

upna UNIVERSIDAD PÙBLICA DE NAVARRA
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutación de circuitos

Area de Ingeniería Telemática
<http://www.tim.unavarra.es>

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
 3º Ingeniería de Telecomunicación

upna UNIVERSIDAD PÙBLICA DE NAVARRA
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
 Área de Ingeniería Telemática

C. Circuitos vs C. Paquetes

- Hemos visto redes de conmutación de paquetes
 - Los mensajes se dividen en paquetes
 - Los paquetes son transmitidos por un camino de origen a destino
 - Sin conexión (datagramas)
 - O circuitos virtuales
- Conmutación de circuitos
 - Se crea un circuito de la fuente al destino
 - El circuito físico real conectado queda dedicado
 - En c.c. virtuales los paquetes de diferentes circuitos comparten el servicio de transmisión

upna UNIVERSIDAD PÙBLICA DE NAVARRA
ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutación de circuitos

- Camino dedicado entre dos terminales
- Tres fases:
 - Establecimiento
 - Transferencia
 - Desconexión
- Ventajas
 - Una vez conectado, la transferencia es transparente
 - La capacidad del canal está asignada a la conexión durante toda su duración
 - Calidad de servicio conocida (más conocida que en conmutación de paquetes)
- Desventajas
 - Capacidad del canal asignada a la conexión durante toda su duración
 - Si no se envían datos: capacidad desperdiciada
 - Establecimiento añade retardo

upna
 ARQUITECTURA DE REDES
 Área de Ingeniería Telemática

Red pública telefónica conmutada

- Abonados (*subscribers*): teléfonos o modems
- Líneas de usuario (*subscriber line, local loop*): par trenzado
- Centrales de conmutación (*exchanges*)
 - Central local (*End-office*): tiene abonados (miles) de una zona localizada
- Enlaces (*trunks*):
 - En España más de 8.000 ayuntamientos; todas con todas → ¡ más de 32M enlaces !
 - Más de 700 ciudades (>10.000 hab); todas con todas → ¡ más de 200K enlaces !

upna
 ARQUITECTURA DE REDES
 Área de Ingeniería Telemática

Arquitectura

- Centrales locales:
 - Conectan a usuarios de esa central entre si
 - Conectan a usuarios a una de las líneas troncales
- Centrales primarias, secundarias, terciarias:
 - Conectan líneas entre centrales
- Los enlaces entre centrales son conjuntos de líneas que se pueden conectar por separado
- Bell System Hierarchy, Switch Class:
 - 1- Regional center
 - 2- Sectional center
 - 3- Primary center
 - 4- Toll center
 - 5- End office

upna
 ARQUITECTURA DE REDES
 Área de Ingeniería Telemática

Arquitectura

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Área de Ingeniería Tecnológica

Arquitectura

- Las centrales se organizan en red jerárquica por niveles (locales, primarias, secundarias, terciarias...)
- Facilita el encaminamiento: siempre hay un superior jerárquico

El diagrama muestra una estructura jerárquica de red. En la base hay tres nodos etiquetados como 'locales', cada uno con tres terminales de usuario. Estos se conectan a un nivel superior de 'primarias'. Una de estas primarias se conecta a un nivel de 'secundarias', que a su vez se conecta a un nivel de 'terciarias'. Las líneas representan enlaces de comunicación entre los niveles.

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Área de Ingeniería Tecnológica

Establecimiento de circuitos

El diagrama ilustra el establecimiento de circuitos. A la izquierda hay dos 'End office' (oficinas). La oficina superior tiene tres terminales etiquetados como 'a', 'b' y 'c'. La oficina inferior tiene un terminal etiquetado como 'd'. Ambas oficinas están conectadas a una 'Intermedia exchange' (central intermedia) a través de líneas etiquetadas como 'Trunk'.

