

[研究助成 (B)]

視点移動可能な全方位動画手法の開発

Omnidirectional video method with interactive control of viewpoint position

2181901



研究代表者

神戸大学大学院
システム情報学研究科

教授 陰山 聡

[研究の目的]

あらゆる方向の映像を一つのファイルに納めた「全方位動画」が最近、注目を集めている。通常の動画とは異なり、全方位動画では見る人が視界の方向をリアルタイムに変更することができる。

全方位動画の持つこの対話性をさらに高め、方向だけでなく視点の位置もまた再生時に自由に変更することを可能とする新しい全方位動画手法を開発することが本研究の目的である。

そのための具体的な方法は、以下の通りである。(1) 全方位画像を撮影するカメラを多数(N台)用意する。(2) それぞれのカメラから時刻を同期させつつ同時に全方位画像を(M時刻フレーム分)撮影する。(3) N個の全方位動画ファイルに、それぞれの視点位置の座標情報を紐付けする。(4) このようにして構成した動画データベースを入力とする特殊な動画表示アプリケーション「動画データブラウザ」によって、ユーザが視線方向と視点位置を対話的に指定して、そこから見えるべき「風景」を滑らかな動画として表示する。

ここで「滑らか」というのは、動画を再生している最中であってもユーザが視点位置の変更を指示すればそれに応じて動画データブラウザが表示する画像(表示する動画の撮影位置)が瞬時に切り替わるという意味である。そのため

には新しい視点位置と紐付けされた全方位動画ファイルから適切な時刻フレームの静止画が高速に抽出され、画面に表示される必要がある。

[研究の内容, 成果]

この手法の鍵となるアプリケーションソフト「動画データブラウザ」の開発も含めて、目標としていた上述の手法の実現に成功した。その成果は論文[1]にまとめ、現在査読中である。

我々はまず最初に、動画データブラウザが持つべき基本的な機能を実装したプロトタイププログラムを開発した。その基本機能とは、ハードディスクドライブに保存された全方位動画ファイル群の中からユーザが指定した視点位置に対応するファイルをPCのメモリに読み込み、そこからユーザが指定した時間フレームの全方位静止画像を取り出し、さらに、ユーザが指定した視線方向の画像を抽出するという一連の処理をする機能である。このプロトタイププログラムによって動画データブラウザというアイデアが技術的には実現可能であることを確認することができた。一方、技術的課題も明らかとなった。それは一部の処理に時間がかかりすぎるため、視点移動や視線方向に切替時に表示の遅延が起きることである。

そこで我々はこのプロトタイププログラムを破棄し、KVS(Kyoto Visualization System)を

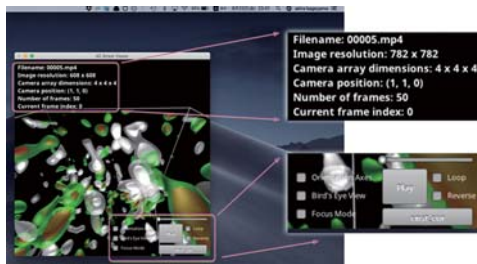


図1 本研究で開発した全方位動画データブラウザの
スナップショット

プログラム基盤として新たに別のプログラムを一から書き直した。

その結果、表示の高速化が可能となった。PCの画面の上に表示されているウィンドウ（そこには一見、通常の動画が再生されているように見える）に対して、ユーザがマウスやキーボードを操作すると、視線方向を切り替えたり、視点を移動させたりしても遅延が起きなくなった。

図1は本研究で開発した動画データブラウザを立ち上げた直後の画面の様子である。PCのデスクトップにウィンドウが一つ現れる。ウィンドウ内に表示されているのはデフォルトの視点位置、視線方向、時刻フレームにおける可視化画像である。マウスのカーソルをこのウィンドウ内におき、ドラッグすると視線の方向を自由に変わることができる。画面左上にはその時に読み込んでいる動画ファイルに関する情報がテキストで表示されている。画面右下には動画の再生・逆再生や特定の時刻フレームへのジャンプなど、時間方向の移動のためのボタン類が配置される。

