

Marcelo Knörich Zuffo

Mylene Melly

Roseli de Deus Lopes

Grupo de Computação Gráfica  
Laboratório de Sistemas Integráveis  
Departamento de Engenharia de Eletricidade  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Caixa Postal 8174, 05508 - São Paulo - SP

## RESUMO

A introdução de processamento paralelo com o uso de transputadores e da linguagem OCCAM, foi a solução adotada para se aumentar o desempenho das Estações Gráficas EG-880X.

Apresenta-se, neste texto, o Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores e uma descrição sucinta do processamento gráfico tridimensional a ser executado no mesmo.

## I. INTRODUÇÃO

Dentre as aplicações que exigem processamento numérico intensivo, as que mais se destacam são as aplicações gráficas tridimensionais, usadas extensivamente em PAC (Projetos Auxiliados por Computador), animação por computador e uma variedade de problemas científicos.

A geração da mais simples imagem de um sólido tridimensional pode consumir um grande número de operações matemáticas. Partindo de uma descrição geométrica simples de um objeto, o computador deve derivar um modelo da superfície completa do objeto e seu relacionamento com o plano de projeção, luzrefletida e atributos de visualização.

A fim de aumentar o desempenho dos sistemas desenvolvidos no LSI, em particular, da família de estações gráficas EG-880X com a introdução de uma biblioteca gráfica tridimensional (em fase de projeto), surgiu o projeto do Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores (MPP-TR). O desenvolvimento deste Módulo teve como diretrizes a facilidade de instalação nos equipamentos (construídos sobre o barramento VME) e o elevado desempenho na execução de suas funções.

## II. PROCESSAMENTO GRÁFICO

### II.1. As etapas do Processamento Gráfico

O processamento gráfico tridimensional é uma das aplicações que mais necessita de processamento numérico, o que pode ser evidenciado através da análise das etapas que compõem este processamento.

Considerando-se um objeto, a primeira etapa para obter uma imagem realística é criar um modelo matemático do mesmo, isto é, descrevê-lo em termos de funções matemáticas representando formas geométricas simples, obtendo-se assim uma descrição da superfície do objeto em coordenadas  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

Obtidas estas coordenadas, realiza-se uma transformação tridimensional (rotação, translação e escala) sobre cada ponto que define a estrutura do objeto, o que implica na multiplicação de vetores por uma matriz de transformação.

A seguir, passa-se ao corte tridimensional, que consiste no corte do objeto contra cada uma das faces que definem um volume de visão.

Neste ponto, pode-se executar a primeira etapa do sombreamento (cálculo de vetores normais aos vértices a partir dos vetores normais às faces). Pode-se também eliminar faces não visíveis trivialmente (faces cujos vetores normais sejam opostos ao observador).

Na etapa seguinte, executa-se a passagem de coordenadas tridimensionais para bidimensionais através do cálculo da projeção paralela ou perspectiva de cada ponto do objeto, o que é feito através da multiplicação de vetores por uma matriz de projeção.

Realizam-se então as operações de corte e transformação bidimensionais, e finalmente, passa-se à geração da imagem propriamente dita, que compreende as fases finais de tratamento de visibilidade, sombreamento, geração de retas, caracteres, polígonos, etc, bem como a renovação da informação da memória gráfica.

## II.2. Detecção de paralelismo

Num nível macroscópico identifica-se paralelismo no processamento gráfico tridimensional, através de um dadoduto ("pipeline"), visto que suas etapas são independentes.

O conceito de dadoduto ("pipeline") diz respeito a diversos elementos processadores dispostos em cascata, conforme uma linha de produção industrial.

Cada estágio do dadoduto ("pipeline") executaria operações específicas sobre cada objeto, conforme ilustra a figura 1.

