

マルチコンピュータ・マルチスクリーン・グラフィクス ワークステーションの開発†

荻野博幸** 平石裕実**
津森靖** 矢島脩三**

コンピュータ・グラフィクスは計算機援用設計 (CAD)、シミュレーション結果の表示、三次元 CAD による立体表示や教育 (CAI) 等の分野で幅広く利用されている。これらのグラフィクス表示を高品位の画質で高精度に行うためには、グラフィクス表示装置の解像度を上げることが切望されている。しかしながら、従来から用いられてきたグラフィクス・システムでは、表示装置の物理的解像度の制限のために一度に大規模な図形を表示することや、同時に多くのウィンドウを表示することが不可能であった。本論文ではこれらの状況を打開する方法の一つとして 1 台の表示装置で物理的に表示可能な限界を超えた超高解像度の表示を実現するために、マイクロコンピュータで制御されるグラフィクス表示装置を複数台用いて、2 次的に配置するマルチコンピュータ・マルチスクリーン・グラフィクス表示方式 (MCMS 表示方式) を提案する。そして、MCMS 表示方式に基づき、2×2 スクリーンとコントローラ 1 台の構成で実現した MCMS システムについて報告する。本方式により、柔軟性と拡張性を持ったシステムが構築でき、また、複数のスクリーンにより解像度を向上させても全スクリーンに対する描画時間は一つのスクリーンに要する時間で行えるため、効率よく並列描画できることが明らかになった。

1. ま え が き

コンピュータ・グラフィクスは計算機援用設計 (CAD)、シミュレーション結果の表示、三次元 CAD による立体表示や教育 (CAI) 等の分野で幅広く利用されている。これらのグラフィクス表示を高品位の画質で高精度に行うために、グラフィクス表示装置の解像度を上げることが切望されている。

論理設計の分野でも、扱うべき論理図が大きく複雑になってきている。また、論理シミュレーション結果やコマンドメニュー等も同時に表示して、設計を進める状況を考えると、さらに表示したい情報も増える。さらに、将来グラフィクス表示装置の解像度が向上しても設計対象がますます大規模・複雑化し続けているので、それにも増して、表示したい情報量が増えることになり、より高解像度のグラフィクス表示装置が求められると思われる。しかしながら、従来から用いられてきたグラフィクスシステムでは、表示装置の物理的制限のために、一度に大規模な論理図を表示することや同時に多くのウィンドウを表示することが不可能であった。

本論文ではこれらの状況を打開する方法とし

て、1 台の表示装置で物理的に表示可能な限界を超えた超高解像度の表示を実現するために、マイクロコンピュータで制御されるグラフィクス表示装置を複数台用いて、2 次的に配置するマルチコンピュータ・マルチスクリーン・グラフィクス表示方式 (MCMS 表示方式)¹⁾を提案する。そして、実際に MCMS 表示方式に基づいて開発したマルチマイクロコンピュータ・マルチスクリーン・グラフィクスシステム (MCMS システム) について述べる。MCMS 表示方式では、各々のスクリーンをそれぞれマイクロコンピュータで制御する。これらの画面を互いに高速バスで有機的かつ密接に結合して、これらを一体化して図形処理を行わせることにより、図形の描画、図形データの生成や記憶等の図形処理機能を分散し並列処理する。そして、全体としての図形処理能力を高め、大画面表示を可能にしている。

以下 2 章では、MCMS システムについて述べ、3 章ではマイクロコンピュータ間の通信について述べ、4 章では MCMS システムの基本グラフィクス・ドライバについて述べる。そして 5 章では本システムの評価を行う。

2. MCMS システム

2.1 MCMS 表示方式

従来から用いられてきたグラフィクス表示装置では、たとえば、カラー表示で 2,000 ドット/行×2,000 ドット/列程度の高解像度表示装置²⁾の場合、そのビデ

† Development of a Multi-Computer Multi-Screen Graphics Workstation by HIROYUKI OGINO, HIROMI HIRAIISHI, OSAMU TSUMORI and SHUZO YAJIMA (Department of Information Science, Faculty of Engineering, Kyoto University).

