

医用画像システムにおける Display Consistency の開発

システム全体での画像の見え方整合性の実現

The Development of Network Display Consistency in Medical Imaging Systems

小 野 陽 一*

Ono, Youichi

藤 田 晴 美*

Fujita, Harumi

戸 田 治 幸*

Toda, Haruyuki

要旨

近年、病院におけるネットワーク化やモニタ診断の普及により、システム全体で画像階調の見え方を整合させることが強く望まれている。従来、自社の医用機器（REGIUS、DRYPRO、VISICAL等）は、画像データの画素値のスケールを相対濃度値として運用していたが、今回、全ての医用機器製品の画素値を Barten の視覚モデルに基づく視覚にリニアな値に変えて運用することで、他社装置含め、システム全体での見え方の整合性を実現した。本稿では、その技術内容について報告する。

Abstract

With the widely-spreading adoption of medical information networks and the increasing practicality of remote medical diagnoses using video monitors, it is now essential that the images displayed be identical in gray scale on every monitor within a network. In medical products such as the REGIUS, DRYPRO, and VISICAL, we have used relative gray levels for image pixel values. We can now display images of consistent gray scale across a network - regardless of the manufacture of the devices involved - by converting the image pixel values used in our products into a linear flow characteristic based on Barten's model of the human visual system.

1 はじめに

近年、医療施設における経営効率の改善は重要課題となっており、デジタル、ネットワークの導入による作業効率の向上が進められている。また、包括診療制度の導入や、高精細モノクロLCD（Liquid Crystal Display）モニタの登場により、読影にフィルムを使わないモニタ診断が普及しつつある。ネットワーク、モニタ診断の普及により、撮影した画像を複数のモニタで読影、参照したり、異なる撮影装置で作成した画像を、同一の装置で観察するというように、医療画像の運用形態が変化してきている。この場合、複数の装置間で画像表示階調の見え方が異なれば、診断に不都合が生じることになる。例えば、病院内では、輝度が100cd/m²程度の汎用カラーモニタから700cd/m²程度の高精細モノクロモニタまで使われ

* コニカミノルタエムジー(株) 開発センター MI システムグループ

ている。また、フィルムの場合は、最高濃度（Dmax）が3.0のものが多く使用されるが、近年需要が高まっているマンモグラフィ（乳房撮影）では、Dmax3.6以上のフィルムが使用されるため、フィルムのダイナミックレンジもシステム内で一定ではないケースが増えている。これらより、出力階調やダイナミックレンジが異なるモニタや、フィルムが混在する中で画像階調の見え方を同様にすること（Display Consistency）が、非常に重要となっている。

本稿では、システム全体で画像階調の見え方を整合させる仕組みを検討し、各製品に実装した内容について報告する。

2 課題と対策

医用画像システム全体で階調の見え方を整合させるためには、主に下記5つの課題を解決する必要がある。

1. DICOM GSDF未対応装置の混在
2. 見え方を合わせる階調変換方法
3. Dmaxが異なるフィルムの混在
4. 従来装置や過去画像の混在
5. 表示装置や観察環境の経時変化

上記課題への対策内容について以下に説明する。

2. 1 DICOM GSDF 未対応装置の混在環境への対策

医用デジタル画像ネットワークの標準規格であるDICOM（Digital Imaging and Communications in Medicine）ではPart14の中で、Bartenモデルと呼ばれる、人間の視覚特性を基にしたグレースケール標準表示関数（GSDF：Grayscale Standard Display Function）を用いることにより、異なるダイナミックレンジを持つ表示装置間の見え方を合わせる方法を定義している。DICOM GSDFに対応するためには、下記SOP（Service Object Pair）クラスの実装が必要となる。

ハードコピー：Presentation LUT SOP Class

ソフトコピー：Grayscale Softcopy Presentation State Storage SOP Class

しかし、現時点では、一般的に上記SOPクラスに対応していない装置が数多く存在し、これらの装置とも見え方を合わせるが必要となる。最近、殆どの医療用高精細モノクロモニタは、後に説明するGSDFのキャリブ

