



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 698 36 696 T2 2007.10.31

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 138 152 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 698 36 696.4

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US98/10956

(96) Europäisches Aktenzeichen: 98 924 990.9

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 1998/054888

(86) PCT-Anmeldetag: 29.05.1998

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: 03.12.1998

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 04.10.2001

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 20.12.2006

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 31.10.2007

(51) Int Cl.⁸: H04N 7/00 (2006.01)

H04N 7/26 (2006.01)

G06T 7/20 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

48181 P 30.05.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

MediaTek Inc., Hsin-Chu, TW

(72) Erfinder:

SONG, Xudong, Lawrenceville, NJ 08648, US;

ZHANG, Ya-Qin, Plainsboro, NJ 08536, US;

CHIANG, Tihao, Plainsboro, NJ 08536, US

(74) Vertreter:

Dr. Weber, Dipl.-Phys. Seiffert, Dr. Lieke, 65183
Wiesbaden

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG EINER HIERARCHISCHEN BEWE-
GUNGSSCHÄTZUNG UNTER VERWENDUNG EINER NICHT-LINEAREN PYRAMIDE

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 eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft im Allgemeinen eine Vorrichtung und ein begleitendes Verfahren für das Codieren von Bildsequenzen und, genauer gesagt, ein Verfahren für das Reduzieren der Rechenkomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren für die blockbasierte Bewegungsabschätzung und für das Verbessern der Genauigkeit der Bewegungsabschätzungen.

Technischer Hintergrund

[0002] Eine Bildsequenz, wie z.B. eine Videobildsequenz, beinhaltet typischerweise eine Sequenz von Bildframes oder Bildern. Um die notwendige Übertragungsbandbreite oder Speicherkapazität zu reduzieren, wird die Einzelbildsequenz komprimiert, so daß redundante Information innerhalb der Sequenz nicht gespeichert oder übertragen wird.

[0003] Im Allgemeinen spielt, um eine Bildsequenz zu codieren, die Information, die die Bewegung der Objekte in einer Szene von einem Einzelbild zu dem nächsten betrifft, eine wichtige Rolle im Codierprozeß. Aufgrund der hohen Redundanz, die zwischen aufeinanderfolgenden Einzelbildern innerhalb der meistens Bildsequenzen existiert, kann eine wesentliche Datenkomprimierung erzielt werden unter Verwendung einer Technik, die bekannt ist als Bewegungsschätzung/Kompensation (ebenso bekannt als bewegungskompensierte Interframe prädiktive Videocodierung), die von verschiedenen internationalen Normen übernommen wurde, wie z.B. ITU H.263, ISO MPEG-1 und MPEG-2.

[0004] Ein beliebtes Bewegungskompensationsverfahren ist der Blockübereinstimmungsalgorithmus (BMA), der die Verrückungen auf einer Block-per-Block-Basis abschätzt. Für jeden dieser gegenwärtigen Blöcke wird innerhalb eines ausgewählten Suchbereichs im vorherigen Einzelbild eine Suche nach einem Pixelblock durchgeführt, der "am Besten" mit dem gegenwärtigen Block übereinstimmt. Dieser Ansatz, d. h. das Vergleichen jedes gegenwärtigen Blockes mit einem gesamten ausgewählten Suchbereich, ist als der volle Suchansatz oder der gründliche Suchansatz bekannt. Die Bestimmung von Bewegungsvektoren durch den gründlichen Suchansatz ist rechenintensiv, insbesondere wenn der Suchbereich besonders groß ist.

[0005] Andere Bewegungsabschätzverfahren beinhalten das Konzept der hierarchischen Bewegungsabschätzung (HME), wo ein Bild in ein Mehrfach-Auflösungs-Framework, d. h. in eine Pyramide, zerlegt wird. Eine hierarchische Bewegungsvektorschreite wird dann durchgeführt, bei der die Suche von der niedrigsten Auflösung zu der höchsten Auflösung der Pyramide fortgesetzt wird. Obgleich HME sich als schnellste und effektivste Bewegungsabschätzmethode erwiesen hat, benötigt die Erzeugung der Pyramide immer noch eine signifikante Menge von Rechenzyklen.

[0006] Es besteht daher der Bedarf an einer Vorrichtung und einem begleitenden Verfahren für das Reduzieren der Rechenkomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren.

[0007] Die Veröffentlichung "Nonlinear Pyramids for Object Identification" von C.A. Segall et al der Oklahoma State University, präsentiert an der Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, Kalifornien, 3.–6. November 1996, eine Untersuchung von Bildpyramiden, die über nichtlineares Filtern und Subsampling bzw. Unterfiltern für die Objektidentifikation konstruiert sind. Zwei nichtlineare Strukturen, eine morphologische Pyramide und eine anistropische Pyramide, werden in grob-zu-fein-Erkennungsalgorithmen verwendet.

[0008] Die Veröffentlichung "Motion estimation and compensation for image sequence coding" von Q. Wang et al der Heriot-Watt University, veröffentlicht in Signal Processing Image Communication, 4(1992) April, No. 2, Amsterdam, beschreibt einen Überblick und Experimente über pel-rekursive und Blockanpassungsalgorithmen für die Bewegungskompensation.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung und ein Verfahren für das Reduzieren der Berechnungskomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren und für das Verbessern der Genauigkeit der Bewegungsabschätzverfahren. Genauer gesagt zerlegt die vorliegende Erfindung jedes der Einzelbilder in einer Bildsequenz in eine nichtlineare Pyramide. Eine hierarchische Bewegungsvektorschreite wird dann auf der nichtlinearen Pyramide durchgeführt.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0010] Die Lehren der vorliegenden Erfindung können leicht nachvollzogen werden durch Betrachten der folgenden detaillierten Beschreibung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen, in denen:

[0011] [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm des Codierers der vorliegenden Erfindung darstellt für das Reduzieren der Rechenkomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren,

[0012] [Fig. 2](#) stellt ein Flußdiagramm eines Verfahrens dar für das Reduzieren der Rechenkomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren für die Blockbasierte Bewegungsabschätzung,

[0013] [Fig. 3](#) stellt ein Flußdiagramm eines Verfahrens für das Konstruieren einer nichtlinearen Pyramide dar,

[0014] [Fig. 4](#) stellt ein Blockdiagramm des Anwendens einer Filteroperation auf einem Bild dar unter Verwendung eines 3×3 Median Kerns,

[0015] [Fig. 5](#) stellt ein Blockdiagramm des Dezimierungsprozesses auf einem Bild dar, um ein Bild mit niedrigerer Auflösung zu erzeugen,

[0016] [Fig. 6](#) stellt ein Blockdiagramm eines Codiersystems der vorliegenden Erfindung dar, und

[0017] [Fig. 7](#) stellt ein Blockdiagramm des Anwendens einer Filteroperation auf einem Bild unter Verwendung eines 5×5 Median Kerns dar.

[0018] Um das Verständnis zu erleichtern, wurden identische Bezugszahlen verwendet, wo dies möglich war, um identische Elemente, die in mehreren Figuren enthalten sind, zu bezeichnen.

Detaillierte Beschreibung

[0019] [Fig. 1](#) stellt ein Blockdiagramm der Vorrichtung **100** der vorliegenden Erfindung dar für das Reduzieren der Berechnungskomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren, z.B. wie sie in einer blockbasierten hierarchischen Bewegungsabschätzung verwendet werden. Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird unten unter Verwendung eines Codierers beschrieben, es versteht sich jedoch, daß die vorliegende Erfindung an das Bildverarbeitungssystem im Allgemeinen angepaßt werden kann. Weiterhin kann die vorliegende Erfindung bei Codierern eingesetzt werden, die in Übereinstimmung mit verschiedenen Codierstandards sind. Diese Standards bzw. Normen beinhalten, sind jedoch nicht hierauf begrenzt, die Moving Picture Experts Group Standards (z.B. MPEG-1 (11172-*), MPEG-2 (13818-*), H.261 und H.263).

