



Soundmodul Flugsimulator

Project Manager: Alois Sontacchi (sontacchi@iem.at)

Contributors : Helmuth Ploner-Bernard, Robert Höldrich

Abschlussbericht der Entwicklung und Implementierung des Soundmoduls für einen Flugsimulator höchster Realitätsstufe (Level D).

1. Einleitung

Im Rahmen einer universitätenübergreifenden Plattform wird ein Flugsimulator entwickelt, der in Forschung und Lehre Verwendung finden soll.

Von der mechanischen Modellierung der Flugdynamik über Untersuchungen von Piloten unter Stresseinfluss bis hin zur dreidimensionalen Sound-Simulation von Fluggeräuschen reicht die breite Palette an Themen, zu denen am Flugsimulator geforscht wird. Disziplinenübergreifende Thematiken brauchen eine disziplinenübergreifende Form der Zusammenarbeit: Die beteiligten Wissenschaftler schließen sich daher zur interuniversitären „Forschungsplattform Flugsimulation“ zusammen und wollen Forschung und Lehre in diesem Bereich gemeinsam vorantreiben.



Abbildung 1: Das IEM hebt ab! – Die „Flight Simulation Partner“

Zu den Projektpartnern an dieser Forschungsplattform (vgl. Abb.1) zählen alle drei Grazer Universitäten – die Technische Universität Graz (TU-Graz), die Karl-Franzens-Universität Graz (KFU) und die Kunstuniversität Graz (KUG). Diese sind vertreten durch folgende Institute:

- Institut für Maschinenbau- und Betriebsinformatik (TU-Graz) mit den Arbeitsschwerpunkten Software, System Identification.
- Institut für Mechanik (TU-Graz) verantwortlich für die Bereiche Flugdynamik, Fahrwerksimulation, Ruderdrucksimulation.
- Institut für Psychologie (KFU) Untersuchungen der Reaktionsvermögen unter Stressbedingungen beim Fliegen.
- Institut für Elektronische Musik und Akustik (KUG) zuständig für die Umsetzung der 3D Soundsimulation und Sounddesign.

Darüber hinaus erfolgt die Zusammenarbeit mit den Grazer Firmen Axis Flight Training Systems, Apus und Brightline sowie mit dem weltweitbekannten Triebwerkshersteller Rolls Royce. Das Projekt wird freundlicherweise unterstützt von den Austrian Airlines, AMD, nVidia, pny und NEC. Das Land Steiermark fördert im Rahmen des Zukunftsfond Steiermark dieses Projekt mit 400.000 EUR.

Das zentrale Ziel der Entwicklungen, i.R. der Forschungsplattform, ist einen Flugsimulator der „Level D“ Klasse nach JAA (European Aviation Authorities) d.h. höchste Ausbau und Entwicklungsstufe eines Flugsimulators, die den Anspruch auf „maximal realitätsnahe“ legt. Das Gesamtsystem wird aus einem Cockpit mit naturgetreuen identischen Bedienelementen (inkl. force feedback), mit einem hochqualitativen realen Vision und Audio System, sowie einer Motion Base ausgestattet sein.

Dem IEM obliegt dabei die Aufgabe der Umsetzung eines echtzeitfähigen steuerbaren Soundmoduls. Dieses Soundmodul ist zusammen mit dem Audiomodul, welches die Aufgabe der Interkommunikation und ggf. der Generierung von Eigengeräusche der Bordelemente hat, für eine möglichst naturgetreue Nachbildung aller Schallereignisse im Cockpit von Flugzeugen im oben genannten Flugsimulator zuständig. Basierend auf einem funktional motiviertem Ansatz wird hierzu ein Schallfeld resynthetisiert, welches dem realen Schallfeld möglichst nahe kommen soll (s.o.). Mit diesem System ist es prinzipiell möglich, die Schallereignisse jedes beliebigen Flugzeugmodells auf Simulatoren abzubilden. Weil sich die verwendete Technik jedoch auf Aufnahmen eines ganz bestimmten Flugzeuges stützen muss, wird das fertige Produkt lediglich auf Maschinen eines festgelegten Typs, nämlich auf Maschinen des Typs Fokker 100, eingehen können. Das Gesamtsystem wird aus einem Cockpit mit naturgetreuen identischen Bedienelementen (inkl. force feedback), mit einem hochqualitativen realen Vision und Audio System, sowie einer Motion Base ausgestattet sein.

