

6. Algorithmen zur Auswertung interauraler Pegelunterschiede ("Pegeldifferenz-Cocktail-Party-Prozessor")

6.1. Problemstellung

Bei hohen Frequenzen und natürlichen Ohrabständen können interaurale Phasendifferenzen allein keine eindeutige Bestimmung des Einfallswinkels gewährleisten.

Eine Möglichkeit, dieses Problem anzugehen, wäre, bei höheren Frequenzen Gruppenlaufzeiten zwischen den Signal-Hüllkurven zu betrachten, ähnlich wie es auch beim menschlichen Gehör beobachtet wurde.

Bedingung hierfür ist die Kenntnis der Signalhüllkurven. Bei Anwesenheit mehrerer unterschiedlicher Schallquellen weisen aber die Ohrsignale Hüllkurven auf, die allein durch die Überlagerungen zwischen den Signalen der einzelnen Schallquellen entstehen. Z.B. entstehen bei zwei Signalen unterschiedlicher Frequenz Hüllkurven mit der Differenzfrequenz zwischen beiden Signalen:

$$\cos(\Omega_a t) + \cos(\Omega_b t) = 2 \cos\left(\frac{1}{2}(\Omega_a - \Omega_b)t\right) \cos\left(\frac{1}{2}(\Omega_a + \Omega_b)t\right)$$

Das Problem besteht nun darin, Signalhüllkurven (also die Überlagerung unterschiedlicher Frequenzlinien einer Schallquelle) zu unterscheiden von solchen Intermodulations-Hüllkurven (also die Überlagerung unterschiedlicher Frequenzlinien mehrerer Schallquellen). Im ersten Fall können hieraus Informationen über die Einfallsrichtung einer Schallquelle abgeleitet werden, im zweiten Fall nicht.

Ohne Zusatzinformationen über den Charakter der Hüllkurven der einzelnen Schallquellen ist eine Unterscheidung zwischen Signalhüllkurven und Intermodulations-Hüllkurven nicht möglich. Sind die Signale der Schallquellen unbekannt, bleibt bei Anwesenheit mehrerer Schallquellen kaum noch eine Möglichkeit, aus Hüllkurven-Informationen Einfallsrichtungen zu bestimmen.

Bei Mehrdeutigkeiten der interauralen Phase können, analog zum menschlichen Gehör, interauralen Pegeldifferenzen analysiert werden. Die interauralen Pegeldifferenzen eines Kopfes steigen zu hohen Frequenzen an, von maximal ± 5 dB bei 500 Hz auf bis zu ± 40 dB oberhalb 8 kHz. Im folgenden soll ein Verfahren vorgestellt werden, das in der Lage ist, aus der Auswertung interauraler Pegeldifferenzen Informationen über mehrere Schallquellen zu gewinnen.

6.2. Bestimmung von Schallquellen-Parametern aus der Analyse interauraler Pegeldifferenzen

6.2.1. Eine Schallquelle

Strahlt nur eine Quelle Schall ab, lassen sich die interaurale Dämpfung α_a der Einfallsrichtung (bzw. die interaurale Pegeldifferenz ΔL_a) und die Leistung der Schallquelle am Bezugspunkt "Kopfmitte" (vergl. Kap. 4.1) aus den Beträgen der Ohrsignale bestimmen. Gemäß Formel 4.1/9 gilt:

$$\begin{aligned} \underline{l}(t) &= a_m(t) e^{-\frac{1}{2}\alpha_a - j\frac{1}{2}\beta_a} e^{j\Omega_a t + j\Phi_a} & \underline{r}(t) &= a_m(t) e^{\frac{1}{2}\alpha_a + j\frac{1}{2}\beta_a} e^{j\Omega_a t + j\Phi_a} \\ |\underline{l}(t)|^2 &= a_m(t)^2 e^{-\alpha_a} & |\underline{r}(t)|^2 &= a_m(t)^2 e^{\frac{1}{2}\alpha_a} \end{aligned}$$

$$\alpha_a = \frac{1}{2} \ln (|r(t)|^2 / |l(t)|^2)$$

$$\Delta L_a = 20 \text{ dB } \lg e^{\alpha_a} = 10 \text{ dB } \lg (|r(t)|^2 / |l(t)|^2) \quad (6.2.1/1)$$

$$a_m(t)^2 = |r(t)| |l(t)|$$

Mit Hilfe der Freifeld-Außenohr-Übertragungsfunktionen kann aus der interauralen Pegeldifferenz die Einfallsrichtung und aus der normierten Leistung die Freifeld-Leistung bestimmt werden.

Sind die exakten Freifeld-Außenohr-Übertragungsfunktionen nicht bekannt oder reichen gröbere Näherungen aus, können gemäß Anhang C (Polynomnäherung nach Gaik, Geradennäherung) mittlere Beziehungen zwischen interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen als Grundlage der Richtungs-schätzung und Verarbeitung dienen.

6.2.2. Zwei Schallquellen

Bei 2 Schallquellen erhält man gemäß Formel 4.2/1 folgende analytischen Zeitsignale und Beträge der Ohrsignale:

$$l(t) = a_m(t) e^{-\frac{1}{2}\alpha_a} e^{j(\Omega_a t - \frac{1}{2}\beta_a + \Phi_a)} + b_m(t) e^{-\frac{1}{2}\alpha_b} e^{j(\Omega_b t - \frac{1}{2}\beta_b + \Phi_b)}$$

$$r(t) = a_m(t) e^{+\frac{1}{2}\alpha_a} e^{j(\Omega_a t + \frac{1}{2}\beta_a + \Phi_a)} + b_m(t) e^{+\frac{1}{2}\alpha_b} e^{j(\Omega_b t + \frac{1}{2}\beta_b + \Phi_b)}$$

$$\begin{aligned} |l(t)|^2 &= a_m(t)^2 e^{-\alpha_a} + b_m(t)^2 e^{-\alpha_b} \\ &\quad + 2 a_m(t) b_m(t) e^{-\frac{1}{2}(\alpha_a + \alpha_b)} \cos[(\Omega_a - \Omega_b)t + \Phi_a - \Phi_b - \frac{1}{2}(\beta_a - \beta_b)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |r(t)|^2 &= a_m(t)^2 e^{+\alpha_a} + b_m(t)^2 e^{+\alpha_b} \\ &\quad + 2 a_m(t) b_m(t) e^{\frac{1}{2}(\alpha_a + \alpha_b)} \cos[(\Omega_a - \Omega_b)t + \Phi_a - \Phi_b + \frac{1}{2}(\beta_a - \beta_b)] \end{aligned}$$

Auf die Beträge der Ohrsignale läßt sich ein ähnliches Verfahren zur Schätzung von Leistungen und Einfallsrichtungen zweier Quellen anwenden wie beim interauralen Kreuzprodukt. Für Mittelwert und Standardabweichung des quadratischen Betrags z.B. des rechten Ohrsignals gilt bei Integrationszeiten $2T_\mu$, die groß gegen Periode der Momentanfrequenz-Differenz $2\pi/(\Omega_a - \Omega_b)$ sind:

$$\mu_r(t) = \frac{1}{2T_\mu} \int_{t-T_\mu}^{t+T_\mu} |r(t_\mu)|^2 dt_\mu = a_m(t)^2 e^{\alpha_a} + b_m(t)^2 e^{\alpha_b} \quad (6.2.2/1)$$

$$\sigma_r^2(t) = \frac{1}{2T_\mu} \int_{t-T_\mu}^{t+T_\mu} (|r(t_\mu)|^2 - \mu_r)^2 dt_\mu = 2 a_m(t)^2 b_m(t)^2 e^{\alpha_a + \alpha_b} \quad (6.2.2/2)$$