視点の移動はマウスのクリックまたはキーボードで行う。ウィンドウ内にマウスカーソルを置き、マウスボタンをクリックすると、その方向にある近傍カメラに視点を移動することもできる。動画を（時間的に順方向または逆方向に）再生中であっても移動が可能である。カメラの距離が離れているときには突然ジャンプしたという感じが当然あるが、カメラ密度が十分に高いと滑らかに空間移動しながら動画を再生できる。これは映画マトリックスで有名になっ

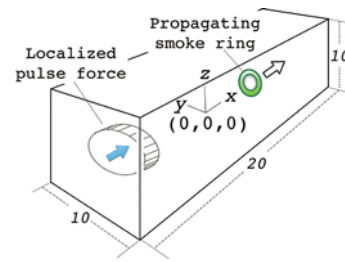


図2 渦輪の形成・伝播現象の再現のために設定した
計算機シミュレーション

た bullet time 法とよばれる映画の撮影技術と本質的に同じものである。

本研究で開発した動画データブラウザは汎用的なものなので、同期録画した複数（ N 個）の異なる視点で撮影した全方位画像ファイル群があれば、それを入力としてその機能を試すことができる。とはいえ、我々が想定しているのは $N=1000$ 程度、あるいはそれ以上のかかなり多数の全方位画像群なので、（近年、安価な全方位カメラが登場したとはいえ）現実世界の全方位撮影データを作成することはコスト的に難しい。そこで本研究では計算機シミュレーションで仮想的に「撮影」した全方位動画ファイル群を入力データとして用いた。

最初に仮想撮影した現象はよく知られた渦輪の形成・伝播現象である。直方体領域内の空気の運動を考える（図2）。はじめに箱の中の小さな領域内部に短時間、短い円筒領域内に力の場をかけて流れを駆動する。その向きは図の $+x$ 方向である。するとこの円筒領域内部の空気が x 方向に流れ始める。はじめは複雑な流れが生じるが、しばらくすると自己組織化によりきれいな渦の輪が形成される。渦輪の中心軸は x 軸に並行で、渦輪全体はその形状を保ったまま $+x$ 方向に進んでいく。

我々はこの渦輪の形成と伝播現象を再現するシミュレーションプログラムを開発した。空間方向には中心差分、時間方向にはルンゲ・クッタ法による時間積分をする。差分格子点数は $480 \times 240 \times 240$ 、MPIによる並列プロセスの数は432である。

そして、このシミュレーションコードに多数

の視点から全方位で「撮影」する可視化機能を組み込んだ。可視化視点の位置は1000点であり、一つの視点に2台の仮想全方位カメラを設定したので視点の総数は $N=2000$ である。時刻フレーム数は $M=420$ とした。したがって上述の手順で生成した動画データベースには計2000個のMP4動画ファイルがあり、そのサイズは6.0GBである。

図3にこの仮想全方位カメラの視点配置を示した。x, y, z軸方向にそれぞれ等間隔に $20 \times 10 \times 5$ の配置でシミュレーション領域を取り囲むよう、その内外に視点を置いている。上述のように一つの視点に2台のカメラを設定した。同じ視点から二つの異なる可視化手法で可視化するためである。一つはエンストロフィーの等値面、もう一つはそれに加えて流れ場を示す矢

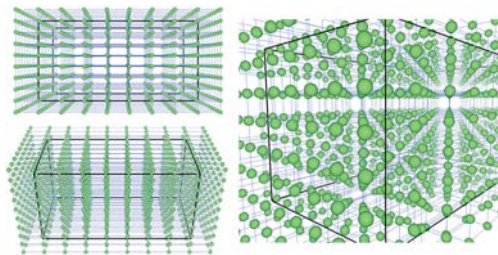


図3 渦輪のシミュレーションで設定した全方位可視化カメラの位置 (合計1000点)

