



(10) **DE 10 2013 226 797 B4** 2019.06.13

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 226 797.5**  
(22) Anmeldetag: **20.12.2013**  
(43) Offenlegungstag: **25.06.2015**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.06.2019**

(51) Int Cl.: **G06K 9/64 (2006.01)**  
**G06T 7/60 (2017.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80686 München, DE**

(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler,  
Schenk & Partner mbB Patentanwälte, 81373  
München, DE**

(72) Erfinder:  
**Eickeler, Stefan, 53225 Bonn, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

**DE**                    **10 2005 017 541**    **A1**  
**WO**                    **2012/ 076 036**    **A1**

**Carolyn Kimme, Dana Ballard, Jack Sklansky:  
Finding circles by an array of accumulators. In:**

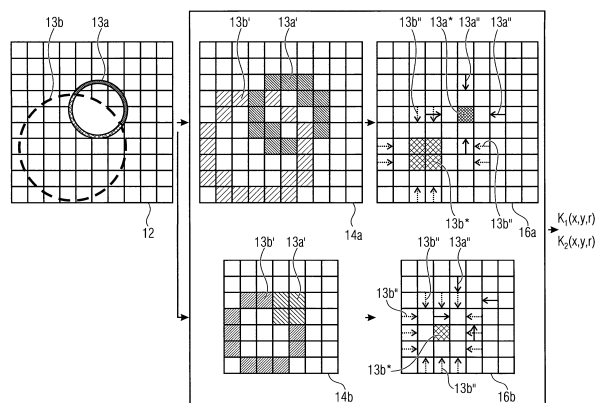
**Communications of the ACM, 18, Feb. 1975, 2,  
120-122.**

**J. ILLINGWORTH, J. KITTLER: The Adaptive  
Hough Transform. In: IEEE TRANSACTIONS  
ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE  
INTELLIGENCE, PAMI-9, SEPTEMBER 1987, 5,  
690-698.**

**Xing Chen, Ling Lu, Yang Gao: A New  
Concentric Circle Detection Method Based  
on Hough Transform. In: The 7th International  
Conference on Computer Science & Education  
(ICCSE 2012), July 14-17, 2012, 753-758.**

(54) Bezeichnung: **Kreissegment- und Formdetektion**

(57) Zusammenfassung: Eine Vorrichtung zur Kreissegmentdetektion ist ausgebildet, um Gradienten zu detektieren, so dass Gradientenvektoren erhalten werden und ausgebildet, um die Gradientenvektoren mit jeweiligen Radien zu skalieren und resultierende Endpunkte der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays zu akkumulieren. Hierbei wird eine Auflösung der Akkumulatorarrays umso geringer gewählt, je größer der jeweilige Radius ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf eine Vorrichtung zur Kreissegmentdetektion sowie auf ein Verfahren zur Kreissegmentdetektion.

**[0002]** Das Detektieren von Kreissegmenten bzw. von Vollkreisen bildet häufig die Basis für optische Bilderkennungssysteme. Anwendungsbeispiele hierfür sind Fahrer-Assistenzsysteme, mittels welchen beispielsweise Verkehrszeichen entweder für die Unterstützung des Autofahrers oder auch für selbständig fahrende Fahrzeuge automatisch erkannt werden können. Bei derartigen Verkehrszeichenerkennungssystemen wird in einem initialen Schritt auf Basis einer Umgebungsaufnahme das Vorhandensein eines Verkehrszeichens untersucht. Da der größte Teil der relevanten Verkehrszeichen rund ist, kann dieser Schritt mittels einer Kreissegmentdetektion bzw. Vollkreisdetektion durchgeführt werden.

**[0003]** Eine klassische Methode zur Erkennung von Kreisen bzw. Kreissegmenten ist die sogenannte Circular-Hough-Transformation. Hierbei gibt es unterschiedliche Versionen, die für unterschiedliche Entwicklungsziele entwickelt sind. Insbesondere im Fall von Fahrerassistenzsystemen liegt ein wichtiges Entwicklungsziel in der Echtzeitfähigkeit derartiger Systeme, was insbesondere eine schnelle Datenverarbeitung voraussetzt. Ein weiteres wesentliches Entwicklungsziel, insbesondere für mobile Anwendungen, ist der geringe Ressourcen- / Energieverbrauch bei der Berechnung.

**[0004]** Eine schnelle Version der Circular-Hough-Transformation ist unter dem Namen „Fast-Radio-Symmetry-Detection“ bekannt. Hierbei wurde, um die Echtzeitfähigkeit zu erreichen, das Verfahren für die Verarbeitung auf parallelen Prozessoren bzw. allgemein auf eine speziell entwickelte Hardware ausgelegt, was aber einerseits den Energieverbrauch erhöhen kann und insbesondere spezielle Hardware voraussetzt.

**[0005]** Die Veröffentlichung von Kimme et al. mit dem Titel: „Finding circles by an array of accumulators“ beschreibt zwei Verfahren zur Detektion von kreisförmigen Strukturen, nämlich (erstens) eines unter Verwendung von Gradienten und (zweitens) ein Verfahren ohne Verwendung des Gradienten.

**[0006]** Die Veröffentlichung mit dem Titel: „The adaptive Hough Transform“ von Illingworth et al. beschreibt alle Erkennungsmethoden für 2D-Konturen.

**[0007]** Die Veröffentlichung mit dem Titel: „A New Concentric Circle Detection Method Based on Hough Transform“ von Chen et al. beschreibt einen Ansatz, um konzentrische Kreise zu erkennen.

**[0008]** Darüber hinaus ist auch noch die WO 2012/076 036 A1 sowie die DE 10 2005 017 541 A1 als Stand der Technik zu nennen.

**[0009]** Ausgehend hiervon zielen heutige Entwicklungsaktivitäten darauf ab, die Geschwindigkeit auch bei dem Einsatz von Standard-Hardware weiter zu steigern und insbesondere den Ressourcen / Energieverbrauch derart gering zu halten, dass ein Einsatz derartiger Systeme auf mobilen Geräten, wie z.B. Smartphones, möglich ist.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es also eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, die eine Detektion von geometrischen (Grund-) Formen bzw. insbesondere eine Kreissegmentdetektion bzw. Kreisdetektion mit gesteigerter Verarbeitungsgeschwindigkeit und reduziertem Ressourcenverbrauch ermöglichen.

**[0011]** Die Aufgabe wird durch die unabhängigen Patentansprüche gelöst.

**[0012]** Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen eine Vorrichtung zur Kreissegmentdetektion, die Vorrichtung ist ausgebildet, um erstens Gradienten zu detektieren, so dass Gradientenvektoren erhalten werden, und zweitens, um die Gradientenvektoren mit jeweiligen Radien zu skalieren und resultierende Endpunkte der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays zu akkumulieren. Hierbei wird eine Auflösung der Akkumulatorarrays umso geringer gewählt, je größer der jeweilige (gesuchte Kreis-) Radius ist.

**[0013]** Die Erfindung beruht also auf der Erkenntnis, dass ein geometrische Form bzw. entsprechend bevorzugten Ausführungsbeispielen ein Kreis bzw. ein Kreissegment mit einem kleinen Radius (im allgemeinen Fall mit kleinen Abmessungen) am besten mit einem hochaufgelösten Akkumulatorarray erkennbar ist, während eine Form / ein Kreis bzw. ein Kreissegment mit einer großen Abmessung bzw. einem großen Radius besser mit einem Akkumulatorarray mit reduzierter Auflösung erkennbar ist. Der Grund hierfür liegt darin, dass durch die Auflösungsreduzierung des Akkumulatorarrays bei der Akkumulation der Gradientenvektoren-Endpunkte, die sich bei Vorhandensein eines Kreises bzw. eines Kreissegments typischerweise in einem Punkt, nämlich dem Mittelpunkt treffen bzw. hier aufakkumulieren, die Ortsunschärfe, die durch die Streuung der Endpunkte über einen Bereich aufgrund der Vielzahl der zu akkumulierenden Endpunkte (Bildrauschen) insbesondere bei großen Abmessungen/Radien entsteht, reduziert werden kann. Diese Erkenntnis wird in der Erfindung dadurch ausgenutzt, dass kleinere Akkumulatorarrays, also Arrays mit reduzierter Auflösung,

für die Detektion von großen Formen /Kreisradien eingesetzt werden, um so eine Ressourceneinsparung zu erzielen. Hierdurch wird einerseits die zu verarbeitende Datenmenge, also der Speicherplatz reduziert und andererseits rechenintensive Schritte, wie nachträgliches Gauß-Filtern zur Reduzierung der Ortsunschärfe, vermieden. Somit ergibt sich der Vorteil, dass das Verfahren gegenüber dem Standardverfahren um Faktor 10 schneller ist, wobei auch auf spezielle Grafikprozessoren mit hohem Energieverbrauch oder andere Implementierungen in Hardware verzichtet werden kann. Des Weiteren ist gegenüber dem Standardverfahren auch der Speicherbedarf durch die verwendete Größe der Akkumulatorarrays reduziert. Also wird eine deutlich kostengünstigere und energiesparende Realisierung von Geometriedetektoren/Kreisdetektoren, z.B. für Fahrassistenzsysteme, ermöglicht, die gegebenenfalls auch auf mobilen Einrichtungen, wie z.B. Smartphones, ausführbar ist.

