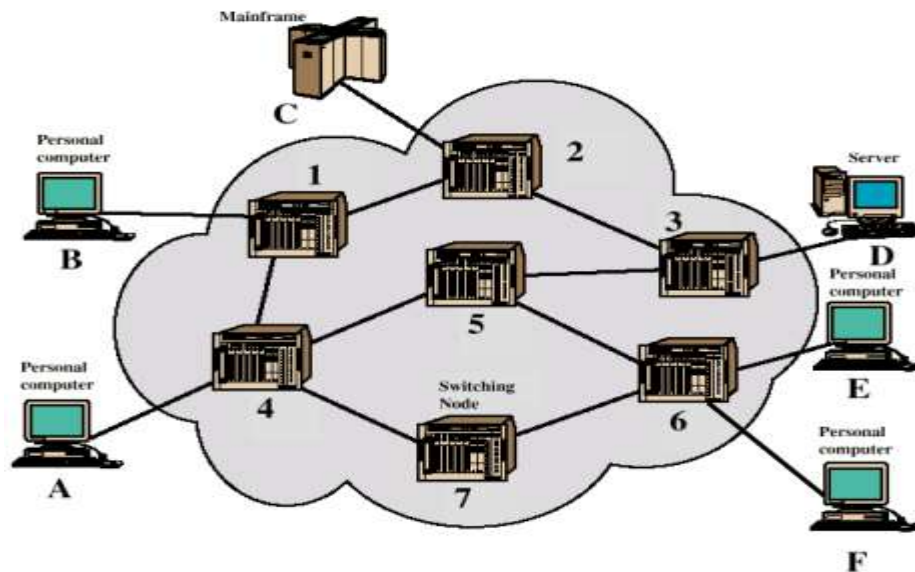


COMUTAÇÃO DE CIRCUITOS

Sistemas de comutação são formados por um conjunto de nós e enlaces de interconexão cuja estrutura pode ser utilizada para comunicação de longa distância (WAN) para a transmissão de voz, dados etc., conforme demonstra a figura a seguir:



Conceitualmente, os sistemas de comutação podem ser vistos como uma sub-rede de comunicação (representada pela nuvem da figura) com as seguintes características:

- ☐ Normalmente, a rede não é completamente conectada (não existem enlaces cruzados entre todos os nós);
- ☐ Alguns nós possuem apenas a função de repassar adiante as informações que chegam, como é o caso dos nós 5 e 7. Os demais nós, além de repassar as informações adiante, devem atender as conexões com as estações usuárias finais;
- ☐ Os troncos de interligação de nós normalmente usam algum esquema de multiplexação FDM ou TDM.

O sistema de transmissão de dados nas redes de comutação pode ser feito sob dois aspectos: a comutação de circuitos, muito utilizada para telefonia e a comutação de pacotes, mais voltada para a transferência de dados. Nas seções a seguir será apresentada uma abordagem de cada um desses métodos.

1. Conceitos Associados à Comutação de Circuitos

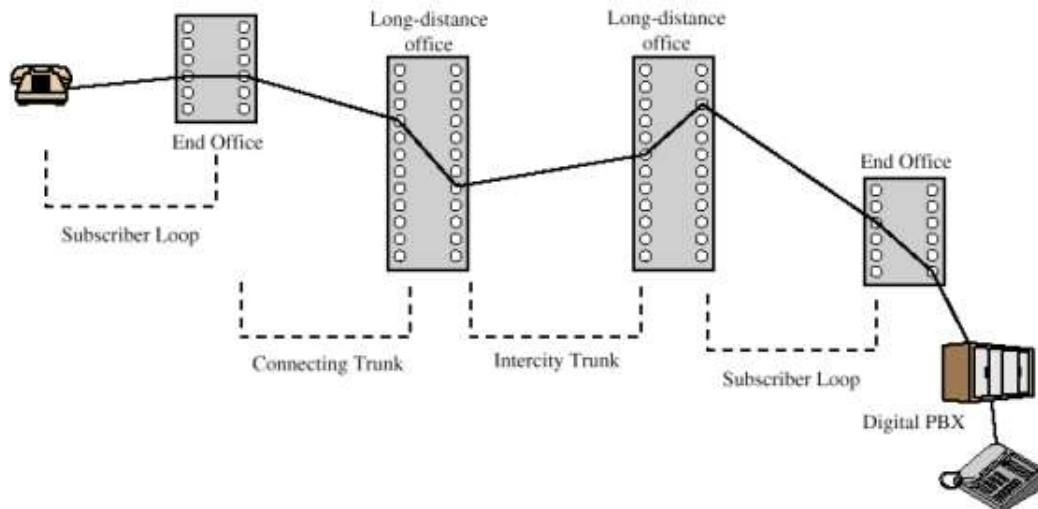
Desde a invenção do telefone, a comutação de circuitos tem sido a tecnologia dominante nas operadoras de telecomunicações para transmissão de voz, apesar de, atualmente, existirem várias outras tendências tecnológicas em função das novas necessidades dos usuários. Dentre as características dos sistemas de comutação de circuitos tradicionais, pode-se citar os seguintes:

- Existe um caminho dedicado entre origem e destino (o canal é dedicado para quem o solicitou, não importando se vai haver utilização ou não);
- Uma vez conectado com o destinatário, a transferência de dados é transparente (não há congestionamento na rede);
- A comunicação ocorre em três fases bem distintas:
 - Estabelecimento de conexão – Definição do caminho a ser utilizado (quais nós/enlaces farão parte do caminho),
 - Transferência de dados – Diálogo propriamente dito entre as partes,
 - Encerramento de conexão - Liberação dos recursos alocados na fase de estabelecimento;
- Os nós de comutação devem possuir recursos suficientes para atender diversos usuários;
- Além de ser capazes de separar sinais de diferentes usuários, os comutadores devem ser capazes de realizar roteamento desses sinais para o destino correto.

Atualmente, a demanda por comunicação de dados entre computadores passou a ser uma realidade e, em função das características desse tipo de transmissão, a comutação de circuitos passou a ser questionada. Dentre as críticas aos sistemas de comutação de circuitos, é possível mencionar:

- Sistemas de comutação são considerados ineficientes, uma vez que a capacidade do canal não pode ser utilizada por outros usuários, mesmo que os originários da conexão não estejam transmitindo dados.
- O estabelecimento da conexão (identificação de comutadores e enlaces participantes) leva um tempo considerável que algumas aplicações podem não suportar.

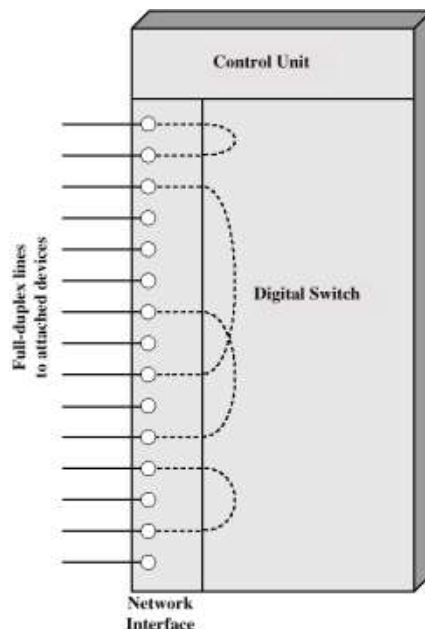
Dentro do jargão utilizado nas operadoras de telefonia, os seguintes elementos podem ser mencionados como participantes de um sistema de comutação de circuitos (vide figura a seguir):



- Assinante – usuário do sistema;
- Loop local – enlace que vai do assinante até o primeiro nó de comutação;
- Nós de comutação – comutadores da sub-rede (*"long distance office"*); possuem funcionalidades extras quando são preparadas para receber conexões de assinantes (*"end office"*).
- Troncos – Ramificações entre nós de comutação que utilizam alguma técnica de multiplexação (FDM ou TDM).

2. Tecnologia Utilizada em Comutadores

A tecnologia de comutação de circuitos pode ser vista pela análise individual de um único comutador ou pela análise de vários comutadores interagindo para viabilizar um caminho físico entre dois assinantes. Do ponto de vista didático, é melhor apresentar o sistema de comutação pelo estudo de um comutador individual. A comutação envolvendo vários equipamentos será vista em separado, na seção seguinte, por possuir características um pouco mais complexas. A figura abaixo representa um diagrama esquemático de um comutador digital composto por uma interface de rede, por uma unidade de controle e por uma unidade de comutação.



