

Q7 デジタルカメラによる病理顕微鏡遠隔操作システムの開発

上野 寛† 石井 郁夫† 今井 博英† 高橋 章†† 内藤 眞†††
 †新潟大学大学院自然科学研究科 ††長岡工業高等専門学校 †††新潟大学大学院医歯学研究科

1. はじめに

手術中の迅速診断など遠隔病理診断の必要性は高く、遠隔顕微鏡操作環境の改善が求められている。遠隔顕微鏡操作は顕微鏡の遠隔制御、画像取得、画像伝送ならびに観察の一連の過程に数秒から十数秒の時間を要するため、直接操作のような操作感覚が得られない。本研究では、病理顕微鏡遠隔操作における直接操作に近い迅速な操作感覚の実現、高解像度化ならびに通信技術の変革に伴う多様な通信携帯に適合する単一操作方式の実現を目標とした。

2. 病理顕微鏡遠隔操作システム

病理顕微鏡画像には (1) 診断は静止画像上で行われる、(2) 低倍率画像の持つ情報は高倍率画像の低域成分と等価である、(3) 診断対象の探索やフォーカス調整には動画像を必要とする、という特徴がある。

従来の対話型顕微鏡制御システムでは、操作のたびに取得・伝送する画像情報の一部には、以前に取得・伝送した情報が重複して含まれることが多い。そこで、これらの重複情報の取得・伝送を回避することによって伝送時間を短縮する。一方、診断側ホストは伝送された情報を蓄積保存し、保存された情報を利用して仮想的な顕微鏡操作を行うことによって、良好なレスポンスを実現する。

具体的な例を挙げる。診断側では、顕微鏡側で試料をステージにセットしたあと、遠隔操作によりオートフォーカスで1枚の最低倍率画像(対物レンズ×1.25)を取得する。その最低倍率画像中に診断対象領域があれば、そこに図1の左側のように $n \times n$ に区切られたグリッドを表示する($n = 4, 8, 12$ を実装)。

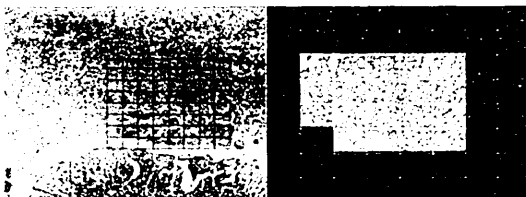


図1: 高倍率画像取得領域

このグリッドの1マスには最高倍率画像(対物レンズ×40)が対応する。診断側から画像の伝送を要求すると $n \times n$ 枚の最高倍率画像群(以下広域最高倍率画像と呼ぶ)が一定の順序でオートフォーカスにより取得され、JPEG圧縮されて伝送される(図1の右側)。この

際、顕微鏡制御・画像取得・ファイル圧縮処理の撮影スレッドと撮影済み画像を伝送する伝送スレッドは多重化処理である。

診断側では伝送された広域最高倍率画像をファイリングすると同時に表示する。図2にユーザインターフェースを示す。左側のウィンドウは表示ウィンドウで右下のウィンドウは縮小された広域最高倍率画像が写し出される。右下のウィンドウ上での黒枠が左の表示ウィンドウと対応している。この黒枠の大きさを変更することにより仮想的な倍率変更を実現し、マウスでドラッグすることによって仮想的なステージ移動が実行できる。診断側ではディスク上に保存された画像ファイルを見ているだけなので顕微鏡直接操作よりはるかに円滑に診断できる。

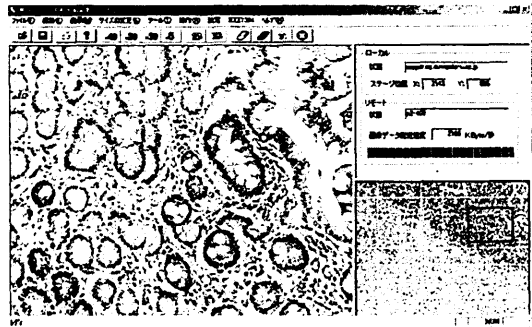


図2: ユーザインターフェース

フォーカス調整には実時間の対話的な操作が必要である。この過程を効率化するためにフォーカスステップ幅と枚数を指定すると該当画像を取得・伝送・ファイリングする。表示順序と切り替え時間を指定して順次表示することによってマニュアルフォーカスに似た操作感覚を実現する。このフォーカスインターフェースは細胞診などにおける3次元形状把握に有効である。ISDNなど低速回線の場合は伝送時間を短縮するために領域を限定して同様の操作を行うことができる。例として 640×480 画素の画像中の 160×120 画素領域をマニュアルフォーカスした場合、1枚あたりの伝送時間は表1のようなになる。

表1: フォーカス画像伝送時間

| 画素数 | ISDN時の伝送時間(sec) |
|---------|-----------------|
| 640×480 | 8~10 |
| 160×120 | 0.6~0.7 |