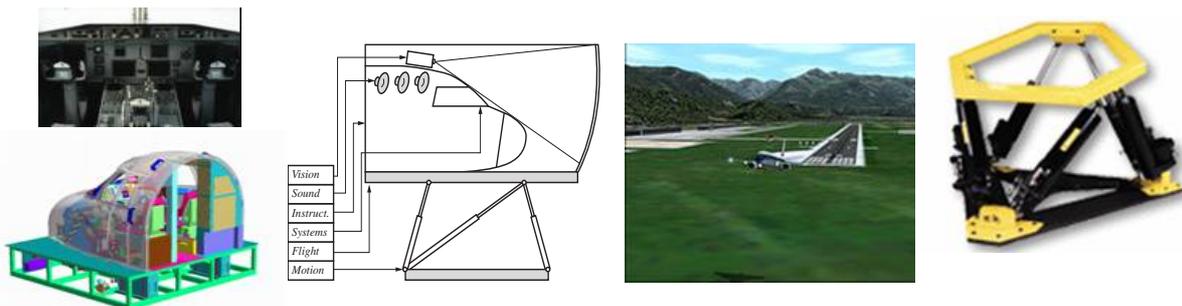


Abbildung 2: Flugsimulator (Level D) – und seine Bestandteile:
Cockpit, Audio System, Vision System, Motion Base

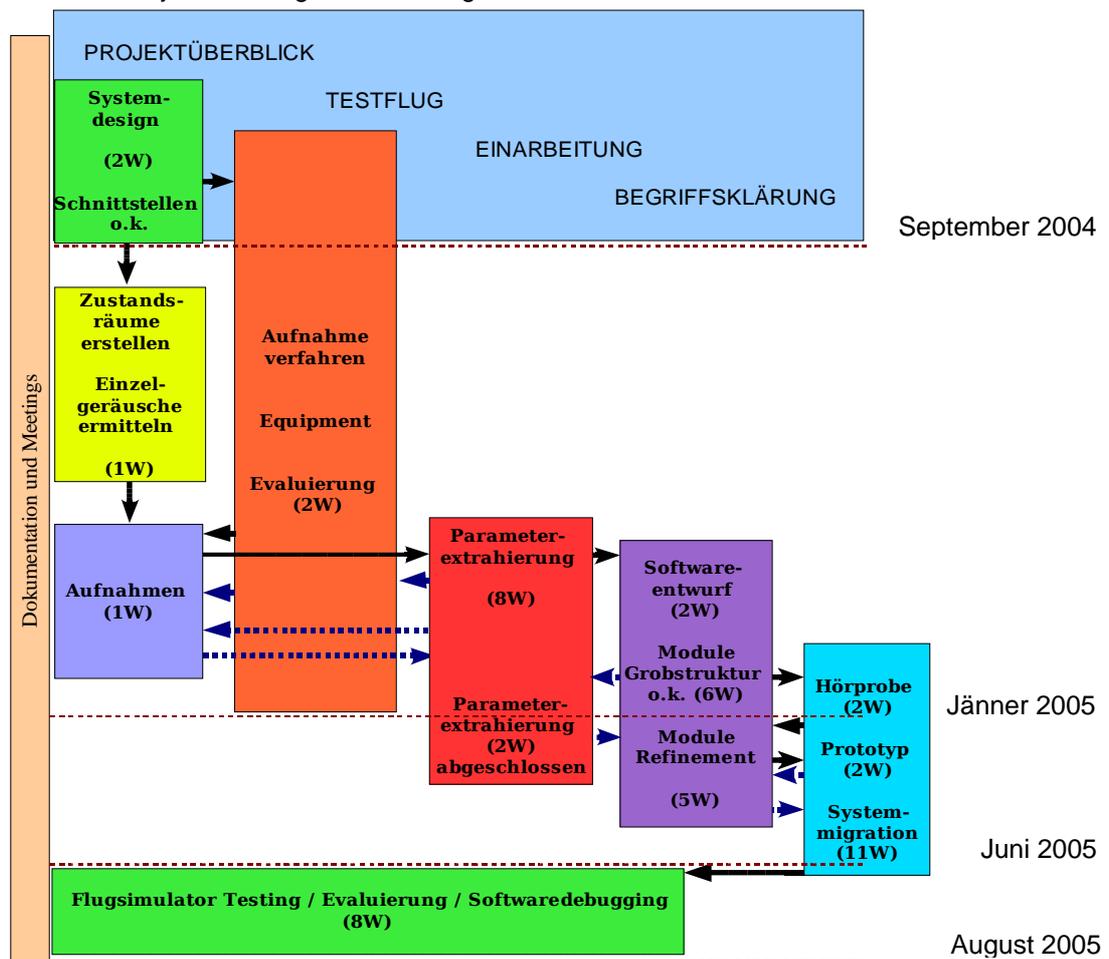
2. Aufgabenstellungen für das Soundmodul

