

AN03：画質とピクセル補正方法の解説

はじめに

画質とピクセル補正という互いに関連した2つの事柄は、ラドアイイメージセンサーとシャドボックスカメラの性能をよく理解して最大限に活用するのに非常に重要です。これらの製品の基礎になっているのは、X線イメージングアプリケーション用に特別に開発された広域CMOSセンサーであるラドアイ1イメージャーです。この説明書で述べている画質の解説とピクセル補正方法は、ラドアイ1をお客様のアプリケーションで最大限に活用するのを手助けするためのものです。

この説明書の前半は、X線イメージセンサーの画質を決めるのに重要な考えと定義について概説しています。後半は、ピクセル補正について説明し、画像の中の欠陥ピクセルを置換するのに通常用いられているいくつかの方法を紹介しています。

画質

なぜ画質を決めることが重要なのでしょうか？理想を言えば、どのイメージャーでもすべてのピクセルが正確に同じように振る舞わなければなりません。イメージャーをふるいにかけて理想に近いものだけを受け取るようにすることはできますが、あまりにも高価なものになってしまいます。現実には、ラドアイ1イメージャーは、12.34平方メートルに160万個のトランジスタが収まった非常に複雑なICで、世界中のどの半導体メーカーで作っても多少のむらが生じるのは避けられません。現在の最新の処理技術を最大限に活用するために、ラドアイコンは以下のように画質についてグレードを設けています。

画質のグレード

ラドアイコンイメージセンサーには2つの画質グレードがあります。**プレミアムグレード**のイメージセンサーには欠陥のある列や行（ライン）が含まれていません。**スタンダードグレード**のイメージセンサーには欠陥ラインが3本以内まで含まれています。列あるいは行（ライン）の欠陥は、40%以上のピクセルが欠陥ピクセルであるラインと定義されています。隣接した2本の欠陥ラインは1本の欠陥ラインとして数えます。2本を越える隣接したラインに欠陥がある場合は不合格品としています。

いずれの画質グレードも、ピクセル総数の0.1%までの個々の欠陥ピクセルを含んでいることがあります。たとえば、524,288ピクセルからなるラドアイセンサーは、524までの欠陥ピクセルを含んでいることがあります。通常のセンサーが含んでいる欠陥ピクセルは10以下ですが、40%の条件には届かない部分的な欠陥ラインの場合は、数百の欠陥ピクセルとして数えます。

温度レスポンス

欠陥ピクセルは、ダーク信号が飽和信号の10%を超えるか、光反応がイメージャー内の全有効ピクセルの光反応の平均の50%以下のピクセルと定義されています。飽和信号は製品のデータシートで規定されています（たとえば、ラドアイ 1 の場合は3,000,000エレクトロンです）。これらの数値は一般に、積算時間（露光）を1秒にして室温で測定されます。

製品のダーク信号はほとんど、露光中にフォトダイオードに積もっていく漏れ電流によって生じます。この「暗電流」は、温度によって変わり、温度が10°C上昇すると約2倍になります。したがって、1ピクセルの暗電流が室温で1000エレクトロン/秒の場合は、50°Cでは約10,000エレクトロン/秒に増加します。温度が変化するとどのピクセルの暗電流も同じように増加するので、非均一暗電流つまり固定パターンノイズも同じように変化していきます。図1の2つの画像はそれぞれ室温と55°Cで撮影されたもので、このことを示しています。X線カメラは一般にピクセルごとのオフセット補正が組み込まれているので、センサーの温度が安定しているかぎり非均一暗電流を取り除くことができます。



Fig. 1a – Dark image at 25°C

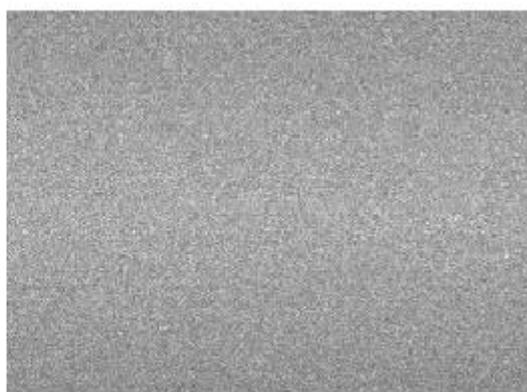


Fig. 1b – Dark image at 55°C

有効イメージング領域

ラドアイセンサーの有効イメージング領域は、列と行の総数よりもわずかに小さくなる場合があります。イメージセンサーは素子の最初の列か行に特別の参照ピクセルを含んでいることが多くあります。ラドアイ 1 センサーとシャドボックス512カメラの有効イメージング領域は511行X1022列です。ラドアイ 2 センサーとシャドボックス1024カメラの有効イメージング領域は1022行X1022列です。ラドアイ 2 とシャドボックス1024は、2つの独立したイメージセンサーを合わせたもので、2つのイメージ領域の間には約200の「隙間」があります。有効イメージング領域の外側の列と行や隅の部分は画質のグレードの定義には含めません。

画質のグレードと有効イメージング領域の定義は、変更する場合があります。特にラドアイ 2 とシャドボックス1024の隙間の仕様については、近い将来に100に減らす予定です。最新の情報については代理店か弊社のサービス部に問合せてください。

ピクセル補正

近傍のピクセルと異なっているピクセルは、乱れている可能性があり許容できないことがよくあります。デジタルX線イメージングシステムは、画像の均一性を向上させるために**オフセットとゲインの補正**を用います。この補正方法は（2ポイント補正と呼ばれることもあり）、2つのキャリブレーションポイント　1つはゼロ信号（オフセット）で、もう1つは（ゲインを計算するために）一般に飽和の約50%の点　に基づいて画像の各ピクセルの信号レスポンスを調整するものです。この方法は、イメージャーの非均一レスポンスの補正のほかに、X線ビームの変動（つまりヒール効果）の補正や信号経路（たとえば保護カバーの傷や電子回路のばらつき）における非均一性も補正します。

けれども、オフセットやゲインの補正では十分でないほどかけ離れているピクセルの場合はどうでしょうか？ピクセルのレスポンスが低すぎるかピクセルが絶えず飽和している場合は、その信号には画像を忠実に再現するのに十分な情報がありません。この場合、欠陥ピクセルからの本来の信号は、最近傍のピクセルの信号情報から推定しなければなりません。これにはいくつかの方法があり、効果や計算の複雑さなどそれぞれに一長一短があります。

個々のピクセル

個々のピクセルを補正する一番単純な方法は、**メディアンフィルターの適用**です。この方法では単にピクセル値を周囲のピクセルの中央値と置き換えるだけです。問題のある（値が高すぎるか低すぎる）ピクセルをうまく排除できますが、単に近傍のピクセルの1つを複製して得られるわずかの情報のみを用います。これと似ていてもう少し複雑な方法は**ミーンフィルター**です。この方法では欠陥ピクセルを周囲のピクセルの平均値と置き換えます。このためには、周囲のピクセルが「欠陥のないことがわかっているピクセル」であるか、アルゴリズムが欠陥のある近傍ピクセルを無視するようになっていなければなりません。この方法は、1つよりも多い近傍ピクセルの情報を用いるので、メディアンフィルターよりは幾分よい結果が得られます。ミーンフィルターで補正された個々のピクセルを補正画像の中で識別するのは非常に困難です。

列と行

列や行の欠陥の場合は、周囲に「欠陥のないことがわかっているピクセル」がほとんどないためと、個々のピクセルの場合よりも画像内の不連続が目立つために、補正がもっと難しくなります。それでも単に個々のピクセルの欠陥とみなして、上に述べたメディアンフィルターかミーンフィルターを用いて補正することも多くあります。もっと単純な方法は、欠陥のある列や行の垂直方向に**内挿処理**を適用することです。この方法はミーンフィルターと本質的には同じですが、行（あるいは列）の中の各欠陥ピクセルの左右（あるいは上下）にある2つの近傍ピクセルのみを用います。

あいにくミーンフィルターや内挿処理で補正された画像の線的な欠陥は、欠陥のある行や列に鋭いエッジが交差している画像では簡単に見つかります。これらの方法はどれも欠陥の近くの画像がぼやけて、高周波数の情報が失われます。欠陥が隣接する2列や2行の場合は、ぼやけはさらに目立ちます。こうした状況を避けるのに**画像グラディエント**という方法があります。この方法は、周囲のピクセルのすべてあるいは2つを無差別に平均化することはしないで、欠陥ピクセルの近くのいくつかの方向の画像の段階的变化を調べて、変化が最小の方向へ欠けている値を内挿します。たとえば、画像の中の段階的变化が欠陥のある行と45°の角度で交差している場合、最小の画像グラディエントはこの段階的变化（あるいはエッジ）の方向になります。この方向に沿って2つのピクセルの間を内挿処理すると、欠陥のある行を横切って水平に内挿処理するよりも欠けたピクセル値の推定がうまくいきます。欠陥のある列や行が2つ以上にまたがっている場合でも、画質は著しく向上する可能性があります。図2は、画像の真ん中にある2行の欠陥と交差してコントラストの強いエッジが多数あるテスト画像で、「最悪の場合」との違いを比較したものです。内挿処理した画像では欠陥のある場所がすぐ目につきますが、画像グラディエント法では、欠けた情報がほとんど完全に再現されています。