Nessa figura, existem vários assinantes vinculados ao comutador. As linhas pontilhadas representam caminhos físicos estabelecidos entre dispositivos que fizeram pedido de conexão. Aqui, os componentes apresentados caracterizam um comutador digital, cuja inteligência está inserida numa unidade de controle, similar a uma CPU de um computador qualquer. No entanto, vale lembrar que os primeiros comutadores possuíam unidade de controle não-digital, as entradas eram apropriadas para sinais analógicos e as conexões entre assinantes eram feitas por intermédio de relés. Os componentes de um *switch* podem ser descritos como:

- Interface de rede - representa as funções de hardware necessárias para conectar dispositivos digitais, tais como dispositivos de processamento de dados e telefones digitais para a rede (além de acesso para outros comutadores através de troncos TDM). Os telefones analógicos podem também ser ligados se a interface de rede contiver uma lógica de conversão de sinal analógico para digital.

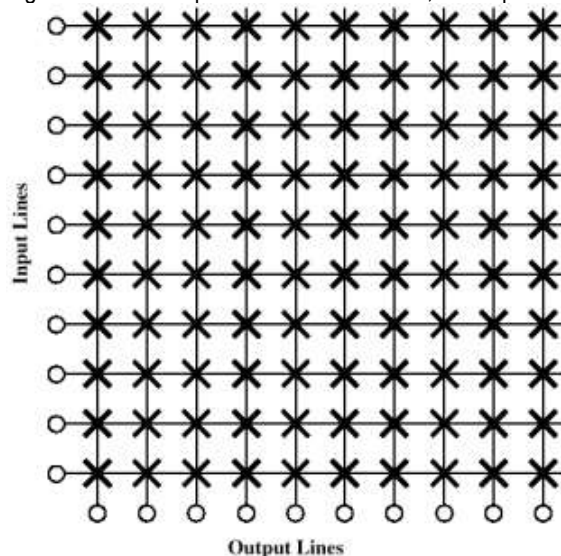
- Unidade de controle - executa três tarefas gerais: (i) estabelecimento de conexão, o qual é feito sob demanda. Para isso, a unidade de controle deve manusear e reconhecer a requisição do usuário, identificar se o destino está livre ou não e, finalmente, construir um caminho entre as partes; (ii) manter a conexão ativa. Em função dos switches digitais trabalharem com princípios de divisão de tempo (TDM), isto pode requerer manipulação dos elementos comutadores. Contudo, os bits de comunicação são transferidos de forma transparente; (iii) deve desfazer a conexão ou em resposta à uma requisição de uma das partes ou por conta própria.
- Unidade de comutação – é a maneira de formar o caminho entre origem e destino. Sob esse ponto de vista, existem dois tipos de análise que podem ser feitas para formação do caminho (veja que esse esquema não tem nada a ver com o fato do destinatário já estar utilizando o sistema):
 - Esquema bloqueante – Uma solicitação de conexão pode não ser atendida devido aos recursos necessários para formar o caminho estarem em uso por outro par de assinantes. Esse esquema foi considerado apropriado para sistemas de telefonia, uma vez que as chamadas telefônicas, em média, são de curta duração.
 - Esquema não bloqueante – Toda solicitação é atendida, haja vista que a estrutura do comutador permite formar um caminho entre origem e destino.

2.1 Tipos de Comutadores

Em linhas gerais, os comutadores são os de divisão de espaço e os de divisão de tempo. Os *switches* de divisão de espaço foram originalmente desenvolvidos para o ambiente analógico e têm sido bastante utilizados até hoje, mesmo com o advento da tecnologia digital. Isso é possível porque os princípios fundamentais de comutação são os mesmos, independente da comunicação ser analógica ou digital.

