



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 31 906 T2** 2007.04.26

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 043 687 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G06T 1/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 31 906.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 400 949.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.04.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **11.10.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **22.11.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **26.04.2007**

(30) Unionspriorität:

9904461 09.04.1999 FR

9904462 09.04.1999 FR

9908187 25.06.1999 FR

(73) Patentinhaber:

Canon K.K., Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:

TBK-Patent, 80336 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Donescu, Ioana, 35000 Rennes, FR; Nguyen, Eric,
35000 Rennes, FR; Onno, Patrice, 35000 Rennes,
FR**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Einfügen eines Wasserzeichens und dazugehöriges Dekodierverfahren**

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

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

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren des Einfügens eines Wasserzeichens und auf ein dazu zugehöriges Verfahren des Decodierens eines Wasserzeichenmarkierungssignals.

[0002] Somit handelt es sich um eine Einrichtung zum Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals und um eine Einrichtung zum Decodieren eines Wasserzeichenmarkierungssignals.

[0003] Die vorliegende Erfindung liegt, allgemein ausgedrückt, im technischen Gebiet der Wasserzeichenmarkierung von Digitalbildern und insbesondere von Stehbildern.

[0004] Die Wasserzeichenmarkierung digitaler Daten ermöglicht es, diese Daten mit Rechtsschutz zu versehen, beispielsweise durch Hinzufügen einer Copyrightinformation.

[0005] In ihrem allgemeinen Prinzip besteht die Wasserzeichenmarkierung aus dem Einfügen eines unlöschbaren Wasserzeichens in Digitaldaten, wobei dieses verglichen werden kann mit dem Codieren zusätzlicher Information in den Daten.

[0006] Das Decodieren dieser Zusatzinformation ermöglicht es, die eingefügte Zusatzinformation zu überprüfen.

[0007] Das eingefügte Wasserzeichen muss folglich sowohl nicht wahrnehmbar und robust gegenüber gewissen Störungen, die das Digitalbild erfährt, als auch zuverlässig festzustellen sein.

[0008] Eine übliche Technik des Einfügens eines Wasserzeichenmarkierungssignals in ein Digitalbild besteht herkömmlicher Weise aus der Verwendung eines Linearmodulationsmodells, bei dem wenigstens ein Koeffizientengegenstand, der das Digitalbild darstellt, entsprechend diesem Linearmodell unter Verwendung eines Gewichtungskoeffizienten moduliert wird.

[0009] Indem man mit $X = \{X_i, 1 \leq i \leq N\}$ einen Satz von Koeffizienten benennt, der wenigstens einen Teil eines Digitalbildes repräsentiert, und mit $w = \{w_j, 1 \leq j \leq P\}$ ein Wasserzeichen der Größe $P \leq N$, ein Pseudozufallssignal mit bekannter Verteilung und im Durchschnitt von Null benennt, lautet die Lineareinführungsformel:

$$X'_j = X_j + b\alpha_j w_j, \text{ mit } 1 \leq j \leq P,$$

wobei $\{X_j, 1 \leq j \leq P\}$ ein Gegenstand des Satzes von Koeffizienten X , b ein Informationsbit und α_j ein Gewichtungskoeffizient ist und auch Modulationsamplitude genannt wird.

[0010] Die Feststellung des Wasserzeichens besteht dann im Feststellen, ob die Pseudozufallssequenz w in den Koeffizientensatz eingefügt ist. Diese Feststellung erfolgt ohne Verwendung des Originalbildes und kann auf einem standardisierten statistischen Test beruhen, der es ermöglicht, eine Wahrscheinlichkeit korrekter Feststellung zu berechnen.

[0011] Eine derartige Einfügungstechnik ermöglicht es, durch Einfügen eines Wasserzeichens eine Einzelinformationsbitsequenz einzusetzen, da die Antwort aus dem Detektor binär (ja/nein) ist.

[0012] Um eine größere Anzahl von Informationsbits in das Digitalbild einzufügen, insbesondere wenn ein Code von Q Bits erwünscht ist, womit beispielsweise der Name oder die Adresse des Eigentümers oder des Autors vom Bild aufgezeigt wird, ist es erforderlich, das zuvor beschriebene Einfügeverfahren ständig so oft zu wiederholen, wie einzufügende Informationsbits vorhanden sind. Um ein Binärsignal einzufügen, wird typischerweise entweder $b = 1$ oder $b = -1$ verwendet.

[0013] Beschreitet man einen anderen Weg, dann müssen Q Koeffizientengegenstände ausgewählt werden, und die Modulation dieser Gegenstände muss ausgeführt werden unter Auswahl von Q Wasserzeichen.

[0014] Separate Koeffizientengegenstände werden vorzugsweise so ausgewählt, dass sich Modulationsoperationen nicht gegenseitig überlagern, was die Feststellung stören oder unliebsame visuelle Effekte verursachen könnte.

[0015] Folglich ist es eine Aufgabe, eine Partition von Koeffizienten auszuwählen, die das Digitalbild in Q se-

paraten Gegenständen darstellen, die jeweils ein Informationsbit tragen.

[0016] Verschiedene bekannte Verfahren verwenden eine Einfügungstechnik für ein Wasserzeichenmarkierungssignal gegebener Größe durch Spektralspreizung. Der Nachteil dieser Verfahren, beispielsweise beschrieben im Artikel mit dem Titel "Secure spread spectrum watermarking for multimedia" von I. J. COX et al., in Proc. ICIP, Seiten 243–246, September 1996, und im Artikel mit dem Titel "Digital watermarking of raw and compressed video" von F. HARTUNG et al., in Proc. SPIE 2952: Digital Compression Technologies and Systems for Video Communication, Seiten 205–213, Oktober 1996, liegt darin, dass diese ein beliebiges Einteilen des Bildes in Blöcke feststehender Größe anwenden, und zwar ohne jegliche Garantie, dass die von jedem dieser Blöcke hervorgerufene Modulation festgestellt werden kann.

[0017] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Einfügeverfahren für ein Wasserzeichen vorzuschlagen, bei dem die Partition eines Digitalbildes dem Bild angepasst ist, wobei die Feststellbarkeit der eingefügten Bits für eine Einfügetechnik durch Modulation sichergestellt wird.

[0018] Die vorliegende Erfindung bezieht sich somit auf ein Verfahren zum Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals in ein Digitalbild durch Koeffizientenmodulation bestimmter Regionen, die das Digitalbild darstellen, mit einem Schritt des Bestimmens einer Partition in bestimmte Regionen des Digitalbildes.

[0019] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Partition in Regionen bewirkt durch adaptive Partition als eine Funktion eines Kriteriums statistischer Feststellbarkeit eines Informationsbits, das in jede Region eingefügt ist.

[0020] Auf diesem Weg wird eine adaptive Partition durchgeführt, die den Vorteil des Anpassens an den Inhalt des Bildsignals und des Garantierens der Feststellbarkeit vom eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignal besitzt, anders als die Wahl einer beliebigen Partition in feststehende Blöcke.

[0021] Diese Raumanpassungsfähigkeit ist erforderlich, da der Inhalt des Bildes räumlich nicht homogen ist.

[0022] Hinsichtlich einer vorgegebenen Modulationsamplitude ist der Grund dafür: Je größer die Sequenzlänge eines eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals ist und je größer folglich auch die Regionsgröße und daher die Anzahl modulierbarer Koeffizienten werden, umso zuverlässiger ist die Feststellung.

[0023] Wenn eine Korrelationsberechnung für das Herbeiführen der Feststellung verwendet wird, kann tatsächlich gezeigt werden, dass die Antwort des Detektors proportional zu $P^{1/2}$ ist, wobei P die Sequenzlänge des Wasserzeichenmarkierungssignals ist.

[0024] Die Antwort des Detektors ist darüber hinaus abhängig vom Bildsignal selbst. Je größer die Varianz der Koeffizienten ist, die das Bild darstellen, umso schwächer wird die Antwort vom Detektor ausfallen.

[0025] Zusammengefasst gibt es für eine gegebene Modulationsamplitude und für ein gegebenes Bild eine Minimallänge des Wasserzeichen, die erforderlich ist, um eine gegebene Feststellwahrscheinlichkeit sicherzustellen, wobei diese Minimallänge auch abhängig ist vom Lageinhalt des Bildsignals in der Region, in die das Wasserzeichenmarkierungssignal eingefügt ist.

[0026] Die adaptive Partition, die nach diesem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung herbeigeführt wird, garantiert die Feststellbarkeit des in die unterschiedlichen Regionen eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals, die durch diese Partition bestimmt sind.

[0027] Das Feststellbarkeitskriterium wird vorzugsweise unter Verwendung eines Maximalwerts vom Gewichtungskoeffizienten berechnet, der die Nichtwahrnehmbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals für die Modulation des Koeffizientensatzes sicherstellt, der das Digitalbild darstellt.

[0028] Je größer die Modulationsamplitude ist, das heißt, der Wert des Gewichtungskoeffizienten, umso zuverlässiger ist die Feststellung, da eine bessere Feststellwahrscheinlichkeit erzielbar ist. Je größer diese Modulationsamplitude ist, um so mehr wird diese Modulation dennoch im wasserzeichenmarkierten Bild sichtbar.

[0029] Folglich ist es vernünftig, eine Modulationsamplitude auszuwählen, die einer Maximalamplitude gleicht, die allgemein als JND (Just Noticeable Difference) bezeichnet wird, hinter der die Modulation im Bild sichtbar wahrgenommen wird.

[0030] Es lässt sich aufzeigen, dass die Maximalamplitude auch von der Frequenzlänge des Wasserzeichenmarkierungssignals abhängig ist und dass sie mit dieser Länge abnimmt.

[0031] Durch Auswahl eines Maximalwerts vom Gewichtungskoeffizienten, der die Nichtwahrnehmbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals für die Modulation des Satzes von Koeffizienten sicherstellt, der das Digitalbild darstellt, wird der Wert des Gewichtungskoeffizienten einer jeden Partitionsregion, und mit einer geringeren Größe als die Hauptanzahl aller Koeffizienten, die das Bild darstellen, viel kleiner als die Maximalmodulationsamplitude, die die Nichtwahrnehmbarkeit der Modulation dieser Region sicherstellt.

[0032] Die solchermaßen ausgeführte Partition stellt auch die Unsichtbarkeit der Modulation sicher, die bei allen Regionen herbeigeführt wird, die die Partition erfahren haben.

[0033] Entsprechend einem vorteilhaften Kennzeichen der Erfindung wird das Feststellbarkeitskriterium berechnet unter Verwendung eines Gewichtungskoeffizienten gemäß einer Formel in der Form von $\alpha_i = k_i \cdot \alpha_v$ für jeden zu modulierenden Koeffizienten, wobei k_i ein Modulationsfaktor ist, der von den Koeffizienten abhängig ist, die sich in der Nähe des auf der Region betrachteten Koeffizienten befinden, und wobei α_v dem Maximalwert des Gewichtungskoeffizienten gleicht.

[0034] Solchermaßen ist es möglich, die Wahrscheinlichkeiten visuellen "Maskierens" der Modulation durch das Bildsignal selbst auszunutzen. Typischerweise wird von der Tatsache Gebrauch gemacht, dass, je größer die Aktivität des Bildsignals beispielsweise im Sinne einer signifikanten Ortsvarianz der Koeffizienten ist, um so weniger die Modulation sichtbar sein wird.

[0035] Somit ist es möglich, örtlich den Gewichtungskoeffizienten und folglich auch die Modulationsamplitude zugunsten der Feststellbarkeit zu erhöhen, ohne dass dadurch die Nichtwahrnehmbarkeit der eingefügten Modulation verschlechtert wird.

[0036] Nach einem weiteren bevorzugten Merkmal der Erfindung umfasst das Einfügeverfahren eines Wasserzeichens einen Schritt des Anwendens einer Verzerrung vor Berechnen des Feststellbarkeitskriteriums.

[0037] Nach einem weiteren bevorzugten Merkmal der Erfindung umfasst das Verfahren des Wasserzeicheneinfügens einen vorherigen Schritt des Vergleichens der Größe einer jeden Partitionsregion mit einer Minimalgröße entsprechend der Minimalgröße einer statistischen signifikanten Beispiels zur Feststellung eines Wasserzeichenmarkierungssignals in der Region.

[0038] Da die Berechnungen statistischer Natur sind, die beim Feststellen des Wasserzeichenmarkierungssignals ausgeführt und insbesondere bei standardisierten hypothetische Tests durchgeführt werden, ist es erforderlich, die Minimalgrenze für die Größe einer jeden Region der Partition zu berücksichtigen, um die Gültigkeit der Feststelltests zu garantieren.

[0039] Nach einem speziellen praktischen Ausführungsbeispiel der Erfindung für jede Partitionszone werden alle Koeffizienten der Region moduliert durch Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals, die Feststellbarkeitsamplitude wird aus dem Feststellbarkeitskriterium berechnet, und das Feststellbarkeitskriterium wird bewertet durch Vergleichen der Feststellbarkeitsamplitude mit einem vorbestimmten Schwellenwert.

[0040] Die Feststellbarkeitsamplitude kann das Ergebnis der Berechnung einer Korrelation zwischen dem Satz modulierter Koeffizienten und dem Wasserzeichenmarkierungssignal sein oder das Ergebnis eines standardisierten statistischen Tests sein, wie im Artikel mit der Bezeichnung "A method for signature casting on digital images" von I. PITAS, in Proc. ICIP, Seiten 215–218, September 1996, beschrieben.

[0041] Das Feststellbarkeitskriterium kann praktisch bewertet werden, wenn eine Minimalmodulationslänge, berechnet für das Sicherstellen der Feststellbarkeit des eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals kleiner oder gleich der Kardinalzahl der Region ist.

[0042] Nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind folgende Verfahrensschritte vorgesehen:

- Erzeugen einer zentrierten Pseudozufallssequenz, die größenmäßig gleich der Kardinalzahl eines Koeffizientensatzes ist, die für zumindest einen Teil des Bildes repräsentativ sind, wobei dies aus zentrierten Pseudozufallssequenzen gebildet wird;
- Modulation der Menge von Koeffizienten durch die zentrierte Pseudozufallssequenz, um das gleiche In-

formationsbit in die Menge von Koeffizienten einzufügen; und

– Überprüfung eines Kriteriums einer Erfassbarkeit des durch Modulation eingefügten Informationsbits über jeden Bereich.

[0043] Somit ist es möglich, eine Partition eines Koeffizientensatzes in bestimmten Regionen zu bekommen, indem eine adaptive Partition auf der Grundlage eines Feststellbarkeitskriteriums von einem in jeder Region eingefügten Informationsbit ausgeführt wird.

[0044] Eine derartige adaptive Partition zeigt den Vorteil des Anpassens an den Inhalt vom Bildsignal garantierter Feststellbarkeit des Wasserzeichens, das auf verschiedenen Regionen eingefügt ist, die durch diese Partition bestimmt sind, im Gegensatz zur Auswahl einer Zufallspartition.

[0045] Für jede Partitionsregion wird in der Praxis ein Feststellbarkeitskriterium eines Informationsbits überprüft, das durch Modulation bezüglich der Koeffizienten der Region eingefügt wurde. Dieses Kriterium kann aus einem Vergleich des Ergebnisses eines standardisierten statistischen Tests mit dem Schwellenwert bestehen, der einer Wahrscheinlichkeit der im Voraus festgelegten Feststellung entspricht.

[0046] Dank des Verfahrens nach der Erfindung ist es möglich, eine zentrierte Pseudozufallssequenz auf der Grundlage des Datenmischens zentrierter Pseudozufallssequenzen geringer Größe zu erzeugen und die verfügbaren Koeffizienten zu modulieren, um das Einfügen eines Wasserzeichens zu erreichen.

[0047] Durch Modulieren aller Koeffizienten mit demselben Informationsbild und einer zentrierten Pseudozufallssequenz, die in Pseudozufallsuntersequenzen unterteilt ist, die ebenfalls bezüglich jeder Region der Partition zentriert sind, erzeugt über den Koeffizientensatz, müssen die Erzeugungsschritte der Pseudozufallssequenz und der Modulation nicht bei jeder neu getesteten Region wiederholt werden.

[0048] Nach einem bevorzugten Merkmal der Erfindung umfasst das Verfahren des Einfügens eines Wasserzeichens einen Einzelschritt des Anlegens einer Verzerrung an den Satz modulierter Koeffizienten, bevor der Verfahrensschritt des Überprüfens eines Feststellbarkeitskriteriums erfolgt.

[0049] Es ist bekannt, eine vorbestimmte Verzerrung an einen Satz modulierter Koeffizienten anzulegen und die Überprüfung des Feststellbarkeitskriteriums nach dieser Vorverzerrung so auszuführen, dass es möglich ist, die Feststellung des Wasserzeichens zu garantieren, das in eine Partition der Koeffizienten für eine vorbestimmte Verzerrung eingefügt ist.

[0050] Dank dieser Erfindung kann eine Vorverzerrung an den Satz modulierter Koeffizienten in einzigartiger Weise angelegt werden und muss nicht ständig bei jeder in der Partition getesteten neuen Region wiederholt werden.

[0051] In einem speziellen praktischen Ausführungsbeispiel der Erfindung kann der Koeffizientensatz von Spektralkoeffizienten sein, die aus einer Spektraltransformation von einem Digitalbild hervorgehen, und der Verfahrensschritt des Anlegens einer Verzerrung umfasst die folgenden Unterschritte:

- inverse Spektraltransformation des Satzes modulierter Koeffizienten, um ein mit Wasserzeichen versehenes Bild zu erhalten;
- Anwenden einer Verzerrung auf das mit Wasserzeichen versehene Bild; und
- Spektraltransformation des mit Wasserzeichen versehenen Bildes, um einen Satz von modulierten Koeffizienten nach einer Verzerrung zu erhalten.

[0052] Die Einsparung, die gewonnen wird in Hinsicht auf die Komplexität der Berechnung, ist in diesem Falle viel größer, wann immer das Anlegen einer Verzerrung mehrere Verarbeitungsschritte des Koeffizientensatzes erfordert, und hierbei speziell das Anlegen der inversen Spektraltransformation, um das wasserzeichenmarkierte Bild zu gewinnen und um eine Verzerrung anzulegen, so dass eine Kompression/Dekompression erfolgt, und dann das Anwenden einer erneuten Vorwärtsspektraltransformation des Bildes, um so das Feststellbarkeitskriterium der Spektraldomäne zu überprüfen.

[0053] Nach einem anderen speziellen praktischen Kennzeichen der Erfindung wird die zentrierte Pseudozufallssequenz aus Pseudozufallsuntersequenzen identischer Größe gebildet.

[0054] Eine derartige Pseudozufallssequenz ist speziell gut geeignet für die Anwendung einer von unten nach oben wiederholten Partition der Vierfachverzweigungsart, womit es möglich wird, wiederholt Regionen identi-

scher Größen zu kombinieren oder wiederholt Regionen in Unterregionen identischer Größe zu unterteilen.

[0055] Vorzugsweise haben die Pseudozufallsuntersequenzen eine Größe, die größer oder gleich einer Maximalzahl an Koeffizienten ist, die eine Region der Partition einer Größe bilden, die statistisch signifikant zur Gültigkeit des Feststellbarkeitskriteriums über die Region ist.

[0056] Somit ist es theoretisch möglich, eine Maximalpartition des Satzes von Koeffizienten in derselben einen zentrierten Pseudozufallssequenz zu bilden, wobei jede Pseudozufallsuntersequenz zentriert ist auf die Regionen kleinster Größe, die statistisch zum Einfügen eines Wasserzeichens durch Modulation in den Satz von Koeffizienten zulässig ist.

[0057] Nach einem praktischen Ausführungsbeispiel, das in Hinsicht auf die Berechnungen kostengünstig ist, wird im Erzeugungsschritt jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz durch Erzeugen der Hälfte eines Pseudozufallsabtastwerts auf der Untersequenz über einen Pseudozufallszahlengenerator und durch Symmetrieren der erzeugten Pseudozufallsabtastwerte geschaffen.

[0058] Beim Erzeugungsschritt in diesem Ausführungsbeispiel wird vorzugsweise jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz durch Permutation der Pseudozufallsabtastwerte unter Verwendung eines Geheimschlüssels erstellt.

[0059] Diese Permutationsoperation ermöglicht es, die innewohnende Zufallssequenznatur der Unterfrequenz zu bewahren, die erstellt ist durch Symmetrieren der Pseudozufallsabtastwerte, und die Nichtwahrnehmbarkeit des eingefügten Wasserzeichens nicht zu verringern.

[0060] Nach einem weiteren praktischen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird beim Erzeugungsschritt jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz geschaffen durch Erzeugen von Pseudozufallsabtastwerten über einen Pseudozufallszahlengenerator und durch Neuverteilen der Summe der erzeugten Pseudozufallsabtastwerte über jeden Abtastwert.

[0061] Nach einem bevorzugten Merkmal der Erfindung wird eine Partition durch wiederholtes Teilen des Digitalbildes ausgeführt und, für jede Region mit einem Rang der Partition, wird eine Partition eines direkt höheren Ranges bewertet, wenn und nur wenn wenigstens zwei Unterregionen der Region vorhanden sind, für die das Feststellkriterium bewertet ist.

[0062] Wenn versucht wird, eine Region in Unterregionen zu unterteilen, wird diese Partition eines höheren Rangs somit nur dann gültig, wenn die Anzahl der Regionen, in die ein Wasserzeichenmarkierungssignal tatsächlich einfügbar ist, während dem Feststellbarkeitskriterium entsprochen wird, aktuell erhöht ist.

[0063] Anderenfalls ist es vorzuziehen, die Region vor Unterteilung in stärkerer Größe beizubehalten, um die Feststellbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals zu erhöhen.

[0064] Nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird für jede Rangregion der Positionierung der Kapazitätswert vom Digitalbild inkrementiert, wenn das Partitionieren vom direkt höheren Rang nicht validiert ist, wobei die Kapazität gleich der Kardinalzahl der bestimmten Regionen ist, die das Partitionieren erzielt hat, auf dem das Partitionieren des Feststellbarkeitskriteriums bewertet wird.

[0065] Somit ist es möglich, die Kapazität des Digitalbildes zu berechnen, die somit der Anzahl an Informationsbits entspricht, die in das Digitalbild eingefügt werden können.

[0066] Dank der adaptiven Partitionierung, die nach der Erfindung erfolgt, wird durch ständiges Wiederholen des Partitionierens einer jeden Region, sofern das Feststellbarkeitskriterium damit erfüllt wird, die Maximalkapazität des Digitalbildes gewonnen, die der Wasserzeichenkapazität des Bildes durch die Einfügetechnik durch Modulation entspricht. Die Wasserzeichenmarkierungskapazität kann festgelegt werden als Maximalzahl an Informationsbits, die unauffällig in das Bild eingefügt werden können, mit der Garantie der Feststellbarkeit beim Decodieren.

[0067] Nach einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird für jede Region bei einem Partitionierungsrang der Kapazitätswert inkrementiert, wenn das Partitionieren vom direkt höheren Rang nicht validiert ist, wobei der Kapazitätswert verglichen wird mit einem feststehenden Kapazitätswert, und das Partitionieren wird für eine Region mit Feststellbarkeitsamplitude ständig wiederholt, die die höchste unter den an-

deren zu verarbeitenden Regionen ist, wenn der Kapazitätswert geringer als der feststehende Kapazitätswert ist.

[0068] In diesem Ausführungsbeispiel ermöglicht es das Partitionierungsverfahren, die bestmögliche Partitionierung in Hinsicht auf die Feststellbarkeit zu finden, wenn eine vorbestimmte Anzahl von Informationsbits einzufügen sind, gleich dem feststehenden Kapazitätswert.

[0069] Durch Auswahl der Regionen während des Partitionierens, für die die Feststellamplitude am höchsten ist, ermöglicht es die vorliegende Erfindung, die Partitionierung zu bestimmen, die a priori die beste Feststellbarkeit bezüglich des Decodierens von Wasserzeichenmarkierungssignalen garantiert, womit es möglich wird, eine vorbestimmte Anzahl von Informationsbits einzufügen.

[0070] Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung wird das Partitionieren herbeigeführt durch wiederholtes Verschmelzen des Digitalbilds, und für jede Region des Partitionierens, wofür das Feststellbarkeitskriterium nicht validiert ist, wobei die Region mit einer anderen Region des Partitionierens verschmolzen wird.

[0071] Die andere Region des Partitionierens in diesem Ausführungsbeispiel ist vorzugsweise nach Möglichkeit eine Region, für die das Feststellbarkeitskriterium nicht validiert ist.

[0072] Somit ist es möglich, die Kapazität vom Digitalbild durch Anschluss der Regionen zu erhöhen, die dem Feststellbarkeitskriterium nicht genügen.

[0073] Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Verfahren des Decodierens eines Wasserzeichenmarkierungssignals in einem Digitalbild, das durch Modulation von Koeffizienten eingefügt wird, die das Bild in bestimmten Regionen darstellen, die das Partitionieren des Digitalbilds bilden.

[0074] Gemäß der Erfindung umfasst das Decodierverfahren einen Schritt des Bestimmens eines Partitionierens in bestimmte Regionen des Digitalbilds, das zu decodieren ist durch Herbeiführen einer adaptiven Partitionierung als Funktion eines Kriteriums der statistischen Feststellbarkeit eines Informationsbits, das gewonnen wird durch die Demodulation der Koeffizienten bezüglich jeder Region.

[0075] Somit ermöglicht es das Decodierverfahren, beim Decodierer das adaptive Partitionieren zu finden, das durch Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals ausgeführt wird.

[0076] Dies liegt daran, dass dieses Partitionieren, das abhängt von den Bildinhalten, dem Decodierer nicht bekannt ist, wenn das Partitionieren in einer adaptiven Art ausgeführt wird, wie es zuvor mit dem Verfahren des Bestimmens einer Partitionierung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung erfolgt.

[0077] Das Decodierverfahren nach der Erfindung besteht dann aus dem Testen der akzeptablen Partitionierungen und dem Verifizieren der Feststellung eines Wasserzeichenmarkierungssignals bezüglich einer jeden der Regionen, die mit der Partitionierung zu tun haben.

[0078] Nach einem bevorzugten Merkmal der Erfindung umfasst das Decodierverfahren einen Vorlaufsschritt des Vergleichens der Größe einer jeden Region der Partitionierung mit der Minimalgröße entsprechend der Minimalgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts für die Feststellung des in die Region eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals.

[0079] Gemäß einem praktischen Ausführungsbeispiel des Decodierverfahrens nach der Erfindung wird für jede Partitionierungsregion eine Feststellamplitude aus dem Feststellbarkeitskriterium berechnet, und das Feststellbarkeitskriterium wird validiert durch Vergleichen der Feststellamplitude mit dem Schwellenwert, der zum Decodieren vorbestimmt ist.

[0080] Das Decodieren auf diese Weise ermöglicht es, die adaptive Partitionierung zu finden, die herbeigeführt wird, wenn das Wasserzeichenmarkierungssignal eingefügt wird.

