

## リアルタイム・ビデオ改善、 PIXON 法を100%活用いただく為のガイドライン 2004 年 3 月

### 1. 概要

- Pixion 社の製品は、ブレ、弱光、ダイナミックレンジという、映像劣化の問題として最もよく知られている三つの要因を改善する、リアルタイムのビデオ映像処理技術を備えたビデオプロセッサです。
- PixionI 社の製品が採用している PIXON 法 (Pixion Method) の効用を最大限に利用するには、映像のボケが三つのパラメータ (ブレ、弱光、ダイナミックレンジ) による原因で起こり、そのパラメータには範囲があり、PIXON 法がどのようにそれぞれのパラメータを処理しているのかを理解するのが重要です。以下はそれぞれのパラメータの概要です。本稿ではこれらの概要説明に続き具体的な撮影条件例を挙げ、その後、技術詳細、文中の用語を説明します。
- **ブレ (Blur)** : PIXON 法映像処理はブレ幅を約半分に減少させます。その結果、解像度が同じ割合で増え、2倍になります。光学アプリケーションでは殆どの場合空気によるブレが存在します。空気によるブレの角度幅は通常数十マイクロ弧度、非常によく見える状態の場合は10マイクロ弧度以下になりえます。<sup>1</sup>

カメラを通して映る映像の中の対象物の角度の大きさがブレ幅に近いなら、ブレ削除が必要になります。もしその対象物の角度がずっと大きいならブレ削除は必要無いでしょうし、もしその角度がずっと小さいならブレ幅を半分にして解像度を上げてても意味がありません。

ブレ幅が2~4画素になるサンプル映像をご用意ください。1画素が占める角度(マイクロ弧度)の大きさはその幅(マイクロン単位)をレンズの焦点距離(メートル単位)で割って求めます。例えば、画素幅が5マイクロンで焦点距離が1000 ミリ(1メートル)である場合画素の角度は5マイクロ弧度になります。弊社の映像処理をする理想的なブレ幅は10~20マイクロ弧度です。

<sup>1</sup> 1マイクロ弧度は $10^{-6}$ 弧度です。例えば、幅がその距離に対して100万分の1の対象物がカメラの画素面を占める角度です。また、10マイクロ弧度は1kmの距離にある1cm幅(車のナンバープレートの文字幅と同じくらい)の対象物に対応します。

- **弱光(Low light)**: ノイズ抑制は映像の細かい濃淡の差を識別したり、映像に何があるのかを調べるために必要です。弊社の映像処理機は解像度を下げない為に、シーン毎にノイズ抑制を適応させるという点でユニークです。例えば、アンテナ等の様な小さい、幅の狭い対象物のノイズ抑制は消極的におこない、その背景にはノイズの抑制を積極的に行います。その結果、細い形形状の対象物が背景に対してははっきり見えるようになります。  
映像の信号とノイズの比率(S/N)は光量が不十分の場合小さくなります。その理由として環境照明が十分でない、カメラのシャッタースピードが速い、カメラの F ナンバーが大きいなどが挙げられます。このような条件下では PIXON 法によるノイズ抑制が非常に重要になります。
- **ダイナミックレンジ**: PIXON 法は、適応型のコントラスト強調を行い、同じ映像の中で共存する眩しいほど明るい部分と暗い陰の部分を同時に見えるようにし、霞がかかっている部分の詳細がわかるようにします。このコントラスト強調はカメラの特徴、画素数、焦点距離、F-ナンバーとは無関係に行えます。

## 2. 撮影条件例

- **人物・車のライセンス番号の識別**: どちらの場合も必要な解像度は約 1 センチです。この解像度はナンバープレート上の文字の太さに対応し、また、顔の特徴を表現する 20~30 のイメージに対応します。

