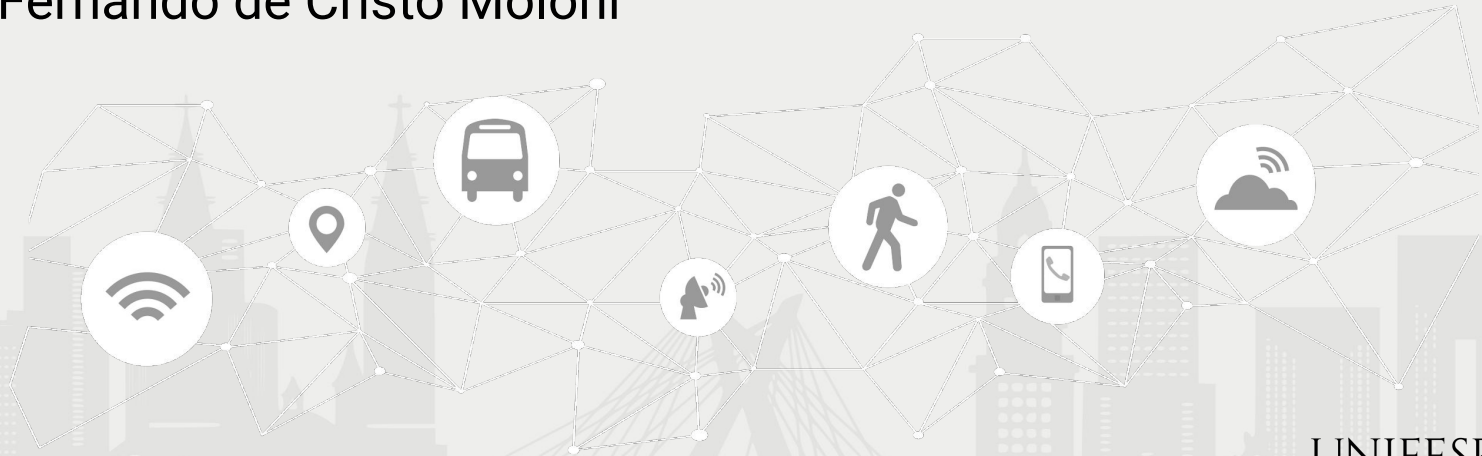


Redes Mesh e Power Line Communication

Caio Bonani Carvalho
Luiz Fernando de Cristo Moloni



Computer Networks, November, 2023

Agenda

- Power Line Communication
 - História, Campos e Funcionamento
 - PLC na Camada Física e de Enlace
 - Vantagens e Desvantagens
- Redes Mesh
 - Introdução
 - Padrões e Protocolos
 - Vantagens e Desvantagens
 - vs. repetidores Wi-Fi e OpenWiMesh
- Objetivos
 - Entender Redes Mesh e Power Line Communication
- Projeto

Power Line Communication - História

- Utiliza a mesma rede elétrica para transmitir dados.
- Era usada para transmitir dados e se comunicar rapidamente entre subestações, usinas e centros de distribuição em caso de falhas.

Power Line Communication - Campos

- *last mile problem* - Levar PLC para as casas.
- *last inch problem* -> Utilizar PLC dentro das casas.