印(グリフ)を重畳して可視化したものである。

図4はエンストロフィーの等値面と流れのグリフ表示を重畳した可視化によって得られた動画群を入力とし、本研究で開発した動画データブラウザで動画を再生しながらその視点位置を対話的に移動させてときのスナップショット列である。ここでは渦輪がx方向に移動するのをユーザがリアルタイムで追いかけながら、その形状変化と周囲の流れ場の様子を対話的に観察している。図4(a)は渦輪の自己形成の最中である。エンストロフィー(流れの渦度)が筒状領域に集中している。その後、時間の経過とともに、渦輪はきれいなリング状に自己組織化されていく。自己組織化の終盤での形状が(b)である。(c)の時刻では渦輪の形成は既に完了し、その形状を保ったままx方向に移動している。(d)では渦輪を追い抜き、先回りをして渦輪が近づいて見える位置からその伝播と周囲の流れ場(グリフ群)の時間変化を観察している。

本動画データブラウザは全方位動画に対応しているので、当然のことながら視線方向の対話的な変更も可能である(図5)。技術的な点について少し触れると、一枚の全方位画像はある

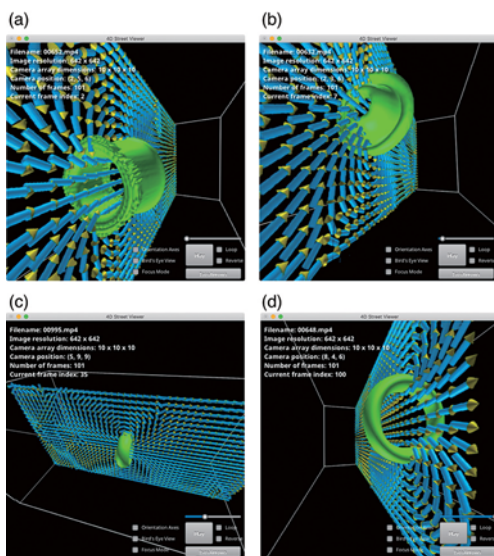


図4 渦輪の形成と伝播現象を本研究で開発した動画データブラウザで視点を移動しながら追跡している様子

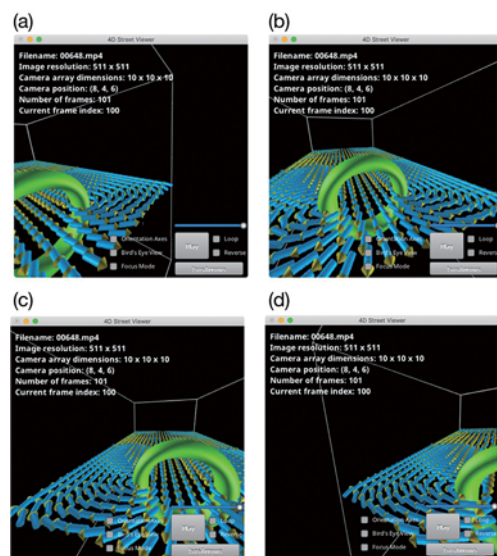


図5 視線方向の対話的な変更の様子

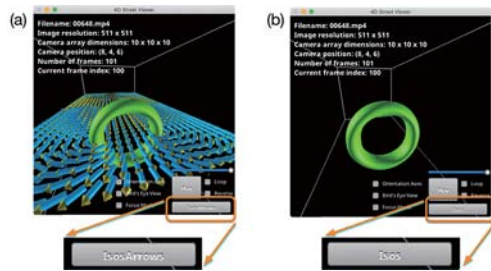


図6 異なる動画データ（この場合は異なる可視化手法で生成した動画）の対話的な変更

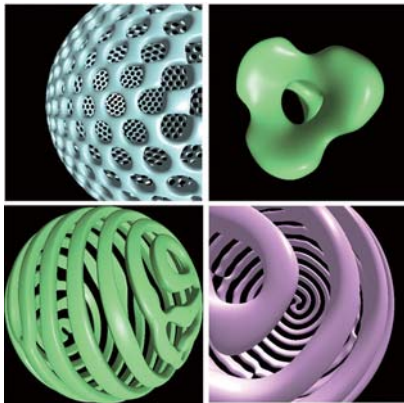


図7 今回開発した動画データブラウザで球殻中の熱対流のシミュレーションを観察している様子

視点から見える全方位（立体角 4π ステラジアン）の風景を長方形のピクセル列に保存しているので、その画像は歪んでいる。その画像データからユーザの指定する視野領域を高速に切り出し、座標変換をかけるために、GPUでシェーダを使った並列処理を行っている。

視点位置の切り替えが高速にできるのと同様に入力動画データの切り替えも瞬時にできる。図6には二種類（等値面+矢印グリフと等値面のみ）の異なる可視化手法で生成した動画データ群から同一の視点位置、視線方向、時刻フレームのデータを瞬時に選び出し、切り替えて表示しているときの様子である。

図7には別の現象の計算機シミュレーションを対象とし、仮想的な全方位カメラ群で撮影して生成した動画ファイル群に対して今回開発した動画データブラウザを適用した例である。このシミュレーションでは、二つの同心球面に挟まれた球殻領域中の熱対流運動を再現している。半径比（球殻の深さ）等を変えたときの多彩な

現象を視点を移動しながら詳細に観察することができる。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究で開発した手法および動画データブラウザは、すでにある程度十分な実用性を備えていると考えている。今後は、計算機シミュレーションによる仮想世界ではなく、現実世界、つまり多数（少なくとも百台以上）の全方位カメラを用いた本物の全方位撮影画像データに本手法を適用してみたいと望んでいる。

