



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 602 21 757 T2 2008.05.15

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 288 855 B1

(51) Int Cl.⁸: G06T 3/40 (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: 602 21 757.1

(96) Europäisches Aktenzeichen: 02 013 003.5

(96) Europäischer Anmeldetag: 12.06.2002

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 05.03.2003

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 15.08.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 15.05.2008

(30) Unionspriorität:
938438 23.08.2001 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, GB

(73) Patentinhaber:
Agilent Technologies, Inc. (n.d.Ges.d. Staates Delaware), Santa Clara, Calif., US

(72) Erfinder:
Baharav, Izhak, San Jose, CA 95124, US; Kakarala, Ramakrishna, Sunnyvale, CA 94086, US; Vook, Dietrich W., Menlo Park, CA 94025, US

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 80336 München

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur gleichzeitigen Entfernung des Mosaikeffekts und Größenänderung von Rohbilddaten**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**ERFINDUNGSGEBIET**

[0001] Die Erfindung betrifft im allgemeinen das Gebiet der Bildverarbeitung und genauer ein System und Verfahren zum Auflösen der Mosaikstruktur („Demosaicing“) und zur Skalierung von Rohdaten-Mosaikbildern.

ERFINDUNGSHINTERGRUND

[0002] Digitale Farbkameras sind im Konsumgütermarkt zunehmend allgegenwärtig, teilweise wegen fortschreitender Preissenkungen. Digitale Farbkameras verwenden üblicherweise einen einzelnen optischen Sensor, entweder einen ladungsgekoppelten Sensor (CCD-Sensor) oder einen Komplementär-Metall-Oxid-Halbleiter-Sensor (CMOS-Sensor), um einen Ausschnitt von Interesse einzufangen. So-wohl CCD- als auch CMOS-Sensoren sind nur für Lichtintensität empfindlich. Daher können diese Sensoren nicht zwischen unterschiedlichen Farben unterscheiden. Um eine Farbunterscheidung zu erreichen, wird eine Farbfiltertechnik angewandt, um das Licht hinsichtlich der Grundfarben aufzuteilen, üblicherweise Rot, Grün und Blau.

[0003] Eine verbreitete Filtertechnik verwendet einen Farbfilter-Array (CFA), welcher über einen Sensorarray gelegt wird, um Farben von dem einfallenden Licht in einem Bayer-Muster zu trennen. Das Bayer-Muster ist ein periodisches Muster mit einer Periode von zwei unterschiedlichen Farbpixeln in jeder Dimension (vertikal und horizontal). In der horizontalen Richtung umfaßt eine einzelne Periode entweder ein grünes Pixel und ein rotes Pixel oder ein blaues Pixel und ein grünes Pixel. In der vertikalen Richtung umfaßt eine einzelne Periode entweder ein grünes Pixel und ein blaues Pixel oder ein rotes Pixel und ein grünes Pixel. Daher ist die Anzahl von grünen Pixeln doppelt so groß wie die Anzahl der roten oder der blauen Pixel. Der Grund für die Disparität der Anzahl der grünen Pixel liegt darin, daß das menschliche Auge nicht gleich empfindlich für alle drei Primärfarben ist. Daher werden mehr grüne Pixel benötigt, um ein Farbbild eines Ausschnitts zu erzeugen, welches als ein „Echtfarben-Bild“ wahrgenommen wird.

[0004] Aufgrund der CFA ist das Bild, welches von dem Sensor erfaßt wird, demnach ein Mosaikbild, welches auch als „Rohdatenbild“ bezeichnet wird, bei dem jedes Pixel nur den Wert für entweder Rot, Grün oder Blau trägt. Bei dem Rohdatenbild kann dann die Mosaikstruktur aufgelöst werden, um ein Farbbild zu erzeugen, indem fehlende Farbwerte für jedes Pixel des Bildes geschätzt werden. Diese fehlenden Farbwerte werden geschätzt, indem Farbinformation von den umgebenden Pixeln verwendet wird.

[0005] Es gibt eine Anzahl von gängigen Verfahren zur Auflösung der Mosaikstruktur, um ein Rohdatenbild in ein Farbbild umzuwandeln. Drei gängige Hauptkategorien von Verfahren zur Auflösung der Mosaikstruktur umfassen interpolationsbasierte Verfahren, merkmalbasierte Verfahren und Bayessche Verfahren. Die interpolationsbasierten Verfahren zur Auflösung der Mosaikstruktur verwenden einfache Interpolationsformeln, um die Farbbebenen getrennt zu interpolieren. Die interpolationsbasierten Verfahren zur Auflösung der Mosaikstruktur umfassen bilineare Verfahren, bandbegrenzte Interpolationsverfahren unter Verwendung von sinc()-Funktionen, Spline-Interpolationsverfahren und ähnliches. Die merkmalbasierten Verfahren zur Auflösung der Mosaikstruktur untersuchen lokale Merkmale eines gegebenen Bildes auf der Pixelebene und interpolieren das Bild dann demgemäß. Die Grundidee der merkmalbasierten Verfahren liegt darin, Interpolation durch Kanten von Merkmalen zu vermeiden. Die Bayesschen Verfahren versuchen, das wahrscheinlichste Farbbild für die Daten zu finden, indem eine gewisse Vorabinformation über die Bildstruktur angenommen wird.

[0006] Nachdem die Mosaikstruktur der Rohdatenbilder aufgelöst wurde, können die Bilder für eine bestimmte Anwendung skaliert werden. Als Beispiel können die Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur verkleinert werden, um zu gewährleisten, daß die Bilder korrekt über einen Kommunikationskanal mit einer vorher definierten Bandbreite für Videokonferenzen übertragen werden. Als ein anderes Beispiel können die Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur verkleinert werden, um Thumbnail-Bilder der erfaßten Bilder zur Vorschau für den Nutzer bereitzustellen. Es gibt eine Anzahl von herkömmlichen Verfahren, um ein Bild in ein kleineres Bild zu skalieren. Ein verbreitetes Verfahren umfaßt das Erzeugen einer kleineren Version des Originalbildes, wobei jedes Pixel in dem kleineren Bild die Farbwerte des nächstgelegenen Pixels in dem Originalbild erhält. Ein anderes verbreitetes Verfahren umfaßt die Tiefpaß-Filterung oder Interpolation des Originalbildes und anschließend die Verkleinerung des Bildes mit der geeigneten Rate, um ein kleineres Bild herzustellen. Die Tiefpaß-Filterung oder Interpolation verringert das Aliasing im Verkleinerungsschritt.

[0007] WO 00/19728 offenbart ein Verfahren zum Auflösen der Mosaikstruktur eines Mosaikbildes, bei dem ein Super-Pixel erzeugt wird, welches eine abwärtseskalierte Version der zu skalierenden Region ist, wobei das Super-Pixel voll farbinterpoliert ist und das Abwärtskalieren und Farbinterpolieren in einer integrierten Weise erreicht werden.

[0008] W. J. Song et al.: „Edge-preserving noise filtering based an adaptive windowing“, IEEE Transactions on Circuits and Systems, IEEE Inc., New York,

USA, Vol. 35, Nr. 8, August 1988; Seiten 1048-1055 offenbart kantenerhaltende Rauschfilterung, basierend auf adaptiver Ausschnitt- bzw. Fensterdarstellung „adaptive windowing“. Bei der Aufgabe, ein verrausches eindimensionales Testsignal und ein verrausches zweidimensionales Bild wiederherzustellen, werden Mittelwert-, Median- und MMSE-Filter mit festen und adaptiven Fensterimplementierungen verglichen. Es wurde entdeckt, daß Filter mit adaptiven Fenstern überlegen sind. Bei der adaptiven Filterung variiert die Bildgröße für jeden Filterpunkt. Das Bild wird abhängig von dem berechneten Wert des Signal-Aktivitätsindex, der mit einem adaptiven Schwellenwert verglichen wird, vergrößert oder verkleinert.

[0009] Obwohl die herkömmlichen Verfahren zum getrennten Auflösen der Mosaikstruktur eines Rohdatenbildes und Skalieren der Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur gut funktionieren, um skalierte Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur herzustellen, gibt es einen Bedarf nach einem System und Verfahren zum noch effizienteren Auflösen der Mosaikstruktur und zur Skalierung von Rohdatenbildern, um die skalierten Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur herzustellen.

