

確率密度関数を用いたサイノグラムデータ生成手法

Method of generating sinogram from DOI-PET List-Mode data
using probability distribution function萩原 直樹† 山谷 泰賀†† 小尾 高史† 山口 雅浩† 大山 永昭†
Naoki Hagiwara Taiga Yamaya Takashi Obi Masahiro Yamaguchi Nagaaki Ohyama北村 圭司† 羽石 秀昭†† 村山 秀雄††
Keishi Kitamura Hideaki Haneishi Hideo Murayama

1. 要旨

現在開発が進められている次世代 PET 装置は、検出素子内における深さ方向の相互作用位置 (Depth-of-interaction : DOI) 情報を用いることで高感度かつ高空間解像度の実現を目指している。本装置で得られる観測データは検出イベント毎に記録されるリストモード形式であるため、従来の再構成手法を適用するにはサイノグラムに変換する必要がある。しかし、DOI-PET 装置は複雑なサンプリング特性や感度特性を持つことから、本研究では DOI-PET 装置に適したサイノグラム化手法を提案する。具体的には検出器の検出確率分布に基づいて位置を決定し、ヒストグラミングする。その際サイノグラムのサンプリング間隔、検出素子の感度分布について検討を行った。

そして、本手法をモンテカルロシミュレーションデータに適用した後、FourierRebinning 法及び 2 次元 Filtered back projection 法を用いて画像再構成を行い本手法の効果を示した。

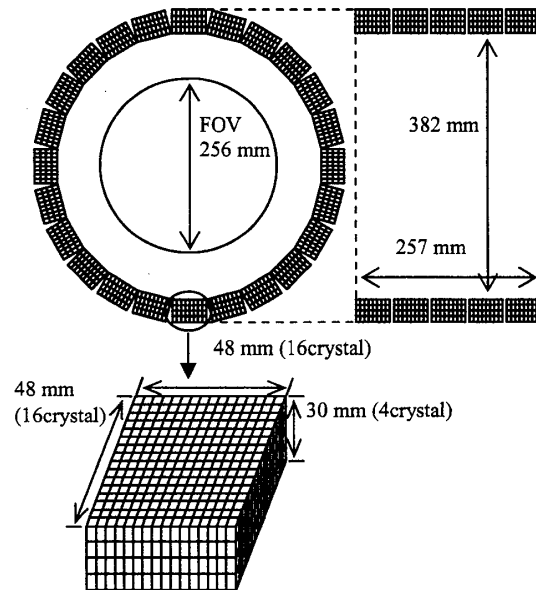


Fig. 1 Design of the next generation PET scanner.

2. はじめに

次世代 PET 装置は、検出素子内における深さ方向の相互作用位置 (DOI) 情報を用いることで高感度かつ高空間解像度の実現を目指している [1], [2]。

現在の次世代 PET 装置の設計案 (Fig.1) では、 $2.9 \times 2.9 \times 7.5$ mm の GSO 結晶を 384×80 リング \times 4 層に配置する。同時計数ペアの総数は 40 億以上となるため、観測データは従来のサイノグラム形式ではなく、検出イベントごとの検出器番号からなるリストモード形式で収集される。

ここで、次世代 PET 装置に適用する画像再構成手法としては、リストモードデータから直接的に統計的な画像再構成を行う手法と、ヒストグラミングして生成したサイノグラムを用いた統計的あるいは解析的な画像再構成手法が考えられる。前者は次世代 PET のような大規模な装置に適用する際、システムマトリクスの生成に膨大な計算コストを要することから、本研究では後者によって画像再構成を行う。

しかしながら、ヒストグラミングの際の問題点として、次世代 PET 装置では DOI 情報の付加により、場所によってサンプリング間隔に大きなばらつきがあり、不等間隔サンプリングとなっていることが挙げられる。

さらに従来の HRRT [3] 等のように DOI 層のペアごとにサイノグラム空間を用意する手法をとった場合、4 層 DOI-PET では、サイノグラムサイズが $13G (=2 \times 256 \times 256 \times 80 \times 80 \times 4 \times 4)$ となり現実的でない。

