

AMCoR

Asahikawa Medical College Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

電気学会 医用・生体工学研究会講演論文集 (1999.06) :43～48.

遠隔医療画像高能率伝送のための眼科画像の特徴解析

西平守正、林 弘樹、畠山修東、三田村好矩、下野哲雄、
吉田晃敏、廣川博之、秋葉 純、門 正則、小笠原博宣、
引地泰一、入江宏之、羽山 繁

遠隔医療画像高能率伝送のための眼科画像の特徴解析

西平 守正*, 林 弘樹, 畠山 修東 (通信・放送機構 旭川眼科画像リサーチセンター)
 三田村 好矩 (北海道大学大学院 工学研究科) 下野 哲雄 (北海道東海大学 工学部)
 吉田 晃敏, 廣川 博之, 秋葉 純, 門 正則, 小笠原 博宣, 引地 泰一 (旭川医科大学 眼科学講座)
 入江 宏之, 羽山 繁 (松下電器産業株式会社)

Analysis of characteristics of ophthalmological images for developing a stereoscopic motion pictures transmission system of telemedicine

Morimasa NISHIHARA, Hiroki HAYASHI and Nobuharu HATAKEYAMA
 (Telecommunications Advancement Organization of Japan, Asahikawa Ophthalmological Imaging Research Center)
 Yoshinori MITAMURA (Graduate School of Engineering, Hokkaido University)
 Tetsuo SHIMONO (Department of Electronic and Information Engineering, Hokkaido Tokai University)
 Akitoshi YOSHIDA, Hiroyuki HIROKAWA, Jun AKIBA, Masanori KADO, Hironobu OGASAWARA and
 Taiichi HIKICHI (Department of Ophthalmology, Asahikawa Medical College)
 Hiroyuki IRIE and Sigeru HAYAMA (Matsushita Electric Industrial Co., LTD.)

Abstract

In this study, the characteristics of the ophthalmological images as a still picture were investigated for developing a stereoscopic motion pictures transmission system of telemedicine. The statistical properties and the spatial frequency characteristics of the images were analyzed. The images were coded at a compression rate of 1/100 based on the spatial frequency characteristics of the ophthalmological images, and the coded images had practical picture quality.

キーワード：遠隔医療, 眼科画像, 空間周波数特性, 画像符号化, 立体画像
 (telemedicine, ophthalmological image, spatial frequency characteristic, image coding, stereoscopic image)

1. はじめに

高齢化社会の到来に伴い、生活習慣病が急増し、疾患の慢性化への対応が重大な課題となっている。このような課題に対しては、疾患の早期発見、種々の病状に対する適切な治療が極めて重要となる。しかしながら、患者の病状に応じて、十分な設備のもとで高度な専門技術を持つ医師の治療を受けることは、患者および医師のそれぞれにおいて時間的・物理的制約があるため、必ずしも容易なことではない。このような問題は、眼疾患においても深刻な課題となっている。

眼科領域では、micro-surgery に代表されるように極めて高い技術力が必要とされるため、専門医の人材不足が深刻化している。このような中で、テレビ会議システムを利用し、遠隔地から医療拠点へ医療画像を送送することで診断支援を行う遠隔医療が試みられている^[1]。また、眼科領域におけるmicro-surgeryの動画を伝送し、遠隔手術支援を試みた例^[2]もあるが、実用化に向け、さらなる高精細化、より臨場感の高い立体視化への要求も高い。このような現状を背景として、本研究では眼科領域における診断支援・手術支援が可能となるような立体動画伝送システムの開発を行っている。

本研究では、実用的な画質で、現実的な通信容量を持つ公衆回線を用いて眼科画像を送送することを考え、NTSCレベルの解像度を持つ立体動画を1.5 Mbpsの

通信回線で伝送することを目標としている。左右一組の立体動画を30フレーム/秒、すなわち1秒間に60枚の画像を送送するためには、画像1枚当たり3.1 kBとなり、720×480 pixelの24 bitカラー画像を平均約0.3%まで圧縮する必要がある。このような圧縮率を実現するためには、眼科画像の静止画像としての特徴の他に、フレーム間、左右画像間の冗長部分の除去など、動画、立体画像としての性質を利用した圧縮法を検討することが重要となる。

