

# 胸部 X 線 CT による肺がん検診の読影支援システム

## —画像処理による肺結節陰影自動抽出の精度向上

代表研究者	澁谷 倫子	山形県立産業技術短期大学校庄内校 准教授
共同研究者	山本 眞司	静岡大学創造科学大学院 客員教授
共同研究者	滝沢 穂高	筑波大学大学院システム情報工学研究科 准教授

### 1 はじめに

X 線 CT による肺がん検診は肺がんの早期発見に有効とされ近年注目されているが、その一方で診断画像枚数の膨大化による読影医師の負担増加が問題視されている。そこで読影する医師を支援するため、CT 画像から肺結節（肺がんの候補）を自動的に検出し医師に提示する計算機診断支援システムへの期待が大きくなっている。

肺結節自動検出法は一般的に 2 段階の処理によって構成される。まず第 1 段階にて画像全域の中から候補陰影の存在領域を絞り込み、次の第 2 段階にて各種識別器を用いた分析により結節陰影の候補を絞り込む。我々の研究グループにおいても、第 1 段階処理として可変 N-Quoit フィルタ (Variable N-Quoit filter, VNQ) [1]を開発し、第 2 段階処理についても各種の識別手法[2~5]を提案してきた。しかし VNQ 抽出点数は、診断精度の高度化への要求に対応すべく結節抽出感度を上げたことで膨大化しており、その影響から第 2 段階処理の手法が複雑化し学習の負荷が大きくなっている。

この状況を受け、本研究では第 1 段階から第 2 段階にわたるシステム全体を総合的に見直し、特に精度向上の新たな方向性として医療現場での精度向上可能な仕組みを考慮した肺結節自動抽出法の実現に向けシステムを再構築することにした。つまりこれまでの複雑化した手法の下では医療現場においてシステムの精度を向上させる調整は困難であったが、これを見直し医師によるデータの逐次追加によりシステムを精度向上できる仕組みを考慮した手法の実現を目標とした。そのためのアプローチとしては、まず第 1 段階の抽出精度を向上させ初期候補点数を大幅に削減する改良を行い、次に第 2 段階の識別処理を追加学習が容易でありかつシンプルな識別モデルにて実現することにした。

### 2 初期候補領域抽出精度の向上—正值集中度リングフィルタの導入[6]

#### 2-1 正值集中度リングフィルタ

VNQ は Mathematical Morphology フィルタの一種であり、円形凸状の濃度分布における分布の頂上と周辺濃度の差を検出するフィルタである。この VNQ とは異なり濃度勾配の方向性のみに着目したベクトル集中度フィルタ [7]の概念を追加導入することにより初期候補点数の削減を目指した。

具体的には VNQ によって抽出された候補点に対し、新たに開発した正值集中度リングフィルタ (Positive Convergence index Ring filter, PCR) を適用することを提案した。PCR は肺結節陰影抽出に適した形状と計算法を考慮の上開発したベクトル集中度フィルタである。

基本的には VNQ の抽出点を注目点とし、それを中心とした図 1 のような幅広リング領域の各点において集中度指標を計算する。計算された集中度指標の内、正の集中度指標のみを対象として平均を計算し、これをフィルタの出力値とする。つまり、負の集中度指標をすべて取り除いている。

負の集中度指標を取り除くこの計算方法は、胸壁に付着した陰影についての出力値低下を抑制するためのものである。胸壁に付着した結節陰影の場合、胸壁接触部においては濃度勾配ベクトルが結節中心とは逆の胸壁方向を向き、負の集中度指標を示す(図 2)。負の集中度指標を計算から外すことによりこのような結節陰影における出力値低下を抑制している。

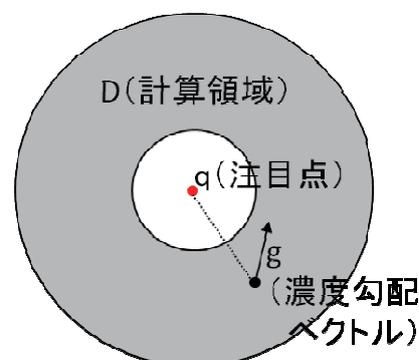


図 1. 正值集中度リングフィルタ (PCR)

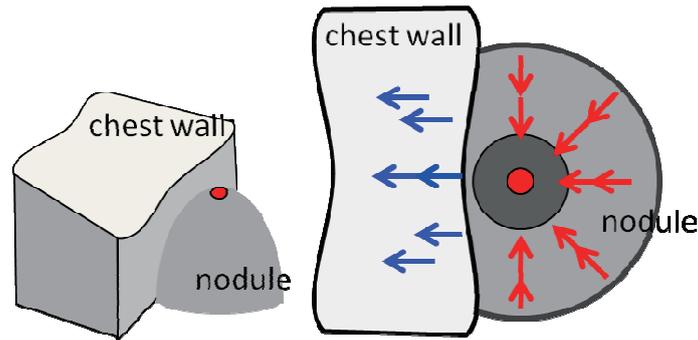


図 2. 胸壁付着結節における濃度勾配ベクトルの向き.