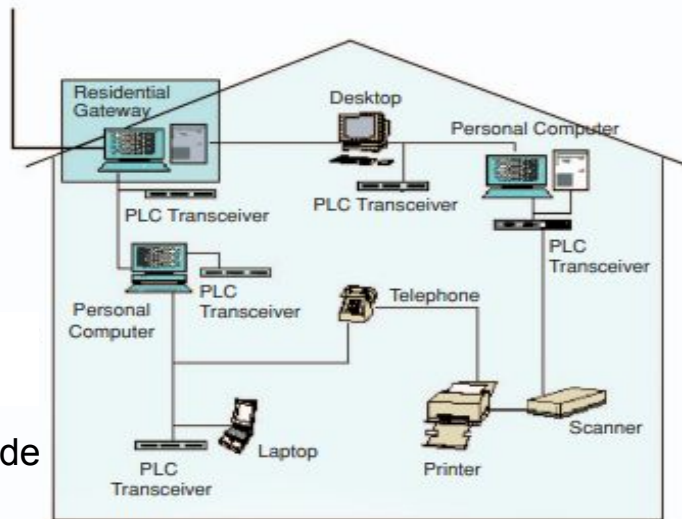


Fig. 1 Exemplo de *last inch*

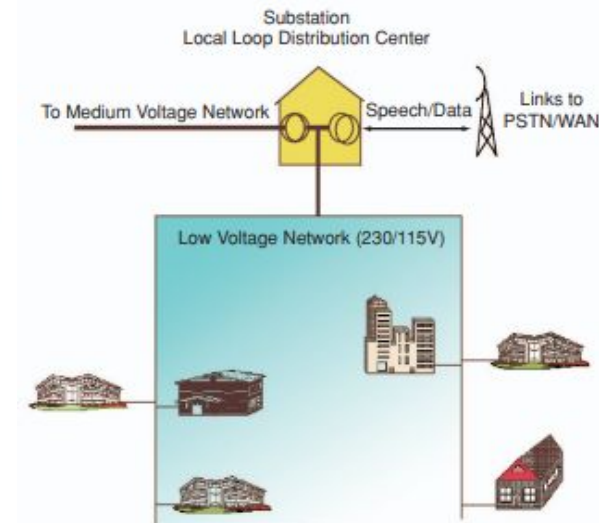


Fig. 2 Exemplo de *last mile*

Power Line Communication - Funcionamento

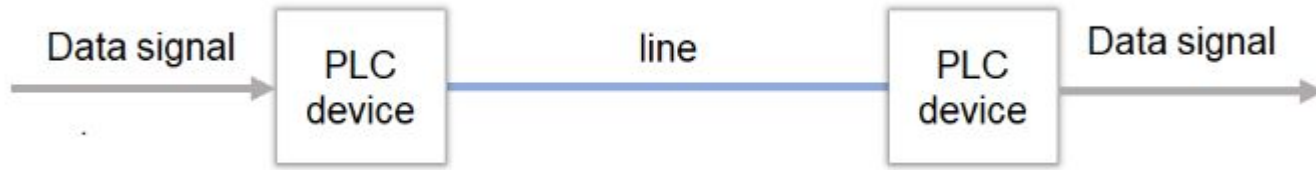


Fig. 3
Funcionamento

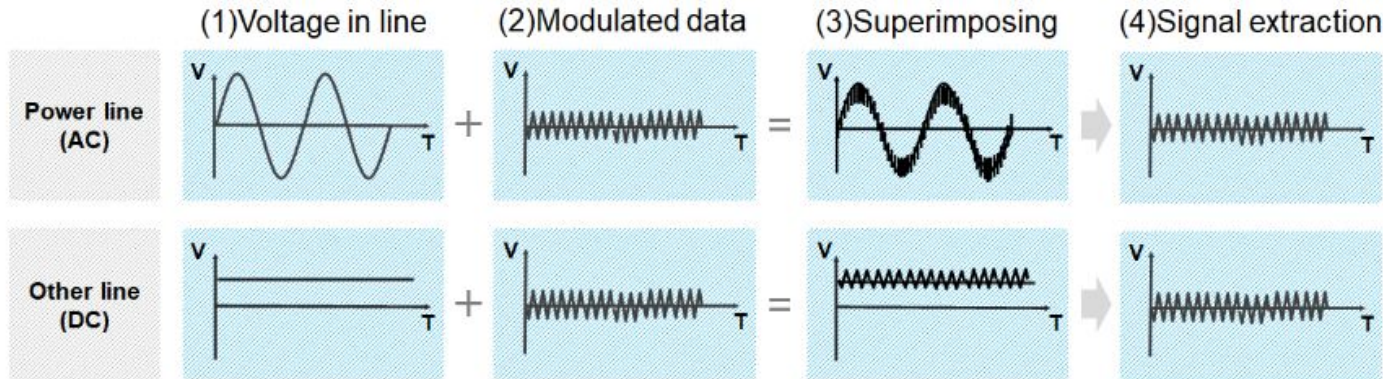


Fig. 4
Transmissão

PLC na Camada Física - Conceitos

Modulação

Modifica uma onda para transmitir informações (portadora).