- Tráfico entre usuarios de la misma central no sale de la central
- Tráfico entre usuarios de diferentes centrales se cursa a través de enlaces troncales (*trunk*) y posibles centrales intermedias

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Área de Ingeniería Tecnológica

Elemento de conmutación de circuitos

- Líneas de entrada
 - Full-duplex
- Unidad de control
 - Establece, mantiene y libera caminos en el switch
- Conmutador digital
 - Conecta entre sí las líneas de entrada según le indica la unidad de control

El diagrama muestra un elemento de conmutación de circuitos digital. A la izquierda, una línea de entrada con un símbolo de teléfono y una onda de señal pasa por un filtro de paso bajo (LPF) y un convertidor analógico-digital (A/D). El resultado es una 'Full-duplex lines to switched devices'. Este se conecta a un 'Digital Switch' que tiene múltiples líneas de entrada y salida. Una 'Control Unit' está conectada al switch. Finalmente, el switch se conecta a una 'Network Interface' que muestra un símbolo de 'X'.

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Área de Ingeniería Técnica

Trunks (troncales)

- Capacidad para múltiples circuitos simultáneos
 - Múltiples medios físicos (cables)
 - FDM
 - TDM

The diagram illustrates two multiplexing techniques: FDM (Frequency Division Multiplexing) and TDM (Time Division Multiplexing). FDM is shown as a frequency spectrum divided into multiple channels. TDM is shown as a time sequence of samples from different sources. Below these, a network diagram shows an 'End office' connected to a 'Trunk' which leads to an 'Intermediate exchange'.

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Área de Ingeniería Técnica

Señalización

"Intercambio de información de control entre los nodos de la red y entre terminales de abonado y la red"

- Las unidades de control de las centrales se comunican entre si para
 - Establecimiento de llamadas
 - Liberación de llamadas

The diagram shows the signaling process between a 'Fuente' (Source) and a 'Destino' (Destination) through three nodes (N). The flow includes 'Solicitud de envío' (Request for transmission), 'Conexión' (Connection), 'Respuesta' (Response), 'Desconexión' (Disconnection), and 'Timbrado' (Tone marking). A separate diagram shows a network topology with nodes and connections.

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Área de Ingeniería Técnica

Señalización

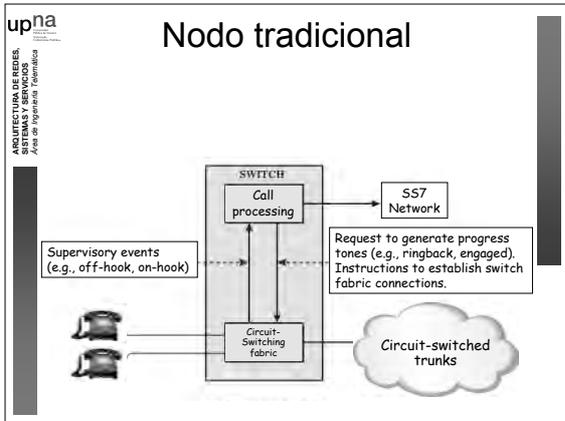
Señalización en canal

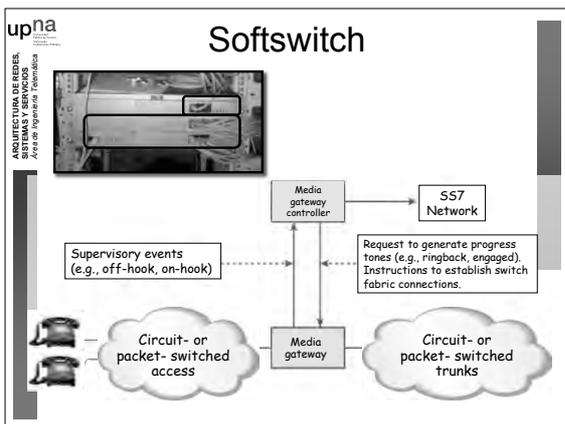
- Usa los mismos recursos de transmisión para la voz y para la señalización
- Puede ser "en banda" o "fuera de banda" (banda de frecuencias vocal)
- Ej. en banda: tonos en el marcado. Ej. fuera de banda: continua (DC) en el bucle de abonado para detectar el descoligie

