nutzbaren Fläche als auch im Hinblick auf die gebrauchte Schreibweise, ohne Hinzufügen eines echten Vorteils gegenüber einer kleineren Aufbereitung, wie z. B. dem hier gezeigten Fünf-mal-Fünf-Fall.

[0030] Um dann fortzufahren, stellt **Fig. 1** ein optisches Bild dar, das auf einem Array von Photodetektoren (nicht gezeigt) fokussiert wurde, digitalisiert wurde und dann in dem Speicher gespeichert wurde. Ferner kann es ein Bild sein, das soeben erworben wurde (ein Abtastbild) oder es kann eines sein, das vor einiger Zeit erhalten wurde und als ein Referenzbild verwendet wird.

[0031] Sowohl Abtast- als auch Referenz-Bilder werden (räumlich) gefiltert, bevor sie durch den Korrelationsprozeß verwendet werden. Da die Bilder von endlichem Ausmaß sind, wird erwartet, daß ein Filterprozeß ein übergangsmäßiges Verhalten an den Kanten des Bildes zeigt. Um die Wirkung dessen auf den Korrelationsmechanismus zu minimieren, werden zuerst die Bilder ausgedehnt, die gefiltert werden sollen. Wie dies durchgeführt wird, ist in **Fig. 2** gezeigt. Es wird darauf hingewiesen, daß die Ausdehnung die Außenkanten des Arrays um eine Zeile oder Spalte nach außen bewegt, nach Bedarf in jeder Richtung, wobei die ursprünglichen vier Ecken jeweils dreimal repliziert werden. Somit wird das Array **1** aus **Fig. 1** zu dem ausgedehnten Array **2** in **Fig. 2** und weist sieben Zeilen und sieben Spalten auf. Es wird beobachtet, wie z. B. der Originalwert „a“ (**3**) in der Ausdehnung als drei weitere „as“ (**4**, **5** und **6**) repliziert wird. Dasselbe passiert mit „e“, „u“ und „y“ in den anderen Ecken.

[0032] Es wird ferner darauf hingewiesen, daß **Fig. 2** fünfundzwanzig Positionen (das Kartesische Produkt von fünf X-Positionen, genannt X1 bis X5

und fünf Y-Positionen, genannt Y1 bis Y5) zeigt. Jede dieser fünfundzwanzig Positionen definiert eine neunteilige (drei mal drei) geordnete Sammlung, das eine Instanz der Eingabe in das Filter ist. Das Filter bearbeitet die geordneten neun Teile (was Mehrfachbitzahlen sind) und erzeugt eine einzelne numerische Ausgabe, die dem Mittelpunkt der Drei-mal-Drei-Eingabe zugeordnet ist.

[0033] Es soll nicht angenommen werden, daß nur Drei-mal-Drei-Filter angemessen sind. Andere Filtergrößen können verwendet werden, sie können sogar asymmetrisch sein (z. B. Drei mal Vier).

[0034] Das Filter, das das „Standard“-Filter genannt wird, ist in **Fig. 3** gezeigt. Es ist ein Array **7** aus neun Koeffizienten, das über dem vergrößerten Bild an jeder der fünfundzwanzig Filterpositionen angezeigt durch die X (1–5) mal Y (1–5) Indizes positioniert ist. An jeder dieser Positionen erzeugt es einen einzelnen Ausgabewert gemäß den Summierungen der Zellen, die als multipliziert mit den Koeffizienten in dem Filter beitragen. Das Array **8** in **Fig. 4** zeigt genau an, welches Fünf-mal-Fünf-gefilterte Array aus der Anwendung des Standardfilters **7** in **Fig. 3** an das ausgedehnte Array **2** aus **Fig. 2** resultiert.

[0035] Es besteht eine zusätzliche Filtereigenschaft, die erwähnt werden soll. Wenn die digitalisierten Eingaben z. B. Acht-Bit-Werte wären, dann würden gemäß der Arithmetik, die in **Fig. 4** angezeigt ist, Zehn-Bit-Werte benötigt werden, um die Ergebnisse aufzuzeichnen, wenn die resultierenden arithmetischen Werte getreu bewahrt werden sollen. Dies könnte durchgeführt werden, wird jedoch nicht. Statt dessen wird ein anderer Lösungsansatz unternommen. Während Bilder mit ihren verschobenen Versionen korreliert werden sollen, stellt sich heraus, daß dies ohne weiteres nur durch Ansprechen auf die „Form“ des Bildes durchgeführt werden kann, dadurch, daß der „Schattierung“ des Bildes Bedeutung gegeben wird. Dies wird dadurch erreicht, daß nur das Vorzeichenbit des numerischen Ergebnisses des Filters als die Ausgabe des Filters genommen wird. (Bei einem anderen Ausführungsbeispiel könnte eine Zwischenanzahl von Bits gewählt werden.) Dadurch, daß nur das Vorzeichenbit genommen wird, wird ein geringer Betrag von Gewißheit von Zeit zu Zeit geopfert, aber es wird ein bedeutender Vorteil im Hinblick auf eine reduzierte Schaltungskomplexität, reduzierte Größe und Kosten der optischen Navigations-IC, vielleicht sogar erhöhte Schnelligkeit der Operation für eine gegebene Taktrate gewonnen. Dementsprechend wird das Filter hergestellt, um ausschließlich ein Bitvorzeichen des tatsächlichen arithmetischen Ergebnisses für jene Operationen auszugeben, die dem Filter zugeordnet sind und die in den verschiedenen Zellen aus **Fig. 4** angezeigt sind. Bei dieser Anordnung (die in den nachfolgenden Figuren verwendet werden soll), zeigt eine Eins als eine Filterausgabe an, daß das numerische Ergebnis für diese Zelle negativ war, während eine Null anzeigt, daß es Null oder positiv war.

[0036] Es wird nun Bezug genommen auf **Fig. 5**, wo ein vereinfachter Fall des Stands der Technik dargestellt ist, in dem sich das Standardfilter auf geeignete Weise verhält. Auf der linken Seite von **Fig. 5** sind drei Eingabebilder **9**, **14** und **19** als eine Sequenz von Mausbewegungen über ein unveränderliches Bild gezeigt, wie durch die Pfeile **24** und **25** angezeigt ist. Die Bewegungen sind durch ein Pixel „nach unten“ (Bild **9** bis **14**) und dann durch ein Pixel „zur Seite“ (Bild **14** bis **19**) getrennt. Die Bilder umfassen ein unterscheidbares Merkmal, das ein Quadrat aus vier benachbarten 1'en ist (gezeigt der Zweckmäßigkeit halber nur in dick umrandeten Kästen **10**, **15** und **20** in den Bildern **9**, **14** bzw. **19**). Diese ungefilterten Eingabebilder (**9**, **14** und **19**) umfassen eine horizontale Faserlaufkomponente, die hinzugefügt wurde, um zu zeigen, daß sie herausgefiltert wurde, wie es vorgeesehen ist. Diese horizontale Faserlaufkomponente ist die obere Zeile aus 1'en in **9**, die dann zu der nächsten Zeile abwärts von oben in den Eingabebildern **14** und **19** wird.

[0037] Vor dem Fortfahren muß eine potentiell verwirrende Vereinfachung identifiziert werden, die ab **Fig. 5** vorliegt. Es wurde angegeben, daß die Werte, die die Eingabearrays **9**, **14** und **19** besetzen, Mehrfachbitwerte sind. Der Einfachheit halber in unseren Figuren ab **Fig. 5** jedoch wird angenommen, daß nur die Bedingungen von „Hell“ und „Dunkel“ vorgelegt werden müssen, die dann mit den Ein-Bit-Symbolen „1“ und bzw. „0“ dargestellt werden. Statt dessen hätte „H“ und „D“ verwendet werden können, aber dann könnten Beschwerden eingehen „Wie führt man eine Arithmetik an L und D aus ...?“ Es kann hilfreich sein, anzunehmen, daß die „1'en“ (H's) die größeren Mehrfachbitzahlen (Ganzzahlen) sind, während die „0'en“ (D's) die kleineren Zahlen sind, und daß das Filter einen Typ einer AC-Kopplung einlagert. Alternativ kann angenommen werden, daß das Eingabebildarray zu Bit 1 für Hell und 0 für Dunkel digitalisiert wurde. Dies wird in dem tatsächlichen Teil nicht wirklich ausgeführt, aber die Vereinfachung ist gültig und ist in den vorliegenden Beispielen nützlich. Es darf nicht vergessen werden (und dies sorgt für potentielle Verwirrung), daß an der Ausgabeseite des Filters ein Vorzeichenbit vorliegt, wobei Eins negativ bedeutet und Null nicht-negativ bedeutet, was als eine Abweichung zu der Art und Weise scheinen kann, wie Eingaben beschrieben wurden. Und während die Ausgabe-schreibweise zu einer gewünschten Vereinfachung führt, ist es tatsächlich eine Eins, die in den echten Teilen verwendet wird. Daraus folgt jedoch, daß aus der Idee nie ein Vorteil gezogen wird, daß „diese Zahl negativ ist, und daher ...“. Wie oben erklärt wurde (Form gegenüber Schattierung), sind die Einsen und die Nullen in der Filterausgabe nur die zwei Symbole in einer minimalen Beschreibung.

[0038] Zusammenfassend ist das Filter einfach eine operationstechnische kombinatorische Regel von Arithmetik, die an einen Symbolsatz an dem Eingabebild angewendet wird. Neun benachbarte Eingabe-

werte werden in einen Wert in der gefilterten Ausgabe abgebildet. Viele unterschiedliche benachbarte Filterpositionen werden verwendet, um das gefilterte Ausgabebild zu erzeugen. Und während Nachbarsymbole in der Eingabe oder in der Ausgabe verglichen werden können, soll nicht gedacht werden, daß ein Eingabesymbol (z. B. eine „1“) eine unteilbare nukleare Entität ist, die unverändert durch das Filter läuft und einfach wie zuvor herauskommt, nur an einem unterschiedlichen Ort. Es kann vereinbart werden, daß grundsätzlich alles Zahlen sind, aber was sie vor und nach dem Filtern bedeuten, nicht dasselbe ist. Und es muß beachtet werden, daß die vorliegende Verwendung von nur einzelnen „1'en" und einzelnen „0'en" auf der Eingabeseite des Filters (die leider ähnlich zu den „1'en" und „0'en" auf der Ausgabe-seite ist) genau gesagt eine nützliche Zweckmäßigkeit ist (anstelle von Mehrfachbitwerten), sobald es richtig verstanden wurde.

