

(12)

Patentschrift

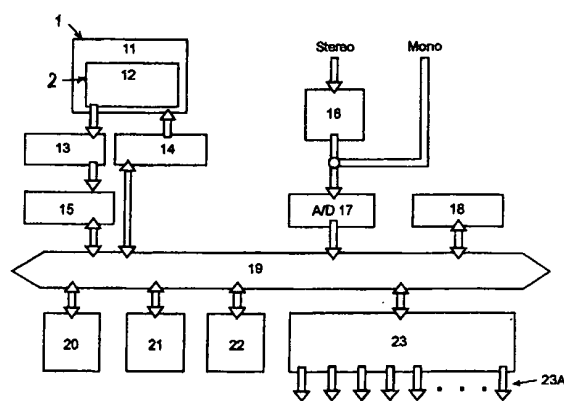
(21) Anmeldenummer: A 366/2004
(22) Anmeldetag: 2004-03-04
(42) Beginn der Patentdauer: 2005-02-15
(45) Ausgabetag: 2005-09-26

(51) Int. Cl.⁷: **H04R 3/00**
H04R 3/12

(73) Patentinhaber:
DOBLER & STAMPFL AUDITE OEG
A-1030 WIEN (AT).

(54) VORRICHTUNG ZUR HERLEITUNG VON RÄUMLICHEN SCHALLSIGNALEN

(57) Vorrichtung (10) zur Herleitung von räumlichen Schallsignalen unter Verwendung von Positionsinformationen, mit einer Tonsignal-Prozessoreinrichtung (23), der ein Tonsignal-Eingangskreis (16, 17) und ein Positionsinformations-Eingangskreis zugeordnet sind, und die einen Mehrkanaltonsplitter (27) aufweist, wobei der Positionsinformations-Eingangskreis eine berührungssensitive Positionseingabeinheit (12) aufweist.



Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Herleitung von räumlichen Schallsignalen unter Verwendung von Positionsinformationen, mit einer Tonsignal-Prozessoreinrichtung, der ein Tonsignal-Eingangskreis und ein Positionsinformations-Eingangskreis zugeordnet sind, und die einen Mehrkanaltönsplitter aufweist.

Die räumliche Position von Schallereignissen ist eines der grundlegenden Elemente der auditiven Wahrnehmung; das menschliche Ohr ist in Verbindung mit der Verarbeitung der Signale im Gehirn fähig, Schallobjekte bis auf etwa 1° horizontale und 3° vertikale Differenz zu unterscheiden.

Diese Eigenschaft der menschlichen Wahrnehmung kann in künstlichen, computergenerierten Systemen mittels der so genannten „sound spatialization“, der Erzeugung eines künstlichen dreidimensionalen Klangeindrucks, simuliert werden. Dabei wird durch Anwendung verschiedener, psychoakustischer Verfahren, insbesondere der Filterung mit so genannten HRTFs (Head Related Transfer Functions - vgl. z.B. US 6 442 277 B1, US 5 729 612 A oder US 2003-123676 A), versucht, künstliche Signale zu generieren, die eine natürliche räumliche Wahrnehmung hervorrufen. HRTFs repräsentieren die Veränderungen, welchen eintreffende Schallwellen am Körper des Hörers, vor allem an dessen Ohr, Kopf und Torso, unterliegen. Aufgrund der individuellen Form von Ohr, Kopf und Torso ist jedem Menschen ein eigenes Set an Koeffizienten für die HRTF-Filter zu eigen. Aus Effizienzgründen werden im Allgemeinen jedoch gemittelte Parameter für die HRTF-Koeffizienten verwendet, die eine gute räumliche Wahrnehmung bei einem Großteil der Hörer hervorrufen.

Der Begriff „3D-Sound“ (räumlicher Schall) beschreibt Schallsignale, die durch HRTF-Filterung an einer beliebigen Position im Raum platziert werden können. Die Mehrheit von 3D-Sound-Systemen wurde für die Verwendung mit Kopfhörern entwickelt, da die Abhörsituation in diesem Anwendungsfall vorab spezifiziert werden kann. Bei der Wiedergabe von 3D-Sound über Mehrkanal-Ton-Systeme, also Systeme, die mit mehreren, im Allgemeinen mindestens vier, Lautsprechern aufgebaut sind, tritt ein zusätzliches technisches Problem auf: Der so genannte „Crosstalk-Effekt“, der dadurch entsteht, dass Signale eines dem jeweiligen Ohr des Hörers näher gelegenen Lautsprechers mit Signalen eines entfernteren (gegenüberliegenden) Lautsprechers vermischt werden, wodurch der Positionseindruck verwischt bzw. verfälscht wird. Aus diesem Grund wird ein System namens „Crosstalk-Auslöschung“ verwendet, welches beispielsweise in der US 3 236 949 A beschrieben wurde, und das die störenden Schallwellen durch akustische Auslöschung eliminiert.

Mehrkanal-Ton-Technologien, wie zum Beispiel Dolby Surround, Dolby Digital oder DTS, kommen in aufgezeichneter, vorproduzierter Form seit einigen Jahren bei Kinofilmen zum Einsatz. Der Unterschied dieser Technologien zu 3D-Sound ist erstens das Fehlen der Verwendung psychoakustischer Verfahren und zweitens die fehlende Möglichkeit der Kontrolle über die Position von akustischen Signalen im Raum, da die räumliche Information fest determiniert ist.

Aufgrund der Entwicklung der Crosstalk-Auslöschung ist es möglich, 3D-Sound auf Mehrkanal-Ton-Systemen realistisch wiederzugeben. Die Anwendung dieser Technologien ist jedoch auf wenige Spezialbereiche, wie etwa Virtual und Augmented Reality-Systeme, beschränkt, da weder entsprechende Interfaces zur Steuerung vorhanden sind, noch entsprechende Geräte, die die komplexe Berechnung der akustischen Signale bewerkstelligen.

In vielen Räumlichkeiten, vor allem in Veranstaltungssälen, Konzertsälen und Diskotheken, aber auch bei Outdoor-Veranstaltungen, sind mehrere Lautsprecher vorhanden. Bisher kann jedoch das Vorhandensein dieser Lautsprecher kaum kreativ genutzt werden, da jeder Lautsprecher mit Kopien eines einzigen Signals (eines Monosignals) oder mit Kopien von maximal zwei Signalen (Stereosignal) versorgt wird. Lediglich durch den Einsatz von teuren Mischpulten, die über mehr als zwei Ausgangswege verfügen, ist es bisher möglich, unterschiedliche Signale an verschiedene Lautsprecher zu senden. Ein Problem bei dieser Vorgangsweise stellt, neben

den hohen Kosten, das Fehlen entsprechender Interfaces dar, die eine intuitive und punktgenaue Positionierung von Audiosignalen ermöglichen. Dadurch ist die Anwendung der Komponente „Raum“ in kreativen Performances nur mit sehr großem Aufwand und nur in sehr eingeschränkter Form möglich. Weiters ist es bisher nicht möglich, psychoakustische Verfahren, wie zum Beispiel HRTF-Filterung, auf die Audiosignale anzuwenden, wodurch der entstehende Raumeindruck auf die Positionen realer Lautsprecher beschränkt bleibt und eine Positionierung von Schallquellen an virtuellen Positionen an beliebigen Stellen im Raum unmöglich ist.

Darüber hinaus ist es derzeit nicht möglich, aus einem ein-(mono) oder zwei- (stereo) kanaligen Signal einen Mehrkanal-Ton zu erzeugen, dessen Position im Raum von einem Benutzer gezielt bestimmt werden kann. Komplizierte Steuerungen mit professionellen Mischpulten sind zwar denkbar, jedoch in der Praxis kaum anwendbar.