** 京都大学工学部情報工学教室

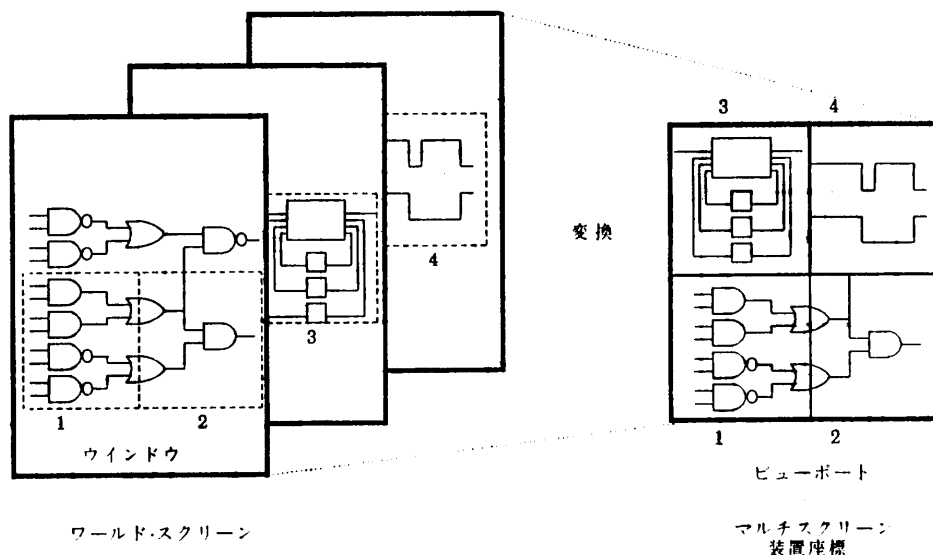


図1 マルチスクリーンにおけるワールド・スクリーンとビューポートの関係
 Fig. 1 Relation between world coordinate system and viewport in multi-screen.

帯域幅が約 400 MHz にもなる。また、そのリフレッシュメモリとしては、1 ピクセルあたり 2.5 ns の超高速動作が要求される。これは、現在の技術水準での限界と考えられる。このように、物理的な表示能力には限界があるために、一度に大きな図を表示したり、同時に多くのウィンドウを表示することが不可能であった。これらの制限を取り除くため、MCMS 表示方式では、図 1 に示すように、複数の表示装置を 2 次元的に配置したマルチスクリーンを構成する。そして、各スクリーンをそれぞれプログラマブルなマイクロコンピュータで制御する。また、各スクリーンはブロードキャスト等の機能を持った高速バスで結合することにより、図形処理や並列描画等の並列処理を可能とする。MCMS システムの制御は、内部に 1 台のシステムコントローラを設け、このコントローラが各スクリーンを制御する。

2.2 MCMS 表示方式の特徴

MCMS 表示方式の特徴を列挙すると、次のようになる。

- (1) 複数台のスクリーンを組み合わせることで、1 台のスクリーンでは表示不可能な大きさの画面を作ることができる。
- (2) 各スクリーンは高速バスで結合されているので、拡張性があり、2×2、3×3、4×4 スクリーン等々を自由に組み替えられる柔軟性を持っている。
- (3) 各スクリーンを制御するソフトウェアは同一にできるので、システム全体の拡張性と柔軟性が保た

れ、開発期間が短縮できる。

(4) 一般に普及しているパーソナルコンピュータ等を用いることにより、経済的に高解像度表示が実現できる。

(5) 複数台のスクリーンを持つことによって、種々の情報を同時に十分表示できる。種々の情報を同時に表示する機能としては、複数のスクリーンを持つ表示方式^{3),4)}やマルチウィンドウ表示方式⁵⁾がある。本方式では、マルチウィンドウもこのマルチスクリーンの上で実現できる。しかし、さらに各スクリーンに一つのウィンドウを表示するという制限をつけることで、より高速に、十分な表示量をもった効率のよいマルチウィンドウが実現できる。

(6) マルチマイクロコンピュータで構成されているので、大スクリーンへの描画でも高速バスのブロードキャスト機能により、並列描画が可能になる。

(7) 各スクリーンに異なる種類の表示をしているときでも、各マイクロコンピュータにそれらの情報を独立に管理させることによって、並列処理が行える。

以上の特徴から、MCMS システムは、表示すべき情報量と種類が増大している現状では、グラフィクス表示装置に求められている機能を十分満たし有効な表示方式の一つであると考えられる。