ERFINDUNGSABRISS

[0010] Ein System und Verfahren zur Verarbeitung von Mosaik- oder Rohdatenbildern arbeitet, um in einem kombinierten Prozeß gleichzeitig die Mosaikstruktur der Mosaikbilder aufzulösen und sie zu skalieren. Das Verfahren zur kombinierten Auflösung der Mosaikstruktur und Skalierung erlaubt es, daß das System das Auflösen der Mosaikstruktur und das Skalieren effizienter als herkömmliche Systeme durchführt, welche diese Vorgänge getrennt und sequentiell durchführen. Weiter erlaubt es das Verfahren zur kombinierten Auflösung der Mosaikstruktur und Skalierung, daß das System skalierte Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur von höherer Qualität herstellt, verglichen mit skalierten Bildern mit aufgelöster Mosaikstruktur, welche von herkömmlichen Systemen hergestellt werden.

[0011] Ein Verfahren nach der vorliegenden Erfindung umfaßt das Erhalten eines Mosaikbildes, welches nachfolgend skaliert werden soll und dessen Mosaikstruktur aufgelöst werden soll. Das Mosaikbild wird dann in Bildblöcke unterteilt, die sequentiell verarbeitet werden. Für jeden Bildblock des Mosaikbildes werden vorher definierte Indikatoren berechnet. In einer Ausführung werden die berechneten Indikatoren durch statistische Indikatoren gebildet, wie etwa die Varianzen der R-, B-, G1- und G2-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock. In einer anderen Ausführung werden die berechneten Indikatoren durch merkmalbasierte Indikatoren gebildet, wie etwa die Gradienten der R-, B- und G-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock. Nachfolgend werden die Mittelwerte

der R-, B- und G-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock berechnet.

[0012] Wenn irgendeiner der berechneten Indikatoren einen vorher definierten Schwellenwert übersteigt, wird der aktuelle Bildblock halbiert, um einen neuen aktuellen Bildblock zu herzustellen, welcher durch eine der Hälften des aktuellen Bildblöcke gebildet wird. Der neue aktuelle Bildblock wird dann auf die gleiche Weise verarbeitet wie der letzte aktuelle Bildblock. Wenn jedoch keiner der berechneten Indikatoren den vorher definierten Schwellenwert übersteigt, werden die berechneten Mittelwerte des aktuellen Bildblocks in ein Pixel des endgültigen Bildes eingebettet, welches ein skaliertes Bild mit aufgelöster Mosaikstruktur des Mosaikbildes ist.

[0013] Ein System nach der Erfindung umfaßt eine Bild-Pipelineeinheit, welche ein Mosaikbild empfängt, das nachfolgend skaliert werden soll und dessen Mosaikstruktur nachfolgend aufgelöst werden soll. Das Mosaikbild kann von einer Bilderfassungseinheit des Systems empfangen werden, welche einen Ausschnitt (Szene) von Interesse als ein Mosaikbild elektronisch erfaßt. Die Bild-Pipelineeinheit umfaßt ein Bild-Unterteilungsmodul, welches das Mosaikbild in Bildblöcke unterteilt. Die Bild-Pipelineeinheit umfaßt auch einen Indikator-Berechner, einen Prozessor und einen Farb-Einfüger. Für jeden Bildblock des Mosaikbildes werden durch den Indikator-Berechner vorher definierte Indikatoren berechnet. In einer Ausführung werden die berechneten Indikatoren durch statistische Indikatoren gebildet, wie etwa die Varianzen der R-, B-, G1- und G2-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock. In einer anderen Ausführung werden die berechneten Indikatoren durch merkmalbasierte Indikatoren gebildet, wie etwa die Gradienten der R-, B- und G-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock. Zusätzlich werden für jeden Bildblock des Mosaikbildes die Mittelwerte der R-, B- und G-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock durch den Farb-Einfüger berechnet.

[0014] Für einen gegebenen Bildblock ermittelt der Prozessor, ob irgendeiner der berechneten Indikatoren einen vorher definierten Schwellenwert übersteigt. Wenn dies so ist, wird der aktuelle Bildblock halbiert, um einen neuen aktuellen Bildblock herzustellen, welcher von einer der Hälften des aktuellen Bildblocks gebildet wird. Der neue aktuelle Bildblock wird dann auf die gleiche Weise verarbeitet wie der letzte aktuelle Bildblock. Wenn jedoch keiner der berechneten Indikatoren den vorher definierten Schwellenwert übersteigt, werden die berechneten Mittelwerte des aktuellen Bildblocks in ein Pixel des endgültigen Bildes eingebettet.

[0015] Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, daß das Verfahren zur kombinierten Auflösung der Mosaikstruktur und Skalierung die Effizienz der Auflösung der Mosaikstruktur und Skalierung erhöht. Zusätzlich

kann die Bildqualität des resultierenden skalierten Bildes mit aufgelöster Mosaikstruktur wesentlich besser sein als bei skalierten Bildern mit aufgelöster Mosaikstruktur von herkömmlichen Systemen und Verfahren.

[0016] Andere Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung, zusammengekommen mit den beigefügten Zeichnungen, die als ein Beispiel der Prinzipien der Erfindung dargestellt werden, deutlich werden.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0017] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm eines Bildverarbeitungssystems nach einer ersten Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0018] [Fig. 2A](#) stellt das Bayer-Muster von Farbwerten in einem Mosaikbild dar.

[0019] [Fig. 2B](#) stellt die unterschiedlichen Farbbebenen eines Mosaikbildes mit Bayer-Muster dar.

[0020] [Fig. 3](#) ist ein Verfahrens-Flußdiagramm des Vorgangs zum Auflösen der Mosaikstruktur und zur Skalierung des Bildverarbeitungssystems von [Fig. 1](#).

[0021] [Fig. 4A](#) stellt einen unterteilten 8×8-Bildblock eines Mosaikbildes dar.

[0022] [Fig. 4B](#) stellt einen unterteilten 8×8-Bildblock eines Mosaikbildes dar, welcher vertikal halbiert wurde.

[0023] [Fig. 4C](#) stellt einen unterteilten 8×8-Bildblock eines Mosaikbildes dar, welcher horizontal halbiert wurde.

[0024] [Fig. 4D](#) stellt einen unterteilten 4×8-Bildblock eines Mosaikbildes dar, welcher horizontal halbiert wurde.

[0025] [Fig. 4E](#) stellt einen unterteilten 8×4-Bildblock eines Mosaikbildes dar, welcher vertikal halbiert wurde.

[0026] [Fig. 4F](#) stellt einen 2×2-Bildblock eines Mosaikbildes dar.

[0027] [Fig. 5](#) ist ein Blockdiagramm eines Bildverarbeitungssystems nach einer zweiten Ausführung der vorliegenden Erfindung.

[0028] [Fig. 6](#) ist ein Verfahrens-Flußdiagramm des Vorgangs zum Auflösen der Mosaikstruktur und zur Skalierung des Bildverarbeitungssystems von [Fig. 5](#).

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0029] Mit Bezug auf [Fig. 1](#) wird ein Bildverarbeitungssystem **100** nach einer ersten Ausführung der Erfindung gezeigt. Das Bildverarbeitungssystem arbeitet, um einen Ausschnitt von Interesse als ein Mosaikbild oder ein Rohdatenbild zu erfassen und dann gleichzeitig die Mosaikstruktur des Mosaikbildes aufzulösen und es zu skalieren, was die Effizienz des Systems steigert und die Qualität des resultierenden skalierten Bildes mit aufgelöster Mosaikstruktur verbessert.