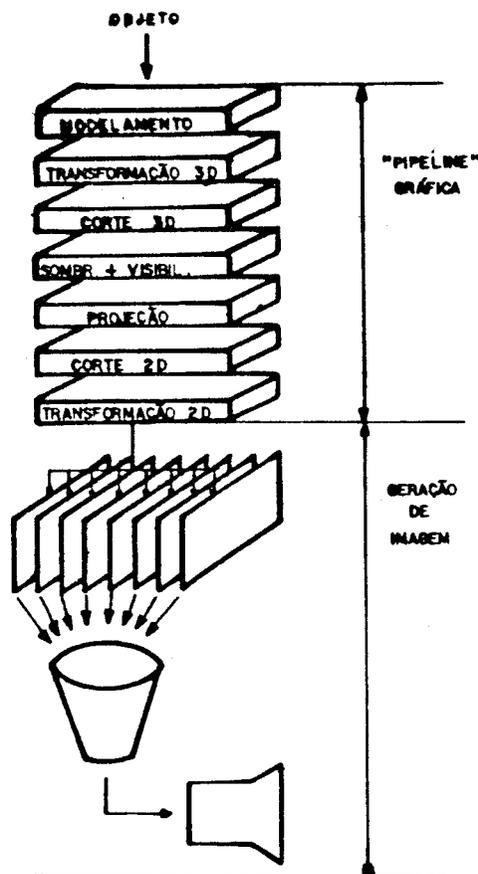


figura 1 - representação geral do processamento gráfico

O dadoduto ("pipeline"), é alimentado por objetos, ou seja, passa-se para o estágio seguinte somente quando o estágio anterior houver terminado seu processamento sobre todo o objeto.

Dentro de cada estágio do dadoduto ("pipeline") existem ainda tarefas que podem ser realizadas paralelamente.

A distribuição das tarefas entre processadores diferentes será o resultado de um estudo detalhado do volume de processamento e do fluxo de informações dentro e ao longo de cada etapa do processamento gráfico tridimensional, a fim de se obter um bom balanceamento do sistema a um custo viável.

### III. O MÓDULO DE PROCESSAMENTO PARALELO BASEADO EM TRANSPUTADORES (MPP-TR)

A fim de aumentar o desempenho de sistemas construídos sobre o barramento VME, como é o caso das estações gráficas EG-880X, optou-se pela introdução nestes sistemas do Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores (MPP-TR).

Na família de estações gráficas EG-880X este Módulo será responsável pela execução do processamento gráfico propriamente dito.

#### III.1. Circuitaria ("Hardware")

O Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores, como o próprio nome indica, tem como essência o uso de transputadores. Um transputador [6] é um microprocessador com memória interna e quatro elos de comunicação serial bidirecionais para conexão ponto a ponto com outros transputadores. Este tipo de microprocessador foi especialmente desenvolvido para aplicação em sistemas concorrentes de alto desempenho. O Transputador T800 [6] da INMOS possui ainda unidade de ponto flutuante (UPF) internamente.

Como a principal aplicação do Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores, se destina a processamento gráfico, o transputador mais indicado é o T800, devido ao elevado número de operações em ponto flutuante presentes na referida aplicação.

O Módulo é composto por três tipos de placas: uma QTR-VME (Quadri-transputador com interface VME), opcionalmente uma ou mais MTR (Multitransputador) e ainda, se necessário, uma placa gráfica GRTR-VME (placa Gráfica com Transputador e interface VME).

A QTR-VME (Quadri-transputador com interface VME) é composta basicamente por uma interface com o barramento VME, quatro conjuntos transputador/memória e um bloco para permitir chaveamento por logicionaria ("software") dos elos de comunicação internos e externos à placa. Uma vez que cada T800 (20MHz) possui um desempenho de 10 MIPS e 1,5 MFLOPS, a QTR-VME fornecerá até 40 MIPS e 6,0 MFLOPS. A figura 2 fornece um esquema geral da placa QTR-VME.