2.3 システムの構成

システムのハードウェア構成を図 2 に示す。スクリーンとして 4 台の汎用パーソナルコンピュータ

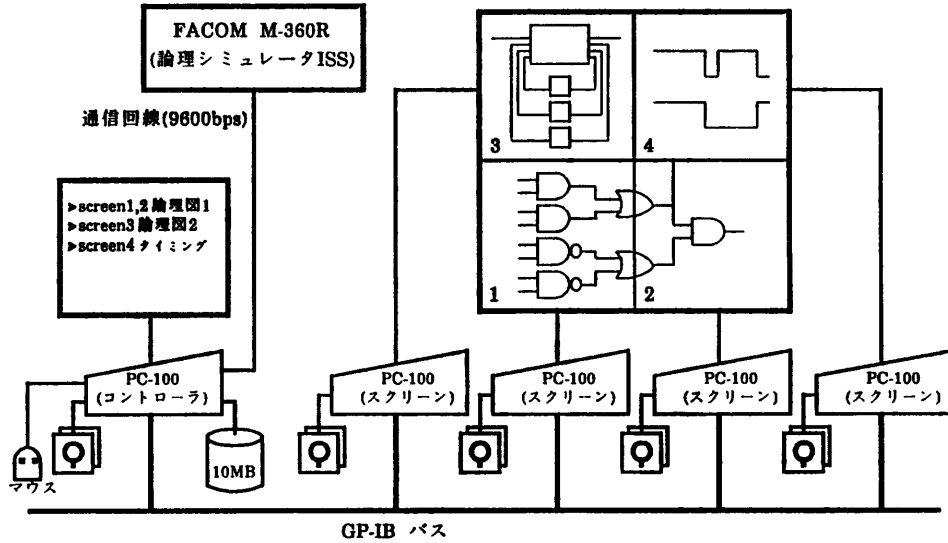


図 2 2x2 スクリーンの MCMS システム構成
Fig. 2 Hardware construction of MCMS system with 2x2 screens.

(PC-100⁸⁾) を用いて、4 台で 2x2 スクリーン⁷⁾ を構成している。これを総合的に管理するために、コントローラとなる PC-100 をさらに 1 台配置して、全体として MCMS システムを構成している。これらの PC-100 の間は高速の GP-IB バスを用いて結合する。また本システムを中型計算機 FACOM M-360R の

応用プログラム (会話型論理設計・検証支援システム ISS⁸⁾ 等) に対するグラフィックスワークステーションとして利用できるように、M-360R とは TSS 回線を用いて結合する。

現在 MCMS システムの主なアプリケーションとして論理設計用 CAD を考えているが、論理設計で用

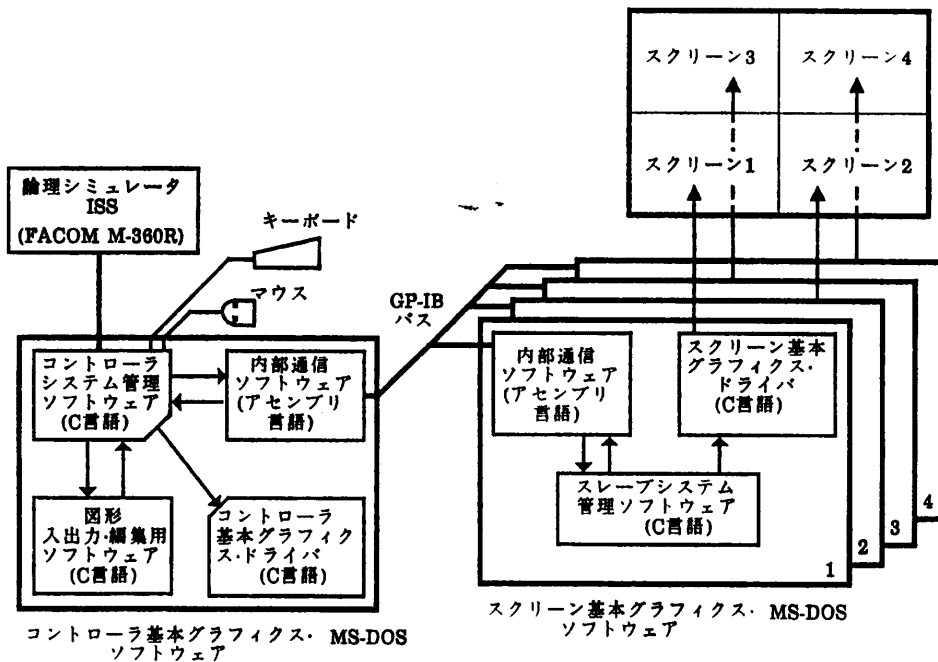


図 3 2x2 スクリーン MCMS システムのソフトウェアの構成
Fig. 3 Software construction of MCMS system with 2x2 screens.

いられる CAD のグラフィクスは、論理シミュレータや設計検証システムへの入出力を行う。論理シミュレータや設計検証システムへの入力には図形（座標）ではなく論理シンボルの種類とその間の結線情報があればよい。また、論理シミュレータや設計検証システムから出力される結果は波形に対応した文字列である。この波形は垂直と水平の線を用いて表現できる。したがって、境界部分にかかる論理シンボル等を多少移動すれば、現在実現している CRT 方式でも十分論理図が表現でき、結線関係の誤認や波形の時間関係がずれることはない。

本システムの効率性は、コントローラと各スクリーンとの間のデータ転送の速度に大きく影響されるので、本システムでは一般に普及している高速な GP-IB バスを採用している。また、本システムのソフトウェアは、図 3 に示すように、主として各 PC-100 間を結合する通信ソフトウェアとスクリーン管理のための 2 種類の基本グラフィクス・ドライバにより構成される。これらについては、それぞれ 3 章と 4 章で述べる。

