

[原著論文]

胸部CT像からの肺野領域とスリガラス状陰影の 自動抽出

金 亨燮¹、前門 雅岐¹、石川 聖二¹、佃 正明²九州工業大学¹、九州厚生年金病院²

要約：近年、医療分野ではCTやMRI画像を始めとする様々な画像診断ツールが開発されている。胸部CT画像上の肺野領域の抽出とその解析に関する研究も幾つか提案されているが、3次元構造の解析を必要とするなどの問題点がある。また、読影の際にはスリガラス状陰影の占める領域が大きければ、比較的容易に病変部の抽出が可能であるが、小さい領域として陰影が存在する場合は、その淡さのために見落とす可能性は高くなる。本論文では、2次元胸部CT像からフィルタ処理による肺野領域の自動抽出を行い、得られる肺野領域内のスリガラス状陰影の候補領域を自動抽出する手法を提案する。スリガラス状陰影の候補領域の抽出には、スリガラス状陰影のテクスチャ特徴として、微分ヒストグラムの歪度および尖度を用いる。提案法を実CT像に適用し、その結果と考察を述べる。

キーワード：CT画像、CAD、肺野領域、スリガラス状陰影

Automatic extraction of lung regions and ground glass opacities from the lung CT images

Hyungseop KIM¹ Masaki MAEKADO¹ Seiji ISHIKAWA¹ and Masaaki TSUKUDA²Department of Mechanical and Control Engineering, Kyushu Institute of Technology¹
Kyushu Kouseinenkin Hospital²

Abstract: In recent year, various imaging techniques have been introduced into medical fields as useful tools for providing helpful information for visual inspections. For example, magnetic resonance imaging and computed tomography, etc., are those already established imaging techniques. Accordingly many related image processing techniques have been developed and reported in medical imaging fields. In the field of X-ray CT images, to segment of lung cancer region several approaches are reported in the past. Many of them need some knowledge-based schemes based on 3-D structure such as a blood vessel. In this paper, we propose a technique for automatic extraction of lung areas and its measurement of ground glass opacity by computer employing a set of chest CT images. In the first stage, we extract the lung area from the given 2-D CT images. In the next stage, ground glass opacity is extracted employing skewness and kurtosis. The technique was applied to 33 chest CT image sets and satisfactory results were obtained.

Key words: CT image, CAD, Lung Area, Ground Glass Opacity

Hyungseop KIM
Department of Mechanical and Control Engineering, Kyushu Institute of Technology
1-1, Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu 804-8550, Japan
E-mail: kim@cntl.kyutech.ac.jp

1. まえがき

医用画像処理分野では、画像処理技術を用いた可視化、認識・理解、画像生成などの様々な手法が提案されている。近年の医療分野には、病変部の早期発見や診断の効率化を図ることを目的として、CT (Computed Tomography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging) を始め、PET (Positron Emission computed Tomography) など様々な画像処理技術が取り入れられている。特に、CT画像からの画像診断は、連続回転操作が可能なヘリカルスキャンCTの急速な普及に伴い、その画質の鮮明さによる病変部の早期発見が可能になった。同時に、これらの画像情報から医師への診断支援を行うことを目的としたCAD (Computer Aided Diagnosis) システムは数多く提案されており、実用化に向けたシステム開発も着実に成果を挙げている [1-4]。

胸部画像診断においても、肺がん、肺炎などの肺疾患の早期発見を目的として、X線CTが活用されている。特に、近年のマルチスライスCT (Multi Detector-row CT; MDCT) を用いた画像診断の普及は著しく、画像解析法も種々提案されている。しかし、マルチスライスCTを始めとする画像解析では、読影すべき画像枚数の増大に伴う医師への負担が増加しているため、コンピュータによる計測の自動化が医療現場から強く要望されている。

