

# PIBIC-ESTUDOS

## CONCEITOS BÁSICOS:

### *Channel State Information (CSI):*

Se o **RSSI** é um único número que resume a **força total** do sinal recebido, o **CSI** é um "raio-x" incrivelmente detalhado de *como* o sinal viajou do transmissor ao receptor.

Lembre-se do **OFDM**, que divide o sinal Wi-Fi em múltiplas subportadoras (frequências). O CSI nos dá a **amplitude** e a **fase** de cada uma dessas subportadoras. Se um roteador usa MIMO (múltiplas antenas), o CSI nos dá essa informação para cada par de antenas TX-RX.

### **Analogia para Diferenciar RSSI e CSI:**

**RSSI:** É como olhar para um lago e dizer: "A água parece estar a 1 metro de profundidade em média". É uma única medida, um resumo grosseiro.

**CSI:** É como ter um sonar que te dá um mapa 3D completo do fundo do lago, mostrando cada pedra, cada buraco e cada variação de profundidade. É uma informação rica e multidimensional.

O resultado é que o CSI captura os efeitos do **Multipath** (ecos) de forma extremamente detalhada. Pequenas mudanças no ambiente, como uma pessoa se movendo, alteram drasticamente a fase das subportadoras, o que o CSI consegue detectar, mas o RSSI não.

**Importante:** Obter dados de CSI não é trivial. Requer placas de rede Wi-Fi específicas (como a Intel 5300 NIC ou alguns modelos da Atheros) e software especializado (como o Linux CSI Tool) para extrair essa informação, que normalmente não é acessível em smartphones ou notebooks comuns.

### **Aplicação do CSI em Localização Interna**

A riqueza de detalhes do CSI permite técnicas de localização muito mais sofisticadas e precisas.

### **Fingerprinting com CSI (A Aplicação Principal)**

Esta é uma evolução direta do *fingerprinting* com RSSI.

**Fase Offline (Treinamento):** Em cada ponto do mapa, em vez de salvar um pequeno vetor de valores de RSSI, o sistema salva o **"raio-x" completo do CSI**. Esse *fingerprint* de CSI é um conjunto de matrizes complexas (amplitude e fase para cada subportadora e par de antenas), contendo centenas ou milhares de valores.

**Fase Online (Localização):** O dispositivo mede o CSI em tempo real e o compara com o radio mapa.

## Vantagem:

**Unicidade e Estabilidade:** O *fingerprint* de CSI de um local é muito mais único e estável ao longo do tempo do que um *fingerprint* de RSSI. Os múltiplos valores de amplitude e, especialmente, de fase são muito menos suscetíveis a ruídos gerais, tornando a "assinatura" do local inconfundível.

**Precisão:** Como a assinatura é mais rica, a correspondência no radiomapa é muito mais precisa. Sistemas como o **FILA** e o **DeepFi** usam o poder das **redes neurais profundas (Deep Learning)** para processar essa grande quantidade de dados e alcançam precisões na casa de **dezenas de centímetros**, algo impensável com RSSI.

## Estimação de Ângulo de Chegada (Angle of Arrival - AoA)

**Como Funciona:** Em um receptor com múltiplas antenas (MIMO), o sinal vindo de um transmissor chegará a cada antena com uma pequena diferença de tempo, o que se traduz em uma **diferença de fase** no sinal.

**Aplicação:** Ao analisar as diferenças de fase do CSI entre as várias antenas do receptor, é possível calcular o **ângulo de chegada** do sinal. Com o AoA de dois ou mais roteadores, pode-se usar **triangulação angular** para determinar a posição do dispositivo com alta precisão, sem a necessidade de um radiomapa.