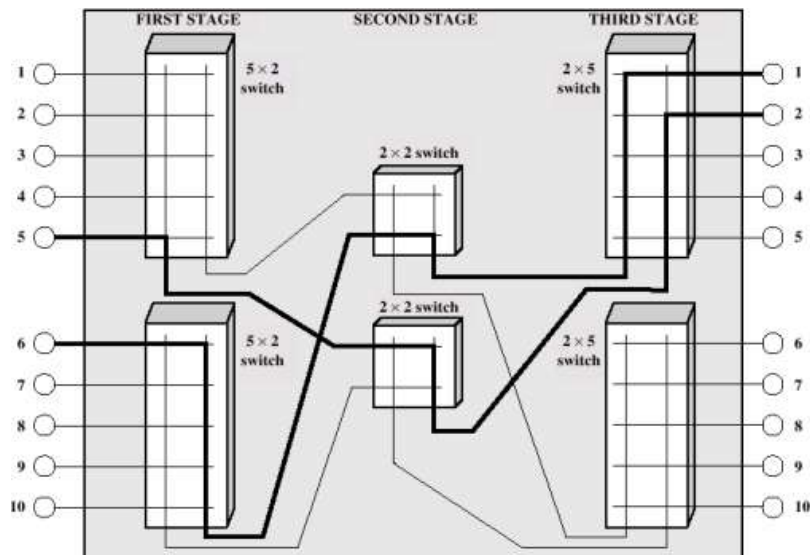
2.1.1 Comutadores de Divisão de Espaço

Como o próprio nome diz, um comutador de divisão de espaço explora os caminhos do sinal de cada uma das fontes. Esses caminhos cruzam de alguma forma com os caminhos de todas as outras fontes e o processo de comutação significa habilitar a ponte (*gate*) no cruzamento entre esses caminhos. Esse cruzamento é formado por um semicondutor ou um relé habilitado por algum mecanismo de controle dentro do comutador em função da demanda do assinante. Alguns exemplos podem ser dados para comutadores desse tipo. A figura abaixo ilustra um comutador de 10 entradas e 10 saídas *full-duplex*, onde a interconexão é possível pela habilitação do ponto de cruzamento entre os caminhos de origem e destino. Apesar da funcionalidade, esse tipo de *switch* possui algumas limitações:



- O número de pontos de cruzamento cresce exponencialmente com o número de linhas de entrada e saída;
- A perda de um ponto de cruzamento inviabiliza a conexão entre os dispositivos que usariam aquele cruzamento;
- Os pontos de cruzamento são usados de forma ineficiente. Mesmo quando todos os usuários estão conectados, apenas uma pequena fração dos cruzamentos estará sendo utilizada;
- É um comutador não bloqueante; basta a habilitação do ponto de cruzamento para viabilizar o caminho físico entre as partes.

Um outro exemplo de comutador de divisão de espaço é apresentado na figura a seguir:



Este tipo de arranjo é chamado de comutador de múltiplos estágios e possui vantagens em relação ao exemplo da matriz de cruzamentos apresentados anteriormente:

- O número de pontos de cruzamento é reduzido preservando as mesmas possibilidades de interligação das partes. Neste exemplo, o número de cruzamentos foi reduzido de 100 para 48;
- Existe mais de um caminho para conectar pontos finais, melhorando a confiabilidade;
- Exige um controle maior para a formação do caminho físico. Nesse caso é preciso determinar quem fará parte do caminho para depois habilitar os vários pontos de cruzamento;
- É considerado um comutador bloqueante, uma vez que determinadas conexões feitas podem atrapalhar a formação de outras. No exemplo, considerando as linhas mais escuras como caminhos já em uso, a linha de entrada 10 não poderá se conectar com as linhas 3, 4 ou 5, mesmo que essas estejam disponíveis.

OBS.: Um comutador de múltiplos estágios pode se tornar não bloqueante pelo incremento do número ou tamanho dos switches intermediários, mas isso, é claro, aumenta o custo.

2.1.2 Switches de Divisão de Tempo

A tecnologia de comutação de circuitos tem uma longa história, a maior parte dela coberta por uma fase onde a comutação analógica predominava. Com o advento das técnicas de digitalização da voz e das técnicas de multiplexação TDM, ambos, voz e dados, puderam ser transmitidos via sinais digitais. Essa característica provocou uma mudança enorme nos projetos de sistemas de comutação. Assim, os comutadores mais modernos contam com um controle inteligente de elementos de divisão de espaço e também de tempo.

Virtualmente, todos os comutadores modernos usam técnicas TDM para estabelecer e manter circuitos. A TDM permite agregar pequenas seqüências de dados de baixa velocidade em uma grande seqüência com taxas de velocidade maiores. Para entendimento desse conceito, é interessante analisar um tipo de comutador TDM simplificado que faz o compartilhamento do seu barramento principal.

