

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	最尤推定の高速度化アルゴリズムに基づく4次元PET画像再構成手法の開発
Title(English)	
著者(和文)	今達弥
Author(English)	Tatsuya Kon
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9547号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小尾 高史,小林 隆夫,大山 永昭,熊澤 逸夫,山口 雅浩,山 谷 泰賀
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9547号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

「最尤推定的高速化アルゴリズムに基づく 4次元PET画像再構成手法の開発」

東京工業大学大学院総合理工学研究科 物理情報システム専攻
今 達弥

指導教員 小尾 高史 准教授

本論文は以下に示す全5章から構成されている。

第1章「序論」では、医用画像診断装置である陽電子放射型断層撮影（Positron Emission Tomography: PET）装置が、生体内の機能情報を直接的に表す画像（動態機能画像）を推定する際に利用されており、その推定精度向上には、生体内における放射能分布の時間変化を表す組織内放射能時間変化曲線（tissue Time Activity Curve, tTAC）を精度よく求める必要があることを述べている。そして、本論文は、高速かつ高精度に tTAC を推定するために必要となる新たな4次元PET画像再構成手法を開発することを目的としていると述べている。また、動態機能画像の推定がより容易に扱えるようになれば、アルツハイマー型認知症等を診断する際に必要となる脳機能の検査や、様々な疾患の病態の解明、生体機能の解明等への手助けとなることが期待されていることを述べている。

第2章「PETの原理と動態機能画像の推定」では、PET装置の原理を述べるとともに、動態機能画像の推定方法の原理および特徴を概説している。一般に、tTACの推定は、短い測定時間で得られる観測データ（以下、フレームデータ）毎に独立に画像再構成を行って時系列のPET画像を求め、画素ごとの時間変化を求めることで行われることを述べている。このとき、フレームデータを取得する測定時間を短く設定すると、各フレームデータに含まれる放射線カウントが減少するためにPET画像の推定精度が低下してしまう一方、測定時間を長く設定すると、変化の大きいtTACへの対応が難しいなどの課題があることを指摘している。また、動態機能画像の精度がtTACの推定精度に大きく依存することを述べている。

第3章「統計的4次元画像再構成の高速化手法の提案」では、tTACの推定精度を向上するために提案されている、時間的な相関を利用した4次元画像再構成について、その高速化手法の提案を行っている。時間的な相関を利用する場合には、tTACが特定の基底関数の線形結合で表されるものとして尤度関数を定義するが、従来、尤度の最大化には、前処理付共役勾配法や期待値最大化法など膨大な計算量を必要とする逐次的最適化手法が利用されており、動態機能画像の導出までに多大な時間を要していることを指摘している。その課題を解決するために、従来3次元PET画像再構成に利用されていたDynamic Row-Action Maximum Likelihood Algorithmと呼ばれる手法を、観測データの時間情報を利用して尤度計算を行うように拡張することで最尤推定を行う、新たな4次元PET画像再構成手法を提案している。提案手法は、観測データを無作為に複数のサブセットに分割し、サブセット毎に適切な重み付けをして推定値を更新することで、推定値への統計雑音の影響を抑制しつつ再構成画像の更新回数を増やす効果を持つと述べている。そして、計算機実験により、提案手法は従来手法に比べ計算時間を10分の1程度まで短縮できることを明らかにしている。さらに、提案手法で利用するサブセットに、時系列的に分割した観測データを用いることで、データ取得途中から再構成計算を開始するインライン型の再構成への応用を検討している。インライン型再構成を行う場合には推定精度が多少劣るものの、観測データの分割方法を工夫することで計算終了までの時間を短縮することが可能であり、今後GPUを用いた並列計算を導入することで、PET検査終了と同時にtTACの推定を完了できる可能性があることを示している。

第4章「マウス撮像データによる提案手法の評価」では、第3章で提案した4次元PET画像再構成手法を実験的に得られた小動物用PET装置の観測データに適用し、tTAC推定及び動態機能画像推定における提案手法の有効性を示している。マウスにフッ素18で標識したフルオロデオキシグルコースを投与し、小動物用PET装置を用いて取得した観測データから、tTAC推定及び心筋におけるグルコース代謝を推定し、提案手法では従来手法に比べて2分の1から3分の1程度の計算時間で同程度の精度の推定できることを示している。また、計算機実験と比較して計算時間の削減効果が少ない結果となっているが、これは、マウスを対象とした実験のため再構成領域を構成する画素数が少ない影響であり、人間を対象としたPET装置を利用する場合には、計算機実験と同等の効果が生じると述べている。

第5章「結論」では、本論文が、従来困難であった、高速かつ高精度に組織内放射能時間変化曲線推定を実現する4次元画像再構成を開発するとともに、実験的にその有効性を明らかにしたものであり、今後脳機能の検査や病態・生体機能の解明への貢献が期待されるものであると結論付けている。