[0020] Die Vorrichtung **100** ist ein Codierer oder ein Abschnitt eines komplexeren blockbasierten bewegungskompensierten Codiersystems. Die Vorrichtung **100** weist ein Bewegungsschätzmodul **140**, ein Bewegungskompensationsmodul **150**, ein optionales Segmentierungsmodul **150**, ein Vorverarbeitungsmodul **120**, ein Geschwindigkeitssteuermodul **130**, ein Transformationsmodul (z.B. ein DCT Modul) **160**, ein Quantisierungsmodul **170**, ein Codierer (z.B. ein variables Längencodiermodul) **180**, einen Puffer **190**, ein inverses Quantisierungsmodul **175**, ein inverses Transformationsmodul (z.B. ein inverses DCT Modul) **165**, einen Subtrahierer **115** und einen Summierer **155** auf. Obgleich der Codierer eine Mehrzahl von Modulen aufweist, versteht der Fachmann, daß die Funktionen, die von den verschiedenen Modulen durchgeführt werden, nicht in separaten Modulen isoliert sein müssen, wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Der Satz von Modulen, der das Bewegungskompensationsmodul **150**, das inverse Quantisierungsmodul **175** und das inverse DCT Modul **165** aufweist, ist allgemein als "eingebetteter Decoder" bekannt.

[0021] [Fig. 1](#) stellt ein Eingangsbild (Bildsequenz) auf dem Pfad **110** dar, das digitalisiert wird und repräsentiert wird als ein Luminanz- und Zweifarbdifferenzsignale (Y, C_r, C_b) in Übereinstimmung mit den MPEG-Normen. Diese Signale werden erweitert unterteilt in eine Mehrzahl von Schichten bzw. Layern, so daß jedes Bild (Einzelbild) durch eine Mehrzahl von Makroblöcken repräsentiert wird. Jeder Makroblock weist Vier (4) Luminanzblöcke, einen C_r Block und einen C_b Block auf, wobei ein Block als eine Acht (8) mal Acht (8) Abfrageanordnung festgelegt ist. Die Aufteilung eines Bildes in Blockeinheiten verbessert die Fähigkeit Änderungen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildern zu unterscheiden und verbessert die Bildkomprimierung durch die Eliminierung von kleinen amplitudentransformierten Koeffizienten (unten erörtert). Die folgende Beschreibung verwendet die MPEG Standardterminologie, es versteht sich jedoch, daß der Begriff Makroblock oder Block dafür vorgesehen ist, ein Block aus Pixeln irgendeiner Größe oder Form zu beschreiben, der für die Basis der

Codierung verwendet wird. Allgemein gesprochen könnte ein "Makroblock" so klein wie ein einzelnes Pixel sein oder so groß wie ein gesamtes Videoeinzelbild.

[0022] In der bevorzugten Ausführungsform unterliegt das digitalisierte Eingangsbildsignal ein oder mehreren Vorverarbeitungsschritten in dem Vorverarbeitungsmodul **120**. Genauer gesagt weist das Vorverarbeitungsmodul **120** einen nichtlinearen Pyramidengenerator **122** auf. Der nichtlineare Pyramidengenerator **122** setzt ein nichtlineares Filter **123** ein, um jedes Einzelbild in eine Mehrzahl von unterschiedlichen Auflösungen zu zerlegen oder zu filtern unter Verwendung eines nichtlinearen Pyramidenkonstruktionsverfahren, um eine "nichtlineare Pyramide" zu erzeugen, wo die unterschiedlichen Auflösungen der nichtlinearen Pyramide in einer hierarchischen Art korreliert sind, wie unten beschrieben wird. In der bevorzugten Ausführungsform wird die nichtlineare Pyramide unten eingesetzt, um einen hierarchischen Bewegungsschätzprozeß zu implementieren.

[0023] Obgleich die vorliegende Erfindung direkt in Verbindung mit einem Bewegungsschätzprozeß implementiert ist, kann die vorliegende Erfindung angepaßt werden an andere Bildverarbeitungsverfahren. Beispielsweise kann ein optionales Blockklassifizierungsmodul **124** von der Information profitieren, die in der nichtlinearen Pyramide der Auflösungen bereitgestellt wird, um schnell Bereiche (Blöcke) als Bereiche hoher Aktivität oder niedriger Aktivität zu klassifizieren, wodurch die Merkmalserfassung innerhalb jedes Einzelbildes erlaubt wird. Die Merkmalserfassungsinformation kann wiederum verwendet werden, um einen Segmentierungsprozeß innerhalb eines optionalen Segmentierungsmoduls **151** zu unterstützen, Bereiche innerhalb jedes Einzelbildes zu segmentieren (oder einfach zu identifizieren), z.B. den Hintergrund vom Vordergrund, oder ein Objekt von einem anderen Objekt, z.B. verschiedene Merkmale eines menschlichen Gesichtes und der gleichen.

[0024] In [Fig. 1](#) wird das Eingangsbild auf dem Pfad **110** ebenso im Bewegungsschätzmodul **140** empfangen für das Abschätzen von Bewegungsvektoren. Ein Bewegungsvektor ist ein zweidimensionaler Vektor, der von der Bewegungskompensation verwendet wird, um einen Offset-Wert von der Koordinatenposition eines Blocks in dem gegenwärtigen Bild zu den Koordinaten in einem Referenzeinzelbild bereitzustellen. Die Verwendung von Bewegungsvektoren verbessert die Bildkomprimierung stark durch Reduzieren der Informationsmenge, die auf einem Kanal übertragen wird, da nur die Veränderungen innerhalb des gegenwärtigen Einzelbildes codiert und transmittiert werden. In der bevorzugten Ausführungsform empfängt das Bewegungsschätzmodul **140** ebenso Informationen von dem Vorverarbeitungsmodul **120**, um die Leistung des Bewegungsschätzprozeß zu verbessern.

[0025] Die Bewegungsvektoren von dem Bewegungsschätzmodul **140** werden von dem Bewegungskompensationsmodul **150** empfangen für das Verbessern der Effizienz der Vorhersage von Abfragewerten. Die Bewegungskompensation beinhaltet eine Vorhersage, die Bewegungsvektoren verwendet, um Offset-Werte vergangene und/oder zukünftige Referenzeinzelbilder bereitzustellen, die vorher codierte Abfragewerte enthalten, und werden verwendet, um den Vorhersagefehler zu bilden. Das Bewegungskompensationsmodul verwendet nämlich das vorher codierte Einzelbild und die Bewegungsvektoren, um eine Abschätzung (bewegungskompensierte Vorhersage oder vorhergesagtes Bild) des gegenwärtigen Einzelbildes auf dem Pfad **152** zu konstruieren. Diese bewegungskompensierte Vorhersage wird über den Subtrahierer **115** von dem Eingangsbild auf dem Pfad **110** in den gegenwärtigen Makroblöcken subtrahiert, um ein Fehlersignal (e) oder einen vorhergesagten Rest auf dem Pfad **153** zu bilden.

[0026] Das prädiktive Restsignal wird zu einem Transformationsmodul geleitet, z.B. einem DCT-Modul **160**. Das DCT-Modul legt dann einen diskreten Kosinus-Vorwärtstransformationsprozeß an jeden Block des prädiktiven Restsignals an, um einen Satz von acht (8) mal acht (8) Blöcken aus DCT-Koeffizienten zu erzeugen. Die diskrete Kosinustransformation ist eine invertierbare, diskrete Orthogonaltransformation, bei der die DCT-Koeffizienten die Amplituden eines Satzes von Kosinusbasisfunktionen darstellen.

