(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 04 215 A1** 2004.08.19

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 04 215.6**
(22) Anmeldetag: **30.01.2003**
(43) Offenlegungstag: **19.08.2004**

(51) Int Cl.[7]: **G03B 42/06**
G03B 42/08, G01N 29/26, G01M 3/00

(71) Anmelder:
Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik eV, 12489 Berlin, DE

(74) Vertreter:
Anwaltskanzlei Gulde Hengelhaupt Ziebig & Schneider, 10179 Berlin

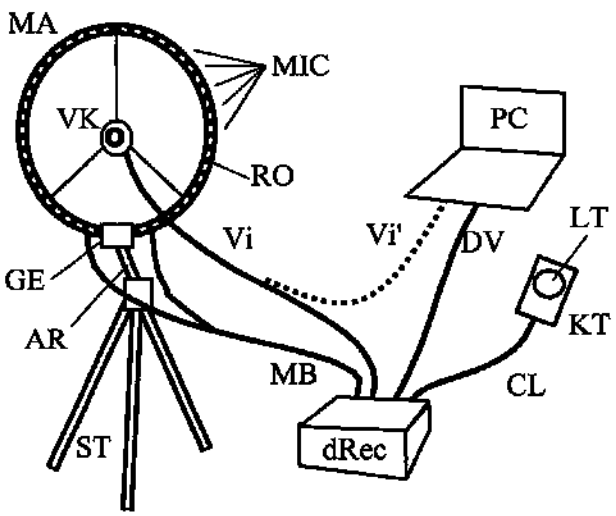
(72) Erfinder:
Heinz, Gerd, Dr.-Ing., 12526 Berlin, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten sowie ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, sowie ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium, welche insbesondere einsetzbar sind zur fotografischen und filmischen Dokumentation sowie zur akustischen Analyse von Geräuschequellen, zum Beispiel von Maschinen, Anlagen oder Fahrzeugen.
Hierfür wird eine akustische Kamera vorgeschlagen, welche aus einem Mikrofonarray mit integrierter Videokamera, Datenrecorder mit Anschluß an Mikrofone und Winkelgeber sowie einem Kalibriertestgerät und einem Rechner besteht. Mit der Videokamera wird automatisch jede Messung dokumentiert, indem Datensätze der Kameraaufnahmen unlösbar mit den Datensätzen der Mikrofon-Zeitfunktionen, mit Zeitsynchronsignalen, mit allen Szeneninformationen und Parameterfiles von Mikrofonarray und Datenrecorder verschmolzen in einem Datenfile abgespeichert werden. Für jeden Punkt im akustischen Bild können Zeitfunktion, Frequenzfunktion, Schalldruck, Koordinaten, Klang oder Korrelation mit einer bekannten Zeitfunktion durch Mausklick auf diesen Punkt und ein Menue unter der rechten Maustaste aufgerufen werden. Darüber hinaus stellt die akustische Kamera weitere Funktionen bereit wie z. B. eine automatische Belichtung, indem verschiedene Methoden (Absolut, Relativ, ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, sowie ein entsprechendes Computerprogramm-Erzeugnis und ein entsprechendes computerlesbares Speichermedium gemäß den Merkmalen der Ansprüche 1, 27, 43 und 44, welche insbesondere einsetzbar sind zur fotographischen und filmischen Dokumentation sowie zur akustischen Analyse von Geräuschquellen, zum Beispiel von Maschinen, Anlagen oder Fahrzeugen.

[0002] Mit der Erfindung können akustische Photos oder akustische Filme, frequenzselektive Bilder, Spektren bestimmter Orte sowie akustische Bilder vorbeifahrender Objekte aus unterschiedlichen Entfernungen angefertigt werden.

Stand der Technik

[0003] Es sind unterschiedlichste Verfahren zur Ermittlung oder Darstellung akustischer Emissionen bekannt (DE 3918815 A1, DE 4438643 A1, DE 4037387 A1, DE 19844870 A1, WO 85/02022, WO 9859258, WO 9845727A, WO 9964887 A, WO 9928760 A, WO 9956146 A, WO 9928763 A, WO 11495 A, WO 10117 A, WO 9940398 A, WO-A-8 705 790, WO 85/03359, US 5258922, US 5515298); Heckl, M., Müller, H.A.: Taschenbuch der technischen Akustik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2. Auflage 1995; Michel, U. Barsikow, B., Haverich, B., Schüttpelz, M.: Investigation of airframe and jet noise in high-speed flight with a microphone array. 3rd AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 12–14 May 1997, Atlanta, AIAA-97-1596; Hald, J.: Use of Spatial Transformation of Sound Fields (STSF) Techniques in the Automotive Industry. Brüel & Kjaer, Technical Review No. 1-1995, p. 1–23; Estorff, O. v., Brügmann, G., u.a.: Berechnung der Schallabstrahlung von Fahrzeugkomponenten bei BMW. Automobiltechnische Zeitschrift, ATZ, 96 (1994) H. 5, S. 316–320), Brandstein, M., ward, D.: Microphone Arrays. Springer-Verlag 2001, ISBN 3-540-41953-5.

[0004] Nachteil bekannter Techniken ist, dass sie praktisch keine Messung im industriellen Alltag erlauben. Es wird ein hoher Zeitaufwand zum Auf- und Abbau, zur Vor- und Nachbereitung der Aufnahmen benötigt. Eine Zuordnung zwischen Schallkarte und Photo wird durch manuelle Überlagerung mit einer Skizze oder einem Foto des Objekts gewonnen. Die Ausrüstungen sind groß und unhandlich. Irrtümer sind bei der Auswertung nicht ausgeschlossen. Nur große Objekte können kartiert werden. Movies können nicht berechnet werden. Insbesondere ergibt eine bekannte, manuelle Überlagerung zwischen Optik und Akustik vielfältige Fehlermöglichkeiten.

[0005] Aufbauend auf einer Feldrekonstruktion basierend auf der sog. Heinz'schen Interferenztransformation (HIT) werden vom Anmelder seit März 1996 Schallbilder entwickelt, die neue Qualitäten aufweisen, z.B. eine Berechenbarkeit instationärer Quellen, siehe http://www.acoustic-camera.com => Projekte. Damit können z.B. Ultra-Zeitlupenaufnahmen wie auch Schallfotos eines schallemittierenden Objekts gemacht werden. Die weltweit erste Überlagerung eines akustischen mit einem Videobild wurde der Öffentlichkeit vom Team im Jahre 1999 vorgestellt, siehe Beitrag http://www.acoustic-camera.com Presse: Hannover Messe, Messezeitung MZ, 24.4.1999, p.4, Sechzehn Ohren hören mehr als zwei. Das Verfahren wurde seither so weiterentwickelt und erprobt, dass unter Industriebedingungen im Gesamtbereich technischer Objekte auf einfache Weise Schallbilder, Spektralbilder und Schallfilme entwickelt werden können.

Aufgabenstellung

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur bildgebenden Dokumentation von akustischen Objekten zu beschreiben, mit der Schallquellen im Industriealltag schnell und einfach lokalisiert und analysiert werden können. Es soll eine einfach aufbaubare Vorrichtung ("Akustische Kamera") für unterschiedlichste Einsatzfälle und unterschiedlich große Objekte zwischen Rasierapparat und Flugzeug bereitgestellt werden, mit der akustische Standbilder, akustische Filme, spektrale Bilder oder Linescans erzeugt werden können. Aufnahmen sollen durch eine spezifische Datenstruktur auch Jahre später unverwechselbar nachgerechnet werden können. Akustische Bilder sollen vollautomatisch korrekt „belichtet" werden. Ein Einsatz für eine Vielzahl technischer Untersuchungsobjekte ist zu erreichen durch eine spezifische Modularität. Dabei soll die Vorrichtung stets im Kofferraum eines PKW Platz finden und in wenigen Minuten auf- und abbaubar sein. Unabhängig vom verwendeten Basis-Algorithmus zur Rekonstruktion der Zeitfunktionen soll die Erfindung eine neuartige Meßeinrichtung ausprägen. Jede Messung soll automatisch photografisch dokumentiert werden um Irrtümer bei der Auswertung zu vermeiden. Die Einrichtung soll gegenüber Störungen oder nicht im Bildfeld liegenden Schallquellen möglichst resistent sein.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 27, 43 und 44 im Zusammenwirken mit den Merkmalen im Oberbegriff. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen enthalten.

