

DE 00010021282 B4

Anmeldeland: DE

Anmeldenummer: 10021282

Anmeldedatum: 02.05.2000

Veröffentlichungsdatum: 26.04.2007

Hauptklasse: H03M 7/30(2006.01,A)

MCD-Hauptklasse: H03M 7/30(2006.01,A)

CPC: H03M 7/30

ECLA: H03M 7/30

Entgegenhaltung (PL): DE 000019928985 A1

Entgegenhaltung (PL): JP 000H11163733 A

Entgegenhaltung (PL): JP 002000023157 A

Entgegenhaltung (NPL):Patent Abstracts of Japan & JP 11163733 A, 1999

Entgegenhaltung (NPL):Patent Abstracts of Japan & JP 2000023157 A, 2000

Entgegenhaltung (NPL):Patent Abstracts of Japan, JP 11163733 A, 1999, JPO

Entgegenhaltung (NPL):Patent Abstracts of Japan, JP 200023157 A, 2000, JPO

Entgegenhaltung (NPL):RABBINI,M., JONES,P.W.: Digital Image Compression Techniques. In: Tutorial Texts in Optical Engineering, Vol.TT7, Bellingham, Washington USA, third printing, 1991, S.175-181

Entgegenhaltung (NPL):SIMMERT,O., THIERSCHMANN,M., RÖSEL,R.: Prioritäts-codiertes Verfahren zur Datenkomprimierung. In: IK, Berlin 47, 1997, 2, S.39-42

Entgegenhaltung (NPL):TRIEBFÜRST,B., BRAUM,K., WERB,I.: Waveletbasierte Bildverarbeitung und Kompression als Tool bei der Ableitung von Karten städtischer Bebauungsstrukturen aus Landsat-TM-Aufnahmen. In: ZPF, 3, 1998, S.79-88

Erfinder: Greschenz, Günter, 64354 Reinheim, DE

Erfinder: Soliman, Michael, 64401 Groß-Bieberau, DE

Erfinder: Voß, Henning, 64354 Reinheim, DE

Anmelder: Soliman, Michael, 64401 Groß-Bieberau, DE

[DE]Verfahren und Vorrichtung zur Kompression und/oder Dekompression von Daten

Seite 1 --- ()

Seite 2 --- ()

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Kompression von Daten gemäß Anspruch 1 sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß Anspruch 14.

[0002] In der DE 199 28 985 A1 ist eine rekursive Online-Wavelet-Datenkompressionstechnik für die Verwendung bei der Datenspeicherung und bei Nachrichtenübermittlungen beschrieben. Ein Datenkompressionssystem enthält einen Datenempfänger, der die Datenpunkte in einer sequentiellen Weise empfängt und eine Kompressionsbaum-Berechnungsvorrichtung, die einen Kompressionsbaum aus den empfangenen Datenpunkten bestimmt, wobei der Kompressionsbaum Koeffizienten in einer Null-Ebenenschicht enthält, die dem Strom der Datenpunkte entsprechen und Koeffizienten in einer oder in mehreren höheren Ebenenschichten, die aus den Koeffizienten in der Null-Ebenenschicht bestimmt werden. Ferner ist ein Speicher vorgesehen, der die bestimmten Koeffizienten des Kompressionsbaumes speichert sowie ein Kompressionsdatengenerator, der einen untergeordneten Satz der bestimmten Koeffizienten auswählt, um einen Satz von komprimierten Daten entsprechend den empfangenen Datenpunkten zu erzeugen. Um eine Realzeit- oder Online-Datenkompression zur Verfügung zu stellen, ist vorgesehen, dass die Kompressionsbaum-Berechnungsvorrichtung einen der Koeffizienten von einer der höheren Ebenenschichten bestimmt, nachdem der Datenempfänger einen ersten der Datenpunkte empfangen hat, jedoch bevor der Datenempfänger einen zweiten der Datenpunkte empfängt. Mit anderen Worten werden die Daten unmittelbar nach Empfang komprimiert, ohne dass es einer Zwischenspeicherung von großen Mengen unkomprimierter Daten bedarf.

[0003] Ein Verfahren zum Komprimieren von Daten unter Verwendung eines Wavelet-Kompressionsbaumes umfasst nach dem Stand der Technik folgende Schritte: - Empfangen einer Folge von Datenpunkten, wobei nach dem Empfangen von jedem Datenpunkt (1) der Datenpunkt als ein Wert in einem momentanen Satz gespeichert wird (2) ein Punkt einer höheren Schicht in einem Baum rekursiv bestimmt wird, wenn der Punkt der höheren Schicht aus den Werten des momentanen Satzes bestimmt werden kann, (3) Durchführen eines Vergleichs für jeden bestimmten Punkt einer höheren Schicht von einem Fehlerwert, der dem Punkt der höheren Schicht zugeordnet ist, mit einem Schwellenwert, und (4) wenn der Fehlerwert kleiner ist als der Schwellenwert, (a) Speichern des Punktes der höheren Schicht als einen Wert in dem momentanen Satz, (b) Entfernen von irgendwelchen nicht benötigten Werten aus dem momentanen Satz und - Senden des momentanen Satzes als komprimierte Daten, wenn der Fehlerwert für irgendeinen Punkt einer höheren Schicht größer ist als der Schwellenwert.

[0004] Nach dem Stand der Technik ist weiterhin vorgesehen, dass Einheiten eines Prozessregelnetzwerkes jeweils eine Kompressions-/Dekompressionseinheit aufweisen, wobei komprimierte Daten über ein die Einheiten verbindendes Bussystem übertragen und in beispielsweise Auswerteeinheiten zunächst dekomprimiert werden müssen, um einer weiteren Analyse/Anzeige zur Verfügung zu stehen.

[0005] Dabei ist vorgesehen, dass die aus Hunderten von Millionen Messwerten bestehenden Archive erst komplett dekomprimiert werden, um sodann eine Übersicht zu erstellen. Insbesondere wird nach dem Stand der Technik die Dekompression von mehr als der dreifachen Menge der zu analysierenden Daten in einigen Fällen sogar die Dekompression aller Daten verlangt, was mit erheblichem Zeit- und Speicheraufwand verbunden ist.

[0006] Auch hat sich gezeigt, dass die Interpretation der Messdaten schwierig und für ungeübtes Personal nahezu unmöglich ist, wenn Datenquellen wie Sensoren (Messfühler, Vorverstärker, oder AD-Wandler oder Videokameras) eingesetzt werden, die eine Übertragungsfunktion mit einer nicht trivialen, nicht breitbandigen Struktur aufweisen.

[0007] Die JP 2000023157 A bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur codierten Bilddatengeneration. Um den Inhalt eines codierten Bildteils zu bestätigen, wird ein Wavelet-Codierungsverfahren verwendet, selbst dann, wenn man nicht mit der entsprechenden Anzeige ausgestattet ist. Original-Bilddaten werden in einen hoch auflösenden Raum transformiert und durch Wavelet-Transformation gestaffelt in ein Wavelet-Transformationsmittel, wobei die gestaffelten Bilddaten einer untersten Auflösung JPEG-Komprimiert in ein JPEG-Kompressionsmittel und komprimiert werden und erste codierte Bilddaten erhalten werden. Die hierarchischen Bilddaten der anderen Auflösungen werden wavelet-codiert in einem Wavelet-Codiermittel und zweite Codierbilddaten werden erhalten. In einem File-Erzeugungsmittel werden die ersten codierten Bilddaten am Kopf des Files aufgenommen. Die zweiten codierten Bilddaten werden danach aufgenommen und das codierte Bildfile wird generiert.

[0008] Die JP 11163733 A beschreibt ein Codierverfahren und eine Vorrichtung, um die Codierungsgeschwindigkeit durch Anwendung eines Baumkon

Seite 3 --- ()

struktionsmittels, welches eine Baumdarstellung von Koeffizienten konstruiert und einem Baumdecodiermittel, welche die Baumdarstellung decodiert, zu beschleunigen. Hierzu ist ein Koeffizienten-Codierer vorgesehen, welcher korrespondierende Daten abruf und codierte Daten ausgibt. Der Codierer umfasst ein Baumerzeugungs-Bauteil und einen Baumcodierer, welche zwei Hauptlogikblöcke darstellen. Das Bauteil liest die Koeffizientendaten in umgekehrter Reihenfolge und berechnet einen internen Knotenwert, während ein Koeffizientenwert in einem zugehörigen Platz des Baums gespeichert wird. Die Daten werden in einer Baumtabelle gespeichert. Der Codierer liest die konstruierte Baumtabelle abwärts von einem Wurzelknoten und kümmert sich um die Funktion, welche die Pixel in Übereinstimmung mit einem Set von Werten in dem internen Knotenpunkt codiert.

[0009] Die Veröffentlichung von RABBANI u. a.: "Digital Image Compression Techniques" in Tutorial Texts in Optical Engineering, Vol. TT 7, Bellingham, Washington USA, 1991, S. 175-181, zeigt das Prinzip einer zwei-dimensionalen Wavelet-Codierung für Bilder, bei welcher sämtliche Koeffizienten einer ersten Schicht wiederum erneut einschichtig wavelet-codiert werden.