コンピュータ画像解析による胸部CT像の画像解析に関する研究はいくつか提案されている。戸崎ら [5] は3次元CT像からの肺野内臓器の抽出分類法を提案している。また、肺野内の血管 [6] や結節の認識 [7-9]、さらに、肺野領域抽出 [10] や肺がん陰影の検出 [11, 12] に関する手法も提案されている。しかし、これらのほとんどは3次元モデルを前提としており、処理時間や構造的知識を要するなど問題点がある。

そこで本稿では、肺CT像からの肺野領域の自動抽出を行い、スリガラス状陰影の候補領域を抽出する手法を提案する。提案法は2次元CT像からのフィルタ処理により肺野領域の自動抽出を行い、肺野領域内のスリガラス状陰影の候補領域を抽出する2段階の処理から構成される。スリガラス状陰影の候補領域の抽出には、陰影のもつテクスチャ性に着目

し、テクスチャ特徴として、微分ヒストグラムの歪度および尖度を用いる。提案法を33症例の胸部CT像に適用し、肺野領域の自動抽出を行う。最後に、得られる肺野領域内のスリガラス状陰影候補領域を抽出する。胸部CT像からの肺野領域の自動抽出や、淡い病変部で示されるスリガラス状陰影の自動抽出法を確立することにより、医師への負担軽減や読影時の見落としの軽減が図られ有意義である。

以下2.では肺野領域の抽出とスリガラス状陰影の候補領域の抽出法について、3.では実験結果を述べる。また、4.では提案法および実験結果に対して考察を加える。

2. 画像解析手法

2-1 スリガラス状陰影

肺の疾患には肺炎、肺がん、肺気腫など様々なものがある。肺炎一つを例にとっても、間質性肺炎、カリニ肺炎、気管支肺炎など多くの疾患が存在する。このような肺の疾患の中で、過敏性肺炎、石線肺の初期、間質性肺炎、肺水腫の初期、肺泡微石症などは、症状としてスリガラス状陰影 (Ground Glass Opacity: GGO) を示す。

スリガラス状陰影とは、Fig. 1に示すように、CT画像上において内部の血管が認識可能な、比較的均一な淡い陰影 (白い円で囲まれた部分) のことである。スリガラス状陰影は、間質性陰影の一つであり、間質病変の初期の状態で見られる微細な間質繊維成分の増生を反映すると考えられている。この場合、陰影に重なって見られる肺血管陰影の状態は正常で

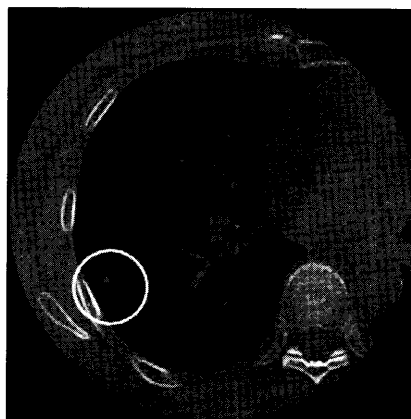


Fig.1 An example of GGO.

あり、病理学的所見としては、肺胞壁の肥厚あるいは肺胞内に細胞や液性成分の充満が見られる。CTでは区域性に、あるいは肺葉性に微細な点状陰影がほぼ均等に認められる [13]。CT画像上においてスリガラス状陰影の占める領域が大きければ比較的容易に陰影部の検出が可能であるが、小さい領域として陰影が存在する場合は、その淡さのために見落とす可能性が高くなる。このようなスリガラス状陰影の抽出は、肺野におけるCT画像診断で重要な課題の一つである。

2-1 肺野領域の抽出

本稿では、肺野領域内に存在するスリガラス状陰影を抽出するため、2次元スライス像上の肺野領域を自動抽出し、肺野領域内の陰影の検出を行う2段階処理によるスリガラス状陰影の抽出手法を提案する。その手法としてまず、与えられる胸部CT像に対して、処理に必要な外側の黒い領域の除去処理を行う (Fig. 2(b)参照)。次に、メディアンフィルタによる平滑化、2値化処理 [14] を施した画像に対するラベリング処理を行うことにより、2次元像上の肺野領域の自動抽出を行う (Fig. 2(c))。さらに、

