

Kopfbezogene Übertragungsfunktion

Englisch: Head-Related Transfer Function (HRTF)

TON/BEGRIFFE

Mathematisches Modell der kopfbezogenen Schallübertragung für räumliches Audio und Binauraltechnik.

Technische Details Eine HRTF wird für jeden Hörer durch Messungen an 360 Raumwinkelpositionen mit einer Winkelauflösung von typisch 5-15 Grad erstellt. Die Datensets umfassen meist 1.550-2.500 Messpunkte pro Ohr und erfordern Speicherkapazitäten von 50-200 MB. Moderne HRTF-Datenbanken wie die CIPIC Database enthalten 45 verschiedene Hörertypen mit jeweils über 1.250 Richtungen. Die Messungen erfolgen in reflexionsarmen Kammern mit kalibrierten Miniaturmikrofonen im Gehörgang, während Testtöne oder breitbandige Impulse aus verschiedenen Winkeln eingespielt werden.

Geschichte & Entwicklung Die systematische HRTF-Forschung begann 1988 am MIT Media Lab unter Duane Cooper. 1994 veröffentlichte Crystal River Engineering das erste kommerzielle HRTF-System

"Convolvotron" für 25.000 Dollar. Lake Technology entwickelte 1998 die ersten

Echtzeit-HRTF-Prozessoren für Consumer-Hardware. Der Durchbruch für die Filmindustrie kam 2016 mit Dolby Atmos Renderer 3.0, der erstmals HRTF-basierte Binauralisierung für Kopfhörermischungen in

der Postproduktion integrierte. Praxiseinsatz im Film "Gravity" (2013) nutzte HRTF-Processing für die präzise Positionierung von Atemgeräuschen und Funksprüchen in Sandra Bullocks Helm. "1917"

(2019) verwendete personalisierte HRTFs für die immersive Platzierung von Granateinschlägen und Maschinengewehrfeuer im 360-Grad-Raum. Netflix setzt seit 2020 HRTF-Rendering für die automatische Binauralisierung ihrer Atmos-Inhalte bei der Streaming-Auslieferung ein. Der Workflow erfordert

spezielle Convolution-Engines wie die Audiokinetic Wwise oder Facebook 360 Spatial Audio, die Echtzeit-HRTF-Filtering mit weniger als 20ms Latenz ermöglichen. Vergleich & Alternativen HRTFs unterscheiden sich von statischen Surround-Pannings durch ihre winkelabhängige Frequenzformung, die echte Höhenlokalisation ermöglicht. Ambisonics-Dekodierung arbeitet mit mathematischen

Kugelflächenfunktionen statt individueller Übertragungscharakteristiken. Moderne Alternativen sind objektbasierte Audio-Engines wie Steam Audio oder Google Resonance, die HRTFs mit Raumakustik-Simulation kombinieren. Für Headset-VR bleibt HRTF unverzichtbar, während für

Lautsprecherwiedergabe Crosstalk-Cancellation-Verfahren wie Ambiophonics bevorzugt werden.