[0010] Die Veröffentlichung von O. SIMMERT u. a.: "Prioritätscodiertes Verfahren zur Datenkomprimierung" in: IK, Berlin 47, 1997, S. 39-42, bezieht sich auf die Übertragung von Bildern in digitalen Netzen durch Komprimierung der Daten, wodurch die Übertragungskapazität erhöht werden kann. Hierbei ist u. a. auch ein Wavelet-Kompressionsverfahren angesprochen.

[0011] In dem Aufsatz von B. TRIEBFÜRST u. a.: "Waveletbasierte Bildverarbeitung und Kompression als Tool bei der Ableitung von Karten städtischer Bebauungsstrukturen als Landsat-TM-Aufnahmen", in: ZPF, 3, 1998, S. 79-88, wird ein Verfahren zur Kompression von Rasterdaten beschrieben. Insbesondere wird ein waveletbasiertes, verlustbehaftetes Verfahren vorgestellt und der dabei auftretende Informationsverlust anhand der Unterschiede, die sich bei der Klassifikation von Originaldaten und komprimierten Daten ergeben, bewertet.

[0012] Davon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der zuvor genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass eine einfache und schnelle Auswertung der komprimierten Daten ermöglicht wird. Ferner soll ein hohes Datenkompressionsverhältnis, d. h. ein Verhältnis des Umfangs an ohne bzw. mit Kompression zu archivierenden Daten erreicht werden.

[0013] Das Problem wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gelöst, das die folgenden Verfahrensmerkmale umfasst: - Empfangen einer Folge von Daten mit zumindest zwei Datenpunkten, - Speichern der Datenpunkte als momentan zu bearbeitender Satz, - Berechnung von Koeffizienten einer ersten Baumstruktur (Übersichtsbaum) aus den empfangenen Datenpunkten und Bestimmen von Schichten der ersten Baumstruktur (Übersichtsbaum), - Berechnung von Koeffizienten jeweils einer zweiten Baumstruktur (Kompressionsbaum) aus den Koeffizienten jeweils einer Schicht der ersten Baumstruktur (Übersichtsbaum) sowie Bestimmen von Schichten der zweiten Baumstrukturen (Kompressionsbäume), - Sortierung und Filterung der Koeffizienten der Schichten der zweiten Baumstrukturen (Kompressionsbaum), indem die wichtigsten Koeffizienten ermittelt und nur diejenigen wichtigen Koeffizienten derart ausgewählt werden, dass ein vorher eingestellter Fehler erreicht wird, wobei zur Fehlerbetrachtung die berechneten Baumstrukturen weder explizit noch implizit wieder dekomprimiert werden, - Speicherung derjenigen Koeffizienten der zweiten Baumstrukturen (Kompressionsbäume), die aufgrund der Sortierung und Filterung zur Rekonstruktion der empfangenen Folge von Daten geeignet sind.

[0014] Erfindungsgemäß zeigt sich, dass in jeder der zweiten Baumstrukturen, d. h. in jedem Kompressionsbaum, nur wenige Koeffizienten bedeutsam große Werte besitzen, wobei die meisten nahezu den Wert Null annehmen. Daraus ergeben sich die beiden wesentlichen Bedeutungen, der vorliegenden Erfindung, die zum Einen in einer guten Kompression (die meisten Koeffizienten nehmen nahezu den Wert Null an) zum anderen in der sehr effizienten Extraktion und Darstellung oft sehr großer Zeitausschnitte der gespeicherten Daten besteht, wobei entgegen der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahrensweise nur die relevante Information aus dem Archiv extrahiert wird. Hierbei findet das Nyquist'sche Abtasttheorem Anwendung, das aussagt, dass zur Reproduktion einer mit der Abtastrate f_s (Dgr;t ist die zwischen zwei Messungen vergangene Zeit) gemessene Datenfolge maximal L mal so viele Koeffizienten bezüglich eines vorgegebenen Satzes (Basis) von Funktionen notwendig sind, wie Datenpunkte in der Folge rekonstruiert werden sollen. Die Zahl L ist dabei eine kleine ganze Zahl größer oder gleich 2, die allein vom Satz der vorgegebenen Funktionen abhängt und z. B. im Falle der harmonischen Funktionen (Fourier-Transformation) den Wert $L = 2$ annimmt. Insbesondere ergibt sich der Vorteil, dass bei der erfindungsgemäßen Aufbereitung der komprimierten Daten höchstens dreimal so viele Koeffizien

Seite 4 --- ()

ten aus dem Archiv abgefragt werden müssen, wie Punkte angezeigt werden sollen.

[0015] In bevorzugter Ausführungsform wird die Berechnung der Koeffizienten anhand einer Wavelet-Transformation, vorzugsweise einer "schnellen Wavelet-Transformation", durchgeführt. Die schnelle Wavelet-Transformation ermöglicht einerseits, die Transformation auf beliebig großen Teilen der Messdaten auszuführen und andererseits, den für die Messdaten reservierten Speicherplatz für die Speicherung der Baumkoeffizienten weiterzuverwenden. Hierbei ist der Aufwand zur Wavelet-Transformation der Messdaten lediglich proportional zur Anzahl N der Messdaten, während er beispielsweise für die "schnelle Fourier-Transformation" proportional zum Produkt aus der Anzahl der Messdaten und dem Logarithmus aus der Anzahl der Messdaten ($\sim N \lg N$) also überproportional wächst. Zur Berechnung der Koeffizienten der ersten/oder zweiten Baumstruktur werden gleiche oder vorzugsweise unterschiedliche Wavelets verwendet. Dadurch wird der Vorteil erreicht, dass im Gegensatz zum Stand der Technik eine Quantisierung der ermittelten Koeffizienten überflüssig wird, wobei die mit der Quantisierung einhergehenden Artefakte in den komprimierten Messdaten entfallen. Beispielsweise werden zur Wavelet-Zerlegung ein "Haar-Wavelet" und/oder ein Wavelet der Klasse der Daubechies-Wavelets, beispielsweise das "Daubechies- D_2 -Wavelet" und/oder ein Wavelet der Klasse der Meyer-Wavelets verwendet.

[0016] Grundsätzlich wird bei einem Kompressionsverfahren die Kleinheit der meisten Koeffizienten ausgenutzt, wobei diese nicht berücksichtigt werden. Der durch die Nichtberücksichtigung entstehende Fehler kann jedoch kontrolliert werden, indem nur so viele Koeffizienten unberücksichtigt bleiben, dass eine zuvor gewählte Fehlergrenze (Norm) nur einen gewissen, akzeptablen prozentualen Fehler aufweist. Sind in den zweiten Baumstrukturen (Kompressionsbäumen) sehr viele kleine Koeffizienten enthalten, so wird der Kompressionseffekt sehr groß sein. Um dies zu erreichen, wird für jede Schicht der ersten Baumstruktur genau eine zweite Baumstruktur ermittelt, wobei die Schichten rekursiv ermittelt werden.

[0017] Erfindungsgemäß erfolgt eine a-priori-Fehlerkontrolle, wobei die Koeffizienten zunächst vollständig nach ihrer Wichtigkeit sortiert werden und wobei unter Berücksichtigung einer gegebenen Fehlergrenze, die bzgl. einer vorgegebenen Art, Fehler zu messen (Norm) festgelegt wurde, nur diejenigen (bei Wahl einer sog. l_p -Norm betragsgrößten) Koeffizienten aktiviert werden, die zur Rekonstruktion der Messdaten innerhalb der vorgegebenen Fehlergrenze notwendig sind. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass keine Rekursion, teilweise Rücktransformation, Quantisierung oder eine Wiedereinsortierung in die Kompressions-Baumstrukturen stattfindet, sondern nur eine direkte Speicherung in das Archiv. Da eine Quantisierung überflüssig ist, entfallen auch die mit einer Quantisierung einhergehenden, oft erheblichen Artefakte in den komprimierten Messdaten. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es nicht unbedingt notwendig, einen quantitativen Vergleich der Koeffizienten durchzuführen, was eine Kenntnis der Größe der zu vergleichenden Koeffizienten voraussetzt, sondern es reicht ein qualitativer Vergleich, der nur die binäre Entscheidung trifft, ob ein erster Koeffizient größer ist als ein zweiter Koeffizient. Anhand der Platzierung der sortierten Koeffizienten in der Speichereinheit einer Baumstruktur kann eine Toleranzschwellen-Entscheidung getroffen werden.

[0018] Gemäß einer bevorzugten Verfahrensweise der Erfindung werden zur Darstellung der Messpunkte genau diejenigen Koeffizienten aus dem Archiv extrahiert, die notwendig sind, um eine vorher eingestellte Darstellungsgenauigkeit zu erreichen. Dadurch wird erreicht, dass die Erstellung einer Analysenübersicht vollständig auf den komprimierten Daten bzw. Koeffizienten basiert. Es ist somit nicht notwendig, sehr große Datenmengen aus dem Archiv zu extrahieren, zu dekomprimieren und anschließend die nicht in das Ergebnis eingegangene, sehr große Informationsmenge zu verwerfen, um die geforderte Darstellungsgenauigkeit zu erreichen. Erfindungsgemäß wird anhand der Verallgemeinerung des Nyquist'schen Abtasttheorems sowie der Unschärfe-Relation auf Wavelets ermittelt, welche Koeffizienten extrahiert werden sollen.