3. マイクロコンピュータ間の通信

3.1 マイクロコンピュータ間の通信方式

マルチスクリーンを構成するパーソナルコンピュータ間の通信は、2 章で述べた機能を実現するために、次のことが要求される。

- (1) 拡張性があり、またその構成が容易に行える。
- (2) 高速転送ができる。
- (3) データ転送が双方向に行える。
- (4) ブロードキャスト機能によって同時に複数の表示装置に転送できる。
- (5) プロトコルの複雑さによるシステムのオーバヘッドが少ない。

パーソナルコンピュータを結合する場合、次に列挙した方式を用いることが考えられる。

- (a) RS-232C (EIA 規格) による結合
- (b) LAN (ローカルエリアネットワーク) による結合
- (c) GP-IB バス (IEEE-488 規格) による結合

これらを上記の要求に対比させて考察すると、RS-232C は実現されている最高転送速度が 19,200 ビット/秒程度であるから描画データを転送するには遅すぎる。また、LAN は汎用性に重点を置き、プロトコルが複雑で、実効的な転送速度が上がらない。これに対し GP-IB バス⁹⁾ は最高転送速度が 1M バイト/秒で

高速データ転送ができる。また、MCMS 表示方式に必要なとされる機能も満たしている。さらに、GP-IB 標準インタフェースはハードウェア化されているので、ソフトウェアの制御も簡単である。

GP-IB バスは共有バス上に固有のアドレスを持つ装置を、本システムの場合は 15 台まで接続できる。バスに結合されたシステムコントローラは、それぞれコントローラ、トーカ、およびリスナになる装置のアドレスを指定することによって、トーカよりリスナに対してデータ転送を行うことができる。また、ブロードキャスト機能によって、トーカは同時に複数のリスナにデータを転送できる。さらにシステムコントローラの監視の下に、システムコントローラの機能を他の装置に代行させることもできる。これらの機能を組み合わせることにより、複雑な並列動作も可能になり、柔軟で拡張性のある結合が可能になる。

3.2 通信ソフトウェア

通信ソフトウェアは、3.1 節で述べた MCMS 表示方式の通信機能を GP-IB バスを用いて実現することが必要である。

これらの機能は C 言語でも記述できるが、通信ソフトウェアはできる限り高速であることが望ましいので、アセンブリ言語で記述した。この通信プログラムは C 言語から関数として呼び出して使う。送信するデータの形式は最初の 2 バイトで転送バイト数を、以後がデータを表す。リスナでは、データを受信後、データ転送バイト数を検査してエラー処理を行う。表 1 に通信ソフトウェアで実現した主要な通信ソフトウェア関数の一覧表を示す。また、MCMS システムの制御とデータの流れを図 4 に示す。

上記の関数を用いたバス上のコントローラとスクリーン間の通信手順は次のようになる。

(a) コントローラからスクリーンへの転送

【コントローラの動作】 1) SPL 関数でスクリーンの受信準備完了を知り、2) CSD 関数でデータを転送する。

【スクリーンの動作】 1) SETM 関数で受信バッファの設定をし、2) RSET (または SRQSET) 関数で受信準備完了を知らせ、3) 割り込み処理により受信データが送られてきたら、受信バッファに取り込む。

(b) スクリーンからコントローラへの転送

【コントローラの動作】 1) SPL 関数でスクリーンの送信要求を受付け、2) CRD 関数でトーカを指定してデータを受信する。

表 1 主要な通信ソフトウェア一覧表
Table 1 Major functions of communication software.

関数の機能	関数名	内 容
データ送信機能	CSD 関数	コントローラのデータ送信機能: リスナを指定し, トーカモードでデータを送信する. データ形式は送信バイト数+データ+EOI 信号である. トーカのデータ送信機能: コントローラ以外が使う関数で, データ形式は CSD 関数と同じである.
	TSD 関数	
データ受信機能	CRD 関数	コントローラのデータ受信機能: トーカと自分以外のリスナを指定し, リスナモードでデータを受信する. 受信後, 転送バイト数を認識してトーカを解除する. リスナのデータ受信機能: リスナ指定を受けると割り込みが起こってデータを受信する.
	LRD 関数	
コントローラへの要求	SRQSET 関数 RSET 関数	コントローラに割り込みをかける. SRQSET 関数と機能は同じであるが, 割り込み機能がない.
コントローラの要求受付機能	SPL 関数	各装置をポーリングして, トーカやリスナの要求を調べる.
その他の関数	SETM 関数	バッファを設定する.