領域を限定したフォーカス操作の場合は、診断側でフォーカス画像を図3のように並べて表示し、最適フォーカスを選択してからフルサイズ画像を取得するモードを備える。

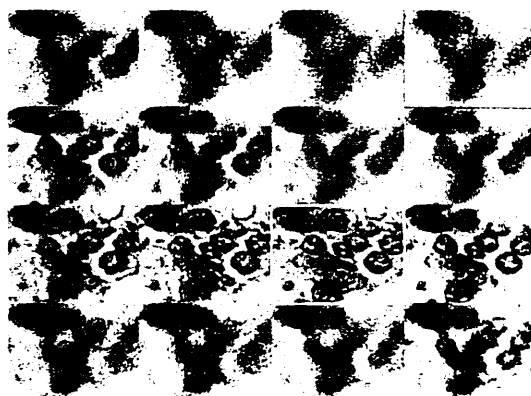


図3: フォーカス調整画像

3. 遠隔仮想顕微鏡操作方式の性能評価

アナログビデオカメラとデジタルカメラを用いて性能評価を行った。カメラの主要性能を表2に示す。アナログビデオカメラでは診断上解像度に不満があったが、デジタルビデオカメラでは画素数の違い以上にシャープな画像で、診断に十分な画質であった。

表2: カメラの主要性能

| | アナログビデオカメラ | デジタルビデオカメラ |
|----------|------------------|---------------|
| 品名 | VICTOR KY-F55MD | SONYDFW-SX900 |
| インターフェース | PCIフレームグラバPXC200 | IEEE1394 |
| 画素数 | 640×480 | 1280×960 |
| 色データ | 24bit | 24bit |

図4に画像1枚あたりの撮影時間を示す。画像取得時間の違いは画素数とインターフェースの違い、JPEG圧縮処理時間は画素数の違いを反映している。



図4: 画像1枚あたりの撮影時間

表3に病理画像1枚あたりのJPEG圧縮後のデータサイズの一列を示す。Qualityは圧縮の程度を示す指標で24ビットフルカラーデータとの比であるが、圧縮後のデータ量は画像により異なる。()は圧縮により劣化

が目立ち診断に不適当であることを示す。アンダーラインで示す圧縮状態がデータ量が少なく最適である。最適状態で比較すると、デジタルビデオカメラの方は解像度が高いにもかかわらず圧縮後のデータサイズの差は数%しか生じない。これは画像のスペクトルが低域に集中しており、デジタルビデオカメラの画素数の増加に伴う広域成分の全データに対する比率が小さいためと考えられる。最適状態の1枚あたりの伝送時間は、いずれのカメラもISDNで8~10秒、BISDN(1.5Mbps)では0.4秒程度である。

表3: JPEG圧縮後のデータサイズ

| Quality(%) | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 |
|------------|--------|-------------|-------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|
| アナログビデオカメラ | (14.5) | (25.2) | (33.0) | (39.4) | (45.4) | (51.9) | <u>62.1</u> | <u>78.8</u> |
| デジタルビデオカメラ | (40.6) | <u>63.8</u> | <u>84.0</u> | 101.4 | 111.6 | 128.1 | 154.9 | 197.8 |

顕微鏡側ホストでは撮影処理と伝送処理をマルチスレッド処理で多重化した。ここで顕微鏡制御・画像取得・圧縮処理の撮影サイクルの処理時間を t_1 、伝送時間を t_2 とし 8×8 枚の広域最高倍率画像を診断側ホストが要求したとするとISDNを通信回線に選んだ場合、転送完了までの時間は $t_1 + 64t_2$ となる。一方、BISDNなど撮影サイクルより伝送時間の方が短い場合は $64t_1 + t_2$ となる。これは実時間では、ISDN回線で8分程度、高速回線で2分程度である。

4. まとめ

病理用顕微鏡を用いて遠隔病理診断において多様な通信回線に適合できる病理顕微鏡遠隔操作システムの開発を行った。本方式は病理画像特有の性質を利用し、顕微鏡側から診断側へ伝送済みの情報と重複する情報の伝送を抑制し、診断側に必要な情報を蓄積した上で、診断側の蓄積情報のみで仮想的な顕微鏡操作を行う方式である。連続する領域を $n \times n$ ($n = 4, 8, 12$)枚の最高倍率画像で分割し、オートフォーカスで自動取得一括伝送するシステムを作り、伝送時間を評価した。診断側に必要情報を伝送する時間は顕微鏡側ホストの撮影処理と伝送処理を多重化することにより、低速回線では伝送時間が、高速回線では撮影処理が支配することが明らかになった。診断側では仮想顕微鏡操作によりきわめてレスポンスの良い診断環境を得た。診断側へのデータ転送待ち時間を除けば、直接顕微鏡操作より円滑な診断環境が実現した。また、仮想顕微鏡操作方式により通信回線の性能に依存しないユーザーインターフェースと制御方式を提供することが可能になった。今後、回線の高速化が進むと診断側待ち時間の大半が顕微鏡駆動時間によって支配されるため顕微鏡の高速駆動が課題となる。