## 2-2 実験

提案フィルタの性能を調査するため実症例を用いた実験を行った. なお, 本研究ではすべて安曇総合病院で撮影・検査された症例を用いている.

### 2-2-1 PCR の評価実験

VNQ により抽出された異常陰影サンプル 193 個, 正常陰影サンプル 16010 個 (正常症例 20 例分より) を対象に実験を行った. フィルタサイズは内半径 3, 外半径 9 とした. 結果の ROC 曲線を図 3 に示す.

真陽性 (True Positive, TP) 率 90%において偽陽性 (False Positive, FP) 率 13%, つまり FP の 87%を削減できる結果が得られた. なお, 図 3 には比較のため負の集中性指標も含めた計算時における ROC 曲線もあわせて記載している. 負の集中性指標を含めた場合, TP 率 90%時の FP 率は 59%となり, Az 値も 92%から 81%と低下した. 負の集中性指標を取り除く計算法の効果が非常に高いものであることが分かった.

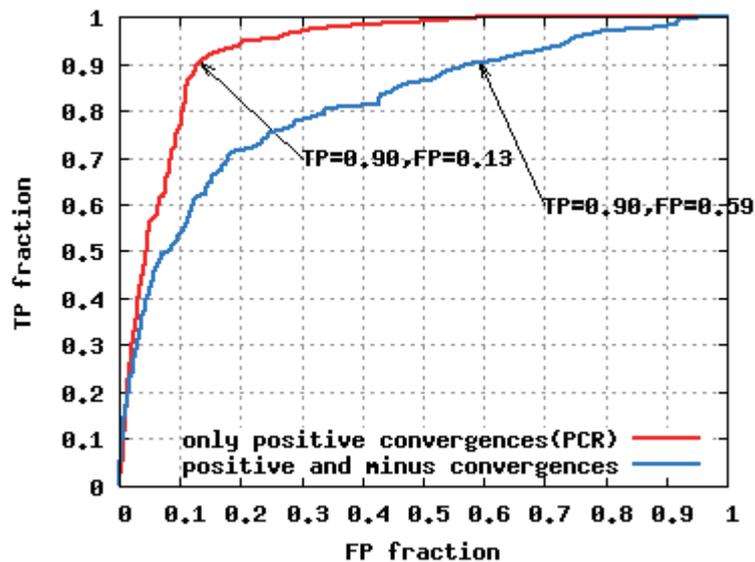


図 3. 正值集中性指標のみによる計算法 (PCR) と負集中性指標を含む計算法の比較.

### 2-2-2 単独使用と併用の比較実験

次に 2-2-1 で使用した異常陰影サンプル 193 点を含む 183 症例を使用し, PCR を単独で画像全域に適用した場合 (PCR 単独使用) と, 提案の VNQ 抽出点に限定して適用する場合 (VNQ と PCR の併用) を比較する実験を行った.

VNQ と PCR の併用時においては TP 率 90%時の FP 数は約 120 個であったのに対し, PCR 単独では約 1900 個となった. つまり, PCR は単独適用ではその識別能力が極めて低く, VNQ との併用によってのみ効果が発揮される. VNQ は血管の分岐部で強く反応してしまう傾向があるが, PCR は血管分岐部への反応は小さい一方で血管近傍の低濃度領域に反応する特徴を持つ. この両者の反応箇所の違いにより相補的作用が生じ, 併用における高い効果につながったものと考えられる.

### 3 第2段階識別処理の新提案

VNQ と PCR による第1段階抽出点を対象に正常陰影、異常陰影の識別を行うことにした。PCR 導入により候補点数が大幅に絞り込まれたことを受け、第2段階処理については訓練パターンの追加が容易な全数記憶方式の識別法によるシンプルな手法での実現に取り組んだ。

#### 3-1 手法説明

第1段階処理にて抽出される正常陰影、異常陰影の ROI 画像を訓練パターンとして多数用意し、これらと入力サンプルの画像との照合により判別を行う。このとき単純に入力サンプルに対する最近傍訓練パターンが属するカテゴリに分類するのではなく、カテゴリごとに入力パターン近傍の  $k$  個の訓練パターンを選び出し、入力パターンとこの近傍パターンとの類似度の平均値（カテゴリ別局所平均類似度）によりカテゴリを判別する。

判別にあたっては現入力パターンに対する正常カテゴリ、異常カテゴリそれぞれのカテゴリ別局所平均類似度  $\mu_N$ 、 $\mu_A$  の比から算出される異常度  $\alpha$  を使用する。

$$\alpha = \frac{\mu_A}{\mu_N} \quad (1)$$

異常度  $\alpha$  がしきい値以上である場合を異常、しきい値より小さい場合を正常と判断する。なお、カテゴリ別局所平均類似度は Mitani らによるカテゴリ毎の  $k$  近傍パターンによる平均パターンと入力パターンとの距離に基づく識別手法（classification using Categorical Average Patterns, CAP）[8]における距離尺度を類似度に変更した場合に概念が等価となることがわかっている。ただし、距離尺度が異なり、 $k$  個の近傍訓練パターンから改めて平均パターンを作成する必要がなく、既に求められた類似度の平均を評価値としてそのまま利用できる点が異なる。また、各カテゴリの評価値の比を異常度として定義し判断に使用している点は新たな追加点である。この異常度  $\alpha$  の導入によりシステムの性能に対する ROC 解析を可能としている。

さらにこの識別手法を適用するにあたっていくつかの工夫を行った。まず前処理として ROI に含まれる肺野外面素を適切な濃度値で置換する処理を行う。これは、胸壁などの高濃度値が強く影響し類似度を正確に計測できないことがないようにするための処理である。置換する値としては、ROI における肺野領域内の平均画素値とした。また、淡く、コントラストの弱い結節陰影に対処すべくガウス型窓関数を ROI 領域全体に掛け合わせ、中心部を強調させる工夫も行うことにした。

#### 3-2 実験

2 で述べた VNQ と PCR の併用による第1段階抽出点に対し上述の手法による第2段階処理の評価実験を行った。なお、この実験では各症例における VNQ 抽出点のうち PCR の出力値が 150 位以内のものまでを第1段階抽出点として扱うことにした。

異常訓練パターンには 168 症例より抽出された結節箇所 178 個を、正常訓練パターンには 50 例の正常症例より抽出された正常箇所 7500 個を使用した。また、テストパターンには、異常訓練パターンで使用した結節を含んでいる 168 症例の全スライスにおける PCR 抽出箇所 25138 個（結節 178 個、正常 24960 個）を使用した。よって、異常陰影については訓練パターンとテストパターンの双方での使用となるため、交差法を使用し、テスト時においては同一症例の異常訓練パターンを訓練パターン集合から除いた上でテストした。ROI のサイズは  $15 \times 15$  とした。

##### 3-2-1 異常回転パターン使用とサンプル数の検討

はじめに正常訓練パターン数の識別精度に与える影響を調査した。なお、異常訓練パターン数は正常訓練パターン数に比べ圧倒的にその数が少ない。そこで、異常訓練パターンについてはそれを回転させたパターンを生成し、擬似的な訓練パターンとして追加し利用することにした。つまり、異常訓練パターンとの類似度については 90 度刻みの回転角で回転させた訓練パターンを生成し、この複数枚の回転パターンとの類似度最大値を利用することにより、異常訓練パターンの不足分を補った。

$k$  の値を 5 で統一し実験を行ったところ、正常サンプル数 3750 個を使用した場合、FP 率 10% 時の TP 率が最高値 90.4% を示し、Az 値においても 93.5% と高い数字が得られた。

### 3-2-2 局所平均類似度使用の効果について

上記のサンプル数のもとで、次に近傍  $k$  個の類似度平均、つまり局所平均類似度をとることの効果を確認すべく、特徴空間の近傍サイズ  $k$  の値を変化させた場合の  $Az$  値を調査した。結果を表 1 に示す。

$k=1$  は近傍パターン of 類似度のみから判断した場合の実験結果になり、局所平均類似度を利用していない場合にあたる。 $k>1$  として局所平均類似度をとることにより、 $Az$  値が高くなっていることが分かる。

表 1.  $k$  と  $Az$  値関係

$k$	$Az$ 値
1	0.920
3	0.934
5	0.935
7	0.935

### 3-3 考察

一例として図 4 に第 1 段階処理による初期候補点 (丸) と、本節での提案手法により絞り込まれた箇所 (四角) を示す。なお本節提案手法の絞り込み箇所については、TP 率が 90.4%となる場合の異常度をしきい値として処理した場合の抽出点であり、このときの FP 率は 90%である。右端の陰影が結節陰影であり、正しく抽出できているのと同時に多くの血管陰影を削減できていることがわかる。

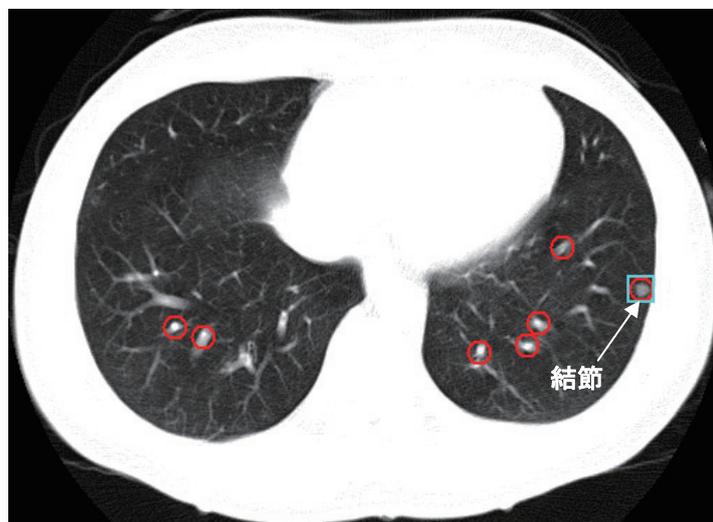


図 4 初期候補点からの絞り込み。丸は初期候補点を、四角は提案識別手法により絞り込まれた点を表す。

## 4.まとめ

第 2 段階処理に多く依存してきたこれまでの肺結節自動抽出法を再考し、第 1 段階の抽出精度向上により第 2 段階処理をシンプルな手法に置き換えることに成功した。システム全体の精度としては、TP 率およそ 8 割で一症例あたりの FP 数が 15 個となっている。医療現場で病巣のサンプルを逐次追加し精度向上させていけるよう、学習データの追加が容易でありかつ追加したデータがシステムの認識精度に与える影響を予測できる識別モデルを採用した上で実現しており、今後このような視点は診断支援システムの重要な要素となると予想する。

## 【参考文献】

- [1] 三輪倫子, 加古純一, 山本眞司, 松本満臣, 舘野之男, 飯沼 武, 松本徹, "可変N-Quoit フィルタを用いた胸部 X 線 CT 像からの肺がん病巣候補自動抽出," 信学論 (D-II), vol. J82-D-II, no. 2, pp. 178-187, 1999.
- [2] 原田実, 滝沢穂高, 水野慎士, 山本眞司, 松本徹, 曾根脩輔, 小山真弘, "多重しきい値法と SVM を用いた肺結節陰影自動認識手法の高精度化," 信学技報, MI2005-99, vol. 105, no. 579, pp. 131-134, 2006.
- [3] 重本加奈恵, 滝沢穂高, 山本眞司, 中川徹, 松本徹, 舘野之男, 飯沼武, 松本満臣, "3次元結節・血管モデルとテンプレートマッチングを用いた胸部 X 線 CT 画像からの結節陰影の高速認識," Medical Imaging Technology, vol. 21, no. 2, pp. 147-156, 2003.
- [4] 中村嘉彦, 森健策, 末永康仁, 山本眞司, 滝沢穂高, 水野慎士, 松本徹, 曾根脩輔, "部分空間法を用いた胸部 X 線 CT 像からの肺結節陰影認識における精度低下要因の分析," Medical Imaging Technology, vol. 26, no. 5, pp. 347-358, 2008.
- [5] 水野慎士, 滝沢穂高, 山本眞司, 松本徹, 曾根脩輔, 高山文吉, 小山真弘, 和田眞一, "複数認識手法の統合による X 線 CT 肺結節陰影検出の高精度化 (総合報告)," 信学技報, MI2004-104, vol. 104, no. 580, pp. 131-136, 2005.
- [6] 澁谷倫子, 杉浦彰彦, 滝沢穂高, 奥村俊昭, 山本眞司, "可変N-Quoit とベクトル集中度の併用による肺結節陰影の検出," 信学論, vol. J93-D, no. 8, pp. 1491-1501, Aug. 2010.
- [7] 小畑秀文, "ベクトル集中度フィルタとその医用画像処理への応用," 信学論 (D-II), vol. J87-D-II, no. 1, pp. 19-30, 2004.
- [8] Y. Mitani and Y. Hamamoto, "Classifier design based on the use of nearest neighbor samples," Proc. 15th Int. Conf. Pattern Recognition, pp. 773-776, 2000.

## 〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
可変N-Quoit とベクトル集中度の併用による肺結節陰影の検出	電子情報通信学会論文誌 D	2010 年 8 月
肺結節陰影抽出におけるベクトル集中度フィルタの効果的利用法に関する考察	電子情報通信学会論文誌 A	2010 年 12 月
肺結節抽出のための正值集中度リングフィルタ適用法の改善	電子情報通信学会 2011 総合大会	2011 年 3 月
k-NN 法を用いた肺結節偽陽性陰影の削減	電子情報通信学会 2011 総合大会	2011 年 3 月