

Verfahren zur Mehrkanaltonbearbeitung in einem Mehrkanaltionsystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Mehrkanaltonbearbeitung in einem Mehrkanaltionsystem, bei dem die Eingangssignale L und R, vorzugsweise als Stereo-Signale, decodiert werden.

Verfahren der eingangs genannten Art sind dem Fachmann bekannt und geläufig.

In dem der Druckschrift US 5,046,098 offenbarten vorbekannten Verfahren werden die Frontsignale L' und R' sowie das Center-Signal C und das Surround-Signal S erzeugt, in dem durch Summen und Differenzbildung das Center-Signal $C = a_1 * L + a_2 * R$ und das Surround-Signal $S = a_3 * L - a_4 * R$ und die Frontsignale $L' = a_5 * L - a_6 * C$ und $R' = a_7 * R - a_8 * C$ aus den beiden Eingangssignalen L und R gebildet werden. Die Koeffizienten $a_1 \dots a_8$ dieser gewichteten Summationen werden aus Pegelmessungen abgeleitet. Zur Steuerung dieser Differenzbildung werden zwei Steuersignale aus der Pegeldifferenz eines linken und rechten Kanals D_{LR} und aus Pegeldifferenz eines Summen- und Differenzsignales D_{CS} berechnet. Diese beiden Steuersignale werden mit zeitvarianten Ansprechzeiten in dieser Dynamik verändert. Aus diesen beiden zeitvarianten neuen Steuersignalen werden dann vier einzelne Gewichtungsfaktoren E_C , E_S , E_L und E_R abgeleitet, die eine zeitvariante Ausgangsmatrix zur Berechnung der Frontsignale L' und R' sowie des Center-Signales C und des Surround-Signales S ermöglichen.

Ein weiteres Verfahren der eingangs genannten Art offenbart die Druckschrift US 2004/0125960 A1, die eine Erweiterung der Decodierung mit zeitvarianten Steuersignalen zum Inhalt hat. Die beiden Frontsignale L_{out} und R_{out} werden dabei aus den beiden Eingangssignalen L und R und der Subtraktion eines gewichteten Summensignales (L+R) und eines gewichteten Differenzsignales (L-R) gewonnen. Das Center-Signal C ergibt sich aus der Summe (L+R) und der Subtraktion der gewichteten Eingangssignale L und R. Das Surround-Signal S erfolgt aus der Summe (L-R) und der Subtraktion der gewichteten Eingangssignale L und R. Die Gewichtungskoeffizienten g_l , g_r , g_c und g_s werden aus einer Pegelanpassung der Signale L und R bzw. L+R und L-R in einer rekursiven Struktur gewonnen.

Auch dient in der Druckschrift US 6,697,491 B1 die Pegeldifferenzberechnung für L/R und $(L+R)/(L-R)$ zur Ableitung von Steuersignalen für die gewichtete Matrixdecodierung in der Mehrkanaltonbearbeitung.

In dem in der Druckschrift US 5,771,295 beschriebenen Mehrkanaltonverfahren werden aus Stereo-Signalen, d.h. aus den Eingangssignalen L und R die Frontsignale L_0 und R_0 , das Center-Signal C_0 und die Surround-Signale L_{RO} und R_{RO} abgeleitet. Für jedes der Signale werden von den Signalen L , R , $L+R$ und $L-R$ die jeweils anderen Signale mit einer Gewichtung subtrahiert. Im Rahmen dieses vorbekannten Verfahrens zur Mehrkanaltonbearbeitung werden neben den Pegelverhältnisberechnungen auch frequenzabhängige Gewichtungsfaktoren abgeleitet. Dabei wird das Center-Signal C nur in dem Pegel variiert, wohingegen die beiden Surround-Signale L_{RO} und R_{RO} in zwei Frequenzbändern und phaseninvertiert abgeleitet werden.

Die beschriebenen Verfahren zur Mehrkanalbearbeitung in einem Mehrkanaltonsystem sind hauptsächlich für die Verarbeitung von Kinoton-Signalen entwickelt worden. Hierbei ist es wichtig gewesen, dynamisch auftretende Richtungen von Signalen, zumeist in Form von Sprach- und Effektsignalen, räumlich über mehrere Lautsprecher richtungsadäquat wiederzugeben. Die dynamische Ansteuerung dieser Mehrkanalsignale unterstützt die Richtungswahrnehmung bei derartigen Signalarten. Demgegenüber ist jedoch die Richtungsinformation in musikalischen Stereo-Aufnahmen zu einem hohen Prozentsatz nicht dynamisch, sondern eher statisch und ändert sich bei speziellen Raumeffekten eher geringfügig. Akustische Untersuchungen im Rahmen des in der Druckschrift US 2004/0125960 A1 offenbarten Verfahrens zeigen ein minimales Steuern der Richtungsinformationen, da dominante Richtungen innerhalb eines Stereo-Mixes selten auftreten. Diese zeitvariante Mehrkanal-Steuerung sorgt für eine räumliche Verschiebung des Signales, wenn anschließend wieder eine Stereo-Encodierung vorgenommen wird.