Em resumo, o CSI revolucionou a pesquisa em localização interna ao fornecer uma visão do canal de rádio ordens de magnitude mais detalhada que o RSSI, permitindo não apenas um posicionamento extremamente preciso, mas também aplicações inovadoras como a detecção de presença e atividade sem a necessidade de um dispositivo no alvo.

fontes: [Fine-grained Indoor Localization System](#)  
[Deep Learning based Indoor Fingerprinting](#)  
[A Survey on Wi-Fi Based Indoor Positioning Techniques](#)

## RSSI vs. RSS:

No universo da localização interna, os termos RSSI e RSS são frequentemente utilizados, muitas vezes de forma intercambiável, para descrever a força do sinal de rádio. Embora intrinsecamente relacionados, existe uma diferença técnica fundamental entre os dois que, na prática, se torna mais uma questão de nomenclatura do que de funcionalidade distinta.

**Em essência, o RSS (Received Signal Strength) é a medida real da potência do sinal recebido, enquanto o RSSI (Received Signal Strength Indicator) é um indicador ou uma representação dessa potência.**

## A Profundidade da Diferença

Para uma compreensão mais clara, detalhamos cada um:

**RSS (Received Signal Strength - Força do Sinal Recebido):** Esta é a medida física da potência do sinal de rádio que um dispositivo receptor capta de um transmissor (como um beacon Bluetooth ou um roteador Wi-Fi). O RSS é tipicamente medido em decibéis-miliwatts (dBm), uma unidade logarítmica que expressa a potência. Por ser uma medida padronizada, o RSS é a base para os cálculos em algoritmos de localização interna, como a trilateração e o *fingerprinting* (impressão digital de radiofrequência).

**RSSI (Received Signal Strength Indicator - Indicador de Força do Sinal Recebido):** O RSSI, por sua vez, é um valor relativo que indica a força do sinal. Ele não é, por si só, uma medida de potência em unidades físicas como o dBm. Em vez disso, é muitas vezes um número inteiro, frequentemente em uma escala arbitrária definida pelo fabricante do hardware (por exemplo, de 0 a 255). Este valor de RSSI é derivado do RSS, mas a forma como essa conversão é feita pode variar significativamente entre diferentes dispositivos e fabricantes.

### ***A Convergência na Prática***

Apesar da distinção técnica, no contexto prático da localização interna, a linha que separa RSS e RSSI torna-se tênue. Muitos sistemas e documentações técnicas usam o termo "RSSI" para se referir à força do sinal, mesmo quando os valores utilizados nos cálculos estão, de fato, em dBm (ou seja, são valores de RSS).

Isso ocorre porque o princípio fundamental para a localização é o mesmo, independentemente da nomenclatura: **a potência do sinal diminui à medida que a distância entre o transmissor e o receptor aumenta.** Ao medir essa força do sinal (seja ela chamada de RSS ou RSSI), é possível estimar a distância e, conseqüentemente, a localização de um objeto ou pessoa em um ambiente interno.

### ***Implicações para a Localização Interna***

A principal implicação dessa diferença reside na necessidade de calibração e consistência. Como os valores de RSSI podem ser relativos e variar entre dispositivos, é crucial que, ao desenvolver um sistema de localização interna, se leve em conta essas potenciais inconsistências.

Para contornar essa variabilidade, muitos sistemas convertem os valores brutos de RSSI para a unidade padronizada de RSS (dBm) antes de aplicá-los nos algoritmos de posicionamento. Isso garante uma maior precisão e confiabilidade, especialmente em ambientes com uma grande diversidade de dispositivos.

Em resumo, enquanto o **RSS é a medida física e padronizada da força do sinal**, o **RSSI é um indicador relativo dessa força**. Na prática da localização interna, ambos os termos são frequentemente usados para descrever o mesmo conceito fundamental: a medição da intensidade do sinal para estimar a distância e a posição. O importante é compreender a

natureza do dado de força do sinal que está sendo utilizado e garantir a sua consistência para a precisão do sistema.

fonte: [RSSI interpretation and timing](#)

### ***Proximity (Proximidade):***

A técnica de proximidade não tenta calcular as coordenadas exatas de um objeto ou pessoa (como a posição x,y em um mapa). Em vez disso, seu objetivo é determinar quando um dispositivo entra ou sai de uma área de interesse pré-definida.