Das *Sound-Modul* ist zusammen mit dem Audio-Modul, welches die Aufgabe der Interkommunikation und Generierung der Eigengeräusche der Borelemente – falls nicht vorhanden - hat, für eine möglichst *naturgetreue Nachbildung* aller Schallereignisse im Cockpit von Flugzeugen in einem Flugsimulator zuständig. Basierend auf einem funktional motivierten Ansatz wird hierzu ein *Schallfeld resynthetisiert*, welches dem realen Schallfeld möglichst nahe kommen soll. Mit diesem System ist es prinzipiell möglich, die Schallereignisse jedes beliebigen Flugzeugmodells auf Simulatoren abzubilden. Weil sich die verwendete Technik jedoch auf Aufnahmen eines ganz bestimmten Flugzeuges stützen muss, wird das fertige Produkt lediglich auf Maschinen eines festgelegten Typs, nämlich auf Maschinen des Typs *Fokker 100*, eingehen können.

Auflistung der notwendigen Arbeitsschritte:

- Voraufnahmen und Begriffs Screening
- Strategien für die Aufnahmen im Flugzeugcockpit
- Analyse der aufgenommenen Schalle.
- Synthesestrategien
- Spatialisierung
- Implementierung
- Dokumentation

Daraus resultiert das Projektflussdiagramm wie folgt:



In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Punkte im Überblick behandelt und umrissen.

3 Das Aufnahme Equipment

Das Schallfeld im Cockpit wird durch mehrere Geräuschquellen hervorgerufen, die sich zeitlich, spektral sowie auch örtlich (z. T. zeitvariant) überlagern. Die Schallausbreitung erfolgt über Körper- als auch Luftschall (structure-borne & airborne sound). Unter diesen Gesichtspunkten resultieren unterschiedliche Auswahlkriterien für das Aufnahme Equipment bzw. Setup, wobei Vor- und Nachteile entsprechend abzuwiegen sind. Dazu zählen Kalibrierbarkeit, Qualität bzgl. des verfügbaren Übertragungsbereiches, SNR, Grenzschalldruck, Speicheraufwand, Hardwareaufwand, etc.