[0027] Der resultierende 8×8 Block aus DCT-Koeffizienten wird vom Quantisierungsmodul (Q) **170** empfangen, wo die DCT-Koeffizienten quantisiert werden. Der Prozeß der Quantisierung reduziert die Genauigkeit, mit der die DCT-Koeffizienten dargestellt werden durch Teilen der DCT-Koeffizienten durch einen Satz von Quantisierungswerten oder Skalierung mit geeigneter Rundung, um ganzzahlige Werte zu bilden. Die Quantisierungswerte können einzeln für jeden DCT-Koeffizienten eingestellt werden unter Verwendung von Kriterien basierend auf der Sichtbarkeit der Basisfunktionen (bekannt als visuell gewichtete Quantisierung). Durch Quantisieren der DCT-Koeffizienten mit diesem Wert, werden viele der DCT-Koeffizienten zu Nullen konvertiert, wodurch die Bildkomprimierungseffizienz verbessert wird.

[0028] Der resultierende 8×8 Block von quantisierten DCT-Koeffizienten wird als nächstes von einem Codie-

rer z. B. einem variablen Längen Codiermodul **180**, über die Signalverbindung **171** empfangen, wo der zweidimensionale Block aus quantisierten Koeffizienten in einer "Zick Zack"-Ordnung abgetastet wird, um ihn in einen eindimensionales String aus quantisierten DCT-Koeffizienten umzuwandeln. Das variable-Längen-Codiermodul (VLC) **180** codiert dann den String aus quantisierten DCT-Koeffizienten und alle Seiteninformationen für den Makroblock, wie z.B. den Makroblocktyp und die Bewegungsvektoren. Das VLC Modul **180** führt somit den letzten Schritt des Umwandelns des Eingangsbildes in einen gültigen Datenstrom durch.

[0029] Der Datenstrom wird in einem Puffer empfangen, z.B. ein "First In-First Out" (FIFO) Puffer **190**. Eine Konsequenz der Nutzung unterschiedlicher Bildtypen und der variablen Längencodierung ist der, daß die Gesamtbirate variabel ist. Die Anzahl von Bits, die verwendet werden, um jedes Einzelbild zu codieren, kann nämlich unterschiedlich sein. Somit wird in Anwendungen, die einen Kanal mit fester Geschwindigkeit beinhalten, ein FIFO Puffer verwendet, um den Codiererausgang für das Glätten der Bitrate an den Kanal anzupassen. Das Ausgangssignal auf dem Pfad **195** vom FIFO Puffer **190** ist somit eine komprimierte Darstellung des Eingangsbildes **110**, wobei es zu einem Speichermedium oder einem Telekommunikationskanal gesendet wird.

[0030] Das Geschwindigkeitssteuermodul **130** dient dazu, die Bitrate des Datenstroms, der in den FIFO Puffer **190** eintritt, zu überwachen und einzustellen, um einen Überlauf und Unterlauf auf der Decoderseite (innerhalb eines Empfängers oder einer Zielspeichereinrichtung, nicht gezeigt) nach der Übertragung des Datenstroms zu verhindern. Es wird angenommen, daß ein Kanal mit fester Rate, Bits mit einer konstanten Geschwindigkeit zu einem Eingangspuffer innerhalb des Decoders (nicht gezeigt) transportiert. Bei regelmäßigen Intervallen, die durch die Bitrate bestimmt werden, entfernt der Decoder gleichzeitig alle Bits für das nächste Bild aus seinem Eingangspuffer. Wenn es zu wenige Bits in dem Eingangspuffer gibt, d.h. es wurden noch nicht alle Bits für das nächste Bild erreicht, dann kommt es im Eingangspuffer zu einem Unterlauf, was zu einem Fehler führt. In gleicher Weise, falls es zu viele Bits im Eingangspuffer gibt, d.h. die Kapazität des Eingangspuffers wird überschritten zwischen den Bildstarts, dann kommt es zu einem Überlauf des Eingangspuffer, was zu einem Überlauffehler führt. Es ist somit die Aufgabe des Geschwindigkeitssteuermoduls **130**, den Status des Puffers **190** zu überwachen, um die Anzahl von Bits, die von dem Codierer erzeugt werden, zu steuern, wodurch Überlauf- und Unterlaufzustände verhindert werden. Eine Ratensteuermethode kann die Anzahl von Codierbits steuern durch Einstellen der Quantisierungsskalen.

[0031] Weiterhin wird der resultierende 8×8 Block aus quantisierten DCT-Koeffizienten vom Quantisierungsmodul **170**, von dem inversen Quantisierungsmodul **175** und dem inversen DCT-Modul **165** über die Signalverbindung **172** empfangen. Kurz gesagt regeneriert der Codierer auf dieser Stufe I-Frames bzw. I-Einzelbilder und die P-Frames bzw. P-Einzelbilder der Bildsequenz durch Decodieren der Daten, so daß sie als Referenzframes für die nachfolgende Codierung verwendet werden.

[0032] [Fig. 2](#) stellt ein Flußdiagramm eines Verfahrens **200** für das Reduzieren der Rechenkomplexität bei der Bestimmung von Bewegungsvektoren für die blockbasierte Bewegungsabschätzung dar. Das Verfahren **200** verbessert nämlich ein blockbasiertes Bewegungsabschätzverfahren durch schnelles Festlegen eines ursprünglichen Suchbereichs, wo eine Übereinstimmung wahrscheinlich gegeben ist.

[0033] Genauer gesagt startet das Verfahren **200** in Schritt **205** und setzt mit Schritt **210** fort, wo eine nichtlineare Pyramide für jedes Einzelbild in der Bildsequenz erzeugt wird. Das Verfahren der Erzeugung der nichtlinearen Pyramide wird unten in Bezug auf die [Fig. 3](#)–[Fig. 5](#) und [Fig. 7](#) beschrieben. Die nichtlineare Pyramide ist ein spezieller Typ einer hierarchischen Pyramide.

[0034] Sobald die nichtlineare Pyramide erzeugt ist, wird die Bewegungsabschätzung in Schritt **220** auf der nichtlinearen Pyramide durchgeführt, wo die Suche in dem niedrigsten Auslösungslevel der nichtlinearen Pyramide startet. Die Information, die von dieser Suche erhalten wird, wird dann benutzt, um die Suche in der nächst höheren Auflösung der nichtlinearen Pyramide zu verbessern usw. bis zum höchsten Auslösungs niveau. Diese Ausbreitung der Suchinformation stellt ein effizientes und schnelles Verfahren der Durchführung einer Bewegungsabschätzung bereit.

[0035] Genauer gesagt wird die hierarchische Bewegungsvektorabschätzung rekursiv verwirklicht von einem höheren Niveau (niedrigeres Auflösungslayer) zu einem niedrigeren Niveau (höhere Auflösungslayer) der nichtlinearen Pyramide. Die Rechenkomplexität wird somit signifikant reduziert aufgrund der reduzierten Bildgrößen auf höheren Layern. In der bevorzugten Ausführungsform ist das Übereinstimmungskriterium, das bei der hierarchischen blockbasierten Bewegungsvektorabschätzung verwendet wird:

$$MAD_l(x, y) = \frac{1}{\hat{M}\hat{N}} \sum_{i=0}^{\hat{M}-1} \sum_{j=0}^{\hat{N}-1} |I_{l,k}(i, j) - I_{l,k-1}(i+x, j+y)| \quad (1)$$

$$-D_l \leq x, y \leq D_l, \quad l = 0, 1, 2, 3$$

[0036] Wobei $I_{l,k}(i, j)$ die Intensität des Pixels am Ort (i, j) innerhalb des Blocks im k -ten Einzelbild auf dem l -ten Level ist und die Verschiebung beträgt (x, y) . Somit ist $I_{3,k}(i, j)$ die Intensität des Pixels auf dem Vollauflösungsbild.

[0037] \hat{M} und \hat{N} sind die Höhe und die Breite eines Subblocks auf dem Niveau l . M und N sind die Höhe und die Breite eines Subblocks auf dem Level 3. Es sei bemerkt, daß

$$\hat{M} = \frac{M}{2^{3-l}} \quad \text{und} \quad \hat{N} = \frac{N}{2^{3-l}}.$$

Eine Blockgröße von $\hat{M} \times \hat{N}$ ($M \times 2^{l-3} \times N \times 2^{l-3}$) wird in dem Unterbild beim Niveau l verwendet. Mit dieser Struktur ist die Anzahl von Bewegungsblöcken für alle Unterbilder konstant, da ein Block mit einer Auflösung der selben Position und denselben Objekten bei einer anderen Auflösung entspricht.