[0081] Gemäß dem vorteilhaften Merkmal dieses Ausführungsbeispiels nach der Erfindung wird der zum Decodieren bestimmte Schwellenwert kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert, der während des Bestimmungsverfahrens einer Positionierung verwendet wird.

[0082] Dies liegt daran, dass beim Decodieren der Feststelltest bezüglich Koeffizienten erfolgt, die a priori moduliert sind und möglicherweise mit Rauschen behaftet sind. Diese Koeffizienten unterscheiden sich von den Originalkoeffizienten, und das Ergebnis des Feststellbarkeitstests beim Decodieren wird sich von demjenigen unterscheiden, der ausgeführt wird, um das Partitionieren zu bestimmen. Durch Wählen unterschiedlicher Schwellenwerte bezüglich des Decodierens und Codierens ist es möglich, die Variationstendenz bei der Feststellamplitude zu berücksichtigen aufgrund erhöhter Varianz bei den Koeffizienten, die moduliert sind und möglicherweise Rauschen enthalten.

[0083] Die vorliegende Erfindung betrifft auch in korrelativer Weise eine Einrichtung zum Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals in ein Digitalbild durch Modulieren von Koeffizienten bestimmter Regionen, wobei über Mittel zum Partitionieren in bestimmte Regionen des Digitalbilds verfügt wird, worin Partitionierungseinrichtungen zum Herbeiführen einer adaptiven Partitionierung als Funktion eines Kriteriums statistischer Feststellbarkeit von einem in eine jede Region eingefügten Informationsbit vorgesehen sind.

[0084] Nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel umfasst diese Vorrichtung:

- eine Einrichtung zum Erzeugen einer zentrierten Pseudozufallssequenz, die größtmäßig gleich der Kardinalzahl einer Menge von Koeffizienten ist, die für zumindest einen Teil des Bildes repräsentativ sind, wobei sie durch zentrierte Pseudozufallsuntersequenzen gebildet wird;
- eine Einrichtung für eine Modulation der Menge von Koeffizienten durch die zentrierte Pseudozufallssequenz, um das gleiche Informationsbit in die Menge von Koeffizienten einzufügen; und
- eine Einrichtung zum Überprüfen eines Kriteriums einer Erfassbarkeit des durch Modulation eingefügten Informationsbits über jeden Bereich.

[0085] Korrelativ betrifft die vorliegende Erfindung eine Decodiereinrichtung, die eingerichtet ist, das Decodierverfahren nach der Erfindung zu realisieren.

[0086] Die vorliegende Erfindung betrifft auch einen Computer, der eingerichtet ist, das Verfahren des Einfügens eines Wasserzeichens und des Decodierverfahrens gemäß der Erfindung zu realisieren.

[0087] Dieser Computer hat Eigenschaften und Vorteile, die jenen anhand der Verfahren beschriebenen gleichen, die es realisieren.

[0088] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auch auf ein Informationsspeichermittel, das ein Mikroprozessor lesen kann, der möglicherweise austauschbar ist, der ein Programm speichert, das das Verfahren des Einfügens eines Wasserzeichens und/oder des Decodierens gemäß der Erfindung realisiert.

[0089] Andere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden auch aus der nachstehenden Beschreibung der Erfindung deutlich werden. In der beiliegenden Zeichnung, die nicht beschränkende Beispiele angibt, bedeuten:

[0090] [Fig. 1](#) ein Gesamtdiagramm, das eine Einrichtung zum Einfügen eines Wasserzeichens in ein Digitalbild veranschaulicht;

[0091] [Fig. 2](#) veranschaulicht schematisch einen Schritt spektraler Analyse, die beim Einfügen eines Wasserzeichens angewandt wird;

[0092] [Fig. 3](#) ist ein Algorithmus des Schrittes zum Bestimmen einer Partitionierung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel nach der Erfindung;

[0093] [Fig. 4](#) ist ein Beispiel des Partitionierens einer Region durch Unterteilung;

[0094] [Fig. 5](#) ist ein Algorithmus eines Bestimmungsschrittes beim Partitionieren gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel nach der Erfindung;

[0095] [Fig. 6](#) ist ein Algorithmus des Decodierverfahrens nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0096] [Fig. 7](#) ist ein Algorithmus, der das Anwenden des Verfahrens vom Einfügen eines Wasserzeichens gemäß [Fig. 1](#) in ein Digitalbild darstellt;

- [0097] [Fig. 8](#) ist ein Algorithmus, der das Anwenden des Decodierverfahrens gemäß [Fig. 4](#) bei einem Digitalbild darstellt;
- [0098] [Fig. 9](#) ist ein Blockdiagramm, das ein Varianzausführungsbeispiel des Bestimmungsschritts einer Partitionierung gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung darstellt;
- [0099] [Fig. 10](#) stellt das Anwenden des Bestimmungsschritts einer Partition auf ein Digitalbild dar, nach einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- [0100] [Fig. 11](#) ist ein Algorithmus des Bestimmungsschritts einer Partition gemäß einer ersten Art des bevorzugten Ausführungsbeispiels nach der Erfindung;
- [0101] [Fig. 12](#) ist ein Algorithmus des Bestimmungsschritts einer Partition gemäß einer zweiten Art des bevorzugten Ausführungsbeispiels nach der Erfindung;
- [0102] [Fig. 13](#) ist ein Algorithmus des Einfügevorgangs nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;
- [0103] [Fig. 14](#) veranschaulicht mittels eines Graphen das Einfügevorgang von [Fig. 13](#); und
- [0104] [Fig. 15](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Einrichtung darstellt, die eingerichtet ist zum Realisieren der Verfahren nach der Erfindung.
- [0105] Nachstehend anhand [Fig. 1](#) beschrieben ist das Einfügen eines Wasserzeichens in einen Koeffizientensatz, der ein Digitalbild I darstellt.
- [0106] Dieses Digitalbild kann dargestellt werden durch einen Koeffizientensatz, entweder in der Raumdomäne oder einer transformierten Domäne, wobei die Koeffizienten im letzteren Falle Hybridkoeffizienten sind, das heißt, Koeffizienten, die sich sowohl in der Raumdomäne als auch in der Frequenzdomäne befinden. Eine derartige Darstellung des Bildes wird beispielsweise gewonnen unter Verwendung eines Unterbands, das aus einer Raumfrequenzanalyse des Bildes hervorgeht, beispielsweise einer diskreten Wellenzerlegung.
- [0107] Das Einfügen des Wasserzeichens wird über eine Spreizspektrumeinfügetechnik erreicht, indem Koeffizienten einer Ortsfrequenz moduliert werden, die das Bild darstellen, gewonnen aus der Ortsfrequenztransformation des Digitalbilds I.
- [0108] Beispielsweise kann eine diskrete Wellenzerlegung S verwendet werden, die diagrammartig in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Diese Ortsfrequenzzerlegung ist allgemein bekannt im Gebiet der Bildverarbeitung, und nur das Prinzip wird nachstehend erneut wiederholt. Es ermöglicht das Bildsegmentieren in Unterbänder und Frequenzen, um Hybridkoeffizienten zu erhalten, das heißt, Spektralkoeffizienten, die sich auch im Ort befinden, hier in der Bildebene.
- [0109] Das Bild I besteht aus Digitalabtastserien. Das Bild I wird beispielsweise dargestellt durch eine Byte-Serie, wobei jeder Bytewert ein Pixel vom Bild I darstellt, das ein Schwarzweißbild sein kann mit 256 Graustufen.
- [0110] Das Mehrfachauflösungsspektralzerlegungsmittel besteht aus einer Unterbandzerlegungsschaltung oder Analysierschaltung, die aufgebaut ist mit einem Satz von Analysefiltern, die jeweils mit Durch-Zwei-Teileinrichtungen zugehörig sind. Diese Zerlegungsschaltung filtert das Bildsignal I in zwei Richtungen, in Unterbänder hoher Ortsfrequenz und niedriger Ortsfrequenz. Diese Schaltung enthält mehrere aufeinander folgende Analyseblöcke zum Herunterteilen des Bildes I in Unterbänder entsprechend den verschiedenen Auflösungsgraden.
- [0111] Beispielsweise wird das Bild I heruntergeteilt in Unterbänder mit einem Zerlegungsgrad d gleich 3.
- [0112] Ein erster Analysierblock empfängt das Bildsignal I und filtert es durch zwei Tiefpassfilter beziehungsweise Hochpassfilter in einer ersten Richtung, beispielsweise in Horizontalrichtung. Nach Durchlaufen der Durch-Zwei-Teileinrichtungen werden die sich ergebenden gefilterten Signale in ihrer Reihenfolge durch zwei Tiefpassfilter beziehungsweise Hochpassfilter in einer zweiten Richtung gefiltert, beispielsweise in Vertikalrichtung. Jedes Signal durchläuft erneut eine Durch-Zwei-Teileinrichtung. Von daher werden vier Unterbänder LL_1 , LH_1 , HL_1 und HH_1 am Ausgang des ersten Analysierblocks gewonnen mit der höchsten Auflösung bei der Zer-

legung.

[0113] Das Unterband LL_1 enthält die Niederfrequenzkomponenten in den beiden Richtungen des Bildsignals I. Das Unterband LH_1 enthält die Niederfrequenzkomponenten längs der ersten Richtung sowie Hochfrequenzkomponenten entlang der zweiten Richtung vom Bildsignal I. Das Unterband HL_1 enthält die Hochfrequenzkomponenten längs der ersten Richtung beziehungsweise die Niederfrequenzkomponenten längs der zweiten Richtung. Letztlich enthält das Unterband HH_1 die Hochfrequenzkomponenten längs beider Richtungen.

[0114] Ein zweiter Analysierblock in der Reihenfolge filtert das Unterband von Niederfrequenzen LL_1 , um so in der gleichen Weise vier Unterbänder LL_2 , LH_2 , HL_2 und HH_2 mit Zwischenpegelauflösung bei der Zerlegung zu liefern. Ein dritter Analysierblock filtert dann das Unterband der Niederfrequenzen LL_2 , um so vier Unterbänder LL_3 , LH_3 , HL_3 und HH_3 zu liefern. Letztlich wird in diesem Beispiel das Unterband LL_3 der Reihe nach analysiert durch eine vierte Analysiereinheit, um vier Unterbänder LL_4 , LH_4 , HL_4 und HH_4 mit geringster Auflösung bei dieser Zerlegung zu liefern.

[0115] Von daher werden 13 Unterbänder und vier Auflösungsgrade gewonnen. Offensichtlich kann die Anzahl von Auflösungsgraden und folglich von Unterbändern unterschiedlich ausgewählt werden.

[0116] Offensichtlich könnten andere Arten der Spektraltransformation verwendet werden, wie beispielsweise die diskrete Fouriertransformation, die diskrete Kosinustransformation oder die Fourier-Mellin-Transformation.

[0117] Im allgemeinen werden die Frequenzunterbänder gewonnen, die einen Spektralkoeffizientensatz bilden, in die ein Wasserzeichen eingefügt werden kann.

[0118] Das Hochfrequenzunterband höchster Auflösung HH_1 kann hier angesehen werden, ein Wasserzeichen einzufügen. Dieses Unterband HH_1 liefert somit einen Satz von Koeffizienten X , größtmäßig gleich N , als Beispiel.

[0119] Es sei $x = \{X_i, 1 \leq i \leq N\}$ der Satz von Koeffizienten, die das Digitalbild I darstellen.

[0120] Offensichtlich wäre es möglich, einen Untersatz von Koeffizienten dieses Satzes X anzusehen als repräsentativ nur für einen Teil des Digitalbilds I.

[0121] Um in diesen Satz von Koeffizienten X ein Wasserzeichen einzufügen, kann eine Technik verwendet werden, die im Einfügen eines Pseudozufallssignals besteht, durch Spreizen dessen Spektrums, um so das Signal unfeststellbar durch Spektral- oder Statistikanalyse zu halten.

[0122] Unter der Annahme $w = \{w_j, 1 \leq j \leq P\}$ kann ein Wasserzeichen der Größe $P \leq N$ ein Pseudozufallssignal mit bekannter Verteilung und einem Durchschnitt von 0 sein. Die am meisten verbreiteten Verteilungen sind die Binärverteilung $\{-1, 1\}$, die Einheitsverteilung über $[-1, 1]$ und die zentrierte normierte Gaußsche Verteilung $N(0, 1)$.

[0123] Die Lineareinfügungsformel lautet:

$$X'_j = X_j + b\alpha_j w_j \text{ mit } 1 \leq j \leq P$$

wobei $\{X_j, 1 \leq j \leq P\}$ ein Untersatz des Koeffizientensatzes X ist, b ein Informationsbit und α_j Gewichtungskoeffizient, der auf Modulationsamplitude genannt wird.

[0124] Der Satz $\{j, 1 \leq j \leq P\}$ wird auch Informationsbiteinfügungsträger genannt.

[0125] Um ein Signal einzufügen, das durch mehrere Informationsbits gebildet wird, lohnt es sich, den Koeffizientensatz zu partitionieren, um so die Regionenzahl der Anzahl von Einfügungsträgern zu bestimmen, die in diesem Satz verfügbar sind.

[0126] Um dies zu tun, umfasst die Einfügungseinrichtung **10** gemäß der Erfindung eine Einrichtung zum Bestimmen einer Partition **11** und ein Einfügungsmittel **12**.

[0127] Die Einrichtung zum Bestimmen einer Partition **11** ist geeignet zum Ausführen einer adaptiven Partitionierung des Koeffizientensatzes als Funktion der Feststellbarkeit eines eingefügten Wasserzeichens. Diese

Verfahren adaptiven Partitionierens besteht im Variieren der Anzahl von Koeffizienten, die moduliert sind, um ein Informationsbit vom Wasserzeichen einzufügen, um so simultan den Kriterien zu genügen, die auf Unsichtbarkeit der korrekten Feststellwahrscheinlichkeit gerichtet sind.

[0128] Nachstehend zuerst folgt eine Beschreibung anhand [Fig. 3](#) eines Verfahrens zum Bestimmen einer Partitionierung in distinkte Regionen eines Digitalbilds, das es ermöglicht, die Anzahl von Regionen zu maximieren, die gewonnen werden, um die Anzahl von in das Bild eingefügten Informationsbits zu maximieren.

[0129] Berücksichtigt wird eine Darstellung des Digitalbilds durch einen Koeffizientensatz, entweder in der Ortsdomäne oder in einer transformierten Domäne, wobei die Koeffizienten im letzteren Falle hybrid sind, das heißt, sie befinden sich sowohl in der Ortsdomäne als auch in der Frequenzdomäne. Eine derartige Bilddarstellung wird beispielsweise erzielt unter Verwendung eines Unterbands, das von einer Orts-Frequenz-Zerlegung des Bildes als diskrete Wellenzerlegung gewonnen wird, wie zuvor beschrieben.

[0130] Das Partitionieren vom Bild wird bewirkt, um ein Wasserzeichenmarkiersignal durch Modulation der Koeffizienten einer jeden Region einzufügen.

[0131] Dieses Partitionieren nach der Erfindung in Regionen erfolgt durch adaptives Partitionieren als Funktion eines Feststellbarkeitskriteriums bezüglich eines in diese Region eingefügten Informationsbits.

[0132] Die Anzahl von Regionen, die gewonnen werden unter der Nebenbedingung des Feststellbarkeitskriteriums ermöglicht es, die Maximalkapazität der Bilddaten festzulegen. Die Maximalkapazität entspricht der Anzahl von Informationsbits, die in das Digitalbild einzufügen möglich sind, während Übereinstimmung mit dem Feststellbarkeitskriterium besteht.

[0133] In Schritt E100 wird anfänglich die Kapazität Q auf 0 initialisiert, und der Startpunkt wird eine Anfangspartitionierung, die hier beschränkt ist auf eine Einzelregion R der Größe P.

[0134] Die Anfangspartitionierung könnte natürlich unterschiedlich sein und bereits mehrere bestimmte Regionen enthalten mit Größen, die unterschiedlich sein können.

[0135] Angenommen wird, dass die Größe P dieser Anfangsregion R größer als eine Minimalgröße ist, die mit P_{stat} bezeichnet ist und die der Minimalgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts von Koeffizienten zum Feststellen eines Wasserzeichenmarkierungssignals entspricht, das in diese Koeffizienten eingefügt ist. Typischerweise kann die Minimalgröße bei 100 festgelegt werden.

[0136] Die Anfangsregion R kann aus einem Koeffizientensatz der Darstellung unter Berücksichtigung eines Untersatzes der Darstellung bestehen.

[0137] Ein Testschritt E101 testet dann die Feststellbarkeit der Einfügung eines Wasserzeichenmarkierungssignals in die Anfangsregion R.

[0138] Dieser Feststellbarkeitstest kann bewirkt werden durch aktuelles Modulieren und durch Feststelloperationen bezüglich der Koeffizienten der Anfangsregion R.

[0139] In der Praxis werden all die Koeffizienten der Anfangsregion R in einen Arbeitsspeicher kopiert, um so nicht die Wasserzeichengabe des Bildes direkt herbeizuführen.

[0140] Als nächstes werden alle die Koeffizienten der Anfangsregion R durch Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals moduliert.

[0141] Herkömmlicherweise wird der folgenden Prozedur gefolgt, um diese Modulation zu erreichen: Die Anfangsregion R besteht aus einem Satz Koeffizienten:
 $X: \{X_i, i = 1, \dots, P\}$

[0142] Normalerweise wird eine Linearmodulation folgender Art verwenden:

$$X_i^* = X_i \pm \alpha_i W_i, \text{ mit } i = 1, \dots, P$$

wobei $W: \{W_i, i = 1, \dots, P\}$ das Wasserzeichenmarkierungssignal ist, das allgemein als Pseudozufallssequenz

mit bekannter Verteilung und einem Nullelement ausgewählt wird.

[0143] Der Wert vom Vorzeichen \pm der Modulation hängt ab vom einzufügenden Binärwert: beispielsweise entspricht das Vorzeichen $-$ dem Wert 0, und das Vorzeichen $+$ entspricht dem Wert 1.

[0144] Es ist möglich, beispielsweise eine Pseudozufallssequenz W auszuwählen, die der Einheitsform vom Intervall $[-1, 1]$ folgt.

[0145] Irgendeine beliebige Pseudozufallswasserzeichenmarkierung mit bekannter Verteilung und Nullelement kann natürlich passend sein. Die am meisten verwendeten Verteilungen für das Wasserzeichenmarkierungssignal W sind, abgesehen von der zuvor genannten Einheitsverteilung $[-1, 1]$, die Binärverteilung $\{-1, 1\}$ und die zentrierte standardisierte Gaußsche Verteilung $N(0, 1)$.

[0146] Die Modulation kann optional geschützt werden mittels Geheimschlüsseigenschaft, beispielsweise Kernel zur Wiedergabe der Pseudozufallssequenz W .

[0147] Der Ausdruck α_i ist die Modulationsamplitude oder der Gewichtungskoeffizient, der auf den Koeffizienten X_i angewandt wird.

[0148] Ein konstanter Gewichtungskoeffizient kann für alle die Koeffizienten der Region R verwendet werden, so dass $\alpha_i = \alpha_v$ für beliebige i wird, wobei der Wert der Gewichtungskoeffizienten α_v gleich dem Maximalwert ist, der die Unauffälligkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals für die Modulation des Satzes von Koeffizienten sicherstellt, der das Digitalbild repräsentiert.

[0149] Der Maximalwert α_v (bezeichnet als Just Noticeable Difference oder als JND-Amplitude) sinkt tatsächlich mit der Sequenzlänge des Wasserzeichenmarkierungssignals W , und folglich auch mit der Anzahl modulierbarer Koeffizienten.

[0150] Gegeben sei, dass die Kapazität Q maximiert wird, wenn alle Koeffizienten der Darstellung des Digitalbilds für die Modulation verwendet werden, und es ist vernünftig, die Modulation der JND-Amplitude für eine Anzahl von modulierbaren Koeffizienten zu bestimmen, die der Kardinalzahl des Satzes von Koeffizienten gleichen, die das Bild darstellen.

[0151] Der Maximalwert α_v oder die JND-Amplitude entspricht der Maximalmodulationsamplitude, die im zuvor beschriebenen Lineareinfügungsmodell verwendet werden kann, wonach ein Betrachter in der Lage ist, visuell eine Änderung im wiederhergestellten wasserzeichenmarkierten Bild festzustellen.

[0152] Um diese JND-Amplitude zu bestimmen, ist es möglich, ein Sichtbarkeitsmodell zu nutzen, das es ermöglicht, die Sichtbarkeit einer Wasserzeichenmarkieroperation entsprechend unterschiedlicher Parameter vorherzusagen, nämlich die Darstellung des Signals durch eine verwendete Ortsfrequenztransformation, das Unterband, das zum Einfügen berücksichtigt wird, die Art der Sequenzverteilung des Wasserzeichenmarkierungssignals W und die Länge P der Sequenz W .

[0153] Ein einfaches Modell, das WATSON entwickelt und im Artikel mit dem Titel "Visibility of wavelet quantization noise", A. B. WATSON et al., IEEE Trans. On Image Process, 6 (8), Seiten 1164–1175, 1997, beschrieben hat, ermöglicht es, die Sichtbarkeit eines Satzes modulierter Koeffizienten aus der Messung der Sichtbarkeit eines einzigen modulierten Koeffizienten vorherzusagen. Bezug genommen werden kann in vorteilhafter Weise auf dieses Dokument für die detaillierte Modellbeschreibung.

[0154] Ein derartiger Gebrauch erfolgt aufgrund einer Funktion, die abhängig ist von der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals W , der verwendeten Art der Transformation S und dem Basisunterband, das für das Einfügen berücksichtigt wird, die jedoch unabhängig ist von allen mit Wasserzeichen X zu markierenden Koeffizienten.

[0155] Diese Berechnungsfunktion lässt sich folgendermaßen schreiben:

$$\alpha_v(P, S, W) = \frac{\alpha_{base}(S)}{P^{1/\beta} (E\|W\|^\beta)^{1/\beta}}$$

wobei $\alpha_{base}(S)$ ein Basiswert, der von der verwendeten Transformation S und dem Basisunterband abhängig

ist, das für das Einfügen berücksichtigt wird, von dem Maximalgewichtungskoeffizienten ist, der die Nichtwahrnehmbarkeit während der Modulation eines einzelnen Koeffizienten dieses Unterbands sicherstellt, β strikt größer als 2 ist, und wobei $E[|w|^\beta]$ die mathematische Erwartung der Funktion $|w|^\beta$ ist.

[0156] Die Basiswerte $\alpha_{\text{base}}(S)$ lassen sich einmal für alles messen, und zwar für jedes Unterband der Koeffizienten in der Wellenzerlegung aus einer einzigen psychovisuellen Messung, und wird in einer Tabelle visueller Amplituden gespeichert.

[0157] β ist der Exponent einer Minkowsky-Summe und kann beispielsweise mit 5 ausgewählt werden.

[0158] Die mathematische Erwartung $E[|w|^\beta]$ entspricht einem Schätzwert vom Mittel der Funktion $|w|^\beta$.

[0159] Dieses Sichtbarkeitsmodell berücksichtigt nicht das mit Wasserzeichen zu markierende Bild I selbst und ist von diesem unabhängig. Dies ist ein Äquivalent zur Berücksichtigung des Bildes I als Einheit. Es ist eine Frage vom "worst case"-Modell, da die Anwesenheit des Bildsignals es möglich macht, die Modulation selbst visuell zu maskieren.

[0160] Die JND-Amplitude kann somit für eine Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals W berechnet werden gleich der Kardinalzahl der modulierbaren Koeffizienten des berücksichtigten Unterbands.

[0161] Jedoch ist es vernünftig, die Tatsache zu berücksichtigen, dass das Bildsignal es ermöglicht, die Modulation zu maskieren.

[0162] In diesem Beispiel wird somit für jeden zu modulierenden Koeffizienten X_i von einem Gewichtungskoeffizienten gemäß einer Formel $\alpha_i = k_i \cdot \alpha_v$ Gebrauch gemacht, wobei k_i ein Modulationsfaktor ist, der von den Koeffizienten abhängig ist, die sich nahe an dem berücksichtigten Koeffizienten auf der Region R befinden, und α_v ist gleich dem maximalen JND-Wert vom Gewichtungskoeffizienten.

[0163] Somit wird jeder Koeffizient entsprechend dem Ortsinhalt moduliert und ermöglicht es, die Amplitude der Modulation örtlich Dank der Feststellbarkeit zu erhöhen.

[0164] Um die Feststellbarkeit im Testschritt E101 festzustellen, wird eine Feststellbarkeitsamplitude als nächstes aus dem Feststellbarkeitskriterium errechnet, und dieses Feststellbarkeitskriterium wird validiert durch Vergleichen der Feststellbarkeitsamplitude mit einem vorbestimmten Schwellenwert, der T_c genannt wird.

[0165] Eine Kalkulation der Korrelation $C(X^*, W)$ zwischen den modulierten Koeffizienten X^* und dem Markierungssignal W erfolgt allgemein und es wird entschieden, ob es tatsächlich eine Wasserzeichenmarkierung des Bildes gibt, wenn das Ergebnis der Korrelationskalkulation $C(X^*, W)$ größer als der vorbestimmte Schwellenwert T_c ist.

[0166] 29 Ein standardisierter statistischer Test kann ebenfalls für die Feststellung verwendet werden, wie beispielsweise im Artikel mit dem Titel "A method for signature casting on digital images" von I. PITAS, in Proc. ICIP, Seiten 215–218, September 1996, beschrieben ist. Diese Feststellung ist dann in Hinsicht auf die Wahrscheinlichkeit gekennzeichnet. Somit ist es möglich, einen Schwellenwert T_c entsprechend einem feststehenden Feststellwahrscheinlichkeitsgrad von beispielsweise 99,95% auszuwählen.

[0167] Für eine vorgegebene Region R, die somit einen Satz von Koeffizienten X der Größe P festlegt, und mit einem feststehenden Gewichtungskoeffizienten α ist es möglich, eine Feststellbarkeitsamplitude zu berechnen und diese mit einem Schwellenwert T_c zu vergleichen, um so das Feststellbarkeitskriterium bezüglich der Region R zu validieren.

[0168] Das Feststellbarkeitskriterium ist tatsächlich in der Theorie eine Funktion, die von der Größe P der Region R, dem Feststellschwellenwert T_c bezüglich der erforderlichen Feststellbarkeit, dem Wasserzeichenmarkierungssignal W, der Varianz σ_x^2 des Koeffizienten X, der bezüglich der Region R zu modulieren ist, und von dem verwendeten Gewichtungskoeffizienten α zum Modulieren der Koeffizienten X entsprechend dem zuvor beschriebenen Linearmodell abhängt.