[0039] Um fortzufahren, wird darauf hingewiesen, wie die Pfeile **26**, **27** und **28** die gefilterten Ausgaben (**11**, **16** und **21**) mit ihren jeweiligen ungefilterten Eingaben (**9**, **14** und **19**) in Beziehung bringen. Es wird auf drei wichtige Dinge hingewiesen. Erstens wird der horizontale Faserlauf der Eingaben entfernt. Das ist zum Teil der Zweck, für den das Standardfilter gedacht ist. Zweitens wird darauf hingewiesen, wie die Eingabemerkmale **10**, **15** und **20** (die eigentlich alle dasselbe sind, nur an einer unterschiedlichen Position in dem Eingabebild, aufgrund der Bewegung der Maus) durch entsprechende Ausgabemerkmale **12/13**, **17/18** und **22/23** in Übereinstimmung gebracht werden. Es gilt, daß das Merkmal **12/13** in dem gefilterten Ausgabebild **11** kaum mit dem ursprünglich eingegebenen Merkmal **10** in dem ungefilterten Eingabebild **9** übereinstimmt; tatsächlich kann gesagt werden, daß das Merkmal **10** deformiert wurde („abgeändert" wurde), als es durch das Filter ging. Das ist in Ordnung, da in jedem Fall das Merkmal auf dieselbe Weise deformiert wurde („abgeändert" wurde). Dazu kommt, und dies ist das dritte wichtige Ding, auf das hingewiesen wird, daß die Positionen in den gefilterten Bildern **11**, **16** und **22** der deformierten Merkmale proportional variieren (exakt Eins zu Eins), zu der Variation des entsprechenden Eingabemerkmals in den ungefilterten Bildern. Dies ist eine sich ordnungsgemäß verhaltende Korrespondenz, die es dem Korrelierer ermöglicht, das deformierte Bild zu verfolgen, so als ob es nicht deformiert worden wäre.

[0040] Es wird nun **Fig. 6** betrachtet. Dies ist wiederum eine Sequenz aus drei ungefilterten Eingabebildern **29**, **36** und **43**, mit einem Pixel einer „Nach-Unten"-Bewegung (Pfeil **35**) gefolgt durch ein Pixel einer „Zur-Seite"-Bewegung (Pfeil **42**). Das heißt, es wird darauf hingewiesen, daß die Mausbewegung für **Fig. 5** dieselbe wie für **Fig. 6** ist. Ferner wie zuvor liegt ein (dasselbe!) Eingabemerkmal von vier benachbarten vor (gezeigt in deutlich umrissten Quadraten **30**, **37** und **44**). In diesem Fall jedoch liegt ein leicht diagonaler Faserlauf als „Hintergrund"

vor (der von oben links nach unten rechts läuft).

[0041] Es wird nun auf die gefilterten Ausgaben **31**, **38** und **45** hingewiesen, deren Entsprechung zu ihren ungefilterten Gegenstücken durch die Pfeile **34**, **41** bzw. **48** angezeigt ist. Das Eingabemerkmal (**30**, **37**, **44**) wird immer noch „abgeändert", aber nicht auf ordnungsgemäße Weise. Die Orientierung von **32/33** ist unterschiedlich zu der von **39/40** und scheinbar inkonsistent zu der von **46/47**. Das Ausgabemerkmal **32/33** etc. bewegt sich auf eine Weise, die der Bewegung des Eingabemerkmals **30** nicht entspricht. (Es wird ferner auf die unerwartet unterschiedlichen Erscheinungen von 1'en **49**, **50** und **51** hingewiesen. Dies sind jedoch wahrscheinlich Artefakte der Ausdehnung der Bildgrenze und der reduzierten Größe dieses Beispiels und können wahrscheinlich ignoriert werden und sollen nicht als Beweis für Filterfehlerhalten genommen werden.) Insgesamt ist dieses verflixte Standardfilter **7** aus **Fig. 3** unbeständig und erzielt keine brauchbaren Ergebnisse! All dies bringt den Korrelierer außer Rand und Band (er gerät schließlich durcheinander). Diese nachteilhafte Situation muß behoben werden.

[0042] Bezug nehmend nun auf **Fig. 7** und **8** sind zwei Filter **52** bzw. **53** gezeigt, die in Umständen verwendet werden können, in denen das Standardfilter **7** aus **Fig. 3** Probleme aufgrund von diagonalem Faserlauf in dem ungefilterten Eingabebild verursacht.

[0043] Es wird direkt betrachtet, was diese Filter mit der Situation machen, die den Standardfilter verwirrt hat und den Korrelierer außer Fassung gebracht hat. Es wird nun auf **Fig. 9** Bezug genommen, wo genauso begonnen wird wie bei **Fig. 6** (bei der der Standardfilter ausgefallen ist), aber statt dessen der Filter QI angewendet wird. Wie vorangehend bestehen drei Eingabebilder **54**, **55** und **56** begleitet durch Eingabemerkmale **65**, **66** und **67** (wobei alle derselben dieselben sind wie **29**, **36**, **33** und **30**, **37**, **44** aus **Fig. 6**). Es liegt sogar dieselbe Cursorbewegung von Eins nach Unten (Pfeil **63**) und Eins zur Seite (Pfeil **64**) wie in **Fig. 6** vor. Die Pfeile **60**, **61** und **62** bringen die ungefilterten Eingabebilder mit dem gefilterten Bildern **57**, **58** bzw. **59** in Bezug. Während das Merkmal **65** (für benachbarte 1'en in einem quadratischen Muster) durch das Filter QI verläuft, wird es trotzdem „abgeändert" und tritt aus als ein gequetschtes und verzogenes Muster **68**, das nicht einmal mehr dieselbe Anzahl von 1'en aufweist. Das Filter QI weist jedoch ein positives Verhalten auf, wo dies von Bedeutung ist. Es wird darauf hingewiesen, daß die Muster **96** und **70** ähnlich abgeändert und verzogen sind, und daß ihre Positionen die ihrer Ursprungsmerkmale in den ungefilterten Bildern verfolgen. Das Filter QI **52** aus **Fig. 7** funktioniert, wo das Standardfilter fehlgeschlagen ist.

[0044] Bevor weiter fortgefahren wird, wird eine weitere Anmerkung über die Schreibweise gegeben. Es sei angenommen, daß bekannt ist, daß ein paralleler Faserlauf vorliegt, und es wurde veranlaßt, daß derselbe als vertikale Linien erscheint. Unter Betrachtung

tung desselben kann gesagt werden, daß oben Zwölf-Uhr war und auch andere Positionen, wie z. B. Drei-Uhr und Neun-Uhr. Es werden die nachfolgenden Winkelentsprechungen ausgeführt: Zwölf-Uhr ist 0°, Drei-Uhr ist 90° und Sechs-Uhr ist 180°, Neun-Uhr ist 270° usw., wobei alle anderen Werte auf offensichtliche Weise zwischen jenen liegen, die erwähnt wurden. Nun wird nach der vorherrschenden Richtung (falls eine solche vorliegt) eines Merkmals in dem Bild gefragt, und demselben wird eine Richtung in Grad gemäß der vorangehenden Gewohnheit gegeben. Der erste Quadrant (QI) ist natürlich die Winkel Null bis Neunzig Grad und hat eine Reflexion im dritten Quadranten. Der zweite Quadrant (QII) ist natürlich der Bereich von Neunzig bis Einhundertachtzig Grad und weist eine Reflexion in dem vierten Quadranten auf. Das Filter **52**, das in **Fig. 7** gezeigt ist, wird „Filter QI“ genannt, da es anscheinend am besten für Merkmale funktioniert, deren Achse ungefähr zentriert in dem ersten und dritten Quadranten liegt, wenn die obigen Konventionen befolgt werden. Somit wird z. B. **Fig. 9** betrachtet und der diagonale Faserlauf identifiziert, der von oben links nach unten rechts läuft. Die Figur wird nun im Uhrzeigersinn um 45° gedreht, so daß der Faserlauf vertikal erscheint. Es wird nun darauf hingewiesen, daß die Hauptachse der Gruppe von 1'en (acht sind benachbart) in dem ersten Quadranten erscheint. Das Filter QI funktioniert bei diesem Beispiel besser als es das Filter QII tut. Das Filter **53** aus **Fig. 8** wird „Filter QII“ genannt, da es am besten an Merkmalen funktioniert, deren Achse ungefähr zentriert in dem zweiten und vierten Quadranten liegt.

[0045] **Fig. 10** ist ein Beispiel ähnlich zu dem aus **Fig. 6**, wo angenommen wird, daß das Standardfilter fehlschlägt, aber das Filter QII **53** funktioniert. In dieser Figur ist ersichtlich, daß wiederum drei ungefilterte Bildeingaben **71**, **72** und **73** vorliegen, die jeweils ein Bildmerkmal enthalten (**77**, **78** bzw. **79**). In diesem Fall jedoch verläuft der diagonale Faserlauf von oben rechts nach unten links, und das Merkmal (vier benachbarte 1'en hervorgehoben in dick umrandeten Kästen **77**, **78** und **79**) beginnt an einer etwas unterschiedlichen Position und bewegt sich entlang einem etwas unterschiedlichen Weg. Pfeil **86** zeigt an, daß es sich um ein Pixel von Bild **71** nach unten bewegt, um zu Bild **72** zu werden, während der Pfeil **87** anzeigt, daß sich das Bild **72** ein Pixel seitwärts nach links bewegt, um Bild **73** zu werden (vorangehende Beispiele nach rechts bewegt). Die Entsprechung zwischen der ungefilterten Eingabe (**71**, **72** und **73**) und der gefilterten Ausgabe (**74**, **75** und **76**) ist durch die Pfeile **83**, **84** und **85** angezeigt, auf dieselbe Weise wie für die anderen Figuren. Auf ähnliche Weise wird auf die sich regelmäßig bewegenden und ordnungsgemäß verhaltenden (sogar wenn sie „abgeändert“ wurden) Ausgabemerkmale **80**, **81** und **82** hingewiesen. Sie verwirren den Korrelierer nicht und man kann auf denselben navigieren.

