



**Universidad
Europea de Madrid**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

MULTIPROCESADORES

MODELOS DE INTERCONEXIÓN

© Todos los derechos de propiedad intelectual de esta obra pertenecen en exclusiva a la Universidad Europea de Madrid, S.L.U. Queda terminantemente prohibida la reproducción, puesta a disposición del público y en general cualquier otra forma de explotación de toda o parte de la misma.

La utilización no autorizada de esta obra, así como los perjuicios ocasionados en los derechos de propiedad intelectual e industrial de la Universidad Europea de Madrid, S.L.U., darán lugar al ejercicio de las acciones que legalmente le correspondan y, en su caso, a las responsabilidades que de dicho ejercicio se deriven.

Índice

Presentación	4
Redes y subredes	5
Características de las redes	6
Conectividad	7
Ejemplo estáticas	7
Ejemplo dinámicas	7
Propiedades	8
Rendimiento de la red	11
Propiedades que definen el rendimiento de una red	11
Redes estáticas	12
Sistema jerárquico de bus	13
Red crossbar	15
Red multietapa	16
Resumen	17

Presentación

Con la aparición de los multiprocesadores, el rendimiento de los computadores ha evolucionado más a través de la arquitectura de computadores que con el aumento de la frecuencia del procesador.

Tan importante es tener un buen diseño de la arquitectura como tener el modelo de interconexión adecuado para conectar y comunicar los componentes entre sí.

En este tema aprenderemos a:

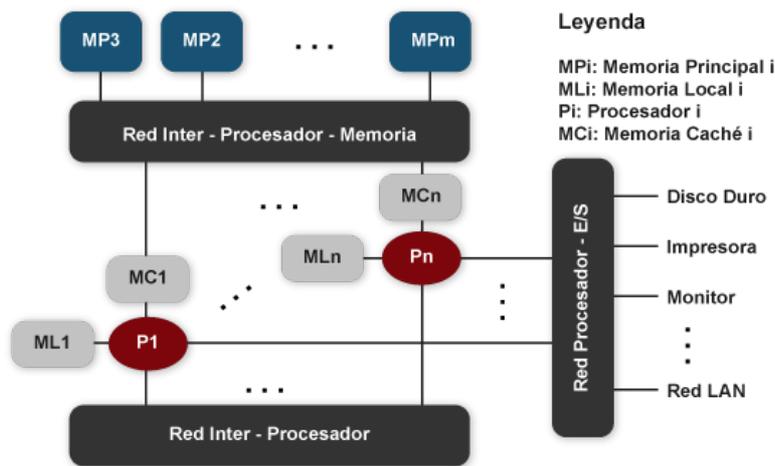
- Conocer los distintos modelos de interconexión existentes para conectar y comunicar los componentes en arquitecturas complejas.
- Distinguir entre redes estáticas y redes dinámicas.
- Profundizar en los modelos de interconexión basados en el bus digital, las redes crossbar, las redes multietapa y sus combinaciones.
- Conocer las características de las redes de conexión.
- Medir y evaluar los parámetros de las redes de conexión.



Redes y subredes

Cuando construimos arquitecturas complejas, necesitamos definir un modelo de interconexión que dé respuesta a las necesidades de comunicación entre componentes.

En la figura de más abajo se muestra un esquema genérico de una arquitectura multiprocesador de memoria compartida NUMA. Como podemos ver hay tres subredes dentro del modelo de interconexión general. Cada subred podrá seguir un modelo de conexión distinto, dependiendo del tráfico de datos, del tipo de componentes y del presupuesto asignado al modelo de interconexión.