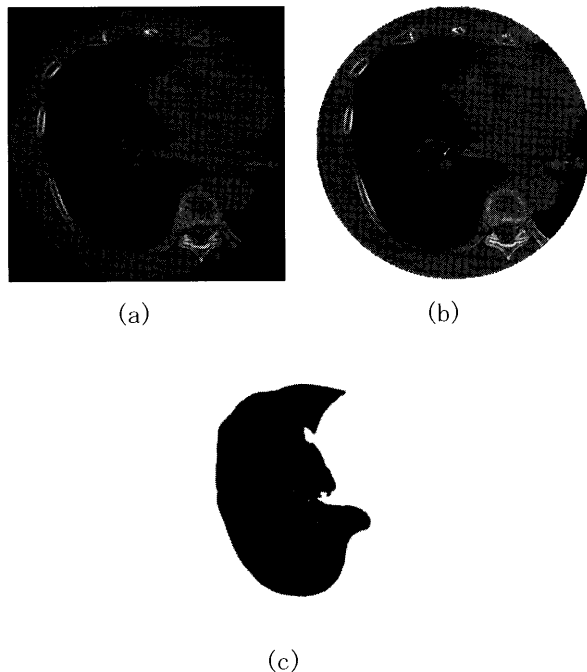


Fig.2 Extracting lung region: (a) The original image; (b) Elimination of outer black region; and (c) Extracted lung region.

抽出される肺野領域に対する膨張収縮処理を施すことにより、肺野領域内の小さい血管などの雑音成分を取り除く。

2-2 異常陰影の抽出

スリガラス状の陰影を含む異常陰影の候補領域を抽出するため、まずスリガラス状陰影の候補領域を抽出し、次に各候補領域に対して、それらが真にスリガラス状陰影であるか否かの再認識を行う。本稿では、GGOの持つテクスチャ特徴をパラメータとして、任意のサイズのマスクを決定し、領域内の濃度ヒストグラムの濃度平均値を求める。また、スリガラス状陰影の抽出には、微分ヒストグラムの歪度および尖度を用いる。歪度とは、ヒストグラムの形状が対称な形からどれだけ歪んでいるかの程度を表すパラメータで、尖度とは、ヒストグラムの分布が平均値のまわりに集中しているか、端の方へ広がっているかの程度を表すパラメータである。

まず、スリガラス状陰影を検出する原スライス画像に対し、それぞれのスリガラス状陰影の濃度ヒストグラムを作成し、濃度平均値を求める。濃度ヒストグラム $P(i)$ ($i=0, 1, \dots, n-1$) の濃度平均値 μ は次式で与えられる。

$$\mu = \sum_{i=0}^{n-1} iP(i) \quad (1)$$

ここで、各原画像上で求められる濃度平均値より、スリガラス状陰影の濃度平均値の分布範囲を決定する。

次に、肺野領域のみ抽出した画像に対し、 $n \times n$ の局所領域における濃度平均が、先に求めた範囲内であれば、その領域中央の画素を出力する。

さらにスリガラス状陰影候補領域の抽出と同様に、原画像に対して、それぞれにスリガラス状陰影の微分ヒストグラムを作成し、歪度および尖度を求める。全体が1になるように正規化された微分ヒストグラム $P(i)$ ($i=0, 1, \dots, n-1$) の歪度 S 、尖度 K は次式で与えられる。

$$S = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{i=0}^{n-1} (i - \mu)^3 P(i) \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{\sigma^4} \sum_{i=0}^{n-1} (i - \mu)^4 P(i)$$

各原画像上で得られる歪度 S および尖度 K から、スリガラス状陰影固有の分布範囲を決定し、各候補領域におけるその範囲を満足するものをスリガラス状陰影とみなし、最終的な結果を出力する。