[0046] Um sicher zu sein, sind diese Filter QI **52** und

QII **53** sogar miteinander nicht in der Lage, das Standardfilter **7** aus **Fig. 3** vollständig zu ersetzen. Das heißt, sie werden jeweils fehlschlagen, wenn sie in ungünstigen Umständen verwendet werden, genauso wie das Standardfilter. Ferner funktioniert das Standardfilter relativ gut entlang der Koordinatenachsen (wie oben definiert wurde, d. h., für vertikalen und horizontalen Faserlauf). Aber zwischen diesen drei Filtern entsteht eine vollständige Abdeckung. Was nun benötigt wird, ist eine Möglichkeit, die unterschiedlichen Filter in jenen Umständen zu verwenden, für die sie am besten geeignet sind.

[0047] Es wurde ein Werkzeug entwickelt, das das beste Filter zur Verwendung vorhersagt, wenn die Maus über die Oberfläche navigiert. Um zu erklären, um was es sich handelt und wie es funktioniert, muß zuerst etwas mehr über die nächsten Schritte in dem optischen Navigationsprozeß gesagt werden: Vorhersage und Korrelation. Jedes dieser Konzepte ist relativ einfach isoliert darzustellen und dieselben werden zu einem gewissen Ausmaß in den oben erwähnten Patenten erörtert. Dieselben werden hier nicht detailliert erwähnt, und es wird nur darauf hingewiesen, was benötigt wird, um fortzufahren.

[0048] Das optische Navigationssystem verfolgt die Geschwindigkeit (Schnelle und Richtung) und verwendet diese Informationen, um vorherzusagen, wohin auf dem verwendeten Referenzrahmen der nächste Abtastrahmen wahrscheinlich fallen wird. Das heißt, wo auf dem (gefilterten) Referenzrahmen der nächste (gefilterte) Abtastrahmen vor der Korrelation zentriert sein sollte.

[0049] Die Korrelation umfaßt das Durchführen von neun (oder vielleicht mehr, aber neun ist üblich) Vergleichen zwischen den neun Versuchsabtastrahmenpositionen und dem Referenzrahmen, wobei die Idee ist, daß die Bilder an einer dieser Positionen besser angepaßt sind oder übereinstimmen als an jeder der anderen. Die neun Positionen sind: keine Änderung (die Vorhersage unverändert verwenden); ein Pixel aufwärts; ein Pixel nach oben und ein Pixel nach links; ein Pixel nach oben und ein Pixel nach rechts; ein Pixel nach links; eins nach rechts; eins nach unten; eins nach unten und eins nach links; und eins nach unten und eins nach rechts. Bei dem System, das hierin aufgeführt wurde, bei dem die Filterausgaben ausschließlich Vorzeichenbits sind, ist der Vergleichsprozeß an jeder Versuchsposition für die Korrelation relativ einfach. An jeder Versuchsposition wird einfach die Anzahl von Differenzen (oder alternativ die Anzahl von 1'en) zwischen den entsprechenden Positionen für die zwei Bilder gezählt. Das Ergebnis sind neun Zahlen, die in einem Array entsprechend der unterschiedlichen Korrelationsverschiebungen angeordnet werden können, die zum Finden derselben verwendet wurden. Die Wirkung des Beschreibens einer Korrelationsoberfläche, die unter vorteilhaften Umständen bestimmte Eigenschaften hat. Zum Beispiel, daß die Oberfläche, auf der navigiert wird, frei von Faserlauf ist oder frei von

anderen nachteilhaften Artefakten, daß die Mausgeschwindigkeit innerhalb der Grenzen ist und daß alles im allgemeinen so verläuft, wie es sollte. Es wird dann erwartet, daß die letzte Vorhersage korrekt ist und daß die Spitze der Korrelationsoberfläche in der mittleren Zelle der neun vorliegt, wobei die verbleibenden acht Zellen alle wesentlich kleinere Werte aufweisen. Dies ist die Art von Situation, die in **Fig. 11** gezeigt ist, wo das Array **88** aus neun Korrelationswerten (CS1 bis CS9), falls als Oberflächenerhöhungen projiziert, eine spitze Korrelationsoberfläche **89** erzeugen würde. Einige Autoren haben die Korrelationsoberfläche „von unten“ betrachtet im Gegensatz zu „von oben“, wie es hier der Fall ist. Wenn sie von unten betrachtet wird, ähnelt eine ordnungsgemäß geformte Korrelationsoberfläche einer „Schale“ und wird manchmal so genannt.

[0050] (Eine leichte Abschweifung ist in Ordnung, um diese vereinfachte Diskussion einfach zu halten, während sie trotzdem ehrlich gehalten wird. Klar ausgedrückt, ist ein Fünf-mal-Fünf-Abtastrahmen in einem System nicht angemessen, das Vorhersage und Korrelation verwendet, wie beschrieben wurde. Wie kann ein Referenzrahmen einer solchen kleinen Größe vorliegen und vorhersagen, daß die nächste Abtastung drei seitwärts und vier aufwärts korreliert? Es würde keine Überlappung vorliegen, die korreliert werden könnte! Es wird somit die Nützlichkeit von größeren Abtastrahmen geschätzt. Aber auch wenn dies der Fall ist, wenn zu der Vorhersage übergegangen wird, wird garantiert, daß Abschnitte des Abtastrahmens nicht mit dem Referenzrahmen überlappen (und daher nicht beitragen) und was noch schlimmer ist, daß für einige Versuchsverschiebungen eine größere potentielle Überlappung der Bilder vorliegt als für andere. Dies bedeutet, daß außer es wird etwas ausgeführt, um dies zu korrigieren, die neun Korrelationszahlen nicht alle dieselbe Einheit aufweisen und nicht ordnungsgemäß direkt miteinander verglichen werden können. Das heißt, für Versuchsverschiebungen, bei denen eine größere Fehlregistrierung zwischen den Rahmengrenzen vorliegt, liegen einfach ursprünglich weniger Pixelpositionen vor, die zu einer guten Übereinstimmung der Bilder zählen. Somit „normiert“ der Korrelationsprozeß die Korrelationszahlen so, daß sie alle dasselbe Gewicht aufweisen, trotz dem variierenden Grad der Rahmengrenzenfehlregistrierung, die ihren jeweiligen Berechnungsumständen zugeordnet ist. Diese normierten Zahlen werden für die Korrelationsoberfläche verwendet und treiben den Navigationsprozeß.

[0051] Das Werkzeug, das verwendet werden soll, um das beste Filter zur Verwendung vorherzusagen, analysiert die Form der Korrelationsoberfläche. Das Werkzeug erfaßt, wenn die Korrelationsoberfläche **89** Stege entwickelt und keine isolierte Spitze aufweist. Es wird darauf hingewiesen, daß Stege auf zwei Arten auftreten könnten: mit den Achsen ausgerichtet und diagonal. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache werden die folgenden zwei Metriken definiert:

$$(1) AR = F\{CS8 - CS4 + CS2 - CS6\}$$

$$(2) DR = F\{CS7 - CS9 + CS3 - CS1\}$$

[0052] Die Metrik AR (für axialer Steg = Axial Ridge) zeigt das Vorhandensein eines Stegs an, der in einer Richtung parallel zu einer der Achsen verläuft. Wenn der absolute Wert von AR über eine bestimmte Schwelle geht (z. B. 15% oder 20% des Maximalwerts einer Zelle in dem Korrelationsarray **88**), dann wird es verdächtig, wie gut sich das in Verwendung befindliche Filter verhält. Die „rohe“ Komponente von AR (die Summe von zwei Differenzen innerhalb der Klammern) wird durch einen Exponential- oder Auto-regressions-Mechanismus (F) gefiltert, um dessen Änderungsrate durch eine geeignete Zeitkonstante zu verzögern. Ferner werden nur Bilder, deren Trennungen in der X- und Y-Achse klein genug sind, um eine gute Korrelationsoberfläche zu implizieren, verwendet, um AR zu berechnen. Die Vorstellung ist, daß AR als Eingabe in einen Servosteuerungsmechanismus verwendet wird, wobei die Bilddaten dazu neigen, etwas zu rauschen, und es nicht gewollt ist, daß der Servo zu einfach durch eine isolierte willkürliche Auslenkung in den Daten „abgeschreckt“ wird. Die andere Metrik DR (diagonaler Steg = Diagonal Ridge) zeigt das Vorhandensein eines Stegs an, der in einer Richtung diagonal zu den Achsen verläuft, und wird mit eingeschränkter Eingabe berechnet und auf dieselbe Weise gefiltert wie AR. Sie weist ebenfalls eine zugeordnete Schwelle zum Erzeugen von Verdacht auf. Und während ein Bildfilterauswahlmechanismus durch diese zwei Metriken gesteuert werden könnte, die unabhängig betrachtet werden, wird es bevorzugt, dieselben zu einem einzelnen Indikator zu kombinieren, wodurch:

$$(3) RM = \sqrt{AR^2 + DR^2}$$

[0053] RM (Ridge Metric) wird größer, wenn eines von AR oder DR in seiner Größe größer wird, und obwohl andere Möglichkeiten vorliegen, um die individuellen Werte von AR und DR zu erkennen, ist RM eine zweckmäßige Weise, um eine gemeinsame Bedeutung dieser zwei Metriken zu einem einzelnen Indikator zu vereinigen. AR und DR sind noch nicht abgeschlossen. Es wird darauf hingewiesen, daß die Zeichen von AR und DR nützliche Informationen enthalten. Wenn angenommen wird, daß in einem System der Art, die beschrieben wurde, eine Korrelationsoberfläche Stege erhalten kann (oder die Schale – betrachtet von unten – Mulden erhalten kann), dann kann ebenfalls erwartet werden, daß ein ordnungsgemäß arbeitendes System keine nicht-vorübergehenden Wannan in seiner Korrelationsoberfläche (oder Stege in einer Schale) erfahren wird. Es wird abgelehnt, einen starren Beweis dafür zu liefern, aber es ist tatsächlich der Fall und eine Navigation durch Korrelation hängt davon ab. Es folgt jedoch, daß, wenn (und dies ist wie unsere Winkelmeßkonvention angegeben wurde) die Y-Achse in der

CS2-CS5-CS8-Richtung vorliegt, dann $AR > 0$ impliziert, daß ein Steg entlang dieser Achse vorliegt. Wenn $AR < 0$ ist impliziert dies, daß ein Steg entlang der X-Achse vorliegt. Das Zeichen von DR kann auf ähnliche Weise interpretiert werden, um zwischen den zwei möglichen diagonalen Stegen zu unterscheiden.