Wesentlich entscheidender für eine räumliche Auflösungsverbesserung von Stereo-Signalen ist dagegen eine Extraktion von Richtungssignalanteilen und deren Ge-

wichtung durch statische oder frequenzabhängige Gewichtung. Von daher stellt die Druckschrift WO 2010/015275 A1 einen wesentlichen Fortschritt des Verfahrens der eingangs genannten Art dar, da hier die Zerlegung von Stereo-Signalen in Raumanteile erfolgt, um diese mit unterschiedlichen Pegelstellern zu bewerten. Danach werden die bewerteten Raumsignale wieder zu einem Stereo-Signal zusammengesetzt. Aufgrund der Gewichtung der Raumsignalanteile erfährt das Stereo-Signal eine Verbesserung der räumlichen Wiedergabe.

Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der eingangs genannten Art derart weiterzuentwickeln, dass auf Grundlage einer Extraktion von Richtungssignalanteilen eine weitere Verbesserung der räumlichen Wiedergabe der Eingangssignale L und R erzielt wird.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Gemäß der Erfindung werden R und L mindestens in zwei Signale der Form $nL - mR$ mit $n, m = 1, 2, 3, 4$ decodiert. Hierdurch wird vorteilhafterweise eine Verbesserung der räumlichen Wiedergabe und Transparenz der Eingangs-Signale L und R erzielt. Hierzu werden bei der Decodierung vorzugsweise die Signale $L - R$ (das heißt mit $n, m = 1$) und $2L - R$ (das heißt mit $n = 2$ und $m = 1$) gebildet.

Vorzugsweise werden die Signale L und R in ein Raumsignal R und in ein Center-Signal decodiert. Das Raumsignal wird dabei aus der Differenz der Signale L und R (R_L) und/oder aus der Differenz der Signale R und L (R_R) gebildet.

Entgegen den herkömmlichen Verfahren, die eine Zerlegung der Signale L und R in die Front-Signale L_{front} und R_{front} , das Center-Signal C und die Surround-Signale S_L und S_R vorsehen, wird durch das erfindungsgemäße Verfahren eine Raum- und Stereo-Erweiterung eines Stereo-Signales durch eine Erweiterung der Stereo-Zerlegung erreicht. Hierzu werden die Raum-Signale $R_L = L - R$ und $R_R = R - L$ zusätzlich aus den Eingangskanälen R und L gerechnet.

Diese Eigenschaften sind bei den folgenden Systemen verifiziert:

- MS40 Behringer-Monitor-Lautsprecher
- Notebook Toshiba
- IMAC27 Rechner
- Mobiltelefon LG GM205 mit DolbyMobile
- Philips Flatscreen-Fernseher 42PFL9703D mit BBE Surround
- Dockingstation JBL On Stage 400p.

Vergleiche zu DolbyMobile, Virtual Dolby Surround und anderen Stereo-Spatializern zeigen, dass das erfindungsgemäße Verfahren eine wesentlich neutralere Verbesserung des Stereo-Klangbildes erzeugt.

Im Rahmen von psychoakustischen Untersuchungen hat sich zudem die Ableitung der Surround-Signale aus der Differenz $L-R$ als weiterer wichtiger Schritt für eine verbesserte Stereo- und Raumaufweitung erwiesen. Hierbei hat sich wiederum nach intensivem Hörtest das Verhältnis der Surround-Signale $S_L=2L-R$ und $S_R=2R-L$ als günstig herausgestellt. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht daher vor, dass das Surround-Signal $S_L=2L-R$ und das Surround-Signal S_R aus der Differenz $S_R=2R-L$ gebildet werden.

Von Vorteil ist dabei eine frequenzabhängige Gewichtung der Surround-Signale. Zweckmäßigerweise erfolgt daher eine frequenzabhängige Gewichtung der Signale S_L und S_R . Die frequenzabhängige Gewichtung erfolgt vorzugsweise mittels eines Höhenshelving-Filters.

Zweckmäßigerweise werden zu den Signalen L_p und R_p die Signale L und R addiert.

Ein Audiosystem zur Durchführung des Verfahrens ist Gegenstand von Anspruch 13, wobei das Audiosystem einen Signalprozessor, vorzugsweise in Form eines Audioprozessors, aufweist.