Folgende Lösungsansätze werden verfolgt:

- Einzel(mess)mikrofon Aufnahmetechnik
- Binaurale Aufnahmetechnik
- Arraytechnologie

Ein wesentlicher Punkt beim Aufnahme Equipment ist auch dessen Halterung bzw. Anbringung im Cockpit. Während die Anbringung und Befestigung eines Einzelmikrofons noch eine relativ einfache lösbare Aufgabe darstellt, geben sich bei den anderen Verfahren, vor allem bei der Verwendung von Aufnahmen bei Linienflügen größere Hürden. Als eine innovative Entwicklung kann das Halterungssystem für ein Mikrofonarray, welches vom IEM zusammen mit dem MBI entwickelt wurde, genannt werden.



Abbildung 3: Speziell entwickeltes Mikrofonarray (IEM) und Halterung (IEM&MBI) für den Einsatz bei Linienflügen im Flugzeugcockpit einer Fokker 100.

4 Analyse

Der Fokus bei der Beschreibung der Schallfeldsituation im Cockpit liegt auf der Quellenseparation und in folge auf deren nähren Strukturanalyse. Zu den wichtigsten globalen Geräuschkomponenten zählen:

- die Flugzeugform
- das Triebwerk
- das Fahrwerk und
- die Umgebung - Environment (Wetter & Terrain)

Der Hauptaufgabe der Geräuschanalyse ist die Trennung von stochastischen (geräuschartigen) und deterministischen (harmonischen) Komponenten und deren Zuordnung bzw. Einordnung in den Flugzustandsraum und deren Zuordnung von bestimmaren oder unbestimmaren Schallereignisorten. Der Flugzustandsraum wird durch relevante Flugdaten wie: Drehzahlen der Triebwerke, Flughöhe, Fluggeschwindigkeit, Orientierung, Stellung der Flaps usw. beschrieben.

Dabei werden folgende Aspekte zusätzlich unterschieden:

- Zeitliche Abläufe
- Spektrale Unterscheidung
- Räumliche Separation / Zuordnung

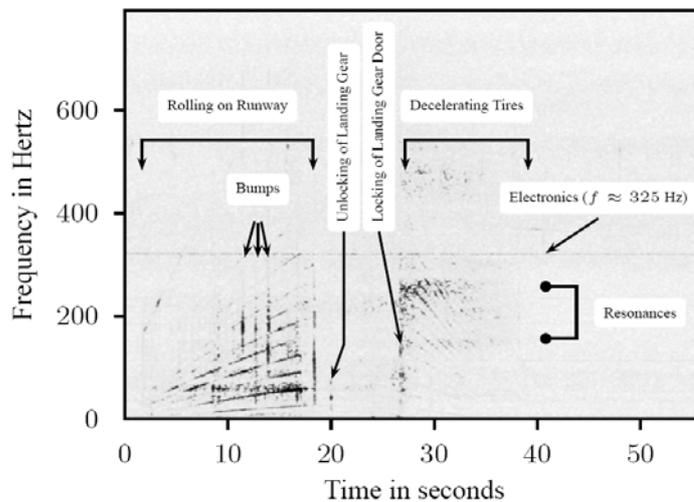


Abbildung 4: Zeitliche und spektrale Geräuschbeschreibung.

5 Synthesestrategien

Grundsätzlich kann die Synthese nicht unabhängig von der Analyseseite betrachtet werden. Somit erfolgt diese nach dem Konzept der „Quelle zugeordneten Geräusche“ wie bereits oben beschrieben wurde.