Ein typisches Beispiel für die Erzeugung von 3D-Sound mit den vorerwähnten Beschränkungen ist in der US 6 442 277 B enthalten: Bei dem hier beschriebenen System wird ausgehend von einem Monosignal unter Anwendung von HRTF-Filterung und Crosstalk-Auslöschung unter Verwertung von Positionsinformationen ein räumlicher Stereokanal zur Wiedergabe an zwei Lautsprechern hergeleitet, wobei sowohl die Möglichkeiten einer vielseitigen, flexiblen Steuerung als auch die Möglichkeiten zur Ansteuerung von mehr als zwei Kanälen fehlen.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, hier Abhilfe zu schaffen und eine Vorrichtung wie eingangs angeführt vorzusehen, mit der es möglich ist, 3D-Sound in umfassender Form, mit einem breiten Bereich von Steuerungsmöglichkeiten und der Möglichkeit des Anschlusses von beliebig vielen Lautsprechern, für live-Anwendungen einzusetzen. Insbesondere bezweckt die Erfindung die Schaffung einer Vorrichtung, mit der ein Schallsignal auf einfachste Weise beliebig im Raum positioniert werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung eine Vorrichtung wie in Anspruch 1 definiert vor. Vorteilhafte Ausbildungsformen und Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen definiert.

Der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann als Eingangssignal ein Mono-Signal oder ein Stereo-Signal zugeführt werden, und sie erzeugt entsprechend den vorgenommenen Interaktionen ein Mehrkanal-Ton-Signal. Für die Interaktionen wird mit Vorteil ein Touch Panel bzw. ein Touchscreen als Interface verwendet, wodurch eine intuitive Steuerung und punktgenaue Platzierung des Schallsignals im jeweiligen Raum ermöglicht wird. Die Abbildung des jeweils vorliegenden Raums auf dem Touchscreen erleichtert dabei die Steuerung der verschiedensten Schall-Positionen zwischen den tatsächlich vorhandenen Lautsprechern, und es wird in Verbindung mit der Anpassung der akustischen Signale an die jeweiligen Gegebenheiten eine individuelle Konfiguration für einen Raum ermöglicht. Dabei kann de facto eine beliebige Lautsprecheranzahl vorgesehen werden, wobei eine praktische Anzahl bei acht Lautsprechern liegen kann, und es ist vorgesehen, die tatsächlichen Positionen der Lautsprecher als Raumparameter einzugeben; in der Folge kann die räumliche Platzierung von Schall in den unterschiedlichsten Anwendungsfällen und mit grundsätzlich sich unterscheidenden Einstellungen vorgenommen werden. Für die sich zeitlich ändernde Platzierung des Schalls im Raum können auch Bewegungsmuster vorgesehen werden, d.h. die Position des Schalls im Raum, die über den Touchscreen gesteuert wird, kann in einer beliebigen, gewünschten Weise bewegt werden; diese Bewegungsmuster können auch aufgezeichnet, d.h. in einem Speicher abgelegt, werden, so dass sie zu einem späteren Zeitpunkt wieder ausgelesen und wiederholt werden können. Dabei kann auch die Geschwindigkeit der Wiedergabe dieser Bewegungsmuster geändert und angepasst werden, so dass beispielsweise eine Synchronisation der räumlichen Position des Schalls mit dem Takt von wiedergegebenen Musikstücken ermöglicht wird.

Die vorliegende Vorrichtung kann in einer Audio-Wiedergabeeinrichtung als letztes Glied vor den Verstärkern vorgesehen werden, und beispielsweise mit dem Eingang an den Master-Output eines Mischpultes angeschlossen werden. Es kann aber jedes andere Audiosignal als

Eingangssignal verwendet werden. Aus diesem Eingangssignal wird wie erwähnt der Mehrkanal-Ton hergeleitet und über den Touchscreen wird die Position des Tons in Echtzeit im Raum einfach mit Fingerbewegungen verschoben. Auf dem Touchscreen können selbstverständlich auch andere Schaltfelder vorgesehen sein, um weitere Funktionen ansteuern zu können, wie etwa Lautstärkeregelung, Raumeindrucksintensität und dergleichen. Auf dem Touchscreen kann auch die jeweils aktuelle Klang- bzw. Tonposition durch ein Symbol dargestellt werden, abgesehen davon, dass auf dem Schirm überdies Felder zur Angabe von anderen Hinweisen in Textform bzw. in Zahlen vorgesehen sein können.

Es sei hier noch erwähnt, dass es aus der US 5 559 301 A an sich bekannt ist, einen Touchscreen als Interface für ein Tonsystem zu verwenden. Dabei werden jedoch verschiedene Funktionen ähnlich einem Mischpult für elektronische Klangsysteme angesteuert, nicht jedoch wird die räumliche Position vom Schall gesteuert.

Ein Touchscreen mit der Möglichkeit der verschiedensten Eingaben über Berührungen des Bildschirms kann menügesteuert auch die verschiedenen Schaltfelder je nach Stand im Betriebsablauf in entsprechenden Farben anzeigen, und insbesondere kann die Position des (aus den verschiedenen Lautsprecheranteilen zusammengesetzten) Schallsignals durch ein Symbol angezeigt werden, das durch Anlegen und Bewegen eines Fingers im ebenfalls am Bildschirm angezeigten Raum-Grundriss verschoben werden kann. In einem Bereich neben diesem Hauptfeld mit Anzeige des Raumes, der Mitte der Lautsprecherpositionen und der aktuellen Position des Schalls können Funktionsfelder wie beispielsweise für eine Regelung der Intensität des räumlichen Eindrucks und der Lautstärke, ebenso wie Funktionssteuerungen bezüglich Aufzeichnen von Bewegungsmustern der Positionen der Klangmitte im Raum vorgesehen sein. Weiters ist es auch denkbar, einzelne Lautsprecher über den Touchscreen abzuschalten oder aber zuzuschalten, wobei abhängig von den jeweils aktiven Lautsprechern im Raum der jeweilige Mittelpunkt berechnet wird, wie nachstehend noch näher erläutert werden wird.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. In der Zeichnung zeigen dabei im Einzelnen: Fig. 1 schematisch eine Darstellung eines Touchscreens zur Steuerung der Erzeugung von positionsabhängigem Mehrkanal-Ton; Fig. 2 ein Schema in der Art eines Blockschaltbildes zur Veranschaulichung einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung; Fig. 3 in einem vergleichbaren Schema den Aufbau und die Funktion der bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehenen Tonsignal-Prozessoreinrichtung; Fig. 4 ein Schema zur Veranschaulichung der Bauweise und Betriebsweise eines bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehenen Positionskonverters; die Fig. 5A, 5B, 5C und 5D die Vorgangsweise bei der Berechnung des Mittelpunktes einer Mehrzahl von einem im Grundriss veranschaulichten Raum zugeordneten Lautsprechern, wie sie von einer Raumparameter-Einheit der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgenommen wird; und die Figuren 6A und 6B, bezogen auf den Raum, wie er den Darstellungen in den Figuren 5A bis 5D zu Grunde liegt, eine standardisierte Lautsprecheraufstellung einschließlich des Ursprungs des zugeordneten Koordinatensystems (Fig. 6A) und ausgehend hiervon ein Beispiel für eine Positionsumrechnung bei der am Touchscreen angesteuerten Verstellung der Position des Klangs im Raum (Fig. 6B).

