Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 84 (1993)

Heft: 7

Artikel: Fraktale Bilddatenkompression macht Fortschritte : ein neuer Algorithmus für die Kompression von digitalen Bilddaten

Autor: Ammeter, Harald / Hazeghi, Kasra

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902674

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Parallel zur Weiterentwicklung von konventionellen Methoden zur Kompression von Bilddaten werden auch Anstrengungen zur Entwicklung neuartiger Verfahren unternommen. Ein solches Verfahren, das von der Theorie der Fraktale Gebrauch macht und kontrahierende Abbildungen und deren Attraktoren verwendet, wird hier vorgestellt. Es wurde im Frühling 1992 am Institut für Kommunikationstechnik an der ETH Zürich im Rahmen einer Diplomarbeit implementiert und untersucht.

Fraktale Bilddatenkompression macht Fortschritte

Ein neuer Algorithmus für die Kompression von digitalen Bilddaten

■ Harald Ammeter, Kasra Hazeghi

Wie wichtig die Kompression von Bilddaten ist, wird deutlich, wenn man sich vor Augen hält, dass ein einziges Graustufenbild von $10 \cdot 10$ cm^2 Grösse bei einer Auflösung von 100 Pixel/cm und bei 256 Graustufen nicht weniger als 1 MByte an teurem Speicherplatz verschlingt. Da auf immer mehr Gebieten – von der Computertomographie und Satellitenbildern über Flugsimulatoren bis zur Bildtelefonie – riesige Mengen an Bilddaten anfallen, werden weltweit grosse Anstrengungen unternommen, diese Datenmengen durch Kompression zu reduzieren.

Die Arbeitsweise eines Kompressions-Dekompressions-Systems zeigt Bild 1. Aus den Helligkeitswerten der Bildpunkte eines Originalbildes erzeugt das System einen Code. Der dabei erhaltene Kompressionsfaktor ist das Verhältnis zwischen dem Speicherplatz für die Information des Originalbildes und demjenigen für die codierte Information, gemessen in Informationseinheiten (Bits). Verlustfreie Verfahren können aus der codierten Information wieder eine exakte Kopie des Originals rekonstruieren; sie nützen die statistische Redundanz aus, die in jedem nicht rein zufälligen Datenstrom vorhanden ist, und erreichen dabei je nach Vorlage Kompressionsfaktoren zwischen 2

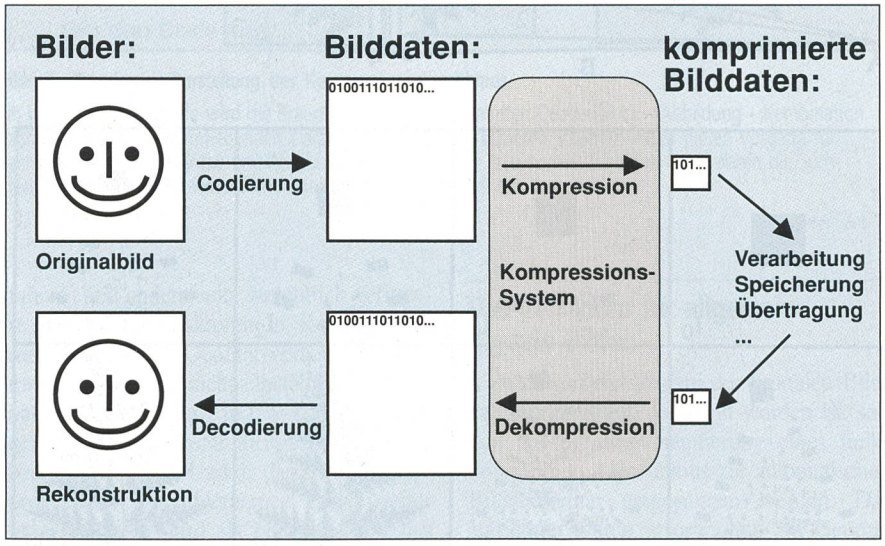


Bild 1 Schema eines Datenkompressionssystems in der Bildverarbeitung

Die nach der Codierung vorliegenden Bilddaten, welche die Intensitäts- und Farbwerte der einzelnen Bildpunkte repräsentieren, werden vor ihrer weiteren Verarbeitung komprimiert, um Verarbeitungszeit, Speicherplatz oder Übertragungsbandbreite einzusparen. Bevor ein komprimiertes Bild dargestellt werden kann, müssen die Bilddaten rekonstruiert werden

Adressen der Autoren
Harald Ammeter, Dipl. El.-Ing. ETH, Balzano Informatik AG, Clausiusstr. 70, 8006 Zürich und
Dr. *Kasra Hazeghi*, Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zentrum, 8092 Zürich.

und 5. Beispiele für solche Verfahren sind die Lauflängencodierung und die Huffmann-Codierung.Verlustbehaftete Verfahren dagegen lassen bei der Kompression ein gewisses Mass an Informationsverlust zu, wobei nach Möglichkeit nur unwichtige Informationen verlorengehen sollten. Die Transformationscodierung (etwa die Discrete Cosine Transform, DCT, mit anschliessender Eliminierung der hochfrequenten Komponenten von kleiner Energie) sowie die Vektorquantisierung (VQ) gehören zu diesen Methoden und erreichen Kompressionsfaktoren in der Grössenordnung von 10 bis 20 für die meisten Bilder und bei tolerierbaren Qualitätsverlusten. Verlustfreie und verlustbehaftete Verfahren können zur Steigerung des Kompressionsfaktors kombiniert werden; so benutzt beispielsweise der standardisierte JPEG-Kompressionsalgorithmus sowohl die DCT- als auch die Huffmann-Codierung.

In jüngster Zeit wurden nun verschiedene Algorithmen entwickelt, die auf dem Vorhandensein ähnlicher Strukturen in einem Bild aufbauen und damit für ausgewählte Bilder gewaltige Kompressionsfaktoren von 10 000 und mehr zustande bringen [1; 3; 4]. Diesen Verfahren ist jedoch der schwerwiegende Nachteil gemeinsam, dass sie nicht automatisiert werden können, da bei ihnen das Erkennen ähnlicher Bildteile durch den Menschen erfolgt.