Aus Mittelwert und Standardabweichung der Ohrsignal-Beträge lassen sich Schätzer für die Anteile der Schallquellen-Signale an den Ohrsignalen bestimmen. Diese Schätzer werden im folgenden *Komponenten-Schätzer* a_r' , b_r' , a_l' , b_l' genannt:

$$\begin{aligned}
 a_r' &= \sqrt{\mu_r + \sqrt{2}\sigma_r} + \sqrt{\mu_r - \sqrt{2}\sigma_r} & b_r' &= \sqrt{\mu_r + \sqrt{2}\sigma_r} - \sqrt{\mu_r - \sqrt{2}\sigma_r} \\
 a_l' &= \sqrt{\mu_l + \sqrt{2}\sigma_l} + \sqrt{\mu_l - \sqrt{2}\sigma_l} & b_l' &= \sqrt{\mu_l + \sqrt{2}\sigma_l} - \sqrt{\mu_l - \sqrt{2}\sigma_l} \\
 a_r' &= a_m(t) e^{+1/2\alpha_a} & b_r' &= b_m(t) e^{+1/2\alpha_b} \\
 a_l' &= a_m(t) e^{-1/2\alpha_a} & b_l' &= b_m(t) e^{-1/2\alpha_b}
 \end{aligned}
 \tag{6.2.2/3}$$

Kombiniert man jeweils die Schätzer beider Ohrsignale, die nach gleicher Methode bestimmt worden sind, also a_r' mit a_l' und b_r' mit b_l' , erhält man die gewünschten Schätzer für die normierten Leistungen und interauralen Dämpfungen (bzw. Pegeldifferenzen) der Schallquellen:

$$\begin{aligned}
 a_m'^2 &= a_r' a_l' & b_m'^2 &= b_r' b_l' \\
 \alpha_a' &= \ln(a_r' / a_l') & \alpha_b' &= \ln(b_r' / b_l')
 \end{aligned}$$

Dieses Verfahren zum Schätzen von interauralen Dämpfungen und normierten Leistungen zweier Schallquellen aus den Beträgen der Ohrsignale wird im folgenden *Pegeldifferenz-Cocktail-Party-Prozessor* genannt. Im Kasten unten auf der Seite ist der Algorithmus zusammengefaßt dargestellt. Mit Hilfe der Freifeld-Außenohr-Übertragungsfunktionen können aus den Schätzern die Freifeld-Leistungen und Einfallsrichtungen der Schallquellen bestimmt werden. Die Erzeugung von Zeitsignalen erfolgt daraus mit Hilfe eines Wiener-Filter-Verfahrens (Kapitel 7.2).

Durch die Kombination von Phasendifferenz- und Pegeldifferenz-Prozessor können die Mehrdeutigkeiten und Fehlerquellen beider Verfahren ausgeglichen werden: Mehrdeutige Schätzungen der Einfallsrichtung bei hohen Frequenzen beim Phasenalgorithmus, Ungenauigkeiten durch nur geringe Pegeldifferenzen bei tiefen Frequenzen beim Pegeldifferenz-Algorithmus. Am

Der Algorithmus des Pegeldifferenz-Cocktail-Party-Prozessors

1. Bildung der quadratischen Beträge der Ohrsignale aus den analytischen Zeitsignalen der Ohrsignale

$$|l(t)|^2 = l(t) l(t)^* \qquad |r(t)|^2 = r(t) r(t)^*$$

2. Bestimmung statistischer Parameter der quadratischen Beträge der Ohrsignale

$$\begin{aligned}
 \mu_l &= 1/2T_\mu \int_{t-T_\mu}^{t+T_\mu} |l(t_\mu)|^2 dt_\mu & \mu_r &= 1/2T_\mu \int_{t-T_\mu}^{t+T_\mu} |r(t_\mu)|^2 dt_\mu \\
 \sigma_l^2 &= 1/2T_\mu \int_{t-T_\mu}^{t+T_\mu} (|l(t_\mu)|^2 - \mu_l)^2 dt_\mu & \sigma_r^2 &= 1/2T_\mu \int_{t-T_\mu}^{t+T_\mu} (|r(t_\mu)|^2 - \mu_r)^2 dt_\mu
 \end{aligned}$$

3. Bestimmung der Komponentenschätzer

$$\begin{aligned}
 a_r' &= \sqrt{\mu_r + \sqrt{2}\sigma_r} + \sqrt{\mu_r - \sqrt{2}\sigma_r} & b_r' &= \sqrt{\mu_r + \sqrt{2}\sigma_r} - \sqrt{\mu_r - \sqrt{2}\sigma_r} \\
 a_l' &= \sqrt{\mu_l + \sqrt{2}\sigma_l} + \sqrt{\mu_l - \sqrt{2}\sigma_l} & b_l' &= \sqrt{\mu_l + \sqrt{2}\sigma_l} - \sqrt{\mu_l - \sqrt{2}\sigma_l}
 \end{aligned}$$

4. Schätzung der normierten Leistungen und interauralen Dämpfungen der Schallquellen

$$a_m'^2 = a_r' a_l' \qquad \alpha_a' = \ln(a_r' / a_l') \qquad b_m'^2 = b_r' b_l' \qquad \alpha_b' = \ln(b_r' / b_l')$$

wahrscheinlichsten sind die geschätzten Leistungen und Einfallrichtungen, die von beiden Verfahren unterstützt werden bzw. bei denen nur geringe Abweichungen zwischen beiden Verfahren auftreten (siehe Kap. 6.3).

Wird statt 2 Schallquellen mit konstanter Amplitude eine Schallquelle variabler Amplitude präsentiert, ergeben sich, ähnlich wie beim interauralen Kreuzprodukt, 2 Schätzer mit gleicher interauraler Pegeldifferenz.

6.2.3. Mehr als zwei Schallquellen

Komplexere Schallfelder lassen sich beschreiben durch Überlagerung vieler Schallquellen mit unterschiedlichen Spektren, entsprechend Formel 5.4.1/1. Die quadratischen Beträge der Ohrsignale lassen sich analog zur Herleitung des interauralen Kreuzprodukts in Kapitel 5.4.1 bestimmen. Für das rechte Ohrsignal ergibt sich hiermit:

$$|r(t)|^2 = \sum_{q=1}^N e^{\alpha_q} \sum_{i=1}^{M_q} a_{mqi}^2 + 2 \sum_{q=1}^N \sum_{p=1}^{q-1} e^{\frac{1}{2}(\alpha_q + \alpha_p)} \sum_{i=1}^{M_q} \sum_{k=1}^{M_p} a_{mqi} a_{mpk} \cos\{(\Omega_i - \Omega_k)t + \Phi_{qi} - \Phi_{pk} + \frac{1}{2}(\beta_p - \beta_q)\} \quad (6.2.3/1)$$

Entsprechend erhält man Mittelwert und Standardabweichung zu:

$$\mu_r = \sum_{q=1}^N e^{\alpha_q} \sum_{i=1}^{M_q} a_{mqi}^2$$

$$\sigma_r^2 = 2 \sum_{q=1}^N \sum_{p=1}^{q-1} e^{\alpha_q + \alpha_p} \sum_{i=1}^{M_q} a_{mqi}^2 \sum_{k=1}^{M_p} a_{mpk}^2 \quad (6.2.3/2)$$

Der Mittelwert ergibt sich als Summe der Ohrsignal-Leistungen aller Schallquellen. Die Standardabweichung ergibt sich durch Überlagerung von harmonischen Schwingungen mit den Differenzfrequenzen zwischen jeweils 2 Frequenzlinien der vorhandenen Schallquellen.