In Fig. 1 ist schematisch ein Touchscreen 1 als berührungssensitive bzw. drucksensitive Positioneingabeeinheit sowie allgemein als Schnittstelleneinheit für die Eingabe von (weiteren) Steuerungswünschen, zusätzlich zur Verschiebung von Raumklangpositionen, dargestellt. Im Einzelnen ist im Touchscreen 1 gemäß Fig. 1 in einem Hauptfeld 2 die Darstellung des Grundrisses des jeweiligen Raumes 3 vorgesehen, in dem der mit der Vorrichtung 10 (siehe Fig. 2), zu der der Touchscreen 1 gehört, erzeugte Raumschall hinsichtlich seiner Position im Raum 3 stufenlos verschoben wird, was mit einem Symbol 5 für die Position des aktuellen Raumklangs veranschaulicht ist. Es sei hier erwähnt, dass selbstverständlich die Bewegung nicht nur horizontal und vertikal hin und her gehend möglich ist (wie dies schematisch in Fig. 1 mit Pfeilen 4 veranschaulicht ist), sondern auch schräg, entsprechend beliebigen gekrümmten Linien usw.,

was jedoch der Einfachheit halber in Fig. 1 nicht gezeigt ist. Dem Raum 3 zugeordnet sind beispielhaft vier Lautsprecher P_1 , P_2 , P_3 und P_4 , wobei selbstverständlich auch eine andere Anzahl von Lautsprechern, beispielsweise acht, vorgesehen werden kann. Für derartige Schalt- und Steuerungsfunktionen befindet sich links vom Hauptfeld 2 auf dem Touchscreen 1 ein Bereich 6 mit verschiedenen Steuerfeldern 7, 8 und 9, für die verschiedenen Einstellungen, wie etwa für die Eingabe eines Raum-Grundrisses 3, für die Eingabe der Positionen der jeweiligen Lautsprecher P_i , für die Lautstärkeregelung, für einen Raumeindrucksintensitätsregler usw., wobei die Zuordnung dieser Funktionen zu den einzelnen berührungssensitiven Flächen der Steuerfelder 7, 8, 9 beliebig ist und in herkömmlicher Weise erfolgen kann.

In Fig. 2 ist beispielhaft eine Vorrichtung 10 gemäß der Erfindung in der Art eines Blockschaltbildes veranschaulicht, wobei schematisch bei 1 wiederum als zentrales Interface der Vorrichtung 10 der Touchscreen 1 mit dem Hauptfeld 2 gezeigt ist. Die Ausbildung kann dabei wie gezeigt so sein, dass das Hauptfeld 2 als Touch-Panel 12 in einem Teilbereich eines Bildschirmgeräts mit ergänzendem Display-Panel 11 realisiert ist. Das auf dem Display-Panel 11 angebrachte, als berührungssensitive Positioneingabeeinheit dienende Touch-Panel 12 analysiert mittels eines zugehörigen Touch-Panel-Controllers 13 die Position des Fingers des Benützers, die sich beispielsweise auf dem Klangpositions-Symbol 5 gemäß Fig. 1 befindet. In entsprechender Weise ist dem Display-Panel 11 ein Controller 14 zur Steuerung der Wiedergabe auf dem Bildschirm 1 zugeordnet.

An den Touch-Panel-Controller 13 ist ein Positionskonverter 15 angeschlossen, der die Daten vom Touch-Panel-Controller 13 zugeführt erhält und in Bildschirmkoordinaten umwandelt, wie nachstehend noch anhand der Fig. 4 näher erläutert werden wird.

Als Eingangssignal kann ein Mono-Signal oder ein Stereo-Signal zugeführt werden; im Fall eines Stereosignals als Eingangssignal wird dieses einem Stereo/Mono-Wandler 16 zugeführt, der das Eingangssignal aus dem Stereo-Format in das für die weitere Verarbeitung gewünschte Mono-Format umwandelt. Im Fall eines Monosignals als Eingangssignal wird dieser Wandler 16 überbrückt, und dieser Bearbeitungsschritt entfällt.

Im Anschluss daran wird das Mono-Signal, das in analoger Form vorliegt, in einem Analog/Digital-Wandler 17 in ein zeit- und wertdiskretes digitales Signal umgewandelt.

Die Komponenten 16 und 17 bilden somit einen Tonsignal-Eingangskreis 16, 17.

Als weitere Eingangseinheit ist eine Raumparameter-Einheit 18 vorgesehen, in der geometrische Angaben des jeweiligen Raums 3 sowie der Lautsprecherpositionen eingegeben und entsprechende Raumparameter hergeleitet und schließlich auf einem Bus 19 verfügbar gemacht werden. Die Raumparameter-Einheit 18 und der Touchscreen 1 bzw. dessen Touch-Panel 12 bilden zusammen ganz allgemein einen Positionsinformations-Eingangskreis.

Dem Bus 19 werden auch die digitalen Eingangssignalwerte vom A/D Wandler 17 zugeführt, und ebenso steht der Bus mit dem Positionskonverter 15 sowie mit dem Display-Panel-Controller 14 in Verbindung, um so eine entsprechende Kommunikation dieser Komponenten untereinander bzw. mit weiteren nachstehend erläuterten Speicher- und Prozessorkomponenten sicherzustellen.

Im Einzelnen sind eine Zentralprozessoreinheit 20, die die anfallenden Kontrollprozesse sowie ein in einem ROM-Speicher 21 gespeichertes Kontrollprogramm ausführt, eine RAM-Speichereinheit zur temporären Zwischenspeicherung von Daten sowie eine Tonsignal-Prozessoreinrichtung 23 vorgesehen, die durch einen digitalen Signalprozessor (DSP) von an sich üblicher Bauart gebildet sein kann, und die aus der durch den Positionskonverter 15 berechneten Position und aus dem über den A/D Wandler 17 digitalisierten Eingangssignal ein entsprechendes Mehrkanal-Ton-Ausgangssignal herleitet, wie nachstehend anhand der Fig. 3

näher erläutert werden wird, und wie dies in Fig. 2 schematisch mit verschiedenen die Kanalausgänge andeutenden Pfeilen 23A angedeutet ist.

Die Prozessoreinrichtung 23, die im schematischen Aufbau in Fig. 3 dargestellt ist, erhält die Positionsdaten, die vom Positionskonverter 15 geliefert werden, und das digitalisierte Audio-Eingangssignal, das vom A/D Wandler 17 geliefert wird, als Eingänge. Die vom Positionskonverter 15 gelieferten kartesischen Koordinatenwerte werden mit Hilfe eines 3D Pre-Prozessors 24 in Radiantwerte umgewandelt, die für eine anschließende HRTF-Berechnung, in dem gemittelte Filter-Koeffizienten eingesetzt werden, benötigt werden. Ein 3D Post-Prozessor 26 wendet eine frequenzabhängige Verstärkung an, die einer zu starken Abschwächung des Mittenbereichs durch die HRTF-Filterung entgegenwirkt. In einem Mehrkanaltionsplitter 27 wird das Mono-Signal in ein Mehrkanaltionsignal aufgeteilt, und die Lautstärkeanteile der einzelnen Kanäle werden entsprechend der definierten Position (Symbol 5 in Fig.1) eingestellt, wobei die Anzahl der zu verwendenden Kanäle vorab vom Benutzer spezifiziert werden kann. Der Algorithmus der Aufteilung ist von den Raumparameter-Einstellungen abhängig, ebenso wie eine folgende Crosstalk-Auslöschung in einem Modul 28, die verhindert, dass Signalkomponenten, die für das dem jeweiligen Lautsprecher P_1 näher liegende Ohr der Zuhörer bestimmt sind, auch auf dem weiter entfernten Ohr zu hören sind und dadurch den Raumeindruck verwischen bzw. verfälschen. In einem Mischer 29 kann das unveränderte digitale Eingangssignal aus dem A/D-Wandler 17 nochmals mit den einzelnen Kanälen gemischt werden, wodurch die Intensität des räumlichen Eindrucks ebenfalls eingestellt werden kann, wobei durch die Vermischung mit dem Originalsignal eine gleich verteilte Abschwächung des Effektes auf allen Kanälen erreicht werden kann.

Als letzter Schritt der Signalverarbeitung in der Prozessoreinrichtung 23 erfolgt für jeden einzelnen Kanal eine Digital/Analog-Wandlung in D/A-Wandlern 30, wobei aus den digitalen Daten wieder zeit- und wertkontinuierliche Spannungswerte hergestellt werden, die anschließend entweder direkt über Verstärker zu den Lautsprechern P_1 geleitet oder zu einer weiteren signaltechnischen Verarbeitung herangezogen werden können.