本研究では、眼科遠隔医療における立体動画伝送システム開発のための基礎技術として、眼科画像に適した高能率画像圧縮法および立体画像の表示法に関する検討を行っている。その中で本報告では、高能率画像圧縮アルゴリズムのための基礎的検討として、眼科画像の静止画像としての特徴に関して検討したので報告する。

2. 方法

2.1 対象とする眼科画像

本研究では、眼科の医師が手術や診断で用いる眼科用の実体顕微鏡によって、立体像として観察される眼球像を眼科画像として扱う。眼科領域における遠隔医療支援を目的とした立体動画伝送システムにおいて、伝送対象となる画像は、手術画像2種類(図1(a), (b))、診察画像1種類(同図(c), (d))の計3種類に大別できる。

本研究では、これらの眼科画像を解析対象とすることにした。図1の眼科画像は、本研究で開発した眼科画像取込システム¹³⁾により撮影した。

図1(a)は手術中に見られる画像で、眼球表面とその周囲の領域を撮影したものである。画像全面に照明が当たっており、全ての手術において見られる画像である。

図1(b)は手術中に見られる画像で、眼内を撮影したものである。この画像は、眼内に挿入したライトガイドにより眼内を照明しており、照明光が当たった有意領域と、暗部の非有意領域とに分けることができる。またこの画像は、硝子体切除術などの眼内操作を行う手術では見られるが、超音波白内障手術などでは出現せず、この画像の出現は手術の種類に依存する。

図1(c),(d)は、細隙灯顕微鏡による診察画像を撮影したものであり、照明光が当たった有意領域と、暗部の非有意領域とに分けることができるという点では、同図(b)と類似する。診察の目的によって、照明光であるスリットランプの幅を変化させることができ、同図(d)のように有意領域が縦に細い領域となることが多い。

眼科画像では、図1の(b),(c),(d)のように画像全面ではなく、領域の限られた有意領域のみが伝送の対象となるため、この領域のみを圧縮の対象とすることが、眼科画像の特徴を利用した画像圧縮法として考えられる。

2.2 撮影方法

眼科画像は図2に示すように、眼科用の実体顕微鏡によって撮影されるため、左右一組の画像をそれぞれ対応する左右の眼で観察する2眼式の立体画像となる。また撮影方法は、輻輳撮像法となる。輻輳角は顕微鏡の種類、メーカーによっても異なるが、本研究では手術用顕微鏡で 6.3° 、細隙灯顕微鏡で 12.5° の顕微鏡を使用した。また対物レンズの間隔はそれぞれ、22 mm, 24 mmである。

眼科用の実体顕微鏡に取り付けた左右一組のCCD(3CCD方式、約38万画素)を用い、医師が顕微鏡で観察する眼球像を立体動画像としてDVCPROフォーマットで記録した。手術映像6例、診察映像4例を記録し、特徴のある約200フレームを 720×480 pixelの静止画像として取り出し、特徴解析のための対象画像とした。

2.3 静止画像としての特徴解析

画像圧縮に利用可能な眼科画像の特性を調べることを目的として、取り込んだ静止画像をもとに、眼科画像の平面画像としての特徴解析を行った。特徴解析として、最も基礎的な特性となる、統計的性質、空間周波数特性を求めた。また、静止画像としての画像圧縮として、有意領域の抽出および帯域制限を利用した圧縮法に関して検討した。

