

15-25 デジタル画像を利用した診断支援システムの開発と利用に関する研究

主任研究者 国立がんセンター東病院 縄 野 繁

研究成果の要旨

(1)デジタルマンモグラフィーに対する CAD の研究では、拾いすぎ検出を大きく低減させることに成功し、このシステムを使用した読影実験を施行したところ、CAD の効果を高めるには CAD 併用読影法の研究が必要であることが判明した。(2)胸部検診 CT に対する CAD の研究では、マルチスライス CT に対する開発を進め、腫瘍の良悪性鑑別や冠動脈の石灰化、骨密度などを同時に計測する方法を開発した。(3)肝臓 CT に対する CAD システムでは、多時相 3D-CT を用いて肝臓自動抽出と典型的な原発性肝臓癌の検出をおこない平均拾いすぎ個数の低減につとめた。(4)仮想化内視鏡の研究では、気管支枝名対応付け手法の改善を行い、実際の症例に適応することで多数の分岐バリエーションを収集することができた。(5)胸部 CT 画像物理特性と CAD の関係では、高分解濃度処理でノイズが増加し検出可能な腫瘍の大きさが増大したが、通常処理では撮影条件によるノイズの大きな変動が見られず、管電流、実効線量の変化に対して、最小検出径が一定の傾向を示すことが判明した。

研究者名および所属施設

研究者名	所属施設および職名	分担研究課題
縄 野 繁	国立がんセンター東病院 部長	乳癌、肺癌の計算機診断の臨床利用に関する研究
長谷川 純一	中京大学生命システム工学部 教授	3D 処理による癌の自動診断システム開発
小畑 秀文	東京農工大学大学院生物システム応用科学研究科 教授	デジタルマンモグラフィー CAD システムの高精度化
末 永 康 仁	名古屋大学大学院情報科学研究科 教授	デジタル画像処理によるがんの自動診断システムの開発
池 田 充	名古屋大学医学部保健学科 助教授	デジタル画像処理によるがん画像の特徴検出
名 取 博	札幌医科大学医学部附属病院機器診断部 教授	デジタル画像処理による肺癌診断支援システム開発
和 田 真 一	新潟大学医学部保健学科 教授	がん診断支援システムの有効利用に関する研究
仁 木 登	徳島大学工学部 教授	3D-CT 画像による肺癌診断支援システムの開発
山 本 眞 司	豊橋技術科学大学知識工学系 教授	CT を用いた肺がん検診システムの読影支援ソフトの開発
福 島 重 廣	九州大学大学院芸術工学研究院 教授	診断支援のための医療画像認識基礎技術の開発

総括研究報告

1 研究目的

本研究の目的は、デジタル X 線写真や CT で得られた画

像データをコンピュータで解析し、読影医に呈示することで診断精度の向上をはかるシステムを開発することである。特に最近開発された4列を超えるマルチスライスCTでは検診のみならず一般診療においても一度に大量の画像を発生させ、従来の診断手法では読影が困難な状況となっているため、新しい診断支援システムの開発が急務であると考えている。本研究の特色は、パターン認識技術を用いた2次元および3次元画像処理やバーチャル・リアリティー技術を用いた3次元ナビゲーション診断など、最先端の画像処理技術を応用して新しい診断方法を確立するだけでなく、新しい診断技術を生かすための画質と放射線被曝線量との関係を明らかにする点である。

本研究で取り扱う主な疾患としては乳がん、肺がん、胃がん、肝臓がんなどであり、それらを解析するための正常構造の解析も含まれる。

2 研究成果

〔乳がんに対するCAD〕

(1) 腫瘍候補領域検出手法の改良

従来のマンモグラフィCADシステムにおいては、我々は適応リングフィルタ(ARF: Adaptive Ring Filter)を使った検出方式を用いているが、類円形凸状の腫瘍影以外の形状の腫瘍影や他の所見の異常陰影は原理的に抽出が困難であるという問題点が存在していた。そこで、異常陰影の所見をほぼ網羅するように、4つの新しい検出処理を追加したシステムを開発した。それらは、検診施設で検出が期待される“悪性を否定できない良性腫瘍(白くて丸い陰影)”を対象にしたコントラスト検出処理、“局所的非対称性陰影”に対応した左右の乳腺分布差の検出処理、“ディストーション”に対応したスピキュラに基づく異常陰影の検出処理、および、胸壁に近い部分でマンモグラム上にはその半分程度しか画像化されない陰影に特化した処理である。それぞれの検出処理で検出された陰影に対応してマハラノビス距離比を用いた判別器を構成し、判別の結果を統合するシステム構成にした。

7施設から得られた6202枚の画像を用いてシステム性能を評価した結果、従来の真陽性率79.3%、画像あたりの偽陽性数1.45個から、真陽性率86.2%、画像あたりの偽陽性数0.32個へ検出性能が大幅に向上し、検診用施設や精密検査用の専門病院の双方に有用なシステムを構築することができた。(小畑)