Wie bereits erwähnt liefert das Display-Panel 11 bzw. allgemein der Bildschirm 1 dem Benutzer visuelles Feedback hinsichtlich seiner Interaktionen, wodurch mit Hilfe verschiedener visueller Elemente, Symbole, Texte und sonstiger Anzeigen die Abbildung zusätzlicher Interaktionselemente ermöglicht wird. Andererseits werden durch die Eingaben am Touch-Panel 12 Daten eingegeben, die nach Umwandlung in Bildschirmkoordinaten über den Touch-Panel-Controller 13 in entsprechende Instruktionen umgewandelt werden.

Im Einzelnen ist für den Positionskonverter 5, dessen schematischer Aufbau in Fig. 4 veranschaulicht ist, ein Datenkonverter 31 vorgesehen, der vom Controller 13 die Daten zugeführt erhält und diese in Bildschirmkoordinaten umwandelt. Die Bildschirmkoordinaten werden einer Positionsumrechnungseinheit 32 zugeführt, ebenso wie die Raumparameter, die von der Raumparameter-Einheit 18 zugeführt werden. Weiters ist ein Raumeindruckintensitätsregler 33 vorgesehen, mit dessen Hilfe die Intensität des dreidimensionalen Klangeindrucks - zusätzlich zur Einstellung der Intensität des räumlichen Eindrucks mit Hilfe der Mischung der jeweiligen Kanalsignale mit dem unveränderten digitalen Eingangssignal im Mischer 29 (vgl. oben bzw. Fig. 3) - ermöglicht wird. Die in der Umrechnungseinheit 32 vorgenommene Positionsumrechnung liefert kartesische Koordinaten, denen entsprechend das Audiosignal schließlich mit Hilfe der Prozessoreinrichtung 23 im Raum positioniert wird, vgl. das Symbol 5 in Fig. 1. Dieses Symbol 5, dass die aktuelle Position des Signals im Raum repräsentiert, wird mit Hilfe des Display-Panel-Controllers 14, der das visuelle Feedback hinsichtlich der Benutzeraktionen ermöglicht, auf dem Display-Panel 11 visuell dargestellt.

Der Touch-Panel-Controller 13 stellt in üblicher Weise die Datenschnittstelle zwischen der drucksensitiven Beschichtung des Touch-Panels 12 und dem Positionskonverter 15 dar, wobei der Wertebereich horizontal und vertikal zwischen 0 und $1024 (=2^{10})$ beträgt. Andererseits ist

der Display Controller 14 die Datenschnittstelle zwischen dem Bus 19 und dem Display-Panel 11, um so die visuelle Wiedergabe verschiedener Informationen zu ermöglichen.

In der Raumparametereinheit 18 wird eine Sammlung von Raumparametern erfasst, die zur Berechnung des Raumklanges notwendig sind. Die wichtigsten Raumparameter werden nachfolgend näher spezifiziert:

- Der Parameter R spezifiziert die Raumgröße, wobei die maximale Länge, Breite und Höhe angegeben werden.
- Die Ausdehnung A definiert den Grundriss des Raumes bzw. der Örtlichkeit, die zur Anzeige auf dem Touchscreen 1 verwendet wird, und spezifiziert die Bereiche, innerhalb derer das Signal positioniert werden kann.
- Der Ursprung U (vgl. Fig. 6A) definiert den Nullpunkt für sämtliche Berechnungen mit Raumparametern und befindet sich standardgemäß in der Mitte einer für die jeweilige Lautsprecheranzahl definierte Aufstellungsform.
- Die Positionen der Hochtön-Lautsprecher werden als dreidimensionale Punkte $P_1, P_2, \dots, P_i$ ausgehend vom Ursprung U definiert. Eine beispielhafte Darstellung findet sich in Fig. 5 und 6 für vier Lautsprecher P_1 bis P_4 .
- Die Lautsprecherhöhe Z ist definiert als die durchschnittliche (Montage) Höhe der Hochtön-Lautsprecher.
- Der für die Einstellung der Lautstärke im Raum 3 für die einzelnen Kanäle verwendbare Mittelpunkt M_L der Lautsprecherpositionen P_i wird ermittelt, indem Dreiecke zwischen benachbarten Lautsprecherpositionen $P_{1,2,\dots,i}$ (z.B. P_1 bis P_4) gebildet werden, vgl. Fig. 5A und 5B. Für diese Dreiecke $\Delta_{1,2,\dots,\Delta_i}$ wird jeweils der Schwerpunkt $S_{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_i}$ berechnet, s. Fig. 5C. Die einzelnen Schwerpunkte $S_{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_i}$ werden miteinander verbunden; bei einem n-kanaligen System ergibt sich bei Verbindung sämtlicher Schwerpunkte eine n-eckige (hier: eine 4-eckige) Figur. Das sich im Beispiel ergebende Viereck für das System mit vier Lautsprechern $P_1 \dots P_4$ ist in Fig. 5C dargestellt. Dieser Vorgang wird mit den Eckpunkten der berechneten 4-eckigen Figur erneut durchgeführt und solange wiederholt, bis die Fläche der Figur einen vorab festgelegten Schwellenwert W unterschreitet. Anschließend wird das arithmetische Mittel der Eckpunkte des letzten n-Eckes als Näherungswert für den Mittelpunkt M_L der Lautsprecherpositionen verwendet. In Fig. 5D ist diese Vorgangsweise mit zwei Iterationen der Schwerpunktberechnung dargestellt.

Nachfolgend werden noch Beziehungen zur beispielhaften Berechnung des Lautsprechermittelpunktes M_L für ein 4-kanaliges System angegeben, wobei $P_{1,2,3,4}$ die Positionen der vier Lautsprecher darstellen:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1(P_1P_2P_3): S_{\Delta_1} &= \overrightarrow{M_{P_1P_2}} + t\overrightarrow{M_{P_1P_2}P_3} \cap \overrightarrow{M_{P_2P_3}} + \overrightarrow{M_{P_2P_3}P_1} \\
 \Delta_2(P_2P_3P_4): S_{\Delta_2} &= \overrightarrow{M_{P_2P_3}} + t\overrightarrow{M_{P_2P_3}P_4} \cap \overrightarrow{M_{P_3P_4}} + t\overrightarrow{M_{P_3P_4}P_2} \\
 \Delta_3(P_3P_4P_1): S_{\Delta_3} &= \overrightarrow{M_{P_3P_4}} + t\overrightarrow{M_{P_3P_4}P_1} \cap \overrightarrow{M_{P_4P_1}} + t\overrightarrow{M_{P_4P_1}P_3} \\
 \Delta_4(P_4P_1P_2): S_{\Delta_4} &= \overrightarrow{M_{P_4P_1}} + t\overrightarrow{M_{P_4P_1}P_2} \cap \overrightarrow{M_{P_1P_2}} + t\overrightarrow{M_{P_1P_2}P_4}
 \end{aligned} \tag{F1}$$

Dieser Vorgang wird wie erwähnt wiederholt, anstatt der Punkte $P_{1,2,3,4}$, werden jedoch die Punkte $S_{\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4}$ verwendet, und diese Wiederholung erfolgt so oft, bis die Fläche des entstehenden Vierecks den Schwellenwert W unterschreitet.

In der Prozessoreinrichtung 23 werden wie bereits angedeutet die Koordinatenwerte x, y, die das Ergebnis der Umrechnung im Positionskonverter 15 sind, entsprechend der nachstehenden Beziehungen in Radiantwerte für den horizontalen Winkel (Azimuth (θ)) und den vertikalen

(Elevation ($\emptyset$)) Winkel umgewandelt.

$$\theta = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (F2)$$

5

$$\emptyset = \arctan\left(\frac{Z - Z_o}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) \quad (F3).$$

10

Dabei repräsentiert Z die Lautsprecherhöhe, einen der Raumparameter, und Z_o die durchschnittliche Ohrenhöhe. Diese Berechnung erfolgt im Pre-Prozessor 24. Bei der nachfolgenden HRTF-Berechnung werden standardisierte HRTF-Filter, deren Koeffizienten von der Klangposition im Raum abhängig sind, auf das Signal angewendet. Diese Filter tragen der Beschaffenheit des menschlichen Gehörsystems und den Effekten, denen Schallwellen am und im Ohr, am Kopf und am Oberkörper ausgesetzt sind, Rechnung, und sie sind an sich im Stand der Technik bekannt, so dass sich eine weitere Erläuterung erübrigen kann.

