

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
27. März 2008 (27.03.2008)

PCT

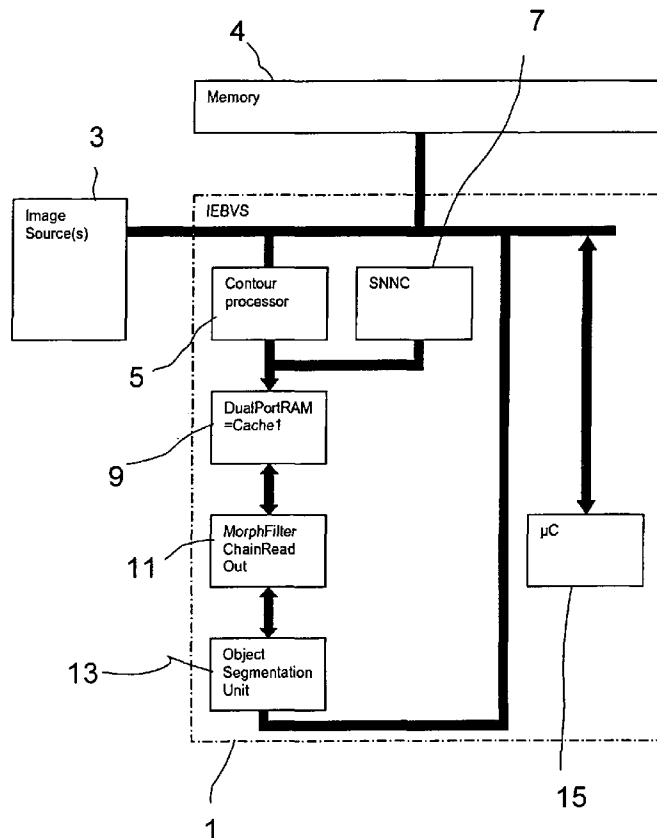
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2008/034599 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
**G06T 7/00** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/008149
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
19. September 2007 (19.09.2007)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2006 044 595.3  
19. September 2006 (19.09.2006) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **BAUMER OPTRONIC GMBH** [DE/DE];  
Badstrasse 30, 01454 Radeberg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BEIKIRCH, Lars** [DE/DE]; Boleslawiecer Strasse 17a, 01796 Pirna (DE). **IHFELFELD, Joachim** [DE/DE]; Laurinstrasse 6, 01067 Dresden (DE). **VIETZE, Oliver** [CH/CH]; Oberfeldstrasse 20, CH-8500 Frauenfeld (CH).
- (74) Anwälte: **HERDEN, Andreas** usw.; Blumbach Zingrebe, Alexandrastr. 5, 65187 Wiesbaden (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR IMAGE PROCESSING

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BILDVERARBEITUNG



(57) Abstract: The invention relates to an image processing device, by means of which image recognition can be carried out in real time and which can carry out an accurate and reliable recognition of objects with little or no a-priori information. An arithmetic unit is used to determine the connection probabilities between each two contour points taking into account the separation of the points from each other. At least one classifier is further provided, which selects from sets of calculated connection probabilities, sub-sets with at least three connection probabilities for possible connections between at least three adjacent contour points, of which one is a pre-determined central contour point and, for each sub-set, picks out those contour points adjacent to the central contour point which have a possible connection with the lowest connection probability to an adjacent contour point, so long as the connection does not connect two points adjacent to the central point and then enters the non-sorted points with connectors in a contour point list, which defines the remaining connections to the central point.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Bildverarbeitungsvorrichtung, mit der eine Bilderkennung in Echtzeit erfolgen kann und die mit nur sehr wenig oder sogar keinerlei a-priori-Information in der Lage ist,

eine zutreffende und zuverlässige Erkennung von Objekten durchzuführen. Dazu werden mittels

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2008/034599 A2



MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**(84) Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

---

eines Rechenwerks die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen jeweils zwei Konturpunkten unter Berücksichtigung des Abstands der Punkte zueinander ermittelt. Weiterhin ist zumindest ein Klassifikator vorgesehen, welcher aus Mengen von berechneten Verbindungswahrscheinlichkeiten Teilmengen mit zumindest drei Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen zwischen zumindest drei benachbarten Konturpunkten, wovon einer ein zuvor bestimmter zentraler Konturpunkt ist, auswählt und für jede Teilmenge denjenigen zum zentralen Konturpunkt benachbarten Konturpunkt aussortiert, der eine mögliche Verbindung mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit zu einem benachbarten Konturpunkt aufweist, sofern die Verbindung nicht zwei zum Zentralpunkt benachbarte Punkte verbindet und im Anschluss daran in eine Konturpunktliste die nicht aussortierten Konturpunkte mit Konnektoren einträgt, welche die verbleibenden Verbindungen zum Zentralpunkt kennzeichnen.

## Verfahren und Vorrichtung zur Bildverarbeitung

5

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft allgemein Vorrichtungen und Verfahren zur Bildverarbeitung. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur  
10 Bildverarbeitung, bei welcher aus den Bilddaten Konturpunkte ermittelt und anhand der Konturpunkte eine Segmentierung vorgenommen wird, bei welcher zusammengehörende Konturpunkte für die Weiterverarbeitung zu Objekten zusammengefasst werden.

15

Für verschiedenste technische Anwendungen werden heutzutage Bildverarbeitungssysteme eingesetzt, um eine automatische Objekterkennung zu realisieren. Beispielsweise orientieren sich Industrieroboter vielfach anhand von verarbeiteten  
20 Bilddaten, welche es einem Roboter ermöglichen, ein Objekt und dessen Lage und Position zu erkennen. Um eine zuverlässige Erkennung von Objekten zu gewährleisten, wird jedoch bisher eine große Menge an "a priori"-Wissen über die zu erkennenden Objekte benötigt. Damit geht auch oft  
25 einher, daß für das jeweilige technische Einsatzgebiet speziell zugeschnittene Software-Lösungen erstellt werden. Es ist offensichtlich, daß eine derartige Herangehensweise sehr aufwendig und entsprechend teuer ist. Vielfach schließen sich dabei auch an eine technische Umsetzung auch  
30 noch langwierige Lernprozesse an, mit welchen das System für die Erkennung ausgewählter Objekte trainiert wird.

Noch ein weiteres Manko ist, daß für die Bilderkennung speicherintensive und komplizierte Berechnungen erforderlich sind. Eine Echtzeit-Erkennung ist auf diese Weise daher kaum zu realisieren.

5

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine technische Lösung bereitzustellen, mit der eine Bilderkennung in Echtzeit erfolgen kann und die mit nur sehr wenig oder sogar keinerlei a-priori-Information in der Lage ist, eine zutreffende und zuverlässige Erkennung von Objekten durchzuführen. Diese Aufgabe wird bereits in höchst überraschend einfacher Weise durch eine Vorrichtung und ein Verfahren, wie sie in den unabhängigen Ansprüchen angegeben sind, gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen angegeben.

10  
15

Dazu ist eine Bildverarbeitungsvorrichtung mit einer in Form von Hardware integrierter Einrichtung zur Segmentierung von Bilddaten und einer ebenfalls in Form von Hardware integrierter Einrichtung zur Bestimmung und Verarbeitung von Konturpunkten, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Segmentierung von Bilddaten eine Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen aus von der Einrichtung zur Bestimmung und Verarbeitung von Konturpunkten bereitgestellten Listendaten mit Konturpunkten umfasst, wobei die Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen eine Einrichtung zur Durchführung des folgenden Algorithmus umfasst:

30 -zu jedem Punkt  $p$  einer Menge aufeinanderfolgender Konturpunkte einer Kontur werden Tripel mit Punkten ( $p^-$ ,  $p$ ,  $p^+$ ) gebildet, wobei die Punkte  $p^-$ ,  $p^+$  Konturpunkte darstellen, die in beiden Richtungen entlang der Kontur vom Punkt  $p$  beabstandet sind,

35 -zu diesen Punkten wird getestet, ob die Bedingungen

$$(i) \quad d_{\min}^2 \leq |p-p^+|^2 \leq d_{\max}^2,$$

$$(ii) \quad d_{\min}^2 \leq |p-p^-|^2 \leq d_{\max}^2,$$

und

$$(iii) \quad \alpha \leq \alpha_{\max}$$

5 erfüllt sind, wobei  $d_{\min}^2$ ,  $d_{\max}^2$  und  $\alpha_{\max}$  gesetzte vorbestimmte Parameter sind, und wobei für den Öffnungswinkel  $\alpha$  gilt:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right],$$

wobei  $a$  den Abstand der Punkte  $p$  und  $p^+$ ,  $b$  den Abstand der Punkte  $p$  und  $p^-$ , und  $c$  den Abstand der Punkte  $p^+$  und  $p^-$  bezeichnen, und wobei die Bedingungen (i), (ii) und (iii) für eine Reihe von zu  $p$  beiderseits benachbarten Punkten getestet werden,

-der kleinste Öffnungswinkel  $\alpha$  oder eine daraus abgeleitete Größe aus der Menge der getesteten Tripel mit Punkten ( $p^-$ ,  $p$ ,  $p^+$ ), welche alle Bedingungen (i), (ii) und (iii) erfüllen, wird ausgewählt und dem Punkt  $p$  zugeordnet, -ein Punkt  $p$  wird aussortiert, wenn zu diesem dieser ein benachbarter Punkt  $p'$  existiert, für welchen die Bedingungen (i), (ii) und (iii) erfüllt sind und einen kleineren Öffnungswinkel  $\alpha$  aufweist.

Unter einem benachbarten Punkt  $p'$  wird dabei ein Punkt verstanden, welcher innerhalb einer vorbestimmten Umgebung um den Punkt  $p$  entlang der Kontur angeordnet ist.

25 Beispielsweise kann als Bedingung gesetzt werden

$$|p^2 - p'^2| \leq d_{\max}^2.$$

Durch Setzen des Parameters  $d_{\max}^2$  wird vermieden, daß vermeintlich kleine Öffnungswinkel zwischen weit entfernten Punkten bei stark gekrümmten Konturen zugeordnet werden.

Der Parameter  $d_{\min}^2$  gibt die Auflösung an, mit welcher die Kontur, beziehungsweise die Konturpunkte abgetastet wird.

Ein günstiger zulässiger Bereich für  $|p-p^+|^2$  zur Erzielung einer effektiven Abtastung wird weiterhin erreicht, wenn  $d_{\max} \geq d_{\min} + 1$ , etwa zum Beispiel  $d_{\max} = d_{\min} + 2$  gesetzt wird. Die Parameter  $d_{\max}$ ,  $d_{\min}$  und  $\alpha_{\max}$  müssen nicht fest  
5 durch die Hardware vorgegeben sein, vielmehr kann die Bildverarbeitungsvorrichtung auch dazu ausgebildet sein, wenigstens einen dieser Parameter wählbar oder variierbar zu setzen.

10 Es hat sich gezeigt, daß der erfindungsgemäße Algorithmus besonders einfach und effektiv in Hardware, vorzugsweise in FPGA- oder ASIC-Bausteine implementiert werden kann. Insbesondere ist auch der benötigte Speicher vergleichsweise klein. Dies zusammengenommen führt zu einer  
15 sehr schnellen Erkennung von Eckpunkten von Objekten zwischen geradlinigen Segmenten und einer unter Verwendung dieser Punkte möglichen weitergehenden Segmentierung. Insbesondere können dann auch schnell Verbindungen zwischen den Eckpunkten gebildet und weiterverarbeitet werden.

20 Für die Auswahl der Tripel, beziehungsweise der Punkte  $p^+$ ,  $p^-$  können verschiedene Auswahlvorschriften eingesetzt werden. Besonders effektiv, insbesondere auch hinsichtlich der Anzahl der benötigten Addierer und Multiplexer ist es  
25 jedoch, wenn Tripel  $(p, p^+, p^-)$  nacheinander mit Konturpunkten  $p^+$ ,  $p^-$  gebildet und auf Erfüllung der Bedingungen (i), (ii), und (iii) getestet werden, die entlang der Kontur fortschreitend weiter vom Konturpunkt  $p$  entfernt sind. Dabei ist es weiterhin günstig für die  
30 Rechengeschwindigkeit bei ausreichender Genauigkeit der Bestimmung von Eckpunkten, wenn der Test der Bedingungen (i), (ii), und (iii) für einen gegebenen Konturpunkt  $p$  abgebrochen wird, sobald eine der Bedingungen (i), (ii),

und (iii) für ein Tripel  $(p, p^+, p^-)$  nicht mehr erfüllt ist.

Als vorteilhaft für eine fehlerarme Segmentierung für eine  
5 Vielzahl von Bedingungen hinsichtlich der Bildauflösung und  
des Bildkontrasts hat es sich weiterhin erwiesen, wenn in  
der Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen  
der Parameter  $d_{\min}^2$  auf einen Wert von  $d_{\min}^2 \geq 4$  gesetzt ist.  
Für den Parameter  $\alpha_{\max}$  sind weiterhin Werte von  $\alpha_{\max} \leq 160^\circ$   
10 günstig.

Wenn die Bedingungen (i) bis (iii) für eine große Anzahl  
benachbarter Konturpunkte erfüllt bleibt, steigt der  
Rechenaufwand zur Bestimmung des minimalen Öffnungswinkel  
15 für den Konturpunkt  $p$ . Es ist daher von Vorteil für den  
Rechenaufwand und die Geschwindigkeit der Analyse der  
Eckpunkte, wenn die Einrichtung zur Bestimmung von  
Eckpunkten von Konturen ausgebildet ist, für einen  
gegebenen Konturpunkt  $p$  zu jeder Seite entlang einer Kontur  
20 höchstens 7 Konturpunkte für die Tests der Bedingungen (i),  
(ii) und (iii) einzubeziehen. Mit anderen Worten wird der  
Test abgebrochen, wenn die Konturpunkte  $p^+$ ,  $p^-$  jeweils  
sieben Konturpunkte vom Punkt  $p$  entfernt sind.

25 Unabhängig von der Objektsegmentierung sieht die Erfindung  
eine vorzugsweise integrierte Bildverarbeitungsvorrichtung  
mit einem oder mehreren Bildspeichern und zumindest einer  
integrierten Hardwareeinheit vor, die eingerichtet ist, die  
im Bildspeicher abgelegten Daten eines Digitalbildes  
30 abzutasten und Konturpunkte mit Subpixel-Genauigkeit zu  
ermitteln und als fortlaufende Listendaten in einem  
Speicher abzulegen. Die Bildverarbeitungsvorrichtung weist  
weiterhin eine Recheneinheit auf, welche eingerichtet ist,  
aus den im Speicher abgelegten Listendaten mithilfe eines

Rechenwerks die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen jeweils zwei Konturpunkten unter Berücksichtigung des Abstands der Punkte zueinander zu ermitteln. Außerdem ist zumindest eine Recheneinheit, die nachfolgend als

5 Klassifikator bezeichnet wird, vorgesehen, welche aus Mengen von berechneten Verbindungswahrscheinlichkeiten Teilmengen mit zumindest drei

Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen zwischen zumindest drei benachbarten Konturpunkten, wovon

10 einer ein zuvor bestimmter zentraler Konturpunkt ist, auswählt und für jede Teilmenge denjenigen zum zentralen Konturpunkt, beziehungsweise Zentralpunkt benachbarten Konturpunkt aussortiert, der eine mögliche Verbindung mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit zu einem

15 benachbarten Konturpunkt aufweist, sofern die Verbindung nicht zwei zum Zentralpunkt benachbarte Punkte verbindet und im Anschluß daran in eine Konturpunktliste die nicht aussortierten Konturpunkte mit Konnektoren einträgt, welche die verbleibenden Verbindungen zum Zentralpunkt

20 kennzeichnen.

Die Erfindung sieht außerdem ein Verfahren zur Ermittlung zusammenhängender Konturen in Bilddaten vor, welches insbesondere in einer wie vorstehend beschriebenen

25 Bildverarbeitungsvorrichtung durchführbar ist, bei welchem aus den Bilddaten Konturpunkte ermittelt und die Verbindungswahrscheinlichkeiten möglicher Verbindungen von Konturpunkten zu benachbarten Konturpunkten errechnet werden, und wobei aus einer Menge von solchen

30 Verbindungswahrscheinlichkeiten ein oder mehrere Teilmengen mit zumindest drei Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen zwischen zumindest zwei Konturpunkten und einem benachbarten ausgewählten zentralen Konturpunkt analysiert und jeweils derjenige der zentralen Konturpunkt

35 benachbarten Konturpunkte aussortiert wird, der eine

mögliche Verbindung mit der geringsten  
Verbindungswahrscheinlichkeit zu einem der anderen Punkte  
aufweist, sofern die Verbindung nicht zwei zum Zentralpunkt  
benachbarte Punkte verbindet, und nach Abschluß dieser  
5 Analyse der Teilmengen in eine Liste in einem  
elektronischen Speicher Konturpunktdaten einträgt, welche  
Konnektoren umfassen, die zu einer Kontur gehörende  
Verbindungen zum Zentralpunkt kennzeichnen. Diese  
Konnektoren können dann weiterverarbeitet werden, indem  
10 anhand der Konnektoren die Konturpunkte zu Kontursegmenten  
zusammengefasst werden, die für die Objektverarbeitung und  
Objekterkennung dienen.

Unter benachbarten Konturpunkten werden im Sinne der  
15 Erfindung nicht etwa Konturpunkte zu direkt  
aneinandergrenzenden Pixeln verstanden, sondern vielmehr  
alle Konturpunkte innerhalb einer vorgegebenen Umgebung um  
den Zentralpunkt. Beispielsweise kann dies eine 5 x 5-  
Umgebung mit dem jeweiligen betrachteten Zentralpunkt in  
20 dessen Zentrum sein. Diese Menge an Konturpunkten wird dann  
auch als Nachbarschaft bezeichnet.

Die Ermittlung der Lage von Konturpunkten mit Subpixel-  
Genauigkeit zu einem Bildpunkt erfolgt dabei durch  
25 Berechnung aus der Lage des Bildpunktes und weiterer  
umgebender Bildpunkte.

Der erfindungsgemäße Auswahlvorgang, bei welchem jeweils  
Konturpunkte aus einer Menge aussortiert werden, welche die  
30 geringste Verbindungswahrscheinlichkeit zum Zentralpunkt  
aufweisen, bietet den Vorteil, sehr wenig Speicher zu  
benötigen. Insbesondere kann die Verarbeitung anhand von  
fortlaufenden Listendaten erfolgen. Der hierfür benötigte  
geringe Speicherbedarf ermöglicht mit geringem Aufwand an  
35 einzusetzender Hardware sogar eine Verarbeitung in

Echtzeit. Zudem lassen sich die oben beschriebenen Prozesse aufgrund ihrer Einfachheit leicht in Hardware-Bausteinen ohne aufwendige Software und periphere Beschaltung implementieren. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann daher  
5 sehr einfach als sehr kompakte integrierte Hardware-Bildverarbeitungsvorrichtung ausgeführt werden. Um den benötigten Speicher zu reduzieren, ist insbesondere auch die Weiterverarbeitung der Konturpunkte in Form von fortlaufenden Listendaten besonders vorteilhaft. Diese  
10 Listendaten enthalten vorzugsweise nur die Bildpunktkoordinaten von relevanten Konturpunkten sowie Attributen der Umgebung und somit lediglich die für die Konturerkennung relevanten Daten. Demgemäß wird die Datenmenge auf diese Weise gegenüber den Originaldaten des  
15 Bildes auf ein Minimum reduziert. Das Aussortieren hat das Ziel, diejenigen Konturpunkte zu ermitteln, die zusammen mit dem jeweils betrachteten Zentralpunkt zur gleichen Kontur gehören.

20 Der Schritt des Auswählens von Konturpunkten für die Weiterverarbeitung durch Aussortieren von Konturpunkten mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit zum Zentralpunkt kann auch folgendermassen veranschaulicht werden: Die Menge der um einen Zentralpunkt gruppierten  
25 Konturpunkte (=Nachbarschaftskandidaten) kann in einer Ebene bildhaft veranschaulicht werden, indem die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten durch Strecken dargestellt werden, wobei die Länge einer Strecke indirekt proportional zur  
30 Verbindungswahrscheinlichkeit ist. Es werden nun Polygone gebildet, welche als Eckpunkte den Zentralpunkt und zumindest zwei zum Zentralpunkt benachbarte weitere Konturpunkte enthalten. Anschließend wird derjenige der zum Zentralpunkt benachbarten Punkte entfernt, von welchem die  
35 längste Verbindung zu einem weiteren Punkt des Polygons

ausgeht. Dieses Verfahren kann dann je nach Anzahl der benachbarten Konturpunkte für alle zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkte wiederholt werden, bis eine gewisse Anzahl von Konturpunkten, je nach Anordnung der Punkte unter Umständen auch nur zwei Punkte inklusive des Zentralpunkts übrigbleibt und es sich keine Polygone mehr bilden lassen, in denen weitere Streichungen von Elementen stattfinden.

5  
10  
15  
20  
25  
Dieser Auswahlvorgang des Klassifikators läßt sich besonders effektiv mit wenigen Rechenoperationen und geringem Aufwand an Hardware durchführen, wenn aus der Menge der Konturpunkte der Nachbarschaft des Zentralpunkts, beziehungsweise der zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkte jeweils eine Teilmenge als Tripel mit dem Zentralpunkt und zwei weiteren Konturpunkten mit den zugeordneten Verbindungswahrscheinlichkeiten gebildet wird und vorzugsweise von drei Komparatoren für die Verbindungswahrscheinlichkeiten die geringste Wahrscheinlichkeit ermittelt und jeweils der zum Zentralpunkt benachbarte Konturpunkt, von welchem die Verbindung mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit innerhalb des Tripels ausgeht, aus einer Nachbarschaftsmenge der zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkte aussortiert wird, sofern die zugehörige Verbindung nicht zwei zum zentralen Konturpunkt benachbarte Konturpunkte verbindet.

