

曲率情報に基づく FDG-PET の 3 次元的特徴理解

Three-dimensional feature understanding based on curvature information of FDG-PET

高室 蒼太[†] 戸崎 哲也[†] 千田 道雄[‡]
Sota Takamuruo Tetsuya Tozaki Michio Senda

1. はじめに

近年, FDG-PET を用いたがん診断が普及してきている. FDG-PET では造影剤として, FDG(Fluorodeoxyglucose) を使用している. この FDG はグルコース代謝の激しい組織 (脳, 心筋, 肝臓, 大腸, 膀胱, 尿管など) に集積する特性を持っている^{[1][2]}. この特性により, がん組織を含む細胞の生理的情報を定量的に評価できる. しかし, がん組織以外への集積は偽陽性陰影を生じ, 医師の診断の妨げになることがある.

曲率は臓器や組織が持つ濃度曲面の解析において観察方向や位置に不変な性質を持つ^[3]. そこで, 本研究では曲率情報に着目し, 生理的情報である PET データに構造情報を付与することで, 各組織の特徴を解析することを目的とした. また, 曲率と曲率ベクトルは 3 次元 PET データの Hessian 行列の固有値を計算することで求められる. その値の絶対値が大きい順に第 1 曲率, 第 2 曲率, 第 3 曲率と定めた. 本稿では孤立陰影におけるがん組織の特徴について解析した結果を示す.

2. 研究内容

2.1 曲率と曲率ベクトルの導出

曲率と曲率ベクトルの算出前処理として 3 次元 PET データにフィルタサイズ 7×7 , $\sigma=3$ のガウシアンフィルタを適用し平滑化した. まず注目画素上での 3 次元 Hessian 行列を取得する. その Hessian 行列から Householder 変換と陰影的 QL 法によって固有値と固有ベクトルを求める. ここで求めた値がそのまま曲率と曲率ベクトルになる. ただし, $|k_1| \geq |k_2| \geq |k_3|$ とした.

ここで Hessian 行列は式(1)に示す^[4]. $F(x,y,z)$ が平滑化された FDG-PET 像を意味し, 添字は各成分の偏微分を意味する.

$$H = \begin{bmatrix} f_{xx} & f_{xy} & f_{xz} \\ f_{yx} & f_{yy} & f_{yz} \\ f_{zx} & f_{zy} & f_{zz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 曲率の組み合わせによる孤立陰影の抽出

曲率の主曲率を k_1, k_2 , 及び k_3 としたとき, それらの値の関係性を 3 種類の特徴量の組み合わせで分類できる. 用いる特徴量は, 主曲率の大きさ(単純主曲率基準), 主曲率の絶対値(絶対値基準), および 3 つの主曲率の和の符号(平均値

[†] 神戸市立工業高等専門学校専攻科電気電子工学専攻

[‡] 先端医療センター

基準)である. ただし $k_1 \geq k_2 \geq k_3$ とする. 単純主曲率は超曲面が第 4 軸の正負のどちらにより曲がっているかを表す. これは k_1, k_2, k_3 および 0 の大小関係による分類であり 20 通りに, 絶対値基準は $|k_1|, |k_2|, |k_3|$ および 0 の大小関係による分類であり 26 通りに, 平均曲率基準は主曲率の和の符号による分類であり 3 通りに分類できる. したがって総計 1560 通りの組み合わせが考えられるが, $k_1 \geq k_2 \geq k_3$ という条件を与えると 42 通りのみ存在する. これらは, 3D 画像の画素の状態を分類する基本的な特徴量として利用できる^[5]. この主曲率の組み合わせは, がん組織や孤立陰影において, 特有の組み合わせが現れるのではないかと考えた. そこで, 3 次元 PET データの各ボクセルでの組み合わせを調べ, 孤立陰影の抽出を行う.

2.3 孤立陰影における曲率ベクトル

孤立陰影の中で, がん組織とそれ以外の組織で曲率ベクトルが異なる方向を示すとがん組織を特定する 1 つの指標になると考えた. そこで各曲率の持つ曲率ベクトルの x 成分, y 成分, z 成分を赤, 緑, 青と色分けして, ボクセルごとに走行する方向へ線で表現する. そして, 孤立陰影においてどのような特徴を持っているのかの評価を行う.