[0008] Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten besteht darin, daß Schallquellen im Industriealltag schnell und einfach lokalisiert und analysiert werden können, indem das Mikrofonarray und eine optische Kamera in einer vorgebba-

ren Lage zueinander angeordnet werden und von der optischen Kamera automatisch wenigstens ein Teil der Messungen dokumentiert wird, akustische Karte und optisches Bild dadurch überlagert werden, dass Objektabstand und Kameraöffnungswinkel ein optisches Bildfeld definieren, auf welches die akustische Karte gerechnet wird, berechnungsrelevante Parameter der Mikrofone und der Kamera eines Arrays in einem Parameterfile des Arrays unverwechselbar gespeichert werden, Verstärkerparameter in einem oder mehreren, den Verstärkerbaugruppen oder dem Datenrecorder zugeordneten Parameterfile gespeichert werden, Mikrofonarray und Verstärkerbaugruppen bzw. Datenrecorder jeweils elektronische Signaturen besitzen, die entsprechende Parameterfiles unverwechselbar lädt, das zu berechnende akustische Bildfeld in Teilflächen zerlegt wird, deren Schwerpunkte Koordinaten der zu berechnenden Bildpunkte darstellen, akustische Karten optimal belichtet werden, indem verschiedene Methoden (Absolut, Relativ, Manuell, Minus_Delta, Lin/Log, All, Effektivwert, Peak) gewählt werden, um Minimum und Maximum einer Farbskala geeignet vorzugeben, Gleichlauffehler aller Mikrofone und Verstärkerkanäle dadurch eliminiert werden, dass Aufnahmen mit entsprechenden Parametern aus den Parameterfiles des Mikrofonarrays und des Datenrecorders kompensiert werden, Datensätze der Kameraaufnahmen und ihnen zugeordnete Datensätze der Mikrofon-Zeitfunktionen, Zeitsynchronsignale, Szeneninformationen und Parameterfiles von Mikrofonarray und Datenrecorder zusammen mit Informationen über diese Zuordnung abgespeichert werden. Dabei liegt ein besonderer Vorteil darin, wenn die Datensätze der Kameraaufnahmen unlösbar mit den Datensätzen der Mikrofon-Zeitfunktionen, mit Zeitsynchronsignalen, mit allen Szeneninformationen und Parameterfiles von Mikrofonarray und Datenrecorder verschmolzen in einem Datenfile abgespeichert werden.

[0009] Eine Vorrichtung zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, ist vorteilhafterweise so ausgebildet, dass in das Mikrofonarray eine optische Kamera integriert ist, die mit dem Mikrofonarray eine Einheit bildet, wobei über Mittel zur Datenübertragung Mikrofondaten, Kamerabild er) und Zeitsynchroninformationen zwischen Mikrofonarray, einem Datenrecorder und einer Datenverarbeitungseinrichtung ausgetauscht werden. Dabei ist es insbesondere von Vorteil, wenn die akustische Kamera als Videokamera und die Datenverarbeitungseinrichtung als PC oder Notebook ausgebildet sind.

[0010] Ein Computerprogramm-Erzeugnis zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten umfaßt ein computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, durchzuführen, wobei die bildgebende Darstellung die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26 umfaßt.

[0011] Um ein Verfahren zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durchzuführen, wird vorteilhafterweise ein computerlesbares Speichermedium eingesetzt, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, durchzuführen, wobei die bildgebende Darstellung die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26 umfaßt.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß in das Mikrofonarray eine Videokamera fest eingebaut ist, die automatisch bei jeder Messung ein Bild oder eine Bildfolge aufnimmt oder die im Video-Mode oder im Oszilloskop-Mode kontinuierlich Bilder liefert.

[0013] In einer anderen bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß akustische Standbilder und akustische Filme generiert werden, indem in der Zeitfunktionsdarstellung der Mikrofone ein Intervall markiert wird, das entsprechend der Cache-Struktur des Prozessors in Teilabschnitte zerlegt wird und deren Teilbilder zum Gesamtbild gemittelt werden.

[0014] Es erweist sich als vorteilhaft, wenn zur Berechnung eines Films die Länge der Teilabschnitte über die gewählte Bildfrequenz vorgegeben wird und von jedem Teilabschnitt ein einzelnes Bild erzeugt wird, wobei über Vorgabe eines Faktors gewählt werden kann, wie viele Teilabschnitte zu je einem Bild gemittelt werden sollen.

[0015] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die akustische Karte mit einer Farbtabelle dargestellt wird, indem eine farbige akustische Karte einem Videobild überlagert wird, dessen Kanten mittels eines Kanten-Operators extrahiert werden können und/oder welches mittels Kontrast- oder Grauwertregler angepaßt werden kann. Dabei ist in einer speziellen Ausführungsform vorgesehen, dass die Überlagerung von akustischer Karte und Videobild gesteuert wird, indem über Menübuttons verschiedene Ansichten eingeschaltet werden können (Kantenbild, Grauwertbild, Videobild, akustische Karte), wobei ein Schieberegler jeweils den Schwellwert des Kanten-Operators oder den Kontrast oder den Grauwert des Videobildes steuert.

[0016] Darüber hinaus erweist es sich als vorteilhaft, dass für jeden Punkt im akustischen Bild Zeitfunktion, Frequenzfunktion, Schalldruck, Koordinaten, Klang oder Korrelation mit einer bekannten Zeitfunktion durch Mausklick auf diesen Punkt und ein

Menue unter der rechten Maustaste aufgerufen werden können. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass in einem Fenster ein Frequenzintervall selektiert wird und in einem zweiten Fenster das zugehörige Spektralbild erscheint oder dass im zweiten Fenster ein Spektralbereich selektiert wird, dessen akustisches Bild wiederum im ersten Fenster dargestellt wird. Vorteilhaft ist es ebenfalls, wenn ein Zeitfunktions-Korrelationsbild gebildet wird, indem ein akustisches Foto berechnet wird und die rekonstruierten Zeitfunktionen der Bildpunkte mit der gewählten Zeitfunktion korreliert werden und dieses Ergebnis in einem weiteren Fenster angezeigt wird. In einer anderen bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass in den Modi „akustisches Photo" und „Linescan" ein Videobild zum Zeitpunkt der Triggerauslösung aufgenommen wird und der Triggerzeitpunkt in den Zeitfunktionen dargestellt wird.

[0017] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass Zeitsynchroninformationen zwischen PC, Datenrecorder und Videokamera ausgetauscht werden, mit denen die zeitliche Zuordnung zwischen Videobild und Zeitfunktionen der Mikrofone hergestellt wird.

[0018] Eine vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist dadurch ausgezeichnet, dass alle Mikrofondaten eines Arrays über eine gemeinsame Verbindung (Kabel oder Bus) geführt werden und über einen gemeinsamen ein- oder mehrteiligen Stecker an den Datenrecorder angeschlossen sind und/oder dass die Zuleitung der Videokamera ebenfalls in diese gemeinsame Verbindungsleitung integriert ist.

[0019] Eine andere bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung sieht vor, dass ein Mikrofonarray einen Signaturchip im an den Datenrecorder angeschlossenen Stecker enthält.

[0020] Des weiteren erweist es sich als Vorteil, dass Mikrofonarrays unterschiedlicher Kanalzahl an einen Datenrecorder pinkompatibel über denselben, ein- oder mehrteiligen, für verschiedene Arrays identischen Steckertyp anschließbar sind, wobei nicht benötigte Eingänge im Stecker u.U. kurzgeschlossen sind.

[0021] Spezielle Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Anordnung zeichnen sich dadurch aus, dass ein akustisch transparentes Mikrofonarray für zweidimensionale Messungen in Innenräumen vorteilhaft aus einer Videokamera und auf einem Ring in gleichen Abständen angeordneten Mikrofonen besteht, oder dass ein akustisch reflexives Mikrofonarray für zweidimensionale Messungen in Innenräumen vorteilhaft aus einer Videokamera und auf einer Fläche in Kreisform in gleicher Winkelteilung angeordneten Mikrofonen besteht, wobei bei einer Ausführung als Koffer der Datenrecorder integriert ist, oder dass ein Mikrofonarray für dreidimensionale Messungen in Kabinen vorteilhaft als kugelförmiger Regelflächner ausgebildet ist, wobei die Mikrofone auf der Oberfläche gleichverteilt liegen. Als Mittel zur Datenübertragung sind Kabelverbindungen, Funkverbindungen oder Infrarotverbindungen vorgesehen.