Die statistischen Parameter eines komplexen Schallfeldes lassen sich analog zu Formel 5.4.1/4 aus den statistischen Parametern der einzelnen Quellensignale μ_q, σ_q ableiten. Man erhält als Überlagerungssatz:

$$\mu_r = \sum_{q=1}^N \mu_q e^{\alpha_q}$$

$$\sigma_r^2 = \sum_{q=1}^N \sigma_q^2 e^{2\alpha_q} + 2 \sum_{q=1}^N \sum_{p < q}^{q-1} \mu_q \mu_p e^{\alpha_q + \alpha_p} \quad (6.2.3/3)$$

Entsprechend können die Betrachtungen des interauralen Kreuzprodukts auch auf Schätzer aus den quadratischen Beträgen der Ohrsignale übertragen werden. So ergeben sich z.B. bei Anwesenheit mehrerer Schallquellen konstanter Amplitude ($\mu_q = a_{mq}^2, \sigma_q = 0$) die statistischen Parameter:

$$\mu_r = \sum_{q=1}^N a_{mq}^2 e^{\alpha_q} \quad \sigma_r^2 = 2 \sum_{q=1}^N \sum_{p < q}^{q-1} a_{mq}^2 a_{mp}^2 e^{\alpha_q + \alpha_p}$$

Um Aussagen darüber machen zu können, ob und in welchem Umfang an solchen komplexen Schallfeldern Signale bestimmter Richtungen beteiligt sind, sind, ähnlich den Korrekturverfahren des Phasendifferenz-Cocktail-Party-Prozessors, zusätzliche Algorithmen erforderlich, die aus den

statistischen Parametern und Schätzern bei komplexen Schallfeldern die zu einer Sollrichtung gehörende Schalleistung bestimmen.

6.2.4. Diffuses Schallfeld

Diffuses Schallfeld allein

Für die Ohrsignale (Bezugspunkt Kopfmittle) gilt im diffusen Schallfeld gemäß Kapitel 5.4.4 ($\underline{e}_{m\theta}(t)$ Signale der Spiegelschallquellen):

$$l(t) = \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t) e^{-\frac{1}{2}\alpha_{\theta} - j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta \quad r(t) = \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t) e^{\frac{1}{2}\alpha_{\theta} + j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta$$

$$|l(t)|^2 = \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t) e^{-\frac{1}{2}\alpha_{\theta} - j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta + \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t)^* e^{-\frac{1}{2}\alpha_{\theta} + j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta$$

$$|r(t)|^2 = \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t) e^{\frac{1}{2}\alpha_{\theta} + j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta + \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t)^* e^{+\frac{1}{2}\alpha_{\theta} - j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta$$

Sind die Leistungsdichte E_m' und die Spektren der Spiegelschallquellen aller Einfallswinkel gleich, gilt bei symmetrischem Kopf analog zu Kap. 5.4.4:

$$|r(t)|^2 = |l(t)|^2 = |E_m'|^2 \left| \int_{-\pi}^{\pi} \underline{e}_{m\theta}(t) e^{\frac{1}{2}\alpha_{\theta} + j\frac{1}{2}\beta_{\theta}} d\theta \right|^2$$

Die quadratischen Beträge beider Ohrsignale sind unter diesen Voraussetzungen gleich und nicht mehr zeitabhängig, die Standardabweichung wird zu Null. Es ergeben sich die statistischen Parameter und Schätzer:

$$\mu_r = \mu_l = \mu = |r(t)|^2 \quad \sigma_r = \sigma_l = 0$$

$$a_r'^2 = a_l'^2 = \mu_r \quad b_r'^2 = b_l'^2 = 0$$

$$a_m'^2 = a_r' a_l' = \mu \quad b_m'^2 = b_r' b_l' = 0$$

$$\alpha_a' = \ln(a_r'/a_l') = 0 \quad (6.2.4/1)$$

Im rein diffusen Schallfeld tritt lediglich ein Schätzer für die Medianebene auf, der die gesamte Leistung der Ohrsignale auf sich vereint. In diesem Punkt verhalten sich Pegeldifferenz- und Phasendifferenz-Processor gleich. Da hier nur der späte Nachhall, nicht aber frühe Reflexionen betrachtet wurden, sind hieraus nicht unbedingt Rückschlüsse auf das Hören in geschlossenen Räumen möglich. Diese Eigenschaft, späten Nachhall auf die Vorne-Richtung zu projizieren, könnte z.B. für Enthaltungs-Algorithmen genutzt werden.

Eine Schallquelle im diffusen Schallfeld

Für einzelne Schallquellen im diffusen Schallfeld können mit Hilfe des Überlagerungssatzes gemäß Formel 6.2.3/3 die statistischen Parameter der Ohrsignale aus den entsprechenden Parametern des Quellsignals μ_q, σ_q und des diffusen Schallfeldes μ_d, σ_d ($\sigma_d=0$) bestimmt werden:

$$\begin{aligned} \mu_l &= \mu_q e^{-\alpha_q} + \mu_d & \mu_r &= \mu_q e^{\alpha_q} + \mu_d \\ \sigma_l^2 &= \sigma_q^2 e^{-2\alpha_q} + 2 \mu_q \mu_d e^{-\alpha_q} & \sigma_r^2 &= \sigma_q^2 e^{2\alpha_q} + 2 \mu_q \mu_d e^{\alpha_q} \end{aligned}$$

Ändert sich die Amplitude der Quelle nur langsam, gemessen an der Integrationszeit, so daß gilt $\sigma_q^2 \ll \mu_q \mu_d$, erhält man als Komponenten-Schätzer und als Schätzer für die Amplitude und interaurale Dämpfung beteiligter Quellen:

$$\begin{aligned} a_l'^2 &= \mu_q e^{-\alpha_q} & a_r'^2 &= \mu_q e^{\alpha_q} \\ b_l'^2 &= \mu_d & b_r'^2 &= \mu_d \\ a_m'^2 &= \mu_q & b_m'^2 &= \mu_d \\ \alpha_a' &= \alpha_q & \alpha_b' &= 0 \end{aligned} \quad (6.2.4/2)$$

Man erhält, analog zur Analyse des interauralen Kreuzprodukts, 2 unabhängige Schätzer für Diffusfeld und Schallquelle, erhält somit einen Schätzer für ein enthaltenes Quellsignal.

Wird eine Schallquelle aus der Medianebene präsentiert, besteht keine Möglichkeit, Quelle und Diffusfeld zu trennen. Die Leistung des diffusen Schallfeldes summiert sich zur Leistung der Schallquelle.