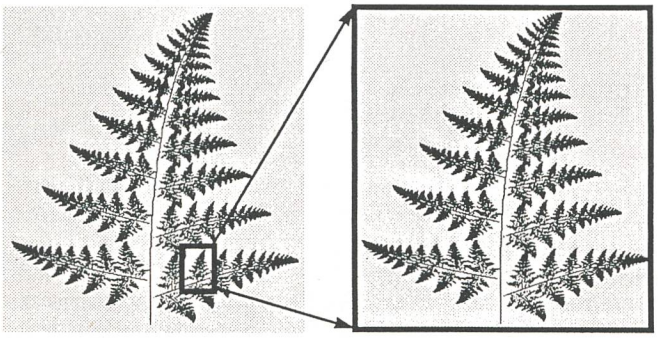


Bild 2 Das Farnblatt als Beispiel für ein selbstähnliches Bild

Das gesamte Farnblatt, in verkleinerter Form, wiederholt sich unendlich in sich selbst. Die Vergrösserung eines beliebigen Teils der Struktur führt wieder zum Ausgangsbild

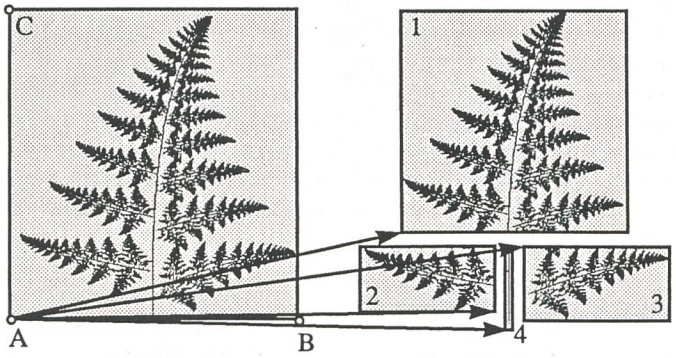


Bild 3 Collage des Farnblatt-Fraktals

Dargestellt sind vier geometrische Transformationen, die das Farnblatt in sich selbst überführen; Abbildung Nr. 4 lässt das ganze Blatt auf einen schmalen Strich schrumpfen

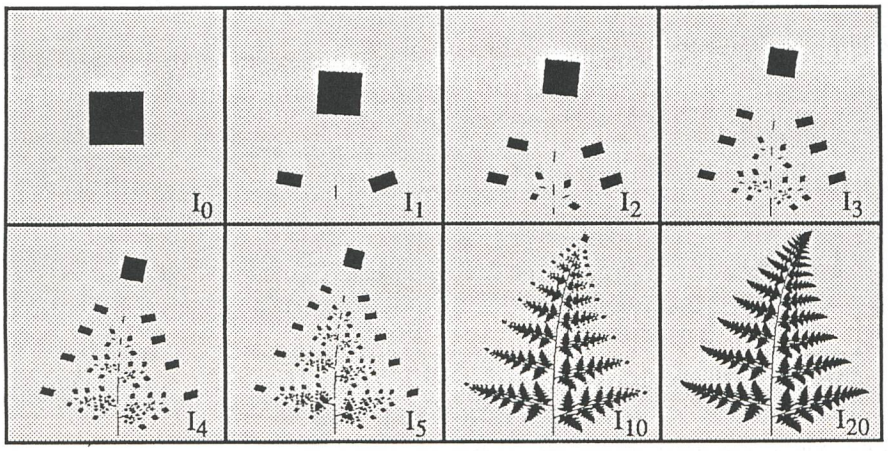


Bild 4 Stationen auf dem Weg zum Attraktor

Die ersten Iterationsschritte, die ein gegebenes Ausgangsbild (I_0) zum Attraktor der Abbildung konvergieren lassen. Nach 20 Schritten kann von Auge kein Unterschied mehr wahrgenommen werden. Die Struktur der verwendeten Abbildung ist beim Übergang von I_0 zu I_1 besonders gut sichtbar

Fraktale – komplizierte Gebilde mit einfachem Aufbau

Damit die Funktionsweise der fraktalen Bilddatenkompression einfacher zu verstehen ist, seien hier einige charakteristische Eigenschaften der Fraktale vorgestellt. Ein wichtiges Kennzeichen fraktaler Bilder ist die Selbstähnlichkeit, also das Erscheinen von ähnlichen Strukturen im selben Bild. Das Farnblatt in Bild 2 beispielsweise kann man sich aus verkleinerten und verdrehten, aber sonst identischen Farnblättern aufgebaut denken, die links und rechts an einem Stengel angeordnet sind und welche ihrerseits wiederum aus noch kleineren Blättern bestehen. Diese Selbstähnlichkeit macht es nun möglich, ein Fraktal durch eine geometrische Transformation in eine sogenannte Collage überzuführen, indem ein zum Originalbild identisches Bild aus verkleinerten Kopien des Originals zusammengesetzt wird [5]. In Bild 3 ist eine solche Abbildung gezeigt, die aus mehreren einfachen Transformationen besteht. Da es sich beim Farnblatt um ein selbstähnliches Bild handelt, wird durch die Abbildung eine identische Collage erzeugt. Die dabei verwendeten geometrischen Transformationen bilden gemeinsam ein Funktionensystem, durch welches das fraktale Bild vollständig beschrieben ist. Diese Tatsache leuchtet ohne weiteres ein, wenn man bedenkt, dass jedes andere Ausgangsbild durch die Abbildung verändert würde; nur das Farnblatt-Bild wird durch das Farnblatt-Funktionensystem exakt in sich selbst übergeführt.

Weil das Ausgangsbild durch das Funktionensystem nicht verändert wird, bezeichnet man es als den Attraktor dieses Systems. Interessant daran ist nun der Umstand, dass die iterative (wiederholte) Anwendung dieser Abbildungen auf irgend ein beliebiges Ausgangsbild denselben Attraktor erzeugt, was in Bild 4 demonstriert wird. Ein iteriertes Funktionensystem (IFS) besitzt allerdings nur dann einen Attraktor, wenn alle darin enthaltenen Transformationen kontraktiv sind, das heisst, wenn durch alle Transformationen die Distanz zwischen zwei beliebigen Punkten des Ausgangsbildes verkleinert werden oder anders gesagt, wenn keine abgebildeten Bildpunkte den Bildbereich verlassen.