レーションが可能であることより、対策としてREGIUSから上記 SOPクラスに未対応の装置に送信する画像の画素値を、従来の相対濃度値（D 値）から、Bartenの視覚モデルに基づく視覚にリニアな値（後に説明する P 値）に変更することとした。これにより、ビューアのアプリケーションが前記 SOPクラスに対応していなくても、装置間の見え方を合わせることが可能となった。

2. 2 見え方を合わせる階調変換方法

ダイナミックレンジが異なる装置間の見え方を合わせる階調変換方法について説明する。画像生成装置と画像出力装置で以下の階調処理を行うことで、見え方を合わせることが可能となる。

① 画像生成装置

画像データの画素値を出力装置のダイナミックレンジに依存しない視覚にリニアなスケールに変換して送信する。

② 画像出力装置

受信した画像を、視覚にリニアなスケール上で線形変換を行い、出力装置のダイナミックレンジに合わせて表示、またはプリントを行う。

視覚にリニアなスケールとして、CIE表色系で定義されている明度 L^* や、輝度の対数値を用いる方法等が使われているが、他社装置含めたシステム全体で見え方を合わせるためには、標準的なスケールを用いることが重要である。これより、標準規格であるDICOM Part14のGSDFで定義されているJND（Just-Noticeable Difference）indexを用いることにした。GSDFについて以下に説明する。

2. 2. 1 GSDF について

Fig. 1 にGSDFカーブを示す。横軸はJND indexというスケールであり、JND indexの1ステップの差が、人が識別できる最小の輝度差に対応している。つまり、JND indexの変化量が同じなら、明るいところでも、暗いところでも同じ程度の見え方の差として知覚されることより、JND indexは視覚にリニアなスケールである。

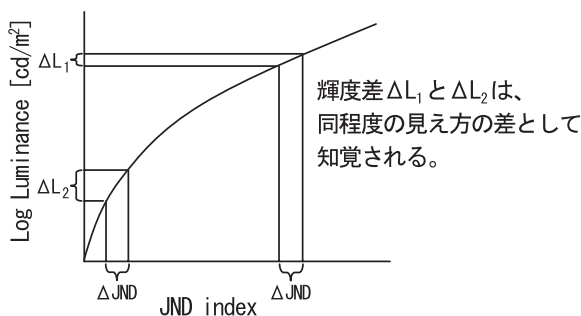


Fig.1 Grayscale Standard Display Function(GSDF)

次にGSDFを用いて、異なるダイナミックレンジを持つデバイス間の見え方を合わせる方法について説明する。

Fig. 2 は、ダイナミックレンジの異なる出力デバイスAとBの輝度の対応関係を示している。それぞれのデバイスの輝度を、GSDFを用いて視覚にリニアなJND indexに変換し、JND index上で、個々のデバイスの階調をリニアに対応させることにより、ダイナミックレンジが異なるデバイス間の見え方を合わせることが出来る。

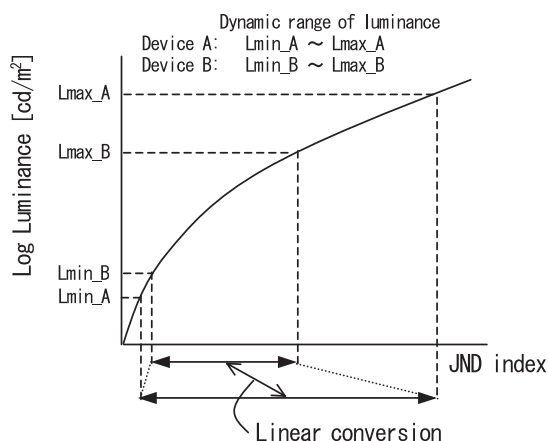


Fig.2 Display consistency between devices A and B using GSDF conversion.