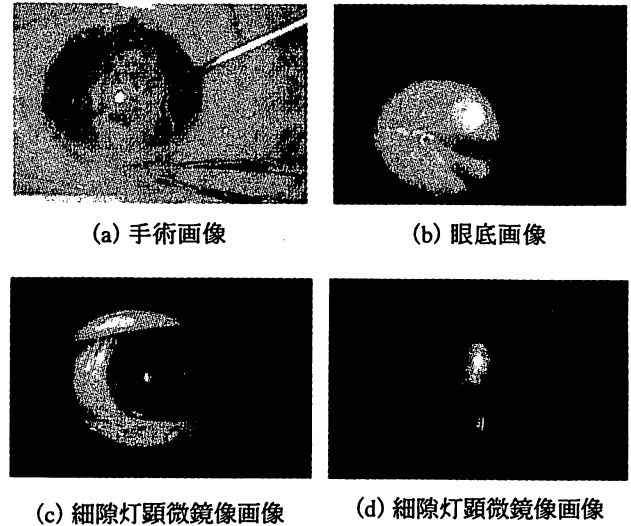


図1 本研究で対象とする眼科画像

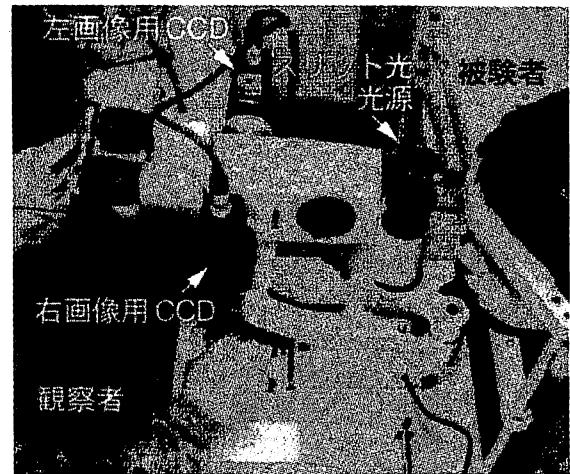


図2 細隙灯顕微鏡による眼科画像の撮影

統計的性質として、眼科画像の輝度成分の濃度分布および隣接画素間で輝度値差分をとった分布を求めた。また、画像のR, G, B(赤, 緑, 青成分)およびY, R-Y, B-Y(輝度, 色差成分)の平均情報量を求め、これらをもとに、可逆圧縮時の圧縮率の上限について検討した。

空間周波数特性として、パワースペクトルを求め、有意な情報を持つ帯域に関して検討した。1次元の空間周波数特性として、眼科画像を水平方向に走査した輝度信号の1次元離散フーリエ変換(1D-DFT)を行い、そのパワースペクトルの画像内での平均値を求めた。2次元の空間周波数特性として、画像の輝度成分に対して2次元の離散フーリエ変換(2D-DFT)を行い、そのパワースペクトルを求めた。

眼科画像では、図1(d)の細隙灯顕微鏡画像に代表されるように、重要な医療情報を持つ領域が比較的小さいという特徴があり、伝送対象を小さくすることができる。この画像の非有意領域は、輝度値がほぼ0に近い暗部となっており、画像の輝度成分を利用することで有意領域の抽出が可能になるものと考えられる。そこで、水平および垂直方向の1走査線毎の輝度値の最大値を求め、その値が閾値以上であれば有意領域とする判定法を試みた。

3. 結果

3.1 統計的性質

図1(a)の濃度分布を図3に示す。一般的な画像と同様に、眼科画像においても濃度分布は対象画像に依存するため、画像圧縮には利用できないが、隣接画素間で輝度差分をとった分布(図4)は0の周辺に集中しており、隣接画素間の相関が高いことがわかる。したがって、通常の画像と同様に眼科画像においても予測符号化が有効であると考えられる。

次に、図1に示した画像の、R、G、B、Y、R-Y、B-Yの平均情報量を算出した結果を表1に示す。

図1(a)の手術画像では、R、G、Bの平均情報量は7.4bit程度となっているが、他の画像に関しては、暗部となっている非有意領域の占める割合によって平均情報量が変化しており、同図(d)では1bit程度である。したがって、細隙灯顕微鏡画像では、1/8程度まで可逆圧縮可能であると考えられる。一方、Y、R-Y、B-Yの平均情報量に注目すると、図1(b)の眼底画像では色差成分の平均情報量が輝度成分の2/3程度となっており、これら眼科画像の中で、R、G、Bの相関が最も高いことがわかる。これは、他の画像が十分な照明光のもとに撮影されているのに対し、眼底画像では、眼内に挿入されたライトガイドによるわずかな照明光のみで撮影されているため画像のS/N比が悪く、彩度が低下したことが原因と考えられる。

3.2 空間周波数特性

眼科画像の空間周波数特性の一例として、図1(a)の手術画像の1D-DFTおよび2D-DFTから求めたパワースペクトルをそれぞれ、図5(a)、(b)に示す。

図5(a)は、水平空間周波数の最高周波数を1として規格化している。周波数0.05まではパワーが直線的に減少し、その後周波数0.5までの範囲ではパワーがほぼ一定となっている。さらに周波数0.5以上ではパワーが著しく減少しており、この帯域のパワーが少ないことがわかる。垂直空間周波数においても同様な傾向があることが、図5(b)からわかる。