画像グラディエント法には欠点が2つあります。1つは計算が複雑になることで、これはリアルタイムやリアルタイムに近いイメージングシステムでは重要になります。もう1つの欠点は、画像がデテクターのNyquist点かその近くでコントラストの強い情報を含んでいる場合に不自然な結果を生じさせることです。とはいえこれは特殊な場合で、一般に空間周波数の高い点でMTFが非常に低いX線イメージングシステムではほとんど起こりません。

画像グラディエント法を詳しく分析した文献については以下のものを参照してください。

"Comparison of adaptive linear interpolation and conventional linear interpolation for digital radiography systems" by F. Xu, H. Liu, G. Wang and B. A. Alford, *Journal of Electronic Imaging*, Jan. 2000, Vol. 9(1), pp. 22-31.

シャドカムのピクセルマップ

ラドアイコンのシャドカムソフトウェアには、オフセット、ゲインおよびピクセル補正が組み込まれていて、自動的に最良の画質をユーザーに提供するようになっています。シャドカムは、ピクセル補正についてはミーンフィルターを用いて個々のピクセルを補正しています。列と行については、直接内挿処理が画像グラディエント法で補正されます。補正方法はAcquisitionメニューの中Preferencesダイアログボックスで選択できます。

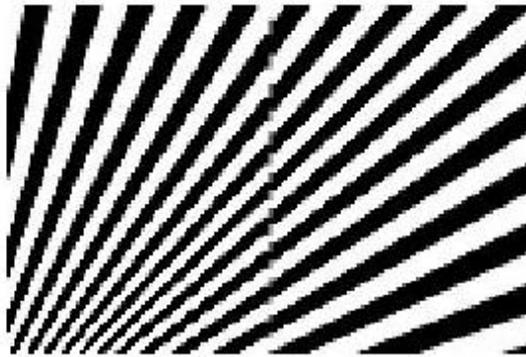


Fig. 2a – Two-column defect with interpolation

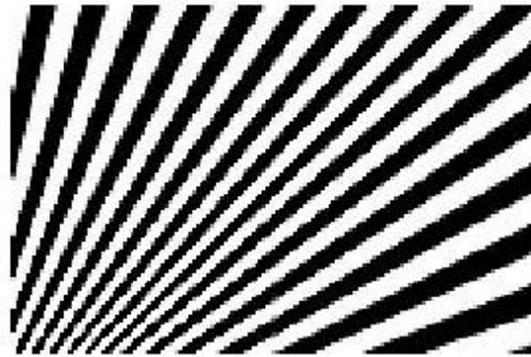


Fig. 2b – Two-column defect with gradient method

シャドカムは、欠陥のあるピクセル、列、行を、**ピクセルマップ**と呼ぶリストにして記録しています。これは、欠陥のあるピクセルの列と行における座標と、欠陥のある列のY座標と行のX座標をテキストベースのリストにしたものです。シャドボックスカメラにはそれぞれ工場で測定したピクセルマップが付属していますが、ピクセルマップは手動で編集することもでき、各画像用に選択したスレッシュホールドに基づいて新しいピクセルマップを作成することも可能です。

まとめ

CMOSイメージセンサーは、高集積化された複雑なアナログ回路なので製品ごとの多少のばらつきは避けられません。こうしたばらつきを数量化して製品の性能を分類するために画質にグレードを設けています。ラドアイコンの画質の定義には、列と行の欠陥がないプレミアムグレードセンサーとわずかに欠陥ラインが含まれるスタンダードグレードセンサーがあります。製品の有効イメージング領域はピクセル総数よりもわずかに小さくなる場合があります。

ピクセル補正は、ソフトウェアによって画像内の欠陥ピクセルを推定値と置き換える方法です。ほとんどのピクセル補正方法は、欠けたピクセルの正しい値を推定するのに近傍ピクセルを用います。補正に使用するピクセル数を多くすると、補正の精度は向上しますが、計算に要する時間が増加します。単純なピクセル補正方法には、メディアンフィルターと線の内挿処理があります。もっと複雑な画像グラディエント法は、画像の段階的変化の情報を用いて、欠けているピクセル値をよりうまく推定します。