[0054] Es wird nun Bezug auf **Fig. 12** genommen, die ein Zustandsdiagramm **90** dafür ist, wie ein optisches Navigationssystem, wie z. B. eine Maus und die Verwendung der Techniken, die hierin ausgeführt sind, weniger anfällig für das Fehlverhalten gemacht werden kann, das durch Faserlauf in der Oberfläche verursacht wird, auf der navigiert werden soll. Am Ende bestimmter anfänglicher Bedingungen (Einschalten, Zurücksetzen etc.) tritt ein Übergang **91** in einen Zustand **92** NAVIGIEREN MIT STANDARDFILTER ein. Während das optische Navigationssystem in diesem Zustand hauptsächlich auf herkömmliche Weise arbeitet und das Standardfilter **7** verwendet, außer daß es AR, DR und RM berechnet und überwacht. Der Übergang **93** von dem Zustand **92** auf sich selbst zeigt dies für Situationen an, in denen RM einen Wert aufweist, der eine Abwesenheit von Stegen in der Korrelationsoberfläche anzeigt.

[0055] Es sei nun angenommen, daß sich der Wert von RM ändert, um das Entstehen eines Steges in der Korrelationsoberfläche **89** anzuzeigen. Da gegenwärtig das Standardfilter **7** in Verwendung ist, kann angenommen werden, daß es ein diagonaler Steg ist, der auftritt, da bekannt ist, daß das Standardfilter beim Entfernen axialer Stege wirksam ist. Es gibt zwei Möglichkeiten, auf die ein diagonaler Steg auftreten kann, (oben links nach unten rechts, und oben rechts nach unten links), und es hat sich bei einem Ausführungsbeispiel herausgestellt, daß das Filter QI **52** am besten für oben links nach unten rechts funktioniert, während sich herausgestellt hat, daß das Filter QII **53** am besten für einen diagonalen Faserlauf funktioniert, der von oben rechts nach unten links verläuft. Der Unterschied zwischen den zwei Fällen ist durch das Vorzeichen von DR angezeigt, wie vorangehend erklärt wurde. Entsprechend, wenn RM hoch genug ist und $DR < 0$, dann führt der Übergang **94** zu dem Zustand **95** NAVIGIERE MIT FILTER QII. Der Übergang **100** hält den Zustand **95** so lange wirksam wie $DR < 0$ der Fall bleibt. Wenn DR das Vorzeichen zu $DR \geq 0$ ändert, setzt der Übergang **98** jedoch den Zustand **92** NAVIGIEREN MIT STANDARDFILTER wieder in Wirkung.

[0056] Andererseits, wenn RM während es sich in dem Zustand **92** befindet, hoch genug ist und $DR \geq 0$ ist, dann führt der Übergang **96** zu dem Zustand **97** NAVIGIERE MIT FILTER QI. Der Übergang **101** hält den Zustand **97** so lange wirksam, wie $DR \geq 0$ der Fall bleibt. Wenn DR das Vorzeichen zu $DR < 0$ ändert, setzt der Übergang **99** jedoch den Zustand **92** NAVIGIEREN MIT STANDARDFILTER zurück in Wirkung.

[0057] Nun sind jedoch einige Anmerkungen in Reihenfolge. Es wird später erneut darauf hingewiesen, daß vorangehend eine Konvention zum Beschreiben der Winkolorientierung von navigierbaren Merkmalen relativ zu der Richtung des Faserlaufs gegeben wurde. Sie kann ferner verwendet werden, um die Positionen von gedrehtem Faserlauf für ein gegebenes Filter oder für unterschiedliche Filter relativ zu einem ursprünglichen Zustand zu beschreiben.

[0058] In Übereinstimmung mit vorangehenden Lehren ist es wünschenswert, daß die Lichtquelle Erhellungen und Schatten auf der Oberfläche erzeugt, auf der navigiert werden soll.

[0059] Dies wird am besten durchgeführt durch Erzeugen eines kleinen oder „streifenden“ Einfallswinkels für das Licht aus der Belichtungsquelle. Bei dem Ausführungsbeispiel, bei dem die Filter QI und QII entwickelt und verwendet wurden, war die Belichtungsquelle bei 180° (gemäß dieser Winkelkonvention) angeordnet. Die Bereiche der Filtereffektivität, die daraus resultierten, waren überlappend und etwas größer als die ausgewählten Operationsbereiche, die in der nachfolgenden Tabelle gezeigt sind:

Standard Filter $320^\circ\text{--}40^\circ$, $85^\circ\text{--}5^\circ$, $140^\circ\text{--}220^\circ$, $265^\circ\text{--}275^\circ$

Filter QI $40^\circ\text{--}85^\circ$, $220^\circ\text{--}265^\circ$

Filter QII $95^\circ\text{--}140^\circ$, $275^\circ\text{--}320^\circ$

[0060] Aus der obigen Tabelle ist ersichtlich, daß das Standardfilter andere Operationsbereiche um die X-Achse 90° hat als um die Y-Achse. Es scheint, daß der breitere Operationsbereich um die Y-Achse dadurch entsteht, daß die Sichtbarkeit des Faserlaufs durch Längsbeleuchtung minimiert wird, im Vergleich zu dem Fall der X-Achse, wo die Sichtbarkeit des Faserlaufs durch eine Breitenbeleuchtung maximiert wird. Der Umgang mit dem Fall der X-Achse wird vollkommen dem Filter überlassen, wohingegen in dem Fall der Y-Achse die Art der Beleuchtung das Filter unterstützt.

[0061] Es wird darauf hingewiesen, daß weder das Filter QI noch das Filter QII über einer der Diagonalen 45° oder 135° oder über ihren Erweiterungen von 225° und 315° zentriert ist. Es scheint, daß der Grund für diese Asymmetrie mehr im Wesen der Filter QI und QII selbst liegt. Nichts desto trotz arbeiten sie gut mit dem Standardfilter zusammen, durch Arbeiten in den Regionen, die nicht durch das Standardfilter abgedeckt sind. Zum Beispiel arbeitet das Standardfilter nicht von 45° bis 80° , aber diese Region wird durch den Abschnitt 40° bis 85° des Filters QI abgedeckt. Dieses Beispiel ist eines von vier solchen Fällen.

[0062] Zurückkehrend nun zu dem Algorithmus, der durch das Zustandsdiagramm **90** aus **Fig. 12** ausgedrückt wird, wenn einer der Zustände **95** oder **97** wirksam ist, dann liegt ein diagonaler Faserlauf vor, und weiterhin, zwischen den zwei Zuständen, stellen dieselben jeweils maximal unterschiedliche diagonale Faserläufe dar. Und während es irgendwie passieren könnte, daß der Faserlauf für jeden Zustand

schlechter wird (DR wird negativer für Zustand **95** oder positiver für Zustand **97**), erscheint es schwierig, sich vorzustellen, wie sich derselbe abrupt von einem Typ einer Diagonalen zu dem anderen ändern könnte (DR ändert das Vorzeichen). Wenn somit DR das Vorzeichen ändert, ist es am sichersten, zurück zu dem Standardfilter zu gehen, da es, wenn sich die Richtung des Faserlaufs bedeutend ändert (oder ein Benutzer die Maus dreht), vernünftig ist, zu erwarten, daß derselbe als nächstes eine Region passiert, die durch das Standardfilter abgedeckt ist. Eine andere Anordnung würde eine Schleifeninstabilität riskieren. [0063] Es liegt nun ein wiederum anderes Verfahren zum Reduzieren der Wirkungen einer nachteilhaften Faserlauforientierung auf das Filter vor, und das ist das dynamische Ändern der Position der Beleuchtungsquelle, um den Faserlauf entlang der Richtung seiner Achse zu beleuchten. In Umständen, in denen der Faserlauf im wesentlichen Rillen darstellt und ihre dazwischenliegenden Schultern, kann dies die Wirkung des Minimierens der langen faserigen Schatten haben (und ihrer benachbarten parallelen Erhellungen), die den Faserlauf während einer Breitseitenbeleuchtung erkennen lassen. Somit könnte in einigen Umständen die Richtung der Beleuchtung geändert werden, anstelle die Filter zu ändern.

[0064] Es ist der Fall, daß sich ändernde Beleuchtungseinrichtungen wahrscheinlich eine kurze Trainingsperiode zum Einstellen des Beleuchtungspiegels und von AGC etc. erfordern würden, doch dies erfordert nur eine kurze Zeit und die optische Navigation läuft mit einer relativ hohen Rate (und mit einem ausreichend langen Arbeitszyklus), so daß dieser zusätzliche Aufwand nicht zu beanstanden wäre. Ferner wäre keine Erhöhung des Leistungsverbrauchs durch diese Strategie begleitet.

[0065] Das Zustandsdiagramm **102** aus **Fig. 13** stellt dar, wie dies implementiert werden kann, unter der Annahme, daß die unterschiedlichen Positionen der Beleuchtung, die in **Fig. 14** gezeigt sind, verfügbar sind. Wenn mehr Zellen als neun in der Korrelationsoberfläche vorliegen würden, dann könnte ein stärkerer Faserlauf als nur zwei Arten eines axialen Faserlaufs und zwei Arten eines diagonalen Faserlaufs beobachtet werden, und ein feineres Ansprechverhalten im Hinblick auf eine ausgewählte Position für eine Beleuchtung wäre möglich.

