

VR環境における3Dサウンドナビゲーションシステムについて

南雲 俊喜, 甘利 治雄, 三井 博隆, 岡田 幹夫
(東京電力システム研究所)

廣瀬 通孝 石井 威望
(東京大学工学部) (慶應大学環境情報学部)

現在、立体音響システムを導入したVR環境について研究している。

我々は現在までに、ソフトウェアの構造と挙動の状態等を3次元グラフィックスによって視覚的に表現して、VR環境をユーザーインタフェースとしたソフトウェア開発支援ツールSVSS (Software Visualization Support Space) を試作している。そこで今回、このSVSSに立体音響システムを導入した具体例を紹介し、VR環境における立体音響システムを提案する。

また、我々はVR技術を電力設備の遠隔監視に適用する研究を行っており、この遠隔監視システムに立体音響システムを導入するための研究を紹介し、実映像と同時に実音源を立体音響として再現するシステムを提案する。

A Study of 3-D Sound Navigation System in Virtual Reality Environment

Toshiki Nagumo* Haruo Amari* Mitsui Hirotaka* Mikio Okada*
Michitaka Hirose** Takemochi Ishii***

*Computer & Communication Research Center, Tokyo Electric Power Company
1-4-10, Chuo-ku, Tokyo, 104 Japan

**Faculty of Engineering, University of Tokyo
7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

***Faculty of Environmental Information, Keio University
5322, Endo, Fujisawa-shi, Kanagawa, 252 Japan

Abstract : At the Tokyo Electric Power Company (TEPCO), a research of 3-D sound for Virtual Reality (VR) environment is underway. The software visualization tool using VR technology for user-machine interface was developed (SVSS; Software Visualization Support Space). Furthermore, we are designing a VR application to remote monitoring. In this paper, we describe how 3-D sound was added to SVSS and remote monitoring.

1. はじめに

我々は現在までに、VR技術の電力への応用を目的として、電力制御用ソフトウェアをVR環境に視覚的に表示するソフトウェア開発支援ツールSVSS (Software Visualization Support Space) や変電所の遠隔監視・制御方式の検討支援ツール等の試作を行ってきた。[1][2][3]

これらは、立体視環境の視覚情報による支援方式であるが、より多くの情報を一度に表示しようとした場合に視覚情報だけでは限界がある。そこで立体映像と同期のとれた立体音響を導入する事を考えた。

これにより、仮想世界の中に自分が入っている“感じ”をより自然に表現することができるとともに、視野以外の情報を音によって把握することもできる。

本論では、VR環境における立体音響システムについて、ソフトウェア開発支援ツールSVSSに立体音響システムを導入した例と遠隔監視システムに立体音響システムを導入するための研究について紹介する。

2. ソフトウェア開発支援ツールSVSSにおける立体音響システム

(1) SVSSの概要

SVSSは、大規模で複雑な電力制御用ソフトウェアを開発するための支援ツールとして試作したものである。[4][5]

ソフトウェアの機能単位であるタスクおよびタスクを構成するモジュールの間の情報送受信の静的な構造と、ソフトウェアの挙動や制御の流れの時間的遷移を同時に3次元グラフィックスで表現するものである。さらにVR技術を応用してこれらの視覚的に表現されたグラフィックスを直接ハンドリングする機能を持っている。

図1a)~c)は、ソフトウェアの3次元表示方式例を示す。

例えば図1a)は、X-Y平面でタスク間の制御

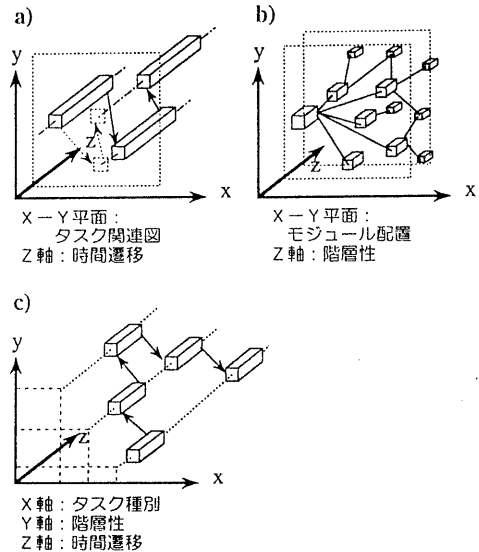


図1 ソフトウェアの3次元表示方式例

の流れの関連図を表現し、Z軸にはタスクの実行された時刻を表した方式である。これによりタスク間の静的構造解析結果と挙動解析結果を表現している。

図1b)は、モジュールの静的な呼び出し関係や階層構造を表現する方式であり、この場合Z軸方向はモジュールの階層を表し、X-Y平面はモジュールの意味や呼び出し関係を見やすくするためのマッピングに使用する。