30  
35  
Die Konnektoren, die der Klassifikator nach dem Aussortieren in der Nachbarschaft belässt, werden in eine Konturpunktliste eingetragen und können dann die Indizes benachbarter Konturpunkte und die Verbindungswahrscheinlichkeiten zu benachbarten Konturpunkten sowie weitere Nachbarschaftsinformationen (Richtung DIR, Kontrast cont, Farbe) enthalten.

Werden die Konturpunkte wieder als auf einer Ebene mit durch die Verbindungswahrscheinlichkeiten modifizierten Koordinaten angeordnet betrachtet, so entspricht diese Vorgehensweise dem Bilden von Tripeln von Konturpunkten, deren Verbindungen dementsprechend ein Dreieck bilden. Es wird in diesem Dreieck nun die längste Seite bestimmt und derjenige zum Zentralpunkt benachbarte Konturpunkt gestrichen, von welchem die längste Seite ausgeht.

10

Der Vorgang des Aussortierens, beziehungsweise des Auswählens der verbleibenden Konturpunkte wird vorzugsweise zumindest einmal für die Menge der nicht aussortierten Konturpunkte wiederholt. Die Bildverarbeitungsvorrichtung, insbesondere der Klassifikator, der aus zumindest drei Elementen für Verbindungen von zumindest zwei Konturpunkten zu einem ausgewählten zentralen Konturpunkt jeweils die Verbindung mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit aussortiert, kann insbesondere dazu eingerichtet sein, den Auswahl-Vorgang, bei welchem Konturpunkte mit möglichen Verbindungen mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit aussortiert werden für jeden ausgewählten zentralen Konturpunkt zu wiederholen, bis keine weiteren zum zentralen Konturpunkt benachbarten Konturpunkte gestrichen, beziehungsweise aussortiert werden können.

15

20

25

Werden, wie es besonders bevorzugt ist, jeweils Tripel von Konturpunkten, beziehungsweise zugehörigen Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen gebildet und eine geeignete Auslesereihenfolge der Konturpunkte beachtet, bei welcher die Teilmengen so gebildet werden, daß nur nächste Nachbarn von Konturpunkten, beziehungsweise die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen diesen Punkten

30

35

enthalten sind, hat es sich im übrigen gezeigt, daß genau eine einmalige Wiederholung des Aussortierens für alle Tripel von Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen zwischen nächst benachbarten Konturpunkten ausreicht, um zumindest in den allermeisten Fällen alle diejenigen Konturpunkte auszusortieren, die nicht zur selben Kontur wie der jeweils betrachtete Zentralpunkt gehören.

10 Beim Auswählen von Konturpunkten durch Aussortieren von Konturpunkten mit geringer Verbindungswahrscheinlichkeit können sich unter Umständen Mehrdeutigkeiten ergeben, die dazu führen, daß beispielsweise bei einem Tripel von Konturpunkten, der Klassifikator für die

15 Verbindungswahrscheinlichkeiten keinen Konturpunkt aussortiert, obwohl die jeweils längsten Verbindungen, beziehungsweise die geringsten Verbindungswahrscheinlichkeiten jeweils für Verbindungen zum Zentralpunkt bestehen. Dies ist insbesondere dann der

20 Fall, wenn die Punkte mit durch die Verbindungswahrscheinlichkeiten modifizierten Koordinaten ein gleichschenkliges Dreieck oder sogar ein gleichseitiges Dreieck bilden. Hier könnten zwar alle Konturpunkte übernommen werden, allerdings hat sich überraschend

25 gezeigt, daß eine wesentlich bessere, um Artefakte verminderte Nachbarschaftsdefinition erfolgt, wenn eine Modulation auf die Verbindungswahrscheinlichkeit aufgeprägt wird, die einer Positionsverschiebung von Konturpunkten entspricht, die kleiner als der Pixelabstand ist.

30

Zwar werden hier die Daten für die Verbindungswahrscheinlichkeiten verändert, was auch zu falschen Pfadentscheidungen über tatsächlich zu einer zusammenhängenden Kontur gehörenden Konturpunkten führen

35 kann, allerdings hat es sich gezeigt, daß dies unschädlich

ist, da sich mögliche falsche Entscheidungen im Mittel neutralisieren. Eine einfache, bevorzugte Realisierung einer Modulation ist dabei die Veränderung der Pixel-Koordinaten von Konturpunkten. Ebenso möglich wäre es aber auch, innerhalb des Klassifikators die Verbindungswahrscheinlichkeiten zu berechnen und dann diesen Verbindungswahrscheinlichkeiten eine Modulation aufzuprägen.

10 Im einfachsten Fall können Verbindungswahrscheinlichkeiten von Konturpunkten anhand des Abstands dieser Punkte zueinander ermittelt werden. Je weiter zwei Konturpunkte voneinander entfernt sind, desto geringer ist ihre Verbindungswahrscheinlichkeit. Es wird aber bevorzugt, weitere Attribute der Konturpunkte zu erfassen und in die Berechnung der Verbindungswahrscheinlichkeit mit einfließen zu lassen.

15 Als günstig hat es sich dabei insbesondere erwiesen, wenn das Rechenwerk für die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten anhand des Abstands zwischen den Konturpunkten und zumindest einem der Attribute Kontrast, Farbe und Richtung errechnet werden. Dazu ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung vorgesehen, daß die Recheneinheit, die eingerichtet ist, aus den im Speicher abgelegten Listendaten die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten zu ermitteln, die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten anhand des Abstands zwischen den Konturpunkten und zumindest einem der Attribute Kontrast, Farbe und Richtung errechnet. Eine Möglichkeit ist beispielsweise, anhand eines oder mehrerer Attribute den Wert einer Funktion der Werte dieses Attribute zu errechnen und eine Verbindungswahrscheinlichkeit nur dann zu berechnen, wenn der Wert der Funktion einen Schwellwert je nach Art der Funktion über- oder unterschreitet.

20

25

30

35

Ein Attribut kann dabei beispielsweise die mittlere  
Punktrichtung, die vom Konturpunktprozessor ausgegeben wird  
(der maximale Grauwertkontrats liegt in einer  
5 Antastrichtung), sein. Die mittlere Punktrichtung ist als  
Summe der Richtungsvektoren beider zu einem Konnektor  
gehörenden Konturpunkte definiert und steht in der Regel in  
guter Näherung senkrecht zur Richtung des Konnektors  
selbst. Weisen zwei Konturpunkte eine ähnliche Richtung der  
10 Kontur auf, steigt entsprechend die  
Verbindungswahrscheinlichkeit, also die Wahrscheinlichkeit,  
daß die beiden Punkte tatsächlich zu einer gemeinsamen  
Kontur gehören. Ein weiteres Merkmal ist der Winkel  
zwischen der mittleren Punktrichtung und der Richtung des  
15 Konnektors. Dieser Winkel kann in besonders einfacher Weise  
über das Skalarprodukt der beiden Vektoren berechnet und in  
die Verbindungswahrscheinlichkeit einbezogen werden.

Der Kontrast kann insbesondere der Helligkeitsunterschied  
20 von zum Konturpunkt benachbarten Bereichen sein, die durch  
die Konturlinie getrennt sind. Weisen zwei Konturpunkte  
einen solchen ähnlichen Kontrast auf, steigt entsprechend  
die Wahrscheinlichkeit, daß die beiden Konturpunkte auf  
einer gemeinsamen Konturlinie liegen. Ist der Kontrast  
25 invers, dann handelt es sich zumeist um eine dünne Linie,  
deren in der Regel parallel in geringem Abstand laufende  
Konturen nicht verbunden werden dürfen, d.h. dass in diesem  
Fall die Verbindungswahrscheinlichkeit auf null gesetzt  
wird.

30 Gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung kann daher die  
integrierte Recheneinheit, die eingerichtet ist, die im  
Bildspeicher abgelegten Daten eines Digitalbildes  
abzutasten und Konturpunkte mit Subpixel-Genauigkeit zu  
35 ermitteln und als fortlaufende Listendaten in einem

Speicher abzulegen, dazu eingerichtet sein, neben der Position eines Konturpunktes zumindest ein weiteres Attribut des Konturpunktes zu berechnen und in den fortlaufenden Listendaten abzuspeichern. Vorzugsweise wird  
5 mittels der integrierten Recheneinheit für einen Konturpunkt einen Attribut-Vektor mit zumindest 24 Bit Länge, vorzugsweise zumindest 36 Bit Länge erzeugt und in den fortlaufenden Listendaten abgespeichert. Die Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, aus den im  
10 Speicher abgelegten Listendaten Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten zu ermitteln, kann dann Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten anhand des Abstands zwischen den Konturpunkten und zumindest einem weiteren Attribut  
15 errechnen.

Um die Bilddaten schnell mit nur wenig benötigtem Speicher verarbeiten zu können, insbesondere um aus den Bilddaten Konturpunkte und Konnektoren zu ermitteln, ist weiterhin  
20 bevorzugt, daß die Bilddaten in mehreren Streifen ausgelesen werden, die jeweils eine Breite von mehr als 1 Pixel, vorzugsweise zumindest 16 Pixel, besonders bevorzugt 26 oder 32 Pixel aufweisen. Vorzugsweise werden dabei die Bilddaten nacheinander in Streifen ausgelesen, die um mehr  
25 als einen Pixel, vorzugsweise um zumindest 4 Pixel, besonders bevorzugt um zumindest 8 Pixel überlappen. Aufgrund dieses Überlapps werden zwar unter Umständen Konnektoren im Überlappbereich doppelt berechnet, dieser zusätzliche Mehraufwand wird aber dadurch überkompensiert,  
30 daß sich die einzelnen ermittelten Konturen leichter und fehlerfreier wieder zusammensetzen lassen.

Die Bildverarbeitungsvorrichtung ist weiterhin bevorzugt für eine Echtzeit-Bildverarbeitung eingerichtet. Dies  
35 bedeutet, daß innerhalb des Bildtransfers eine vollständige

Ermittlung von Objekten, welche die Konturen beschreiben, erfolgt. Diese Echtzeit-Verarbeitung wird insbesondere auch durch die sehr einfache Berechnung der Konnektoren für die Konturpunkte ermöglicht.

5

Um eine solche Echtzeit-Verarbeitung zu ermöglichen, ist es weiterhin besonders bevorzugt, daß die Vorrichtung Dual-Port-RAM-Speicher und eine Einrichtung zum gleichzeitigen Ablegen und Auslesen von Listendaten aus dem Dual-Port-RAM-Speicher aufweist. Dieser Speicher ermöglicht nicht nur  
10 sehr kurze Zugriffszeiten, insbesondere können die verschiedenen Prozesse zur Bildverarbeitung auch gleichzeitig auf die Daten im selben Speicher zugreifen. Während ein erster Prozess Listendaten in den Speicher  
15 schreibt, kann bereits ein anderer Prozess Listendaten gleichzeitig wieder aus dem Speicher entnehmen. Allerdings sind solche Speicher, beispielsweise auf einem FPGA im allgemeinen sehr klein. Typischerweise stehen Speicher im Bereich von 4 kByte zur Verfügung. Erst die Verarbeitung  
20 von Listendaten anstelle der Abbildung ganzer Bilder oder Bildbereiche im Speicher ermöglicht dabei auch die Beschränkung auf derartige kleine Speicher.

Als ein der Bildung von Listendaten mit den Konnektoren  
25 nachgeschalteter Prozess ist vorzugsweise ein Morphologiefilter vorgesehen. Der Begriff Morphologiefilter wird in diesem Zusammenhang zur Kennzeichnung der glättenden Wirkung der Filteroperation verwendet, obwohl in diesem Grenzbereich auch topologische Eigenschaften  
30 ausgenutzt werden.

So weist gemäß dieser Ausführungsform der Erfindung die Bildverarbeitungsvorrichtung eine Morphologiefilter-Recheneinrichtung auf, welche dazu eingerichtet ist, die  
35 Konturpunktliste mit Konnektoren hinsichtlich zumindest

einer der Eigenschaften zu filtern:

-Konturpunkte zu Ketten von höchstens drei Konturpunkten werden gelöscht,

5 -Konturpunkte, welche nur zu einer einseitig mit einer längeren Kette verbundenen Kette mit höchstens drei Konturpunkten gehören, werden gelöscht,

-Konturpunkte, welche Start- und Endpunkte von Ketten zusammengehörender Konturpunkte bilden, werden in der Konturpunktliste gekennzeichnet,

10 -Konturpunkte, welche Verzweigungspunkte zumindest zweier Ketten bilden, werden in der Konturpunktliste gekennzeichnet.

Um die Verkettung der Konnektoren zu Objektsegmenten zu erleichtern, ist gemäß noch einer Weiterbildung der Erfindung außerdem eine Einrichtung zum Erzeugen von Rangvektoren für Konturpunkte vorgesehen, welche die Konturpunktliste mit Konnektorstruktur ausliest und jeweils ausgehend von einem Zentralpunkt über die Konnektoren die Konte-  
20 Konnektorstruktur sämtlicher Nachbarpunkte einliest und einen Rangvektor erzeugt, der die Anzahl der Verzweigungen der Nachbarpunkte und des Zentralpunkts selbst beinhaltet. Dabei wird die Konnektorstruktur in zeitlicher Verzögerung zum Eintragen von Konnektoren in die Konturpunktliste  
25 abgetastet. Die zeitliche Verzögerung ist vorgesehen, damit bereits Daten im betreffenden Dual-Port-RAM vorhanden sind, in welchen sowohl die Listendaten mit den Konnektoren eingetragen, als auch zur Bildung von Rangvektoren ausgelesen werden. Anschließend kann der Rangvektor über  
30 eine Tabelle oder Boolesche Funktionen auf eine vorzugsweise skalare Potentialfunktion abgebildet und Artefakte mittels der Potentialfunktion aussortiert werden. Um die spätere Segmentierung zu erleichtern, kann eine Einrichtung zum Auslesen der Konturpunktliste in geordneter  
35 Reihenfolge als geordnete Reihe von Konturpunkten

vorgesehen sein, wobei aufeinanderfolgende Listeneinträge zu aufeinanderfolgenden Konturpunkten entlang einer Kontur gehören. Diese Einrichtung kann zusammengehörende Konturpunkte insbesondere anhand der jeweiligen in der Konturpunktliste abgespeicherten Konnektoren ermitteln.

Eine solche geordnete Liste von Konturpunkten wird im Sinne der Erfindung auch als „Chain“ bezeichnet. Die im Segmentierungsprozess erzeugten Chains stellen somit eine Folge geordneter Konturpunkte dar, die von einem Startpunkt ausgehend einen Endpunkt erreichen. Jedem der Konturpunkte können dabei wie gesagt durch einen vorgeschalteten Prozess Attribute, darunter die Abtastrichtung sowie der Kontrast entlang der Abtastrichtung zugewiesen werden.

Für die Bewertung der Relevanz eines Chains ist es dabei sinnvoll, den Kontrastbelag der Chain, beziehungsweise allgemeiner der Menge der zu einer Kontur gehörenden Konturpunkte zu berechnen. Als relevant werden Chains bewertet, wenn der Betrag des Kontrastbelages über einer gegebenen Schwelle liegt. Insbesondere kann die Weiterverarbeitung von Chains oder Mengen von zu einer Kontur gehörenden Konturpunkten in Abhängigkeit dieser Bewertung erfolgen. Ist eine Chain oder Menge als relevant bewertet, wird diese weiter verwendet, anderenfalls, unter anderem bei zu geringem Kontrastbelag wird die Chain oder Konturpunktmenge fallengelassen. Mit anderen Worten werden Chains mit zu geringem Kontrastbelag mittels einer entsprechenden Einrichtung der erfindungsgemäßen Vorrichtung aussortiert. Dieses Aussortieren muß nicht sofort erfolgen. Jedenfalls ist es besonders vorteilhaft, auch den Kontrastbelag als Attribut einer Chain, beziehungsweise einer Menge von zu einer gemeinsamen Kontur gehörenden Konturpunkten zu speichern.

Die Berechnung des Kontrastbelags kann besonders vorteilhaft erfolgen, indem für die Konturpunkt jeweils eine Abtastrichtung errechnet wird. Diese Abtastrichtung ist unabhängig vom Vorzeichen des Kontrastes diejenige Richtung entlang derer in der Bildumgebung lokal der maximale Kontrast auftritt. Die Abtastrichtungen müssen ferner nicht die exakten Richtungen des maximalen Kontrastwechsels in der Umgebung um den Konturpunkt sein. Vielmehr kann die jeweilige Abtastrichtung aus einer eng begrenzten Anzahl möglicher Richtungen ausgewählt werden, um den Rechenaufwand zu begrenzen. Beispielsweise können höchstens 16, bevorzugt 8 oder sogar besonders bevorzugt nur 4 mögliche Richtungen verwendet werden, die demgemäß mit entsprechend wenigen Bits darstellbar sind. Zur Berechnung des Kontrastbelags einer Kontur, beziehungsweise der zugeordneten Chain oder Menge von Konturpunkten können dann die Kontrastwerte der einzelnen Konturpunkte entsprechend ihrer Zählrichtung akkumuliert werden. Die Zählrichtung wird in Abhängigkeit der Abtastrichtung und dem Richtungsvektor der Kontur am Konturpunkt ermittelt und gibt an, ob der zum Konturpunkt gehörende, seinerseits vorzeichenbehaftete Kontrastwert beim Akkumulieren addiert oder subtrahiert wird.

Auch der Richtungsvektor kann ebenso wie die Abtastrichtung vorteilhaft auf wenige Richtungen, beziehungsweise wenige Möglichkeiten beschränkt werden. Ebenso wie bei der Abtastrichtung können höchstens 16, etwa 8 oder auch nur 4 verschiedene mögliche Richtungen für den Richtungsvektor zur Berechnung der Zählrichtung verwendet werden.

Das Aussortieren kontrastarmer Chains erfolgt in Weiterbildung der Erfindung mit einer im folgenden auch als „Chainfilter“ bezeichneten Datenfiltereinrichtung. Diese

sortiert Mengen von zu einer gemeinsamen Kontur gehörenden  
Konturpunkten aus, wenn die Menge der Konturpunkte  
wenigstens eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt:

- a) die Länge der Kontur ist kleiner als ein vorgegebener  
5 Wert, vorzugsweise 10 Pixel, und sowohl der Start-, als  
auch der Endpunkt der Kontur weisen den Grad 1 auf, sind  
also nicht Bestandteil einer weiteren Kontur,
- b) die Länge der Kontur ist kleiner als ein vorgegebener  
Wert, vorzugsweise 10 Pixel, und entweder der Start-, als  
10 auch der Endpunkt der Kontur weisen einen Grad  $>2$  auf,
- c) Start- und Endpunkt sind identisch und die Länge der  
Kontur ist kleiner als ein vorgegebener Wert, vorzugsweise  
10 Pixel,
- d) der Betrag des Kontrastbelags ist kleiner als ein  
15 vorgegebener Wert.

Eine Filterung erfolgt demgemäß nicht nur anhand des  
akkumulierten Kontrasts, sondern auch anhand weiterer  
Kriterien, wie insbesondere der Strukturgröße.

20

Mittels dieses Chainfilters sollen Chains oder Chain-  
Segmente aussortiert werden, die zu Konturen gehören,  
welche durch Artefakte, etwa durch Rauschen entstanden sind  
und keine sinnvollen Strukturen beschreiben. Der

25 Chainfilter ergänzt die durch den oben beschriebenen  
Morphologiefilter beschriebene Filterung.

Es hat sich gezeigt, daß eine artefaktarme Ermittlung von  
Verbindungen zwischen Konturpunkten bereits mit einer  
kleinen Umgebung eines ausgewählten zentralen Konturpunkts  
30 funktioniert. So kann eine zuverlässige Ermittlung von  
Verbindungen zwischen Konturpunkten erfolgen, wenn  
Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen  
von Konturpunkten jeweils nur zu solchen weiteren  
Konturpunkten einschließlich des zentralen Konturpunkts  
35 errechnet werden, die maximal 2 bis 2,5 Pixel bezogen auf

das Raster des Digitalbildes von einem Konturpunkt entfernt sind.

Für die Berechnung der Konnektoren sind fast ausschließlich  
5 nur die jeweils nächst benachbarten Konturpunkte relevant.  
Daher können Rechenschritte gespart werden, wenn bereits  
die Bildung der Mengen von Konturpunkten, insbesondere von  
Tripeln für das Aussortieren geschickt vorgenommen wird.  
Dazu ist gemäß einer Weiterbildung der Erfindung eine der  
10 Recheneinheit zur Berechnung von  
Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen  
zwischen Konturpunkten vorgeschaltete Sortiereinrichtung  
vorgesehen, welche Listendaten von zu einem ausgewählten  
zentralen Konturpunkt benachbarten Konturpunkten jeweils  
15 entsprechend einer Reihenfolge ausgibt, die beim Abtasten  
einer Umgebung des zentralen Konturpunkts erhalten wird,  
indem sukzessive ausschließlich benachbarte Punkte der  
Umgebung ausgelesen werden. Dies ist beispielsweise ein  
Unterschied zu Bilddaten in üblichen Bildformaten. Hier  
20 sind die Daten zeilenweise geordnet. Innerhalb einer Zeile  
gehören zwar aufeinanderfolgende Daten der Bilddatei dann  
zwar zu aufeinanderfolgenden, also auch benachbarten  
Bildpunkten, dies gilt jedoch nicht mehr am Zeilenende.  
Hier erfolgt ein Sprung vom letzten Punkt der Zeile zum  
25 ersten, weit entfernten Punkt der nächsten Zeile.