[0019] Zur Auswertung der komprimierten Daten wird zunächst ein Zeitraum festgelegt und eine Anzahl von Datenpunkten ausgewählt, über die oder mit denen eine Darstellung erfolgen soll bzw. eine äquivalente Festlegung getroffen. Anhand dieser Angaben wird bestimmt, welche Koeffizienten aus dem Archiv extrahiert werden müssen, um die gewünschte Übersicht zu erstellen. Als besonderer Vorteil ist zu erwähnen, dass die Anzahl der aus dem Speicher/Archiv auslesbaren Koeffizienten schwächer als quadratisch mit der Anzahl der für die Auswertung benötigten Datenpunkte wächst. Gemäß einer bevorzugten Verfahrensweise der Erfindung wird die Anzahl der zu extrahierenden Koeffizienten höchstens ein kleines ganzzahliges Vielfaches L von der Anzahl $N = \frac{(t_2 - t_1)}{\Delta t}$ (mit t_1 und t_2 als Start- bzw. Endzeit und Δt als Intervall der Darstellung), der für die Übersichtenerstellung, d.h. Auswertung durch Interpolation, benötigten Koeffizienten sein. Dabei bezeichnet die obere Gaußklammer $\#\#$ die nächstgrößere ganze Zahl zu einer beliebigen reellen Zahl.

[0020] Schließlich erfolgt eine Dekompression und/oder Transformation der extrahierten Koeffizienten aus ihrer Darstellung bezüglich der in der ersten und/oder zweiten Baumstruktur gewählten ersten

Seite 5 --- ()

und zweiten Wavelets in eine Darstellung bezüglich eines dritten Wavelets, das der gewünschten Interpolationsaufgabe angepasst ist.

[0021] Mit anderen Worten erfolgt eine Dekompression in zwei Stufen, wobei in einer ersten Stufe die, vorzugsweise unter Anwendung des Nyquist'schen Abtasttheorems ermittelten, extrahierten Koeffizienten bezüglich des in der zweiten Baumstruktur vorgewählten zweiten Wavelets zurücktransformiert werden und wobei in einer zweiten Stufe die Koeffizienten der im ersten Schritt bestimmten ersten Baumstrukturen bezüglich des ersten Wavelets zurücktransformiert und so ein auf die gewünschte Darstellungsgenauigkeit zurückgerechneter Ausschnitt der ursprünglich aufgenommenen Datenwerte bestimmt werden kann.

[0022] Die Möglichkeit der eindeutigen Rückrechnung der Ursprungsdaten einer Wavelet-Transformation erlaubt es, auch durch Hintereinanderschaltung geeigneter Vorrichtungen eine schnelle Transformation vorzunehmen. Wird eine Transformation vorgenommen, deren zugrunde liegendes Wavelet die gewünschten Interpolationseigenschaften besitzt, so können Interpolation und Dekompression durch ein- und dieselbe Baugruppe sehr effizient vorgenommen und die resultierenden Interpolationskoeffizienten als Interpolation dargestellt werden.

[0023] Bei begrenzter Bandbreite eines Übertragungskanals besteht die Notwendigkeit, bereits nach der Übermittlung sehr weniger (Interpolations-)Koeffizienten eine grobe Voransicht zur Verfügung zu stellen, und diese zu verfeinern, sobald die weiteren Koeffizienten übertragen werden.

[0024] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass eine Korrektur der Messwerte gegen unerwünschte (Signal-) Übertragungsfunktions-Artefakte durchgeführt wird, wobei die der ersten Baumstruktur und/oder zweiten Baumstruktur zu Grunde liegenden ersten und/oder zweiten Wavelets den Spektraleigenschaften und/oder differentiellen Spektraleigenschaften der zu erfassenden Messwerte angepasst werden. Als Spektraleigenschaft bzw. Spektralstruktur einer Messapparatur bezeichnet man die Lage und Ausprägung der verschiedenen Verstärkungsfaktoren, mit denen die Messapparatur gewisse grundlegende Signalverläufe belegt. Die grundlegenden Signalverläufe sind dabei diejenigen, die von der Messapparatur nur um einen, eventuell einstellbaren Faktor verstärkt, jedoch nicht verzerrt oder in ihrer Bauform verändert werden. Für Messapparaturen, die keine Sättigungserscheinungen zeigen, d. h. linear arbeiten und keine Reflektion an ihren Eingängen vornehmen, die gespeichert werden und spätere Ereignisse beeinflussen, sind dies die harmonischen Fourierfunktionen. Ihre Spektralstruktur ist in diesem Fall ihre fouriertransformierte Übertragungsfunktion. In Anlehnung an ein Prisma als optische Messapparatur werden die Lage und Ausprägung der Verstärkungsfaktoren oft als Spektrallinien bezeichnet. Wegen ihrer physikalisch bedingten Unschärfe treten Spektral- "Linien" nicht als Linien, sondern als mehr oder weniger breite Formen in Erscheinung. Als differentielle Spektralstruktur bzw. differentielle Spektraleigenschaft einer Messapparatur bezeichnet man die Form ihrer Spektrallinien.

[0025] Aus der Signaltheorie ist bekannt, dass das Spektralverhalten eines Sensors über die in seinen Signalen enthaltenden Informationen in Form seiner Übertragungsfunktion (sogar vollständig) Auskunft gibt. Die gute Anpassung einer Kompressionsvorrichtung an die Spektralstruktur einer daran angeschlossenen Datenquelle ist daher eine Voraussetzung sowohl für das Erreichen hoher Kompressionsfaktoren als auch für die Korrektur der Messwerte gegen unerwünschte Übertragungsfunktions-Artefakte.

[0026] Insbesondere ist das erfindungsgemäße Verfahren in der Lage, beliebig viele Datenerfassungssysteme vollständig asynchron zu überwachen, ihre Daten zu komprimieren und zu archivieren und eine Datenanalyse vorzugsweise an separaten Stationen durchzuführen, wobei erfindungsgemäß nicht mehr als dreimal so viel Zugriffe auf ein Archiv bzw. eine Bibliothek auszuführen sind, wie Interpolationsstützstellen für die Erstellung einer Analysenübersicht erforderlich sind.

[0027] Eine Vorrichtung zur Lösung des Problems zeichnet sich aus durch:

- einen Empfänger mit Zwischenspeicher zum Empfang und zur Speicherung der empfangenen Daten, - eine erste Berechnungseinheit zur Berechnung von Koeffizienten einer ersten Baumstruktur aus den empfangenen Datenpunkten, - eine erste Speichereinheit zur Speicherung der Koeffizienten der ersten Baumstruktur, - eine zweite Berechnungseinheit zur Berechnung von Koeffizienten einer zweiten Baumstruktur aus den Koeffizienten der ersten Baumstruktur, - eine zweite Speichereinheit zur Speicherung der Koeffizienten der zweiten Baumstrukturen, - eine Sortier- und/oder Filtereinheit zur Sortierung und/oder Filterung der Koeffizienten der zweiten Baumstrukturen und - ein Archiv zur Speicherung der sortierten und gefilterten Koeffizienten der zweiten Baumstrukturen als komprimierte Daten.

[0028] Um ein asynchrones, Vielkanal-Messwerte-Erfassungs-, Archivierungs- und Auswertesystem zur Verfügung zu stellen, ist vorgesehen, dass der

Seite 6 --- ()

Empfänger mit einer Vielzahl von Datenquellen, wie Sensoren oder Videokameras verbunden ist. Insbesondere findet eine Unterscheidung in quantitative (Sortiereinheit) und qualitative Entscheidungseinheit/Filtereinheit statt.

[0029] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung sieht vor, dass diese eine Spektralanalyseeinheit enthält, die eingangsseitig mit der ersten und/oder zweiten Speichereinheit und ausgangsseitig mit der Sortier- und/oder Filtereinheit verbunden ist. Mittels der Spektralanalyseeinheit kann eine Spektralanalyse der Koeffizienten inklusive Korrektur gegen unerwünschte Übertragungsfunktions-Artefakte der Sensoren durchgeführt werden.

[0030] Um einer Vielzahl von Benutzern den Zugriff auf die komprimierten Daten zu ermöglichen, ist vorgesehen, dass an dem Archiv eine Vielzahl von Auswertungseinheiten angeschlossen ist. Dabei kann es sich um beliebig viele Auswertungseinheiten handeln, die Analysenübersichten erstellen. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Auswertungseinheit umfasst:

- einen Empfänger für die im Archiv gespeicherten Koeffizienten, - eine mit dem Empfänger verbundene Dekompressions-/Rücktransformationseinheit, - eine Anzeigeeinheit, - einen zwischen Dekompressions- und/oder Rücktransformationseinheit und Anzeigeeinheit angeordneten Zwischenspeicher und - eine Auswahleinheit zur Bestimmung eines anzugebenden Bereichs der darzustellenden Daten.

[0031] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen - für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von den Zeichnungen zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispielen.