[0030] Das Bildverarbeitungssystem **100** umfaßt eine Bilderfassungseinheit **102**, eine Bild-Pipelineeinheit **104**, eine Speichereinheit **106** und eine Beobachtungsvorrichtung **108**. Die Bilderfassungseinheit **102** des Systems arbeitet, um einen Ausschnitt von Interesse in Form eines Mosaikbildes oder eines Rohdatenbildes zu erfassen. Die Bilderfassungseinheit umfaßt einen elektronischen Sensor und einen Farbfilter-Array (CFA). Der elektronische Sensor kann durch einen ladungsgekoppelten Sensor (CCD-Sensor) oder einen Komplementär-Metall-Oxid-Halbleiter-Sensor (CMOS-Sensor) oder irgendeine andere Art von lichtempfindlichem Sensor gebildet werden. In einer beispielhaften Ausführung umfaßt der CFA Rot(R)-, Grün(G)- und Blau(B)-Filter, die in einem Bayer-Filter-Muster angeordnet sind. Der CFA kann jedoch Filter anderer Farben umfassen, welche in einem anderen Muster angeordnet sind. Der CFA erlaubt es nur Licht einer bestimmten Farbe, an ein jedes der lichtempfindlichen Elemente des Sensors übertragen zu werden. Somit besteht ein digitales Bild, welches von der Bilderfassungseinheit erfaßt wird, aus einem Mosaikbild, welches aus einfarbigen Pixeln gebildet wird, die in einem Farbmuster in Übereinstimmung mit dem Filtermuster des CFA angeordnet sind. Daher weist jedes Pixel des Mosaikbildes nur einen Intensitätswert für eine einzige Farbe auf, z. B. R, G oder B. Ein Ausschnitt eines Mosaikbildes in einem Bayer-Muster wird in [Fig. 2A](#) dargestellt.

[0031] In der beispielhaften Ausführung fehlen, da jedes der Pixel eines Mosaikbildes einen Intensitätswert für nur eine Farbe aufweist, jedem der Pixel Intensitätswerte für die anderen beiden Farben, welche benötigt werden, um ein Bild mit aufgelöster Mosaikstruktur, oder Farbbild, herzustellen. Wie in [Fig. 2A](#) dargestellt ist, werden die G-farbigen Pixel eines Mosaikbildes entweder als G1 oder als G2 angezeigt, was zwei unterschiedliche Arten von G-farbigen Pixeln repräsentiert. Daher kann das Mosaikbild von [Fig. 2A](#) mit Bezug auf vier Farbkomponenten, R, G1, G2 und B, zerlegt werden, wie in [Fig. 2B](#) dargestellt ist. Diese Zerlegungen eines Mosaikbildes werden hier manchmal als G1-Ebene **202**, G2-Ebene **204**, R-Ebene **206** und B-Ebene **208** bezeichnet. Die G1- und die G2-Ebene werden hier zusammen als

G-Ebene bezeichnet.

[0032] Betrachtet man wieder [Fig. 1](#), so ist die Bild-Pipelineeinheit **104** des Bildverarbeitungssystems **100** mit der Bilderfassungseinheit **102** verbunden, um die Mosaikbilder zu empfangen, welche von der Bilderfassungseinheit erfaßt wurden. Die Bild-Pipelineeinheit hat die Funktion verkleinerte Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur aus den Mosaikbildern zu erzeugen. Die verkleinerten Bilder mit aufgelöster Mosaikstruktur werden hier manchmal als Ergebnisbilder bezeichnet. Die Bild-Pipelineeinheit umfaßt ein Bild-Unterteilungsmodul **106**, einen Statistischer-Indikator-Berechner **108**, einen Farb-Einfüger **110**, einen Speicher **112** und einen Prozessor **114**. Das Bild-Unterteilungsmodul **106**, der Statistischer-Indikator-Berechner **108** und der Farb-Einfüger **110** stellen Funktionsblöcke dar und sind nicht notwendigerweise separate Komponenten. Diese Komponenten können in der Bild-Pipelineeinheit **104** in jeder Kombination von Software, Firmware und Hardware eingebettet sein.

[0033] Das Bild-Unterteilungsmodul **106** der Bild-Pipelineeinheit **104** arbeitet, um ein Eingangs-Mosaikbild aus der Bilderfassungseinheit **102** in Originalbild-Blöcke zu unterteilen. Beispielsweise kann das Bild-Unterteilungsmodul ein Eingangs-Mosaikbild in 8×8 -Pixel-Bildblöcke unterteilen. Wie unten beschrieben ist, wird jeder der Originalbild-Blöcke des Mosaikbildes in ein einziges Pixel umgewandelt, um ein Ergebnisbild des Eingangs-Mosaikbildes herzustellen. Daher hängt die Größe des Ergebnisbildes, oder der Faktor, um den ein Eingangs-Mosaikbild verkleinert wird, von der Größe der unterteilten Bildblöcke ab.

[0034] Der Farb-Einfüger **110** der Bild-Pipelineeinheit **104** arbeitet, um die R-, G- und B-Farbwerde für die umgewandelten Pixel eines Ergebnisbildes für einen gegebenen Originalbild-Block eines Eingangs-Mosaikbildes zu berechnen. Die R-, G- und B-Farbwerde für die umgewandelten Pixel werden von den R-, G1-, G2- und B-Farbwerden in einem aktuellen Bildblock eines Eingangs-Mosaikbildes abgeleitet. Der aktuelle Bildblock kann der gesamte Originalbild-Block eines Eingangs-Mosaikbildes sein, oder kann ein ausgewählter Abschnitt des Originalbild-Blocks sein. In der beispielhaften Ausführung werden der Mittelwert der R-Farbwerde, der Mittelwert der G-Farbwerde (sowohl der G1- als auch der G2-Farbwerde) und der Mittelwert der B-Farbwerde in einem aktuellen Bildblock als der R-, G- und B-Farbwert für das umgewandelte Pixel eines Ergebnisbildes verwendet. Demnach ist der Farb-Einfüger so konfiguriert, daß er den Mittelwert für jeden der R-, G- und B-Farbwerde eines aktuellen Bildblöcke berechnet, um R-, G- und B-Farbwerde für das umgewandelte Pixel eines Ergebnisbildes bereitzustellen.

[0035] Der Statistischer-Indikator-Berechner **108** der Bild-Pipelineeinheit **104** arbeitet, um einen statistischen Indikator für jeden der R-, G1-, G2- und B-Farbebenen eines aktuellen Bildblocks zu berechnen, um die statistische Verteilung von Farbwerten in dem aktuellen Bildblock zu ermitteln. Als Beispiel kann der statistische Indikator aus der Varianz der Intensitätswerte für jede der Farbebenen eines aktuellen Bildblocks oder aus anderen statistischen Indikatoren gebildet werden, welche verwendet werden können, um Änderungen von spezifischen Farbintensitätswerten in dem aktuellen Bildblock zu messen. Die Art, wie diese statistischen Indikatoren von der Bild-Pipelineeinheit verwendet werden, wird unten beschrieben.

[0036] Der Prozessor **114** der Bild-Pipelineeinheit **104** arbeitet, um die statistischen Indikatoren zu analysieren, welche von dem Statistischer-Indikator-Berechner **108** berechnet wurden, um zu ermitteln, ob die Farbwerte in einem aktuellen Bildblock geeignet sind, die R-, G- und B-Farbwerde für ein umgewandeltes Pixel des Ergebnisbildes zu berechnen. Speziell ermittelt der Prozessor, ob irgendeiner der berechneten statistischen Indikatoren für einen aktuellen Bildblock größer ist als ein vorher definierter Schwellenwert. Wenn dem so ist, wird der aktuelle Bildblock um die Hälfte verkleinert, um einen neuen aktuellen Bildblock herzustellen. Das heißt, daß der aktuelle Bildblock halbiert wird und dann eine der beiden Hälften als der neue aktuelle Bildblock ausgewählt wird. Der neue aktuelle Bildblock wird verwendet, um durch den Statistischer-Indikator-Berechner **108** neue statistische Indikatoren zu berechnen. Diese statistischen Indikatoren werden dann von dem Prozessor analysiert, um zu ermitteln, ob die Farbwerte in dem neuen aktuellen Bildblock geeignet sind, die R-, G- und B-Farbwerde für das umgewandelte Pixel des Ergebnisbildes zu berechnen. Wenn dagegen alle berechneten statistischen Indikatoren für den aktuellen Bildblock nicht größer als der vorher definierte Schwellenwert sind, werden die Mittelwerte der R-, G- und B-Farbwerde des aktuellen Bildblöcke in das umgewandelte Pixel des Ergebnisbildes eingebettet. Das Einbetten von Farbwerten in ein Pixel wird hier definiert als das Zuweisen von Farbwerten zu dem entsprechenden Pixel. In der Situation, bei welcher der aktuelle Bildblock nur einen einzigen Farbwert für die R-, G1-, G2- und B-Farbebenen umfaßt (d. h., wenn der aktuelle Bildblock ein 2×2 -Pixel-Bildblock ist), werden die ursprünglichen R- und B-Farbwerde des aktuellen Bildblöcke für die umgewandelten Pixel des Ergebnisbildes verwendet, und der Durchschnitt oder einer der ursprünglichen G1- und G2-Farbwerde wird als der G-Farbwert für das umgewandelte Pixel verwendet. Die digitale Repräsentation des umgewandelten Pixels wird dann vorübergehend in dem Speicher **112** der Pipelineeinheit **104** gespeichert, welche aus Flash- oder RAM-Speicher bestehen kann, bis alle ursprünglichen Bildblöcke des Mosaik-

bildes des Eingangs-Mosaikbildes umgewandelt werden sind, um das Ergebnisbild, d. h. das verkleinerte Bild mit aufgelöster Mosaikstruktur, herzustellen.