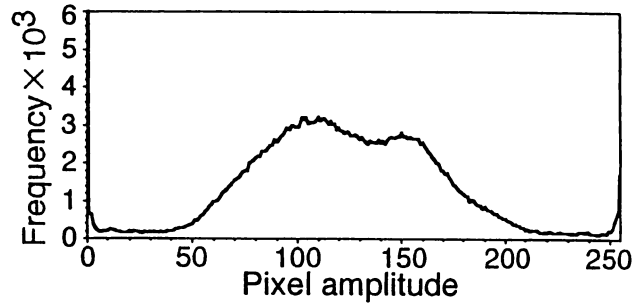


図3 手術画像(図1(a))の濃度分布

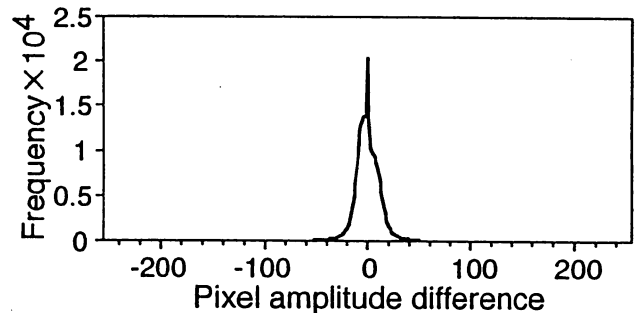


図4 手術画像(図1(a))の隣接画素濃度値差分分布

表1 眼科画像の平均情報量(単位: bit)

	図1(a)	図1(b)	図1(c)	図1(d)
R	7.44	6.25	4.54	1.15
G	7.35	6.20	3.65	0.75
B	7.37	6.30	2.43	0.45
Y	7.40	6.24	4.35	1.08
R-Y	5.43	4.06	3.86	1.00
B-Y	5.63	4.30	3.74	1.01

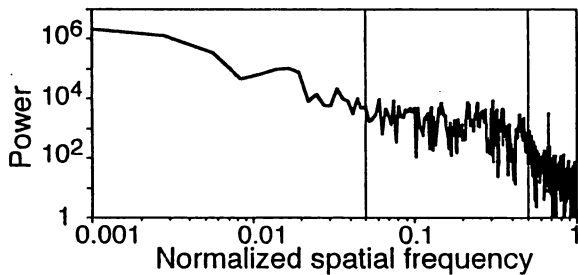
図5(b)は、直流成分以外の最大パワーを0dBとして、また水平、垂直軸の最高周波数を1として規格化している。同図では、周波数0.5以下の直流周辺の領域にパワーが集中しており、このような傾向は図1に示した代表的な眼科画像に共通して見られ、有意な領域は直流周辺の限られた帯域であることがわかった。そこで、水平、垂直の各空間周波数とも0.5をカットオフとするローパスフィルタを施すことで、データ量を1/4にして逆変換し、水平、垂直の画素を線形補間して画像を再構成することを試みた。図6(a)の手術画像に対しこの処理を施した結果を、部分拡大して同図(b)、(c)に示す。原画像と比較すると、帯域を1/2に制限した画像では、血管などの重要なパターンが失われていないことがわかる。これにより、重要な医療情報をほとんど失うことな

く、画像サイズを1/4に減少できることがわかった。さらに、撮像装置の特性に起因するノイズ成分も抑制することができた。

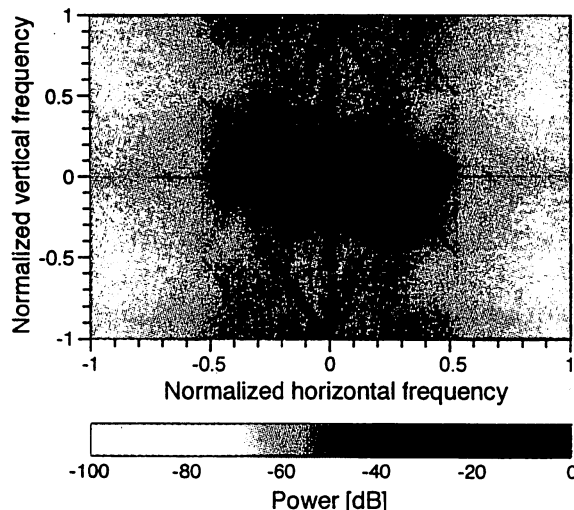
3.3 有意領域の抽出

前節では、眼科画像の空間周波数特性にもとづき、直流周辺の有意な帯域のみを伝送対象とすることで、画像サイズを1/4に減少できることを示した。ここでは、空間領域において有意領域を抽出する方法について検討した結果を示す。