Ausführungsbeispiel

[0022] Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0023] **Fig.** 1 zeigt eine schematische Darstellung einer typischen Ausführung der Vorrichtung nach der Erfindung für Messungen an Motoren. Mikrofone MIC des Mikrophonarrays MA liegen gleichverteilt in einem ringförmig gebogenen Rohr RO, welches über ein Gelenk GE und einem Arm AR an einem Stativ ST befestigt ist. Sie sind über eine Verbindung MB an einen Datenrecorder dRec angeschlossen. Eine Videokamera VK ist über eine Verbindung Vi an den Datenrecorder dRec oder alternativ über Vi' direkt an den Computer PC angeschlossen. An den Datenrecorder dRec ist über eine Verbindung CL ein Kalibriertester KT angeschlossen, der einen Lautsprecher LT enthält. Zwischen dem Computer PC und dem Datenrecorder besteht eine Datenverbindung DV. Eine Modifikation ergibt sich, wenn der Datenrecorder dRec in das Mikrofonarray MA integriert werden würde.

[0024] **Fig.** 2 zeigt eine spezielle Ausführung eines auf einem Stativ ST stehenden, zusammenfaltbaren Mikrofonarrays für Fernmessungen. Mikrofone befinden sich in Armen A1 bis A3. Diese sind um arretierbare Gelenke GE schwenkbar, sodass das zusammengefaltete System in einem PKW transportiert werden kann. In das System ist wiederum eine Videokamera VK fest integriert.

[0025] **Fig.** 3 zeigt ein typisches Menue für Bildüberlagerungs-Operationen. Die akustische Karte kann mit einer Taste NOISE, das Videokamerabild mit einer Taste VIDEO ein- und ausgeschaltet werden. Das Videobild kann mit einer Taste GRAY entfärbt werden, eine Taste EDGES sorgt für eine Kantenextraktion des Videobildes, wobei bei Nutzung von GRAY und EDGES Schieberegler für Helligkeit, Kontrast bzw. Kantenstärke vorgesehen sind.

[0026] **Fig.** 4 stellt typische Menüs für die Skalierung der Farbtabelle der akustischen Karte dar. Mit einer Taste LOG wird zwischen linearer und logarithmischer Skalierung der Farbtabelle des akustischen Bildes umgeschaltet. Mit einer Taste ABS kann ein kompletter Film zwischen die absolut minimalen und maximalen Schalldruckwerte skaliert werden. Mit der Taste REL wird jedes Einzelbild eines Films separat auf maximalen Relativkontrast skaliert. Eine Taste MAN öffnet zwei Eingabefenster, in denen Maximum und Minimum manuell vorgegeben werden können. Eine Taste –Δ ermöglicht automatische Farbskalierung des akustischen Bildes. Sie öffnet ein Eingabefenster zur Eingabe eines Differenzwertes, um den das Minimum gegenüber dem in einem Bild vorhandenen Maximum abgesenkt wird. Eine Taste ALL ge-

stattet die Übertragung eines gewählten Maximums und Minimums auf weitere Bilder oder Filme. Ein Effektivwertbild wird mit der Taste EFF eingeschaltet, wohingegen die Taste PEAK ein spitzenbewertetes Bild darstellt.

[0027] **Fig.** 5 zeigt schematisch einen rechenzeitsparenden, vorteilhaften Verfahrensschritt für die Entwicklung akustischer Filme. Entsprechend der gewählten Bildfrequenz wird ein in den Kanaldaten selektierter Bereich eines zu berechnenden Films in Teilbilder (Frames) F1 bis F6 aufgeteilt. In einem Eingabefenster wird eine Bildüberlappung (im Beispiel gleich drei) gewählt. Das erste Bild B1 wird aus den ersten drei Frames F1 bis F3 durch gleitende Mittelwertsbildung berechnet. Das zweite Bild B2 aus den Frames F2 bis F4 usw. Aus **6** Frames entstehen so 4 Folgebilder B1 bis B4 eines Films. Dabei sind Videobilder den Frames so zugeordnet, dass je ein Videobild zu einem Frame gehört. Bei Zeitlupendarstellungen, bei denen die Framerate höher ist als die gewählte Video-Bildrate, wird das jeweils letzte Videobild solange fortlaufenden Frames zugeordnet, bis ein nächstes Videobild bereitsteht. Mit dieser Methode gelingt es, einmal berechnete, akustische Frames nicht mehrfach zu berechnen. Auch ergeben sich durch Wahl des eingestellten Faktors der Bildüberlappung wählbar ruckelfreie Bildsequenzen.

[0028] **Fig.** 6 zeigt schematisch die in einem Meßdatenfile CHL abzuspeichernden Informationen. Es bedeuten: TF die Zeitfunktionen incl. Samplerate; IMG das Einzelbild oder die Videobilder einer Sequenz; REC die Verstärkerparameter jedes Mikrofonkanals; ARY die Parameter des Arrays, die sich insbesondere aus möglichen Öffnungen und Pixelauflösungen der Videokamera CA, aus Kennempfindlichkeiten und Ortskurven der Mikrophone MI und aus Koordinaten und Orientierungen CO von Kamera und Mikrophonen zusammensetzen. Weiterhin sind darin aktuelle Szenenparameter SCE wie Objektivöffnung, Meßabstand, Luftdruck und Temperatur sowie Übertragungsfaktoren und Parameter von Sonderkanälen SEN abgespeichert. Die Datentypen REC, ARY und SEN werden aus spezifischen, voabgespeicherten Files entnommen, wobei die Parameterfiles REC und ARY einmalig im Kalibriervorgang erzeugt sind, der Typ SEN sitzungsabhängig variierbar ist.

[0029] **Fig.** 7 zeigt, wie Koordinaten eines virtuellen Bildfeldes SCR aus den Objektivöffnungswinkeln WX und WY und dem Objektabstand A gewonnen werden. Aus WX, WY und A werden die Strecken DX und DY bestimmt, aus diesen die Koordinaten des Bildfeldes.

[0030] Akustische Karten sind schwer lesbar, sofern kein Bezugsbild des Meßobjekts überlagert ist. Manuelle Überlagerung anhand von Bezugspunkten ist zeitaufwendig und fehlerintensiv. Bei bewegter Szene (Film als Serie von Fotos) oder in Unkenntnis der Versuchsanordnung ist sie nahezu ausgeschlossen. Die Erfindung überwindet diese Schwierigkeit, indem in jedes Mikrofonarray eine (digitale) Videokamera eingebaut ist, die pro Messung ein Foto oder einen Film aufnimmt. Die Fotos werden an die von den Mikrofonen aufgenommenen Daten gekoppelt und mit diesen zusammen als File gespeichert oder geladen. In diesen Datenfile werden zusätzlich alle Meßeinstellungen, Parameter des verwendeten Mikrofonarrays und Parameter des Datenrecorders aufgenommen.

[0031] Für einfachste Handhabung ist eine automatische Überlagerung von Foto(s) und Karte(n) zu realisieren. Erfindungsgemäß wird dazu die x- und y-Bildöffnung der Kamera pro Meter in einem Parameterfile des Arrays eingetragen. Hat die Kamera mehrere Bildöffnungen, werden alle Möglichkeiten eingetragen. Manuell wird die Entfernung zum Meßobjekt vermessen. Aus der aktuellen Bildöffnung der Kamera sowie der Objektentfernung werden erfindungsgemäß die Koordinaten des zu berechnenden Bildfeldes bestimmt. Manuell ist zusätzlich eine Rasterauflösung des Bildes, z.B. entlang der x-Achse vorzugeben. Dann kann das Bild berechnet werden. Dabei wird pro Rasterpunkt einmal gerechnet. So kann der Nutzer anhand der Rasterauflösung die Rechenzeit vorgeben: hohe Rasterauflösung bedeutet hohe Rechenzeit.

[0032] Für den Einsatz an verschieden großen Objekten von Rasierapparat bis Flugzeug ist es erforderlich, daß eine akustische Kamera leicht, kompakt und robust ist sowie zuverlässig funktioniert. Das ist nur mit relativ geringer Anzahl von Mikrofonkanälen erreichbar (typisch um 30). Nun sind aber akustische Grenzen gesetzt: Der Mikrofonabstand muß in der Größenordnung der gesuchten, dominanten Wellenlängen liegen, sonst stören Fremdinterferenzerscheinungen die Rekonstruktion (Interferenz von Welle i mit Vorgänger i – 1 oder Nachfolger i + 1). Außerdem ist die Bildöffnung des Arrays nicht beliebig variierbar: wird das Array zu dicht an das Objekt gehalten, werden Mikrofonkanäle partial abgeschattet und verursachen Fehler. Wählt man zu großen Objektabstand, sind die akustischen Karten zu unscharf. Da ein großer Wellenlängenbereich (100 Hz ~ 3,4 Meter bis 100 kHz ~ 3,4 mm) zu überstreichen ist, existiert bei Forderung geringer Kanalzahl nur die Lösung, verschieden große Mikrofonarrays zu bauen, deren Größe und Mikrofonabstand sowie deren Form den jeweiligen, zu kartierenden Objekten angepaßt ist. So wurden drei Grundformen entwickelt, mit denen praktisch der gesamte Akustikbereich abgedeckt werden kann. Zur Lösung der Aufgabe ist zusätzlich zu beachten, daß die Mikrofone zur Vermeidung von Fremdinterferenz stochastisch angeordnet sein sollten, zur Vermeidung von Ortskurvenfehlern aber regular und symmetrisch in Bezug auf die Achsen (2D: x,y bzw. 3D: x, y, z). Erfindungsgemäß haben sich drei Array-Grundformen bewährt:

(1) Für 3D-Rundumkartierung in Innenräumen (z.B. PKW) eignet sich eine akustisch offene, aus Kohlenfasern laminierte, kubische Ikosaederanordnung ("Cube") von 30 cm Durchmesser und 32

Kanälen. Das Array hat bezüglich aller drei Achsen hervorragende Symmetrieeigenschaften und zeigt auch eine gute Einzelachsstochastik. Die Ausführung ist zu erkennen an ineinandergreifenden Fünf- und Sechseckfiguren.