[0037] Das Ergebnisbild kann in der Speichereinheit **106** gespeichert werden und/oder auf der Betrachtungsvorrichtung **108** des Bildverarbeitungssystems **100** angezeigt werden. Die Speichereinheit kann aus einem herkömmlichen Speicher bestehen, wie etwa einem DRAM. Alternativ kann die Speichereinheit durch ein Laufwerk gebildet werden, welches mit einem Wechselspeichermedium, wie etwa einer gewöhnlichen Computer-Floppydisk, gekoppelt wird. Die Betrachtungsvorrichtung kann aus einer LCD-Anzeige oder anderen vergleichbaren Anzeigen, welche das Ergebnisbild anzeigen können, gebildet werden.

[0038] Der Vorgang zum Auflösen der Mosaikstruktur und zum Skalieren von dem Bildverarbeitungssystem **100** wird mit Bezug auf ein Flußdiagramm von [Fig. 3](#) und das Blockdiagramm von [Fig. 1](#) beschrieben. Bei Schritt **302** wird ein Eingangs-Mosaikbild eines Ausschnitts von Interesse von der Bild-Pipelineeinheit **104** empfangen. In der beispielhaften Ausführung ist das Eingangs-Mosaikbild ein Bayer-Muster-Bild, welches von der Bilderfassungseinheit **102** erfaßt wurde. Anschließend wird bei Schritt **304** das Mosaikbild in Bildblöcke unterteilt. Die Größe der unterteilten Bildblöcke bestimmt den Faktor, um welchen das Mosaikbild verkleinert wird. Demnach kann die Größe des unterteilten Bildblocks variiert werden, um die Größe des Ergebnisbildes auszuwählen, welches das skalierte Bild mit aufgelöster Mosaikstruktur des Eingangs-Mosaikbildes ist. In dieser Beschreibung wird jedoch angenommen, daß das Eingangs-Mosaikbild in 8×8 -Pixel-Bildblöcke unterteilt wird. Ein beispielhafter 8×8 -Bildblock wird in [Fig. 4A](#) dargestellt.

[0039] Als nächstes wird bei Schritt **306** einer der 8×8 -Bildblöcke als ein aktueller Bildblock ausgewählt, um ein Pixel des Ergebnisbildes zu erzeugen. Bei Schritt **308** wird ein statistischer Indikator für jede der R-, G1-, G2- und B-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock von dem Statistischer-Indikator-Berechner **108** der Bild-Pipelineeinheit **104** berechnet. In der beispielhaften Ausführung werden die statistischen Indikatoren von Varianzen der R-, G1-, G2- und B-Farbwerde gebildet, und die statistischen Indikatoren werden daher hier als Varianzen beschrieben. Anfangs ist der aktuelle Bildblock der gewählte 8×8 -Bildblock. Wie unten beschrieben ist, kann der aktuelle Bildblock jedoch ein Abschnitt des gewählten 8×8 -Bildblöcke sein. Bei Schritt **310** werden der Mittelwert der R-Farbwerde, der Mittelwert der G-Farbwerde (sowohl der G1- als auch der G2-Farbwerde) und der Mittelwert der B-Farbwerde in dem aktuellen Bildblock von dem Farb-Einfüger **110** der Bild-Pipelineeinheit **104** berechnet. Die Schritte **308**

und **310** können parallel ausgeführt werden. Dann wird bei Schritt **312** eine Ermittlung durchgeführt, ob irgend eine der berechneten Varianzen einen Schwellenwert T_v , welcher empirisch durch Experimente ermittelt werden kann, übersteigt. Wenn keine der berechneten Varianzen den Schwellenwert übersteigt, schreitet das Verfahren zu Schritt **318** fort, wo ein Pixel des Ergebnisbildes erzeugt wird, indem der Mittelwert der R-Farbwerde, der Mittelwert der G-Farbwerde und der Mittelwert der B-Farbwerde für den aktuellen Bildblock als die R-, G- und B-Farbwerde in das Pixel des Ergebnisbildes eingebettet werden.

[0040] Wenn jedoch irgendeine der berechneten Varianzen den Schwellenwert T_v übersteigt, schreitet das Verfahren zu Schritt **314** fort, wo der aktuelle Bildblock halbiert wird. Der aktuelle Bildblock kann horizontal und vertikal geteilt werden. Die Art, wie ein aktueller Bildblock geteilt wird, ist unten detaillierter beschrieben. Anschließend wird bei Schritt **316** einer der geteilten Bildblöcke als der neue aktuelle Bildblock ausgewählt. Die spezielle Wahl des geteilten Bildblocks ist für die Erfindung nicht entscheidend. Nach der Wahl des neuen aktuellen Bildblöcke kehrt das Verfahren dann zu Schritt **308** zurück, wo der neue aktuelle Bildblock in der gleichen Weise, wie oben mit Bezug auf den letzten aktuellen Bildblock beschrieben ist, verarbeitet wird. Somit werden die berechneten Mittelwerte eines aktuellen Bildblocks nicht verwendet, wenn es wesentliche Abweichungen in irgendeinem der Farbwerte gibt, was anzeigen kann, daß der aktuelle Bildblock eine Kante umfaßt. Daher werden die Farbwerte in einem solchen Bildblock nicht interpoliert und als die Farbwerte für das Pixel des Ergebnisbildes verwendet, da eine Interpolation von Farben über Kanten unerwünschte Farben in das Pixel des Ergebnisbildes einführen kann und das Ergebnisbild verschlechtern kann.

[0041] In einer Extrem situationen kann der aktuelle Bildblock ein 2×2 -Pixel-Bildblock sein, welcher der kleinste mögliche Bildblock ist, der immer noch Farbinformation für jede der R-, G1-, G2- und B-Farbebenen aufweist. In dieser Situation werden die ursprünglichen R- und B-Farbwerde des aktuellen Bildblöcke für das Pixel des Ergebnisbildes verwendet, und der Durchschnitt oder einer der ursprünglichen G1-, G2-Farbwerde wird als der G-Farbwert für das Pixel des Ergebnisbildes verwendet.

[0042] Nach Schritt **318** schreitet das Verfahren zu Schritt **320** fort, wo eine Ermittlung durchgeführt wird, ob der 8×8 -Bildblock des Eingangs-Mosaikbildes der letzte Bildblock ist, der verarbeitet werden soll. Wenn dem so ist, endet das Verfahren. Wenn jedoch der gewählte Bildblock nicht der letzte 8×8 -Bildblock des Eingangs-Mosaikbildes ist, kehrt das Verfahren zu Schritt **306** zurück, wo der nächste 8×8 -Bildblock des Mosaikbildes ausgewählt wird, um verarbeitet zu

werden.

