



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 23 593 T2 2005.04.07**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 895 408 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 23 593.2**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 305 938.7**

(96) Europäischer Anmeldetag: **27.07.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.02.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **06.05.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **07.04.2005**

(51) Int Cl.⁷: **H04N 1/52**

(30) Unionspriorität:

903899 31.07.1997 US

(73) Patentinhaber:

**Hewlett-Packard Co. (n.d.Ges.d.Staates
Delaware), Palo Alto, Calif., US**

(74) Vertreter:

**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

**Shaked, Doron, Haifa, IL; Arad, Nur, Tel-Aviv, IL;
Fitzhugh, Andrew, Mountain View, US; Sobel,
Irwin, Menlo Park, US; McGuire, Michael D., Palo
Alto, US**

(54) Bezeichnung: **Fehlerdiffusion für Farbhalbtonrasterung mit Verringerung der lokalen Helligkeitsänderung**

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 eine digitale Bildverarbeitung und insbesondere auf das Verarbeiten von Farbhalbtonbildern.

[0002] Einfarbige Halbtonalgorithmen werden sorgfältig entwickelt, um sichtbare Artefakte zu reduzieren. Gegenwärtige Farbhalbtongebungsalgorithmen sind üblicherweise ein kartesisches Produkt aus drei einfarbigen Halbtonebenen, die den Farbkomponenten des Bildes entsprechen. Siehe z. B. A. Zakhor, S. Lin und F. Eskafi, „A New Class of B/W and Color Halftoning Algorithms“, International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1991.

[0003] Um einen guten Farbhalbton zu erzeugen, müssen farbige Punkte so plziert werden, dass die nachfolgenden Spezifikationen optimal erfüllt sind:

- (1) Das Plzierungsmuster ist visuell nicht erkennbar.
- (2) Die lokale Durchschnittsfarbe ist die gewünschte Farbe.
- (3) Die verwendeten Farben reduzieren die Erkennbarkeit des Musters.

[0004] Die ersten zwei Entwurfskriterien werden einfach von Einfarben-Algorithmen übertragen. Das dritte kann jedoch nicht durch eine einfache kartesische Produktverallgemeinerung der Einfarben-Halbtonegebung erfüllt werden.

[0005] Einer der dominantesten Faktoren beim Erzeugen von Halbtonrauschartefakten ist die Abweichung bei der Helligkeit der Punkte. Bei einfarbigen Halbtönen (d. h. schwarz und weiß), kann dieser Faktor nicht verringert werden. Bei der Farbhalbtongebung liegen jedoch Farben vor, die unter Verwendung unterschiedlicher Halbtonfarbsätze aufbereitet werden könnten (mit unterschiedlicher Helligkeitsabweichung). Um in der Lage zu sein, jene spezifischen Halbtonfarben bei dem tatsächlichen Aufbereiten der Farbebenen zu verwenden, müssten die Farbebenen korreliert werden. Somit adressiert eine einfache kartesische Produktverallgemeinerung der Einfarben-Halbtonegebung dieses Problem nicht.

[0006] Bei der U.S.-Patentanmeldung 08/641,304, eingereicht am 30. April 1996 mit dem Titel „Joint Design of Dither Matrices for a Set of Colorants“ und zugewiesen zu derselben Entität wie diese Anmeldung, beschreiben Jan Allebach und Qian Lin ein Kriterium zum Verwenden von Farben, die ausgewählt sind, um die Erkennbarkeit des Musters zu reduzieren. Bei dieser Implementierung wird die Verwendung bestimmter Halbtonfarben gesperrt, wenn einige Farben aufbereitet werden. Die Interpretation des dritten Kriteriums erfolgt jedoch nur teilweise und damit erreicht diese Anmeldung nur einen Teil der möglichen Halbtonrauschreduzierung.

[0007] Es ist somit ersichtlich, dass Farbhalbtonbilderzeugungstechniken den Halbtonbildausgabevorrichtungen Mustererkennbarkeitsgrenzen auferlegen und die Verwendung dieser Vorrichtungen bei vielen Anwendungen behindern.

[0008] Daher besteht ein ungelöster Bedarf nach einer Technik, die bessere Farbhalbtonbilder erzeugen kann, durch korrektes Integrieren des dritten Entwurfskriteriums (d. h. durch Verwenden von Farben, die die Erkennbarkeit des Musters reduzieren).

[0009] Die EP-A-0654940 offenbart einen Fehlerdiffusionsprozess, bei dem eine bestimmte Kombination von Farben, die Luminanzabweichungen minimiert, bestimmt werden kann. Zu diesem Zweck umfasst der offenbarte Prozess einen „verzerrten Farbwürfel“, der verwendet wird, um eine geeignete Farbkombination zu identifizieren, die Luminanzabweichungen minimiert. Der Scheitelpunkt am nächsten zu dem Pixel, das umgewandelt werden soll, wird bestimmt und verwendet. Die Offenbarung dieses Dokuments entspricht allgemein dem Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche.

[0010] Ein Verfahren und eine Vorrichtung werden beschrieben zum Reduzieren der Erkennbarkeit des Musters von Farbhalbtonbildern durch einen Prozess der Farbdiffusion. Der Farbdiffusionsprozess transformiert Fehlerdiffusions-Halbtonegebungsalgorithmen so, dass sie Farbhalbtöne erzeugen, die dem dritten Farbwurfskriterium entsprechen, das in dem Minimalhelligkeitsabweichungskriterium (MBVC; MBVC = Minimum Brightness Variation Criterion) verkörpert ist.

[0011] Fehlerdiffusionsalgorithmen, wie z. B. der berühmte Floyd-Steinberg-Fehlerdiffusionsalgorithmus, sind Hochleistungs-Halbtonegebungsverfahren, bei denen Quantisierungsfehler zu „zukünftigen“ Pixeln diffundiert werden. Ursprünglich vorgesehen für Grauskalabilder, werden sie herkömmlicherweise auf Farbbilder ausge-

dehnt, durch Fehlerdiffundierung von jeder der drei Farbebenen auf unabhängige Weise (trennbare Fehlerdiffusion). Das Hinzufügen einer Entwurfsregel, die auf bestimmten Charakteristika der menschlichen Farbwahrnehmung basiert, zu dem Fehlerdiffusionsparadigma, führt zu einem Farbhalbtongebungsalgorithmus, der eine Ausgabe einer bedeutend höheren Qualität aufweist, im Vergleich zur trennbaren Fehlerdiffusion.

[0012] Diese Vorteile werden erreicht, durch Hinzufügen des MBVC zu den Entwurfsregeln der Farbfehlerdiffusions-Halbtongebungsverfahren. Halbtonwerte werden gezwungen, Scheitelpunkte eines Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupels (MBVQ; MBVQ = Minimum Brightness Variation Quadruple) zu sein, das jedem Pixel des Farbbildes zugeordnet ist, das verarbeitet wird. Die vorgelegten Algorithmen erfordern keinen zusätzlichen Speicher und verursachen eine tragbare Erhöhung der Laufzeit.

[0013] Die Erfindung ist am besten verständlich durch die nachfolgende detaillierte Beschreibung in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche strukturelle Elemente bezeichnen und in denen:

[0014] **Fig. 1** ein Blockdiagramm ist, das eine Vorrichtung darstellt, zum Verarbeiten und Anzeigen eines Farbhalbton-Digitalbildes unter Verwendung eines Fehlerdiffusions-Farbhalbtongebungschemas, das eine Lokalhelligkeitsabweichungsreduzierung gemäß der vorliegenden Erfindung praktiziert;

[0015] **Fig. 2** ein Blockdiagramm ist, das eine Farbdiffusions-Halbtongebungsvorrichtung darstellt, die geeignet ist zum Anwenden einer Farbhalbton-Lokalhelligkeitsabweichungsreduzierung gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0016] **Fig. 3** eine Zeichnung ist, die den RGB-Würfel darstellt, mit Hauptdiagonalen, die sich bei 50% Grau treffen;

[0017] **Fig. 4A bis 4F** Zeichnungen sind, die die Partitionierung des RGB-Würfels in sechs Klassen darstellen, wobei jede derselben die konvexe Hülle des Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupels ist, verwendet zum Aufbereiten von Farben in dieser Klasse, wie gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung praktiziert wird;

[0018] **Fig. 5** ein Entscheidungsbaum zum Bestimmen der Pyramide ist, zu der ein beliebiges RGB-Triplett gehört, für eine Farbfehlerdiffusion mit einer Lokalhelligkeitsabweichungsreduzierung, wie gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung praktiziert wird; und

[0019] **Fig. 6** ein Entscheidungsbaum zum Bestimmen des Raummosaiks relativ zu den Scheitelpunkten der CMGB-Pyramide für eine Farbfehlerdiffusion mit Lokalhelligkeitsabweichungsreduzierung ist, wie gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung praktiziert wird.

[0020] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf **Fig. 1–6** erörtert. Fachleute auf dem Gebiet werden ohne weiteres erkennen, dass die hierin gegebene detaillierte Beschreibung im Hinblick auf die Figuren zu erklärenden Zwecken gegeben ist, da sich die Erfindung über diese einschränkenden Ausführungsbeispiele hinaus erstreckt.

[0021] **Fig. 1** ist ein Blockdiagramm, das eine Vorrichtung zum Verarbeiten und Anzeigen eines Farbhalbton-Digitalbildes unter Verwendung eines Fehlerdiffusions-Farbhalbtongebungschemas darstellt, das eine Lokalhelligkeitsabweichungsreduzierung gemäß der vorliegenden Erfindung praktiziert. In **Fig. 1** wird ein digitales Farbbild **100** durch den Halbtongebungsprozessor **110** verarbeitet, um ein Farbhalbtonbild **120** zu ergeben, das dann durch die Ausgabevorrichtung **130** erzeugt wird. Der Halbtonprozessor **110** kann unter Verwendung einer bekannten Fehlerdiffusions-Farbhalbtongebungstechnik arbeiten. Wie jedoch nachfolgend detaillierter erörtert wird, wurde die Fehlerdiffusionstechnik des Halbtonprozessors **110** modifiziert, um die Lokalhelligkeitsabweichung zu reduzieren, wenn an einem digitalen Farbbild **100** gearbeitet wird, um ein Halbtonbild **120** zu erzeugen.

[0022] Zum Beispiel ist der berühmte Floyd-Steinberg-Fehlerdiffusionsalgorithmus ein Hochleistungs-Halbtongebungsverfahren, bei dem Quantisierungsfehler auf „zukünftige“ Pixel diffundiert werden. Ursprünglich für Grauskalabilder vorgesehen, wird es üblicherweise auf Farbbilder ausgeweitet, durch Fehlerdiffundieren von jeder der drei Farbebenen auf unabhängige Weise (trennbare Fehlerdiffusion). Wie nachfolgend beschrieben wird, führt das Hinzufügen einer Entwurfsregel, die auf bestimmten Charakteristika der menschlichen Farbwahrnehmung für das Fehlerdiffusionsparadigma basiert, zu einem Farbhalbtongebungsalgorithmus mit einer

Ausgabe einer bedeutend höheren Qualität im Vergleich zur trennbaren Fehlerdiffusion. Diese Vorteile werden erreicht, durch Einschränken der Helligkeitsabweichung des Ausgangshalbtönen. Der vorgelegte Algorithmus erfordert keinen zusätzlichen Speicher und bringt eine tragbare Erhöhung der Laufzeit mit sich.