Auf den ersten Blick erscheint die eingesetzte Ermittlung  
von Konturpunkten mit Subpixel-Genauigkeit, beziehungsweise  
das eingesetzte Subpixel-Raster redundante oder  
30 überflüssige Information zu enthalten und damit die  
nachfolgenden Berechnungen zu verlangsamen oder  
komplizierter zu machen. Allerdings werden nicht etwa  
zusätzliche Punkte berechnet, sondern es wird vielmehr  
vorzugsweise für jeden Konturpunkt im Raster der Bilddaten

höchstens einen Konturpunkt mit Subpixel-Genauigkeit ermittelt.

Wie bereits oben diskutiert, ermöglicht die Erfindung einen  
5 äußerst sparsamen Speichereinsatz. Gemäß einem weiteren  
Aspekt der Erfindung kann daher eine erfindungsgemäße  
Vorrichtung auch als integrierte  
Bildverarbeitungsvorrichtung realisiert werden, welche  
einen oder mehrere Bildspeicher und zumindest eine  
10 integrierten Hardwareeinheit zur Ermittlung von  
Konturpunkten aus Bilddaten,  
einer der integrierten Hardwareeinheit zur Ermittlung von  
Konturpunkten nachgeschalteten Hardwareeinheit zur  
Ermittlung von zu einer Kontur gehörenden Verbindungen  
15 zwischen Konturpunkten, einer der Hardwareeinheit zur  
Ermittlung von Verbindungen nachgeschalteten  
Morphologieprozessor zur Bestimmung der Anzahl der von  
Konturpunkten ausgehenden Verbindungen von Konturen zu  
benachbarten Konturpunkten, sowie eine Einrichtung zur  
20 Segmentierung aufweist, mittels welcher aus den Daten über  
die Konturpunkte und deren Verbindungen zu weiteren  
Konturpunkten Objekte erstellt werden, welche die Konturen  
der Bilddaten beschreiben, wobei der Hardwareeinheit zur  
Ermittlung von zu einer Kontur gehörenden Verbindungen  
25 zwischen Konturpunkten ein Speicher oder Speicherbereich  
zugeordnet ist, dessen Größe höchstens 20 Prozent des  
gesamten Speichers für die Verarbeitung der Bilddaten zu  
die Konturen beschreibenden Objekten ausgenommen des oder  
der Bildspeicher beträgt.

30

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von  
Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die  
beigeschlossenen Zeichnungen näher erläutert. Dabei  
verweisen gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche  
35 Teile.

Es zeigen

5 Fig. 1 die Architektur eines integrierten  
Echtzeitbildverarbeitungssystems (IEBVS),

Fig. 2 eine grafische Darstellung der Konturpunktliste,

10 Fig. 3 schematisch ein Bereich einer Kontur mit  
Konturpunkten, Konnektoren und Punktrichtungen,

Fig. 4 ein Ordnungsprinzip für das Auslesen der  
Konturpunkte,

15 Fig. 5 ein Schaltbild einer Sortiereinrichtung,

Fig. 6 eine beispielhafte Verteilung von Konturpunkten in  
einer 5 x 5 - Umgebung eines Konturpunkts,

20 Fig. 7, 8, 9A bis 9C ein Berechnungsbeispiel, wobei Fig. 7  
eine Anordnung von benachbarten Konturpunkten im Subpixel-  
Raster, Fig. 8 die Lage der Konturpunkte im Originalraster,  
und die Fig. 9A bis 9C Tabellen mit Koordinatenwerten und  
Abständen von Konturpunkten zeigen,

25

Fig. 10 eine Darstellung eines SNNC ("Statistical Nearest  
Neighbourhood Classifier") zur Ermittlung von Konnektoren,

30 Fig. 11 eine weitere Anordnung von benachbarten  
Konturpunkten im Subpixel-Raster,

Fig. 12 eine Darstellung eines größeren Bildausschnitts mit  
Konturpunkten und durch Aussortieren ermittelten  
Verbindungen,

Fig. 13 die Datenstruktur der vom SNNC für die Weiterverarbeitung gespeicherten Daten.

5 Fig. 14 ein Blockschaltbild einer Einrichtung eines morphologischen Filters zur Erzeugung von Rangvektoren,

Fig. 15 ein Beispiel einer Datenstruktur einer Konturpunktliste nach einer morphologischen Filterung,

10

Fig. 16 ein Beispiel einer Datenstruktur einer Konturpunktliste zur Speicherung der Daten singulärer Punkte mit einem Rang größer gleich 3,

15 Fig. 17 eine Einrichtung zum Auslesen einer Konturpunktliste in geordneter Reihenfolge als geordnete Reihe von Konturpunkten,

20 Fig. 18 Konturpunkte einer Chain mit eingezeichneten Abtastrichtungen zur Ermittlung des Kontrastbelags einer Kontur,

Fig. 19 ein Beispiel einer Menge möglicher Abtastrichtungen,

25

Fig. 20 ein Ausführungsbeispiel für einen Kontrastakkumulator,

30 Fig. 21 die Phasenlage und den Speicherbedarf der Prozesse zur Bildverarbeitung,

Fig. 22 und 23 Ausschnitte einer Kontur mit Konturpunkten, sowie Parametern zur Bestimmung von Eckpunkten.

Fig. 1 zeigt die Struktur oder Architektur einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 in Form eines integrierten Echtzeitbildverarbeitungssystems IEBVS. Dieses IEBVS umfasst ein Bildinterface, an das eine oder mehrere Bildquellen 3, z.B. CCD- Kameras, angeschlossen werden können und das die Bilddaten als Digitalbild in einem Bildspeicher 4 ablegt. Auf diesen Bildspeicher 4 greift ein Konturpunktprozessor 5 in Form einer integrierten Hardwareeinheit zu, die eingerichtet ist, die im Bildspeicher 4 abgelegten Daten eines Digitalbildes abzutasten und Konturpunkte mit Subpixel-Genauigkeit zu ermitteln und als fortlaufende Listendaten in einem Speicher abzulegen. Der Konturpunktprozessor 5 liefert die Koordinaten und ausgewählte Merkmale von Konturpunkten in Listenform. Merkmale sind z.B. Grauwerte oder Farben der angrenzenden Regionen, Kontraste oder Richtungen.

Die Koordinaten werden subpixelgenau innerhalb von "Regions of Interest", z.B. von waagrecht angeordneten Streifen ausgegeben. Um allgemeingültig Bilder zu verarbeiten, ist vorzugsweise zunächst die Segmentierung, d.h. die Aufteilung des Bildes in Regionen mit homogenen Merkmalen vorteilhaft, anschließend die Interpretation dieser Merkmale.

Fig. 2 zeigt eine grafische Darstellung der Konturpunktliste. Neben klaren Konturen, im Beispiel die eines gestörten Datamatrixcodes, finden sich viele Punkte mit meist geringem Kontrast, die aufgrund verschiedener Oberflächenstörungen oder infolge Rauschen entstehen können. Aufgabe der nachfolgenden Verarbeitungseinheiten ist es nun, die Struktur der zwischen den einzelnen Regionen liegenden Konturen in geordneter Reihenfolge als verkettete Folge von Punkten durch Hardware in Echtzeit zu beschreiben, um diese in einem weiteren Schritt mit Hilfe

von Software oder weiterer Hardware durch digitale geometrische Objekte, insbesondere Strecken, Kreise, Polynome etc., zu approximieren und dann zu erkennen.

5 Die Aufgabe der Erfindung wird nun insbesondere dadurch gelöst, dass zunächst die Nachbarschaft von Konturpunkten in einem Statistical Nearest Neighbourhood Classifier 7 (SNNC) festgestellt wird. Dieser SNNC 7 umfasst eine Recheneinheit, welche aus den im Speicher abgelegten  
10 Listendaten mithilfe eines Rechenwerks die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten unter Berücksichtigung des Abstands der Punkte zueinander ermittelt, und einen Klassifikator, welcher aus Mengen von berechneten Verbindungswahrscheinlichkeiten Teilmengen mit  
15 zumindest drei Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche Verbindungen zwischen zumindest drei benachbarten Konturpunkten, wovon einer ein zuvor bestimmter zentraler Konturpunkt ist, auswählt und für jede Teilmenge denjenigen zum zentralen Konturpunkt benachbarten Konturpunkt  
20 aussortiert, der eine mögliche Verbindung mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit zu einem benachbarten Konturpunkt aufweist, sofern die Verbindung nicht zwei zum Zentralpunkt benachbarte Punkte verbindet, und im Anschluß daran in eine Konturpunktliste die nicht  
25 aussortierten Konturpunkte mit Konnektoren einträgt, welche die verbleibenden Verbindungen zum Zentralpunkt kennzeichnen. Diese Daten werden dann in einen Speicher 9 eingetragen. Dieser Speicher 9 ist besonders bevorzugt ein

30

Anschließend erfolgt mit einem morphologischen Filter 11, welcher den Speicher 9 ausliest, die Auswahl der relevanten Konturen und die Unterdrückung nicht relevanter Störungen. In einem dritten Schritt werden die Konturen in geordneter  
35 Reihenfolge als verkettete Objekte oder "Chains"

ausgelesen. Anhand dieser Ketten wird dann von einer weiteren Hardwareeinheit eine Segmentierung vorgenommen. Mittels eines Mikrocontrollers 15 wird der Prozeßablauf in der Vorrichtung 1 gesteuert.

5

Um eine derart komplexe Struktur unter Echtzeitbedingungen in einen Schaltkreis zu integrieren, ist vorzugsweise eine strenge Pipelineverarbeitung vorgesehen. Im Gegensatz zu bekannten Softwarelösungen, die auf Hardwareplattformen mit ausreichender L2- Cache- Unterstützung arbeiten und zeitnah  
10 Zugriffe auf unterschiedliche Datenstrukturen ausführen können, ist es vorteilhaft, bei einer komplexen Integration Beschränkungen hinsichtlich der Speichergröße in Kauf zu nehmen, da andererseits auf diese Weise kleine schnelle  
15 SRAM- Bereiche, beispielsweise in Form von DualPortRAMs, wie dem in Fig. 1 gezeigten Speicher 1 verwendet werden können. Ferner bestehen dann erweiterte Anforderungen an die Verarbeitungsqualität der einzelnen Teilschritte, da das Pipelinekonzept Beschränkungen bei aufwendigen Such-  
20 und Ordnungs- oder Korrekturprozessen auferlegt. Eine typische Speichergröße von schnellen internen SRAM's liegt vorzugsweise bei 4 bis 16 kByte.

Der erreichbare Integrationsgrad wird ferner insbesondere  
25 von der Verlustleistung bestimmt, die wiederum von der Anzahl der zu realisierenden Verarbeitungsschritte abhängt. Eine besonders günstige Lösung mit einem minimalen Datenstrom im jeweiligen Prozeß ergibt sich dann, wenn ein kompaktes Listenformat für die Darstellung von  
30 Konturpunkten verwendet wird, da für die hierarchisch aufgebaute Signalverarbeitung jeweils nur streng determinierte Zugriffe auf Teilstrukturen erforderlich sind, so dass aufwendige Zugriffe auf Bildarrays mit Grauwert- oder Farbdaten vermieden werden können.

35

Aufgabe des Statistical Nearest Neighbourhood Processor 7  
(SNNC) ist die Verbindung von Konturpunkten zu Konturen. Um  
die Nachbarschaft von Punkten  $P[j]$  bezüglich eines  
Zentralpunkts  $P[i]$  festzustellen, wird zunächst die  
5 Verbindungswahrscheinlichkeit  $P_{\text{conn}}[i,j]$  der Punktmenge  
berechnet und dann klassifiziert.

Ein einfacher und bewährter Klassifikator ist der Abstand

$$10 \quad P_{\text{conn}}[i,j] = \frac{\text{const}}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}$$

Ein Punkt gehört zur Nachbarschaft NBD, wenn  $p_{\text{conn}}[i,j]$   
einen Schwellwert überschreitet. Weitere Nachbarschaftsmaße  
können gebildet werden, indem  $p_{\text{conn}}[i,j]$  mit aus den  
15 Abtastrichtungen DIR und/oder Kontrasten cont gebildeten  
Maßen ergänzt werden. Dadurch können z.B. zutreffend weiter  
entfernt liegende Punkte mit der gleichen Richtung  
verbunden werden, senkrecht stehende Rauschpunkte jedoch  
nicht.

20

Da durch einen vorgeschalteten Konturpunktprozessor weitere  
Informationen, darunter der lokale Kontrast cont, als auch  
eine Richtungsinformation DIR bereitstehen, kann die  
Entscheidung deutlich verbessert werden, indem der  
25 Schwellwert für die Verbindungsentscheidung  $P$  als Funktion  
dieser Parameter ausgeprägt und als Tabelle und/oder ALU  
gemäß der nachstehenden Funktion ausgeführt wird:

$$P_{\text{conn}}[i,j] = f\left(\frac{\Delta x y_{\text{DIR}} - \Delta y x_{\text{DIR}}}{\Delta x^2 + \Delta y^2}\right) .$$

30

In der oben angegebenen Beziehung bezeichnen  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  die  
Komponenten der Vektordarstellung einer Verbindung und  $x_{\text{DIR}}$ ,

$y_{DIR}$ - die Komponenten der mittleren Punktrichtung. Das Argument der Funktion  $f$  wird dann maximal, wenn der Winkel  $\alpha$   $90^\circ$  beträgt.

5 Fig. 3 zeigt zur Verdeutlichung einen Bereich einer Kontur  
16, auf der Konturpunkte 26 liegen. Die Verbindungen 24  
zwischen nächst benachbarten Konturpunkten 26 sind als  
gestrichelte Linien eingezeichnet. Die mittleren  
Punktrichtungen 22 der Konturpunkte 26 sind als Pfeile  
10 dargestellt. Die mittleren Punktrichtungen können  
beispielsweise durch die an den Pfeilen angegebenen Ziffern  
charakterisiert werden. Bei dem in Fig. 3 gezeigten  
Beispiel weisen die Konturpunkte 26 drei der hier  
verwendeten acht möglichen Punktrichtungen, entsprechend  
15 den Ziffern 0 bis 7 auf. Wie anhand von Fig. 3 ersichtlich  
ist, ist der Winkel  $\alpha$  jeweils der zwischen der mittleren  
Punktrichtung 22 und der Verbindung 24 zwischen zwei  
Konturpunkten 26 eingeschlossene Winkel.

20 Wenn die so berechnete Wahrscheinlichkeit  $P_{conn}[i,j]$  größer  
als ein Schwellwert "Threshold" ist, wird eine Verbindung  
hergestellt.

In einer fortlaufenden Kontur hat jeder Zentralpunkt in der  
25 Regel nur einen Vorgänger und einen Nachfolger mit einem  
Abstandsmaß, das sich aus dem Pitch des verwendeten Rasters  
ergibt. Diese relativ enge Definition führt in Praxis  
jedoch dazu, dass Konturen aufreißen und als getrennte  
Objekte gespeichert werden und somit einen nicht  
30 unerheblichen Aufwand bei der nachfolgenden Verarbeitung  
erzeugen. Deshalb besteht die Aufgabe des SNNC u.a. auch  
darin, Konturpunkte zu verbinden, die ein Abstandsmaß  
ausweisen, das größer als der Bildpunkt Abstand des  
Abtastrasters ist.

Das optimale Maß ist abhängig von den konkreten Bedingungen, es hat sich jedoch erwiesen, dass ein Wert von 2 bis 2.5 des Pixelabstands eine erhebliche Verbesserung der Konturqualität ergibt. Der Preis hierfür ist allerdings ein Ansteigen der Anzahl der möglichen Kandidaten für eine Nachbarschaft, die in Echtzeit verarbeitet werden.

Der SNNC 7 hat nun die Aufgabe, innerhalb der Nachbarschaft NBD die topologisch relevanten Nachbarn zu ermitteln. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe nun dadurch gelöst, dass aus der Menge NBD Tripel bestehend aus dem Zentralpunkt  $P_i$  und einer beliebigen Kombination von zwei weiteren Punkten  $P_{j1}$  und  $P_{j2}$  aus NBD gebildet werden und dass die Verbindungswahrscheinlichkeiten,

$$p_{\text{triplet}} = \{p_{\text{conn}}[i, j1], p_{\text{conn}}[j1, j2], p_{\text{conn}}[i, j2]\}$$

berechnet werden. Das oben angegebene Tripel oder Triplet stellt also einen Vektor mit den Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen allen Verbindungen zwischen einem ausgewählten zentralen Konturpunkt und jeweils zwei benachbarten Punkten dar, wobei als benachbarte Punkte alle Punkte innerhalb eines höchstens 2 bis 2.5-fachen Pixelabstands in Betracht kommen.

Wenn festgestellt wird, dass die Verbindungswahrscheinlichkeit  $p_{\text{conn}}[j1, j2]$  oberhalb einer vorgegebenen Schwelle "Threshold" liegt, dann wird das Tripel analysiert und die Verbindung mit der kleinsten Wahrscheinlichkeit gestrichen. Die Hardwarerealisierung sieht außerdem eine effiziente Sortiermaschine vor, die zunächst Dreiecke ermittelt. Wegen der Testbedingung sind jedoch nur die Dreiecke mit den jeweils kürzesten Abständen

auf dem äußeren Polygon, beziehungsweise die nächsten Nachbarn der Konturpunkte relevant. Deshalb können durch Anwendung von Ordnungsprinzipien Operationen gespart werden.

5

Fig. 4 zeigt ein Schema, wie mittels einer geeigneten Sortiereinrichtung Listendaten von zu einem ausgewählten zentralen Konturpunkt benachbarten Konturpunkten ausgelesen werden. Der momentan ausgewählte zentrale Konturpunkt ist mit "CP" bezeichnet. Die Konturpunkte sind mit Subpixelgenauigkeit abgelegt, es existiert pro Bildpunkt maximal ein Eintrag. Deshalb können die oben beschriebenen Dreiecke durch kontinuierliche Abtastung der Nachbarpunkte, beispielsweise im Uhrzeigersinn erzeugt werden. Die Zahlen 1 bis 24 geben die Reihenfolge des Auslesens von Konturpunkten innerhalb einer 5x5 Umgebung mit Listendaten wider. Die Konturpunkte, beziehungsweise deren Listendaten werden also in der Reihenfolge aus dem Bildbereich einer Umgebung mit maximal 2 Pixeln Abstand zum Zentralpunkt ausgelesen, wie sie durch die Zahlen, die in den Pixeln angegeben sind und Listendaten von Konturpunkten werden entsprechend dieser Reihenfolge ausgegeben. Demensprechend wird zunächst der mit "1" bezeichnete Pixel ausgelesen, dann der mit "2" bezeichnete Pixel, und so weiter, bis zum letzten Pixel "24" dieser Umgebung. Es werden also sukzessive ausschließlich benachbarte Punkte der Umgebung des Zentralpunkts ausgelesen.

Eine Ausgestaltung einer solchen Sortiereinrichtung 17 ist in Fig. 5 dargestellt. Zur Adressierung wird z.B. ein Schieberegister für die Indizes (Adressen) der Konturpunkte in einem DualportRAM verwendet. Immer dann, wenn für ein Pixel eine positive Entscheidung als Konturpunkt vergeben wird, erhält dieser Konturpunkt die nächstfolgende Adresse im DualportRAM, die wiederum als Index (Teil der Adresse )

35

in ein Schieberegister eingeschoben wird. Falls der  
nächstfolgende Bildpunkt kein Konturpunkt ist, wird eine  
Null im Schieberegister eingetragen. Dieses Schieberegister  
mit einer Länge von  $n \times m$  z.B.  $5 \times 24$  kann damit 120 Indizes  
5 speichern. Dadurch, dass Konturpunkte selten sind, genügen  
wenige Bit, z.B. 6-8 bit Wortbreite.

Ein Beispiel für eine Verteilung von Konturpunkten in der  
5 x 5-Umgebung eines zentralen Konturpunkts zeigt Fig. 6.  
10 Die Einträge mit der Bezeichnung "Index" zeigen an, daß der  
betreffende Pixel ein Konturpunkt ist. Eine lokale 5x5  
Umgebung wird in bekannter Weise durch Abgriffe an den  
entsprechenden Registern hergestellt. Diese Register werden  
nun über Eingänge 20 eines geeignet angeschlossenen  
15 Multiplexers 19 so ausgelesen, dass die in Fig. 4  
dargestellte Reihenfolge am Ausgang des Registers 23  
entsteht. Dieser Prozeß wird genau dann gestartet, wenn der  
Zentralpunkt CP ungleich null ist, d.h. wenn eine zu  
analysierende Nachbarschaft im Registersatz dargestellt  
20 wird und der Punkt CP ein Konturpunkt ist.

Immer dann, wenn der Ausgangswert des Multiplexers 19  
ungleich null ist, wird der Index in ein Ausgangsregister  
23 geschoben, das direkt Daten aus dem DualportRAM  
25 adressiert. Ob der Ausgangswert des Multiplexers 19  
ungleich null ist, wird mittels eines auf das  
Ausgangsregister 23 wirkenden Komparators 21 ermittelt.

Zur Entkopplung der Sortierprozesse vom kontinuierlich  
30 laufenden Konturdetektionsprozeß können weitere FIFO-Puffer  
oder Register, typisch für 8 bis 12 Konturpunkte in den  
Ausgangsdatenstrom eingefügt werden, die dann die zu einer  
Nachbarschaft gehörenden Konturpunkte auch mehrfach  
repetitierend auslesen können, so dass sämtliche für den  
35 Sortierprozeß benötigten Konturpunktkombinationen

bereitgestellt werden können. Es ist weiterhin grundsätzlich möglich, diesen Sortierprozeß durch Parallelisierung zu beschleunigen, beispielsweise indem zwei oder mehr Multiplexer parallel geschaltet werden.

5

Die im Beispiel der Fig. 6 dargestellte Belegung mit Indizes entspricht den Umgebungen des nachfolgend anhand der Fig. 7, 8, 9A bis 9C beschriebenen Berechnungsbeispiels zur Berechnung von Konnektoren zwischen zu einer gemeinsamen Kontur gehörenden Konturpunkten.