15

Im Post-Prozessor 26 wird dann noch eine frequenzabhängige Filterung angewandt, die hörbare Unterschiede zwischen dem Originalsignal und dem HRTF-gefilterten Signal teilweise ausgleicht, um eine zu große Abschwächung, vor allem im Mittenbereich, zu verhindern. Die teilweise Reduktion des Raumeindrucks wird durch die Wahrnehmung eines satteren Klangs kompensiert. Der Mehrkanaltönsplitter 27 teilt das 3D Sound-Signal entsprechend der Raumparameter-Einstellung bzw. den definierten Lautsprecherpositionen $P_{1,2,\dots,l}$ und dem Mittelpunkt M_L der Lautsprecherpositionen sowie entsprechend der in der Einheit 32 erfolgten Positionsumrechnung in die einzelnen Kanäle auf. Bei diesem Vorgang wird berücksichtigt, wie viele Lautsprecher angesprochen werden sollen; diese Spezifikation erfolgt vorab vom Benutzer durch Auswahl der Lautsprecheranzahl mittels eines Funktionsfeldes, z.B. 6, am Touchscreen 1. Die Aufteilung erfolgt gemäß den Lautstärkenanteilen, die sich durch das Resultat des Positionskonverters 15 und der HRTF-Berechnung (HRTF-Filter) 25 ergeben.

20

25

30

Die Crosstalk-Auslöschung (Modul 28) wirkt der ungewollten Verfälschung bzw. Verwischung des akustischen Raumeindrucks durch Signalanteile, die das einem Lautsprecher gegenüberliegende Ohr erreichen, entgegen, indem diese Signalanteile mittels akustischer Auslöschung eliminiert werden. Diese Technik basiert auf einer bekannten Technologie, vgl. z.B. US 3 236 949:

35

$$\begin{bmatrix} O_L \\ O_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_L & 0 \\ 0 & H_R \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} H_{LL} & H_{LR} \\ H_{RL} & H_{RR} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S \\ S \end{bmatrix} \quad (F4);$$

40

$$C = \begin{bmatrix} H_{LL} & H_{LR} \\ H_{RL} & H_{RR} \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{H_{LL}H_{RR} - H_{LR}H_{RL}} * \begin{bmatrix} H_{RR} & -H_{LR} \\ -H_{RL} & H_{LL} \end{bmatrix} \quad (F5);$$

45

$$\begin{bmatrix} O_L \\ O_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_L & 0 \\ 0 & H_R \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} H_{LL} & H_{LR} \\ H_{RL} & H_{RR} \end{bmatrix} * C * \begin{bmatrix} S \\ S \end{bmatrix} \quad (F6).$$

50

Die Crosstalk-Auslöschung wird durch Multiplikationen im Frequenzbereich gelöst, die Signale müssen also zuerst durch Fast Fourier-Transformation (FFT) in den Frequenzbereich gebracht werden und anschließend durch Inverse Fast-Fourier-Transformation (IFFT) wieder in den Zeitbereich rücktransformiert werden.

55

In den obigen Beziehungen F4, F5 und F6 repräsentieren $O_{L,R}$ die Summe der Signale, die am linken bzw. rechten Ohr eintreffen; S repräsentiert ein unbearbeitetes Mono-Signal;

$H_{L,R}$ stellen die HRTF-Filter für das linke bzw. rechte Ohr dar, die von der Position des Klangs im Raum abhängig sind;

5 $H_{LL, LR, RL, RR}$ stellen die Übertragungsfunktionen von einem Lautsprecher zu einem Ohr dar; H_{LR} ist beispielsweise die Übertragungsfunktion vom linken Lautsprecher zum rechten Ohr; H_{LR} und H_{RL} stellen also die Übertragungsfunktionen des zu eliminierenden Crosstalks dar.

10 Die Beziehung F4 beschreibt die an den Ohren ankommenden Signale, wenn keine Crosstalk-Auslöschung durchgeführt wird, also wenn auch Signale des linken Lautsprechers mit dem rechten Ohr wahrgenommen werden und umgekehrt.

Die Beziehung F5 definiert C, den so genannten Crosstalk Cancellor, bei dem es sich um die inverse Matrix der Übertragungsfunktionen $H_{LL, LR, RL, RR}$ handelt.

15 Die Beziehung F6 gibt an, welche Signalanteile an den Ohren ankommen sollen, damit kein Crosstalk auftritt, indem C die Matrix der Übertragungsfunktionen $H_{LL, LR, RL, RR}$ aufhebt.

20 Die Aussendung des Crosstalk-Auslösch-Signals erfolgt zeitversetzt, um der Zeit, die zwischen dem Eintreffen beim nähergelegenen und beim entfernteren Ohr auftritt, der so genannten Interaural Time Difference (ITD), Rechnung zu tragen. Diese Zeitdifferenz wird von den Lautsprecherpositionen $P_{1,2,...,i}$ bestimmt. Die Crosstalk-Auslöschung wird paarweise für gegenüberliegende Lautsprecher angewendet, wobei die Lautsprecherpositionen $P_{1,2,...,i}$ und der Mittelpunkt M_L der Lautsprecherpositionen dazu verwendet werden, gegenüberliegende Paare zu ermitteln.

25 Im Mischer 29 können zu sämtlichen Kanälen Anteile des Original-Eingangs-Signals hinzu addiert werden, und dadurch kann zusätzlich die Intensität des Raumeindrucks beeinflusst werden. Der Unterschied zur Wirkung des Raumeindrucksintensitätsreglers 33 besteht darin, dass die Veränderung der Intensität des Raumeindrucks mit dem Mischer 29 Anteile des Originalsignals hinzu addiert, die die Module 24 bis 28 nicht durchlaufen haben, wodurch eine gleichverteilte Abschwächung des Raumeindrucks erreicht werden kann.

30 Der Datenkonverter 31 wandelt den vom Controller 13 kommenden digitalen Datenstrom für die zentrale Raumklang-Position 5 (Fig. 1) gemäß den folgenden Beziehungen in absolute Positionskoordinaten x, y um, wobei sich der ursprüngliche Wertebereich X, Y , der vom Touch-Panel-Controller 13 geliefert wird, sowohl für die horizontale Position als auch für die vertikale Position zwischen 0 und 1024 bewegt:

$$40 \quad \begin{aligned} x &= ((X-O_x) \cdot S_x) \cdot R \\ y &= ((Y-O_y) \cdot S_y) \cdot R \end{aligned} \quad (F7).$$

45 Dabei repräsentieren O_x, y Werte für den horizontalen und den vertikalen Offset (betreffend Bildschirm-Anordnung des Raumes 3), die die Position der aktiven Fläche auf dem Touchscreen definieren.

S_x, y stellen Skalierungsfaktoren dar, die die Koordinaten für die weitere Verarbeitung im Pre-Prozessor 24 aufbereiten, und sie haben z.B. einen Wert in der Größenordnung von einem Zehntel oder einigen Zehnteln.