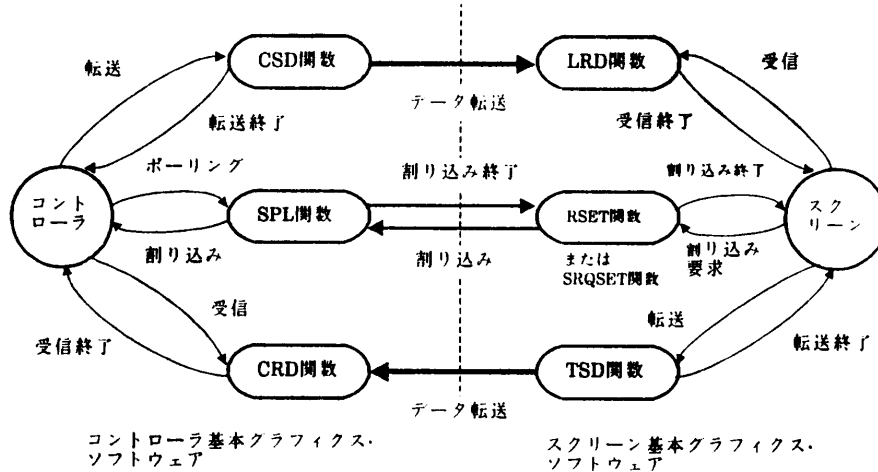


図 4 MCMS システムの制御とデータの流れ
Fig. 4 Control flow and data flow of MCMS system.

【スクリーンの動作】 1) SRQSET 関数で送信要求を出し, 2) TSD 関数でデータを送信する.

4. MCMS システムの基本グラフィクス・ドライバ

4.1 MCMS システムのグラフィクス機能

応用ソフトウェア側から MCMS システムに求められる機能は, 仮想的にワールド・スクリーンを設定し, 物理的な装置から独立して大きな画面を描画することである. また, 論理的に異なる情報を要求に応じて異なる組み合わせにより表示したい. このためシステムは複数のワールド・スクリーンを持っていることが望まれる. スクリーンを操作して表示するために

は, どのワールド・スクリーンのどの部分 (ウィンドウ) を各スクリーンのどの部分 (ビューポート) に表示するかを指定できることが必要である. さらにスクリーンをまとめて, 全体として一つの大スクリーンにして表示するときは各スクリーンに対応するウィンドウをこれの属するワールド・スクリーン上で隣接して取ればよい. また, 論理設計用 CAD システムのワークステーションとして用いるときは, 任意角の回転等の複雑な描画機能はあまり必要なく, むしろマン・マシン・インタフェースとして, できるだけシステムのオーバーヘッドが少ないことが望まれる.

これらのことから MCMS グラフィクスをサポートする基本ソフトウェアとしては, 最低限次の機能が

必要である。

(1) 各スクリーンとワールド座標や、ウィンドウとビューポートとの関係を指定できる。

(2) ワールド座標系内に設定されたウィンドウに基づいてクリッピングして、対応する各スクリーンに実際に表示する。

(3) その他、座標の入力ができる。

以上の考察より、実現したシステムにおいては、基本グラフィクス・ドライバとして、オーバヘッドをできるだけ少なくするために座標系をワールド座標系と装置座標系の二つに限定し、また必要最低限の機能として、(a)座標変換(ワールド座標、ウィンドウ、およびビューポートの定義)機能、(b)描画(表示)機能、そして(c)座標の入力機能をサポートしている。

4.2 マルチスクリーンの定義

大きな図面を描画するには、図1のように仮想スクリーンを構成することでスクリーンの解像度やマルチスクリーンの構成に関係なく描画することができる。本節では、システム内部のデータとして仮想的に設定されたワールド・スクリーンと実際に表示するスクリーンを関係づける定義をする。

【ワールド・スクリーン】 ワールド・スクリーンの大きさは任意に設定でき装置座標から独立した仮想的なスクリーンである。このワールド・スクリーンに対して基本グラフィクス・ドライバの使用者は描画コマンドを実行する。しかし、実際には、ワールド・スクリーンに設定されたウィンドウ内の図形のみが描画される。

【ウィンドウ】 各スクリーン上に作られるビューポートに対応する領域で、ワールド・スクリーンの部分領域となる。実際に描画が行われる対象となる領域である。

【ビューポート】 各スクリーン上の部分領域として設定される。これが実際のスクリーン上で描画される領域となる。

さらに、ワールド・スクリーンは複数の画面が定義できる。また、1枚のワールド・スクリーン上に複数のウィンドウが定義でき、各スクリーンには1個のビューポートが設定できる。

4.3 基本グラフィクス・ドライバ

コマンドには、描画に必要なスクリーンを設定するフクリーン制御コマンドと、実際の描画スクリーンを制御する描画コマンドの2種類がある。いずれもC言語で記述された関数として用意されている。この基本グラフィクス・ドライバでは、描画コマンドを、論理図を描画するのに必要と思われる基本的なものに限っているが、必要に応じて追加も可能である。各スクリーンの実際のプリミティブ描画には NEC の Tron グラフィクス・ドライバ¹⁰⁾を用いる。表2に基本グラフィクス・ドライバのスクリーン制御コマンドを示す。

(a) コントローラ基本グラフィクス・ドライバの動作

スクリーン制御コマンドやマウス・コマンド等の制御情報はコントローラの内部状態を更新するとともに、必要に応じて各スクリーンに制御コマンドを内部通信ソフトウェアを用いて送信して制御する。