Ein Rezept für die Kompression von Fraktalen

Diese Zusammenhänge lassen sich nun dazu verwenden, streng selbstähnliche Bilder verlustfrei zu komprimieren und zu dekomprimieren. Die Vorschrift für die Kompression eines gegebenen, derartigen Bildes lautet: Man finde ein System von kontraktiven Abbildungen, die zusammen eine zum

Ausgangsbild identische Collage erzeugen. Aus den verschiedenen möglichen Lösungen ist diejenige zu bestimmen, welche mit der kleinsten Zahl von Abbildungen auskommt; denn es soll ja eine möglichst hohe Datenkompression erzielt werden. Das so erhaltene IFS ist dann noch durch eine Zahlenfolge oder Zeichenkette zu beschreiben, die sich speichern und verarbeiten lässt. Die zur Codierung des Farnwedels verwendeten affinen Abbildungen lassen sich zum Beispiel durch je drei Bildpunkt-Koordinatenpaare spezifizieren, wie dies in Bild 5 gezeigt ist. Damit könnte ein quadratisches Schwarzweissbild des Farnwedels (1000 · 1000 Pixel zu 1 Bit) mit einem beachtlichen Kompressionsfaktor von 4167 (= 1000 · 1000 · 1 Bit/[4 · 3 · 2 · 10 Bit] codiert werden!

Um ein auf diese Weise codiertes Bild wieder zu dekomprimieren, muss der Attraktor des im Code festgehaltenen IFS konstruiert werden. Dazu beginnt man mit einem beliebigen Ausgangsbild von den Abmessungen des Originalbildes und wendet darauf die geometrischen Abbildungen des IFS iterativ an. Dabei konvergiert die Folge der so erhaltenen Bilder um so schneller gegen den Attraktor, je grösser die Kontraktivität der verwendeten Abbildungen ist. Mit diesem Rezept ist es also möglich, selbstähnliche Bilder zu komprimieren und ohne Qualitätsverlust zu rekonstruieren.

Es stellt sich nun die Frage, ob diese Technik für die Verarbeitung allgemeiner Bilder nutzbar gemacht werden kann. Die Antwort ist Ja, wenn einerseits gewisse Verluste an Bildqualität (verlustbehaftetes Verfahren) und andererseits wesentlich geringere Kompressionsfaktoren in Kauf genommen werden. Der Qualitätsverlust ist unvermeidlich, weil das nichtselbstähnliche Original vor der Zerlegung in IFS-Transformationen durch ein selbstähnliches Bild angenähert werden muss. Und da diese fraktale Approximation im allgemeinen komplizierter aufgebaut sein wird als beispielsweise das Farn-Fraktal, werden zu seiner Codierung wesentlich mehr geometrische Abbildungen nötig sein; dadurch wird der Code vergrössert und somit der Kompressionsfaktor herabgesetzt.

Bild 5 Die vier affinen Abbildungen, die das Farnblatt-Bild in sich selbst überführen

Jede affine Abbildung lässt sich durch die Angabe von sechs Koeffizienten, beispielsweise der Koordinaten dreier abgebildeter Punkte, spezifizieren.

Affine Abbildung	Punkt A (0 / 0)	Punkt B (100 / 0)	Punkt C (0 / 100)
Abb.1	(10 / 22)	(90 / 18)	(14 / 100)
Abb.2	(49 / 5)	(53 / 27)	(4 / 13)
Abb.3	(45 / 22)	(53 / 0)	(90 / 39)
Abb.4	(50 / 2)	(50 / 2)	(50 / 25)

Speichere das Originalbild.

Teile das Originalbild in Zielblöcke auf.

Mit jedem Zielblock:

Bestimme einen Vorrat an Quellenblöcken.

Mit jedem Quellenblock aus dem Vorrat:

Mit jeder Abbildung aus einem vordefinierten Vorrat an Blocktransformationen:

Bilde den Quellenblock mittels der ausgewählten Transformation auf den Zielblock ab.

Miss den Fehler zwischen dem Zielblock und dem transformierten Quellenblock.

Falls Fehler < bisher kleinster Fehler:

Speichere den Fehler, die Abbildungskoeffizienten und die Quellenblockkoordination.

Füge die Koeffizienten und die Koordinaten dem Code zu.

Gib den Code aus.

Bild 6 Pseudocode-Darstellung des Kompressionsalgorithmus

In der innersten Schleife wird die Brauchbarkeit einer bestimmten Quellenblock – Abbildung – Kombination zur Darstellung eines vorliegenden Zielblocks ermittelt; die äusseren Schleifen lassen diesen Vorgang für verschiedene Quellenblöcke und Abbildungen ablaufen. Die Struktur der Schleifen – und damit die Suchtechnik – bestimmt im wesentlichen den Rechenaufwand bei der Kompression

Mathematische Spielereien?

Fraktale (selbstähnliche Strukturen von unendlicher geometrischer Komplexität) wurden oft als unbrauchbare Nebenprodukte mathematischer Spielereien angesehen, die sich im besten Fall zur Erzeugung beeindruckender Farbbilder auf dem Computerbildschirm verwenden liessen; eine ernsthafte Anwendung dieser seltsamen Gebilde war jedoch kaum vorstellbar. Um so faszinierender erscheint daher, dass man damit Bilddaten komprimieren kann [1; 2]. Bereits in früheren im Bulletin SEV/VSE erschienenen Artikeln [1; 4] wurde gezeigt, dass bestimmte Bilder, die sich durch sogenannte Selbstähnlichkeit auszeichnen, durch fraktale Strukturen angenähert werden können und dass diese Eigenschaft bei geeigneter Codierung zur Datenkompression ausgenutzt werden kann.