[0066] Abschließend wäre es bevorzugt, die zwei Strategien zu kombinieren, so daß das verwendete Filter geändert wird und die Position der Beleuchtungsquelle ebenfalls verändert wird. Zum Beispiel unter der Annahme, daß die Oberfläche, auf der navigiert wird, einen Faserlauf aufweist, der anstelle tatsächlich Rillen zu sein, eine Struktur von einzelnen Löchern oder Erhebungen ist, deren Erhellungen und Schatten kombiniert werden, um einen Faserlauf zu synthetisieren. Die einzelnen Eigenschaften des Lochs oder der Erhebung würde bedeuten, daß dieselben weiterhin Erhellungen und Schatten erzeugen (sie bleiben als Faserlauf sichtbar), unabhängig von

der Richtung der Beleuchtung. Der Betrag des Faserlaufs in dem Bild, das dem räumlichen Filter präsentiert wird, würde somit nur leicht als eine Funktion der Richtung der Beleuchtung variieren.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum räumlichen Filtern eines Bildes, um einen Faserlauf vor einer Navigation in einem optischen Navigationssystem zu entfernen, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

(a) Navigieren (**92**) mit einem ersten Filter;
 (b) während des Navigierens gemäß dem Schritt (a), Erzeugen einer geordneten Sammlung (**88**) von Korrelationswerten;
 (c) Untersuchen der geordneten Sammlung von Korrelationswerten, die bei Schritt (b) erzeugt wurden, nach dem Vorhandensein eines Stegs in einer Korrelationsoberfläche (**89**), die durch die Werte in der geordneten Sammlung beschrieben ist;
 (d) wenn die Untersuchung bei Schritt (c) einen Steg aufdeckt, dann Beginnen (**94, 96**) mit dem Navigieren mit einem zweiten Filter anstelle des ersten Filters;
 (e) während des Navigierens (**95, 97**) gemäß Schritt (d), Untersuchen einer geordneten Sammlung von Korrelationswerten, die erzeugt werden, während das zweite Filter in Verwendung ist; und
 (e1) Fortsetzen des Navigierens (**100, 101**) gemäß Schritt (d), während die Untersuchung bei Schritt (e) die Abwesenheit eines Stegs aufdeckt; und
 (e2) wenn die Untersuchung bei Schritt (e) einen Steg aufdeckt, dann Wiedereinführen (**98, 99**) der Verwendung des ersten Filters und Fortsetzen der Navigation gemäß Schritt (a).

2. Ein Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das zweite Filter einen Ausgewählten aus einem dritten und vierten Filter (**52, 53**) aufweist, die räumlich bei 90° zueinander ausgerichtet sind, und bei dem Schritt (c) den Schritt des Bestimmens umfaßt, welches des dritten und vierten Filters den aufgedeckten Steg am effektivsten handhabt.

3. Ein Verfahren zum Minimieren der Wirkung des Faserlaufs nach der Navigation in einem optischen Navigationssystem, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist.

(a) Navigieren (103) mit einer ersten Beleuchtungsquelle an einem ersten Ort;
 (b) während des Navigierens gemäß Schritt (a), Erzeugen einer geordneten Sammlung (**88**) von Korrelationswerten;
 (c) Untersuchen der geordneten Sammlung von Korrelationswerten, die bei Schritt (b) erzeugt wurden, nach dem Vorhandensein eines Stegs in einer Korrelationsoberfläche (**89**), die durch die Werte in der geordneten Sammlung beschrieben ist;
 (d) wenn die Untersuchung bei Schritt (c) einen Steg aufdeckt, dann Abschalten der ersten Beleuchtungsquelle und Fortsetzen (104) des Navigierens mit ei-

ner zweiten Beleuchtungsquelle an einem zweiten Ort;

(e) während des Navigierens (105) gemäß Schritt (d), Untersuchen einer geordneten Sammlung von Korrelationswerten, die erzeugt werden, während die zweite Beleuchtungsquelle in Verwendung ist; und

(e1) Fortsetzen (106) des Navigierens gemäß Schritt (d), während die Untersuchung bei Schritt (e) die Abwesenheit eines Stegs aufdeckt; und

(e2) wenn die Untersuchung bei Schritt (e) einen Steg aufdeckt, dann (107) Abschalten der zweiten Beleuchtungsquelle, Wiedereinsetzen der Verwendung der ersten Beleuchtungsquelle und Fortsetzen der Navigation gemäß Schritt (a).

4. Ein Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem die erste und die zweite Beleuchtungsquelle ausgewählt sind, um die Längsbeleuchtung des aufgedeckten Stegs zu maximieren.

5. Ein optisches Navigationssystem, das eine Geräteeinrichtung umfaßt, die wirksam ist, um die Schritte eines Verfahrens gemäß einem der vorangehenden Ansprüche auszuführen.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

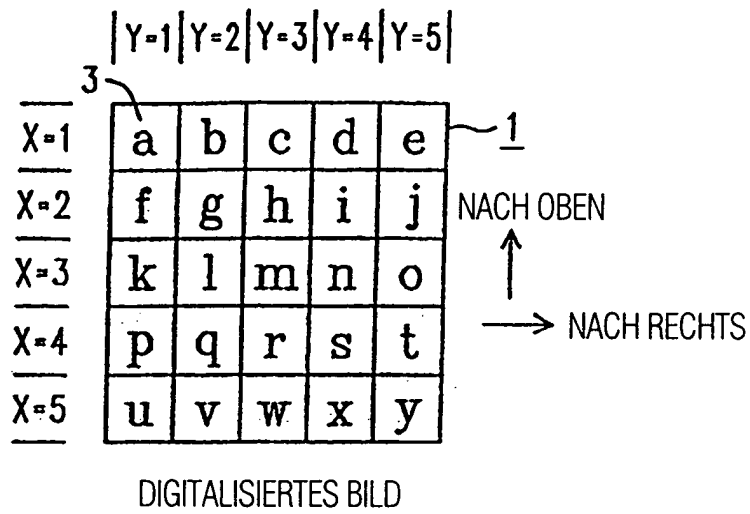


FIG. 1
(STAND DER TECHNIK)

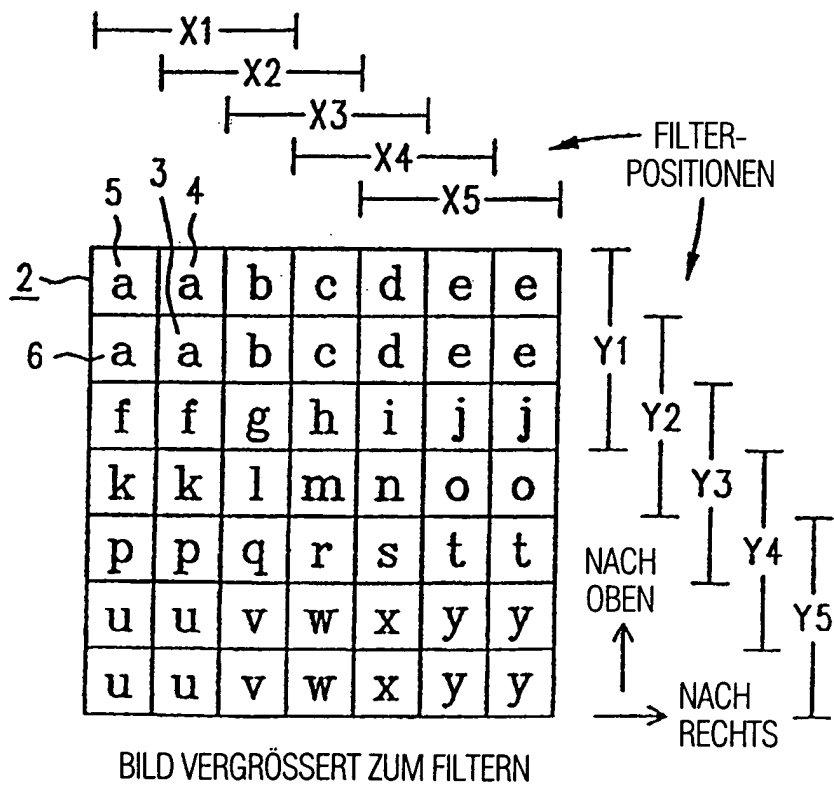
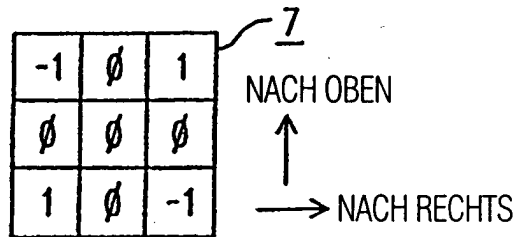


FIG. 2
(STAND DER TECHNIK)



DAS "STANDARD"-FILTER

FIG. 3
(STAND DER TECHNIK)

EINE ZELLE = 1 WENN $< \emptyset$, \emptyset WENN $\geq \emptyset$

$\frac{8}{}$

$b-a+f-g$	$c-a+f-h$	$d-b+g-i$	$e-c+h-j$	$e-d+i-j$
$b-a+k-l$	$c-a+k-m$	$d-b+l-n$	$e-c+m-o$	$e-d+n-o$
$g-f+p-q$	$h-f+p-r$	$i-g+q-s$	$j-h+r-t$	$j-i+s-t$
$l-k+u-v$	$m-k+u-w$	$n-l+v-x$	$o-m+w-y$	$o-n+x-y$
$q-p+u-v$	$r-p+u-w$	$s-q+v-x$	$t-r+w-y$	$t-s+x-y$

VERGRÖSSERTES BILD GEFILTERT MIT DEM STANDARDFILTER

FIG. 4
(STAND DER TECHNIK)