Pense nela como um farol. O farol não diz a um navio sua latitude e longitude exatas, mas sua luz confirma que o navio está "próximo" à costa. A lógica é a mesma.

O funcionamento se baseia em quatro componentes principais:

#### **1. Os Transmissores (Beacons):**

No coração da técnica estão pequenos transmissores de rádio de baixo custo, chamados beacons.

A tecnologia mais usada para isso é a Bluetooth Low Energy (BLE), pois os beacons podem operar por anos com uma simples bateria de moeda.

Cada beacon é configurado para transmitir continuamente um identificador único (um ID), como um nome ou número de série, em intervalos regulares (ex: 10 vezes por segundo).

#### **2. O Receptor (Geralmente um Smartphone):**

Um dispositivo receptor, como um smartphone com um aplicativo específico instalado, fica "escutando" por esses sinais de beacon.

O aplicativo é programado para reconhecer os IDs dos beacons que são de seu interesse.

#### **3. A Métrica (RSSI - Received Signal Strength Indicator):**

Quando o smartphone detecta o sinal de um beacon, ele mede a força desse sinal. Essa medida é o RSSI.

A regra fundamental é: quanto mais forte o sinal (ou seja, quanto menos negativo o valor em dBm), mais perto o receptor está do transmissor.

#### **4. A Lógica de Decisão (O Limiar):**

Aqui está o núcleo da técnica. Em vez de usar fórmulas complexas para converter o RSSI em uma distância exata em metros (o que é muito impreciso), o sistema usa uma lógica de limiar (threshold) simples e robusta.

Um desenvolvedor define um valor de RSSI como a "fronteira" da zona de interesse.

**Exemplo Prático da Lógica:** Imagine uma loja que coloca um beacon na seção de calçados.

Definição do Limiar: Eles medem o sinal e definem que a "zona de calçados" corresponde a um sinal do beacon mais forte que -75 dBm.

Evento de Entrada: Quando um cliente com o app da loja entra na seção, o RSSI medido pelo seu smartphone ultrapassa -75 dBm (ex: -70 dBm). O aplicativo detecta isso e aciona um evento: `gatilho_entrou_na_secao_calcados()`.

Evento de Saída: Quando o cliente se afasta e o sinal enfraquece para menos de -75 dBm, o aplicativo dispara um evento de saída, `gatilho_saiu_da_secao_calcados()`.

Para tornar o sistema mais inteligente, podem ser adicionadas regras de tempo. Por exemplo, uma oferta só é enviada se o cliente permanecer na zona (sinal acima de -75 dBm) por mais de 30 segundos, ignorando quem está apenas de passagem.

### ***Aplicações da Localização por Proximidade***

A simplicidade e o baixo custo tornam essa técnica extremamente versátil. Suas aplicações não se limitam a saber "onde", mas sim a acionar ações baseadas no contexto da localização.

#### **1. Varejo Inteligente e Marketing de Proximidade:**

Aplicação: Enviar notificações push com ofertas e cupons relevantes quando um cliente se aproxima de um produto ou entra em um corredor específico.

Exemplo em Manaus: Um cliente no Manauara Shopping entra em uma loja de departamento. Ao se aproximar da seção de eletrônicos, onde um beacon está instalado, ele recebe uma notificação no celular: "TVs 4K com 20% de desconto hoje!".

#### **2. Museus, Exposições e Pontos Turísticos:**

Aplicação: Criar experiências interativas. Quando um visitante se aproxima de uma obra de arte ou de um ponto de interesse, um aplicativo pode automaticamente exibir informações, vídeos ou áudio-guias sobre aquele item.