現在の動画データブラウザでは、視点配置が時間的に固定されていること、そしてカーテシアン座標の軸上に等間隔で配置されていることを暗黙に仮定している。この制限を取り払い、さらに汎用性を高めることが今後の研究課題である。

[成果の発表, 論文等]

- [1] A. Kageyama and N. Sakamoto, 4D Street View : A video-based visualization method, submitted to PeerJ Computer Science
- [2] A. Kageyama, N. Sakamoto, M. Miura, Nobuaki Ohno, Interactive Exploration of In-situ Visualization of MHD Simulation, Plasma and Fusion Research, in press
- [3] K. Yamamoto and A. Kageyama, In-Situ Visualization with Membrane Layer for Movie-Based Visualization, Lecture Notes in Computer Science, vol. 11540, pp. 588-594, 2019
- [4] A. Kageyama (Invited Talk), 4-D Street View : Movie-based visualization method for HPC, AAPPS-DPP 2019, Hefei, China, 2019
- [5] 陰山 聡, 坂本尚久, 大野暢亮, 『4次元ストリートビュー : 計算機シミュレーションの新しい可視化手法』, プラズマ核融合学会誌, vol. 96, No. 4, pp. 199-206 (2020)
- [6] 陰山 聡, 「計算機シミュレーションの対話的同時可視化手法」 TELECOM FRONTIER, vol. 105, pp. 1-5 (2019)
- [7] 陰山 聡 (招待講演), 『4次元ストリートビュー : 計算機シミュレーションの新しい可視化手法』 第36回 プラズマ・核融合学会 年会, 2019
- [8] 陰山 聡, 『動画ベースの可視化手法 4次元スト

- リートビュー』CFD シンポジウム, 北海道大学, 2019
- [9] 陰山 聡, 『可視化手法の新技术 4 次元ストリートビュー』STE シミュレーション研究会 計算プラズマ物理の新潮流, 広島大学, 2019
- [10] 陰山 聡, 『全方位動画に基づく新しい可視化手法』プラズマシミュレータシンポジウム, 核融合科学研究所, 2019
- [11] 陰山 聡, 『球内部の MHD シミュレーション手法と可視化ツール』, JpGU (日本地球惑星科学連合大会), 幕張メッセ, 2019