

グラフィック・ディスプレイにおける高速ライン・スムージングの実現

島田喜夫, 立道孝臣, 中井恒雄, セイコー電子工業株式会社

嶋田博明 日本ユニシス株式会社

ラスター・スキャン型のグラフィック・ディスプレイにランダム・スキャン型の特徴である描画される直線の線質の滑らかさを導入することを目的とする。この線質を実現するために直線の仮想線幅に対して各ピクセルの領域に占める面積を計算し、その面積に比例して各ピクセルを光らせるというライン・スムージングの手法（面積法と呼ぶ）を提案する。

また派生的な問題として仮想線の端点処理、短ベクトル（2ピクセル以下の極端に短いベクトル）処理についても特殊処理を行っている。この他にもランダム・スキャン型の特徴である重複線高輝度表示機能も含めてグラフィック・ディスプレイの試作を行い、ラスター・スキャン型でも滑らかな線質を得ることができた。また描画速度についても毎秒100万ベクトルに近い速度を達成した。

HIGH SPEED LINE-SMOOTHING TECHNIQUE FOR GRAPHIC DISPLAY DEVICE

Yoshio Shimada, Takaomi Tatemichi, Tuneo Nakai

Seiko Instruments Inc.

1-1-1 AKANEHAMA, NARASHINOSHI, CHIBA

Hiroaki Shimada

NIHON UNISYS Ltd.

2-17-22, AKASAKA, MINATOKU, TOKYO

We propose a high speed line-smoothing technique for Raster Scanning type graphic display device. The purpose is to get high quality smoothness of the line such as Random Scanning type. The method is to assume a line with its own imaginary line width, calculate the area of overlap between the line and a pixel region and turn on the pixel with the brightness in proportion to the area. Besides we also solve the problems of edge form and short vector (length below 2 pixels).

In the trial production of the model, smoothness of the line is sufficient. The function called cross line highlight which is another feature of Random Scanning type is added to the model. Line drawing speed of the model is nearly one million vectors per second.

1. はじめに

近年のグラフィック・ディスプレイは、そのほとんどすべてがラスタ・スキャン型になっている。これはメモリ素子の価格の低下により大容量のフレーム・バッファが容易に実現できるようになったこと、60Hzノン・インタレース・モニタの普及により全くちらつきのない画面が表示できるようになったことなどが要因としてあげられる。対照的にランダム・スキャン型のグラフィック・ディスプレイは、現在ではほとんど皆無になってしまった。これはランダム・スキャン型には表示ベクタ数を多くするとフリッカを起こしてしまう、面塗り表示が難しいなどのデメリットによる。しかしランダム・スキャン型にもいくつかの特徴があり、有効に活用することによりメリットとして活かすことが可能である。その特徴として下記の3点があげられる。

① 表示される直線が滑らかである。

一般にラスタ・スキャン型で斜め線を描画するとジャギまたはエリアシングと呼ばれる階段状の表示となってしまう。これはラスタ・スキャン型の有する方式上の欠点であり、ワイヤ・フレーム・モデルの表示には大きな妨害となる。しかしランダム・スキャン型は直線の方にビームを走査するために表示される直線はきわめて滑らかである。

② 直線の重なった部分の輝度が加算されて表示される。(重複線高輝度表示)

ラスタ・スキャン型での表示は通常は後書優先または高輝度優先で行われるのが普通である。従って重なり情報(3次元ではZ方向の情報)を表すためには何らかの手段をとらねばならない。しかしランダム・スキャン型では同じ場所をビームが複数回走査すると、その回数に応じて輝度が加算して表示されるために容易に線の重なりを知ることができる。そのためデプスキュー表示と組み合わせるとZバッファなど無しでも簡易的、感覚的にZ方向の情報を得ることができる。

③ 角度によらず直線の輝度が一定である。

ラスタ・スキャン型では水平・垂直の線に対して斜め方向の線が暗くなる。これは線の単位長さあたりのピクセル数が減少するため、45度の線は水平・垂直の線に比べて70%($1/\sqrt{2}$)の輝度に低下する。これもワイヤ・フレーム・モデルを表示するときのデメリットとなる。ランダム・スキャン型ではビーム走査速度を常に一定にしておけばこのような現象は発生しない。高級型のランダム・スキャン型グラフィック・ディスプレイにはこのような機能が付いていた。