Diffuses Schallfeld mit zwei Schallquellen

Befinden sich in einem diffusen Schallfeld (μ_d, σ_d) 2 Schallquellen mit konstanter Amplitude ($\mu_a = a_m^2, \mu_b = b_m^2; \sigma_a, \sigma_b \ll \mu_a, \mu_b$) und den interauralen Dämpfungen α_a, α_b , erhält man als statistische Parameter der monauralen quadratischen Beträge z.B. für das rechte Ohrsignal:

$$\begin{aligned} \mu_r &= a_m^2 e^{\alpha_a} + b_m^2 e^{\alpha_b} + \mu_d \\ \frac{1}{2} \sigma_r^2 &= a_m^2 b_m^2 e^{\alpha_a + \alpha_b} + \mu_d (a_m^2 e^{\alpha_a} + b_m^2 e^{\alpha_b}) \\ (a_r' \pm b_r')^2 &= a_m^2 e^{\alpha_a} + b_m^2 e^{\alpha_b} + \mu_d \pm 2 \sqrt{(a_m^2 e^{\alpha_a} + \mu_d) (b_m^2 e^{\alpha_b} + \mu_d) - \mu_d^2} \end{aligned}$$

Sind die beiden Schallquellen dominant gegenüber dem diffusen Schallfeld, befindet sich also der Hörer innerhalb des Hallradius, erhält man Schätzer der Einzelsignale, die vom diffusen Feld überlagert werden:

$$\begin{aligned} a_r'^2 &\approx a_m^2 e^{\alpha_a} + \mu_d & a_l'^2 &\approx a_m^2 e^{-\alpha_a} + \mu_d \\ b_r'^2 &\approx b_m^2 e^{\alpha_b} + \mu_d & b_l'^2 &\approx b_m^2 e^{-\alpha_b} + \mu_d \\ a_m'^2 &\approx a_m^2 + \mu_d \cosh(\alpha_a) & e^{2\alpha_a} &\approx (a_m^2 e^{\alpha_a} + \mu_d) / (a_m^2 e^{-\alpha_a} + \mu_d) \\ b_m'^2 &\approx b_m^2 + \mu_d \cosh(\alpha_b) & e^{2\alpha_b} &\approx (b_m^2 e^{\alpha_b} + \mu_d) / (b_m^2 e^{-\alpha_b} + \mu_d) \end{aligned}$$

Für die interaurale Dämpfung gilt folgende Fallunterscheidung (α_b analog):

$$\begin{aligned} \alpha_a \gg 0: & \quad \alpha_a' \approx \alpha_a - (\mu_d/a_m^2)e^{\alpha_a} \\ \alpha_a \ll 0: & \quad \alpha_a' \approx \alpha_a + (\mu_d/a_m^2)e^{-\alpha_a} \\ \alpha_a \approx 0: & \quad \alpha_a' \approx \alpha_a \\ |\alpha_a'| & \approx |\alpha_a| - (\mu_d/a_m^2)e^{|\alpha_a|} \end{aligned}$$

Durch das Diffusfeld werden die geschätzte Leistung gegenüber dem Originalwert erhöht und die geschätzte Richtung zur Medianebene verschoben.

Außerhalb des Hallradius erhält man einen Schätzer für das Diffusfeld und einen für die Überlagerung der beiden Quellensignale:

$$\begin{aligned} a_l'^2 &\approx \mu_d & a_r'^2 &\approx \mu_d \\ b_l'^2 &\approx a_m^2 e^{-\alpha_a} + b_m^2 e^{-\alpha_b} & b_r'^2 &\approx a_m^2 e^{\alpha_a} + b_m^2 e^{\alpha_b} \\ a_m'^2 &\approx \mu_d & e^{2\alpha_a'} &\approx 1 \\ b_m'^2 &\approx \sqrt{a_m^2 + b_m^2 + 2a_m b_m \cosh(\alpha_a - \alpha_b)} & e^{2\alpha_b'} &\approx e^{\alpha_a + \alpha_b} \frac{\cosh\{(\alpha_a - \alpha_b)/2 + \ln(a_m/b_m)\}}{\cosh\{(\alpha_a - \alpha_b)/2 - \ln(a_m/b_m)\}} \end{aligned}$$

6.2.5. Dominante Quellen

Ein komplexes Schallfeld mit vielen Schallquellen und Frequenzlinien läßt sich durch die statistischen Parameter der Ohrsignal-Beträge gemäß Formel 6.2.3/3 z.B. für das rechte Ohrsignal wie folgt beschreiben:

$$\begin{aligned} \mu_r &= \sum_{q=1}^N \mu_q e^{\alpha_q} \\ \sigma_r^2 &= \sum_{q=1}^N \sigma_q^2 e^{2\alpha_q} + 2 \sum_{q=1}^N \sum_{p<q}^{q-1} \mu_q \mu_p e^{\alpha_q + \alpha_p} \end{aligned}$$

$\mu_p, \mu_q, \sigma_p, \sigma_q$ sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Quellensignale.

Eine dominante Quelle

Ist eine Quelle (a_m^2, α_a) dominant, überwiegt also in den Ohrsignalen deren Leistung a_m^2 die aller anderer Quellen, läßt sich diese Quelle aus einem Quellengemisch trennen. Bei einer dominanten Quelle mit Standardabweichung $\sigma_a=0$ und Beschreibung der anderen Quellen durch einzelne Frequenzlinien ($\sigma_i=0$) erhält man z.B. für das rechte Ohrsignal:

$$\begin{aligned} \mu_r &= a_m^2 e^{\alpha_a} + \sum_{q \neq a} \mu_q e^{\alpha_q} \\ \sigma_r^2 &= a_m^2 e^{\alpha_a} \sum_{q \neq a} \mu_q e^{\alpha_q} + 2 \sum_{q \neq a} \sum_{p < q} \mu_q \mu_p e^{\alpha_q + \alpha_p} \end{aligned}$$

Als Komponenten-Schätzer erhält man:

$$\begin{aligned} a_r'^2 &\approx a_m^2 e^{\alpha_a} & b_r'^2 &\approx \sum_{q \neq a} \mu_q e^{\alpha_q} \\ a_l'^2 &\approx a_m^2 e^{-\alpha_a} & b_l'^2 &\approx \sum_{q \neq a} \mu_q e^{-\alpha_q} \end{aligned}$$

Als Schätzer erhält man einerseits das Signal der dominanten Schallquelle, andererseits ein Gemisch aller anderen Schallquellen:

$$\begin{aligned} a_m'^2 &= a_m^2 & \alpha_a' &= \alpha_a \\ b_m'^4 &= \sum_{q \neq a} \mu_q^2 + 2 \sum_{q \neq a} \sum_{p < q} \mu_q \mu_p \cosh(\alpha_q - \alpha_p) & e^{\alpha_b'} &= b_r' / b_l' \end{aligned}$$