[0169] Beispielsweise zur Feststellung durch einen standardisierten hypothetischen Test und durch einen

Wert des Gewichtungskoeffizienten α , der konstant und gleich α_v für alle Koeffizienten X_i der Region R ist, wird somit eine Minimallänge $P_{\min}(X)$ mit der Funktion festgelegt:

$$P_{\min}(X) = \left(\frac{2Tc}{a\alpha} \right)^2 [b\sigma_x^2 + c\alpha^2 + d]$$

wobei a, b, c und d Konstanten sind. Ist das Signal nicht stationär, das heißt, wenn die Varianz σ_x^2 eine Ortsfunktion ist, so wird es tatsächlich erforderlich, die Modulationslänge P, die das Wasserzeichenmarkierungssignal erzeugt hat, dem Bildsignal selbst anzupassen.

[0170] Bezüglich des Decodierens hängt der Satz von Koeffizienten X, der moduliert wird, auch von dieser Funktion bezüglich der Varianz σ_x^2 des eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals W ab.

[0171] Darüber hinaus ist es erforderlich, beliebige Verzerrungen bereitzustellen, denen das Bild nach der Modulation unterzogen wird, beispielsweise aufgrund einer Bildkompression.

[0172] Wenn das Rauschen als additiv und dekorreliert gegenüber den Koeffizienten angesehen werden kann, ist es möglich, ein Modell anzuwenden, das von der Varianz σ_q^2 dieses hinzugefügten Rauschens abhängig ist, das jegliche Verzerrung moduliert, die nach Modulation an die Koeffizienten angelegt wird.

[0173] Bezüglich eines vorgegebenen Gewichtungskoeffizienten α , der es ermöglicht, die Unsichtbarkeit des eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals, einen Feststellschwellwert T_d , der als Funktion der Feststellwahrscheinlichkeit beim Decodieren festgelegt ist, und einen Satz ausgewählter Koeffizienten X sicherzustellen, entspricht dieser auch einer Minimallänge $P_{\min}(X)$, somit es möglich wird, die Feststellbarkeit des eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals sicherzustellen.

[0174] Für die Funktion bezüglich des Decodierens durch einen standardisierten hypothetischen Test wird diese Minimallänge $P_{\min}(X)$ dann mit folgender Funktion festgelegt.

$$P_{\min}(X) = \left(\frac{2Td}{a\alpha} \right)^2 [b(\sigma_x^2 + \alpha^2\sigma_w^2 + \sigma_q^2) + c\alpha^2 + d]$$

wobei a, b, c und d angenommene Konstanten sein können.

[0175] Wenn derselbe Feststellbarkeitstest während des Codierens und des Decodierens verwendet wird, ist es folglich erforderlich, einen Schwellenwert T_c bezüglich des Codierens auszuwählen, der größer als T_d ist, was zur Zeit des Decodierens verwendet wird, wenn die Fähigkeit erwünscht ist, dieselbe Partitionierung bezüglich des Decodierens vom Bild zu finden.

[0176] In der Praxis wird der zur Verwendung gewünschte Schwellenwert T_d bezüglich des Decodierens festgelegt, das heißt beispielsweise der erforderliche Feststellwahrscheinlichkeitsgrad, wenn die Feststellung durch den standardisierten hypothetischen Text erfolgt, und ein höherer Schwellenwert T_c wird bezüglich des Codierens ausgewählt, um die Varianz im Wasserzeichenmarkierungssignal W und die Varianz des zugefügten Rauschens zu berücksichtigen, das a priori festgestellt ist, um so den Einfluss der nachfolgenden Verarbeitung zu antizipieren, die das Bild erfährt.

[0177] Diese Bedingung macht es somit möglich, dasselbe Feststellbarkeitskriterium zu finden, das das Partitionieren des Digitalbildes als Nebenbedingung hat, ohne die Partitionierung an den Decoder zu senden, die zur Zeit des Einfügens vom Wasserzeichenmarkierungssignal W bewirkt wird.

[0178] In diesem Ausführungsbeispiel wird eine Partitionierung durch wiederholtes Unterteilen des Digitalbildes bewirkt. Folglich ist bei Schritt E101 berücksichtigt, dass dem Feststellbarkeitskriterium genügt wird, wenn die berechnete Feststellamplitude höher als oder gleich dem vorbestimmten Schwellenwert T_c ist.

[0179] Wird dem Feststellbarkeitskriterium nicht genügt, dann ist es wahrscheinlich, dass dem Feststellbarkeitskriterium in Unterregionen der Anfangsregion R kleiner Größe ebenfalls nicht genügt wird, weil die Feststellwahrscheinlichkeit im allgemeinen mit der Größe der Regionen abnimmt. Schritt E102 des Beendens vom Bestimmungsverfahren einer Partitionierung ermöglicht es, den Prozess wiederholten Unterteilens des Bildes zu stoppen.

- [0180]** Wird das Einfügen in die Anfangsregion R nicht für möglich gehalten, so ist die Kapazität Q vom Bild daher gleich Null.
- [0181]** Wenn andererseits dem Feststellbarkeitskriterium genügt wird, das heißt hier, dass die Feststellamplitude höher als oder gleich dem Schwellenwert T_c ist, wird es möglich, dass auch die Entsprechung für die Unterregionen der Anfangsregion R gegeben ist.
- [0182]** Es ist daher vernünftig, die Region R zu unterteilen, sofern dem Feststellbarkeitskriterium genügt ist, um die Kapazität Q zu erhöhen.
- [0183]** Tatsächlich gibt es mehrere mögliche Mittel zum Herbeiführen der Ortsunterteilung der Region R in Unterregionen R_j der Größe P_j mit $j = 1, \dots, K$.
- [0184]** In diesem Beispiel wird eine Unterteilung in eine Vierfachverzweigung gewählt, wie in [Fig. 4](#) dargestellt.
- [0185]** Diese Unterteilung besteht im Teilen einer jeden Region in vier Unterregionen identischer Größe.
- [0186]** Ein Digitalbild der Anfangsgröße N wird beispielsweise gemäß [Fig. 2](#) somit in zwei Unterregionen R5 und R6 der Größe $N/4$, in sieben Unterregionen R1, R2, R3, R4, R7, R8, R9 der Größe $N/16$ und in vier Unterregionen R10, R11, R12, R13 der Größe $N/64$ partitioniert.
- [0187]** Im Unterteilungsschritt E103 wird somit die Region R in Unterregionen R_j , $j = 1, \dots, K$ der Größe P_j unterteilt. Im Falle der Unterteilung in eine Vierfachverzweigung wird $K = 4$ und $P_j = P/4$.
- [0188]** In Schritt E104 einer ersten Unterregion vom Index j (beispielsweise $j = 1$) wird ein Wert der Potentialverstärkung bezüglich der Kapazität berücksichtigt und mit G_Q auf -1 initialisiert.
- [0189]** Das Partitionierungsbestimmungsverfahren enthält dann den Vorschrift E105 des Vergleichens der Größe P_j von der Region R_j mit der Minimalgröße P_{stat} entsprechend der Minimalgröße eines statistisch signifikanten Beispiels für die Feststellung eines in die Region in der zuvor beschriebenen Weise eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals.
- [0190]** Wenn die Größe P_j der Region R_j kleiner als die Minimalgröße P_{stat} ist, dann wird in Schritt E108 der Index $J = J + 1$ inkrementiert, um die folgende Unterregion R_{j+1} zu verarbeiten.
- [0191]** Anderenfalls wird das Feststellbarkeitskriterium bezüglich der Unterregion R_j in derselben Weise wie vorher anhand Schritt E101 beschrieben überprüft.
- [0192]** In der Praxis wird das Wasserzeichenmarkierungssignal auf die Koeffizienten der Region R_j eingefügt, eine Feststellamplitude wird berechnet, und diese Feststellamplitude wird verglichen mit dem Schwellenwert T_c .
- [0193]** Die Feststellamplitude kann ein Korrelationswert zwischen dem Modulationssignal X^* und dem Träger vom Wasserzeichenmarkierungssignal W oder dem Ergebnis des standardisierten hypothetischen Tests sein.
- [0194]** Wenn das Feststellbarkeitskriterium verifiziert ist, wird der Potentialverstärkungswert in der Kapazität G_Q in Schritt E107 um eine Einheit erhöht.
- [0195]** In Schritt E108 wird dann der Index j der Unterregionen inkrementiert, und es wird im Testschritt E109 überprüft, ob dieser Index j kleiner als oder gleich der Anzahl K ist.
- [0196]** Im Bestätigungsfalle werden die Schritte E105 bis E109 bezüglich der folgenden Unterregion wiederholt.
- [0197]** Wenn anderenfalls der Index $j = K + 1$ ist, dann wird in Testschritt E110 überprüft, ob die Potentialverstärkung im Kapazitätswert G_Q strikt positiv ist, das heißt, ob es wenigstens zwei Unterregionen R_j der Anfangsregion R gibt, für die das Feststellbarkeitskriterium validiert ist.
- [0198]** Im Verneinungsfalle wird das Partitionieren höheren Ranges, ausgeführt bezüglich der Anfangsregion

R, nicht validiert, und diese Region R wird vorbehalten. Dies ist der Fall, wenn das Feststellbarkeitskriterium für keinerlei Unterregionen R_j oder nur für eine einzelne Unterregion R_j validiert ist.

[0199] Im letzteren Falle ist es vorzuziehen, die Region R zum Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals heranzuziehen, da die Größe P größer als die Größe der einzelnen validierten Unterregion R_j ist.

[0200] In Schritt E112 wird dann der Wert der Kapazität Q um eine Einheit erhöht, und die Region R der Größe P bei der Partitionierung wird beibehalten.

[0201] Ein aktueller Einfügeschritt E113 durch Koeffizientenmodulation der Region R kann dann in normaler Art unter Verwendung des Lineareinfügungsmodells implementiert werden, das zuvor beschrieben worden ist.

[0202] Ein Eliminationsschritt E114 ermöglicht es dann, die Region R aus dem Stapel der zu verarbeitenden Regionen herauszunehmen.

[0203] Wenn andererseits in Schritt D110 der Wert der Potentialverstärkungskapazität G_c strikt positiv ist, werden im Additionsschritt E111 alle Unterregionen R_j , für die das Feststellbarkeitskriterium im Stapel der zu verarbeitenden Region R validiert ist, hinzugefügt.

[0204] Rückkehrschritt E115 ermöglicht es, die Schritte E103 bis E113 erneut zu wiederholen, um die Regionen vom Stapel in Rekursivart zu verarbeiten.

[0205] Am Ende des rekursiven Partitionierungsverfahrens, das zuvor beschrieben wurde, wird ein Kapazitätswert Q_m entsprechend der Maximalkapazität des Bildes zum Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals gewonnen, womit eine korrekte Feststellung dieses Signals garantiert ist. Diese Maximalkapazität Q_m gleicht der Kardinalzahl der distinkten Regionen, die gewonnen sind durch Partitionieren, für die das Feststellbarkeitskriterium validiert ist.

[0206] Der Einfügungsschritt wie E113 kann darüber hinaus während eines ersten "Durchgangs" fortgelassen werden, wodurch es möglich wird, nur die Maximalkapazität Q_m des Bildes und die validierten Regionen zu bestimmen.

[0207] Ist einmal die Maximalkapazität Q_m berechnet worden und die zugehörige Partitionierung im Speicher gespeichert, dann ist es dem Nutzer möglich, die Mitteilung zu bestimmen, die er einzufügen wünscht, und zwar entsprechend einer Anzahl Informationsbits, die der Maximalkapazität Q_m gleicht, und dann diese Mitteilung auf normalem Wege durch Modulieren der Koeffizienten in die unterschiedlichen Regionen einzufügen, die durch das zuvor bestimmte Partitionieren gewonnen wurden.

[0208] Nachstehend anhand [Fig. 5](#) beschrieben ist ein zweites Ausführungsbeispiel nach der Erfindung, bei dem das Einfügen einer Mitteilung feststehender Kapazität Q_s in ein Bild I erwünscht ist. Natürlich muss diese feststehende Kapazität Q_s einen Wert haben, der kleiner als die Maximalkapazität Q_m des mit Wasserzeichenmarkierung zu versendenden Digitalbildes ist.

[0209] Wie in [Fig. 5](#) dargestellt, umfasst das Bestimmungsverfahren einer Partitionierung in diesem Ausführungsbeispiel die Schritte E100 bis E113, die jenen des Bestimmungsverfahrens einer Partitionierung vom Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 3](#) identisch sind und für die es nicht erforderlich ist, erneut beschrieben zu werden.

[0210] Wie zuvor in Schritt E112 wird der Kapazitätswert Q inkrementiert, wenn der direkt höhere Partitionierungsrang nicht validiert ist.

[0211] Dann umfasst das Verfahren einen Vergleichsschritt E116, in dem dieser Kapazitätswert Q mit einem feststehenden Kapazitätswert Q_s verglichen wird.

[0212] In der Praxis wird in Schritt E116 getestet, ob der Kapazitätswert Q gleich dem feststehenden Kapazitätswert Q_s ist.

[0213] Im Bestätigungsfalle macht es Schritt E117 möglich, die wiederholte Partitionierung des Bildes zu stoppen, da es eine Anzahl von Regionen gibt, die der Anzahl an Informationsbits Q_s gleicht, die eingefügt werden sollen.

- [0214]** In einem Eliminationsschritt E114 wird die verarbeitete Region anderenfalls aus dem Stapel der zu verarbeitenden Regionen R beseitigt, wie in Schritt E111 gebildet.
- [0215]** Das Bestimmungsverfahren einer Partitionierung umfasst in diesem Ausführungsbeispiel auch einen Sortierschritt E118, der die zu verarbeitenden Regionen R im Stapel durch einen Feststellbarkeitsamplitudenwert sortiert, der bezüglich dieser Regionen R berechnet worden ist.
- [0216]** Somit wiederholt ein Rückkehrschritt E115 erneut das Partitionieren aus dem Unterteilschritt E103 für Region R im Stapel mit der höchsten Feststellbarkeitsamplitude unter anderen zu verarbeitenden Regionen.
- [0217]** Eine Sortiervariante kann bestehen aus Sortieren der zu verarbeitenden Regionen in abfallender Reihenfolge der Größe, um so mit Priorität die größten Zonen zuerst zu verarbeiten, die a priori eine bessere Feststellbarkeit besitzen.
- [0218]** Natürlich könnte ein Partitionieren durch wiederholtes Verschmelzen des Digitalbildes in derselben Weise ausgeführt werden, beispielsweise unter Verwendung einer vierfachverzweigten Partitionierungsstruktur.
- [0219]** Das Anfangspartitionieren umfasst dann Regionen mit kleineren akzeptablen Größen, die größer als oder gleich der zuvor festgelegten Minimalgröße P_{stat} sind.
- [0220]** Jede Partitionierungsregion, für die das Feststellbarkeitskriterium nicht validiert ist, wird mit einer anderen Region der Partitionierung verschmolzen.
- [0221]** Die andere Partitionierungsregion ist soweit möglich eine solche, für die das Feststellbarkeitskriterium nicht validiert ist, um so die Kapazität zu erhöhen.
- [0222]** Alternativ kann eine andere Region eine solche sein, die dem Feststellbarkeitskriterium genügt, um so die Feststellung zuverlässig zu machen.
- [0223]** Es gibt viele Möglichkeiten zur Auswahl der zu verschmelzenden Region. Es ist möglich, als Verschmelzungskriterium die Feststellamplitude heranzuziehen, die bezüglich jeder Region berechnet worden ist, und beispielsweise die Regionen zu verschmelzen, die zu den niedrigsten Feststellamplituden gehören.
- [0224]** In diesem speziellen Falle des Verschmelzens einer vierfachverzweigten Partitionierungsstruktur wird das Verschmelzen strukturell einer Nebenbedingung unterzogen und umfasst die Entscheidung, ob vier benachbarte Blöcke, beispielsweise R1, R2, R3 und R4 in [Fig. 4](#), verschmolzen werden müssen.
- [0225]** Nachstehend anhand [Fig. 6](#) beschrieben ist das zugeordnete Decodierverfahren, das es ermöglicht, das Partitionieren herauszufinden, wenn das in ein Digitalbild eingefügte Wasserzeichenmarkierungssignal ausgelesen wird.
- [0226]** Wegen der Anpassung der Partitionierung an das Digitalbild ist dieses Partitionieren a priori beim Decoder nicht bekannt.
- [0227]** Das Decodierverfahren besteht dann in allgemeiner Hinsicht aus dem Testen aller akzeptablen Partitionierungen. Es wird dieselbe wiederholende Ausführungstechnik wie diejenige verwendet, wenn das Partitionieren zum Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals bestimmt wird.
- [0228]** Diese Beschreibung erfolgt anhand eines beispielhaften Ausführungsbeispiels für eine Segmentierung durch Unterteilen von Blöcken in eine Vierfachverzweigung, die symmetrisch zu derjenigen ist, die beim Partitionierungsbestimmungsverfahren im anhand [Fig. 3](#) beschriebenen Ausführungsbeispiel verwendet wird.
- [0229]** Beim Initialisierungsschritt E200 gibt es eine Anfangspartitionierung, die auf eine Einzelregion R der Größe P beschränkt ist. Diese Region besteht aus allen Koeffizienten derselben Darstellung eines Digitalbildes wie desjenigen, das zur Zeit des Einfügens eines Wasserzeichenmarkierungssignals verwendet wurde.
- [0230]** Ein Testschritt E201 ermöglicht es zu verifizieren, dass die Größe P der Anfangsregion R tatsächlich größer als die Minimalgröße P_{stat} ist, wie bereits zuvor beschrieben.

- [0231]** Im Bestätigungsfall wird in Schritt E203 ein Feststellbarkeitskriterium des Informationsbits verifiziert, das in die Region R eingefügt und durch Demodulation der Koeffizienten dieser Region R gewonnen wird.
- [0232]** Praktisch wird eine Feststellamplitude für alle Koeffizienten der Region R berechnet, und das Feststellbarkeitskriterium wird durch Vergleichen dieser Feststellamplitude mit einem vorbestimmten Schwellenwert T_b zum Decodieren validiert.
- [0233]** Es ist möglich, mittels eines standardisierten statistischen Tests und dem Ergebnis, das mit dem vorbestimmten Schwellenwert T_d verglichen ist, fortzufahren.
- [0234]** Wenn derselbe Feststellbarkeitstest während des Codierens und des Decodierens Verwendung findet, wie zuvor erläutert, dann ist es erforderlich, einen Schwellenwert T_c bezüglich des Codierens auszuwählen, der größer als das beim Decodieren verwendete T_d ist, wenn erwünscht ist, dieselbe Partitionierung bezüglich der Decodierung des Bildes zu finden, selbst wenn letzteres durch Nachverarbeitung mit Rauschen behaftet ist.
- [0235]** Diese Bedingung ermöglicht es somit, dasselbe Feststellbarkeitskriterium zu finden, das die Nebenbedingung des Partitionierens vom Digitalbild ermöglicht, ohne an den Decodierer gesendet zu werden, wobei das Partitionieren bewirkt wird, wenn das Wasserzeichenmarkierungssignal W eingefügt ist.
- [0236]** Wenn das Feststellbarkeitskriterium in Schritt E203 nicht verifiziert ist, erfolgt eine Division in Schritt E204 der Region R in Unterregionen R_j und Größen P_j mit $j = 1, \dots, K$. Dann wird dieselbe Partitionierungsstruktur beim Codieren verwendet, das heißt, in diesem Beispiel Teilung der Region R in vier Unterregionen R_j identischer Größe.
- [0237]** Dann werden im Zufügungsschritt E205 die Unterregionen R_j in einem Stapel von Regionen von zu verarbeitenden Regionen R hinzugefügt, und in einem Rückkehrschritt E202 wird das Decodierverfahren erneut rekursiv wiederholt, wie beim Testschritt E201 bezüglich jeder Region R des Stapels.
- [0238]** Wenn beim Berechnungsschritt das Feststellbarkeitskriterium E203, letzteres wird für eine Region R verifiziert, beim Ausleseschritt E206 ausgelesen wird, erfolgt das Einfügen des Informationsbits in diese Region R als in das Digitalbild I eingefügte Element des Verfahrens. Das Auslesen wird in herkömmlicher Weise durch Berechnen einer Feststellamplitude bewirkt. Das Ergebnis des Tests gibt im Absolutwert eine Feststellamplitude an, die mit dem Schwellenwert T_d des Decodierens zu vergleichen ist, wobei das Vorzeichen den Wert 0 oder 1 vom eingefügten Informationsbit angibt.
- [0239]** Angemerkt sei, dass dieses Auslösen bereits teilweise während des Feststellschritts **203** bewirkt wird, so dass der Schritt des Feststellens E203 und der Schritt des Auslesens E206 strukturell gekoppelt ist.
- [0240]** Ein Eliminierungsschritt E207 wird realisiert, um die Region R aus dem Stapel der zu verarbeitenden Regionen zu entfernen, die im Hinzufügungsschritt E205 gebildet wurden, und der Rückkehrschritt E202 ermöglicht dann das Realisieren des Decodierverfahrens in rekursiver Weise bezüglich jeder Region des zu verarbeitenden Stapels.
- [0241]** Nachstehend anhand der [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) beschrieben ist eine praktische Anwendung des Verfahrens zum Bestimmen einer Partitionierung eines Digitalbilds in einem speziellen Ausführungsbeispiel nach der Erfindung. Bei dieser Anwendung wird das Wasserzeichenmarkierungssignal mittels einer Einfügungstechnik durch Spektralspreizung eingefügt durch Modulationskoeffizienten einer Ortsfrequenzdarstellung vom Bild, gewonnen durch Ortsfrequenztransformation S vom Digitalbild I, wie zuvor anhand [Fig. 2](#) beschrieben wurde. In allgemeinen Ausdrücken von S_j gewonnenen Unterbändern mit $J = 1, \dots, M$, wobei M hier gleich 13 beim Informationsschritt E300 ist.
- [0242]** Für jedes Unterband S_j vom Index j, betrachtet in Schritt E301, wird als nächstes eine Partitionierung in Schritt E302 durch Realisieren des Bestimmungsverfahrens einer Partitionierung ausgeführt, wie zuvor anhand [Fig. 3](#) beschrieben.
- [0243]** Auf diese Weise wird eine Kapazität Q_j aus für jedes Unterband S_j hergeleitet.
- [0244]** Schritt E303 des Einfügens durch Modulation der Koeffizienten ermöglicht es, Q_j Informationsbits in die Q_j validierten Regionen einzufügen.

[0245] In den Schritten E304 und E305 werden die folgenden Unterbänder als nächstes betrachtet, sofern die Unterbänder S_j noch nicht verarbeitet sind, und die Schritte E302 und E303 des Partitionierens und Einfügens eines Wasserzeichenmarkierungssignals der Kapazität Q_j werden für jedes Unterband S_j erneut wiederholt.

[0246] Als nächstes wird eine inverse Transformation S^{-1} bezüglich des Bildes angewandt, um das wasserzeichenmarkierte Bild zu bekommen, wobei die Gesamtkapazität Q gleich der Summe der Kapazitäten Q_j ist, die für jedes der Unterbänder S_j berechnet wurde. Somit wird jedes Unterband der Darstellung unabhängig für die adaptive Partitionierung betrachtet, die sowohl beim Codieren als auch beim Decodieren ausgeführt wird.

[0247] Wie in [Fig. 8](#) dargestellt, wird das Decodierverfahren in diesem Ausführungsbeispiel in derselben Weise unter Verwendung des Decodierverfahrens realisiert, das anhand [Fig. 6](#) beschrieben wurde, wobei die Anfangszone R hier jedes Mal einem Unterband der Bildzerlegung entspricht.

[0248] Schritt E400, der dem Schritt E300 identisch ist, unterteilt das Bild I in S_j Unterbänder mit $j = 1, \dots, M$.

[0249] Ein erstes Unterband S_j wird bei Schritt E401 betrachtet. Die Reihenfolge der Verarbeitung der Unterbänder ist identisch mit jener, die während des Codierens angewandt wird, um die eingefügte Mitteilung in der Reihenfolge auszulesen.

[0250] Die adaptive Partitionierung wird realisiert im Partitionierungsschritt E402, um die Kapazität Q_j vom Unterband S_j zu berechnen. Beim Ausleseschritt E403 werden die Q_j Informationsbits durch Demodulieren der Koeffizienten der Q_j Regionen des Partitionierens ausgelesen.

[0251] Bei den Testschritten E404 und E405 wird in üblicher Weise überprüft, ob alle die Unterbänder verarbeitet worden sind, und im Verneinungsfalle werden die Decodierschritte E402 und E403 (Partitionieren und Auslesen) erneut bezüglich der restlichen Unterbänder wiederholt.

[0252] Auf diese Weise wird beim Ausgangssignal des Decodierers eine Mitteilung von Q Bits gewonnen, wobei Q der Summe der Kapazitäten Q_j eines jeden Unterbands S_j gleicht.

[0253] In einer Variante dieses in [Fig. 9](#) dargestellten Verfahrens ist es möglich, eine Partitionierung bezüglich eines nachverarbeiteten Bildsignals herbeizuführen, um eine a priori Robustheit des Wasserzeichenmarkierungssignals gegenüber einer beliebigen Nachverarbeitung zu erhalten, der das Bild unterzogen wird.

[0254] Das Prinzip dieser Variante besteht im Ausführen eines Feststellbarkeitstests im Testschritt E309, der nicht länger an die Schritte des Partitionierens E302 und des Einfügens E303 gekoppelt ist, die vorher beschrieben wurden.

[0255] Nach dem Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals in eine Region wird eine Umkehrtransformation S^{-1} zuallererst in Schritt E306 ausgeführt, um das wasserzeichenmarkierte Bild zu finden. Dann wird in Schritt E307 die Nachverarbeitung durchgeführt, wie eine Kompression des Digitalbilds.

[0256] In Schritt 308 wird als nächstes die Transformation S erneut wiederholt, um die wasserzeichenmarkierten Koeffizienten zu finden, die möglicherweise durch die Nachverarbeitung verrauscht sind, die bezüglich des Bildes in Schritt E307 ausgeführt wird, und das Feststellbarkeitskriterium wird in der zuvor beschriebenen Weise berechnet.

[0257] Schritt E300 bis E309 werden erneut bezüglich anderer annehmbarer Partitionierung des Bildes wiederholt, hier beispielsweise durch Teilen der relevanten Region R durch vier, und der Feststellbarkeitstest wird in Schritt E309 bezüglich der vier Unterregionen ausgeführt.

[0258] Die Partitionierung wird nur durchgeführt, wenn eine Verstärkung der Kapazität dargestellt ist, das heißt, in diesem Beispiel die Vierfachunterteilung, wenn das Feststellbarkeitskriterium bezüglich wenigstens zwei Unterregionen validiert ist.

[0259] Dieses Varianzbeispiel ermöglicht es, direkt die Nachverarbeitungen zu berücksichtigen, die das Digitalbild erfährt.

[0260] Ein Verfahren des Bestimmens eine Partitionierung entsprechend einem bevorzugten Ausführungsbeispiel nach der Erfindung ist nachstehend anhand [Fig. 10](#) beschrieben. Das Verfahren des Einfügens eines

Wasserzeichens wird bei einem Digitalbild I verwendet.