図1c)は、これに時間遷移を加えた方式であり、主にモジュールの挙動解析に用いている方式である。

(2) システム構成

本システムのハードウェア構成は、図2の通りである。このシステムは、グラフィックスワークステーション(ONYX RealityEngine2)、大型プロジェクタ(70インチ:立体視対応)、3次元入力装置(サイバークロップ、ファストラック)、立体視システム、立体音響システム(RSS、ディレイ、リバーブ、サンブラ)等により構成される。

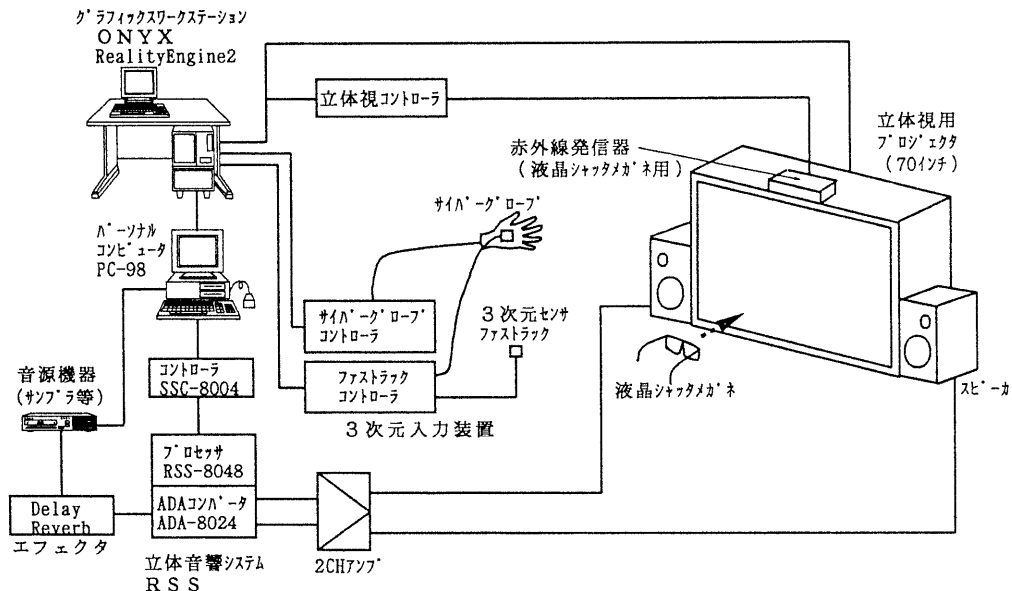


図2 システム構成図

グラフィックワークステーションがこのシステムの中心であり、グラフィック表示、入力データの処理等を行う。立体視システムは、視差をつけた左眼用と右眼用画像を交互にプロジェクタに映写し、これを、液晶シャッターメガネで左右の同期をとって見ることによって、立体視が可能となる。

3次元入力装置(サイバークロップ、ファストラック)は、作業者の手の形状と空間的位置を読みとる装置である。これにより、画面上に表示されたハンドカーソルで仮想物体を操作することができる。これは、例えば表示された物をつかんで移動させる、というような機能である。また、仮想世界を動き回るときも、作業者は手のジェスチャーによって方向を指示できる。それ以外にも、種々の作業をする場合、作業者は手の形を変化させることにより、作業内容を指示できる。

グラフィックス・ワークステーションからは、3次元グラフィックスの位置情報及び音色情報等をリアルタイムで取り出し、RS232Cによりパーソナル・コンピュータに伝送する。パーソナル・コンピュータでは、その情報をMIDI信号

に変換しMIDIにより音響装置へ伝送する。音響装置は、MIDI信号を受けてそれに従った動作を行う。

(3) 動作概要

①RSS

- ・球面上の緯度 ϕ ・経度 θ 方向に、リアルタイムで音像の定位・移動が可能(図3)。^[6]
- ・MIDIコントロールが可能。
- ・スピーカ再生/ヘッドホン再生の両方が可能。