[0023] Fig. 2 ist ein Blockdiagramm, das eine Fehlerdiffusions-Halbtongebungsvorrichtung darstellt, die zum Anwenden einer Farbhalbton-Lokalhelligkeitsabweichungsreduzierung geeignet ist, wie bei Prozessor **110**. Der RGB-Eingangstrom **200** liefert RGB-Werte **205** zu dem Summierer **210** und einem Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupel-Computer (MBVQ-Computer) **220**. Ein Fehlerausdruck **250** aus dem Fehlerpuffer **230** wird ebenfalls zu dem Summierer **210** geliefert, der wiederum den RGB-Wert **205** und den Fehlerwert **250** kombiniert (d. h. summiert), was zu dem RGB + Fehler-Wert **240** führt.

[0024] Wie nachfolgend detaillierter beschrieben wird, berechnet der MBVQ-Computer **220** das MBVQ **225** für den RGB-Wert **205** aus dem RGB-Strom **200**. Basierend auf dem kombinierten RGB- und Fehler-Wert **240** wählt die Scheitelpunktauswahleinrichtung **260** den nächsten Scheitelpunkt **270** des MBVQ **225** aus.

[0025] Die Farbe, die dem Scheitelpunkt **270** zugeordnet ist, wird in dem Halbtonbild platziert, um an der Position gedruckt **280** zu werden, die dem RGB-Wert **240** zugeordnet ist. Ein revidierter Fehlerausdruck wird durch einen Summierer **290** berechnet und in dem Fehlerpuffer **230** gespeichert.

[0026] Alternativ, anstelle unter Verwendung von RGB-Werten **205** aus dem RGB-Eingangstrom **200** zu arbeiten, kann der MBVQ-Computer **220** unter Verwendung des kombinierten RGB- und Fehler-Werts **240** aus dem Summierer **210** arbeiten. Bei diesem alternativen Ausführungsbeispiel berechnet der MBVQ-Computer **220** das Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupel für die kombinierte Ausgabe des RGB- und Fehler-Werts **240** aus dem Summierer **210**.

[0027] Das zu Grunde liegende Prinzip der Operation des Minimalhelligkeitsabweichungs-Halbtonprozessors **130** wird am besten beispielhaft erklärt. Es wird z. B. ein durchgehendes Stück aus 50% Grau genommen. Es sei angenommen, dass ein Punktmuster (z. B. Schachbrett) ausgewählt wird. Dieses Muster könnte gleichermaßen mit Schwarz-und-Weiß-Punkten als auch mit Blau-und-Gelb-, Rot-und-Cyan- oder Grün-und-Magenta-Punkten aufbereitet werden. Fig. 3 ist eine Zeichnung, die den RGB-Würfel und seine Hauptdiagonalen darstellt, die sich bei 50% Grau **310** treffen. Wie in Fig. 3 ersichtlich ist, ist die Farbe des Halbtonstücks theoretisch in allen Fällen die gleiche. Die Rauschwirkung ist jedoch unterschiedlich. Grün und Magenta, die fast gleich hell sind, weisen eine niedrige Rauschwirkung auf, zum Beispiel im Vergleich zu Schwarz und Weiß.

[0028] Das Beispiel demonstriert die Vorteile des Hinzufügens des vorgeschlagenen MBVC zu den Entwurfsregeln der Farbhalbtongebungsverfahren. Dieses zusätzliche Kriterium wird analysiert, durch Untersuchen eines einfachen Falls zum Aufbereiten von Stücken einer beliebigen durchgehenden Farbe.

[0029] Natürliche Bilder sind viel komplexer als Stücke durchgehender Farbe, und Halbtongebungsalgorithmen sind sorgfältig entworfen, um eine Vielzahl von Texturen und Mustern optimal aufzubereiten. Jeder Halbtongebungsalgorithmus, z. B. Zittern oder Fehlerdiffusion, verwendet unterschiedliche Techniken, die dieselben Entwurfskriterien unterschiedlich interpretieren. Die Einlagerung des zusätzlichen Farbkriteriums in jedes der Basishalbtonverfahren erfordert einen getrennten Lösungsansatz. Hierin wird das Modifizieren des Fehlerdiffusionsverfahrens vorgeschlagen, um weniger rauschbehaftete Halbtöne basierend auf dem MBVC zu erzeugen.

[0030] Ein Nachverarbeiter, der dieses zusätzliche Farbkriterium auf willkürliche Farbtonbilder auferlegt, die unter Verwendung von einem der verschiedenen Halbtongebungsverfahren erzeugt werden, verdient eine spezielle Behandlung und ist in dem europäischen Patent mit der Anmeldungsnummer 0895410 beschrieben, eingereicht an demselben Datum hiermit. Darin wird eine Tintenverschiebung vorgelegt, ein Nachverarbeitungsverfahren, das willkürliche Halbtöne in Halbtöne umwandelt, die dem neuen Farbentwurfskriterium entsprechen.

Durchgehende Farbstücke

[0031] In diese Abschnitt wird das Farbentwurfskriterium in dem speziellen Fall des Aufbereitens eines großen Stücks einer willkürlichen durchgehenden Farbe analysiert. Es ist bekannt, dass bei einer Farbe in dem RGB-Würfel dieselbe unter Verwendung von acht Grundfarben aufbereitet werden kann, die an den Scheitelpunkten des Würfels angeordnet sind. Die Frage ist dann, wie existierende Fehlerdiffusionsalgorithmen die Farbpunkte auswählen, die verwendet werden sollen? Die Antwort ist, dass bei einer Fehlerdiffusion praktisch

alle acht Grundfarben beim Aufbereiten eines durchgehenden Farbstücks verwendet werden, wobei ihr Erscheinungsverhältnis eine abnehmende Funktion ihrer Distanz von der gewünschten Farbe ist.

[0032] Tatsächlich kann eine Farbe unter Verwendung von nicht mehr als vier Farben aufbereitet werden, wobei unterschiedliche Farben unterschiedliche Quadrupel erfordern. Ferner ist das Quadrupel, das einer spezifischen Farbe entspricht, im allgemeinen nicht eindeutig (in einem linearen Farbraum kann ein Quadrupel, dessen konvexe Hülle die gewünschte Farbe enthält, verwendet werden). Der Problempunkt, der in diesem Abschnitt betont wird, ist: Angenommen, es soll ein Stück einer durchgehenden Farbe gedruckt werden, welche Farben sollten verwendet werden? Es wird darauf hingewiesen, dass bei allen bisherigen Arbeiten, die über die Halbtongebung durchgeführt wurden, der Problempunkt war, in welchem Muster diese Punkte plaziert werden sollten, und weniger häufig, wie viele Punkte jeder Farbe verwendet werden sollten.

[0033] Es wird das Grundprinzip der Halbtongebung betrachtet: Wenn Hochfrequenzmuster vorgelegt werden, wendet das menschliche visuelle System ein Tiefpassfilter an und nimmt nur ihren Mittelwert wahr. Gegenwärtige Tintenstrahldrucklösungen (bis zu ungefähr 600 dpi) können weiter durch das menschliche visuelle System aufgelöst werden, wodurch noch höhere Frequenzen erreicht werden müssen. Relevant für das vorliegende Problem ist die Tatsache, dass das menschliche visuelle System empfindlicher gegenüber Änderungen der Helligkeit als Änderungen der Chrominanz ist, die bei viel niedrigeren Frequenzen mitteln. Somit kommen wir zu dem Minimalhelligkeitsabweichungskriterium zur Halbtongebung von durchgehenden Farbstücken:

Das Minimalhelligkeitsabweichungskriterium (MBVC)

[0034] Um das Halbtonrauschen zu reduzieren, wird aus allen Farbsätzen, durch die die gewünschte Farbe aufbereitet werden kann, derjenige ausgewählt, dessen Helligkeitsabweichung minimal ist.

[0035] Es gibt verschiedene standardmäßige „visuell einheitliche“ Farbräume und Standardfarbdifferenzmaße. Siehe z. B. G. Wyszecki und W. S. Stiles, *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, zweite Auflage, John Wiley and Sons, 1982. Das vorgeschlagene Minimalhelligkeitsabweichungskriterium ist nicht notwendigerweise äquivalent zu dem Auswählen des Satzes, dessen Maximaldifferenzmaß minimal ist. Das Grundprinzip hinter der Präferenz einer offensichtlichen eindimensionalen Projektion (auf der Luminanzachse) eines allgemeineren Maßes ist, dass die visuell einheitlichen Farbräume und die resultierenden Farbdifferenzmaße für große durchgehende Farbstücke entwickelt wurden. Hier werden andererseits Farben in einem Hochfrequenzmuster betrachtet. Chrominanzunterschiede zwischen beteiligten Farben spielen eine Rolle, aufgrund des stärkeren Tiefpasses in dem Chrominanzkanal sind sie jedoch viel weniger wichtig, als in den Standardfarbdifferenzformeln verkörpert ist. Das Minimalhelligkeitsabweichungskriterium bei der Auflösung eines typischen CMYK-Druckers ist trotzdem annehmbar. Das MBVC kann auf ein möglicherweise genaueres Farbkriterium ausgedehnt werden, das minimal wahrnehmbare Rauschkriterium.

[0036] Um die Helligkeitsabweichung von Farbsätzen zu berücksichtigen, müssen nur die acht Grundfarben auf einer Helligkeitsskala geordnet werden. In der Farbtheorie (siehe z. B. L. D. Grandis, *Theory and Use of Color*, übersetzt von J. Gilbert, Prentice Hall, Inc. und Harry N. Abrams, Inc., 1984) haben die Primärfarben (Cyan, Magenta und Gelb) und die Sekundärfarben (Rot, Grün und Blau) eine spezifische Helligkeitsreihenfolge: Blau ist die dunkelste Sekundärfarbe und Grün ist die hellste. Ihre komplementäre Farbe Gelb (ergänzt Blau) ist die hellste Primärfarbe und Magenta (ergänzt Grün) ist die dunkelste. Somit liegen zwei Farbreihenfolgen vor: Die „dunklen“ Farben, geordnet als {KBRG}, und die „hellen“, geordnet als {MCYW}. Die Frage ist dann, was ist die kombinierte Helligkeitsreihenfolge.