Das Verfahren für allgemeine digitale Bilder

Nachdem das Prinzip der fraktalen Bilddatenkompression dargelegt worden ist, soll nun auf die Implementierung eines funktionsfähigen Algorithmus zur automatischen Bildcodierung eingegangen werden. Das Verfahren wurde ursprünglich am Georgia Institute of Technology in Atlanta, USA, von Michael F. Barnsley, Alan D. Sloan [6] und Arnaud E. Jacquin [7] entwickelt und kürzlich an der ETH Zürich im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Kommunika-

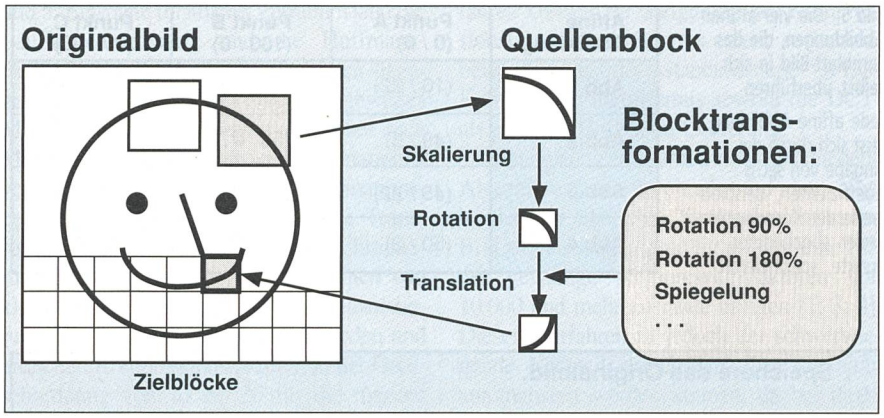


Bild 7 Schema des Kompressionsvorganges

Für jeden Teil des Bildes (Zielblock) wird ein anderer Bildteil (Quellenblock) gesucht, der mit einfachen geometrischen Transformationen, welche aus einem vorgegebenen Pool von Abbildungen stammen, verändert und danach mit dem Zielblock verglichen wird. Zu jedem Zielblock wird jeweils die zur besten Approximation führende Abbildung gespeichert

```
Lege einen Bildspeicher an.
Teile den Bildspeicher in Zielblöcke auf.
    Für jeden Zielblock:
        Finde die zugehörige Abbildung im Code.
        Ersetze den Zielblock durch den
        abgebildeten Quellenblock.
    Wiederhole diesen Vorgang, bis die Auflösungs-
    grenze erreicht ist.
Gib den Bildspeicher aus.
```

Bild 8 Die Dekompression als Pseudocode-Programm

In der innersten Schleife wird jeder Teil des in Zielblöcke partitionierten Bildspeichers durch die entsprechende Transformation aus einem anderen Bildspeicherteil gebildet, bis das ganze Bild derart bearbeitet worden ist. Die äussere Schleife lässt mehrere dieser Iterationsschritte ablaufen.

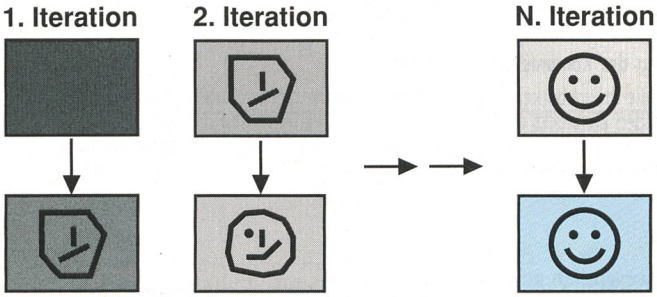


Bild 9 Die Dekompression

Der Vorgang beginnt mit einem leeren Bildspeicher. Nach jedem Iterationsschritt kommt der Speicherinhalt dem Attraktor des IFS-Codes etwas näher; der Vorgang kann abgebrochen werden, sobald keine (sichtbaren) Veränderungen mehr stattfinden.

tionstechnik [8] implementiert, untersucht und erweitert.

Kompressionsvorgang

Der Kompressionsvorgang ist in Bild 6 in Form eines Pseudocode-Programms dargestellt. Um ein gegebenes Originalbild zu komprimieren, muss ein System von kontraktiven geometrischen Transformationen (IFS) gefunden werden, welches das Bild in eine möglichst ähnlich aussehende Collage überführt. Je ähnlicher dabei die Collage dem Original ist, desto ähnlicher ist ihm auch der Attraktor des IFS, der später wieder bei der Rekonstruktion gewonnen wird. Bei der Suche nach ähnlich aussehenden Bildteilen wird mit Blöcken gearbeitet. Zuerst wird das Bild in einander berührende, quadratische Felder aufgeteilt, die im folgenden Zielblöcke genannt werden. Für jeden dieser Zielblöcke wird nun im selben Bild nach einem sogenannten Quellenblock gesucht, der dem Zielblock möglichst ähnlich und deshalb für dessen Approximation geeignet ist. Dieser Quellenblock, ein ebenfalls quadratischer Bildausschnitt, wird aus einem für jeden Zielblock neu festgelegten Vorrat von Quellenblöcken ausgewählt und danach einer Blocktransformation unterzogen. Dieser Vorgang ist in Bild 7 illustriert.

Die Blocktransformation stammt aus einem vordefinierten Vorrat von kontraktiven geometrischen Abbildungen; Bestandteile einer solchen Transformation sind zum Beispiel Translation, proportionales Schrumpfen, Rotation um 90%, Spiegelung sowie Kontrastskalierung (im Falle von Farb- oder Graustufenbildern). Aus den beiden Vorräten an Quellenblöcken und Abbildungen wird nun für jeden Zielblock diejenige Kombination bestimmt, welche den Zielblock nach definierten Kriterien am besten annähert. Alle auf diese Weise gefundenen Transformationen decken zusammen das ganze Bild ab und bilden so ein IFS, das eine fraktale Approximation des Originalbildes definiert. Die Koeffizienten der Transformationen können in einem IFS-Code zusammengefasst werden. Dieser Code stellt nun das komprimierte Originalbild dar.

