

| | | | |
|------|----|---|---|
| 報告番号 | ※甲 | 第 | 号 |
|------|----|---|---|

主論文の要旨

論文題目

X線画像表示系におけるオーバーオールノイズ特性に関する研究

氏名 山崎 明日美

論文内容の要旨

近年、医用画像のデジタル化、高画質化が進み、ソフトコピー診断が急速に普及した。ソフトコピー診断は、膨大な量のフィルム管理からの回避による省スペース化、低コスト化を実現し、過去画像との比較、画像表示条件の任意操作を簡便化し、ネットワーク通信を利用した遠隔診断へと可能性を広げた。画像表示媒体は cathode ray tube (CRT) から liquid crystal display (LCD) へと置き換わり、その高解像度化が進められてきた。また LCD のサブピクセル開口率変調や、前面フィルタの加工処理による反射率低減などを取り入れたさまざまな画質改善が試みられている。しかしながら、一般に医用 X 線画像は LCD よりもマトリクス数が大きいことが多いため、画像全体の表示には縮小表示を要する。また近年普及を続けている携帯型ディスプレイが救急医療を中心とした遠隔診断で使用され始めているが、これらの小さいサイズのディスプレイでも縮小表示が避けられない。このような背景のなか、ディスプレイの高解像度化をソフトウェアにより実現させる independent sub-pixel driving (ISD) 技術が開発された。ISD は 1 ピクセル内の三つのサブピクセルを独立に駆動させて一方向の解像度を 3 倍に上昇させる。縮小表示時では高周波信号の損失が発生することが広く知られているが、ノイズ特性への影響も考慮する必要がある。先行研究ではピクセル構造や前面フィルタに起因するディスプレイ固有の解像度、ノイズ特性が多く報告されている。またファントムや臨床画像の観察試験において、ソフトコピー診断の信号検出能や診断能はハードコピー診断と同等か優位であるとの報告がある。しかし X 線画像を表示したディスプレイ上のオーバーオールな画質特性についての報告はない。ISD に関しては、その高い解像度と信号検出能は物理的評価と視覚評価にて証明済みであるが、ノイズ特性はまだ報告されていない。

本研究では LCD 固有の鮮鋭度 (modulation transfer function: MTF), ノイズ特性 (noise power spectrum: NPS) に加え, X 線画像を LCD 上に表示したオーバーオール NPS を高解像度一眼レフレックスデジタルカメラにより実測し, 表示拡大率と ISD 技術のオーバーオールノイズ特性への寄与を物理的に評価する。さらにそのオーバーオールノイズ因子を X 線画像のゆらぎ, 画像縮小処理効果, LCD 固有の画質特性と仮定してオーバーオール NPS をシミュレーションし, ノイズ因子とノイズ生成過程を理論的に明らかにする。実空間でのシミュレーション計算では, X 線画像のピクセル値を表示拡大率に応じてバイリニア補間し, さらに LCD の階調曲線を用いて輝度値に変換した輝度画像の NPS を算出し, それに LCD 固有の MTF を乗算し, LCD 固有の NPS を加算することでオーバーオール NPS を見積もる。フーリエ空間でのシミュレーション計算では, 画像の縮小補間をフーリエ信号の信号重複と周波数変換で見積もり, 縮小画像の NPS を算出する。以上の実測されたオーバーオール NPS とこれらのシミュレーションによる NPS を比較する。

実測されたオーバーオール NPS は LCD 固有の NPS よりも 102~104 倍低い値であり, LCD のノイズは X 線画像表示においては無視できるほど低いということが確認された。また ISD により垂直方向の MTF の最高周波数が水平方向よりも 3 倍高くなり, 全周波数域で高い MTF 値を有することが確認された。LCD 上のオーバーオール NPS は, 拡大率が 100% (ピクセル等倍) から 11%へと低下するにつれ, わずかに NPS 値が低下する傾向を示した。また低拡大率での表示 (51%~11%の縮小表示) において, ISD を用いた場合のオーバーオール NPS は ISD を用いない NPS に比べ, 水平・垂直両方向において特に低周波数領域で低い値を示した。実空間でシミュレーションされたオーバーオール NPS は実測された結果とよく一致したため, オーバーオールノイズ特性は画像ピクセル値から変換された輝度値のゆらぎ, ピクセル値の補間効果, LCD のボケ変調, LCD の固有ノイズ付加で表すことができると証明された。フーリエ空間でのシミュレーションによる縮小画像の NPS は実空間でのシミュレーションによる NPS とよく一致し, ピクセル値の補間効果はフーリエ空間ではエリアシングエラーによるフーリエ信号重複と周波数変換に相当することが示された。そして縮小表示では画像の間引き処理によって発生するエリアシングエラーのために低周波ノイズが上昇することが確認された。しかし実際には拡大率が低下するにつれ, ディスプレイ上の単位面積当りに表示される X 線光子数が上昇するため, エリアシングエラーによるノイズ上昇は相殺される。このシミュレーション結果は, 低拡大率で次第に低下した実測オーバーオール NPS の結果を裏付けた。また ISD は高解像度サンプリングによってエリアシングエラーの発生を抑えるため, 縮小表示時における低周波ノイズ上昇の抑制に貢献していることが分かった。このノイズ抑制効果はより低い拡大率でより顕著に表れた。ISD は垂直方向のみの解像度を 3 倍上昇させる技術であるが, バイリニア法を用いるピクセル値補間は二次元でサンプリング処理されるために, そのスムージング効果は水平・垂直両方向に働き両方向のノイズを低下させていた。以上より ISD は高い解像度だけでなく, 特に縮小表示において優れたノイズ特性を発揮するために, マトリクス数の大きいマンモグラフィのような医用画像の表示に適していることが示唆された。