[0261] Das Einfügevorgahren enthält zuallererst ein Vorgahren des Bestimmens einer Partition eines Koeffizientensatzes, der für das Digitalbild I repräsentativ ist.

[0262] Die Partitionierung wird als Funktion eines Feststellbarkeitskriteriums eines Informationsbits angewandt, das bezüglich jeder Region der Partition eingefügt ist.

[0263] Angemerkt sei, dass praktisch eine Partition eines Digitalbilds in eine Maximalzahl von Regionen, die dem Feststellbarkeitskriterium genügen, so angelegt werden kann, dass die praktische Kapazität des Bildes in Hinsicht auf das Einfügen eines Wasserzeichens sichergestellt ist. Diese Maximalkapazität des Digitalbilds entspricht der Anzahl von Informationsbits, die in das Digitalbild eingefügt werden können, wobei dem Feststellbarkeitskriterium entsprochen wird.

[0264] Es ist auch für ein vorgegebenes Wasserzeichen möglich, dass eine vorgegebene Anzahl von Informationsbits oder weniger als die Maximalkapazität des Bilds I enthält, die bestmögliche Partition bezüglich des Bilds I herauszufinden, die es ermöglicht, dieses Wasserzeichen vorgegebener Länge einzufügen für eine vorgegebene Feststellwahrscheinlichkeit, und in Regionen höchstmöglicher Größen, um so die Unsichtbarkeit des eingefügten Wasserzeichens sicherzustellen.

[0265] Das Bestimmungsverfahren einer Partition enthält zuallererst einen Spektralzerlegungsschritt E500 des Wellenzerlegungstyps, wie zuvor beschrieben (Discrete Wavelet Transform oder DWT).

[0266] Somit wird ein Satz von Spektralkoeffizienten X gewonnen, der das Digitalbild repräsentiert. Diese Spektralkoeffizienten sind in Frequenzunterbänder verteilt, wie diagrammartig in [Fig. 2](#) dargestellt, nach Abschluss des Zerlegungsschritts E500. Die Größe des Satzes von Koeffizienten X gleicht $N = M \times M$ für ein quadratisches Bild. Dasselbe Vorgahren kann offensichtlich bei einem Rechteckbild angewandt werden.

[0267] In diesem Ausführungsbeispiel nach der Erfindung umfaßt das Vorgahren Schritt E501 des Erzeugens einer zentrierten Pseudozufallssequenz der Größe N, die der Kardinalzahl N vom Satz Koeffizienten X gleicht, die das Bild I darstellen.

[0268] Es sei $w = \{w_{mn}, 0 \leq m, n \leq M\}$ diese Pseudozufallssequenz.

[0269] Diese Pseudozufallssequenz w wird erzeugt aus zentrierten Pseudozufallsuntersequenzen w^k .

[0270] Die Pseudozufallssequenz kann angesehen werden als Verschmelzung der Pseudozufallsuntersequenzen w^k .

[0271] Hier wird die zentrierte Pseudozufallssequenz w aus Pseudozufallsuntersequenzen w^k identischer Größe gebildet, die einem Block entsprechen, der Einheitsblock genannt wird, und dem Satz von Koeffizienten X.

[0272] Die Pseudozufallsuntersequenzen w^k können sich in ihrer Größe offensichtlich voneinander unterscheiden.

[0273] Hier entspricht die Größe dieser Blöcke der Minimalzahl an Koeffizienten, die zum Bilden einer Zone einer Größe geeignet sind, die statistisch signifikant ist für das Entsprechen gegenüber dem Feststellbarkeitskriterium über diese Region.

[0274] Wenn ein standardisierter statistischer Feststelltest auf einen Satz von Koeffizienten angewandt wird, wie später zu beschreiben ist, wird eine Minimalzahl an Koeffizienten für diesen Test erforderlich, der signifikant ist.

[0275] Die Pseudozufallsuntersequenzen w^k sind von der Größe $A = L \times L$, die größer oder gleich der Minimalzahl an Koeffizienten ist.

[0276] Vorzugsweise werden die Pseudozufallsuntersequenzen w^k als in ihrer Größe gleich für die Minimalgröße ausgewählt. Diese Eigenschaft ist insbesondere vorteilhaft, wenn eine Partition durch wiederholtes Kombinieren erreicht wird, in dem Blöcke aus einer Anfangssegmentierung des Bilds in Einheitsblöcke der

Größe $L \times L$ zusammengesetzt werden. Die Anfangssegmentierung entspricht dann der Maximalpartition des Bildes, das möglich ist, bevor die erzeugten Koeffizientenblöcke nicht länger statistisch für das Einfügen und Feststellen eines Informationsbits signifikant sind.

[0277] Beispielsweise wird $L = 8$ gewählt.

[0278] Die Pseudozufallssequenz w wird dann aus $N/64$ Pseudozufallsuntersequenzen w^k verschmolzen, die Einheitsblöcke bilden.

[0279] Nach der Erfindung muß bezüglich jeden Einheitsblocks ein zentriertes Pseudozufallssignal oder eine vorfestgelegte Verteilung (Gaußsche Verteilung, Einheitsverteilung) erzeugt werden, auf der Grundlage einer Funktion, die abhängig ist von einem Geheimschlüssel K und bezüglich des Index k eines jeden Einheitsblocks. Dieser Schlüssel kann bezeichnet werden mit $f(K, k)$. Es wird dann erforderlich, praktisch sicherzustellen, dass der Durchschnitt vom Signal w^k exakt gleich 0 über jeden Einheitsblock ist.

[0280] Ein erstes Verfahren zum Erzeugen solch zentrierter Pseudozufallssequenz besteht im Zentrieren der Sequenz in einer deterministischen Weise durch Symmetrierung. Dieses Verfahren ist geeignet zum Erzeugen einer Pseudozufallsuntersequenz von gleicher Größe A .

[0281] Jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz w^k wird in diesem Falle erstellt durch Erzeugen einer Hälfte, $A/2$, der Pseudozufallsabstastwerte der Untersequenz über einen Pseudozufallszahlengenerator bekannter zentrierter Verteilung und durch Symmetrieren der Pseudozufallsabstastwerte, die solchermaßen erzeugt wurden, um die andere Hälfte $A/2$ der Abstastwerte von der Untersequenz w^k zu gewinnen.

[0282] Für eine eindimensionale Sequenz wird folglich ein Abstastwertesatz der Größe $A/2$ $\{w_j, 1 \leq j \leq A/2\}$ erzeugt, und dieser Satz wird symmetriert, um die andere Hälfte der Abstastwerte $\{w_j = -w_{A-j}, A/2 < j \leq A\}$ zu bekommen.

[0283] Um das Zufallszeichen dieser solchermaßen gewonnenen Sequenz wieder in Kraft zu setzen, kann eine Permutation ausgeführt werden bezüglich des erhaltenen Satzes von Abstastwerten $\{w_j, 1 \leq j \leq A\}$ unter Verwendung eines Geheimschlüssels.

[0284] Ein zweites Verfahren zum Erzeugen einer zentrierten Pseudozufallssequenz besteht im Erstellen einer jeden zentrierten Pseudozufallsuntersequenz w^k durch Erzeugen von Pseudozufallsabstastwerten über einen Pseudozufallszahlengenerator und durch Verteilen der Summe dieser Pseudozufallsabstastwerte bezüglich eines jeden Abstastwerts.

[0285] Somit wird zuallererst unter Verwendung des Geheimschlüssels $f(K, k)$ eine Sequenz von Pseudozufallsabstastwerten gleicher Größe A als Einheitsblock, das heißt, $\{w_i, 1 \leq i \leq A\}$ erzeugt.

[0286] Als nächstes wird die genaue Summe dieser Abstastwerte berechnet:

$$S_k = \sum_{i=1}^A w_i$$

[0287] Dann wird die Summe S_k erneut über die Abstastwerte verteilt, um so eine zentrierte Pseudozufallssequenz zu bekommen, das heißt, eine mit einer Summe, die exakt 0 ist.

[0288] Somit wird $w^k = \{w_i - S_k/A, 1 \leq i \leq A\}$ gewonnen.

[0289] Die Pseudozufallssequenz w setzt sich somit zusammen aus dem Verschmelzen von den zentrierten Untersequenzen w^k in der Weise, dass die Partitionierung eines Koeffizientensatzes, moduliert von der zentrierten Pseudozufallssequenz w , Anlass für Untersätze von Koeffizienten gibt, die ebenfalls durch zentrierte Pseudozufallsuntersequenzen moduliert sind.

[0290] Eine andere Technik offensichtlich zum Erzeugen zentrierter Pseudozufallssequenzen angewandt werden.

[0291] Wie in [Fig. 10](#) dargestellt, wird Schritt E502 des Modulierens vom Koeffizientensatz durch die zentrierte Pseudozufallssequenz w dann so realisiert, dass ein Informationsbit in den Koeffizientensatz eingefügt wird, der aus der Spektralzerlegung hervorgegangen ist.

[0292] Der Koeffizientensatz wird in der Praxis in einem Arbeitsspeicher kopiert, beispielsweise ein Direktzugriffsspeicher in einem Computer, um so das Bild I nicht direkt zu markieren.

[0293] Dasselbe Informationsbit wird auf dem Koeffizientensatz moduliert, hier ist beispielsweise $b = 1$, und zwar nach folgender Modulationsformel:

$$X'_i = X_i + \alpha_i w_i, \text{ mit } 0 \leq i \leq N.$$

[0294] Die Gewichtungsamplitude α_i wird in üblicher Weise ausgewählt, um so die Unsichtbarkeit des eingefügten Informationsbits zu garantieren.

[0295] Ein konstanter Gewichtungskoeffizient kann für alle Koeffizienten eingefügt werden, so dass $\alpha_i = \alpha_v$ für alle i ist, der Wert des Gewichtungskoeffizienten α_v ist gleich einem Maximalwert, der die Unauffälligkeit des Wasserzeichens zur Modulation des Satzes von Koeffizienten sicherstellt, die das Digitalbild repräsentieren.

[0296] Es kann nützlich sein, die Tatsache herauszustellen, dass das Bildsignal selbst das Maskieren der Modulation ermöglicht.

[0297] Bis dahin ist es für jeden Koeffizienten X_i möglich, der zu modulieren ist, einen Gewichtungskoeffizienten entsprechend einer Formel $\alpha_i = k_i \times \alpha_v$ zu benutzen, wobei k_i ein Modulationsfaktor ist, der von den Koeffizienten abhängt, die sich in der Nähe des fraglichen Koeffizienten befinden, und α_v ist gleich dem Maximalwert des Gewichtungskoeffizienten, der die Unsichtbarkeit des Wasserzeichens für die Modulation des Koeffizientensatzes sicherstellt.

[0298] Jeder Koeffizient wird als Funktion des Ortsinhalts vom Bild moduliert, womit es möglich wird, örtlich die Amplitudenerweiterung der Modulation dank der Feststellbarkeit zu erhöhen.

[0299] In diesem Ausführungsbeispiel nach der Erfindung ist es vorzugsweise wünschenswert, das Partitionieren auf ein nachverarbeitetes Bildsignal anzuwenden, um so Robustheit, a priori das Einfügungswasserzeichen gegenüber der Nachverarbeitung zu erhalten, der das Bild I unterzogen wird.

[0300] Um dies zu tun, wird im Verzerrungsschritt **503** eine Verzerrung an den Satz modulierter Koeffizienten angelegt.

[0301] Dank der Koeffizientenmodulation in einer Einzeloperation auf der Grundlage einer zentrierten Pseudozufallssequenz kann der Verzerrungsschritt E503 nur einmal nach Bestimmen einer Partition realisiert werden, im Gegensatz zu vorherigen Techniken, in denen jede Koeffizientenunterzone unabhängig voneinander moduliert wurde, und der erforderlichen Verzerrung, die an jeden Partitionsgrad anzulegen ist.

[0302] Dies alles ist hier vorteilhaft, da der Schritt E503 des Anlegens einer Verzerrung folgende Unterschritte enthält, die in [Fig. 10](#) dargestellt sind:

- inverse Spektraltransformation E503a des Satzes von Koeffizienten X'_i , die moduliert sind, um ein wasserzeichenmarkiertes Bild zu bekommen;
- Anlegen E503b einer Verzerrung an das wasserzeichenmarkierte Bild; und
- Spektraltransformation E503c des wasserzeichenmarkierten Bildes, um einen Satz modulierter Koeffizienten nach Verzerrung zu bekommen.

[0303] Die angelegten Verzerrungen sind solche, die den Wert der Pixel ändern, ohne die Geometrie des Bildes zu beeinflussen, wie Hinzufügen von Rauschen, Kontraständerung, Kompression, Tiefpass- oder Hochpassfilterung als Beispiel.

[0304] Hier wird die Kompression des Bildes gemäß der JPEG-Norm (JPEG steht für Joint Photographic Expert Group) betrachtet, mit spezifiziertem Qualitätsfaktor $q = 75$, typischerweise genormt für die JPEG-Kompression.

[0305] Eine inverse Wellentransformation DWT^{-1} wird hier praktisch angewandt, dann folgt der Kompression die Dekompression des Bildes und letztlich erneute Wellentransformation, um die Feststellbarkeit des Informationsbits in der Spektraldomäne abschätzen zu können.

[0306] Eine wiederholte Partitionierung des Koeffizientensatzes wird angewandt, um so nach einer Partition

des Koeffizientensatzes zu suchen, in der jede eingefügte Information genau entsprechend der feststehenden Feststellwahrscheinlichkeit erkannt werden kann. Die Anzahl von Regionen, die solchermaßen während der Partition bestimmt werden, entsprechen der praktischen Einfügefähigkeit vom Bild I.

[0307] Das Mittel, das den Nutzern Q Bits anzeigt, bestimmt durch Berechnung der Kapazität, sollte vorhanden sein.

[0308] Verschiedene Techniken zum wiederholten Segmentieren durch Unterteilung/Zusammensetzung können verwendet werden, wie zuvor beschrieben.

[0309] Eine erste Art des Ausführens vom bevorzugten Ausführungsbeispiel nach der Erfindung wird zunächst anhand [Fig. 11](#) beschrieben, in der die Partitionierung erzielt wird durch wiederholtes Teilen der Basis einer Anfangssegmentierung vom Koeffizientensatz in Regionen einer statistisch signifikanten Größe zum Validieren eines Feststellbarkeitskriteriums über diese Regionen.

[0310] Gefolgt von den Transformationsschritten E500, der Erzeugung E501, der Modulation E502 und der Verzerrung E503, wie zuvor beschrieben, wird ein erstes Frequenzunterband in Schritt E504 als Satz von zu partitionierenden Koeffizienten betrachtet.

[0311] Die Anfangssegmentierung dieses Koeffizientensatzes entspricht einer Ortsegmentierung des Bildes I in Blöcke einheitlicher Größe, wie zuvor definiert.

[0312] Durch diese Konstruktion wird die Pseudozufallsmodulationssequenz auf jedem dieser Blöcke zentriert.

[0313] In einer vierteilten Kombination gibt es immer vier Blöcke gleicher Größe, die miteinander kopiert sind und die sich "Tochterblöcke" nennen, um einen "Mutterblock" zu bilden, und diese Kombination wird wiederholt empfohlen, wobei eine Meldung der Rekursivität gegeben wird.

[0314] Die Partition findet durch ein Frequenzunterband vom Signal statt, das offensichtlich aus der Spektralzerlegung hervorgeht.

[0315] Jeder Einheitsblock wird hier in Schritt E505 betrachtet in einer Reihenfolge des Abtastens vom Unterband, beispielsweise von links nach rechts und von unten nach oben. Ein Gültigkeitskriterium wird über den ersten Einheitsblock angesetzt, der noch nicht verarbeitet worden ist.

[0316] Beim Berechnungsschritt E506 wird die statistische Feststellung auf diesen Einheitsblock modulierter Koeffizienten X'_i angewandt.

[0317] Ein Beispiel standardisierter statistischer Tests ist nachstehend angegeben.

[0318] Es sei X'_i , $1 \leq i \leq P$, der zu testenden Koeffizientensatz nach Einfügen der Pseudozufallssequenz w und nach Anlegen der Vorverzerrung.

[0319] Der Test besteht in der Berechnung der Größe P für diesen Satz:

$$T = \frac{M}{\sqrt{V}} \sqrt{P}$$

wobei M den Durchschnittswert der Korrelation zwischen den Werten eines jeden Koeffizienten X'_i und der Modulation w_i darstellt, und V stellt die Varianz dieser Werte dar.

[0320] Von daher gilt in der Praxis:

$$M = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P w_i (X'_i - M_x) \quad \text{mit} \quad M_x = \frac{\sum X'_i}{P}$$

und

$$V = \frac{1}{P-1} \sum_{i=1}^P [w_i (X'_i - M_x) - M]^2$$

[0321] Das Berechnen dieses Testwerts T erfordert Kenntnis der Pseudozufallsmodulationssequenz w, die einmal für alles im oben beschriebenen Erzeugungsschritt E501 Erzeugte gilt.

[0322] Die Feststellbarkeit wird angegeben durch Vergleich dieses Testwerts T mit einem gewissen Schwellenwert P_p , der theoretisch einer Wahrscheinlichkeit korrekter Feststellung von p% entspricht, wenn der Test T der Gaußschen Verteilung mit einer Varianz gleich 1 für die beiden hypothetisch getesteten folgt (An- oder Abwesenheit vom Wasserzeichen).

[0323] Vergleichsschritt E507 ermöglicht es, den Testwert T mit dem Schwellenwert P_p zu vergleichen oder die Feststellrate zu korrigieren.

[0324] Wenn nach Abschluss dieses Vergleichs der berechnete Wert T höher als die korrekte Feststellrate ist, wird der getestete Block im Speicher gehalten, und zwar in einem Speicherschritt E509, als zum Einfügen eines Informationsbits verfügbare Region.

[0325] In der Praxis kann ein Kapazitätsberechnungsschritt E510 in der Weise realisiert werden, dass für jeden getesteten Koeffizientenblock, der zur Informationsbiteinfügung geeignet ist, der Kapazitätswert um eine Einheit erhöht wird.

[0326] Wenn im Gegensatz dazu der berechnete Wert T kleiner als die korrekte Feststellrate P_p ist, wird ein Block höheren Grades ausgewählt in einem Kombinationsschritt E508, das heißt, hier ein Mutterblock entsprechend der Kombination der vier Einheitsblöcke, und die Schritte E506 des Berechnens vom Testwert T und vom Vergleich E507 mit der korrekten Feststellrate P_p werden erneut über diesen neuen Block wiederholt.

[0327] Während dieses Kombinierens von Tochterblöcken, um einen Mutterblock zu bilden, werden diese Töchterblöcke vorzugsweise ausgewählt, für die das Feststellbarkeitskriterium nicht erfüllt wird.

[0328] Zum Anwenden dieses Feststellbarkeitskriteriums kann ein beliebiger standardisierter statistischer Test für die Feststellung angewandt werden, wie beispielsweise derjenige, der in dem Artikel mit dem Titel "A method for signature casting on digital images" von I. PITAS, in Proc. ICIP, Seiten 215–218, September 1996, womit es möglich wird, die Feststellung in Hinsicht der Wahrscheinlichkeit zu kennzeichnen.

[0329] Ein Schwellenwert P_p kann entsprechend einem festen Grad an Feststellbarkeit ausgewählt werden, beispielsweise mit 99,95%.

[0330] Für eine gegebene Region, die einen Satz von Koeffizienten X der Größe P festlegt und mit einem feststehenden Gewichtungskoeffizienten α , ist es von daher möglich, die Feststellbarkeitsamplitude zu berechnen und letztere mit einem Schwellenwert P_p zu vergleichen, um so das Feststellbarkeitskriterium über diese Region zu validieren.

[0331] Die Feststellbarkeitswahrscheinlichkeit sinkt im allgemeinen mit der Größe der getesteten Regionen, so dass durch Kombinieren von Regionen zum Erhöhen der Größe des Blocks von Koeffizienten, der zum Einfügen eines Wasserzeichens verwendet wird, der Wert vom Test T über diesen neuen Block ansteigt.

[0332] Nach Abschluss dieser Schritte adaptiven Partitionierens E504 bis E508 kann von daher eine Bildeinfügekapazität bestimmt werden, die Q Bits gleicht, wie es eine passende Partition des Bildes entsprechend der Kapazität Q sein kann.

[0333] Ein Wasserzeichen kann dann gebildet werden mit einer Länge, die Q Bits gleicht, und kann dann Bit für Bit eingefügt werden in die verschiedenen Regionen der Partition.

[0334] Der Schritt E520 des genauen Einfügens vom Wasserzeichen kann offensichtlich mit der Bestimmung der Partition gekoppelt werden, und zwar in der Weise, dass jede verfügbare Region nach Beurteilen des Feststellbarkeitstests E506, E507 aktuell mit Wasserzeichen versehen werden kann durch Einfügen eines Informationsbits durch Modulation der Koeffizienten dieser Region.

[0335] Der Einfügungsschritt E520 ermöglicht es, aktuell ein Informationsbit des Wasserzeichens einzufügen durch Auswahl eines Koeffizientenwertes $b = 1$ oder -1 in der oben beschriebenen Modulationsformel, wobei das Ändern von ± 1 Bits den Inhalt der eingefügten Mitteilung transportiert.

[0336] Eine zentrierte Pseudozufallssequenz bekannter Verteilung kann verwendet werden, anders für jede Partitionszone und kann initialisiert werden durch einen Geheimschlüssel K' , wie in [Fig. 1](#) veranschaulicht.

[0337] Angemerkt sei, dass dieser Geheimschlüssel K' , wenn er passend ist, identisch dem Geheimschlüssel K sein kann, der während des Erzeugens der Pseudozufallssequenz w zum Bestimmen der Partition verwendet wird.

[0338] Darüber hinaus kann eine zentrierte Pseudozufallssequenz w erzeugt werden, die derjenigen identisch ist, die der Erzeugungsschritt E501 erzeugt.

[0339] Eine Partition von Bild I ist diagrammartig als Beispiel in [Fig. 10](#) gezeigt nach Beurteilen der Schritte E504 bis E508, in denen beispielsweise 25 separate Regionen gewonnen werden, die es ermöglichen, ein 25-Bit-Wasserzeichen einzufügen.

[0340] Offensichtlich kann auch eine beliebige andere Partitionierungstechnik verwendet werden.

[0341] Eine zweite Art des Ausführens vom bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend anhand [Fig. 12](#) beschrieben, wobei die Partitionierung erreicht wird durch wiederholtes Teilen des Koeffizientensatzes.

[0342] Nach Beurteilung der Transformationsschritte E500, Erzeugen E501, Modulieren E502 und Verzerren E503, wie zuvor beschrieben, wird ein erstes Frequenzunterband in Schritt E511 betrachtet als zu partitionierender Koeffizientensatz.

[0343] Eine Vierfachteilung wird hier betrachtet, in der ein "Mutterblock" genannter Block immer in vier Blöcke gleicher Größe unterteilt wird, die "Tochterblöcke" heißen.

[0344] Die Partitionierung findet offensichtlich statt, und zwar Frequenzunterband um Frequenzunterband vom Signal, das durch Spektralzerlegung erzielt wird.

[0345] In Schritt E512 wird von daher ein Anfangsblock entsprechend eines ersten Frequenzunterbandes in Betracht gezogen.

[0346] Dieser Anfangsblock ist im Speicher in einer Liste L von zu verarbeitenden Blöcken gespeichert.

[0347] In Schritt E513 wird als nächstes ein erster zu verarbeitender Block B in Betracht gezogen, der von der zu verarbeitenden Blockliste L kommt.

[0348] Ein Feststellbarkeitskriterium wird bezüglich des Blockes B in einem Überprüfungsschritt E514 angewandt.

[0349] Der Wert T eines statistischen Feststelltests bezüglich dieses Blocks von modulierten Koeffizienten wird in der Praxis in einem Berechnungsschritt E514a berechnet, wie zuvor beschrieben. Dieser Schritt entspricht dem Berechnungsschritt E506, der anhand [Fig. 11](#) beschrieben wurde.

[0350] Die Feststellbarkeit wird dann durch den Vergleich dieses Testwerts T mit einem gewissen Schwellenwert P_p angegeben, die theoretisch einer korrekten Feststellwahrscheinlichkeit von $p\%$ entspricht, wenn der Test T der Gaußschen Verteilung mit Varianz gleich 1 für die zwei getesteten Hypothesen erfolgt (An- oder Abwesenheit vom Wasserzeichen).

[0351] Ein Vergleichsschritt E514b ermöglicht es, diesen Testwert T mit dem Schwellenwert P_p oder der kor-

rekten Feststellrate zu vergleichen. Dieser Vergleichsschritt E514b ist analog zum Vergleichsschritt E507, der anhand [Fig. 11](#) beschrieben wurde.

[0352] Nach Abschluss dieses Vergleichs erfolgt eine Überprüfung in einem Testschritt E515, wenn der berechnete Wert T kleiner als die korrekte Feststellrate P_p ist, um so herauszufinden, ob es übrig gebliebene zu verarbeitende Blöcke in der Liste L gibt.

[0353] Falls nein, wird der rekursive Partitionierungsalgorithmus beendet.

[0354] Anderenfalls wird der folgende Block B der Liste L in Schritt E513 herangezogen, und der Überprüfungsschritt E514 wird erneut wiederholt.

[0355] Wenn nach Abschluss des Vergleichsschritts E514b der berechnete Wert vom Test T größer als die korrekte Feststellrate P_p ist, wird die Feststellbarkeit über jeden Tochterblock dieses Mutterblocks B in einem Überprüfungsschritt E516 getestet.

[0356] In der Praxis wird der Mutterblock B in vier Tochterblöcke unterteilt, und das Feststellbarkeitskriterium wird bezüglich jedem dieser Blöcke gemäß einem Analogschritt überprüft, und zwar zum zuvor beschriebenen Überprüfungsschritt E514.

[0357] Test **514** ermöglicht es, zu verifizieren, ob das Feststellbarkeitskriterium über den letzten einen Tochterblock gültig ist.

[0358] Falls ja, wird ein Unterteilungsschritt E518 realisiert, um den Block B aktuell in vier Tochterblöcke zu unterteilen, und ein Additionsschritt **519** ermöglicht es diesen Tochterblöcken, der Liste von zu verarbeitenden Blöcken L hinzugefügt zu werden.

[0359] Die Test- und Überprüfungsschritte E513 bis E519 werden dann erneut bezüglich aller Blöcke der Liste L wiederholt, bis letztere leer ist.

[0360] Wenn im Gegensatz dazu der Test E517 beurteilt, dass das Feststellbarkeitskriterium nicht erfüllt wird oder beliebige der Tochterblöcke des Mutterblocks B , dann wird der getestete Block B in einem Speicherschritt E509 im Speicher als für das Einfügen eines Informationsbits verfügbare Region gehalten.

[0361] Ein Schritt des Aktualisierens der Kapazität E510 kann praktisch in der zuvor beschriebenen Weise realisiert werden, und zwar in der Weise, dass jeder getestete Koeffizientenblock geeignet ist zum Einfügen eines Informationsbits, wobei der Kapazitätswert um eine Einheit erhöht wird.