50 R (mit $0 \leq R \leq 1$) repräsentiert einen zusätzlichen Skalierungsfaktor, der vom Raumeindrucksintensitätsregler 33 geliefert wird und dessen Wert die Intensität des Raumeindrucks, also sowohl die Stärke der im Mehrkanaltensplitter 27 durchgeführten Kanaltrennung als auch sämtliche anderen Faktoren, die einen dreidimensionalen Klangeindruck erzeugen, regelt. Der Raumeindrucksintensitätsregler 33 selbst steuert die Intensität des Raumeindrucks. Durch die Verände-

5 rung seines Wertes werden die Stärke der Kanaltrennung im Mehrkanaltensplitter 27 sowie die Berechnung im Positionskonverter 15 und sämtliche Faktoren verändert, die zur Erzeugung des dreidimensionalen Klangeindrucks dienen. Die Bandbreite der Werte schwankt zwischen einem maximalen Raumeindruck und der völligen Ausschaltung eines dreidimensionalen Klangeindrucks durch Gleichverteilung der Signale auf sämtliche Kanäle.

10 Die Positionsumrechnung in der Einheit 32 (Fig.4) erfolgt unter Einbeziehung der Lautsprecherpositionen $P_{1,2,\dots,i}$ und des Mittelpunktes M_L der Lautsprecherpositionen, die in der Raumparameter-Einheit 18 definiert sind. Dazu wird der Vektor von M_L zur aktuell gewünschten Klang-Position P_A (Symbol 5 in Fig. 1) mit einer Verbindungslinie zweier Lautsprecher geschnitten, und der erhaltene Schnittpunkt S wird in ein Koordinatensystem K projiziert, dessen Ursprung U der Mittelpunkt der standardisierten Aufstellung für die ausgewählte Kanalanzahl ist (vgl. Fig. 6B). Die standardisierte Aufstellung für das beispielhafte System mit vier Lautsprechern und mit dem Ursprung U des Koordinatensystems K ist in Fig. 6A dargestellt. Anschließend werden die Längenverhältnisse zwischen M_L und P_A bzw. zwischen M_L und S in das Koordinatensystem K übertragen, und die resultierende Position P_A' wird berechnet, die zur weiteren Berechnung in der Prozesseinrichtung 23 verwendet wird. Somit wird den durch die realen Lautsprecherpositionen $P_{1,2,\dots,i}$ entstehenden Verzerrungen Rechnung getragen. Für die Berechnung in der Prozesseinrichtung 23 wird vorgesehen, dass die den einzelnen Lautsprechern P_i zuzuführenden Signale in Entsprechung zu den geänderten Abständen der verschobenen Position P_A' von der standardisierten Raummitte U proportional abgeschwächt bzw. weniger abgeschwächt werden. Der Grad der Abschwächung wird als lineare Funktion zwischen „keiner Abschwächung“ (P_A' deckungsgleich mit U) und „maximaler Abschwächung“ (durch die Einstellung des Raumeindrucksintensitätsreglers 33 definiert) dargestellt. Für diese Abschwächung (oder reduzierte Verstärkung) sind im Mehrkanaltensplitter 27 für die einzelnen Kanäle an sich herkömmliche, in der Zeichnung nicht näher veranschaulichte regelbare Verstärker/Abschwächer vorgesehen.

30 Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Herleitung von räumlichen Schallsignalen unter Verwendung von Positions-
informationen, mit einer Tonsignal-Prozessoreinrichtung, der ein Tonsignal-Eingangskreis
und ein Positionsinformations-Eingangskreis zugeordnet sind, und die einen Mehrkanal-
tensplitter aufweist, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Positionsinformations-Eingangs-
kreis eine berührungssensitive Positionseingabeeinheit (12) zur Eingabe von Schall-
Positionsdaten für die Prozesseinrichtung (23) aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass die berührungssensitive
Positionseingabeeinheit (12) eine drucksensitive Oberfläche aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die berührungssensitive
Positionseingabeeinheit (12) durch einen Touchscreen bzw. ein Touch-Panel gebildet ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass mit der
Positionseingabeeinheit (12) ein Positionskonverter (5) zur Umrechnung der Positionsda-
ten für die Prozesseinrichtung (23) verbunden ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Positionskonverter (5)
ein Raumeindrucksintensitätsregler zugeordnet ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass ein Ausgangssignal des
Raumeindrucksintensitätsreglers (33) dem Mehrkanaltensplitter (27) zugeführt wird.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *gekennzeichnet durch* eine Raumparamete-

ter-Einheit (18) zur Zuführung von auf den jeweiligen zu beschallenden Raum (3) bezogenen Raumparametern.

- 5 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Touchscreen (12) zur Darstellung des jeweiligen Raums (3) mit der Raumparameter-Einheit (18) verbunden ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Raumparameter-Einheit (18) zur Ermittlung eines Mittelpunktes (M_L) von im Raum (3) gegebenen Lautsprecherpositionen eingerichtet ist.
- 10 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Raumparameter-Einheit (18) zur Erfassung der jeweiligen Raumabmessungen eingerichtet ist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Raumparameter-Einheit (18) zur Abgabe von den Grundriss des jeweiligen Raums (3) anzugebenden Parametern eingerichtet ist.
12. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Tonsignal-Prozessoreinrichtung (23) ein zur Umwandlung von Positionsdaten in Form von Koordinatenwerten im Azimuth- und Elevations-Winkelwerte eingerichteten Prozessormodul (24) enthält.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine Zuführung von Raumparametern zum Mehrkanaltonsplitter (27) vorgesehen und der Mehrkanaltonsplitter (27) eingerichtet ist, das zugeführte Tonsignal abhängig von den Raumparametern in einzelne Kanäle aufzuteilen.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Mehrkanaltonsplitter (27) ein Crosstalk-Auslöschmodul (28) nachgeordnet ist, das zur Auslösung von Crosstalk-Signalanteilen unter Zugrundelegung von Raumparametern, die von der Raumparameter-Einheit (18) zugeführt werden, eingerichtet ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass dem Mehrkanaltonsplitter (21), gegebenenfalls dem Crosstalk-Auslöschmodul (28), ein Mischer (29) nachgeordnet ist, der zum Hinzufügen von Anteilen des Original-Tonsignals zu den einzelnen Kanälen eingerichtet ist.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Prozessoreinrichtung (23) eine Speichereinheit (22) zum Aufzeichnen von Bewegungsmustern von Raumpositionen zugeordnet ist.