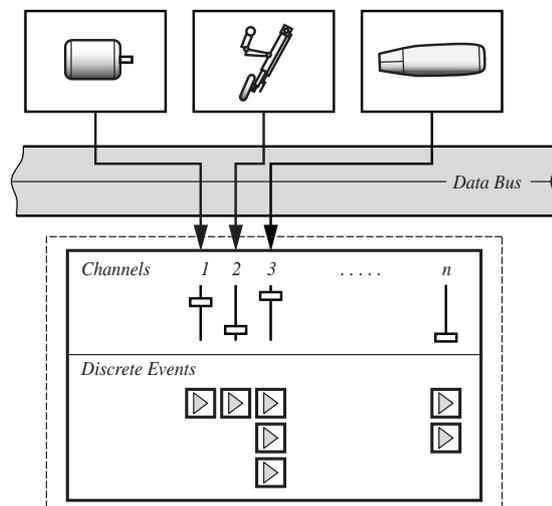


Abbildung 5: Quellenmodulares Synthesekonzept

Im vorliegenden Projekt ergibt sich die zusätzliche Erschwernis, dass im realen Cockpit die Aufnahmen nicht für alle möglichen Zustände im Flugzustandsraummodell – wie diese bei einem Flugsimulator erwartet werden - erhoben werden können (bedingt durch extremen zeitlichen Aufwand und auch durch Sicherheitsgründe). Diese Zustände müssen im Sinne der Level D Vorgaben weitest gehend aus den vorhandenen Daten extrapoliert werden oder aber auch sinngemäß generisch synthetisiert werden.

Basierend auf den Aufnahmedaten und den extrahierten Features können z. T. quasi-stationäre Schalle z.B. durch einfache Quelle-Filter Modelle nachgebildet werden. Dabei ändert sich zeitlich nur das Filter jedoch das Quellen- oder Generatorsignal bleibt unangetastet.

Bsp: Strömungsgeräusch

- Nachbildung durch gefiltertes Rauschen
- Filterkurven parametrisiert durch:
 - Flughöhe (Pressure Altitude)
 - Anstellwinkel (Angle of Attack)
 - Geschwindigkeit entlang der Flugbahn (True Airspeed)
 - Position der Höhenflosse (Stabilizer Position)

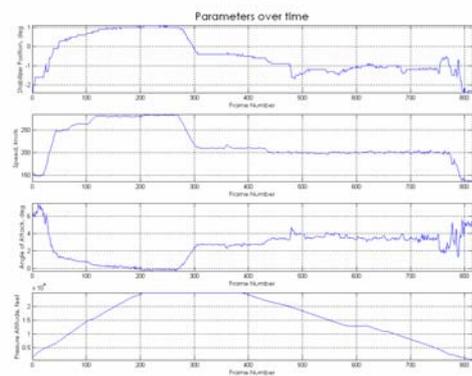
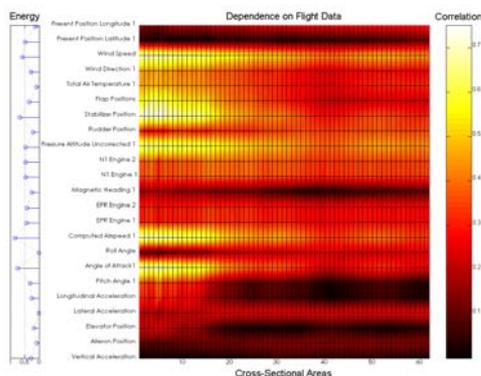
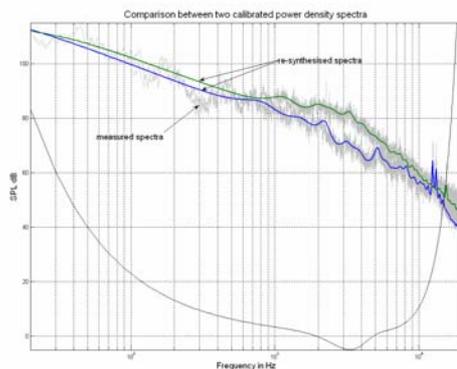
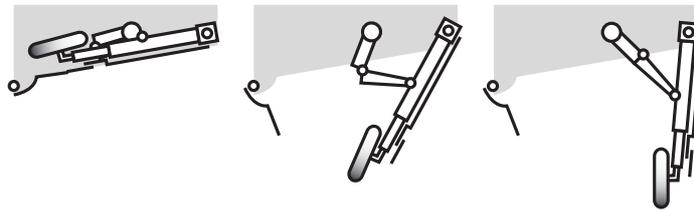


Abbildung 6: Untersuchungsbeispiel anhand des Strömungsgeräusches

Oben links: Analyse und Resynthese mit LPC, Oben rechts: Quellenzuordnung - Airframe
 Unten links: Zusammenhang LPC Koeffizienten (bzw. Querschnittsfl.) mi Flugzustandsdaten
 Unten rechts: Auszug aus den relevanten Flugdaten für einen Flug Wien-München.