10

In Fig. 7 ist zunächst die Lage eines zentralen Konturpunkt 25 und benachbarter Konturpunkte 26 mit möglichen Verbindungen 27 einer Kontur im Subpixel-Raster dargestellt. An den Achsen des Diagramms sind dabei die Indizes der Bildpunkte aufgetragen. Fig. 8 zeigt die gleichen Punkte im Originalraster der Bilddaten. Anhand der Fig. 8 wird deutlich, daß sich die relevanten, gemeinsam mit dem Zentralpunkt zu einer Kontur gehörenden benachbarten Konturpunkte im Originalraster deutlich schlechter erkennen und Graphen bilden lassen.

15

20

Im Beispiel wurden die Konnektoren mit einer Subpixelgenauigkeit von 1/4 Pixel berechnet. Dieses Beispiel wird aus Gründen der Einfachheit mit Abständen als Maß für die reziproke Verbindungswahrscheinlichkeit veranschaulicht. In der linken Tabelle (Fig. 9A) sind die Subpixelkoordinaten (Spalten X, Y) der im oberen Teil gezeigten Konturpunktanordnung dargestellt. Die Tabelle beginnt mit dem Zentralpunkt CP. In der mit "Field" bezeichneten Spalte sind die Subpixel-Koordinaten der Konturpunkte eingetragen, wie sie sich aus der Abtastung gemäß Fig. 4 für die in Fig. 6 gezeigte Umgebung ergeben. Im DualPort RAM wird im Beispiel also folgende Konturpunktfolgenfolge adressiert: CP, 7, 9, 13, 18, 19,

25

30

35

22, 24, 7. Zusätzlich eingezeichnet sind die Hauptrichtung 29 aller Konturpunkte der Umgebung des Zentralpunkts, sowie die Punktrichtungen 30.

5 Aus den Subpixelkoordinaten werden die relativen Abstände [X<sub>rel</sub>, Y<sub>rel</sub>] zum Zentralpunkt berechnet, wie sie in der Tabellen der Fig. 9B aufgelistet sind. Daraus wird wiederum der Abstand  $\rho$  zum Zentralpunkt. Die Pixel mit den Indizes 7, 9, 13, 18, 19, 22, 24, 7 bilden ein Polygon, in dessen  
10 Mitte der Zentralpunkt CP steht. Die Seiten des Polygons [X<sub>Poly</sub>, Y<sub>Poly</sub>] bilden mit den Verbindungen zum Zentralpunkt Dreiecke, so z.B. das Dreieck <CP, "Field" 7, "Field" 9>. In diesem Dreieck ist die längste Seite 8,602 Subpixel lang und damit länger als die beiden anderen  
15 Seiten mit Längen 5,385 und 3,606, so daß diese längste Seite die niedrigste Verbindungswahrscheinlichkeit zwischen den drei Konturpunkten repräsentiert. Damit wird die längste Seite aus der Liste der zu verbindenden Konturpunkte gestrichen. Diese Operation wird für sämtliche  
20 Dreiecke ausgeführt. Dabei werden zwei weitere, also insgesamt drei Punkte gestrichen. Von diesem Aussortierprozeß sind speziell die Konturpunkte mit den Indizes 9, 18 und 24 betroffen. Es verbleiben vier nicht aussortierte Konnektoren, wobei ein Konnektor Anfang und  
25 Ende des Polygons verbindet. Die verbleibenden Konturpunkte sind in der Tabelle der Fig. 9C aufgelistet. Der Aussortier-Vorgang wird für die verbleibenden Konnektoren oder Konturpunkte nun wiederholt. Beim wiederholten Aussortieren entfällt außerdem noch der Konturpunkt mit dem  
30 Index 12, beziehungsweise der erste in der Tabelle der Fig. 9C aufgelistete Konturpunkt.

Dieser Konnektor ist am Ende der Analyse zu untersuchen, hierbei entfällt ein weiterer Konnektor. Es verbleiben dann

die drei Konnektoren 28 in Fig. 7, die in den Listendaten gespeichert werden. Demgemäß ergibt sich als Ergebnis der Berechnung in diesem Beispiel, daß die Konnektoren vom Zentralpunkt als Konturpunkt zu den drei weiteren  
5 übriggebliebenen Punkten die eine oder mehreren Konturen repräsentieren, zu denen der Zentralpunkt gehört. Der SNNC 7 verfügt demgemäß nach Durchlaufen dieses oben anhand der Fig. 7, 9A bis 9C beschriebenen Filters, beziehungsweise Aussortier-Vorgangs über die Information, welche  
10 Konturpunkte aus der Konturpunktliste mit dem Zentralpunkt verbunden sind.

Bei dem in den Fig. 7, 9A bis 9C gezeigten Beispiel wurde das Verfahren des Aussortierens anhand eines sehr einfachen  
15 Klassifikators für die Verbindungswahrscheinlichkeit, nämlich ein Klassifikator, der lediglich vom Abstand der Konturpunkte zueinander abhängt, beschrieben. Die Erkennung der relevanten Verbindungen zwischen Konturpunkten kann aber noch wesentlich verbessert werden, wenn für die  
20 Berechnung der Klassifikatoren zusätzliche Attribute der Konturpunkte eingesetzt werden. Insbesondere ist hier daran gedacht, die Richtung und/oder den Kontrast der Konturpunkte zu verwenden. Die Richtung kann beispielsweise ein Richtungsvektor sein, welcher senkrecht zur Kante in  
25 den Bilddaten, dessen Kontur zu bestimmen ist, liegt. Vereinfacht kann dabei auch eine Richtungsinformation mit einer reduzierten Anzahl möglicher Richtungen, beispielsweise 8 mögliche Richtungen als Attribut vom Konturpunktprozessor 5 ermittelt und abgespeichert werden.  
30 Die Richtung eines Konnektors ergibt sich dann aus dem Verbindungsvektor zwischen dem Zentralpunkt  $i$  und einem der äußeren Punkte  $j$  der Nachbarschaft. Anhand dieser beiden Richtungsangaben kann dann der Winkel  $\alpha$  zwischen der abgespeicherten mittleren

Punktrichtung und dem Konnektor ermittelt werden. Als Klassifikator für die Verbindungswahrscheinlichkeit kann dann beispielsweise eine Funktion des Winkels  $\alpha$ , z.B. dessen sinus oder cosinus, und des Abstands der Punkte angesetzt werden.

Die Verbindungswahrscheinlichkeit kann ferner mit einem Kontrastmaß verknüpft werden, um kontrastreiche Konturen gegenüber kontrastarmen zu bevorzugen, indem z.B. eine Multiplikation mit dem Betrag des mittleren Punktkontrasts des Verbindungselements zur Klassifikation der Verbindungswahrscheinlichkeit verwendet wird. Dies ist besonders bei insgesamt kontrastarmen Szenen oder dünnen Linien von Vorteil.

Fig. 10 zeigt ein Schaltbild eines SNNC 7 zur Ermittlung von Konnektoren. Anhand dieser Figur kann die Funktionsweise des SNNC 7 näher erläutert werden. Durch die Sortiereinrichtung können die Konturpunkte in der benötigten Reihenfolge adressiert werden. Am Dateneingang 71 des SNNC liegt die Information über die Koordinaten, einen Kontrast sowie die Punktrichtung  $[x,y,cont,DIR]$  vor, die Daten werden in Register 72, 73, 74 mit 32 bit Wortbreite eingelesen.

Eine weiter unten noch genauer beschriebene Recheneinheit 75, die im folgenden als "Calc Pconn" bezeichnet wird, berechnet nun die Verbindungswahrscheinlichkeit zwischen den drei Konturpunkten eines Dreiecks. Hierzu wird ein Zentralpunkt durch Adressdecodierung ausgewählt. Bei dem in Fig. 10 gezeigten Beispiel sind die Daten des Zentralpunkts in das Register 74 geladen. Neu einlaufende Konturpunkte werden in die beiden Register 72 und 73 eingelesen. Die drei möglichen Kombinationen der

Verbindungswahrscheinlichkeiten werden mittels der Komparatoren 761, 762, 763 und des nachgeschalteten Decoders 77 analysiert. Wenn die geringste Verbindungswahrscheinlichkeit zwischen dem Zentralpunkt und einem der beiden Punkte auf dem Polygon liegt, beziehungsweise keine Verbindung zum Zentralpunkt ist, so wird die betreffende Verbindung gelöscht, indem je nachdem, von welchem der beiden zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkten entweder das Bit EN\_CLK\_RG1 oder das Bit EN\_CLK\_RG2 an den Ausgängen 78, beziehungsweise 79 gesetzt wird. Die Indizes der betrachteten drei Punkte werden parallel zu den Daten gespeichert. Der Index des nicht gelöschten Punktes wird in ein Schieberegister übertragen, hierzu wird die Indicedifferenz zum Zentralpunkt berechnet und mit dem nächstfolgenden Takt gespeichert.

Die Recheneinheiten Calc Pconn 751, 752, 753 erhalten die Folge der mit dem Registerausgang 23 Fig. 5 adressierten Konturpunkte mit ihren Attributen und berechnen die Verbindungswahrscheinlichkeiten und vergleichen diese untereinander in Verbindung mit den Komparatoren 761, 762, 763 und entscheiden im Decoder 77 für jedes analysierte Tripel die zu streichenden Verbindungen. Am Ausgang werden die Signale EN\_CLK\_RG1 und EN\_CLK\_RG2 für die Konturpunkte P1 und P2 geliefert, die das Streichen von Verbindungen steuern. Anschließend werden weitere Tripel analysiert. Nach einer ausreichenden Zahl von verarbeiteten Tripeln verbleiben nicht markierte Verbindungen, die als Ergebnis Konnektoren, welche die Indizes benachbarter Konturpunkte und die Verbindungswahrscheinlichkeit des Konturpunkts  $i$  mit dem Zentralpunkt CP sowie mit dem nächstfolgenden Nachbarn  $i+1$  enthalten.

Bei der Berechnung der Verbindungswahrscheinlichkeiten kann es allerdings zu Mehrdeutigkeiten kommen, die durch

gleichschenklige bzw. gleichseitige Dreiecke zum Ausdruck kommen. Um Morphologiestörungen ohne komplizierte Logik zu vermeiden (z.B. kleine Dreiecke in den Konturen) kann vorteilhaft eine Recheneinrichtung zum Aufprägen einer  
5 Modulation auf die Komparatoren des Klassifikators, beispielsweise einer Modulation in Form eines pseudostochastischen geometrischen Rauschens addiert werden, das den Eindruck eines nicht ganz regulären Rasters erzeugt. Hierzu addiert man über eine Tabelle einen  
10 marginalen Rauschanteil, z.B. mit 10% des Pixelabstands zur Koordinatendifferenz für die relativen Abstände  $\Delta x$  und/oder  $\Delta y$  zum Zentralpunkt.

Fig. 11 zeigt eine weitere Anordnung von benachbarten  
15 Konturpunkten im Subpixel-Raster, welche von Bilddaten einer anderen Stelle des Digitalbilds gewonnen wurden. Bei diesem Beispiel wurden im Unterschied zu der in Fig. 7 gezeigten Umgebung nur zwei relevante Konnektoren 28 durch Aussortieren aus den möglichen Verbindungen 27 ermittelt.

20 Fig. 12 zeigt eine Darstellung mit Konturpunkten und durch Aussortieren ermittelten Verbindungen, die einen größeren Bildausschnitt repräsentiert. Zur Übersichtlichkeit sind nur die Verbindungen 28 dargestellt. Wie anhand dieser  
25 Figur ersichtlich wird, ergeben die aneinandergereihten Konnektoren 28 den Verlauf von Konturen im Digitalbild. In Fig. 12 sind zwei Ausschnitte 31, 32 mit Kreisen markiert. Der Ausschnitt 31 kennzeichnet die drei aus der in Fig. 7 gezeigten Umgebung ermittelten Konnektoren 28 mit einer vom  
30 Zentralpunkt ausgehenden Verzweigung. Der Ausschnitt 32 kennzeichnet die Konnektoren 28 der in Fig. 11 gezeigten Umgebung. Der gestrichelte Kreis zeigt den Bereich mit der Umgebung aller in Fig. 7 eingezeichneten Konturpunkte an. Anhand von Fig. 12 wird dabei deutlich, daß der in Fig.

11 gezeigte Fall einer durchlaufenden Kontur häufiger ist,  
als das Auftreten einer Verzweigung.

Anhand von Fig. 12 wird außerdem deutlich, daß dieses  
5 einfache Verfahren des Aussortierens zu einer Erkennung von  
Konturlinien mit nur wenigen Artefakten führt. Ansonsten  
würde man beispielsweise zusätzlich noch kurze Linien  
erwarten, die isoliert sind oder von den Konturlinien  
ausgehen. Im in Fig. 12 gezeigten Bild ist lediglich eine  
10 solche kurze Linie 33 zu erkennen.

Fig. 13 zeigt die Datenstruktur der vom SNNC 7 für die  
Weiterverarbeitung vorzugsweise in einem weiteren DualPort-  
RAM gespeicherten Daten mit Konnektoren, beziehungsweise  
15 Informationen über die Verbindungen des jeweiligen Punkts zu  
weiteren Konturpunkten. Die Information über die  
Verbindungen mit Nachbarpunkten wird im folgenden auch als  
"LinkInfo" bezeichnet.

20 Der Index des Zentralpunkts  $i$  bildet die Adresse unter der  
die LinkInfo in einem DualPort RAM gespeichert wird (siehe  
weiter unten). Jeder erlaubte Konturpunkt ( $EN=1$ ) liefert  
einen weiteren Index  $j$  (Pointer), die Differenz

25  $LINK[n] = j_n - i$

wird als LINK bezeichnet. Unter Kenntnis der LINKs können  
von einem Zentralpunkt aus sämtliche Nachbarn in der  
Konturpunktliste adressiert werden. Aufgrund der Struktur  
30 des SNNC können maximal 4 LINKs pro Zentralpunkt entstehen,  
fünf und mehr Nachbarn werden in mehrere Nachbarschaften  
aufgelöst. Die Maske MASK gibt an, ob der betreffende LINK  
gesetzt ist oder nicht. Parallel dazu wurden im gleichen  
Speicher die Attribute durch den Konturpunktprozessor

gespeichert, so dass die Koordinaten sowie Grauwert und bei Bedarf Farbinformationen bereit stehen.

5 Nachfolgend wird der in Fig. 1 schematisch dargestellte morphologische Filter 11 genauer beschrieben.

Die so eindeutig verbundenen Konturpunkte können noch nicht als Objekte ausgelesen werden, weil zwei Voraussetzungen fehlen. Erstens sind Anfangs- und Endpunkte der Konturen  
10 noch nicht definiert, zweitens existieren noch eine Vielzahl von Artefakten, die Ressourcen für die Objektsegmentierung unnötig belasten würden. Deshalb wird die Morphologie von benachbarten Punkten mittels des morphologischen Filters 11 untersucht, bevor die Punkte  
15 anhand der Konnektoren zu Objekten vereinigt werden. Der morphologische Filter 11 ist nun dazu eingerichtet, die Konturpunktliste mit Konnektoren hinsichtlich zumindest einer der Eigenschaften zu filtern:

- 20 -Konturpunkte zu Ketten von höchstens drei Konturpunkten werden gelöscht,
- Konturpunkte, welche nur zu einer einseitig mit einer längeren Kette verbundenen Kette mit höchstens drei Konturpunkten gehören, werden gelöscht,
- Konturpunkte, welche Start- und Endpunkte von Ketten  
25 zusammengehörender Konturpunkte bilden, werden in der Konturpunktliste gekennzeichnet,
- Konturpunkte, welche Verzweigungspunkte zumindest zweier Ketten bilden, werden in der Konturpunktliste gekennzeichnet,
- 30 -Koinzidenzen werden korrigiert, und
- es wird eine doppelte Verlinkung durchgeführt.

Zur Ausführung dieser Funktionen wird zunächst eine im Filter 11 implementierte, nachfolgend als "RankFilter"  
35 bezeichnete Funktion eingesetzt. Mittels dieser Funktion

werden Rangvektoren für Konturpunkte gebildet. Dazu wird die Konturpunktliste der in Fig. 13 gezeigten Datenstruktur mit Konnektorstruktur ausgelesen und jeweils ausgehend von einem Zentralpunkt über die Konnektoren die

5 Konnektorstruktur sämtlicher Nachbarpunkte eingelesen und einen Rangvektor erzeugt, der die Anzahl der Verzweigungen der Nachbarpunkte und des Zentralpunkts selbst beinhaltet. Der RankFilter bestimmt also die Anzahl der von einem Konturpunkt ausgehenden Verbindungen, hier durch Bildung

10 der Summe der gesetzten Bits der Maske MASK. Eine vierfache Verzweigung hätte damit den Rang 4, MASK=1111B, ein Kettenelement, wie etwa der in Fig. 11 gezeigte Zentralpunkt Rang 2 und in der Regel MASK=0011B.

15 Das RankFilter adressiert die benachbarten über MASK zugelassenen LINKs und bestimmt damit für jeden Konturpunkt der Nachbarschaft den Rang. Aus den so ermittelten Rängen wird ein Rangvektor gebildet, der die Strukturinformation über die Anzahl der Verzweigungen der Nachbarpunkte

20 enthält.

Da die Verkettung der Punkte aus allen Richtungen aufgerufen werden kann, ist eine doppelte Verlinkung mit einer Markierung für bereits gelesene Punkte sinnvoll.

25 Deshalb wird eine Linkadresse LinkAdr generiert, die angibt, auf welcher der vier möglichen Positionen des adressierten Nachbarpunkts der inverse Link auf den Ausgangspunkt gespeichert ist. Die LinkAdr wird nach Ausführung der morphologischen Filterung gespeichert.

30 Da die sequentielle Abfolge eines Links auf einen Nachbarpunkt und des inversen Links auf den Zentralpunkt zurück immer die Pointerdifferenz Null ergibt, kann relativ einfach über Komparatoren diese Adresse gefunden werden. Im

35 Ergebnis erhält man eine Struktur, die es mit nur einem

Zugriff gestattet, den Index des benachbarten, verbundenen Konturpunkts zu finden und verkettete Konturpunkte mit hoher Geschwindigkeit auszulesen.

5 Eine besonders vorteilhafte Realisierung eines Rangfilters 35, vorzugsweise als Bestandteil des morphologischen Filters 11 ist in Fig. 14 dargestellt. Vom Rangfilter 35 wird aus der Datenstruktur 37 aus dem DualportRAM 9, wie sie auch in Fig. 13 gezeigt ist, zunächst die LinkInfo des  
10 Zentralpunkts mit der Adresse Ptr[0] im DualportRAM in das Eingangsregister des Rangfilters gelesen. Anschließend werden die LINKs 1-4 über einen Multiplexer 39 adressiert, die Adressen Ptr[1..4] durch Addition berechnet und der Reihe nach aufgerufen. Nicht benötigte LINKs,  
15 gekennzeichnet durch eine Null auf dem zugeordneten Bit der Maske MASK können übersprungen werden. Zu den relativ abgespeicherten LINKs wird die Pointeradresse des Zentralpunkts mittels des Addierers 45 addiert, anschließend kann direkt die Liste adressiert werden. Auf  
20 diese Weise werden die LinkInfos eingelesen. Die angeschlossenen Komparatoren 40, 41, 42, 43 des morphologischen Filters 11, beziehungsweise des implementierten Rangfilters 35 vergleichen die LINKs des mit Ptr[i] adressierten Konturpunkts mit dem LINK[i] des  
25 Zentralpunkts. Vier (3) Komparatoren vergleichen die betreffenden LINK' s. Wenn eines der Paare komplementär zueinander ist, generiert der betreffende Komparator 40, 41, 42, 43 ein Signal CMP\_LINK[1..4], so dass hieraus mittels des Decoders 44 die LinkAdr decodiert werden kann.  
30  
Im gleichen Prozeß kann auch der Rang RANK[1..4] ermittelt und zu einem Rangvektor <RANK[1], RANK[2], RANK[3], RANK[4]> zusammengestellt werden, indem die Maskenbits mittels des Addierers 46 addiert werden. Der Rangvektor  
35 wird innerhalb des morphologischen Filter zu einer binären

Entscheidung über die weitere Zulassung einer bisher als gültig erklärten Verbindung verarbeitet und im der Struktur MASK gespeichert.

5 Außerdem werden mit dem morphologischen Filter Störungen in den wie oben beschrieben verbundenen Konturen beseitigt, die insbesondere bei hoher Auflösung und/oder Empfindlichkeit zu einer Reihe von kleinen Artefakten führen, die aufgrund ihrer Anordnung zu Objekten  
10 segmentiert würden. Dies ist für die Effizienz der nachfolgenden Verarbeitungsschritte nachteilig. Mit dem morphologischen Filter werden daher bereits vor der Objektsegmentierung kleinere Störungen beseitigt.