3. 実行と評価

3.1 曲率の組み合わせによる孤立陰影の抽出

平滑化を行った 2 症例の PET 画像を図 1 に示す. 図 1(a) が症例 1 の画像で, (b) が症例 2 の画像である. これらは MIP(Maximum Intensity Projection) 画像である. ここで, MIP 画像とは, ある方向から並行光線によって投影を行い, ボクセル中の最大の輝度を投影面に反映させ, 作成した画像である. 症例 1 では膀胱の上にある球体のがんで, 症例 2 では膀胱のすぐ下にある小さな球体のがんである.

孤立陰影において, 曲率の組み合わせを調べると, 1 つの組み合わせを有していた. その組み合わせは, 単純主曲率基準が $0 > k_1 > k_2 > k_3$ で, 絶対値基準は $|k_3| > |k_2| > |k_1| > 0$ で, 平均曲率基準は $k_1 + k_2 + k_3 < 0$ である. これは症例 1 と 2 の両方において確認できた. よってこの組み合わせは孤立陰影に現れる特定の曲率の組み合わせと言える. この組み合わせを持つボクセルを赤色し, 孤立陰影を抽出した MIP 画像を図 2 に示す. 図 2(a) が症例 1 の画像で, (b) が症例 2 の画像である. これらの画像を見ると, 図 1 の MIP 画像では分からなかった, 小さな孤立陰影がいくつも存在していることがわかる.

3.2 孤立陰影における曲率ベクトル

図 3 に症例 1 のがんにおける曲率ベクトルを可視化した図を示す. 図 3(a) は PET 画像でのがんの拡大図である. (b) は曲率ベクトルを可視化した状態のがん組織を正面から見

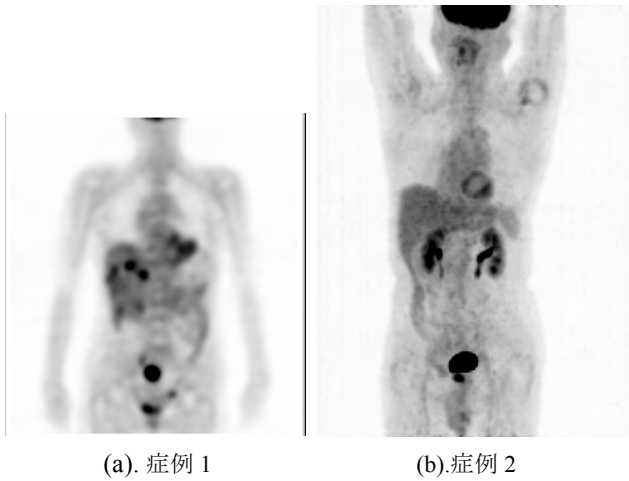
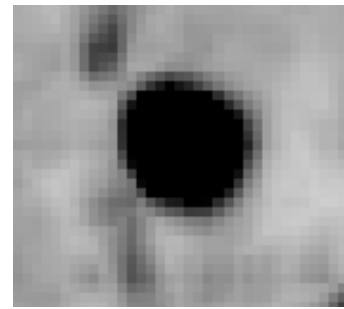
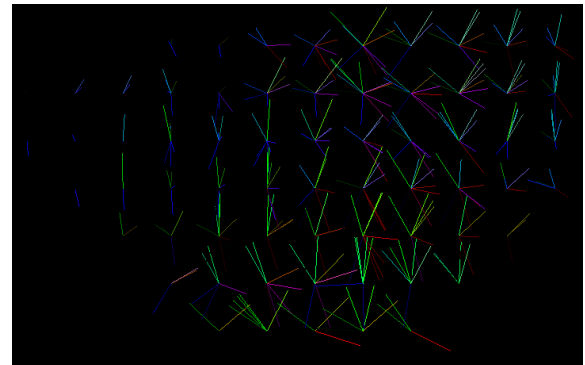