Exemplo em Manaus: Imagine visitar o Teatro Amazonas. Ao entrar no Salão Nobre, seu celular automaticamente mostraria a história do teto pintado por De Angelis. Ao se aproximar de uma vitrine com figurinos antigos, o app exibiria detalhes sobre a peça em que foram usados.

### 3. Indústria 4.0 e Logística:

Aplicação: Rastreamento de ativos e segurança. Saber em qual galpão, linha de montagem ou sala se encontra uma ferramenta cara ou um palete de mercadorias.

Exemplo: Uma fábrica na Zona Franca de Manaus anexa beacons a equipamentos de medição valiosos. O sistema não mostra a coordenada exata, mas informa que o "osciloscópio #3" está atualmente na "Zona de Testes de Qualidade", prevenindo perdas e agilizando o processo. Também pode criar alertas se um equipamento sair de uma área autorizada.

### 4. Automação e Ambientes Inteligentes (Escritórios e Casas):

Aplicação: Personalização do ambiente. As luzes de uma sala de reunião podem acender e o projetor ligar automaticamente quando detectam a presença de um funcionário (pelo smartphone ou crachá com beacon).

Exemplo: Em um escritório, ao chegar na sua mesa, o sistema faz seu "check-in" automaticamente, e se a sala estava vazia, ajusta o ar-condicionado para sua temperatura preferida.

Em resumo, a técnica de proximidade é poderosa não por sua precisão, mas por sua capacidade de conectar o mundo digital a locais físicos específicos, permitindo a criação de sistemas contextuais, inteligentes e automatizados com uma infraestrutura relativamente simples.

fontes: [Apple Developer Documentation - iBeacon](#)

[Google Developer Documentation - Nearby Messages API](#)

### *Trilateração / Multilateração (Impressão Digital de RF ou Análise de Cena):*

Ambas as técnicas compartilham o mesmo objetivo: calcular as coordenadas geométricas exatas (x, y) de um dispositivo. Elas fazem isso em um processo de duas etapas: primeiro, estimam a distância do dispositivo a vários pontos de referência; segundo, usam geometria para encontrar a única posição que satisfaz todas essas distâncias.

#### **Etapas 1: A Base de Tudo - Convertendo Força do Sinal (RSSI) em Distância**

O pré-requisito para a trilateração funcionar é conseguir estimar a distância a partir da força do sinal. Isso é feito usando um Modelo de Perda de Percurso (Path Loss Model). O mais comum para ambientes internos é o Log-Distance Path Loss Model.

**A fórmula é:**

$$RSSI(d)=A-10 \cdot n \cdot \log_{10}(d)$$

**Onde:**

RSSI (d): É a força do sinal (em dBm) que você está medindo no seu dispositivo.

d: É a distância que você quer descobrir.

A: É um valor de referência calibrado. Representa a força do sinal medida a 1 metro de distância do transmissor.

n: É o expoente de perda de percurso. Este número descreve quão rapidamente o sinal se degrada no ambiente. Em espaço aberto, n é próximo de 2. Dentro de um prédio com paredes e obstáculos, n pode ser 3, 4 ou até mais.

**Para usar a fórmula, nós a invertemos para isolar a distância (d):**

$$d=10^{(A-RSSI(d))/10n}$$

**Na prática:** Para cada um dos seus pontos de referência (roteadores Wi-Fi ou beacons), você mede o RSSI e, usando os valores calibrados de A e n, calcula uma distância estimada.

**Etapa 2 (Opção A): A Técnica de Trilateração**

A trilateração é a forma mais simples e utiliza o mínimo de pontos de referência necessários em um plano 2D: três.