[0043] Nun wird die Art beschrieben, in der ein ursprünglicher 8×8 -Bildblock, wie etwa der 8×8 -Bildblock von [Fig. 4A](#), einmal oder mehrere Male in Übereinstimmung mit der Erfindung unterteilt wird. Wenn irgendeine der berechneten Varianzen für den 8×8 -Bildblock den Schwellenwert übersteigt, kann der 8×8 -Bildblock vertikal in zwei 4×8 -Bildblöcke **402** und **404** halbiert werden, wie in [Fig. 4B](#) dargestellt ist. Alternativ kann der 8×8 -Bildblock horizontal in zwei 8×4 -Bildblöcke **406** und **408** halbiert werden, wie in [Fig. 4C](#) dargestellt ist. Anschließend wird, wenn der 8×8 -Bildblock vertikal unterteilt wurde, einer der 4×8 -Bildblöcke **402** und **404** als der neue aktuelle Bildblock ausgewählt. Wenn irgendeine der berechneten Varianzen für den gewählten 4×8 -Bildblock den Schwellenwert T_g übersteigt, wird der 4×8 -Bildblock horizontal in zwei 4×4 -Bildblöcke **410** und **412** halbiert, wie in [Fig. 4D](#) dargestellt ist. Wenn jedoch der 8×8 -Bildblock horizontal unterteilt wurde, wird einer der 8×4 -Bildblöcke **406** und **408** als der neue aktuelle Bildblock ausgewählt. Wenn irgendeine der berechneten Varianzen für den gewählten 8×4 -Bildblock den Schwellenwert T_g übersteigt, wird der 8×4 -Bildblock vertikal in zwei 4×4 -Bildblöcke **414** und **416** geteilt, wie in [Fig. 4E](#) dargestellt ist. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis keine der berechneten Varianzen für einen aktuellen Bildblock den Schwellenwert übersteigen oder bis der neue aktuelle Bildblock ein 2×2 -Bildblock ist, wie in [Fig. 4F](#) dargestellt ist. Da ein 2×2 -Bildblock nur einen einzigen Wert für jede der R-, G1-, G2- und B-Farbebenen aufweist, kann der Bildblock nicht weiter unterteilt werden, ohne einige der Farbwerte zu verlieren.

[0044] In der [Fig. 5](#) ist ein Bildverarbeitungssystem **500** in Übereinstimmung mit einer zweiten Ausführung der Erfindung gezeigt. Das Bildverarbeitungssystem **500** umfaßt die meisten der Komponenten des Bildverarbeitungssystems **100** von [Fig. 1](#). Der einzige Unterschied zwischen den beiden Bildverarbeitungssystemen **100** und **500** liegt darin, daß der Statistischer-Indikator-Berechner **108** des Bildverarbeitungssystems **100** durch einen Merkmalbasierten-Indikator-Berechner **502** in dem Bildverarbeitungssystem **500** ersetzt wurde. Im Gegensatz zum Statistischer-Indikator-Berechner **108** arbeitet der Merkmalbasierten-Indikator-Berechner **502**, um einen merkmalbasierten Indikator anstatt eines statistischen Indikators zu berechnen. In einer beispielhaften Ausführung berechnet der Merkmalbasierten-Indikator-Berechner **502** den Gradienten für jeden der R-Farbwerte, G-Farbwerte (sowohl der G1- als auch der G2-Farbwerte) und B-Farbwerte in einem aktuellen Bildblock eines Eingangs-Mosaikbildes. In anderen Ausführungen kann der Merkmalbasierten-Indikator-Berechner **502** jedoch andere merkmalbasierte Indikatoren berechnen.

[0045] Der Vorgang des Auflösens der Mosaikstruktur und der Skalierung des Bildverarbeitungssystems **500** nach einer zweiten Ausführung wird mit Bezug auf das Flußdiagramm von [Fig. 6](#) und das Blockdiagramm von [Fig. 1](#) beschrieben. Bei Schritt **602** wird ein Eingangs-Mosaikbild eines Ausschnitts von Interesse von der Bild-Pipelineeinheit **104** empfangen. In der beispielhaften Ausführung ist das Eingangs-Mosaikbild ein Bayer-Muster-Bild, welches von der Bilderfassungseinheit **102** erfaßt wurde. Nachfolgend wird bei Schritt **604** das Mosaikbild in Bildblöcke unterteilt. Obwohl die Größe der unterteilten Bildblöcke variieren kann, werden die Bildblöcke hier als 8×8 -Bildblöcke beschrieben.

[0046] Nun wird bei Schritt **606** einer der 8×8 -Bildblöcke ausgewählt, um ein Pixel des Ergebnisbildes zu erzeugen, welches das skalierte Bild mit aufgelöster Mosaikstruktur des Eingangs-Mosaikbildes ist. Bei Schritt **608** wird ein merkmalbasiertes Indikator für jeden der R-, G- und B-Farbwerte in dem aktuellen Bildblock von dem Merkmalbasierten-Indikator-Berechner **502** der Bild-Pipelineeinheit **104** berechnet. In der beispielhaften Ausführung bestehen die merkmalbasierten Indikatoren aus Gradienten der R-, G- und B-Farbwerte, und daher werden die merkmalbasierten Indikatoren hier als Gradienten beschrieben. Bei Schritt **610** wird der Mittelwert der R-Farbwerte, der Mittelwert der G-Farbwerte (sowohl der G1- als auch der G2-Farbwerte) und der Mittelwert der B-Farbwerte in dem aktuellen Bildblock durch den Farb-Einfüger **110** der Bild-Pipelineeinheit **104** berechnet. Die Schritte **608** und **610** können parallel ausgeführt werden. Daraufhin wird bei Schritt **612** eine Ermittlung durchgeführt, ob irgendeiner der berechneten Gradienten einen Schwellenwert T_g übersteigt, welcher empirisch durch Experimente ermittelt werden kann. Wenn keiner der berechneten Gradienten den Schwellenwert T_g übersteigt, schreitet das Verfahren zu Schritt **618** fort, wo ein Pixel des Ergebnisbildes erzeugt wird, indem der Mittelwert der R-Farbwerte, der Mittelwert der G-Farbwerte und der Mittelwert der B-Farbwerte in das Pixel des Ergebnisbildes eingebettet werden.

[0047] Wenn jedoch irgendwelche der berechneten Gradienten den Schwellenwert T_g übersteigen, schreitet das Verfahren zu Schritt **614** fort, wo der aktuelle Bildblock halbiert wird. Der aktuelle Bildblock kann horizontal oder vertikal unterteilt werden. Weiter wird bei Schritt **616** einer der unterteilten Bildblöcke als der neue aktuelle Bildblock ausgewählt. Das Verfahren kehrt dann zu Schritt **608** zurück, wo der neue aktuelle Bildblock in der gleichen Weise verarbeitet wird, wie oben mit Bezug auf den letzten aktuellen Bildblock beschrieben ist. Somit werden die berechneten Mittelwerte eines aktuellen Bildblockes nicht verwendet, wenn es einen erheblichen Gradienten bezüglich irgendeines der Farbwerte in dem aktuellen Bildblock gibt, was anzeigt, daß die Farbwerte

des aktuellen Bildblöcke nicht geeignet sind, um interpolierte Farbwerte für die Pixel des Ergebnisbildes zu erzeugen. Daher wird der aktuelle Bildblock unterteilt, um einen Bildblock zu suchen, welcher Farben aufweist, welche für das Bild des Ergebnisbildes geeignet sind.

[0048] Nach Schritt 618 schreitet das Verfahren zu Schritt 620 fort, wo eine Ermittlung durchgeführt wird, ob der ausgewählte 8×8-Bildblock des Eingangs-Mosaikbildes der letzte Bildblock ist, der verarbeitet werden soll. Wenn dem so ist, wird das Verfahren beendet. Wenn jedoch der gewählte Bildblock nicht der letzte 8×8-Bildblock des Eingangs-Mosaikbildes ist, kehrt das Verfahren zu Schritt 606 zurück, wo der nächste 8×8-Bildblock des Eingangs-Mosaikbildes zur Verarbeitung ausgewählt wird.