[0037] Es wäre nur natürlich, anzunehmen, dass die hellen Farben immer heller sind als die dunklen. Tatsächlich ist dies unter Verwendung der meisten Tinten der Fall. Wenn jedoch andere Tinten (oder andere Medien für diesen Gegenstand) verwendet werden, kann sich dies ändern. Zum Beispiel weisen Farben, die auf einigen CRT-Bildschirmen aufbereitet werden, eine unterschiedliche Helligkeitsreihenfolge auf: {KBRMGCYW}, bei der Magenta dunkler ist als Grün. Es ist ohne weiteres ersichtlich, dass diese Permutation tatsächlich die einzig mögliche bei aktuellen Dreifarbensystemen ist. Die aktuelle Technik erzeugt Rot als eine Zweitintentrennenüberlagerung aus Magenta und Gelb. Auf ähnliche Weise ist Blau eine Überlagerung aus Magenta und Cyan. Somit kann Magenta nicht dunkler sein als Rot oder Blau. Grün kann nicht heller sein als Cyan oder Gelb, das es als eine Überlagerung aus Cyan und Gelb erzeugt wird. Dieses Argument ist gültig in einem subtraktiven Dreifarbensystem (z. B. Drucken). Ein ähnliches Argument kann für additive Farbsysteme formuliert werden (z. B. CRTs).

[0038] Ein interessantes erwartetes Nebenprodukt der Verwendung des Minimalhelligkeitsabweichungskrite-

riums ist, dass Farbstücke gesättigter aufbereitet werden. Dieses Phänomen ist weitgehend abhängig von dem Medium (z. B. Papiertyp) und der eingelagerten Farbkorrektur. Eine verbesserte Farbsättigung wird erwartet, weil, wenn das Minimalhelligkeitsabweichungskriterium angewendet wird, neutrale Punkte (K oder W) verworfen werden und gesättigte Punkte (R, G, B, C, M oder Y) statt dessen verwendet werden. Somit erscheinen aufbereitete Stücke entfernt von der neutralen (Grau-)Achse (der K-W-Achse in **Fig. 3**).

[0039] Es wird nun wiederum das einfache Beispiel von großen Stücken aus durchgehender Farbe betrachtet. Bei der trennbaren Fehlerdiffusion werden praktisch alle acht Grundfarben verwendet, die ein durchgehendes Farbstück aufbereiten, wobei ihr Erscheinungsverhältnis eine abnehmende Funktion ihrer Distanz von der gewünschten Farbe ist. Die Verwendung von acht Farben jedoch (wo vier ausreichen würden) steht in extremen Gegensatz zu dem MBVC (da für fast jede durchgehende Farbe, Schwarz und Weiß, deren Helligkeitsabweichung maximal ist, verwendet wird). Somit wird als ein erster Schritt der RGB-Würfel in sechs Pyramiden partitioniert, wobei jede derselben die Eigenschaft aufweist, dass die Helligkeitsabweichung zwischen den vier Scheitelpunkten minimal ist. Ein detailliertes Ergebnis dieser Partition erscheint in der Beschreibung der mitanhängigen europäischen Patentanmeldung 0895410.

[0040] **Fig. 4A bis F** zeigen die Partition des RGB-Würfels in sechs Volumen, wobei jedes derselben die konvexe Hülle des Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupels ist, das verwendet wird, um Farben in dieser Pyramide aufzubereiten. Es wird darauf hingewiesen, dass alle Pyramiden dasselbe Volumen aufweisen, aber nicht kongruent sind. Namen werden für eine zukünftige Bezugnahme hinzugefügt.

Der Farbdiffusionsalgorithmus

[0041] Im nachfolgenden bezeichnet $RGB(i, j)$ den RGB-Wert bei Pixel (i, j) und $e(i, j)$ den akkumulierten Fehler bei Pixel (i, j) . Der Farbdiffusionsalgorithmus kann wie folgt formalisiert werden:

[0042] Für jedes Pixel (i, j) in dem Bild ist folgendes auszuführen:

1. Bestimmen des Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupels (MBVQ) von $RGB(i, j)$ (d. h. **220** in **Fig. 2**).
2. Finden des Scheitelpunkts $v \in MBVQ$, der am nächsten an $RGB(i, j) + e(i, j)$ liegt (d. h. **260** in **Fig. 2**).
3. Berechnen des Quantisierungsfehlers $RGB(i, j) + e(i, j) - v$ (d. h. **260** in **Fig. 2**).
4. Verteilen des Fehlers auf „zukünftige“ Pixel (d. h. **230** in **Fig. 2**).

[0043] Daher erfolgt ein primärer Unterschied zwischen trennbarer Fehlerdiffusion und Farbdiffusion bei Schritt **(2)**, wo der Algorithmus nach dem nächsten Scheitelpunkt außerhalb des MBVQ sucht, im Gegensatz zu dem nächsten Scheitelpunkt aus den acht Scheitelpunkten des Würfels. Somit kann ein trennbarer Algorithmus vom Fehlerdiffusionstyp (unabhängig von der exakten Art und Weise, auf die Fehler berechnet oder verteilt werden) zu einem Algorithmus vom Farbdiffusionstyp modifiziert werden. Bei einem Ausführungsbeispiel wird eine Vierpunktdiffusion verwendet, bei der 95% des Fehlers mit anfänglich randomisierten festen Nachschlagtabellen verteilt werden.

[0044] Im Hinblick auf den Prozess des MBVQ-Computers **220**, wobei ein willkürliches RGB-Triplett gegeben ist, erfordert das Bestimmen der Pyramide, zu dem es gehört, zwischen zwei und drei Vergleiche durchschnittlich. Der nachfolgende Code kann verwendet werden, um die geeignete MBVQ-Pyramide für die Drei-Byte-RGB-Triplets zu bestimmen, kann aber ohne weiteres für andere Pixelwertdarstellungen angepasst werden.

Reihenpyramidenposition (Byte R, Byte G, Byte B)

```

{
  if ( (R+G) &256)
    if ( (G+B) &256)
      if ( (R+G+B) &512)          return CMYW;
      else                       return MYGC;
    else                         return RGMY;
  else
    if ( ! ( (G+B) &256) )
      if ( ! ( (R+G+B) &256) )   return KRGB;
      else                       return RGBM;
    else                         return CMGB;
}

```

[0045] Fig. 5 entspricht dem obigen Code und ist ein Entscheidungsbaum zum Bestimmen der Pyramide, zu der ein willkürliches RGB-Triplett gehört. Somit wird bei dem Entscheidungsbaum **500** die Summe der R- und G-Werte des Triplets **505** bei Entscheidung **510** getestet, um zu sehen, ob die Summe größer ist als der Wert 255. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **510** „ja“ ist, dann wird die Summe der G- und B-Werte des Triplets bei der Entscheidung **530** getestet, um zu sehen, ob diese Summe größer ist als der Wert 255. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **530** „nein“ ist, dann gehört das RGB-Triplett zu der RGMY-Pyramide. Andererseits, wenn die Antwort auf die Entscheidung **530** „ja“ ist, dann wird die Summe der R-, G- und B-Werte des Triplets bei der Entscheidung **550** getestet, um zu sehen, ob diese Summe größer ist als 511. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **550** „ja“ ist, dann gehört das RGB-Triplett zu der CMYW-Pyramide. Andererseits, wenn die Antwort auf die Entscheidung **550** „nein“ ist, dann gehört das RGB-Triplett zu der MYGC-Pyramide.

[0046] Zurück zu der Entscheidung **510**, wenn die Antwort auf die Entscheidung **510** „nein“ ist, dann wird die Summe der G- und B-Werte des Triplets bei der Entscheidung **520** getestet, um zu sehen, ob diese Summe größer ist als der Wert 255. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **520** „ja“ ist, dann gehört das RGB-Triplett zu der CMGB-Pyramide. Andererseits, wenn die Antwort auf die Entscheidung **520** „nein“ ist, dann wird die Summe der R-, G- und B-Werte des Triplets bei der Entscheidung **540** getestet, um zu sehen, ob diese Summe größer ist als 255. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **540** „ja“ ist, dann gehört das RGB-Triplett zu der RGBM-Pyramide. Andererseits, wenn die Antwort auf die Entscheidung **540** „nein“ ist, dann gehört das RGB-Triplett zu der KRGB-Pyramide.

[0047] Der Problempunkt des Findens des nächsten Scheitelpunkts $v \in MBVQ$ (der Prozess der Scheitelpunktauswahleinrichtung **260**) verdient besondere Aufmerksamkeit. Wenn eine trennbare Fehlerdiffusion angewendet wird, wird jede Komponente des RGB-Werts mit dem Schwellenwert **127** verglichen, und ein Mosaik von R^3 im Hinblick auf die acht Scheitelpunkte wird gebildet. Es wird darauf hingewiesen, dass die Norm, die verwendet wird, um das Mosaik zu bilden, nicht ausdrücklich erwähnt wird, aber dass eine nähere Betrachtung ergibt, dass dies nicht notwendig ist: Aufgrund der Symmetrieeigenschaften zwischen den acht Scheitelpunkten verursacht eine Norm L^p ($1 \leq p \leq \infty$) dasselbe Mosaik von R^3 im Hinblick auf die acht Scheitelpunkte des Würfels. Dasselbe gilt nicht, wenn ein Mosaik relativ zu einem ordnungsgemäßen Teilsatz der acht Scheitelpunkte angefordert wird: Obwohl, wenn es auf den RGB-Würfel selbst beschränkt ist, ein gegebenes Quadrupel dasselbe Mosaik verursacht, unabhängig von der verwendeten L^p -Norm, wobei sich diese Mosaik trotzdem außerhalb des Würfels unterscheiden können. Am leichtesten zu berechnen ist das L^2 -Mosaik, bei dem die Entscheidungsebenen innerhalb des Würfels tatsächlich gültig sind für alle R^3 . Somit umfasst für jede der sechs Pyramiden das Bestimmen des nächsten Scheitelpunkts an einem gegebenen Punkt das Durchqueren eines Entscheidungsbaums der Tiefe **3**. Eine Entscheidung von einem der Bäume ist in Fig. 6 gezeigt.

[0048] Fig. 6 ist ein Entscheidungsbaum zum Bestimmen des Mosaiks des Raums relativ zu den Scheitelpunkten der CMGB-Pyramide des Farbdiffusionsalgorithmus, wie gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung praktiziert wird. Alle Vergleiche bei Baum **600** sowie bei den Entscheidungsbäumen für die anderen fünf Pyramiden sind vom Typ $x > 127$ oder $x > y$ oder $x - y + z > 127$, und der dritte Typ erscheint nur einmal in jedem Baum.

[0049] Es wird darauf hingewiesen, dass der Entscheidungsbaum **600** in dem Prozess der Scheitelpunktauswahlrichtung **260** nur angerufen wird, wenn die entsprechende MBVQ-Pyramide **225** CMGB ist. Wenn die MBVQ-Pyramide **225** eine der anderen fünf Pyramiden ist, wird ein ähnlicher, aber unterschiedlicher Entscheidungsbaum angerufen. Der RGB-Wert **605** ist somit der Wert 240 (d. h. die elementweise (trennbare) Akkumulation des eingegebenen RGB **205** und des akkumulierten Fehlers **250**).

[0050] Somit wird der B-Wert des Triplets **605** bei Entscheidung **610** getestet, um zu sehen, ob er größer ist als der Wert 127. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **610** „ja“ ist, dann wird der R-Wert des Triplets bei Entscheidung **615** getestet, um zu sehen, ob er größer ist als der Wert 127. Wenn die Antwort auf Entscheidung **615** „ja“ ist, dann wird der G-Wert des Triplets bei Entscheidung **625** getestet, um zu sehen, ob er größer ist als der R-Wert. Wenn die Antwort auf Entscheidung **625** „ja“ ist, dann ist der C-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide, der am nächsten zu dem RGB-Wert **605** ist (Block **645**). Andererseits, wenn die Antwort auf die Entscheidung **625** „nein“ ist, dann ist der M-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide, der am nächsten zu dem RGB-Wert **605** ist (Block **650**).