[0032] Es zeigen:

[0033] Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Datenerfassungs-, Kompressions- und Auswerteeinheit,

[0034] Fig. 2 eine aus Messpunkten zusammengesetzte Messkurve,

[0035] Fig. 3 eine Baumstruktur einer Wavelet-Transformation, die sowohl die Struktur der Bäume wiedergibt, die im Folgenden für die erste Transformation "Übersichtsbaum" bzw. für die zweite Transformation "Kompressionsbaum" genannt werden,

[0036] Fig. 4 eine Grafik zur Verdeutlichung der sukzessiven Entfernung von Detailinformation aus einer Messreihe, wobei die einzelnen Detailinformationen in Form von sog. Schichten gespeichert werden,

[0037] Fig. 5a-d Beispiel einer Kompression mittels Wavelet-Zerlegung, unter Verwendung des Haar'schen Wavelets,

[0038] Fig. 6 eine grafische Darstellung der Konzentration der Intensität der Koeffizienten eines stetigen Signals bei Zerlegung in einen Übersichtsbaum (senkrecht Dreieck) und Kompressionsbäume (waagrecht Dreiecke, wobei zur besseren Übersicht nur drei, willkürlich herausgegriffene, Dreiecke dargestellt wurden),

[0039] Fig. 7 eine logarithmische Darstellung des Betrages der Übersichtsbaum-Koeffizienten der Temperatur gemäß Kurve in Fig. 2,

[0040] Fig. 8 eine logarithmische Darstellung des Betrages der Kompressionsbaum-Koeffizienten zu den Koeffizienten des Übersichtsbaumes gemäß Fig. 7,

[0041] Fig. 9 Beispiel einer Dekompression mittels Wavelet-Zerlegung,

[0042] Fig. 10a eine grafische Darstellung des Daubechies-Wavelets der Ordnung 2 und

[0043] Fig. 10b eine grafische Darstellung eines Ausschnittes des Daubechies-Wavelets gemäß Fig. 10a.

[0044] Fig. 1 zeigt ein Blockschaltbild einer Vorrichtung 10 zur Erfassung, Kompression sowie Auswertung von Daten, die von einer Vielzahl von Datenquellen 12.1 ... 12.N wie beispielsweise Sensoren zur Verfügung gestellt werden. Die Sensoren 12.1 ... 12.N sind mit einem Empfänger mit Zwischenspeicher 14 verbunden, in dem die von den Sensoren 12.1 ... 12.N zur Verfügung gestellten Daten zwischengespeichert werden. Dabei können beliebig viele sequentielle Sensoren 12.1 ... 12.N asynchron an den Zwischenspeicher 14 angeschlossen werden. Der Zwischenspeicher 14 ist mit einer Kompressions- und Spektralanalysevorrichtung 16 verbunden, in der eine Kompression und/oder eine Spektralanalyse der empfangenen Daten durchgeführt wird. Schließlich ist ein Archiv 18 vorgesehen, in dem die komprimierten und gegebenenfalls spektral korrigierten Daten abgelegt bzw. gespeichert werden. An das Archiv 18 sind eine Vielzahl von Auswerteeinheiten 20.1 ... 20.N angeschlossen, durch die beispielsweise Analysenübersichten wie grafische Darstellungen der aufgenommenen Daten darstellbar sind.

[0045] Die Kompressions- und Spektralanalysevor

Seite 7 --- ()

richtung 16 umfasst eine erste Berechnungseinheit 22 sowie eine erste Speichereinheit 23 zur Berechnung und Speicherung einer ersten Baumstruktur wie Übersichtsbaum, der eine zweite Berechnungseinheit 24 mit einer zweiten Speichereinheit 25 zur Berechnung und Speicherung einer zweiten Baumstruktur wie Kompressionsbaum nachgeordnet ist. Die Speichereinheiten 23, 25 sind mit einem Spektralanalysator 26 verbunden. Ein Ausgang der zweiten Speichereinheit 25 sowie des Spektralanalysators 26 ist mit einer Sortier- und Filtereinheit 28 verbunden, deren Ausgang mit einem Eingang des Archivs 18 verbunden ist.

[0046] Die Auswerteeinheit 20.1 ... 20.N umfasst einen Empfänger 30, der über ein Datenübertragungsmedium wie Bussystem mit dem Archiv 18 verbunden ist. Findet die Datenerfassung in Örtlichkeiten ohne elektromagnetische Emissionen statt, deren Intensität elektrische oder elektronische Installationen zu stören vermag, z. B. in einer medizinischen Einrichtung, so sind handelsübliche elektrische, für diesen Zweck konzipierte Leitungen zur Datenweiterleitung ausreichend. Findet die Datenerfassung jedoch in industriellen Anlagen statt, so sind aufgrund der oft starken elektromagnetischen Emissionen jedoch bevorzugt Leitungen auf der Basis von Lichtwellenleitern (LWL) oder, sofern die Luft als Übertragungsmedium dient, Übertragungstechnologien einzusetzen, deren Übertragungsmoden eventuell sehr breitbandig sind, wie beispielsweise Spread-Spectrum-Technologie, Puls-Code-Modulation oder ähnliche. Der Empfänger 30 ist ausgangsseitig mit einer Dekompressionseinheit 32 verbunden, die über einen Anzeigezwischenspeicher 34 mit einem Analysenanzeigesystem 36 verbunden ist. Das Analysenanzeigesystem 36 ist seinerseits mit einer Bereichswahleinheit 8 verbunden, die über das Datenübertragungsmedium Zugriff auf das Archiv 18 hat.

[0047] In der Kompressions- und Spektralanalysevorrichtung 16 wird eine Kompression und gegebenenfalls eine Spektralanalyse der zu einem beliebig festlegbaren eventuell an weitere Bedingungen geknüpften Zeitpunkt in dem Zwischenspeicher vorliegenden Daten durchgeführt.

[0048] Kompression bedeutet die Auslassung überflüssiger Informationen, die im Folgenden "Details" genannt werden, aus einer Messwertreihe 40 gemäß Fig. 2, die aus Messwerten vom selben Typ wie beispielsweise der Temperatur eines Kessels oder dem Oberflächenpotential eines Herzmuskels usw. besteht. Die Auslassung der Details geschieht in zwei Schritten, wobei zunächst die Details bestimmt werden und anschließend eine Bewertung ihrer Relevanz erfolgt, wonach irrelevante Details ausgelassen werden. Üblicherweise werden die Details bestimmt bzw. gemessen, indem die Messwertreihe 40 in Einheiten von Funktionen (Wavelets) zerlegt wird, die geeignet sind, die gewünschten Details zu repräsentieren. Da Wavelets im Wesentlichen Funktionen mit Mittelwert Null sind, können diese zur Representation von Details beliebiger Lage und Größe nach geeigneter Verschiebung bzw. Stauchung/Streckung des Wavelets herangezogen werden.

[0049] Zur Bewertung der Relevanz wird ein Maßbegriff zur quantitativen Bewertung von Unterschieden (z.B. auf Grund von durch Interpolation, Kompression oder Quantisierung verursachten Fehlern) zwischen der Representation der Messwertreihe und der Messwertreihe 40 selbst herangezogen, der im Folgenden "Norm" genannt wird. Ein Detail gilt als irrelevant, wenn der durch die Auslassung nach Massgabe dieser Norm entstehende Unterschied zwischen Messwertreihe 40 und Representation der Messwertreihe eine gewisse vorgegebene Toleranzschwelle unterschreitet. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die sog. Energienorm oder auch Euklidische Norm, bzw. l_2 -Norm $\|f\|_2$ einer Funktion f bzw. der Koeffizienten $(c_k)_{k \in \mathbb{N}}$ ihrer Messwertreihe:

[0050] Dabei ist es nicht unbedingt notwendig, einen konkreten Vergleich vorzunehmen, sondern es kann die Sortiereinheit 28 der Kompressions- und Spektralanalysevorrichtung 16 verwendet werden, um allein anhand der Platzierung von bei der Zerlegung der Funktion ermittelten Koeffizienten in der sortierten Representation die Toleranzschwellenentscheidung zu treffen. Mit anderen Worten findet, vorzugsweise, kein quantitativer Vergleich, der eine Kenntnis der Größe der zu vergleichenden Kurve voraussetzt, statt, sondern nur ein qualitativer Vergleich, der nur die binäre Entscheidung betrifft, ob Koeffizient 1 größer ist als Koeffizient 2.

[0051] Als Koeffizient wird in diesem Zusammenhang die numerische Ausprägung eines Wertes zum Zweck der Darstellung eines oder einer Reihe von Messwerten bezeichnet. Messwerte können zwar zu beliebigen Zeiten gemessen werden, werden tatsächlich jedoch immer nur zu wenigen Zeiten, zeitlich punktuell gemessen. Stellt sich die Frage, wie die Messwerte zu den nicht in der Messung berücksichtigten Zeiten aussehen würden, so wird jedem zeitlich-punktuell angenommenen Messwert ein zugehöriger Verlauf (die sog. Übertragungsfunktion) zugeordnet, wobei die Gesamtheit aller "Verläufe" als Basis bezeichnet wird. Fügt man sämtliche "Verläufe" multipliziert mit ihren zugehörigen Messwerten wieder zusammen, so ergibt sich ein kontinuierlicher Gesamtverlauf, wobei man die einem gewissen Problem angemessene Basis von "Verläufen", die die in den Messwerten enthaltene Information wiedergibt und sich auch bei zeitlich unendlich feiner Messung ergeben würde, "Spektralzerlegung" nennt.