Dekompressionsvorgang

Die Aufgabe des Dekompressionsalgorithmus besteht darin, den Attraktor eines Funktionensystems zu finden, das in Form eines IFS-Codes vorliegt. Dieser Attraktor ist eine fraktale Approximation des nichtfraktalen Originalbildes; je besser also die Übereinstimmung zwischen Quellen- und Zielblökken bei der Kompression war, desto kleiner wird der Unterschied zwischen dem Originalbild und der Rekonstruktion sein. Ein Pseudocode-Programm der Dekompression und eine Illustration des Vorgangs sind in Bild 8 und Bild 9 zu sehen. Zunächst wird ein leerer Speicherbereich angelegt, dessen Grösse der Anzahl Bildpunkte des Ausgangsbildes entspricht. Dieser Bildspeicher wird in bereits bekannter Weise in ein Feld von Zielblöcken unterteilt. Übrigens kann der Speicherbereich auch auf eine beliebige andere Grösse festgelegt und so ein Bild von beliebiger Auflösung erzeugt werden; da der IFS-Code analoger Natur ist, sind die jeweiligen Auflösungen von Originalbild und Rekonstruktion voneinander unabhängig. Der Reihe nach wird nun für jeden Zielblock die entsprechende, im IFS-Code gespeicherte Transformation ausgeführt; das heisst, jeder Zielblock wird durch einen transformierten Quellenblock aus dem (zu Beginn noch leeren) Bildspeicher ersetzt. Nachdem alle Zielblöcke auf diese Art verändert worden sind, ist der erste Iterationsschritt beendet. Es werden nun weitere Iterationsschritte ausgeführt, wobei die im Bildspeicher entstehende Struktur dem Attraktor bei jedem Schritt nä-

her kommt. Die Iteration wird abgebrochen, sobald die Auflösungsgrenze erreicht ist und sich das rekonstruierte Bild im Speicher nicht mehr verändert.

Eine stärkere Kontraktivität der IFS-Transformationen bewirkt dabei nicht nur ein schnelleres Konvergieren gegen den Attraktor, sondern auch eine grössere Robustheit des Dekompressionsalgorithmus gegenüber kleinen Fehlern im IFS-Code. Dies hat zum Beispiel die angenehme Folge, dass Codierung und Decodierung problemlos auf verschiedenen Rechnersystemen mit unterschiedlichen Rechenpräzisionen vorgenommen werden können.

Der Algorithmus aus der Nähe betrachtet

Gewissermassen das Herzstück des Kompressionsverfahrens ist das Block-Matching, also die Suche nach dem besten Quellenblock für einen gegebenen Zielblock. Wegen der grossen Zahl der in Frage kommenden Quellenblöcke ist diese Suche sehr zeitaufwendig, weshalb sie möglichst effizient gestaltet werden muss. Eine erste diesbezügliche Überlegung betrifft den Suchbereich, aus dem die Quellenblöcke gewählt werden. Da zu einem gegebenen Zielblock ein ähnlicher Block in den meisten Fällen am ehesten in dessen nächster Umgebung zu finden ist, wird jeweils nur ein kleiner Umkreis jedes Zielblocks abgesucht (Bild 10). Auf diese Weise werden Quellenblöcke, die aus demselben Bildobjekt stammen wie der zu approximierende Zielblock, vor anderen bevorzugt.

Der Suchaufwand wird zusätzlich wesentlich reduziert durch die Einteilung der Blökke in Komplexitätsklassen. Jeder Ziel- oder Quellenblock durchläuft während des Kompressionsvorgangs ein einfaches Analyseverfahren [9] und wird, abhängig von seiner Struktur, in eine der vier in Bild 11 skizzierten Klassen eingeteilt. In der Folge werden beim Block-Matching nur Quellenblöcke berücksichtigt, deren Klasse mit der des gegebenen Zielblocks übereinstimmt; Blöcke der übrigen Klassen werden übergangen und beanspruchen somit keine Rechenzeit. Ein weiterer wichtiger Vorteil dieses Verfahrens ist das Bewahren der Bildkanten: Zielblöcke hoher Komplexität, das heisst solche Partien im Originalbild, die ausgeprägte Strukturen (Textur, Kanten) aufweisen, können nur durch Quellenblöcke derselben Klasse angenähert werden, was das bei vielen anderen Kompressionsverfahren übliche «Ausglätten» der Kanten verhindert.

Ein wichtiges Kriterium für die Leistungsfähigkeit des Algorithmus ist die Grösse der Blöcke. Die Verwendung von grossen Blökken führt zu einer kleineren Anzahl von Abbildungen und demzufolge zu einem höheren Kompressionsfaktor; andererseits sind kleine Blöcke einfacher und schneller analysierbar und führen zu genaueren Approximationen und besser voraussehbaren Resultaten. Der implementierte Algorithmus trägt diesem Umstand Rechnung, indem er die Blockgrösse an die lokalen Eigenschaften des Bildes anpasst: Zuerst wird jeweils mit einem grossen Zielblock gearbeitet. Ist die Approximation unbefriedigend, so wird der Zielblock in vier kleinere Blöcke aufgeteilt und das

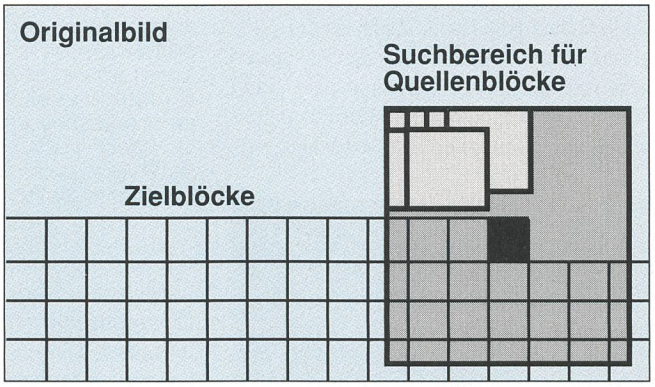


Bild 10 Der Suchbereich für Quellenblöcke

Zu jedem Zielblock wird nur die nähere Umgebung nach brauchbaren Quellenblöcken abgesucht. Diese Quellenblöcke dürfen sich im Gegensatz zu den Zielblöcken überlappen; sie werden erhalten, indem mit einem Fenster fixer Grösse der ganze Suchbereich in konstanten Schritten überstrichen wird