このように、デバイス間の輝度を対応させる手段として、CR（Computed Radiography）等の画像生成装置や、イメージャ／ビューア等の画像出力装置は、以下の機能を有する必要がある。

2. 2. 2 画像生成装置の階調処理

画像生成装置では、画像データの画素値を P 値に変換して送信を行う。P 値とは、JND indexを正規化したもので、視覚にリニアな値である。Fig. 3 を用いてREGIUSの画素値である12bitの相対濃度値（D 値）から P 値を求めるまでの階調変換方法を説明する。まず、D 値の0～4095はフィルムの最低濃度（Dmin）～最高濃度（Dmax）にリニアに対応する（第1象限）。次にフィルムを透過したシャウカステン光の輝度 L_f を(1)式で求める（第2象限）。

$$L_f = L_a + L_0 \times 10^{-D} \quad \dots (1)$$

但し、 L_f ：フィルム面の輝度

L_a ：周囲光がフィルム面で反射する輝度

L_0 ：シャウカステン輝度

D：フィルム濃度

ここで、REGIUSでは、画像を観察する標準的な環境として $L_0=2000\text{cd/m}^2$ 、 $L_a=10\text{cd/m}^2$ を用いている。次に、GSDFカーブを用いて、輝度からJND indexを求め（第3象限）、JND indexの最小値がP値の最小値（0）、JND

indexの最大値がP値の最大値（4095）に対応するように正規化を行う（第4象限）。以上の処理により、D値をP値に変換するLUTを作成し、画像に適用して送信を行う。

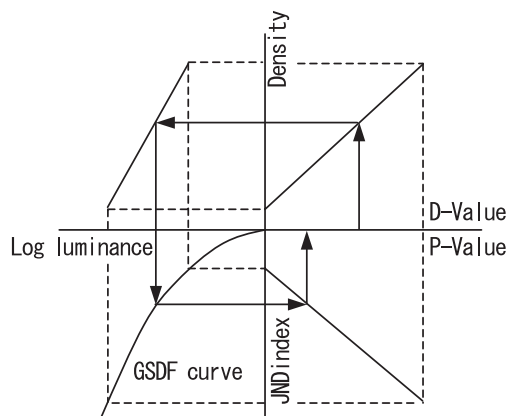


Fig.3 Conversion of D-Value to P-Value using GSDF for an image-acquisition device such as REGIUS.

2. 2. 3 画像出力装置の階調処理

イメージャ、ビューアなどの画像出力装置は、Fig. 4 に示す階調特性（入力値と表示輝度/濃度の関係）で出力を行う。まず、入力画素値（P 値）が、装置のJND indexのダイナミックレンジにリニアに対応するように変換（第1象限）し、GSDFカーブを用いて輝度に変換する（第2象限）。モニタ表示では入力画素値が上記輝度に対応するようにキャリブレーションを行う。イメージャの場合は、(2)式により輝度を濃度に変換（第3象限）し、入力画素値が上記濃度に対応するようにキャリブレーションを行う。

$$D = -\log((L_f - L_a) / L_0) \quad \dots (2)$$

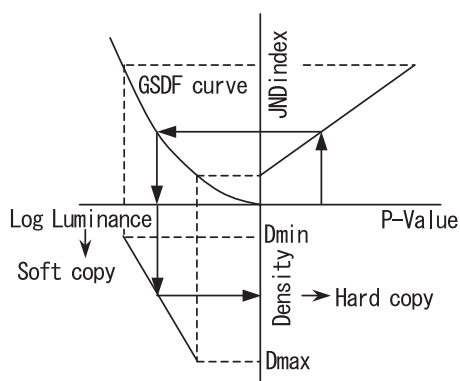


Fig.4 Conversion of P-Value to luminance and density using GSDF for an image-output device.