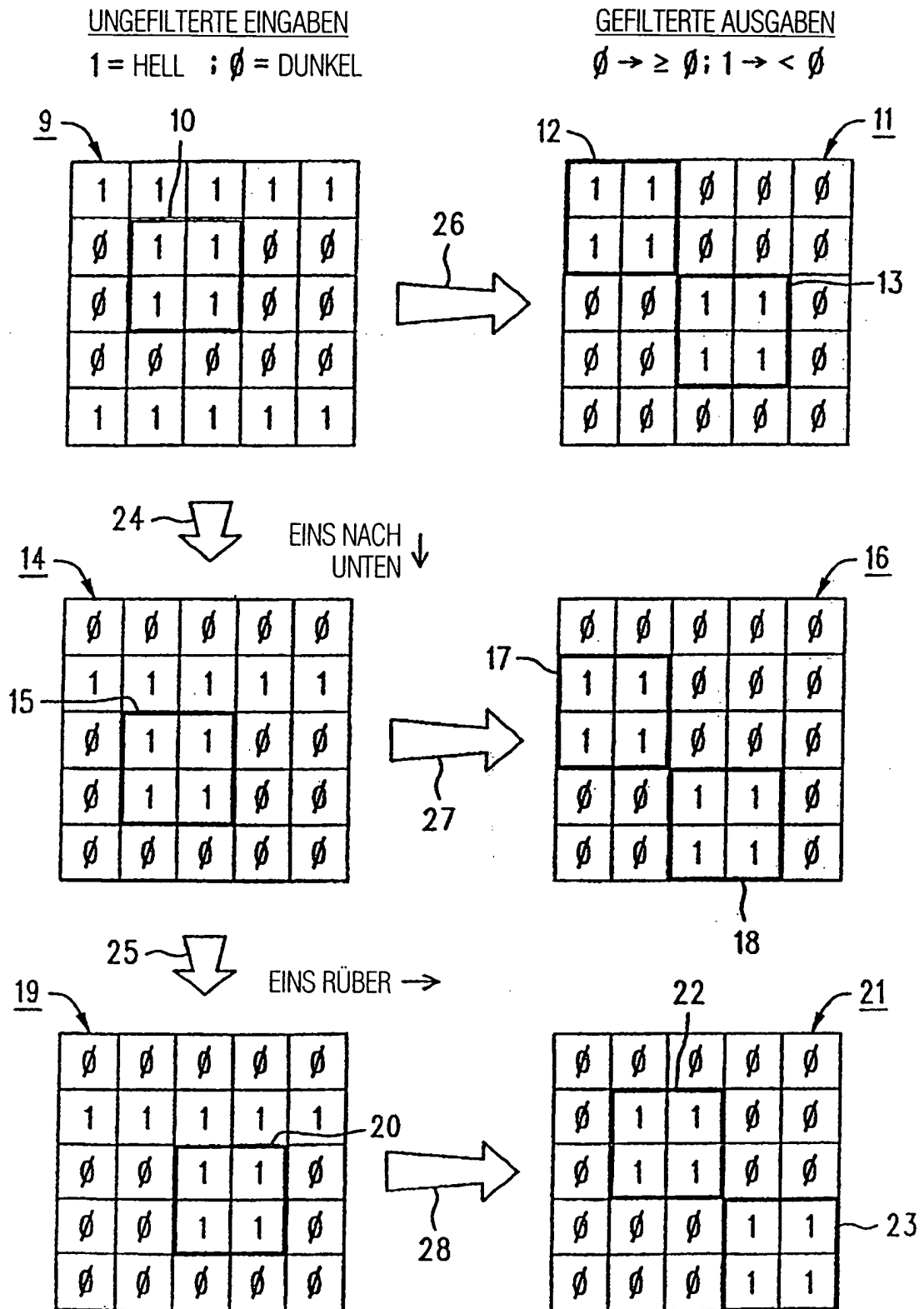


FIG. 5
(STAND DER TECHNIK)

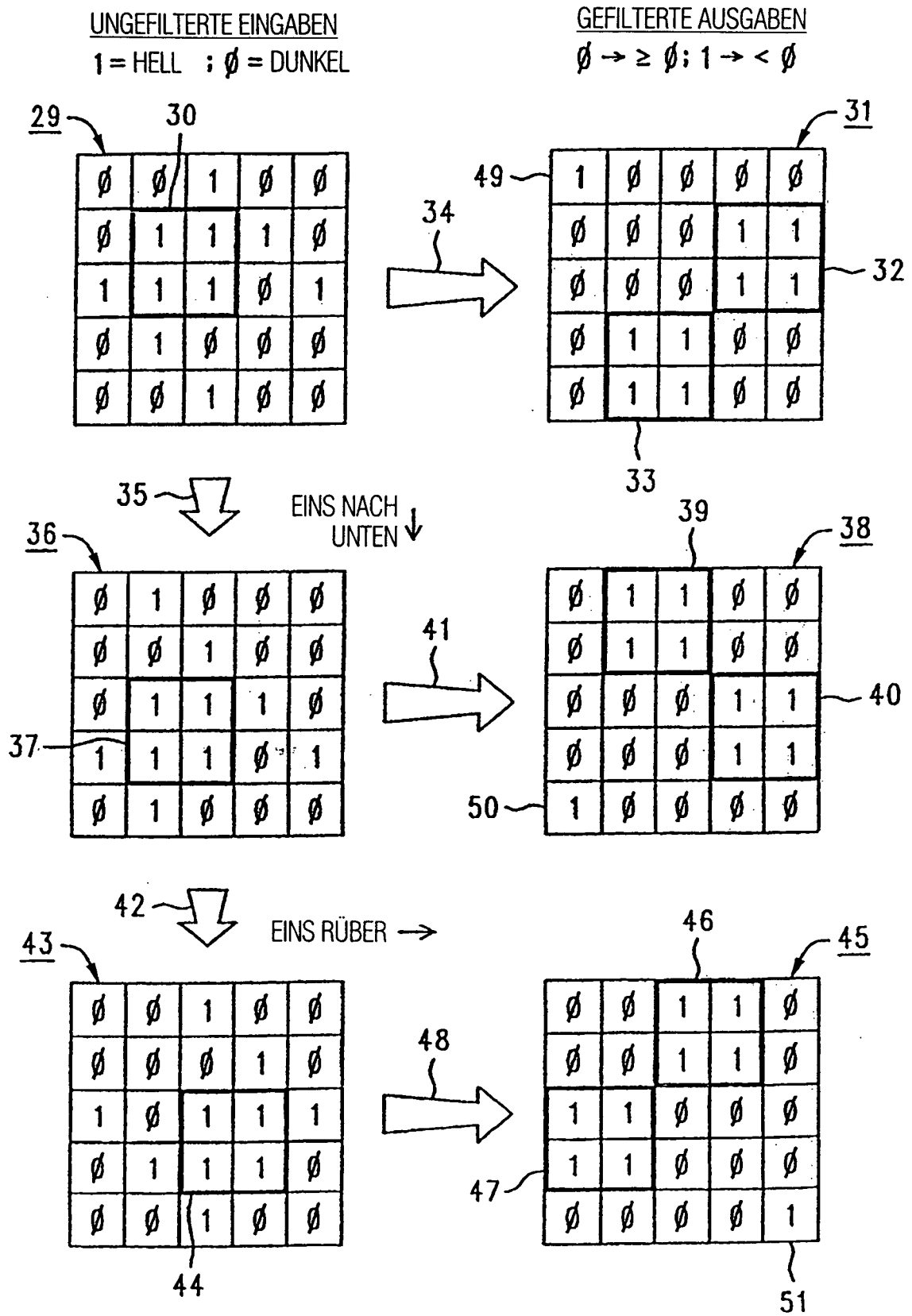


FIG. 6
(STAND DER TECHNIK)