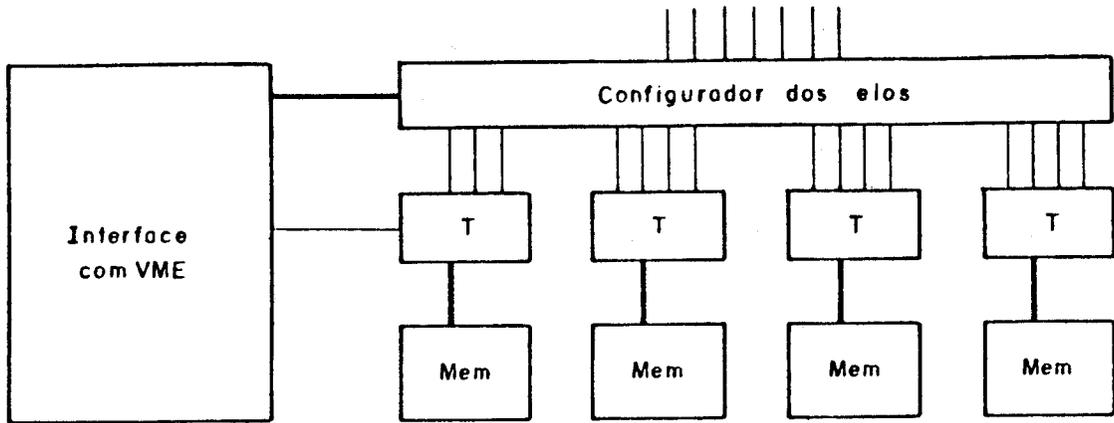


figura 2 - esquema geral da QTR-VME

Cada MTR (Multi-transputador) será semelhante à QTR-VME, porém sem a lógica de interface com o barramento VME. Poderão existir mais de um tipo de MTR no tocante ao dimensionamento do número de transputadores e capacidade de memória (por exemplo, MTR4, com 4 transputadores e MTR8, com 8 transputadores).

A GRTR-VME (placa Gráfica com Transputador e interface VME) é responsável pela saída gráfica do Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores, podendo também ser usada isoladamente como placa gráfica em sistemas VME. Conforme ilustra a figura 3, a GRTR-VME possui um barramento comum ligado à uma interface VME escrava, ao qual estão conectados um transputador T800, memória de trabalho e um bloco chamado controlador de memória de tela; tem-se ainda a memória de tela e a interface de vídeo.

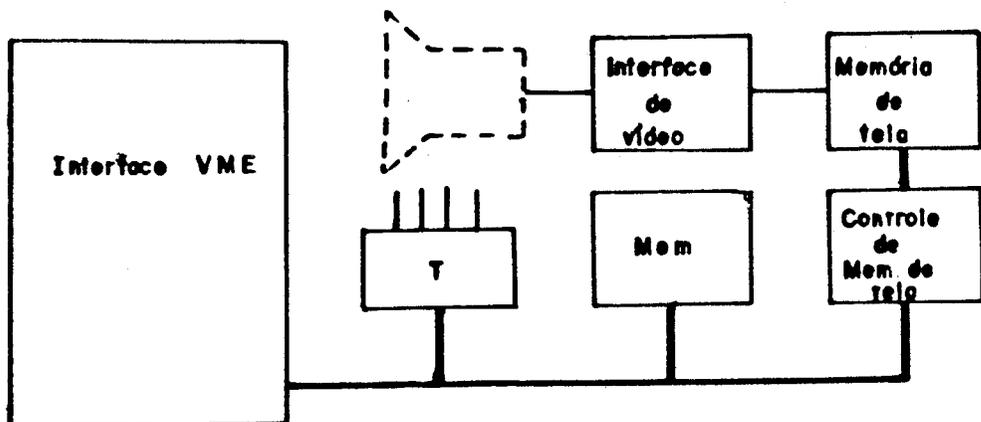


figura 3 - esquema geral do GRTR-VME

O Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores permite três níveis de paralelismo:

- a) internamente às placas, se apresentando de duas formas: uma dentro de cada transputador T800, em que há paralelismo no funcionamento da CPU e da UPF; outra com relação à característica de múltiplos processadores no módulo (vários transputadores trabalhando em paralelo);
- b) pode-se conectar a um sistema VME mais de um Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores;
- c) pode-se ainda ampliar a capacidade de processamento de cada Módulo inserindo além da QTR-VME, uma ou mais placas MTR (Multi-transputador). Esta característica permite construir sistemas com um grande número de processadores sem criar "gargalos" no barramento VME, uma vez que a comunicação entre os diversos processadores é feita ponto a ponto através de seus elos de comunicação serial. As conexões entre os diversos elos podem ser configuradas da forma que melhor convier à aplicação (alguns exemplos de configuração são dados na figura 4).

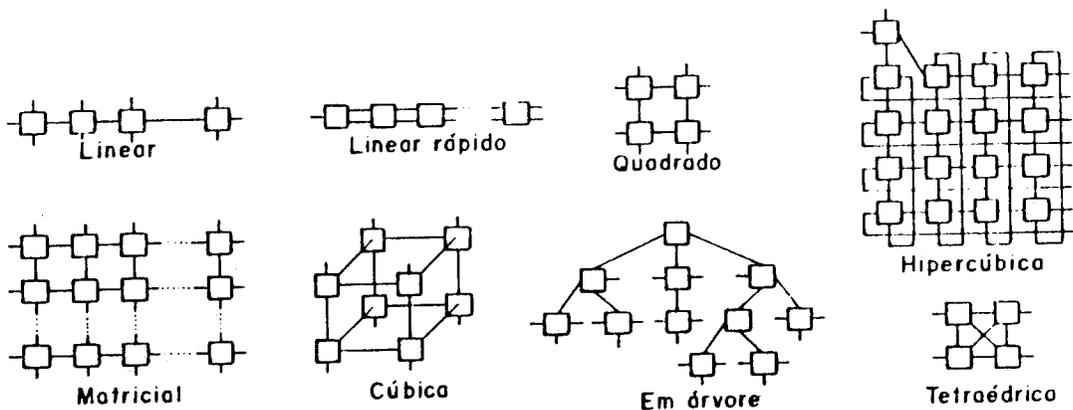


figura 4 - exemplos de configurações de conexão entre elos de transputadores

No caso do processamento gráfico, a configuração mais indicada é a linear (dadoduto) com algumas variações dependendo dos níveis de paralelismo existentes dentro de cada estágio do dadoduto ("pipeline").

Na figura 5 tem-se um exemplo de como ficarão os Módulos de Processamento Paralelo baseados em Transputadores num sistema VME.

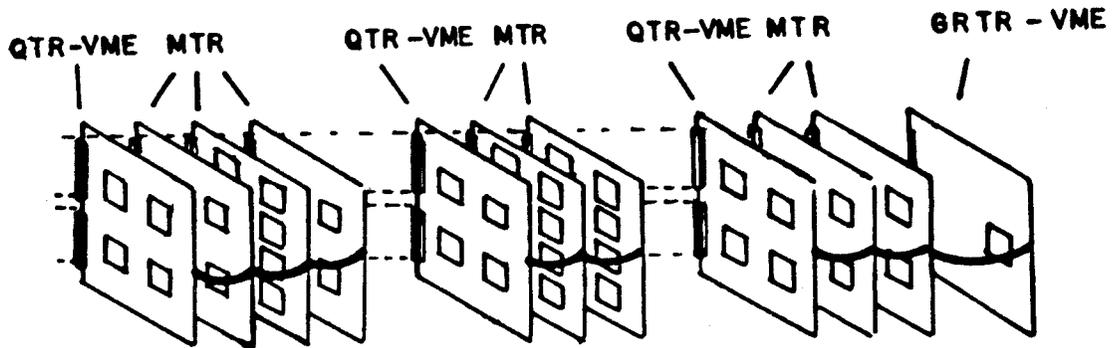


figura 5 - exemplo de disposição de Módulos de Processamento Paralelo baseado em Transputadores num Sistema VME

### III.2. Logicionaria ("software")

Com relação à logicionaria ("software"), será desenvolvida uma biblioteca gráfica tridimensional em microcomputadores compatíveis com IBM PC na linguagem OCCAM [7], utilizando o Sistema de Desenvolvimento para Transputadores da INMOS, o TDS D700 [8].

A linguagem Occam foi desenvolvida para ambientes de programação paralela e memória distribuída. Como o transputador foi projetado para suportar esta linguagem, a mesma é a mais adequada para o desenvolvimento de logicionaria ("software").

Pode-se também desenvolver programas utilizando linguagens convencionais como Pascal, Fortran, "C" e Prolog, uma vez que os respectivos compiladores se encontram disponíveis no mercado.

Os programas desenvolvidos podem ser executados em um ou em diversos transputadores, com alterações apenas a nível de detalhes de configuração. Isto permite que se inicie com um pequeno número de transputadores e, à medida que se necessite de um melhor desempenho, aumente-se este número inserindo novas placas.

Um ponto muito importante a ressaltar é a distribuição das tarefas entre os processadores. Esta distribuição deve ser bem balanceada aproveitando-se as características de paralelismo do dadoduto ("pipeline") gráfico e de cada etapa do mesmo.

### III.3. Gerência

A gerência de um ou mais Módulos de Processamento Paralelo baseados em Transputadores será feita por uma UCP mestre do sistema na qual será executado o programa de gerência de Módulos. Este programa será escrito na linguagem "C", dada a disponibilidade de compiladores desta linguagem para microprocessadores como o MC68020 e MC68030 usados nas estações EG-880X.

A figura 6 ilustra a estrutura do gerente de Módulos de Processamento Paralelo baseado em Transputadores.

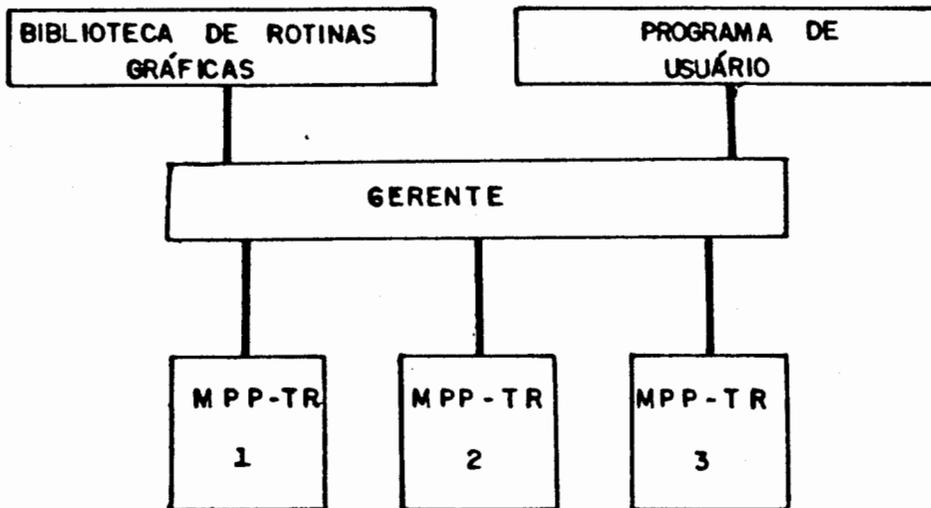


figura 6 - Estrutura do gerente dos Módulos de Processamento Paralelo baseado em Transputadores

As etapas operacionais previstas são as seguintes: o usuário deve, ao solicitar o Módulo, identificar qual a tarefa que pretende usar; o Gerente então configura as conexões do Módulo e transfere para o mesmo as rotinas de biblioteca correspondentes à tarefa solicitada, disparando a seguir a operação do Módulo.

As rotinas de biblioteca, bem como os dados a serem processados serão enviados e/ou recebidos do Módulo de Processamento Paralelo baseado em Transputadores através de uma interface com o VME existente na QTR-VME (que estará conectada a um dos conjuntos transputador/memória da placa). A UCP mestre, responsável pela gerência da QTR-VME, avisa quando os dados devem ser processados. Por outro lado, a QTR-VME avisa quando o processamento é finalizado gerando uma interrupção para a respectiva UCP mestre via VME.

Quanto às outras placas (uma ou mais MTR's e/ou uma GRTR-VME) estarão conectadas através dos elos seriais com a QTR-VME formando um conjunto com a mesma.

#### IV. CONCLUSÃO

A construção de sistemas envolvendo mais de um processador abre uma nova dimensão de recursos a serem explorados pela computação gráfica.

A utilização de transputadores e da linguagem Occam fornece uma grande flexibilidade quanto à capacidade de processamento do sistema, permitindo que se parta de uma configuração reduzida e se amplie a mesma gradativamente conforme os requisitos de custo e desempenho.

Além disso, a exploração de conceitos de computação paralela aplicados à computação gráfica proporcionará uma maior capacitação da equipe para novos projetos de sistemas gráficos paralelos.

A QTR-VME e a GRTR-VME, bem como a biblioteca gráfica tridimensional estão em fase de projeto e deverão ser incorporadas ao sistema tão logo estejam prontas.

#### V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FOLEY, JAMES D. & DAM, ANDRIES VAN. Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison Wesley, 1984
- [2] HARRINGTON, STEVEN. Computer Graphics, McGraw-Hill, 1973
- [3] NEUMAN, WILLIAM M. & SPROULL, ROBERT F. Principles of Interactive Computer Graphics, McGraw-Hill, 1973
- [4] HARRINGTON, STEVEN. Computer Graphics - A Programming Approach, McGraw-Hill, 1987
- [5] ZUFFO, M.K.; NETTO, M.L.; LOPES, R.D. Processador Especializado para Sistemas VME, II Simpósio Brasileiro de Arquitetura de Computadores - Processamento Paralelo, 1988, págs. 3.B.2.1 - 3.B.2.7.
- [6] INMOS. Transputer Reference Manual, Prentice Hall, 1988
- [7] POUNTAIN, D. & MAY, D. A tutorial introduction to OCCAM programming McGraw-Hill.
- [8] INMOS. Transputer Development System Manual.