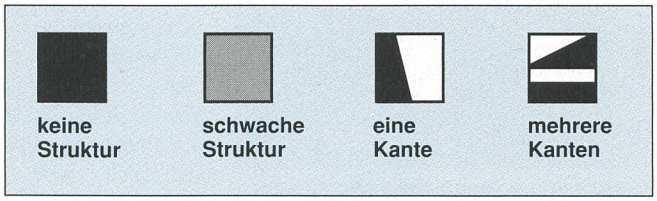


Bild 11 Die vier Komplexitätsklassen

Blöcke der ersten Klasse weisen nur schwache Intensitätsunterschiede auf, während für eine Einteilung in höhere Klassen deutlichere Strukturmerkmale (Textur, Kanten) nötig sind

Glossar

Attraktor: «Anziehungspunkt» einer mathematischen Funktion. Er wird, ausgehend von einem beliebigen Anfangspunkt, nach unendlich vielen Iterationen erreicht. So ist zum Beispiel der Attraktor der Quadratwurzelfunktion die Zahl 1.

Iterated Function System, IFS: Eine Kombination mathematischer Funktionen, welche Punktmengen (z.B. Bilder) so in andere Punktmengen transformieren, dass sie aus einem beliebigen Startbild nach unendlich vielen Iterationen, ein Attraktorbild produzieren können.

Fraktal: Ein mathematisches Gebilde von unendlicher Komplexität. Eine Eigenschaft von Fraktalen ist die Selbstähnlichkeit, d.h. die Vergrösserung eines winzigen Ausschnitts enthält wiederum die Struktur des gesamten Fraktals. Fraktalähnliche Strukturen in der Natur sind z.B. die Ränder von Farnblättern, Wolken oder Schneeflocken.

Lauflängencodierung: Ein verlustfreier Kompressions-Algorithmus für Bilddaten, der das Vorhandensein von gleichen Werten in einer Folge von Pixel-Werten ausnützt und u.a. vom Telefax verwendet wird. Eine Serie von 100 aufeinanderfolgenden schwarzen Bildpunkten kann beispielsweise durch die zwei Zahlen 100 (Länge) und 0 (Farbwert) codiert werden.

Huffmann-Codierung, HC: Ein verlustfreies statistisches Kompressionsverfahren, dass berücksichtigt, dass häufig auftretende Werte in einer Zahlenfolge wenig, selten auftretende Werte viel Information beinhalten. Die ersteren werden deshalb mit einer kleinen Anzahl von Bits, die letzteren dagegen mit vielen Bits codiert.

Discrete Cosine Transform, DCT: Eine Transformation digitaler Daten von Raum- in den Frequenzbereich. Ein digitalisiertes Bild wird dadurch in weiche Intensitätsschwankungen (tiefe Frequenzen) und harte Übergänge oder Kanten (hohe Frequenzen) zerlegt. Um Bilddaten zu komprimieren, werden unbedeutende Frequenzen nach erfolgter DCT aus dem Bild eliminiert, womit im allgemeinen ein Kontrastverlust verbunden ist.

Vektorquantisierung, VQ: Ein verlustbehaftetes Kompressionsverfahren für Bilddaten. Ein Originalbild wird in Blöcke aufgeteilt, worauf für jeden Block die beste Approximation aus einem Codebook (ein durch vorheriges Training erhaltener Vorrat von Bildblöcken) gesucht wird. Gespeichert werden, zusammen mit dem Codebook, nur die Adressen der Blöcke im Codebook.

JPEG-Algorithmus: Das standardisierte Kompressionsverfahren der JPEG (Joint Photographic Experts Group) ist eine besonders effiziente Kombination von DCT und HC, die weltweit für die Kompression von Bilddaten verwendet wird und sich an unterschiedliche Qualitätsanforderungen anpassen lässt.

Matching für jeden dieser Teilblöcke mit entsprechend kleineren Quellenblöcken wiederholt (Bild 12).

Hat das Verfahren Zukunft?

Die Kompressionsfaktoren, die sich mit der fraktalen Bilddatenkompression erzielen lassen, sind vergleichbar mit den Resultaten heute gebräuchlicher Verfahren, wie JPEG oder Vektorquantisierung (VQ). Für durchschnittliche Farb- oder Grauwertbilder werden bei kaum wahrnehmbaren Qualitätsverlusten Kompressionsfaktoren um 20 erreicht; durch Variation verschiedener Algorithmus-Parameter können Bildqualität und Kompressionsfaktor beinahe beliebig gegeneinander ausgespielt werden. Das Bild 13 zeigt ein Beispiel für ein Graustufenbild, das nach der Kompression um einen Faktor von mehr als 23 wieder rekonstruiert worden ist. Der Hauptvorteil gegenüber dem auf DCT basierenden JPEG-Verfahren liegt in der guten Erhaltung von Bildkanten (Bild 13), und im Vergleich mit der Vektorquantisierung fällt positiv ins Gewicht, dass weder ein Training mit speziellen Bildern noch ein separates Codebook mit vordefinierten Bildelementen nötig ist. Weitere Vorteile sind die Unabhängigkeit der Auflösungen von Originalbild und Rekonstruktion sowie die Robustheit der Decodierung bezüglich Quantisierungsfehler. Nachteilig fallen besonders die Komplexität des Algorithmus – in seiner jetzigen Form sind zur Steuerung 60 Parameter nötig – und der hohe Rechenaufwand ins Gewicht. Die Kompression eines Farbbildes (512 · 512 Pixel zu 24 Bit) dauerte immerhin 15 Minuten, die Dekompression gegen drei Minuten (auf einer SUN-Workstation des Typs Sparc 2). Weil jedoch sowohl der Kompression- als auch der Dekompressionsalgorithmus sich aus einer grossen Zahl von untereinander unabhängigen Prozessen zusammensetzt, könnte mit dem Einsatz von Parallelrechnern die Rechenzeit massiv reduziert werden.