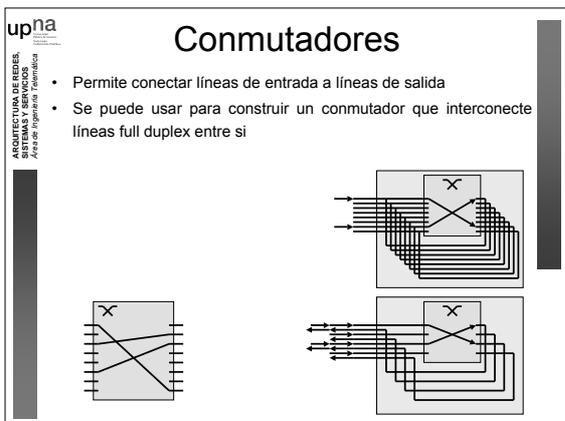
Señalización por canal común (CCS = Common Channel Signaling)

- Emplea un canal dedicado entre las CPUs de los conmutadores
- Puede ser CCS por "canal asociado"
- Los mensajes pasan entre los nodos de conmutación (*store-and-forward*)
- Los mensajes pueden emplear caminos diferentes a los de la voz
- Se crea así una red de conmutación de paquetes para la señalización
- El protocolo empleado hoy en día es el CCITT Signaling System No. 7 (SS7)

The diagram illustrates the Common Channel Signaling (CCS) architecture. It shows two 'Matrix' units connected by a 'Data Link' between their respective 'CPU's. 'Voice and Signaling' paths are shown entering and exiting the matrices. 'Control' signals are also shown between the matrices and CPUs.







upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutadores

Line switch

- Central local
- Interconecta líneas individuales
- Debe conectar una entrada específica con una salida específica

Transit switch

- Interconecta troncales
- Debe conectar una entrada específica con una salida cualquiera en la dirección correcta

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Bloqueo

- Cuando no se puede interconectar dos estaciones aunque estén libres
- Bloqueo interno
 - El conmutador no tiene recursos para hacer llegar un circuito de la entrada a la salida

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Bloqueo

- Cuando no se puede interconectar dos estaciones aunque estén libres
- Bloqueo externo
 - El conmutador no tiene suficientes recursos de salida para cursar una nueva llamada

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación,
 Área de Ingeniería Telemática

Bloqueo

- Cuando no se puede interconectar dos estaciones aunque estén libres
- Red de conmutación con bloqueo
 - En sistemas de voz se suele utilizar
 - Llamadas de voz suelen ser de corta duración
 - Se dimensiona para que suceda infrecuentemente
- Red de conmutación sin bloqueo
 - Permite a todas las estaciones conectarse a la vez
 - La única causa por la que una conexión puede ser rechazada es porque la estación destino esté ocupada
 - Se utiliza más en redes de conmutación para datos

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación,
 Área de Ingeniería Telemática

Tipos básicos de conmutadores

- Conmutador espacial (S)
- Conmutador temporal (T)
- Conmutadores por fases (TST, STS...)

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación,
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutador espacial

- Permite conectar las líneas de entrada con las líneas de salida elegidas (camino espacial)
- Tecnología **Crossbar**
 - Un bus por cada línea de entrada
 - Un bus por cada línea de salida
 - *Crosspoints* permiten conectar cada bus a cualquier otro
- La complejidad y coste depende del número de puntos de cruce

Space division switch

NxN crossbar matrix (N=10)

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutador espacial

- Conmutador NxK
- Si $K=N$: sin bloqueo
- NxN:
 - El número de *crosspoints* crece con N^2
 - Uso de *crosspoints* ineficiente
 - Máx N/2 circuitos simultáneos
 - $N^2-N/2$ *crosspoints* sin utilizar

¿Se puede hacer con menos *crosspoints*?

Space division switch

NxN crossbar matrix (N=10)

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutador con etapas (stages)

- Diferentes etapas
 - Seleccionamos líneas y las mandamos a conmutadores intermedios
 - Los conmutadores intermedios envían las líneas al bloque de salida deseado
 - Conmutadores internos más sencillos
 - Más de un camino interno posible

Total 576 puntos de cruce

Total 228 puntos de cruce

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Crosspoints

$C_1=N^2$ *crosspoints*

Entrada: r conmutadores $n \times m$

Intermedia: m conmutadores $r \times r$

Salida: r conmutadores $m \times n$

m salidas. Una a cada bloque intermedio.

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutador 3 etapas

- (3 stage space division switch SSS)
- ¿ Qué problema tiene este conmutador ?

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutador 3 etapas

upna
 ARQUITECTURA DE REDES,
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Redes de Clos

- ¿ Cuantos conmutadores intermedios m necesito para que no haya posibilidad de bloqueo interno ?
- Se entiende que al menos $m \geq n$ (evitar bloqueo de la entrada)

upna

Redes de Clos

ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación, Área de Ingeniería Telemática

Condición en el caso peor

- De la entrada A a la salida B tiene que haber un camino posible
- Tiene que haber al menos un conmutador intermedio que tenga una línea libre al bloque de B
- En el caso peor habrá $n-1$ ocupados, es decir, todas las otras salidas del bloque de salida ocupadas)

Linea A, conectar a la salida B

upna

Redes de Clos

ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación, Área de Ingeniería Telemática

Condición en el caso peor

- Tiene que ser un conmutador intermedio al que esté libre la línea desde el bloque de entrada
- En el peor caso los conmutadores intermedios que no puedo usar por las dos razones no serán los mismos
- Tiene que haber conmutadores intermedios suficientes para los dos casos y uno más para tener camino para la llamada nueva

Linea A, conectar a la salida B

upna

Condición de Clos

ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación, Área de Ingeniería Telemática

- En un conmutador $(r \ n) \times (r \ n)$ formado con m conmutadores intermedios el número m de conmutadores intermedios necesarios para que no exista probabilidad de bloqueo tiene que ser al menos $m \geq 2 \times (n-1) + 1$
 $m \geq 2n - 1$
- Un conmutador construido así no tiene bloqueo interno y tendrá normalmente menos puntos de cruce que un crossbar entero

Linea A, conectar a la salida B

upna
ARQUITECTURA DE REDES,
Integración de Tecnologías,
Área de Ingeniería Telemática

Número de puntos de cruce

- Como ya se vio:

Entrada r conmutadores $n \times m$
Intermedia m conmutadores $r \times r$
Salida r conmutadores $m \times n$

n salidas. Una a cada bloque intermedio.
 r salidas. Una a cada bloque de salida.

upna
ARQUITECTURA DE REDES,
Integración de Tecnologías,
Área de Ingeniería Telemática

Conmutador 3 etapas

- El ejemplo anterior no cumplía la condición de Clos
- ¿Cuántos conmutadores intermedios necesitamos para que no pueda tener bloqueo?

r salidas. Una a cada bloque de salida.

- *Crosspoints* en el ejemplo: _____
- *Crosspoints* necesarios para un *crossbar* 10×10 : _____
- Cumpliendo la condición de Clos: _____
- ¡ El ser multietapa no garantiza menos puntos de cruce !

upna
ARQUITECTURA DE REDES,
Integración de Tecnologías,
Área de Ingeniería Telemática

Crosspoints

- Conmutador 3 etapas que cumple la condición de Clos mínima
- C = número de *crosspoints*

¿Mínimo número de *crosspoints*?

Ejemplo: si $N=100.000$

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Tecnología de Redes y Aplicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutadores espaciales multietapa

- Los conmutadores que cumplen la condición de Clos no tienen bloqueo interno
- Los conmutadores que cumplen la condición $m \geq n$
 - Se puede hacer que no tengan bloqueo interno
 - Hace falta que el sistema de control sea capaz de recolocar llamadas ya establecidas
 - *Rearrangeably nonblocking Clos networks*
- Escalan mejor que un *crossbar* al aumentar el número de entradas
- Seguimos necesitando muchos puntos de cruce para conmutar centenares de miles de canales telefónicos
- Optimizando aún más

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Tecnología de Redes y Aplicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Reducir más el nº de crosspoints

- Permitir cierto grado de bloqueo (pequeña probabilidad)
- Extender el número de etapas

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Tecnología de Redes y Aplicaciones
 Área de Ingeniería Telemática

Voz digital

- 8.000 muestras por segundo
- $T_s = 125 \mu s$
- 8 bits/muestra

8 bits 125 μs \Rightarrow 64Kbps

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA
ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
Área de Ingeniería Telemática