**Como Funciona:**

1. Medição: O seu dispositivo (ex: smartphone) mede o RSSI de três pontos de referência com posições conhecidas (Ponto A, Ponto B, Ponto C).
2. Estimativa de Distância: Usando a fórmula acima, ele calcula três distâncias: d\_A (distância ao Ponto A), d\_B (distância ao Ponto B) e d\_C (distância ao Ponto C).
3. Criação dos Círculos: Geometricamente, se você está a uma distância d\_A do Ponto A, sua posição está em algum lugar sobre a circunferência de um círculo com centro em A e raio d\_A. O sistema faz isso para os três pontos.
4. Encontrar a Interseção:
  - O círculo A e o círculo B se cruzam em dois pontos.
  - O terceiro círculo, C, idealmente passará por apenas um desses dois pontos.
  - Esse ponto único de interseção dos três círculos é a localização calculada do dispositivo.

**Etapa 2 (Opção B): A Técnica de Multilateração**

A multilateração é uma evolução da trilateração. Ela usa mais de três pontos de referência para aumentar a precisão e a robustez.

**Como Funciona:**

O processo inicial é o mesmo: medir o RSSI de quatro ou mais pontos e estimar as distâncias. A diferença está em como a posição é calculada.

Devido às imprecisões na conversão de RSSI para distância (o maior problema dessa técnica), os círculos nunca se cruzarão perfeitamente em um único ponto. Em vez disso, eles criarão uma área de sobreposição confusa.

A multilateração resolve isso usando algoritmos de otimização, como o Método dos Mínimos Quadrados (Least Squares). Em vez de procurar um ponto de interseção exato, o algoritmo calcula o ponto (x, y) que minimiza o erro geral, ou seja, o ponto que está "mais próximo" de estar em todas as circunferências ao mesmo tempo. Esse "melhor ajuste" (best fit) é a localização estimada.

### **O Grande Desafio: Por que Essas Técnicas Falham na Prática em Ambientes Internos**

Embora matematicamente elegantes, a trilateração e a multilateração são notoriamente imprecisas em ambientes internos por uma razão principal: a conversão de RSSI para distância é extremamente instável e não confiável.

Isso acontece por causa de:

1. **Multipath (Múltiplos Percursos):** O sinal de rádio não viaja apenas em linha reta. Ele reflete em paredes, tetos, móveis e pessoas, chegando ao receptor por múltiplos caminhos e com diferentes intensidades, o que distorce a medição do RSSI.
2. **Atenuação (Obstáculos):** O corpo humano, uma parede de concreto ou uma divisória de metal enfraquecem o sinal de forma drástica e imprevisível. O modelo de perda de percurso não consegue lidar com essa variedade de obstáculos.
3. **Interferência:** Outros dispositivos Wi-Fi, Bluetooth, fornos de micro-ondas, etc., criam ruído de radiofrequência que afeta a medição do RSSI.

**Conclusão:** A trilateração e a multilateração são técnicas fundamentais para entender a localização baseada em rádio. No entanto, sua dependência de um modelo de propagação de sinal ideal as torna frágeis em ambientes internos complexos e dinâmicos. É por isso que a técnica de Fingerprinting, que não tenta estimar a distância e em vez disso aprende as "imperfeições" do sinal em cada local, geralmente oferece uma precisão muito superior na prática.

fonte: [Wireless Positioning Technologies and Applications](#) (livro)

### ***Fingerprint (Impressão Digital de RF ou Análise de Cena):***

O método de Fingerprinting de Radiofrequência (RF-Fingerprinting), também conhecido como Análise de Cena (*Scene Analysis*), é a abordagem de localização mais popular e é notável pela sua simplicidade, especialmente em ambientes internos (indoor) complexos.



O *fingerprinting* associa as características eletromagnéticas do sinal a uma localização específica, eliminando a necessidade de medir a distância ou o ângulo, o que o torna altamente viável para posicionamento interno, pois sua precisão não é afetada por efeitos de *multipath* ou propagação sem linha de visada (Non-Line-of-Sight - NLOS).