図1(d)の細隙灯顕微鏡画像の最大輝度を、垂直方向に投影した結果を図7に示す。同図の横軸は水平方向の画素番号となる。ここで輝度成分の閾値を5と設定すると、有意領域の左端と右端の画素番号を決定することができ、有意領域を幅216 pixelとして抽出することができる。同様に、最大輝度を水平方向に投影した結果に対しても輝度値の閾値を設定することで、有意領域の垂直座標を決定することができる。このようにして図1(d)の有意領域を抽出した結果を図8に示す。この処理により、図1(d)の画像サイズを1/4に減少することができた。

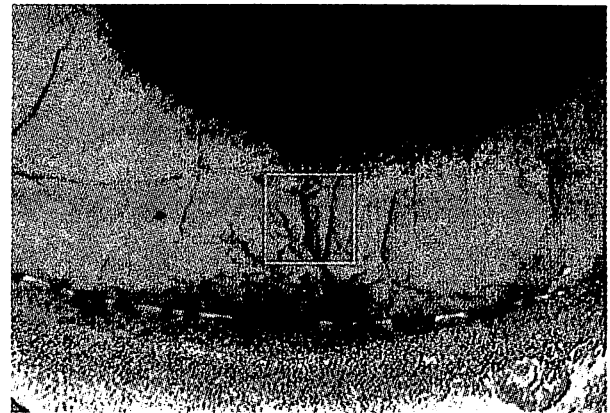


(a) 1D-DFT のパワースペクトル



(b) 2D-DFT のパワースペクトル

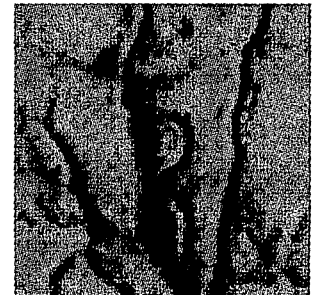
図5 手術画像(図1(a))の空間周波数特性



(a) 手術画像



(b) 原画像



(c) 帯域 1/2 制限画像

図6 眼科画像の帯域 1/2 制限

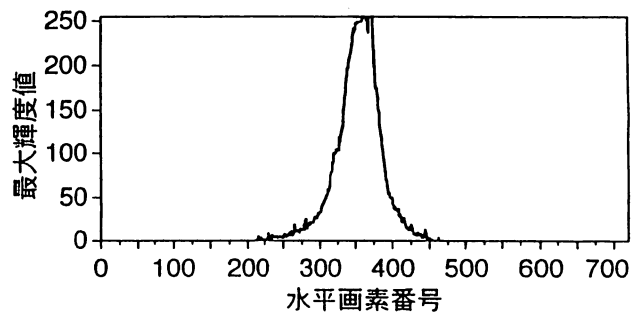


図7 細隙灯顕微鏡画像(図1(d))の最大輝度投影

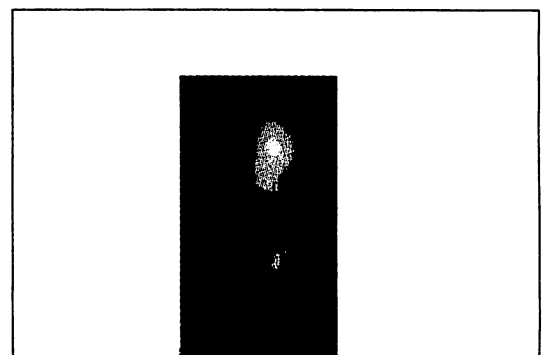


図8 細隙灯顕微鏡画像(図1(d))の有意領域抽出結果

3.4 眼科画像の 1/100 圧縮

前節までで、眼科画像の基礎的な特性を示した。以上の結果を踏まえ、眼科画像の 1/100 圧縮を試みたので、ここではその結果を示す。

一般的な画像圧縮手法である JPEG (Joint Photographic Experts Group) 方式を用いて、実用となる圧縮率に関して検討したところ、画像の種類にもよるが、おおむね 1/20 ~ 1/10 程度が実用になるという結論が得られた。図 9 は図 1 (a) の画像を JPEG を用いて 1/100 に圧縮した際の輝度成分の濃度分布を示したものである。原画像の濃度分布 (図 3) と比較すると、分布が著しく異なっている。