[0038] Die Größe des Blockes variiert weiterhin mit der Auflösung. Ein kleinerer Bewegungsblock korrespondiert zu einer geringeren Auflösung. Der Vorteil dieses variablen Blockgrößenverfahrens ist der, daß es die Wichtigkeit von unterschiedlichen Layern geeignet wichtet und die menschliche visuelle Wahrnehmung an verschiedene Frequenzen bei unterschiedlichen Auflösungen anpaßt und Bewegungen für kleine Objekte auf einem höheren Level der Pyramide erfassen kann. Nachdem nichtlineare Pyramiden konstruiert wurden, werden die Bewegungsvektoren auf dem Level 0 als erstes abgeschätzt unter Verwendung einer vollen Suche mit Gleichung (1) und einer Blockgröße von $\hat{M} \times \hat{N}$. Der Bewegungsvektor, der den kleinsten $MAD_l(x, y)$ bereitstellt, wird als der grobe Bewegungsvektor auf diesem Level ausgewählt und wird an das nächst niedrigere Level weitergeleitet, so daß es als ein ursprünglicher Vektor für die Bewegungsabschätzung auf diesem Level verwendet wird. Der erfaßte Bewegungsvektor auf dem höheren Niveau wird nämlich zu dem niedrigeren Niveau übertragen und führt den Verfeinerungsschritt auf diesem Niveau. Dieser Bewegungsabschätzprozeß wird einmal mehr bis zum Level 3 wiederholt.

[0039] Durch die zweimalige Verwendung des Bewegungsvektors auf dem Level $l-1$ für das Level l als ein Ursprungsvektor, werden die Bewegungsvektoren für das Level l verfeinert durch Verwendung der vollen Suche, jedoch mit einem relativ kleinen Suchbereich. Wenn der Bewegungsvektor auf dem Niveau $l-1$ durch $V_{l-1}(x-y)$ dargestellt wird, kann der erfaßte Bewegungsvektor auf dem Level l beschrieben werden als:

$$V_l(x, y) = 2V_{l-1}(x, y) + \Delta V_l(\delta x, \delta y) \quad (2)$$

$l = 1, 2, 3$

wobei $\Delta V(\delta x, \delta y)$ das aktualisierte Inkrement des Bewegungsvektors auf dem Level l ist und ausgedrückt wird durch:

$$\Delta V_l(\delta x, \delta y) = \arg \min_{M' N'} \frac{1}{M' N'} \sum_{i=0}^{M'-1} \sum_{j=0}^{N'-1} |I_{l,k}(i+x, j+y) - I_{l,k-1}(i+x+\delta x, j+y+\delta y)| \quad (3)$$

$$-D_l \leq \delta x, \delta y \leq D_l, \quad l = 1, 2, 3$$

[0040] Um den Vorhersagefehler zwischen dem ursprünglichen Bild und dem Bewegungskompensierten Bild weiter zu reduzieren, wird die Halbpixelsuche in dem vorgeschlagenen hierarchischen Bewegungsvektorabschätzalgorithmus implementiert. Das Bild mit der Halbpixelauflösung wird erzeugt unter Verwendung der Interpolation von dem Bild mit der Vollpixelauflösung. Die Werte der räumlich interpolierten Pixel werden berechnet unter Verwendung der Interpolationsgleichung, die von MPEG TM4 empfohlen werden. Die Interpolationsgleichung lautet wie folgt:

$$\begin{aligned} S(x + 0.5, y) &= (S(x, y) + S(x + 1, y))/2 \\ S(x, y + 0.5) &= (S(x, y) + S(x, y + 1))/2 \\ S(x + 0.5, y + 0.5) &= (S(x, y) + S(x + 1, y) + S(x, y + 1) + S(x + 1, y + 1))/4 \end{aligned} \quad (4)$$

wobei x, y die ganzzahligen horizontalen und vertikalen Pixelkoordinaten sind und S der Pixelwert ist. Obgleich die vorliegende Erfindung den Bewegungsabschätzprozeß einsetzt, wie in den Gleichungen (1) bis (4) ausge-

drückt ist, versteht es sich, daß die vorliegende Erfindung mit anderen Bewegungsschätzverfahren implementiert werden kann. Die Verwendung der nicht linearen Pyramide kann nämlich mit anderen Bewegungsschätzverfahren verwendet werden.

[0041] [Fig. 3](#) stellt ein Flußdiagramm eines Verfahrens **300** für das Konstruieren einer nicht linearen Pyramide dar. Genauer gesagt startet das Verfahren **300** in Schritt **305** und setzt mit Schritt **310** fort, wo die Initialisierung stattfindet. Das Originalbild X_n ($n = \text{Auflösungslevel des Ursprungsbildes}$) wird gleich einem Bild X_k ($k = \text{Auflösungslevel der nicht linearen Bildpyramide}$) eingestellt, welches als höchster Auflösungslevel (Level 0, d.h. $k = 0$) der nicht linearen Bildpyramide fungiert.

[0042] In Schritt **320** wendet das Verfahren **300** einen nicht linearen Filter H an das Bild X_k an, wo der Ausgang des nicht linearen Filters H dargestellt wird durch $H(X_k)$. Der nicht lineare Filter wendet eine nicht lineare Funktion (oder Kern bzw. kernel) an, wie z.B. eine 3×3 Medianfunktion, eine 5×5 Medianfunktion, eine gewichtete Median-1-Funktion und eine gewichtete Median-2-Funktion. Diese Funktionen werden unten in Bezug auf die [Fig. 4](#) und [Fig. 7](#) beschrieben.

[0043] Genauer gesagt stellt [Fig. 4](#) ein Blockdiagramm des Anwendens einer nicht linearen Filteroperation auf einem Bild **410** dar unter Verwendung eines 3×3 Mediankerns, um ein gefiltertes Bild **420** zu erzeugen. In der vorliegenden Erfindung kann der 3×3 Mediankern in drei (3) unterschiedlichen Ausführungsformen ausgedrückt werden:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

[0044] In Funktion wird jeder der Pixelwerte **411** im Bild **410** durch einen der obigen 3×3 Mediankerne gefiltert, um einen entsprechenden Pixelwert **422** in dem gefilterten Bild **420** zu erzeugen. Das Bild **410** kann das ursprüngliche Eingangsbild oder ein vorher gefiltertes und dezimiertes Bild der nichtlinearen Pyramide sein.

[0045] Zur Darstellung stellt die Gleichung (5) einen nicht gewichteten 3×3 Mediankern dar, d.h. jeder Wert in dem Kern ist gleichgewichtet. Um das gefilterte Pixel $X_{(1,1)}$ **422a** (das Pixel ganz oben links) in dem gefilterten Bild **420** zu erzeugen, wird der 3×3 Kern (dargestellt durch den Kasten mit der Bezeichnung **412a**) an das entsprechende Pixel $X_{(1,1)}$ in dem Bild **410** angewendet, wo der 3×3 Kern auf dem Pixel zentriert ist, das gefiltert wird. Mit anderen Worten wird der Wert des gefilterten Pixels $X_{(1,1)}$ **422a** bestimmt durch Auswählen des Medians der neun (9) Werte, die von dem 3×3 Mediankern abgedeckt werden. Mit dem 3×3 Kern zentriert auf dem Pixel $X_{(1,1)}$, der an der Ecke des Bildes lokalisiert ist, gibt es jedoch nicht genügend Pixelwerte, um die notwendigen neuen Werte bereitzustellen, wie von dem 3×3 Kern gefordert wird. Bei solchen "Rand"-pixeln wird das Bild aufgefüllt durch Duplizieren benachbarter "Kanten"-Pixelwerte, um die notwendigen Pixelwerte dem Kern zur Verfügung zu stellen. Diese Kantenauflistung stellt den Vorteil zur Verfügung des Bewahrens der Information, die an den Kanten des Bildes lokalisiert ist, ohne daß Fehler durch den Filterprozeß eingeführt werden.