Seite 8 --- ()

[0052] Erfindungsgemäß erfolgt in der ersten Berechnungseinheit 22 eine erste Wavelet-Zerlegung, wobei die dabei ermittelten Koeffizienten nach Art einer Übersichtsbaumstruktur 42 gemäß **Fig. 3** in die Übersichtsbaumstruktur-Speichereinheit 23 eingefügt werden. Erfindungsgemäß erfolgt in der zweiten Berechnungseinheit 24 eine zweite Wavelet-Zerlegung der ersten Wavelet-Zerlegung, deren Koeffizienten gemäß einer Kompressionsbaumstruktur 44, die der Übersichtsbaumstruktur 42 entspricht, in den Kompressionsbaum-Strukturspeicher 25 einsortiert werden.

[0053] Vorzugsweise handelt es sich bei der Wavelet-Transformation um die sogenannte "schnelle Wavelet-Transformation", mit der einerseits die Möglichkeit gegeben ist, die Transformation auf beliebig großen Teilen der Messdaten auszuführen und die andererseits erlaubt, den für die Messdaten reservierten Speicherplatz für die Speicherung der Koeffizienten des Übersichtsbaumes 42 und/oder des Kompressionsbaumes 44 weiter zu verwenden. Wie zuvor erwähnt, werden erfindungsgemäß zuerst der Übersichtsbaum 42 und danach der Kompressionsbaum 44 berechnet und abgespeichert. Ein Algorithmus zur Erstellung der beiden Baumtypen 42, 44 ist bis auf die Wahl der zu Grunde liegenden Wavelets identisch.

[0054] Ein Schema zur Verdeutlichung der Konstruktion von Schichten der Baumstrukturen 42, 44, das einer sukzessiven Entfernung von Detailinformationen aus einer Messreihe entspricht, ist in **Fig. 4** dargestellt. Bei Verwendung der "schnellen Wavelet-Transformation" werden in einer untersten Schicht (Schicht Null) 46 zunächst die Originaldaten eingetragen. In einer ersten Schicht 48 werden von den Original-Messdaten abgesplittete Details 50 sowie übrig bleibende Messwerte 52 gespeichert. Die Mittelwerte (Messreihe ohne Details) 52 werden als Eingangsdaten für eine nächsthöhere Schicht 54 verwendet, die wiederum Details 56 der Mittelwerte 52 der vorhergehenden Schicht sowie übrig gebliebene Mittelwerte 58 enthält. Dabei werden von Schicht zu Schicht die Details jeweils doppelt so groß.

[0055] Die Wavelet-Transformation endet, wenn die Details eine vorher vorgewählte Größe erreicht haben, oder wenn eine Schicht weniger als M-Koeffizienten enthält, wobei das Wavelet durch M-Koeffizienten festgelegt ist. Zwar ist dieses Kriterium, die Transformation zu beenden, das meist verwendete, jedoch keineswegs zwingend. Ohne die Integrität der Messreihe 46 zu verletzen, kann sie mit Null-Daten so aufgefüllt werden, dass in jeder Schicht mehr als M-Koeffizienten übrigbleiben.

[0056] Die Konstruktion des Übersichtsbaumes 42 sowie des Kompressionsbaumes 44 kann vorzugsweise rekursiv durchgeführt werden. Dazu werden zunächst die Details 50 größtmöglicher Feinheit von dem Satz Messdaten 46 abgesplittet, die der Zwischenspeicher 14 geliefert hat, und zusammen mit den übrig gebliebenen Mittelwerten 52 in denselben Speicherstellen abgespeichert, die vorher die Messdaten 46 belegten. Die Rekursion besteht darin, den entstandenen Mittelwerten 52, 58 die Rolle der Messdaten zukommen zu lassen und wieder Details abzuspalten und zusammen mit den übrig gebliebenen Mittelwerten anstelle dieser Mittelwerte zu speichern. Das bedeutet jedoch nicht, dass die Kontrolle des durch die Kompression entstehenden Fehlers eine Rekursion erfordert, in der die Auslassung oder Veränderung von Koeffizienten zur Kompression immer wieder, z. B. durch Dekompression, überprüft und gegebenenfalls verworfen wird. Auch wenn diese Vorgehensweise üblich ist, so wird sie im Rahmen dieser Erfindung durch die zweistufige Zerlegung der Messdaten in einen Übersichtsbaum und mehrere Kompressionsbäume überflüssig.

[0057] Erfindungsgemäß wird jeder in dem Übersichtsbaum 42 und/oder Kompressionsbaum enthaltene Messzeit, zu einer gehörige Wavelet-Koeffizient in Form eines Tripels aus seiner Schichtnummer, seiner Messzeit und dem eigentlichen Koeffizientenwert gespeichert. Dabei erfolgt die Konstruktion und Speicherung des Übersichtsbaumes 42 und/oder des Kompressionsbaumes, indem zunächst die ersten $M + 1$ Messdaten-Koeffizienten (Messwerte) in internen Speicherplätzen der Übersichtsbaumstruktur-Speichereinheit 23 und/oder der Kompressionsbaumstruktur-Speichereinheit 25 abgelegt werden, wobei M die zur Darstellung des gewählten Wavelets notwendige Anzahl an Wavelet-Koeffizienten ist. Sodann wird der Detail-Koeffizient 50 sowie der Mittelwerte-Koeffizient 52 berechnet und in den Speicherplätzen der ersten beiden Messdaten abgelegt. Diese werden dadurch zwar überschrieben, können jedoch jederzeit rekonstruiert werden. In jedem weiteren Schritt werden die verbleibenden $M - 1$ - Koeffizienten durch zwei neue Koeffizienten ergänzt und die im vorhergehenden Punkt beschriebene Verfahrensweise wiederholt. Auf diese Art und Weise werden nur $3(M + 1) - 2$ Speicherplätze mehr benötigt, als Messwerte aus der Zwischenspeichereinheit gelesen wurden. Die Zahl $3(M + 1) - 2$ resultiert erstens von den $M + 1$ internen Speicherplätzen und zweitens von je $M - 1$ am linken und rechten Rande einer Ebenschicht übrigbleibenden Koeffizienten, die die Randeffekte aufnehmen, die beispielsweise in der 2d-Fourier-Transformation die bekannten sternförmigen Randartefakte erzeugen.

[0058] Bei bekannten Wavelet-Kompressionsverfahren werden die in dem Übersichtsbaum 42 vorkommenden Koeffizienten auf möglichst wenige, häufig vorkommende Zahlenwerte, sogenannte Quantisierungsniveaus gerundet bzw. quantisiert. Durch geeignete Wahl des Quantisierungsniveaus

Seite 9 --- ()

sowie ihrer Anzahl lässt sich die Kompression steuern, was jedoch mit Schwierigkeiten verbunden ist, da in der Praxis oft nicht nur waagerechte/echte Plateaus auftreten, sondern auch nicht-linear ansteigende oder gekrümmte Plateaus. Die beschriebene Quantisierung wird diese Plateaus in waagerechte Segmente pixeln, obwohl dies nicht notwendig wäre, da sich Wavelets hervorragend zur Interpolation eignen. Wird nur ein Quantisierungsniveau verwendet, so ist die Representation der Messwertreihe lediglich eine Konstante, deren Wert den Mittelwert der Messwertreihe annimmt; die Kompression ist maximal, wobei nur drei Werte, Anfang und Ende der Funktion und der Koeffizientenwert gespeichert werden müssen. Wird jeder vorkommende Koeffizientenwert als Quantisierungsniveau verwendet, so ist die Representation der Messwertreihe zwar genau, aber es liegt in der Praxis keine Kompression vor.

[0059] Gemäß einem wesentlichen Erfindungsgedanken erfolgt daher die zweite Wavelet-Transformation, wobei sozusagen über dem Übersichtsbaum 42 der Kompressionsbäume 44 berechnet bzw. aufgestellt wird. Mit anderen Worten wird jede Schicht 50, 56, 58 des Übersichtsbaums 42 noch einmal in einen "Übersichts-Übersichts-Baum" zerlegt, der hier mit Kompressionsbaum 44 bezeichnet wird. Erfindungsgemäß zeigt sich, dass in jedem Kompressionsbaum 44 nur wenige Koeffizienten bedeutsam große Werte besitzen und die meisten fast den Wert Null annehmen. Der Kompressionsbaum 44 selbst enthält die abgesplitteten Details 50, 56 sowie eine Schicht von den übrig gebliebenen Mittelwerten 58.