[0049] Die vorangegangenen Beschreibungen spezifischer Ausführungen der Erfindung wurden zum Zweck der Darstellung und Beschreibung präsentiert. Diese Beschreibungen sollen nicht ausschöpfend sein oder die Erfindung auf die offenbarten Ausführungen beschränken. Viele Modifikationen und Variationen sind im Lichte der obigen Lehren möglich. Die Ausführungen wurden ausgewählt und beschrieben, um die Prinzipien der Erfindung und ihre praktischen Anwendungen zu erklären, um es dabei dem Fachmann zu erlauben, die Erfindung und Ausführungen mit unterschiedlichen Modifikationen, wie sie für die besondere in Betracht gezogene Verwendung geeignet sind, am besten zu nutzen. Es ist vorgesehen, daß der Schutzmfang der Erfindung durch die Ansprüche definiert ist, welche hier angefügt sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Auflösen der Mosaikstruktur und Skalierung eines Mosaikbildes, das folgendes umfaßt:

Unterteilen (304) der Mosaikbildblöcke in Bildblöcke; Empfangen (306) eines aktuellen Bildblocks des Mosaikbildes;

Berechnen (308) eines Indikators des aktuellen Bildblocks, der widerspiegelt, ob die Farbwerte innerhalb des aktuellen Bildblocks geeignet sind, R-, G- und B-Farbwerte für ein umgewandeltes Pixel eines Bildes mit aufgelöster Mosaikstruktur zu berechnen; Berechnen (310) von Mittelwerten von R-, G- und B-Farbwerten aus dem aktuellen Bildblock;

Erzeugen (318) eines skalierten Bildblocks, welcher ein umgewandeltes Pixel von dem aktuellen Bildblock des Mosaikbildes umfaßt, wenn der Indikator einen vorbestimmten Schwellenwert nicht übersteigt, um ein skaliertes Bild aus dem Mosaikbild zu erzeugen, wobei das umgewandelte Pixel die Mittelwerte der R-, G- und B-Farbwerte umfaßt, so daß das skalierter Bild des Mosaikbildes keine Mosaikstruktur mehr aufweist; und

Unterteilen (314) des Bildblocks, um einen kleineren

aktuellen Bildblock zu erzeugen, und Wiederholen der Schritte des Berechnens und Skalierens des Bildblocks, wenn der Indikator den genannten vorbestimmten Schwellenwert übersteigt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Berechnen des Indikators des aktuellen Bildblocks das Berechnen eines statistischen Indikators aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks umfaßt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Berechnen des statistischen Indikators das Berechnen einer Varianz aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks umfaßt, wobei die Varianz als der genannte statistische Indikator verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem das Berechnen der Varianz aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks das Berechnen der Varianz aus Werten innerhalb des aktuellen Bildblocks für eine bestimmte Farbe umfaßt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Berechnen des Indikators des aktuellen Bildblocks das Berechnen eines merkmalbasierten Indikators aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks umfaßt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Berechnen des merkmalbasierten Indikators das Berechnen eines Gradienten aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks umfaßt, wobei der Gradient als der genannte merkmalbasierte Indikator verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das Berechnen des Gradienten aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks das Berechnen des Gradienten aus Werten innerhalb des aktuellen Bildblocks für eine bestimmte Farbe umfaßt.

8. System zum Auflösen der Mosaikstruktur und Skalieren eines Mosaikbildes, welches folgendes umfaßt:

ein Bildverarbeitungsmodul (100), welches einen aktuellen Bildblock des Mosaikbildes empfängt, wobei das Bildverarbeitungsmodul konfiguriert ist, um einen skalierten Bildblock aus dem aktuellen Bildblock des Mosaikbildes zu erzeugen, um ein skaliertes Bild des Mosaikbildes zu erzeugen, wobei das Bildverarbeitungsmodul folgendes umfaßt:

einen Indikator-Berechner (108), der konfiguriert ist, um einen Indikator des aktuellen Bildblocks zu berechnen, welcher widerspiegelt, ob die Farbwerte innerhalb des aktuellen Bildblocks geeignet sind, R-, G-, B-Farbwerte für ein umgewandeltes Pixel eines Bildes mit aufgelöster Mosaikstruktur zu berechnen; und

einen Farbeinfüger (110) zum Berechnen von Mittelwerten der R-, G- und B-Farbwerte aus dem aktuellen Bildblock; und

Erzeugen eines skalierten Bildblocks, welcher ein umgewandeltes Pixel aus dem aktuellen Bildblock des Mosaikbildes umfaßt, wenn der Indikator einen vorbestimmten Schwellenwert nicht übersteigt, um ein skaliertes Bild des Mosaikbildes zu erzeugen, wobei das umgewandelte Pixel die Mittelwerte der R-, G- und B-Farbwerde umfaßt, so daß das skalierte Bild des Mosaikbildes keine Mosaikstruktur mehr aufweist; wobei das Bildverarbeitungsmodul konfiguriert ist, um den Bildblock zu unterteilen, um einen kleinen aktuellen Bildblock zu erzeugen, und die Schritte des Berechnens und Skalierens des Bildblocks zu wiederholen, wenn der Indikator den vorbestimmten Schwellenwert übersteigt.

9. System nach Anspruch 8, bei dem der Indikator-Berechner konfiguriert ist, um einen statistischen Indikator aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks zu berechnen.

10. System nach Anspruch 9, bei dem der Indikator-Berechner konfiguriert ist, um eine Varianz aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks zu berechnen, wobei die Varianz als der statistische Indikator verwendet wird.

11. System nach Anspruch 8, bei dem der Indikator-Berechner konfiguriert ist, um einen merkmalbasierten Indikator aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks zu berechnen.

12. System nach Anspruch 11, bei dem der Indikator-Berechner konfiguriert ist, um einen Gradienten aus den Farbdaten des aktuellen Bildblocks zu berechnen, wobei der Gradient als der merkmalbasierte Indikator verwendet wird.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