[0046] Beispielsweise wird innerhalb der Box **412a** der Pixelwert 3×3 dreimal dupliziert und beide Pixelwerte $X_{(2,1)}$ und $X_{(1,2)}$ werden einmal dupliziert. Falls $X_{(1,1)}$ einen Wert 0 hat, $X_{(1,2)}$ einen Wert 100 hat, $X_{(2,1)}$ einen Wert 200 hat und $X_{(2,2)}$ einen Wert 255 hat, dann wird das gefilterte Pixel $X_{(1,1)}$ **422a** bestimmt durch Auswählen eines Medians aus der Gruppe von Pixelwerten (0,0,0,0,100,100,200,200,255) was 100 ergibt. Das gefilterte Pixel **422b** wird in ähnlicher Weise erzeugt unter Verwendung des 3×3 Kerns **412b** und das gefilterte Pixel **422c** wird erzeugt unter Verwendung des 3×3 Kerns **412c** usw. um das gesamte gefilterte Bild **420** zu bilden.

[0047] Alternativ dazu kann der 3×3 Mediankern gewichtet sein wie in den Gleichungen (2) und (3) dargestellt. Verschiedene Pixelwerte innerhalb des Kerns werden nämlich gewichtet oder stärker gezählt als andere Pixelwerte. Beispielsweise zeigt Gleichung (6), daß der Pixelwert, der im Kern zentriert ist, dreimal so stark gewertet wird als die umgebenden Pixelwerte. Dieses Gewicht "X" kann als eine Wichtung angesehen werden, wo die entsprechenden Pixelwerte durch das Gewicht X dupliziert werden. Bei Verwendung des gleichen obigen Beispiels, falls ein gewichteter 3×3 Median nach Gleichung (6) eingesetzt wird, dann wird das gefilterte Pixel $X_{(1,1)}$ **422a** bestimmt durch Auswählen eines Medians aus der Gruppe von Pixelwerten (0,0,0,0,0,0,100,100,200,200,255), was in diesem Fall 0 sein wird. Der Kern wichtet oder zählt den zentralen Pixelwert $X_{(1,1)}$ dreimal, wodurch zwei zusätzliche "0"-werte der Gruppe aus Pixelwerten zugefügt wird.

[0048] In ähnlicher Weise zeigt Gleichung (7), daß andere Pixelwerte in dem Kern ebenso gewichtet werden können. Aus dem zentralen Pixelwert, der dreimal gewichtet wird, werden nämlich die Pixelwerte, die direkt oberhalb, unterhalb, links und rechts des zentralen Pixelwertes liegen, zweimal mehr als die verbleibenden umgebenden Pixelwerte gewichtet. Erneut unter Verwendung des gleichen obigen Beispiels, falls ein gewichteter 3×3 Median nach Gleichung (7) eingesetzt wird, dann wird das gefilterte Pixel $X_{(1,1)}$ **422a** bestimmt durch Auswählen eines Medians aus der Gruppe von Pixelwerten (0,0,0,0,0,0,0,100,100,200,200,255), was in diesem Fall ebenso 0 sein wird.

[0049] Es versteht sich, daß andere gewichtete 3×3 Mediankerne in der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können. Die Auswahl eines bestimmten gewichteten Mediankerne wird jedoch häufig von der Anwendung und/oder dem Inhalt in den Bildern vorgegeben.

[0050] Alternativ dazu zeigt [Fig. 7](#) ein Blockdiagramm des Anwendens einer nichtlinearen Filteroperation auf ein Bild **710** unter Verwendung eines 5×5 Mediankerns, um ein gefiltertes Bild **720** zu erzeugen.

[0051] In der vorliegenden Erfindung kann der 5×5 Mediankern ausgedrückt werden als:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

[0052] Im Betrieb wird jeder der Pixelwerte **711** in dem Bild **710** von einem der obigen 5×5 Mediankerne gefiltert, um einen korrespondierenden Pixelwert **722** in dem gefilterten Bild **720** zu erzeugen. Das Bild **710** kann das ursprüngliche Eingangsbild oder ein vorher gefiltertes und dezimiertes Bild der nicht linearen Pyramide sein.

[0053] Zur Veranschaulichung stellt Gleichung (8) einen nicht gewichteten 5×5 Mediankern dar, d.h. jeder Wert in dem Kern wird gleichgewichtet. Um das gefilterte Pixel $X_{(1,1)}$ **722a** (das Pixel ganz oben links) in dem gefilterten Bild **720** zu erzeugen, wird der 5×5 Kern (dargestellt durch den Kasten mit der Bezeichnung **712a**) an das entsprechende $X_{(1,1)}$ in dem Bild **710** angewendet, wobei der 5×5 Kern auf dem Pixel, das gefiltert wird, zentriert ist. Mit anderen Worten wird der Wert des gefilterten Pixels $X_{(1,1)}$ **722a** bestimmt durch Auswählen des Medians der fünfundzwanzig (25) Werte, die von dem 5×5 Mediankern abgedeckt werden. Erneut gibt es, wenn der 5×5 Kern auf dem Pixel $X_{(1,1)}$ zentriert ist, das an der Ecke des Bildes lokalisiert ist, nicht genügend Pixelwerte, um die notwendigen fünfundzwanzig Werte bereitzustellen, wie sie von dem 5×5 Kern gefordert werden. Bei solchen "Rand"-pixeln, wird das Bild aufgefüllt durch Duplizieren benachbarter "Kanten"-pixelwerte, um die notwendigen Pixelwerte dem Kern bereitzustellen, wie in [Fig. 7](#) gezeigt ist.

[0054] Beispielsweise wird innerhalb der Box **712a** der Pixelwert $X_{(1,1)}$ achtmal dupliziert und die Pixelwerte $X_{(2,1)}$, $X_{(3,1)}$, $X_{(1,2)}$ und $X_{(1,3)}$ jeweils zweimal dupliziert. Falls $X_{(1,1)}$ einen Wert 0 hat, $X_{(1,2)}$ einen Wert 50 hat, $X_{(1,3)}$ einen Wert 100 hat, $X_{(2,1)}$ einen Wert 75 hat, $X_{(3,1)}$ einen Wert 125 hat, $X_{(2,2)}$ einen Wert 200 hat, $X_{(3,2)}$ einen Wert 255 hat, $X_{(2,3)}$ einen Wert 255 hat und $X_{(3,3)}$ einen Wert 255 hat, dann wird das gefilterte Pixel $X_{(1,1)}$ **722a** bestimmt durch Auswählen eines Medians aus der Gruppe von Pixelwerten (0,0,0,0,0,0,0,50,50,50,50,75,75,75,100,100,100,125,125,125,200,255,255,255), was 75 sein wird. Das gefilterte Pixel **722b** wird in ähnlicher Weise erzeugt unter Verwendung des 5×5 Kerns **712b** und das gefilterte Pixel **722c** wird erzeugt unter Verwendung des 5×5 Kerns **712c** usw., um das gesamte gefilterte Bild **720** zu bilden.

[0055] In gleicher Weise wie die 3×3 gewichteten Mediankerne kann der 5×5 Kern mit Gewichten imple-

mentiert werden.

[0056] Zurück in [Fig. 3](#) dezimiert in Schritt **330** das Verfahren **300** das gefilterte Bild in beiden Richtungen (horizontal und vertikal) um einen vorher festgelegten Faktor, um ein Bild $X_{(k-1)}$ mit niedrigerer Auflösung für die nichtlineare Pyramide zu erzeugen. [Fig. 5](#) stellt ein Blockdiagramm dieses Dezimierungsprozesses auf einem Bild dar, um ein Bild mit niedrigerer Auflösung zu erzeugen. Ein Bild, z.B. das gefilterte Bild **510** wird nämlich reduziert in ein Bild **520** mit niedrigerer Auflösung durch selektives Entfernen von Pixeln aus dem gefilterten Bild. In der bevorzugten Ausführungsform wird der Dezimierungsfaktor auf einen Wert zwei (2) in beiden Richtungen gesetzt, wobei jedes zweite Pixel (horizontal und vertikal) verworfen wird, um das Bild $X_{(k-1)}$ **520** mit niedrigerer Auflösung zu bilden. Genauer gesagt werden die Pixel **512a**, **512d** und **512e** beibehalten, um die entsprechenden Pixel **522a**, **522c** bzw. **522b** zu bilden in dem Bild **520** mit niedrigerer Auflösung. Die Pixel **512b** und **512c** werden dem Dezimierungsprozeß verworfen, der fortgesetzt wird, bis das Bild **520** mit niedrigerer Auflösung vollständig gebildet ist. Obgleich die vorliegende Erfindung einen Dezimierungsfaktor von zwei einsetzt, versteht es sich, daß andere Dezimierungsfaktorwerte in der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können.

[0057] In Schritt **340** fragt das Verfahren **300** ab, ob zusätzliche Level für die nichtlineare Pyramide zu erzeugen sind. Falls die Abfrage bestätigend beantwortet wird, dann kehrt das Verfahren **300** zu Schritt **320** zurück, wo die Filter- und Dezimierungsschritte wiederholt werden, um das Bild X_{k-2} mit der nächst niedrigeren Auflösung zu erzeugen usw. Falls die Abfrage negativ beantwortet wird, dann setzt das Verfahren **300** mit Schritt **350** fort und endet. In der bevorzugten Ausführungsform wird eine nichtlineare Pyramide für jedes Eingangsbild erzeugt, wobei die nichtlineare Pyramide vier Auflösungslevels (Levels 0-3) hat. Es versteht sich jedoch, daß die nichtlineare Pyramide mit irgendeiner Anzahl von Auflösungslevels und/oder unter Verwendung von anderen Dezimierungsfaktoren außer "2" erzeugt werden kann. Allgemein kann die nichtlineare Pyramide in Übereinstimmung mit der Anforderung einer bestimmten Anwendung oder der Spezifikationen des Eingangsbildes, z.B. des, z.B. der Größe des Bildes, dem Inhalt des Bildes usw. erzeugt werden. Beispielsweise kann ein größeres Eingangsbild eine größere nicht lineare Pyramide erfordern.

[0058] [Fig. 6](#) stellt ein Blockdiagramm eines Codiersystems **600** der vorliegenden Erfindung dar. Das Codiersystem weist einen Allzweckcomputer **610** und verschiedene Eingabe/Ausgabegeräte **620** auf. Der Allzweckcomputer weist eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) **612**, einen Speicher **614** und einen Codierer **616** für das Empfangen und Codieren einer Sequenz von Bildern auf.

[0059] In der bevorzugten Ausführungsform ist der Codierer **616** der Codierer **100** wie oben erörtert. Der Codierer **616** kann ein physikalisches Gerät sein, das mit der CPU **612** über einen Kommunikationskanal verbunden ist. Alternativ dazu kann der Codierer **616** durch eine Softwareanwendung (oder eine Kombination aus einer Softwareanwendung und Hardware, z.B. über einen Anwendungsspezifischen Schaltkreis (ASIC)) dargestellt werden, wobei die Softwareanwendung von einer Speichervorrichtung geladen wird, z.B. einer magnetischen oder optischen Platte, und im Speicher **612** des Computers residiert. Die CPU **612** dient dazu, die Softwareanwendung, die im Speicher **614** residiert, auszuführen. Im Grunde genommen kann der Codierer **100** der vorliegenden Erfindung auf einem computerlesbaren Medium gespeichert sein.

[0060] Der Computer **610** kann mit einer Mehrzahl von Eingabe- und Ausgabegeräten **620**, wie z.B. einer Tastatur, einer Maus, einer Kamera, einem Camcorder, einem Videomonitor, irgendeiner Anzahl von Abbildungsgeräten oder Speichergeräten einschließlich jedoch nicht begrenzt auf ein Bandlaufwerk, ein Diskettenlaufwerk, ein Festplattenlaufwerk oder ein CD-Laufwerk sein, sein. Die Eingabegeräte dienen dazu, Eingaben dem Computer zur Verfügung zu stellen für das Erzeugen der codierten Videobitströme oder um die Abfolge von Videobildern von einer Speichervorrichtung oder einer abbildenden Vorrichtung zu empfangen. Schließlich ist eine Kommunikationskanal **630** gezeigt, über den das codierte Signal von dem Codiersystem zu einem Decodiersystem (nicht gezeigt) weitergeleitet wird.

[0061] Obgleich verschiedene Ausführungsformen, die die Lehren der vorliegenden Erfindung beinhalten, gezeigt und im Detail hier beschrieben wurden, können Fachleute leicht viele andere varierte Ausführungsformen ableiten, die diese Lehren immer noch beinhalten.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchführen einer Datenkomprimierung einer Videobildsequenz, wobei jedes Einzelbild in der Videobildsequenz in Blöcke unterteilt wird, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:
 (a) Zerlegen jedes Einzelbildes innerhalb der Bildsequenz in eine nicht-lineare Pyramide und

(b) Durchführen einer hierarchischen Bewegungsabschätzung auf der nicht-linearen Pyramide, um einen Bewegungsvektor für einen Block in dem gegenwärtigen Einzelbild relativ zu einer Position des Blockes in einem Referenzeinzelbild abzuschätzen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Zerlegungsschritt (a) die Schritte aufweist:

(a') Anlegen eines nicht-linearen Filters an das Bild, um ein gefiltertes Bild zu erzeugen, und

(a'') Dezimieren des gefilterten Bildes, um ein Bild mit niedrigerer Auflösung der nichtlinearen Pyramide zu erzeugen.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem das Anwenden von Schritt (a'') den Schritt des Anwendens eines Medianfilters an das Bild aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der Medianfilter ein 3×3 Medianfilter ist.

5. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem der 3×3 Medianfilter ein gewichteter Filter ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem Schritt (a) aufweist:

(a') Einstellen des Bildes als das Bild höchster Auflösung der nicht-linearen Pyramide,

(a'') Anwenden eines Medianfilters an das Bild, um ein gefiltertes Bild zu erzeugen, und

(a''') Dezimieren des gefilterten Bildes, um ein Bild mit niedrigerer Auflösung der nichtlinearen Pyramide zu erzeugen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem der Medianfilter ein 3×3 Medianfilter ist.

8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem Medianfilter ein 5×5 Medianfilter ist.

9. Vorrichtung, die derart konfiguriert ist, daß sie die Datenkompression einer Videobildsequenz durchführt, wobei jedes Einzelbild in der Videobildsequenz in Blöcke unterteilt wird, wobei die Vorrichtung aufweist: Einrichtungen für das Zerlegen jedes Einzelbildes innerhalb der Bildsequenz in eine nichtlineare Pyramide und eine Einrichtung für das Durchführen einer hierarchischen Bewegungsabschätzung auf der nicht-linearen Pyramide, um einen Bewegungsvektor für einen Block in dem gegenwärtigen Einzelbild relativ zu einer Position des Blockes in einem Referenzeinzelbild abzuschätzen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

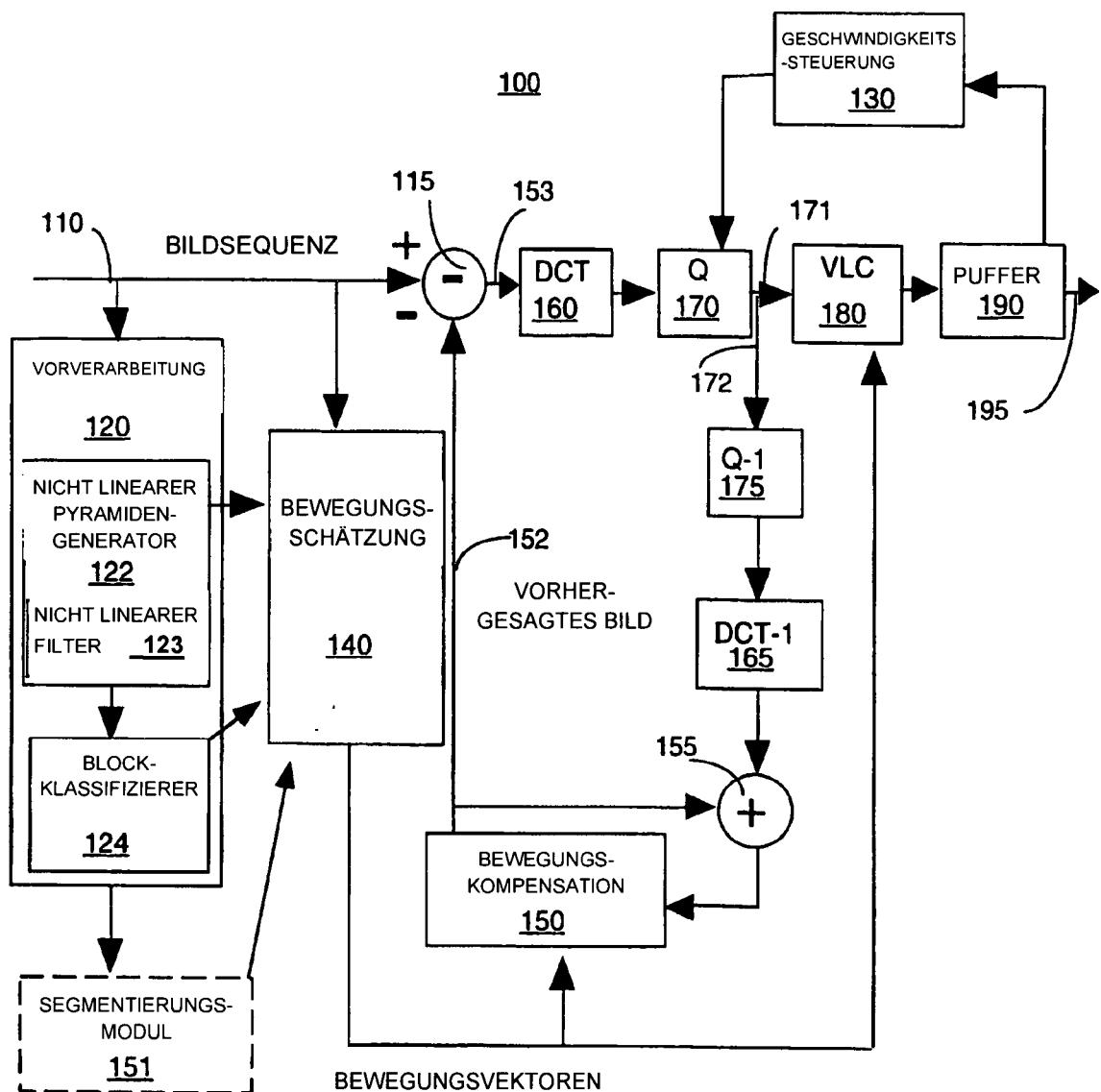


FIG. 1

FIG. 2

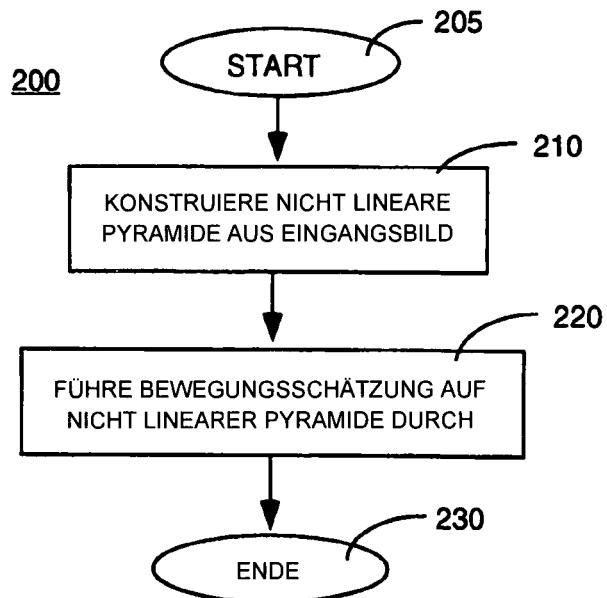
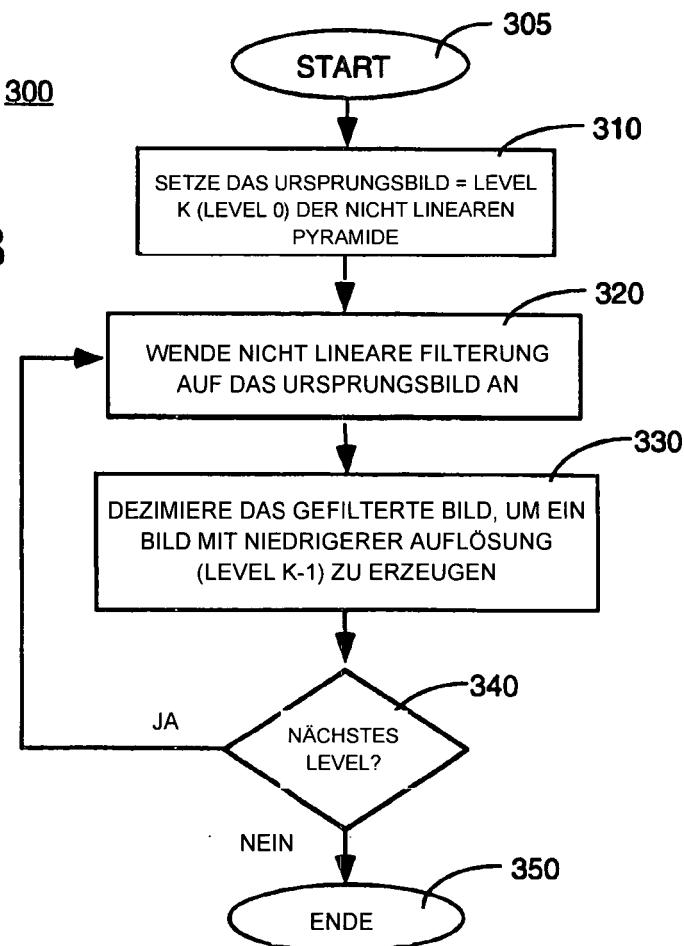


FIG. 3



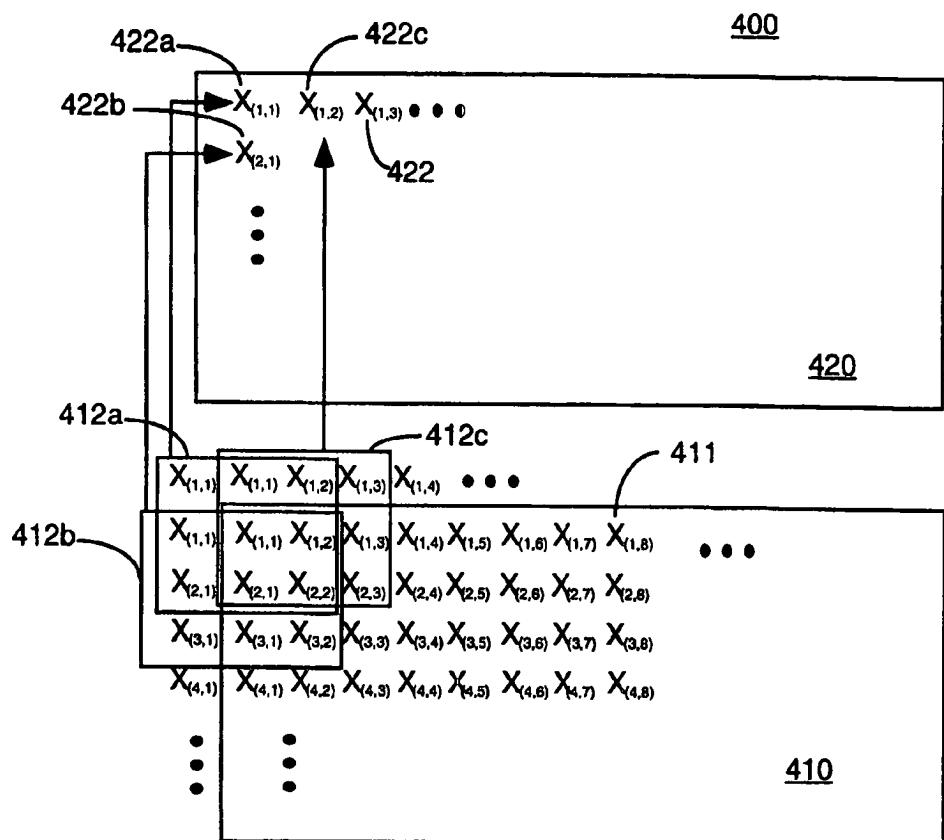


FIG. 4

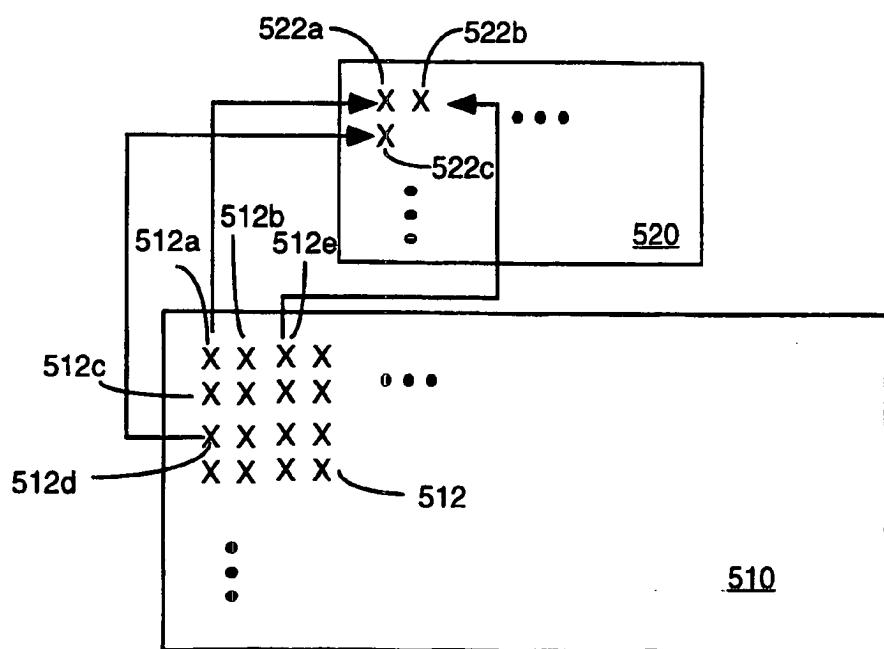


FIG. 5

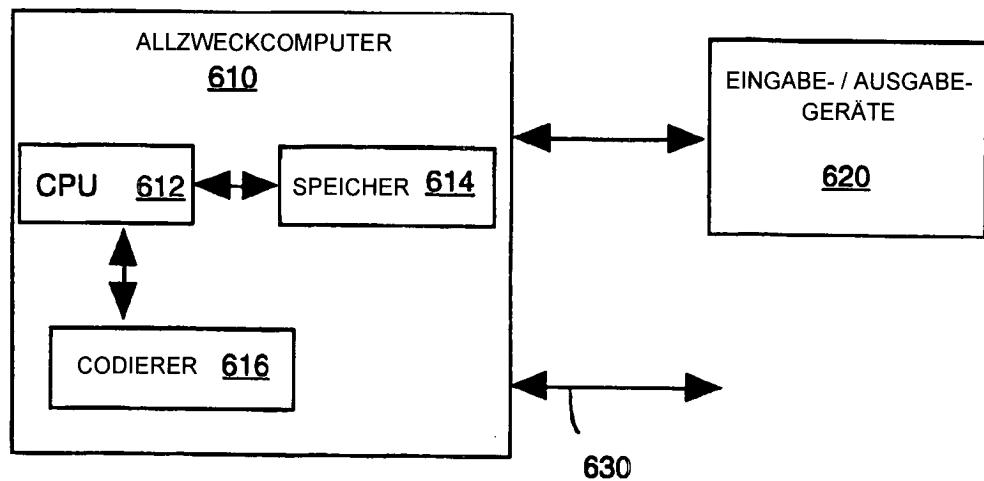


FIG. 6

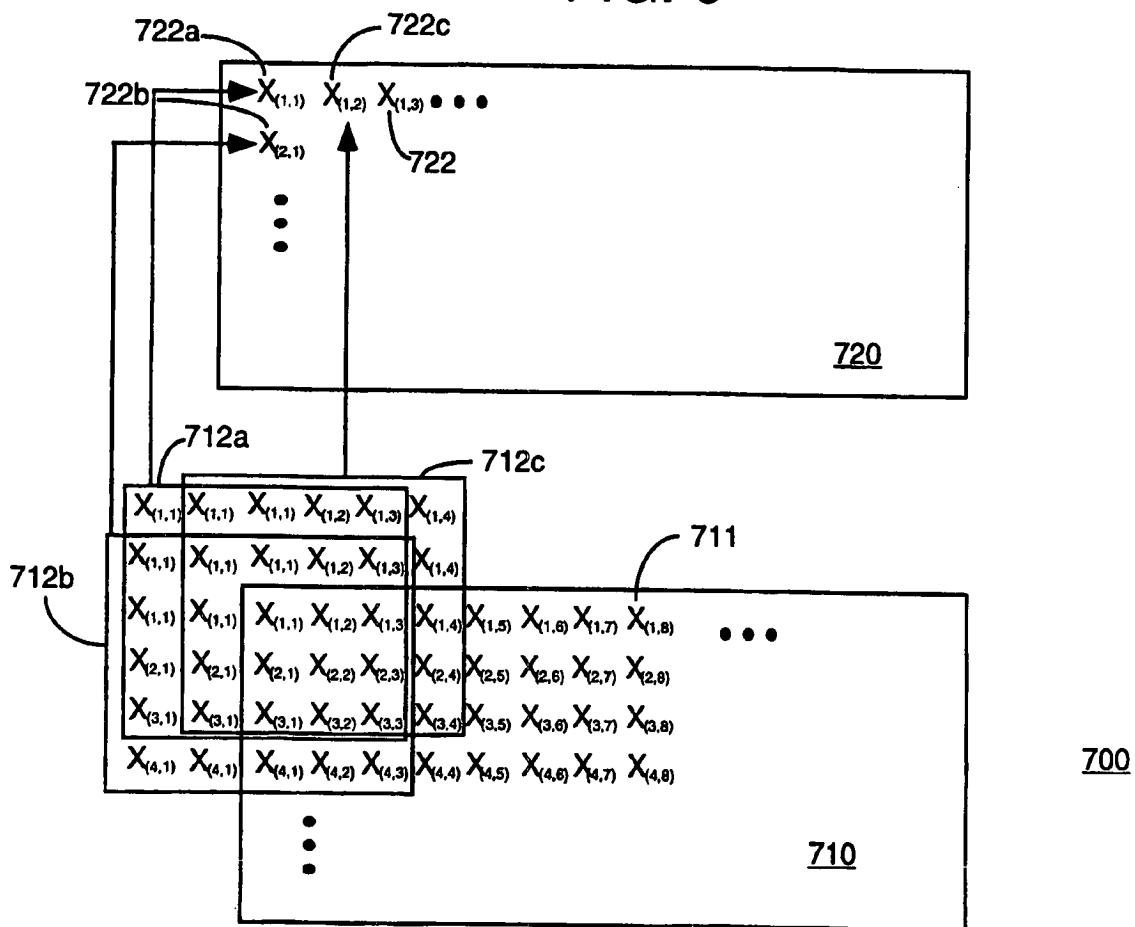


FIG. 7