Modelos de interconexión

Características de las redes

En la tabla dinámica de más abajo podrás encontrar la definición de algunas características típicas que debemos identificar en los distintos tipos de red:

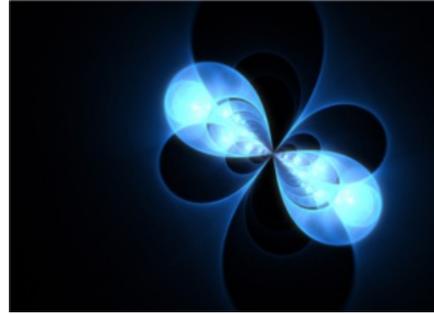
Control temporal	Puede ser síncrono (existe un reloj global) o asíncrono (hay que gestionar peticiones de dispositivos lentos y rápidos sobre la misma red, y establecer mecanismos de interbloqueo).
Encaminamiento	El envío de información puede ser transferido por un solo camino o repartido en varios caminos.
Estrategia de control	Puede ser centralizada (existe un controlador global que gestiona las peticiones de acceso a la red) o distribuida (cada componente autogestiona sus peticiones).
Número de etapas	Las redes pueden transferir datos en una sola etapa (son más baratas aunque puede haber esperas largas al solicitar el acceso a la red compartida), multietapa (donde la transferencia se hace a través de conmutadores que permiten conectar muchas más conexiones, conectando todos los componentes de entrada, los procesadores, con los de salida, es decir, los módulos de memoria).
Redes bloqueantes o no bloqueantes	Las redes bloqueantes son aquellas en las que solo un dispositivo puede estar transfiriendo datos en la misma, y durante ese tiempo se bloquea el acceso a la red para el resto de dispositivos. Las redes no bloqueantes son aquellas que permiten varias conexiones en paralelo y no se bloquea el acceso a la red



Conectividad

Según el número de componentes que puede usar un único enlace, las redes pueden ser:

- **Estáticas:** todos los enlaces son punto a punto. Los componentes que se comunican a través de un enlace son siempre los dos mismos componentes.
- **Dinámicas:** puede variar el dispositivo emisor y el dispositivo receptor, que transmiten información a través del mismo enlace.



Ejemplo estáticas

La conexión entre el procesador y su memoria caché normalmente es una conexión punto a punto, puesto que tienen conexión directa punto a punto y son los únicos 2 componentes que pueden retransmitir información a través de ese enlace.

Ejemplo dinámicas

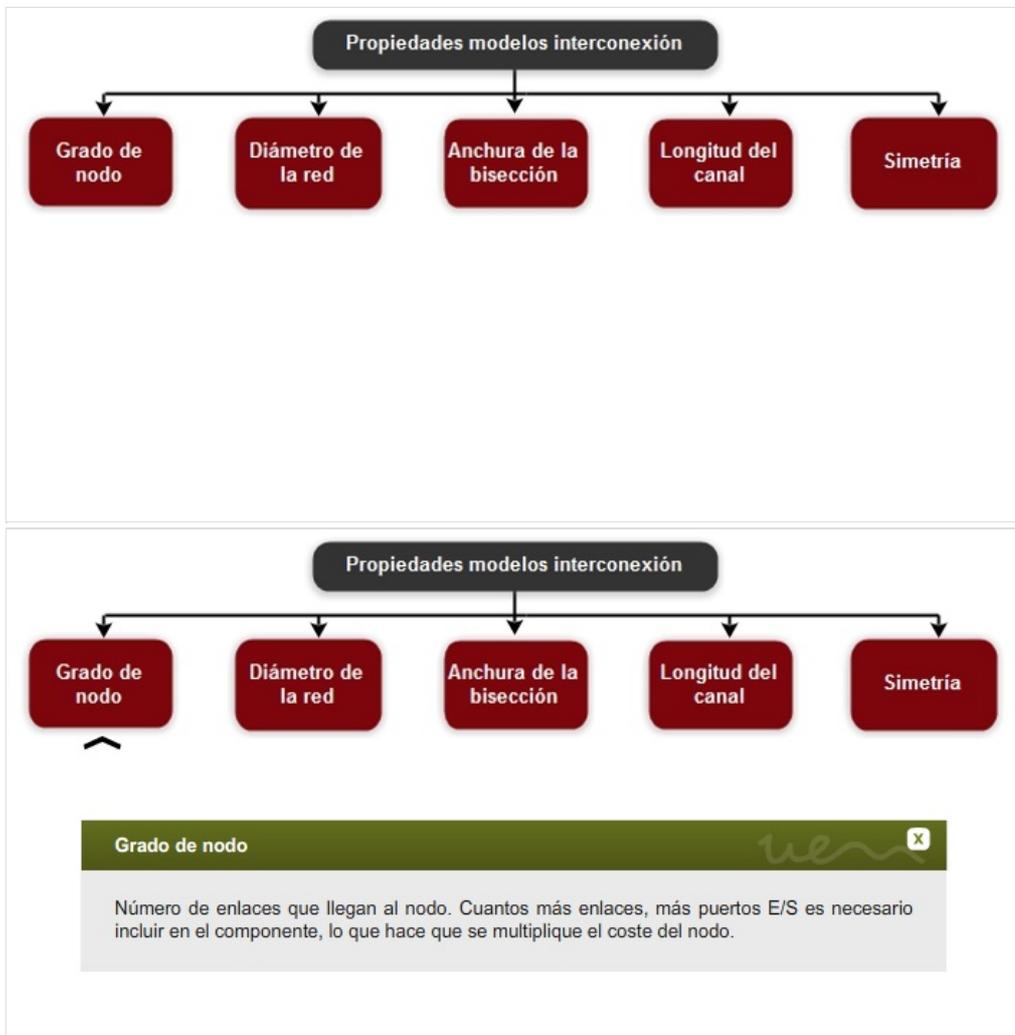
El **bus de datos** es el ejemplo más típico de red dinámica, pues distintos componentes envían y reciben datos a través del mismo bus.