本研究で用いる胸部 CT 像は全てが異常例であり、異常 33 症例 395 スライスで構成されている。各データセットには、スリガラス状陰影の存在するスライスとそうでないスライス画像が混在している。提案法では、医師のマーキングのあったスライス画像上の位置関係を、コンピュータにより抽出されるスリガラス状陰影の候補領域とで比較することにより認識結果を求める。なお、認識率 $r[\%]$ の計算には次式を用いる。

$$r = \frac{k}{n} \times 100$$

ただし、 n は全画像数、 k は正しく正常・異常部位を認識した画像数を表す。

なお、本法の平均的な性能を調べるため、認識率の計算にはリーブアウト法を用いる。リーブアウト法とは、ある一つのデータ群から得られる判定基準を、他のデータ群にも適用して認識率を求め、データ群を順々に変えて行う方法である。これによりデータのかたよりを排した評価が可能である。

3. 実験結果

提案法を MDCT 装置から得られる胸部 CT 像に適用した。実験では、胸部 CT 像を PC に取り込み、イーサネットを用いて EWS(PC-Unix: Pentium III 600MHz) に転送し、ワークステーション上で実験を行った。本稿で用いる CT 画像は、画像サイズ 512 × 512 画素で、16 ビットの階調データを 8 ビットに階調変換を行った 2 次元画像である。なお、全てのデータセットにおいてのスライス間隔は 2 ミリである。なお、実験で用いる胸部 CT データは 33 症例（全スライス数 395）で、それぞれ 6 から 27 スライスで構成されている。実験ではまず、症例毎のスリガラス状陰影の濃度ヒストグラムの平均値より、GGO の濃度ヒストグラムのとり得る濃度平均値の範囲を求める。なお、本稿で用いる局所領域のマスクのサイズは、51 × 51 である。次に、スリガラス状陰影の微分ヒストグラムのとり得る歪度および尖度の範囲を

決定し、最終的なスリガラス状陰影の抽出を行う。

Fig. 3 に異なる 3 症例のスリガラス陰影の抽出結果を示す。同図は上段から症例 1、症例 2、症例 3 の順で、図中の (a) は原画像を、(b) は肺野領域の抽出結果、(c) は最終的に得られたスリガラス状陰影（白線で囲む領域）の抽出結果を示す。いずれの結果からもほぼ正しい抽出結果が得られた。また、リーブアウト法で提案法を評価した結果、全体として 53% の平均認識率が得られた。

4. 考察とむすび

これまでに胸部 CT を対象とした画像診断支援システムは数多く提案されているが、スリガラス状陰影の候補領域を自動抽出する手法はほとんど見られないのが現状である。本法では、胸部 CT 像からの肺野領域を自動抽出し、その領域内のスリガラス状陰影の領域を抽出する手法を提案し、33 症例の実胸部 MDCT 像に適用した。肺野領域の抽出では、全てのスライスにおいて自動抽出ができた。

肺野領域内のスリガラス状陰影の抽出では、微分ヒストグラムからの歪度および尖度を用いることにより、スリガラス状陰影部の抽出が可能であることが確認できた。Fig. 4 にスリガラス状陰影部および他の領域における微分ヒストグラムを示す。同図 (a) はスリガラス状陰影部の微分ヒストグラムを、同図 (b) はスリガラス状陰影を含まない正常領域の微分ヒストグラムを、同図 (c) は血管領域を含むスリガラス状陰影部なしの正常領域の微分ヒストグラムをそれぞれ示す。各ヒストグラムには集中あるいは広がり程度の度々異なっている。また、他のスライスからも、スリガラス状陰影を含む場合と含まない領域との各ヒストグラムには同様な傾向が見られており、微分ヒストグラムからの歪度および尖度を用いた解析手法は有用であることが確認できた。

また、リーブアウト法による認識率を求めた結果、認識率としては満足のいく結果が得られなかった。しかし、提案法は、スリガラス状の淡い陰影を自動抽出するための手法を提案しているところに意義があり、スリガラス状陰影の持つ構造的特徴や形状などの他のパラメータを導入することにより、さらなる認識率の向上が図られるものと思われる。

