

## 4. MULTIPROCESADORES CON MEMORIA DISTRIBUIDA

En un sistema multiprocesador con memoria distribuida (MMD) cada módulo de memoria está asociado a un procesador, que es el único que puede acceder directamente a dicho módulo. La red de interconexión debe permitir, en este caso, la comunicación de información entre los procesadores. En esta sección se describen los aspectos más importantes relacionados con el diseño y programación de un MMD.

### 4.1. REDES DE INTERCONEXION PARA MMD

Tal y como ocurre en el caso de un MMC, el elemento que va a determinar el rendimiento del sistema es la red de interconexión que ha de soportar el tráfico de información, en este caso, entre procesadores.

Cualquiera de las redes descritas en la sección anterior puede utilizarse como red de interconexión para un MMD. Sin embargo, el principal inconveniente de este tipo de redes es que no permiten la escalabilidad del sistema. Es decir, añadir más procesadores al sistema representa, en general, un aumento del tráfico que debe soportar la red y, por tanto, una degradación en el rendimiento del sistema. Este es el motivo de que el número de procesadores en un MMC sea reducido.

En el caso de los MMD es posible utilizar una estrategia de interconexión diferente, basada en conexiones punto a punto entre procesadores. En este caso cada procesador está conectado, mediante enlaces punto a punto, a un subconjunto de los procesadores del sistema. Los procesadores se intercambian información a través de los enlaces punto a punto. En el caso de que no exista un enlace directo entre dos procesadores, los mensajes deben encaminarse a través de los procesadores intermedios.

El rendimiento de un sistema con este tipo de red de interconexión está afectado por las características topológicas de la estructura de interconexión. Es por ello que frecuentemente, para estudiar las características de una determinada red basada en conexiones punto a punto se realiza un análisis de las propiedades del grafo que modela dicha red. Concretamente, los nodos de este grafo

número de arcos incidentes). En referencia a la figura 31, un anillo tiene grado 2, una malla tiene grado 4 y un hipercubo de dimensión  $N$  tiene grado  $N$ .

El grado de un grafo está relacionado con el coste de los procesadores (en cuanto a canales de comunicación).

### *Diámetro*

Es el máximo número de arcos en el camino entre dos nodos cualesquiera. En un anillo de  $N$  nodos el diámetro es  $\lfloor N/2 \rfloor$ , el diámetro de una malla de  $N \times N$  nodos es  $2N-2$  y para un hipercubo de dimensión  $N$  es  $N$ .

El diámetro está relacionado con el máximo retardo que puede sufrir la comunicación entre dos procesadores. Lógicamente, mientras mayor sea el grado menor será el diámetro.

### *Conectividad*

Es el mínimo número de nodos o arcos cuya eliminación divide al grafo en 2 partes desconectadas. En el caso del anillo, la conectividad es 2. La conectividad de la malla es 2.

La conectividad del grafo está relacionada con la tolerancia a fallos de la red de interconexión asociada.

### *Regularidad*

Un grafo es regular si puede ser obtenido mediante la replicación de un determinado patrón de interconexión. Todos los grafos mostrados en la figura 31 son regulares y puede añadirse más nodos repitiendo el patrón de interconexión asociado a cada uno de ellos.

Una topología de interconexión regular facilita la construcción y programación del MMD.

En general, las redes que más aceptación tienen son mallas. El motivo es que son redes regulares y, por tanto, fáciles de programar, son extensibles y de construcción fácil.

Para finalizar esta sección es importante remarcar que, gracias al abaratamiento del coste de los microprocesadores, los MMD están ganando

representan a los procesadores y los arcos representan a los enlaces de comunicación punto a punto.

La figura 31 muestra algunos ejemplos típicos de grafos asociados a redes de interconexión para MMD.