Außerdem müssen Zustandsraum (relativ) unabhängige Ereignisse, die einem speziellen zeitlichen Verlauf unterworfen sind wiederum anders behandelt werden (z.B. Öffnen der Fahrwerksklappen und Ausfahren des Fahrwerks durch z.B. flugdatengesteuerte Sampleplayer)

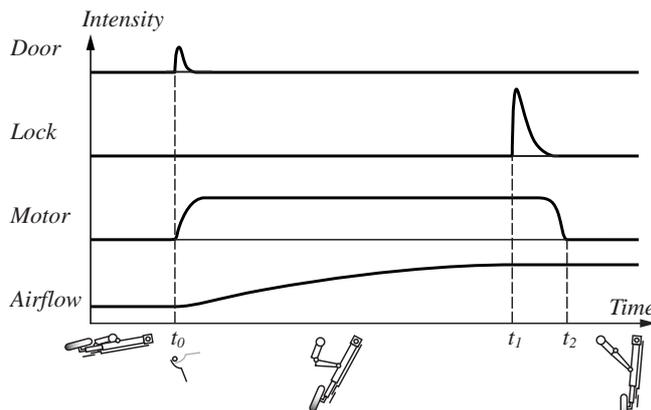


Mechanisches Schema für Fahrwerk

Fahrwerksklappe

Fahrwerksstellmotor

Fahrwerksverriegelung



Akustische Ereignisse (Normalfall)

Fahrwerksklappe öffnet sich.

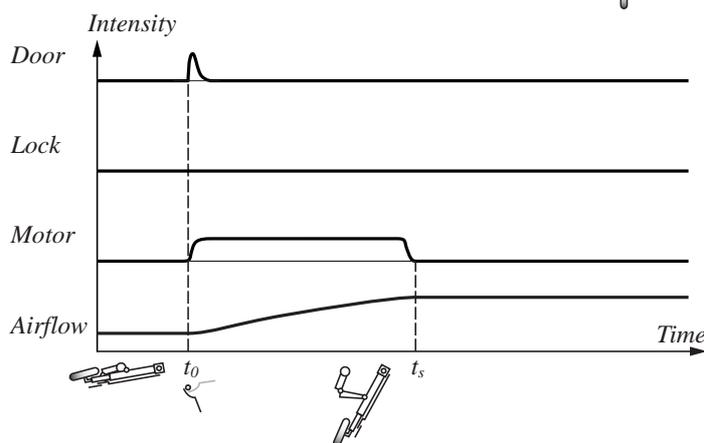
Fahrwerksstellmotor wird aktiviert.

Strömungsgeräusch (nicht diskret!) steigt an.

Fahrwerksverriegelung bei Erreichen der Endposition.

Fahrwerksstellmotor wird deaktiviert.

Strömungsgeräusch bleibt erhöht.



Akustische Ereignisse (Störfall)

Fahrwerksklappe öffnet sich.

Fahrwerksstellmotor wird aktiviert.

Strömungsgeräusch (nicht diskret!) steigt an.

Fahrwerksstellmotor ist defekt erreicht nicht die Endposition f. Fahrwerk.

Strömungsgeräusch bleibt erhöht.

Abbildung 7: Beispiel zu Zustandsraum unabhängige, zeitdiskrete Geräuschevents anhand des Fahrwerks.

Strömungsgeräusch (Airflow) ist natürlich kontinuierlich, wird aber auch durch diesen Event auch modifiziert.