15 Nachfolgend soll die Arbeitsweise einer Funktion des morphologischen Filters 11 beschrieben werden. Diese Funktion wird im folgenden als "MorphFilter" bezeichnet. Nachdem Rang und LinkAdr berechnet wurden, kann ein einfaches Filter realisiert werden. Hierzu werden zunächst  
20 störende kleine Strukturen, "Appendices" mit 1 bis 2 Konturpunkten gelöscht. Ein solcher Appendix ist beispielsweise die kurze Linie 33 in Fig. 12. Man erkennt derartige Strukturen an der Anzahl der Verzweigungen ihrer Nachbarn (in Klammern), z.B. an folgendem Rangvektor:  
25  $\langle 1, 3, 0, 0 \rangle$ . Der Konturpunkt mit diesem Rangvektor ist mit der Hauptkontur über einen singulären Punkt vom Rang 3 verbunden. Der Punkt soll gelöscht, die Singularität der Hauptkontur, beziehungsweise die Verzweigungsstelle auf den Rang 2 zurückgestellt werden. Die Operation kann mit  
30 folgendem Maple-Programmcode veranschaulicht werden:

```
if RankVector=[1,3,0,0] then
MASK[Ptr[1],LinkAdr[Ptr[0],1]]:=0: MASK[Ptr[0],1]:=0:
MASK[Ptr[0],2]:=0: end:
```

Der Zentralpunkt hat den Rang 1 und steht im RankVector an erster Stelle. LINK[1] des Zentralpunkts verweist auf einen Konturpunkt mit dem Rang 3. Die LinkAdr[Ptr[0],1] gibt in diesem Fall an, wo auf dem Konturpunkt mit dem Rang 3 der inverse LINK auf den Zentralpunkts zu finden ist. Ptr[1] adressiert den Konturpunkt mit dem Rang 3, also löscht die Operation

10 MASK[Ptr[1],LinkAdr[Ptr[0],1]]:=0:

den LINK auf den einzelnen Konturpunkt, der Rang wird von 3 auf 2 reduziert. Deshalb verhält sich der singulärer Punkt anschließend wie ein normaler Bestandteil einer verketteten Liste, d.h. es tritt keine Verzweigung auf. Für die nachfolgende Verarbeitung werden zwei Objekte weniger generiert, die Vereinigung von zwei gültigen längeren Objekten zu einem Objekt entfällt.

20 Ein weiteres Beispiel ist ein Konturpunkt mit einem Rangvektor  $\langle 2,3,1,0 \rangle$ . Dieser ist ein Appendix mit zwei Konturpunkten. Die beiden Konturpunkte sind mit der Hauptkontur über eine Verbindung vom Rang 2 und einen singulären Punkt, beziehungsweise einer Verzweigung des Rangs 3 verbunden. Ein solcher Appendix kann mit einem Filter gelöscht werden, der eine zum nachstehenden Maple-Code analoge Funktion ausführt.

```

30 if RankVector=[2,3,1,0] then
    if LinkAdr[Ptr[2],1]=1 then L:=2
    else L:=1: end:
    MASK[Ptr[1],LinkAdr[Ptr[0],L]]:=0:MASK[Ptr[0],1]:=0:
    MASK[Ptr[0],2]:=0:MASK[Ptr[2],1]:=0:
    end:

```

35

Der Randpunkt mit dem Rang 1 steht auf LINK[2],  
LinkAdr[Ptr[2],1] zeigt auf den inversen LINK auf Ptr[0] (  
dies ist vom Rand gesehen der nächste Punkt). Da Ptr[0]  
den Rang 2 hat, muß der andere LINK (L) auf den singulären  
5 Punkt Ptr[1] der Hauptkontur mit dem Rang 3 zeigen.

Folglich löscht die Funktion

MASK[Ptr[1],LinkAdr[Ptr[0],L]]:=0: den LINK von Ptr[1] auf  
Ptr[0] und reduziert den Rang von 3 auf 2, die Verbindung  
ist gelöscht.

10

Analog kann auch die Vertauschung <2,1,3,0> gefiltert  
werden.

Die Funktion "MorphFilter" kann durch Analyse des  
15 Rangvektors noch weitere für die Segmentierung wichtige  
Informationen liefern:

- Klassifikation von Start- und Endpunkten von Chains
- Klassifikation von verbundenen singulären Punkten,
- Klassifikation von singulären Punkten des Rangs 3 und  
20 höher.

Hierzu wird der Rangvektor über eine Tabelle oder Boolesche  
Logik auf die Zielfunktion abgebildet. In der LinkInfo der  
Konturpunktliste wird dies durch Setzen entsprechender Bits  
25 markiert. Besonders vorteilhaft hat sich hierbei die in  
Fig. 15 dargestellte Datenstruktur für Konnektoren nach der  
Filterung durch MorphFilter erwiesen. Für Konturpunkte vom  
Rang 2 werden maximal 3 LINKs benötigt, da das Abtrennen  
von Appendizes nur für Punkte vom Rang 3 zugelassen ist.

30

Die gegenüber der in Fig. 13 enthaltenen zusätzlichen Bits  
bedeuten:

- C: continue (1 Bit zur Segmentierung),
- S : Start/Endpunkt (1 Bit),

MASK1: entspricht den Bits 0 bis 2 von MASK,  
LinkAdr: entspricht der oben beschriebenen LinkAdr[0 - 2],  
die vierte wird nicht benötigt

5 Beim späteren Lesen der Information wird durch Dekodierung  
des Rangs von MASK (Rang gleich 2) das in Fig. 15 gezeigte  
Format erkannt.

Singuläre Punkte mit einem Rang größer gleich 3 können mit  
10 der in Fig. 16 dargestellten Datenstruktur codiert werden.  
Hierbei bezeichnet der Eintrag CONN33 eine Konnektormatrix  
für die Verbindung von singulären Punkten des Rangs 3 oder  
4. Beim späteren Lesen der Information wird durch  
Dekodierung des Rangs von MASK (Rang größer 2) das in Fig.  
15 16 dargestellte Format erkannt.

Die zusätzlichen Information werden zum Zeitpunkt der  
Segmentierung verwendet. Deshalb speichert MorphFilter die  
Struktur in einem RAM ab.

20

Die so vorbereiteten Informationen der Konturpunktliste  
können direkt aus dem Speicher in geordneter Reihenfolge  
als geordnete Reihe von Konturpunkten, die nachfolgend auch  
als "Chain" bezeichnet wird, ausgelesen werden, so daß  
25 aufeinanderfolgende Listeneinträge zu aufeinanderfolgenden  
Konturpunkten entlang einer Kontur gehören.

Die Chains werden dabei mithilfe einer nachfolgend als  
GetNextCP bezeichneten Struktur ermittelt. GetNextCP liest  
30 die LinkInfo des Zentralpunkts in einem zum MorphFilter  
verzögerten Prozeß. Die Verzögerung beträgt typisch 8  
Spalten, kann aber bei größeren Speichern auch größer  
gewählt werden. ChainReadOut scannt die einlaufenden  
Konturpunkte auf Start- und Endpunkte. Diese weisen bei der

in Fig. 15 gezeigten Datenstruktur die Merkmale  
Rang(MASK)=2 und S=1 auf.

Wenn ein solcher Punkt entdeckt wurde, wird die LinkInfo  
5 der beiden Nachbarkpunkte ausgewertet, es wird nach dem  
singulären Punkt gesucht (Rang 1 oder 3,4). Wenn nur ein  
Nachbar mit S=1 gefunden wird, dann wird dieser als  
Startpunkt erklärt. Er bildet den ersten Vertreter einer  
Chain. Ferner wird der Link auf den nächsten Punkt  
10 generiert. Sämtliche Elemente der Chain erhalten eine neue  
Segmentnummer, die auch an sämtliche weitere Vertreter der  
verbundenen Punktmenge vererbt wird. Falls zwei singuläre  
Punkte benachbart sind, wird der erste gefundene verwendet,  
der Rest ergibt sich automatisch. Falls das "Continue" -  
15 Bit gesetzt wurde, wird der Aufbau von Chains fortgesetzt.

GetNextCP ermittelt zunächst anhand von MASK die  
Zutändigkeit, die nach einer in einem Decoder hinterlegten  
Tabelle definiert ist. Die Tabelle liefert die Anzahl der  
20 Nachbarn sowie die Positionen, auf die zugegriffen werden  
kann. Aus der LinkInfo in der Konturpunktliste werden die  
Pointer auf die Nachbarn und die Adressen der beiden LINKs  
berechnet.

25 Ein möglicher Aufbau der GetNextCP-Struktur 50 ist in Fig.  
17 dargestellt. Die Datenstruktur 51 mit den Einträgen  
MASK, C, MASK1, S und LinkAdr, entsprechend der genauer in  
Fig. 15 dargestellten Datenstruktur, steuert die Verlinkung  
zu Chains. Im Decoder 52 ist die oben genannte Tabelle  
30 hinterlegt.

Wenn ein Startpunkt (S=1) adressiert wurde, so hat dieser  
den Rang 2 und somit zwei Nachbarn. In diesem Fall wählt  
der Decoder 52 beide mögliche Links aus, decodiert den Link  
35 mit einem nicht dem Rang 2 entsprechenden Nachbarn und

setzt den Startpunkt eines Chains auf diesen Konturpunkt, indem der Wert PTR\_Start generiert wird. Der andere Link wird über den Multiplexer 53 und den Addierer 54 als neuer Pointer PTR\_new weitergegeben.

5

Wenn  $S=0$  gefunden wird, d.h. wenn der Konturpunkt kein Start- oder Endpunkt ist, wird nur ein Link ausgewählt. Die Auswahl wird über die Maskenbits MASK1 gesteuert. Indem ein neuer Pointer PTR\_new generiert wird, wird automatisch das zugehörige Maskenbit rückgesetzt, sodaß eine wiederholte Adressierung desselben Konturpunkts ausgeschlossen wird. Verlinkten Konturpunkten wird eine Segmentnummer zugewiesen. Da ab diesem Zustand keine LinkInfo mehr benötigt wird, kann hierzu der Low-Teil des Datenworts verwendet werden.

10

15

Während des Prozesses werden die Pointeradressen ständig überwacht. Wenn ein Signal out\_of\_range kommt, d.h. wenn der zulässige Index die vorgegebene untere oder obere Grenze verläßt, wird der Prozeß abgebrochen. Auf dem entsprechenden Konturpunkt wird das C-bit (continue) gesetzt und die Segmentnummer gespeichert. Wenn bei wiederholtem Auslesen der Pointer innerhalb des erlaubten Bereichs liegt, kann der Prozeß fortgesetzt werden.

20

25

Am Ausgang des Prozesses entsteht eine für jedes Segment geordnete Folge von Pointern. Da die entsprechenden Konturpunktattribute zu diesen Pointern korreliert gespeichert wurden, können die Attribute direkt ausgelesen werden.

30

Bei der Verarbeitung der Chains können außerdem folgende Ausnahmefälle auftreten:

1. beide Startpunkte eines Chains werden verarbeitet, so dass zwei verschieden indizierte Segmente aufeinander stoßen (Koinzidenz)

2. keiner der Startpunkte wird verarbeitet, weil entweder das Objekt keine hat (etwa bei einem Kreis oder einer geschlossenen Kontur) oder weil die Startpunkte weit vor der aktuellen Abtastposition liegen, so dass sie nicht erfasst werden können,

3. Die Kontur schneidet die Bildbegrenzung (Randpunkte).

10

Im ersten Fall treffen die Chains mit zwei verschiedenen Segmentnummern aufeinander, sie laufen jedoch nicht ineinander, weil die Maskenbits dies verhindern. Durch den Test, dass ein Abbruch bei einem Rang ungleich 2 entsteht, kann die Vorrichtung erkennen, dass es sich um eine sogenannte Koinzidenz handelt. Der betreffende Rang 2 des Koinzidenzpunkts wird wie ein singulärer Punkt behandelt, der Segmente miteinander verbindet, nur hier mit dem Unterschied, dass nur ein Objekt vorhanden ist.

20

Im zweiten Fall wird nach dem Auslesen der Chains ein weiterer Test durchgeführt, der bisher nicht verarbeitete Nachbarschaften des Typs  $\langle 2,2,2,x \rangle$  analysiert und dann einen Startpunkt generiert. Die weitere Verarbeitung erfolgt wie oben beschrieben.

25

Randpunkte, die zwischen aufeinanderfolgenden Streifen auftreten können, werden wie Koinzidenzpunkte mit Rang 2 behandelt und anschließend aufeinander referenziert.

30

Der Konturpunktprozessor liefert über einen ersten Port einen laufenden Datenstrom von attributierten Konturpunkten, im schlechtesten Fall sind bei sehr fein aufgelösten Grauwertbildern ca. 20 bis 25% der Pixel als Konturpunkte abgespeichert.

35

Nachfolgend soll eine Realisierung für einen üblicherweise kleinen DualPortRAM von  $1k \times 36$  bit beschrieben werden, welche auch eine solche Menge an Konturpunkten verarbeiten kann. Mit diesem DualPortRAM kann ein Bildauszug mit 512 Konturpunkten inklusive der Zusatzinformation und Attribute zwischengespeichert werden, dies entspricht im Beispiel einem minimalen Pixelblock der Größe  $70 \times 26$  Pixel. Der Konturpunktprozessor liest die Bilddaten in mehreren Streifen aus, die jeweils eine Breite von mehr als 1 Pixel, vorzugsweise zumindest 16 Pixel, besonders bevorzugt 26 oder 32 Pixel aufweisen. Beim nachfolgenden Beispiel werden Streifen von 26 Pixel Höhe mäanderförmig über die gesamte Bildbreite ausgelesen, anschließend folgt der nächste Streifen. Die Daten werden als Liste gespeichert, im Attribut werden die Koordinaten gehalten.

Der Konturpunktprozessor 5 beginnt mit dem Speichern der Konturpunkte. Nachdem 5 Spalten eingelaufen sind, kann der SNNC 7 beginnen zu arbeiten, der Konturpunktprozessor 5 läuft währenddessen weiter.

Die maximale Pointeradresse kann exakt berechnet werden. Hierzu wird bei jedem Spaltensprung der Adressindex gespeichert und um 5 Spalten verzögert ausgelesen, praktisch genügt auch ein konstanter Offset, z.B.  $-32$ , da der Speicher genügend groß ist. Der SNNC 7 liest aus dem DualPortRAM zunächst  $5 \times 5$  Nachbarschaften aus, und speichert Attribute der betreffenden Konturpunkte in einem Registersatz ab.

Der Prozeß MorphFilter des morphologischen Filters 11 benötigt fertig abgespeicherte und gefilterte Links, deshalb wird ein Sicherheitsabstand von 3 Spalten zur Verarbeitung der Daten durch den SNNC 7 eingehalten.

Der Segmentierungsprozeß hingegen benötigt einen noch größeren Abstand. Grund hierfür ist das rechenintensivere Konturfolgeverfahren. Um ein umständliches Zusammensetzen von Konturen zu vermeiden, sollte die Konturen auf einer  
5 möglichst großen Länge ungestört verfolgt werden können. Ein typischer Wert hierfür beträgt 8 Spalten. Immer dann wenn ein Startpunkt oder ein gesetztes Continue-bit aus einer vorangegangenen Operation gefunden wurde, wird die  
10 GetNextCP-Struktur 50 angestoßen.

Die Steuerung hierfür wird man zweckmäßig nicht über den DualPortRAM sondern eine getrennte einfache Schieberegisterstruktur realisieren, um Speicherbandbreite  
15 zu sparen.

Der SNNC ist nach der Verarbeitung von ca. 3 Spalten nachdem der Konturpunktprozessor 5 abgespeichert hat, mit seinem Prozeß fertig. Folglich steht die für MorphFilter  
20 benötigte Information ca. nach der Verarbeitung von 6 Spalten durch den Konturpunktprozessor 5 zur Verfügung.

Die so vorverarbeiteten Konturdaten können in den Hauptspeicher des IEBVS 1 zurückgeschrieben werden und  
25 anschließend vom Mikrocontroller formatiert und für die nachfolgenden verarbeitungsprozesse übernommen werden.

Im folgenden wird die weitere Filterung der Chains beschrieben, mit welcher Artefakte, die beispielsweise  
30 durch Rauschen in den Bilddaten entstehen können, erkannt und entsprechende Chains ausgefiltert werden.

Die Chains haben dazu die Form einer Folge geordneter Konturpunkte, die von einem Startpunkt ausgehend einen  
35 Endpunkt erreichen, wobei durch einen vorgeschalteten

Prozess Attribute zugewiesen sind. Neben dem Kontrast wird auch die Abtastrichtung als Attribut gespeichert.

Für die Bewertung der Relevanz eines Chains ist es sinnvoll, den Kontrastbelag zu berechnen. Als relevant werden Chains bewertet, wenn der Betrag des Kontrastbelages über einer gegebenen Schwelle liegt. Hierzu werden die Kontrastwerte der einzelnen Konturpunkte entsprechend ihrer Zählrichtung akkumuliert. Fig. 18 zeigt ein Chainsegment mit den Punkten P0 bis P8, deren Abtastrichtungen durch Pfeile gekennzeichnet sind.

Jedem Konturpunkt ist eine der vier in Fig. 19 dargestellten Abtastrichtungen Dir0, Dir1, Dir2, Dir3 zugeordnet. Entlang der jeweiligen Abtastrichtungen tritt lokal der maximale Kontrast auf. Die nachstehende Tabelle 1 listet die Konturpunkte und ihre Abtastrichtungen auf, die weiteren Spalten werden im folgenden erklärt.

Tabelle 1:

Konturpunkt	Richtung	$\Delta x$	$\Delta y$	Zählrichtung
P0, Start	0	>0	<0	-
P1	2	>0	>0	+
P2	1	>0	>0	+
P3	0	<0	>0	+
P4	0	>0	>0	+
P5	2	>0	<0	+
P6	3	>0	<0	+
P7	3	>0	<0	+
P8, Ende	0	>0	<0	-

In Tabelle 2 werden die Differenzwinkel zwischen den Abtastrichtungen Dir0 bis Dir3 der Konturpunkte und dem Richtungsvektor  $[\Delta x, \Delta y]$  des Chains ausgewertet.

Tabelle 2:

Richtung	Zählrichtung
0	$\Delta y > 0$ : positiv, sonst negativ
1	$\Delta x + \Delta y > 0$ : positiv, sonst negativ
2	$\Delta x > 0$ : positiv, sonst negativ
3	$\Delta x - \Delta y > 0$ : positiv, sonst negativ

Für das hier verwendete Koordinatensystem mit dem  
 Koordinatenursprung links oben, wie in Fig. 18 dargestellt,  
 5 ergeben sich die Abtastrichtungen Dir0 bis Dir3 als:

Dir0 = [ 1, 0],  
 Dir1 = [ 1, -1],  
 Dir2 = [ 0, -1],  
 10 Dir3 = [-1, -1].

Die Spalte „Zählrichtung“ in Tabelle 2 beschreibt die zu  
 erfüllende Bedingung für eine positive Zählrichtung des  
 Kontrastbeitrages des aktuellen Konturpunktes. Bei der  
 15 Formatierung der Chains wird der Kontrastbelag durch  
 Hardware akkumuliert, indem zunächst das Vorzeichen aus der  
 Richtung Dir und dem Vektor  $[\Delta x, \Delta y] = [P_{i+1} - P_i]$   
 berechnet wird. Man bestimmt für jeden Konturpunkt die  
 Vorzeichen von  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta x + \Delta y$  sowie  $\Delta x - \Delta y$  und verknüpft  
 20 diese mit den Bedingungen gemäß Tabelle 2. Für das  
 Chainsegment gemäß Fig. 18 sind in Tabelle 1  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  und die  
 ermittelte Zählrichtung eingetragen. Für den letzten Punkt  
 P8 ist der Richtungsvektor  $[\Delta x, \Delta y]$  nicht definiert,  
 deshalb wird der Richtungsvektor von P7 verwendet.

25

Fig. 20 zeigt die Hardwarerealisierung eines  
 Kontrastakkumulators 80 zur Bestimmung des Kontrastbelags

einer Kontur, beziehungsweise der zugehörigen Chain. Eine erste Stufe bestehend aus zwei Komparatoren 81, 82 und zwei Addern 83, 84 bestimmt die Vorzeichen der Terme  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta x + \Delta y$  sowie  $\Delta x - \Delta y$ . Eine kleiner lokaler Speicher 85 (LUT) oder eine äquivalente Logikschaltung

5 dekodiert das relevante Vorzeichen entsprechend der Richtung  $Dir_0, \dots, Dir_3$  des aktuellen Konturpunkts. Anschließend werden die Kontrastwerte  $Cont_i$  in einem Akkumulator 86 vorzeichenrichtig addiert, so dass am

10 Endpunkt der Kontur der Kontrastbelag  $\Sigma_{cont}$  als Summe der einzelnen Kontrastwerte vom Akkumulator 86 entnommen und als Attribut der Kontur gespeichert werden kann. Der Kontrastbelag  $\Sigma_{cont}$  stellt damit eine gute Näherung für das

Integral der Differenzen der von der Kontur aus gesehen

15 linken und rechten Grau- und/oder Farbwerte dar und beschreibt damit die Signifikanz eines Konturelements.

Die Kontrastbelegung wird anschließend in einem Chainfilter für die Filterung von Artefakten verwendet. In diesem

20 Filter wird außerdem der durch die Chainverarbeitung bereits bekannte Grad des Start- und Endpunkts, sowie die Anzahl der Konturpunkte auf einem Chain verwendet. Diese Merkmale werden als Chainattribute bezeichnet und

klassifiziert. Ein Klassifikator des Chainfilters hat die

25 Aufgabe, anhand der genannten Merkmale zu entscheiden, ob es sich bei dem aktuellen Chainsegment um eine sinnvolle Struktur handelt oder aber ein etwa auf Grund von Rauschen entstandenes Artefakt. Dieses, beziehungsweise die

zugehörige Chain wird anschließend gelöscht, um das

30 Datenvolumen in den weiteren Verarbeitungsschritten zu reduzieren.

Die Tabelle 3 listet Bedingungen eines einfachen Klassifikator, um rauschbehaftete Chains zu unterdrücken.

Alle Chainsegmente, die die hier aufgeführten Bedingungen erfüllen, werden als Störung klassifiziert und gelöscht.

Für die mit summarischer Kontrast bezeichneten

- 5 Kombinationen wird jeweils eine Funktion aus Länge und Kontrastbelag berechnet und dann so quantisiert, dass die jeweilige Chain in einem topologischen Filter weiter verarbeitet werden kann.