本稿では上記のようなランダム・スキャン型の特徴を取り入れたラスタ・スキャン型のグラフィック・ディスプレイを特にラインスムージングを重点として実現させることについて報告する。実現させるにあたって重要な課題として描画速度がある。速度のターゲットとしてショート・ベクトル長10mmに対して毎秒100万本の描画速度を実現させる事という設定の上でグラフィック・ディスプレイの開発を進めていった。

2. ライン・スムージングの手法

ライン・スムージングにより滑らかな直線をラスタ・スキャン型グラフィック・ディスプレイで実現する方法は過去に何例も紹介されている。基本的にはほとんどがピクセルの輝度変調を行うもので、問題は輝度変調をどういうパラメータの関数とするかである。今回ランダム・スキャン型に匹敵する線質を得るために選んだ手法は、主として面塗の際のエリアシングを解消するために用いられているもので、ピクセルと面が重なった部分の面積に比例してピクセルの輝度を決めるというものである。表示画面を1ピクセル幅の格子に仮想的に区切ったのが図1に示されている。この図で線分a bが表示すべき直線である。本方法では線分a bに対してある仮想線幅を持った領域(斜線部)を考え、この領域と各仮想ピクセル領域(方形)交わる部分の面積に比例して各ピクセルの輝度を決定するというアルゴリズムにした。図1の直線を描画すると図2のような輝度で各ピクセ

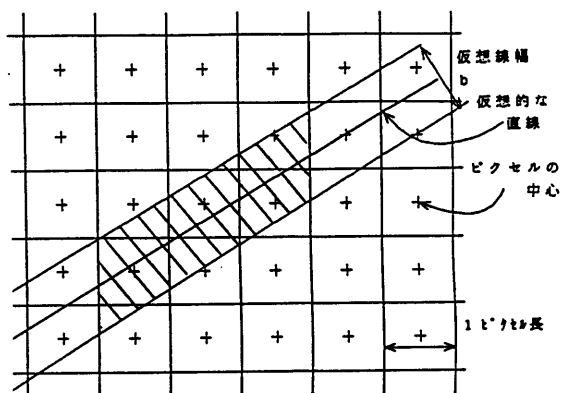


図1 面積法の原理

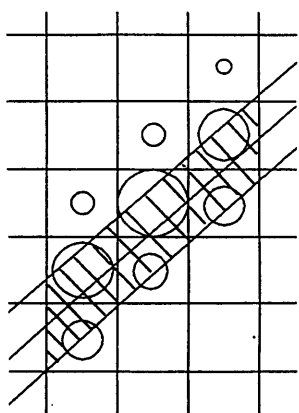


図2 面積法における各ピクセルの輝度

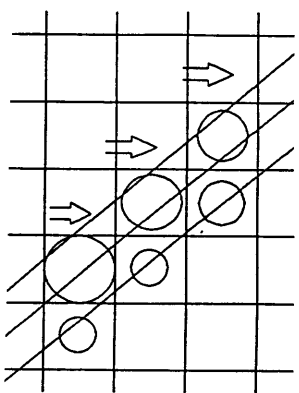


図3 ツインビーム法における各ピクセルの輝度

ルの輝度変調を行う。図2の円の大小はそれぞれのピクセルの輝度に比例する。本稿ではこのライン・スムージングの手法を面積法と呼ぶことにする。

面積法を従来からハードウェア化されてきたライン・スムージングの手法であるツイン・ビーム法と比較する。図3に示すようにツイン・ビーム法では矢印で示した部分で滑らかさに欠けることが分る。

今回の試みで面積法を採用した大きな理由は、この手法が最もランダム・スキャン型の直線の描画方法に近いと考えたからである。さらに次頁の重複線高輝度表示に対しても面積法なら交点の位置を正確に表示をすることができる。また角度によらない輝度一定も同時に実現できる。

3. 重複線高輝度表示の手法

重複線高輝度表示を行うための手段としてフレーム・バッファのリード・モディファイ・ライトを行うことにした。

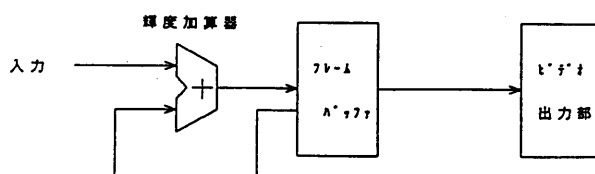


図4 リード・モディファイ・ライト

図4に示すように新たにフレーム・バッファに書き込みを行うときに、以前の輝度情報をフレーム・バッファより読み出し、新しい輝度と加算して、再度フレーム・バッファに書き込みを行う。この方法は回路的に比較的容易に実現することができる。

この方法の欠点は輝度が飽和してしまった時には高輝度表示ができないというものであるが、この点については表示する直線の標準的な輝度を低めに設定することで逃げた。あまりに複数の線が集中する点はランダム・スキャン型でも飽和してしまうので不自然には見えない。だいたいの目安として2本の線の重複が必ず判別できるなら実用上差し支えないものとした。

4. 派生的な問題点とその解決手法

2. 及び3. により主たる機能の手法を定めたがその他にもいくつか派生的な問題点が発生した。

4-1 端点処理

面積法により直線の描画を行う場合に問題となるのが仮想的な線幅を持った端点形状をどう定めるかであった。従来のランダム・スキャン型に於いても端点の接続状態により輝度ムラが発生し、線と線との継目がキラキラ光ることがあった。

今回は線の継目をきれいに表示するための端点形状を考察した。図5にいくつかの端点の例を示す。(a)はランダム・スキャン型の端点で、このままでは継目がスムーズに見えない。(b)は(a)を改良して端点がスムーズに見えるようにしたもので、点線で示される円の内部が他の部分の輝度の $1/2$ で光るようにするものである。これにより線の継目はスムーズに見えるようになる

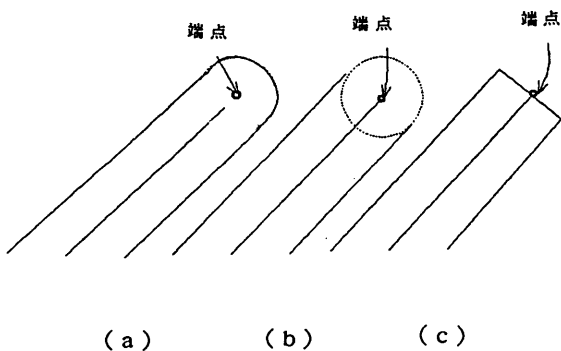


図5 端点の例

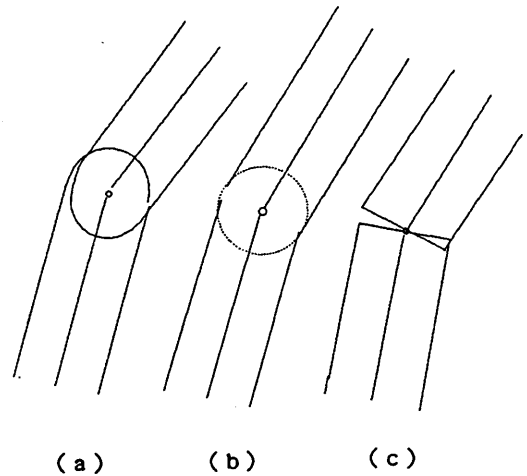


図6 継目の例

が、4-2で示す短ベクトル処理を行うことができない。(c)で示す形状は方向によっては一部に重なりができるために輝度ムラができる可能性はあるが、1ピクセル内に重なりが収まっていれば事実上の障害とはならない。さらに4-2に示す問題点に対して有効であるために(c)の形状を採用した。図6にはそれぞれの端点形状に対する継目の形状を示す。

4-2 短ベクトル処理

ランダム・スキャン型できわめて短い直線を引くと図7のように端点が重なって輝度ムラが生じる。ここで端点形状に図5の(c)を用いると短

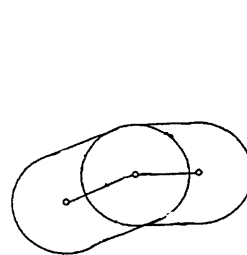


図7 ランダムスキャン型における短ベクトル

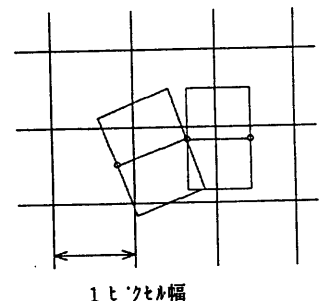


図8 面積法による短ベクトル

いベクトルを図8のように表現することができる。この斜線の部分の面積に比例してピクセルの輝度を決定すれば、2ピクセル以下の長さのベクトル（短ベクトルと呼ぶ）に対して正確な表現を行うことができる。図9には曲率半径の小さい曲線の表示を行う例で端点処理と短ベクトル処理を行う事により美しい曲線表示を行うことができる。ここで重複線高輝度表示が効果を発揮している。同一ピクセル内でも輝度加算を行うので、輝度ムラが発生しにくい。

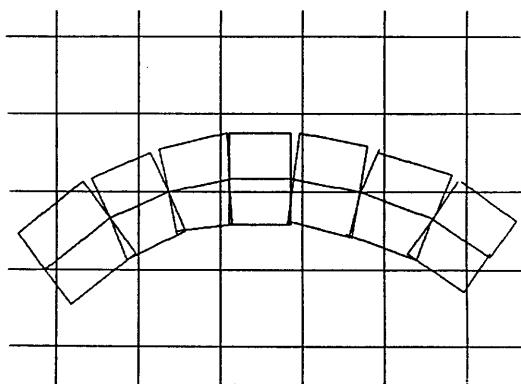


図9 曲線の表示

5. 面積法を実現するハードウェア

5-1 面積法のパラメータ

面積法により各ピクセルの輝度を決定するためのパラメータを図10に示す。入力されるパラメータは始点の座標(X_s, Y_s)及び終点の座標(X_e, Y_e)である。このとき座標値の輝度としてサブ・ピクセルのレベルまで必要となる。ここで例えば図10のA部の面積を知るためには、線幅 LW さえ定めてしまえばあとはこの線分のメジャー軸方向の中心点部のマイナー軸方向のサブ・ピクセル座標値 Y_a と線分の角度 $\tan \theta$ により一義的に定まる。またB部(端点の一部)の面積を知るためには終点のサブ・ピクセル座標値 X_b 及び Y_b と角度 $\tan \theta$ により定まる。

マイナー軸方向に同時に並ぶピクセル数は線幅 LW を1.4ピクセル以下と仮定すると最大4個のピクセルにしか斜線部は重ならない。このようなパラメータをもとにピクセルの輝度を決定する

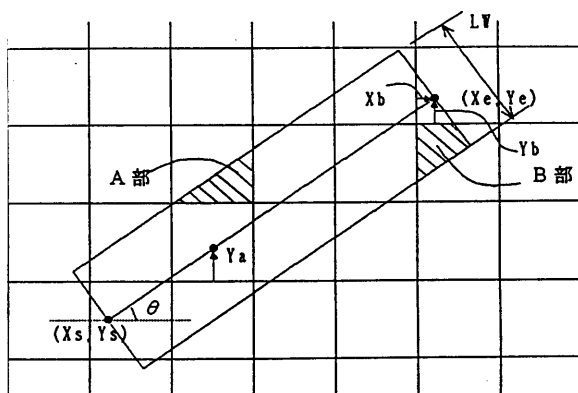


図10 面積法の説明図

ことができる

5-2 ハードウェア・アーキテクチャ

面積法により輝度変調を発生するハードウェアのアーキテクチャを図11に示す。入力されるパラメータは始点座標(X_s, Y_s)・終点座標(X_e, Y_e)・直線の論理的な輝度(I)それから直線の傾き $\tan \theta$ である。 $\tan \theta$ の計算には割り算が必要なのであらかじめ前のブロックで計算を行っておく。

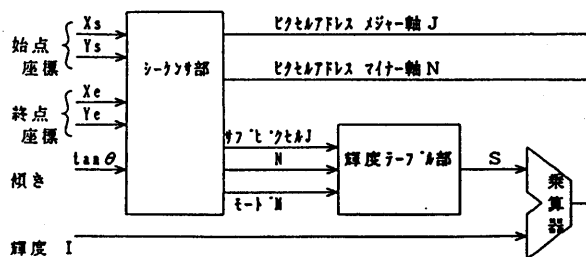


図11 ハードウェア・アーキテクチャ

入力されたデータはピクセル展開部に入る。ピクセル展開部は入力されたデータをもとにメジャー軸・マイナー軸の判定を行い、メジャー軸に沿って1ピクセルごとにメジャー軸の座標J・マイナー軸の座標Nを出力する。この値から面積法に従って輝度を発生する手段として、あらかじめ計算した値をテーブル化してメモリに格納する方法を採用した。図11の輝度テーブル部がそれに担当する。輝度テーブル部はJ及びNのサブ・ピクセル部分の値とシーケンサ部より発生されるモードMにより各ピクセルの面積を発生する。モードMとは端短部か中間部か、または長ベクトルか短ベクトルかなどを表すものである。輝度テーブル部より発生した面積Sは次の乗算部で論理的な輝度Iと乗算されて各ピクセルの物理的な輝度となりフレーム・バッファへ書き込まれる。

6. ハードウェアの実際

このような考察に添って開発されたハードウェアは実際には次のようなものである。

6-1 モニタ

モニタには次のような高解像度モニタを用いた。

- ・ 28インチ正方形
- ・ 60Hzノン・インタレース
- ・ モノクローム
- ・ 曲率半径40,000mm
- ・ 分解能 2048×2048
- ・ 管面上のビーム・ピッチ0.25mm

6-2 輝度変調部

輝度変調部はカスタムICにより実現した。ここで速度を向上させるために同一チップを2個用いてこれを並列化する事により処理速度を向上させている。

輝度変調部の中で輝度テーブル部は上記カスタムICの外付けとした。この部分のメモリ容量はサブ・ピクセルの有効ケタを何ケタとするかで決定される。有効ケタ数が多いほど正確な輝度変調を行うことができるが、メモリ容量も比例して大

きくなる。今回はサブ・ピクセルの有効ケタとして中間部4ビット、端点部4ビットとした。このビット数は予備実験および実際のカスタムICに組み込める回路規模により決定した。

輝度変調の速度は輝度変調部の速度と輝度テーブルのアクセス速度の和によって定まる。今回の試作ではトータルで50nsecの速度を設定し2個の並列処理でメジャー方向の1ピクセル幅で25nsecを得た。モニタのビーム・ピッチが0.25mmであるからショート・ベクトル長を10mm(40ピクセル幅)に対して1μsecとなり、これは100万ベクトル/秒の速度となる。

6-3 フレーム・バッファ

このようにして発生された輝度をフレーム・バッファ用のメモリに書き込むために、メモリ・コントロール用の専用カスタムICも開発した。このICにより輝度加算で表示を行い、重複線高輝度表示を実現している。

図12に輝度変調部及びフレーム・バッファのメモリ・コントロール部のカスタムICを内蔵した基板の写真を示す。基板のサイズは437mm×319mmの大きさである。

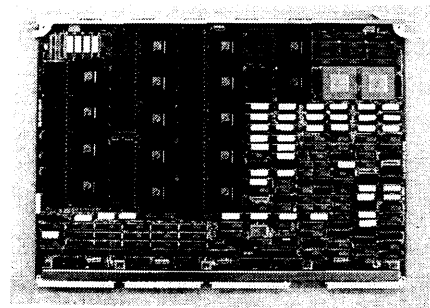
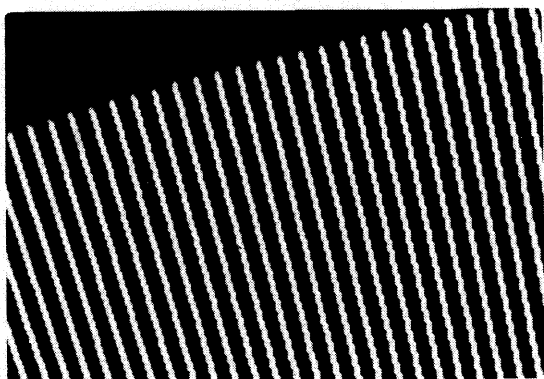


図12 基板の写真

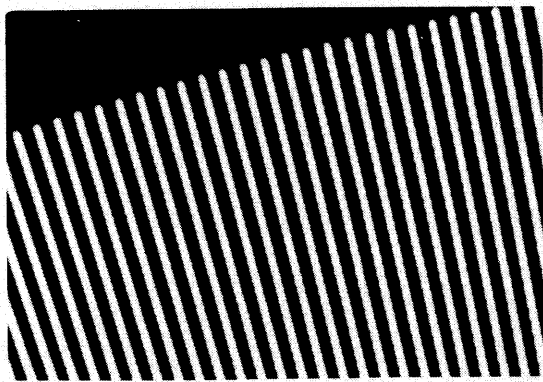
7. 評価

7-1 線質

図13にライン・スムージングを行った場合の線質，行わなかった場合の線質を示す。



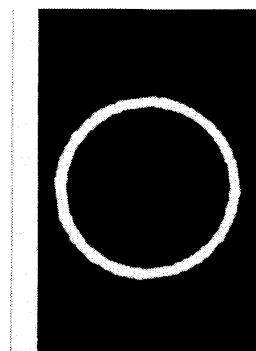
(a) ライン・スムージングを行わない場合



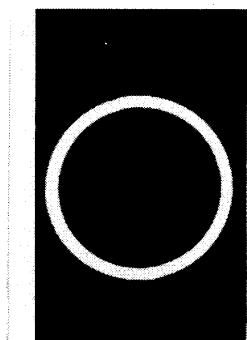
(b) ライン・スムージングを行った場合

図13 直線の表示

図14に円の表示を示す。



(a) ライン・スムージングを行わない場合



(b) ライン・スムージングを行った場合

図14 円の表示

図15に曲線の表示を示す。

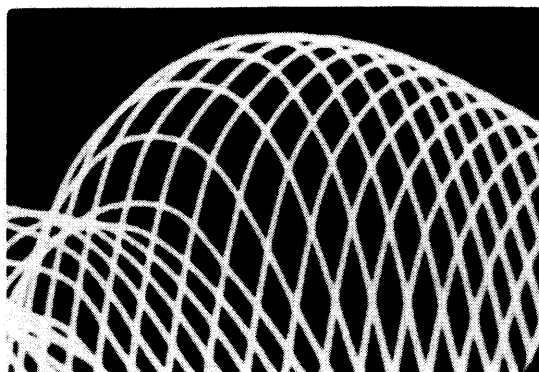


図15 曲線の表示

7-2 速度

システム全体の速度は輝度変調部だけでなく座標変換部、クリップ部も含むために一概には言えないがロジック・アナライザで1ベクタ当りの時間を測定してベストケースで1100nsecであった。100nsecは前段とのデータ受渡し時間であるからこのブロック内部では実質的に毎秒100万ベクタの速度を達成していると言える。

8. むすび

以上で本稿はラスタ・スキャン型グラフィック・ディスプレイにおいて面積法によるピクセルの発生方法および重複線高輝度表示を実際のハードウェアとして実現し、ランダム・スキャン型に近い滑らかな直線表示を高速に行わせることができたことを報告するものである。

参考文献

- [1] 山口富士夫：図形処理工学
日刊工業新聞社
- [2] 木見尻，安居院，中嶋：白黒階調画像に対する滑線，滑縁化アルゴリズム，グラフィックスとCAD21-3（1986）
- [3] 柴本猛：アンチ・エリアシング技法
PIXEL NO. 15
- [4] 美多幸夫：アンチ・エリアシング ANT
の実際
PIXLE NO. 46
- [5] M. Mizuno：An Efficient Anti-Aliasing
Software Algorithm, SID86 DIGEST