[0060] Am Beispiel der in **Fig. 5a** dargestellten Funktion 64 soll beispielhaft eine Wavelet-Zerlegung beschrieben werden. Die Funktion 64 besteht aus vier Blöcken 66, 68, 70, 72, die mit Hilfe des in **Fig. 5b** dargestellten Wavelets 74, einem sogenannten Haar-Wavelet, in Details und Mittelwerte zerlegt werden soll (Block 66 besitzt die Höhe Null). Das Wavelet 74 weist zwei Blöcke 76, 78 auf, deren Größe mit dem Wert 1 angenommen wird, so dass zwei Exemplare, d. h. Paare von Blöcken 76, 78 der Funktion 74 in die zu zerlegende Funktion 64 eingepasst werden können, wie dies gemäß **Fig. 5c** dargestellt ist. Die Einpassung (Halbierung der Länge und Höhe sowie geeignete Verschiebung) des Haar-Wavelets 74 in eine rechte Hälfte der Funktion 64 ist in **Fig. 5c** dargestellt, wobei ein Detail grafisch als Höhenunterschied des überstehenden Teils eines rechten

Blockes 80 über einen linken Block 80 ermittelt wird. Daraus ergibt sich ein Detail $d_i = (9 - 4)/2 = 2,5$. **Fig. 5d** veranschaulicht die Berechnung des Mittelwertes, der grafisch durch das Umklappen des überstehenden Teils 82 des rechten Blockes ermittelt wird, wobei sich ein Mittelwert $m_r = (9 + 4)/2 = 6,5$ ergibt.

[0061] Desgleichen ergeben sich ein Mittelwert und ein Detail für die linken Blöcke 66 , 68 der Funktion 64 , d. h. eine Funktion aus 4 Blöcken 66 ... 72 kann in zwei Mittelwerte und zwei Details zerlegt werden. Wie in **Fig. 3** dargestellt, werden die Details beispielsweise in Schicht 1 des Übersichtsbaums 44 abgespeichert, wobei die Mittelwerte nochmals in ein Detail in Schicht 2 sowie einen Mittelwert in Schicht 3 zerlegt werden. Insgesamt erhält man einen Mittelwert und drei Details. In diesem Beispiel zeigt sich, dass das Detail d_i der linken Blöcke 66 , 68 mit $d_i = (1 - 0)/2 = 0,5$ wesentlich kleiner ist als das Detail d_i der rechten Blöcke 70 , 72 . Sofern es bezüglich einer vorgegebenen Toleranz akzeptabel ist, die beiden linken Blöcke 66 , 68 durch einen großen Block der Höhe 0,5 zu ersetzen, kann d_i Null gesetzt werden, ohne die Funktion wesentlich zu verändern.

[0062] Schließlich wird den Details d_i und d_r eine Messzeit zugeordnet, zu der diese zum ersten Mal einen Wert ungleich Null annehmen. Im beschriebenen Fall wird beispielsweise dem Detail d_i die Messzeit $1/2$ und dem Detail d_r die Messzeit Null zugeordnet. Allgemein gehört ein Detail d_i zu der Messzeit $t_{\text{Detail}} = \#t_{\text{min. berücksichtigter Messpunkt}}/(2^{\text{st}}\#)$, wenn die kleinste in seine Berechnung eingegangene Messzeit $t_{\text{min. berücksichtigter Messpunkt}}$ s seine Schichtnummer und Δt die zwischen zwei Messungen vergangene Zeit sind, wobei die unteren Gaußklammern $\#$ die nächstkleinere ganze Zahl zu einer beliebigen reellen Zahl bezeichnet.

[0063] Die beschriebene Wavelet-Zerlegung basiert auf dem allgemeinen Prinzip, die Koeffizienten einer zu zerlegenden Funktion, wie beispielsweise der Messreihe 40 gemäß **Fig. 2** oder der Beispielfunktion 64 gemäß **Fig. 5a** in Zweiergruppen einzuteilen und ein gewichtetes Mittel über sie und im allgemeinen noch weitere Koeffizienten zu berechnen.

[0064] Sind die zu zerlegende Funktion in Form der Koeffizienten c_k (für $k = 0, \dots, N$), ihre Details durch die Koeffizienten d_k , das Wavelet in Form der Koeffizienten g_l (für $l = 2 - M, \dots, 1$, d. h. M Koeffizienten bestimmen das Wavelet) und seine zugehörige Mittelwertbestimmungsfunktion (die sog. Skalierungsfunktion) in Form der Koeffizienten h_l (für $l = 0, \dots, M - 1$) gegeben, so läßt sich die am obigen Beispiel ($M = 2$, $h_0 = h_1 = \sqrt{2}/2$, $g_0 = \sqrt{2}/2$, $g_1 = (-\sqrt{2}/2)$) erläuterte Zerlegung auf die folgende, verallgemeinerte Form bringen

[0065] Die berechneten Detailkoeffizienten d_k werden in der ersten Detailschicht 50 aus **Fig. 3** ein getragen, die Mittelwertkoeffizienten $C_{k, \text{nächsthöhere Schicht}}$ übernehmen im nächsten Zerlegungsschritt die Rolle

Seite 10 --- ()

der Koeffizienten c_k .

[0066] Es fallen bei Betrachtung dieser Formeln drei Dinge auf • In beiden Formeln tritt der Index k auf der rechten Seite immer nur verdoppelt auf. Daher werden die Koeffizienten c_k nur in Zweiergrüppchen verarbeitet, wie oben angedeutet. • In beiden Formeln treten nur Summen von Produkten der Koeffizienten c_k mit Konstanten Koeffizienten auf. Solche Berechnungsformeln heißen linear und ermöglichen es, die Zerlegung zunächst nur auf einem Teil der Koeffizienten c_k ausführen und später durch einfache Addition zusammenfügen.

[0067] Die Wahl der das Wavelet bestimmenden Größen zu $M = 2$, $g_0 = \sqrt{2}/2$, $g_1 = (-\sqrt{2}/2)$ (die Koeffizienten $h_l = (-1)^l g_{l-1}$ sind durch die Koeffizienten g_l festgelegt) erzeugt das schon beleuchtete Haar'sche Wavelet. Es reichen also schon wenige, dafür aber genau festgelegte Kenngrößen aus, um eine relativ komplizierte Zerlegung festzulegen, was eine Folge ihrer Konstruktionsweise ist und ihre sog. Selbstähnlichkeit bedingt. Als einfaches Beispiel soll das durch $M = 4$, $h_0 = (1 - \sqrt{3})/(4\sqrt{2})$, $h_1 = (3 - \sqrt{3})/(4\sqrt{2})$, $h_2 = (3 + \sqrt{3})/(4\sqrt{2})$, $h_3 = (1 + \sqrt{3})/(4\sqrt{2})$ festgelegte Wavelet, das sog. Daubechies-Wavelet zweiter Ordnung 112 gemäß **Fig. 10** dienen.

[0068] **Fig. 6** zeigt eine grafische Darstellung der Konzentration der Intensität der Koeffizienten eines stetigen Signals bei der Zerlegung in Übersichts- und Kompressionsbäume. Wie zuvor erläutert, werden die empfangenen Messdaten 46 der Funktion 40 gemäß **Fig. 2** durch die Übersichts-Baumstruktur-Berechnungseinheit 22 nach dem Verfahren gemäß **Fig. 4** in die erste Baumstruktur 42 gemäß **Fig. 3** zerlegt, die in **Fig. 6** durch das senkrecht stehende Dreieck 84 dargestellt ist. Das Dreieck 84 weist zu einer Grundkante 86 , die der Schicht 46 (nullte Schicht) entspricht, parallel verlaufende dunkle Linien 88 auf, die die verschiedenen Schichten 50 , 56 der Baumstruktur 42 darstellen.

[0069] Anschließend werden sämtliche durch die Zerlegung erhaltenen Details auf dieselbe Art, jedoch gegebenenfalls bezüglich eines anderen Wavelets zerlegt. Dadurch entstehen die Kompressionsbäume 44 gemäß **Fig. 3**, die in **Fig. 6** durch waagrecht liegende Dreiecke 90 dargestellt sind. Die Dreiecke 90 weisen zu ihren Grundkanten 92 parallel verlaufende dunkle Linien 93 auf, die die verschiedenen Schichten der Baumstruktur 44 darstellen. Im Verlauf der dunklen Linien 88 bzw. 93 sind helle Verläufe 95 bzw. Punkte 97 dargestellt, wobei die Helligkeit der Verläufe 95 bzw. Lichtpunkte 97 dem Betrag der Koeffizienten der Zerlegung z. B. des stetigen Temperaturprofils 40 gemäß **Fig. 2** entspricht.

[0070] Der Umstand, dass in den Dreiecken 90 nur wenige Lichtpunkte 97 auftreten, bedingt das gute Kompressionsvermögen des vorliegenden Verfahrens.

[0071] Sofern die Messdaten, wie im beschriebenen Beispiel als stetige Funktion vorliegen, wird beispielsweise die mittlere Temperatur lediglich in der obersten Schicht des Übersichtsbaumes auftreten. In den darunterliegenden Schichten treten nur die Koeffizienten zur Abweichung von der mittleren Temperatur auf. **Fig. 7** zeigt eine logarithmische Darstellung des Betrages der Koeffizienten der Messreihe 40 gemäß **Fig. 2**, die im beschriebenen Beispiel aus ca. 14 400 Messpunkten besteht. Dabei werden die Koeffizienten der ersten 7 200 Messpunkte der ersten Schicht des Übersichtsbaums zugeordnet, die folgenden 3 600 Messpunkte der zweiten Schicht, weitere 1 800 Messpunkte der dritten Schicht usw., wobei jede folgende Schicht halb so viele Koeffizienten wie die vorhergehende Schicht aufweist.