Num primeiro momento, na fase de estabelecimento de conexão, a unidade de controle armazena as informações sobre qual porta de entrada deve estar ligada a qual porta de saída e qual a ordem de diálogo entre elas. Baseado nesse conceito, a unidade de controle permite o acesso ao barramento principal do comutador pela habilitação coordenada dos pares de portas comunicantes durante um certo limite de tempo. A varredura de todos os buffers das linhas de entrada durante um certo tempo permite a formação de um quadro. Cada slot de tempo deve ser suficiente para que o dado da linha de entrada seja transportado até a linha de saída, incluindo o atraso de propagação do sinal no barramento principal. Nesse contexto, se um comutador deseja atender 100 linhas de entrada simultaneamente, cada uma com taxa de 19.2Kbps, o barramento principal deve ter uma taxa superior a 1.92Mbps para funcionar adequadamente. Significa dizer que até 100 clientes o comutador é não bloqueante e a inserção de novos clientes torna-o bloqueante.

Os comutadores TDM simplificados podem acomodar linhas de entrada com variadas capacidades de transmissão, ou seja, os buffers de entrada (bit, byte ou bloco de bytes) não precisam ser de mesmo tamanho. Por exemplo, se uma linha de 9.6Kbps pegar um slot de tempo por quadro, uma linha de 19.2Kbps pode pegar dois slots de tempo por quadro. O importante aqui é entender que apenas linhas de mesma capacidade de transmissão podem se comunicar (a origem e o destino devem ter taxas iguais).

3. Roteamento em Redes de Comutação de Circuitos

Conforme já foi dito, as redes de comutação de circuito em geral são formadas por diversos comutadores interligados por troncos FDM ou TDM. Quando uma chamada é feita, se a linha de destino não estiver no mesmo comutador do chamador então será necessário lançar mão de técnicas de roteamento para identificar quais comutadores farão parte do caminho entre as partes. A decisão de roteamento entre comutadores passa por dois requisitos básicos:

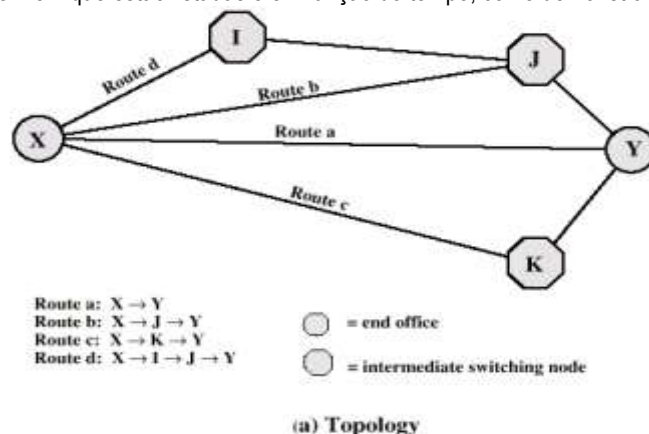
- **Eficiência** – É preciso minimizar a quantidade de equipamentos (nós e troncos) da rede para atender a demanda do assinante;
- **Resiliência** – É preciso garantir a demanda do assinante mesmo em momentos de picos de utilização ou em situações de falha de troncos ou nós de comutação intermediários.

Conforme pode ser percebido, esses requisitos são conflitantes entre si e a melhor estratégia de roteamento é aquela que consegue atender de forma satisfatória esses dois pontos.

Tradicionalmente, as operadoras de telefonia têm feito o roteamento de forma estática (utilizando sempre a mesma regra de roteamento) em cima de uma estrutura de sub-rede na qual os comutadores são organizados como uma árvore hierárquica. Dessa forma os dados do nó-folha de origem convergem para nós que compõem o tronco principal e depois são migrados para a ramificação que converge para o nó-folha de destino. Em alguns casos, onde a demanda é muito grande, a solução tem sido a inserção de troncos de atalho entre regiões (galhos) dessa árvore hierárquica para minimizar o surgimento de gargalos na sub-rede.

Atualmente, existe um outro enfoque para o roteamento em sistemas de comutação. A crescente demanda pelo uso da telefonia, tanto para voz como para dados, tem levado a uma decisão de se trabalhar com roteamento dinâmico ao invés de utilizar-se técnicas tradicionais de roteamento estático. Nesse contexto, a decisão de roteamento depende diretamente do tráfego atual da sub-rede de comutação. Nesse sentido, existem duas abordagens mais utilizadas.