図 10 は眼科画像の空間周波数特性をふまえ、図 1 (a) の周波数帯域を 1/2 に制限し、画像サイズを 1/4 にした後、JPEG を用いてさらに 1/25 に圧縮し、圧縮率を合計で 1/100 とした画像の濃度分布である。図 3 に示した原画像の濃度分布とほぼ同一の分布となっており、画像劣化の程度が改善されていることがわかる。

図 11 に本手法を適用した例を示す。図 11 (a) の手術画像に対し、JPEG で 1/100 圧縮を施した復元画像を同図 (c) に、また本手法による 1/100 圧縮を施した復元画像を同図 (d) に示す。図 11 (b), (c), (d) は同図 (a) の白線矩形部分を拡大表示したものである。図 11 (c) の JPEG では、ブロックノイズが著しく、モザイク状の画像となっているが、同図 (d) の本手法による画像圧縮では、太い血

管のパターンは比較的良好に保存されている。これら圧縮手法による違いは、カラー画像として観察するとさらに顕著であり、JPEG 方式では、彩度が低下し、グレーとなったブロックも数多く見られたが、本手法ではこのような画像劣化は見られなかった。

4. 考察

遠隔医療における画像伝送としては、遠隔放射線診療 (Tele-radiology) や遠隔病理診断 (Tele-pathology) が実用性という点で最も進んでいるといえる¹⁴⁾。これらの分野では、伝送画像をもとに診断するため、1000 × 1000 pixel 以上といった高解像度が要求される。眼科医療分野においても、伝送画像はこのような高解像度であることが望ましいが、三次元構造を持つ眼球を対象とするため、立体視可能な画像であることが特に要求される。さらに、細隙灯顕微鏡において照明光の形状、動きなどを工夫することで診察を行う技術が確立されているため、滑らかな動画像であるということも重要である。これらの条件と、眼科遠隔医療における従来の検討¹¹⁾から、本研究では NTSC レベルの解像度で眼科画像を扱うこととした。

720 × 480 pixel の画素数を持つ眼科画像の空間周波数解析の結果から、さらに帯域を 1/2 に制限した 360 × 240 pixel の画素数であっても血管などの重要なパターンは失われないことがわかった。これは、画像を 1/4 に圧縮できる

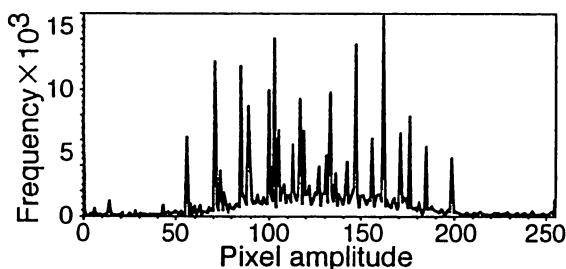


図 9 手術画像(図 1 (a))の JPEG 方式による 1/100 圧縮時の濃度分布

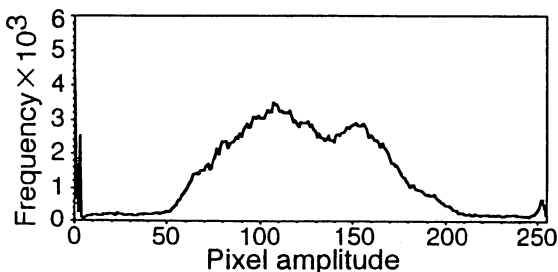


図 10 手術画像(図 1 (a))の本手法による 1/100 圧縮時の濃度分布



(a) 手術画像

(b) 原画像



(c) JPEG

(d) 本手法

図 11 手術画像の原画像と復元画像の比較

だけではなく、図1 (b)のような照明光が十分でない、比較的S/N比の悪い画像に対しては、ノイズ成分の抑制という効果もある。このように、伝送対象とする領域を限定することで画像の圧縮率を高める方法は、周波数領域だけではなく、空間領域においても考えることができ、その結果を図8に示した。両者を組み合わせることで、さらに高い圧縮率を実現できるものと考えられる。

図1 (b), (c), (d)に示したような眼科画像では、空間領域で有意な領域を決定することは比較的容易であると考えられる。画像全面に輝度値を持つ図1 (a)では、有意な領域は観察者の観察目的によって変化するが、同図 (b), (c), (d)では、照明があたっていない暗部の領域を不要とすることができるため、輝度値を規準として処理できると考えられる。処理対象となる画像にノイズが少なく、非有意領域の輝度値がほぼ0に近い値であるときは、本研究で示した処理で有意領域を抽出することが可能であるが、ノイズが多い画像の場合には暗部の輝度値が30程度に達することもあり、自動処理を行うためには閾値の決定法が課題となる。特に図1 (b)に示した眼底画像では、照明光が十分な光量ではないためノイズ成分が多く、閾値の決定法が今後の課題となる。