[0072] In **Fig. 8** ist eine logarithmische Darstellung des Betrages der Koeffizienten des Kompressionsbaumes 44 zum Übersichtsbaum 42 gemäß **Fig. 7** dargestellt. Die Koeffizienten des Kompressionsbaumes zur ersten Schicht des Übersichtsbaumes sind in der linken Hälfte der Darstellung, d. h. im Bereich zwischen Messpunkten 0 bis 7 200 dargestellt. Im Bereich zwischen 7 200 und 14 400, d. h. in der Hälfte des verbleibenden Messbereichs sind die Koeffizienten aller weiteren Schichten dargestellt (zwischen 7 200 und 10 800 die der zweiten Schicht, zwischen 10 800 und 12 600 die der dritten Schicht, usw.). Mit anderen Worten werden die weiteren Kompressionsbäume je in weiteren Hälften von Hälften der Darstellung dargestellt.

[0073] In **Fig. 7** ist deutlich die Bildung von Plateaus (die nach Stand der Technik üblicherweise durch Quantisierungsniveaus dargestellt werden) zu erkennen und **Fig. 8** zeigt deutlich, dass weniger als 20 % der Koeffizienten mehr als 40 dB Signalabstand- zu den restlichen Koeffizienten besitzen, d. h., dass der aus der Auslassung von ca. 80 % der Koeffizienten entstehende Fehler weniger als 1/10 000 der im Signal 40 enthaltenden Energie ausmacht. Dies entspricht bei der Verwendung der Energienorm als Fehlernorm einem Fehler von weniger als 0,1&perml;.

[0074] Nachdem die Messreihe 40 in oben beschriebener, erfindungsgemäßer Weise zerlegt und in die jeweiligen Speichereinheiten 23 , 25 abgelegt wurde, kann mittels der Spektralanalyseeinheit 26 eine Korrektur der Messwerte gegen unerwünschte Übertragungsfunktions-Artefakte vorgenommen werden, wobei speziell zu diesem Zweck die der Übersichtsbaumstruktur-Speichereinheit 23 und/oder der Kompressionsbaumstruktur-Speichereinheit 25 zu Grunde liegenden Wavelets den Spektraleigenschaften

Seite 11 --- ()

ten und/oder differentiellen Spektraleigenschaften der zu erfassenden Messwerte angepasst werden können.

[0075] Die in der Übersichtsbaumsbaumstruktur- 23 und/oder Kompressionsbaumstruktur-Speichereinheit 25 und/oder Spektralanalyseeinheit 26 gespeicherten Daten werden der Sortier- und Filtereinheit 28 zugeführt. In der Sortiereinheit 28 werden die Koeffizienten nach ihrer Wichtigkeit, d. h. nach ihrem Betrag sortiert, wobei die Entscheidung, welche Koeffizienten die Filtereinheit 28 passieren dürfen, nur anhand ihres Betragsverhältnisses, welcher Koeffizient größer als welcher andere ist, getroffen wird. Insbesondere werden aus der Kompressions-Baumstruktur-Speichereinheit genau so viele Koeffizienten ausgewählt, dass ein gewisser vorher einstellbarer Fehler erreicht wird, wobei nur die wichtigsten (bei Verwendung einer betragsgrößten) Koeffizienten die Filtereinheit passieren und im Archiv 18 abgelegt werden. Erfindungsgemäß findet keine Rekursion, teilweise Rücktransformation, Quantisierung oder eine Wiedereinsortierung in die Kompressions-Baumstruktur-Speichereinheit 25 zur Fehlerabschätzung statt, sondern es erfolgt eine direkte Speicherung in das Archiv 18. Mit anderen Worten wird erfindungsgemäß eine scharfe Abschätzung des Fehlers durchgeführt, wodurch die alleinige Archivierung derjenigen wichtigsten/größten Koeffizienten erzeugt wird, die zur Rekonstruktion der Messdaten innerhalb vorgegebener Fehlergrenzen notwendig sind, d. h. es werden die Koeffizienten sortiert und anschließend nur die wichtigen/großen Koeffizienten gespeichert. Alle Speicherzugriffe erfolgen sequentiell und sind daher insbesondere für SDRAM-Architekturen effizient. Die verwendete Fehlerkontrolle wird auch als "a-priori-Fehlerkontrolle" bezeichnet.

[0076] Das Archiv 18 ist in der Lage, alle anfallenden Daten zu speichern sowie auf Prioritätsanforderungen, wie z. B. Einfüllgrad des Zwischenspeichers 14, zu reagieren und dennoch asynchrone Anfragen der Auswertungseinheiten 20.1 ... 20.N zu erfüllen.

[0077] Die Anfragen der Auswertungseinheiten 20.1 ... 20.N zur Erstellung einer Übersicht werden bevorzugt im vom Personal gewählten Zeitintervall $[t_1, t_2]$ und einer ebenfalls vom Personal gewählten Breite Δt von Teilintervallen vorgegeben. Anhand dieser Angaben wird durch die Bereichsauswahleinheit 38 bestimmt, welche Koeffizienten aus dem Archiv 18 extrahiert werden müssen, um die gewünschte Übersicht zu erstellen. Hierbei wird die Anzahl der zu extrahierenden Koeffizienten höchstens ein kleines ganzzahliges Vielfaches von der Anzahl $N = \#(t_2 - t_1)/\Delta t$ der für die Übersichterstellung benötigten Koeffizienten sein.

[0078] Die extrahierten Koeffizienten werden vom Empfänger 30 aufgenommen und an die Dekompressionseinheit 32 übertragen, die gegebenenfalls zur Darstellung notwendige Interpolationsaufgaben übernimmt, indem sie die extrahierten Koeffizienten aus ihrer Darstellung bezüglich der in der Übersichtsbaumstruktur-Berechnungseinheit 22 und/oder Kompressions-Baumstruktur-Berechnungseinheit 24 vorgewählten Wavelets in eine Darstellung bezüglich eines Wavelets transformiert, das der gewünschten Interpolationsaufgabe entspricht.

[0079] Die Rückwandlung bzw. Dekompression der aus dem Archiv extrahierten Koeffizienten erfolgt erfindungsgemäß zweistufig. In einer ersten Stufe werden die extrahierten Koeffizienten zuerst bezüglich des in der Kompressions-Baumstruktur-Berechnungseinheit 24 vorgewählten Wavelets zurücktransformiert, d. h., dass die Umkehrung der in der Kompressions-Baumstruktur-Berechnungseinheit 24 ausgeführten Wavelet-Transformation durchgeführt wird. Als Ergebnis entsteht ein Ausschnitt der Übersichts-Baumstruktur, dessen Schichten aus den zurücktransformierten Kompressionsbaumstrukturen bestehen. In einer zweiten Stufe werden die Koeffizienten der bei der ersten Zerlegung bestimmten Übersichts-Baumstruktur bezüglich des in der Übersichtsbaumstruktur-Berechnungseinheit 22 verwendeten Wavelets zurücktransformiert und so ein auf die gewünschte Darstellungsgenauigkeit zurück gerechneter Ausschnitt der ursprünglich aufgenommenen Messwertreihe bestimmt.

[0080] Die Möglichkeit der eindeutigen Rückrechnung der Ursprungsdaten einer Wavelet-Transformation erlaubt es auch, durch Hintereinanderschaltung geeigneter Vorrichtungen schnelle Transformationen vorzunehmen. Wird eine Transformation vorgenommen, deren zu Grunde liegendes Wavelet die gewünschte Interpolationseigenschaft besitzt, so können Interpolation und Dekompression durch ein- und dieselbe Baugruppe sehr effizient vorgenommen und die resultierende Interpolationskurve kann als Interpolation dargestellt werden. Soll z. B. eine Darstellung in Form von Säulen auf bildschirmgestützten Überwachungsstationen ausgeführt werden, so kann vorzugsweise das zuvor beschriebene Haar-Wavelet verwendet werden.

[0081] Da die Bandbreite der Verbindung zwischen Anzeigezwischenspeicher 34 und Analyseanzeigesystem 36 oft sehr begrenzt ist, ist es wünschenswert, dem Bedienpersonal bereits nach der Übermittlung sehr weniger Interpolationskoeffizienten eine dementsprechend grobe Voransicht zur Verfügung zu stellen und diese zu verfeinern, sobald die weiteren Koeffizienten übertragen wurden. Diese Vorgehensweise entspricht der Auslassung der zunächst noch nicht übertragenen Details aus dem Übersichtsbaum gemäß **Fig. 3** und ihrer nachträglichen sukzessiven Hinzufügung. Die sukzessive Hinzufügung von Details ist in **Fig. 9** schematisch dargestellt, wobei

Seite 12 -- ()

aus einer groben Voransicht 106 über eine feinere Darstellung 108 bis hin zu einer endgültigen Funktion 110 je eine Übersicht der Messreihe aus **Fig. 5a** erzeugt wird.