(2) Für 2D-Kartierung von Maschinen hat sich eine Ringanordnung bestens bewährt. Dabei werden die Mikrofone ringförmig in gleichem Abstand angeordnet. Ungerade Anzahl von Kanälen weist minimale Nebenkeulen der Ortskurven auf, gerade Anzahl dafür beste Symmetrie. Die Ausführung kann akustisch offen (Ring) oder akustisch reflexiv erfolgen (Wafer) bei frequenzabhängigen Ringdurchmessern im Bereich von 10 cm bis 1,5 m. Während offene Ringarrays nach vorn und hinten gleichermaßen gut hören, wird das rückwärtige Feld nur bei reflexiv ausgeführtem Array zerstört. Hier liegt die reflexive Fläche in der Ebene der Mikrofonmembranen. Arrays ringförmiger Anordnungen zeigen bezüglich zweier Achsen beste Symmetrieeigenschaften sowie beste Einzelachsstochastik.

(3) Für 2D-Kartierung im Außenbereich über große Entfernungen ist zusätzlich die Transportmöglichkeit zu bedenken. Dafür eignen sich faltbare Anordnungen mit einer ungeraden Anzahl (mindestens drei) von mikrofontragenden Armen besonders. Da es sich um offene Arrays handelt, sind zusätzlich Möglichkeiten der Rückwärtsdämpfung zu schaffen. Dies wird erfindungsgemäß erreicht, indem die Arme im ausgefalteten Zustand nicht in einer Ebene liegen. Gegenüber Anodnungen mit vier Armen weist die dreiarmige Anordnung ein besseres Fremdinterferenzverhalten auf. Ausgewogene Ortskurven werden durch logarithmisch geteilte Anordnung der Mikrofone auf den Armen erreicht.

[0033] Fehlerhafte Koordinaten der Mikrofone führen zu fehlerhaften Rechenergebnissen: Beim Gebrauch verschiedener Mikrofonarrays erweist es sich als vorteilhaft, die Lagekoordinaten der Mikrofonkapseln, deren Seriennummern, die elektrischen Kenndaten sowie Lage und Achsenrichtung von Laser und Kamera in einem dem Array zugeordneten Parameterfile (passiv als ASCII, aktiv als DLL) zu vermerken. Von der Kamera ist dort auch Öffnungswinkel in Abhängigkeit von gewählter Bildauflösung und gewähltem Zoomobjektiv zu vermerken. Bei Verwendung von Wechselobjektiven sind zusätzlich die Öffnungswinkel des jeweiligen Objektivtyps verzeichnet, sodaß nur noch Objektivtyp und Entfernung angegeben werden müssen, um eine eindeutige Einordnung des Fotos in ein virtuelles 3D-Koordinatensystem zu erhalten. Dieser File wird beim Starten der Software geladen. Ein Mikrofonarray erhält einen digitalen Signaturchip, der dafür sorgt, daß jedes Array eindeutig identifiziert und zugeordnet werden kann. Im Parameterfile des Arrays werden folgende Daten von Kamera und Mikrofonen gespeichert: von der Kamera: Kameratyp, Treibertyp, Seriennummer, Auflösung)en), Objektive, Öffnungen) und Bildrate(n) . Von jedem Mikrofon: Mikrofontyp, Seriennummer, Kennempfindlichkeit, Membranmittelpunktskoordinate, 3D-Richtungsvektor, Ortskurven von Amplitude und Verzögerungszeit sowie Kanalzahl und Signatur des Arrays. In einem Parameterfile des Datenrecorders werden gespeichert: Kanalzahl, Verstärkungen aller Kanäle pro Verstärkungsstufe, Samplingraten, maximale Aufzeichnungstiefe, Hardwarekonfiguration sowie Wandler-Übertragungsfunktion.

[0034] Es ist zu erreichen, daß alle zu einer Aufnahme gehörenden Daten unverwechselbar gespeichert werden und für spätere Nachrechnungen fehlerfrei zur Verfügung stehen. Dazu werden Mikrofonkoordinaten und -ausrichtung, Kennempfindlichkeiten und Ortskurven, aktueller Fokus, verwendete Bildöffnung der Videokamera, Kalibrierdaten von Verstärker, Kamera und Mikrofonen und Array, Samplingrate, Videobild oder Videofilm sowie Zeitfunktionen aller Mikrofone und Sonderkanäle in einem einzigen Datenfile gespeichert. Mit diesem File ist jederzeit eine Nachrechnung einer älteren Aufnahme möglich, ohne daß spezifisches Wissen zu dieser Szene nötig ist.

[0035] Für die automatischen Zuordnung von akustischer Karte und Video-Kamerabild oder der manuellen Zuordnung von Skizze und akustischer Karte sind einfache Verfahren zu entwerfen. Erfindungsgemäß haben sich zwei Zuordnungsmethoden bewährt:

(1) Automatik: Der Abstand zum Objekt wird in einem Dialogfeld manuell vorgegeben. Abstand und dem Array-Parameterfile entnommene Objektivöffnung der Videokamera bestimmen die physische Begrenzung sowie die Koordinaten der zu berechnenden akustischen Karte. Dabei gibt das gewählte Video-Bildformat sowie das eingestellte Zoom-Format tabellarisch oder numerisch die Öffnungswinkel WX, WY vor. Zusammen mit dem Objektabstand A können die physischen Koordinaten des Bildfeldes bestimmt werden.

(2) Manuell: Ein auf einer Skizze bekannter Abstand und ein bekannter Punkt werden markiert. Daraus wird das zu berechnende Bildfeld samt Koordinaten bestimmt.

[0036] Um Rechenzeit zu sparen, ist die akustische Karte manuell effizient in zu berechnende Bildpixel aufzuteilen. Das zu berechnende, akustische Bildfeld (ebene Fläche oder 3D-Objekt) ist dafür in Teilflächen zu zerlegen. Deren Schwerpunkte stellen Koordinaten zu berechnender Bildpunkte dar. Der dem Schwerpunkt zugehörige Interferenzwert färbt diese Fläche ein. Der Nutzer gibt die Anzahl der Bildpunkte entlang der x- oder y-Achse in einem Dialogfeld vor, oder er gibt ein entsprechend dreieckszerlegtes 3D-Modell vor.

[0037] Um das Gerät als Meßinstrument einsetzen zu können, ist ein Verfahren zu entwickeln, welches reproduzierbare Ergebnisse liefert. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß die Zeitfunktionen der Schwer-

punkte der Teilflächen im selektierten Intervall rekonstruiert werden. Deren Effektivwerte charakterisieren z.B. den Schalldruck eines äquivalenten Kugelstrahlers in gleicher Entfernung.

[0038] Videokameras besitzen die Eigenschaft, kissenförmig verzerrte Bilder zu liefern. Es sind Verfahren anzugeben, die eine fehlerfreie Überlagerung von Video- und Schallbild in allen Bildpunkten eines Bildes gestatten. Um orthogonal unverzerrte, akustische Karten zur Deckung bringen zu können, ist mit üblichen Transformationen entweder das aus der Rekonstruktion kommende, orthogonale, akustische Bild zu verzerren oder das optische Bild ist zu entzerren. Ist die Videokamera außermittig im Mikrofonarray angeordnet, wird zusätzlich der Versatz des Bildes in der jeweiligen Objektentfernung über eine Transformation eingerechnet.

