**Tema 2 - Redes de longa distância, redes sem fio e redes móveis**

Em redes sem fio, destacam-se três elementos principais: hospedeiros sem fio, enlaces sem fio e estações-base, cada um desempenhando funções vitais na transmissão de dados e na conectividade.

Hospedeiros sem fio são os dispositivos finais que executam aplicações, tais como notebooks e smartphones. Esses dispositivos podem ser móveis, oferecendo a flexibilidade de se conectar à rede de qualquer local dentro do alcance do sinal sem fio, ou estacionários, permanecendo em um local fixo.

Enlaces sem fio são conexões que permitem que dispositivos se conectem a uma rede, seja diretamente a uma estação-base ou entre si sem o uso de fios. A capacidade de transmissão e o alcance desses enlaces variam bastante, dependendo da tecnologia de wireless adotada. Essas conexões são essenciais para integrar dispositivos localizados nas extremidades da rede à infraestrutura central mais ampla. Além disso, em certos cenários, enlaces sem fio também são utilizados dentro da própria rede para conectar roteadores e outros dispositivos de rede entre si.

As estações-base são componentes fundamentais das redes sem fio, mas não possuem um equivalente direto nas redes cabeadas. Elas são responsáveis pela gestão das transmissões de dados para e dos dispositivos sem fio conectados, além de coordenar a comunicação entre esses dispositivos. Quando um dispositivo sem fio se associa a uma estação-base, isso indica que ele está dentro do alcance de comunicação da estação e utiliza essa conexão para acessar a rede mais ampla. Exemplos comuns de estações-base incluem torres de telefonia celular em redes móveis e pontos de acesso em redes locais sem fio (LANs) que seguem o padrão 802.11, mais conhecido como Wi-Fi.

Nessas redes sem fio, o modo de operação dos hospedeiros pode ser dividido em dois tipos: modo de infraestrutura e redes ad hoc. No modo de infraestrutura, os hospedeiros sem fio se conectam através de uma estação-base, que facilita todos os serviços de rede tradicionais, como atribuição de endereço IP, roteamento e conexão à rede maior, como a Internet. Essa configuração permite que dispositivos móveis, como smartphones e laptops, se mantenham conectados à rede à medida que se movem dentro do alcance de diferentes estações-base, processo conhecido como handoff, garantindo a continuidade da comunicação sem interrupções.

Em contraste com as redes que operam em modo de infraestrutura, as redes ad hoc são formadas diretamente pelos dispositivos sem fio participantes, sem necessidade de uma infraestrutura centralizada ou estação-base. Neste tipo de rede, os dispositivos assumem funções adicionais, como roteamento e atribuição de endereços, formando uma rede dinâmica e flexível que se ajusta à presença e movimentação dos usuários. Redes ad hoc são especialmente úteis em situações onde a infraestrutura de rede não está disponível, ou quando é necessário estabelecer rapidamente uma conexão de rede entre dispositivos próximos.

As redes sem fio apresentam uma diversidade de configurações que variam principalmente em dois aspectos: o número de saltos sem fio necessários para a transmissão de dados e a presença ou ausência de uma infraestrutura fixa como estações-base. Um "salto" em uma rede sem fio é definido como uma etapa ou intermediário pelos quais os dados transitam de um dispositivo a outro. Cada salto envolve a transmissão de dados entre dispositivos, como roteadores ou pontos de acesso, que funcionam como retransmissores até que os dados cheguem ao seu destino final. O número de saltos necessários pode influenciar fatores como latência, velocidade e confiabilidade da rede, sendo afetado pela distância entre os dispositivos e as condições do ambiente de transmissão. As principais configurações estão sumarizadas abaixo:

* **Redes de salto único com infraestrutura**: os dispositivos se conectam diretamente a uma estação-base ligada a uma rede cabeada maior, como a Internet, facilitando a comunicação em um único salto. Essas redes são comuns em ambientes como escolas, cafés e escritórios, onde redes Wi-Fi 802.11 ou celulares 3G/4G são amplamente utilizadas para proporcionar acesso à internet sem fio.
* **Redes de salto único sem infraestrutura:** eliminam a necessidade de uma estação-base central. Em vez disso, os dispositivos comunicam-se diretamente uns com os outros, como é o caso das redes Bluetooth e Wi-Fi configuradas no modo ad hoc. Essa abordagem é ideal para situações onde uma infraestrutura de rede não está disponível ou é impraticável, permitindo a troca de dados diretamente entre dispositivos próximos.
* **Redes de múltiplos saltos com infraestrutura:** representam uma camada intermediária de complexidade, onde uma estação-base ainda proporciona acesso à rede maior, mas a comunicação entre o dispositivo e a estação-base pode envolver múltiplos saltos através de outros dispositivos sem fio. Isso é típico de redes de sensores sem fio e redes em malha (mesh), onde os dados podem ser encaminhados entre vários dispositivos para alcançar a estação-base.
* **Redes de múltiplos saltos sem infraestrutura:** são formadas por dispositivos que se comunicam em uma cadeia de múltiplos saltos, sem a presença de uma estação-base fixa. Redes móveis ad hoc (MANETs) e redes veiculares ad hoc (VANETs) se enquadram nesta categoria, enfrentando desafios adicionais devido à constante mudança de localização dos dispositivos e à consequente variação na topologia da rede.

No âmbito das redes de salto único com infraestrutura, a arquitetura 802.11 (Wi-Fi) é uma das mais difundidas e utilizadas e, por essa razão, é importante conhecê-la. O núcleo dessa arquitetura é o Conjunto Básico de Serviço (BSS), que inclui várias estações sem fio e um ponto de acesso (AP). Este AP atua como um hub central, conectando os dispositivos sem fio à uma rede mais ampla, como a Internet ou uma rede corporativa. Em ambientes residenciais comuns, essa configuração geralmente se compõe de um único AP que desempenha também a função de roteador, proporcionando acesso à Internet para todos os dispositivos conectados. Cada um desses dispositivos possui um endereço MAC único, assim como os dispositivos em redes Ethernet cabeadas, garantindo a identificação global e a administração das conexões de rede.

Em redes 802.11, dispositivos devem se associar a um Ponto de Acesso (AP) usando um identificador único (SSID) e um canal específico para trocar dados. Em áreas densas, como em shoppings, um dispositivo pode detectar múltiplos APs, necessitando escolher um para se conectar. A escolha é geralmente baseada na intensidade do sinal, embora o desempenho também dependa da carga do AP. A autenticação pode ser feita por endereço MAC ou por usuário e senha, frequentemente utilizando servidores de autenticação externos para centralizar o controle de acesso e segurança.

Devido ao potencial conflito de múltiplas estações transmitindo simultaneamente, o protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) é utilizado em redes sem fio para coordenar o acesso ao canal e minimizar o risco de colisões de dados. Diferentemente do CSMA/CD usado em redes cabeadas, o CSMA/CA evita colisões antes que aconteçam, uma vez que a detecção de colisões é desafiadora em ambientes sem fio devido a problemas como o terminal oculto. O protocolo funciona da seguinte maneira:

1. **Escuta do Canal:** Antes de transmitir, a estação verifica se o canal está livre.
2. **Evitando Colisões:** Se livre, a estação espera um breve intervalo de tempo antes de transmitir para reduzir chances de colisão.
3. **Backoff Aleatório:** Se o canal estava ocupado, a estação atrasa sua transmissão através de um mecanismo de backoff aleatório para evitar colisões futuras.
4. **Reconhecimento e Retransmissão:** Após transmitir, a estação espera por um ACK. Sem ACK, presume-se uma colisão e os dados são retransmitidos.

Além do CSMA/CA, o protocolo 802.11 MAC utiliza um mecanismo opcional de RTS (Request to Send) e CTS (Clear to Send) para mitigar o problema das estações ocultas, fazendo uso de uma unidade de transmissão de dados chamada "quadro". Um quadro no contexto das redes 802.11 é a unidade básica de transmissão, composta por um cabeçalho com informações de controle, os dados a serem transmitidos, e um uma sequência de verificação para detectar erros na transmissão.

O problema das estações ocultas ocorre quando duas estações, que não conseguem detectar a transmissão uma da outra devido a obstruções físicas ou distância demasiada, estão ambas na faixa de um AP. Isso pode resultar em colisões de dados, pois uma estação pode iniciar uma transmissão sem perceber que a outra já está transmitindo. Para evitar isso, antes de enviar um quadro de dados significativo, uma estação emite um quadro RTS, especificando a duração da transmissão. O AP responde com um quadro CTS, informando todas as estações dentro de seu alcance para cessarem suas transmissões durante esse período, assim prevenindo colisões. Embora essa sequência RTS/CTS seja eficaz para reduzir colisões e a duração destas quando ocorrem, ela adiciona atraso e consome recursos do canal, sendo por isso geralmente reservada para quadros de dados longos.

Neste contexto de mitigação de problemas de rede, como as colisões devido a estações ocultas, o ARP (Address Resolution Protocol ou Protocolo de Resolução de Endereços) é essencial, visto que ele associa endereços IP, que identificam dispositivos numa rede, aos seus respectivos endereços MAC (Media Access Control), que são usados para comunicação na camada de enlace. Quando um dispositivo na rede precisa enviar um pacote para outro na mesma rede local e só conhece o endereço IP do destinatário, ele usa o ARP para descobrir o endereço MAC correspondente. Este processo envolve enviar uma solicitação ARP na rede; o dispositivo com o endereço IP requisitado responde com seu endereço MAC, permitindo assim que o pacote seja corretamente encaminhado.

No contexto mencionado, onde um Ponto de Acesso (AP) não processa endereços IP e funciona como um dispositivo de camada de enlace, o ARP desempenha um papel essencial. Quando um roteador precisa enviar um datagrama a uma estação sem fio, ele utiliza o ARP para obter o endereço MAC da estação. Após isso, o roteador encapsula o datagrama em um quadro Ethernet, utilizando o endereço MAC obtido através do ARP, e o envia através do AP para a estação sem fio. Este método garante que o datagrama chegue ao dispositivo correto dentro da rede local, facilitando a comunicação efetiva mesmo quando o AP não lida diretamente com o roteamento IP. Quando o datagrama chega no AP, este converte o quadro para o formato 802.11, utilizando três endereços MAC essenciais: o da estação sem fio, o do AP, e o da interface do roteador, facilitando a comunicação entre a estação sem fio e a rede. Quando a estação sem fio responde, ela segue um processo similar, assegurando que o datagrama retorne ao roteador corretamente.

Quando um quadro é recebido corretamente, a estação receptora da rede 802.11 envia um reconhecimento (ACK) de volta à estação emissora para confirmar a recepção bem-sucedida de quadros. Contudo, os reconhecimentos também podem se perder, levando a possíveis retransmissões de quadros pela estação emissora. Para diferenciar entre quadros novos e retransmitidos, a rede 802.11 utiliza números de sequência no campo apropriado do quadro. Essa técnica é similar à usada na camada de transporte para diferenciar pacotes originais de suas retransmissões.

Além disso, o protocolo 802.11 permite à estação transmissora reservar o canal por um período suficiente para enviar um quadro de dados e receber um ACK, usando o campo de duração no quadro para tal. O campo de controle de quadro, que inclui vários subcampos como tipo, direção (de e para), e WEP (indicando criptografia), desempenha funções essenciais, como diferenciar entre vários tipos de quadros (RTS, CTS, ACK, dados) e ajustar o processamento do quadro de acordo com o modo de operação da rede (ad hoc ou infraestrutura) e o tipo de estação que envia o quadro (estação sem fio ou AP).

Outro fator que interfere na transmissão de dados na arquitetura 802.11 é que empresas e universidades muitas vezes usam vários BSSs dentro da mesma sub-rede IP para estender o alcance de uma LAN sem fio, o que levanta questões sobre a mobilidade das estações sem fio entre BSSs enquanto mantêm conexões TCP ativas. Se os BSSs pertencem à mesma sub-rede, a transição de uma estação sem fio de um BSS para outro pode ser feita de forma direta, permitindo que a estação mantenha seu endereço IP e conexões TCP. Por exemplo, considere a Figura 1, quando o dispositivo H1 se move de BSS1 para BSS2, ele começa a procurar por um sinal mais forte, desassocia-se do AP1, associa-se ao AP2 com o mesmo SSID, e mantém seu endereço IP e sessões TCP. Para informar o comutador sobre a mudança de localização do dispositivo, o AP2 pode enviar um quadro Ethernet de difusão com o endereço MAC do dispositivo, atualizando assim a tabela de repasse do comutador para direcionar os quadros para o novo AP. O padrão 802.11f está em desenvolvimento para tratar dessas questões de mobilidade entre APs.

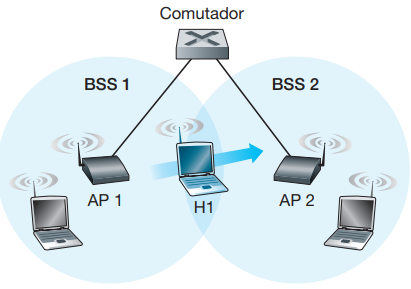


Figura 1: Mobilidade na mesma sub-rede

Quando a necessidade é de uma conexão direta entre dispositivos a curta distância, a tecnologia Bluetooth, baseada no padrão IEEE 802.15.1, surge como uma excelente alternativa sem fio aos cabos tradicionais. Operando na faixa de 2,4 GHz e utilizando a técnica de Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), o Bluetooth alcança velocidades de até 4 Mbits/s. FHSS melhora a segurança e estabilidade da comunicação ao alterar rapidamente a frequência de transmissão em uma sequência conhecida apenas pelos dispositivos conectados, reduzindo a interferência de outros dispositivos na mesma faixa.

Essa tecnologia é ideal para estabelecer redes pessoais sem fio (WPANs), facilitando a conexão entre notebooks, smartphones e outros dispositivos periféricos sem depender de uma infraestrutura de rede pré-existente. Nas WPANs, os dispositivos são organizados em picorredes, onde um dispositivo atua como mestre, coordenando a comunicação, e até sete dispositivos podem participar ativamente como escravos. Além disso, a tecnologia permite a existência de até 255 dispositivos estacionados, que podem ser ativados pelo mestre para entrar na comunicação. A Figura 2 ilustra a estrutura de uma picorrede Bluetooth.

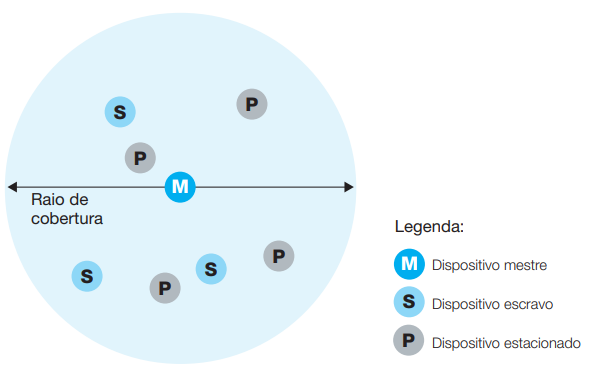


Figura 2: Uma picorrede bluetooth

Outra conexão direta entre dispositivos a curta distância, o padrão Zigbee, conhecido formalmente como IEEE 802.15.4, é uma solução de rede especializada para dispositivos que requerem baixa potência e taxas de transmissão modestas. Ao contrário das abordagens que priorizam altas velocidades, o Zigbee é adequado para aplicações como automação residencial e sensores, onde a eficiência energética e a redução de custos são essenciais. Oferece taxas de dados de 20 a 250 Kbits/s e suporta a formação de redes em malha, permitindo a conexão entre dispositivos de função reduzida e dispositivos de função completa, com estes últimos podendo servir como mestres na rede.

O Zigbee incorpora protocolos como confirmações de camada de enlace e o acesso aleatório CSMA/CA, além de alocação de intervalos de tempo fixos que organiza a comunicação em um cronograma predefinido, reservando períodos específicos para transmissão de dados, o que ajuda a evitar colisões e assegura uma comunicação confiável entre dispositivos. Além disso, o Zigbee utiliza uma organização temporal em superquadros, que é uma estrutura que alterna períodos ativos e inativos, o que otimiza o consumo de energia e suporta a eficiência operacional em ambientes que não demandam alta largura de banda.

Outra tecnologia de comunicação sem fio é a LoRa (Long Range), a qual é essencial para dispositivos de Internet das Coisas (IoT), permitindo transmissões de dados de longa distância com baixo consumo de energia. Utilizando a técnica de modulação Chirp Spread Spectrum (CSS), LoRa se destaca por sua capacidade de cobrir distâncias de até 15 km em áreas rurais e mais de 5 km em ambientes urbanos, além de oferecer excelente penetração em construções densas. Embora seja ideal para aplicações que demandam transmissão de pequenas quantidades de dados, como sensores ambientais ou dispositivos de monitoramento, enfrenta limitações em largura de banda e pode sofrer com interferências em áreas altamente congestionadas. Apesar desses desafios, seus benefícios de baixo custo e alta eficiência energética fazem dela uma escolha atraente para muitos projetos de IoT.

Enquanto tecnologias como o Zigbee e o Bluetooth são otimizadas para eficiência energética e conectividade entre dispositivos de baixa potência em curtas distâncias, a telefonia celular atende a um leque muito mais amplo de necessidades de comunicação. A transição das simples trocas de informações entre dispositivos próximos para uma era de acesso constante e móvel à internet marca uma significativa evolução tecnológica. Tecnologias como o 3G e outras emergentes fornecem conectividade de alta velocidade para uma variedade de dispositivos, refletindo avanços tecnológicos e uma mudança nas expectativas de conectividade. Essa transformação destaca a crescente demanda por acesso contínuo à internet em qualquer lugar e a qualquer hora.

As tecnologias como Zigbee e Bluetooth são projetadas para eficiência energética e conectividade entre dispositivos de baixa potência em curtas distâncias. Por outro lado, com as limitações de cobertura dos hotspots Wi-Fi e sua crescente popularidade, as redes celulares, como 3G e suas tecnologias sucessoras, tornaram-se uma solução essencial para acesso contínuo à internet em movimento. Nesse contexto, o GSM (Global System for Mobile Communications), um padrão de comunicação móvel de segunda geração (2G) amplamente utilizado globalmente, desempenhou um papel fundamental. Ele não apenas facilitou a transição das comunicações de voz para incluir transmissão de dados e serviços de mensagens curtas (SMS), mas também estabeleceu a base para tecnologias mais avançadas, como 3G e 4G, expandindo significativamente as capacidades de comunicação móvel.

O GSM inclui uma arquitetura celular que divide a rede em várias células, cada uma atendida por uma estação base (BTS). Cada BTS é gerenciada por um Base Station Controller (BSC), que é um componente que regula os recursos de rádio, gerencia a conexão de chamadas, a mobilidade dos usuários entre diferentes BTSs e o handover (transição de chamadas) de uma célula para outra para manter a continuidade das chamadas à medida que os usuários se movem.

A introdução do FDM/TDM combinado na interface aérea GSM, foi importante para a viabilização das redes móveis, visto que permitiu a multiplexação eficiente de canais de voz e, posteriormente, de dados. O FDM (Frequency Division Multiplexing) divide o espectro de frequência disponível em vários canais independentes, enquanto o TDM (Time Division Multiplexing) aloca diferentes intervalos de tempo para cada usuário dentro do mesmo canal. Essa combinação maximiza o uso eficiente do espectro disponível e facilita a expansão dos serviços de dados em redes celulares.

Além disso, o papel do Controlador de Estação-Base (BSC) é fundamental na gestão desses recursos. O BSC é responsável pela alocação de recursos de rádio, gerenciamento de paginação para chamadas e mensagens entrantes, e pela coordenação da transferência de usuários entre células para manter a conectividade contínua à medida que os usuários se movem. Este gerenciamento eficiente é essencial para suportar a comunicação contínua e dinâmica em uma rede celular, aproveitando as capacidades do FDM/TDM para responder de forma flexível às demandas variadas de tráfego.

A Central de Comutação Móvel (MSC) gerencia a autenticação de usuários, o estabelecimento e a terminação de chamadas e as transferências entre células e redes. A capacidade da MSC de se conectar a várias BSCs e interagir com a rede telefônica pública mais ampla permite uma integração sem emendas entre as redes celulares e fixas, facilitando tanto as comunicações de voz quanto o acesso à internet.

A arquitetura das redes móveis de celulares é baseada nos Servidores de Nó de Suporte GPRS (SGSN) e nos Roteadores de borda de suporte GPRS (GGSN), que formam o núcleo da rede de dados 3G. O SGSN gerencia a entrega de datagramas entre os usuários móveis e a rede, trabalhando em conjunto com o MSC para facilitar uma experiência de usuário contínua e segura, enquanto gerencia informações de localização e autorização do usuário. O GGSN atua como um gateway, conectando a rede de acesso por rádio dinâmica à Internet, permitindo o fluxo de dados entre o ambiente móvel e a internet.

Na rede de acesso por rádio 3G, o Controlador da Rede de Rádio (RNC) desempenha um papel central. Este primeiro ponto de contato na experiência móvel dos usuários é suportado por tecnologias como o UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) e o CDMA de banda larga de sequência direta (DS-WCDMA). O UMTS é uma tecnologia de terceira geração que permite uma maior capacidade de transmissão de dados e suporta uma variedade maior de serviços, incluindo vídeo chamadas e conexões de internet de alta velocidade. O DS-WCDMA, uma variante do CDMA, é usado especificamente no contexto do UMTS para permitir a transmissão de dados em alta velocidade e com maior eficiência espectral.

A evolução das redes 3G para 4G introduziu o padrão 4G Long-Term Evolution (LTE), que, segundo o 3GPP, traz várias inovações em comparação aos sistemas 3G, destacando-se o Núcleo de Pacote Desenvolvido (EPC) e a rede de acesso por rádio LTE. O EPC é uma estrutura de rede central baseada em IP que unifica as redes celulares de voz, operadas por comutação de circuitos, e as redes de dados, operadas por comutação de pacotes. Esta rede unificada, "toda em IP", é projetada para transportar voz e dados utilizando datagramas IP, o que exige um gerenciamento atento dos recursos da rede para atender aos requisitos de desempenho para tráfego de VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet) e outros serviços sensíveis a atrasos e perdas. O EPC também se destaca por sua capacidade de diferenciar entre os planos de controle e de dados do usuário, além de conectar diversas redes de acesso por rádio, incluindo as redes legadas 2G e 3G.

A rede de acesso por rádio LTE emprega uma combinação de multiplexação por divisão de frequência e multiplexação por divisão de tempo (OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) no canal descendente, um método que minimiza a interferência entre canais de frequência próximos graças à sua propriedade ortogonal. O canal descendente refere-se à transmissão de dados da estação base para os dispositivos dos usuários, como smartphones e tablets. No LTE, cada usuário ativo é alocado com um ou mais intervalos de tempo de 0,5 ms em uma ou mais frequências do canal, permitindo ajustes dinâmicos nas taxas de transmissão baseados em condições de canal e requisitos de tráfego. Além disso, o LTE introduz o uso de antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output) para melhorar significativamente a eficiência espectral e a robustez da comunicação, permitindo taxas de dados de até 100 Mbits/s na direção descendente e 50 Mbits/s na direção ascendente com o uso de 20 MHz de espectro sem fio.

A alocação de intervalos de tempo em redes LTE é flexível, ajustada por algoritmos de escalonamento que consideram as condições do canal e o protocolo da camada física. Esses algoritmos escolhem destinatários baseando-se na qualidade do canal, otimizando o uso do espectro. Prioridades de usuário e níveis de serviço também influenciam o escalonamento, permitindo diferenciação na qualidade de conexão entre os planos de serviço. O LTE-Advanced expande essas capacidades, oferecendo larguras de banda superiores através da agregação de canais, que combina múltiplos canais de espectro para aumentar a taxa de transferência. Esta evolução suporta uma ampla gama de aplicações de dados móveis de alta velocidade, melhorando significativamente a experiência do usuário em redes celulares.

Para que a mobilidade do usuário permaneça transparente às aplicações de rede, é preciso que um nó móvel mantenha seu endereço IP ao transitar entre redes. Isso implica a necessidade de rotear o tráfego destinado ao endereço permanente do nó para sua localização atual em uma rede externa. Uma solução seria a rede externa anunciar sua nova associação com o nó móvel, requerendo assim mínimas alterações na infraestrutura de roteamento existente. Esta estratégia facilita o roteamento de datagramas para o nó móvel, mas enfrenta limitações em termos de escalabilidade, dada a potencial necessidade de atualizar registros de roteamento para milhões de nós móveis.

Como alternativa, a responsabilidade pelo gerenciamento da mobilidade pode ser transferida para a periferia da rede, especificamente através da rede nativa do nó móvel. Este método envolve o uso de um agente nativo para monitorar a localização atual do nó móvel em redes externas, exigindo comunicação entre o nó móvel e o agente nativo para atualizações de localização. Agentes externos, tipicamente localizados nos roteadores de borda das redes externas, desempenham um papel chave ao criar Care-of Address (COA) para os nós móveis, os quais permitem o redirecionamento de datagramas para a localização atual do nó. Assim, dois endereços são associados a um nó móvel: seu endereço permanente e o COA. O agente externo informa ao agente nativo o COA do nó móvel, facilitando o processo de roteamento indireto de datagramas para o nó móvel.

Tendo compreendido como um nó móvel adquire um COA e notifica seu agente nativo, surge a questão de como os datagramas são corretamente endereçados e encaminhados ao nó móvel. O agente nativo, detentor exclusivo do conhecimento sobre a localização atual do nó móvel, deve implementar métodos além do simples endereçamento de datagramas ao endereço permanente do nó para garantir a entrega efetiva dos dados. As estratégias para alcançar isso incluem o roteamento indireto e o roteamento direto.

No roteamento indireto, os datagramas são inicialmente enviados ao endereço permanente do nó, sem exigir que o remetente saiba se o nó está em sua rede nativa ou visitando uma externa, mantendo a mobilidade transparente. Os datagramas chegam à rede nativa do nó (etapa 1) e são capturados pelo agente nativo, que identifica datagramas destinados a nós em redes externas. Em seguida, o agente nativo redireciona esses datagramas ao nó móvel através do agente externo usando o COA (etapas 2 e 3). Essa transferência envolve o encapsulamento do datagrama original em um novo datagrama que é endereçado ao COA. O agente externo, ao receber o datagrama encapsulado, desencapsula-o, recuperando o datagrama original e o entregando ao nó móvel. Este processo assegura que o datagrama do remetente alcance o nó móvel independentemente de sua localização atual, sem alterar o conteúdo original do datagrama destinado ao nó.

Quando um nó móvel deseja enviar datagramas a um correspondente, o processo é direto. O nó móvel simplesmente direciona seu datagrama ao correspondente, utilizando seu endereço permanente como origem e o do correspondente como destino, evitando a necessidade de roteamento através do agente nativo. Este processo de envio direto destaca a eficiência do roteamento indireto em suportar a mobilidade sem complicar as operações de envio do nó móvel. O roteamento indireto demanda a implementação de novos protocolos na camada de rede para facilitar a mobilidade. Isso inclui:

* **Protocolo de registro de nó móvel para agente externo:** para gerenciar a conexão e desconexão do nó móvel à rede externa.
* **Protocolo de registro do agente externo para o agente nativo:** para notificar o agente nativo sobre o COA atualizado do nó móvel.
* **Protocolo de encapsulamento de datagrama para o agente nativo:** para encapsular e redirecionar datagramas do correspondente ao COA do nó móvel.
* **Protocolo de desencapsulamento para o agente externo:** para extrair e entregar o datagrama original ao nó móvel.

Esses componentes e processos garantem que um nó móvel possa manter conexões ativas enquanto transita entre redes, com a mobilidade sendo transparente para os correspondentes e minimamente intrusiva para os nós móveis. A continuidade da conexão é mantida mesmo quando o nó muda de rede, com o agente nativo redirecionando datagramas para a nova localização do nó móvel. A estratégia equilibra a transparência da mobilidade com a manutenção de conexões estáveis, apesar das mudanças na localização do nó móvel.

A abordagem de roteamento indireto, enquanto eficaz em manter a transparência da mobilidade, introduz a ineficiência conhecida como roteamento triangular, onde os datagramas destinados a um nó móvel são primeiro enviados ao agente nativo antes de serem redirecionados para a rede externa atual do nó. Esta rota indireta pode ser ineficiente quando o correspondente e o nó móvel estão fisicamente próximos, mas os datagramas precisam viajar distâncias significativas para alcançar o agente nativo e, em seguida, serem roteados de volta para a rede externa.

O roteamento direto aborda esta ineficiência permitindo que os datagramas sejam enviados diretamente para o COA atual do nó móvel, evitando o desvio pelo agente nativo. Esta abordagem, porém, adiciona complexidade, exigindo que o agente correspondente na rede do remetente identifique o COA atual do nó móvel, que pode ser feito consultando o agente nativo. Isso introduz a necessidade de um protocolo adicional para que os agentes correspondentes possam obter o COA atual do nó móvel e, consequentemente, estabelecer uma rota direta para ele.

Quando um nó móvel muda de rede externa, o roteamento direto enfrenta o desafio de atualizar o COA para garantir que os datagramas continuem a ser enviados para a localização correta do nó. Diferentemente do roteamento indireto, onde o agente nativo centraliza a atualização do COA, no roteamento direto, os agentes correspondentes precisam ser notificados da mudança de COA, o que pode exigir um protocolo adicional de atualização de localização.

Uma abordagem prática, adotada em redes GSM, envolve o uso de um agente externo âncora, que atua como um ponto de referência estável durante as mudanças de COA do nó móvel. Quando o nó móvel se registra em uma nova rede externa, o novo agente externo informa ao agente âncora sobre o novo COA. O agente âncora, então, redireciona os datagramas para o novo COA do nó, garantindo que o fluxo de dados continue sem interrupção, independentemente de quantas vezes o nó mude de rede externa.

O IP Móvel, um protocolo definido no RFC 5944, é uma solução de mobilidade para a Internet que permite a um dispositivo manter o mesmo endereço IP mesmo quando muda de rede, garantindo continuidade nas comunicações. Esse protocolo se apoia em conceitos como agentes nativos e externos, além de endereços de cuidados (COA), para gerenciar a localização e o roteamento dos datagramas para o dispositivo móvel.

O processo começa com a "Descoberta de Agente", onde os agentes, através de anúncios ou solicitações, comunicam sua presença aos dispositivos móveis. Em seguida, o dispositivo móvel, ao obter um COA, registra essa informação no seu agente nativo, que pode ser feito diretamente pelo dispositivo ou via agente externo. Este registro é vital para que o agente nativo saiba para onde encaminhar os datagramas destinados ao dispositivo móvel.

A etapa de registro envolve uma troca de mensagens entre o dispositivo móvel, o agente externo e o agente nativo, culminando no encaminhamento bem-sucedido de datagramas para o dispositivo móvel, independentemente de sua localização atual. Este mecanismo permite que dispositivos móveis acessem a Internet de maneira contínua e sem interrupções, mesmo enquanto se movem entre diferentes redes.

As redes de telefonia celular, especialmente o GSM, oferecem um exemplo robusto de como a mobilidade é gerenciada fora do contexto da Internet. Utilizando uma arquitetura refinada ao longo de décadas, o GSM implementa mecanismos para assegurar que os usuários possam realizar e receber chamadas, bem como acessar serviços de dados, independentemente de sua localização geográfica.

No coração dessa gestão de mobilidade estão duas entidades cruciais: o Registro de Localização Nativa (HLR) e o Registro de Localização de Visitantes (VLR). O HLR é um banco de dados centralizado que armazena informações permanentes sobre os assinantes, incluindo seu número de telefone e perfil de serviços. Além disso, mantém o registro da localização atual do assinante quando este está fora de sua rede nativa, permitindo assim que chamadas e serviços de dados sejam direcionados adequadamente.

Quando um usuário se desloca para uma área coberta por uma rede diferente, ele se registra no VLR local dessa rede. O VLR, por sua vez, comunica-se com o HLR do usuário para atualizar sua localização e obter detalhes de perfil, garantindo que o usuário possa receber chamadas e acessar serviços de dados na rede visitada. Esse processo assegura a continuidade dos serviços, simulando uma experiência de "sempre conectado" para o usuário, independentemente de sua mobilidade.

Para iniciar uma chamada para um usuário móvel, o processo começa com a discagem do número do telefone pelo correspondente. Esse número é roteado para a Central de Comutação de Serviços Móveis (MSC) na rede nativa do usuário móvel, que consulta o HLR para determinar a localização atual do usuário. Com base nessa informação, a chamada é então roteada para a MSC adequada na rede visitada, e finalmente para o usuário móvel através da estação-base local.

Além disso, o GSM facilita a transferência de usuários entre células e redes através de um processo conhecido como "handoff", permitindo que chamadas e sessões de dados permaneçam ativas à medida que os usuários se movem. Essa capacidade de manter uma conexão contínua, independentemente da localização do usuário, é fundamental para a funcionalidade e popularidade das redes celulares GSM em todo o mundo.

O processo de transferência, ou "handoff", é um mecanismo crucial nas redes de telefonia celular GSM, permitindo que uma chamada continue sem interrupções quando um usuário se move de uma área de cobertura de estação-base para outra. Este processo envolve a transferência da conexão do usuário móvel da estação-base atual, chamada de antiga estação-base, para uma nova estação-base. Ambas as estações-base podem estar sob a administração da mesma Central de Comutação Móvel (MSC) ou de MSCs diferentes.

O processo inicia quando a antiga estação-base identifica a necessidade de um handoff, baseando-se em critérios como a qualidade do sinal ou o equilíbrio de carga entre as células. Uma vez decidida a transferência, a MSC é notificada, e procedimentos são iniciados para estabelecer a conexão com a nova estação-base, incluindo a reserva e ativação de um canal de rádio para o usuário móvel. Informações necessárias para a transferência são fornecidas ao usuário móvel, que então se associa à nova estação-base, completando o handoff.

Além disso, quando um handoff envolve a transição entre MSCs, a MSC âncora — a MSC que primeiro atendeu a chamada — desempenha um papel fundamental, mantendo a chamada roteada corretamente, independentemente do número de MSCs pelas quais o usuário móvel transita. Isso garante uma gestão eficaz da mobilidade, mantendo a chamada ativa e proporcionando uma experiência de uso contínua e sem falhas para o usuário móvel.

As redes de longa distância, redes sem fio e móveis formam a espinha dorsal da infraestrutura global de comunicação, atendendo à demanda por conectividade e acesso à informação em larga escala. Redes de longa distância interconectam áreas geograficamente dispersas, como cidades e países, possibilitando a comunicação global através de tecnologias como fibra óptica e satélites, melhorando velocidade e capacidade de transmissão.

As redes sem fio revolucionaram o acesso à internet e à comunicação, permitindo a conectividade sem a necessidade de conexões físicas. Essa mobilidade habilitou novas aplicações, desde navegação GPS até streaming de vídeo. As redes móveis, especialmente com as evoluções para 3G, 4G LTE e 5G, integram comunicação móvel e acesso à internet com altos níveis de desempenho e segurança, preparando o terreno para Internet das Coisas (IoT), cidades inteligentes e futuras tecnologias.

Em resumo, as redes de longa distância, sem fio e móveis são fundamentais para nossa sociedade digital, permitindo comunicação instantânea e acesso global à informação. À medida que evoluem, moldam o futuro da comunicação e interação com o mundo, impulsionando inovações em todos os aspectos da vida contemporânea.

**Referências**

Redes de Computadores e a internet: Uma abordagem Top-down (capítulo 6)