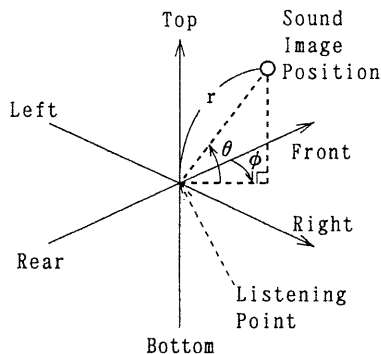


図3 音像コントロール方式

②エフェクタ (Delay, Reverb)

- Delay time, Predelay time等をリアルタイムコントロールすることで、遠近感 r の表現が可能 (図3)。
- MIDIコントロールが可能。

③上記のRSSとエフェクタを組み合わせてコントロールすることで、3次元空間での音像の定位・移動を実現する。

(4) 制御方式

①グラフィックスワークステーションは、3次元グラフィックスの位置情報 (x, y, z 座標) を図3のような局座標 (r, ϕ, θ 座標) に変換したものと音色情報等をパーソナル・コンピュータに伝送する。

②パーソナル・コンピュータでは、その情報に基づき各種音響装置についてMIDI信号により以下の制御を行う。この時、音のシミュレーションについては図4のように直接音、1次反射音、後部残響音を使った例で説明する。

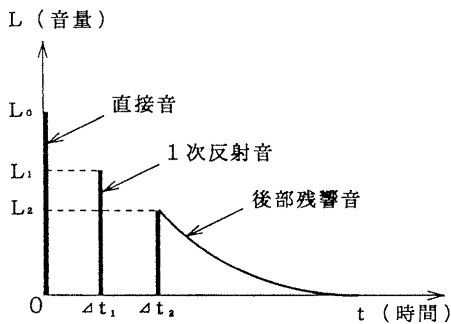


図4 音響シミュレーション例

- RSSチャンネル1：
直接音の方向を ϕ_0, θ_0 により制御する。また、 r により直接音の音量 L_0 を制御する。
- RSSチャンネル2：
1次反射音の方向を ϕ_1, θ_1 により制御する。また、 r により1次反射音の音量 L_1 を制御する。
- Delay：

1次反射音のDelay time Δt_1 を r により制御する。

• Reverb：

後部残響音のPredelay time Δt_2 を r により制御する。また、 r により後部残響音の音量 L_2 を制御する。

• Sampler：

音色情報によりあらかじめ記録してある各種音源を発音する。

(5) 立体音響支援方式例

SVSSにおける立体音響による支援方式の各種具体例を次に示す。

①ハンドカーソル位置

3次元入力装置(サイバークロップ、ファストラック)によってコントロールされるハンドカーソルの位置で任意の音源を発音させ、作業者のハンドカーソルの3次元位置の認識支援を行う。

②作業モード

SVSSの各種作業モードに対応した音源を割り当て①と同時に現在の作業モードの認識支援を行う。

③ハンドカーソルの干渉によるタスク位置

ハンドカーソルとタスクなどを表示しているグラフィックスとの干渉チェックを行い、干渉位置でタスク毎に割り当てた音源を発音し、タスク位置の認識支援を行う。

④多数タスク発音によるタスク位置

多数のタスクを一定周期でタスク毎に割り当てた音源を発音し、全体的なタスク分布位置の認識支援を行う。

⑤階層をパラメータにした音程表現

モジュールの階層をパラメータにしてそれぞれの音源の音程を変化させることで階層の認識支援を行う。

以上のような立体音響による支援は、視覚的な表示のように表示範囲(視野角)に制限が無く、360度全周で連続的に行うことができるため、視覚的な表示範囲外における支援効果は大きいといえる。

3. 遠隔監視のための立体音響システム (バイノーラル監視システム)

我々はVR技術を電力設備の遠隔監視に適用するために立体音響を導入したシステムの研究を行っている。

前述のような仮想世界に音をつけるのとは違い、実音源を立体音響として収集し再現することで、従来の映像による遠隔監視の支援を行うものである。

(1) 立体音響収集方式

一般的には、実音源を立体音響で収集するには、図5のようにダミーヘッドを用いるが、この方法はダミーヘッド自体の物理的な形によって人間の外耳等のシミュレーションを行うものであり、收音部分に人間の胸像程度の大きさが必要となり、