2. 3 Dmax が異なるフィルムへの対策

一般的には、Dmax 3.0 のフィルムが多く使われているが、マンモグラフィ（乳房撮影）では、Dmax 3.6 以上の高濃度フィルムが使われる。この為、従来は出力先の

フィルム濃度に応じて、REGIUSから出力する画像の階調処理を変えて、適切な階調を得ていた（Fig. 5）。

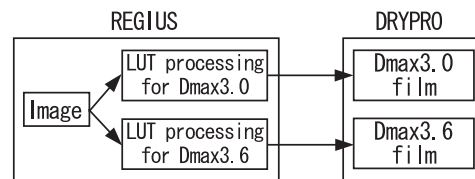


Fig.5 Gray scale flow in image transmission from REGIUS to DRYPRO in old method.

しかし、REGIUSとイメージャ間に他社PACS（Picture Archiving and Communication System）が入った場合、濃度3.0用に処理した画像が濃度3.6のフィルムに出力されたり、逆に濃度3.6用に処理された画像が、濃度 3.0のフィルムにプリントされる場合があり、階調の整合性が得られないという問題があった。また、REGIUSの処理パラメータを出力先フィルムのDmax毎に用意する必要があり、非常に煩雑であった。これらの問題への対策として、Fig. 6 に示すように、REGIUSの階調処理を出力先のDmaxに関係なく同じ処理を行い、画像をP 値に変換して出力する。また、DRYPROでは、受信したP 値画像を、出力するフィルム濃度に応じて、GSDF変換を行って出力する。これによりPACSが介在しても適切な階調でフィルムプリントが行えるようになった。

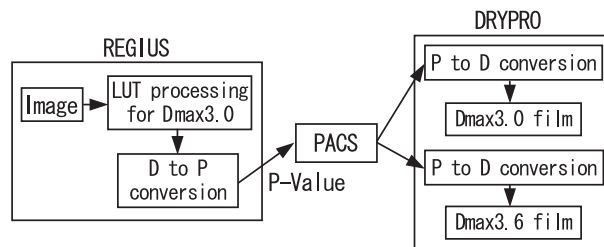


Fig.6 Gray scale flow in image transmission from REGIUS to DRYPRO in new method.

Fig. 7 は、従来の方で、濃度3.0と濃度3.6のフィルムにプリントした場合と、上記P 値変換を行って濃度3.6フィルムにプリントした場合の、濃度階調を比較したグラフである。P 値変換を行う新手法でも、診断上重要と

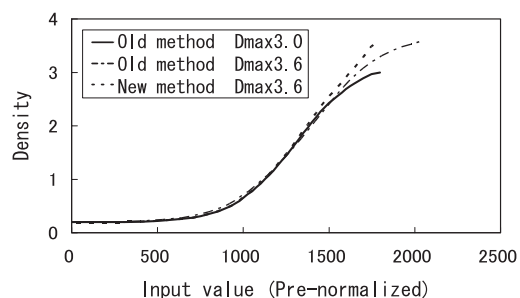


Fig.7 Comparison of characteristic curves on DRYPRO films using the old and new methods.

なる中間濃度領域が、従来方法と同様に適正な濃度階調でプリントされることが分かる。

2. 4 従来装置や過去画像の混在環境への対策

既設システムへ新仕様を適用する場合などは、P 値画像の送受信に未対応の装置や、他社メーカのサーバに保存された過去のD 値画像との整合性確保が問題となる。対策として、D 値→P 値変換、P 値→D 値変換ゲートウェイを設けることにより、階調の整合性を確保する。

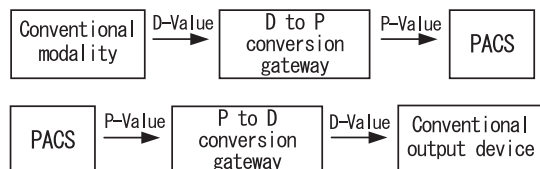


Fig.8 Gray level conversion gateways for conventional modality and output device.