In: **Dados** {digitais, analógicos}

Out: **Sinais** {analógicos, digitais}

Demodulação = recuperação

Multiplexação

Transmissão de mais de um sinal em um mesmo meio físico.

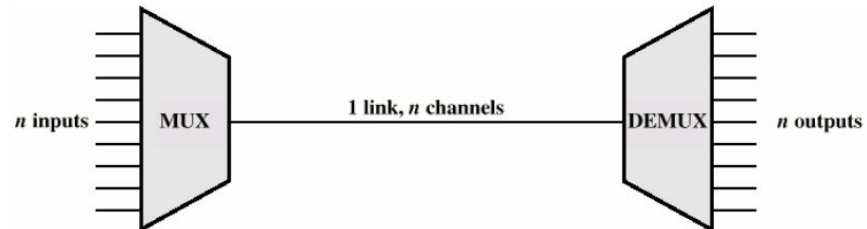


Fig. 5 Exemplo de multiplexação.

PLC na Camada Física - FSK

Uma das técnicas de modulação mais estudada no PLC é o FSK.

Frequency Shift Keying

- Bit 0 = Frequência menor
- Bit 1 = Frequência maior

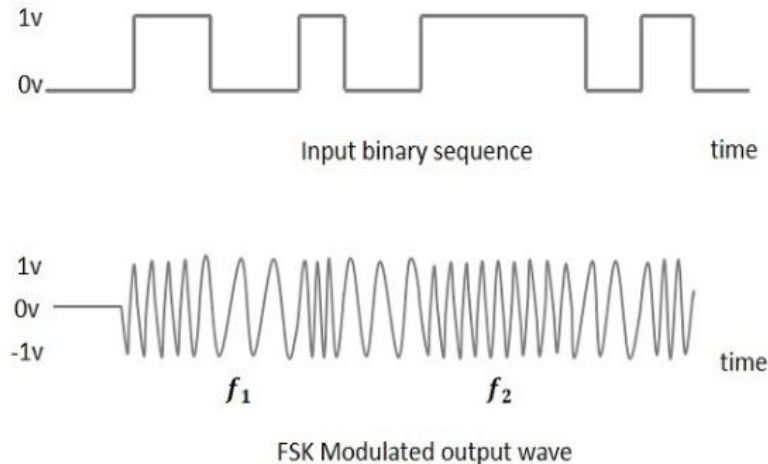


Fig. 6 Exemplo de conversão binário-sinal por FSK.

PLC na Camada Física - OFDM

Outra técnica muito estudada em PLC, desta vez em multiplexação, é a OFDM.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- Divide a largura de banda em múltiplas subportadoras ortogonais (canais).

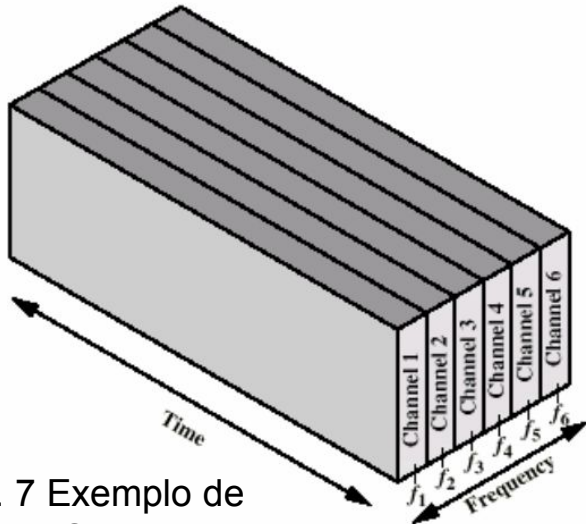


Fig. 7 Exemplo de canais OFDM.

Conversor serial-paralelo -> Modulação

Code-division Multiple Access

Não é exatamente uma técnica de modulação, entretanto pode ser utilizada para se compartilhar a mesma frequência sem causar interferência. Podendo distinguir diferentes sinais através da rede elétrica.

- Eficaz contra ruídos e outras interferências.