Hiezu 6 Blatt Zeichnungen

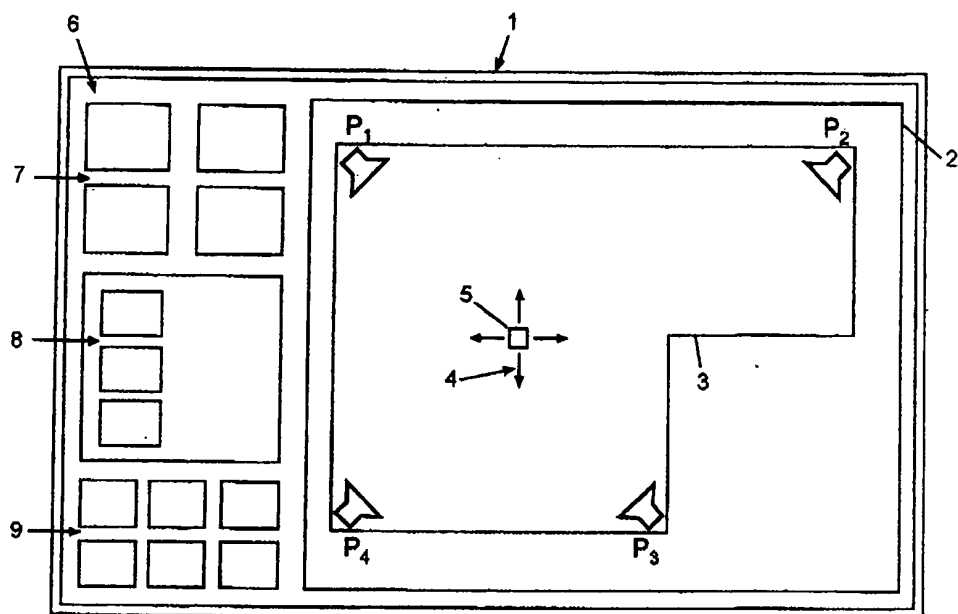


Fig. 1

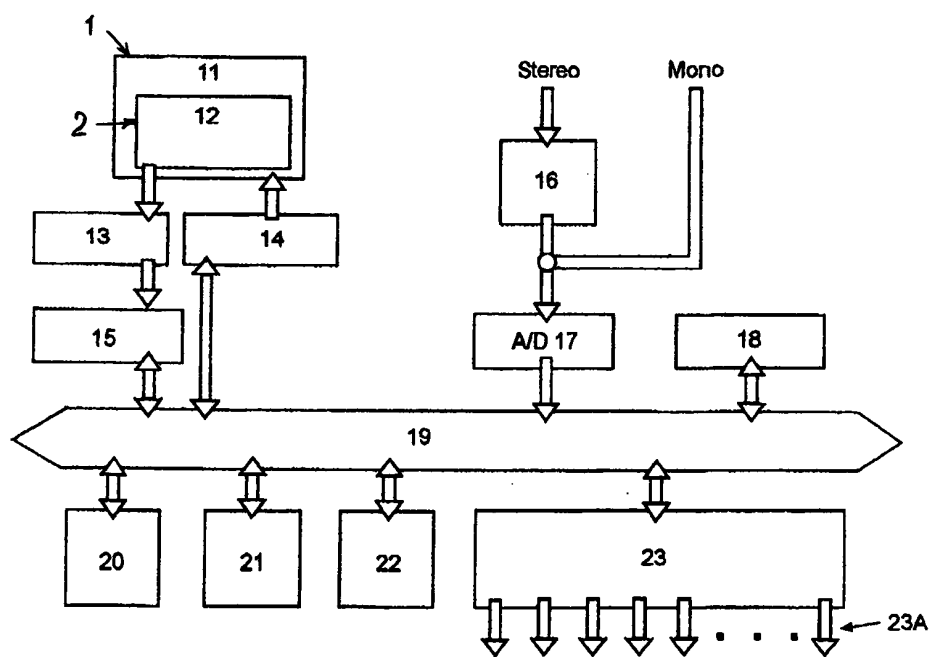


Fig. 2

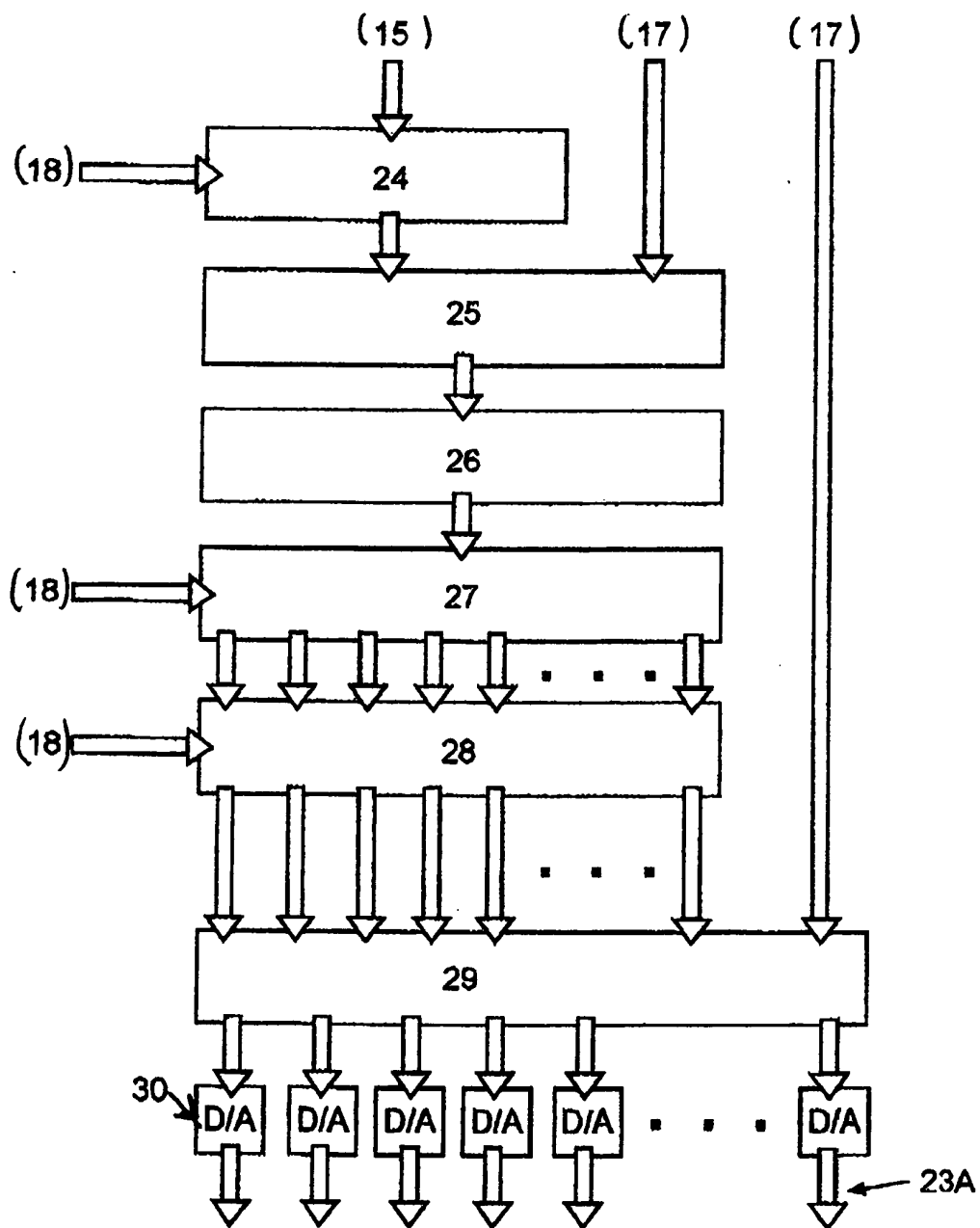


Fig. 3

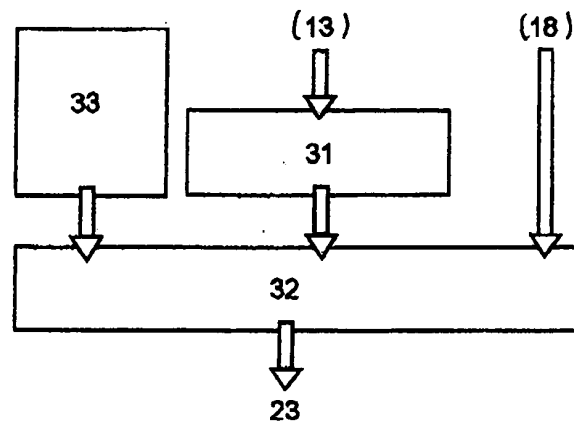


Fig. 4

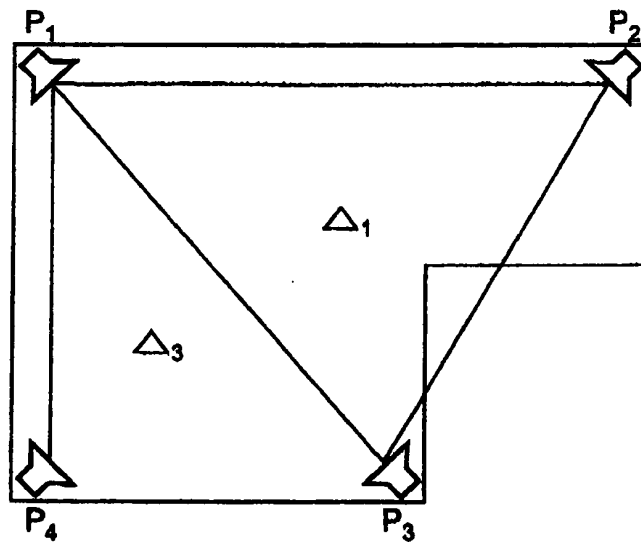