空気によるブレは日によって、時間によって変わります。通常のブレのサイズは約 20 マイクロ弧度ですが、PIXON 法で処理をすると、これを約 10 マイクロ弧度まで減らすことが出来ます。この程度の条件下では、ナンバープレート上の文字や顔は約 1 キロの距離からでも識別し読み取ることが出来ます。画素のサイズが 5 マイクロンの場合、焦点距離を約 500 ~ 1000 ミリ(0.5 ~ 1 メートル)にしてください。そうすると、画素の角度は 5 ~ 10 マイクロ弧度程度になり、空気によるブレに関して十分な数のサンプルが取れます。

空気によるブレが悪い場合、例えばブレ幅は 40 マイクロ弧度になります。PIXON 法の映像処理ではこれを 20 マイクロ弧度まで減らすことが出来ます。そうすると 500 メートルぐらいの距離でもナンバープレートは読めるようになりますし、顔の識別も可能です。

PIXON 法の映像処理を使うと焦点距離に対する要求は半分に減らせますが、だからといって焦点距離の短いカメラを使わないようにしてください。なるべく焦点距離の長いカメラをお使い下さい。その方が大気を通した対象物はよく見えます。もし環境条件が悪化した場合、ズームアウトすることによりカメラの焦点距離を短くすることができます。しかしながら、カメラの最大焦点距離が短かすぎ、ズームを最大にしても十分でない場合は対応できないこととなります。

PIXON 法による解像度の改善度を試験するにあたって、対象物をナンバープレートや顔が簡単に見える距離(約 200 メートル)から顔もナンバープレートも完全に見えない距離(2 キロ)

にまでの何段階かの距離に設置してみてください。ナンバープレートが読め、顔の識別ができる最大距離は空気によるブレの大きさに依りますが、この条件は変動します。しかし、もし正しく設定すれば、PIXON法で処理した映像では処理しないものに比べ二倍の距離でも識別できるはずです。

- **車、小さい船舶、ビルの識別:** この場合の解像度要求は 10 センチ、対象物に対する分解素子 (resolution elements) は 30 位 までです。距離が 10 倍になる点以外は上で述べたのと同じ計算式を使います。測定上の解像度 (metric resolution) は 10 倍になりますが、角度の要求 (angular requirements) は同じだからです。
- **光量が不十分:** PIXON 法での光量 (環境照明) が不十分であるために起こるノイズの抑制を実験するには、朝方か夕方に撮影を行ってください。そうでなければ、シャッタースピードの速いカメラを使うか、またはレンズに入ってくる光の量を制限するためにカメラの F ナンバーを増やして (レンズの口径を狭くするかそれともズームさせる) ください。
- **ダイナミックレンジ:** PIXON 法の適正ダイナミックレンジ調整の実験をするには極端な明暗の部分のあるシーンを選ぶか霞のかかったシーンを選んでください。

### 3. ブレ

映像のブレ (blur) はポイント反応機能 (PRF) で測定します。PRF は無限遠にある点光源が焦点面配列 (FPA) の上で展開するイメージです。PRF を使うメリットはその半値幅 (FWHM) にあります。半値幅は通常の解像度の限界です。PRF の FWHM によって分かれた無限遠にある 2 つの点光源のイメージが 1 つの拡散物体として融合して表れるからです。

PIXON 法でブレ取り (deblur) 処理した映像は、残りの PRF の FWHM がオリジナルの PRF の約半分になり、従って解像度は 2 倍に改善します。弊社の技術が他のどんなブレ修正技術よりも有利な点は、ノイズを拡大せず、アーチファクト (虚像) を導入せず、クリーンな映像を作り出すことです。

ぶれの主な原因は大気にあります。(宇宙からの観察映像を除く) 非常によい条件下では、大気の PRF の FWHM 角度幅は 10 マイクロ弧度までです。例外的な条件下では、これは 5 マイクロ弧度まで下がることもあります。一般に、水平の展望の場合は特に、この値は数倍大きく、例えば数 10 マイクロ弧度になります。どの様な場合も、大気のブレは強力な望遠鏡アプリケーション上の問題であり、数 10 マイクロ弧度程度の解像度が重要になります。

PIXON 法の処理が効果的であるには 2 つの基本条件を満たす必要があります。(これはどのよ

うなブレ取り技術でも同様です。) 第一に、解像度要求は予想されるブレの状態に適合しなければなりません。PIXON 法の処理は2倍までの解像度を提供します。御社がこの 2 倍の解像度改善を要求するかどうか確認してください。第二に、PIXON 法で処理する場合は十分に長い焦点距離のカメラを使用してください。以下にアプリケーションに必要なパラメータの計算方法についての正確な手順を述べます:

- ブレ取りは対象物に対して有効でなければなりません。PIXON 法の処理は PRF の FWHM を約半分に減らすことができます。それゆえ、もし必要な解像度が  $0.5 \sim 1 \times \text{PRF}$  の FWHM なら最も有意になります。求める解像度が PRF の FWHM よりずっと大きい(例えば、大気のブレの場合、数百マイクロ弧度) ならば、ブレ取りを PIXON 法で処理する意味はほとんど有りません。同様に、求める解像度が PRF の FWHM よりずっと小さい(例えば 1 マイクロ弧度以下)ならば、PIXON 法のブレ取りは不十分になります。
- FPA は PRF を十分にサンプリングしなければなりません。経験から、PRF の FWHM は FPA 上の 2 ~ 4 ピクセルに設定するのが適当と言えます。1 ピクセルの角度幅(マイクロ弧度の)は、

$$= a / F$$

と記述できます。ここで、 $a$  はミクロン単位のピクセルの大きさであり、 $F$  はメートル単位のカメラの焦点距離です。ピクセルの角度幅  $\theta$  は次に PRF の FWHM と比較するべきです。例えば、ピクセル幅が  $a=5$  ミクロンでカメラの焦点距離が  $F=1000\text{mm}(1 \text{ m})$  なら、 $\theta=5$  マイクロ弧度です。FWHM が 10 マイクロ弧度ある大気のブレの場合、FPA 上では PRF の FWHM は 2 ピクセルあり、これは PIXON 法の処理に最適です。対照的に、カメラの焦点距離が  $F=100\text{mm}(0.1 \text{ m})$  なら  $\theta$  は 50 マイクロ弧度です。これは大気のブレよりずっと大きいかもしれません。このような条件の下ではサンプリングは不十分です。

PRF の FWHM が FPA 上で 4 ピクセル以上広がっているなら、カメラの焦点距離を減らすと通常よりよい結果を得ます。これは光学式ズーム機能を持つ一般的なカメラでは容易に行えます。この光学による限界は通常他の面で経験します。それはズームを最大にしても焦点距離が不十分な場合です。

#### 4. 弱光

我々の弱光条件下で物を見る能力はノイズの制限を受けます。ノイズは弱光レベル自身(検出した光子の数が少ない為に発生する統計的強度変動)や電気的な原因や他の原因で発生することがあります。統計的ノイズの発生源がどんなものであっても、ノイズはピクセル間のバリエーションを起こし、濃淡の自然なグラデーションを認識しにくくします。

ノイズの効果は SN 比率(SNR)と呼ぶ信号対ノイズの比率で表します。SNR は映像の濃淡が変化し、ノイズレベルが変わることがあるので、映像全体を通して変化します。

低いSNRは、ブレが問題でない時、たとえば、PRFのFWHMの影響よりずっと大きい場合でも、間接的に解像度の損失を起こすことがあります。変動する信号の強弱の範囲がノイズレベルと同等か小さいので信号を感知できないという単純な理由の為、映像の詳細部分が失われます。信号とノイズの違いを検出するには、信号がノイズより少なくとも3~5倍大きいことが基準となります。

ノイズは近隣のピクセルと信号を平均化することで低減できます。信号上に加わる統計的変動はポジティブでも、ネガティブでもあることがあるので、ノイズによる統計変動は平均化により減らせます。ピクセルは周囲のローカルな映像条件に対して平均化しますが、PIXON法のノイズ削減はそのピクセルの数を映像の各部分の条件に適應させることによって解像度を損わずにノイズ低減を最大化するという点でユニークです。

従って、PIXON法のノイズ削減は映像処理の条件が変動する映像に対して最大のメリットを提供します。例えば、映像上にアンテナやケーブルがあり、それらを表現する必要がある時、PIXON法のノイズ削減の程度はアンテナやケーブルの部分では解像度を失わない様に少なくなり、背景の部分ではより大きなノイズ削減を行い、情報の損失が起こらない様にします。この方法により、求める映像の特徴(この場合のアンテナやケーブル)は背景に対して見える様になります。

もちろん、SNRがより小さい弱光の条件下では、ノイズ削減はより重要です。光のレベルは3つの要素に依存します：(i)環境光、(ii)シャッタースピード、(iii)Fナンバー(レンズ口径の直径とカメラの焦点距離の比率)です。

## 5. ダイナミックレンジ

人の視覚は限られた範囲の暗い部分と明るい部分しか見られません。隣りあった暗い部分と明るい部分(影とぎらぎらする光った部分が近接している部分)の詳細を同時に見ることは困難です。例えば、8ビットデジタルディスプレイでは、光の強度はデータ番号(DN)が0から255に及びます。しかし影の部分がDN=0.40しかなく、一方明るい日光が当たった隣接部分がDN=215.255である場合があります、どちらの部分も輝度とコントラストが最適ではありません。従ってどちらの部分でも表現可能な光の強度範囲(intensity)を効果的に使えず、対象物は目視し難くなります。

ディスプレイ装置は、通常映像全体の明るさとコントラストを調整できますが、映像全体の部分ごとに異なった調整はできません。DN=0~40の影の範囲は最大DN=0~255に拡大できますが、そうすると太陽光の当たっている領域は最大の強度になり、その部分の詳細は全く見られなくなります。逆にDN=215~255の太陽光が当たっている領域は最大DN=0~255まで下げられますが、そうすると影の部分は最小の強度、ゼロになり、その部分の詳細表示は失われます。

PIXON法はこの困難を克服するため、適応コントラスト強調(adaptive contrast enhancement)を提供します。これは映像の各部分の条件に適應して各部分の明るさとコントラストを自動的に調節するものです。これによりDN=0~40の影の範囲の輝度を上げ、同時にDN=215~255の太

陽光の当たっている範囲の輝度を下げることができます。

もう1つの重要なアプリケーションは霞の削減です。霞んでいる映像内の見たいものがある対象領域の光の強度は中程度の範囲にあり、それほど重要でない背景の対象物はより暗く、空がより明るい場合があります。その結果、対象領域の光の強度の幅は、例えば DN=100 ~ 140 の様に狭まります。PIXON 法の処理は、コントラストを適応させます。即ち、より暗い、より明るい領域を損うことなく霞んだ領域の光の強度の範囲を拡大します。

## 6. 用語解説

<b>DN</b>	データ番号：フォーカルプレーン配列 (FPA: focal-plane array) 内のピクセルからのデジタル信号の読み出し。普通の光検知器は 8 ビットデータ (DN=0 ~ 255) を出力する。
<b>F-ナンバー</b>	レンズの開口部の直径と焦点距離の比率。
<b>FPA</b>	焦点面配列 (Focal-plane array)：カメラの焦点面に置かれたピクセル検出チップ。
<b>FWHM</b>	Full-Width at Half Maximum：有効なポイント反応機能 (PRF) の幅。従って解像度の単位となる。
<b>マイクロ弧度</b>	1 弧度の $10^{-6}$ ：幅がその距離の 1000000 分の 1 である対象物に対するカメラ側の角度。例えば、10 マイクロ弧度は 1km の距離での 1cm (自動車のナンバープレートの文字幅程度) に対応する。
<b>PRF</b>	ポイント反応機能 (Point-Response Function)：無限遠の点光源が焦点面配列 (FPA) 上に展開する映像。
<b>SNR</b>	信号対ノイズ比 (Signal-to-Noise Ratio)：信号 (映像強度) とノイズの比率。SNR は、映像強度が場所によって変わり、ノイズレベルも変わることがあるので、映像の場所に応じて変化する。