PLC na Camada Física - CDMA - II

Entretanto, é necessário que o *Processing Gain* seja alto.

$$P_G = \frac{B_t}{B_d}$$

Para contornar ruídos e interferências.

P_G baixo afeta na qualidade do sinal, deixando inutilizável.

B_t - *Transmission Bandwidth*

B_d - *Data Bandwidth*

PLC na Camada Física - Resumo

- **FSK:** Baixas transmissões de dados.
- **OFDM:** Altas transmissões de dados.
- **CDMA:** Para taxas até 1 Mbps.

PLC na Camada de Enlace - MAC

Na camada de Enlace existem os protocolos de ***Medium Access Control***, que podem ser divididos em duas categorias:

1. Fixed Access

Não aplicável aos PLC. Capacidade fixada, que vai contra o “tráfego intermitente” (*bursty traffic*) do PLC.

2. Dynamic Access

Escolha para o PLC.

PLC na Camada de Enlace - MAC - Dynamic Access

Os protocolos de acesso dinâmicos podem ser divididos em duas categorias:

1. **Contentions based protocols:** colisão ocorre.
 - Sem garantia de **Quality of Service (QoS)**.
2. **Arbitration based protocols:** sem colisão.
 - Melhor garantia de **QoS**.

PLC na Camada de Enlace - MAC - Protocolos

- **ALOHA:** Possui baixo *throughput* e QoS, por não gerenciar colisões
- **Arbitration baseado em Polling:** Consegue lidar com alto tráfego e garantir **QoS**.
 - Padrões assimétricos de tráfego;
 - Lista de polling (lista de estações) precisam ser atualizadas frequentemente.
- **CSMA e CSMA/CD:** em PLC as detecções de variações de sinais e os ruídos são difíceis e inviáveis.

PLC na Camada de Enlace - MAC - CSMA/CA

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

1. espera até que o canal esteja parado;
2. envia o **RTS** (*Request to Send*) e espera os outros responderem com o *Clear to Send* (**CTS**).

menos retransmissões = mais throughput

Protocolo escolhido para o padrão Homeplug (PLC em casas).

Power Line Communication - Vantagens

- Fácil instalação;
- Segurança (vs Wi-Fi);
- Boas cobertura;
- Monitoramento.
- Baixo custo;

Power Line Communication - Vantagens

- Variação da impedância, ruído e entre outras interferências afetam a rede.
- A própria instalação do receptor PLC pode levar a um baixo SNR (*signal to noise ratio*), caso esteja perto de uma fonte de ruído, como outro aparelhos ligados a rede que causam interferência eletromagnética.
- Os ruídos produzidos na PLC não seguem o White Gaussian Noise, ficando difícil prever e mitigar.

Redes Mesh - Introdução

- É uma alternativa de protocolo ao padrão 802.11 (Wi-Fi)
- Caracteriza-se por nós Wireless que se comunicam diretamente com um ou mais nós, que operam como um “roteador”, sem a necessidade de um ponto de acesso central.



Fig. 8 Mesh vs roteador Wi-Fi.

Redes Mesh - Padrão e Protocolos

- **IEEE 802.11s** : Define como os nós se comunicam e estabelecem uma topologia de rede auto-organizada.
- **IEEE 802.15.5**: Permite que dispositivos WPAN promovam topologias de malha sem fio interoperáveis, estáveis e escaláveis.
- **6LoWPAN**: Permite que os dispositivos compatíveis com o IPv6 se comuniquem em redes Mesh de baixa potência.
- **OLSR (Optimized Link State Routing)**: Gerencia o tráfego de pacotes de controle entre os nós, sempre buscando o caminho mais curto.
- **BATMAN (Better Approach To Mobile Ad-Hoc Networking)**: Pretende substituir o OLSR, o principal ponto é a descentralização do conhecimento sobre a melhor rota através da rede – nenhum nó possui todos os dados.