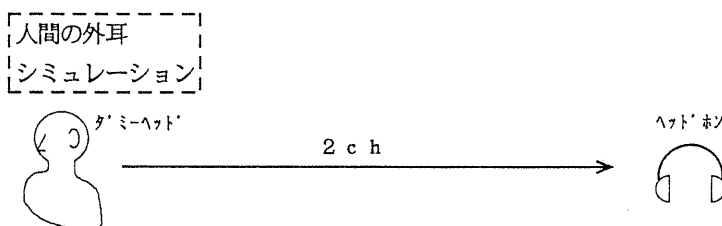


図5 ダミーヘッド方式

遠隔監視システムに組み込むのは実用面で考えて困難である。

そこで、図6のような多チャンネルマイクシステムを考えた。これは、複数の指向性マイクを放射状に配置し、それぞれのマイクから収集した音をRSSのようなバイノーラルプロセッサによって、それぞれのマイクの指向性主軸と同じ方向に定位させている。このときは、複数マイクとバイノーラルプロセッサによって人間の外耳等のシミュレーションを行うことになる。

(2) システム構成

実験システムとしては、RSSのチャンネル数の制約もあり、図7のようにマイク4個を指向性主軸が水平面に90度ずつになるように配置した4chマイクとした。そして、RSSの定位方向もマイクの指向性主軸と同様に設定した。

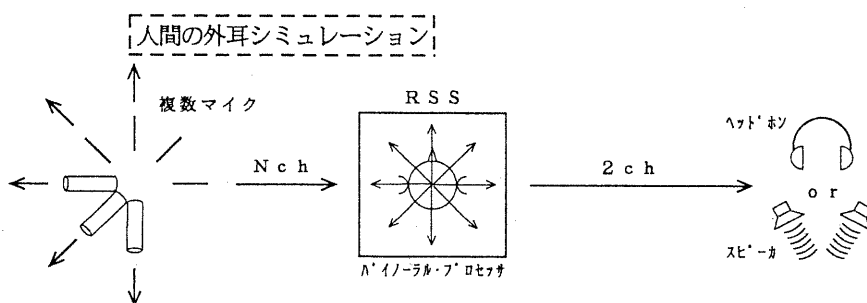


図6 多チャンネルマイクシステム

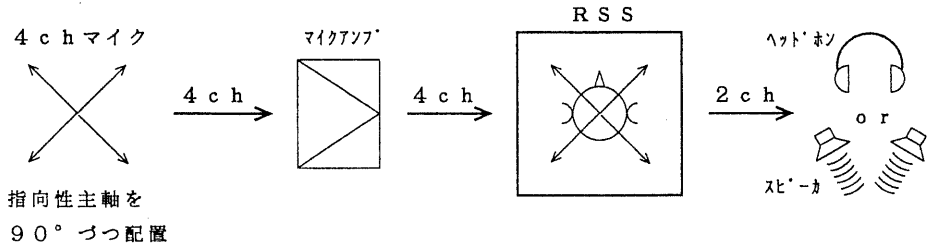


図7 水平面定位実験システム構成

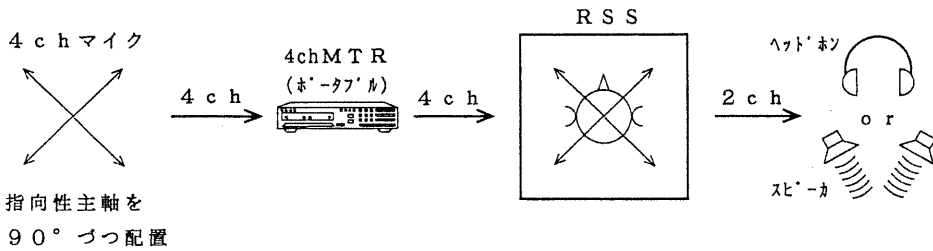


図8 水平面定位実験システム構成 (屋外音源収録用)