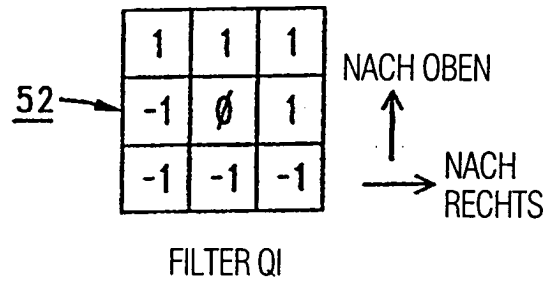


FIG. 7

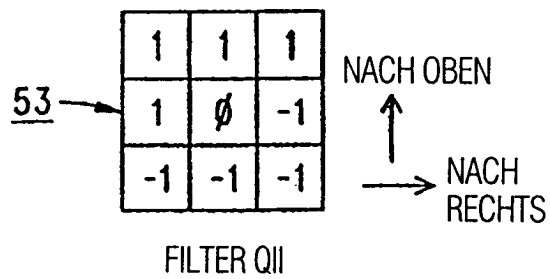


FIG. 8

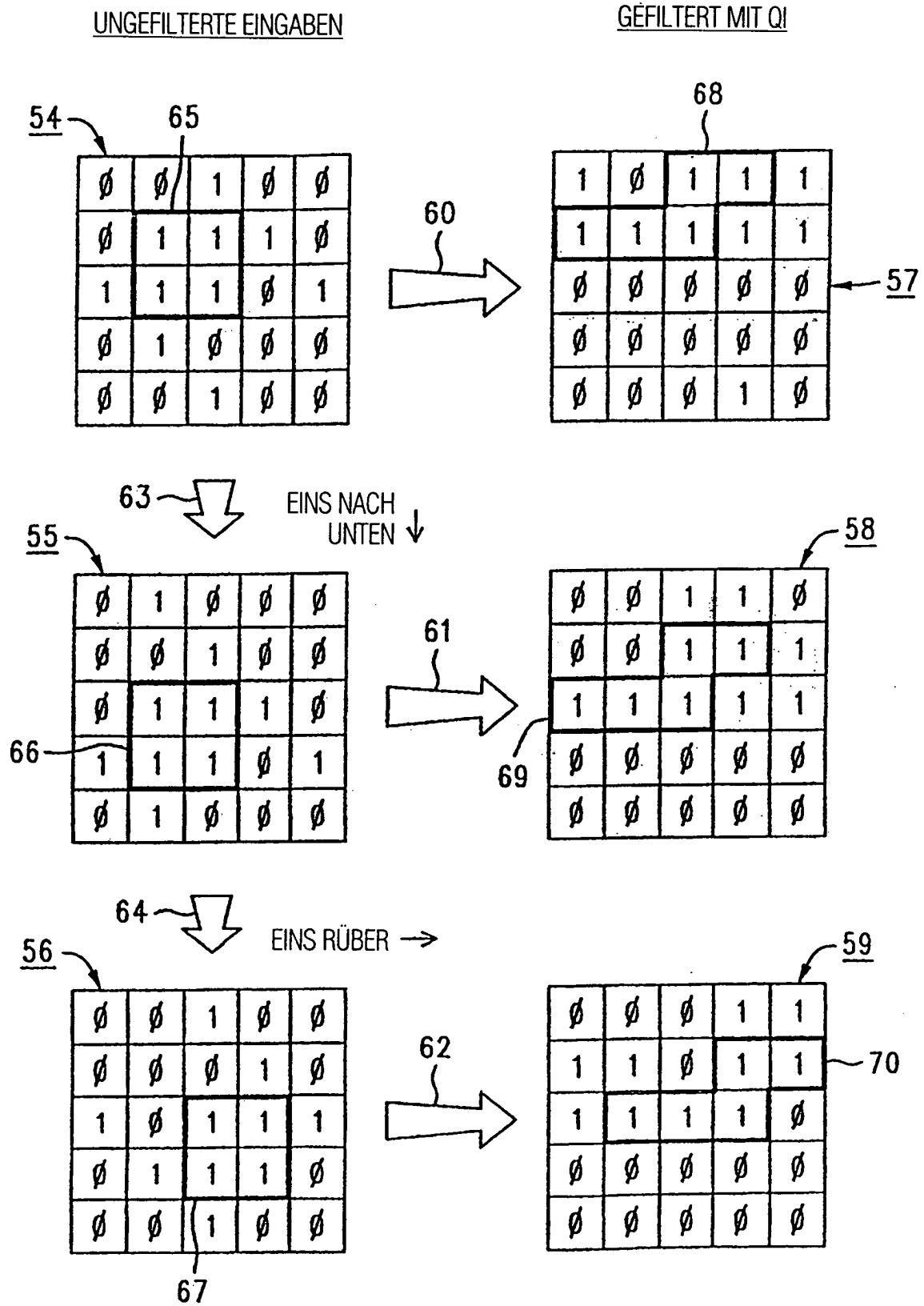


FIG. 9

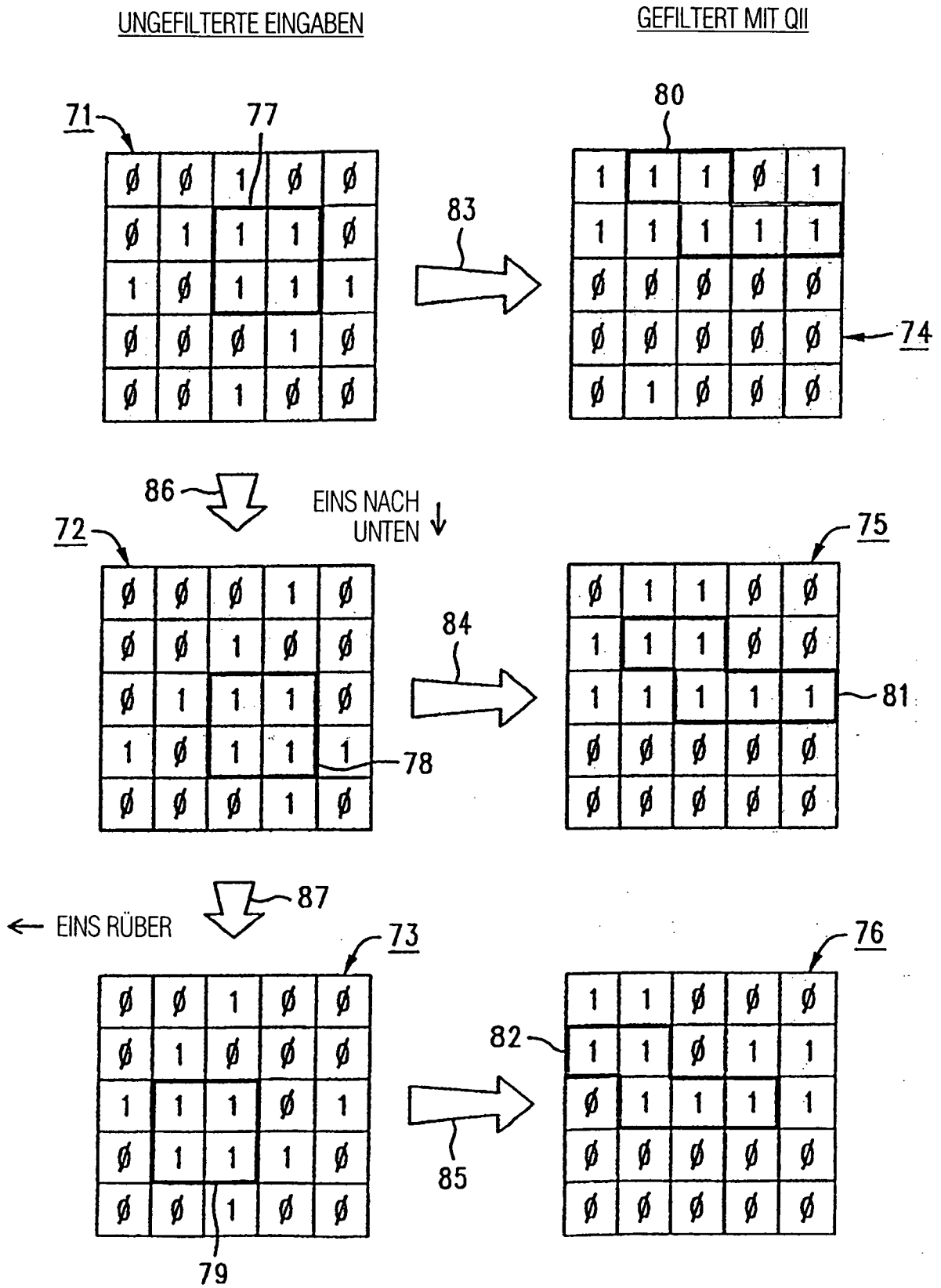


FIG. 10

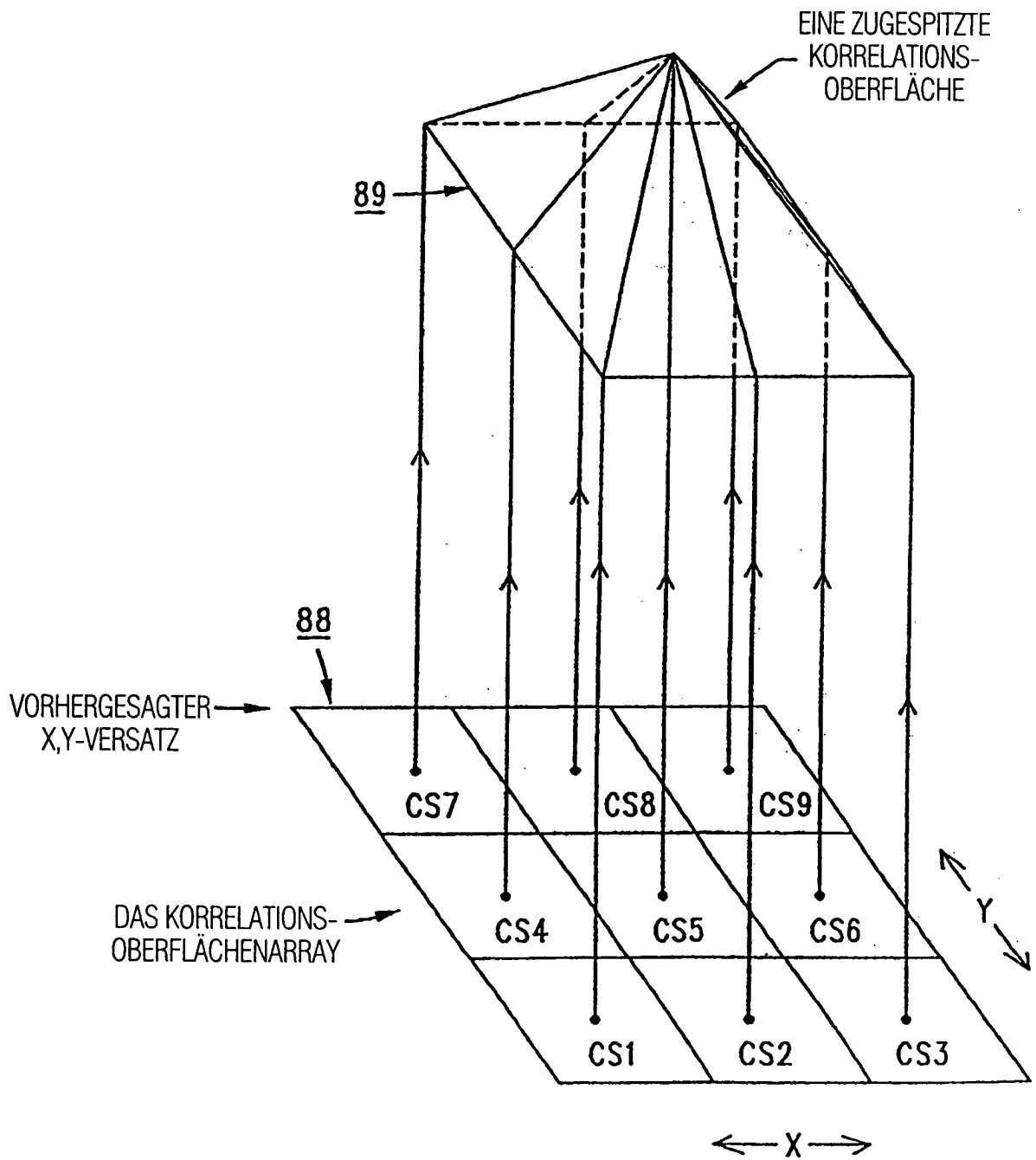


FIG. 11
(STAND DER TECHNIK)