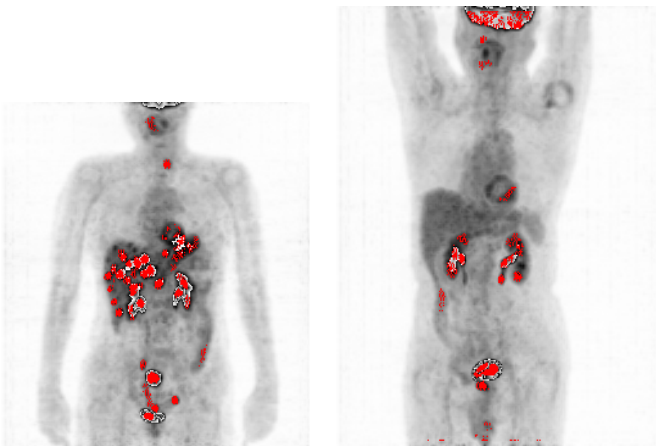
図1.PETデータのMIP画像



(a).症例1のがんの拡大画像



(b).曲率ベクトルを可視化した正面からの図



(a). 症例1 (b).症例2

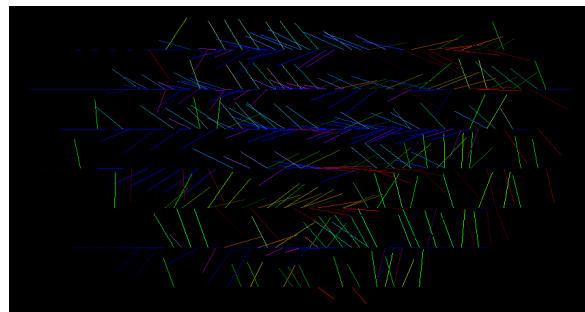
図2.孤立陰影を抽出したMIP画像

た図で、(c)は正面から90度回転させた側面の図である。また、1つのボクセルの曲率ベクトルが走行する向きを線として描写した。

ここで図3(c)においてがんの前部と後部に該当する箇所では緑色で線が上下に走っている。よってがんの中心付近のライン状に沿って上下に周回するように曲率ベクトルが走行していると言える。また、図3(b)でがんの側部では青色で線が奥に向かい伸びている。図3(c)ではがん前部に付近では赤色の線が伸びている。これらより、がんの中心付近では横方向にも周回するように曲率ベクトルが走行している。この2つのことから、がんは中心から十字に縦と横に曲率ベクトルが周回するように走行していると言える。

4.総括

本研究では、曲率を用いて孤立陰影を抽出し、解析を行った。算出した曲率の大小関係の組み合わせは、組織の形状の特徴量として扱え、がん組織を含む孤立陰影の組み合わせは1つに定まった。また、がんの曲率ベクトルを可視化すると、中心から十字に縦と横に曲率ベクトルが周回するように走行していることがわかった。今後、他の症例においても同様の結果が得られるか検証を行っていく。



(c).曲率ベクトルを可視化した側面からの図

図3.症例1におけるがんの拡大画像と曲率ベクトルの走行方向を線と色で可視化した画像

参考文献

- [1] T. Tozaki, M. Senda, S. Sakamoto, "Extraction and Visualization of Structural Information Based on FDG-PET Images," Proc. of IASTED International Conference on Biomedical Engineering (BioMed2107), pp. 5-10 (2017).
- [2] T. Tozaki, M. Senda, S. Sakamoto, "Analysis of FDG-PET Images for Cancer Diagnosis based on Anatomical Information of Human Body," Proc. of 8th IASTED International Conference on Signal and Image Processing, pp. 297-400 (2006).
- [3] Y. Torigoe, S. Oshiro, T. Tozaki, M. senda, "Feature Analysis of High SUV Regions Based on FDG-PET," Proc. SPIE 10574, Medical Imaging 2018: Image Processing, 105742M (2 March 2018).
- [4] O. monga and S. Benayoun, "Using partial derivatives on 3D images to extract typical surface features," Computer Vision and Image Understanding, Vol. 61, No. 2, pp. 172-189 (1995).
- [5] 平野靖, 清水昭伸, 長谷川純一, 鳥脇純一郎, 「4次元超局面の曲率を用いた3次元濃淡画像に対する追跡型細線化の一手法」, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D2, pp.126-136 (2000).