そこで本研究では次世代 PET 装置に適したサイノグラム化手法を提案する。この中では、検出素子の感度分布を考慮することでサンプリングの問題を解決し、さらに従来 PET 装置と同等のサイズのサイノグラムを生成する。

3. 手法

サイノグラムの生成では、まず同時計数の検出器番号からその検出位置を決定する。次に LOR をサイノグラム座標にマッピングしてヒストグラミングする。

† 東京工業大学情報工学研究施設

† 島津製作所医用機器事業部技術部

†† 千葉大学工学部

†† 放射線医学総合研究所医学物理部

検出位置決定において、従来は結晶の代表点として重心等を用いているが、提案手法では検出器の大きさとその検出確率に基づいた確率密度関数(Fig.2)により確率的に位置を決定する。

今回は位置決定の際の確率密度関数として、結晶表面と同じ幅を持つ矩形関数を用いた。

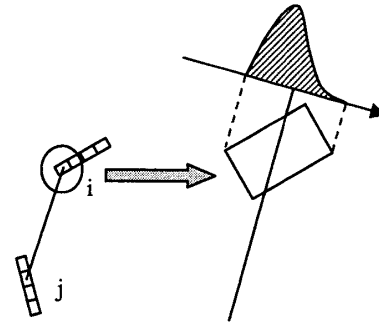


Fig. 2 Probability distribution function of scintillator crystal

4. 計算機シミュレーション

次世代 PET 装置用に開発されたモンテカルロシミュレーター [4] により生成された観測データに提案手法を適用した。比較のため、従来法として、検出位置決定の際に結晶表面の中心を用いたサイノグラム化も行った。また、画像再構成手法には解析的手法を用いた。

空間解像度の平均が同じになるように ramp フィルターのカットオフ値を調整し、それぞれ従来法 0.6Nq, 提案手法 0.86Nq のときの、一様ファントムデータのサイノグラム及び、再構成像が Fig.3 である。

従来法を用いた場合には、サイノグラムに表われた周期的なサンプリングエラーによって、再構成画像にリング状の強いアーティファクトが出ている。一方、提案手法ではエラーが削減されている。この時、計算にかかる時間は同程度であった。また、サイノグラム上に見られる網目状の影は、装置のジオメトリ設計により、ブロック間にできている隙間が表われているものである。

発表ではより現実的な確率密度関数を用いた場合のシミュレーション結果との比較を行う。

Conventional

Proposed

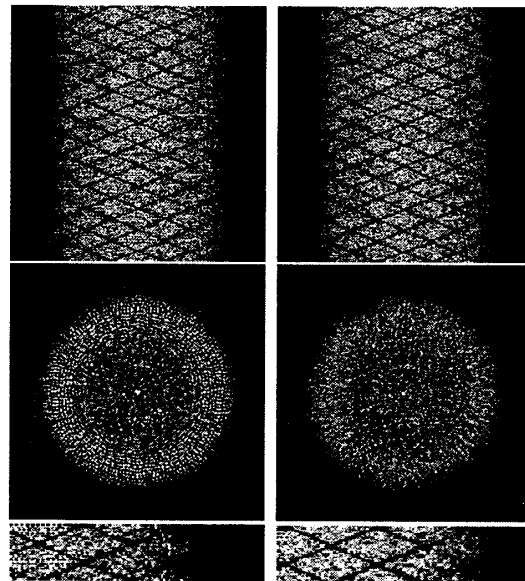


Fig. 3 Rebinned sinogram and reconstruction image.

参考文献

- [1] 村山秀雄：次世代 PET 装置の開発研究. 放医研ニュース 44, 2000 (http://www.nirs.go.jp/report/nirs_news/200006/hik3p.htm)
- [2] 村田啓, 村山秀雄 編：平成 13 年度次世代 PET 装置開発研究報告書(NIRS-M-157)：放射線医学総合研究所, 2002
- [3] K. Wienhard, M. Schmand, M. E. Casey et al: The ECAT HRRT: Performance and First Clinical Application of the New High Resolution Research Tomograph. IEEE MIC, Conference Record 280,2000
- [4] Kitamura K, Amano M, Murayama H: Count Rate Analysis of PET Scanner Designs based on a GSO Depth of Interaction Detector with a large area PS-PMT. IEEE MIC, Conference Record M05A-07, 2001