

平成24年度研究開発成果概要書  
革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発  
(143ウ2)

課題ウ 2 五感コミュニケーションの中核的要素技術  
副題 シリコンコンサートホールを目指したリアルタイム音響レンダリング技術  
の研究開発

(1) 研究開発の目的

超臨場感コミュニケーションにおいてリアルな雰囲気醸し出すには、三次元映像技術だけでなく音響技術の開発が不可欠である。コンピュータグラフィックス(CG)の分野では、コンピュータ内の仮想空間をディスプレイ上にレンダリングすることでリアルな視覚情報を提供しているが、これと同様な考え方として音響レンダリング技術を実現できれば、超臨場感を音響についても提供できるものと考えられる。本研究開発では、音波の波動性を考慮したリアルタイム音響レンダリング技術(シリコンコンサートホール)を開発することを目的とする。

(2) 研究開発期間

平成21年度から平成24年度(4年間)

(3) 委託先

同志社大学<幹事者>、北陸先端科学技術大学院大学、東北大学

(4) 研究開発予算(百万円)

平成21年度	15.0(契約金額)
平成22年度	14.1(〃)
平成23年度	13.3(〃)
平成24年度	12.5(〃)

(5) 研究開発課題と担当

課題ウ：五感コミュニケーションの中核的要素技術

1. FPGAによる音響レンダラーのハードウェア実装技術の研究開発  
(北陸先端科学技術大学院大学)
2. 音響レンダリングのためのデジタル境界の研究開発  
(同志社大学)
3. 音場LGA法による次世代レンダリングアルゴリズムの研究開発  
(東北大学)

(6) これまで得られた研究開発成果

		(全体) 件	(当該年度) 件
特許出願	国内出願	0	0
	外国出願	0	0
外部発表	研究論文	5	3
	その他研究発表	32	15
	プレスリリース	0	0
	展示会	9	2
	標準化提案	0	0

具体的な成果

(1) FPGA ベースのリアルタイム音響レンダリング技術

(i) 境界条件の改良による計算速度向上

従来手法による境界条件の計算では、例えば右側境界では、境界上で音圧を計算するために、同じタイムステップでの隣接ノードの音圧が必要である。そのため、深刻なデータ依存性が発生する。この結果、ハードウェアに実装されたとしても、性能向上は困難である。そこで本研究では、新しい境界条件を導出し提案した。この境界条件は、境界条件の音圧を計算するのに、一つ前のタイムステップの音圧を必要とする。このため、データ依存性が排除できた。

(ii) リアルタイム音響レンダリング

現在の FPGA ベースのリアルタイム音響レンダリングシステムでは、入射信号は FPGA ボード 1 上の FPGA1 に接続される高速 A/D 変換器を介して入力される。入射信号は DHM で計算され、計算結果は FPGA2 に拡張データ転送モジュールを介して送られる。最終的に、計算結果は FPGA ボード 2 の ATCA バスに接続された D/A 変換器を介して出力され、スピーカ等を駆動する。これらの一連の動作は実時間で行われる。このハードウェアシステムは、FPGA 間及び FPGA ボード間のインターフェースを変更することによって、複数の FPGA を並行動作させ、シミュレーション空間を拡大することができる。

(iii) 3次元音響シミュレーションの実装と評価

FPGA ベースのプロトタイプシステムを開発し、SPP-3000 FPGA 機に実装した。DHM の格子サイズを  $32 \times 32 \times 16$  とし、Xilinx 社 XC5VLX330T-FF1738 を用いて実装した場合、全体の 5% の LUT、および 84% の Block RAM を使用する。システムは 200MHz で動作する。約 3 分間の無響録音された Beethoven 交響曲第 7 番をシミュレーションする場合、プロトタイプシステムではリアルタイムでシミュレーションできるが、ソフトウェアで行う場合、2.2GHz AMD Phenom 9500 Quad-core 搭載システムを用いて 61 分の計算時間を要する。

(2) 3次元の仮想音響空間の境界壁面に、反射率が任意の周波数特性を有するデジタル境界を設置し、モデリングを行った。また、効果検証のために現実的なスケールの音響空間のレンダリングが必要であることから、高精度 DHM 法を 32GPU のクラスタに実装したところ、演算性能として約 266 GFLOPS を達成した。これにより、約 7,050m<sup>3</sup> というほぼ実用的なスケールの音響空間について、40kHz のサンプリングでレンダリングが可能となり、高音質のレンダリングが可能となった(計算時間は約 24 時間)。これは現時点での世界最高水準である。さらに、レンダリング結果の可聴化のために 157 チャンネルに同時出力可能なスピーカアレイシステムを使用し、レンダリング結果の出力を試みた。その結果、立体的で広がりのある自然な残響音場が再現可能であることが確認できた。

(3) 前年度までに 4次元面心立方格子を 3次元に射影した 3次元空間格子(4次元 FCHC モデル)を用いた 3次元音場 LGA 法のアルゴリズムを開発した。今年度は、考案したアルゴリズムを CPU 上で実装するとともに、その性能評価及び実用化に向けた検討を行った。

本実装の結果、0.34 x 0.34 x 0.34 m の 3次元空間内の音場を 8 kHz の標本化周波数を解析することができた。なお、この格子空間は、本プロジェクトにおける目標値である 1辺 1 m の空間領域よりも小さいが、これは、用いた計算機メモリ容量による制限であり、より多くのメモリを搭載した計算機を利用することで実装を変更すること無く解析が行えることを確認している。正弦波の伝搬音場解析の結果、3 kHz までの伝搬をシミュレートできることが確認された。

次に、将来の実用化へ向けた検討を行った。結果、計算時間については、100GFLOPS の計算機で並列度 8 の演算を行えば、対象とする時間幅のおよそ 7,200 倍の計算時間を要する。これは、理論的には現状の上位 10 位までのスーパーコンピュータを用いれば実時間の処理が可能であることを示している。また、1 格子単位の超並列化と、計算メモリが確保できると、実時間計算の可能性がさらに高まる。今後、コンピュータの性能がこれまでと同様に、伸びていけば遠くない将来に実時間計算が可能となるであろう。

以上の検討により、計算精度や並列化の工夫などさらなる改良の必要はあるものの、音場 LGA 法は現時点でも計算速度や再現精度の面から一定の有効性を示しており、次世代音場解析手法としての可能性を示すことができた。

(7) 研究開発イメージ図  
別紙参照のこと。