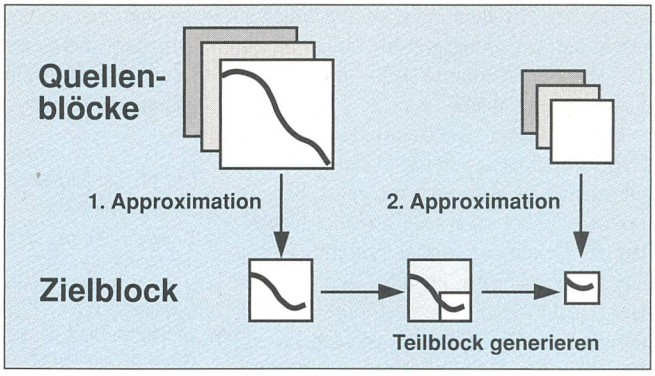


Bild 12 Die adaptive Bestimmung der Blockgrössen

Durch die Verwendung verschiedener Blockgrössen können beispielsweise schwach strukturierte Bildteile mit grossen, kompliziertere Stellen mit kleinen Blöcken approximiert werden. Nach der ersten Stufe des Block-Matching wird der Vorgang je nach Qualität der Approximation mit Teilblöcken wiederholt

Bild 13 Verfahrenstest an Miss Lena

Zu sehen sind oben das Originalbild (Graustufenbild mit einer Auflösung von 512 · 512 Pixel zu 8 Bit), in der Mitte eine Rekonstruktion, die durch Kompression und anschliessende Dekompression mit dem beschriebenen Algorithmus entstanden ist und unten ein vergrösserter Ausschnitt aus der Rekonstruktion. Eine leicht «blockige» Struktur ist wahrnehmbar; ebenso kann ein gewisser Verlust an schwachen Details ausgemacht werden (Hutband). Sehr gut ist hingegen die Wiedergabe der Kanten (Hutrand), was teilweise auf die Klassierung der Blöcke zurückzuführen ist. Der Kompressionsfaktor beträgt für dieses Beispiel 23,4

Literatur

[1] *Thilo Gipser:* Datenkompression mittels iterierter Funktionensysteme (IFS), Bulletin SEV/VSE 81(1990)9, S. 49–54.

[2] *D. Barker:* System Uses Fractals to Compress Images, Byte 16(1991)2, pp. 28–29.

[3] *M.F. Barnsley et al.:* Methods and Apparatus for Image Compression by Iterated Function System, United States Patent 4 941 193 (1990).

[4] *R. Meneghini, P. Stutz:* Wie Bilder aus sich selbst entstehen, Bulletin SEV/VSE 82(1991)21, S. 11–15.

[5] *M. F. Barnsley:* Fractals Everywhere, Academic Press (1988).

[6] *M. F. Barnsley, A.D. Sloan:* Method and Apparatus for Processing Digital Data, International Application published under the Patent Cooperation Treaty PCT/WO 91/00666 (1991).

[7] *A.E. Jacquin:* Image Coding Based on a Fractal Theory of Iterated Contractive Markov Operators, Part I and II, Georgia Tech Preprint 091389-016/017 (1989).

[8] *H. Ammeter, M. Iseli:* Fractal Image Data Compression, Diplomarbeit am Institut für Kommunikationstechnik, ETH Zürich, April 1992.

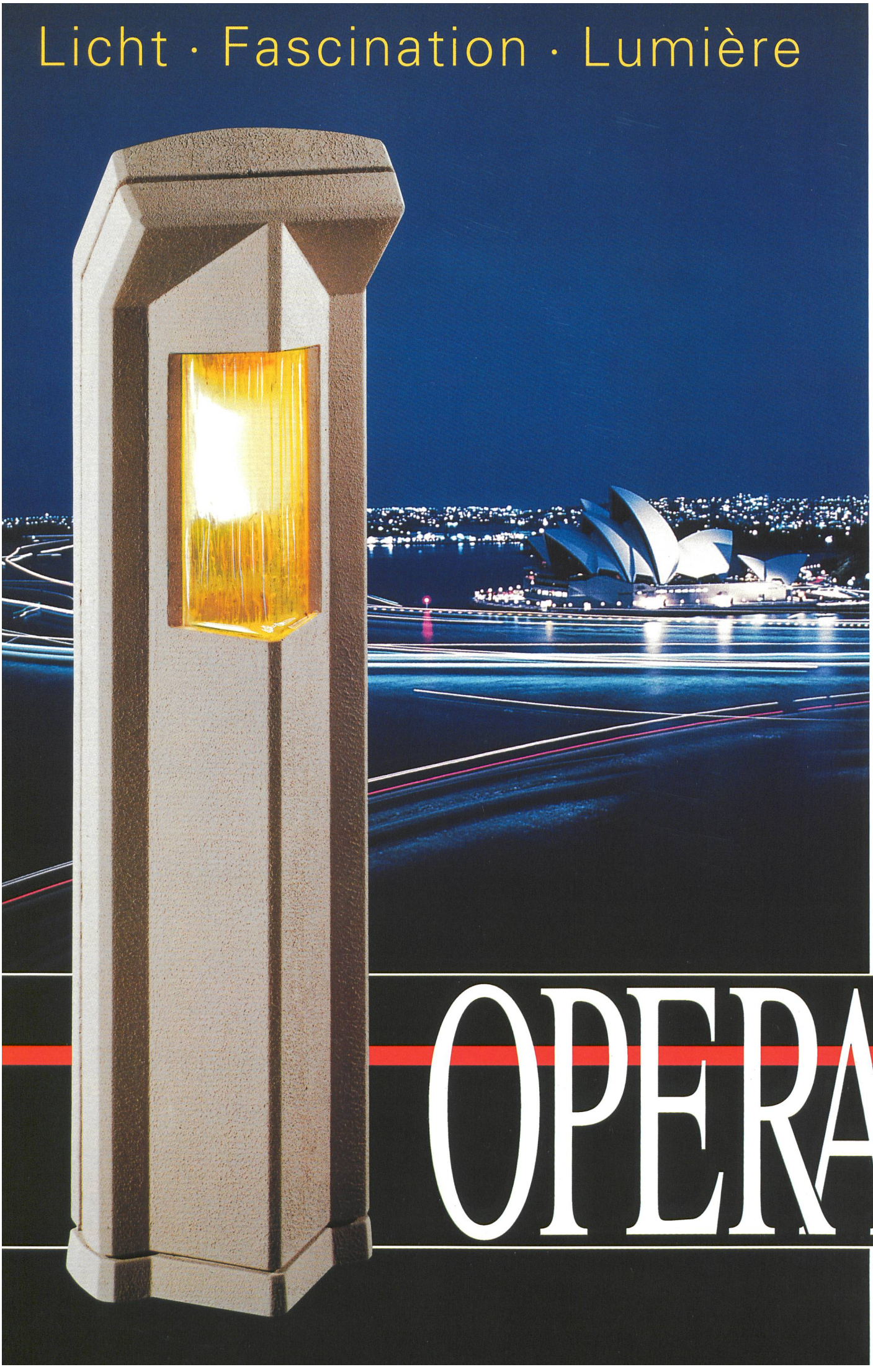
[9] *B. Ramamurthi, A. Gersho:* Classified Vector Quantization of Images, IEEE, Trans. on Communications 34(1986)11.