[0362] Von daher kann bezüglich der Beurteilung dieser adaptiven Partitionierungsschritte E511 bis E519 die Bildeinfügungskapazität bestimmt werden, die gleich Q Bits ist, wie eine passende Partitionierung des Bildes entsprechend dieser Kapazität Q .

[0363] Ein Wasserzeichen kann dann mit einer Länge von Q Bits gebildet werden und lässt sich dann Bit für Bit in verschiedene Regionen der Partitionierung einfügen.

[0364] Der Schritt E520 des genauen Einfügens des Wasserzeichens kann offensichtlich wie zuvor mit der Partitionierungsbestimmung gekoppelt werden, und zwar in der Weise, dass jeder bezüglich der Beurteilung des Feststellbarkeitstests E502 verfügbare Block B aktuell mit Wasserzeichen versehen werden kann durch Einfügen eines Informationsbits durch Modulation der Koeffizienten dieses Blocks B .

[0365] Der Einfügungsschritt E520 lässt sich in derselben Weise ausführen, wenn das Partitionieren durch wiederholtes Kombinieren erzielt wird.

[0366] In einem verbesserten Ausführungsbeispiel dieser Technik des Partitionierens durch wiederholtes Unterteilen kann darüber hinaus eine Teilung des Mutterblocks B in Tochterblöcke bezüglich des Abschlusses vom Feststellbarkeitstest E507 angewandt werden, nur wenn eine Kapazitätsverstärkung dargestellt wird, das heißt, im Vierfachunterteilungsmodus, wenn das Feststellbarkeitskriterium über wenigstens zwei Tochterblöcke erfüllt ist. Anderenfalls kann vorzugsweise der Mutterblock größer gehalten werden, um so eine bessere Unsichtbarkeit des eingefügten Wasserzeichens zu erzielen.

[0367] Die zuvor beschriebenen Partitionierungstechniken sind damit auf keinerlei Weise beschränkt.

[0368] Angemerkt sei, dass es möglich ist, verschiedene Wiederholsegmentationstechniken durch Teilen/Verschmelzen zu erzielen, zu denen die zuvor beschriebene Vierfachblockpartitionierung gehört, aber auch Graphenpartitionierung. In allgemeiner Hinsicht gibt es sogenannte Grundaufverfahren und Top-Down-Verfahren, abhängig davon, ob das iterative Partitionierungsmittel verschmilzt oder unterteilt.

[0369] Falls geeignet ist es von daher möglich, zwei Techniken des Partitionierens durch Unterteilung und Kombination zu kombinieren. Dies ist der Fall, wenn eine Anfangspartitionierung ausgewählt ist, als Beispiel unmittelbar zwischen zwei Extremen, die einerseits eine Einzelregion und andererseits eine Partitionierung in Regionen kleinstzulässiger Größe sind, womit sowohl die Operationen des Unterteilens als auch des Kombinierens möglich sind.

[0370] Es ist auch möglich, das Verfahren des Bestimmens einer Partition zu realisieren, um die Kapazität des Digitalbilds unter Verwendung mehrerer unterschiedlicher Segmentierungstechniken zu maximieren und dann die Partition auszuwählen, die die größte Kapazität Q für das Digitalbild liefert.

[0371] Auch ist es möglich, die bestmögliche Partition zu bestimmen, das heißt, einen Satz von Koeffizientenblöcken größtmöglicher Größe zu erzielen, um eine Mitteilung fester Länge einzufügen, die kleiner als die Maximalkapazität des mit Wasserzeichen zu versehenen Digitalbilds ist.

[0372] In allen Fällen ermöglicht die vorliegende Erfindung das Erzeugen und Einfügen einer Pseudozufallssequenz einmal nur über einen Koeffizientensatz, bei dem die Koeffizienten zum Austragen der Einfügung verfügbar sind, und als mathematischer Zusatz nur eine Einzelvorverzerrung an den Koeffizientensatz anzulegen.

[0373] Somit ist es möglich, schnell eine Partition des Koeffizientensatzes zu erzielen, der es ermöglicht, ein Wasserzeichen mit feststehender genauer Feststellwahrscheinlichkeit für einen Gesamtbereich der Verzerrung einzufügen, der zwischen "keine Verzerrung" und "vorbestimmte Verzerrung" liegt, angelegt während des Bestimmens der Partition. Darüber hinaus ist die Simulation einer Maximalverzerrung vor Einfügen eine quasi deterministische Operation, die den Vorteil in Hinsicht auf eine theoretische statistische Berechnung liefert.

[0374] Nachstehend ist das Einfügungsverfahren nach der Erfindung in einem bevorzugten Ausführungsbeispiel beschrieben.

[0375] Das Wasserzeichenmarkierungssignal wird nach einem Transformationsschritt E600 eingefügt in einen Koeffizientensatz der in Unterbänder transformierten Domäne.

[0376] In einem ausgewählten Auswahlschritt E601, wie er in [Fig. 13](#) dargestellt ist, wird beispielsweise das Hochfrequenzunterband HH_1 ausgewählt, und zwar mit dem ersten Auflösungsgrad entsprechend einer Hochpassfilterung in Horizontal- und Vertikalrichtung.

[0377] Somit gibt es einen Satz von Ortsfrequenzkoeffizienten mit einer Kardinalzahl gleich N , die beispielsweise $X = \{X_i, 1 \leq i \leq N\}$ ist.

[0378] Für ein Bild I der Größe 512×512 wird das Unterband HH_1 eine Größe $N = 256 \times 256$ haben.

[0379] Da die Wasserzeichenmarkierung unauffällig und unlöschar ist und folglich schwer von Piraten zu lokalisieren ist, wird ein Pseudozufallswasserzeichenmarkierungssignal eingefügt, dessen Spektrum gespreizt ist, um dieses Signal durch Spektral- oder statistische Analyse unfeststellbar zu machen.

[0380] Beispielsweise wird eine Pseudozufallssequenz w herangezogen, die einer Einheitsregel bezüglich des Intervalls $[-1, 1]$ mit $w = \{w_i, 1 \leq i \leq P\}$ ist, wobei die Länge P geringer oder gleich N ist.

[0381] Natürlich ist auch ein beliebiges Pseudozufallswasserzeichenmarkierungssignal mit bekannter Verteilung und einem Nullelement geeignet. Die gebräuchlichsten Verteilungen für das Wasserzeichenmarkierungssignal w sind, abgesehen von der Einheitsverteilung bezüglich $[-1, 1]$, wie zuvor erwähnt, die Binärverteilung $\{-1, 1\}$ und die zentrierte standardisierte Gaußsche Verteilung $N(0, 1)$.

[0382] Die Modulation, die man an die Koeffizienten anzulegen wünscht, um das Wasserzeichenmarkierungssignal einzufügen, verwendet Linearmodulation folgender Art:

$$X'_j = X_{j(i)} + \alpha w_j, \text{ mit } 1 \leq j \leq P,$$

wobei

$X_{j(i)}$ ein Untersatz von Spektralkoeffizienten ist, die aus dem Koeffizientensatz X ausgewählt sind, und wobei α ein Gewichtungskoeffizient ist.

[0383] Hier ist der Gewichtungskoeffizient α für beliebige j eine Konstante.

[0384] In diesem Ausführungsbeispiel ist daran gedacht, zu bestimmen, ob das Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignal w aktuell in den Koeffizientensatz X möglich ist, während vorbestimmte Kriterien der Unbe merkbarkeit und Feststellbarkeit getroffen werden.

[0385] Das Einfügevorgang nach der Erfindung umfasst zuallererst Schritt E602 des Berechnens eines Maximalwerts α_v des Gewichtungskoeffizienten α als Funktion der Länge P vom Wasserzeichenmarkierungssignal w , das die Unsichtbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals w sicherstellt.

[0386] Dieser Maximalwert oder diese sichtbare Amplitude α_v entspricht der maximalen Modulationsamplitude, die im zuvor beschriebenen Lineareinfügungsmodell verwendet werden kann, vor dem ein Betrachter in der Lage ist, den Grad wiederhergestellten Bildes visuell festzustellen.

[0387] In diesem Ausführungsbeispiel wird ein Sichtbarkeitsmodell verwendet, das die Vorhersage der Sichtbarkeit einer Wasserzeichenmarkieroperation als Funktion unterschiedlicher Parameter ermöglicht, die die Darstellung vom Signal sind, durch verwendete Ortsfrequenztransformation T , wobei das Unterband HH_1 für das Einfügen berücksichtigt wird, die Art Sequenzverteilung vom Wasserzeichenmarkierungssignal w und die Länge P der Sequenz w .

[0388] Ein einfaches von WATSON entwickeltes System, das in dem Artikel mit dem Titel "Visibility of wavelet quantization noise", A. B. WATSON et al., IEEE Trans. On Image Process, 6 (8), Seiten 1164–1175, 1997, beschrieben ist, ermöglicht es, die Sichtbarkeit eines Koeffizientensatzes vorherzusagen, der aus der Sichtbarkeitsmessung eines einzelnen modulierten Koeffizienten moduliert ist. Vorteilhafterweise wird Bezug genommen auf dieses Dokument für die genaue Modellbeschreibung.

[0389] Während des Schritts E602 vom Berechnen des Maximalwerts α_v wird solchermaßen Gebrauch gemacht von einer Funktion, die von der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w und von der Art der verwendeten Spektraltransformation T abhängt, aber vom Koeffizientensatz für die Wasserzeichenmarkierung X unabhängig ist.

[0390] Die Berechnungsfunktion lässt sich folgendermaßen schreiben:

$$\alpha_v(P, S, w) = \frac{\alpha_{base}(S)}{P^{1/\beta} \left(E[|w|^\beta] \right)^{1/\beta}}$$

wobei $\alpha_{base}(S)$ ein Wert abhängig von der verwendeten Transformation S und dem Basisunterband ist, die für die Einfügung in Betracht kommen, vom Maximalgewichtungskoeffizienten, der die Nichtwahrnehmbarkeit sicherstellt, wenn ein Einzelkoeffizient dieses Unterbands moduliert wird,

β ist strikt größer als 2, und

$E[|w|^\beta]$ ist die mathematische Erwartung der Funktion $|w|^\beta$.

[0391] Die Basiswerte $\alpha_{base}(S)$ lassen sich einmal für jedes Unterband von Koeffizienten in der Wellenzerlegung messen aus einer einzelnen psychovisuellen Messung und können in einer Tabelle visueller Amplituden gespeichert werden.

[0392] β ist der Exponent einer Minkowsky-Summe und kann ausgewählt werden mit beispielsweise 5.

[0393] Die mathematische Erwartung $E[|w|^\beta]$ entspricht einer Schätzung des Mittelwerts der Funktion in $|w|^\beta$.

[0394] Das Sichtbarkeitsmodell berücksichtigt nicht das mit Wasserzeichen zu ver sehende Bild I selbst und ist davon unabhängig. Dies ist äquivalent der Berücksichtigung, dass das Bild I einheitlich ist. Wenn die Frage eines "worst case"-Modells aufkommt wegen der Anwesenheit des Bildsignals, ist es möglich, die Modulation selbst visuell zu maskieren.

[0395] In diesem Beispiel wird dieser Berechnungsschritt E602 realisiert, um den Maximalwert α_v des Gewichtungskoeffizienten α für eine Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w zu berechnen, gleich der Kardinalzahl N vom Satz modulierbarer Koeffizienten X . Solchermaßen wird ein mit $\alpha_v(N)$ bezeichneter Maximalwert berechnet, der die Unsichtbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals w an der Wahrnehmungsgrenze sicherstellt.

[0396] Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird für einen Wert $\beta = 5$ die sichtbare Amplitude für den Koeffizientensatz vom Unterband HH_1 angegeben mit:

$$\alpha_v(N) = \frac{6^{0,2} \alpha_{HH1}(T)}{N^{0,2}}$$

[0397] Als nächstes wird im Rechenschritt E603 die Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w für einen Minimalwert α_D des Gewichtungskoeffizienten α berechnet, der gleich dem Maximalwert $\alpha_v(N)$ ist, und auch für einen vorbestimmten Feststellwahrscheinlichkeitsgrad.

[0398] Um ein vorbestimmtes Feststellbarkeitskriterium zu erfüllen, muss deswegen der Gewichtungskoeffizient größer als der Maximalwert α_D sein, der als Feststellamplitude bezeichnet wird.

[0399] Beim Decoder wird das empfangene Bild I^* , das dem wasserzeichenmarkierten Anfangsbild entspricht und bei dem aufgrund bestimmter an das Bild angelegte Verzerrungen möglicherweise Rauschen verursacht wird, zuallererst durch eine Transformation transformiert, die derjenigen identisch ist, die während des Einfügens vom Wasserzeichenmarkierungssignal verwendet wird, um noch einmal den Satz von Koeffizienten zu finden, die moduliert sind.

[0400] Somit wird ein Satz $X^* = \{X_i^*, 1 \leq i \leq N\}$ gewonnen, welcher den Koeffizientensatz darstellt, der verantwortlich dafür ist, moduliert zu werden. Hypothetisch wird angenommen, dass eine beliebige Verzerrung, die unter diesen Koeffizienten leidet, durch hinzugefügtes Rauschen moduliert werden kann, dekoriert aus dem Bildsignal selbst $n = \{n_i, 1 \leq i \leq N\}$.

[0401] Jeder Koeffizient kann somit folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$X_i^* = X_i + \alpha w_i + n_i, \text{ mit } 1 \leq i \leq N.$$

[0402] Die Feststellung des eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals w besteht im Aufstellen eines Hypothesentests zum Antworten auf die Frage "ist das Signal w in X^* eingefügt worden?".

[0403] Der Vorteil des Aufstellens eines hypothetischen Tests besteht darin, dass es durch dessen Ergebnis möglich wird, einen theoretischen Vertrauensgrad für die Entscheidung zu geben, da ein Hypothesentest in Hinsicht auf bekannte Verteilungen standardisiert ist.

[0404] Für eine Klasse statistischer Tests auf Korrelationsgrundlage kann gezeigt werden, dass sich die Feststellamplitude aus der Rechenfunktion folgender Art berechnen lässt:

$$\alpha_D(P) = \frac{\alpha(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2})}{\sqrt{bP - c}}$$

wobei σ_x^2 gleich der Varianz der Koeffizienten ist, die zu modulieren sind, σ_n^2 gleich der Varianz des Zusatzrauschens ist und a , b und c Konstanten sind, die von der Verteilung des Wasserzeichenmarkierungssignals w und von dem geforderten Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p abhängen.

[0405] Somit wird der Minimalwert α_D verlässlich entsprechend der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals W , einem Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p , der Varianz der zu modulierenden Koeffizienten, der Verteilung des Wasserzeichenmarkierungssignals und möglicherweise entsprechend der Varianz eines dekorierten Zusatzrauschens aus der Koeffizientenmodulierung einer beliebigen an die Koeffizienten angelegten Verzerrung bestimmt.

[0406] Im Gegensatz dazu ist ebenfalls es möglich, die Minimalfeststelllänge, die mit P° bezeichnet wird, als Funktion des Gewichtungskoeffizienten α für einen feststehenden Feststellwahrscheinlichkeitsgrad auszudrücken:

$$P^{\circ}(\alpha) = \frac{\alpha^2(\sigma_x^2 + \sigma_n^2) + c\alpha^2}{b\alpha^2}$$

[0407] Es wäre möglich, das Ergebnis zum Überprüfen der Parameter zu verwenden, womit das Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals w möglich wird, das gegenüber Zusatzrauschen mit einer Energie geringer als oder gleich σ_n^2 widerstandsfähig ist.

[0408] Wie bezüglich der Kurven in [Fig. 14](#) dargestellt, umfasst das Einfügungsverfahren in allgemeinen Ausdrücken einen Schritt des Bestimmens kompatibler Werte der Länge P vom Wasserzeichenmarkierungssignal w aus der visuellen Amplitude α_v , berechnet als Funktion der Länge P des einzufügenden Wasserzeichenmarkierungssignals von dem Gewichtungskoeffizienten a und dem Wahrscheinlichkeitsgrad p , so dass der Wert vom Gewichtungskoeffizienten, bestimmt mit α , kleiner als oder gleich dem Maximalwert oder der visuellen Amplitude α_v und größer als oder gleich dem Minimalwert oder der Feststellamplitude α_D für diese bestimmten Werte der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w und dem Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p ist.

[0409] Der Gewichtungskoeffizient α , die Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w und der Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p müssen so bestimmt werden, dass sie folgender Ungleichung genügen:

$$\alpha_D \leq \alpha \leq \alpha_v$$

[0410] Um den Minimalwert P° , wie in [Fig. 14](#) dargestellt, aus dem Wasserzeichenmarkierungssignal w berechnen, für das die zuvor aufgeführte Ungleichung gilt, wird die Formelverknüpfung der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w der Amplitude des Gewichtungskoeffizienten α verwendet, wobei $\alpha = \alpha_v(N)$ ist und einen Feststellwahrscheinlichkeitsgrad von $p\%$ hat.

[0411] In diesem Beispiel wird ein standardisierter statistischer Test auf der Grundlage der Korrelation zwischen dem wasserzeichenmarkierten Signal X^* und dem eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignal w herangezogen, wie beispielsweise im Dokument mit dem Titel "On Resolving Rightful Ownerships of Digital Images by Invisible Watermarks" von W. ZENG und B. LIU in Proc. ICIP 97, Seiten 552–555, Oktober 1997 vorgeschlagen.

[0412] Für diesen Test kann gezeigt werden:

$$\alpha_D = \frac{t_0 \sqrt{E(w)^2 (\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2})}}{\sqrt{E^2(w^2)P - t_0^2 \sigma_w^2}}$$

[0413] Ein Rechenschritt E604 ermöglicht es somit, die drei zuvor erwähnten Konstanten a , b und c zu berechnen, so dass

$$a = t_0 \sqrt{E(w^2)},$$

$$b = E^2(w^2),$$

und

$$c = t_0^2 \sigma_w^2.$$

[0414] Die Werte $E(w^2)$ und σ_w^2 lassen sich theoretisch als Funktion der Verteilung von w berechnen. Für die Einheitsverteilung, die hier herangezogen wird, werden die theoretischen Werte $E(w^2) = 1/3$ und $\sigma_w^2 = 4/45$.

[0415] Der Wert t_0 ist ein Schwellenwert, der von der Wahrscheinlichkeit korrekter Feststellung p : $t_0 = 2 \times t_p$ ist. Die Werte von t_p sind Prozentwerte einer zentrierten Gaußschen Verteilung und haben eine Varianz von 1. Diese Werte sind nach dem Stand der Technik tabellenmäßig erfasst, beispielsweise im Buch mit dem Titel "Probability and Statistics" von A. PAPOULIS, Prentice-Hall, 1990.

[0416] Beispielsweise entspricht $t_p = 3,291$ dem Wert $p = 0,9995$, so dass festzustellen ist, dass der Feststellwahrscheinlichkeitsgrad gleich 99,95 % ist.

[0417] Bei diesem numerischen Beispiel wird beachtet, dass beliebiges Zusatzrauschen nicht berücksichtigt wird, so dass $\sigma_n = 0$ ist.

[0418] In einem Schätzschritt E605 wird auch die Varianz des Satzes von Koeffizienten X geschätzt. Die Varianz wird entsprechend folgender Gleichung geschätzt:

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - M_X)^2$$

$$\text{mit } M_X = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

[0419] Für eine mit 99,95% festgelegte Feststellwahrscheinlichkeit wird dann die Funktionsverkettung der Länge P vom einzufügenden Wasserzeichenmarkierungssignal w mit dem Gewichtungskoeffizienten α hergeleitet aus:

$$P = \frac{14,44 \times \sigma_X^2 + 3,84\alpha^2}{0,11\alpha^2}$$

[0420] Beim Rechenschritt E603 wird die Minimallänge P° aus der obigen Formel für einen Gewichtungskoeffizienten bestimmt, der dem Maximalwert $\alpha_v(N)$ gleicht, berechnet im Rechenschritt E602.

[0421] Das Einfügevorgang umfasst in diesem Ausführungsbeispiel Schritt E606 des Vergleichens der berechneten Länge P° mit der Kardinalzahl N aus dem Satz modulierbarer Koeffizienten X .

[0422] Wenn beim Vergleichsschritt E606 die berechnete Länge P° kleiner als oder gleich der Kardinalzahl N des Satzes modulierbarer Koeffizienten X ist, wird daraus hergeleitet, dass das Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals w der Länge P° möglich ist und der geforderten Unauffälligkeit und den Feststellkriterien entspricht.

[0423] In der Realität ist es möglich, eine Einfügung des Wasserzeichenmarkierungssignals w zu bewirken, das diesen Kriterien entspricht, weil die Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals zwischen dem berechneten Wert P° und der Kardinalzahl N des Satzes modulierbarer Koeffizienten X liegt.

[0424] Dann wird das genaue Einfügen vom Wasserzeichenmarkierungssignal der Länge P ausgeführt durch Modulieren eines Koeffizientenuntersatzes mit einer Kardinalzahl P entsprechend dem linearen Modulationsgrad mit einem Gewichtungskoeffizienten α gleich dem berechneten Maximalwert $\alpha_v(N)$.

[0425] Das Einfügevorgang umfasst in üblicher Wert einen Umkehrortsfrequenztransformationsschritt, der es ermöglicht, am Ausgang des Codierers das wasserzeichenmarkierte Bild I^* zu gewinnen.

[0426] Wenn das Einfügen möglich ist, es auch das Berechnen der Anzahl theoretischer Bits möglich, die eingefügt werden können. Dies liegt daran, dass beim Decoder die Decodieroperation aus der Feststellung besteht, ob eine Pseudozufallssequenz w eingefügt worden ist. Die Antwort ist binär (Ja/Nein) und kann so angesehen werden, dass eine Pseudozufallssequenz der Länge P es ermöglicht, ein Informationsbit in das Bild einzufügen und aus dem Bild auszulesen. Durch Wiederholen der Einfügeoperation bezüglich mehrerer Gegenstände von Spektralkoeffizienten wird es somit möglich, verschiedene Informationsbits einzufügen und auszulesen.

[0427] Da es in diesem Beispiel einen Koeffizientensatz einer Kardinalzahl N gibt und da nur eine Zahl P° von Koeffizienten erforderlich ist zum Einfügen und Feststellen eines Informationsbits, wird es möglich, die Gesamtzahl Q an Informationsbits herzuleiten, die eingefügt werden können, und als Kapazität des Bildes bezeichnet wird: $Q = N/P^\circ$.

[0428] Wenn darüber hinaus beim Vergleichsschritt E606 die berechnete Länge P° größer als die Kardinalzahl N des Satzes modulierbarer Koeffizienten X ist, wird daraus a priori hergeleitet, dass das Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals, das den Kriterien der Unauffälligkeit und der Feststellbarkeit genügt, nicht möglich ist.

[0429] Das Einfügevorgang kann in diesem Falle erforderlichenfalls einen Zusatzschritt des Berechnens

vom Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p' enthalten, der für einen Minimalwert α_D des Gewichtungskoeffizienten erzielt wird, der gleich dem Maximalwert $\alpha_V(N)$ ist, berechnet für eine Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w , das der Kardinalzahl N des Satzes modulierbarer Koeffizienten X gleicht.

[0430] Wird dieser Feststellwahrscheinlichkeitsgrad, der geringer als der ursprünglich bei 99,95% festgelegte ist, als befriedigend beurteilt, dann kann das Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals der Länge gleich N bewirkt werden, das heißt, alle Koeffizienten des Unterbands mit Frequenz HH_1 werden moduliert.

[0431] In einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung kann das Einfügevorgang ein Rechen-schritt für einen Schwellenwert P^* der Länge des Wasserzeichenmarkierungssignals w umfassen, wie in [Fig. 14](#) dargestellt.

[0432] Dieser Schwellenwert P^* wird so bestimmt, dass der Maximalwert α_D des Gewichtungskoeffizienten gleich dem Maximalwert α_V des Gewichtungskoeffizienten für eine Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w ist und dem Schwellenwert P^* und einem vorbestimmten Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p gleicht.

[0433] Dieser Rechenschritt ermöglicht es, aus der Formel, die die Feststellamplitude α_D und die Sichtbarkeitsamplitude α_V als eine Funktion der Länge P vom Wasserzeichenmarkierungssignal w ausdrückt, den Minimalwert P^* des Einfügungssignals zu bestimmen, aus dem der Gewichtungskoeffizient α der Ungleichung $\alpha_D \leq \alpha \leq \alpha_V$ genügen kann.

[0434] In [Fig. 14](#) wird dieser Minimalwert P^* durch die Kreuzung der beiden Kurven angegeben, die die Variation der visuellen Amplitude α_V und die Varianz der Feststellamplitude als Funktion der Länge P des eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals w darstellen, und zwar für einen vorbestimmten Feststellwahrscheinlichkeitsgrad.

[0435] Allgemein ausgedrückt, das Einfügevorgang nach der Erfindung hat somit den Vorteil, in der Lage zu sein, a priori und theoretisch die Feststellwahrscheinlichkeit und die Nichtwahrnehmbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals zu steuern, welches in ein Bild einzufügen vorgesehen ist.

[0436] Natürlich sind viele Abwandlungen für die beispielhaften Ausführungsbeispiele möglich, die zuvor beschrieben wurden, ohne dass dabei vom Umfang der Erfindung abgewichen wird.

[0437] Die angewandte Einfügevorgangstechnik könnte auch auf ein Originaldigitalbild angewandt werden, ohne dass es irgendeiner Ortsfrequenztransformation vor der Koeffizientenmodulation unterzogen wird.

[0438] In diesem Falle werden die Modulationskoeffizienten solche, die das Digitalbild allein in der Ortsdomäne darstellen.

[0439] Die auf das Bild angewandte Ortsfrequenztransformation kann darüber hinaus Analyse- und Synthesefilter verwenden, die andere als die oben beschriebenen sind, oder sogar eine andere Transformation als die diskrete Fourier-Transformation, die diskrete Kosinustransformation oder die Fourier-Mellin-Transformation sein. Diese Transformationen werden in der herkömmlichen Verarbeitung von Digitalbildern laufend verwendet.

[0440] Darüber hinaus ist die Erfindung nicht auf die beispielhaften Ausführungsbeispiele beschränkt, die zuvor beschrieben wurden, sondern betrifft auch ein Ausführungsbeispiel, bei dem die Werte des Gewichtungskoeffizienten α , die Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals und der Feststellwahrscheinlichkeitsgrad P in Korrelationsart bestimmt werden, um so der Ungleichung $\alpha_D \leq \alpha \leq \alpha_V$ zu genügen.

[0441] Die vorliegende Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Bestimmen einer Partitionierung sowie eine Decodiereinrichtung, die eingerichtet sind zum Realisieren des Partitionierens und der Decodierverfahren, wie sie zuvor beschrieben wurden.