6 Spatialisierung

Das Schallfeld in der Kabine setzt sich aus richtungsunabhängigen (Druckkabine) und richtungsabhängigen Komponenten (lokalisierbare Quellenrichtung) zusammen.

Für die Wiedergabe im Flugsimulator sind mindestens 8 Lautsprecherpositionen (unabhängige Wiedergabekanäle) vorgesehen. Diese werden an optisch möglichst unauffälligen Positionen maximal effizient angebracht.



Abbildung 8: Einzelne voraussichtliche Lautsprecherpositionen.

Da die Kabine beim Flugsimulator nur bedingt identisch nachgebaut wird (z.B. Instruktorplatz hinter dem Cockpit), kann bei der akustischen Nachbildung nicht von einer gleichen Wiedergabebedingung wie im realen Cockpit ausgegangen werden. Daher kommen unterschiedliche Wiedergabestrategien zum Einsatz. So werden z.B. breitbandige Geräusche die keine deterministische Abbildungsrichtung besitzen durch eine Kombination von vollständig korreliert (Druckkammer – für tiefe Frequenzen) und weitestgehend dekorreliert (Einhüllendes Ambiente – für mittlere bis hohe Frequenzen) extrahierten Geräuschkomponenten zusammengesetzt.

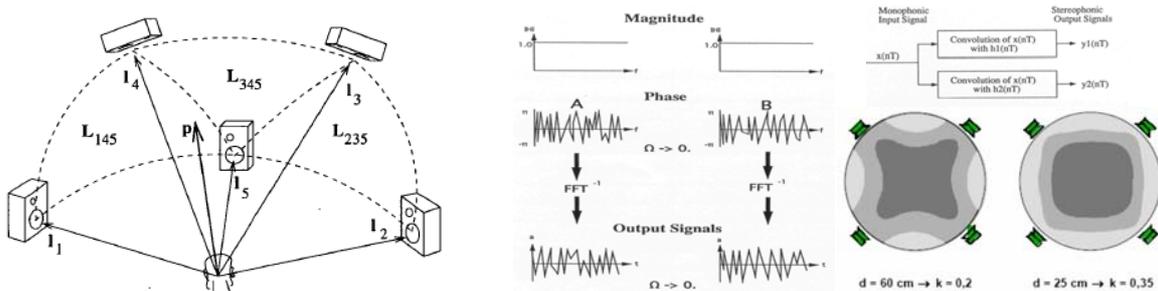


Abbildung 9: Spatialisierungsstrategien

Links: lokalisierbare Geräusche werden anhand von unterschiedlichen Lautstärkeverhältnissen nachgebildet (VBAP).

Rechts: Räumlich globale ausgedehnte Geräusche werden durch Dekorrelation im Raum spatialisiert.

7 Implementierungsvorgaben

Die Implementierung erfolgt unter PD (pure data) auf einem handelsüblichen PC unter Linux mit einer RME Soundkarte.

Das Sound-Modul muss auf ein angefordertes Geräusch (bedingt durch andere Module/Bedienelemente) vor Ablauf einer gewissen Zeit mit der Ausgabe eines entsprechenden Geräusches reagieren können. Die Anforderungen bzgl. minimaler Systemlatenz sind durch die Synchronisierung mit der Motion Base vorgegeben und betragt somit 31ms.

Die minimale Systemlatenz setzt sich aus folgenden Größen zusammen:

- Garantierte obere Schranke des UDP für Send-Receive: 5ms
- Verzögerung des Videosystems: 10ms
- Verzögerung der Motion Base zu Videosystem: 16ms

8 Dokumentation

Die Dokumentation erfolgt in Teildokumenten parallel zu den einzelnen Arbeitsschritten, wobei diese neben den üblichen schriftlichen Aufzeichnungen, Vereinbarungen, Konzepte und Lösungsstrategien auch aus originalen und strukturierten Schallaufzeichnungen, Softwareskripts (Source Code), Fotos, Filme und dergleichen bestehen.

Projektfertigstellung: 30. September 2005