Progrès de la compression fractale des données-vidéo

Comment s'utilise la théorie des fractales pour la compression d'images numériques

L'importance de la compression des données-vidéo est mise en évidence quand on réalise qu'une seule image grise d'une grandeur de 10 · 10 cm², pour une résolution de 100 pixel/cm et 256 nuances de gris nécessite pas moins d'un MByte d'emplacement de mémoire si couteux. Etant donné qu'un nombre croissant de domaines – de l'imagerie tomographique par ordinateur à la visiophonie, en passant par les simulateurs de vol – produisent d'énormes quantités de données-vidéo, de gros efforts sont entrepris au niveau mondial pour réduire ces quantités de données par compression. En parallèle avec des méthodes plutôt conventionnelles, on poursuit le développement de méthodes nouvelles dans ce domaine. Une de ces méthodes est présentée ci-après qui s'occupe de la théorie des fractales et utilise des transformations contractantes et leurs attracteurs.

Licht · Fascination · Lumière



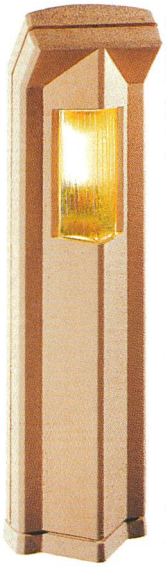
OPERA

Aussenleuchten · Luminaires d'extérieur · Lumi esteriori

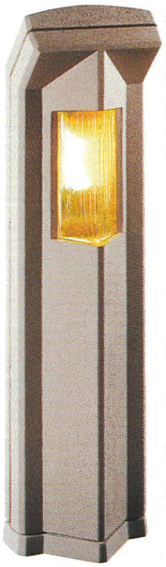
OPERA

Aussenleuchten
Luminaires d'extérieur
Lumi esteriori

Art. Nr. 301-1
weiss, blanc, bianco



Art. Nr. 301-2
lachs, saumon, salmone



Art. Nr. 301-3
zartlila, lilas ténu, lilla dolce

Art. Nr. 301-4
hellgrau, gris claire, grigio chiaro

Art. Nr. 301-5
dunkelgrau, gris foncé, grigio scuro

Art. Nr. 301-0
Ohne Farbanstrich, sans coloration, senza colorazione

*) Drucktechnische Abweichung der Farbwiedergabe und Änderungen vorbehalten.
Reproductions des couleurs sous toutes réserves de modification.
Riproduzioni di colori con riserva di modifiche tecnice.

Technische Daten, détails techniques, dati tecnici:

3-teilig, en 3 parties, a 3 pezzi

Gewicht, poids, peso 101 kg

Höhe, hauteur, altezza 118 cm
Breite, largeur, larghezza 31 cm
Tiefe, profondeur, profondità 23 cm

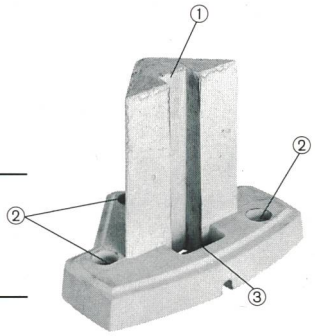
Typ A/301 250 V max. 75 W IP 23

SEV-geprüft
approuvé par l'ASE
approvato ASE

Fassung Typ E 27. Empfohlen sind alle Sparlampen mit Normalgewinde sowie normale Lampen.

Lampenglas Plexiglas XT: 10 Jahre Garantie, Lichtdurchlässigkeit nach DIN 92%, Temperaturen: Oberfläche bis 180 Grad, Zündtemperatur 430 Grad.

Verankerung In Beton eingelegte Gewindehülse, aufgespreizt, M 12, oder mit Hilti-Anker in Betonfundament 50 x 50 x 20 cm oder mit Hilti-Klebeanker M 12 (keine Sprenggefahr) oder mit Hilti-Schwerlastanker M 12 (Spreizanker).



① **Kabeldurchgang,** conduit de câble, buco del cavo, 45 x 25 mm
② **Sockelverankerung,** ancre du socle, ancoramento del'zoccolo
③ **Rückenteil-Führung,** conduit arrière, guida posteriore

Preise, prix, prezzi:

Mit Farbanstrich, coloré, colorato:	Fr. 798.–
Weitere Farben auf Anfrage. Mehrpreis je Auftrag:	
Autres couleurs sur demande. Supplément par ordre:	Fr. 111.–
Altri colori sù domanda. Sopraprezzo per ordine:	
Ohne Farbanstrich, sans coloration, senza colorazione:	Fr. 720.–

Lieferfrist ca. 3 Wochen.
Délais de livraison 3 semaines env.
Termine di consegna 3 settimane circa.

MUNOT-PRODUKTE AG, 8255 Schlattingen
Telefon 053 / 37 17 60 Fax 053 / 37 39 61