[0051] Zurück zur Entscheidung **615**, wenn die Antwort auf Entscheidung **615** „nein“ ist, dann wird der G-Wert des Triplets bei Entscheidung **630** getestet, um zu sehen, ob er größer ist als der Wert 127. Wenn die Antwort auf Entscheidung **630** „ja“ ist, dann ist der C-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide am nächsten zu dem RGB-Wert **605** (Block **655**). Andererseits, wenn die Antwort auf Entscheidung **630** „nein“ ist, dann ist der B-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide am nächsten zu dem RGB-Wert **605** (Block **660**).

[0052] Auf ähnliche Weise, wenn die Antwort auf Entscheidung **610** „nein“ ist, dann wird der R-Wert des Triplets bei Entscheidung **620** getestet, um zu sehen, ob er größer ist als der Wert 127. Wenn die Antwort auf Entscheidung **615** „ja“ ist, dann wird die Summe der R- und B-Werte minus den G-Wert des Triplets **605** bei Entscheidung **635** getestet, um zu sehen, ob sie größer ist als der Wert 127. Wenn die Antwort auf Entscheidung **635** „ja“ ist, dann ist der M-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide, der am nächsten zu dem RGB-Wert **605** ist (Block **665**). Andererseits, wenn die Antwort auf die Entscheidung **635** „nein“ ist, dann ist der G-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide, der am nächsten zu dem RGB-Wert **605** ist (Block **670**).

[0053] Zurück zur Entscheidung **620**, wenn die Antwort auf die Entscheidung **620** „nein“ ist, dann wird der G-Wert des Triplets bei Entscheidung **640** getestet, um zu sehen, ob er größer ist als der B-Wert. Wenn die Antwort auf die Entscheidung **640** „ja“ ist, dann ist der G-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide, der am nächsten zu dem RGB-Wert **605** ist (Block **675**). Andererseits, wenn die Antwort auf Entscheidung **640** „nein“ ist, dann ist der B-Scheitelpunkt der Scheitelpunkt der CMGB-Pyramide, der am nächsten zu dem RGB-Wert **605** ist (Block **680**).

[0054] Entscheidungsbäume für die anderen MBVQ-Pyramiden können auf dieselbe Weise hergestellt werden wie die der CMGB-Pyramide aus **Fig. 6**. In jedem Fall, angenommen, das Minimalhelligkeitsquadrupel wurde berechnet (2–3 Vergleiche), kostet das Bestimmen des nächsten Scheitelpunkts drei Vergleiche und zumindest zwei Additionen, im Gegensatz zu drei Vergleichen für eine trennbare Fehlerdiffusion. Es wird wiederum betont, dass das resultierende Mosaik das ist, das durch die Norm L^2 induziert wird. Es fällt mit einem L^p -Mosaik nur innerhalb des Würfels zusammen. Unter Verwendung eines bestimmten L^p -Mosaiks ist es nicht notwendigerweise vorteilhaft, da bekannt ist, dass der RGB-Raum nicht wahrnehmbar einheitlich in dem Sinn ist, dass visuelle Metriken und die L^p -Metrik dieselben Mosaik verursachen.

[0055] Das Bestimmen des optimalen Mosaiks bezieht sich auf Stabilitätsbetrachtungen des Farbdiffusionsalgorithmus und auf zusätzliche Faktoren, einschließlich menschlicher Farbwahrnehmung. Unsere Erfahrung zeigt jedoch die Stabilität des vorgeschlagenen Algorithmus an.

Beispiele

[0056] Es wurden durchgehende Farbstücke betrachtet, die bei 75 dpi unter Verwendung unterschiedlicher Halbtongebungsverfahren aufbereitet wurden. (A) Trennbare Fehlerdiffusion. (B) Der Tintenverschiebungsnachverarbeitungsprozess, angewendet an trennbare Fehlerdiffusion. (C) Verwendete Farbdiffusionshalbtongebung. Es wird auf die Verringerung des Halbtonrauschens von A zu C hingewiesen.

[0057] Bei einem Fall wurde z. B. die Anwendung von verschiedenen Halbtongebungsalgorithmen an ein durchgehendes Stück mit dem Wert RGB – (127, 179, 78) untersucht und bei 75 dpi gedruckt. Dieser trennbare

Fehlerdiffusionsalgorithmus hat das Stück mit acht Farben aufbereitet, und dunkle Tropfen benachbart zu hellen waren häufig vorhanden. Nach der Anwendung des Tintenverschiebungsnachverarbeitungsverfahrens wurde das Aufbereiten weiterhin mit allen acht Farben durchgeführt, wobei Schwarz jedoch nur einmal erschien (aufgrund von Grenzwirkungen) und Weiß sehr selten war. Eine Gesamtreduzierung des Halbtonrauschens war ersichtlich. Als die Farbdiffusion an das Originalstück angewendet wurde, wurden nur vier Farben (B, C, G, M) verwendet, und das Halbtonrauschen wurde praktisch auf ein Minimum gebracht.

[0058] Es wurde ferner die Anwendung derselben Halbtongebungsverfahren an natürliche Hochauflösungsbilder untersucht. Zum Beispiel wurde ein Hochauflösungsbild untersucht, das unter Verwendung unterschiedlicher Halbtongebungsverfahren aufbereitet wurde: (A) Trennbare Fehlerdiffusion. (B) Das Tintenverschiebungsnachverarbeitungsverfahren mit einer Halbtionschärfungsverbesserung, angewendet an trennbare Fehlerdiffusion. (C) Farbdiffusionshalbtongebung. Es wurde wiederum eine Verringerung des Halbtonrauschens von A zu C erkannt.

[0059] Ferner wurde die Laufzeit bei der Anwendung der verschiedenen Verfahren untersucht. Die Ergebnisse sind wie folgt:

[0060] Unter der Annahme, dass eine trennbare Fehlerdiffusion eine Zeiteinheit benötigt, hat sich herausgestellt, dass das Hinzufügen des Tintenverschiebungsnachverarbeitungsprozesses ohne Halbtionschärfung ungefähr 1,4 Einheiten benötigt, das Durchführen der Tintenverschiebung mit Halbtionschärfung ungefähr 1,85 Einheiten benötigt und das Durchführen des Farbdiffusionshalbtionalgorithmus ungefähr 1,55 Einheiten benötigt. Es wird darauf hingewiesen, dass die Halbtionschärfung nicht benötigt wird, wenn eine Farbdiffusion aufgerufen wird, da kein Nachverarbeitungsprozess mit einem Unschärfe-Nebeneffekt verwendet wird. Vergleichbare Laufzeiten hängen allgemein von Bild-Größe und -Geometrie, von Bildinhalt und von hardware-spezifischen Problempunkten ab, wie z. B. wie viele Scanlinien gleichzeitig zwischengespeichert werden können. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass Erhöhungen der Speicheranforderungen vernachlässigbar sind.

[0061] Oben erwähnte Beispiele wurden durch eine HP-UX-Demo erzeugt, die von uns geschrieben wurde. Die Demo wurde in C++ geschrieben, wurde unter Verwendung des C++-Kompilers CC auf HP-UX-Maschinen kompiliert und erfordert zusätzlich dazu nur grundlegende Bildformatumwandlungsfiler.

[0062] Obwohl die obige Erörterung innerhalb des Kontexts des Minimalhelligkeitsabweichungskriteriums erstellt wurde, sollte darauf hingewiesen werden, dass das MBVC ein Spezialfall eines minimal wahrnehmbaren Rauschkriteriums ist. Somit sind das vorliegende Verfahren und die Vorrichtung ohne weiteres auf ein MPNC (MPNC = Minimum Perceivable Noise Criterion) ausdehnbar, um Abweichungen zu ermöglichen, die z. B. lokale Rauminformationen umfassen (aus benachbarten Pixeln).

[0063] Die vielen Merkmale und Vorteile der Erfindung sind aus der schriftlichen Beschreibung offensichtlich, und es ist somit beabsichtigt, dass die beiliegenden Ansprüche alle solchen Merkmale und Vorteile der Erfindung abdecken. Ferner, da zahlreiche Modifikationen und Änderungen für Fachleute auf dem Gebiet offensichtlich sein werden, ist es nicht erwünscht, die Erfindung auf den exakten Aufbau und die Operation einzuschränken, die dargestellt und beschrieben ist. Somit können alle geeigneten Modifikationen und Entsprechungen derart umgeordnet werden, dass sie in den Schutzbereich der Erfindung fallen.

Patentansprüche

1. Eine Halbtongebungsvorrichtung (**110**) für ein Farbbild (**100**), wobei die Vorrichtung folgende Merkmale aufweist:

eine Einrichtung zum lokalen Einschränken eines Satzes von Halbtonfarben, wobei der Satz eingeschränkt ist, um eine punkterkennbare Metrik zu minimieren; und

eine Einrichtung zum lokalen Anwenden des eingeschränkten Satzes von Halbtonfarben auf das Farbbild, um ein Halbtonbild (**120**) zu ergeben, **dadurch gekennzeichnet**, daß

eine Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupel-Pyramide (MBVQ-Pyramide) dem Triplet eines Eingangspixels zugewiesen ist, bestimmt durch die Verwendung eines Entscheidungsbaumes (**500**).

2. Eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1, bei der ein weiterer Entscheidungsbaum (**600**) verwendet wird, um das Raummosaik relativ zu den Pyramidenscheitelpunkten zu bestimmen.

3. Eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, bei der die punkterkennbare Metrik auf einem vom Menschen sichtbaren Systemmodell basiert.

4. Eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, die eine minimal wahrnehmbare Rauschabweichung als die punkterkennbare Metrik verwendet.

5. Eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, die eine Helligkeitsabweichung als die punkterkennbare Metrik verwendet.

6. Eine Vorrichtung gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, die folgende Merkmale aufweist:
einen akkumulierten Fehlersummierer (**210**), um Eingangs-RGB zu einem akkumulierten Fehler (**250**) hinzuzufügen;
einen Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupel-Computer (MBVQ-Computer) (**220**), um ein MBVQ (**225**) für ein Pixel innerhalb des Farbbildes zu bestimmen;
eine Scheitelpunktauswahleinrichtung (**260**) zum Finden eines Scheitelpunkts (**270**) des MBVQ in größter Nähe zu dem Pixel und zum Zuweisen der Scheitelpunktfarbe zu einem Farbhalbtönen an einer Position, die dem Pixel entspricht;
einen Quantisierungsfehlersummierer (**290**) zum Finden eines Quantisierungsfehlers basierend auf dem Verwenden des Scheitelpunkts;
einen Verteiler zum Verteilen des Quantisierungsfehlers auf zukünftige Pixel; und
einen Puffer (**230**) zum Speichern eines Quantisierungsfehlers für die zukünftigen Pixel des Farbbildes.

