

様式 (7)

報告番号	甲 保 乙 保 第 15 号
論文内容要旨	
氏名	山口 雄作
題目	Continuous-time image reconstruction for binary tomography (バイナリ・トモグラフィのための連続時間画像再構成)
<p>バイナリ・トモグラフィ (BT: Binary Tomography) は、濃度値が二値の画像を少数方向の投影データから再構成する逆問題であり、コンピュータ断層 (CT: Computed Tomography) の特別な場合として画像診断支援システムの基盤となる技術である。医用 X 線 CT や核医学分野のエミッション CT では画素値に連続量を扱うのに対し、再構成すべき濃度が二値である BT においては、たとえば、腫瘍や血管など、特徴領域の抽出を目的としている。BT 逆問題を解くためのアルゴリズムとして、従来、通常の CT 再構成アルゴリズムを BT に流用した方法や Spectral Projected Gradient 法などが知られている。ただし、高品質の医用断層画像を少数方向投影から再構成できる技術は被曝量の低減に繋がり、より性能の高い再構成法の開発が望まれている。</p> <p>本論文では、BT 逆問題をハイブリッド力学系の初期値問題により解決させる方法を提案している。提案法は、複数の自律系微分方程式系を定められた時間間隔で切り替える非線形スイッチト力学系で記述され、Kullback-Leibler (KL) divergence を二重に構成した評価関数の最小化法として導出された。これは、BT 逆問題をボックス領域に解空間を制限した最適化問題と捉え、評価関数を二重 KL divergence に選ぶことで効果的な二値化を図ったアイデアに基づいている。実際、制約された部分状態空間内に初期値を置くことで、解軌道は制約空間内に拘束される性質を持っていることが理論的に示され、BT 逆問題解法にとって望ましい。一般に、不連続ベクトル場を持つ微分方程式系にみられる平衡点の安定性を理論的に言及することは困難であるが、二重 KL divergence が提案系における共通リアプノフ関数であることを見出し、リアプノフ定理を適用して一様安定性の理論証明に成功した。すなわち、逆問題が適切性を満たす場合、解軌道に沿った評価関数は時間経過とともに単調減少し、線形逆問題の代数解 (真の画像) に対応した平衡点へ収束する。</p> <p>さらに、臨床応用への有効性を検証するため、デジタルファントムを用いて非適切な逆問題設定による数値実験を行った。提案法と性能を比較する逐次法には、エントロピー最大化法として最も良い収束性能を与えることが知られている最尤推定期待値最大化 (ML-EM: Maximum-Likelihood Expectation-Maximization) 法を選んだ。種々の投影方向数に対して再構成画像の品質を比較したところ、提案法は ML-EM 法と比べて真値との誤差が小さい画像を与えることが明らかとなった。特に、6 方向からの少数の投影にもかかわらず真値と完全に一致した画像が得られ、提案法の良い収束性が例証された。少数方向の投影から精度の高い再構成画像が得られる提案法は、医用画像再構成法への実用化によって被曝量低減が期待でき、本研究成果が医療分野に与える効果は大きい。</p>	