Las redes que usan conmutadores como las **redes crossbar** o las **redes multietapa** también son dinámicas.

Propiedades

En la tabla dinámica de más abajo se definen algunas propiedades de los modelos de interconexión. Muchas de estas propiedades definen la topología de la red, es decir, la forma en la que se conectan los componentes entre sí.

Es importante aclarar la nomenclatura que se utilizará en las definiciones. Cuando se hable de nodo estaremos hablando de un componente de la arquitectura (Módulo de memoria, procesador, memoria caché, etc.). Un enlace se refiere a una conexión entre nodos que se utiliza para transferir datos entre los nodos conectados.



Propiedades modelos interconexión

Grado de nodo

Diámetro de la red

Anchura de la bisección

Longitud del canal

Simetría

Diámetro de la red
ue
x

Distancia que hay que recorrer entre los dos nodos más alejados de una red, medido en número de enlaces que hay que atravesar para llegar desde un nodo hasta el otro.

Propiedades modelos interconexión

Grado de nodo

Diámetro de la red

Anchura de la bisección

Longitud del canal

Simetría

Anchura de bisección
ue
x

Si dividimos la red en dos mitades simétricas con el mismo número de nodos a cada lado y lanzamos una bisectriz que divida la estructura en dos partes iguales, el número de enlaces cortados es la anchura de bisección. Si existen varias formas de biseccionar, la anchura de bisección será la menor de todas las posibles. Este parámetro define el riesgo que hay en sufrir un corte de comunicación en la red.