10 Tabelle 3:

Grad des Startpunktes	Grad des Endpunktes	Summarischer Kontrast (absoluter Betrag)	Länge in Pixeln	Kommentar
1	1		<10	alleinstehende Chains
1	>2		<10	kurze Fortsätze
>2	1		<10	kurze Fortsätze
beide Punkte identisch			<10	kleine Kreise
1	2	< 320		kontrastarme Chains
2	1	< 320		kontrastarme Chains
2	2	< 320		kontrastarme Chains
>2	>2	< 320		kontrastarme Chains

- 15 Mit der ersten Bedingung werden Chains aussortiert, bei welchen die Länge der Kontur kleiner als ein vorgegebener Wert, hier speziell kleiner als 10 Pixel ist, wobei sowohl der Start-, als auch der Endpunkt der Kontur den Grad 1 aufweisen. Demgemäß liegt hier eine sehr kurze, isolierte Kontur vor.

- 20 Bei den Bedingungen gemäß der zweiten und dritten Zeile werden ebenfalls kleine Konturen herausgefiltert, wobei hier ein Ende der Kontur mit einer weiteren Kontur

verbunden ist. Demgemäß handelt es sich hier um kurze  
Abzweige an anderen Konturen.

Sind Start- und Endpunkt der Chain identisch, so  
5 repräsentiert die Chain eine in sich geschlossene Kurve,  
wie etwa einen Kreis. Ist eine solche Kurve zu klein, wird  
sie gemäß der 4. Bedingung der Tabelle ausgefiltert, wobei  
im Speziellen wiederum Chains von Konturen mit einer  
Ausdehnung von höchstens 10 Pixeln gelöscht werden.

10

Die letzten vier Bedingungen betreffen Konturen, deren  
Konturpunkte eine Kontrastbelegung mit einem summierten  
absoluten Kontrastwert kleiner als 320 aufweisen. An diesem  
Beispiel zeigt sich, daß bei der Bewertung der Relevanz des  
15 Kontrastes vorteilhaft auch die Länge der Kontur mit  
einbezogen werden kann. Ist eine Kontur mit schwachem  
Kontrast vergleichsweise lang, so kann der akkumulierte  
Betrag des Kontrastes den Schwellwert dennoch überschreiten  
und die Kontur, beziehungsweise die zugeordnete Chain wird  
20 als relevant bewertet und nicht aussortiert.

Fig. 21 zeigt die Phasenlage und den Speicherbedarf der  
vorstehend beschriebenen Prozesse zur Bildverarbeitung bis  
zur Segmentierung der Bilddaten. Der Gesamtspeicher 60 ist  
25 aufgeteilt in einen Speicherbereich 61 für die Ermittlung  
von Konturpunkten, einen Speicherbereich 62, welcher vom  
SNNC 7 verwendet wird, einen Speicherbereich 63 für den  
morphologischen Filter 11 und einen deutlich größeren  
Speicherbereich 64 für die Segmentierung. Dem SNNC 7 als  
30 Hardwareeinheit zur Ermittlung von zu einer Kontur  
gehörenden Verbindungen zwischen Konturpunkten ist dabei  
ein Speicher oder Speicherbereich zugeordnet, dessen Größe  
höchstens 20 Prozent des gesamten Speichers für die  
Verarbeitung der Bilddaten zu die Konturen beschreibenden  
35 Objekten ausgenommen des oder der Bildspeicher beträgt.

Anhand der Fig. 22 und 23, die Ausschnitte einer Kontur mit Konturpunkten zeigen, wird nachfolgend beschrieben, wie anhand der ermittelten Konturpunktdaten als Bestandteil der Objektsegmentierung Eckpunkte der Konturen bestimmt werden. Dargestellt ist ein Ausschnitt einer Kontur 26 mit Konturpunkten 26. Das von der Segmentierungseinheit 13 der in Fig. 1 dargestellten Kgrundkonfiguration durchgeführte Verfahren zur Bestimmung von Krümmungen, insbesondere von Eckpunkten von Konturen 16 basiert darauf, daß zu einem Punkt  $p$  der Konturpunkte 26 einer Kontur 16 Tripel mit Punkten  $(p^-, p, p^+)$  gebildet werden, wobei die Punkte  $p^-, p^+$  Konturpunkte darstellen, die in beiden Richtungen entlang der Kontur vom Punkt  $p$  beabstandet sind.

Bei einer gekrümmt verlaufenden Kontur 16, wie bei dem in Fig. 22 gezeigten Beispiel bilden diese Punkte  $(p^-, p, p^+)$  dann ein Dreieck mit Seiten der Längen  $a, b, c$ .

Zu diesen Punkten wird getestet, ob die Bedingungen

$$(i) \quad d_{\min}^2 \leq |p-p^+|^2 \leq d_{\max}^2,$$

$$(ii) \quad d_{\min}^2 \leq |p-p^-|^2 \leq d_{\max}^2,$$

und

$$(iii) \quad \alpha \leq \alpha_{\max}$$

erfüllt sind, mit  $d_{\min}^2, d_{\max}^2$  und  $\alpha_{\max}$  als vorgegebenen Parametern. Der Öffnungswinkel  $\alpha$  ist gegeben durch:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right],$$

wobei  $a$  den Abstand der Punkte  $p$  und  $p^+$ ,  $b$  den Abstand der Punkte  $p$  und  $p^-$ , und  $c$  den Abstand der Punkte  $p^+$  und  $p^-$  bezeichnen. Anhand der Fig. 22 wird klar, daß bei einem sehr großen Winkel  $\alpha$ , der sich an  $180^\circ$  annähert, eher nicht zu erwarten ist, daß es sich bei Punkt  $p$  um einen Eckpunkt

zwischen zwei geradlinigen Segmenten handelt. Um zu vermeiden, daß bereits sehr kleine Krümmungen an einer Kontur als Ecken interpretiert werden, kann dazu der Winkel  $\alpha_{\max}$  entsprechend gewählt werden. In der Praxis eignen sich oft Winkel kleiner  $160^\circ$ , beispielsweise  $\alpha_{\max} = 150^\circ$ .

Die Bedingungen (i) bis (iii) nacheinander für die nächsten Nachbarn des Punkts  $p$ , dann die übernächsten Nachbarn des Punkts  $p$ , usw. getestet. Wird eine der Bedingungen (i), (ii), (iii) dabei für ein Tripel der Punkte ( $p^-$ ,  $p$ ,  $p^+$ ) nicht erfüllt, wird der Test abgebrochen. Von den Öffnungswinkeln  $\alpha$  der Tripel mit Konturpunkt  $p$ , welche die Bedingungen (i) - (iii) erfüllen, wird der kleinste Öffnungswinkel ausgewählt und dem Punkt  $p$  zugeordnet.

15

Wird der Test der Bedingungen (i) - (iii) abgebrochen, so wird der nächste Konturpunkt entlang der Kontur als Punkt  $p$  ausgewählt und das Verfahren wiederholt. Der Abbruch kann einerseits erfolgen, wenn die Bedingungen (i) - (iii) für ein Tripel nicht erfüllt sind, oder, wenn eine vorbestimmte Anzahl von benachbarten Konturpunkten untersucht wurde. Vorzugsweise wird im letzteren Fall der Test abgebrochen, nachdem Tripel mit sieben Punkten beiderseits des Punkts  $p$  untersucht wurden. Je nach Anforderung kann auch eine geringere Anzahl maximal zu untersuchender Tripel festgelegt sein.

20

Kann für einen gegebenen Konturpunkt  $p$  kein Tripel ermittelt werden, welches die Bedingungen (i) bis (iii) erfüllt, so wird dieser Punkt von vorneherein aussortiert und nicht mehr bei der Bestimmung eines Eckpunkts berücksichtigt.

25

30

In einem zweiten Durchlauf erfolgt eine weitere Aussortierung, wenn zu einem Punkt  $p$  ein benachbarter Punkt  $p'$  existiert, für welchen die Bedingungen (i), (ii) und (iii) erfüllt sind und der einen kleineren Öffnungswinkel  $\alpha'$  aufweist. Dies ist in Fig. 23 gezeigt. Bei dem gezeigten Beispiel ist im speziellen der Öffnungswinkel  $\alpha'$  des Tripels mit Punkt  $p'$  kleiner als der Öffnungswinkel  $\alpha$  des Tripels mit Punkt  $p$ . Mit diesem zweiten Durchlauf wird vermieden, daß einem stark gekrümmten Konturbereich, der eine Ecke eines Objekts wiedergibt, mehrere eng benachbarte Eckpunkte ermittelt werden.

Die Erfindung wie vorstehend beschrieben, kann beispielsweise in einer kompakten Vorrichtung implementiert werden, um die Erkennung von Mustern zu realisieren. Unter anderem können auf diese Weise Raster oder Formularfelder in Bilddaten unabhängig von Deformationen erkannt und zugeordnet werden. Dies ermöglicht eine schnelle Erkennung und Auswertung von Formularen, wie etwa von ausgefüllten Lotteriescheinen mit einer handlichen Vorrichtung. Die Erkennung gelingt so auch selbst wenn das Formular Knicke oder Wölbungen aufweist, auch wenn das Bild, etwa mittels eines Handscanners unter einem Winkel aufgenommen und entsprechend verzerrt ist. Die Erkennung von ausgefüllten Formularen ist besonders für die Erfindung geeignet, da die Formulardaten an vorgegebenen Stellen eingetragen werden, so daß eine einfache Erkennung, sogar ohne aufwendige, softwaregestützte Auswertung erfolgen kann. Die ansonsten sehr komplexe Zuordnung und Identifizierung von Mustern, wie etwa dem einem Raster auf einem Lotterieschein kann hier vollständig in Form von Hardware mittels einer Pipeline-Verarbeitung und Objektsegmentierung realisiert werden.

Es ist dem Fachmann ersichtlich, daß die Erfindung nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt ist, sondern vielmehr in vielfältiger Weise variiert werden kann. Insbesondere können die Merkmale der  
5 Ausführungsbeispiele auch miteinander kombiniert werden.

Patentansprüche:

1. Bildverarbeitungsvorrichtung mit einem oder mehreren  
Bildspeichern, einer in Form von Hardware integrierter  
5 Einrichtung zur Segmentierung von Bilddaten und einer  
ebenfalls in Form von Hardware integrierten Einrichtung  
zur Bestimmung und Verarbeitung von Konturpunkten, wobei  
die Einrichtung zur Bestimmung und Verarbeitung von  
Konturpunkten zumindest eine integrierte Hardwareeinheit  
10 umfasst, die eingerichtet ist, die im Bildspeicher  
abgelegten Daten eines Digitalbildes abzutasten und  
Konturpunkte mit Subpixel-Genauigkeit zu ermitteln und  
als fortlaufende Listendaten in einem Speicher abzulegen,  
und wobei die Bildverarbeitungsvorrichtung eine  
15 Recheneinheit aufweist, welche eingerichtet ist, aus den  
im Speicher abgelegten Listendaten mithilfe eines  
Rechenwerks die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen  
jeweils zwei Konturpunkten unter Berücksichtigung des  
Abstands der Punkte zueinander zu ermitteln, und wobei in  
20 der integrierten Bildverarbeitungsvorrichtung zumindest  
ein Klassifikator vorgesehen ist, welcher aus Mengen von  
berechneten Verbindungswahrscheinlichkeiten Teilmengen  
mit zumindest drei Verbindungswahrscheinlichkeiten für  
mögliche Verbindungen zwischen zumindest drei  
25 benachbarten Konturpunkten, wovon einer ein zuvor  
bestimmter zentraler Konturpunkt ist, auswählt und für  
jede Teilmenge denjenigen zum zentralen Konturpunkt  
benachbarten Konturpunkt aussortiert, der eine mögliche  
Verbindung mit der geringsten  
30 Verbindungswahrscheinlichkeit zu einem benachbarten  
Konturpunkt aufweist, sofern die Verbindung nicht zwei  
zum Zentralpunkt benachbarte Punkte verbindet und im

Anschluß daran in eine Konturpunktliste die nicht aussortierten Konturpunkte mit Konnektoren einträgt, welche die verbleibenden Verbindungen zum Zentralpunkt kennzeichnen.

5

2. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß Anspruch 1, bei welcher der Klassifikator eingerichtet ist, aus der Menge der zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkte jeweils Tripel von Verbindungswahrscheinlichkeiten für mit dem zentralen Konturpunkt und zwei weiteren Konturpunkten mit zugeordneten Verbindungswahrscheinlichkeiten zu bilden, die geringste der Verbindungswahrscheinlichkeiten zu ermitteln und jeweils den zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkt, von welchem die Verbindung mit der geringsten Verbindungswahrscheinlichkeit innerhalb des Tripels ausgeht, aus der Nachbarschaftsmenge der zum Zentralpunkt benachbarten Konturpunkte auszusortieren.

10

15

20

3. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, umfassend eine Recheneinrichtung zum Aufprägen einer Modulation auf die Verbindungswahrscheinlichkeiten, wobei die Modulation einer Positionsverschiebung von Konturpunkten entspricht, die kleiner als der Pixelabstand ist.

25

4. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei mittels einer Recheneinrichtung vor der Berechnung der Verbindungswahrscheinlichkeiten zum Aufprägen einer Modulation jeweils Pixel-Koordinaten verändert werden.

30

5. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, bei welcher die integrierte Recheneinheit, die eingerichtet ist, die im Bildspeicher abgelegten Daten eines Digitalbildes abzutasten und

35

- Konturpunkte mit Subpixel-Genauigkeit zu ermitteln und als fortlaufende Listendaten in einem Speicher abzulegen, dazu eingerichtet ist, neben der Position eines Konturpunktes zumindest ein weiteres Attribut des
- 5 Konturpunktes zu berechnen und in den fortlaufenden Listendaten abzuspeichern.
6. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, bei welcher die integrierte
- 10 Recheneinheit dazu eingerichtet ist, für einen Konturpunkt einen Attribut-Vektor mit zumindest 24 Bit Länge, vorzugsweise zumindest 36 Bit Länge zu erzeugen und in den fortlaufenden Listendaten abzuspeichern.
- 15 7. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, bei die Recheneinheit, die eingerichtet ist, aus den im Speicher abgelegten Listendaten mithilfe eines Rechenwerks die
- 20 Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen jeweils zwei Konturpunkten zu ermitteln, dazu eingerichtet ist, Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen den
- Konturpunkten anhand des Abstands zwischen den Konturpunkten und zumindest einem weiteren Attribut zu errechnen.
- 25
8. Bildverarbeitungseinrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, wobei die Recheneinheit dazu eingerichtet ist, Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen Konturpunkten
- 30 anhand des Abstands zwischen den Konturpunkten und zumindest einem der Attribute Kontrast, Farbe und Richtung zu errechnen.
9. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die
- 35 Einrichtung zur Segmentierung von Bilddaten eine

Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen  
 aus von der Einrichtung zur Bestimmung und Verarbeitung  
 von Konturpunkten bereitgestellten Listendaten mit  
 Konturpunkten umfasst, wobei die Einrichtung zur  
 5 Bestimmung von Eckpunkten von Konturen eine Einrichtung  
 zur Durchführung des folgenden Algorithmus umfasst:

-zu jedem Punkt  $p$  einer Menge aufeinanderfolgender  
 Konturpunkte einer Kontur werden Tripel mit Punkten  $(p^-,$   
 $p, p^+)$  gebildet, wobei die Punkte  $p^-, p^+$  Konturpunkte  
 10 darstellen, die in beiden Richtungen entlang der Kontur  
 vom Punkt  $p$  beabstandet sind,

-zu diesen Punkten wird getestet, ob die Bedingungen

$$(i) d_{\min}^2 \leq |p-p^+|^2 \leq d_{\max}^2,$$

$$(ii) d_{\min}^2 \leq |p-p^-|^2 \leq d_{\max}^2,$$

15 und

$$(iii) \alpha \leq \alpha_{\max}$$

erfüllt sind, wobei  $d_{\min}^2$ ,  $d_{\max}^2$  und  $\alpha_{\max}$  gesetzte  
 vorbestimmte Parameter sind, und wobei für den  
 Öffnungswinkel  $\alpha$  gilt:

$$20 \quad \alpha = \arccos \left[ \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right],$$

wobei  $a$  den Abstand der Punkte  $p$  und  $p^+$ ,  $b$  den Abstand  
 der Punkte  $p$  und  $p^-$ , und  $c$  den Abstand der Punkte  $p^+$  und  
 $p^-$  bezeichnen, und wobei die Bedingungen (i), (ii) und  
 (iii) für eine Reihe von zu  $p$  beiderseits benachbarten  
 25 Punkten getestet werden,

-der kleinste Öffnungswinkel  $\alpha$  oder eine daraus  
 abgeleitete Größe aus der Menge der getesteten Tripel mit  
 Punkten  $(p^-, p, p^+)$ , welche alle Bedingungen (i), (ii)  
 und (iii) erfüllen, wird ausgewählt und dem Punkt  $p$   
 30 zugeordnet,

-ein Punkt  $p$  wird aussortiert, wenn zu diesem ein  
 benachbarter Punkt  $p'$  existiert, für welchen die

Bedingungen (i), (ii) und (iii) erfüllt sind und der einen kleineren Öffnungswinkel  $\alpha$  aufweist.

10. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß Anspruch 9, dadurch  
5 gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen ausgebildet ist, Tripel  $(p, p^+, p^-)$  nacheinander mit Konturpunkten  $p^+, p^-$  zu bilden und auf Erfüllung der Bedingungen (i), (ii), und (iii) zu testen, die entlang der Kontur fortschreitend weiter vom  
10 Konturpunkt  $p$  entfernt sind.
11. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der beiden  
vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die  
Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen  
15 ausgebildet ist, den Test der Bedingungen (i), (ii), und (iii) für einen gegebenen Konturpunkt  $p$  abzurechnen, sobald eine der Bedingungen (i), (ii), und (iii) für ein Tripel  $(p, p^+, p^-)$  nicht mehr erfüllt ist.
- 20 12. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der drei vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen der Parameter  $d_{\min}^2$  auf einen Wert von  $d_{\min}^2 \geq 4$  gesetzt ist.
- 25 13. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vier vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen der Parameter  $\alpha_{\max}$  auf einen Wert von  $\alpha_{\max} \leq 160^\circ$   
30 gesetzt ist.
14. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der fünf vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen

ausgebildet ist, für einen gegebenen Konturpunkt p zu jeder Seite entlang einer Kontur höchstens 7 Konturpunkte für die Tests der Bedingungen (i), (ii) und (iii) einzubeziehen.

5

15. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildverarbeitungsvorrichtung für eine Echtzeit-Bildverarbeitung eingerichtet ist.

10

16. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung Dual-Port-RAM-Speicher und eine Einrichtung zum gleichzeitigen Ablegen und Auslesen von Listendaten aus dem Dual-Port-RAM-Speicher aufweist.

15

17. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend eine Morphologiefilter-Recheneinrichtung, welche dazu eingerichtet ist, die Konturpunktliste mit Konnektoren hinsichtlich zumindest einer der Eigenschaften zu filtern:

- Konturpunkte zu Ketten von höchstens drei Konturpunkten werden gelöscht,
- 25 -Konturpunkte, welche nur zu einer einseitig mit einer längeren Kette verbundenen Kette mit höchstens drei Konturpunkten gehören, werden gelöscht,
- Konturpunkte, welche Start- und Endpunkte von Ketten zusammengehörender Konturpunkte bilden, werden in der
- 30 Konturpunktliste gekennzeichnet,
- Konturpunkte, welche Verzweigungspunkte zumindest zweier Ketten bilden, werden in der Konturpunktliste gekennzeichnet.

18. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine  
Einrichtung zum Erzeugen von Rangvektoren für  
Konturpunkte, welche die Konturpunktliste mit  
5 Konnektorstruktur ausliest und jeweils ausgehend von  
einem Zentralpunkt über die Konnektoren die  
Konnektorstruktur sämtlicher Nachbarpunkte einliest und  
einen Rangvektor erzeugt, der die Anzahl der  
Verzweigungen der Nachbarpunkte und des Zentralpunkts  
10 selbst beinhaltet.
19. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
vorstehenden Ansprüche, bei welcher die Recheneinheit,  
die eingerichtet ist, aus den im Speicher abgelegten  
15 Listendaten mithilfe eines Rechenwerks die  
Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen jeweils zwei  
Konturpunkten unter Berücksichtigung des Abstands der  
Punkte zueinander zu ermitteln, dazu eingerichtet ist,  
jeweils zu einem zentralen Konturpunkt  
20 Verbindungswahrscheinlichkeiten für mögliche  
Verbindungen zwischen Konturpunkten einschließlich des  
zentralen Konturpunkts zu ermitteln, die maximal 2 bis  
2,5 Pixel bezogen auf das Raster des Digitalbildes vom  
Zentralpunkt entfernt sind.
- 25
20. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
vorstehenden Ansprüche, bei welcher der Klassifikator  
eingerichtet ist, das Aussortieren für jeden  
ausgewählten zentralen Konturpunkt zumindest einmal für  
30 die Menge der nicht aussortierten zum Zentralpunkt  
benachbarten Konturpunkte zu wiederholen.
21. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
vorstehenden Ansprüche, bei welcher der Klassifikator  
35 dazu eingerichtet ist, den Auswahl-Vorgang, bei welchem

jeweils derjenige zum zentralen Konturpunkt benachbarte  
Konturpunkt aussortiert wird, der eine mögliche  
Verbindung mit der geringsten  
Verbindungswahrscheinlichkeit zu einem benachbarten  
5 Konturpunkt aufweist, sofern die Verbindung nicht zwei  
zum Zentralpunkt benachbarte Punkte verbindet für jeden  
ausgewählten zentralen Konturpunkt zu wiederholen, bis  
keine weiteren Konturpunkte aussortiert werden können.

10 22. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
vorstehenden Ansprüche, umfassend eine der  
Recheneinheit, welche eingerichtet ist, aus den im  
Speicher abgelegten Listendaten mithilfe eines  
Rechenwerks die Verbindungswahrscheinlichkeiten zwischen  
15 jeweils zwei Konturpunkten zu ermitteln, vorgeschaltete  
Sortiereinrichtung,  
welche Listendaten von zu einem ausgewählten zentralen  
Konturpunkt benachbarten Konturpunkten jeweils  
entsprechend einer Reihenfolge ausgibt, die beim  
20 Abtasten einer Umgebung des zentralen Konturpunkts  
erhalten wird, indem sukzessive ausschließlich  
benachbarte Punkte der Umgebung ausgelesen werden.

23. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
25 vorstehenden Ansprüche, wobei die Recheneinheit, welche  
eingerrichtet ist, die im Bildspeicher abgelegten Daten  
eines Digitalbildes abzutasten und Konturpunkte mit  
Subpixel-Genauigkeit zu ermitteln und als fortlaufende  
Listendaten in einem Speicher abzulegen, dazu  
30 eingerichtet ist, für jeden Konturpunkt im Raster der  
Bildaten höchstens einen Konturpunkt mit Subpixel-  
Genauigkeit zu ermitteln.

24. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
35 vorstehenden Ansprüche, wobei der Klassifikator in eine

Konturpunktliste Konnektoren einträgt, welche die Indizes benachbarter Konturpunkte und die Verbindungswahrscheinlichkeiten zu benachbarten Konturpunkten enthalten.

5

25. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend eine Einrichtung zum Auslesen der Konturpunktliste in geordneter Reihenfolge als geordnete Reihe von Konturpunkten, wobei  
10 aufeinanderfolgende Listeneinträge zu aufeinanderfolgenden Konturpunkten entlang einer Kontur gehören.

26. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
15 vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Einrichtung, um aus Mengen von zu einer Kontur gehörenden Konturpunkten den Kontrastbelag der Kontur zu berechnen und mit einer Schwelle zu vergleichen

20 27. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß dem vorstehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung den Kontrastbelag als Attribut einer Menge von zu einer Kontur gehörenden Konturpunkten abspeichert.

25 28. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der beiden vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Berechnung des Kontrastbelags der Kontur zu den Konturpunkten  
-Abtastrichtungen errechnet, entlang derer in der  
30 Bildumgebung des Konturpunkts lokal der maximale Kontrast auftritt, sowie  
-Zählrichtungen, die angeben, ob der zum Konturpunkt gehörende Kontrastwert beim Akkumulieren addiert oder subtrahiert wird, in Abhängigkeit der Abtastrichtung und

dem Richtungsvektor der Kontur am Konturpunkt ermittelt,  
und

-die Kontrastwerte der einzelnen Konturpunkte  
5 entsprechend ihrer Zählrichtung zum Akkumulieren addiert  
oder subtrahiert.

29. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß dem vorstehenden  
Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung  
10 die jeweilige Abtastrichtung aus einer auf höchstens 16  
verschiedene Richtungen begrenzten Anzahl möglicher  
Richtungen auswählt.

30. Vorrichtung gemäß einem der vorstehenden Ansprüche,  
15 gekennzeichnet durch eine Datenfiltereinrichtung, mit  
welcher Mengen von zu einer gemeinsamen Kontur  
gehörenden Konturpunkten aussortiert werden, wenn die  
Menge der Konturpunkte wenigstens eine der nachfolgenden  
Bedingungen erfüllt:

20 a) die Länge der Kontur ist kleiner als ein vorgegebener  
Wert, vorzugsweise 10 Pixel, und sowohl der Start-, als  
auch der Endpunkt der Kontur weisen den Grad 1 auf, sind  
also nicht Bestandteil einer weiteren Kontur,

b) die Länge der Kontur ist kleiner als ein vorgegebener  
25 Wert, vorzugsweise 10 Pixel, und entweder der Start-,  
als auch der Endpunkt der Kontur weisen einen Grad  $>2$   
auf,

c) Start- und Endpunkt sind identisch und die Länge der  
Kontur ist kleiner als ein vorgegebener Wert,

30 vorzugsweise 10 Pixel,

d) der Betrag des Kontrastbelags ist kleiner als ein  
vorgegebener Wert.

31. Integrierte Bildverarbeitungsvorrichtung, insbesondere  
35 gemäß Anspruch 1, mit einem oder mehreren Bildspeichern

und zumindest einer integrierten Hardwareeinheit zur Ermittlung von Konturpunkten aus Bilddaten, einer der integrierten Hardwareeinheit zur Ermittlung von Konturpunkten nachgeschalteten Hardwareeinheit zur Ermittlung von zu einer Kontur gehörenden Verbindungen zwischen Konturpunkten, einer der Hardwareeinheit zur Ermittlung von Verbindungen nachgeschalteten Morphologieprozessor zur Bestimmung der Anzahl der von Konturpunkten ausgehenden Verbindungen von Konturen zu benachbarten Konturpunkten, sowie eine Einrichtung zur Segmentierung, mittels welcher aus den Daten über die Konturpunkte und deren Verbindungen zu weiteren Konturpunkten Objekte erstellt werden, welche die Konturen der Bilddaten beschreiben, wobei der Hardwareeinheit zur Ermittlung von zu einer Kontur gehörenden Verbindungen zwischen Konturpunkten ein Speicher oder Speicherbereich zugeordnet ist, dessen Grösse höchstens 20 Prozent des gesamten Speichers für die Verarbeitung der Bilddaten zu die Konturen beschreibenden Objekten ausgenommen des oder der Bildspeicher beträgt, und wobei die Einrichtung zur Segmentierung von Bilddaten vorzugsweise eine Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen Listendaten mit Konturpunkten umfasst, wobei die Einrichtung zur Bestimmung von Eckpunkten von Konturen eine Einrichtung zur Durchführung des folgenden Algorithmus umfasst:

- zu jedem Punkt  $p$  einer Menge aufeinanderfolgender Konturpunkte einer Kontur werden Tripel mit Punkten  $(p^-, p, p^+)$  gebildet, wobei die Punkte  $p^-, p^+$  Konturpunkte darstellen, die in beiden Richtungen entlang der Kontur vom Punkt  $p$  beabstandet sind,
- zu diesen Punkten wird getestet, ob die Bedingungen (i)  $d_{\min}^2 \leq |p-p^+|^2 \leq d_{\max}^2$ ,

$$(ii) d_{\min}^2 \leq |p-p^-|^2 \leq d_{\max}^2,$$

und

$$(iii) \alpha \leq \alpha_{\max}$$

erfüllt sind, wobei  $d_{\min}^2$ ,  $d_{\max}^2$  und  $\alpha_{\max}$  gesetzte  
 5 vorbestimmte Parameter sind, und wobei für den  
 Öffnungswinkel  $\alpha$  gilt:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \right],$$

wobei  $a$  den Abstand der Punkte  $p$  und  $p^+$ ,  $b$  den Abstand  
 der Punkte  $p$  und  $p^-$ , und  $c$  den Abstand der Punkte  $p^+$  und  
 10  $p^-$  bezeichnen, und wobei die Bedingungen (i), (ii) und  
 (iii) für eine Reihe von zu  $p$  beiderseits benachbarten  
 Punkten getestet werden,

-der kleinste Öffnungswinkel  $\alpha$  oder eine daraus  
 abgeleitete Größe aus der Menge der getesteten Tripel  
 15 mit Punkten  $(p^-, p, p^+)$ , welche alle Bedingungen (i),  
 (ii) und (iii) erfüllen, wird ausgewählt und dem Punkt  $p$   
 zugeordnet,

-ein Punkt  $p$  wird aussortiert, wenn zu diesem dieser ein  
 benachbarter Punkt  $p'$  existiert, für welchen die  
 20 Bedingungen (i), (ii) und (iii) erfüllt sind und einen  
 kleineren Öffnungswinkel  $\alpha$  aufweist.

32. Bildverarbeitungsvorrichtung gemäß einem der  
 vorstehenden Ansprüche, ausgebildet zur  
 25 Formularerkennung.

30

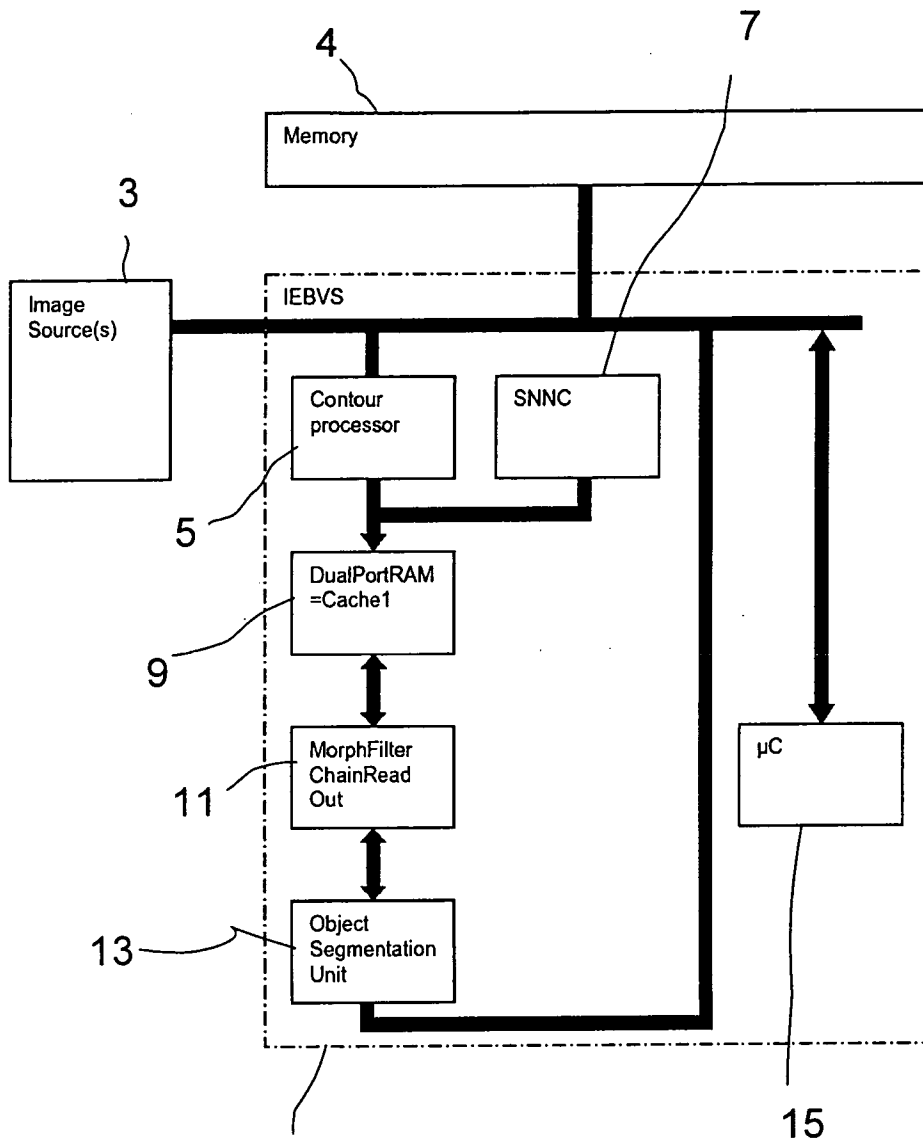
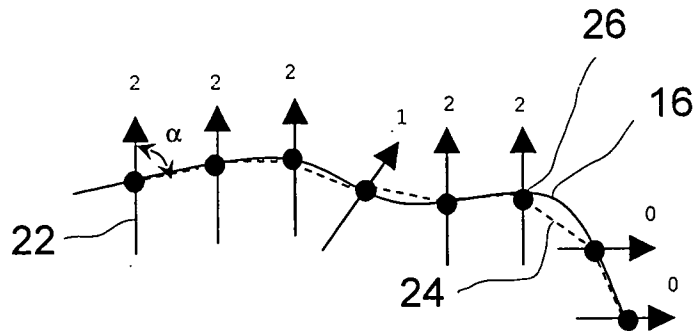


Fig. 3



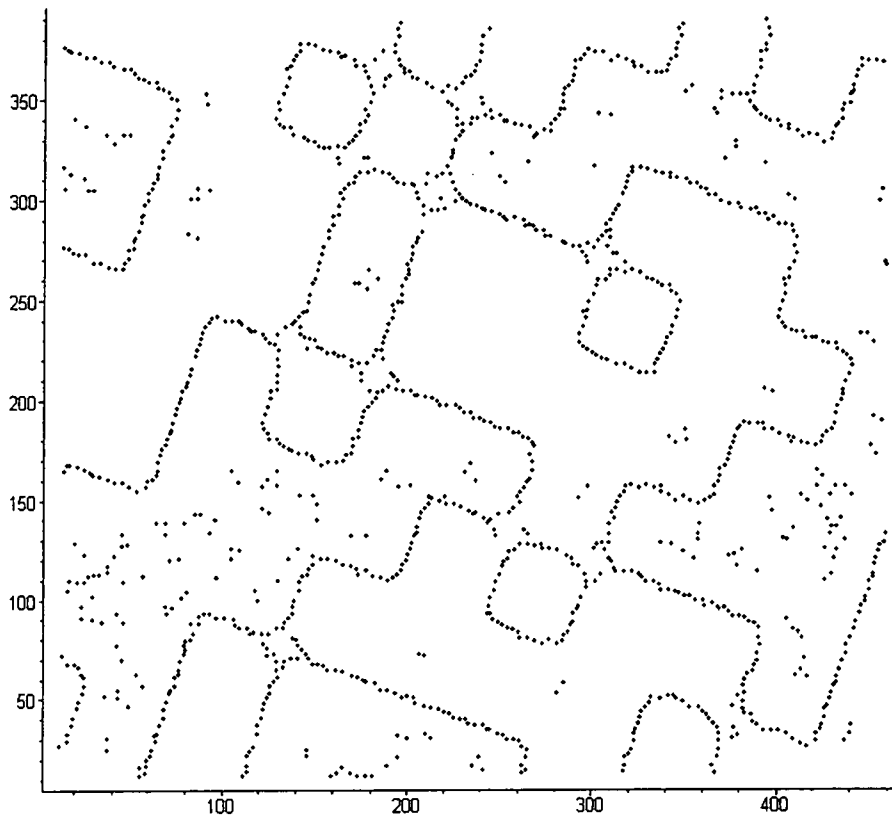


Fig. 2

23	24	2	3	5
21	22	1	4	6
20	19	CP	7	8
18	16	13	10	9
17	15	14	12	11

Fig. 4

Fig. 5

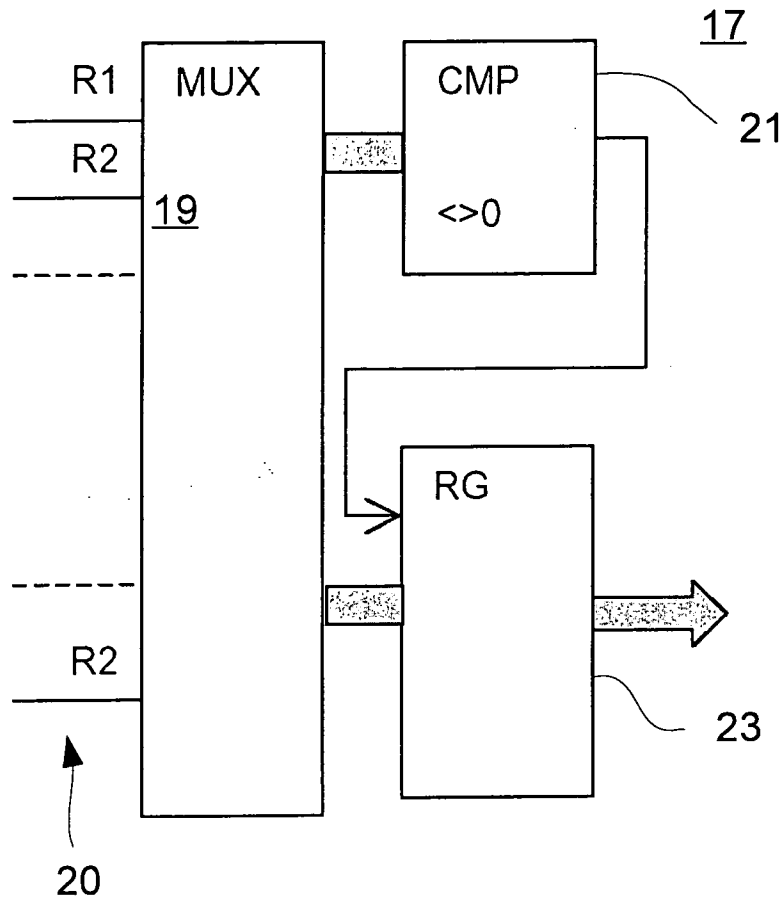


Fig. 6

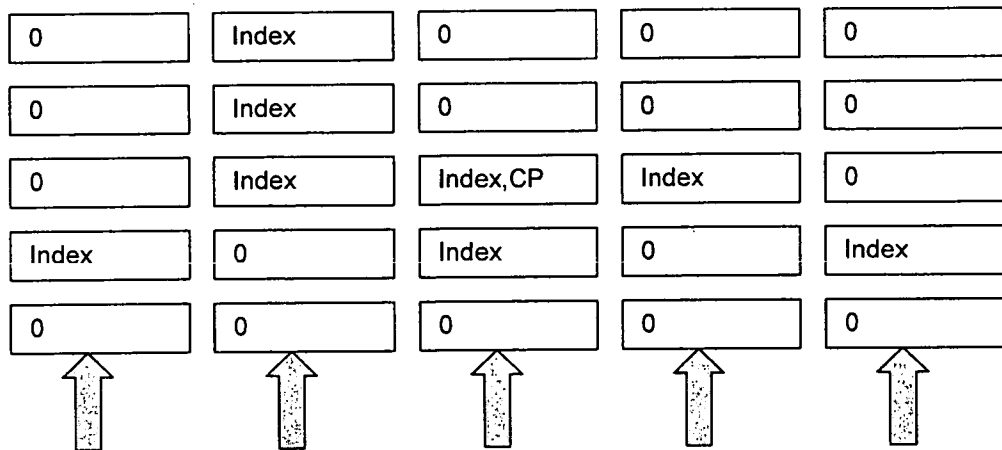




Fig. 9A

Field	X	Y
CP	244	344
7	249	342
9	251	339
13	245	341
18	237	341
19	241	342
22	240	348
24	239	351

Fig. 9B

Xrel	Yrel	$\rho$	X_Poly	Y_Poly	$\rho$
0	0	0			0
5	-2	5,385	2	-3	3,606
7	-5	8,602	-6	2	6,325
1	-3	3,162	-8	0	8
-7	-3	7,616	4	1	4,123
-3	-2	3,606	-1	6	6,083
-4	4	5,657	-1	3	3,162
-5	7	8,602	5	-7	8,602

Fig. 9C

Xrel	Yrel	$\rho$	X_Poly	Y_Poly	$\rho$
5	-2	5,385	-4	-1	4,123
1	-3	3,162	-4	1	4,123
-3	-2	3,606	-1	6	6,083
-4	4	5,657	-9	6	10,82

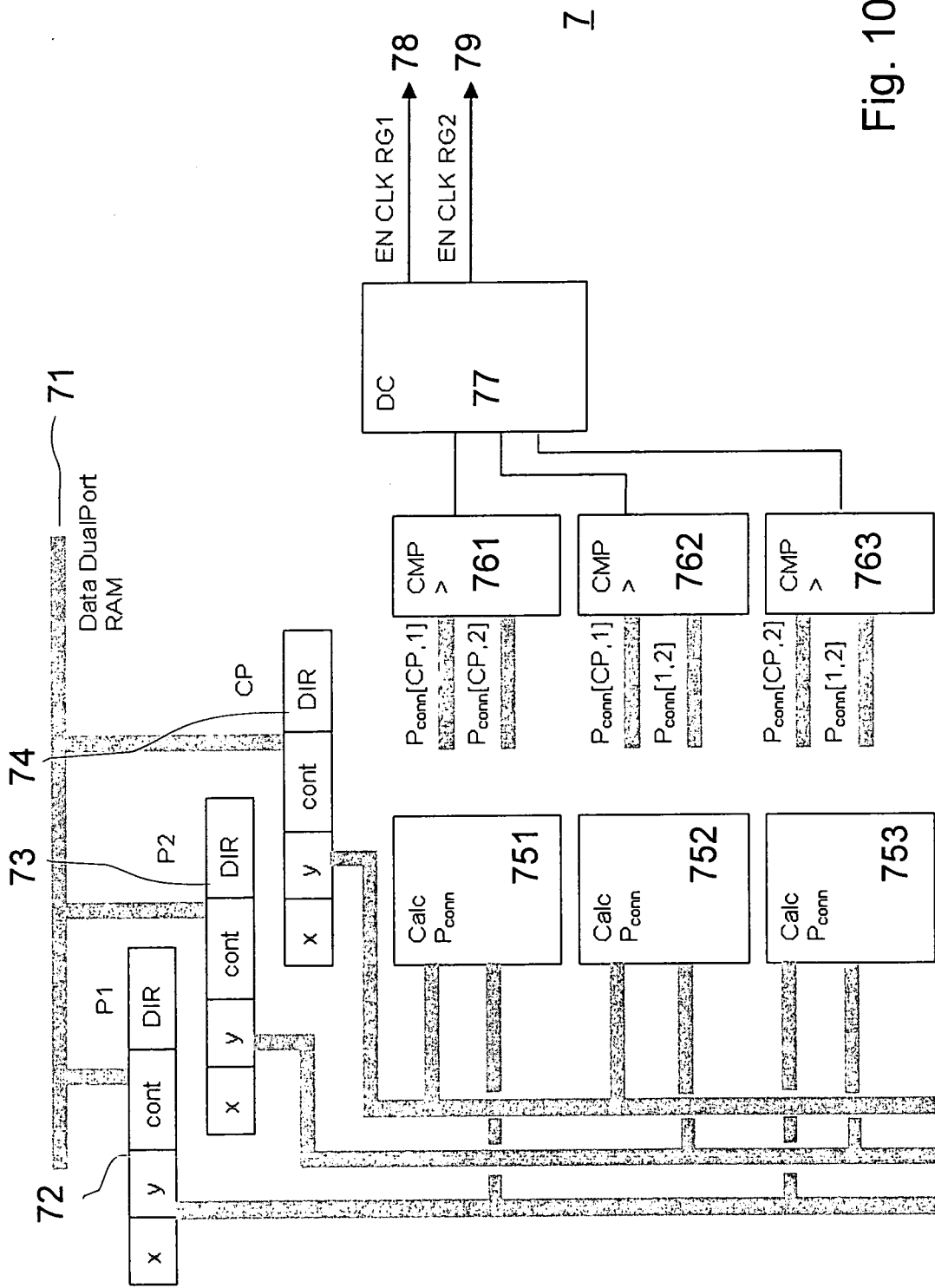


Fig. 10

Fig. 11

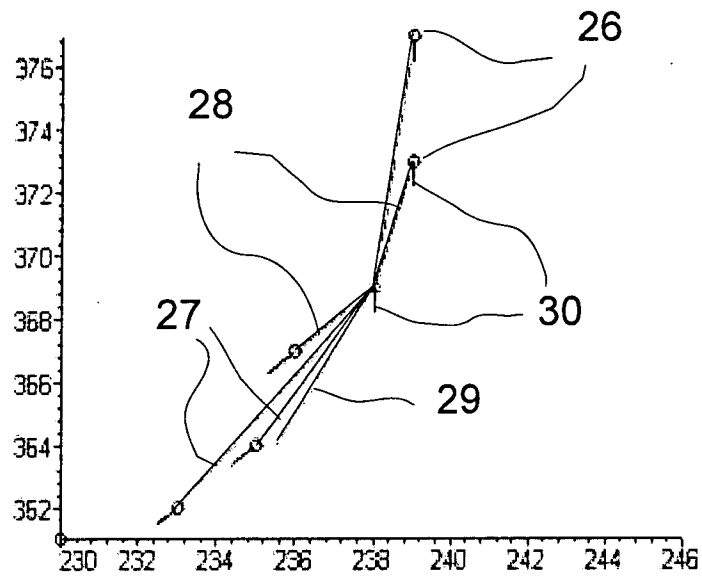


Fig. 12

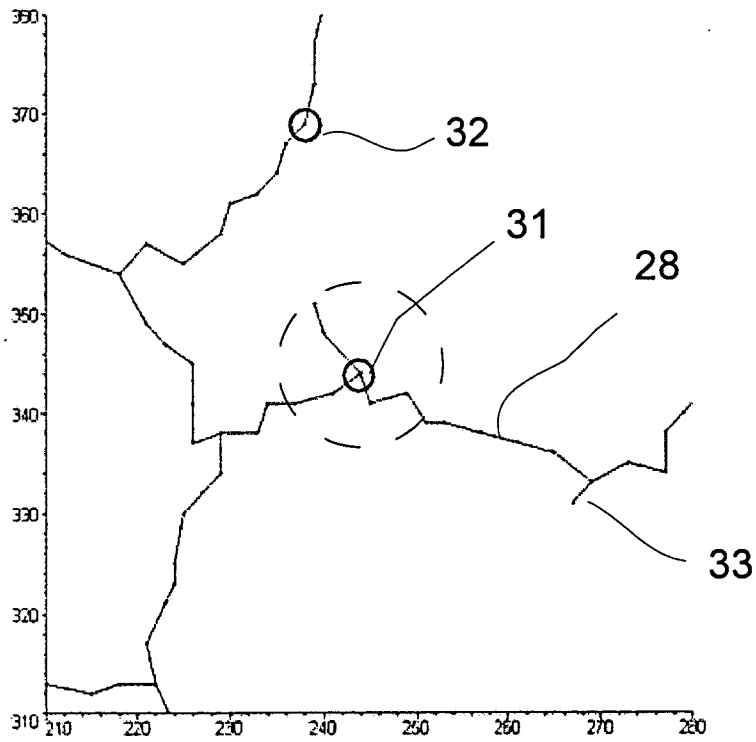




Fig. 14

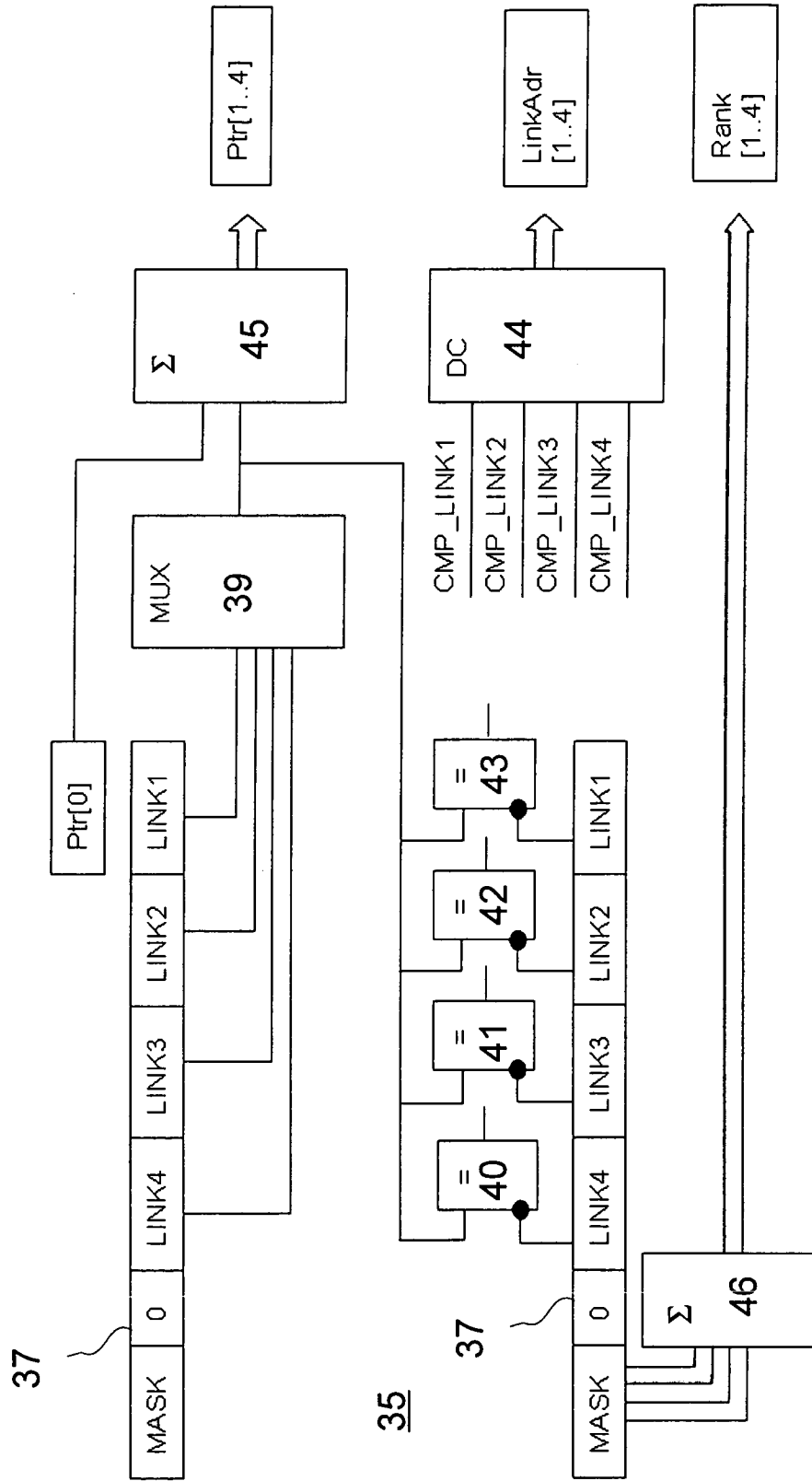


Fig. 15

Bit	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LINK Info	MASK		C 1		MASK		S LinkAdr[0..2]		LINK2		LINK1		LINK0																							
Attribute	DIR		Contra st				Colour Info				Y-coordinate		X-coordinate																							

Fig. 16

Bit	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
LINK Info	MASK		CONN33		LINK3		LINK2		LINK1		LINK0																									
Attribute	DIR		Con- trast		Colour Info				Y-coordinate		X-coordinate																									

Fig. 17

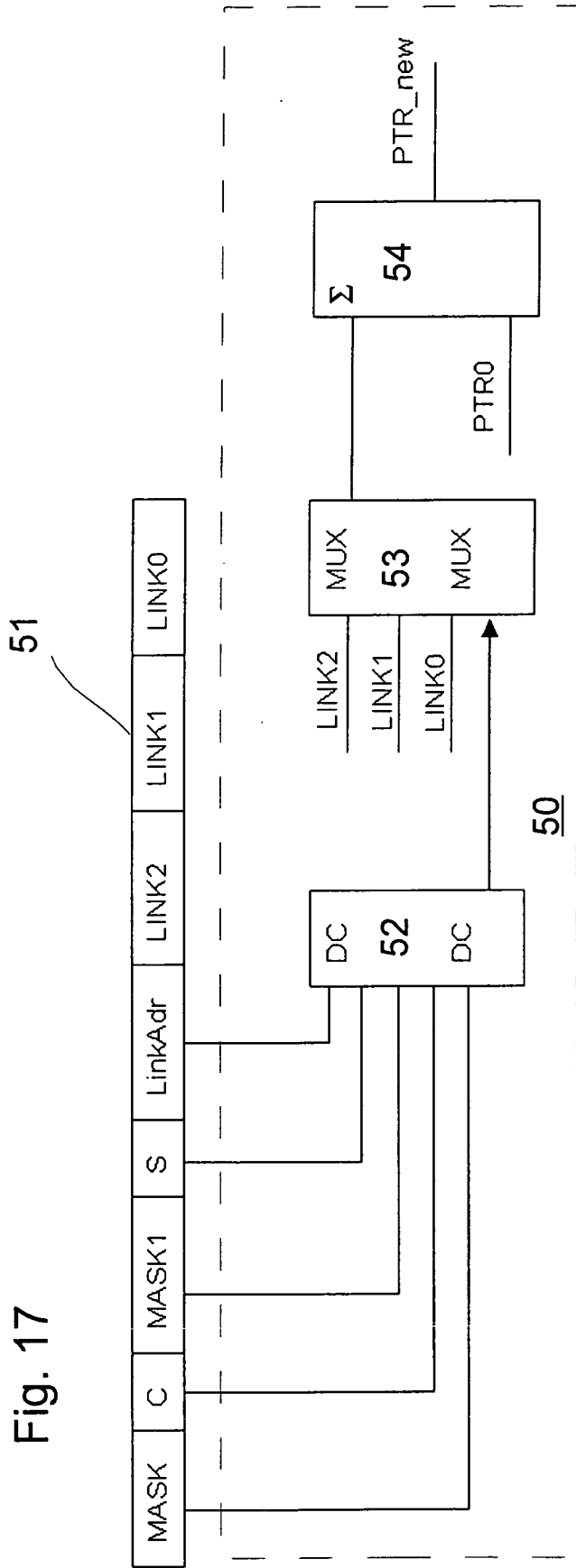


Fig. 18

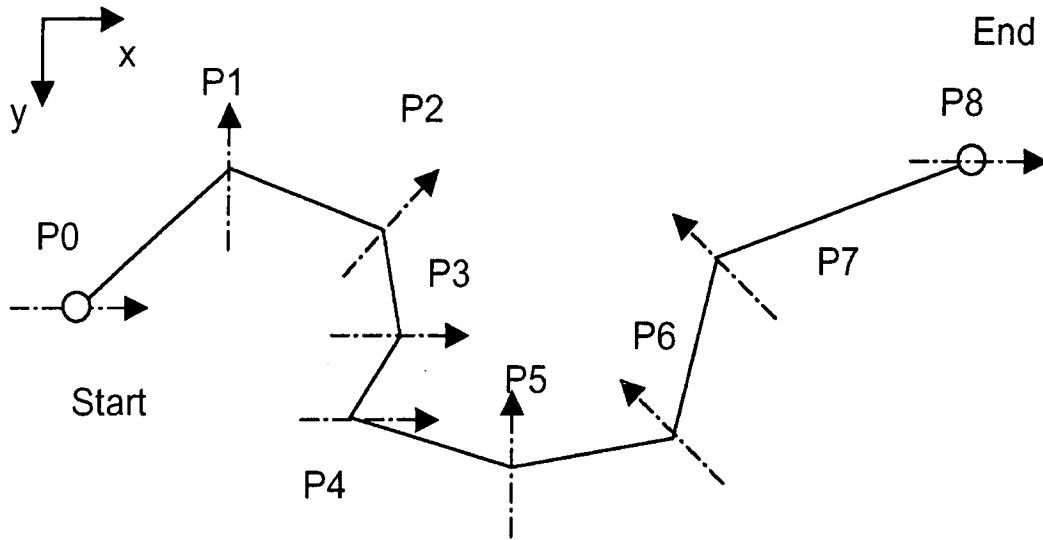


Fig. 19

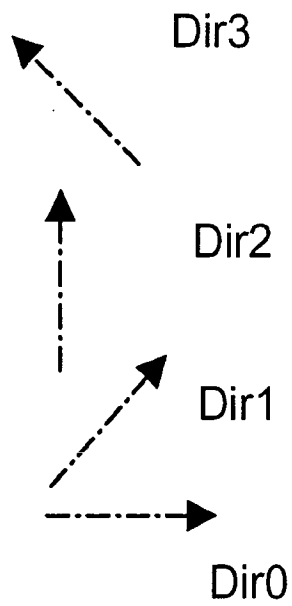


Fig. 20

80

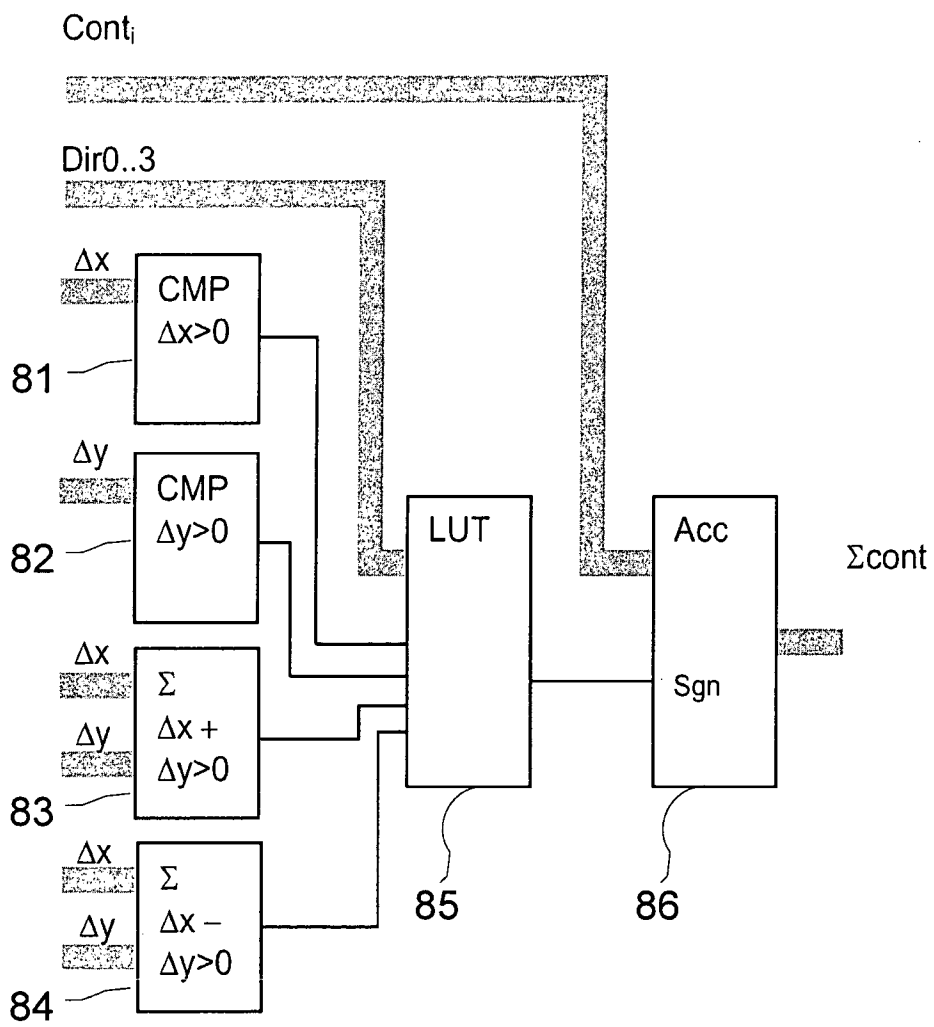


Fig. 21

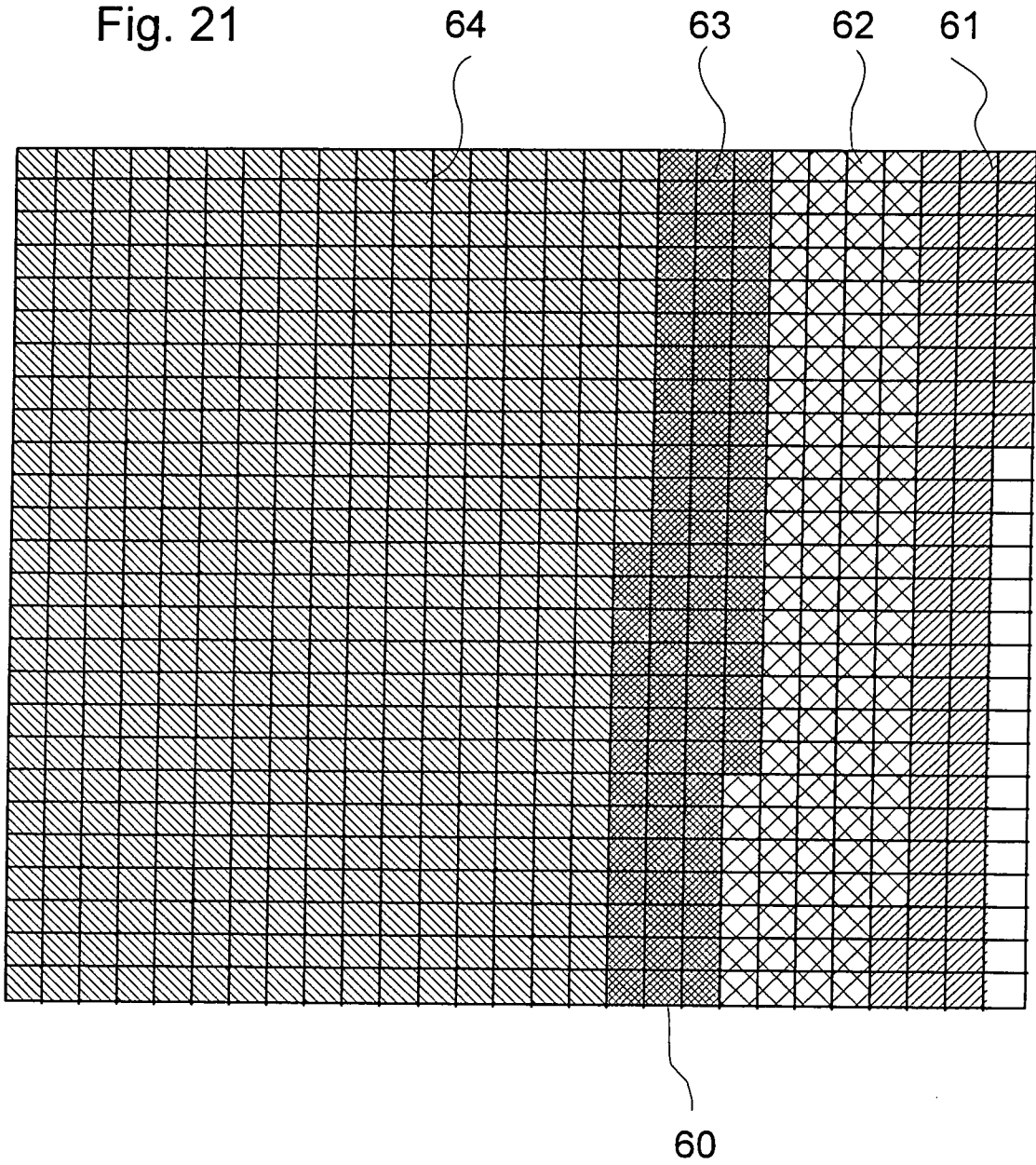


Fig. 22

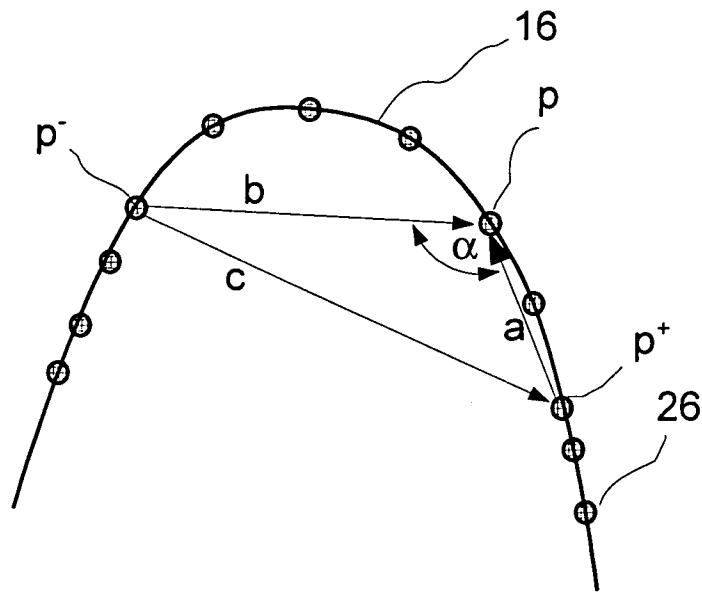


Fig. 23