(2) 判別器の高度化

限られた学習サンプルを用いて、汎化性を保持し、識

別性能を上げる手法としてアンサンブル学習法があるが、今回はその中のAdaBoostingに基づく識別器アンサンブルとその性能評価の結果について検討した。AdaBoosting法の基本的な考え方は一つの分類器で誤判別された学習データに大きな重みを持たせ、それを新たな学習データとして次の相補的分類器を構成する。通常は誤判別が一定レベル以下になるまで相補的分類器を増加させ、それらの結果を統合して最終判別結果とするものである。相補的分類器で用いられる特徴量は共通なものが用いられる。本研究では、新しい荷重のつけ方や相補的分類器に前向き逐次選択法を適用し、各相補的分類器で用いる特徴量セットをそれぞれに固有なものとすることによる効果を実験的に検証した。実験では1700枚を超えるマンモグラムから抽出された7000箇所を超える腫瘍候補領域を実験対象とし、従来の単一分類器、従来の共通特徴量を用いるAdaBoosting法に基づくアンサンブル分類器、および本研究で提案した特徴量選択を各分類器に適用する新しいアンサンブル分類器についてFROC解析を行ったところ、提案手法が優れた判別特性を持つことが確認された。例えば真陽性率95%のときの偽陽性検出率は提案手法では一画像当たり0.32個であり、従来の単一判別器で構成されるCADシステムの約半分になることが確認され、腫瘍影検出システムの高度化に明るい見通しを得た。(小畑)

(3) デジタルマンモグラフィを利用したマンモグラフィCADシステムの開発

FCRを使用したDigital Mammographyに対するComputer-aided Diagnosis (CAD)の開発を行ってきたが、今年度はプロトタイプ読影システムを用い大規模読影実験を行った。対象は1998~1999年1年間、当センターで撮影された1300症例からマンモグラフィで大きさが20mm以下の診断が確定した乳癌90症例を含む225例を無作為抽出し、3グループ各75症例(乳癌30例を含む)に分け、フィルム(CR)・液晶モニタ・液晶モニタ+CADの3モダリティで、15名の乳癌検診マンモグラフィ読影認定専門医による読影を実施した。読影する症例は左右2方向計4枚で、もし乳癌の可能性があれば読影シートに「乳癌を否定できず」「乳癌の可能性が高い」「乳癌が確実」のランクを付けて記入してもらい、1グループの読影時間は1時間以内とした。使用した症例に対するCADの性能は、微細集簇石灰化 画像単位 97% 拾いすぎ 0.9個/4画像。乳癌腫瘍(腫瘍、局所的非対称陰影、構築の乱れを含む) 画像単位 76% (比較的診断が易しい症例100%診断が難しい症例34%) 拾いすぎ 1.4

個／4画像であり、総合検出率は画像単位 87% (全 90 例 179 画像) 拾いすぎ 2.3 個／症例であった。読影医全員による ROC 曲線の Az 値は、CAD 付き液晶モニタ 0.86、液晶モニタ 0.85、Film 0.83 であり、CAD 付き液晶モニタが最も高い数値を示した。さらに詳しく医師の成績を見ると、医師の sensitivity は平均 62% であり、最も成績の良い医師で 83%、ふるわなかった医師では 40% であった。一方 CAD の sensitivity は 87% であり、specificity が異なるため単純に比較はできないが、コンピュータソフトの検出感度は「読める医師」にかなり近づいていると考えられたが、CAD を使用して読影する方法の開発が必要であると考えられた。(縄野)

〔肺がんに対する CAD〕

(1) アルゴリズムの精度向上

肺がん検診用 X 線 CT システムの診断支援を目的として、5 種類の互いに独立した認識手法を併用し、それらを統合処理することにより精度向上を図る実験を行った。①血管など肺野内の解剖学的情報ならびに病巣陰影を 3 次元の幾何学的モデルで近似して計算機内部に蓄積し、これと入力画像とを比較して識別する方法 (以下モデルマッチング法)。②関心領域内の CT 値そのものを特徴量として捉え、それに主成分分析法を適用して情報圧縮した部分空間法と呼ばれる方式による識別法 (以下部分空間法)。③発見的特徴解析・識別法をしきい値の設定法で 3 種類に細分化した。すなわち、濃度値の谷間に注目する識別法 A、濃度値の略中央部に注目する識別法 B、およびしきい値を 7 種類用意し、それぞれのしきい値による特徴量をすべて使いながら、主成分分析により情報圧縮を行う識別法 C である。また実験方法として、学習段階では施設が 3 施設と互いに異なりシングルスライス CT で撮影されたものを用い、認識段階では学習時とは異なる施設のマルチスライスで撮影されたものを用いるという大胆な実験を行った。実験結果では、上記 5 種類の拾いすぎ個数は TP を 90% としたとき 200-400 個であったが、5 つを統合した手法では 24 個まで低減させることができた。(山本)