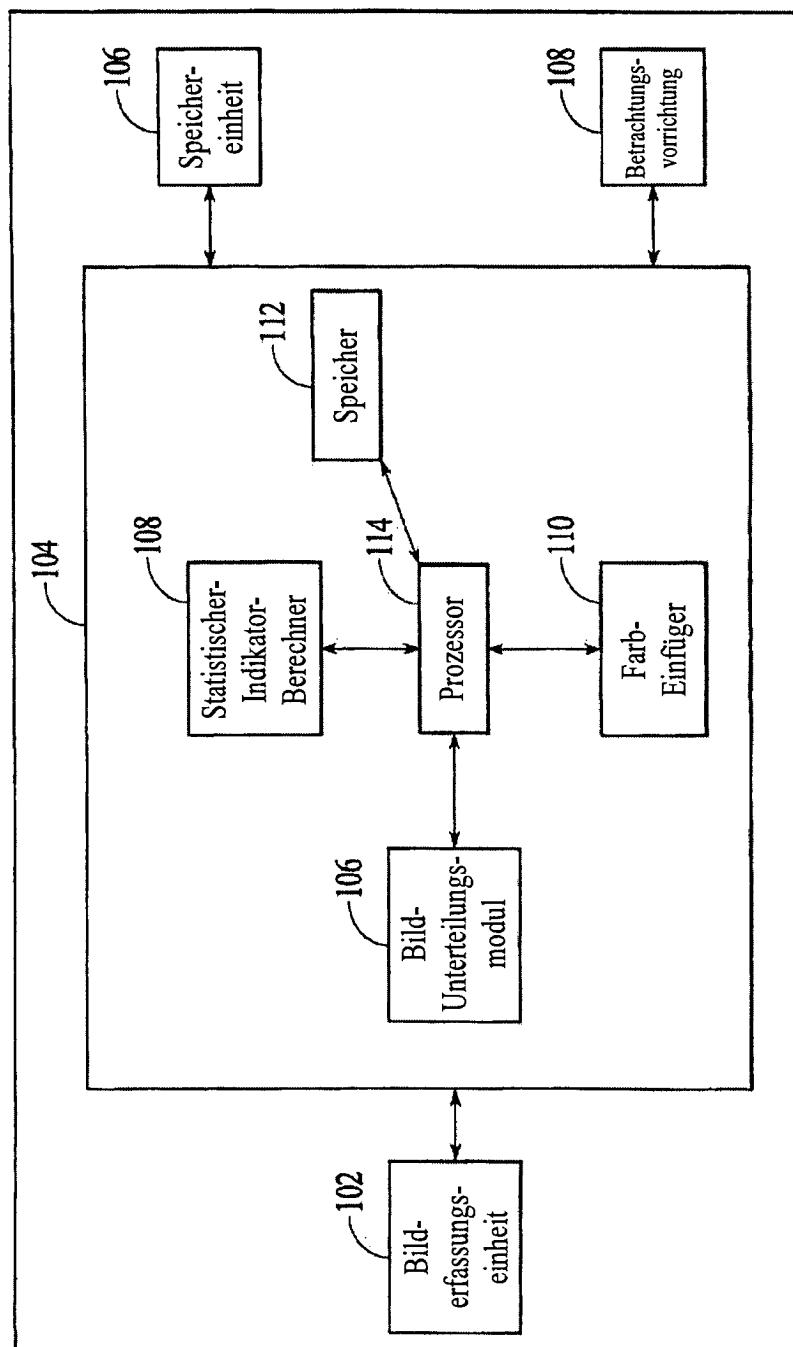


FIG. 1

G1	R	G1	R
B	G2	B	G2
G1	R	G1	R
B	G2	B	G2

FIG. 2A

206

R		R
R		R

208

B		B
B		B

202

G1		G1	
G1		G1	

204

G2		G2	

FIG. 2B

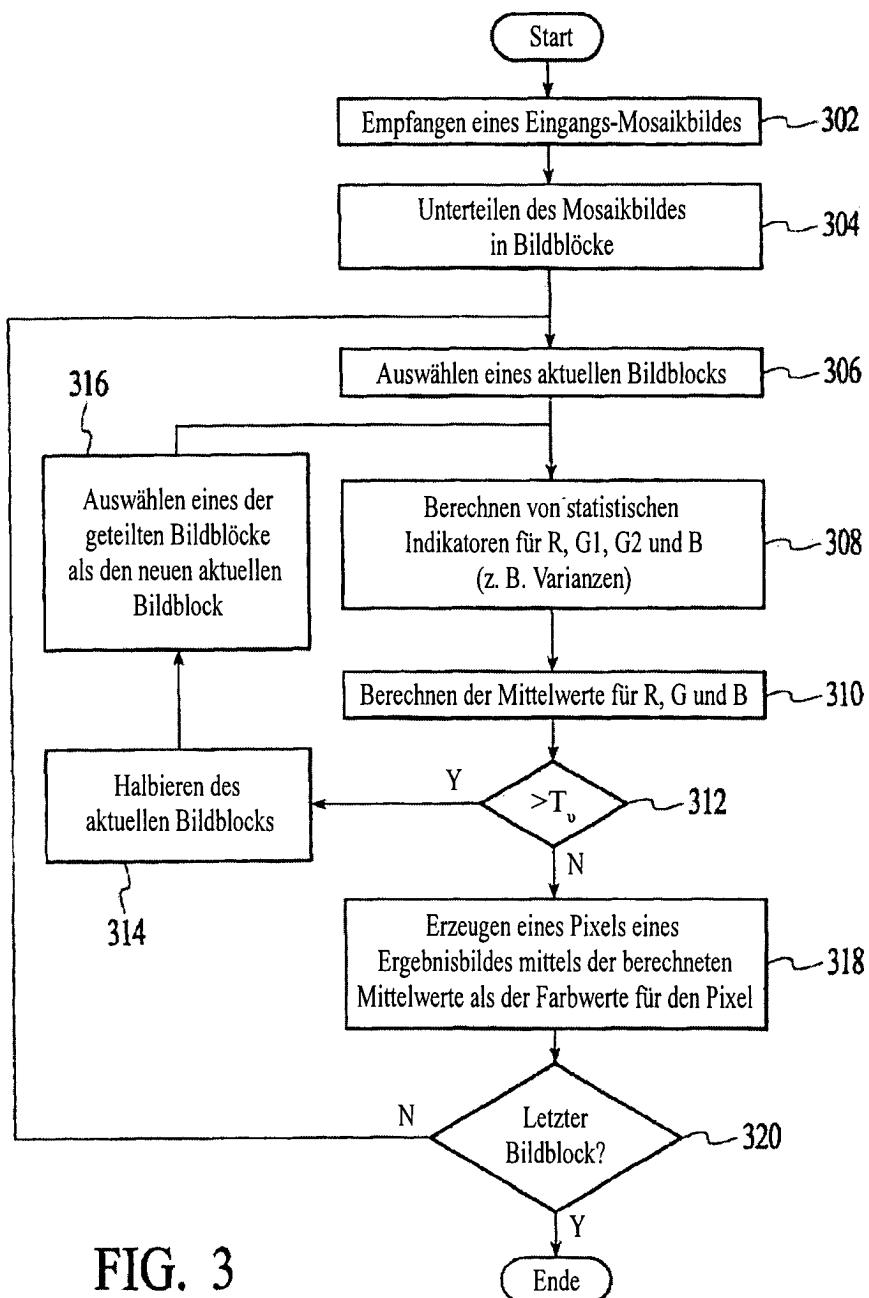


FIG. 3

G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2
G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2
G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2
G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2

FIG. 4A

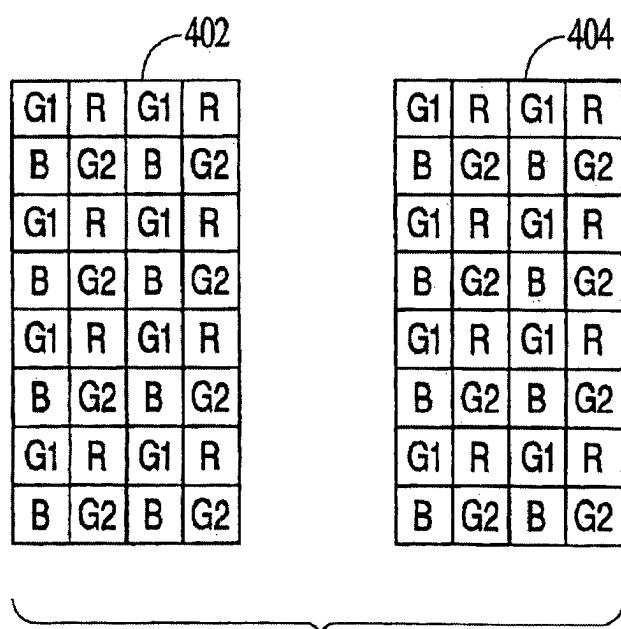


FIG. 4B

FIG. 4C

The diagram shows two separate 8x2 grids, each enclosed in a rectangular border. A large brace on the left side groups both grids under the label 'FIG. 4C'. The top grid is labeled '406' with a curved arrow pointing to its top-right corner. The bottom grid is labeled '408' with a curved arrow pointing to its top-right corner.

406

G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2
G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2

408

G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2
G1	R	G1	R	G1	R	G1	R
B	G2	B	G2	B	G2	B	G2

FIG. 4D

The diagram shows two separate 4x2 grids, each enclosed in a rectangular border. A large brace on the left side groups both grids under the label 'FIG. 4D'. The top grid is labeled '410' with a curved arrow pointing to its top-right corner. The bottom grid is labeled '412' with a curved arrow pointing to its top-right corner.