7. Der Prozessor gemäß Anspruch 6, bei dem der MBVQ-Computer (**270**) das MBVQ (**225**) für das Eingangspixel unter Verwendung des Pixelwerts kombiniert mit einem Fehlerausdruck für das Pixel findet.

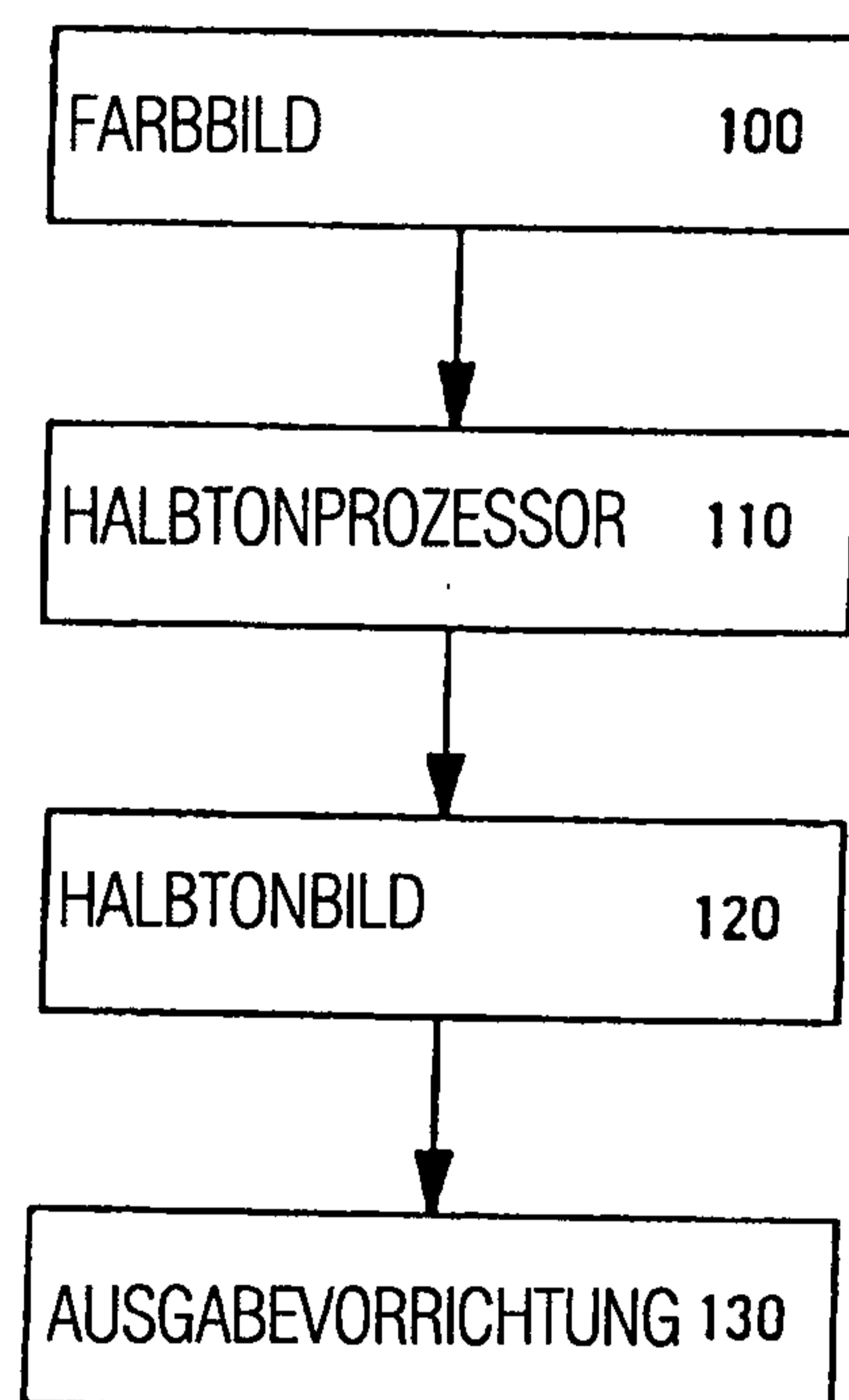
8. Halbtongebungsverfahren für ein Farbbild (**100**), wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
lokales Einschränken eines Satzes von Halbtonfarben, wobei der Satz eingeschränkt ist, um eine punkterkennbare Metrik zu minimieren; und
lokales Anwenden des eingeschränkten Satzes von Halbtonfarben auf das Farbbild, um ein Halbtonbild zu ergeben, und dadurch gekennzeichnet, daß
eine Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupel-Pyramide (MBVQ-Pyramide) dem Triplet eines Eingangspixels zugewiesen wird, bestimmt durch die Verwendung eines Entscheidungsbaumes (**500**).

9. Ein Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem ein weiterer Entscheidungsbaum (**600**) verwendet wird, um das Raummosaik relativ zu den Pyramidenscheitelpunkten zu bestimmen.

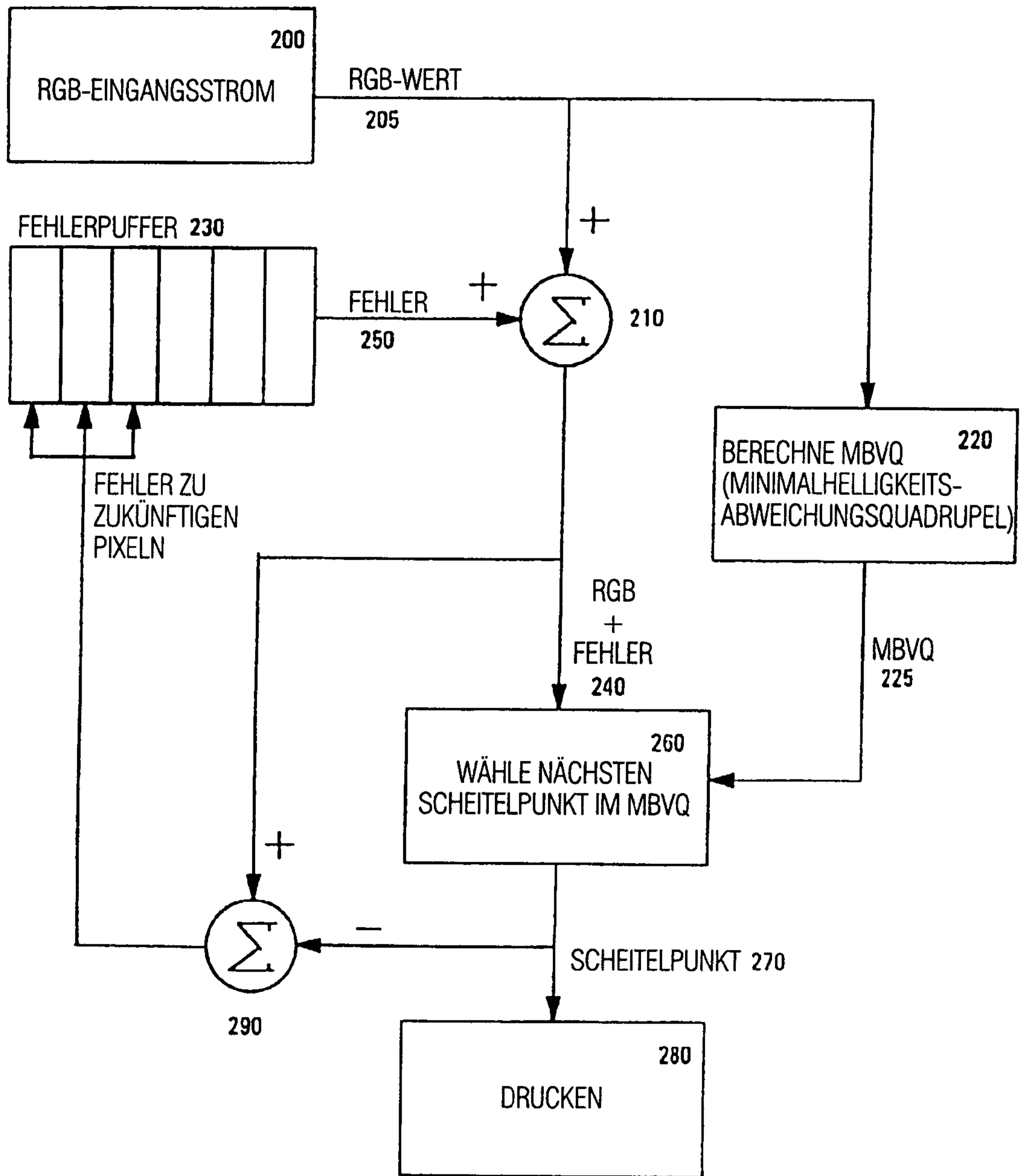
10. Ein Verfahren gemäß Anspruch 8 oder 9, das folgende Schritte aufweist:
Hinzufügen eines Eingangs-RGB zu einem akkumulierten Fehler;
Bestimmen eines Minimalhelligkeitsabweichungsquadrupels (MBVQ) (**225**) für ein Pixel innerhalb des Farbbildes;
Finden eines Scheitelpunkts des MBVQ in größter Nähe zu dem Pixel und Zuweisen der Scheitelpunktfarbe zu einem Farbhalbtönen an einer Position, die dem Pixel entspricht;
Finden eines Quantisierungsfehlers basierend auf dem Verwenden des Scheitelpunkts;
Verteilen des Quantisierungsfehlers auf weitere Pixel; und
Speichern des Quantisierungsfehlers für zukünftige Pixel des Farbbildes.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