Im Rahmen der Erfindung ist auch eine Software vorgesehen, die sich auf einem Signalprozessor befindet, d.h. auf den Signalprozessor importiert ist. Die Software enthält dabei einen Algorithmus, der von dem Signalprozessor abgearbeitet wird, wobei der Algorithmus das Verfahren erfasst.

Zudem erfasst die Erfindung einen Signalprozessor zur Durchführung des Verfahrens.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt in schematischer Darstellung:

Fig. 1 ein Verfahren gemäß der Erfindung.

Fig. 1 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren, welches vier Verfahrensabschnitte A, B, C, D aufweist. Im Einzelnen handelt es sich bei den Verfahrensabschnitten um

- die Decodierung (Verfahrensabschnitt A),
- die Verarbeitung der decodierten Signale (Verfahrensabschnitt B),
- die Encodierung (Verfahrensabschnitt C),
- die Verarbeitung der encodierten Signale (Verfahrensabschnitt D).

Das Verfahren beginnt damit, dass im Rahmen der Decodierung die Eingangssignale L und R, die als Stereo-Signale vorliegen, in drei Sinalanteile zerlegt werden, wobei die Signale L und R erhalten bleiben können. Bei den Sinalanteilen handelt es sich um das Center-Signal C, das Raumsignal R sowie die Surround-Signale S_L und S_R . Das Center-Signal C ist dabei einkanalig, d.h. es enthält nur den Kanal C, wohingegen das Raum-Signal R und das Surround-Signal S zweikanalig sind, d.h. sie enthalten die Signale R_L und R_R bzw. S_L und S_R . Die Surround- und Raum-Signale S_L , S_R sowie R_L und R_R enthalten dabei die Richtung und Rauminformation der Stereo-Signale L und R.

In Verfahrensabschnitt A werden die Signale, d.h.

- der einkanalige Center-Signal $C=L+R$, auch Mono-Signal genannt,
- der Stereo-Anteil $R_L=L-R$ und $R_R=R-L$ des zweikanaligen Raum-Signales R sowie
- die beiden zweikanaligen Surround-Kanäle $S_L=2L-R$ und $S_R=2R-L$,

aus den Stereo-Signalen R und L in fünf parallelen Stufen decodiert.

Dem Verfahrensabschnitt A schließt sich der Verfahrensabschnitt B an, in dem die Verarbeitung der Kanäle C , R_L , R_R , S_L und S_R erfolgt. Um die Lautstärke des Center-Signales C und des Raum-Signales $R_L=L-R$ und $R_R=R-L$ einzustellen, werden diese Signale durch erste Pegelsteller 1, 2 mit einer Pegelgewichtung versehen, die sich in dem Faktor 1,5 manifestiert. Nach dieser ersten Pegelgewichtung erfolgt durch die weiteren Pegelsteller 3, 4 eine weitere variable Pegelgewichtung, die die Klangcharakteristika der decodierten Signale zu L , R gewichten.

Die beiden Surround-Signale $S_L=2L-R$ und $S_R=2R-L$ werden dagegen Höhenshelving-Filtern 5, 6 zugeführt, durch die der Frequenzgang der Surround-Signale S_L und S_R eingestellt werden. Es findet also eine frequenzabhängige Gewichtung der Signale S_L und S_R statt, wobei die Filter 5, 6 eine minimale Phasenverschiebung im Frequenzbereich um vorzugsweise 2 kHz aufweisen, so dass Auslöschungseffekte bei der in Verfahrensabschnitt C stattfindenden Encodierung minimiert werden, gleichzeitig der eigentliche Verstärkungseffekt jedoch betont wird und zwar mit einem Höhenshelving-Frequenzgang um beispielsweise 3 dB bei vorzugsweise 2 KHZ. Danach werden die Surround-Signale S_L , S_R den Pegelstellern 7, 8 zugeführt, die die Klangcharakteristika der decodierten Signale zu S_L , S_R gewichten.

Bei der Encodierung, d.h. in dem Verfahrensabschnitt C, ergeben sich somit

nach Summation, die schon in dem Verfahrensschritt A gegeben ist, der Signale C , R_L , R_R , S_L , S_R in der Form:

$$L_P = C + R_L + S_L = (L+R) + (L-R) + (2L-R) = 4L-R$$

$$R_P = C + R_R + S_R = (L+R) + (R-L) + (2R-L) = 4R-L$$

die encodierten Stereosignale L_P , R_P gemäß

$$L_P = V_C C + V_R R_L + V_S S_L = V_C (L+R) + V_R (L-R) + V_S (2L-R)$$

$$R_P = V_C C + V_R R_R + V_S S_R = V_C (L+R) + V_R (R-L) + V_S (2R-L)$$

bzw. nach Filterung der Surround-Signale S_L , S_R

$$L_P = V_C C + V_R R_L + V_S (S_L)_{\text{Filtered}} = V_C (L+R) + V_R (L-R) + V_S (2L-R)_{\text{Filtered}}$$

$$R_P = V_C C + V_R R_R + V_S (S_R)_{\text{Filtered}} = V_C (L+R) + V_R (R-L) + V_S (2R-L)_{\text{Filtered}}$$