Redes Mesh - IEEE 802.11s

- Se tornou parte do padrão IEEE 802.11 em 2012
- Geralmente é implementado juntamente com outros protocolos como: OLSR, B.A.T.M.A.N, 802.11ax
- Presença de links com múltiplos saltos
- Uso de nós intermediários para retransmitir pacotes
- Utiliza chaves de autenticação entre os pares

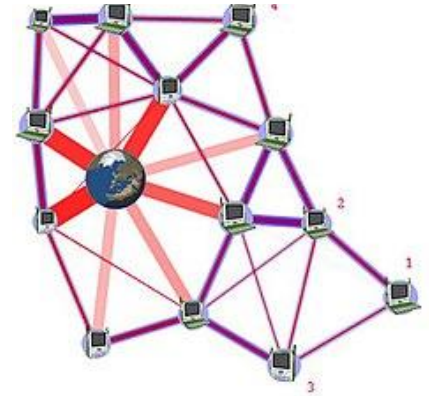


Fig. 9 Rede Mesh Global

Redes Mesh - B.A.T.M.A.N.

- Em desenvolvimento pela comunidade de Freifunk
- Divide o conhecimento sobre os melhores caminhos ponta a ponta entre os nós da malha para todos os nós participantes
- Não há necessidade de um conhecimento global sobre as mudanças de topologia - evitando a sobrecarga de tráfego de controle
- Os nós enviam OGMs para informar aos outros nós a sua existência



Fig. 10 Logo
B.A.T.M.A.N.

Redes Mesh - OpenWiMesh

- Modelo Híbrido - OLSR + SDN (Openflow)
- Framework para construir uma rede flexível e eficiente

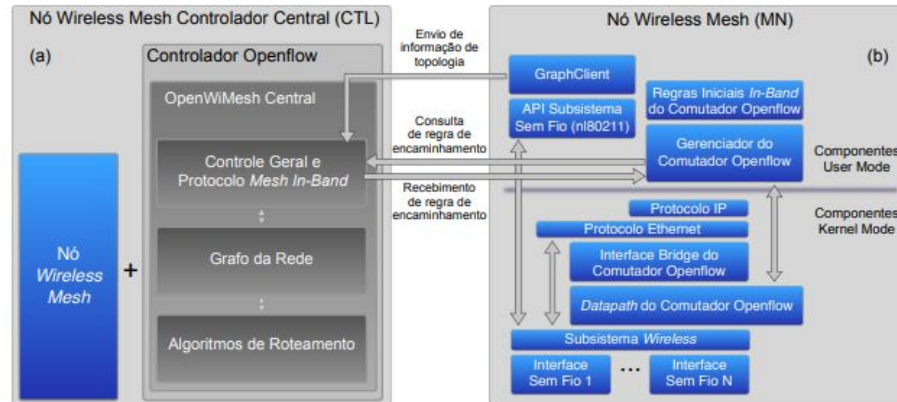


Fig. 11
Arquitetura do
OpenWiMesh.

Redes Mesh - Vantagens e Desvantagens

- Vantagens:

- Tolerância a Falhas
- Escalabilidade
- Cobertura Uniforme
- Roaming Transparente
- Mobilidade

- Desvantagens:

- Ligeira Latência Adicional
- Custo Inicial
- Complexidade de Gerenciamento

Redes Mesh - Comparação com Repetidores

- **Repetidores:** Retransmite o sinal do roteador principal. Possui um **custo mais baixo**, porém com uma **maior latência**
- **Mesh:** Cria uma rede única dinâmica e auto-organizável. **Sem perda** de velocidade, mas há um **custo elevado**