Fig. 5A

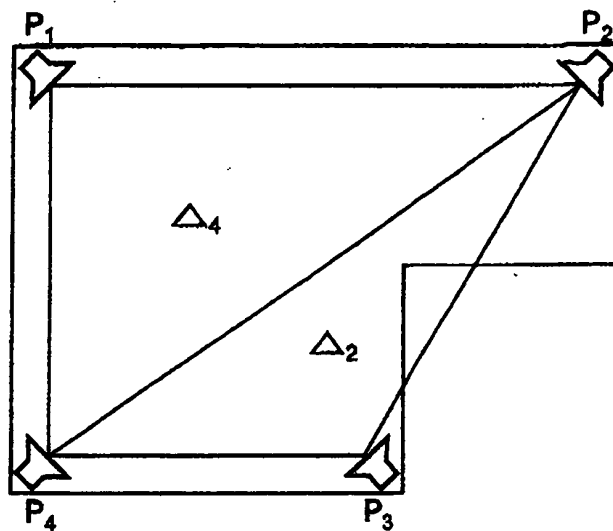


Fig. 5B

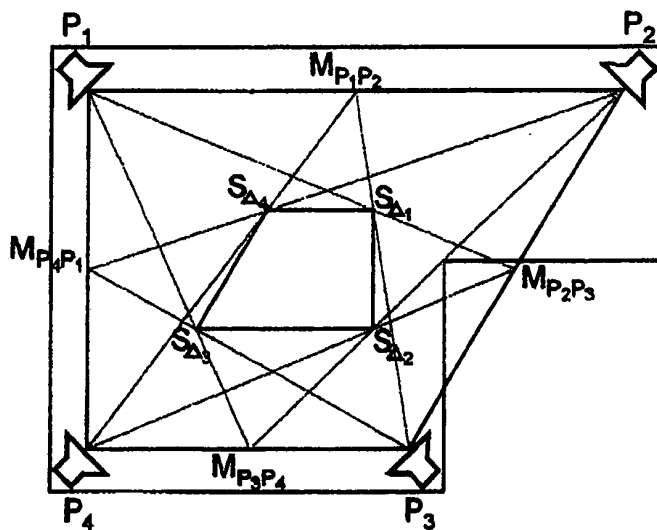


Fig. 5C

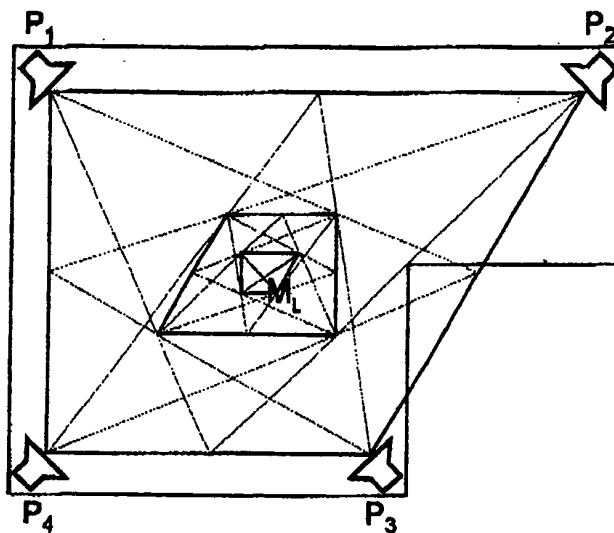


Fig. 5D

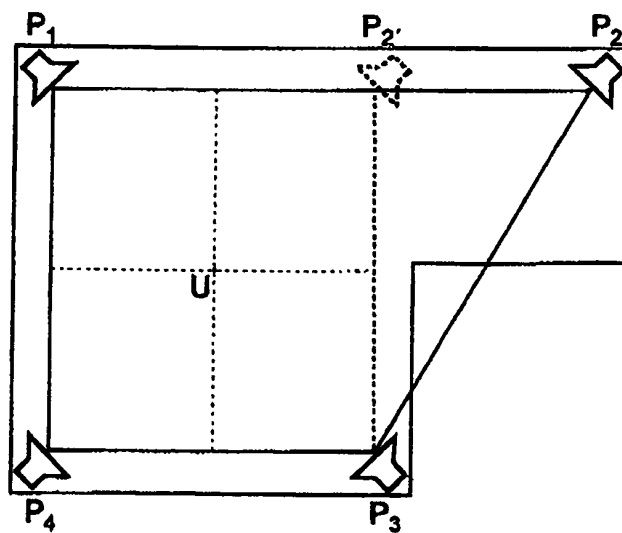


Fig. 6A

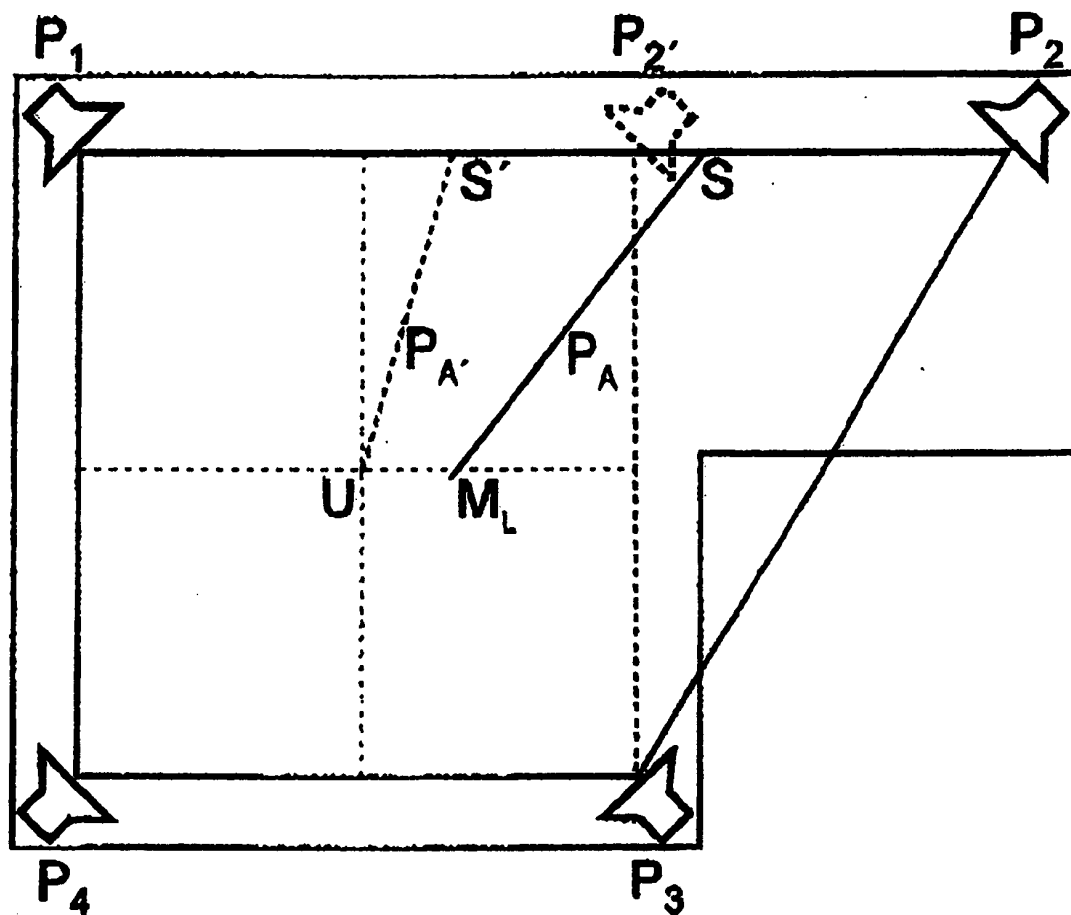


Fig. 6B