[0082] Das beschriebene Verfahren ist insbesondere deshalb interessant, da sich von Schicht zu Schicht die Anzahl der in ihr enthaltenen Koeffizienten verdoppelt. Die Darstellung der groben Voransicht 106 kann in der vorliegenden Situation, also wesentlich früher als die vollständige Übersicht vorgenommen werden.

[0083] Insgesamt wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verfügung gestellt, mit der sensorisch bereits erfasste Daten eines Prozesses, beispielsweise Prozessregelsystem, oder auch einer losen Ansammlung von Sensoren ausgekoppelt, transformiert und/oder einer Spektralanalysenkorrektur unterzogen, komprimiert und in einem Archiv gespeichert werden können. Die wesentliche Bedeutung der vorliegenden Erfindung liegt in der sehr effizienten Extraktion und Darstellung bestimmter, oft sehr großer Zeitausschnitte der so gespeicherten Messdaten. Entgegen der üblichen Vorgehensweise, erst alle Daten des fraglichen Zeitausschnittes aus dem Archiv zu extrahieren, zu dekomprimieren und anschließend die Übersicht zu erstellen und dabei den größten Teil der extrahierten Informationen wieder zu verwerfen, wird erfindungsgemäß nur die relevante Information aus dem Archiv extrahiert.

[1] Verfahren zur Kompression von Daten (46), umfassend die Verfahrensschritte:

- Empfangen einer Folge von Daten mit zumindest zwei Datenpunkten,
- Speichern der Datenpunkte als momentan zu bearbeitender Satz,
- Berechnung von Koeffizienten einer ersten Baumstruktur (42) (Übersichtsbaum) aus den empfangenen Datenpunkten (46) und Bestimmen von Schichten (50, 56, 58) der ersten Baumstruktur (42),
- Berechnung von Koeffizienten jeweils einer zweiten Baumstruktur (44) (Kompressionsbaum) aus den Koeffizienten jeweils einer der Schichten (50, 56, 58) der ersten Baumstruktur (42) sowie Bestimmen von Schichten (50, 56, 58) der zweiten Baumstrukturen (44),
- Sortierung und Filterung der Koeffizienten der Schichten (50, 56, 58) der zweiten Baumstrukturen (44), indem die wichtigsten Koeffizienten ermittelt und nur diejenigen wichtigen Koeffizienten derart ausgewählt werden, dass ein vorher eingestellter Fehler erreicht wird, wobei zur Fehlerbetrachtung die berechneten Baumstrukturen weder explizit noch implizit wieder dekomprimiert werden,
- Speicherung derjenigen Koeffizienten der zweiten Baumstrukturen (44), die aufgrund der Sortierung und Filterung zur Rekonstruktion der empfangenen Folge von Daten geeignet sind.

[2] Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung der Koeffizienten eine Wavelet-Transformation, vorzugsweise eine "schnelle-Wavelet-Transformation" durchgeführt wird.

[3] Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung der Koeffizienten der ersten und/oder zweiten Baumstruktur (42, 44) gleiche oder unterschiedliche Wavelets verwendet werden.

[4] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Wavelet-Zerlegung ein Haar-Wavelet verwendet wird.

[5] Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Wavelet-Zerlegung ein Wavelet der Klasse der Daubechies-Wavelets, vorzugsweise das Daubechies-D₂-Wavelet und/oder ein Wavelet der Klasse der Meyer-Wavelets verwendet wird.

[6] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für jede Schicht (50 , 56 , 5.8) der ersten Baumstruktur (42) genau eine zweite Baumstruktur (44) ermittelt wird, wobei die Schichten (50 , 56 , 58) rekursiv ermittelt werden.

[7] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Koeffizienten, vorzugsweise entsprechend ihres Betrages, allein unter Berücksichtigung einer bezüglich einer vorgegebenen Norm festgelegten Fehlergrenze sortiert werden, und dass erst anschließend eine direkte Speicherung in das Archiv erfolgt (a-priori-Fehlerabschätzung).

[8] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Darstellung der Messpunkte genau diejenigen Koeffizienten aus dem Archiv extrahiert werden, die notwendig sind, um eine vorher eingestellte Darstellungsgenauigkeit zu erreichen.

[9] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Auswahl der zu extrahierenden Koeffizienten zunächst ein Zeitraum festgelegt und eine Anzahl von Datenpunkten ausgewählt wird, über den und mit denen eine Darstellung erfolgen soll.

[10] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Koeffizienten der ersten und/oder zweiten Baumstrukturen (42 , 44) zur Anpassung an eine

Seite 13 --- ()

Spektralstruktur und/oder eine differentielle Spektralstruktur einer Datenquelle wie Sensor und/oder Videokamera anhand einer Spektralanalyse derselben bestimmt werden, wobei vorzugsweise das Wavelet für die Konstruktion der ersten Baumstruktur (42) an das Spektralverhalten der empfangenen Datenfolge (46) und das Wavelet für die Konstruktion der zweiten Baumstruktur (44) an das differentielle Spektralverhalten der empfangenen Datenfolge (46) angepasst wird.

[11] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Daten von einer beliebigen Anzahl von Datenquellen synchron und/oder asynchron empfangen werden.

[12] Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Norm eine l_p - oder Sobolew-Norm ist.

[13] Verfahren zur Dekompression von nach zumindest einem Verfahren der Ansprüche 1 bis 8 komprimierten Daten, dadurch gekennzeichnet, dass eine Dekompression in zwei Stufen erfolgt, wobei in einer ersten Stufe die, vorzugsweise unter Anwendung des Nyquist'schen Abtasttheorems ermittelten, extrahierten Koeffizienten bezüglich des in der zweiten Baumstruktur vorgewählten zweiten Wavelets zurücktransformiert werden und wobei in einer zweiten Stufe die Koeffizienten der im ersten Schritt bestimmten ersten Baumstrukturen bezüglich des ersten Wavelets zurücktransformiert und so ein auf die gewünschte Darstellungsgenauigkeit zurückgerechneter Ausschnitt der ursprünglich aufgenommenen Datenwerte bestimmt werden.

[14] Vorrichtung (10) zur Kompression von Daten, umfassend:

- eine Empfangseinheit mit Zwischenspeicher (14) zum Empfang und zur Speicherung der empfangenen Daten,
- eine erste Berechnungseinheit (22) zur Berechnung von Koeffizienten einer ersten Baumstruktur (42) aus den empfangenen Datenpunkten,
- eine erste Speichereinheit (23) zur Speicherung der Koeffizienten der ersten Baumstruktur (42) ,
- eine zweite Berechnungseinheit (24) zur Berechnung von Koeffizienten einer zweiten Baumstruktur (44) aus den Koeffizienten der ersten Baumstruktur,
- eine zweite Speichereinheit (25) zur Speicherung der Koeffizienten der zweiten Baumstruktur (44) ,
- eine Sortier- und Filtereinheit (28) zur Sortierung und Filterung der Koeffizienten der zweiten Baumstruktur (44) , indem die wichtigsten Koeffizienten ermittelt und nur diejenigen wichtigen Koeffizienten derart ausgewählt werden, dass ein vorher eingestellter Fehler erreicht wird, wobei zur Fehlerbetrachtung die berechneten Baumstrukturen weder explizit noch implizit wieder dekomprimiert werden,
- ein Archiv (18) zur Speicherung der sortierten und gefilterten Koeffizienten der zweiten Baumstruktur als komprimierte Daten.

[15] Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Empfangseinheit (14) mit Zwischenspeicher mit einer Vielzahl von Datenquellen (12.1 ... 12.N) wie Sensoren oder Videokameras verbunden ist.

[16] Vorrichtung nach Anspruch 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (10) eine Spektralanalyseeinheit (26) enthält, die eingangsseitig mit der ersten und/oder zweiten Speichereinheit (23 , 25) und ausgangsseitig mit der Sortier- und/oder Filtereinheit (28) verbunden ist.

[17] Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Archiv (18) mit einer Vielzahl von Auswertungseinheiten (20.1 ... 20.N) verbunden ist.

[18] Vorrichtung nach zumindest einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet,

dass die Auswertungseinheit (20.1 ... 20.N) umfasst:

- einen Empfänger (30) für die im Archiv (18) gespeicherten Koeffizienten,
- eine mit dem Empfänger (30) verbundene Dekompressions-/Rücktransformationseinheit (32) ,
- eine Anzeigeeinheit (36) ,
- einen zwischen Dekompressions-/Rücktransformationseinheit (32) und Anzeigeeinheit (36) angeordneten Zwischenspeicher (34) und
- eine eingangsseitig mit der Anzeigeeinheit und ausgangsseitig mit dem Archiv (18) verbundene Auswahlereinheit (38) zur Auswahl eines anzuzeigenden Bereichs der zu empfangenden Daten.

Seite 14 --- ()

Seite 15 --- ()

Seite 16 --- ()

Seite 17 --- ()

Seite 18 --- ()

Seite 19 --- ()

Seite 20 --- ()

Seite 21 --- ()

Seite 22 --- ()

Seite 23 --- ()