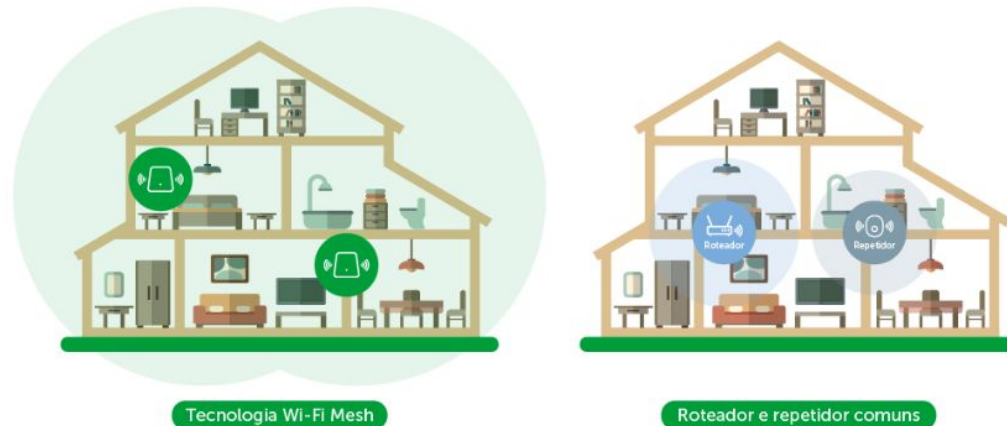


Fig. 12 Mesh vs. repetidor Wi-Fi.

Projeto

- Analisar e comparar o uso das duas tecnologias no cenário de Agricultura Inteligente.
- Propor melhorias em cada um dos casos.
- Projetar um sistema híbrido, utilizando Redes Mesh e PLC em conjunto, para se utilizar neste cenário.

Referências - I

FACCIONI, André Umberto; TRICHEZ, Lucas Marcon; MACEDO, Ronaldo Lopes. **Análise sobre a tecnologia PLC (Power Line Communication)**. Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial, v. 1, n. 2, p. 54-74, 2008. ISSN 1983-1838.

MAJUMDER, Anindya et al. **Power line communications**. IEEE Potentials, v. 23, n. 4, p. 4-8, 2004. Editora: IEEE.

IEEE STANDARDS ASSOCIATION et al. **IEEE standard for broadband over power line networks: Medium access control and physical layer specifications**. IEEE std, v. 2010, n. 2010, p. 1-1586, 2010.

Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Introdução a Power Line Communication (PLC)**. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2009_2/renan/intro.html. Acesso em: [03 de Novembro de 2023].

What is Power Line Communication. Disponível em: <https://nessum.org/media/technology-blog/what-is-power-line-communication>. Acesso em: [03 de Novembro de 2023].

Power Line Communication: Uma breve apresentação. Disponível em: [https://revista.facear.edu.br/artigo/download/\\$/power-line-communication-uma-breve-apresentacao-](https://revista.facear.edu.br/artigo/download/$/power-line-communication-uma-breve-apresentacao-). Acesso em: [03 de Novembro de 2023].

Referências - II

LEE, Myung J. et al. **IEEE 802.15.5 WPAN mesh standard-low rate part: Meshing the wireless sensor networks**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v. 28, n. 7, p. 973-983, 2010. DOI: 10.1109/JSAC.2010.100902.

REDES MESH BRASIL 2008 MAIA.PDF". Disponível em:
http://mikrotikbrasil.com.br/artigos/Redes_Mesh_Brasil_2008_Maia.pdf. Acesso em: [03 de Novembro de 2023].

SFU, Simon Fraser University. **ENSC427 Group9 batman presentation.** Disponível em:
https://www.sfu.ca/~ljilja/ENSC427/Spring11/Projects/team9/ENSC427_Group9_batman_pres.pdf. Acesso em: 04 de novembro de 2023.

KLEIN, Alexander; BRAUN, Lothar; OEHLMANN, Fabian. **Performance study of the Better Approach to Mobile Adhoc Networking (B.A.T.M.A.N.) protocol in the context of asymmetric links**. In: 2012 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM). 2012. p. 1-7. DOI: 10.1109/WoWMoM.2012.6263783.

FIGUEIREDO, Gustavo. **OpenWiMesh: um Framework para Redes Mesh Sem Fio Definidas por Software**. Disponível em:
https://www.researchgate.net/profile/Gustavo-Figueiredo-7/publication/279850891_OpenWiMesh_um_Framework_para_Red_Mesh_Sem_fio_Definidas_por_Software/links/559bec3808ae7f3eb4cee192/OpenWiMesh-um-Framework-para-Redes-Mesh-Sem-fio-Definidas-por-Software.pdf. Acesso em: [04 de Novembro de 2023].



Obrigado!!

**Caio Bonani Carvalho
Luiz Fernando de Cristo Moloni**

{caio.bonani, luiz.moloni}@unifesp.br