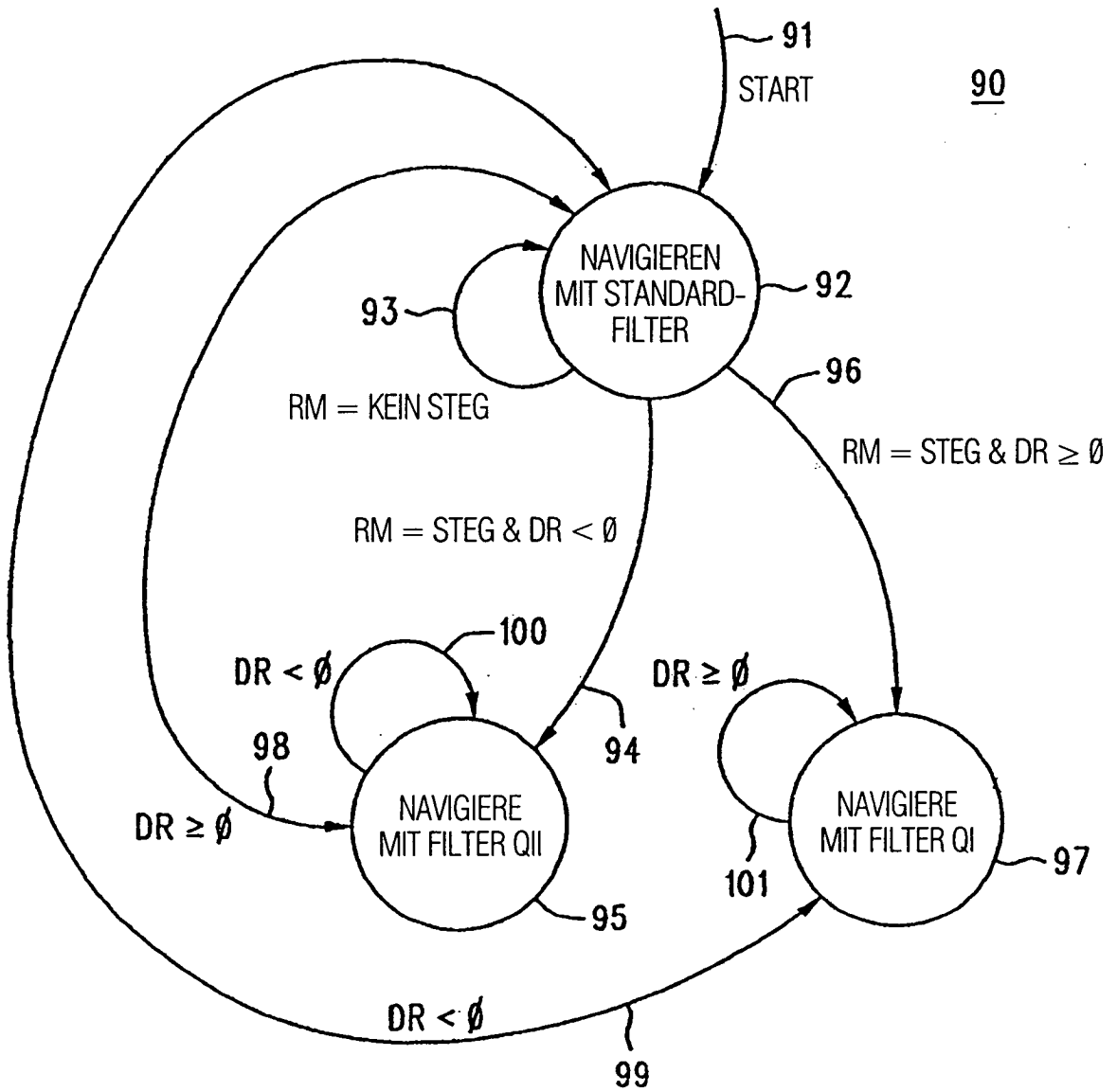


FIG. 12

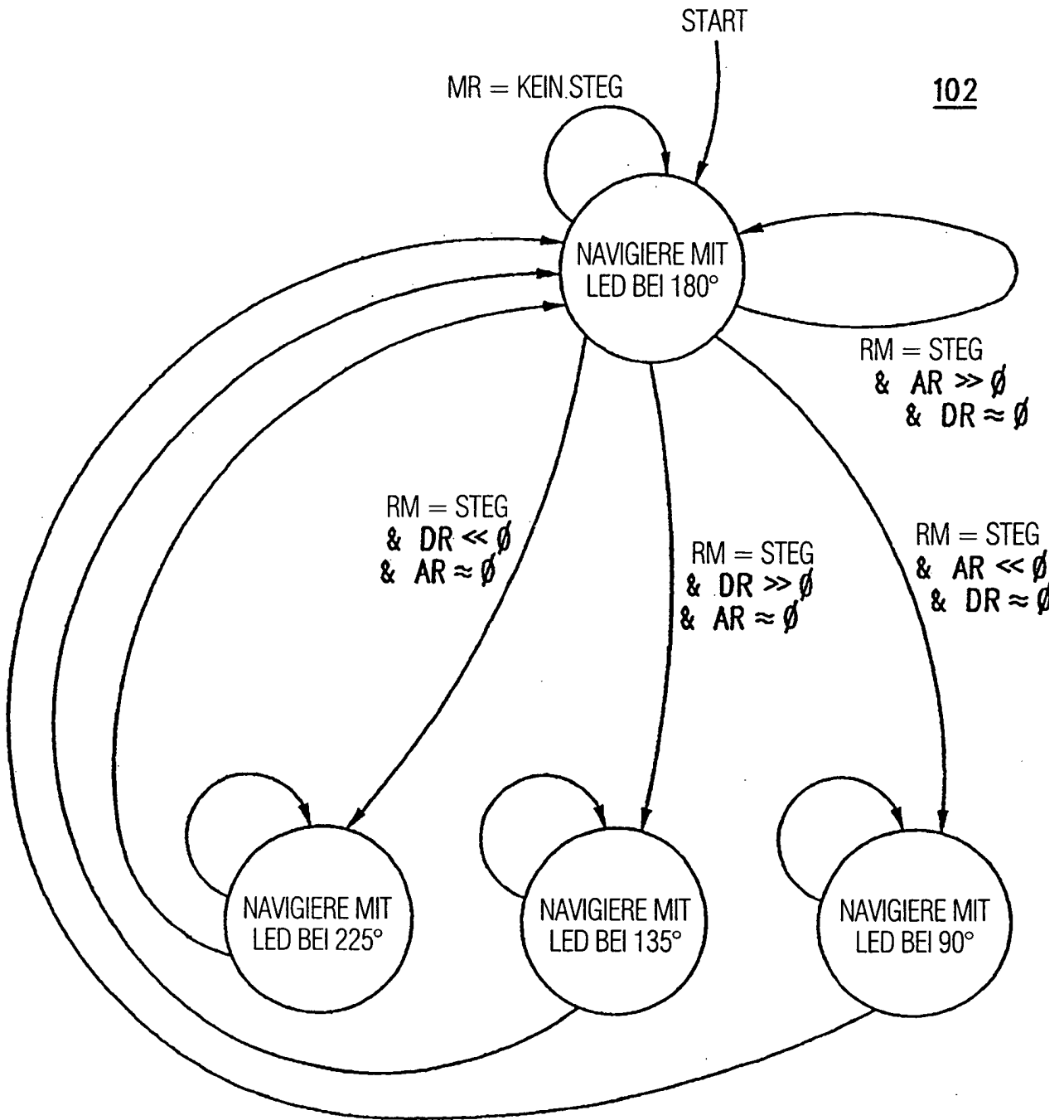


FIG. 13

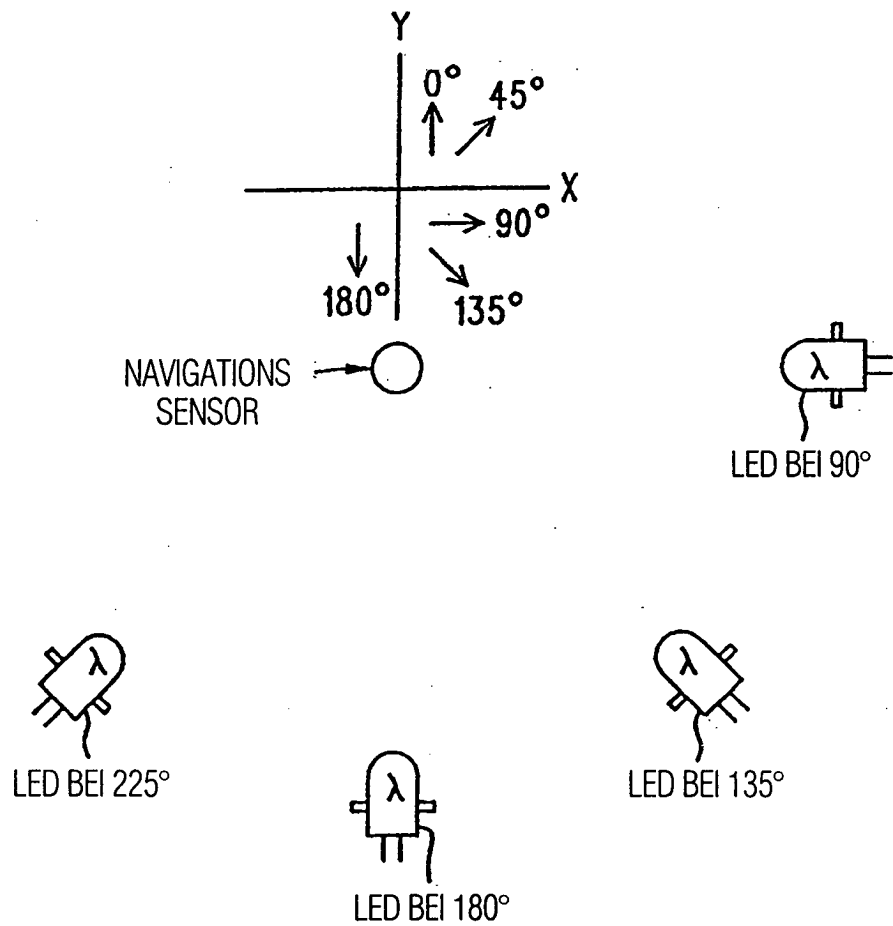


FIG. 14