Multiplexación TDM

- Las líneas troncales multiplexan los canales de voz en un mismo canal espacial

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA
ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
Área de Ingeniería Telemática

Multiplexación TDM

- Las líneas troncales multiplexan los canales de voz en un mismo canal espacial
- En cada δt el MUX
 - Recibe una muestra de voz de cada una de las líneas
 - Envía N muestras de voz (del intervalo anterior) por la salida

upna
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NAVARRA
ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
Área de Ingeniería Telemática

Multiplexación TDM

- Ejemplo
 - 32 canales de voz
 - Cada canal 8bits cada 125 μ s
 - Total $32 \times 8 = 256$ bits cada 125 μ s
 - 2.048 Kbps (E1)

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Demultiplexación TDM

- Proceso inverso
- Una entrada
- N salidas de velocidad N veces menor

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Space Digital Switch (SDS)

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Conmutación temporal (Time-division Switching)

TSI = Time Slot Interchanger

- Una entrada y una salida
- Ambas llevan N canales de voz multiplexados
- Guarda las muestras de entrada en un buffer de N bytes (una por circuito)
- Las reescribe en diferente orden
- Combinado con MUX/DEMUX el resultado es conmutación

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Time Slot Interchanger

- Ejemplo

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Problemas construyendo un TSI

- El límite es el tiempo necesario para leer y escribir a memoria
- Para 120000 circuitos
 - Leer y escribir una muestra de cada uno una vez cada 125 microsegundos
 - Cada operación necesitaría hacerse en menos de 0.5 ns
- Otras técnicas...

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space (TS) Switch

- Entradas multiplexadas
 - Crossbar con un TSI previo a cada entrada
 - Retrasar las muestras para que lleguen en el momento adecuado para la conmutación espacial
- Ejemplo: Sin TSIs
 - Ejemplo: Con TSIs

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE OPERACIONES Y SEGURIDAD INFORMÁTICA
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space-Time (TST) Switch

- Similar a un conmutador espacial de 3 etapas
- Las etapas de entrada y de salida son TSIs
- Reordenar en entrada para evitar bloqueo en crossbar
- Reordenar en salida para asignar a slot correcto
- Ejemplo:

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE OPERACIONES Y SEGURIDAD INFORMÁTICA
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space-Time (TST) Switch

- Slots 1 y 2 de entrada 1 y slots 1 y 2 (valores 13 y 14) de entrada 4 van a la salida 1

upna
 ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS DE OPERACIONES Y SEGURIDAD INFORMÁTICA
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space-Time (TST) Switch

- Slots 1 y 2 de entrada 1 y slots 1 y 2 (valores 13 y 14) de entrada 4 van a la salida 1
- En la salida slot 1 de entrada 1 va a slot 4, slot 2 a slot 3
- En la salida slot 1 de entrada 4 va a slot 2 y slot 2 a slot 1

upna
 ARQUITECTURA DE REDES
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space-Time (TST) Switch

- TSIs en la entrada reordenan para que no haya bloqueo
- Pueden colocar los slots en la posición que quieran que no produzca bloqueo
- Mayor flexibilidad para usar el conmutador espacial y evitar bloqueo

upna
 ARQUITECTURA DE REDES
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space-Time (TST) Switch

- TSIs en la entrada reordenan para que no haya bloqueo
- Pueden colocar los slots en la posición que quieran que no produzca bloqueo
- Mayor flexibilidad para usar el conmutador espacial y evitar bloqueo
- TSI en la salida reordena

upna
 ARQUITECTURA DE REDES
 Ingeniería de Telecomunicación
 Área de Ingeniería Telemática

Time-Space-Time (TST) Switch

- La etapa espacial puede sustituirse por un conmutador de 3 etapas => TSSST

Conclusiones

- Conmutación de circuitos
 - Establecer caminos *físicos* para conectar dos terminales
 - Señalización para control entre nodos y entre usuarios y nodos
 - Conmutadores
 - Bloqueo
 - *Crossbar* y conmutadores multietapa
 - Redes sin bloqueo: condición de Clos
 - Conmutadores espaciales y temporales
 - S, T, TST
- Próxima clase:**
- Prestaciones