Propiedades modelos interconexión

Grado de nodo

Diámetro de la red

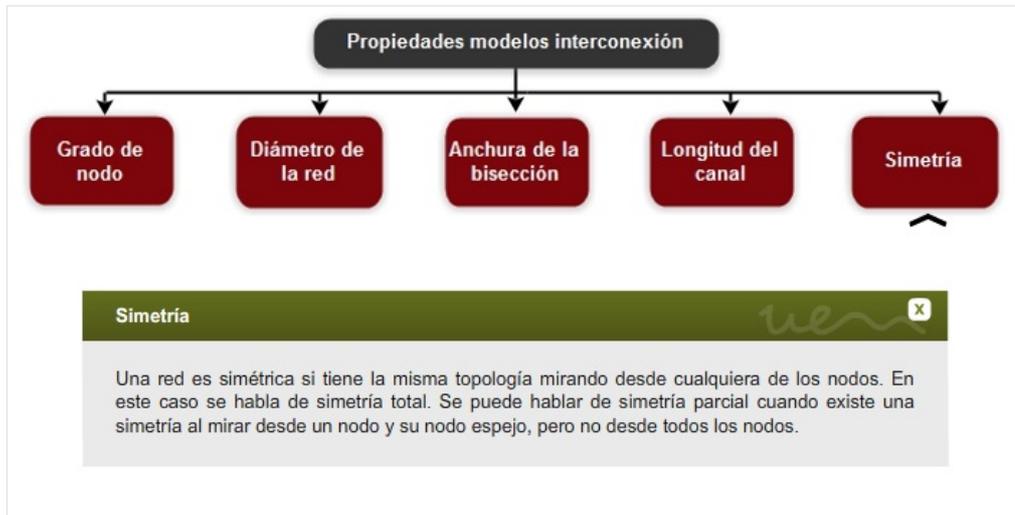
Anchura de la bisección

Longitud del canal

Simetría

Longitud del canal
ue
x

Este parámetro mide la longitud física (en mm) del cable que une dos nodos.



Rendimiento de la red

El rendimiento de una red se mide por las características que se muestran en el siguiente gráfico.

Propiedades que definen el rendimiento de una red



Redes estáticas

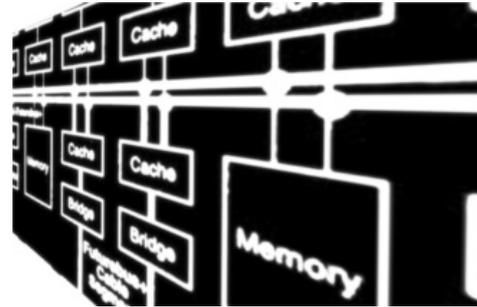
En esta sección estudiaremos los distintos tipos de topología de red para redes estáticas. Es importante que la topología de la red sea coherente con la complejidad de la arquitectura. A continuación, mostramos los ejemplos más típicos de topologías de red:

Topología de red en serie	Las latencias son muy grandes para enviar información entre los dos extremos. Además, hay mucho riesgo de que se corte la comunicación entre dos partes de la red si falla un enlace.
Topología de red en anillo	Normalmente, el envío de información sigue siempre el mismo sentido. Se usa un testigo que se etiqueta como libre u ocupado para decidir quién tiene el permiso para enviar información. Las latencias siguen siendo grandes, pero minimiza el riesgo de que un corte en un enlace, divida la red en dos, pues si hubiera algún corte, la red en anillo funcionaría como una red en serie.
Red totalmente conectada	Este tipo de red es excesivamente costosa y además desaprovecha muchos enlaces que apenas se les dará uso. Por ejemplo, la conexión directa entre módulos de memoria principal apenas se usaría.
Topología en estrella	Se usa típicamente en arquitecturas cliente-servidor. Tiene sentido cuando un procesador administra las peticiones de acceso a recursos compartidos.
Topología de Malla	Ofrece un buen ancho de banda, aunque el diámetro de la red es alto (en el ejemplo, el diámetro es 6).
Topologías de red "torus"	La red Torus mantiene las ventajas de la red de malla, pero mejora el diámetro de la red (en el ejemplo, el diámetro es 2).
Red Hipercubo	La red hipercubo de grado n se construye con 2^n nodos de grado n (n conexiones) y con diámetro de red igual a n . En el pdf adjunto se muestra una red hipercubo de grado 3 que se puede representar con forma de "cubo", de ahí su nombre.

 [Topologías](#)
Documentos

Sistema jerárquico de bus

A continuación vamos a profundizar en tres tipos de redes dinámicas: bus de datos, redes crossbar, y redes multietapa.



En esta sección no pretendemos centrarnos en el funcionamiento del bus digital, sino dar a conocer el sistema jerárquico de bus. En el documento enlazado a continuación, se muestra un esquema de este sistema.

 [Modelo de interconexión jerárquico de bus basado en Futurebus+](#)

Documentos

En realidad existen tres agrupaciones de hardware:

- Red de procesadores y Memoria Compartida (Arriba).
- Red de Visualización (Izquierda).
- Red de Almacenamiento (Derecha).

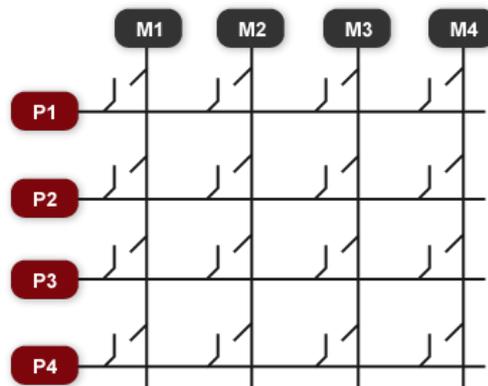
En la primera subred implementa un multiprocesador UMA que utiliza como modelo de interconexión un Dual-Futurebus+, pues esta sección es la parte donde mayor ancho de banda se requiere.

En las otras dos subredes se usa un Futurebus+. Para conectar cada subred es necesario utilizar unos dispositivos "puente", cuya función es trocear y unir la información para adaptar las unidades de información al ancho de palabra y al protocolo de comunicación de cada subsistema.

Red crossbar

La red crossbar o de "barras cruzadas" conecta n módulos de entrada con n módulos de salida. En la figura que acompaña a estas líneas se muestra un ejemplo de red crossbar que conecta cuatro procesadores con cuatro módulos de memoria.

En cada cruce de barras se encuentra un conmutador que se activa cuando se quiere enviar información entre el procesador de la fila y el módulo de memoria correspondiente. La principal **ventaja** de este tipo de redes es que con un bajo coste, permite conectar todos los componentes de entrada con todos los componentes de salida, aunque en la práctica el máximo número de conexiones que se pueden activar en paralelo es de n (cuatro en el ejemplo), ya que un procesador no puede comunicarse con dos módulos de memoria a la vez, ni dos procesadores pueden acceder a la vez a uno de los módulos de memoria. Aún así el **ancho de banda teórico es alto**, teniendo en cuenta su **bajo coste**.



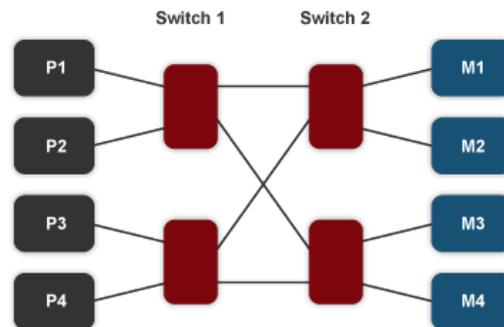
Red crossbar

Red multietapa

La red multietapa permite conectar n componentes de entrada con n componentes de salida, mediante conmutadores o *switches* intermedios que reciben dos posibles entradas y dos posibles salidas (cuatro combinaciones de conmutación).

Este tipo de red se denomina por etapas porque en cada fase atravesamos un switch para el cual hay que activar una combinación entrada-salida. También es cierto que al atravesar varios conmutadores hace que este tipo de redes sean más lentas que las redes crossbar. La red más utilizada de este tipo es la red omega, que optimiza el número de etapas y de switches para poder conectar todos los componentes de entrada con todos los componentes de salida, calculados de la siguiente forma:

- n componentes de entrada y n componentes de salida.
- Número de etapas = $\log_2 n$ etapas.
- Número de switches por etapa = $n / 2$ etapas.



Red multietapa de cuatro procesadores de entrada y cuatro módulos de memoria de salida

La red omega

Ofrece un **alto ancho de banda**, aunque igual que las redes crossbar, no permite más de n conexiones en paralelo, ya que los switches sólo pueden usarse con una combinación de conmutación entrada-salida por cada transferencia, bloqueando el resto de entradas y salidas.

Resumen

Con la proliferación de los sistemas multiprocesadores ha tomado gran importancia la forma en la que conectamos los componentes en arquitecturas complejas.

Así, en este tema hemos aprendido a:

- Identificar los distintos modelos de interconexión utilizados en arquitecturas avanzadas, a conocer sus ventajas y desventajas, y a decidir cuál es el modelo más adecuado para cada modelo de interconexión.
- Hemos profundizado en tres modelos básicos de interconexión: bus digital, redes crossbar y redes multietapa.
- También hemos aprendido que puede haber modelos de interconexión complejos que combinen varios modelos, donde exista una "super-red" que siga un modelo de interconexión y que en cada sub-red se identifiquen otros modelos de interconexión.