Aqui está um detalhamento claro da técnica de *RF-Fingerprinting*, conforme descrito nas fontes:

## 1. Princípio da Técnica

O *fingerprinting* se baseia na premissa de que cada localização dentro de um ambiente possui um vetor RSS (Received Signal Strength) exclusivo. Assim como uma impressão digital humana, este vetor serve como um identificador único da informação de localização.

Em uma rede Wi-Fi, por exemplo, o sistema funciona da seguinte forma:

1.1. Pontos de Acesso (APs): Os APs implantados (como AP1, AP2, ..., APn) emitem sinais sem fio.

1.2. Vetor RSS Único: Em um ponto específico, a intensidade do sinal recebido de cada AP é medida. Devido à perda de percurso (*path loss*), a intensidade do sinal Wi-Fi emitido pelo mesmo AP será única em diferentes distâncias de percurso. A coleção dessas intensidades de múltiplos APs constitui um vetor RSS (RSSi1, RSSi2, ..., RSSin).

1.3. Associação: Esse vetor RSS é mapeado e associado às coordenadas geográficas daquele ponto.

## 2. Processo de Posicionamento (Duas Fases)

O processo de localização por *fingerprinting* é dividido em duas etapas principais: a fase *offline* (coleta de dados) e a fase *online* (correspondência em tempo real).

### Fase Offline (Coleta de Dados / Treinamento)

Esta fase envolve a criação de uma base de dados que armazena as "impressões digitais" de radiofrequência do ambiente:

1. Seleção de Pontos de Referência (RPs): Como é inviável medir o vetor RSS em todos os locais, pontos de referência (RPs) são selecionados e dispostos em grade na área de interesse.
2. Coleta de RSS: Em cada RP, medições do RSS de todos os APs circundantes são coletadas (muitas vezes, a média é calculada para remover o efeito de *fading* rápido).
3. Construção do Mapa de Rádio (*Radio Map*): Os vetores RSS coletados, juntamente com as coordenadas conhecidas dos RPs, são armazenados em um banco de dados, que é chamado de Mapa de Rádio (Radio map) ou Base de Dados de Impressões Digitais.

*Desvantagens da Fase Offline:* A construção do mapa de rádio exige esforço maciço de trabalho (*massive work*). Além disso, mudanças no ambiente interno (como alterações no layout do edifício, ou adição/remoção de APs) exigem que o mapa de rádio seja atualizado regularmente, o que é uma desvantagem significativa da abordagem.

### Fase Online (Correspondência em Tempo Real)

Nesta fase, a localização do dispositivo móvel (MS) é determinada:

1. Coleta do Ponto de Teste (TP): O MS (ponto de localização desconhecida, chamado Ponto de Teste - TP) coleta seu vetor RSS atual.
2. Comparação e Correspondência: O vetor RSS do TP é comparado e correspondido com os vetores armazenados no mapa de rádio.
3. Estimação da Localização: A localização do TP é estimada geralmente como o RP que apresenta a menor distância Euclidiana em relação às medições do TP

## . Vantagens e Desvantagens

A técnica de *RF-Fingerprinting* é uma das mais adotadas, mas apresenta limitações:

Vantagens	Desvantagens
<b>Alta Precisão (High Accuracy)</b>	Requer <b>trabalho massivo</b> para construir o mapa de rádio ( <i>massive work to construct a radio map</i> ).
<b>Não é afetado pelo multipath.</b>	Requer a <b>atualização do mapa de rádio</b> se houver alteração no ambiente (adição/remoção de APs, mudança de layout).
<b>Não requer hardware adicional</b> (em redes Wi-Fi).	O sinal Wi-Fi é sensível a fatores como objetos estacionários e <b>pessoas em movimento</b> , que são uma fonte chave de interferência.
<b>Baixo Custo (Low Cost).</b>	Pode exigir algoritmos complexos de correspondência.

fonte: [Overview of WiFi fingerprinting-based indoor positioning](#) e outros papers de indoor localization

### *Estimação probabilística:*

A técnica de Estimação Probabilística (Probabilistic Estimation) é uma abordagem avançada de localização interna que, assim como o *fingerprinting* de radiofrequência (RF-Fingerprinting), é **baseada em medições de RSS/RSSI** (Received Signal Strength Indicator), mas modela o comportamento do sinal de maneira estatística.