(2) 肺がん鑑別支援システム

Thin section CT images (0.5mm 厚) の拡大撮影画像の結節画像データベースを構築し結節を数量的に体系化する手法について研究した。従来、結節を solid, mixed GGO (part-solid), pure GGO (nonsolid) に分類する視覚的な評価が広く用いられている。ここでは、結節内の CT 値ヒストグラムを作成し、ヒストグラムの形状によって結節を定量的に 5 つに分類し、さらに結節の大きさで 6

カテゴリに分け、合計 30 種類に分類する手法を考案した。245 症例の結節をこの分類に当てはめると、本手法によって得られる分類結果と結節の悪性度及び、病期との関連が確認された。胸部総合診断支援システムの研究開発は、検診用 thin section CT images (2mm 厚) と診断用 thin section images (1mm 厚) の画像を用いて進めている。これには肺がん以外の疾患、肺気腫、冠動脈石灰化、骨粗鬆などの検出を目指している。

冠動脈石灰化検出は縦隔領域の大動脈・肺動脈を特定し、冠動脈が走行する心臓表面領域の高濃度の小領域を検出するものである。これを 404 症例に適用して対象とする石灰化のスコア別に FROC 解析を行った結果、石灰化の強いスコア 6 の場合、感度 100% を得る FP は 1 症例当たり 0.05 箇所であり、本手法の実用化に向けて有用な結果が得られている。

骨粗鬆症検出は脊椎を解析して各胸椎を特定し、その海綿骨部の CT 値・骨密度値を測定して行う。まず脊椎から胸椎を分離・特定するアルゴリズムを研究開発した。290 症例に適用した結果、抽出成功率 83% を得ている。性別・年齢別に分離した胸椎における CT 値の分布から胸椎単位での定量的な解析が可能となり、骨粗鬆症検出への応用に期待がもてる。(仁木)

(3) 胸部 CT 画像からノジュールの自動検出

胸部 X 線 CT 画像の肺野領域に存在する結節状陰影 (ノジュール) の自動検出方法を開発した。これまでに我々は GA テンプレートマッチングを利用した手法を提案してきた。GA テンプレートマッチングは、直径 7mm 以上の陰影について比較的高い検出能を示すため、7mm 以下の陰影の検出に注目した。ここでは、平面図形の認識に利用される自己相関特徴を 3 次元図形の認識にも適用できるよう拡張した。さらに、重回帰分析の手法を画像認識の手順に応用することによって、一般に長時間かかる学習時間を約 30 分程度短縮した。

直径 7mm 以下の陰影 55 個 (35 症例) を用いて実験を行った結果、真陽性率 95%、症例あたりの偽陽性数 1.05 個を得た。また、従来法と組み合わせ直径 10mm 未満の陰影 136 個について実験を行った結果、真陽性率 94%、症例あたりの偽陽性数 2.05 個を得た。(池田)

〔胃がんに対する CAD〕

本年度は胃 X 線二重造影像を対象として、2 次元の単純撮影 X 線像に 3 次元情報が反映されていることに着目した医療画像認識基礎技術の開発に関して検討した。可視光による一般の反射型画像に対し、X 線画像は、X 線が通過するすべての点に関する情報が重畳して可視化さ

れる透過型の画像であることが特徴である。したがって、単一方向から撮影される2次元投影像においても3次元情報が反映されている。このことに着目し、3次元情報の抽出と利用について検討した。とくに、交叉情報としての構造幾何学的性質、および、X線の減衰モデルから3次元情報を求める手法を用いて、観察対象の検出およびひだ集中による病変部位の検出を試みた。また、医用画像診断支援システムで重要となる画像の知的強調表示の機能として、いわばインテリジェントシャウカステンとでも呼称すべき、選択的強調の手法について検討した。さらに、本年度は、胃X線二重造影像から脊柱領域を自動識別する手法の改善を図った。まず、オブジェクト空間表現を用いたハフ変換・垂直ハフ変換により、はしご構造を検出した。それによる脊柱側線の粗抽出にもとづき、ダイナミックプログラミングを用いた関数最適化によって詳細化を図った結果、従来の方式に対し、識別精度の改善を図ることができた。(福島)

〔肝臓がんに対するCAD〕

我々の方法は、4時相CT像の時間変化を記述して、それをもとに病変領域を抽出するものである。今年度は肝臓領域抽出法の改善を行い、その結果を利用して病変抽出実験を行った。

(1) 肝臓領域抽出手順の改善

今回、各画像から大まかな肝臓領域を抽出した後、それぞれの肝臓領域を統合するという新しい抽出手順を開発した。実験は、X線CT像17例で、画像の内訳は4列マルチスライスCTが15例、16列マルチスライスCTが2例である。4列マルチスライスCT像はビーム厚2mm、再構成間隔1mm、16列はビーム厚1mm、再構成間隔0.5mmである。結果として、17例中14例で抽出が成功した。失敗した3例は、それぞれ、①大きな病変領域の抽出失敗(図1)、②左葉先端部欠損、③多臓器(脾臓)の過抽出であった。①の原因は、病変内が壊死しており、しきい値処理でその領域が抽出できなかったためである。②の原因は、左葉先端部は非常に細い領域であるため、図形融合処理で除去されてしまったためである。上記③は、1つの時相でしきい値選択を失敗したのが直接の原因である。ただし、従来手順と比べると、すべての画像で結果が改善された。(長谷川)

(2) 肝臓病変検出

我々は、CT値の時間変化を積極的に利用した検出手順を開発した。実際の肝臓細胞がんをもつ症例14例に適用した。画像は4列マルチスライスCTが9例、16列が5例である。それぞれの症例には最低1個の病変が存在し、

4列の9症例には計13個、16列の5症例には計6個の病変が存在する。見落としはなく、拾いすぎは4列で0.66個/症例、16列で1.4個/症例であった。4列より16列の結果が悪いのは、画像のSN比が4列に比べてあまりよくないこと、4列のCT像から作られた判定パターンを用いたこと、などが原因と考えられる。(長谷川)

〔3次元仮想化人体と仮想化内視鏡〕

(1) 気管支枝名対応付け手法の改善

CT像から取り出された気管支領域の各枝に対して解剖学的名称を自動的に対応付ける手法の開発を進めた。

従来手法では気管支の部位(右上葉、右中下葉、左上葉、左下葉)毎に分岐バリエーションを考慮した複数モデルを用意し、実際の気管支木構造とモデルとの差異を評価して選択されたモデルに基づき枝名を決定した。今回は、中枢部から末梢部に向かって枝名に対応付ける際に、分岐レベルが進むにつれて候補となるモデルをふるい落としながら枝名の対応付けを行う手法の開発を行った。また、ある親枝から分岐する兄弟枝以降への枝名対応付けでは、ふるい落とされるモデルをそれぞれ独立して選択できるようにした。さらに、右上葉部では、右上葉における枝の分岐特徴に特化した枝名対応付け手法を開発した。

3次元胸部CT像17症例から取り出された気管支領域に対して枝名対応付けを行った結果、枝名の正当率が82.4%から94.6%へと大幅に向上した。(末永、名取)

(2) 気管支名の自動命名に関する検討

胸部CT検査を施行した25例のCTデータを対象とし、気管支領域の抽出と気管支枝名の自動命名を行った。次に、気管支内腔をボリューム・レンダリング表示してナビゲーションし、オリジナルCT像も参照しながら気管支の枝名を決定した。その結果に基づいて自動命名された枝名を手動で修正し、気管支分岐モデルの記述ファイルを更新あるいは追加した。初期システムは合計で17の気管支モデルを有していたが、今回の更新・追加によって現時点で60の気管支モデルを有することができた。また、対象症例、異常影の部位、および現在のシステムによって描出され命名された気管支数では、区域支レベルで84%~100%の気管支を描出・命名した。亜区域支レベルでみると、右B6a、右B10c、左B6b、左B6c、左B10cを除くと、概ね65%以上の精度で描出・命名できた。

(名取)

(3) 映像強化内視鏡

実際の内視鏡検査の映像を、同じ被検者の仮想化人体から生成した仮想内視鏡画像を用いて強化する(情報を

増強する)という意味での映像強化内視鏡 (augmented endoscopy)の開発を進めた。特に今年度は3次元位置センサーを併用した内視鏡先端位置推定の精度向上と高速化を目的とし、ファントム実験によって検証を行った。

気管支ファントムの3次元X線CT像、実内視鏡映像、位置センサから得られる5自由度(並進3自由度、姿勢2自由度)の情報をそれぞれ入力とし、そのうちの3自由度の並進情報を用いて内視鏡の現在位置を推定する。CT像の仕様は、画素数:512×512×361画素、磁気式位置センサはNorthern Digital社のAuroraを用いた。Auroraの測定可能空間は500mm×500mm×500mmである。今回の実験では測定間隔は0.1秒に設定した。Fiducial Registration Errorは1.53mmであった。今回用いたセンサでは内視鏡の視線方向を軸とする回転情報は得られないため、画像間類似度を利用した内視鏡動き推定手法を組み合わせた結果、概ね良好な推定結果が得られることを確認した。(末永)

[CT画像物理特性とCAD]

マルチスライスCT装置の胸部CT検診への利用が進むに伴い、多量に発生するCT画像に対するコンピュータ診断支援システム(CADシステム)の役割に期待が寄せられている。マルチスライスCT装置では、CT撮影・画像再構成条件の選択により、CT画像特性は多様に変化するため、その物理特性とCADシステム病巣指摘能の関係に対する検討が必要である。そこで、現在研究開発中のCADシステムについて、胸部CT検診品質管理用に開発されたLSCCTファントムを用いて、その模擬結節検出能とCT画像物理特性の関係を検討した

使用したCT装置は、マルチスライスCT装置16列Aquilion(東芝メディカル社製)であり、撮影条件は管電流300,210,80,50,15(mA)、管球回転速度0.5sec/rot、検出器1mm×16、テーブル移動15mm/rotであり、画像再構成は、再構成スライス厚3,5,10(mm)、再構成kernel fc01,fc10,fc20,fc30,fc50,fc51,fc52,とした。画像再構成kernelは、その半値幅からノーマルモード(fc01,fc10,fc20,fc50)と高分解能モード(fc30,fc51,fc52)の2つに分類された。部位毎のCADによる高コントラスト模擬結節検出結果は、高分解能モードkernelに対して画像ノイズと最小検出径の間に $P < 0.01$ の有意な正の相関を認め、ノイズの上昇に伴って検出可能な結節径が大きくなり、径の小さい模擬結節が検出されなくなる傾向を示した。これに対して、ノーマルモードkernelでは、撮影条件によるノイズの大きな変動が見られず、ノイズと最小検出径の間に顕著な有意相関

は認められない傾向を示し、管電流、実効線量の変化に対して、最小検出径が一定の傾向を示した。ノーマルモードkernelのCT画像に対するCADの最小検出径は、スライス厚3mm及び5mmに対して、肺底部の一部を除いて、4mm～6mm以上最小検出径を示し、10mmスライス厚では気管分岐部で6mm、肺尖部、肺底部では6～10mmの最小検出径となった。実効線量は、管電流300mAで9.5mSvであった。(和田)

3 倫理面への配慮

本研究では実験で使用する画像と付属する個人情報に対し次のように配慮した。(a)画像は班員の研究室以外には物理的にも電子的にも持ち出さない。(b)画像に付随する個人情報は削除する。(c)読影実験や評価実験に携わった医師名は公表しない。(d)研究の過程で知り得た個人や施設に関する情報は外部に公表しない。(e)班員は上記留意事項をグループ関係者に周知徹底する。

研究成果の刊行発表

外国語論文

1. Shimizu A., Nawano S.: Preliminary report of competition for liver region extraction algorithms from three-dimensional CT images, Proc. CARS, p.1361, 2004.
2. Furuya S., Kobatake H., Nawano S., et al.: Improvement of performance to discriminate malignant tumors from mammograms by feature selection and evaluation of feature selection criteria, Systems and Computers in Japan, Vol.35, No.7, pp.72-84, 2004
3. Shimizu A., Kobatake H.: Registration Method for Interval Change Detection between Two Chest X-ray Images with Different Rotation Angles, Proc. of CARS, pp.917-922, 2004
4. Hu X., Kobatake H., Nawano S.: Analysis of multi-phase computed tomography using ICA mixture model, Proc. of APCCM 2004, pp.61-67, 2004.
5. Hu X., Kobatake H., Nawano S.: Applying ICA mixture analysis for segmenting liver from multi-phase abdominal CT images, Proc. of MIAR2004, pp.54-61, 2004.
6. Hu X., Kobatake H., Nawano S.: Independent component analysis of four-phase abdominal CT images, Lecture

- Notes in Computer Science (Proc. of MICCAI, Saint Malo, France), Vol.3217, pp.916-924, 2004
7. Hu X., Kobatake H., Nawano S.: ICA mixture analysis of Four-Phase abdominal CT images, *IEICE Trans. on Int. & Syst.*, Vol. E87-D, No. 11, pp. 2521-2525, 2004.
 8. Lipikorn R., Kobatake H.: Three-Dimensional Object Recognition Using Modified Exoskeleton and Extended Hausdorff Distance Matching Algorithm, Proc. ICIAR, pp.697-704, 2004.
 9. HIRAI D., Kobatake H., Nawano S.: Improvement of malignant tumor detection system based on the information arising from mammographic asymmetries, Proc. IWDM, 2004. (in printing)
 10. Nemoto M., Kobatake H., Nawano S.: Two-stage method for feature selection from a large number of features for CAD system classifier, Proc. IWDM, 2004. (in printing)
 11. Kobatake H.: A Convergence Index Filter for Vector Fields and Its Application to Medical Image Processing, Systems and Computers in Japan, Vol.36, 2005 (in printing)
 12. Nakamura Y., Yamamoto S.: Eigen Nodule:View-based Recognition of Lung Nodule in Chest X-ray CT Images Using Subspace Method. Proc. of SPIE, Medical Imaging 2004, Image Processing, pp. 980 -984, 2004
 13. Takizawa H., Yamamoto S.: Recognition of Lung Nodule Shadows from Chest X-ray CT Images Using 3D Markov Random Field Models. Systems and Computers in Japan, vol.35, pp.1401-1412, 2004
 14. Takizawa H., Yamamoto S.: Construction Method of Three Dimensional Template Models of Human Organs for Medical Image Recognition. Proceedings of the Tenth International Conference on Virtual System and Multimedia(VSMM2004), pp.516-525, 2004
 15. Takizawa H., Yamamoto S.: Construction Method of Three Dimensional Template Models of Organs for Medical Image Recognition. Proceedings of the Third Symposium on Intelligent Human Sensing(IHSS2005), pp.211-214, 2005
 16. Kawata Y., Niki N.: Pulmonary nodule classification based on CT density distribution using 3D thoracic CT images. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5369, pp.413-422, 2004.
 17. Yamamoto T., Niki N.: Visualization and quantitative analysis of lung microstructure using micro CT images. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5369, pp.431-438, 2004.
 18. Nishioka D., Niki N.: Comparative evaluation of lung test based on 2- and 10-mm thickness multi slice CT image. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5370, pp.896-903, 2004.
 19. Kawata Y., Niki N.: Image-guided decision support system for pulmonary nodules classification in 3D thoracic CT images. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5370, pp.1008-1017, 2004.
 20. Oda T., Niki N.: Nodule detection algorithm based on multi slice CT images for lung cancer screening. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5370, pp. 1083-1090, 2004.
 21. Sato H., Niki N.: Computer-aided diagnosis workstation and database system for chest diagnosis based on multi helical CT images. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5371, pp.402-412, 2004.
 22. Hasegawa M., Niki N.: A Prospective study of CAD system for lung cancer based on helical CT image. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5372, pp.430-437, 2004.
 23. Saita S., Niki N.: An Extraction algorithm of pulmonary fissures from multi slice CT image. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5370, pp.1590-1597, 2004.
 24. Takeda Y., Niki N.: CAD system for lung cancer CT screening. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5370, pp.1101- 1108, 2004.
 25. Yamamoto T., Niki N.: Automatic slice image matching algorithm for comparative reading that uses with data of the pulmonary structure. Proc. SPIE Medical Imaging, Vol.5370, pp.1091-1100, 2004.
 26. Kawata Y., Niki N.: Pulmonary nodules classification based on nodule retrieval from 3-D thoracic CT images database. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI), Vol. LNCS3217, No.2, pp.838-846, 2004.
 27. Kawata Y., Niki N.: A computerized approach for estimating pulmonary nodule growth rates in three-dimensional thoracic CT images based on CT

- density histogram. Proc. SPIE Medical Imaging, to appear, 2005.
28. Kudo M., Niki N. : CAD System for Lung Cancer Screening using Low Dose Thick-slice CT Images. Proc. SPIE Medical Imaging, to appear, 2005.
 29. Tachibana H., Niki N. : An Extraction Algorithm of Pulmonary Fissures from Multi-Slice CT Image. SPIE Medical Imaging, to appear, 2005.
 30. Yamamoto T., Niki N. : Visualization and quantitative analysis of lung microstructure using micro CT images. Proc. SPIE Medical Imaging, to appear, 2005.
 31. Nakashima H., Niki N. : Computer-Aided Diagnosis Algorithm for Lung Cancer using Retrospective CT Images. Proc. SPIE Medical Imaging, to appear, 2005.
 32. Itoh S., Ikeda M. : Late-arterial and portal-venous phase imaging of the liver with a multislice CT scanner in patients without circulatory disturbances: automatic bolus tracking or empirical scan delay? European Radiology, Vol. 14 (9), pp. 1665-1673, 2004.
 33. Zhang R., Ikeda M. : A telemedicine system for collaborative work on radiographic coronary video-images. Journal of Telemedicine & Telecare, Vol. 10 (3), pp. 152-155, 2004.
 34. Iwano S., Ikeda M. : Solitary pulmonary nodules: optimal slice thickness of high-resolution CT in differentiating malignant from benign. Clin Imaging, Vol. 28 (5), pp. 322-328, 2004.
 35. Ishigaki S., Ikeda M. : Multi-slice CT of thyroid nodules: comparison with ultrasonography. Radiatio Medicine, Vol. 22 (5), pp. 346-353, 2004.
 36. Ikeda M. : Effects of monitor luminance change on observer detection performance. Computerized Medical Imaging and Graphics, Vol. 29 (1), pp. 35-41, 2005.
 37. Fukushima S. : Partial matching accuracy indices for shapes, Systems and Computers in Japan, 35/6, 50-58, 2004
 38. Watanabe S., Hasegawa J. : Automated Detection of Liver Cancer Regions from Multi-phase CT Images Using Density Transition Features. 18th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS 2004), Chicago 2004.
 39. Ema S., Hasegawa J., Natori H. : An Improved Method for Automated Anatomical Labeling of Bronchial Branches Extracted from 3-D CT Images. CARS 2004 Computer Assisted Radiology and Surgery, ICS 1268, ELSEVIER, p.1358, 2004.
 40. Hirano Y., Hasegawa J. : Recognition of Boundary Voxels of Tumors in Chest CT Images for Extraction of Tumor Regions. CARS 2004 Computer Assisted Radiology and Surgery, ICS 1268, ELSEVIER, p.1359, 2004.
 41. Kusanagi T., Hasegawa J. : Finding Corresponding Lung Nodules in Sequential Chest CT Images by Coarse-to-Fine Matching. Proc. 6th Asia-Pacific Conference on Control and Measurement (APCCM 2004), pp.318-320. 2004.
 42. Nagao J., Suenaga Y., Hasegawa J., Natori H. : Fast and Accurate Bronchoscope Tracking Using Image Registration and Motion Prediction. Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention - MICCAI 2004, Part II, LNCS 3217, Springer, pp.551-558 2004.
 43. Watanabe S., Hasegawa J. : Liver Cancer Detection by Using Density Transition Features Obtained from Multi- phase CT Images. Proc. SPIE Medical Imaging 2005
 44. Toriwaki J., Hasegawa J. : Recent Progress in Medical Image Processing : Image Processing Technologies: Algorithms, Sensors, and Applications, MARCEL DEKKER, New York, Basel, pp.233-257. 2004
 45. Mori K., Suenaga Y., : An Improved method for generating virtually stretched views of organs based on volumetric image deformation. Proceedings of the 18th International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) 2004, 1268, pp. 25-30, 2004.
 46. Mori K., Suenaga Y., Natori H., : Improved camera-tracking method by combining motion prediction and image registration for bronchoscope navigation system. Proceedings of the 18th International Congress and Exhibition on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS) 2004, 1268, p.1261, 2004.

47. Furukawa D., Suenaga Y. : Spine Posture Estimation Method from Human Images Using 3D Spine Model, 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2004), Vol.3, pp.322-325, 2004.
48. Morita J., Suenaga Y., Ikeda M. : Chance Discovery in Image Diagnosis: - Analysis of Perceptual Cycles -. Proceedings of First European Workshop on Chance Discovery, pp. 162-171, 2004/08
49. Mori K., Suenaga Y. : Virtual Unfolding of the Stomach Based on Volumetric Image Deformation, 7th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2004), Proceedings, Part II, LNCS 3217, pp.389-396, 2004.
50. Kitasaka T., Suenaga Y. : Virtual pneumoperitoneum for generating virtual laparoscopic views based on volumetric deformation, 7th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2004), Proceedings, Part II, pp.559-567, 2004.
51. Nagao J., Suenaga Y., Hasegawa J., Natori H., Fast and Accurate Bronchoscope Tracking using Image Registration and Motion Prediction, 7th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2004), Saint-Malo, France, September 26-29, 2004, Proceedings, Part II, pp.551-558, 2004.
52. Furukawa D., Suenaga Y. : Human Spine Posture Estimation Method from Human Images to Calculate Physical Forces Working on Vertebrae, 7th International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2004), Proceedings, Part II, pp.302-310, 2004.
53. Kitasaka T., Suenaga Y. : Development of Advanced Image Processing Technology and Its Application to Computer Assisted Diagnosis and Surgery, Proceedings of the fifth Pacific Rim Conference on Multimedia, pp.514-521.2004.
54. Natori H. : Study on three-dimensional display and navigation of the bronchiolo-alveolar structure of the lung by sub-macroscopic virtual bronchoscopy. European Radiology; 14, 329.2004.
55. Natori H. : A phantom for daily practice in diagnostic ultrasound. Seventh Congress of the Asian Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology., 147.2004.
56. Natori H., et. al. Navigation through Bronchiolo-Alveolar Space by Virtual Microscopic Bronchoscopy. Proc. of the 90th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America, p.802, 2004.
57. Takabatake H., Natori H. : Automated Method for Nomenclature of Bronchial Branchings for Virtual Bronchoscopy. Proc. Of the 90th Scientific Assembly and Annual Meeting of Radiological Society of North America, p.807, 2004..
58. Matsumoto T., Wada S. : Method of evaluating the effectiveness of double-checking in interpreting mass screening images, PROCEEDINGS of SPIE, Vol.5372, PP. 496 -508
59. Matsumoto T., Wada S. : An assessment of the potential for interpretation of CT images by radiological technologists, Proceedings of SPIE, in print
60. Wada S. : Measurements and precisions of point spread function of multi-slice CT. Proceedings of SPIE, in print
61. Wada S. : Evaluation of Signal and Noise and Exposure in Medical Image for CAD, Symposium on Future CAD, proceedings of the first international symposium on intelligent assistance in diagnosis of multi-dimensional medical images,1:64-67 2005.

日本語論文

1. 縄野 繁、小畑秀文 : マンモグラフィーCAD システムの臨床導入への課題 像情報 Medical、Vol.36 No.4 : 416-420、2004.
2. 縄野 繁 : マンモグラフィーと CAD、医療機器システム白書 : 13-15、2004
3. 縄野 繁 : CAD システムの医療への展開、CADM News Letter、No.42 : 6-9、2004
4. 武尾英哉, 小畑秀文 : 乳房 CR 画像を用いた異常陰影検出システムの開発と性能評価, Medical Imaging Technology, Vol.22, No.4, pp.201-214, 2004
5. 小畑秀文 : CAD システムの最新動向と実用化への道.新医療、Vol.31, pp.88-90, 2004.
6. 小畑秀文 : 画像診断支援システムの開発—臓器一括診

- 断へ向けて一、医学のあゆみ、Vol.208, No.7, p.635, 2004.
7. 小畑秀文：ベクトル集中度フィルターその基本概念と応用一、画像ラボ、Vol.15, No.6, pp.39-42, 2004.
8. 小畑秀文：医用画像とパターン認識—その現状と特集の狙い—、ヒューマンインターフェース学会誌、Vol.6, No.3, pp.157-162, 2004.
9. 根本充貴, 小畑秀文, 縄野繁：多数の特徴量からの特徴選択による乳房 X 線像上の腫瘍影判別精度の改善と高速な特徴選択法の提案, 電子情報通信学会論文誌 D-II (印刷中)
10. 武尾英哉, 小畑秀文：乳腺比率に基づく CR マンモグラムの自動分類法, Medical Imaging Technology, 2005. (印刷中)
11. 滝沢穂高, 山本眞司：医用画像認識のための 3 次元テンプレート臓器モデルの構築. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 37-42, 2005
12. 奥村俊昭, 山本眞司：検診用胸部 X 線 CT 像における Active Cylinder Model を用いた肺野領域抽出法の改良. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 49-54, 2005
13. 松本努, 山本眞司：肺がん診断支援システムのための 2 次元・3 次元モデルマッチング手法の統合と性能評価. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 55-58, 2005
14. 池本健介, 山本眞司：胸壁および血管の正常構造を考慮した X 線 CT からの肺結節の認識. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 59--64, 2005
15. 中村嘉彦, 山本眞司：肺結節陰影の位置ずれや回転を考慮した部分空間法による X 線 CT 画像の認識. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 119-124, 2005
16. 原田実, 山本眞司：多重閾値型特徴量抽出法を用いた X 線 CT 肺結節偽陽性陰影の削減. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 125--130, 2005
17. 水野慎士, 山本眞司：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. 電子情報通信学会技術研究, MI2004-81~112, 131-136, 2005
18. 仁木 登：CT による肺疾患検診への CAD 応用, 映像情報メディカル, Vol.36, No.4, pp.402-409, 2004.
19. 仁木 登：肺癌における CAD システムの現状と将来, DIGITAL MEDICINE, Vol.4, No.6, 2004..
20. 仁木 登：肺癌のヘリカル CT 検診における CAD, 臨床放射線, Vol.49, No.3, pp.395-402, 2004.
21. 仁木 登：CT による肺疾患検診への CAD 応用、映像情報, Vol.26, No.4, pp.402-409, 2004.
22. 新美孝永, 池田充：マルコフ連鎖を用いた医用画像の視覚評価法とそれに伴う新しい画像観察法 (マルコフ連鎖型画像観察法) の考案. 電子情報通信学会誌 A 掲載予定
23. 福島重廣：濃淡包絡面の推定にもとづく医用 X 線画像の画質改善に関する研究, インナービジョン, 19/7, p.42, 2004
24. 吉永幸靖, 福島重廣：曲線長分類を用いた胃領域検出と診断支援システムへの応用, 電子情報通信学会技術研究, MI2004-33, 27-30, 2004
25. 林 雄一郎, 末永 康仁, 造影 3 次元腹部 X 線 CT 像からの肝臓領域自動抽出手法の開発, コンピュータ支援画像診断学会論文誌, Vol.8, No.1_3, pp.18-30. 2004.
26. 草薙 卓, 末永 康仁, 名取 博, 他：胸部 X 線 CT 像を対象とした局所投影による経時画像間の結節対応付け. 信学技報 MI2003-86, Vol.103, No.598, pp.65-70, 2004.
27. 出口大輔, 末永 康仁, 名取 博, 他：イメージレジストレーションと動き予測を利用した気管支鏡の動き推定精度向上に関する検討. 信学技報 MI2003-88, Vol.103, No.598, pp.77-82, 2004.
28. 早瀬陽介, 名取 博：3 次元胸部 X 線 CT 像からの多発性小結節検出手法. 電子情報通信学会論文誌. 2004; J87-D2 (1): 219. 2004
29. 佐藤 嘉晃, 名取 博：マイクロ CT 画像を用いた肺微細構造からの肺胞領域の抽出. 電子情報通信学会技術研究報告. 2004; 49-54. 2004
30. 和田真一：CT angiography の血管描出能と point spread function の関係, 胸部 CT 検, Vol.10, PP200-209, 2004
31. 大久保真樹, 和田真一：CT 画像系における Line Spread Function (LSF) および Slice Sensitivity Profile (SSP) と Point Spread Function (PSF) の関連, 医学物理, Vol.24, PP115-122. 2004.
32. 松本 徹, 和田真一：胸部検診用 CT 撮影マニュアル—シングルスライスヘリカル CT を対象にして—, 胸部 CT 検診, Vol.11, No.3, PP228-243, 2004.
33. 松本努, 和田真一：肺がん診断支援システムのための 2 次元・3 次元モデルマッチング手法の統合と性能評価, 信学技報, 印刷中
34. 池田健介, 和田真一：胸壁および血管の正常構造を考慮した X 線 CT からの肺結節の認識, 信学技報, 印刷中
35. 中村嘉彦, 和田真一：肺結節陰影の位置ずれや回転を

考慮した部分空間法による X 線 CT 画像の認識, 信学技報, 印刷中

36. 原田実、和田真一: 多重閾値型特徴量抽出法を用いた X 線 CT 肺結節擬陽性陰影の削減, 信学技報, 印刷中

37. 水野慎士、和田真一: 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, 印刷中