描画はワールド・スクリーンに描画された描画コマンドを実際には描画せずにパケットを組み立て、ワールド・スクリーン上のウィンドウの位置が隣接していればブロードキャストし、分散していれば、個別に内部通信ソフトウェアを用いて送信する。

(b) スクリーン基本グラフィクス・ドライバの動作

スクリーン制御コマンドやマウス・コマンド等の制御情報を受信すると内部状態を更新する。

コントローラから送られてきた描画コマンドはパケットから描画コマンド列を組み立てる。そして、ブロードキャストされてきた描画コマンドはビューポートに対応したウィンドウでクリッピングした後、座標

表 2 基本グラフィクス・ドライバのスクリーン制御コマンド一覧表
Table 2 Screen control commands of basic graphics driver.

スクリーン制御コマンドの種類	内 容
Define World Screen	ワールド・スクリーンを定義する。
Set Window Position	ワールド・スクリーンにウィンドウを定義して描画や表示の領域を設定する。
Set View Port	表示しようとする装置を指定してビューポートの領域を設定する。
Set Translation	ワールド座標系とスクリーン上のビューポートの座標変換をする。
Set Screen Window	実際に表示する装置の VRAM と表示スクリーンの関係を指定する。
Initialize	装置番号を指定し設定されていた状態を初期化する。
Initialize All	セットコマンドで設定されていた状態を初期化する。

変換をして描画する。また、個別に送られてきた描画コマンドは単に座標変換をして描画する。

5. MCMS システムの評価

本章では、システムの性能を決める通信速度、描画速度に対する評価、および実現したシステムにおける性能の実測結果について考察する。

5.1 通信速度の評価

本システム内部の GP-IB バスの通信速度の最大値は1Mバイト/秒であるが、実際の通信速度は通信プログラムによって大きく左右される。PC-100の場合、プログラムにより転送できる最高転送速度は約100kバイト/秒である。しかし、本システムの通信プログラムでは、基本的なデータ転送に加えて、エラー処理や割り込み処理が必要となる。そのため、1回の転送バイト数によっても、通信時間に対するオーバーヘッドの占める割合が変わる。実際に3章の通信プログラムを用いて転送速度を測定した結果を図5に示す。図5より、転送バイト数が1kバイトを超える場合、転送速度は約48kバイト/秒で、転送バイト数が100バイト以下では、オーバーヘッドが増加して転送速度は急速に低下することがわかる。しかし、複雑な図形や1画面分のデータ転送では転送量が多く、簡単な図形や図形修正のデータは転送量が少ないことを考慮すれば、データの転送量が少ない場合に転送速度が低下しても問題は生じない。

5.2 描画速度の評価

本節では、基本グラフィクス・ドライバを用いた描画速度について考察する。論理図は縦線と横線が多いのでこれらの描画コマンドについての考察を行う。図6に示すように、横線の描画時間は線の長さにはほとんど依存せず、縦線はほぼ線の長さに比例する。これ

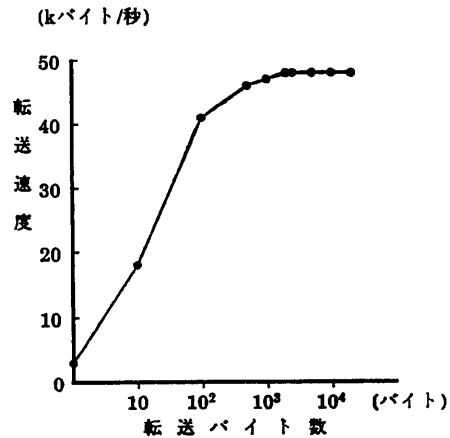


図5 転送バイト数と転送速度の関係
Fig. 5 Relation between the number of transmitted bytes and transmission speed.

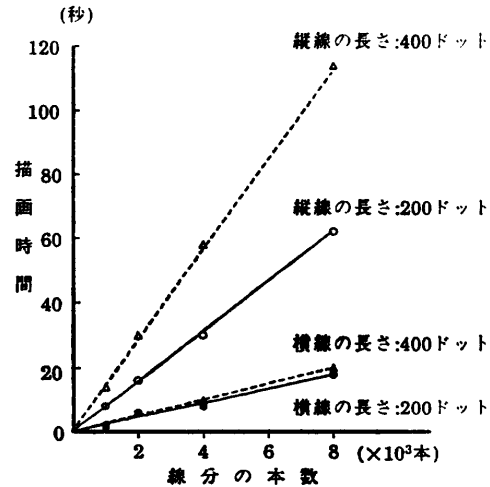


図6 縦線と横線の描画時間
Fig. 6 Drawing time for vertical and horizontal lines.

表3 2×2スクリーンに並列描画した時間の比較
Table 3 Comparison of time required for parallel drawing on 2×2 screens.

シンボル	シンボルを構成するバイト数 (バイト)	シンボルを構成する全バイト数 (24個/スクリーン) (kバイト)	ブロードキャストを用い2×2台のスクリーンにシンボルを96個並列描画した時間 (秒)	1台のスクリーンにシンボルを24個描画した時間 (秒)	2×2台のスクリーンにシンボルを96個描画した時間 (秒)
● (点)	10	0.96	0.17	0.17	0.68
■ (四角塗りつぶし)	14	1.34	2.08	1.90	7.60
NAND ゲート	50	4.80	0.72	0.57	2.30

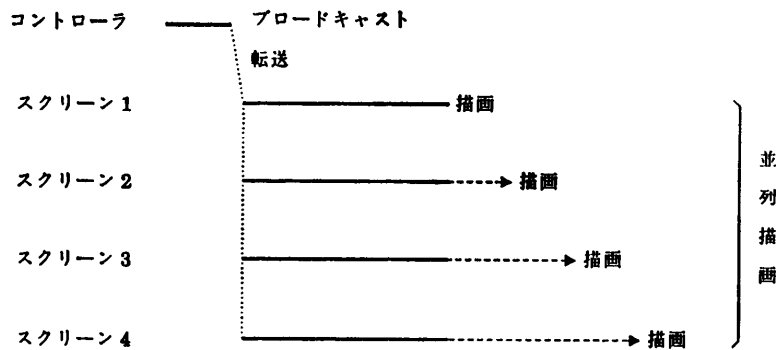


図 7 各スクリーンの転送と描画

Fig. 7 Transmission time to each screen and its drawing time.

は水平方向の VRAM への描画アクセスが 2 バイト単位 (16 点) で行えるのに対して、垂直方向の描画アクセスはビット単位 (1 点) でしか行えないことによる。これらから、ドット、四角形の塗りつぶし、そして、NAND シンボルをそれぞれ各スクリーンに 24 個、 2×2 の全スクリーンに 96 個描画した実測結果を表 3 に示す。

5.3 MCMS システムに対する評価と考察

MCMS システムの描画に対する評価を表 3 の実測値を用いて行う。例えば、NAND ゲートシンボル 24 個を 1 台のスクリーンに描画した場合、0.57 秒かかる。また、 2×2 台のスクリーンに順次 96 個を描画した場合は 2.30 秒かかる。これに対してブロードキャストして並列描画した場合は 0.72 秒かかり、約 1 台のスクリーンの描画に要した時間で描画できた。これを図 7 に示す。さらに、描画データの転送速度が速いことから、ブロードキャストをしないで、個別に転送し順次描画する場合でも転送を工夫すれば、多少点線の矢印で示した方向に転送時間が伸びるが並列描画できる。このように、MCMS 表示方式では複数のスクリーンにより解像度を向上させても、一つのスクリーンに要する時間で全スクリーンに対する描画を行うことができるため、効率が良い。

描画速度は、内部 GP-IB バスの転送速度が実用上十分速いので、実際に描画を行うグラフィクス・ドライバの性能で決まる。論理図の場合、縦線と横線で構成される要素が多いので、縦線と横線の専用描画ルーチンを作成すれば、さらに高速化が可能である。

アプリケーションを論理図に限って、主に縦線と横線で描画速度を評価したが、今後、斜線、曲線についても評価したい。

6. むすび

本稿では、グラフィクス表示装置の物理的表示限界を超えた超高解像度画面の構成を可能とする MCMS 表示方式について述べ、実際に 2×2 スクリーンの MCMS システムを実現して、本方式が有効であることを示した。

MCMS システムはスクリーンの中央に分割線がくる場合があるが、たとえば投影型ディスプレイ

を用いてスクリーン上で光学的に合成して、分割線無くすことにより解決できる。投影型ディスプレイは、これまでに主にアナログ映像の拡大表示に用いられてきたが、最近、CAD 用として $1,000 \times 1,000$ 程度の高解像度表示装置が相次いで開発されている。これらを 2 次的に配列したとき問題になると思われる周辺部の歪みは 1% 以下であるので、各スクリーンの境界付近で多少歪む程度で、スクリーンの境界をなくせる。また、この歪みは一様性を持っているので VRAM 上で補正することにより歪みをより少なくすることも可能である。

MCMS 基本グラフィクス機能は十分な拡張性を考慮しているので、国際標準の GKS⁽¹¹⁾⁻⁽¹³⁾への拡張にも対処できる。

MCMS システムで GKS を容易に実現する一つの方法として、GSK のワークステーション機能を用いる方法がある。この場合、各ワークステーションを各スクリーンに割り付け、正規化座標系からスクリーン台数に応じて図形をクリッピングしワークステーション変換を行って各スクリーンに転送して表示する。また、特に各スクリーンが隣接して設定されているときは、その全体を含む最小領域でクリッピングしワークステーション変換を行った後、描画コマンドとクリッピング情報をブロードキャストする。これを受けた各スクリーンは再度クリッピングして表示する。このような方式でマルチスクリーンや一般のマルチウィンドウを実現する場合、まとめて一つのワークステーションとして取り扱える機能があることが望まれる。