本報告では、眼科画像の空間周波数特性に基づき、データ量を1/100にする画像圧縮を試みた。JPEGのみで1/100とすると、図11 (c)に示したように、モザイク状の画像となり使用に耐えないが、周波数特性を利用し、あらかじめ画像サイズを1/4とした上で、JPEGを用いて1/25圧縮を施し合計で1/100とすると、同図(d)に示したように、細い血管のパターンは失われるものの、大幅に画質が改善する。これは、画素数を減らしたことで、1 pixelあたりに割り当てることができるビット数が増加したためであると考えられる。また、この方法は、図1 (a)のように空間領域で有意領域を抽出することができない画像に対しても有効な手法であると考えられる。

本報告で試みた圧縮法が有効であるかについては、眼科医師による画質評価が重要となる。図11 (d)の画像は、同図(a)のように全体像として観察する限りは、実用上問題ないとの医師の評価を受けているが、この点に関し、画質の評価法を確立することが今後の課題と考えている。本研究では、眼科画像を対象とした立体動画伝送システムの開発を目的としているため、画質評価も立体動画の観察をもとに行うことが重要と考えられる。立体画像においては、両眼視差の設定など、撮影条件、観察条件などの立体パラメータが不適切であると、長時間の観察に耐えない見づらい画像となることが指摘されている¹⁵⁾ため、画質評価と立体視

時の見やすさの評価とをそれぞれ独立に評価できるプロトコルを検討する必要がある。

本報告で、眼科画像の特徴に注目した画像圧縮法を提案したが、さらに圧縮率を向上させるためには、動画像および立体画像としての特徴を利用した圧縮法を検討することが必要となるため今後の課題としたい。立体画像としての圧縮法としては、左右画像間の冗長部分を除去することが基本となるが、眼科画像として正確に呈示すべき奥行き情報と、そうでない奥行き情報を分離することで、眼科画像に最適化した画像圧縮法が提案できるものとする。我々はこれまでに、眼科画像の立体画像としての特性を明らかにすることを目的として、両眼視差にもとづいた特徴解析を行い、適切な立体視を阻害する原因のいくつかを明らかにした¹⁶⁾。これにより、眼底画像では、虹彩で隠されている領域が左右画像間で異なり、左右で互いに存在しない領域があることがわかった。このような領域では立体視が不可能になることから、除去すべき領域であると考えられ、このような領域の除去は圧縮率の向上という点でも有利であると考えられる。

5. まとめ

眼科遠隔医療支援を目的とした立体動画伝送システムの開発のための基礎的検討として、眼科画像の静止画像としての特徴に関して検討した。眼科画像の空間周波数特性を利用することで、静止画像伝送として1/100圧縮が可能となり、帯域制限による高能率伝送の可能性を示した。今後は、診断や手術で用いる際の許容誤差を考慮しながら、動画像および立体画像としての特徴を利用した高能率圧縮法を検討する予定である。

参考文献

- [1] 吉田晃敏, 亀畑義彦, “遠隔医療 - 旭川医科大学眼科の試みとその効果 -,” 工業調査会, 1998.
- [2] 廣川博之, 吉田晃敏, “旭川医科大学眼科遠隔医療の最前線と将来への展望,” 日本ME学会雑誌 BME, vol. 12, no. 11, pp.29-34, 1998.
- [3] 西平守正, 他, “遠隔医療支援のための高臨場感眼科動画伝送システムの開発,” 医用電子と生体工学 特別号, vol. 36, suppl. 2, pp. 262-263, 1998.
- [4] 開原成允, “日本における遠隔医療の実現について,” 映像メディア学会誌, vol. 52, no. 9, pp. 1244-1246, 1998.
- [5] NHK 放送技術研究所 編, “3次元映像の基礎,” オーム社, 1995.
- [6] 林弘樹, 他, “眼科遠隔医療のための立体画像表示法の検討I ~両眼視差にもとづく眼科画像の特徴解析~, ” 1999年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報システム1, p. 153, 1999.

原稿受付日

平成11年5月27日