O primeiro deles é o chamado Roteamento Alternado, onde cada comutador mantém uma seqüência de possíveis caminhos que podem ser adotados para se chegar a um determinado comutador de destino. Esses caminhos são previamente definidos e as rotas são listadas por ordem de preferência, de acordo com a configuração montada. Dessa forma, o comutador de origem seleciona uma rota apropriada em função da ordem em que estão listadas e em função do tempo, como demonstra o exemplo a seguir:



Time Period	First route	Second route	Third route	Fourth and final route
Morning	a	b	c	d
Afternoon	a	d	b	c
Evening	a	d	c	b
Weekend	a	c	b	d

(b) Routing table

Nessa figura, o roteador X possui quatro rotas para chegar a Y, e a escolha por uma delas depende, dentre outros fatores, do momento (manhã, tarde ou noite) em que será acionada.

Um segundo método, mais sofisticado, é denominado Roteamento Adaptativo. Ele pode ser utilizado para melhorar a escolha de rotas entre origem e destino. Nesse esquema, existe uma central de controle responsável por coletar, a cada tempo, informações sobre as condições de funcionamento de cada um dos comutadores da sub-rede. Com base nesses dados, o controlador determina qual é a melhor rota a ser seguida por cada comutador para chegar a um determinado destino. Significa dizer que toda definição de rota feita por um comutador deve ser autorizada pela central de controle. Como exemplo dessa abordagem, é possível citar o DTM (*Dynamic Traffic Management*), da Northern Telecom, cujo controlador central faz coleta de informações em intervalos de 10 segundos para descobrir a melhor alternativa de rotas para os comutadores.

4. Controle de Sinalização

Em redes de comutação de circuitos, os sinais de controle são o mecanismo pelo qual a rede é gerenciada e pelo qual as conexões são estabelecidas, mantidas e encerradas. Tanto a gerência de uma chamada como a gerência da rede como um todo requer que as informações sejam trocadas entre o assinante e um comutador, entre comutadores e entre os comutadores e a central de gerência da rede.

O esquema de sinalização é razoavelmente complexo e sua aplicação se torna crítica, principalmente em redes grandes como os sistemas de telefonia atuais. Algumas funções providas por esses sinais podem ser relacionadas:

- Comunicação audível com o assinante, incluindo tom de linha, tom de discagem, sinal de ocupado etc.;
- Transmissão do número discado para os comutadores da rede que tentarão completar a conexão;
- Transmissão da informação entre comutadores indicando que uma chamada não pode ser completada ou que uma chamada terminou e que o caminho em uso pode ser liberado;
- Um sinal para fazer com que o telefone do usuário toque;
- Transmissão de informação usada para propósito de contabilização de uso (cobrança);
- Transmissão de informação sobre o estado de equipamentos ou troncos na rede. Essa informação pode ser usada para roteamento ou para manutenção;
- Transmissão de informação usada no diagnóstico e isolamento de falhas;
- Controle de equipamentos especiais tais como satélites de comunicação.

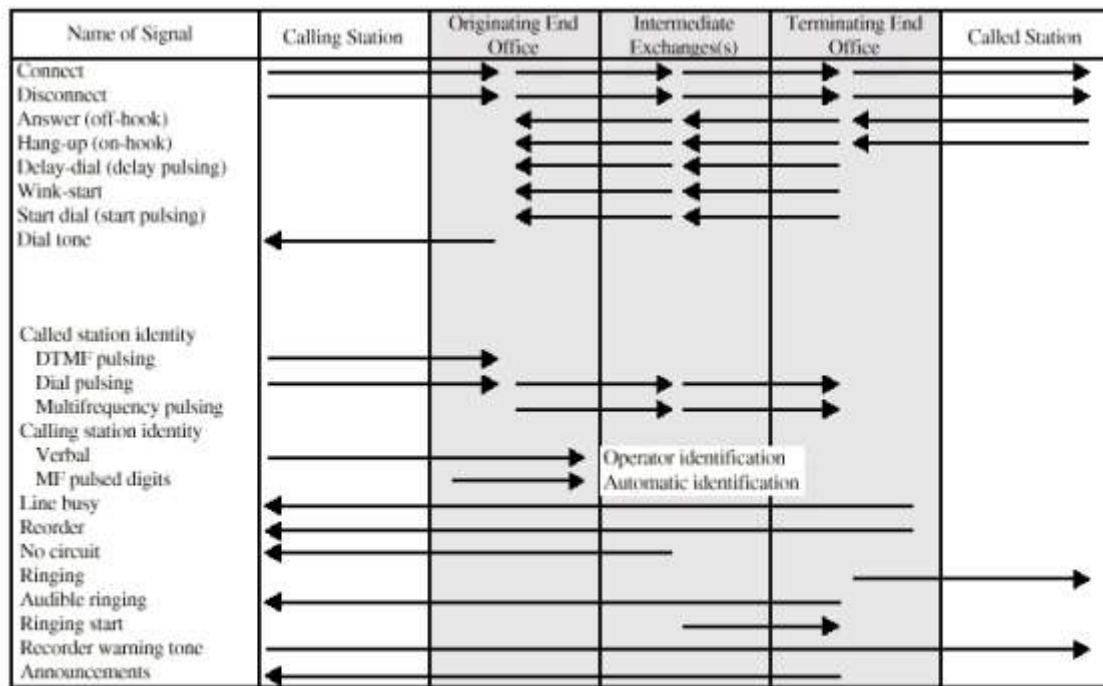
Como um exemplo do uso de sinais de controle, considere uma conexão típica de uma ligação entre dois usuários interligados por um mesmo comutador:

- i.* Em princípio, ambos os telefones não estão em uso (on-hook). A chamada começa quando um assinante tira o fone do gancho (off-hook); esta ação é automaticamente sinalizada para o comutador ao qual esse aparelho está ligado;
- ii.* O comutador responde com um sinal audível (dial tone), informando ao assinante que um número de destino pode ser discado;
- iii.* O chamador disca um número, o qual é comunicado como um endereço chamado para o comutador;
- iv.* Se o assinante chamado não estiver ocupado, o comutador alerta-o por enviar um sinal que provoca um sinal audível no telefone do chamado;
- v.* O retorno é provido ao assinante chamador pelo comutador dentro das seguintes condições:
 - a. Se o assinante chamado não está ocupado, o comutador retorna também um sinal audível para o chamador, durante o tempo em que o telefone do chamado está tocando,
 - b. Se o assinante chamado estiver ocupado, o comutador envia um outro tipo de sinal audível para o chamador,
 - c. Se a chamada não puder ser completada através do comutador, esse envia para o chamador uma mensagem audível solicitando nova tentativa de conexão;
- vi.* A parte que recebeu o chamado aceita a chamada por levantar o fone do gancho (off-hook), ação que é automaticamente identificada pelo comutador;
- vii.* O comutador encerra os sinais audíveis de toque nos dois lados e estabelece a conexão entre os dois assinantes;
- viii.* A conexão é liberada quando uma das partes encerra a conexão (normalmente a parte que iniciou a chamada).

Quando o assinante chamado está ligado a um comutador diferente do chamante, mas existe uma conexão direta entre eles, as seguintes funções de sinalização ocorrem entre os comutadores:

- i.* O comutador ligado ao chamador apodera-se de um tronco disponível entre comutadores e envia uma mensagem off-hook para o comutador de destino avisando que um endereço será informado (telefone do destinatário);
- ii.* O comutador de destino envia um sinal off-hook seguido por um sinal on-hook indicando estar pronto;
- iii.* O comutador iniciador envia os dígitos de endereço para o comutador de destino onde ocorrerá o processo de identificação da linha associada a este número.

Este exemplo ilustra algumas das funções executadas entre as partes usando sinais de controle. A figura abaixo apresenta alguns sinais utilizados numa rede de comutação de circuitos apresentando a origem e o destino dos vários tipos de sinais:



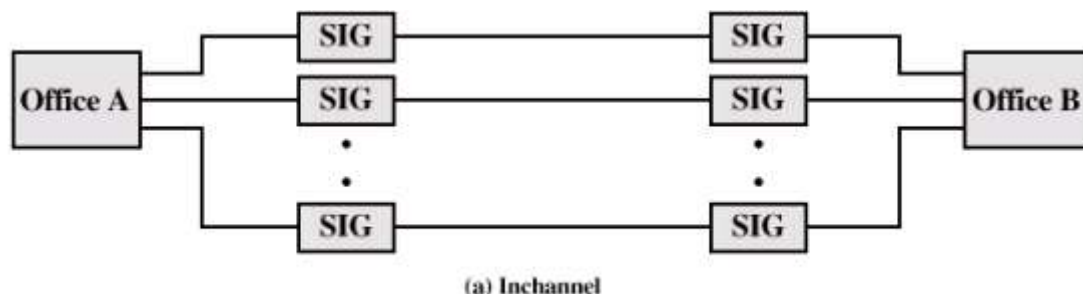
Note: A broken line indicates repetition of a signal at each office, whereas a solid line indicates direct transmittal through intermediate offices.