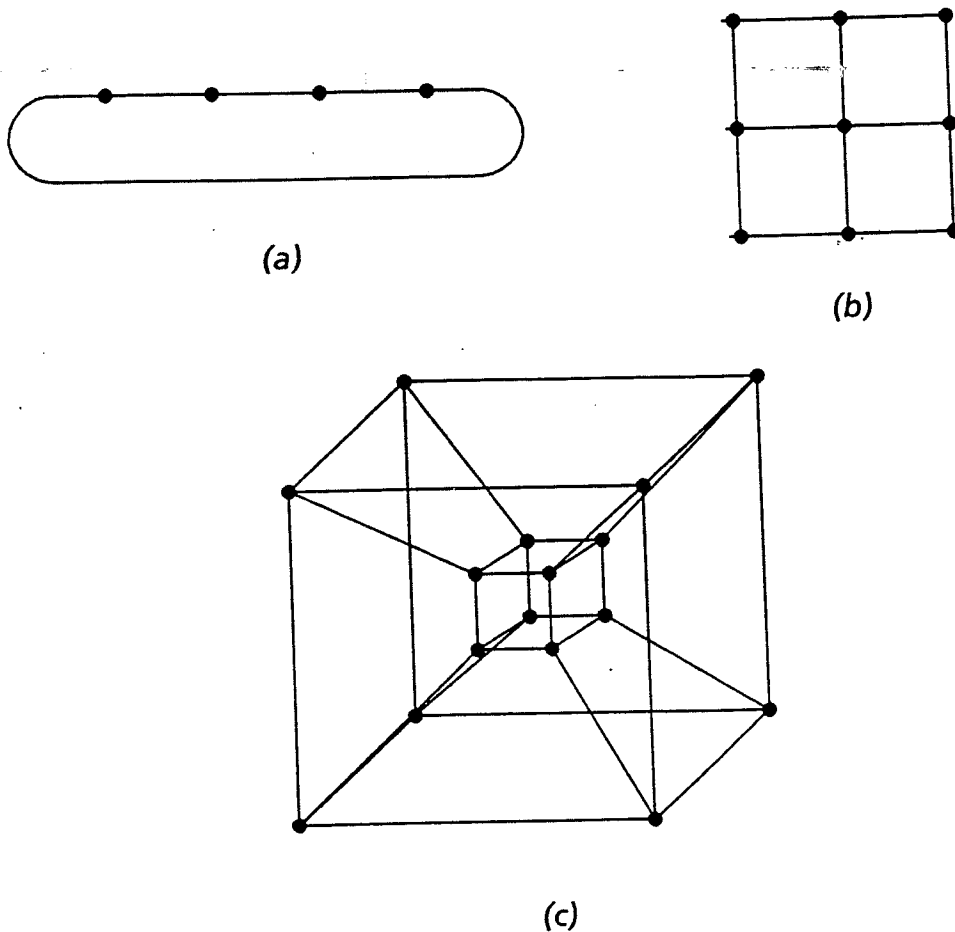


Figura 31: Algunos ejemplos de topologías de interconexión para MMD: (a) anillo, (b) malla y (c) hipercono.

Las propiedades del grafo asociado determinan algunas características de la red de interconexión. Las propiedades más interesantes son :

### Grado

El grado de un grafo es el número de arcos que inciden en cada nodo del grafo (se supone que el grafo es homogéneo y, por tanto, todos los nodos tienen el mismo

interés en los últimos años. Este tipo de sistemas permite una mayor escalabilidad que los MMC. Es posible, por ejemplo conectar un elevado número de procesadores en malla sin que por ello se degrade el comportamiento del sistema (si se realiza una programación inteligente). En cambio, en un MMC el número de procesadores es más reducido para que el tráfico generado pueda ser soportado por la red de interconexión. Algunos ejemplos de MMD son el MARK III, con 1024 procesadores conectados en forma de hipercubo y el Ncube/Ten, también con 1024 procesadores en hipercubo.