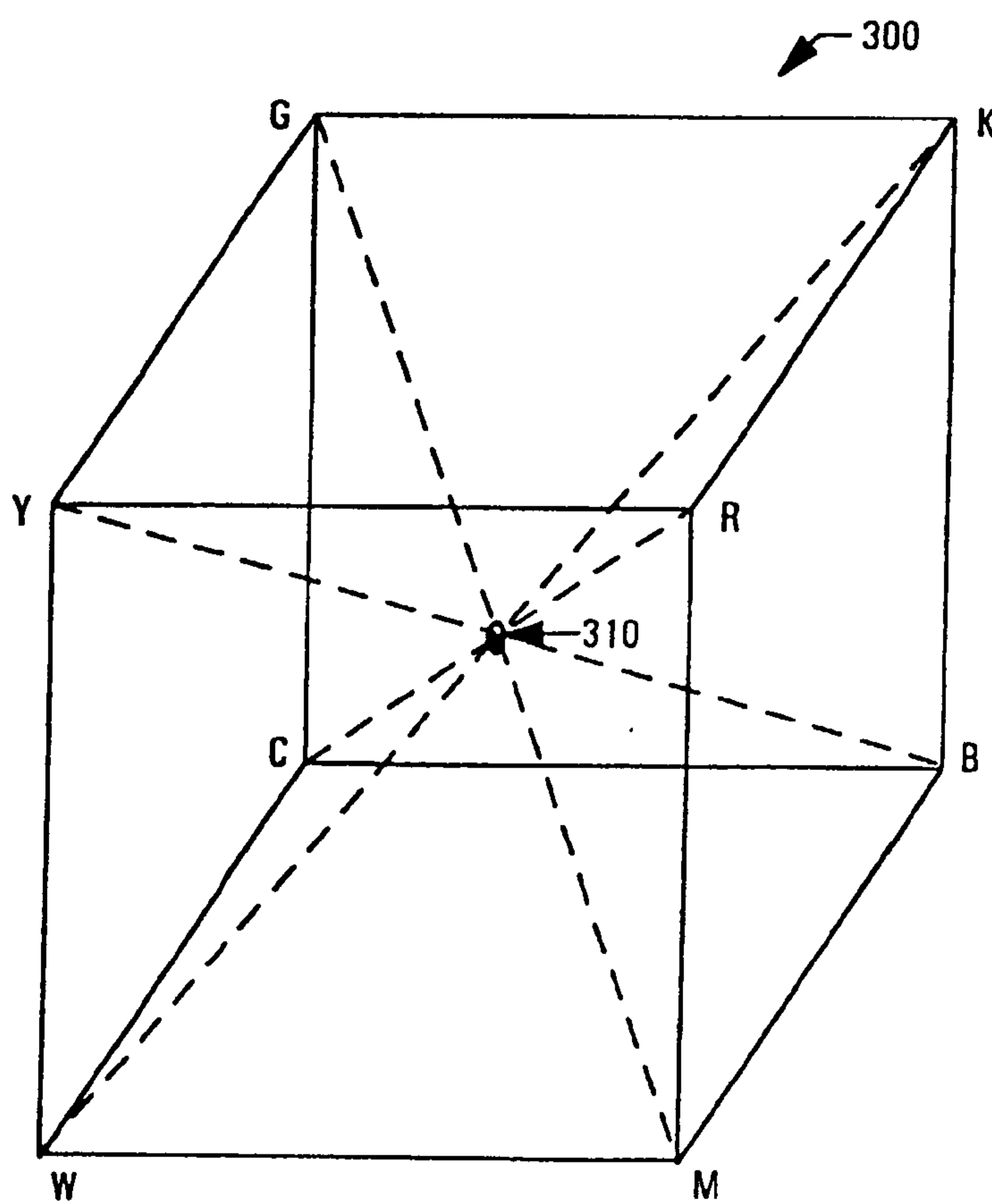
Anhängende Zeichnungen



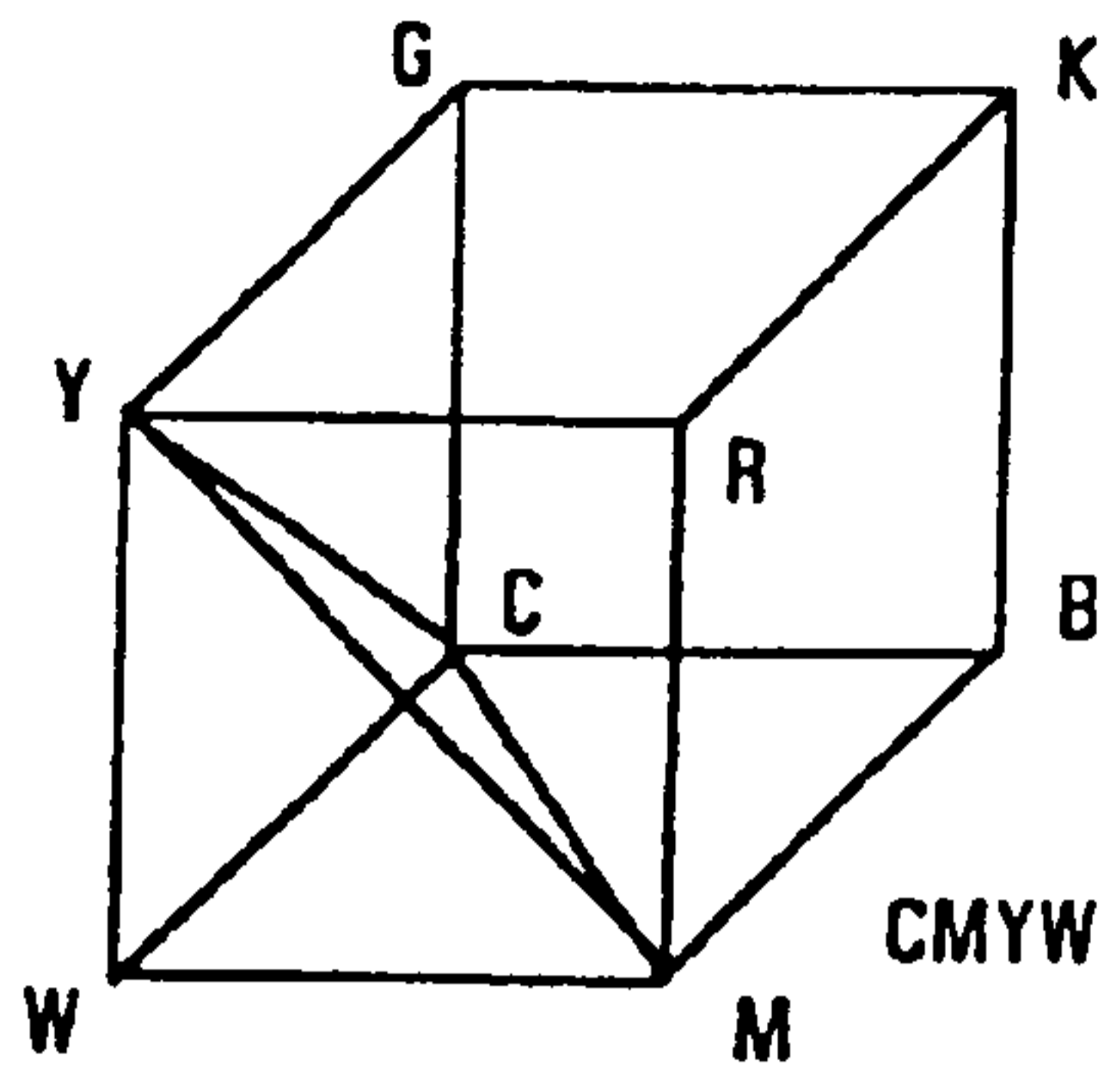
FIGUR 1



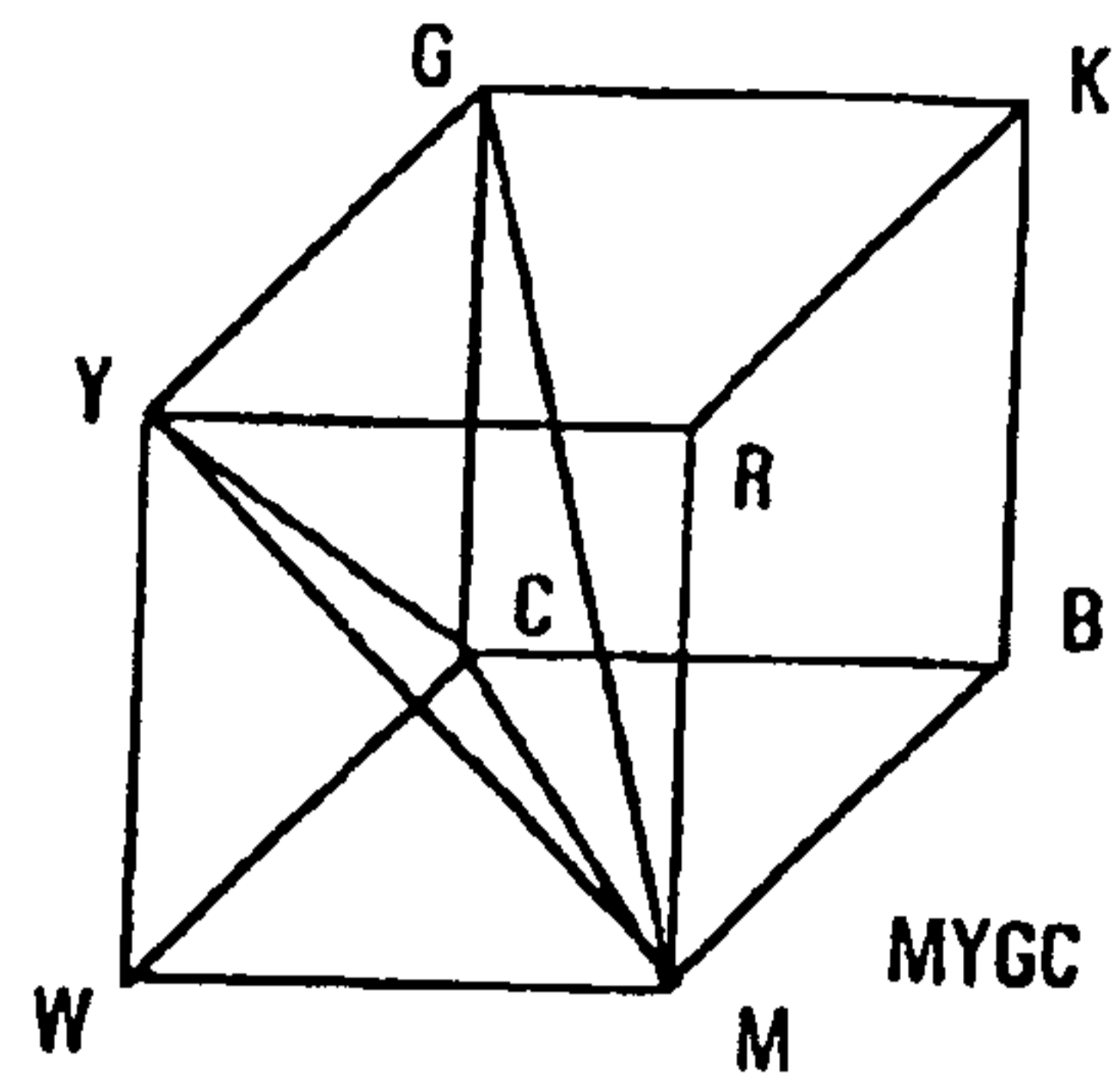
FIGUR 2