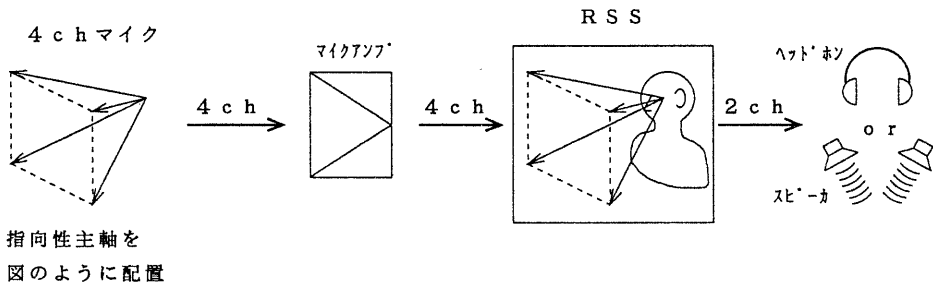


図9 上下方向定位実験システム構成

また、水平面上に広がる実音源として、交差点などにおける屋外音源を収録するために、図8のようなポータブル4chマルチトラックレコーダ(MTR)を使用した。

上下方向に広がる音源に対する定位実験のためのシステム構成は、図9の通りである。マイクの指向性主軸を上下左右に配置し、RSSの定位方向もそれと同様に設定した。

(3) 効果分析

まず、図7のシステムを使用して、4chマイクの回りで音源を水平面で移動させた場合、音像も水平面で移動することが確認できた。このとき4chマイクと音源の距離が近いと音像の定位ははっきりするが、4chマイクと音源の距離が遠くなると音像の定位感が低下する。

これはマイク近傍の音はバイノーラルプロセッサによって設定位置に定位するが、マイク間の音はバイノーラルプロセッサによって定位された音像の間にステレオ効果によって定位されると考えられる。このため、今回使用しているマイクの指向性が弱いために、マイクと音源の距離が遠くなるとマイク間の音量レベル差が小さくなりすぎて、定位感が低下したものと考えられる。よって定位精度の向上を図るためには、複数マイクの指向性主軸の角度に合わせてマイクの指向性を調整する必要があると考えられる。

また、図8のシステムを使用して、水平面上に広がる実音源による定位感を調べるために、実際に交差点で収録した音源で視聴してみた。その結果ステレオ録音では得られない前後の広がりを持った音場が再現できた。

さらに現在図9のシステムを使用して、上下方向の定位について調べている。

4. 今後の課題及びまとめ

SVSSにおける立体音響システムでは、各種支援方式の仕組みは確立できたが、音色の種類、パラメータの取り方等の点でその効果や実用面での使いやすさの定量的な評価をするには至っていない。今後さらに音の使い方について、SVSS自体の研究開発に合わせて検討していく計画である。

また、バイノーラル監視システムについてもその定性的な効果は確認できたが、今後定位精度の定量的評価を行う必要がある。さらに、立体視環境などの視覚情報と融合させた、総合的な評価を行っていく計画である。

さらに、聴覚については、かなり個人差があるため、より多くの被験者による実験的評価を実施する予定である。

現在われわれは、視覚情報の支援として立体音響を導入している。視覚情報の提示方法としてディスプレイを使用するが、人間の視野をカバーすることは困難である。しかし実際人間が行動する上では、焦点は合っていないけれども何となく見えている周辺視野の情報が重要である。SVSSの仮想空間においても遠隔監視システムで再現される空間においても、操作したり動き回ったりするにはディスプレイでは表示できない周辺視野の情報が必要であると考えられる。

そこで、VR環境における立体音響システムをこの周辺視野の効果を支援するナビゲーションシステムとして位置づけ、人間の五感に訴える現実感を作り出す新しいインタフェースを目指していく。

【参考文献】

- [1] 南雲、甘利、岡田、廣瀬、石井：“仮想現実感を利用した遠隔監視・制御方式の検討” 自動計測学会 第8回ヒューマンインタフェースシンポジウム No.2142, 1992
- [2] 甘利、南雲、岡田、廣瀬、石井：“仮想現実感を利用したソフトウェア設計方式の考察” 自動計測学会 第8回ヒューマンインタフェースシンポジウム No.2141, 1992
- [3] 甘利、三井、南雲、岡田：“仮想現実感を応用した電力設備の設計支援及び遠隔監視方式について” 電気学会 平成6年産業応用部門全国大会
- [4] 甘利、南雲、岡田：“仮想現実感を利用したソフトウェア視覚化方式について” 電子情報通信学会知能ソフトウェア研究会 1993/1

- [5] H. Amari, T. Nagumo, M. Okada, M. Hirose, & T. Ishii: "VIRTUAL REALITY APPLICATION FOR SOFTWARE VISUALIZATION OF A POWER CONTROL SYSTEM" VRAIS '93
- [6] 馬島良行、今井敏彦、菊本忠夫: "RSS方式2chによる3次元立体音場録音方式の解説" JAS Journal '90/9月号
- [7] 西巻正郎: 電気音響振動学 電子通信学会編 コロナ社
- [8] 市野良典、二階堂誠也: オーディオ機器 テレビジョン学会編 コロナ社
- [9] 特集 "バーチャルリアリティ最前線" 日経エレクトロニクス 1993年10月号
- [10] 岡田幹夫 "VRの電力への応用" PIXEL 1993年9月号