胸部CT像からの肺野領域とスリガラス状陰影の自動抽出

Fig. 5 に過抽出の例を示す。同図は、GGO を正しく抽出しているが、他の血管領域も含まれており、過抽出になっている。過抽出の原因としては、病変部の領域を絞りこむためのパラメータの数が少ないことが挙げられる。なお、画像入力からスリガラス状陰影の抽出までの1スライスあたりの計算時間は

30秒であった。今後は、スリガラス状陰影の抽出結果から拾いすぎの領域が存在することや処理時間の問題、医師の読影結果との比較、データ数を増やしての定量的評価法の検討などが必要であり、これらを改善するためさらなる解析が必要である。

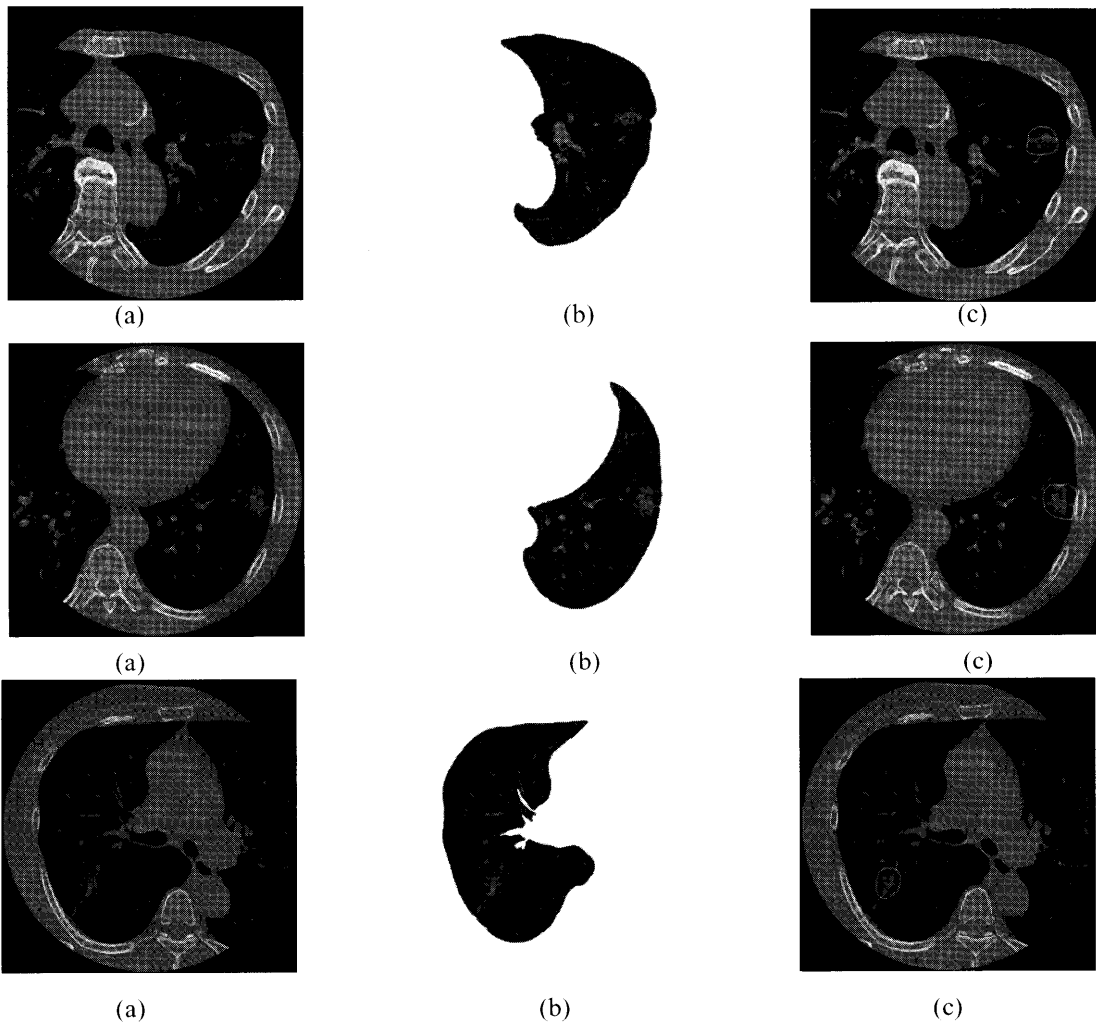


Fig. 3 Examples of extracted lung region: (a) shows an original image. (b) shows an extracted lung region. (c) shows an extracted GGO.

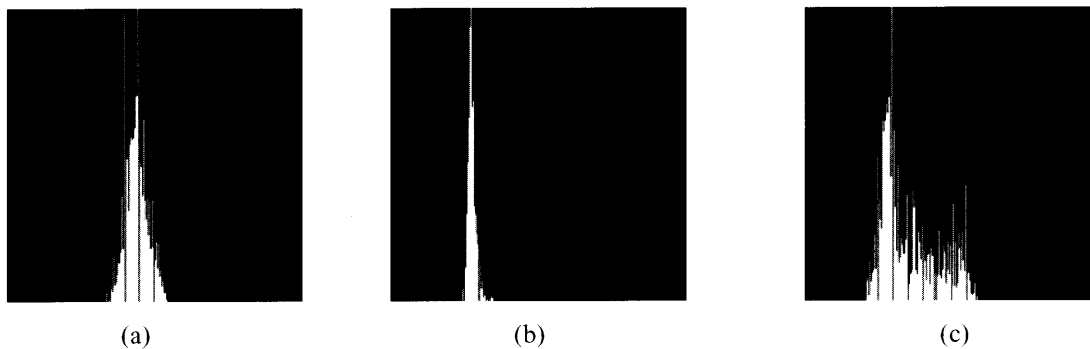


Fig. 4 Examples of histogram: (a) shows a histogram on the region of ground glass opacity. (b) shows a histogram on the normal region. (c) shows a histogram on the normal region which include blood vessel region.

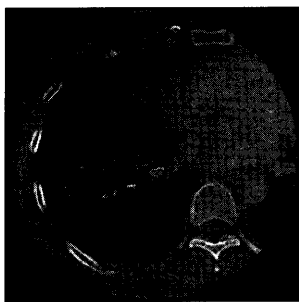
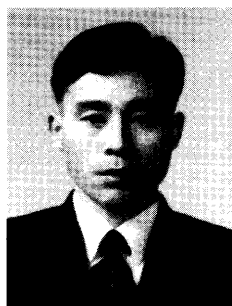


Fig.5 Examples of misclassification.

文 献

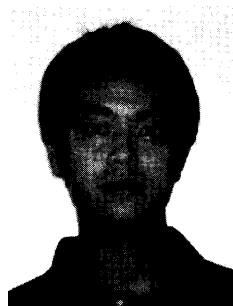
- [1] Yoshida H: "CAD for the detection of colonic polyps in CT colonography", Med Imag. Tech., **21**, No. 1: 34-40 (2003).
- [2] 植、佐藤、羽石他: "胸部X線CT画像からの肺葉分割", Med Imag Tech **21**, No. 2: 122-130 (2003).
- [3] Masutani Y, MacMahon H, Doi K: "Computerized detection of pulmonary embolism in spiral CT angiography based on volumetric image analysis", IEEE Trans. on Med Imag, **21**, No. 12, 1517-1523 (2002).
- [4] 森、櫛田、長谷川: "3次元医用画像の変形に基づく管腔臓器の仮想展開像の作成と胃X線CTへの応用", 信学論 D-II, Vol. J83-D-II, No. 1, 351-361 (2000).
- [5] 戸崎、河田、仁木他: "胸部3次元CT像による肺野内臓器の抽出と分類", 信学論 D-II, Vol. J82-D-II, No. 8, 1327-1338 (1999).
- [6] 井関、ツァガン、小畑他: "再帰的領域探索法による胸部CT像からの血管の3次元構造の抽出", 信学論 D-II, Vol. J82-D-II, No. 9, 1533-1535 (1999).
- [7] 滝沢、深野、山本: "物体の3次元構造と認識の不確かさを考慮した胸部X線CT画像からの結節認識", 信学論 D-II, Vol. J83-D-II, No. 1, 199-208 (2000).
- [8] 森田、宮下、平野他: "胸部X線CT像からの炎症性小結節認識のための3次元形状特徴量の開発", 信学技報, MI2003-111, pp. 79-84 (2003).
- [9] 川尻、滝沢、水野: "擬似陰影を用いたX線CT肺ガン陰影の検出制度の評価", 信学技報, MI2003-116, pp. 103-107 (2003).
- [10] 遠藤、森、長谷川: "肋骨の形状情報を利用した3次元胸部X線CT像からの肺野領域自動抽出",

- 信学論 D-II, Vol. J81-D-II, No. 6, 1429-1438 (1998).
- [11] 滝沢、山本: "胸部X線CT画像からの肺がん陰影の自動検出", コンピュータ支援画像診断学会論文誌, Vol. 5, No. 5, 1-4 (2001).
- [12] 山本、田中、千田他: "肺癌検診用X線CT (LSCT) の基本構想と診断支援用画像処理方式の検討", 信学論, Vol. J76-D-II, No. 2, 250-260 (1993).
- [13] 松原、畠中、桑原他: "胸部のCTの異常陰影—立体解剖によるCTアトラス—", 金芳堂 (1995).
- [14] 大津: "判別および最小2乗基準に基づく自動しきい値選定法", 信学論, Vol. J63-D, No. 4, 349-356 (1980).



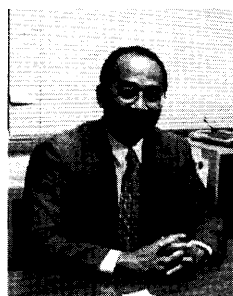
金 亨燮 (きむ ひょんそぶ)

1994年九州工業大学工学部卒。1996年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1997年同後期課程退学。同年より九州工業大学工学部助手(機械知能工学科)。現在、同大工学部講師。画像計測、対称性解析、医用画像処理、遠隔医療ネットワーク、パターン認識に関する研究に従事。工博。電子情報通信学会、日本医用画像工学会、バイオメディカルファジィシステム学会、IEEE各会員



前門 雅岐 (まえかど まさあき)

2003年九州工業大学工学部卒。現在同大学大学院博士前期課程在学中。医用画像処理、特にCT画像に関する研究に従事。

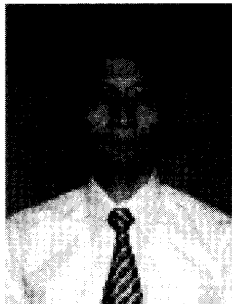


石川 聖二 (いしかわ せいじ)

1974年東大・工・計数卒。1979年同大学院博士課程了。工博。1979年九州工業大学情報工学科講師。現在、同大工学部教授(機械知能工学科)。この間、1983年～1984年連合王国シェフェールド大客員研究員。1996年

胸部CT像からの肺野領域とスリガラス状陰影の自動抽出

オランダ王国ユトレヒト大客員教授。
画像計測、医学画像処理、拘束解析問
題などの研究に従事。電子情報通信学
会、計測自動制御学会、IEEE、コンピ
ュータ支援画像診断学会各会員。



佃 正明 (つくだ まさあき)

1983 年九大・医学部卒。同年同大学
医学部放射線科学教室入局。1989 年
松山赤十字病院放射線科、1992 年北
九州市立医療センター、1994 年国立
小倉病院放射線科。1999 年国立国際
医療センター放射線科、2002 年より
九州厚生年金病院放射線科医師、現在
に至る。専門は放射線診断。放射線診
断へのコンピュータ応用に興味を持
つ。