[0442] Diese Einrichtungen zum Bestimmen einer Partitionierung und einer Decodierung können in einem Computer **50** verwendet werden, wie in [Fig. 15](#) dargestellt, und zwar unabhängig vom oder im selben Computer **50**.

[0443] Die Partitionierungsbestimmungseinrichtung verfügt über Partitionierungseinrichtungen **500**, **502**, **503**, die eingerichtet sind zum Ausführen einer adaptiven Partitionierung gemäß einem Feststellbarkeitskriterium ei-

nes in jede Region eingefügten Informationsbits.

[0444] Diese Partitionierungseinrichtung verwendet bezüglich Codieren einen Maximalwert α_v des Gewichtungskoeffizienten, der die Nichtwahrnehmbarkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals zum Modulieren aller Koeffizienten sicherstellt, die das Digitalbild darstellen, möglicherweise mit einem Modulationsfaktor k_j , der von jedem Koeffizienten abhängig ist, wie zuvor beschrieben.

[0445] Die Vorrichtung zum Bestimmen einer Partitionierung verfügt auch über Einrichtungen **500, 502, 503** zum Vergleichen der Größe P einer jeden Partitionierungsregion mit einer Minimalgröße P_{stat} entsprechend der Minimalgröße eines statistisch signifikanten Abtastwertes für die Feststellung eines in diese Region eingefügten Wasserzeichenmarkierungssignals.

[0446] Die Vorrichtung verfügt auch über Einrichtungen **500, 502, 503** zum Anlegen einer Vorverzerrung vor Berechnen eines Feststellbarkeitskriteriums.

[0447] Die Partitionierungsvorrichtung verfügt über Einrichtungen **500, 502, 503** zum Modulieren aller Koeffizienten einer Region durch Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals, über Einrichtungen **500, 502, 503** zum Berechnen einer Feststellbarkeitsamplitude aus dem Feststellbarkeitskriterium und über Einrichtungen **500, 502, 503** zum Validieren des Feststellbarkeitskriteriums, das eingerichtet ist zum Vergleichen der Feststellbarkeitsamplitude mit einem vorbestimmten Schwellenwert T_c .

[0448] Die Partitionierungsvorrichtungen **500, 502, 503** sind eingerichtet zum Bewirken einer Partitionierung durch wiederholtes Unterteilen des numerisches Bildes, und für jede Region mit einem Rang der Partitionierung sind die Validierungseinrichtungen **500, 502, 503** so eingerichtet, eine Partitionierung vom Rang zu validieren, der in der Region höher liegt, und zwar nur dann, wenn dort wenigstens zwei Unterregionen der Region existieren, für die das Feststellbarkeitskriterium validiert ist.

[0449] Die Vorrichtung enthält auch Einrichtungen **500, 502, 503** zum Inkrementieren des Werts einer Kapazität Q vom Digitalbild, eingerichtet für jede Region mit einem Partitionierungsrang, um den Kapazitätswert Q zu inkrementieren, wenn das Partitionieren vom direkt höheren Rang nicht validiert ist, wobei die Kapazität Q gleich der Kardinalzahl der bestimmten Regionen ist, die gewonnen werden durch Partitionieren bezüglich des validierten Feststellbarkeitskriteriums.

[0450] In einem anderen Ausführungsbeispiel verfügt diese Vorrichtung zum Bestimmen einer Partitionierung Inkrementiereinrichtungen **500, 502, 503**, die für jede Region R mit einem Partitionierungsrang vorgesehen ist, um den Wert einer Kapazität Q zu inkrementieren, wenn der direkt höhere Partitionierungsrang nicht validiert ist, über Vergleichseinrichtungen **500, 502, 503**, die eingerichtet sind zum Vergleichen der Kapazität Q mit einem festen Kapazitätswert Q_s und über Wiederholeinrichtungen **500, 502, 503**, die zum erneuten Wiederholen des Partitionierens für eine Region eingerichtet sind, die die höchste Feststellbarkeit unter allen anderen zu verarbeitenden Regionen aufweist, wenn der Kapazitätswert Q kleiner als der feststehende Kapazitätswert Q_s ist.

[0451] In einem dritten Ausführungsbeispiel nach der Erfindung sind Partitionierungseinrichtungen **500, 502, 503** eingerichtet zum Herbeiführen einer Partitionierung durch wiederholtes Verschmelzen des Digitalbilds und sind vorhanden für jede Partitionierungsregion, für die das Feststellbarkeitskriterium nicht validiert ist, zum Verschmelzen der Region mit einer anderen Partitionierungsregion, und vorzugsweise mit einer anderen Partitionierungsregion, für die das Feststellbarkeitskriterium nicht validiert ist.

[0452] In einer gesamten gleichen Art verfügt die Vorrichtung zum Decodieren eines Wasserzeichenmarkierungssignals in ein Digitalbild über Einrichtungen **500, 502, 503** des Partitionierens vom zu decodierenden Digitalbild in bestimmte Regionen, eingerichtet zum Ausführen eines adaptiven Partitionierens als Funktion eines Feststellbarkeitskriteriums von einem Informationsbit, das gewonnen wurde durch Koeffizientendemodulieren bezüglich jeder Region.

[0453] Ebenfalls vorhanden sind Einrichtungen **500, 502, 503** zum Vergleich der Größe P einer jeden Region R der Partitionierung mit einer Minimalgröße P_{stat} entsprechend der Minimalgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts für die Feststellung eines Wasserzeichenmarkierungssignals, das in die Region eingefügt ist.

[0454] Enthalten sind Einrichtungen **500, 502, 503** zum Berechnen einer Feststellamplitude aus dem Feststellbarkeitskriterium und Einrichtungen **500, 502, 503** zum Validieren des Feststellbarkeitskriteriums, einge-

richtet zum Vergleich der Feststellamplitude mit einem vorbestimmten Schwellenwert T_d zum Decodieren.

[0455] Dieser vorbestimmte Schwellenwert T_d zum Decodieren ist kleiner als der vorbestimmte Schwellenwert T_c , der während des Partitionierungsbestimmungsverfahrens verwendet wird, das zuvor beschrieben worden ist.

[0456] In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel umfasst die Vorrichtung zum Bestimmen einer Partition Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Überprüfen eines Feststellbarkeitskriteriums über eine jede Region von einem Informationsbit, das mittels Pseudozufallssequenz mit Durchschnitt von Null durch Modulation der Regionskoeffizienten eingefügt worden ist.

[0457] Ebenfalls enthalten sind Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Erzeugen einer zentrierten Pseudozufallssequenz, die in der Größe der Kardinalzahl des Satzes von Koeffizienten gleicht, die repräsentativ für ein Bild und hier gleich N sind.

[0458] Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Modulieren des Satzes von Koeffizienten X durch die zentrierte Pseudozufallssequenz, um dasselbe Informationsbit auf diesen Satz von Koeffizienten einzufügen, sind ebenfalls in die Vorrichtung zum Bestimmen einer in [Fig. 1](#) gezeigten Partition **11** inkorporiert.

[0459] Letztere kann auch Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Anlegen einer Verzerrung D enthalten, die es ermöglicht, im Falle einer bestimmten Art von Verzerrung die Widerstandsfähigkeit vom eingefügten Wasserzeichen bereitzustellen und zu garantieren, typischerweise im Falle einer Kompression von Digitaldaten, um diese zu speichern.

[0460] Diese Einrichtungen zum Anlegen einer Verzerrung ermöglichen es, aktuell eine vorbestimmte Verzerrung über den Satz modulierter Koeffizienten zu simulieren. Wann immer die Koeffizienten des Satzes X Spektralkoeffizienten sind, verfügen sie hier für Einrichtungen **500**, **502**, **503** zur inversen Spektraltransformation des Koeffizientensatzes, der moduliert wurde, um ein wasserzeichenmarkiertes Bild zu bekommen, über Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Anlegen einer Verzerrung an dieses wasserzeichenmarkierte Bild und über Einrichtungen **500**, **502**, **503** zur Spektraltransformation des wasserzeichenmarkierten Bildes, um den Satz modulierter Koeffizienten nach Verzerrung wiederherzustellen.

[0461] In diesem Beispiel sind inverse Spektraltransformationseinrichtungen zum Realisieren einer spektralen Wavelet-Wiederherstellung mit Mehrfachauflösung geeignet, und die Vorwärtsspektraltransformationseinrichtungen sind zum erneuten Wiederholen des Herunterteilens vom Digitalbild I in Wavelets geeignet.

[0462] Die Einrichtung zum Bestimmen einer Partition **11** enthält auch auf dem ersten Weg eine Einrichtung zum Partitionieren der Wiederholungskombination auf der Grundlage einer Anfangssegmentierung vom Satz-koeffizienten X .

[0463] Diese Anfangssegmentierung ermöglicht es in vorteilhafter Weise, den Satz von Koeffizienten X in Sätze von Regionen einer Größe zu segmentieren, die statistisch signifikant zum Validieren des Feststellbarkeitskriteriums über diese Regionen ist.

[0464] Die Partitionierungseinrichtungen **500**, **502**, **503** durch wiederholtes Kombinieren sind unbefriedigend zum Kombinieren der Region mit einer Partitionierungsregion.

[0465] Offensichtlich können die Partitionierungseinrichtungen **500**, **502**, **503** auch geeignet sein zum Bilden der Bildpartitionierung durch wiederholtes Teilen des Digitalbilds auf einem zweiten Ausführungsweg des bevorzugten Ausführungsbeispiels nach der Erfindung.

[0466] Diese Partitionierungsbestimmungsvorrichtung **11** ermöglicht es, eine Partitionierung des Ausgangssignals in Regionen des Satzes von Koeffizienten X zu bekommen, wobei es möglich ist, ein Informationsbit auf jede dieser Regionen mit einer zuverlässigen Feststellwahrscheinlichkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Verzerrung einzufügen. Die Maximalzahl der Regionen, die durch adaptives Partitionieren eines Satzes X erzielt werden können, entspricht der praktischen Einfügekapaazität dieses Satzes X .

[0467] Wie in [Fig. 1](#) dargestellt, verfügt die Einfügevorrichtung **10**, die die Vorrichtung zum Bestimmen einer Partition **11** beinhaltet, wie zuvor beschrieben, darüber hinaus Einrichtungen **13** zum Lesen eines einzufügenden Wasserzeichens mit mehreren Informationsbits. Auf beispielhaftem Wege, der überhaupt nicht be-

schränkend ist, kann ein Binärwasserzeichen 1000111 lauten, womit beispielsweise das Kodieren des Autorennamens vom mit Wasserzeichen zu ver sehenden Bild kodiert wird.

[0468] Die genaue Einfügungseinrichtung **12** kann eine der herkömmlichen Weise sein und es ermöglichen, durch Modulation verschiedene Informationsbits des Wasserzeichens auf die verschiedenen Einfügungsträger einzufügen, die bestimmt sind durch die Vorrichtung zum Bestimmen einer Partition **11**.

[0469] Die Vorrichtung nach der Erfindung zum Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals verfügt über Einrichtungen **500**, **502**, **503** der Ortfrequenztransformation eines Bilds I und beispielsweise über Analyserfilter, die mit Durch-Zwei-Dezimieren versehen sind, die hinzugefügt sind zum Bewirken einer Wavelet-Zerlegung eines Bildes I. Ebenfalls vorhanden sind Umkehrortsfrequenzzusammensetzungseinrichtungen **500**, **502**, **503** zum Wiederherstellen des Bildes I nach Einfügen des Wasserzeichenmarkierungssignals in die in Unterbänder transformierte Domäne.

[0470] Ebenfalls enthalten sind Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals w der Länge P, eingerichtet zum Modulieren eines Koeffizientenuntersatzes der Kardinalzahl P gemäß des Linearmodells, das zuvor unter Verwendung des Gewichtungskoeffizienten α beschrieben worden ist.

[0471] Die Einfügevorrichtung verfügt auch über Einrichtungen **500**, **502**, **503** des Berechnens vom Maximalwert α_v vom Gewichtungskoeffizienten als Funktion der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w, womit die Unauffälligkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals sichergestellt wird. Diese Berechnungseinrichtung verwendet die Funktion $\alpha_v(P, T)$, die zuvor beschrieben wurde, abhängig von der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w und der Spektraltransformation T, die zum Zerlegen des Bildsignals I verwendet wird.

[0472] In allgemeiner Hinsicht hat die Einfügevorrichtung auch Einrichtungen **500**, **502**, **503** des Bestimmens kompatibler Werte der Länge P vom Wasserzeichenmarkierungssignal w, vom Gewichtungskoeffizienten α und vom Wahrscheinlichkeitsgrad p, so dass der bestimmte Gewichtungswert des Gewichtungskoeffizienten geringer oder gleich dem Maximalwert α_v und größer oder gleich als der Minimalwert α_D für die bestimmten Werte der Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w und des Feststellwahrscheinlichkeitsgrads p ist.

[0473] Die Recheneinrichtungen **500**, **502**, **503** sind auch eingerichtet zur Maximalwertbestimmung oder zur Amplitudenfeststellung der Amplitude α_D unter Verwendung der Berechnung, die nach der oben beschriebenen Art erfolgt:

$$\alpha_D(P) = \frac{\alpha(\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_n^2})}{\sqrt{bP - c}}$$

[0474] In einem Ausführungsbeispiel der Erfindung hat die Einfügevorrichtung auch Recheneinrichtungen **500**, **502**, **503** für die Länge P° des Wasserzeichenmarkierungssignals w für einen Minimalwert α_D des Gewichtungskoeffizienten, der gleich dem Maximalwert $\alpha_v(N)$ ist, der für die Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals w berechnet wurde, gleich der Kardinalzahl N vom Satz modulierbarer Koeffizienten, wobei die Unauffälligkeit des Wasserzeichenmarkierungssignals w an der Grenze der Wahrnehmbarkeit und zum vorbestimmten Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p sichergestellt ist; und Einrichtungen **500**, **502**, **503** des Vergleichs der Länge P° , berechnet mit der Kardinalzahl N des Satzes modulierbarer Koeffizienten X.

[0475] Ebenfalls enthalten sind Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Berechnen eines Feststellwahrscheinlichkeitsgrads p' , der für einen Minimalwert α_D des Gewichtungskoeffizienten gewonnen wird, der dem Maximalwert α_v gleicht, der für eine Länge P des Wasserzeichenmarkierungssignals gleich der Kardinalzahl N vom Satz modulierbarer Koeffizienten X berechnet wurde.

[0476] In einem anderen Ausführungsbeispiel umfasst die Einfügevorrichtung Einrichtungen **500**, **502**, **503** zum Berechnen eines Schwellenwerts P^* der Länge vom Wasserzeichenmarkiersignal w, die so bestimmt ist, dass der Minimalwert α_D des Gewichtungskoeffizienten gleich dem Maximalwert α_v vom Gewichtungskoeffizienten der Länge P vom Wasserzeichenmarkiersignal w ist, das dem Schwellenwert P^* und einem vorbestimmten Feststellwahrscheinlichkeitsgrad p gleicht.

[0477] Alle zuvor beschriebenen Vorrichtungen sind in einem Mikroprozessor **500** vom Computer **50** vereint,

und nur Lesespeicher **502** sind eingerichtet zum Speichern des Programms zum Bestimmen einer Partitionierung und/oder zum Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals und/oder zum Decodieren des Wasserzeichenmarkierungssignals und einem Direktzugriffsspeicher **503** mit Registern, die eingerichtet sind zum Speichern Variabler, die während des Ablaufs vom Programm modifiziert werden.

[0478] Der Mikroprozessor **50** ist im Computer **50** integriert, der mit verschiedenen Peripherieeinrichtungen verbunden werden kann, beispielsweise mit einer Digitalkamera **507** oder mit einem Mikrophon **511** mittels einer Ein-/Ausgabekarte **506**, um Dokumente zu empfangen und zu speichern.

[0479] Die Digitalkamera **507** ermöglicht es, in bemerkenswerter Weise, zu berechtigende Bilder durch Einfügen eines Wasserzeichenmarkierungssignals zu liefern.

[0480] Dieser Computer **50** hat eine Übertragungsschnittstelle **512**, die mit einem Übertragungsnetzwerk **513** verbunden ist, um erforderlichenfalls mit Wasserzeichen zu markierende Bilder zu empfangen.

[0481] Der Computer **50** verfügt auch über eine Dokumentspeichereinrichtung, wie über eine Festplatte **508**, oder ist eingerichtet zur Zusammenarbeit mittels Plattenlaufwerk **509** mit austauschbaren Dokumentspeichereinrichtungen, wie Disketten **510**.

[0482] Diese fest eingebauten oder austauschbaren Speichereinrichtungen können auch den Code der verschiedenen Verfahren nach der Erfindung enthalten, die, wenn sie einmal vom Mikroprozessor **500** gelesen sind, auf der Festplatte **508** gespeichert werden.

[0483] Durch diese Variante kann das Programm die Vorrichtungen zum Realisieren der Erfindung aktivieren, die im Nurlesespeicher **502** gespeichert sind.

[0484] Als zweite Variante kann das Programm empfangen werden, um in der zuvor beschriebenen Weise mittels Übertragungsnetzwerk **513** gespeichert zu werden.

[0485] Der Computer **50** verfügt auch über einen Bildschirm **504**, um beispielsweise als Schnittstelle mit einer Bedienperson mittels einer Tastatur **514** oder einer anderen Einrichtung zu dienen.

[0486] Die Zentraleinheit (CPU) **500** wird die Befehle ausführen, die sich auf das Realisieren der Erfindung beziehen. Nach Stromeinschalten werden die Programme und Verfahren bezüglich der Erfindung, die im nichtflüchtigen Speicher gespeichert sind, beispielsweise im Nurlesespeicher **502**, im Direktzugriffsspeicher (RAM) **503** übertragen, der dann den ausführbaren Code der Erfindung enthält, sowie die zum Realisieren der Erfindung erforderlichen Variablen.

[0487] Der Direktzugriffsspeicher **503** enthält unterschiedliche Register zum Speichern von Variablen, die für den Ablauf des Programms erforderlich sind, und bemerkenswerterweise ein Register zum Speichern der Koeffizienten der Zone R, die zeitweilig moduliert oder demoduliert wird, um das Feststellbarkeitskriterium, den Minimalwert P_{stat} und den Schwellenwert T_c beziehungsweise T_d bezüglich Codieren beziehungsweise Decodieren zu verifizieren.

[0488] Dieser Direktzugriffsspeicher **503** enthält auch Register X_i , X_j zum Speichern von Koeffizienten der Regionen, die zeitweilig moduliert oder demoduliert werden, um so das Feststellbarkeitskriterium zu überprüfen, und ein Register w zum Speichern der zentrierten Pseudozufallssequenz, die zum Bestimmen der Partition des Satzes X erzeugt wurde.

[0489] Letztlich enthält der Direktzugriffsspeicher **503** ein Register zum Speichern einer Tabelle sichtbarer Amplituden von $\alpha_{\text{base}}(T)$, ein Register zum Speichern der Spektralkoeffizienten X, ein Register zum Berechnen der visuellen Amplitude $\alpha_v(N)$ an der Wahrnehmbarkeitsgrenze, ein Register zum Speichern der Werte der Konstanten a, b, c und der Varianz σ_x^2 , die erforderlich ist zum Bestimmen der Feststellamplitude α_d als Funktion der Länge P vom Wasserzeichenmarkierungssignal w und ein Register zum Speichern des berechneten Minimalwert P° .

[0490] Ein Übertragungsbus **501** leistet die Übertragung zwischen den unterschiedlichen Unterelementen vom Computer **50** oder verkettet diese. Die Darstellung des Bus **501** ist nicht beschränkend, und in bemerkenswerter Weise ist der Mikroprozessor **500** in der Lage, Befehle an ein beliebiges Unterelement direkt oder mittels eines anderen Unterelements aufzuzeigen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Einfügen eines Wasserzeichensignals W in ein digitales Bild I durch Modulieren von Koeffizienten X von verschiedenen Bereichen R, die das digitale Bild I darstellen, mit einem Schritt zum Bestimmen einer Partitionierung des digitalen Bildes in verschiedene Bereiche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Partitionierung in Bereiche durch eine adaptive Partitionierung als Funktion eines Kriteriums einer statistischen Erfassbarkeit eines in jedem Bereich R eingefügten Informationsbits ausgeführt wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Modulieren von Koeffizienten X eine Funktion eines Gewichtungskoeffizienten ist, dadurch gekennzeichnet, dass das Erfassbarkeitskriterium durch Verwendung eines Höchstwerts α_v des Gewichtungskoeffizienten berechnet wird, der eine Nichtwahrnehmbarkeit des Wasserzeichensignals für eine Modulation aller Koeffizienten sicherstellt, die das digitale Bild darstellen.

3. Verfahren zum Bestimmen einer Partitionierung gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Höchstwert (α_v) als Funktion der Länge P des Wasserzeichensignals w berechnet werden kann durch:

$$\alpha_v(P, S, w) = \frac{\alpha_{Basis}(S)}{P^{1/\beta} (E[|w|^\beta])^{1/\beta}},$$

wobei $\alpha_{Basis}(S)$ ein Basiswert, der von der verwendeten Transformation S und von dem für die Einfügung in Betracht gezogenen (Basis-)Teilband abhängig ist, von dem maximalen Gewichtungskoeffizienten ist, der eine Nichtwahrnehmbarkeit sicherstellt, wenn ein einziger Koeffizient des Teilbands moduliert wird, β größer ist als 2, und $E[|w|^\beta]$ der mathematische Erwartungswert der Funktion $|w|^\beta$ ist.

4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Erfassbarkeitskriterium berechnet wird, indem für jeden zu modulierenden Koeffizienten (X_i) ein Gewichtungskoeffizient gemäß einem Gesetz in der Form $\alpha_i = k_i \alpha_v$ verwendet wird, wobei k_i ein Modulationsfaktor ist, der von den Koeffizienten abhängig ist, die sich nahe an dem maßgeblichen Koeffizienten (X_i) in dem Bereich befinden, und α_v gleich dem Höchstwert des Gewichtungskoeffizienten ist.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass es einen Schritt (E307) zum Anwenden einer Verzerrung vor einer Berechnung des Erfassbarkeitskriteriums aufweist.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass es einen vorherigen Schritt (E105) zum Vergleichen der Größe P von jedem Bereich R der Partitionierung mit einer Mindestgröße P_{stat} aufweist, die der Mindestgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts für die Erfassung eines in dem Bereich eingefügten Wasserzeichensignals entspricht.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Bereich R der Partitionierung alle Koeffizienten des Bereichs moduliert werden, indem das Wasserzeichensignal W eingefügt wird, eine Erfassbarkeitsamplitude T aus dem Erfassbarkeitskriterium berechnet wird und das Erfassbarkeitskriterium durch Vergleich der Erfassbarkeitsamplitude T mit einem vorbestimmten Schwellenwert T_c validiert wird.

8. Verfahren gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Erfassbarkeitskriterium validiert wird, wenn eine minimale Modulationslänge $P_{min}(x)$, die zum Sicherstellen einer Erfassbarkeit des eingefügten Wasserzeichensignals W berechnet wird, kleiner oder gleich der Kardinalzahl des Bereichs R ist.

9. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es die folgenden Schritte aufweist:

- Erzeugung (E501) einer zentrierten Pseudozufallssequenz w, die großenteils gleich der Kardinalzahl N einer Menge von Koeffizienten ist, die für zumindest einen Teil eines Bildes I repräsentativ sind, wobei sie aus zentrierten Pseudozufallsuntersequenzen w^k gebildet wird;
- Modulation (E502) der Menge von Koeffizienten durch die zentrierte Pseudozufallssequenz w, um das gleiche Informationsbit in die Menge von Koeffizienten einzufügen; und
- Überprüfung (E506, E507, E514, E516) eines Kriteriums einer Erfassbarkeit des durch Modulation eingefügten Informationsbits über jeden Bereich.

10. Verfahren gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass es einen einzigen Schritt zum Anwenden einer Verzerrung (E503) auf die Menge von modulierten Koeffizienten vor dem Schritt der Überprüfung (E506,

E507, E514, E516) eines Erfassbarkeitskriteriums aufweist.

11. Verfahren gemäß Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Menge von Koeffizienten eine Menge von Spektralkoeffizienten X ist, die aus einer Spektraltransformation eines digitalen Bildes stammen, und dass der Schritt (E503) zum Anwenden einer Verzerrung die folgenden Unterschritte aufweist:

- inverse Spektraltransformation (E503a) der Menge von modulierten Koeffizienten, um ein mit Wasserzeichen versehenes Bild zu erhalten;
- Anwendung (E503b) einer Verzerrung auf das mit Wasserzeichen versehene Bild; und
- Spektraltransformation (E503c) des mit Wasserzeichen versehenen Bildes, um eine Menge von modulierten Koeffizienten nach einer Verzerrung zu erhalten.

12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die zentrierte Pseudozufallssequenz w aus Pseudozufallsuntersequenzen w^k identischer Größe gebildet wird.

13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Pseudozufallsuntersequenzen w^k eine Größe aufweisen, die größer oder gleich einer minimalen Anzahl von Koeffizienten ist, die einen Bereich der Partitionierung mit einer Größe bilden, die für eine Validierung des Erfassbarkeitskriteriums über den Bereich statistisch signifikant ist.

14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass im Erzeugungsschritt (E501) jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz w^k erstellt wird, indem die Hälfte der Pseudozufallsabtastrwerte der Untersequenz über einen Pseudozufallszahlengenerator erzeugt wird, und indem die erzeugten Pseudozufallsabtastrwerte symmetrisch gemacht werden.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass im Erzeugungsschritt (E501) jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz w^k erstellt wird, indem außerdem die Pseudozufallsabtastrwerte unter Verwendung eines geheimen Schlüssels permutiert werden.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass im Erzeugungsschritt (E501) jede zentrierte Pseudozufallsuntersequenz w^k erstellt wird, indem Pseudozufallsabtastrwerte über einen Pseudozufallszahlengenerator erzeugt werden, und indem die Summe der erzeugten Pseudozufallsabtastrwerte über jeden Abtastrwert umverteilt wird.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Partitionierung durch iterative Aufteilung (E103) des digitalen Bildes ausgeführt wird, und dass für jeden Bereich auf einer Ebene der Partitionierung eine Partitionierung einer direkt höheren Ebene des Bereichs validiert wird, wenn und nur wenn zumindest zwei Unterbereiche des Bereichs existieren, für die das Erfassbarkeitskriterium validiert wird.

18. Verfahren gemäß Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Bereich auf einer Ebene der Partitionierung der Wert einer Kapazität Q des digitalen Bildes inkrementiert wird (E112), wenn die Partitionierung einer direkt höheren Ebene nicht validiert wird, wobei die Kapazität Q gleich der Kardinalzahl der verschiedenen durch die Partitionierung erhaltenen Bereiche ist, in denen das Erfassbarkeitskriterium validiert wird.