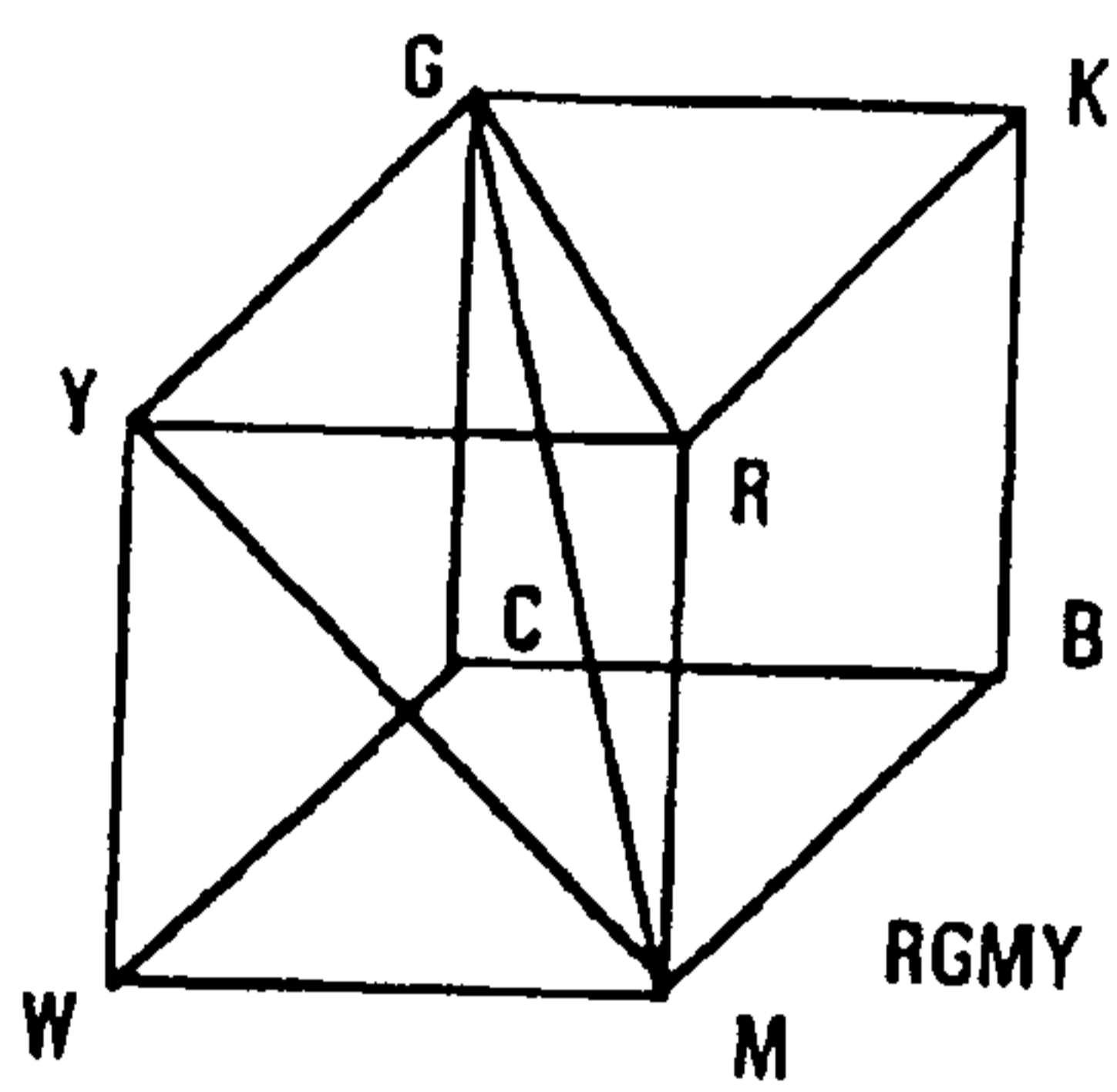
FIGUR 3



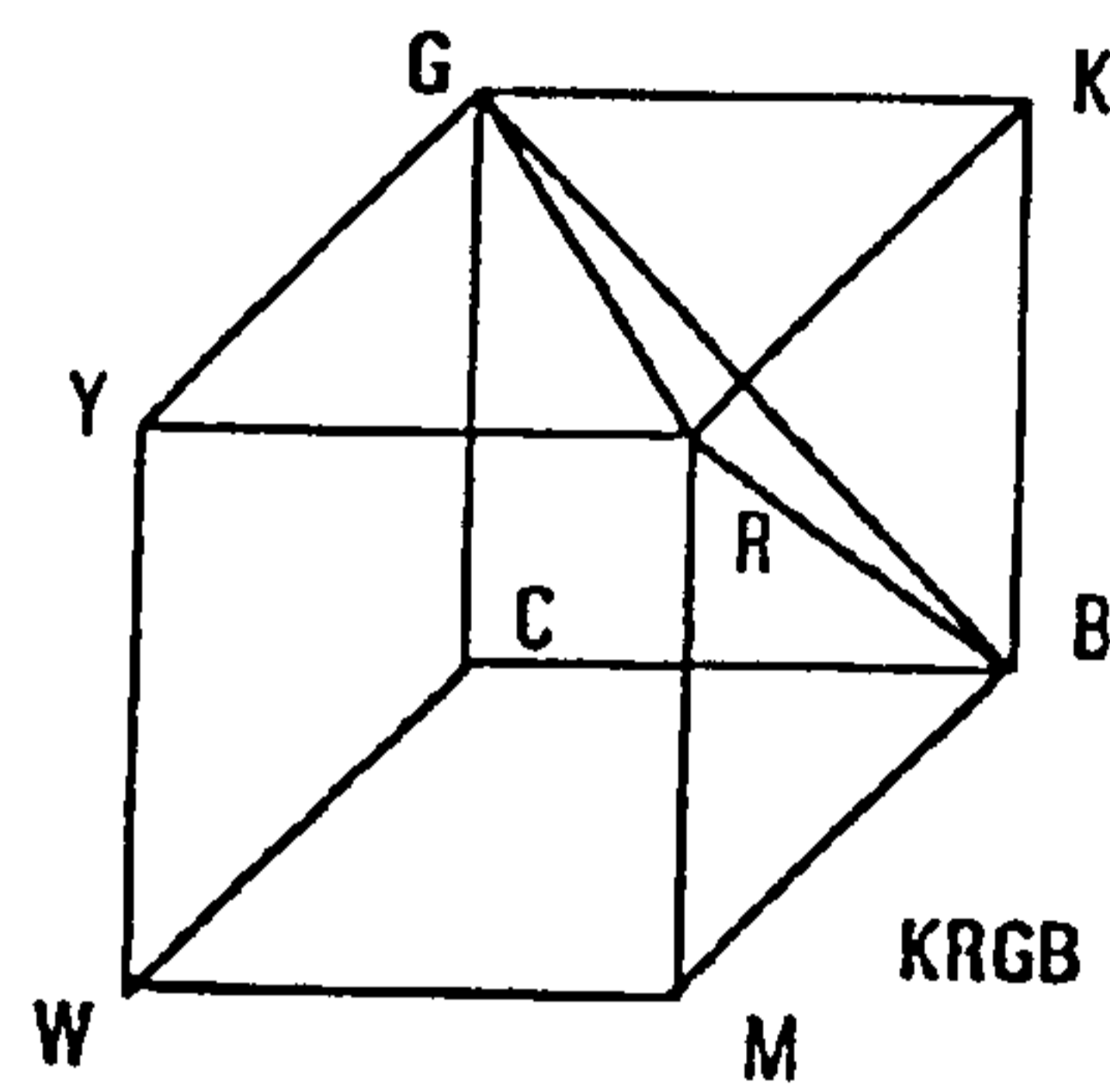
FIGUR 4A



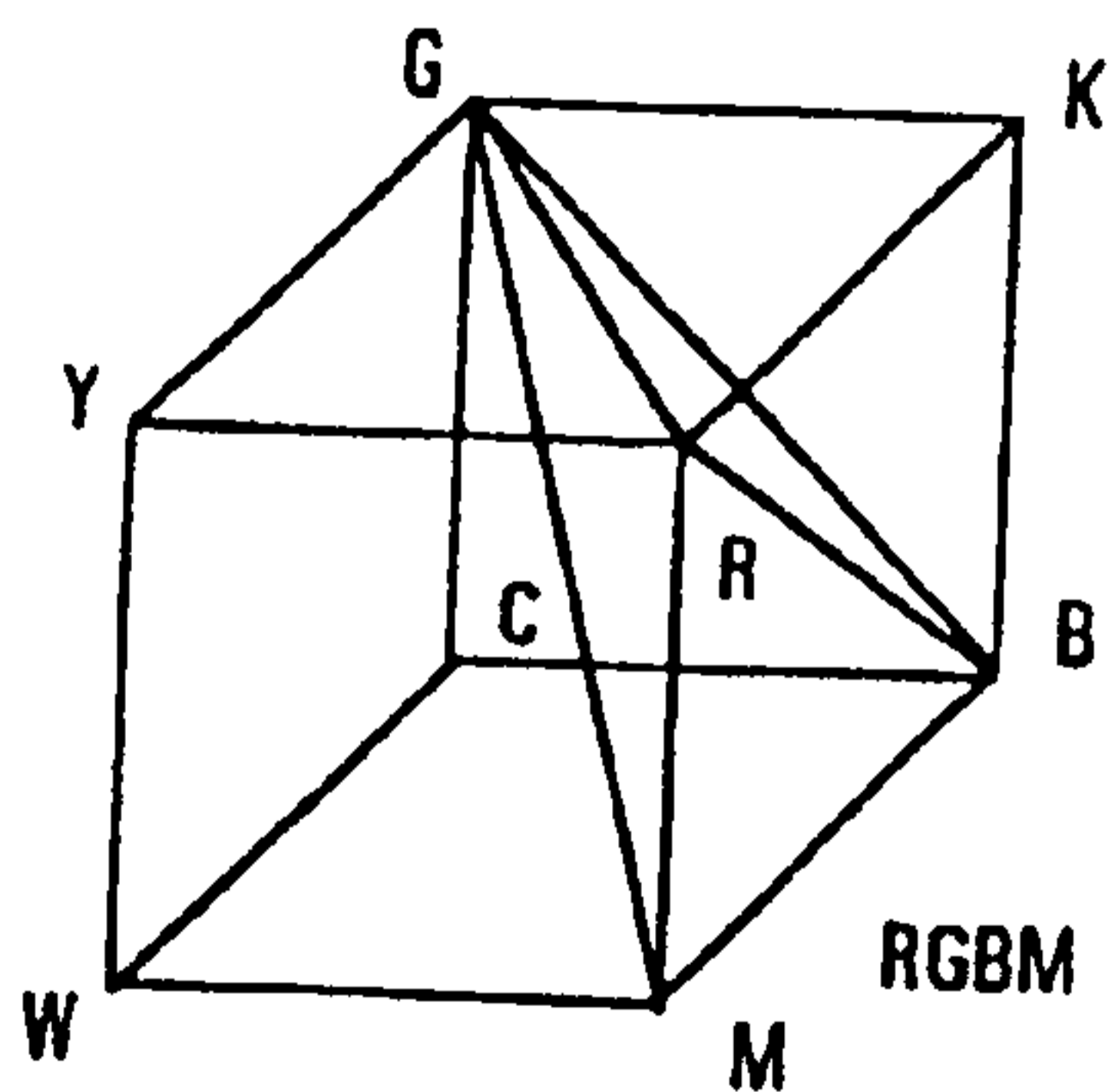
FIGUR 4B