2. 5 表示装置や観察環境の経時変化への対策

一度、デバイス間の見え方を合わせても、モニタの劣化や故障、或いは周囲光の変化による映り込みの影響などにより、時間の経過とともに見え方は変化する。例えば、CRT（Cathode Ray Tube）は、カソード電極や蛍光体の劣化等により、一般的に15000時間程度で輝度が半減する。LCDの場合もバックライトの劣化により、30000時間程度で輝度が半減することが知られている。この為、モニタの品質管理が重要となり、輝度計を用いたモニタのキャリブレーション機能により、モニタの個体差や周囲光の影響含めた表示階調の変化に対する補正を可能としている。

3 Display Consistency の基本仕様

以上を踏まえ、システム全体で階調の見え方を整合させる為の基本仕様を以下に示す。

- 1) REGIUSから他社ホスト、及びDRYPROに対して、P値に変換した画像を送信する。但し、自社ホストに対しては、受信ホストで自動階調処理、周波数処理、ダイナミックレンジ圧縮処理等の再処理を行えるよう、従来通り未処理画像で送信する。(Fig. 9)
- 2) REGIUS の自動階調処理は、出力先フィルムのDmaxによらず同一の処理を行う。
- 3) DRYPROは受信したP値画像を、出力するフィルム濃度に応じてGSDF変換を行ってプリントする。
- 4) ホストは、受信したP値画像をGSDF変換してモニタ表示を行う。但し、GSDFキャリブレーションに対応していないモニタに表示する際は、表示LUTでGSDF変換を行い、モニタ表示を行う。
- 5) P値変換に未対応の従来装置に対しては、D→P

値/P→D値変換ゲートウェイを設定することで整合性を得る。

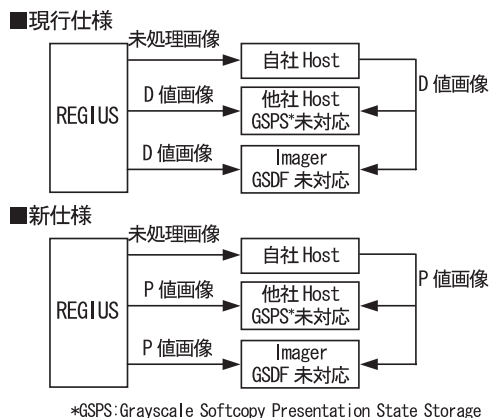


Fig.9 Gray level flows in image transmission from REGIUS in old and new methods.

4 対応機種

下記製品に対して、新ソフトウェアバージョンから、前記新仕様を実装した。また、今後リリースする新機種に対しても新仕様を実装する予定である。

- ・ P 値画像送信機能
REGIUS CS-1, REGIUS-IM, REGIUS MODEL 150
- ・ P 値画像受信機能
DRYPRO MODEL 771, DRYPRO MODEL 751/752
- ・ P 値→D 値、D 値→P 値変換ゲートウェイ機能
ID-680RM

5 まとめ

Display Consistencyの基本仕様を検討し、各製品へ実装を行った。これにより、下記の課題を解決し、システム全体での見え方の整合性を実現した。

1. DICOM GSDF 未対応装置の混在
2. 見え方を合わせる階調変換方法
3. Dmax が異なるフィルムの混在
4. 従来装置や過去画像の混在
5. 表示装置や観察環境の経時変化

今後、医療システムのネットワーク化や、モニタ診断が更に進展する中で、最適な診断画像を提供するためには、モニタの品質管理や、モニタ診断に適した表示技術が重要であり、これらの検討を行っていく。最後に、取り組みに当たり、ご協力いただいた多くの関係者の方々に感謝致します。

●参考文献

- 1) DICOM Part14 Grayscale Standard Display Function
- 2) REGIUS MODEL150 技術解説書