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Bereich auf einer Ebene der Partitionierung der Wert einer Kapazität Q inkrementiert wird (E112), wenn die Partitionierung einer unmittelbar höheren Ebene nicht validiert wird, wobei der Wert der Kapazität Q mit einem festen Kapazitätswert Q_s verglichen wird (E115) und die Partitionierung für einen Bereich wiederholt wird, der unter all den anderen zu verarbeitenden Bereichen die höchste Erfassbarkeitsamplitude aufweist, wenn der Kapazitätswert kleiner ist als der feste Kapazitätswert.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 7 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Partitionierung durch iteratives Vereinigen des digitalen Bildes ausgeführt wird, und dass für jeden Bereich der Partitionierung, für den das Erfassbarkeitskriterium nicht validiert wird, dieser Bereich mit einem anderen Bereich der Partitionierung vereinigt wird.

21. Verfahren gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der andere Bereich der Partitionierung, wenn möglich, ein Bereich ist, für den das Erfassbarkeitskriterium nicht validiert wird.

22. Verfahren zum Decodieren eines Wasserzeichensignals in einem digitalen Bild, das durch Modulieren

von Koeffizienten X , die das Bild darstellen, in verschiedenen Bereichen, die eine Partitionierung des digitalen Bildes bilden, eingefügt ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine Partitionierung in verschiedene Bereiche R des zu decodierenden digitalen Bildes bestimmt wird, indem eine adaptive Partitionierung als Funktion eines Kriteriums einer statistischen Erfassbarkeit eines Informationsbits ausgeführt wird, das durch Demodulieren von Koeffizienten in jedem Bereich R erhalten wird.

23. Decodierverfahren gemäß Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass es einen vorherigen Schritt (E201) zum Vergleichen der Größe P von jedem Bereich der Partitionierung mit einer Mindestgröße P_{stat} aufweist, die der Mindestgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts für die Erfassung eines in dem Bereich eingefügten Wasserzeichensignals entspricht.

24. Decodierverfahren gemäß einem der Ansprüche 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Bereich R der Partitionierung eine Erfassungsamplitude T aus dem Erfassbarkeitskriterium berechnet wird (E203) und das Erfassbarkeitskriterium validiert wird (E203), indem die Erfassungsamplitude T mit einem vorbestimmten Schwellenwert T_d für eine Decodierung verglichen wird.

25. Decodierverfahren gemäß Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der vorbestimmten Schwellenwert T_d für eine Decodierung kleiner ist als der vorbestimmte Schwellenwert T_c , der während des Einfügevorgangs gemäß Anspruch 7 verwendet wird.

26. Vorrichtung zum Einfügen eines Wasserzeichensignals in ein digitales Bild durch Modulieren von Koeffizienten von Bereichen, die das digitale Bild darstellen, mit einer Einrichtung zum Partitionieren des digitalen Bildes in verschiedene Bereiche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Partitioniereinrichtung (**500, 502, 503**) angepasst ist zum Ausführen einer adaptiven Partitionierung als Funktion eines Kriteriums einer statistischen Erfassbarkeit eines in jedem Bereich eingefügten Informationsbits.

27. Vorrichtung gemäß Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass sie auch eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Anwenden einer Verzerrung vor einer Berechnung des Erfassbarkeitskriteriums umfasst.

28. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 26 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass sie auch eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Vergleichen der Größe von jedem Bereich der Partitionierung mit einer Mindestgröße umfasst, die der Mindestgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts für die Erfassung eines in dem Bereich eingefügten Wasserzeichensignals entspricht.

29. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 26 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Partitioniereinrichtung (**500, 502, 503**) eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Modulieren aller Koeffizienten von jedem Bereich durch Einfügen des Wasserzeichensignals, eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Berechnen einer Erfassungsamplitude aus dem Erfassbarkeitskriterium und eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Validieren des Erfassbarkeitskriteriums aufweist, die angepasst ist zum Vergleichen der Erfassungsamplitude mit einem vorbestimmten Schwellenwert.

30. Vorrichtung gemäß Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass sie umfasst:

- eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Erzeugen einer zentrierten Pseudozufallssequenz w , die größenmäßig gleich der Kardinalzahl N einer Menge von Koeffizienten ist, die für zumindest einen Teil eines Bildes I repräsentativ sind, wobei sie durch zentrierte Pseudozufallsuntersequenzen w^k gebildet wird;
- eine Einrichtung (**500, 502, 503**) für eine Modulation der Menge von Koeffizienten durch die zentrierte Pseudozufallssequenz w , um das gleiche Informationsbit in die Menge von Koeffizienten einzufügen; und
- eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Überprüfen eines Kriteriums einer Erfassbarkeit des durch Modulation eingefügten Informationsbits über jeden Bereich.

31. Vorrichtung gemäß Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Anwenden einer Verzerrung auf die Menge von modulierten Koeffizienten aufweist.

32. Vorrichtung gemäß Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass die Menge von Koeffizienten eine Menge von Spektralkoeffizienten X_i ist, die aus einer Spektraltransformation eines digitalen Bildes stammen, und dass die Einrichtung zum Anwenden einer Verzerrung aufweist:

- eine Einrichtung (**500, 502, 503**) für eine inverse Spektraltransformation der Menge von modulierten Koeffizienten, um ein mit Wasserzeichen versehenes Bild zu erhalten;
- eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zur Anwendung einer Verzerrung auf das mit Wasserzeichen versehene Bild; und

– eine Einrichtung (**500, 502, 503**) für eine Spektraltransformation des mit Wasserzeichen versehenen Bildes, um eine Menge von modulierten Koeffizienten nach einer Verzerrung zu erhalten.

33. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Partitioniereinrichtung (**500, 502, 503**) angepasst ist zum Ausführen einer Partitionierung durch iterative Aufteilung des digitalen Bildes, und dass die Validierungseinrichtung für jeden Bereich auf einer Ebene der Partitionierung angepasst ist, eine Partitionierung einer direkt höheren Ebene des Bereichs zu validieren, wenn und nur wenn zumindest zwei Unterbereiche des Bereichs existieren, für die das Erfassbarkeitskriterium validiert wird.

34. Vorrichtung gemäß Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass sie auch eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Inkrementieren des Werts einer Kapazität des digitalen Bildes aufweist, die für jeden Bereich auf einer Ebene der Partitionierung angepasst ist zum Inkrementieren des Kapazitätswerts, wenn die Partitionierung einer direkt höheren Ebene nicht validiert wird, wobei die Kapazität gleich der Kardinalzahl der verschiedenen durch die Partitionierung erhaltenen Bereiche ist, in denen das Erfassbarkeitskriterium validiert wird.

35. Vorrichtung gemäß Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass sie auch aufweist: eine Inkrementierungseinrichtung (**500, 502, 503**), die für jeden Bereich auf einer Ebene der Partitionierung angepasst ist zum Inkrementieren des Werts einer Kapazität, wenn die Partitionierung einer direkt höheren Ebene nicht validiert wird, eine Vergleichseinrichtung (**500, 502, 503**), die angepasst ist zum Vergleichen des Werts der Kapazität mit einem festen Kapazitätswert, und eine Wiederholungseinrichtung (**500, 502, 503**), die angepasst ist zum Wiederholen der Partitionierung für einen Bereich, der unter all den anderen zu verarbeitenden Bereichen die höchste Erfassbarkeitsamplitude aufweist, wenn der Kapazitätswert kleiner ist als der feste Kapazitätswert.

36. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die Partitioniereinrichtung (**500, 502, 503**) angepasst ist zum Ausführen einer Partitionierung durch iteratives Vereinigen des digitalen Bildes und für jeden Bereich der Partitionierung, für den das Erfassbarkeitskriterium nicht validiert wird, angepasst ist zum Vereinigen des Bereichs mit einem anderen Bereich der Partitionierung.

37. Vorrichtung gemäß Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass der andere Bereich der Partitionierung, wenn möglich, ein Bereich ist, für den das Erfassbarkeitskriterium nicht validiert wird.

38. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 26 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass sie in einem Mikroprozessor (**500**) eingebunden ist, wobei ein Festwertspeicher (**502**) angepasst ist zum Speichern eines Programms zum Bestimmen einer Partitionierung und ein Direktzugriffsspeicher (**503**) Register aufweist, die angepasst sind zum Speichern von Variablen, die während des Ablaufs des Programms modifiziert werden.

39. Vorrichtung zum Decodieren eines Wasserzeichensignals in einem digitalen Bild, das durch Modulieren von Koeffizienten, die das Bild darstellen, in verschiedenen Bereichen, die eine Partitionierung des digitalen Bildes bilden, eingefügt ist, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Partitionieren des zu decodierenden digitalen Bildes in verschiedene Bereiche aufweist, die angepasst ist zum Ausführen einer adaptiven Partitionierung als Funktion eines Kriteriums einer statistischen Erfassbarkeit eines Informationsbits, das durch Demodulieren der Koeffizienten in jedem Bereich erhalten wird.

40. Decodiervorrichtung gemäß Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass sie auch eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Vergleichen der Größe von jedem Bereich der Partitionierung mit einer Mindestgröße aufweist, die der Mindestgröße eines statistisch signifikanten Abtastwerts für die Erfassung eines in dem Bereich eingefügten Wasserzeichensignals entspricht.

41. Decodiervorrichtung gemäß einem der Ansprüche 39 oder 40, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Berechnen einer Erfassungsamplitude aus dem Erfassbarkeitskriterium und eine Einrichtung (**500, 502, 503**) zum Validieren des Erfassbarkeitskriteriums aufweist, die angepasst ist zum Vergleichen der Erfassungsamplitude mit einem für die Decodierung vorbestimmten Schwellenwert.

42. Decodiervorrichtung gemäß Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass der vorbestimmte Schwellenwert für die Decodierung kleiner ist als der vorbestimmte Schwellenwert, der während des Einfügevorgangs gemäß Anspruch 7 verwendet wird.

43. Decodiervorrichtung gemäß einem der Ansprüche 39 bis 42, dadurch gekennzeichnet, dass sie in einem Mikroprozessor (**500**) eingebunden ist, wobei ein Festwertspeicher (**502**) angepasst ist zum Speichern eines Programms zum Decodieren eines Wasserzeichensignals und ein Direktzugriffsspeicher (**503**) Register

aufweist, die angepasst sind zum Speichern von Variablen, die während des Ablaufs des Programms modifiziert werden.

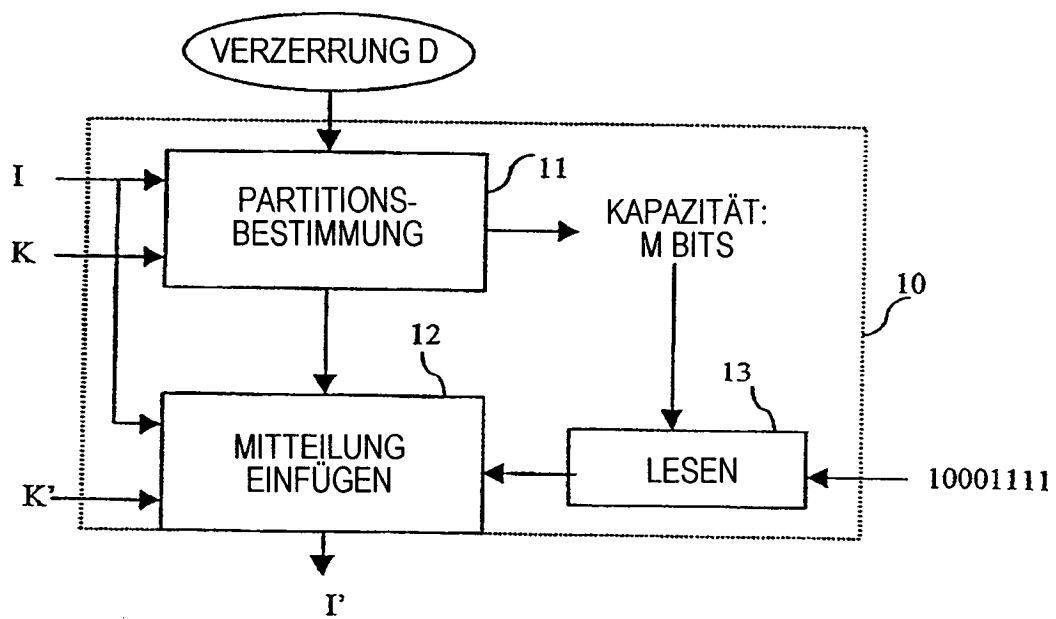
44. Computer, dadurch gekennzeichnet, dass dieser eine Einrichtung aufweist, die angepasst ist zum Implementieren eines Einfügevorgangs gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21.

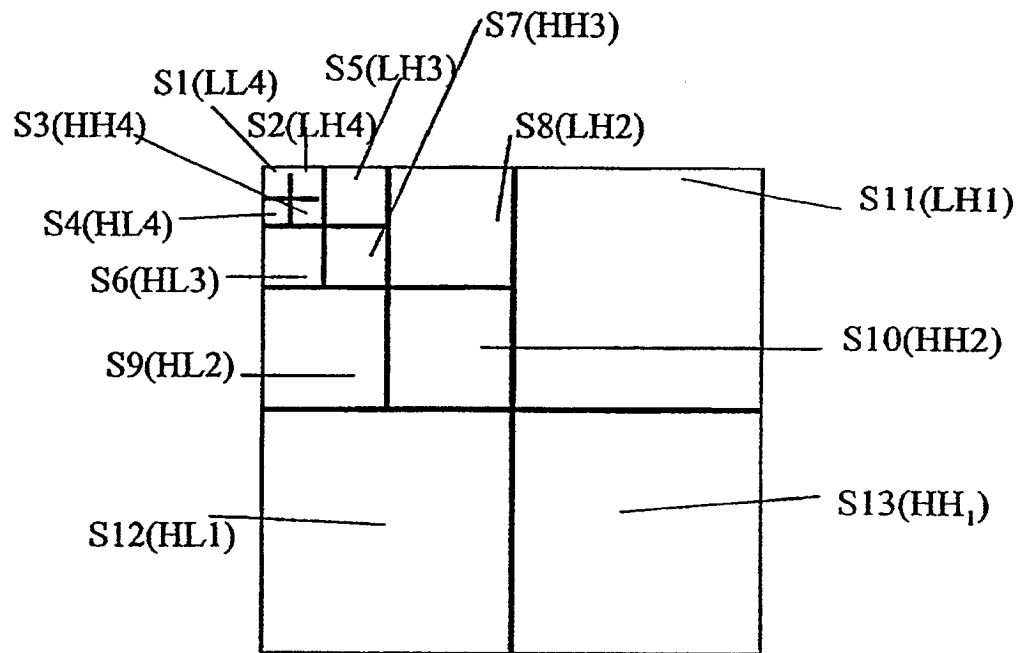
45. Computer, dadurch gekennzeichnet, dass dieser eine Einrichtung aufweist, die angepasst ist zum Implementieren des Decodierverfahrens gemäß einem der Ansprüche 22 bis 25.

46. Informationsspeichereinrichtung, die von einem Mikroprozessor lesbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Programm speichert, das ein Einfügevorgang gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21 implementiert.

47. Informationsspeichereinrichtung, die von einem Mikroprozessor lesbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Programm speichert, das ein Decodierverfahren gemäß einem der Ansprüche 22 bis 25 implementiert.