[0039] Lange Wellen ergeben matschige Bilder mit geringem Schalldruck-Kontrast. Es sind Methoden zur Belichtung und zur Schärfung des Kontrasts anzugeben, die auch vollautomatisch gute Bilder liefern. Die Aufgabe kann durch spezifische Methoden zur Einstellung der Farbtabelle gelöst werden: Mit der Berechnung jedes Bildpunktes werden global pro Bild je ein Maximum und ein Minimum pro akustischer Karte berechnet. Mit einer Menuefunktion "REL" (Relativkontrast) wird die Farbtabelle zwischen globales Maximum und globales Minimum einer einzelnen akustischen Karte gelegt. Damit entsteht bereits eine erkennbare, akustische Karte. Mit einer anderen Menuefunktion "ABS" wird die Farbtabelle zwischen Maximum und Minimum eines ganzen Films gelegt. Interessiert ein definiertes Kontrastverhältnis (z.B. –3 dB, oder –50 mPa), so wird (z.B. bei Filmen) vorteilhaft vom Maximum des Bildes ein interaktiv eingestellter Wert "minus delta" abgezogen, um das darzustellende Minimum zu ermitteln. Als default-Einstellung liefert diese Methode gegenüber den Methoden "ABS" und "REL" vollautomatisch hochwertige Bilder und Filme, in denen die Maxima sofort zu erkennen sind. Wenn ein Bild zu Vergleichszwecken auf eine vorgegebene Farbtabelle zentriert werden soll, erfolgt dies manuell mittels Menuefunktion "MAN". Hierbei geht ein zweifach-Dialogfenster (für max und min) auf. Eine weitere Menuefunktion "LOG" schaltet zwischen linearer Pascal- und logarithmischer dB-Darstellung der Farbtabelle um. Sind die Emissionen mehrerer, berechneter Bilder zu vergleichen, erweist sich eine Menuefunktion "ALL" als nützlich: sie übergibt die Farbtabelleneinstellungen des aktuellen Bildes an alle anderen Bilder.

[0040] Es sind Methoden zu entwickeln, um auf einfache Weise akustische Standbilder (1) und akustische Filme (2) generieren zu können. Erfindungsgemäß kommen folgende Verfahren zur Anwendung:

(1) Zur Generierung eines akustischen Einzelbildes wird in einem Zeitfunktionsfenster das interessierende Zeitintervall markiert. Entsprechend der Cache-Struktur des Prozessors wird dieser u.U. in kleinere Abschnitte zerlegt. Für jeden Bildpunkt wird nun der Interferenzwert bestimmt und zwischengespeichert. Das jeweilige Bild eines Abschnitts wird so berechnet. Die Bilder der Abschnitte werden mit gleitendem Mittelwert zum Gesamtbild des Rechenbereiches addiert und angezeigt. Man erkennt dies an einem schrittweisen Aufbau des Ergebnisbildes. In den Betriebsmoden Live-Preview oder akustisches Oszilloskop wird der Rechenbereich nicht manuell vorgegeben, stattdessen wird ein voreingestellter wert gewählt.

(2) Zur Berechnung eines akustischen Films wird wiederum ein interessierendes Zeitintervall vorgegeben. Über die Wahl einer Bildfrequenz werden Zeitintervalle für alle Einzelbilder bestimmt. Jeder Abschnitt erzeugt ein einzelnes Teilbild. So berechnete Filme erwecken allerdings noch einen stark zerhackten Eindruck. Um zu glätten, werden eine Anzahl von Teilbildern miteinander Bemittelt. Die Anzahl zu mittelnder Bilder wird als Faktor interaktiv vorgegeben. Ebenso können auch Bildfrequenz und Intervall pro Bild vorgegeben werden, um den Faktor aus der Intervallbreite zu bestimmen.

[0041] Direkte Überlagerungen von akustischer Karte und Videobild sind schwer zu erkennen, wenn beide farbig sind. Erfindungsgemäß können verschiedene Bildüberlagerungstypen über Menuebuttons eingestellt werden: "NOISE" akustische Karte on/off, "VIDEO" Videobild on/off, "EDGES" Kantenextraktion des Videobilds on/off, "GRAY" Grauwertwandlung des Videobildes on/off. Ein Schieberegler steuert dabei Schwellwert eines Operators zur Kantenextraktion oder Kontrast oder Grauwert des Videobildes.

[0042] Für die Analyse einer Maschine sind verschiedene Informationen, wie z.B. Zeitfunktionen verschiedener Orte, Schalldruck, Koordinaten, Frequenzfunktion oder Klang von Interesse. Es sind Methoden effizienter Interaktionen zwischen Ort und Frequenz- oder Zeitfunktionen anzugeben. Dies wird gelöst, indem bei bestimmten Methoden unterschiedliche Menueeinträge zur Verfügung stehen:

(1) Mausfunktionen: Durch Schieben der Maus kann im akustischen Bild ein Ort angewählt werden. Permanent wird an der Maus ein kleines Mausfenster mitgeschoben, auf dem optional der Schalldruck des jeweiligen Ortes oder die aktuellen Koordinaten des Ortes angezeigt werden. Beim Drücken der rechten Maustaste werden folgende Menueeinträge wählbar:

– Rekonstruktion der Zeitfunktion des aktuellen Ortes
– Rekonstruktion der Frequenzfunktion des Ortes
– Anzeige der Koordinaten des Ortes
– Anzeige des Schalldrucks des Ortes
– Speichern als Bild (z.B. als JPG, GIF oder BMP) oder als Movie (z.B. als AVI oder MPG)
– Speichern als Wertematrix in einem speziellen

Fileformat (Bild oder Movie)

(2) Abhören eines Bildes: Hinter jedem Bildpunkt wird die rekonstruierte Zeitfunktion zwischengespeichert. Wird eine Menuefunktion "Abhören" gewählt, wird optional repetierend die unter dem Mauszeiger liegende Zeitfunktion über die Soundkarte ausgegeben.

(2) Spektralbilddarstellung: Die Rechenoption stellt zwei wechselwirkende Fenster bereit: Bild und Spektrum. Klickt man mit der linken Maustaste ins Bild, wird das Spektrum des angeklickten Ortes im anderen Fenster angezeigt. Markiert man dort ein Frequenzintervall, erscheint das Bild zum selektierten Frequenzintervall. Hinter jedem Bild wird dazu in dritter Dimension eine der gewählten Samplezahl entsprechende Anzahl von Fourierkoeffizienten abgelegt. Es stehen die Speicheroptionen Photo (z.B. JPG) und Wertematrix des aktuellen Bildes sowie Wertematrix aller Bilder eines Bereichs oder Movie aller Bilder eines Bereichs (AVI) zur Verfügung.

(3) Differenzbilddarstellung: Vorab ist zusätzlich ein Referenzbild als Wertematrix zu laden. Im Menue erscheint die Wahloption "Difference Image". Es wird ein akustisches Bild berechnet. Aus der numerischen Differenz der Effektivwerte zwischen Bild und Referenzbild wird das Differenzbild berechnet und dargestellt.

(4) Zeitfunktions-Korrelationsbilddarstellung: Um ein bestimmtes Störgeräusch in einem Bild zu finden, wird ein akustisches Bild berechnet. Die rekonstruierten Zeitfunktionen sind hinter den Bildpunkten in dritter Dimension zwischengespeichert. Zusätzlich ist ein Bereich einer Zeitfunktion geeignet zu markieren. Bei Wahl der Option werden die Kreuzkorrelationskoeffizienten aller Bildpunkte mit der markierten Zeitfunktion berechnet und als Ergebnisbild dargestellt.

(5) Spektrale Differenzbilddarstellung: Zum Klassifikation z.B. von Motoren sind ortsselektive Korrelationen zwischen Soll- und Istzustand von Interesse. Dazu wird Bild oder Spektralbild als Referenzbild geladen, ein Bild oder Spektralbild gleicher Bildauflösung wird berechnet bzw. geladen. Die Kreuzkorrelationen der Zeitfunktionen der Bildpunkte werden im zeit- oder Frequenzbereich berechnet und als Ergebnis dargestellt. Eine zusätzlich auf das Bild legbare Schwellwertmaske gestattet zusätzlich eine Klassifikation.

(6) Autokorrelationsbild und -film: Wird nach einem Geräusch gesucht, von dem lediglich die Periode, nicht aber die Zeitfunktion bekannt ist, bietet sich diese Methode an. Im Menue wird die Option gewählt. Ein Dialog fordert zur Eingabe der gesuchten Periodendauer auf. Bildpunkt für Bildpunkt wird nun die rekonstruierte Zeitfunktion berechnet und mit sich selbst um die Periode verschoben autokorreliert. Der Ergebniskoeffizient wird in bekannter Weise dargestellt.