Zwei dominante Quellen

Existieren 2 dominante Quellen a_m^2, b_m^2 , ergeben sich unter den gleichen Voraussetzungen wie oben folgende statistische Parameter der Ohrsignal-Beträge z.B. für das rechte Ohrsignal:

$$\begin{aligned} \mu_r &= a_m^2 e^{\alpha_a} + b_m^2 e^{\alpha_b} + \sum_{q \neq a, b} \mu_q e^{\alpha_q} \\ \frac{1}{2} \sigma_r^2 &= a_m^2 b_m^2 e^{\alpha_a + \alpha_b} + (a_m^2 e^{\alpha_a} + b_m^2 e^{\alpha_b}) \sum_{q \neq a, b} \mu_q e^{\alpha_q} + 2 \sum_{q \neq a, b} \sum_{p < q} \mu_q \mu_p e^{\alpha_q + \alpha_p} \end{aligned}$$

Entsprechend erhält man für die Komponenten-Schätzer:

$$\begin{aligned} a_r'^2 &\approx a_m^2 e^{\alpha_a} + \sum_{q \neq a, b} \mu_q e^{\alpha_q} & b_r'^2 &\approx b_m^2 e^{\alpha_b} + \sum_{q \neq a, b} \mu_q e^{\alpha_q} \\ a_l'^2 &\approx a_m^2 e^{-\alpha_a} + \sum_{q \neq a, b} \mu_q e^{-\alpha_q} & b_l'^2 &\approx b_m^2 e^{-\alpha_b} + \sum_{q \neq a, b} \mu_q e^{-\alpha_q} \end{aligned}$$

Die Schätzer für die Quellsignale weichen durch die Beeinflussung durch die schwachen Quellen von den Schätzern der dominanten Quellen ab. Die Abweichungen hängen vom Leistungsverhältnis dominante Quelle/andere Schallquellen ab.

Um beliebige Signale einer Sollrichtung aus einem Quellengemisch zu extrahieren, ist ein Verfahren erforderlich, das aus den Abweichungen der geschätzten Richtung von der Sollrichtung das mögliche Leistungsverhältnis dominante Quelle/andere Schallquellen abschätzt und hieraus die mögliche Schalleistung der gewünschten Richtung korrigiert.

Diskussion

Bei mehr als 2 dominierenden Quellen sind auch diese Quellen nicht mehr zu extrahieren. Die Schätzer werden dann im wesentlichen von einem Gemisch der dominanten Quellen beeinflusst.

Probleme bei der Konstruktion der Signalschätzer ergeben sich, wenn Quellen nur in jeweils einem Ohr dominant sind (z.B. bei großen interauralen Pegeldifferenzen). Die Komponentenschätzer können dann in jedem Ohrsignal unterschiedlichen Quellen entsprechen, so daß durch die Kombination der Schätzer kein Quellsignal extrahiert werden kann.

Beispiel: Bei 3 Schallsignalen aus den Richtungen $-45^\circ, 0^\circ, 45^\circ$ ergeben sich für diese Signale im Frequenzbereich um 3 kHz interaurale Pegeldifferenzen von -10 dB, 0 dB, 10 dB. Bei gleicher Schalleistung der Quellen sind im linken Ohrsignal die Schallquellen 1 und 2 dominierend, im rechten die Quellen 2 und 3. Alle Komponentenschätzer besitzen dann die gleiche Leistung, die interaurale Pegeldifferenz der Signalschätzer wäre 0 dB. Die Richtungen der seitlich ausgelenkten Signale wären nicht mehr auszumachen.

Es ist somit notwendig, bei Anwesenheit von mehr als 2 Schallquellen Korrekturverfahren anzuwenden, die auftretende Abweichungen der Schätzer bewerten und gegebenenfalls korrigieren, bzw. dieses Verfahren durch Ergebnisse anderer Informationsquellen zu ergänzen.

6.3. Abbildung von Schätzern auf die gewünschte Richtung

Fehlerquellen

Stimmen die geschätzten Richtungen nicht mit einer gewünschten Richtung überein, gilt es, analog zu den Bewertungsverfahren des Phasendifferenz-Verfahrens (Kap. 5.6), abzuschätzen, ob ein Signal aus der Sollrichtung vorliegt und welche Leistung es gegebenenfalls besitzen könnte.

Die Fehlerursachen, die bei Vorhandensein eines Signals aus einer Sollrichtung zu Abweichungen der Schätzer-Richtungen von dieser Sollrichtung führen können, sind in vielen Punkten denen des Phasendifferenz-Prozessors ähnlich (vergl. Kap. 5.6):

- mehr als 2 Schallquellen,
- Modulierte Schallquellen,
- Reflexionen und Nachhall,
- Fehler bei der Angabe der Sollrichtung bzw. bei der Bestimmung der zur Sollrichtung gehörenden interauralen Dämpfung,
- unangemessene Integrationszeit bei der Bestimmung der statistischen Parameter,
- Frequenzabhängigkeiten der interauralen Pegeldifferenz, besonders bei sehr hohen Frequenzen.

Die Auswirkungen einzelner Fehlerquellen auf die Ergebnisse des Verfahrens sollen im folgenden untersucht werden und hieraus Korrektur- und Bewertungsmöglichkeiten für abweichende Quellenschätzer abgeleitet werden. Ähnlich wie in Kapitel 5.6 soll auch hier mittels einer Bewertungsfunktion $W_x(\alpha)$ ein korrigierter Schätzer für die Sollrichtung $s_m'^2$ erzeugt werden.

Frequenzabhängigkeiten

Bei hohen Frequenzen ist die interaurale Dämpfung innerhalb einer Frequenzgruppe nicht mehr frequenzunabhängig. In den Freifeld-Außenohr-Übertragungsfunktionen können bei sehr hohen Frequenzen Schwankungen der interauralen Pegeldifferenz über ± 5 dB auftreten (in den genäherten Übertragungsfunktionen nach Anhang C immerhin noch bis zu ± 2 dB). Abweichungen dieser Größenordnung müssen also noch als korrekt gewertet werden. Für die Bewertungsfunktion $W_x(\alpha)$ eines Schätzers bzw. für Schätzer der Sollrichtung $s_m'^2$ gilt dann ($x_m'^2 = a_m'^2$ bzw. $b_m'^2$):

$$W_x(\alpha_{\text{soll}}) = 1 \quad s_m'^2 = x_m'^2 \quad \text{für} \quad |\alpha_x' - \alpha_{\text{soll}}| < \left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta f} \right)_{\text{max}} \frac{f_o - f_u}{2}$$

Möglicher Bereich der Schätzer

Die Summe der Leistungen der Komponenten-Schätzer muß der mittleren Leistung eines Ohrsignals entsprechen. Die Ohrsignal-Leistungen eines Schätzers der Sollrichtung müssen sich also zwischen dem Mittelwert des quadratischen Betrags und den berechneten Komponentenschätzern bewegen. Durch interaurale Kombination dieser Eckpunkte wird der mögliche Bereich der interauralen Dämpfung bestimmt. Für interaurale Dämpfungen außerhalb dieses Bereichs ist das Vorkommen eines Signals eher unwahrscheinlich. Die Abweichung der interauralen Dämpfung einer Sollrichtung von den geschätzten Werten kann so als Maß für die Wahrscheinlichkeit dienen, mit der Signale aus der Sollrichtung vorhanden sind.

Seien a_r' und a_l' jeweils die Komponentenschätzer mit der größten Leistung, ergibt sich die größte Abweichung der interauralen Dämpfung eines Schätzers von der des Mittelwerts, wenn die

Komponentenschätzer in falscher Weise zu Signalschätzern kombiniert werden. Für die interaurale Dämpfung dieser Schätzer α_a'' und α_b'' gilt mit den Bezeichnungen aus Kap. 6.2.2:

$$e^{\alpha_a''} = \sqrt{a_r'/b_l'} \quad e^{\alpha_\mu} = \sqrt{\mu_r'/\mu_l'}$$

$$\frac{e^{2\alpha_a''}}{e^{2\alpha_\mu}} = \frac{\mu_r + \sqrt{2}\sigma_r}{\mu_l - \sqrt{2}\sigma_l} \frac{\mu_l}{\mu_r} = \frac{1 + 2a_r'b_r'/(a_r'^2+b_r'^2)}{1 - 2a_l'b_l'/(a_l'^2+b_l'^2)} \approx 1 + 2\frac{b_r'}{a_r'} + 2\frac{b_l'}{a_l'}$$

$$\alpha_a'' - \alpha_\mu \approx b_r'/a_r' + b_l'/a_l'$$

Für den Schätzer b'' erhält man mit den gleichen Überlegungen:

$$\alpha_b'' - \alpha_\mu \approx -b_r'/a_r' - b_l'/a_l'$$

Diese Differenz der interauralen Dämpfungen zwischen Schätzer und Mittelwert kann zur Konstruktion einer Bewertungsfunktion verwendet werden. Wird die Wahrscheinlichkeit, daß Signale der Sollrichtung vorhanden sind, zu 0.5 gesetzt, wenn die interaurale Dämpfung eines Schätzers α_x' um die obige Differenz von der interauralen Dämpfung einer Sollrichtung α_{soll} abweicht, kann man mit Hilfe eines Cosinus-Fensters eine Bewertungsfunktion aufbauen. Es sei:

$$|\alpha_x'' - \alpha_\mu| \leq \frac{\min(a_r', b_r')}{\max(a_r', b_r')} + \frac{\min(a_l', b_l')}{\max(a_l', b_l')}$$

$$W_x(\alpha) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\alpha_x' - \alpha}{\alpha_x'' - \alpha_\mu} \frac{\pi}{2}\right) \quad \text{für } |\alpha_x' - \alpha| < 2|\alpha_x'' - \alpha_\mu|$$

$$W_x(\alpha) = 0 \quad \text{sonst} \quad (6.3/1)$$

Für den Schätzer der Sollrichtung $s_m'^2$ gilt für einen Schätzer des Pegeldifferenz-Cocktail-Party-Prozessors $x_m'^2$:

$$s_m'^2 = W_x(\alpha_{soll}) x_m'^2$$

Drei-Quellen-Modell

Das vorgestellte Modell beschreibt die statistischen Parameter der Ohrsignale als Ergebnis der Überlagerung zweier Schallquellen. Bei mehr als 2 Quellen reicht der Ansatz zur vollständigen Beschreibung nicht mehr aus; die Schätzer weichen von den Parametern der Quellen ab.

Es seien außer einer Quelle der gewünschten Richtung (Leistung $s_m'^2$, Dämpfung α_{soll}) noch zwei weitere Schallquellen (Leistungen a^2, b^2 ; interaurale Dämpfung α_a, α_b) vorhanden. Es wird davon ausgegangen, daß sich die Schätzer $a_m', \alpha_a', b_m', \alpha_b'$ jeweils aus der Überlagerung der Signale der Sollrichtung und einer anderen Schallquelle ergeben. Der Sollrichtungs-Anteil an den geschätzten Leistungen g wäre noch zu bestimmen. Die statistischen Parameter müssen für die Beschreibung durch Schätzer und durch Originalsignale übereinstimmen. Somit gilt z.B. für das rechte Ohrsignal:

$$\mu_r = a_r'^2 + b_r'^2 = a_r^2 + b_r^2 + s_r^2$$

$$a_r'^2 = a_r^2 + g s_r^2 \quad b_r'^2 = b_r^2 + (1-g)s_r^2$$

$$\frac{1}{2}\sigma_r^2 = a_r'^2 b_r'^2 = a_r^2 b_r^2 + a_r^2 s_r^2 + b_r^2 s_r^2 = a_r^2 b_r^2 + s_r^2 [g a_r^2 + (1-g)b_r^2 - (g^2 - g + 1)s_r^2]$$

$$g a_r'^2 / s_r^2 + (1-g)b_r'^2 / s_r^2 = g^2 - g + 1$$

Für das linke Ohrsignal gilt entsprechend:

$$g a_l'^2/s_l'^2 + (1-g)b_l'^2/s_l'^2 = g^2-g+1$$

Für den Faktor g und die Leistung der Sollrichtung s_m^2 erhält man:

$$g a_m'^2 e^{\alpha_{soll}-\alpha_a'} + (1-g)b_m'^2 e^{\alpha_{soll}-\alpha_b} = g a_m'^2 e^{\alpha_a'-\alpha_{soll}} + (1-g)b_m'^2 e^{\alpha_b'-\alpha_{soll}}$$

$$g = \frac{b_m'^2 \sinh(\alpha_b'-\alpha_{soll})}{b_m'^2 \sinh(\alpha_b'-\alpha_{soll}) - a_m'^2 \sinh(\alpha_a'-\alpha_{soll})}$$

$$s_m^2 = \frac{g a_m'^2}{g^2-g+1} e^{\alpha_a'-\alpha_{soll}} + \frac{(1-g)b_m'^2}{g^2-g+1} e^{\alpha_b'-\alpha_{soll}} \quad (6.3/2)$$

s_m^2 kann als Abschätzung für die Leistung der Sollrichtung bei Anwesenheit dreier Schallquellen dienen und stellt somit einen korrigierten Schätzer bei Abweichungen der Sollrichtung von den geschätzten Richtungen dar.

6.4. Verknüpfung von Schätzern aus interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen

Verfahren

Somit stehen nun 2 Cocktail-Party-Prozessor-Verfahren zur Verfügung, jeweils mit Korrekturmethode zur Behandlung von Schätzfehlern:

- der Phasendifferenz-Prozessor gemäß Kapitel 5, der aus dem interauralen Kreuzprodukt Schätzer für die Leistung und interaurale Phase von 2 Schallquellen berechnet,
- der Pegeldifferenz-Prozessor, der aus den Beträgen der Ohrsignale nach einem ähnlichen Verfahren Schätzer für die Leistung und die interaurale Dämpfung (interaurale Pegeldifferenz) von 2 Schallquellen bestimmt.

Der Phasendifferenz-Prozessor liefert bei tiefen Frequenzen eindeutige Ergebnisse für eine 2-Quellen-Situation. Entsprechen die Empfängerabstände den natürlichen Ohrabständen, wird für Frequenzen oberhalb von 800 Hz die interaurale Phase mehrdeutig. Möglichkeiten zur Bestimmung der "unwrapped phase" direkt aus dem Verfahren und damit der Bestimmung eindeutiger Schätzer bestehen nicht.

Der optimale Frequenzbereich des Pegeldifferenz-Prozessors liegt bei hohen Frequenzen, wo die Pegeldifferenzen groß genug sind, um aussagekräftige und genaue Richtungsschätzungen zu liefern. Bei niedrigen Frequenzen und niedrigen interauralen Pegeldifferenzen steigen die Fehler dieses Verfahrens an. Somit ergänzen sich die optimalen Frequenzbereiche beider Prozessoren:

- Bei niedrigen Frequenzen liefert der Phasendifferenz-Prozessor allein aussagekräftige Ergebnisse.
- Bei mittleren Frequenzen von einigen kHz werden die Ergebnisse des Phasendifferenz-Prozessors mehrdeutig, der eindeutig beschreibbare Richtungsbereich besitzt aber noch eine sinnvolle Größe. Hier muß der Pegeldifferenz-Prozessor die Grobrichtung bestimmen und zwischen den Mehrdeutigkeiten des Phasendifferenz-Prozessors eine Richtungsentscheidung treffen.
- Bei hohen Frequenzen können nur noch die Ergebnisse des Pegeldifferenz-Prozessors ausgewertet werden, da hier die Mehrdeutigkeiten des Phasendifferenz-Prozessors so dicht beieinander liegen, daß eine sinnvolle Auswertung der Ergebnisse nicht mehr möglich ist.

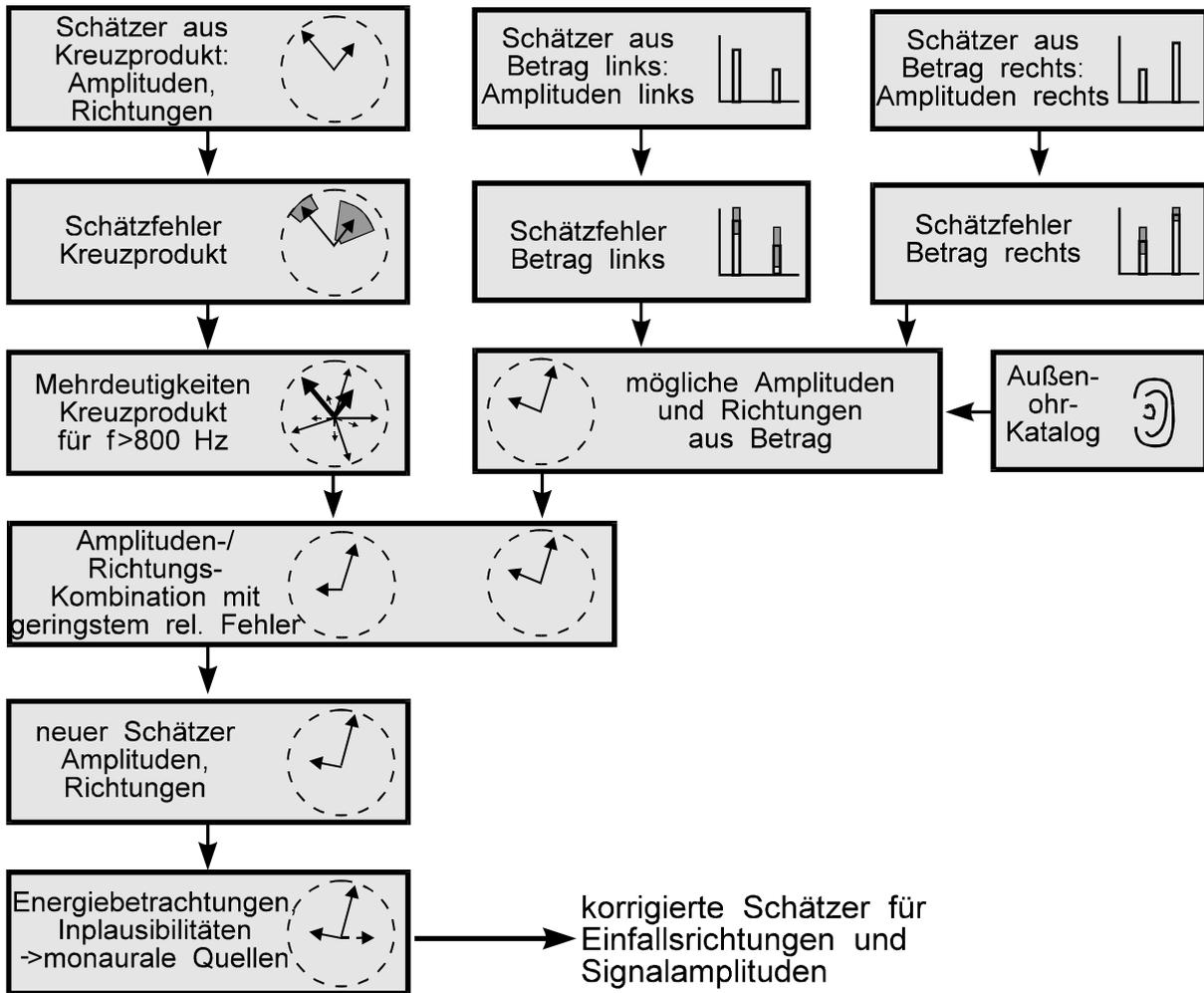


Bild 6.1: Prozessor-Stufe zur Kombination von Phasen- und Pegeldifferenz- Informationen.

Durch zusätzliche Informationen anderer Informationsquellen (z.B. Präzedenz-Prozessor, Kapitel 8) könnte diese Auswertestrategie noch ergänzt werden.

Überträgt man dieses Verfahren analog zu den Kapiteln 4.5/4.6 auf andere Verfahren der binauralen Analyse entspricht dieses Verfahren einer Kombination der Ergebnisse einer binauralen Kreuzkorrelationsfunktion mit monauralen Auto-Korrelationsfunktionen. Eine Besonderheit der hier vorgestellten Prozessoren besteht in den verwendeten Funktionen (Interaurales Kreuzprodukt, Beträge der Ohrsignale), die eine einfache und sehr schnelle Berechnung erlauben. Eine weitere Besonderheit besteht im Auswerteverfahren. Durch die Auswertung der Standardabweichung gehen auch noch Informationen über den zeitlichen Verlauf der Muster in die Auswertung ein. Hierdurch ist es möglich, simultan die Parameter zweier Quellen zu schätzen. Hierdurch sind auch für 2-Quellen-Situationen bei negativen Signal-Stör-Abständen noch genaue Ergebnisse erzielbar, wo Modelle ohne Auswertung der zeitlichen Struktur der Muster (reine Momentan- bzw. Mittelwert-Betrachtungen, wie z.B. Kreuzkorrelations-Modelle), die einen internen 1-Quellen-Ansatz verfolgen, auf Schwierigkeiten stoßen.

Behandlung von Mehrdeutigkeiten

Bild 6.1 zeigt den Entwurf einer Prozessorstufe, die Informationen aus Phasen- und Pegeldifferenz-Auswertung miteinander kombiniert. Folgende Überlegungen liegen dieser Stufe zugrunde:

- Am menschlichen Kopf (oder mikrofonbesetzten Gegenständen) liegen interaurale Zeit- und Pegeldifferenzen in "natürlichen Kombinationen" vor, die für eine Frequenz und Einfallrichtung spezifisch sind.
- Nur bei Vorliegen dieser natürlichen Kombinationen entsteht ein fusioniertes Hörereignis (Gaik [20]).
- Treten zwischen den Schätzern des Phasendifferenz- und Pegeldifferenz-Prozessors natürliche Kombinationen auf, sind diese wahrscheinlicher als solche, die zu unnatürlichen Kombinationen führen.

Für den Aufbau einer verbindenden Prozessor-Stufe bedeutet dies: Nachdem in jeder Prozessor-Stufe getrennt die Plausibilität der möglichen Schätzer untersucht und bewertet wurde, werden die möglichen Kombinationen aus Phasen- und Pegeldifferenz-Schätzern bewertet, z.B. über die Bewertungsfunktionen $W_x(\beta_{\text{Soll}})$, $W_x(\alpha_{\text{Soll}})$. Das Schätzerpaar mit den geringsten Abweichungen von den natürlichen Kombinationen wird als Grundlage für die weitere Verarbeitung übernommen.

Unnatürliche Kombinationen von Zeit- und Pegeldifferenzen

Kombinationen zwischen interauralen Zeit- und Pegeldifferenzen, zu denen es keine Entsprechung in den Außenohr-Übertragungsfunktionen gibt, deuten auf Fehlerquellen hin. Aus den Reaktionen des Gehörs auf solche widersprüchlichen Informationen kann u.U. eine Methodik zur Behandlung von Fehlern abgeleitet werden, die auch für Cocktail-Party-Prozessoren sinnvoll einsetzbar sein könnte.

Gemäß Untersuchungen von Gaik [20] treten bei unnatürlichen Kombinationen 2 Hörereignisse auf, eines, das gegenüber der Richtung mit der interauralen Zeitdifferenz leicht verschoben ist, und ein monaurales Hörereignis an dem Ohr, an dem der Pegel gegenüber den natürlichen Kombinationen überhöht ist. Das Gehör scheint demnach Situationen mit widersprüchlichen interauralen Parametern als Ergebnis der Überlagerung mehrerer Schalle zu interpretieren.

Bei Signalen mit unnatürlichen Kombinationen liefern die beiden Prozessoren folgendes Ergebnis:

- Der Phasendifferenz-Prozessor bestimmt ein oder zwei Schätzer, deren Richtung der interauralen Phasendifferenz entspricht. Die bestimmten Richtungen sind bei hohen Frequenzen mehrdeutig. Die Anzahl der Schätzer hängt von der Hüllkurve des Signals ab (konstant oder moduliert). Das Leistungsverhältnis der Schätzer beschreibt den Grad der Modulation der Hüllkurve.
- Der Pegeldifferenz-Prozessor bestimmt 2 Schätzer, deren Leistungsverhältnis ebenfalls den Grad der Modulation der Hüllkurve beschreibt.

Für die Ergebnisse jedes Prozessors werden Mittelwert und Standardabweichung der Richtungs-schätzung bestimmt, und es wird eine Funktion aufgestellt, die - inklusive aller Mehrdeutigkeiten - angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit und maximalen Leistung ein Schätzer einer bestimmten Richtung auftreten kann (vergl. Kap. 5.6 und 6.3). Stimmen für einzelne Schätzer beider Verfahren die Richtungen überein, werden diese zu einem Gesamtschätzer kombiniert. Andernfalls werden die Schätzer beider Verfahren so kombiniert, daß sich die Standardabweichungs-Bereiche der Richtung überlappen oder die Gesamtwahrscheinlichkeit der Richtungsschätzung aus beiden Verfahren maximal wird. Bei unnatürlichen Kombinationen interauraler Differenzen entstehen zwischen beiden Prozessoren Widersprüche bei der Richtungs-Schätzung; es existiert keine Schätzer-Kombination mehr mit hoher Wahrscheinlichkeit. In diesem Fall müßte, analog zu den Ergebnissen

psychoakustischer Untersuchungen, der Schätzer mit der geringsten Wahrscheinlichkeit (z.B. der mit der höchsten Varianz) uminterpretiert werden, zum einen in einen Schätzer, der die Ergebnisse des anderen Prozessors unterstützt und hierzu in seiner Richtung verändert wird, und zum anderen in einen monauralen Ausgleichs-Schätzer, der trotz der Richtungsveränderung des ersten Schätzers die statistischen Parameter konsistent halten soll.

6.5. Ausblick: Verbindung unterschiedlicher räumlicher Analyse- und Verarbeitungsverfahren

Bei der Verarbeitung von Signalen verfügt der Mensch über eine Reihe von Richtungsinformationen, die über die der beiden vorgestellten Prozessortypen hinausgehen: interaurale Phasen-, Laufzeit- und Pegeldifferenzen, Richtungsschätzer aus ansteigenden Flanken (siehe Kap.8 und Wolf [49]), optische Informationen, Vorwissen.

Zur Koordination und Verarbeitung dieser Informationen in erweiterten binauralen Modellen müßte der Informationsgehalt jeder Informationsquelle bewertet werden. Maßstab für die Bewertung könnten Aussagen über die Varianz dieser Information sein bzw. Aussagen über die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Information als korrekt angesehen werden kann (z.B. ähnlich, wie es in den Kapiteln 5.6 und 6.3. vorgeschlagen wurde).

Die Richtung, die von vielen Informationsquellen unterstützt wird, bzw. die Richtung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit könnte dann von zentraler Stelle als neue Aufmerksamkeits-Richtung übernommen werden, also als neue Sollrichtung für die Cocktail-Party-Prozessor-Verfahren. Liegen Abschätzungen vor, wie wahrscheinlich das Auftreten einer bestimmten Richtung ist, könnten die geschätzten Leistungen mit dieser Wahrscheinlichkeit bewertet und entsprechend angepaßt werden.

Würden, wie hier vorgeschlagen, alle Richtungs- und Schalleistungs-Informationen über einen längeren Zeitraum bis zur Entscheidung in einer zentralen Instanz zur Verfügung stehen, wäre z.B. das parallele Verarbeiten zweier unterschiedlicher Signale und Erinnerungseffekte, also das rückwirkende Heraussuchen einer anderen Informationsquelle, modellierbar.

In Kapitel 8 wird versucht, aus psychoakustischen Erkenntnissen über das dynamische Verhalten des Gehörs (Präzedenz-Effekt) gehörnahe Konstruktionsprinzipien für die Steuerungseinheit eines Cocktail-Party-Prozessors abzuleiten, und so die Voraussetzungen zu schaffen für die Modellierung einer zentralen Instanz, die ohne Vorgabe von außen über die Sollrichtung eines Cocktail-Party-Prozessors entscheidet und so z.B. die Signale von sich im Raum bewegenden Sprechern verarbeiten könnte.

Somit stünde nun eine zentrale Verarbeitungseinheit eines Cocktail-Party-Prozessors zur Verfügung, der in 2 parallelen Stufen interaurale Phasendifferenzen und interaurale Pegeldifferenzen auswertet und Signalleistungen und Richtungen zweier Schallquellen direkt schätzen kann. In komplexen Schallsituationen sollte diesen Cocktail-Party-Prozessoren eine Verarbeitungsrichtung vorgegeben werden, entweder per Vorgabe von außen oder über eine hier nur grob skizzierte zentrale Steuerungseinheit. Zum vollständigen Aufbau eines Signalverarbeitungs-Systems ist weiterhin eine Vorverarbeitung der aufgenommenen Signale und die Umwandlung der Schätzer für die mittlere Signalleistung in verarbeitete Zeitsignale erforderlich. Mehr hierzu im folgenden Kapitel.