A sinalização utilizada em sistemas de comutação pode ser classificada da seguinte maneira:

- Sinais de supervisão – Funções de controle com caráter binário (verdadeiro ou falso), tais como requisição de um recurso, saber se um recurso está disponível ou não, alertas, respostas, etc.;
- Sinais de endereçamento – Identificam o assinante. Inicialmente um sinal de endereço é gerado pelo assinante chamador quando um número é discado. O endereço resultante pode ser propagado pela rede para suportar a função de roteamento e localizar e tocar no telefone do assinante chamado;
- Sinais de informação de chamada – Refere-se àqueles sinais audíveis que provêem informação para o assinante sobre o estado da chamada;
- Sinais de gerenciamento da rede – Enquanto que os três primeiros sinais são relacionados ao estabelecimento e encerramento de conexão, os sinais de gerenciamento são usados para manter a operação da rede como um todo. Tais sinais podem estar na forma de mensagens tais como uma lista de rotas planejadas e cobrem um largo escopo da rede aumentando a complexidade das redes de comutação.

Do ponto de vista de localização, as sinalizações podem se situar em dois contextos principais: sinalização entre o assinante e a rede e sinalização entre comutadores na rede. Tipicamente, a operação de sinalização é bem diferente nesses dois contextos.

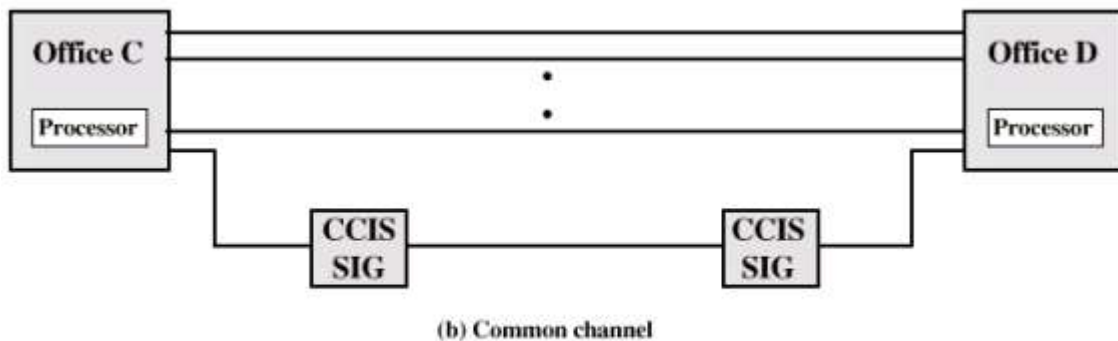
A figura abaixo apresenta um contexto onde a sinalização de controle da rede acontece em cada um dos circuitos estabelecidos, utilizando ou a frequência básica de 4KHz ou as frequências de guarda de cada canal de voz:



Na sinalização in band existem alguns fatores limitantes:

- A taxa de transferência de dados é limitada
- O atraso do call setup (estabelecimento da chamada) ainda é muito grande
- Ocorre sobreposição no uso dos canais de comunicação

Em função dessas limitações as pesquisas evoluíram no sentido de se criar um canal de sinalização comum a todos os circuitos conforme descreve a figura abaixo:



CCIS SIG: Common-channel interoffice signaling equipment
SIG: Per-trunk signaling equipment

Algumas características da mecanismo de sinalização comum podem ser mencionados (CCS – Common Channel Signaling):

- Sinais de controle são carregados sobre caminhos independentes dos que são utilizados nos canais de voz (uma rede separada para sinalização)
- Um canal de controle pode carregar sinais de vários assinantes
- Taxa de transmissão de sinais é bem superior em relação à transmissão de sinais no esquema anterior.

Do ponto de vista de formação dessa rede paralela de sinalização existem duas possibilidades:

- ✓ Modo associado, onde a rede de sinalização segue a mesma topologia da rede de comutação de voz
- ✓ Modo não associado, onde a topologia é diferente da rede de comutação de circuitos tradicional. A figura abaixo apresenta essas duas configurações:

