

REDES SEM FIO

REDES PESSOAIS, ZIGBEE, WIMIX E ARQUITETURA DE REDE DE CELULAR

Autor: Me. Ubiratan Roberte Cardoso Passos

Revisor: Rogério de Campos

INICIAR

introdução

Introdução

Com a expansão das redes sem fio, diversos novos serviços específicos para redes de curta e longa distância surgem, e os principais representantes desses grupos são as tecnologias Bluetooth, ZigBee, WiMAX e também a telefonia celular. Ao longo do material, serão estudados conceitos relacionados a redes sem fio pessoais, tais como Bluetooth e ZigBee, redes sem fio metropolitanas, WiMAX e redes de telefonia celular 2g, 3g, 4g e 5g.

Alguns detalhes relacionados à arquitetura, tecnologias utilizadas, protocolos e segurança nas redes Bluetooth, ZigBee, WiMAX e de telefonia celular serão o foco no decorrer do estudo. Entende-se que o conteúdo deste estudo é extenso e complexo, mas, com esforço e dedicação, o aprendizado será alcançado.

Bluetooth

Criado em 1994 pelo Special Interest Group (formado pelas empresas Ericsson, IBM, Intel, Nokia e Toshiba), objetivando principalmente permitir a conexão sem fio entre dispositivos computacionais, o padrão Bluetooth – que recebeu esse nome em homenagem a Harald Blaatand II (940-981) – logo ganhou popularidade e passou a ser utilizado em redes LANs sem fio.

Por ser um padrão muito útil, o Bluetooth acaba criando uma competição de mercado com o 802.11. O maior problema observado é a interferência elétrica existente entre cada um dos dois padrões. Independentemente dos revés, em 1999 o consórcio do Bluetooth emitiu uma especificação de 1500 páginas. Pouco tempo depois o IEEE adotou essa documentação, modificou-a e a inseriu no padrão 802.15.

Arquitetura Bluetooth

Todo sistema Bluetooth tem como unidade básica uma *piconet*. Uma *piconet* é um nó, denominado “mestre”, que pode conter até sete outros nós, denominados “escravos” que são ativos, e que podem estar situados a uma

distância de até 10 metros do mestre. Existe a possibilidade da existência de diversos *piconets* em um mesmo ambiente (desde que grande o suficiente), sendo possível até mesmo que esses *piconets* se conectem através de um nó de ponto, como pode ser observado na Figura 3.1. Essa coleção de *piconets* interconectadas é denominada *scatternet*.

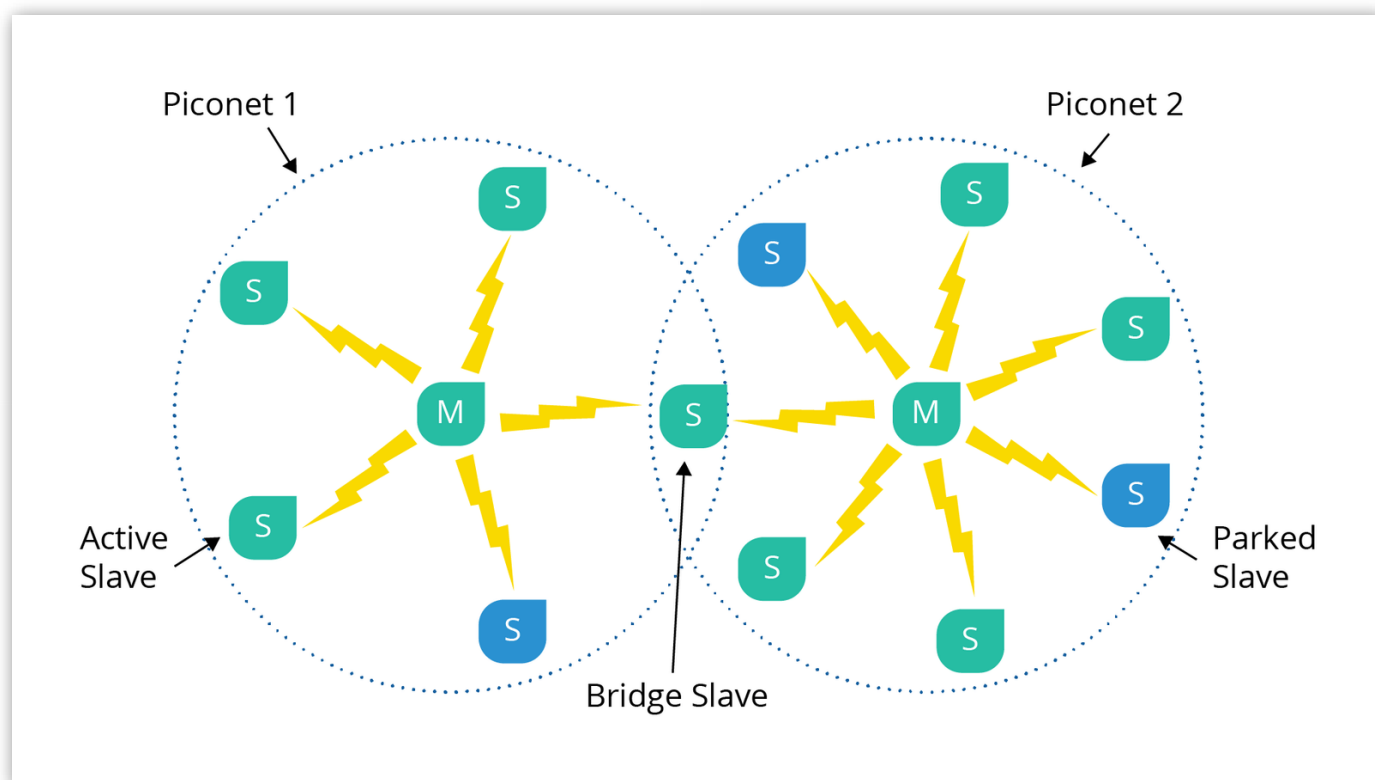


Figura 3.1 - Scatternet

Fonte: Tanenbaum e Wetherall (2003, p. 244).

Uma *piconet* pode, além dos sete escravos, manter até 255 nós estacionados (inativos) na rede. Esses nós são dispositivos comutados pelo mestre para um estado de baixa energia, o que ajuda na economia de energia. Quando um dispositivo está em estado de estacionado, ele não pode fazer nada além de responder a um sinal de ativação ou de baliza do mestre.

A arquitetura baseada na estrutura mestre/escravo deve-se à facilidade que essa estrutura oferece para criação de chips Bluetooth, que podem ser desenvolvidos por menos de US\$ 5.0. Contudo, os “escravos” são “não inteligentes”, realizando somente o que é determinado pelo “mestre”. Toda *piconet* possui em seu núcleo um sistema TDM centralizado. Ainda nesse núcleo, está um clock que é controlado pelo “mestre”. A partir dele, o “mestre” é capaz de definir qual dispositivo terá prioridade para se comunicar a cada

slot de tempo. Não existe outra forma de comunicação que não seja entre mestre e escravo, e nunca haverá comunicação mestre para mestre ou escravo para escravo.

Saiba mais

“As principais diferenças entre o Bluetooth e outros tipos de redes são que as redes Bluetooth são formadas basicamente de dispositivos com baixa capacidade e pouca energia, as conexões entre dois dispositivos possuem diversos estados, com o objetivo de economizar energia e gerenciar a formação de outras *piconets* ; formação espontânea de *piconets* , possibilitando modificações constantes em sua topologia. Além disso, toda conexão entre nós passa por um procedimento de identificação e sincronização que necessita de uma temporização para ocorra efetivamente”.

ACESSAR

Aplicações do Bluetooth

A maior parte dos protocolos de rede são capazes de fornecer somente canais entre aquelas entidades que se comunicam, ficando sob a responsabilidade do projetista da aplicação a descoberta da utilidade de cada um desses canais. A especificação Bluetooth, por sua vez, determina aplicações específicas para

as quais são admitidas diferentes pilhas de protocolos. Essa abordagem, no entanto, gera o inconveniente da complexidade. Algumas aplicações do Bluetooth são:

Acesso genérico: trata-se da base sobre a qual as aplicações serão elaboradas. Responsável por manter os meios de estabelecimento de enlaces (entre mestre e escravos) seguros - Gerencia os enlaces.

Descoberta de serviço: descobre quais são os serviços que os demais dispositivos estão oferecendo. O esperado é que todos os dispositivos Bluetooth o implementem.

Porta serial: Atua como um cabo. Refere-se a um protocolo muito de transporte de dados muito utilizado. É capaz de emular uma linha serial, o que é muito útil para aplicações que utilizam tecnologias antigas.



123rf.co

A Pilha de Protocolos do Bluetooth

Os protocolos do padrão Bluetooth são livremente agrupados em camadas. Essa estrutura em camadas em nada se assemelha ao modelo OSI, ao modelo TCP/IP, ao modelo IEEE 802 ou qualquer outro. A arquitetura básica de

protocolos Bluetooth adaptada pelo comitê 802 pode ser observada na Figura 3.2.

A camada mais inferior do protocolo é a camada de física de rádio. Essa camada é análoga à camada física dos modelos OSI e também IEEE 802. Essa camada é responsável pela transmissão e modulação dos sinais de rádio. A camada de banda base, por sua vez, é análoga à subcamada MAC, entretanto essa camada inclui também alguns elementos da camada física. Outra responsabilidade dessa camada está na definição da forma como o “mestre” irá controlar e agrupar os slots de tempo em quadros.

Com um grupo de protocolos intrarrelacionados, cabe ao gerenciador de enlaces estabelecer canais lógicos entre os dispositivos, além de gerenciar a energia, cuidar da autenticação e garantir a qualidade do serviço. Ao L2CAP ou protocolo de adaptação de controle de enlace lógico, cabe realizar o isolamento entre as camadas superiores e os detalhes de transmissão.

Aos protocolos de áudio e controle cabem exatamente o que seus nomes sugerem. A camada de *middleware* reúne uma coleção de protocolos, tendo o LLC do 802 sido aqui inserida para garantir a compatibilidade com as redes 802.

Responsável por emular uma porta serial padrão, o protocolo de RFcomm permite a conexão de dispositivos periféricos, tais como mouses e teclados, permitindo até mesmo a utilização de tecnologias mais antigas.

Utilizado pelos perfis orientados para voz, o protocolo de telefonia também gerencia as configurações e também o encerramento das chamadas. O protocolo de descoberta de serviços tem a responsabilidade de localizar serviços disponíveis na rede. Na camada superior, ficam as aplicações que, para realizarem suas funções, fazem uso dos protocolos das camadas inferiores. A cada uma das aplicações está associado seu próprio subconjunto de protocolos.

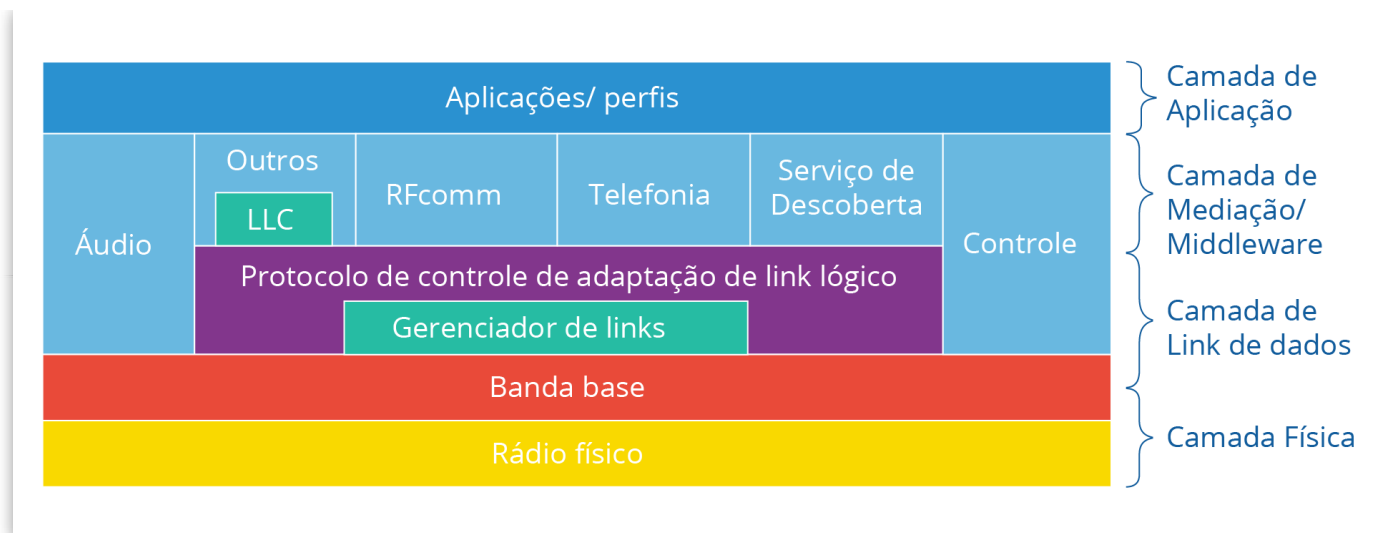


Figura 3.2 - Pilha de protocolos Bluetooth

Fonte: Adaptada de Tanenbaum e Wetherall (2003, p. 247).

Toda a arquitetura do padrão Bluetooth foi desenhada para permitir a comunicação com a maioria dos dispositivos existentes no mercado, não somente conectividade. A arquitetura foi desenhada também para oferecer baixos custos de produção, implantação e implementação, o que permite que seja extremamente acessível.

Vamos Praticar

1) A arquitetura baseada na estrutura mestre/escravo deve-se à facilidade que esta estrutura oferece para criação de chips Bluetooth, que podem ser desenvolvidos por menos de US\$ 5.0. Contudo, os “escravos” são “não inteligentes”, realizando somente o que é determinado pelo “mestre”. No núcleo de um piconet existe um sistema TDM centralizado.

Sobre o TDM, qual das alternativas a seguir está correta?

- **a)** Trata-se de um núcleo no qual existe um clock por meio do qual o “mestre” pode controlar e definir qual será o dispositivo que irá se comunicar a cada slot de tempo.
- **b)** Trata-se de um núcleo no qual existe um *clock* por meio do qual um “escravo” pode controlar e definir qual será o dispositivo que irá se comunicar a cada slot de tempo.
- **c)** Trata-se de um núcleo no qual existe um *slot* por meio do qual um “escravo” pode controlar e definir qual será o dispositivo que deverá se comunicar a cada *clock* de tempo.
- **d)** Trata-se de um núcleo no qual existe um *clock* por meio do qual o “mestre” pode controlar e definir qual será o dispositivo que deverá se comunicar a cada *clock* de tempo.
- **e)** Trata-se de um núcleo no qual existe um *controller* por meio do qual o “mestre” pode controlar e definir qual será o dispositivo que deverá se comunicar a cada *slot* de tempo.

ZigBee

Criada pela IEEE juntamente com a ZigBee Alliance com o propósito de disponibilizar uma rede de baixíssima potência de operação, a ZigBee possui baixo consumo de energia e longo tempo de vida útil, podendo durar anos.

Quando criado, as principais finalidades do protocolo ZigBee eram o controle remoto e a automação, sendo suas principais características:

- As diferentes frequências com as quais pode operar e suas taxas de dados – 868 MHz e 20 Kbps; 915 MHz e 40 Kbps; 2.4 GHz e 250 Kbps.
- A capacidade de um mesmo nó executar diferentes papéis na rede.
- A possibilidade de ser configurada em diversas topologias de rede.
- Sua habilidade de auto-organização e autorreestruturação, também conhecidos como self-organizing e self-healing.
- A capacidade de receber elevado número de dispositivos, sendo o máximo de 65.355 dispositivos para cada coordenador.
- Baterias com alta durabilidade.
- Interoperabilidade, ou seja, comunica-se de forma totalmente transparente com outros dispositivos.

Suas características permitem que as redes ZigBee alcances taxas de transmissão de dados semelhantes às alcançadas pelo Bluetooth, mas com baixíssimo custo.

Protocolo ZigBee

O protocolo ZigBee estabelece uma pilha protocolar com implementação simplificada, cuja estrutura apresenta três características principais: são de baixo custo, baixo consumo de energia e também baixa taxa de transferência de dados.

A plataforma ZigBee pode ser definida em duas camadas, uma camada de Aplicação APL (*Application Layer*) e uma Camada de Rede NWK (*Network Layer*). O esquema é representado na Figura 3.3.

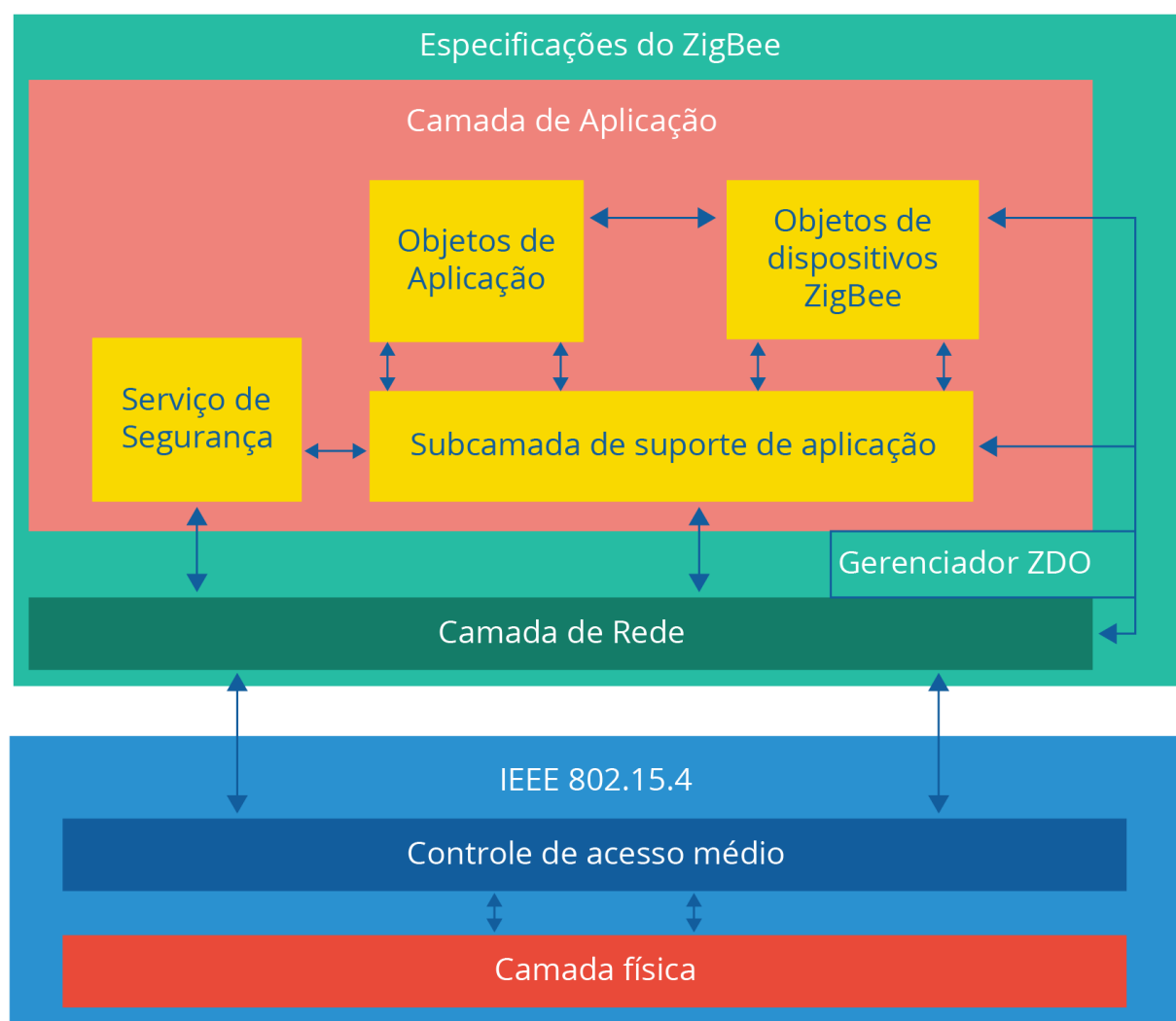


Figura 3.3 - O protocolo ZigBee

Fonte: GTA/UFRJ (2020, on-line).

Como é possível observar pela Figura 3.3, o padrão ZigBee é especificado pela ZigBee Alliance e também pela IEEE. Nas camadas sob responsabilidade da ZigBee Alliance, encontram-se a Camada de Aplicação e a Camada de Rede.

Camada de Aplicação

Responsável por garantir a gestão e dar suporte a diversas aplicações, essa camada fornece a interface entre a camada de rede e a camada de aplicação. Para isso, utilizam serviços que são utilizados pela ZDO e aplicações definidas pelo fabricante. Nessa camada, estão as seguintes entidades:

Objetos de aplicação são entidades que permanecem armazenadas em *applications frameworks* e que enviam e recebem dados através dos

Applications Services Management Entity Access Point (APSDE-SAPs). São responsáveis por funções de controle e de manutenção das camadas de protocolo do dispositivo, além de inicializar as funções da rede padrão. Em relação a seu serviço de dados, esses realizam funções de pedido, confirmação, resposta e também primitivas de indicação para a transferência dos dados.

Objetos de dispositivos ZigBee , ou *ZigBee Device Objects* , fornecem a interface entre os objetos de aplicação. O perfil do dispositivo e a subcamada de suporte de aplicação (*Application Support Sublayer* – APS). Seu objetivo é atender aos requisitos de todas as aplicações que executam na pilha de protocolos do ZigBee. São eles que inicializam a APS, a Camada de Rede (*Network Layer*) e também o serviço de segurança, e reúnem as informações de configuração das aplicações finais, possibilitando determinar e implementar a descoberta e gestão de segurança da rede.

Camada de Rede

Em termos hierárquicos, essa é a primeira camada definida pela norma ZigBee e sua função é descobrir novos dispositivos capazes de integrar a rede, armazenando informações sobre tais dispositivos, atribuir endereços aos dispositivos membros da rede (somente para os *ZigBee Coordinators*) e realizar o monitoramento das entradas e saídas de dispositivos da rede.

Os novos dispositivos que ingressam na rede são configurados a partir dessa camada, a qual também define os mecanismos de descoberta de rotas e encaminhamento de informação (processo de *routing*). Essa camada é responsável por garantir o correto funcionamento do protocolo MAC do IEEE 802.15.4, além de fornecer serviços adequados para a interface com a camada de aplicação. Para realizar essa interação, a camada de rede contém dois serviços, que são os serviços de dados e de gestão.

Assim como ocorre nas camadas anteriores, existe no serviço de gestão uma entidade conhecida como *Network Layer Management Entity* (NLME), e é através de seu *Service Access Point* (SAP) que são fornecidos os serviços necessários. Dessa forma, é possível afirmar que o NLME cria os recursos que permitem a

aplicação interagir com a pilha.

Outros serviços que são específicos do NLME são:

Configuração de novos dispositivos: inicialização de uma nova operação, tal como o ZigBee Coordinator.

Criação de uma rede: estabelece uma nova rede.

Juntar-se ou abandonar uma rede: entrar e sair de uma rede, tal como o ZigBee Coordinator ou ZigBee Router.

Endereçamento: atribuição de endereços aos dispositivos. Realizado pelo ZigBee Coordinator e ZigBee Router.

Descoberta da vizinhança: localização, registro e comunicação com outros dispositivos.

Descoberta de rotas: definição e registro de rotas pelas quais são trocadas informações.

Criação de *Network Protocol Data Units* – NPDUs : geração de NLDE a partir de uma PDU da camada de aplicação.

Topologia específica de *routing* : transmissão de uma NPDU pela NLDE para o devido destinatário.

Segurança: capacidade de garantir a autenticidade e confidencialidade da transmissão.

Serviços Oferecidos pelo ZigBee

Basicamente, o ZigBee oferece quatro diferentes tipos de serviços:

Serviço extra de encriptação: as camadas de aplicação e de rede implementam chaves de criptografia *Advanced Encryption Standard* (AES) extra de 128 bits.

Associação e autenticação: garante que somente nós válidos sejam capazes de se unir à rede.

Protocolo de roteamento: o protocolo *ad hoc* reativo *Ad Hoc On-demand Distance Vector* (AODV) executa o processo de roteamento e encaminhamento de dados para a rede. Esse protocolo é adaptativo indicado para cenários de alta mobilidade, com tendência a evitar o desperdício de banda, minimização do processamento nos nós da rede e manutenção das rotas de pacotes existentes.

Serviços de aplicação: introduz-se o conceito de “cluster”. O conceito é abstrato e cada nó é associado a um cluster e pode obter um número predefinido de ações.

O ZigBee foi pensado para organizar a rede. Nesse protocolo, para se unir a uma rede um nó deve primeiramente solicitar ao coordenador um endereço de rede de 16 bits. Feito isso, todas as informações na rede são encaminhadas através desse endereço. É nessa etapa que os procedimentos de autenticação e criptografia são realizados. Uma vez na rede, o nó pode trocar informações com os demais nós através de roteadores que estão à espera de pacotes. Ao receber um pacote, se o destino estiver no campo de sinal do roteador, primeiramente o roteador observa se o destino está ou não acordado. Caso esteja acordado, então o pacote é enviado; caso contrário, o roteador protege o pacote até que o dispositivo final acorde.

praticar

Vamos Praticar

No protocolo ZigBee, a camada de aplicação é responsável por garantir a gestão e

dar suporte a diversas aplicações. Essa camada é responsável por fornecer uma interface entre a camada de rede e a camada de aplicação, e para isso utilizam serviços que são utilizados pela ZDO e outras aplicações definidas pelo fabricante. Sendo assim, pergunta-se: qual das opções a seguir está correta em relação às entidades da camada de aplicação?

- **a)** Objetos de aplicação são entidades que permanecem armazenadas em *Application Support Sublayer* (APS) e que enviam e recebem dados através dos *Applications Services Management Entity Access Point* (APSDE-SAPs).
- **b)** ZigBee Device Objects fornecem a interface entre os objetos de aplicação, o perfil do dispositivo e ao *Application Service Management Entity Access Point* (APSDE-SAPs).
- **c)** Objetos de aplicação são entidades que permanecem armazenadas em *applications frameworks* e que enviam e recebem dados através dos *Applications Services Management Entity Access Point* (APSDE-SAPs).
- **d)** O objetivo dos objetos de aplicação é atender aos requisitos de todas as aplicações que executam na pilha de protocolos do ZigBee.
- **e)** Os objetos de dados de dispositivos ZigBee permanecem armazenadas em *applications frameworks* e enviam e recebem dados através dos *Applications Services Management Entity Access Point* (APSDE-SAPs).

Redes WiMAX

Desenvolvida pelo Grupo de Trabalho em Redes (*Network Work Group* – NWG), e, tendo sua interface aérea fornecida pelo padrão IEEE 802.16e-2005, o modelo de referência WiMAX prevê uma arquitetura de rede unificada para suportar implantações fixas, nômades e móveis e é baseado em um modelo de serviço IP. Uma rede WiMAX pode ser logicamente dividida em três partes:

- Estações móveis (MS) usadas pelo usuário final para acessar a rede.
- A rede de serviço de acesso (ASN), que compreende uma ou mais estações base e um ou mais gateways ASN que formam a rede de acesso por rádio na borda.
- Rede de serviço de conectividade (CSN), que fornece conectividade IP e todas as funções da rede principal de IP.

O modelo de referência de rede desenvolvido pelo WiMAX Forum NWG define várias entidades funcionais e interfaces entre essas entidades. São:

- **Estação base (BS)** : fornece a interface aérea para o MS, além do gerenciamento do meio de mobilidade (disparo de transferência e estabelecimento de túnel, recursos de rádio, políticas QoS,

classificação de tráfego, *proxy* , DHCP, gerenciamento de chaves, sessões e grupo *multicast*).

- **Gateway de rede de serviço de acesso (ASN-GW)** : ponto de agregação de tráfego da camada 2 dentro de um ASN, paginação intra-ASN, gerenciamento de recursos de rádio, controle de admissão, armazenamento de perfis de assinantes e chaves de criptografia, funcionalidade de cliente AAA, estabelecimento e gerenciamento de túneis de mobilidade, aplicações de políticas QoS, funcionalidades de agente externo para IP móvel e roteamento para CSNs.
- **Rede de serviços de conectividade (CSN)** : a CSN fornece conectividade à Internet, ASP, outras redes públicas e redes corporativas. Inclui servidores AAA que oferecem suporte à autenticação para dispositivos, usuários e serviços específicos, fornece gerenciamento de política por usuário de QoS e segurança, gerenciamento de endereços IP, suporte para *roaming* entre diferentes NSPs, gerenciamento de localização entre ASNs e mobilidade e *roaming* entre ASNs.

A estrutura da arquitetura WiMAX permite a decomposição flexível e/ou combinação de entidades funcionais ao criar as entidades físicas. Por exemplo, o ASN pode ser decomposto em transceptores de estação base (BST), controladores de estação base (BSC) e um ASNGW análogo ao modelo GSM de BTS, BSC e nó de suporte ao GPRS de Serviço (SGSN).

A Tecnologia WiMAX

- O WiMAX é uma tecnologia baseada nas especificações IEEE 802.16 para permitir a entrega de acesso de banda larga sem fio de última milha como uma alternativa ao cabo e DSL. O design da rede WiMAX é baseado nos seguintes princípios:
- Espectro: capaz de ser implantado em espectros licenciados e não licenciados.
- Topologia: suporta diferentes topologias de Radio Access Network

(RAN).

- Interoperabilidade: arquitetura RAN independente para permitir integração e interconexão perfeitas com redes WiFi, 3GPP e 3GPP2 e a rede principal do operador IP existente.
- Conectividade IP: suporta uma combinação de interconexões de rede IPv4 e IPv6 em clientes e servidores de aplicativos.
- Gerenciamento de mobilidade: possibilidade de ampliar o acesso fixo à mobilidade e à prestação de serviços multimídia de banda larga.

O WiMAX define dois perfis de sistema MAC: o ATM básico e o IP básico. Eles definem também dois perfis principais de sistema PHY: o canal de 25 MHz de largura para uso (implantações nos EUA) na faixa de 10,66 GHz e o canal de 28 MHz de largura para uso em (implantações europeias) na faixa de 10,66 GHz.

O grupo de trabalho técnico do WiMAX define perfis de sistema MAC e PHY para os padrões IEEE 802.16a e HiperMan. O perfil MAC inclui uma versão baseada em IP para MAN sem fio (licenciado) e HUMAN sem fio (isento de licença). O padrão IEEE 802.16 foi desenvolvido para evoluir como um conjunto de padrões de interfaces aéreas para o WMAN, com base em um protocolo MAC comum, mas com especificações da camada física dependentes do espectro de uso e dos regulamentos associados.

A estrutura WiMAX é baseada em vários princípios básicos:

- Suporte para diferentes topologias de RAN.
- Interfaces bem definidas para permitir a independência da arquitetura 802.16 RAN, ao mesmo tempo que permitem integração e interoperabilidade contínuas com redes Wi-Fi, 3GPP3 e 3GPP2.
- Aproveita e abre as tecnologias IP definidas pela IETF para criar redes de acesso escaláveis totalmente IP 802.16 usando equipamentos comuns (COTS).
- Suporte para clientes e servidores de aplicativos IPv4 e IPv6, recomendando o uso do IPv6 na infraestrutura.
- Extensibilidade funcional para suportar a migração futura para mobilidade total e entrega de multimídia de banda larga rica.

A definição dos protocolos do padrão WiMAX visa principalmente garantir a larga compatibilidade desse tipo de rede com os diversos dispositivos existentes no mercado, e a mobilidade desses dispositivos, permitindo que a rede administre seus nós móveis de forma totalmente transparente.

A Camada Física

A camada física WiMAX baseia-se em multiplexagem por divisão ortogonal de frequência. O OFDM representa o esquema de escolha de transmissão, é a partir desse esquema que o sistema de transmissão de dados será definido. Como cada estrutura de dados possui suas próprias características, a definição do melhor esquema para cada tipo de dado permite maior velocidade na transmissão de vídeo e comunicação multimídia. Esta abordagem é utilizada por uma variedade de sistemas de banda larga comerciais, incluindo DSL, Wi-Fi, Digital Video Broadcast-Handheld (DVB-H) e MediaFLO, além do WiMAX.

O WiMAX suporta uma variedade de esquemas de modulação e codificação e permite que o esquema mude de rajada por rajada por link, dependendo das condições do canal. Usando o indicador de feedback de qualidade do canal, o celular pode fornecer feedback à estação base sobre a qualidade do canal de *downlink*. Para o *uplink*, a estação base pode estimar a qualidade do canal, com base na qualidade do sinal recebido.

Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (OFMD)

O OFDM pertence a uma família de esquemas de transmissão denominada modulação *multicarrier*, que se baseia na ideia de dividir um determinado fluxo de dados com taxa de bits alta em vários fluxos paralelos de taxa de bits mais baixa e modular cada fluxo em portadoras separadas, geralmente chamadas de subportadoras ou tons. Os esquemas de modulação *multicarrier* eliminam ou minimizam a interferência entre símbolos (ISI), aumentando o tempo do símbolo o suficiente para que os atrasos induzidos pelo canal sejam

uma fração insignificante (tipicamente, <10%) da duração do símbolo. Portanto, em sistemas de alta taxa de dados em que a duração do símbolo é pequena, sendo inversamente proporcional à taxa de dados que divide o fluxo de dados em muitos fluxos paralelos, aumenta a duração do símbolo de cada fluxo, para que o atraso de propagação seja apenas uma pequena fração de a duração do símbolo.

O OFDM é uma versão espectralmente eficiente da modulação *multicarrier*, em que as subportadoras são selecionadas de modo que sejam todas ortogonais entre si durante a duração do símbolo, evitando, assim, a necessidade de canais de subportadoras não sobrepostos para eliminar a interferência entre transportadoras. Para eliminar completamente o ISI, intervalos de guarda são usados entre os símbolos OFDM. Um intervalo de guarda é um tempo adicional inserido no símbolo, este tempo leva em consideração os possíveis atrasos que podem ocorrer nos diversos caminhos, ao ser aplicado, o ISI pode ser completamente eliminado. Adicionar um intervalo de guarda, no entanto, implica em desperdício de energia e uma diminuição na eficiência da largura de banda.

A Camada MAC

O MAC IEEE 802.16 foi projetado para aplicativos de acesso sem fio de banda larga ponto a multiponto. A principal tarefa da camada WiMAX MAC é fornecer uma interface entre as camadas mais altas de transporte e a camada física. A camada MAC pega pacotes da camada superior – chamados de unidades de dados de serviço MAC (MSDUs) – e os organiza em unidades de dados de protocolo MAC (MPDUs) para transmissão pelo ar. Para transmissões recebidas, a camada MAC faz o inverso.

O design MAC IEEE 802.16-2004 e IEEE 802.16e-2005 inclui uma subcamada de convergência que pode interagir com uma variedade de protocolos de camada superior, como ATM TDM Voice, Ethernet, IP e qualquer protocolo futuro desconhecido. O MAC 802.16 foi projetado para aplicativos ponto a multiponto (PMP) e é baseado no acesso múltiplo com sentido (direção) e prevenção de colisão (CSMA / CA).

O MAC incorpora vários recursos adequados para uma ampla gama de aplicações com diferentes taxas de mobilidade, como as seguintes:

- Gerenciamento de chave de privacidade (PKM) para segurança da camada MAC. A versão 2 do PKM incorpora o suporte ao protocolo de autenticação extensível (EAP).
- Suporte de transmissão e *multicast*
- Primitivas de gerenciamento.
- Transferência de alta velocidade e primitivas de gerenciamento de mobilidade.
- Três níveis de gerenciamento de energia, operação normal, suspensão e inatividade.
- Supressão de cabeçalho, empacotamento e fragmentação para um uso eficiente do espectro.
- Cinco classes de serviço, serviço de concessão não solicitado (UGS), serviço de pesquisa em tempo real (rtPS), serviço de pesquisa não em tempo real (nrtPS), melhor esforço (BE) e serviço de taxa variável em tempo real estendida (ERT-VR).

Esses recursos, combinados com os benefícios inerentes ao OFDMA escalável, tornam o 802.16 adequado para dados de alta velocidade e aplicativos multimídia IP explosivos ou isócronos. O suporte à QoS é uma parte fundamental do design da camada MAC do WiMAX. O WiMAX empresta algumas das ideias básicas por trás de seu design de QoS do padrão de modem a cabo DOCSIS. O controle forte de QoS é obtido usando uma arquitetura MAC orientada à conexão, na qual todas as conexões de *downlink* e *uplink* são controladas pela BS que está servindo. O WiMAX também define um conceito de fluxo de serviço. Um fluxo de serviço é um fluxo unidirecional de pacotes com um conjunto específico de parâmetros de QoS e é identificado por um identificador de fluxo de serviço (SFID).

Suporte à Mobilidade

O WiMAX prevê quatro cenários de uso relacionados à mobilidade:

- **Nomadidade** : o usuário pode pegar uma estação de assinante fixa e reconectar-se a partir de um ponto de conexão diferente.
- **Portátil** : o acesso nômade é fornecido a um dispositivo portátil, como uma placa de PC, com expectativa de uma transferência de melhor esforço.
- **Mobilidade simples** : o assinante pode se mover a velocidades de até 60 km/h, com breves interrupções (menos de 1 segundo) durante a transferência.
- **Mobilidade total** : mobilidade de até 120 km/h e transferência sem interrupções (menos de 50 ms de latência e <1% de perda de pacotes) são suportadas.

É provável que as redes WiMAX sejam inicialmente implantadas para aplicativos fixos e nômades e depois possam evoluir para dar suporte à portabilidade para a mobilidade total ao longo do tempo. O padrão IEEE 802.16e-2005 define uma estrutura para dar suporte ao gerenciamento de mobilidade. Em particular, o padrão define mecanismos de sinalização para rastrear estações de assinantes à medida que elas se movem da faixa de cobertura de uma estação base para outra quando ativas ou como se movem de um grupo de paginação para outro quando ociosas.

O padrão também possui protocolos para permitir uma transferência contínua de conexões em andamento de uma estação base para outra. O padrão também possui protocolos para permitir uma transferência contínua de conexões em andamento de uma estação base para outra. O WiMAX Forum usou a estrutura definida no IEEE 802.16e-2005 para desenvolver ainda mais o gerenciamento de mobilidade dentro de uma estrutura de arquitetura de rede de ponta a ponta. A arquitetura também suporta a mobilidade da camada IP usando IP móvel.

Segurança

Os sistemas WiMAX foram projetados desde o início com segurança robusta em mente. O padrão inclui métodos de ponta para garantir a privacidade dos dados do usuário e impedir o acesso não autorizado com otimização de

protocolo adicional para mobilidade.

A segurança é gerenciada por uma subcamada de privacidade no WiMAX MAC. Os principais aspectos da segurança WiMAX são os seguintes:

- **Suporte para Privacidade** : sistemas criptográficos AES (*Advanced Encryption Standard*) e 3DES (*Triple Data Encryption Standard*), com chaves de 128 ou 256 bits, que são utilizadas periodicamente.
- **Autenticação de dispositivo/usuário** : estrutura flexível baseada no EAP, fornecendo suporte a várias credenciais (nome do usuário, senha, certificados digitais e cartões inteligentes). O WiMAX possui certificados digitais X.509 com chave pública e endereço MAC.
- **Protocolo flexível de gerenciamento de chaves** : o Protocolo de Privacidade e Gerenciamento de Chaves Versão 2 (PKMv2) é usado para transferir com segurança o material de codificação da estação base para a estação móvel, reautorizando e atualizando periodicamente as chaves.
- **Proteção de mensagens de controle** : a integridade das mensagens de controle over-the-air é protegida pelo uso de esquemas de resumo de mensagens, como CMAC baseado em AES ou HMAC baseado em MD5.
- **Suporte para entrega rápida** : para suportar transferências rápidas, o WiMAX permite que o MS use a pré-autenticação com um BS de destino específico para facilitar a reentrada acelerada. Para otimizar a reautenticação e evitar problemas com ataques *man-in-the-middle* , utiliza um esquema *handshake* de três vias.

praticar

Vamos Praticar

Desenvolvido pelo Grupo de Trabalho em Redes (*Network Work Group* – NWG), e tendo sua interface aérea fornecida pelo padrão IEEE 802.16e-2005, o modelo de referência WiMAX prevê uma arquitetura de rede unificada para suportar implantações fixas, nômades e móveis e é baseado em um modelo de serviço IP. Uma rede WiMAX pode ser logicamente dividida em três partes. Em relação à divisão lógica de uma rede WiMAX, qual das opções a seguir está correta?

- ☐ **a)** Possui um gerenciamento de mobilidade que possibilita ampliar o acesso fixo à mobilidade e à prestação de serviços multimídia de banda larga.
- ☐ **b)** Possui uma rede de serviço de acesso (ASN), que compreende uma ou mais estações base e um ou mais gateways ASN que formam a rede de acesso por rádio na borda.
- ☐ **c)** Possui suporte para privacidade, garantindo que os dados do usuário sejam criptografados usando esquemas criptográficos de robustez comprovada para fornecer privacidade.
- ☐ **d)** Possui mobilidade simples; o assinante pode se mover a velocidades de até 60 km/h, com breves interrupções (menos de 1 segundo) durante a transferência.
- ☐ **e)** Possui gerenciamento de chave de privacidade (PKM) para segurança da camada MAC. A versão 2 do PKM incorpora o suporte ao protocolo de autenticação extensível (EAP).

Redes de Celular

Em sistemas tradicionais de telefonia, mesmo que se consigam alguns gigabytes entre os extremos de uma fibra, suas limitações não permitem que um grupo cada vez mais crescente de usuários seja atendido. Trata-se das pessoas que buscam conectividade mesmo em trânsito.

Com a finalidade de atender a esse grupo de usuários, pesquisadores desenvolveram e evoluíram as redes de telefonia móvel, que podem ser divididas da seguinte forma: voz (analógica e digital) e voz e dados.

Os telefones celulares analógicos dominaram toda primeira geração de celulares e, na segunda, foi a tecnologia digital. Em comum, as duas gerações têm a falta de um padrão mundial para seus sistemas.

Nesse período, os quatro sistemas utilizados eram: D-AMPS, GSM, CDMA e PDC (basicamente um D-AMPS adaptado, mas utilizado somente no Japão).

Segunda Geração – 2G

Durante a década de 1990 os sistemas analógicos foram saturados, surgindo a segunda geração (2G), marcada pela introdução dos sistemas digitais. Nessa segunda geração, houve melhorias nos sistemas técnicos e comerciais, assim como na oferta de serviços, melhorando, inclusive, a capacidade de transmissão de voz; agora estão livres de ruídos e possuem a possibilidade de criptografia na transmissão dos dados (FERNANDES, 2010).

Nessa geração, o espectro de radiofrequência tornou-se mais eficiente, possibilitando a criação de novos serviços, tais como a utilização de *Short Messages Service* (SMS) e e-mail. Houve também melhorias no serviço de chamadas simultâneas, permitindo também colocar chamadas em espera, e envio de notificações no caso de o dispositivo estar ocupado (MENDES, 2013).

Ainda na segunda geração, surgiram os sistemas *Time Division Multiple Access* (TDMA) – IS-136 e *Groupe Speciale Mobile/Global System for Mobile Communications* (GSM) na Europa, e *Code Division Multiple Access* (CDMA) – IS-95 nos EUA, e *Japanese Personal Digital Cellular* (PDC) no Japão.

Terceira Geração – 3G

A terceira geração pode ser considerada como a ascensão da tecnologia 2G, e sua principal característica é a oferta de banda larga sem fio. Buscando adaptar-se às novas necessidades dos utilizadores, a tecnologia 3G passou a oferecer serviços de acesso à Internet, multimídia e aumentou significativamente o suporte a voz e dados, e com taxas muito superiores às oferecidas pela 2G. Em busca da padronização mundial dos sistemas 3G, a *International Telecommunications Union* (ITU) solicitou propostas para o sistema 3G. Para isso, escolheram o CDMA como técnica de acesso a maioria dos sistemas 3G, ficando conhecida como *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000).

reflita

Reflita

“Qual é o futuro da telefonia móvel? Vamos fazer uma breve análise. Diversos fatores estão orientando a indústria. Primeiro, o tráfego de dados já excede o tráfego de voz na rede fixa e está crescendo de forma exponencial, enquanto o tráfego de voz é essencialmente plano. Muitos especialistas da indústria esperam que, em breve, o tráfego de dados também domine o tráfego de voz em dispositivos móveis. Em segundo lugar, as indústrias de telefonia, entretenimento e informática já se tornaram digitais e estão convergindo rapidamente. Muitas pessoas estão entusiasmadas com um dispositivo leve e portátil que atua como telefone. Esse dispositivo e a maneira de conectá-lo são os temas da terceira geração de telefonia móvel”.

Fonte: Tanenbaum e Wetherall (2013, p. 139).

Além de ofertar novos serviços, a eficiência espectral também foi melhorada, permitindo, dessa forma, atingir maiores taxas de transmissão, e maiores

velocidades – até 2Mbps –, ficando a largura da banda entre 5 e 20 Mbps e frequência de banda entre 16-25 GHz, 64-144 kbps em ambientes veiculares, 384 kbps em ambientes pedestres e 2 Mbps para o terminal parado. Permite transferência de arquivos via Internet, possui melhoria na qualidade de voz e serviços on-line semelhantes às redes fixas de banda larga (MENDES, 2013).

Em relação à segurança, o 3G apresentou grandes avanços, adicionando novas técnicas de autenticação e aumento do tamanho das chaves de 64 para 128 bits, além da adição de algoritmos de codificação, cifragem e integridade. O 3G se baseia em dois sistemas de transmissão, o *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) e o CDMA-2000.

A principal diferença entre os sistemas é que o CDMA-2000 opera de modo síncrono, obtido devido ao uso de uma referência do *Global Positioning System* (GPS), ao passo que o UMTS utiliza operações de redes assíncronas.

Quarta Geração – 4G

Sua principal vantagem são as altas taxas de transferência de dados que são capazes de atingir, alcançando velocidades que chegam a dezenas de megabits. A tecnologia 4G utiliza o IP composta por redes de celulares e redes wireless, computadores e operadoras de televisão. Os protocolos IP permitem agregar técnicas de segurança que anteriormente eram utilizadas somente no core da rede, permitindo que diversos usuários acessem a Internet para obtenção de serviços de dados, fotos e vídeos, a partir de qualquer local, além de permitir que sejam feitas chamadas de alta qualidade através da tecnologia *Voice over Internet Protocol* (VoIP).

Para o 4G, a ITU especificou que os requisitos de velocidade devem ser de 100 Mbps para conexões móveis e 1 Gbps para conexões fixas, com taxas de 20 a 40 Mbps, bem como maior eficiência espectral e maior latência e mobilidade (TAKEDA, 2013). Mesmo não atendendo a todos os requisitos da ITU, uma tecnologia é considerada 4G quando reconhecida como um sistema *International Mobile Telecommunications – Advanced* (IMT – Advanced). Em 2010, as tecnologias *Long Term Evolution* (LTE) e *Advanced Wireless MAN – Advanced*

foram comercializadas como sendo 4G, fazendo parte, assim, do *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX), do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.16 e do 3GPP.

O padrão IEEE 802.16 foi criado especificamente para atender aos requisitos mínimos necessários da rede 4G, sendo compatível com as versões anteriores. Oferece suporte de frequência em todas as faixas *IMT* abaixo de 6 GHz e foi projetado para ser usado em ambientes cujas características de propagação são instáveis com modulação adaptativa.

Quinta Geração – 5G

Acredita-se que essa tecnologia será uma mistura de níveis de rede de diferentes tamanhos, garantindo transmissões de conexões inteligentes, que serão acessadas por um grande número de dispositivos interconectados. Espera-se ainda que essa tecnologia conte com maior capacidade devido à sua arquitetura aprimorada e à presença de uma comunicação física avançada (MENDES, 2013).

No sistema 5G, as tecnologias CDMA, OFDM, Acesso Múltiplo por Divisão de Código de Operadoras (MC-CDMA), *Ultra Wide Band* (UWB), *Local Multipoint Distribution Service* (LMDS) e *Internet Protocol Version 6* (IPv6) são integradas e possuem suporte entre si, permitindo alta capacidade de transmissão de dados e volumes de chamadas ilimitadas (MENDES, 2013).

Acredita-se que haverá um aumento exponencial no volume de tráfego até 2020. Alguns estudos mostram que até lá o número de conexões que temos hoje em dia poderá ser até 10x maior. Nos países desenvolvidos, pode-se considerar que a proporção de usuários donos de smartphones e outros dispositivos que fazem uso da banda larga está crescendo de maneira muito significativa. Segundo a ETSI, estima-se que em 2020, para atender à demanda, será necessário um acréscimo de no mínimo 500 MHz de espectro e, portanto, o uso de frequências acima de 6 GHz.

praticar

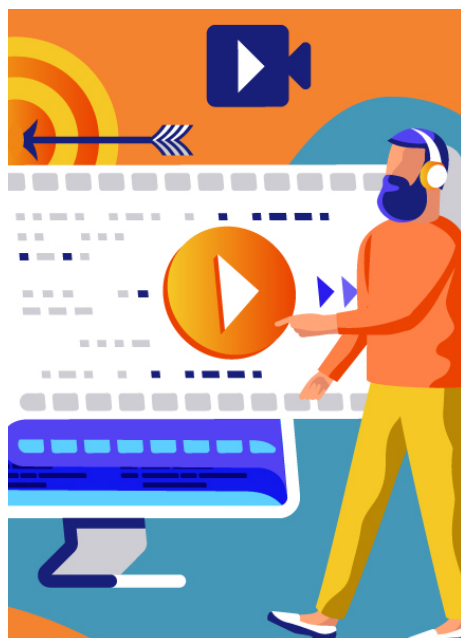
Vamos Praticar

Além de ofertar novos serviços, a eficiência espectral também foi melhorada, permitindo, dessa forma, atingir maiores taxas de transmissão e maiores velocidades até 2 Mbps, ficando a largura da banda entre 5 e 20 Mbps e frequência de banda entre 16-25 GHz, 64-144 kbps em ambientes veiculares, 384 kbps em ambientes pedestres e 2 Mbps para o terminal parado. A qual geração dos sistemas de telefonia móvel o texto se refere? Assinale a alternativa correta.

- ☐ **a)** Trata-se da segunda geração de sistemas de telefonia celular, também conhecida como 2G. Também são características dessa geração o aumento das chaves de criptografia de 64 para 128 bits e a utilização dos sistemas UMTS e CDMA-2000.
- ☐ **b)** Trata-se da quarta geração de sistemas de telefonia celular, também conhecida como 4G. Também são características dessa geração o aumento das chaves de criptografia de 64 para 128 bits e a utilização dos sistemas UMTS e CDMA-2000.
- ☐ **c)** Trata-se da terceira geração de sistemas de telefonia celular, também conhecida como 3G. Também são características dessa geração o aumento das chaves de criptografia de 64 para 128 bits e a utilização dos sistemas UMTS e CDMA-2000.
- ☐ **d)** Trata-se da terceira geração de sistemas de telefonia celular, também conhecida como 5G. Também são características dessa geração o aumento das chaves de criptografia de 64 para 128 bits e a utilização dos sistemas UMTS e CDMA-2000.
- ☐ **e)** Trata-se da terceira geração de sistemas de telefonia celular, também conhecida como 3G. Também são características dessa geração o aumento das chaves de criptografia de 64 para 256 bits e a utilização dos sistemas UMTS e CDMA-2000.

indicações

Material Complementar



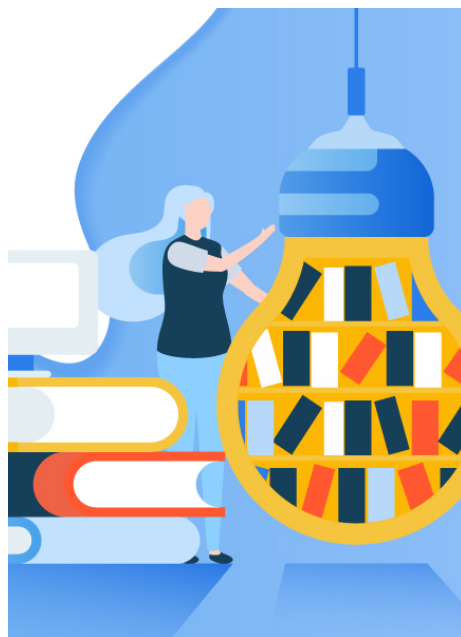
FILME

Seu Smartphone é uma questão de Direitos Cívicos.

Ano: 2016

Comentário: Neste vídeo, são apresentadas questões relacionadas à segurança dos dados em dispositivos celulares, apresentando algumas diferenças entre os sistemas criptográficos nos dois sistemas operacionais mais comuns em *smartphones*. Esse pequeno vídeo ajuda a entender como a percepção do usuário pode interferir na evolução da tecnologia.

TRAILER



LIVRO

Sistemas de comunicação sem fio – **Conceitos e aplicação**

Juerguen Rochol

Editora: Bookman

ISBN: 978-8582604557

Comentário: Material completo sobre redes sem fio, sua abrangência permite conhecer com melhores detalhes não somente as redes sem fio pessoais Bluetooth e ZigBee, e as redes WiMAX e de telefonia celular, mas também diversas outras tecnologias de rede.

conclusão

Conclusão

Quase toda a capacidade de mobilidade que se pode experimentar atualmente deve-se aos avanços tecnológicos ocorridos nos sistemas de comunicação e transferência de dados. O próprio sistema WiMAX é um dos que mais oferece suporte à mobilidade entre dispositivos em trânsito intercontinental.

Como pudemos ver também, não somente para deslocamentos em longa distância, mas em deslocamentos de curta distância, os desafios de garantir que os pacotes de dados cheguem aos seus destinatários são muitos.

Além de grande preocupação em manter a conectividade entre os diversos tipos de dispositivos existentes, existe a preocupação com a segurança dos dados, um problema que se torna ainda maior com o aumento das possibilidades de conexões.

referências

Referências Bibliográficas

FERNANDES, J. C. L. Tecnologias de rede: aplicabilidade e tendências

mercadológicas para redes sem fio e a utilização do 3g, WIMAX e LTE. **FaSci-Tech**, Faculdade de Tecnologia de São Caetano do Sul, v. 1, n. 2, São Caetano do Sul, jun. 2010.

GTA/UFRJ. **Protocolo Zigbee**. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2017_2/802154/zigbee.html. Acesso em: 7 fev. 2020.

MENDES, J. R. R. **5G**: a quinta geração. 2014. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Teleinformática e Redes de Computadores) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ROCHOL, J. **Sistemas de comunicação sem fio** – Conceitos e aplicação. São Paulo: Bookman, 2018.

SEU CANAL É UMA QUESTÃO DE DIREITOS CIVIS. 2016. 1 vídeo (7 min. 6 s.). Publicado pelo canal do **TED Summit**. Disponível em: https://www.ted.com/talks/christopher_soghoian_your_smartphone_is_a_civil_rights_issue?language=pt-br#t-20364. Acesso em: 12 fev. 2020.

TAKEDA, L. N. **Evolução da tecnologia móvel até 2013**. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica.) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013.

TANENBAUM, A. S.; WETHERALL, D. **Redes de computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2013.

VERGARA, C. C. S. A. G. **Tecnología Bluetooth**. 2008. 86 f. Tesis (Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica) – Instituto Politécnico Nacional, México, 2008. Disponível em: <https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/619/640/641/3805.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2020.