**[0014]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen ist die Vorrichtung dazu ausgebildet, um eine oder mehrere lokale Akkumulationsmaxima, resultierend aus der Vielzahl der aufakkumulierten Endpunkte von zu einem Kreis oder Kreissegment gehörenden Gradientenvektoren, die in einen gemeinsamen Bereich bzw. Punkt projiziert werden, zu erkennen. Hierbei gibt jede Position eines lokalen Akkumulationsmaximums die Position eines Mittelpunktes eines detektierten Kreises an. Des Weiteren kann entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen anhand dessen, in welchem Akkumulatorarray die entsprechenden Radien zugeordnet sind, einen Rückschluss auf den Radius des erkannten Kreises gezogen werden, da dieser dem den Array zugeordneten Radius, welche für die Skalierung verwendet ist, entspricht.

**[0015]** Entsprechend Ausführungsbeispielen werden also unterschiedlich aufgelöste Arrays für unterschiedlich gesuchte Radien eingesetzt, wobei bevorzugt die Auflösung des Akkumulatorarrays um einen reziproken Wert der zugeordneten Radien reduziert ist.

**[0016]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen können auch Mittel zur Vorverarbeitung, wie z.B. ein Gaußscher Weichzeichner und ein Soebel-Filter vorgesehen sein, die ermöglichen, auf Basis eines Ausgangsbildes die Gradienten bzw. die relevanten Gradienten zu ermitteln. Ferner kann entsprechend Ausführungsbeispielen die obige Vorrichtung dazu ausgebildet sein, um bei der Vorverarbeitung relevante Gradientenpunkte, für welche die Gradientenvektoren in das Array zu übertragen sind, unter der Vielzahl der Bildpunkte des Ausgangsbildes beispielsweise anhand eines vorgegebenen Schwellwerts zu erkennen.

**[0017]** Weitere Ausführungsbeispiele beziehen sich auf ein Verfahren zur Kreisdetektion mit den Schritten des Detektierens von Gradienten, so dass Gradientenvektoren erhalten werden, und des Skalierens der Gradientenvektoren mit jeweiligen Radien sowie des Akkulierens der resultierenden Endpunkte der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays. Hierbei ist eine Auflösung der Akkumulatorarrays wiederum umso geringer, je größer der jeweilige Radius ist.

**[0018]** Gemäß weiteren Ausführungsbeispielen ist die Vorrichtung dazu ausgebildet, geometrische Grundformen (z.B. Quadrate oder Polygone) zu detektieren. Hierzu erfolgt das Detektieren der Gradienten, so dass Gradientenvektoren erhalten werden. Ferner werden die Gradientenvektoren mit jeweiligen Streckungsfaktoren (z.B. von der geometrischen Grundform abhängigen Streckungsfaktoren) skaliert und resultierende Endpunkte der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren in den den jeweiligen Streckungsfaktoren zugeordneten Akkumulatorarrays akkumuliert. Entsprechend den obigen Erläuterungen ist die Auflösung der Akkumulatorarrays umso geringer, je größer der jeweilige Streckungsfaktor ist.

**[0019]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen kann das beschriebene Verfahren auch auf einem Computer ausgeführt werden, so dass also ein Ausführungsbeispiel demzufolge ein Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens zur Kreissegmentdetektion umfasst.

**[0020]** Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der beiliegenden Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** ein schematisches Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Kreissegmentdetektion gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

**Fig. 2** ein schematisches Flussdiagramm des Verfahrens bei der Kreissegmentdetektion gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel;

**Fig. 3a** und **Fig. 3b** ein Stand-der-Technik-Ansatz (Blockschaltbild der Bildverarbeitungsvorrichtung und schematische Schaubilder der Bildverarbeitung) bei der Kreisdetektion zur Illustration der erreichten Verbesserung; und

**Fig. 3c** und **Fig. 3d** das Konzept (Blockdiagramm der Bildverarbeitungsvorrichtung und schematisches Schaubilder) einer Kreisdetektion mit dem verbesserten Ansatz entsprechend einem erweiterten Ausführungsbeispiel.

**[0021]** Bevor nachfolgend Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung anhand der Figuren im Detail erläutert werden, sei darauf hingewiesen, dass gleichwirkende oder gleiche Elemente mit gleichen

Bezugszeichen versehen sind, so dass die Beschreibung derer austauschbar bzw. aufeinander anwendbar ist.

**[0022]** Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung **10** zur Kreisdetektion. Die Vorrichtung umfasst eine Recheneinheit, wie z.B. einen CPU, die ausgebildet ist, um beispielsweise auf Basis eines sogenannten Ausgangsbildes **12**, welches hier als Bild mit einer Auflösung von 10x10 Pixel dargestellt ist, Gradienten zu detektieren. Zu Illustrationszwecken sind exemplarisch relevante Gradientenpunkte, resultierend aus der Gradientenermittlung basierend auf dem Ausgangsbild **12**, die exemplarischen Kreisen **13a** und **13b** aus dem Ausgangsbild **12** zuzuordnen sind, als gestrichelte Bildpunkte **13a'** und **13b'** in den Gradientenbildern **14a** und **14b** dargestellt. Auf Basis dieser relevanten Gradientenpunkte **13a'** und **13b'**, die sich typischerweise durch eine hohe Änderungsrate, z.B. einen hohen Kontrast, auszeichnen, kann dann ein sogenanntes Gradientenfeld mit Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** für die relevanten Gradientenpunkte **13a'** und **13b'** ermittelt werden, wie anhand der Gradientenfelder **16a** und **16b** gezeigt ist. Im Detail wird für jedes Pixel bzw. ggf. auch nur für jedes relevante Pixel **13a'** und **13b'** ein Gradientenvektor ermittelt, wie anhand der Gradientenfelder **16a** bzw. **16b** illustriert ist. Die Bilder **16a** und **16b** umfassen sowohl die Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** (vgl. Pfeile) als auch exemplarische Endpunkte **13a\*** und **13b\*** der Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** (vgl. kreuzstraffierte Bildpunkte). Insofern ist die Vorrichtung dazu ausgebildet, Gradienten zu detektieren, so dass Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** erhalten werden.

**[0023]** Ferner ist die Vorrichtung dazu ausgebildet, auf Basis der Gradientenvektoren zu detektieren, ob Kreissegmente vorliegen. Hierzu werden die Gradientenvektoren mit jeweiligen Radien skaliert und die resultierenden Endpunkte der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarray zugeordnet. Auf die dargestellte Illustration gemapped heißt das, dass jedes zu Illustrationszwecken dargestellte Gradientenbild **14a** und **14b** bzw. jedes Gradientenfeld **16a** und **16b** zu einem vorbestimmten Radius gehört und als Zwischenergebnis in einem Akkumulatorarray gespeichert ist. Die Akkumulatorarrays der Vorrichtung **10** unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Größe insofern, dass die Akkumulatorarrays zur Detektion kleiner Radien größer sind, also eine höhere Auflösung haben, während die Akkumulatorarrays zur Detektion großer Radien eine niedrigere Auflösung aufweisen. Unter einem niedriger aufgelösten Akkumulatorarray ein Array von Akkumulationszellen zu verstehen, das gegenüber der ursprünglichen Akkumulatoranordnung eine reduzierte Anzahl von Akkumulationszellen umfasst. Dieser Sachverhalt wird durch die doppelte Darstellung der Gradientenbilder **14a** und

**14b** bzw. der Gradientenfelder **16a** und **16b** illustriert. Der Hintergrund hierzu wird nachfolgend anhand der Funktionsweise bei der Erkennung der exemplarischen Kreise **13a** und **13b** aus dem Ausgangsbild **12** erläutert.

**[0024]** Die Kreise **13a** und **13b** in dem Ausgangsbild **12**, die beispielsweise aus dem Umriss eines Verkehrszeichens resultieren, weisen gegenüber der Umgebung, also gegenüber den angrenzenden Pixeln einen hohen Kontrast auf, so dass auf Basis dieser Kontrastdifferenz zwischen den aneinander angrenzenden Pixeln ein Gradient **13a'** und **13b'** mit einem Gradientenvektor **13a''** und **13b''** ermittelt werden kann. Die Pixel mit der höchsten Kontrastdifferenz sind in der Darstellung **14a** anhand der schraffierten Zellen illustriert und stellen wie bereits erläutert, die relevanten Gradientenpunkte dar. Allgemein heißt das, dass Pixel als relevant gelten, wenn ihre Kontrastdifferenz oder allgemein ihre Änderungsrate gegenüber dem angrenzenden Bildpunkt oberhalb eines vorbestimmten Grenzwertes liegt. Wie zu erkennen ist, sind hier insbesondere die Bildpunkte entlang der Kontur der Kreise **13a** und **13b** (vgl. **13a'** und **13b'**) relevant. Zur Ermittlung der relevanten Pixel wird ein lokaler Vergleich der aneinander angrenzenden Bildpunkte durchgeführt, um so z.B. Kontrastdifferenzen oder Helligkeitsunterschiede zu ermitteln. Diese Gradienten können anhand eines Vektors, dem sogenannte Gradientenvektor, dargestellt werden. Die Länge des Vektors gibt den Betrag der Differenz an, während die Richtung des Vektors die Richtung der Änderung symbolisiert. Für die relevanten Bildpunkte **13a'** und **13b'** werden also nun die Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** ermittelt und in das Vektorfeld **16a'** bzw. **16b'** übernommen. Das Ergebnis ist also je Kreis **13a** und **13b** eine Vielzahl an Vektoren **13a''** bzw. **13b''**, die entlang der Gradienten ausgerichtet sind. Für einen Kreis bzw. ein Kreissegment, wie in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel, zeigen alle Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** zu dem jeweiligen Mittelpunkt **13a\*** und **13b\*** hin. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass auch wenn nur die orthogonalen Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** illustriert sind, dass das Vektorfeld typischerweise eine Vielzahl an Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** umfasst, die in radialer Richtung verlaufen und aufgrund der Rotationssymmetrie des Kreises alle auf den Mittelpunkt **13a\*** und **13b\*** zeigen. Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass Gradientenvektoren, die beispielsweise zu einer Geraden gehören, parallel verlaufen und sich somit nicht in einem gemeinsamen Punkt schneiden. Insofern ist auf Basis dessen, dass sich eine Vielzahl an Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** in einem gemeinsamen Punkt schneiden, ein Vollkreis oder ein Kreissegment **13a** und **13b** detektierbar. Der gemeinsame Punkt, in welchem sich die Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** schneiden, stellt den Mittelpunkt **13a\*** oder **13b\*** des Kreises bzw. des Kreissegmentes dar. Also ist durch

diese Vorgehensweise die Position des Mittelpunkts **13a\*** und **13b\*** der Kreise **13a** und **13b** detektierbar.

**[0025]** Um nun den Radius des Kreises **13a** bzw. **13b** zu ermitteln, wird nun der Schritt des Abbildens der Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** auf einen gemeinsamen Punkt **13a\*** bzw. **13b\*** in einer modifizierten Art und Weise durchgeführt, nämlich so, dass jeder Gradientenvektor **13a''** und **13b''** mit einem vorbestimmten Radius skaliert werden. Dieser Radius entspricht einem vermuteten Radius des Kreises **13a** bzw. **13b**. Durch das Skalieren werden die Endpunkte der Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** ausgehend von dem relevanten Gradientenpunkt in Richtung der Gradientenvektoren **13a''** und **13b''** abgebildet. Wenn der zur Skalierung gewählte Radius so gewählt ist, dass dieser dem Radius des ursprünglichen Kreises **13a** (oder **13b**) entspricht, werden die Endpunkte in dem gemeinsamen Mittelpunkt **13a\*** (oder **13b\***) abgebildet und hier aufakkumuliert, wie anhand des Kreises **13a** dargestellt ist. Durch die Akkumulation mittels des Akkumulationsarrays **16a** kommt es zu der Ausbildung eines lokalen Maximums an dem Ort der Endpunkte, d.h. an dem Ort des Mittelpunkts **13a\***. Im Falle des Kreises **13b** entspricht der Radius bei der Skalierung nicht dem Radius des Kreises **13b**, so dass eine Abbildung in einem gemeinsamen Punkt nicht möglich ist. Hierzu müsste dann der Radius, welcher für die Skalierung genutzt wird, entsprechend vergrößert werden, bis sich alle relevanten Punkte **13b'** des Kreises **13b** in einem gemeinsamen Mittelpunkt **13b\*** treffen.

**[0026]** Bei großen Radien, wie beim Radius **13b** ist allerdings problematisch, dass aufgrund der Länge der Gradientenvektoren **13b''** eine Vielzahl an als relevant gekennzeichneten Punkt, also Bildpunkte **13b'** des Kreises **13b**, aber auch weitere nicht zum Kreis gehörende Punkte in den Mittelpunkt projiziert werden, so dass es zu lokalen Streuungseffekten bei der Abbildung der Endpunkte kommt. Infolge dessen wird anstelle eines eindeutigen Mittelpunkts **13b\*** ein Feld, in welchem der Mittelpunkt **13b\*** liegt, generiert. Hier kann dann im Nachgang z.B. mittels Gaußschen Filterns der exakte Mittelpunkt herausgefiltert werden, wobei jedoch gerade dieses Gauscher Filtern, wie auch die Vielzahl der Abbildungen der Gradientenvektoren **13b''** erheblichen Rechenaufwand erzeugt. Deshalb hat sich gezeigt, dass es aus Performance-sicht günstiger ist, für die Suche von großen Kreisen angepasste Akkumulatorarrays zu nutzen.

**[0027]** Die angepassten Akkumulatorarrays **16b** weisen gegenüber den ursprünglichen Akkumulatorarrays **16a** eine reduzierte Auflösung (hier:  $7 \times 7$ ) auf. D.h. also, dass das Ausgangsbild **12** bei dem Detektieren größerer Radien in ein Akkumulationarray **16b** mit reduzierter Auflösung abgebildet wird. Anhand des Vektorfelds **16b** ist zu erkennen, dass insbesondere der Kreis **13b** (vgl. relevante Punkte **13b'**

bzw. Gradientenvektoren **13b''** in den Gradientenbildern **14b**) im Vergleich zu den hochaufgelösten Akkumulatorarrays **16a** wesentlich eindeutiger abgebildet wird. Dies trifft insbesondere auf die Akkumulation der Endpunkte der Gradientenvektoren **16b''**, die bei richtiger Wahl des Radius zur Skalierung auf den Kreismittelpunkt **13b\*** abgebildet werden, zu. Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, dass allerdings kleine Radien in den Akkumulatorarrays **16b** mit der reduzierten Auflösung nicht so gut identifizierbar sind. Zusammenfassend ist also festzustellen, dass kleine Radien (bezogen auf den absoluten Wert) mittels hochaufgelösten Akkumulatorarrays **16a** bevorzugt zu detektieren sind, während große Kreisradien mittels Akkumulatorarrays **16b** mit reduzierter Auflösung bevorzugt zu detektieren sind.

**[0028]** Entsprechend Ausführungsbeispielen kann die Auflösungsreduktion der Arrays reziprok zu der absoluten Größe des gesuchten Kreisradius erfolgen. Somit kann beispielsweise dann auch die pixelweise Skalierung entlang der Gradientenvektoren **13a''** bzw. **13b''** mit dem gleichen Pixelsprung unabhängig von der gewählten Auflösung, also mit einer Skalierung entsprechend einem Einheitsradius (in Pixeln) bzw. Einheitsvektors (in Pixeln), z.B. **10** Pixel erfolgen.

**[0029]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen ist die Vorrichtung **10** dazu ausgebildet, lokale Akkumulationsmaxima zu erkennen, die den Mittelpunkt **13a\*** bzw. **13b\*** anzeigen. Hierbei sei angemerkt, dass das lokale Akkumulationsmaximum umso stärker ausgeprägt ist, je kleiner der Öffnungswinkel des Kreissegments ist.

**[0030]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen kann, um die obigen Effekte der lokalen Streuung weiter zu reduzieren, die Akkumulation bzw. die Detektion der lokalen Akkumulationsmaxima mittels einer  $n \times n$ , z.B. mittels einer  $2 \times 2$ -Matrix, erfolgen. Hierbei wird also dann das lokale Maximum anhand eines Summenwertes für  $n \times n$  nebeneinander quadratisch angeordnete Pixel ermittelt.

**[0031]** Entsprechend Ausführungsbeispielen ist die Vorrichtung **10** dazu ausgebildet, als Ausgangsinformationen eine Information über den detektierten Kreis,  $K_1(x,y,r)$  für den Kreis **13a** bzw.  $K_2(x,y,r)$  für den Kreis **13b** auszugeben. Diese Informationen umfassen jeweils die Koordinate des Kreismittelpunkts in x- und in y-Richtung sowie den zugehörigen Radius  $r$  des jeweiligen Kreises **13a** bzw. **13b**. Der Kreisradius  $r$  ist anhand dessen zu bestimmen, in welchem Akkumulationsarray, die eben bestimmten gesuchten Radien  $r$  zugeordnet sind, der jeweilige Kreis erkannt wurde.

**[0032]** Nachfolgend wird anhand von **Fig. 2** das zugehörige Verfahren bei der Detektion von Kreissegmenten beschrieben.

**[0033]** **Fig. 2** zeigt ein Flussdiagramm des Verfahrens **100** mit zwei Basisschritten **110** und **120**. Der Schritt **110** umfasst das Detektieren von Gradienten, so dass Gradientenvektoren erhalten werden, und wird, wie Bezug nehmend auf die **Fig. 1** bereits ausführlich erläutert wurde, beispielsweise unter Zuhilfenahme von vorbestimmten Schwellwerten für die Identifikation von relevanten Gradientenpunkten durchgeführt.

**[0034]** Der zweite Schritt **120** umfasst zwei Unterschritte **122** und **124**. Der Unterschritt **122** bezieht sich auf das Skalieren der Gradientenvektoren mit den jeweiligen (gesuchten) Radien. In einem nächsten Schritt **124** werden dann die resultierenden Endpunkte der jeweiligen skalierten Gradientenvektoren in der Mehrzahl der den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays aufakkumuliert. Entsprechend dem obigen Ausführungsbeispiel unterscheiden sich die mehreren Akkumulatorarrays in ihrer Auflösung, da die Auflösung umso geringer gewählt ist, je größer der jeweilige Radius ist.

**[0035]** Das Verfahren kann entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen einen zusätzlichen Schritt **130** des Ermitteln lokaler Akkumulationsmaxima der Vielzahl der Endpunkte in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays umfassen, wobei dieser Schritt nach dem Schritt **124** bzw. nach dem Schritt **120** angeordnet ist. Das Ergebnis des Verfahrens **100** kann also die Ausgabe eines detektierten Kreises oder auch detailliert die Information über die Position bzw. die Koordinate des Kreismittelpunkts des detektierten Kreises zusammen mit dem Radius sein (vgl. Ergebnisfeld  $K(x,y,r)$ ) sein.

**[0036]** Bezug nehmend auf **Fig. 3** wird nun ein detailliertes Ausführungsbeispiel der oben beschriebenen Vorrichtung erläutert, wobei Bezug nehmend auf **Fig. 3a** und **Fig. 3b** eine konventionelle Prozesskette und Bezug nehmend auf **Fig. 3c** und **Fig. 3d** eine Prozesskette entsprechend dem verbesserten Ansatz ausgeführt wird.

**[0037]** **Fig. 3a** zeigt eine Prozesskette **30** zur Verarbeitung eines Eingangsbildes **32** mit den Funktionseinheiten Gaußscher Filter **34**, Soebel-Filter **36**, Einheit zur Mittelpunktschätzung und Akkumulierung **38**, weiterer Gaußscher Weichzeichner **40** und Maximumdetektion **42**, so dass mittels dieser Prozesskette **30** ein Kreis detektiert werden kann und eine Detektionsinformation  $K(x,y,r)$  ausgegeben werden kann.

**[0038]** Ausgehend von dem Eingangsbild **32** wird dieses mit dem Gaußschen Filter **34** mit sehr kleinem Filterradius, z.B. Radius 1,0 (oder Radius zwischen

**0,1** und **10,0**), weichgezeichnet. In einem nächsten Schritt erfolgt mit einem Soebel-Operator **36** die Berechnung der Kantenintensität, also der Gradienten. Hierbei wird typischerweise die Kantenintensität sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung für jeden Bildpunkt bzw. jedes Pixel berechnet, so dass man einen Einheitsvektor zusammen mit dem Betrag (vgl. Gradientenvektor aus **Fig. 1**) erhält.

**[0039]** Entsprechend dem Stand-der-Technik-Verfahren wird nun ausgehend von den Gradienten mittels der Einheit **38** eine Mittelpunktschätzung für jeden zu detektierenden Kreisradius durchgeführt. Dies erfolgt mittels eines Akkumulatorarrays, das typischerweise gegenüber dem Eingangsbild dieselbe Bildgröße, also dieselbe Auflösung aufweist. Hierbei wird jeder Bildpunkt, dessen Betrag der Kantenintensität oberhalb einer Schwelle liegt, als Teil eines Kreises angenommen. Für jeden zu detektierenden Kreisradius wird jeweils die Akkumulationszelle, die sich aus der Pixelposition plus das Produkt von Kreisradius mal Einheitsvektor ergibt, um 1 erhöht, um so das Bild hinsichtlich des Vorhandenseins unterschiedlich großer Kreise zu untersuchen. Die Akkumulationszelle, die sich aus der Pixelposition minus das Produkt von Kreisradius mal dem Einheitsvektor ergibt, wird um 1 erniedrigt. Um nun die oben bereits angesprochenen Streuungen (resultierend aus fälschlicherweise als Teil eines Kreises angenommen relevanten Gradientenpunkten und/oder aus minimal falsch ermittelten Gradientenvektoren) zu eliminieren, erfolgt eine Glättung unter Zuhilfenahme eines weiteren Gaußschen Filters **40**, wobei hier der Radius im Vergleich zum Gaußschen Filter **34** wesentlich größer ist, z.B. Radius **10** bis **60**. Hierbei wird der Radius des Filters so gewählt, dass dieser dem Radius des zu detektierenden Kreises entspricht. Durch dieses Vorgehen ist es insbesondere für den Fall von großen Kreisradien, bei denen die Mittelpunktschätzung typischerweise durch Bildrauschen überlagert ist, möglich, das Bildrauschen durch die großen Filterradien zu kompensieren. Dieser Rechenschritt benötigt allerdings mindestens 90% der Rechenzeit und stellt daher ein großes Optimierungspotenzial dar.

**[0040]** In einem letzten Schritt erfolgt die Detektion der Betragsmaxima mittels der Einheit **42** in den Akkumulationsarrays. Das Akkumulationsmaximum gibt den Mittelpunkt des Kreises bei dem vorgegebenen Radius an. Somit ist das Ergebnis dieser Prozesskette **30** die detektierten Kreise mit einem bestimmten Radius inklusive Koordinate des Kreismittelpunkts. Wenn diese Prozesskette **30** bzw. die Bearbeitungseinheiten **38**, **40** und **42** für unterschiedliche Radien durchlaufen werden, können unterschiedlich große Kreise detektiert werden.

**[0041]** **Fig. 3b** illustriert die Verwendung von Akkumulatorarrays bei sechs Kreisradien. Ausgehend von

dem initialen Bild **32** werden nun die sechs Akkumulatorarrays **44a**, **44b**, **44c**, **44d**, **44e** und **44f**, welche für jeden Radius eine konstante Größe aufweisen, beschrieben. Hierdurch kann unabhängig von dem Kreisdurchmesser eine pixelgenaue Lokalisierung des Kreises erfolgen. Die Detektion der den zwei Verkehrsschildern zugeordneten Kreise ist insbesondere in den Akkumulatorarrays **44c** und **44d** anhand der punktförmig ausgebildeten lokalen Maxima (mit Einschränkung auch in dem Akkumulatorarray **44e**) möglich, da der hier eingesetzte Radius bei der Mittelpunktdetektion mit hinreichender Genauigkeit den Kreisradien der Schilder aus dem Bild **32** entspricht. Da allerdings der größte Anteil des Bildes **32** keine Kreise enthält, erfolgt auch die Nicht-Detektion der Kreise mit unnötig hoher Genauigkeit und folglich unnötigem Rechenaufwand. Wie oben bereits erläutert, ist insbesondere die Operation des zweiten Gaußschen Filters **40** für große Kreisradien sehr rechenintensiv. Basierend auf dieser Erkenntnis wird nun eine optimierte Prozesskette **50** gestaltet, die mit reduziertem Rechenaufwand die Kreisdetektion ermöglicht.

**[0042]** Fig. **3c** zeigt die optimierte Prozesskette **50**, wobei hier insbesondere die Einheiten **34**, **36** und **42** identisch zu der in Fig. **3a** vorgestellten Prozesskette **30** sind. Die Einheit **52** zur Mittelpunktschätzung und Mittelpunkttakkumulierung ist allerdings derart modifiziert, dass die Prozesskette ohne die zweite Gaußsche Filterung (vgl. Gaußscher Filter **40**) ausreichend gute Ergebnisse  $K(x,y,r)$  liefert. Hierbei wird bei der Mittelpunktschätzung bzw. Akkumulierung **52** anstelle von Akkumulationsarrays mit konstanter Größe Arrays, die mit den reziproken Werten der zu detektierenden Kreisdurchmesser skaliert sind, eingesetzt, wie bereits Bezug nehmend auf Fig. **1** erläutert wurde. Hierdurch kann der Speicherbedarf der Akkumulationsarrays in etwa halbiert werden. In den Mittelpunktschätzungen werden jeweils die einzelnen Akkumulatorzellen oder optional auch  $n \times n$ -Akkumulatorzellen (z.B.  $2 \times 2$ -Akkumulatorzellen) die sich aus der um den reziproken Wert korrigierten Pixelposition plus bzw. minus 1 Einheitswerte ergibt, um 1 erhöht bzw. erniedrigt. Durch die Veränderung der Akkumulatorzellen (oder der  $n \times n$ -Akkumulatorzellen) in Kombination mit den skalierten Akkumulatorarrays kann gegenüber dem Standardverfahren mit nur einer Änderung von einer ( $1 \times 1$ ) Akkumulatorzelle der Verarbeitungsschritt des zweiten Gaußschen Filters entfallen. Wie bereits angekündigt, ist die Maximumdetektion **42** weitgehend identisch mit der Bezug nehmend auf Fig. **3** beschriebenen Einheit **42**.

**[0043]** Das Ergebnis für die Akkumulierung für sechs verschiedene Kreisradien ist in Fig. **3d** exemplarisch für das bereits aus Fig. **3b** bekannte Eingangsbild **32** gezeigt. Wie zu erkennen ist, weist das Akkumulatorarray **44a'** dieselbe Auflösung wie das Akkumulatorarray **44a** bzw. wie das Eingangsbild **32** auf. Dieses Akkumulatorarray **44a'** dient zur Erkennung

von kleineren Kreisradien. Für größere Kreisradien werden die zunehmend niedriger aufgelösten Akkumulatorarrays **44b'**, **44c'**, **44d'**, **44e'** und **44f'** eingesetzt, so dass mit reduziertem Rechenaufwand die größeren Radien detektiert werden können. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Auflösungsreduzierung von dem Array **44a'** zu dem Array **44f'** anhand kleiner werdender Arraybilder illustriert ist, bei dem also die Pixelgröße gleich bleibt. Wie auch im obigen Ausführungsbeispiel sind die zwei Kreise, zugehörend zu den Schildern aus dem Eingangsbild **32**, bevorzugt in den Arrays **44c'** und **44d'** ermittelbar. Durch die Änderung an der Prozesskette bzw. der Auflösungsreduzierung bei größer werdenden gesuchten Radien, ergibt sich zwar eine Lokalisierungsungenauigkeit, die allerdings relativ zu dem Kreisdurchmesser für alle gesuchten Kreisradien konstant ist. Von einer anderen Seite betrachtet heißt das, dass bei dem Standardverfahren die Mittelpunkte für große Kreisdurchmesser (im Vergleich zu den Mittelpunkten für kleine Durchmesser) wesentlich genauer lokalisiert werden können, dies allerdings mit einem exponentiell hohen Rechenaufwand verbunden ist. Also stellt diese Lokalisierungsungenauigkeit, erzeugt durch die verbesserte Prozesskette **50**, für die praktische Anwendung keinen wirklichen Nachteil dar.

**[0044]** Bezug nehmend auf Fig. **1** sei angemerkt, dass die Vorrichtung **10** auch mehr als die dargestellten zwei Akkumulatorarrays mit unterschiedlich großer Auflösung, z.B.  $m$  Akkumulatorarrays für  $m$  unterschiedliche, gesuchte Kreisradien aufweisen kann.

**[0045]** Auch wenn teilweise anders dargestellt, sei angemerkt, dass die Auflösung des Arrays, genutzt für die die Skalierung mittels des kleinsten (zu suchenden Radius) nicht zwingend der nativen Auflösung entsprechen muss, also gegenüber der Ausgangsbild bereits reduziert sein kann.

**[0046]** Auch wenn in den obigen Ausführungen von Kreisdetektion gesprochen wurde, sei an dieser Stelle angemerkt, dass dies Verfahren allgemein für Kreissegmente, also nicht geschlossene Kreise analog eingesetzt werden kann. Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen kann die Vorrichtung auch ausgebildet sein, Kreise, welche nicht 100% symmetrisch sind, also ellipsenförmige Elemente zu detektieren, wenn die Abweichung von dem punktsymmetrischen Kreis nur unerheblich ist, also wenn beispielsweise eine Abweichung von  $\pm 30\%$  vorherrscht (Verhältnis der zwei Ellipsendiagonalen).

**[0047]** Entsprechend weiteren Ausführungsbeispielen dient die Kreissegmentdetektion zur Verkehrszeichenerkennung. Hierbei wird das Verkehrszeichen hinsichtlich der Form untersucht, um dieses in einem weiteren Prozessschritt zu den bekannten Klassen von runden Verkehrszeichen zuzuordnen.

**[0048]** Eine Erweiterung des Detektors auf weitere Verkehrszeichen z.B. achteckige, dreieckige oder rechteckige Verkehrszeichen ist ebenso möglich, wie im Folgenden ausgeführt wird. Das obige Prinzip der Auflösungsreduzierung von Akkumulatorarrays reziprok abhängig von der Größe der gesuchten geometrischen Form ist auf die Erkennung weiterer geometrischer Formen, insbesondere konvexer Formen, wie z.B. Dreiecke, Vierecke, Sechseck, Raute, Achtecke oder n-Ecke übertragbar. Hierbei ist es vorteilhaft, wenn die geometrischen Formen rotationsinvariant sind. Dies trifft beispielsweise auf gleichschenklige Dreiecke, Quadrate, gleichschenklige n-Ecke oder allgemein regelmäßige Polygone zu. Der Hintergrund hierzu ist, dass bei derartigen Formen eine Streckung der Gradientenvektoren mit einem Streckungsfaktor bzw. bei einer isotropen Streckung weiterhin in einem lokalen Maximum, das typischerweise in dem Schwerpunkt der geometrischen Form liegt, resultiert. Abhängig von der geometrischen Grundform kann das Maximum unterschiedliche Ausprägungen, wie z.B. eine Kreuzform bei einem Viereck oder eine Sternform bei einem Dreieck oder Polygon haben. Allen diesen Ausprägungen ist gemein, dass sie ein lokales punktförmiges Akkumulationsmaximum, z.B. durch den gemeinsamen Schnittpunkt der Akkumulationslinien ausbilden. Entsprechend dem obigen Ausführungsbeispiel ist dieses Akkumulationsmaximum dem Schwerpunkt der geometrischen Form zuzuordnen.

**[0049]** Nachfolgend wird die Detektion einer geometrischen Grundform bzw. eines Polygons exemplarisch anhand der Detektion eines Quadrats beschrieben. Entsprechend den obigen Ausführungsbeispielen wird z.B. unter Zuhilfenahme der Bildvorverarbeitungseinheiten auf Basis eines Originalbildes die Ermittlung der Gradienten und der zugehörigen Gradientenvektoren je Pixel durchgeführt. Bei einem Quadrat zeigen die Gradientenvektoren zu den jeweiligen Symmetrieachsen (Spiegelsymmetrie) bzw. allgemein zu dem Symmetriezentrum hin. Diese Gradientenvektoren werden, wie oben erläutert, in unterschiedlichen Akkumulatorarrays mit abnehmender Auflösung bei zunehmender Skalierungsstufe (Streckung) mit den entsprechenden Streckungsfaktoren, die je Array variieren, skaliert und die resultierenden Endpunkte akkumuliert. Insofern entsprechen hier die Streckungsfaktoren den obigen Ausführungsbeispielen zur Skalierung genutzten Radien. Wenn der Streckungsfaktor entsprechend gewählt ist bzw. - für das Ausführungsbeispiel „Quadrat“ - wenn der Streckungsfaktor der halben Kantenlänge entspricht, werden die resultierenden Endpunkte von zwei gegenüberliegenden (parallelen) Seitenlinien des Quadrats in eine gemeinsame Linie, nämlich die Spiegelsymmetrieachse, abgebildet und hier aufakkumuliert. Infolgedessen ergibt sich für den Fall Quadrat durch die zwei Kantenpaare ein kreuzförmiges Akkumulationsmaximum entlang der Symmetrieachsen in dem

Akkumulatorarray, welches der halben Seitenlänge des Quadrates entspricht, wobei sich die zwei Linien in einem Punkt, nämlich dem Schwerpunkt des Quadrates treffen und hier zu einem lokalen Maximum aufakkumuliert werden. Anhand dessen, in welchem Akkumulatorarray das lokale Maximum detektiert ist, kann der gesuchte Geometrieparameter, hier die Kantenlänge des Quadrats, ermittelt werden, da der Streckungsfaktor des das Maximum ausbildenden Arrays in Relation zu der Kantenlänge steht. Ferner ist anhand der Position des Maximums die Lage des geometrischen Objekts in dem Bild bestimmbar. Durch die Reduzierung der Auflösung der Akkumulatorarrays für größere geometrische Formen bilden sich die Akkumulationsmaxima wesentlich deutlicher aus, so dass auch hier keine nachträgliche Filterung notwendig ist. Die Gründe hierfür sind analog zu den oben Erläuterten. Entsprechend zusätzlichen Ausführungsbeispielen kann durch die Ausrichtung der Form des Akkumulationsmaximums ein Rückschluss auf die Ausrichtung bzw. die Orientierung der in dem Originalbild gesuchten Form gezogen werden. Insofern ist auch auf Basis des oben beschriebenen Verfahrens vorteilhafterweise, d.h. also mit reduziertem Ressourceneinsatz, eine Detektion eines Quadrates inklusive Position und Seitenlänge möglich. Übertragen auf den allgemeinen Fall des (regelmäßigen) Polygons kann also festgestellt werden, dass durch das oben beschriebene Verfahren sowohl der Schwerpunkt anhand der Maxima, wie auch ein weiterer Geometrieparameter der gesuchten Grundform (z.B. ein Größenparameter) detektierbar ist. In Summe heißt das also, dass die oben beschriebene Vorrichtung bzw. das oben beschriebene Verfahren auf weitere geometrische Grundformen erweiterbar ist, wobei dann statt dem Radius ein andere von der Geometrie der gesuchten Form abhängiger Streckungsfaktor zur Skalierung genutzt wird. Die Auflösung der unterschiedlichen Akkumulatorarrays hängt folglich ebenfalls von dem Streckungsfaktor ab. Entsprechend weiteren Anwendungen kann die Kreisdetektion auch für weitere Bild- und Videoanalyse-systeme, wie z.B. im Bereich der visuellen Objektuntersuchung genutzt werden.

**[0050]** Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, so dass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar. Einige oder alle der Verfahrensschritte können durch einen Hardware-Apparat (oder unter Verwendung eines Hardware-Apparats), wie zum Beispiel einen Mikropro-



zessor, einen programmierbaren Computer oder eine elektronische Schaltung ausgeführt werden. Bei einigen Ausführungsbeispielen können einige oder mehrere der wichtigsten Verfahrensschritte durch einen solchen Apparat ausgeführt werden.

**[0051]** Je nach bestimmten Implementierungsanforderungen können Ausführungsbeispiele der Erfindung in Hardware oder in Software implementiert sein. Die Implementierung kann unter Verwendung eines digitalen Speichermediums, beispielsweise einer Floppy-Disk, einer DVD, einer Blu-ray Disc, einer CD, eines ROM, eines PROM, eines EPROM, eines EEPROM oder eines FLASH-Speichers, einer Festplatte oder eines anderen magnetischen oder optischen Speichers durchgeführt werden, auf dem elektronisch lesbare Steuersignale gespeichert sind, die mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenwirken können oder zusammenwirken, dass das jeweilige Verfahren durchgeführt wird. Deshalb kann das digitale Speichermedium computerlesbar sein.

**[0052]** Manche Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung umfassen also einen Datenträger, der elektronisch lesbare Steuersignale aufweist, die in der Lage sind, mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenzuwirken, dass eines der hierin beschriebenen Verfahren durchgeführt wird.

**[0053]** Allgemein können Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung als Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode implementiert sein, wobei der Programmcode dahin gehend wirksam ist, eines der Verfahren durchzuführen, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer abläuft.

**[0054]** Der Programmcode kann beispielsweise auch auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert sein.

**[0055]** Andere Ausführungsbeispiele umfassen das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren, wobei das Computerprogramm auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist.

**[0056]** Mit anderen Worten ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens somit ein Computerprogramm, das einen Programmcode zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufweist, wenn das Computerprogramm auf einem Computer abläuft.

**[0057]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Verfahren ist somit ein Datenträger (oder ein digitales Speichermedium oder ein computerlesbares Medium), auf dem das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufgezeichnet ist.

**[0058]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist somit ein Datenstrom oder eine Sequenz von Signalen, der bzw. die das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren darstellt bzw. darstellen. Der Datenstrom oder die Sequenz von Signalen kann bzw. können beispielsweise dahin gehend konfiguriert sein, über eine Datenkommunikationsverbindung, beispielsweise über das Internet, transferiert zu werden.

**[0059]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst eine Verarbeitungseinrichtung, beispielsweise einen Computer oder ein programmierbares Logikbauelement, die dahin gehend konfiguriert oder angepasst ist, eines der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen.

**[0060]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst einen Computer, auf dem das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren installiert ist.

**[0061]** Ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung umfasst eine Vorrichtung oder ein System, die bzw. das ausgelegt ist, um ein Computerprogramm zur Durchführung zumindest eines der hierin beschriebenen Verfahren zu einem Empfänger zu übertragen. Die Übertragung kann beispielsweise elektronisch oder optisch erfolgen. Der Empfänger kann beispielsweise ein Computer, ein Mobilgerät, ein Speichergerät oder eine ähnliche Vorrichtung sein. Die Vorrichtung oder das System kann beispielsweise einen Datei-Server zur Übertragung des Computerprogramms zu dem Empfänger umfassen.

**[0062]** Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein programmierbares Logikbauelement (beispielsweise ein feldprogrammierbares Gatterarray, ein FPGA) dazu verwendet werden, manche oder alle Funktionalitäten der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein feldprogrammierbares Gatterarray mit einem Mikroprozessor zusammenwirken, um eines der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen. Allgemein werden die Verfahren bei einigen Ausführungsbeispielen seitens einer beliebigen Hardwarevorrichtung durchgeführt. Diese kann eine universell einsetzbare Hardware wie ein Computerprozessor (CPU) sein oder für das Verfahren spezifische Hardware, wie beispielsweise ein ASIC.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung (10, 50) zur Detektion von geometrischen Grundformen, die Vorrichtung (10, 50) ist ausgebildet, um Gradienten zu detektieren, sodass Gradientenvektoren (13a", 13b") erhalten werden; und

um die Gradientenvektoren (13a", 13b") mit jeweiligen Streckungsfaktoren zu skalieren und resultierende Endpunkte (13a\*, 13b\*) der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren (13a", 13b") in den den jeweiligen Streckungsfaktoren zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) zu akkumulieren, wobei eine Auflösung der Akkumulatorarrays (16a, 16b) umso geringer ist, je größer der jeweilige Streckungsfaktor ist.

2. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 1, wobei die Grundformen rotationsinvariant sind.

3. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei die Grundformen ein gleichseitiges Dreieck, Quadrat, gleichseitiges Achteck und/oder gleichseitiges Polygon umfassen.

4. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Streckungsfaktoren von einer Seitenlänge, halben Seitenlänge oder Diagonallänge der geometrischen Grundform abhängig ist.

5. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Vorrichtung (10, 50) ausgebildet ist, um in den den jeweiligen Streckungsfaktoren zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) ein lokales Akkumulationsmaximum einer Vielzahl der Endpunkte (13a\*, 13b\*) zu ermitteln.

6. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 5, wobei eine Position des ermittelten lokalen Akkumulationsmaximums in einem der den jeweiligen Streckungsfaktoren zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) einem Schwerpunkt der detektierten Grundform (13a, 13b) entspricht.

7. Vorrichtung (10, 50) zur Kreissegmentdetektion, die Vorrichtung (10, 50) ist ausgebildet, um Gradienten zu detektieren, sodass Gradientenvektoren (13a", 13b") erhalten werden; und um die Gradientenvektoren (13a", 13b") mit jeweiligen Radien zu skalieren und resultierende Endpunkte (13a\*, 13b\*) der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren (13a", 13b") in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) zu akkumulieren, wobei eine Auflösung der Akkumulatorarrays (16a, 16b) umso geringer ist, je größer der jeweilige Radius ist.

8. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 7, wobei die Vorrichtung (10, 50) ausgebildet ist, um in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) ein lokales Akkumulationsmaximum einer Vielzahl der Endpunkte (13a\*, 13b\*) zu ermitteln.

9. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 8, wobei anhand von einem lokalen Akkumulationsmaximum

ein Kreissegment oder ein Vollkreis (13a, 13b) detektierbar ist.

10. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 9, wobei eine Position des ermittelten lokalen Akkumulationsmaximums in einem der den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) einem Mittelpunkt des detektierten Kreissegments oder des detektierten Vollkreises (13a, 13b) entspricht.

11. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 9 oder 10, wobei der jeweilige dem Akkumulatorarray (16a, 16b) zugeordnete Radius des Akkumulatorarrays (16a, 16b), in welchem das lokale Akkumulationsmaximum detektiert ist, einem Radius des detektierten Kreissegments oder des detektierten Vollkreises (13a, 13b) entspricht.

12. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Auflösung der Akkumulatorarrays (16a, 16b) um einen reziproken Wert der zugeordneten Radien oder Streckungsfaktoren reduziert ist.

13. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Vorrichtung (10, 50) ausgebildet ist, um beim Detektieren der Gradienten relevante Gradientenpunkte (13a', 13b'), für die die Gradientenvektoren (13a", 13b") erhalten werden, zu ermitteln.

14. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 13, wobei ein Gradientenpunkt (13a', 13b'), relevant ist, wenn der Betrag des Gradientenvektors (13a", 13b") größer als ein vorgegebener Schwellwert ist.

15. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 5, 6, 8 bis 14, wobei das lokale Akkumulationsmaximum für eine  $n \times n$  Akkumulationszelle mit  $n > 1$  ermittelt wird.

16. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 15, wobei die Vorrichtung (10, 50) ausgebildet ist, um das Kreissegment oder ein Vollkreis (13a, 13b) einem Verkehrsschild in einem Ausgangsbild (12, 32), aus welchem die Gradienten resultieren, zuzuordnen.

17. Vorrichtung (10, 50) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Vorrichtung (10, 50) Mittel zur Bildvorverarbeitung (34, 36) umfasst, die ausgebildet sind, um auf Basis eines Ausgangsbildes (12, 32) die Gradienten zu ermitteln.

18. Vorrichtung (10, 50) gemäß Anspruch 17, wobei die Mittel zur Bildvorverarbeitung (34, 36) einen Gaußschen Weichzeichner (34) und/oder einen Sobel-Filter (36) umfassen.

19. Verfahren (100) zur Kreissegmentdetektion, mit folgenden Schritten, Detektieren von Gradienten, sodass Gradientenvektoren (13a", 13b") erhalten werden; und Skalieren (122) der Gradientenvektoren (13a", 13b") mit jeweiligen Radien und Akkumulieren (124) der resultierenden Endpunkte (13a\*, 13b\*) der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren (13a", 13b") in den den jeweiligen Radien zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b), wobei eine Auflösung der Akkumulatorarrays (16a, 16b) umso geringer ist, je größer der jeweilige Radius ist.

20. Verfahren (100) zur Detektion von geometrischen Grundformen, mit folgenden Schritten, Detektieren von Gradienten, sodass Gradientenvektoren (13a", 13b") erhalten werden; und Skalieren (122) der Gradientenvektoren (13a", 13b") mit jeweiligen Streckungsfaktoren und Akkumulieren (124) der resultierenden Endpunkte (13a\*, 13b\*) der jeweiligen, skalierten Gradientenvektoren (13a", 13b) in den den jeweiligen Streckungsfaktoren zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b), wobei eine Auflösung der Akkumulatorarrays (16a, 16b) umso geringer ist, je größer der jeweilige Streckungsfaktor ist.

21. Verfahren (100) gemäß Anspruch 19 oder 20, wobei das Verfahren (100) den Schritt des Ermitteln (130) eines lokalen Akkumulationsmaximums einer Vielzahl der Endpunkte in den den jeweiligen Radien oder Streckungsfaktoren zugeordneten Akkumulatorarrays (16a, 16b) umfasst.

22. Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens (100) nach einem der Ansprüche 19 bis 21, wenn das Programm auf einem Computer abläuft.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

$K_1(x, y, r)$   
 $K_2(x, y, r)$

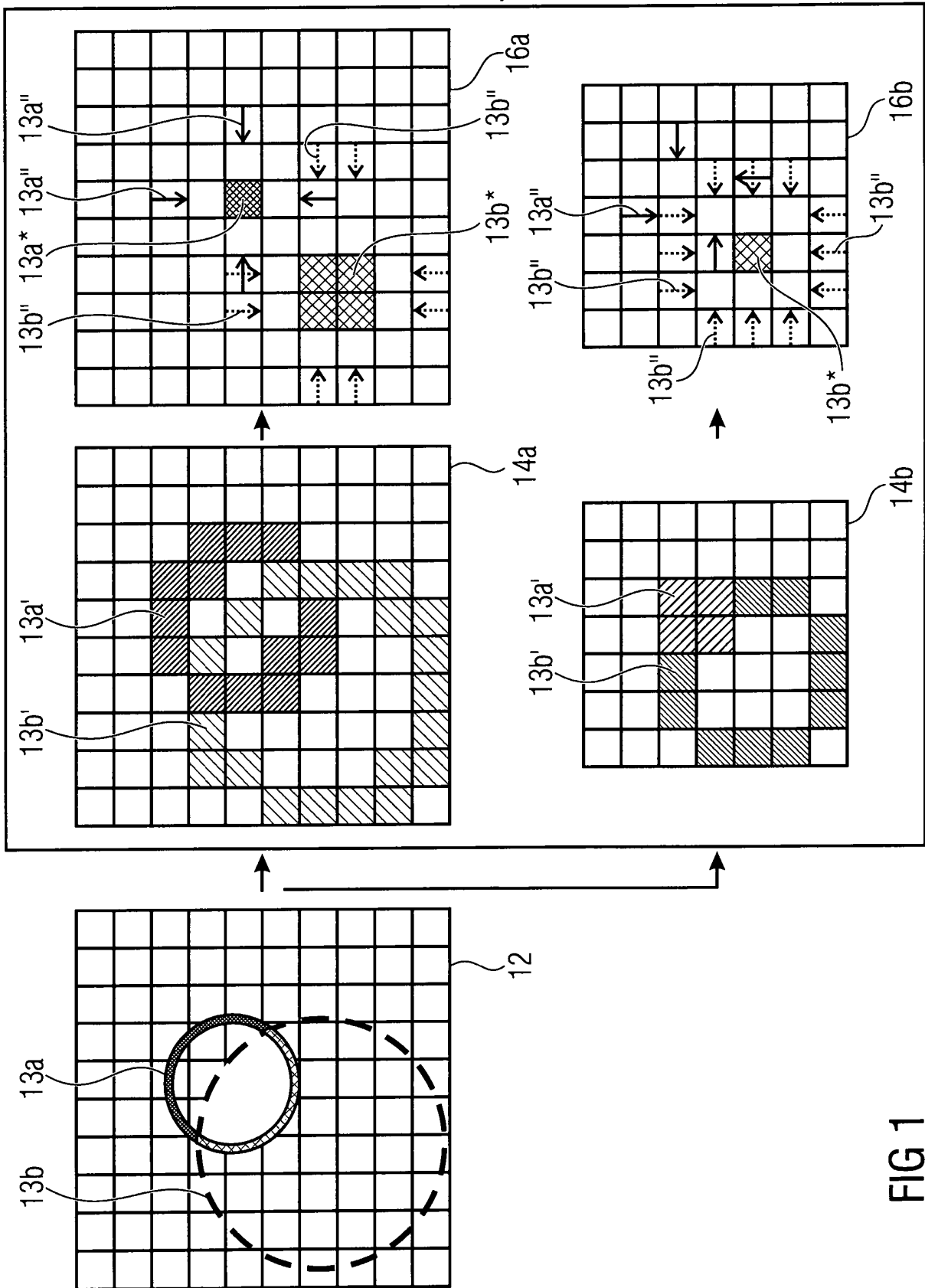
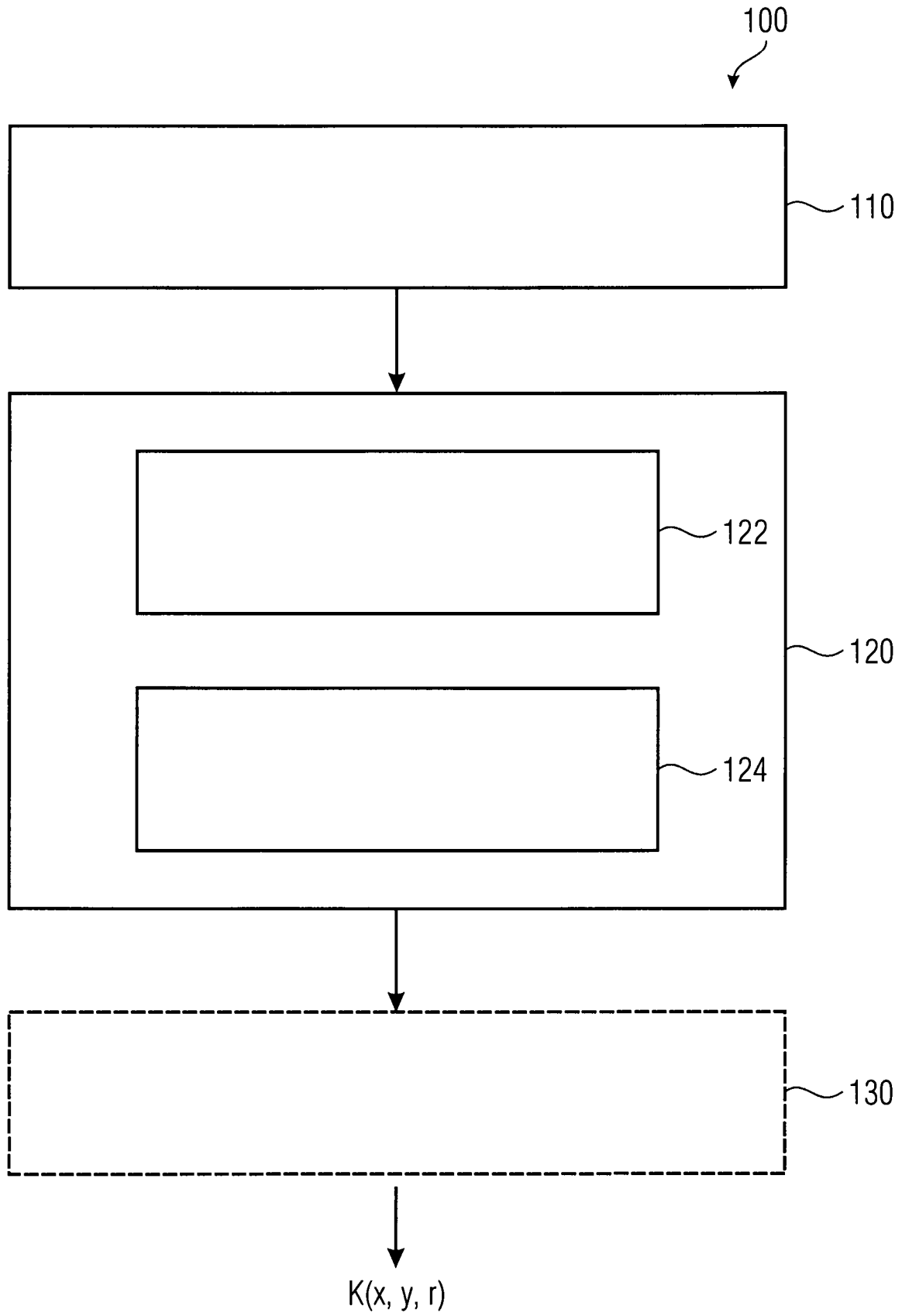


FIG 1



**FIG 2**

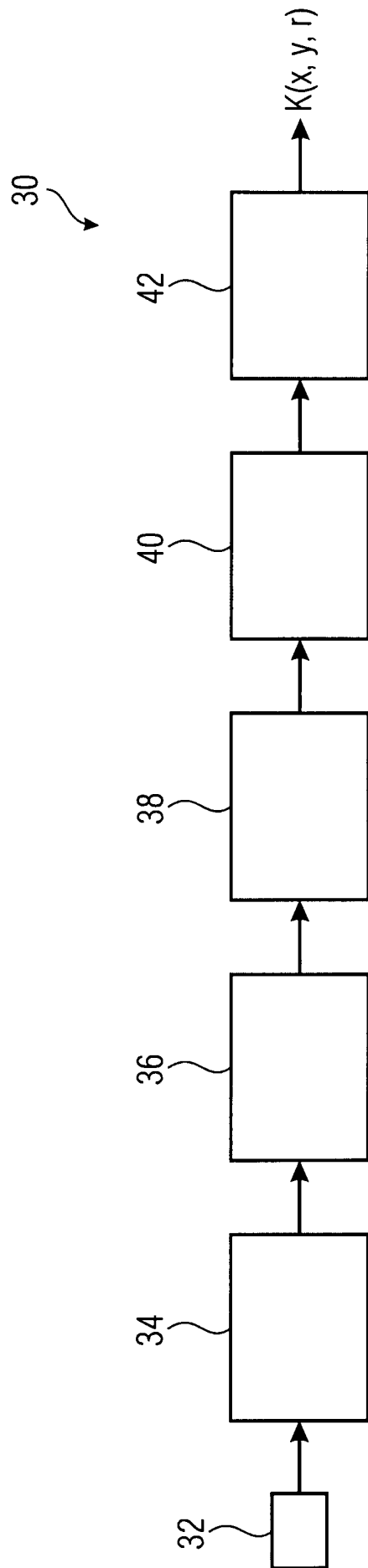


FIG 3A

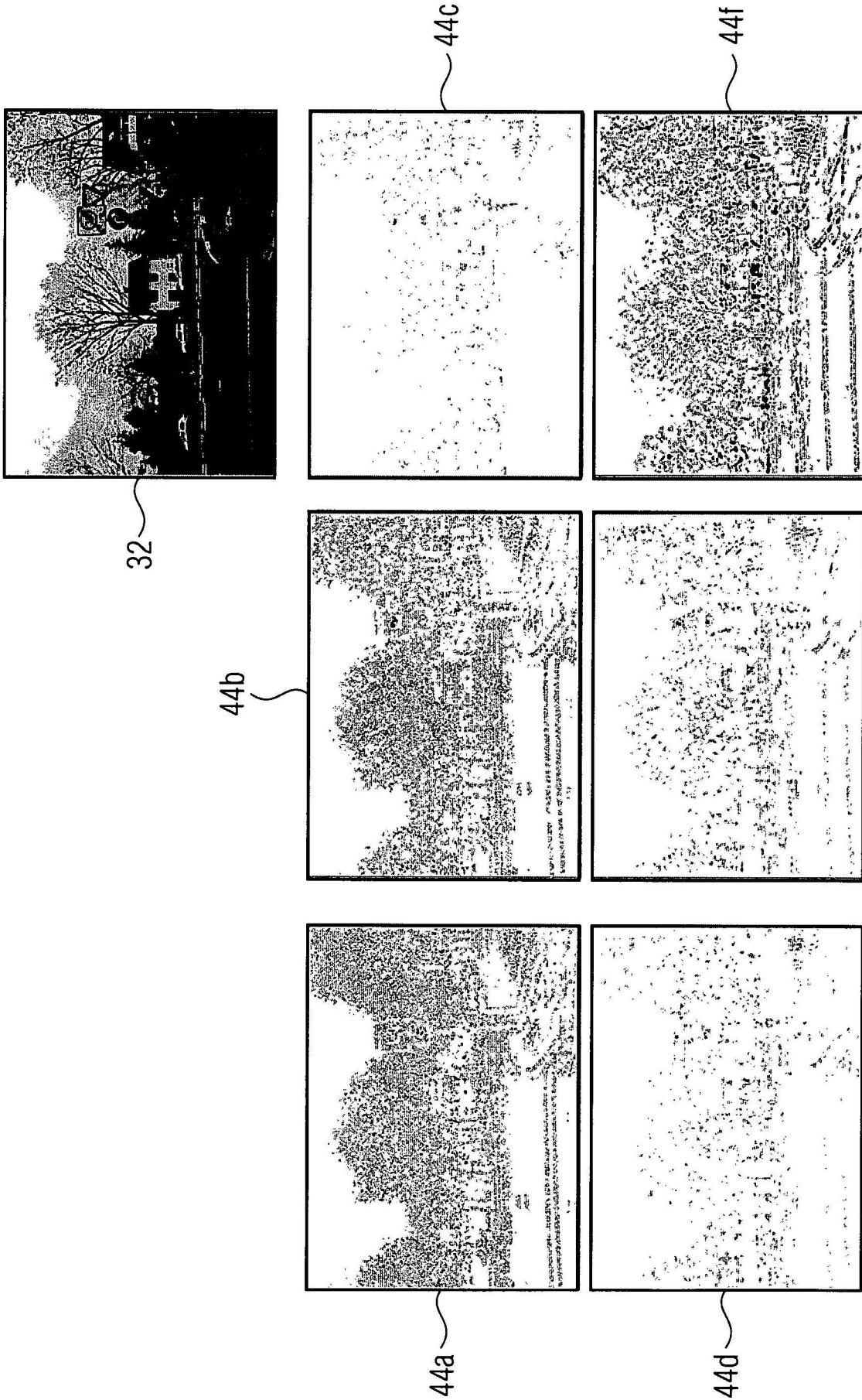


FIG 3B

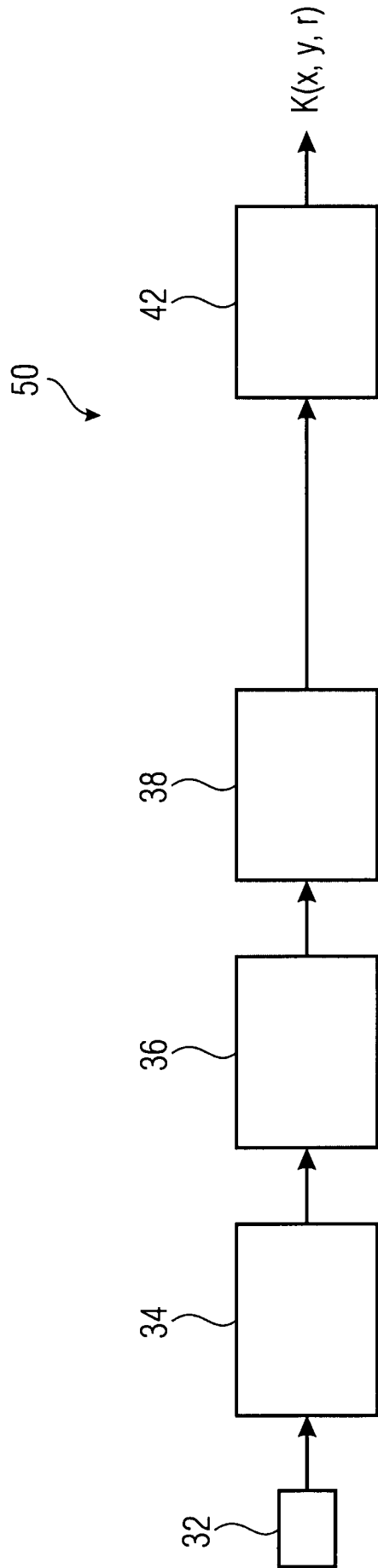


FIG 3C



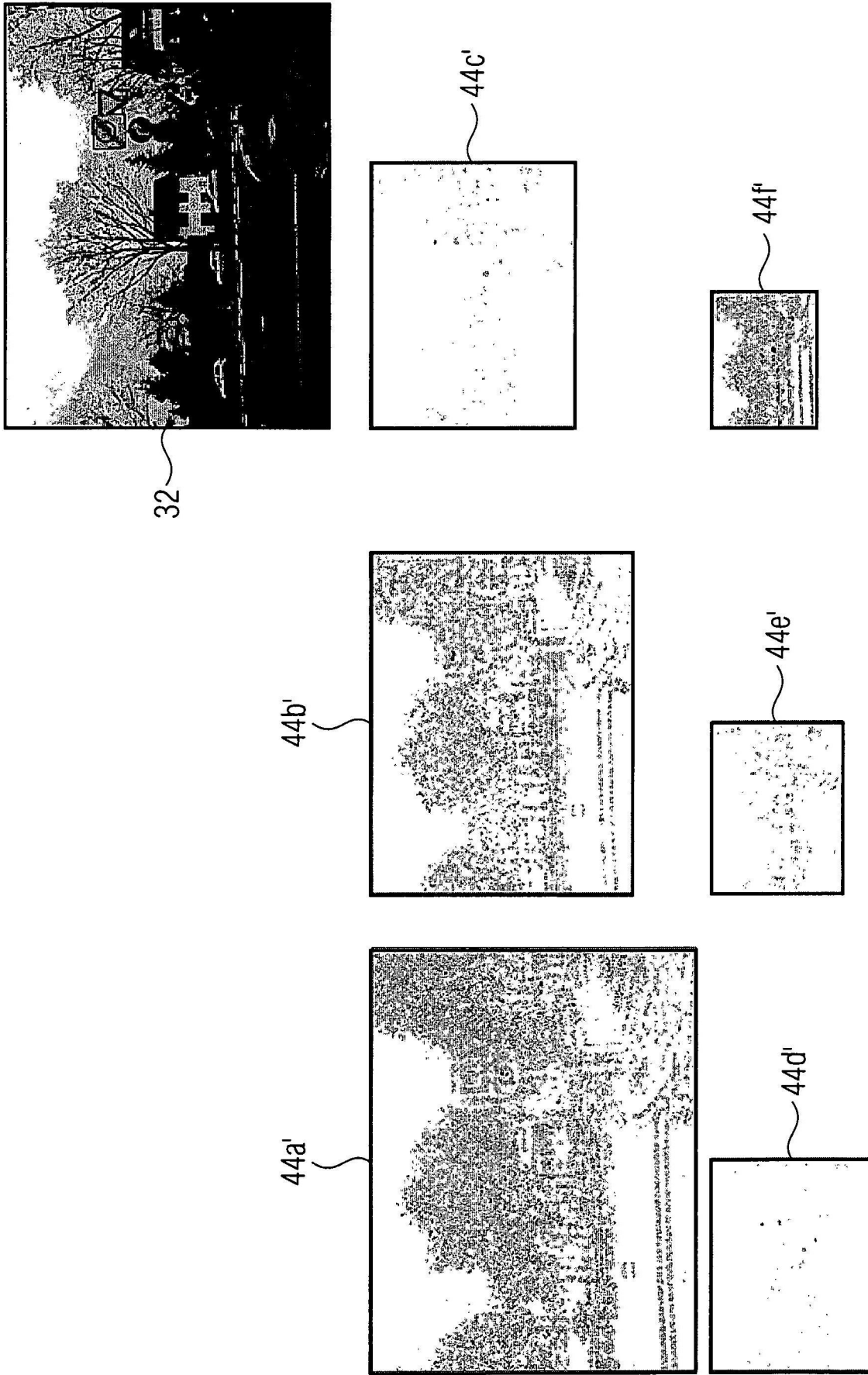


FIG 3D