In dem letzten Verfahrensabschnitt D erfahren die encodierten gewichteten Signale L_P , R_P eine Nachbearbeitung durch Stereo-Equalizer 9, 10. Zur weitere Anreicherung des Klangbildes wird eine spezielle nichtlineare Kennlinie NL verwendet. Diese nichtlineare Kennlinie bildet eine Eingangsamplitude x auf eine Ausgangsamplitude y ab. Die eingesetzte, nicht lineare Kennlinie $y=f(x)$ lautet

$$y = \tanh((1/7.522 * \operatorname{atan}(7.522 * x) * (\operatorname{sign}(x) + 1) / 2 + x * (\operatorname{sign}(-x) + 1) / 2) / 0.5) * 0.5$$

Durch diese Kennlinie werden dem Direkt-Musiksignal harmonische Obertöne hinzugefügt. Schließlich erfahren die Signale L_P , R_P eine weitere Nachverarbeitung in dem Verfahrensabschnitt D derart, dass die Pegelsteller 11, 12 den Grad der Obertonzumischung zum Direktsignal bestimmen. Eine weitere Bearbeitung erfolgt schließlich durch die Pegelsteller 13, 14, die den Gesamtpegel des Verfahrensergebnisses regelbar machen.

Die vorliegende Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf das vor-

stehend angegebene Ausführungsbeispiel. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung auch bei anders gearteten Ausführungen Gebrauch machen. Beispielsweise können im Rahmen des Verfahrensabschnittes D Maximizer, d.h. Kompressoren/Limiter Anwendung finden, um das Klangbild weiter anzureichern.

Bezugszeichenliste:

1, 2	erste Pegelsteller
3, 4	weitere Pegelsteller
5, 6	Höhenshelving-Filter
7, 8	Pegelsteller
9, 10	Stereo-Equalizer
11, 12, 13, 14	weitere Komponenten

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Mehrkanaltonbearbeitung in einem Mehrkanaltonsystem, bei dem die Eingangssignale L und R, vorzugsweise als Stereo-Signale, decodiert werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale R und L mindestens in zwei Signale der Form $nL-mR$ mit $n, m = 1, 2, 3, 4$ decodiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale L und R in ein Raumsignal R_L und in ein Center-Signal decodiert werden, wobei ein Raumsignal R_L aus der Differenz der Signale L und R und/oder ein Raumsignal R_R aus der Differenz der Signale R und L gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Surround-Signal S_L aus der Differenz $S_L = 2L-R$ und ein Surround-Signal S_R aus der Differenz $S_R = 2R-L$ gebildet werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass eine Encodierung zu Signalen L_p, R_p in der Form

$$L_p = C + R_L + S_L = (L+R) + (L-R) + (2L-R) = 4L-R \text{ und} \\ R_p = C + R_R + S_R = (L+R) + (R-L) + (2R-L) = 4R-L \text{ erfolgt.}$$

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Signale R_L, R_R, C, S_L und S_R eine Pegelgewichtung V_C, V_R, V_S erhalten.

6. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine Encodierung zu Signalen L_p , R_p in der Form

$$L_p = V_C C + V_R R_L + V_S S_L = V_C (L+R) + V_R (L-R) + V_S (2L-R) \text{ sowie} \\ R_p = V_C C + V_R R_R + V_S S_R = V_C (L+R) + V_R (R-L) + V_S (2R-L) \text{ erfolgt.}$$

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine frequenzabhängige Gewichtung der Signale S_L und S_R erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die frequenzabhängige Gewichtung mittels eines Höenshelving-Filters (5,6) erfolgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Signale L_p , R_p mittels eines Equalizers (9,10) gefiltert werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass den Signalen L_p , R_p harmonische Obertöne hinzugefügt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Hinzufügen der harmonischen Obertöne mittels eines Maximizers oder einer nichtlinearen Kennlinie NL erfolgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass zu den Signalen L_p und R_p die Signale L und R addiert werden.

13. Audiosystem zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12,

dadurch gekennzeichnet,

dass es einen Signalprozessor aufweist.

14. Software, die auf einen Signalprozessor importiert ist,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Software einen Algorithmus enthält, der von dem Signalprozessor abgearbeitet wird, wobei der Algorithmus das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 erfasst.

15. Signalprozessor zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12.