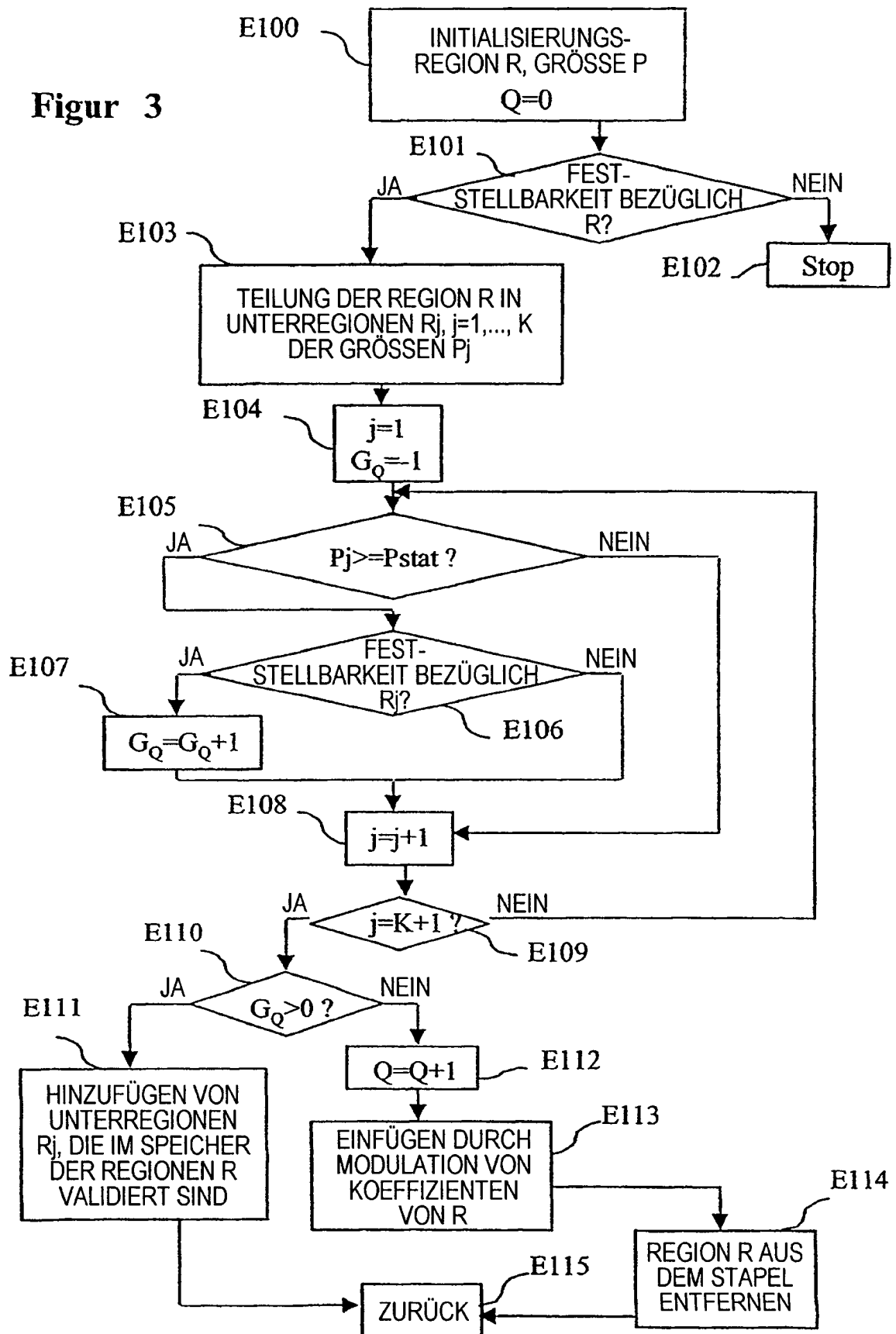
Es folgen 15 Blatt Zeichnungen

**Figur 1**

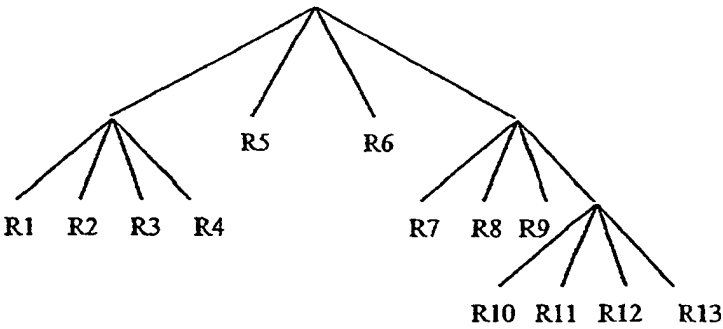


Figur 2

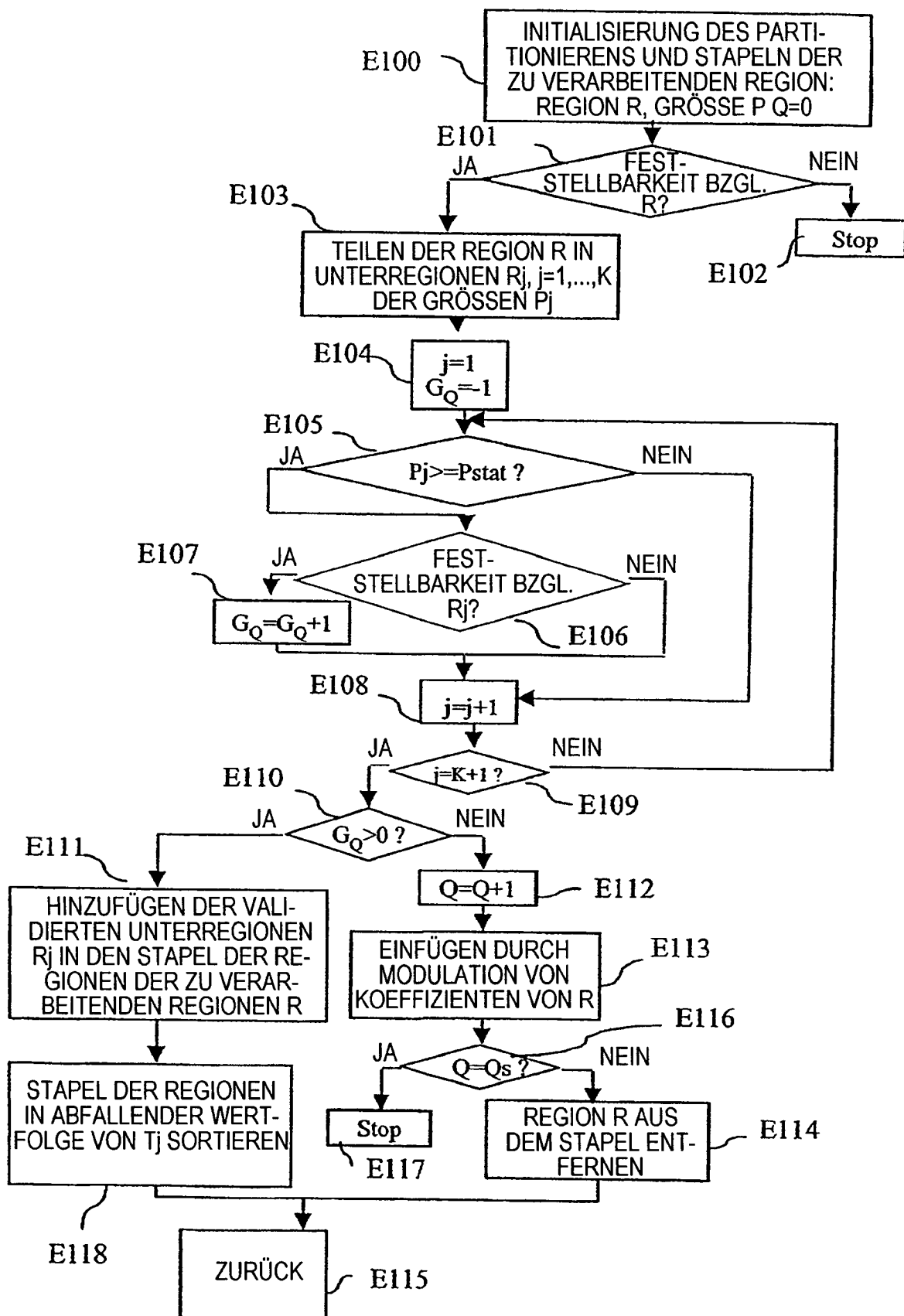
Figur 3

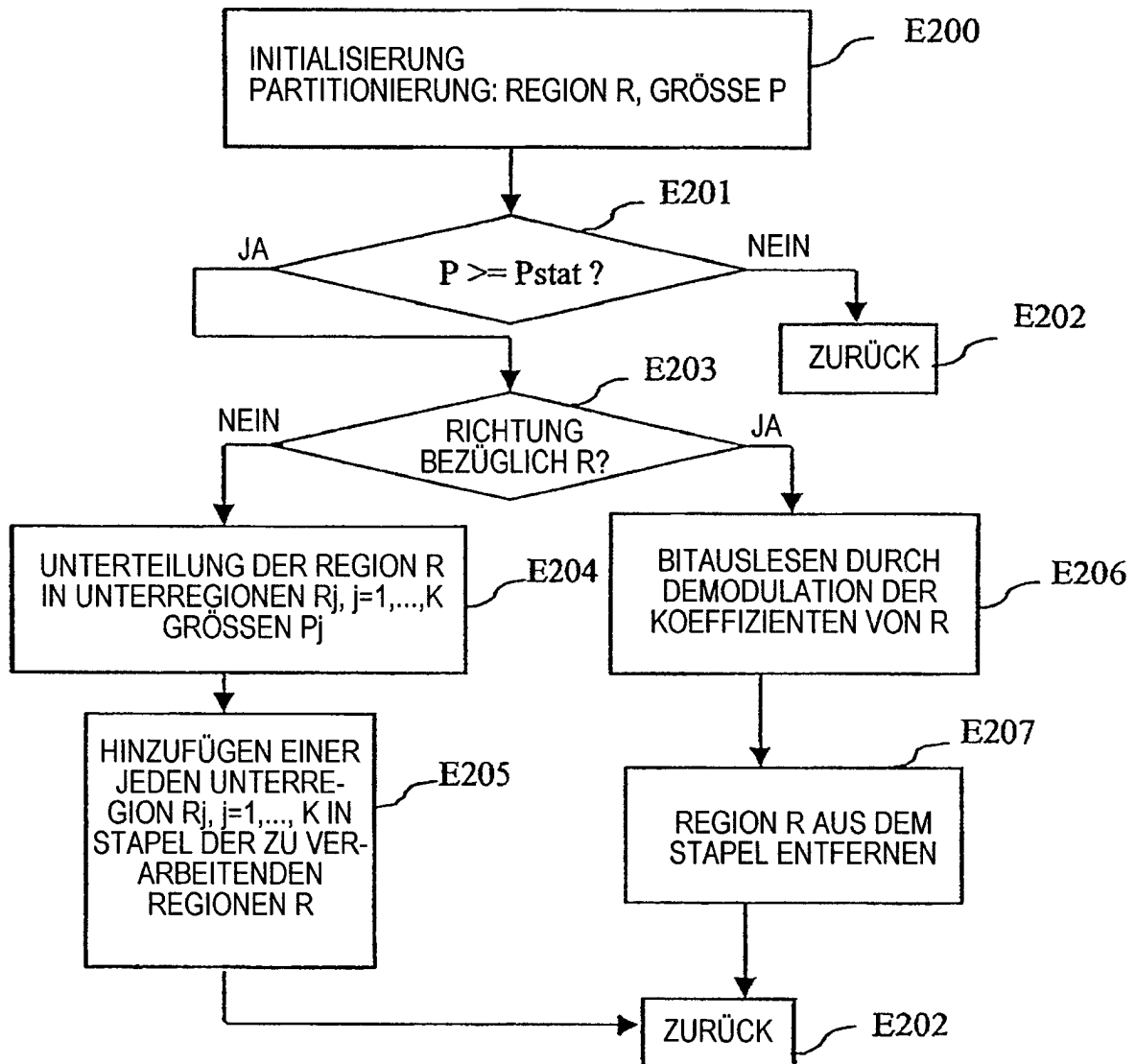


R1	R2	R5	
R3	R4		
R6		R7	R8
		R9	R10
			R11
			R12
			R13

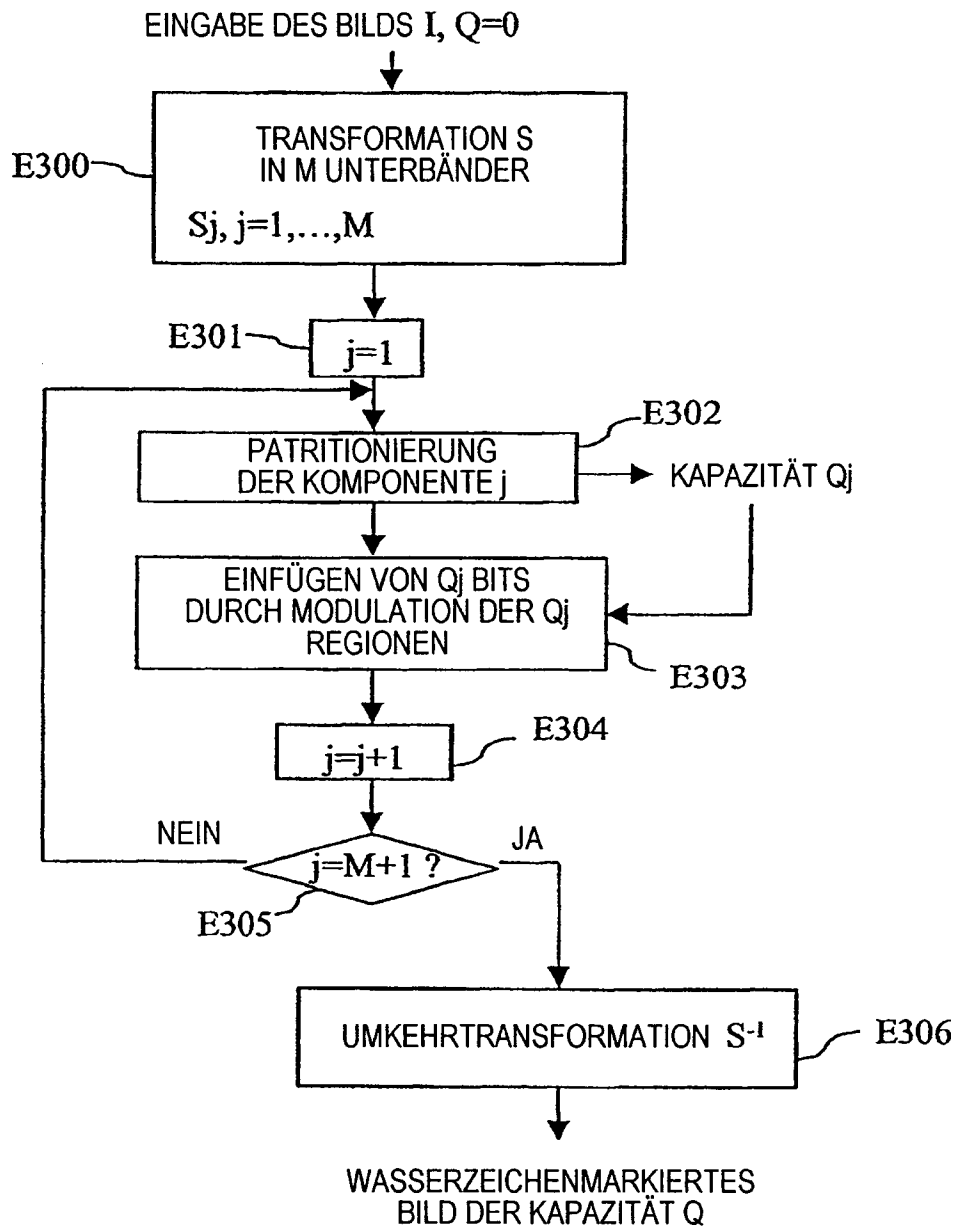


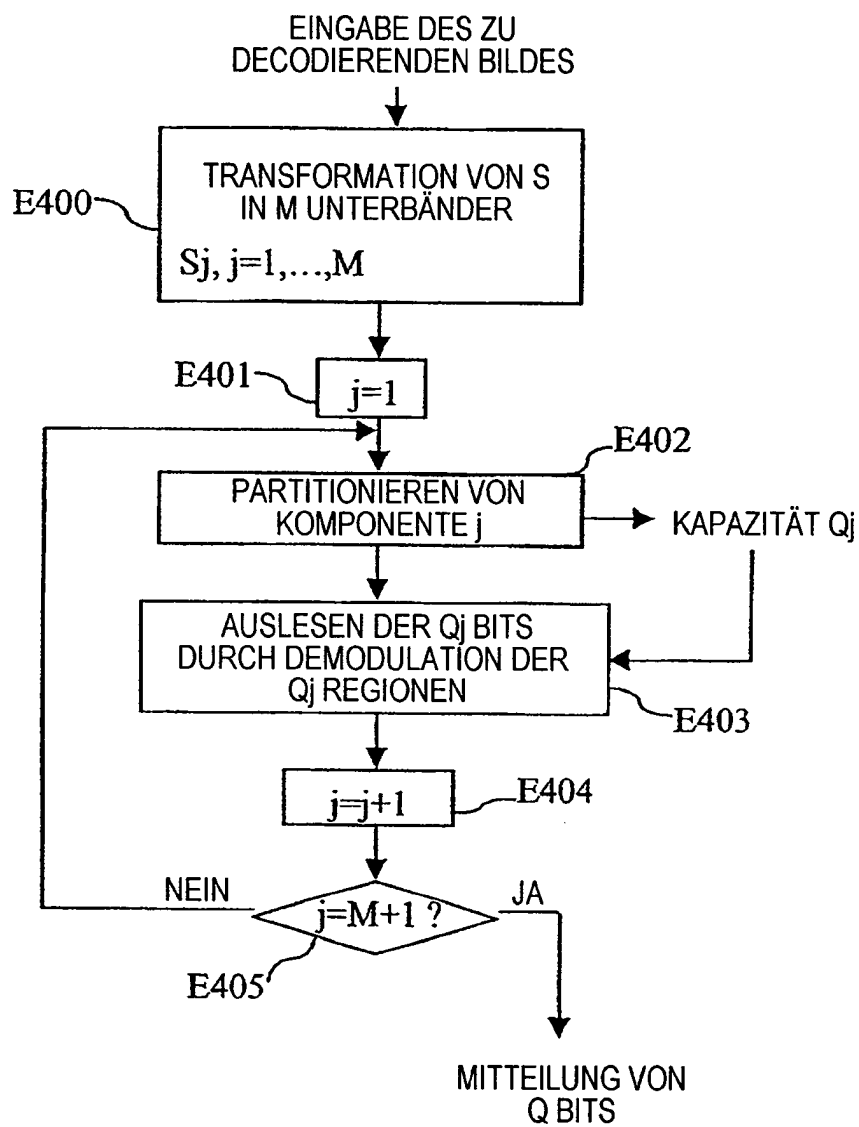
Figur 4

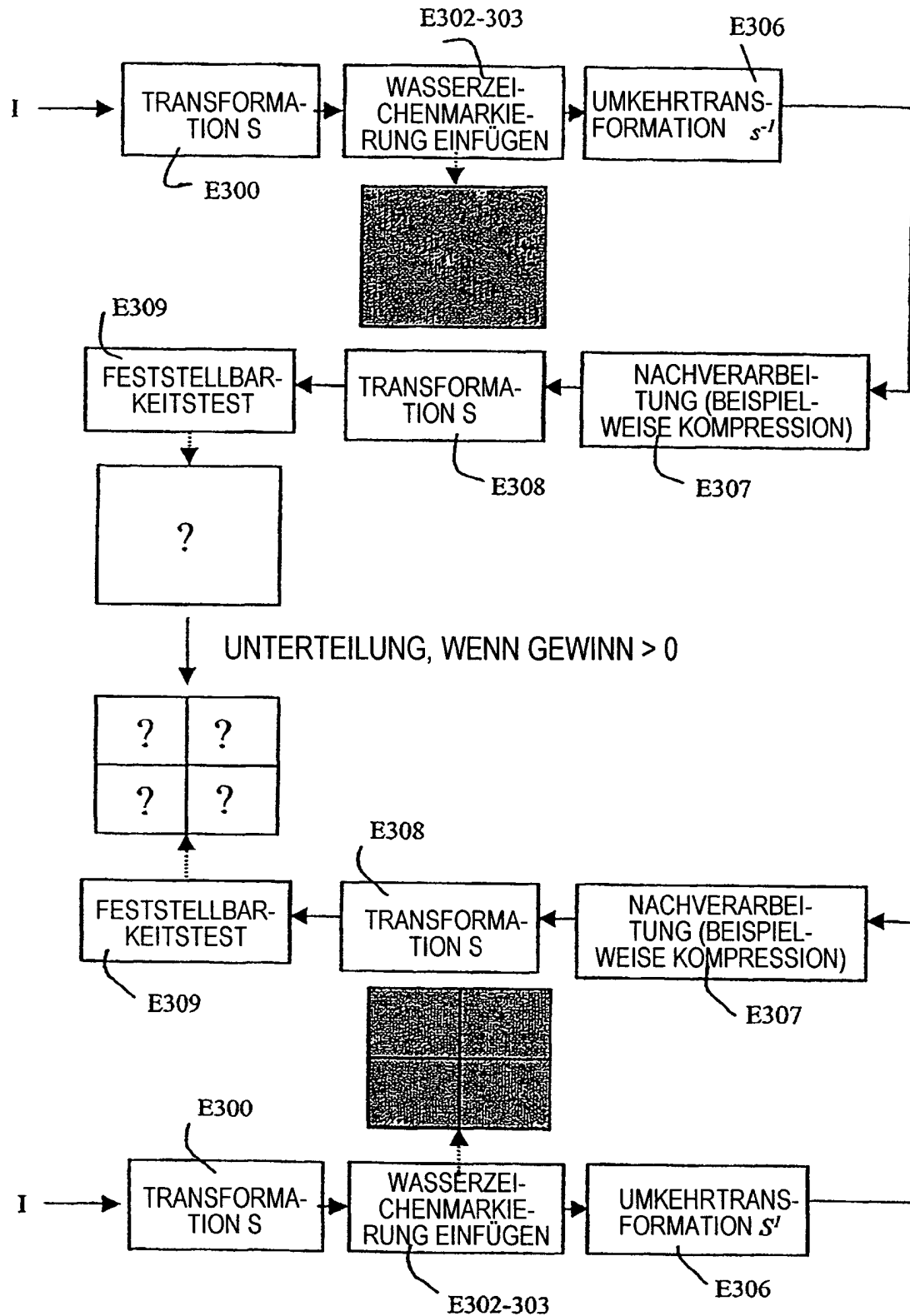
**Figur 5**

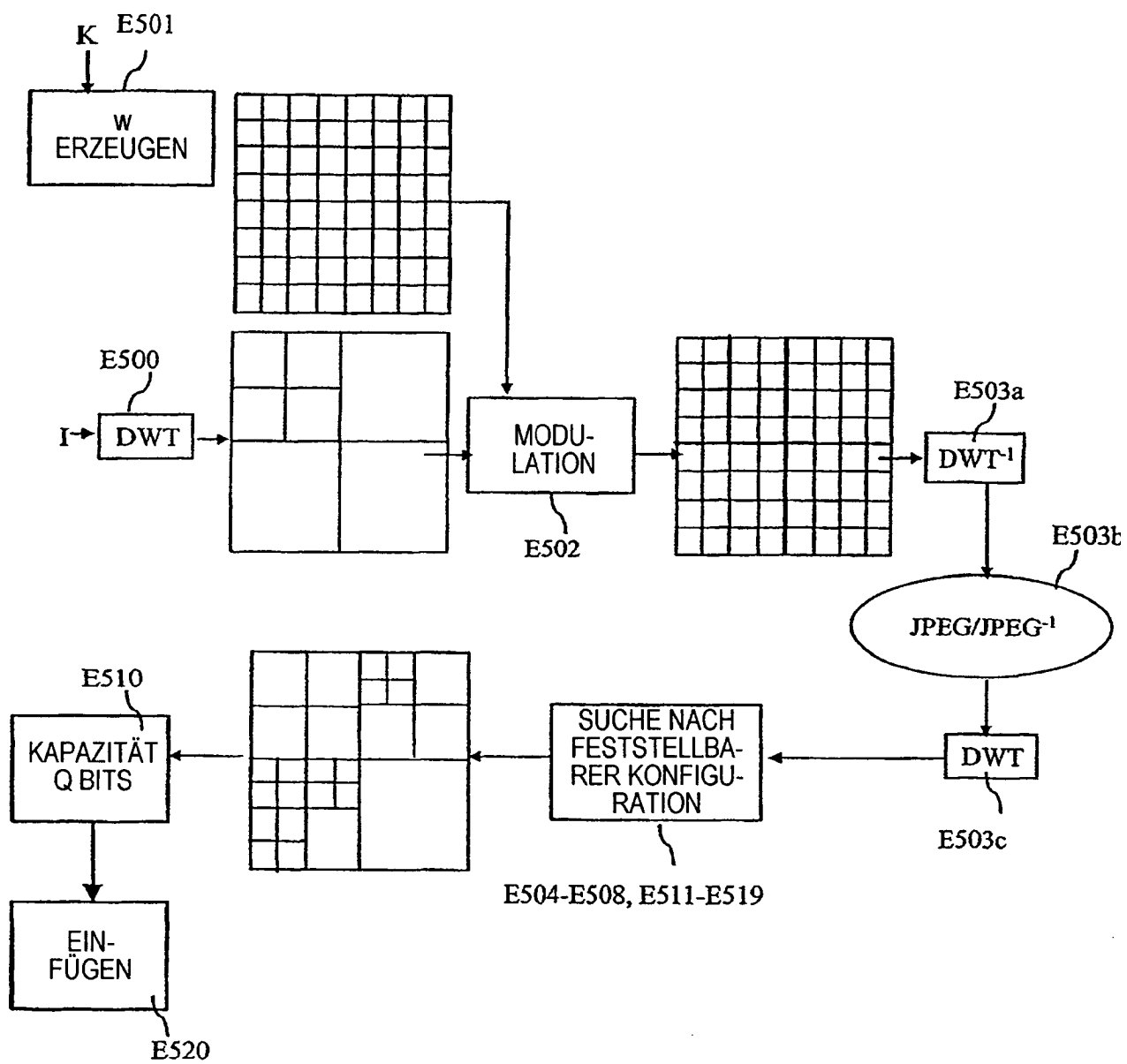


Figur 6

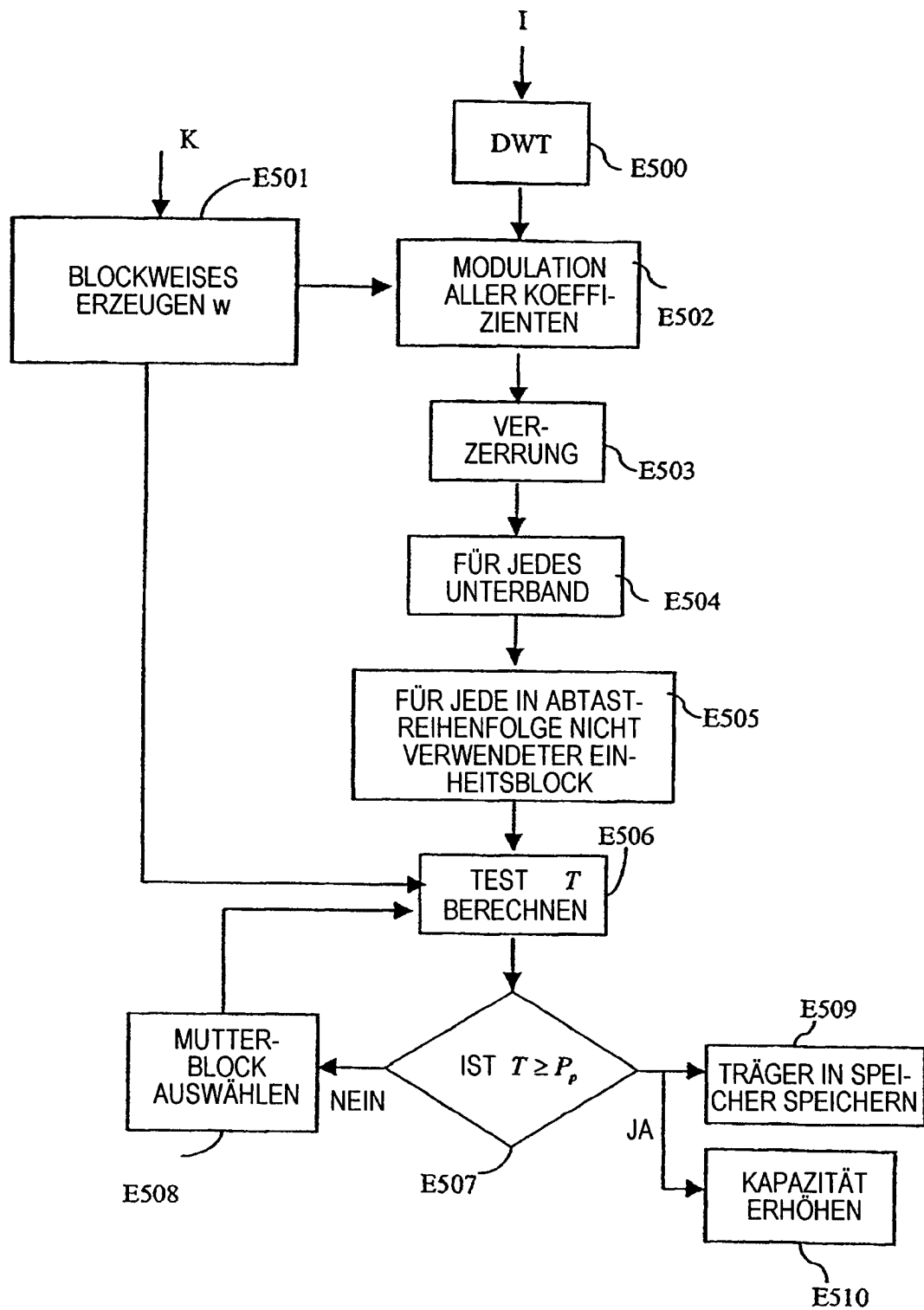
**Figur 7**

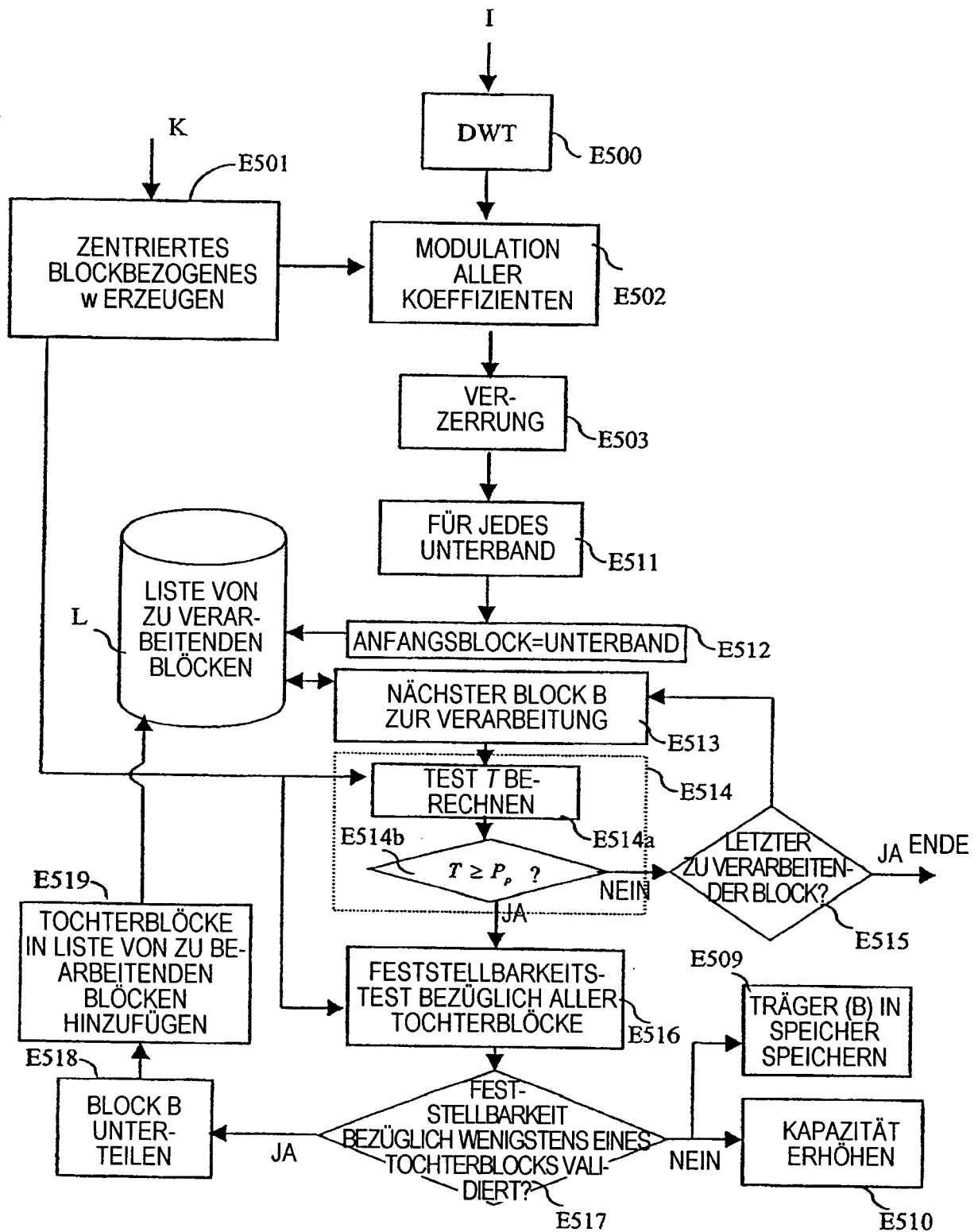
**Figur 8**

**Figur 9**

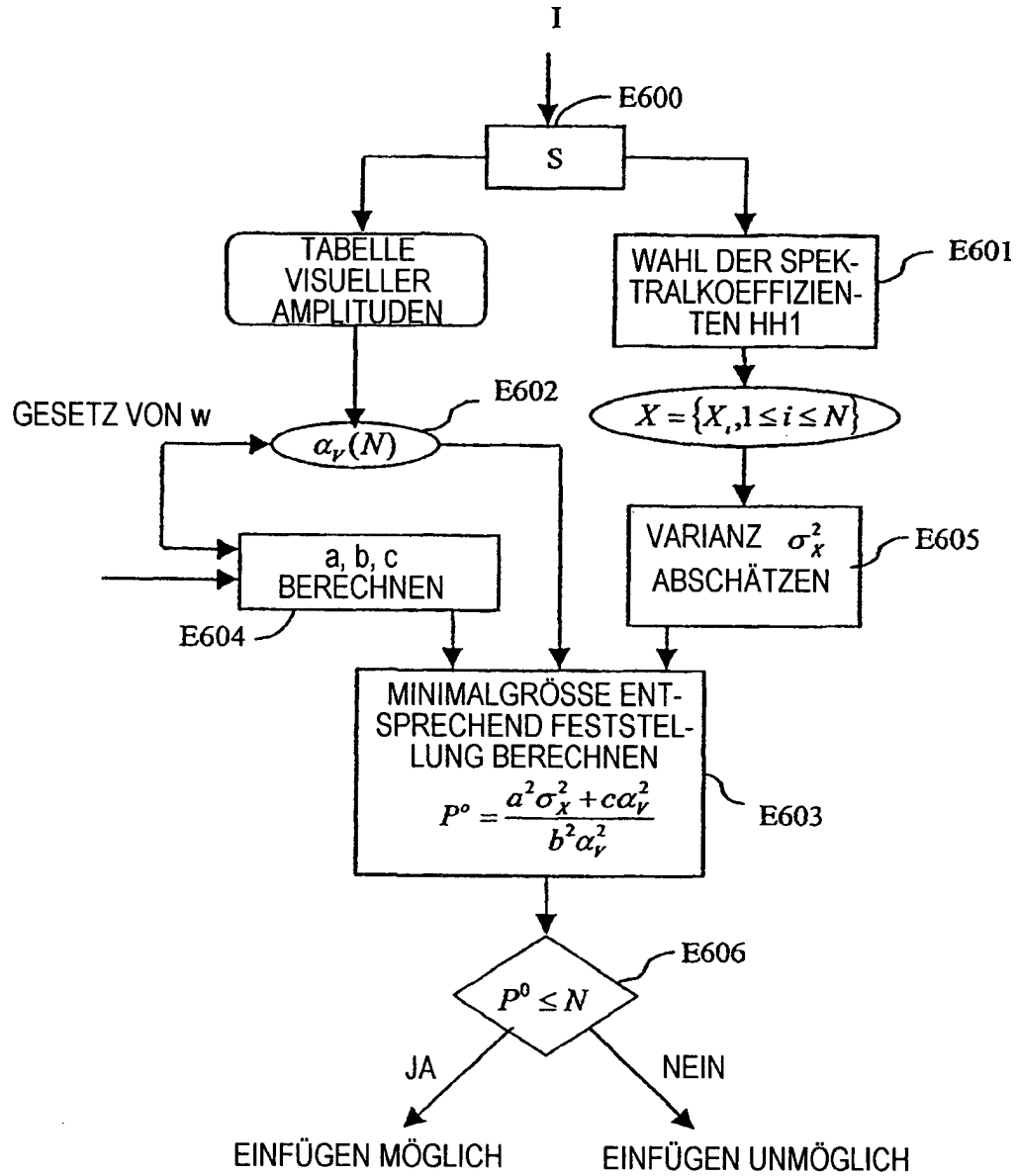


Figur 10

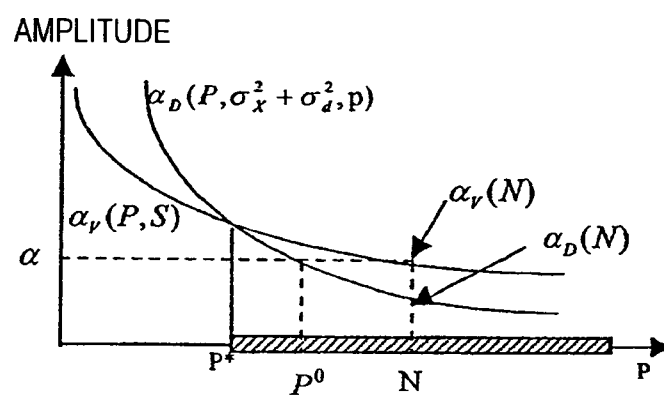
**Figur 11**



Figur 12



Figur 13



Figur 14