[0043] Die Koordinaten von Arrays sind im Millimeterbereich aufgrund von Fertigungstoleranzen ungenau. Dies kann bei Signalanteilen im niederen Ultraschallbereich zu fehlerhaften Bildern führen. Es sind Maßnahmen zur Verhinderung dieser Fehler zu ergreifen. Erfindungsgemäß ist eine Korrektur der Koordinaten der Mikrofone mittels einer spezifischen Kalibriersoftware möglich. Ausgehend von einem Testsignal wird eine mittlere Verzögerungszeit gemessen. Diese wird benutzt, um die jeweiligen Koordinaten im Initialisierungsfile des Mikrofonarrays für jedes Mikrofon zu korrigieren.

[0044] Fremdinterferenz gefährdet die Darstellung kurzer wellen bei höheren Frequenzen. Insbesondere ist der Gleichlauf aller Mikrofone und Verstärkerkanäle durch verschiedene Maßnahmen im Bereich eines Samples sicherzustellen. Das geschieht, indem alle Verstärkungseinstellungen, Laufzeiten und Frequenzabhängigkeiten der Vorverstärker mit einem automatischen Meßplatz vermessen werden. Die Daten werden im Parameterfile des Recorders gespeichert, die Zeitfunktionen mit den Meßdaten kompensiert. Die Mikrofone werden speziell selektiert, Verzögerungszeiten werden gemessen und zusammen mit Ortskurven verschiedener Frequenzen im Parameterfile des Arrays für Kompensationszwecke gespeichert. Koordinaten der Mikrofonarrays werden akustisch überprüft und ggf. korrigiert.

[0045] Es ist sicherzustellen, daß vor einer Messung die präzise Überlagerung und Ausrichtung zwischen Videobild und akustischem Bild überprüft werden kann. Dazu erfolgt ein Kalibriertest des Systems mittels sog. Klicker. Dieser erzeugt mittels Hochtonlautsprecher ein Testgeräusch. Das System arbeitet korrekt, wenn akustische Karte und Videobild am Lautsprecher übereinstimmen.

[0046] Für Mikrofonarray, Videokamera, Bildfeld und 3D-Objekte sind geeignete Koordinatensysteme zu bestimmen. Die erfindungsgemäße Lösung besteht darin, in einem einzigen Koordinatensystem zu arbeiten, dessen Achsen entsprechend rechter-Hand-Regel angeordnet sind. Mikrofonarray und Videokamera bilden eine Einheit, deren Koordinaten in einem Parameterfile gespeichert werden. Das zu berechnende Bildfeld wird vorteilhaft ebenfalls im Koordinatensystem des Arrays bestimmt. 3D-Objekte bringen i.a. ihr eigenes Relativkoordinatensystem mit und werden über entsprechende Koordinatentransformationen eingebunden.

[0047] Werden akustische Bilder komplexer Objekte angefertigt, können praktisch nicht vorhersehbare Situationen (zuviel Lärm aus dem Umfeld etc.) die Bildqualität erheblich beeinträchtigen. Um vorzubeugen, daß stets qualitativ hochwertige Bilder entstehen, ist eine Sucherfunktion (Live Preview) – analog der eines Fotoapparats – von Vorteil. Es werden problemangepaßt repetierend wählbar Zeitfunktionsstücken sowie ein zugehöriges Foto aufgenommen und zusammen zu einem akustischen Sucher-Bild verarbeitet, berechnet und angezeigt. Während der Re-

chenzeit werden bereits neue Daten aufgenommen. Sobald die Rechnung beendet ist, beginnt der Zyklus von vorn. Das Sucher-Bild wird genauso verarbeitet, wie jede andere akustische Aufnahme. Die Sucherfunktion wird automatisch beim Öffnen des Suchbildfensters eingeschaltet und gestattet je nach Rechenleistung eine mehr oder weniger flüssige, filmartige Darstellung der momentanen Umgebungsgeräusche als bewegter Film.

[0048] Übersteuerungen der Mikrofonkanäle führen zu undefinierten Zusatzverzögerungen einzelner Kanäle, die das akustische Bild erheblich verfälschen können. Es sind Maßnahmen zu ergreifen, die eine so gestörte Aufnahme auch nachträglich identifizierbar machen. Erfindungsgemäß erfolgt eine Überwachung der Aussteuerung der im Recorder für Zeitfunktionen aufgenommenen Samples zweckmäßig über eine Aussteuerungsanzeige per Software. Zusätzlich wird bei Aufnahme im Fenster der Zeitfunktionsdarstellung ein fixer Maßstab initialisiert, der der Vollaussteuerung der Analog-Digital-Converter (ADC) des Recorders entspricht. Damit ist Unter- oder Übersteuerung der ADC auch bei späterer Auswertung der Aufnahme gut zu erkennen.

[0049] Zeitfunktionen sind nur mit Informationsverlust komprimierbar. Um eine verlustfreie und dennoch effiziente Speicherung zu ermöglichen, sind entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Erfindungsgemäß werden Samples von Zeitfunktionen in einem üblichen Sigma-Delta-Format oder in einem speziellen Datenformat mit 16 Bit plus einer für alle Samples eines (Mikrofon-)Kanals gültigen Verstärkungskonstante (Offset) abgespeichert. Bei 16-bit Analog-Digitalwandlern entspricht die Konstante der eingestellten Verstärkung der Vorverstärker, bei höher auflösenden Wandlern (z.B. 24 Bit) werden nur die höchstwertigen 16 Bit und das Offset abgespeichert.

[0050] Mit einer akustischen Kamera sind Schallereignisse zu beobachten, die sporadisch auftreten. Erscheint das Ereignis, ist es zu spät, die Kamera auszulösen. Erfindungsgemäß werden alle Zeitfunktionen und Bilder deshalb in einen umlaufend organisierten Pufferspeicher geschrieben, der im Moment der Auslösung angehalten werden kann (Stop-Trigger) bzw. der im Moment der Auslösung bis zu einen Umlauf weiterläuft (Start-Trigger).

[0051] Für Datenrecorder sollen preiswerte, handelsübliche Bauelemente verwendet werden. Erfindungsgemäß wird deshalb jeder Kanal eines Datenrecorders mit einem Signalgenerator vermessen. Für den jeweiligen Datenrecorder wird ein gerätespezifischer Parameterfile oder Gerätetreiber angelegt, der alle aktuellen Stufenverstärkungen sowie die Grundverstärkung jedes Kanals enthält. Dieser File ist ladbar und wird bei Aufnahmestart ausgewählt und geladen.

[0052] Es ist sicherzustellen, daß Kennempfindlichkeiten, Ortskurven und Verzögerungszeiten (Delays) der Mikrofone und Verstärkerkanäle verwechslungsfrei interpretiert werden können. Dazu wird die Gesamtverstärkung jedes Kanals aus den Daten im Initialisierungsfile des Mikrofonarrays (Empfindlichkeit der Mikrofone) sowie dem des Recorders (eingestellte Verstärkung) ermittelt. Der Schalldruck jedes Kanals wird aus den Samplewerten der ADC unter Berücksichtigung der aktuell eingestellten Verstärkung ermittelt.

[0053] Oft sind externe Signale (Sonderkanäle, z.B. Spannungsverläfe, Druckverläufe, etc.) zusammen mit den Mikrofonzeitfunktionen des Arrays aufzunehmen. I.a. haben deren Quellen aber andere Aussteuerung. Erfindungsgemäß werden deshalb die Mikrofone des Arrays mit einem Regler gemeinsam, alle Sonderkanäle hingegen einzeln ausgesteuert.

[0054] Sonderkanäle bedienen oft verschiedenartige Sensoren, z.B. für Spannungsverlauf, Stromverlauf, Helligkeit. Dies kann später zu Verwechslungen führen. Erfindungsgemäß wird pro Kanal ein Übertragungsfaktor gespeichert.

[0055] Parameter des Mikrofonarrays sind i.a. unveränderlich, während Parameter von Sonderkanälen oft variiert werden. Erfindungsgemäß werden beide Arten von Parametern in getrennten Files aufbewahrt, um Re-Initialisierbarkeit der Array-Parameter zu erreichen.

[0056] Zur Darstellung des Schalldrucks in den Zeitfunktionen wird die Mikrofonkonstante einbezogen. Werden die Verstärkerkanäle überprüft, führt dies zu verschieden hohen Anzeigen. Erfindungsgemäß wird für Serviceaufgaben eine Umschaltoption bereitgestellt, die die Spannung an den Verstärkereingängen (ohne Mikrofonkonstante) darstellbar macht.