#### 4.2. PROGRAMACION DE UN SISTEMA MMD

La programación eficiente de un MMD es, en general, más difícil que la programación de un MMC. La razón es que, en el caso de un MMD no es suficiente con descomponer el conjunto de cálculos sino que, además, deben distribuirse los datos entre los módulos de memoria (ver figura 32). Cada procesador tiene acceso directo (acceso local) a los datos que le han sido ubicados en el módulo de memoria asociado.

Para acceder a datos asignados a otros procesadores (acceso remoto) debe hacer uso de las primitivas de comunicación del sistema. El coste de un acceso remoto es mucho mayor que el de un acceso local y depende de la eficiencia del mecanismo de comunicación y de la distancia entre el procesador solicitante de la información y el procesador propietario de la misma.

Así pues, la programación de un MMD tiene una componente adicional, no presente en el caso de MMC, que consiste en la distribución de los datos entre los procesadores de forma que se minimicen las necesidades de comunicación entre ellos. Este factor complica la programación de MMD, tanto manual como automática, y condiciona las posibles estrategias de scheduling a aplicar. En esta sección se describen los aspectos más importantes de la programación de MMD.

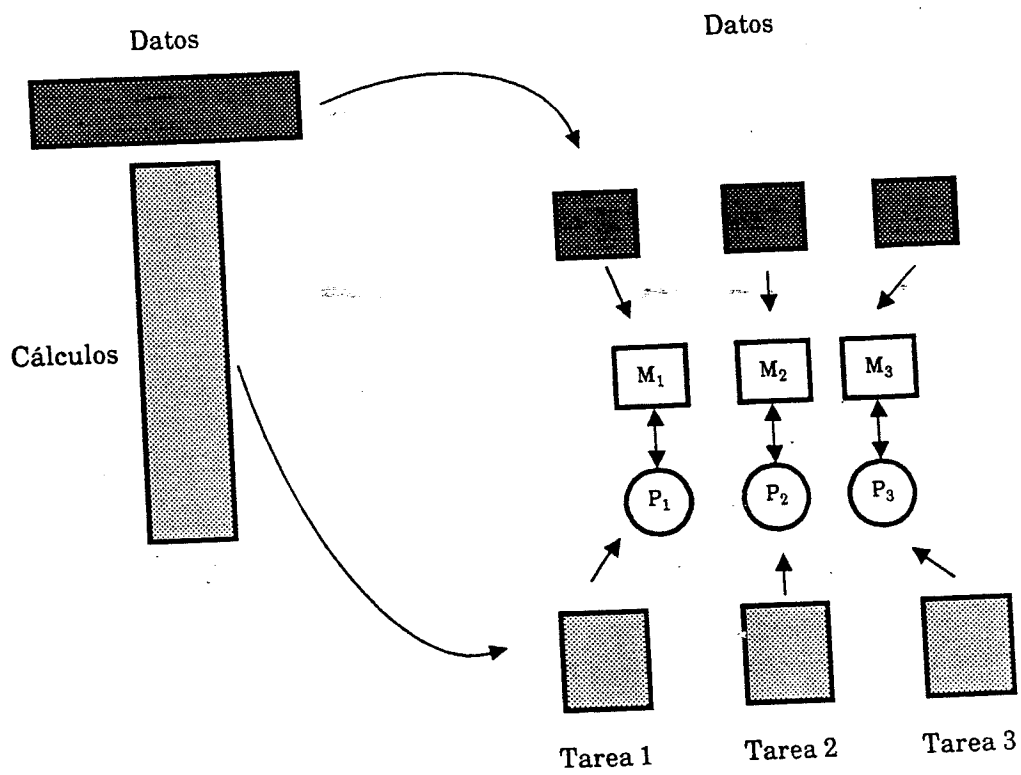


Figura 32: Descomposición de un problema en tareas para su ejecución en un MMD. Por claridad, se ha omitido la red de interconexión