今後は MCMS システムをより充実させて、論理設計用ワークステーションとして用いる計画である。

謝辞 数々の有益な議論を頂いた本学情報工学教室の安浦寛人博士、高木直史氏をはじめ矢島研究室の諸

氏に感謝します。また本システムのソフトウェア開発に協力して頂いた松本光司氏（現在大阪ガス）、岡崎洋氏に感謝いたします。なお、本研究は一部文部省科学研究費による。

参 考 文 献

- 1) 荻野博幸, 平石裕実, 津森 靖, 松本光司, 矢島脩三: マルチコンピュータ・マルチスクリーン CAD ワークステーションの開発, 情報処理学会グラフィクスと CAD シンポジウム論文集, pp. 215-224 (1985).
- 2) 辻岡重夫, 金間誠一, 麻殖生建二, 鎌田安治, 山田一成: 超高精細高速曲面表示技術の開発(1) 2448×2048 ドット・ディスプレイへの超高精細表示, 情報処理学会グラフィクスと CAD シンポジウム論文集, pp. 167-175 (1985).
- 3) Herot, C. F., Carling, R., Friedell, M. and Kramlich, D.: A Prototype Spatial Data Management System, *Computer Graphics SIG-GRAPH '80 Conference Proceedings*, Vol. 14, No. 3, pp. 63-70 (1980).
- 4) 真野芳久, 大蒔和仁, 鳥居宏次: 複数画面をもつプログラミング環境 MDPS, 情報処理学会論文誌, Vol. 24, No. 3, pp. 335-342 (1983).
- 5) 坂村 健: 高機能ワークステーションのアーキテクチャ, 情報処理, Vol. 25, No. 2, pp. 93-102 (1984).
- 6) NEC: PC-100 テクニカルマニュアル (1983).
- 7) 荻野博幸, 平石裕実, 津森 靖, 矢島脩三: マルチコンピュータ・マルチスクリーン・グラフィクス・ワークステーションの開発, 昭和61年度電子通信学会総合全国大会, p. 1749 (1986).
- 8) 安浦寛人, 蚊野 浩, 大井 康, 木村晋二, 石浦菜岐佐, 矢島脩三: 入力制約監視機能をもつ会話型シミュレーション・システム ISS, 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No. 2, pp. 285-292 (1984).
- 9) 岡村勉夫: 標準デジタル・バス (IEEE-488) とその応用, CQ 出版, 東京 (1983).
- 10) NEC: Tron Graphics Driver Specification (1983).
- 11) ISO/DIS: Information Processing—Graphical Kernel System (GKS)— Fundamental Description, Draft International Standard ISO/DIS 7942 (1983).
- 12) Hopgood, F. R. A., Duce, D. A., Gallop, J. R. and Sutcliffe, D. C.: *Introduction to the Graphical Kernel System (GKS)*, Academic Press, New York (1983).
- 13) Enderle, G., Kansy, K. and Pfaff, G.: *Computer Graphics Programming GKS—The Graphics Standard*, Springer-Verlag, New York (1984).

(昭和61年1月9日受付)
(昭和61年7月16日採録)



荻野 博幸 (正会員)

昭和24年生。昭和44年京都大学大型計算機センター技官として勤務。昭和47年同大学工学部情報工学教室技官に所属換。昭和53年立命館大学理工学部基礎工学科卒業。

マイクロコンピュータ, 論理設計用 CAD, コンピュータ・グラフィクス等の研究に従事。電子通信学会会員。



平石 裕実 (正会員)

昭和26年生。昭和48年京都大学工学部電子工学科卒業。昭和50年同大学院修士課程(電気工学第二)修了。同年京都大学工学部情報工学教室助手。昭和59年同教室講師。工学博士。

論理設計検証, 時相論理, 論理設計用 CAD, 計算機グラフィクス等の研究に従事。電子通信学会会員。



津森 靖 (学生会員)

昭和38年生。現在、京都大学工学部情報工学科在学中。論理設計用 CAD, コンピュータ・グラフィクス等の研究に従事。



矢島 脩三 (正会員)

昭和8年生。昭和31年京都大学工学部電気工学科卒業。同大学院博士課程修了。工学博士。昭和36年より京大工学部に勤務。昭和46年情報工学科教授。昭和35年京大第一号計算機 KDC-1 を設計稼働。以来、計算機、論理設計、オートマトン等の研究教育に従事。著書は「電子計算機の機能と構造」(岩波, 57年)等。本学会元

常務理事, 元会誌編集委員(地方), 元 JIP 編集委員。電子通信学会元評議員およびオートマトンと言語研専元委員長, North-Holland 出版 IPL 編集委員, IEEE Senior Member。