[0057] Die Erfindung ist nicht beschränkt auf die hier dargestellten Ausführungsbeispiele. Vielmehr ist es möglich, durch Kombination und Modifikation der genannten Mittel und Merkmale weitere Ausführungsvarianten zu realisieren, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass

– das Mikrofonarray und eine optische Kamera in einer vorgebbaren Lage zueinander angeordnet werden und von der optischen Kamera automatisch wenigstens ein Teil der Messungen dokumentiert wird,

– akustische Karte und optisches Bild dadurch überlagert werden, dass Objektabstand und Kameraöffnungswinkel ein optisches Bildfeld definieren, auf welches die akustische Karte gerechnet wird,

– berechnungsrelevante Parameter der Mikrofone und der Kamera eines Arrays in einem Parameterfile des Arrays unverwechselbar gespeichert werden,

– Verstärkerparameter in einem oder mehreren, den Verstärkerbaugruppen oder dem Datenrecorder zu-

geordneten Parameterfile gespeichert werden,
– Mikrofonarray und Verstärkerbaugruppen bzw. Datenrecorder jeweils elektronische Signaturen besitzen, die entsprechende Parameterfiles unverwechselbar lädt,
– das zu berechnende akustische Bildfeld in Teilflächen zerlegt wird, deren Schwerpunkte Koordinaten der zu berechnenden Bildpunkte darstellen,
– akustische Karten optimal belichtet werden, indem verschiedene Methoden (Absolut, Relativ, Manuell, Minus Delta, Lin/Log, All, Effektivwert, Peak) gewählt werden, um Minimum und Maximum einer Farbskala geeignet vorzugeben,
– Gleichlauffehler aller Mikrofone und Verstärkerkanäle dadurch eliminiert werden, dass Aufnahmen mit entsprechenden Parametern aus den Parameterfiles des Mikrofonarrays und des Datenrecorders kompensiert werden,
– Datensätze der Kameraaufnahmen und ihnen zugeordnete Datensätze der Mikrofon-Zeitfunktionen, Zeitsynchronsignale, Szeneninformationen und Parameterfiles von Mikrofonarray und Datenrecorder zusammen mit Informationen über diese Zuordnung abgespeichert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in das Mikrofonarray eine Videokamera fest eingebaut ist, die automatisch bei jeder Messung ein Bild oder eine Bildfolge aufnimmt oder die im Video-Mode oder im Oszilloskop-Mode kontinuierlich Bilder liefert.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für jedes Mikrofon des Mikrofonarrays der Typ, die Kennempfindlichkeit, die Membran-Mittelpunktskoordinate (x, y, z), die Achsenausrichtung (dx, dy, dz), die Ortskurven der Amplituden und der Verzögerungszeiten und für die optische Kamera Typ, Bildöffnungswinkel, maximale Bildfrequenz und Pixelauflösungen in einem dem Mikrofonarray zugeordneten Parameterfile gespeichert werden, wobei dem Parameterfile eine Identifikationsnummer zugeordnet wird, die mit der Hardware-Signatur des Arrays referenziert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand der optischen Kamera zum akustischen Objekt in einem Dialogfeld der Software vorgegeben wird und im Datenfile mit abgespeichert wird, sodass mit einer bekannten Objektivöffnung der optischen Kamera die physischen Begrenzungen sowie die Koordinaten der zu berechnenden akustischen Karte automatisch ermittelt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass akustische Standbilder und akustische Filme generiert werden, indem in der Zeitfunktionsdarstellung der Mikrofone ein Intervall markiert wird, das entsprechend der Cache-Struktur des Prozessors in Teilabschnitte zerlegt wird und deren Teilbilder zum Gesamtbild gemittelt werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Spektrogramm-Fenster per Mauszug gleichzeitig ein Frequenz- und Zeitbereich gewählt wird, für den ein akustisches Bild oder ein Movie entwickelt werden kann.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Berechnung eines Films die Länge der Teilabschnitte über die gewählte Bildfrequenz vorgegeben wird und von jedem Teilabschnitt ein einzelnes Bild erzeugt wird, wobei über Vorgabe eines Faktors gewählt werden kann, wie viele Teilabschnitte zu je einem Bild gemittelt werden sollen.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die akustische Karte mit einer Farbtabelle dargestellt wird, indem eine farbige akustische Karte einem Videobild überlagert wird, dessen Kanten mittels eines Kanten-Operators extrahiert werden können und/oder welches mittels Kontrast- oder Grauwertregler angepaßt werden kann.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Überlagerung von akustischer Karte und Videobild gesteuert wird, indem über Menübuttons verschiedene Ansichten eingeschaltet werden können (Kantenbild, Grauwertbild, Videobild, akustische Karte), wobei ein Schieberegler jeweils den Schwellwert des Kanten-Operators oder den Kontrast oder den Grauwert des Videobildes steuert.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gleichlauf aller Mikrofone und Verstärkerkanäle sichergestellt wird, indem alle Verstärkungseinstellungen, Laufzeiten und Frequenzabhängigkeiten der Vorverstärker vermessen, alle Daten in einem entsprechenden Parameterfile gespeichert und die Zeitfunktionen mit den so gewonnenen Kalibrierdaten kompensiert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass vor einer Messung die präzise Überlagerung und Ausrichtung zwischen optischem Bild und akustischem Bild überprüft werden kann, indem mit einem Kalibriertester ein Testgeräusch erzeugt wird, mit dem die richtige Überlagerung von Kamerabild und akustischer Karte überprüft werden kann.

12. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Videokamera und Mikrofone des Arrays in einem gemeinsamen 3D-Koordinatensystem angeordnet sind, wobei das Mikrofonarray und die optische Kamera mechanisch eine Einheit bilden und auf ein gemeinsames Bildfeld kalibriert sind.

13. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine fehlerfreie Überlagerung von Video- und Schallbild in allen Bildpunkten eines Bildes

dadurch gewährleistet wird, dass mit bekannten Transformationen entweder das akustische Bild kissenförmig verzerrt oder das optische Bild entzerrt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Aussteuerung der Analog-Digital-Konverter des Datenrecorders angezeigt und im Datenfile mit abspeichert wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für jeden Punkt im akustischen Bild Zeitfunktion, Frequenzfunktion, Schalldruck, Koordinaten, Klang oder Korrelation mit einer bekannten Zeitfunktion durch Mausklick auf diesen Punkt und ein Menue unter der rechten Maustaste aufgerufen werden können.

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Fenster ein Frequenzintervall selektiert wird und in einem zweiten Fenster das zugehörige Spektralbild erscheint oder daß im zweiten Fenster ein Spektralbereich selektiert wird, dessen akustisches Bild wiederum im ersten Fenster dargestellt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit Mausklick auf einen Bildpunkt eines akustischen Bildes in einem zweiten Fenster die zugehörige Spektral- oder Zeitfunktion erscheint.

18. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abhörmode einschaltbar ist, bei dem per Mausberührung eines Bildpunkts eines akustischen Bildes dessen Zeitfunktion rekonstruiert wird und als Ton repetierend abgespielt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Bilder, Bewegungs- und Spektralfilme als Bild oder als Movie und/oder als Interferenzwertmatrizen in speziellen Fileformaten gespeichert werden können, um bereits berechnete Ergebnisse schnell wieder laden zu können und Farbtabellen verschiedener Ergebnisse aufeinander abstimmen zu können.

20. verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Bild aus der numerischen Differenz der Effektivwerte zweier akustischer Bilder berechnet wird und als Differenzbild darstellbar ist.

21. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Zeitfunktions-Korrelationsbild gebildet wird, indem ein akustisches Foto berechnet wird und die rekonstruierten Zeitfunktionen der Bildpunkte mit der gewählten Zeitfunktion korreliert werden und dieses Ergebnis in einem weiteren Fenster angezeigt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Mikrofondaten in einen umlaufend organisierten Speicher geschrieben werden, sodaß wahlweise gleitend vor, während oder nach Triggerung aufgenommen werden kann.

23. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in den Modi „akustisches Photo" und „Linescan" ein Videobild zum Zeitpunkt der Triggerauslösung aufgenommen wird und der Triggerzeitpunkt in den Zeitfunktionen dargestellt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Zeitsynchroninformationen zwischen PC, Datenrecorder und Videokamera ausgetauscht werden, mit denen die zeitliche Zuordnung zwischen Videobild und Zeitfunktionen der Mikrofone hergestellt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Videokamera im Mode „akustischer Film" repetierend zu definierten Zeiten ausgelöst wird, oder daß die Videokamera kontinuierlich Bilder liefert und ein Zeitsynchronsignal an den Datenrecorder liefert, welches in einem Synchronkanal aufgezeichnet wird.

26. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Oszilloskop- oder Live-Preview-Mode einstellbar ist, bei dem problemangepasst und repetierend wählbar ein Zeitfunktionsabschnitt sowie ein zugehöriges Videobild aufgenommen werden und zusammen zu einem akustischen Bild verarbeitet, berechnet und angezeigt werden, wobei während der Rechenzeit vom Datenrecorder bereits neue Daten aufgenommen und zwischengespeichert werden.

27. Vorrichtung zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, dadurch gekennzeichnet, dass in das Mikrofonarray eine optische Kamera integriert ist, die mit dem Mikrofonarray eine Einheit bildet, wobei über Mittel zur Datenübertragung Mikrofondaten, Kamerabild er) und Zeitsynchroninformationen zwischen Mikrofonarray, einem Datenrecorder und einer Datenverarbeitungseinrichtung ausgetauscht werden.

28. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass alle Mikrofondaten eines Arrays über eine gemeinsame Verbindung (Kabel oder Bus) geführt werden und über einen gemeinsamen ein- oder mehrteiligen Stecker an den Datenrecorder angeschlossen sind.

29. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuleitung der Videokamera ebenfalls in diese gemeinsame Verbindungsleitung integriert ist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mikrofonarray einen Signaturchip im an den Datenrecorder angeschlossenen Stecker enthält.

31. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass an den Datenrecorder ein Kalibriertestgerät anschließbar ist, welches einen Schallerzeuger enthält.

32. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass eine unlösbar verbundene Einheit aus Mikrofonarray und Videokamera auf einem Fotostativ schwenkbar montiert ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass Mikrofonarrays unterschiedlicher Kanalzahl an einen Datenrecorder pinkompatibel über denselben, ein- oder mehrteiligen, für verschiedene Arrays identischen Steckertyp anschließbar sind, wobei nicht benötigte Eingänge im Stecker u.U. kurzgeschlossen sind.

34. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Datenrecorder in das Mikrofonarray integriert ist und diese Einheit auf ein Fotostativ schwenkbar montiert ist.

35. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass statt eines Personal Computers auch ein Signalprozessorboard oder Spezialrechner benutzt werden kann, der in den Datenrecorder integriert ist.

36. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein faltbares Mikrofonarray für Messung über große Distanzen vorteilhaft aus einer Videokamera und mindestens drei mit je n Mikrofonen bestückten, nicht in einer Ebene liegenden Rohren besteht, die mit mindestens zwei Gelenken verbunden sind.

37. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein akustisch transparentes Mikrofonarray für zweidimensionale Messungen in Innenräumen vorteilhaft aus einer Videokamera und auf einem Ring in gleichen Abständen angeordneten Mikrofonen besteht.

38. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein akustisch reflexives Mikrofonarray für zweidimensionale Messungen in Innenräumen vorteilhaft aus einer Videokamera und auf einer Fläche in Kreisform in gleicher Winkelteilung angeordneten Mikrofonen besteht, wobei bei einer Ausführung als Koffer der Datenrecorder integriert ist.

39. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mikrofonarray für dreidimensionale Messungen in Kabinen vorteilhaft als kugelförmiger Regelflächner ausgebildet ist, wobei die Mikrofone auf der Oberfläche gleichverteilt liegen.

40. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel zur Datenübertragung Kabelverbindungen, Funkverbindungen und/oder Infrarotverbindungen sind.

41. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Kamera als Videokamera ausgebildet ist.

42. Vorrichtung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Datenverarbeitungseinrichtung als PC oder Notebook ausgebildet ist.

43. Computerprogramm-Erzeugnis, das ein computerlesbares Speichermedium umfaßt, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, durchzuführen, wobei die bildgebende Darstellung die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26 umfaßt.

44. Computerlesbares Speichermedium, auf dem ein Programm gespeichert ist, das es einem Computer ermöglicht, nachdem es in den Speicher des Computers geladen worden ist, ein Verfahren zur bildgebenden Darstellung von akustischen Objekten durch die Aufnahme von akustischen Karten über ein Mikrofonarray, denen ein Bezugsbild des Messobjekts zugeordnet wird, durchzuführen, wobei die bildgebende Darstellung die Verfahrensschritte gemäß einem der Ansprüche 1 bis 26 umfaßt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

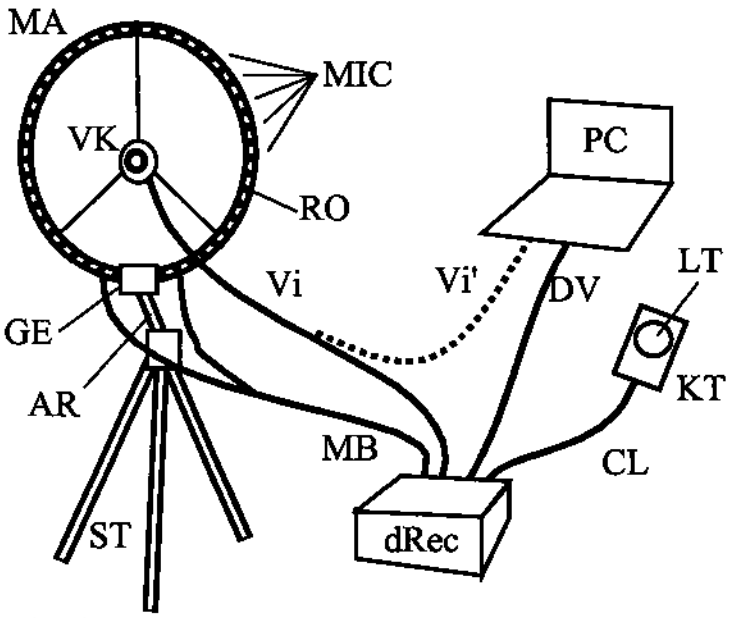


Fig. 1

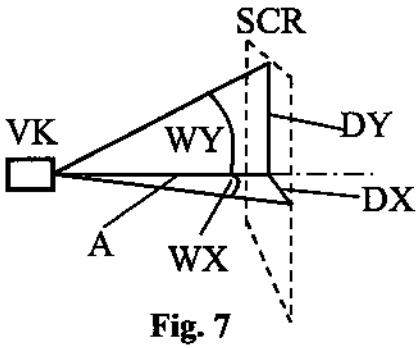


Fig. 7

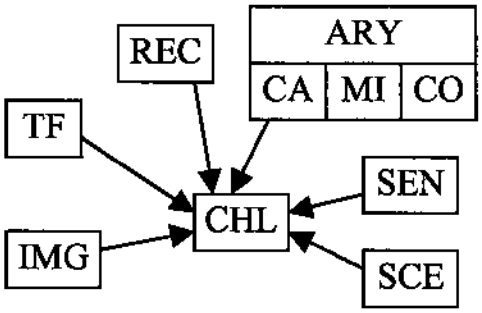


Fig. 6

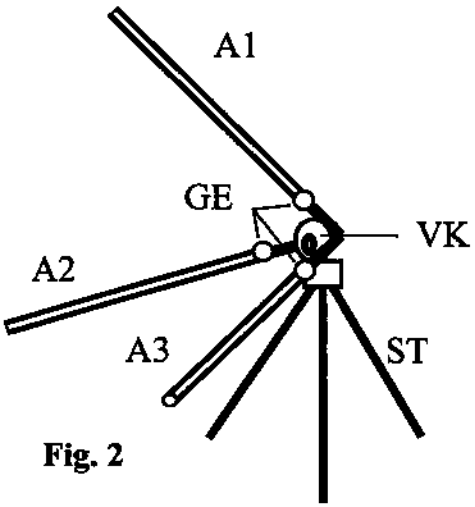


Fig. 2

EDGES	GRAY	VIDEO	NOISE

Fig. 3

LOG	REL	MAN	−Δ	ALL	EFF	PEAK

Fig. 4

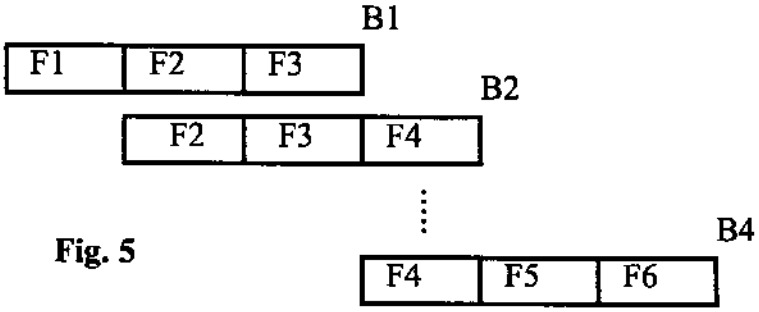


Fig. 5