410

G1	R	G1	R
B	G2	B	G2
G1	R	G1	R
B	G2	B	G2

412

G1	R	G1	R
B	G2	B	G2
G1	R	G1	R
B	G2	B	G2

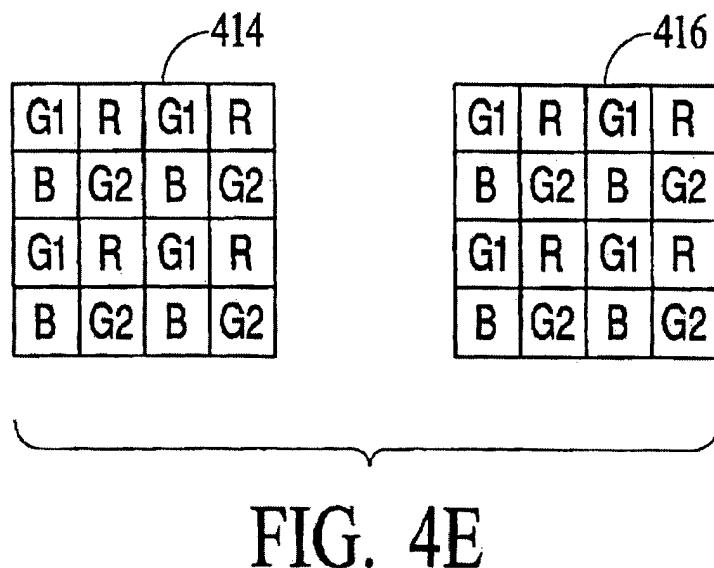


FIG. 4E

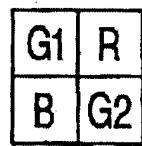


FIG. 4F

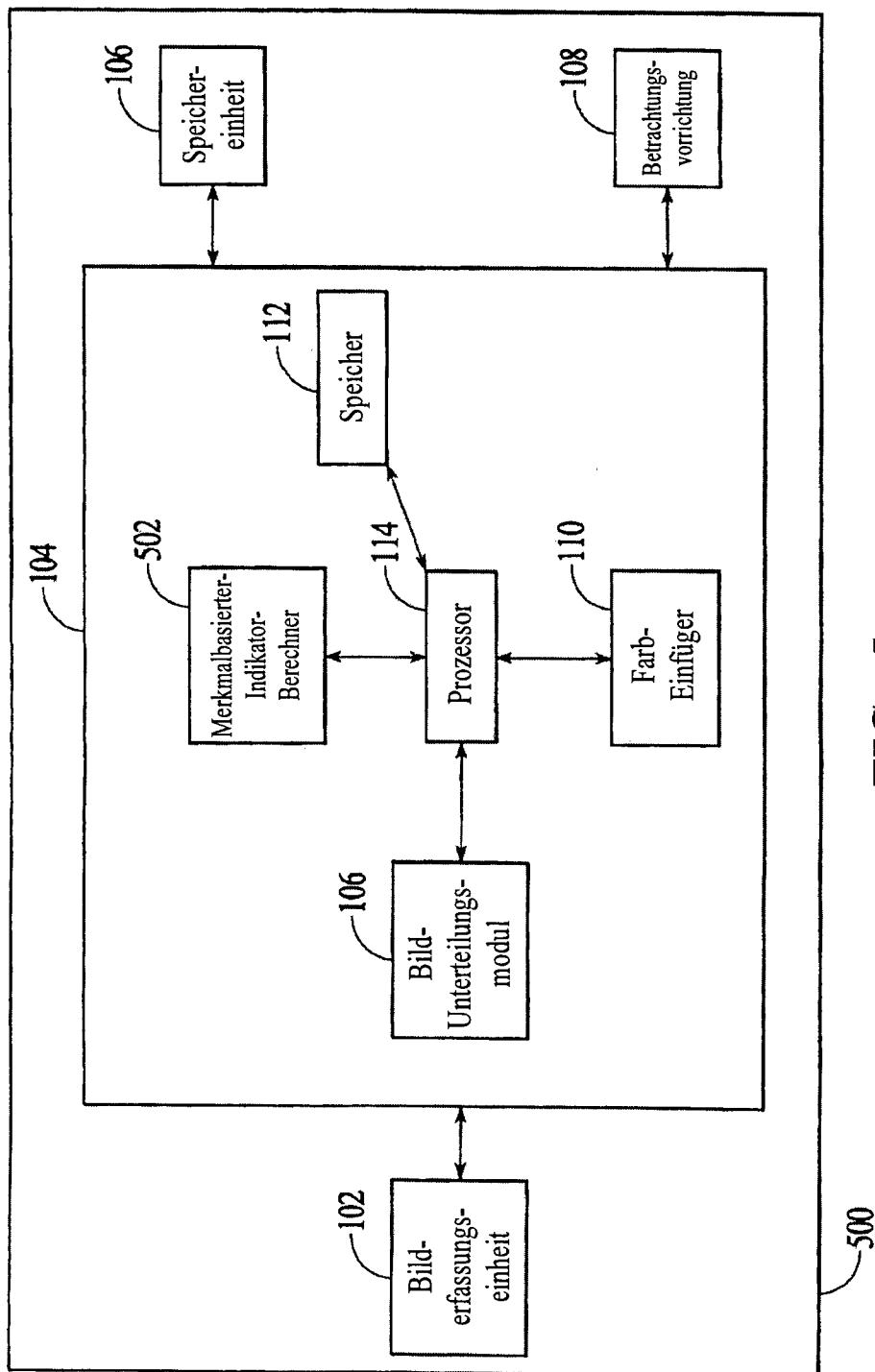


FIG. 5

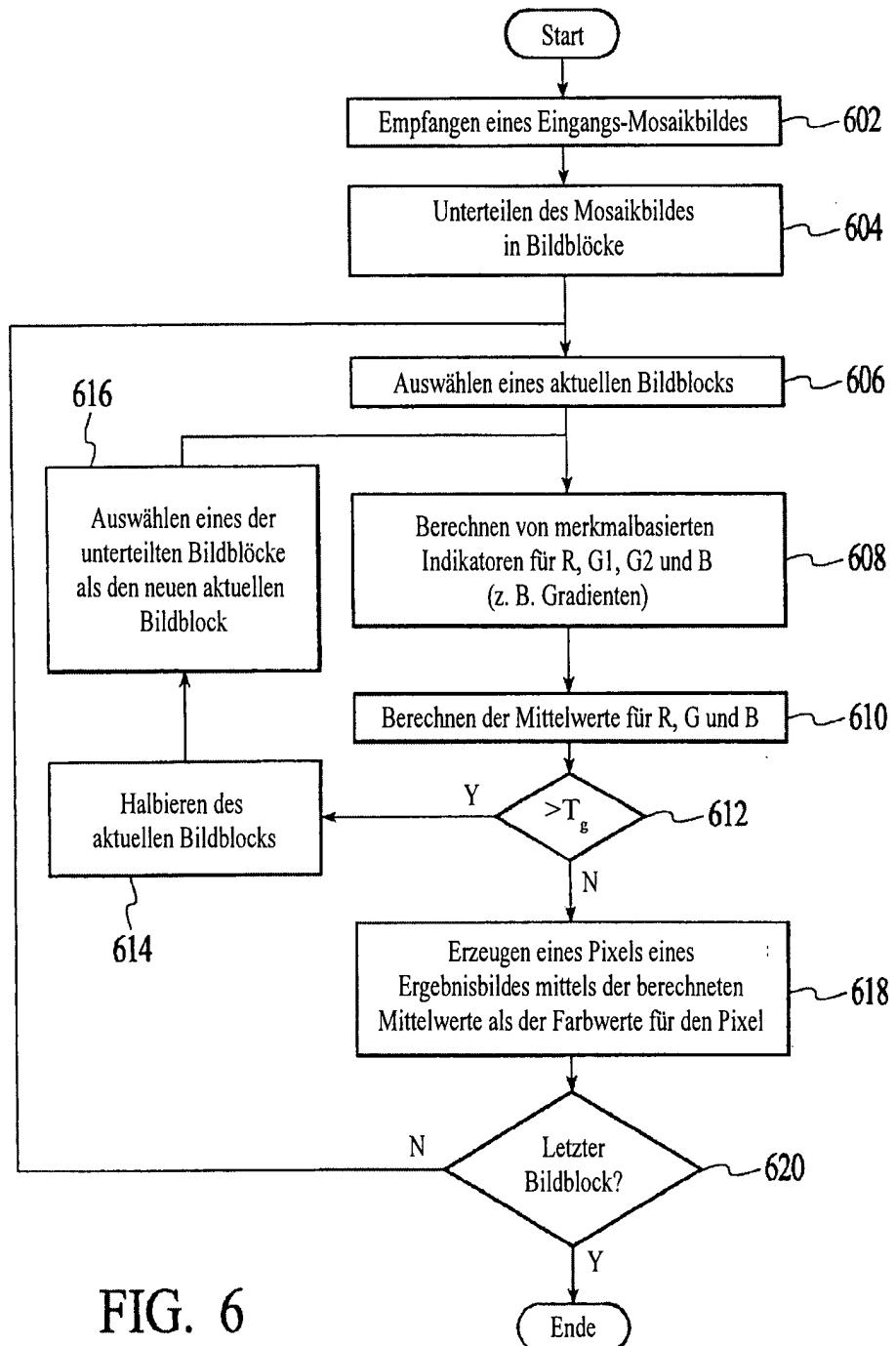


FIG. 6