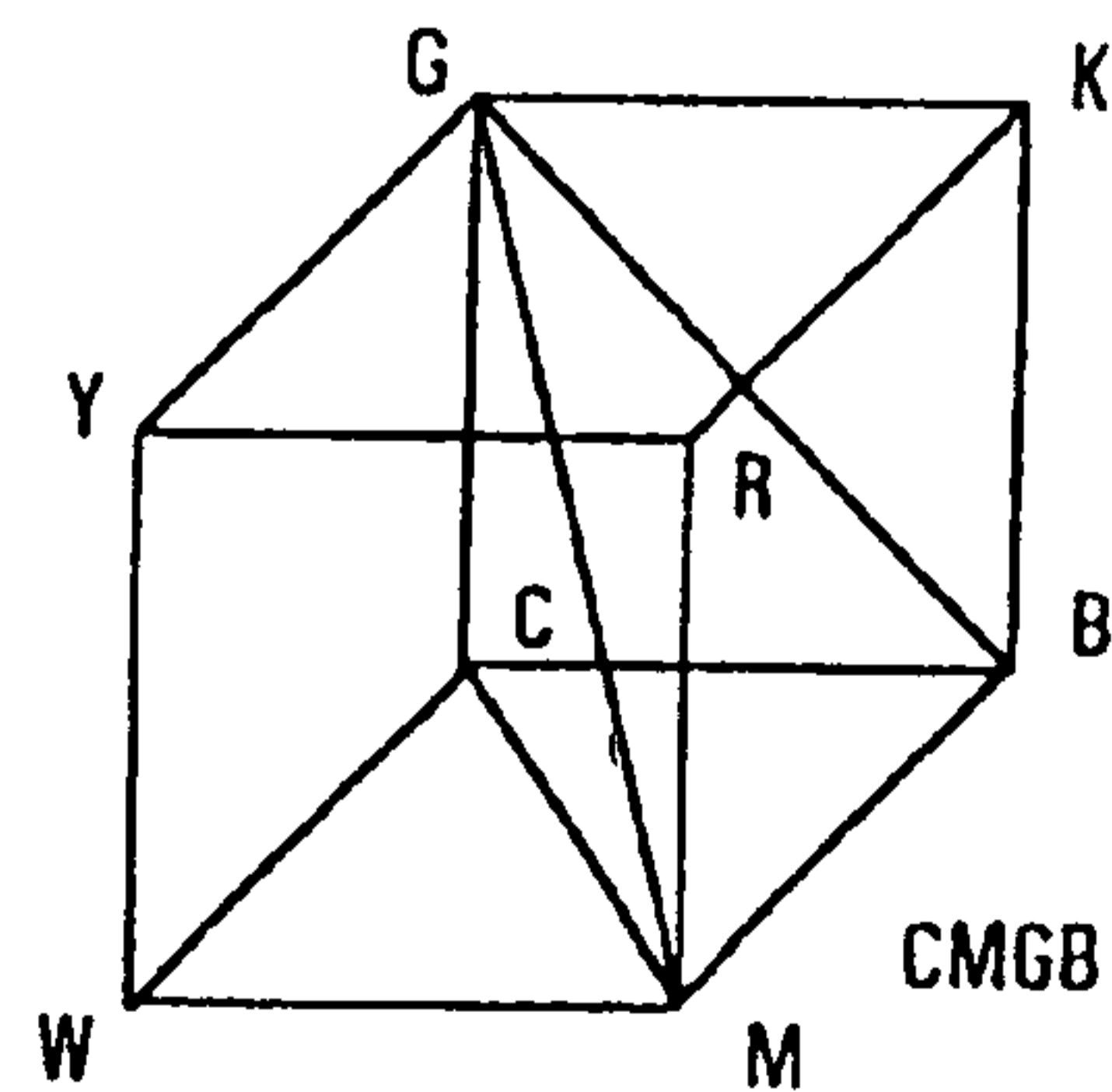
FIGUR 4C



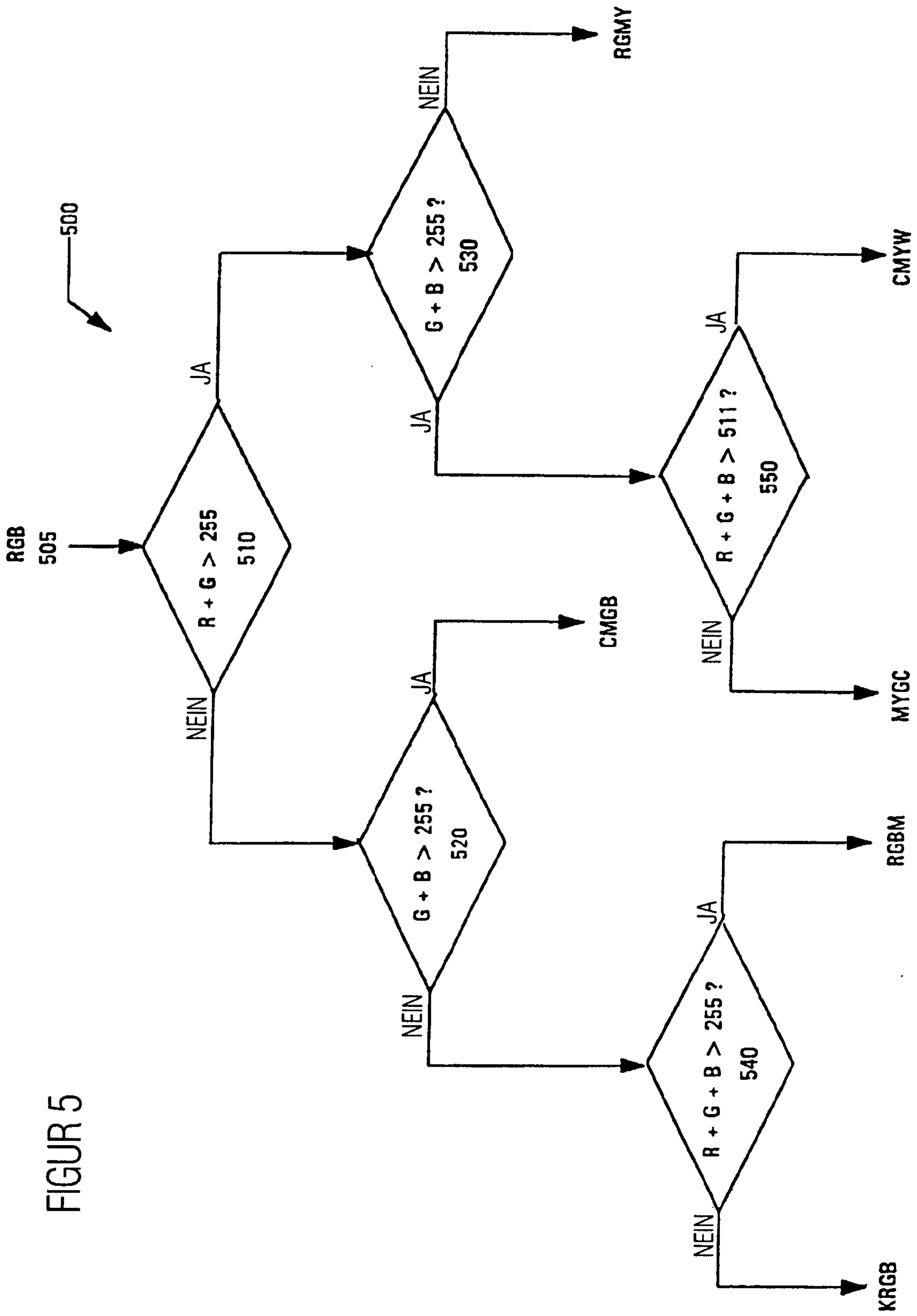
FIGUR 4D



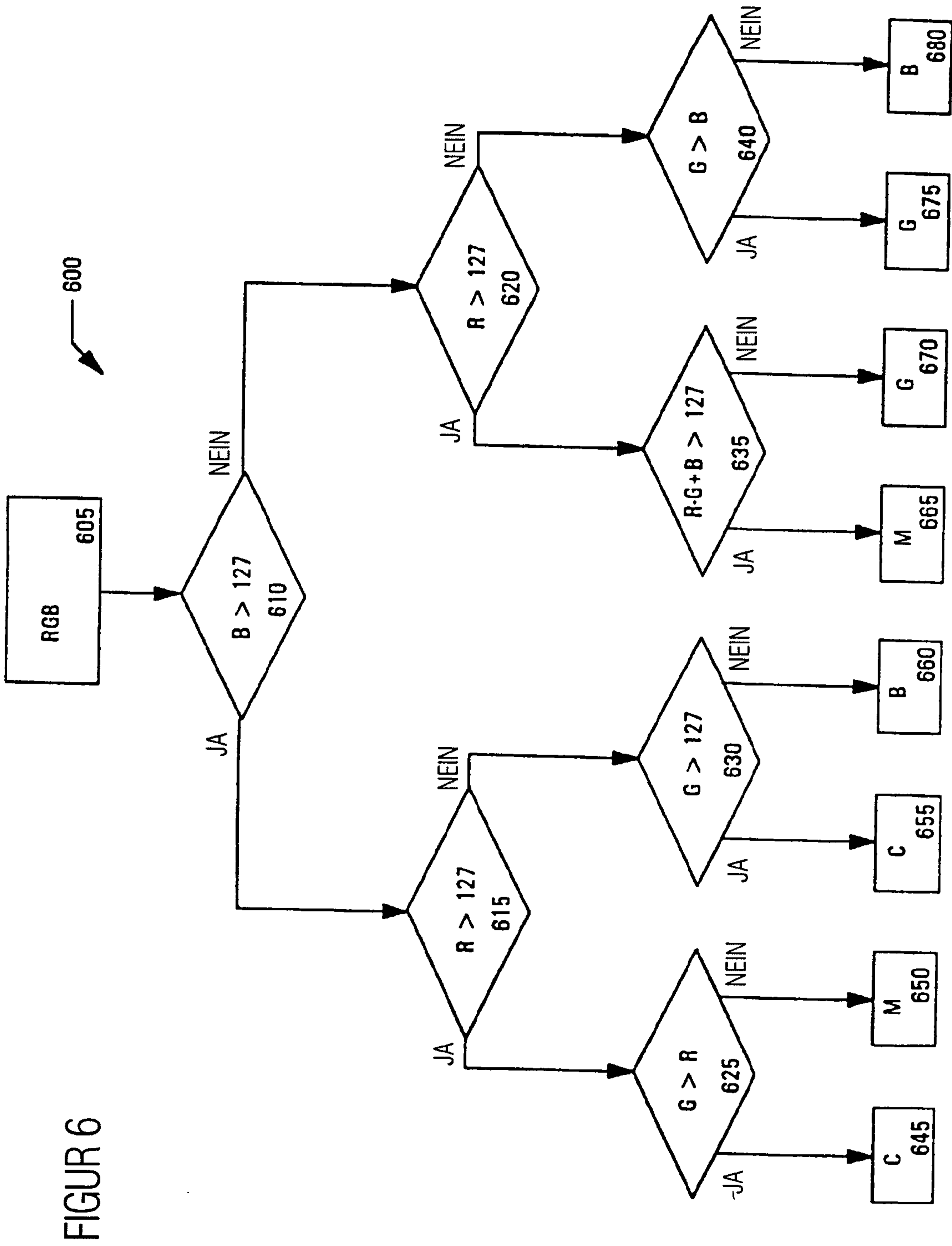
FIGUR 4E



FIGUR 4F



FIGUR 5



FIGUR 6