Essa técnica visa **incluir mais informações sobre o intervalo estatístico das características de radiofrequência (RF)** de uma determinada localização, oferecendo geralmente um

desempenho de localização superior aos métodos puramente determinísticos, embora à custa de requisitos computacionais mais elevados e maior tempo de treinamento.

A aplicação da Estimativa Probabilística, como o método de Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood Estimation - MLE) ou algoritmos Bayesianos, é dividida em **duas fases principais**, semelhantes às usadas no *RF-Fingerprinting*:

### 1. Modelagem e Princípio Central

Ao contrário dos métodos determinísticos, que usam um único vetor para representar o RSS médio estimado para um local, as técnicas probabilísticas tratam o comportamento do RSS como uma variável aleatória.

O conceito central é que o *fingerprint* de localização é uma probabilidade condicional  $P(O|S)$ , onde  $O$  representa um vetor RSS observado e  $S$  denota uma localização ou célula conhecida.

**Função de Verossimilhança (*Likelihood Function*):**  $P(O|S)$  é a probabilidade de um usuário observar o vetor RSS  $O$  quando ele está na localização ou estado  $S$ .

### 2. Fase Offline (Treinamento ou Mapeamento Probabilístico)

Nesta fase, o objetivo é modelar a distribuição probabilística do sinal em todo o ambiente:

1. Divisão da Área: A área de estudo é dividida em grades ( $J$  grids).
2. Coleta de Dados: Medições de Intensidade de Sinal (SS) são coletadas em cada grade.
3. Processamento: Os dados coletados são processados para gerar uma distribuição probabilística para o comportamento do SS em cada localização.

#### Normal PDF (NPDF)

Um método comum para construir esse modelo é o Normal PDF (NPDF). Nesta abordagem, a base de dados de *fingerprint* armazena a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) calculados ao ajustar uma distribuição normal aos valores RSS amostrados para cada Ponto de Acesso (AP) em cada localização.

### 3. Fase Online (Estimação em Tempo Real)

Na fase online, a localização é inferida com base na medição atual do RSS:

1. Coleta do Vetor RSS: O dispositivo móvel coleta seu vetor RSS ( $ss$ ) de APs circundantes em uma localização desconhecida.
2. Estimção (MLE): A localização é determinada pela Estimção de Máxima Verossimilhança (MLE). O sistema procura a localização  $L_j$  que maximiza a probabilidade de o celular estar naquele local, dado o vetor RSS observado  $ss$ :  $\arg\max_{L_j} (P(L_j|ss))$ .
3. Uso de Bayes' Rule (Algoritmo Bayesiano): Os pesquisadores frequentemente implementam variações do Algoritmo Bayesiano, que combina o método NPDF com a regra de Bayes. A regra de Bayes define a probabilidade condicional  $P(S|O)$  (o usuário está no estado  $S$  dada a

observação  $O$ ) como dependente de  $P(O|S)$  (likelihood) e  $P(S)$  (probabilidade a priori). O NPDF é usado para determinar a verossimilhança  $P(O|S)$ .

### Desempenho e Contexto da Aplicação

1. Comparação de Precisão: A performance dos métodos MLE e *RF-Fingerprinting* (determinístico) é geralmente muito semelhante. Ambos tendem a ser mais precisos do que algoritmos baseados em alcance (Lateração NLS e LLS).
2. Eficiência de APs: O NPDF demonstra uma vantagem significativa, pois é capaz de produzir um desempenho comparável aos métodos *Nearest Neighbor* (NNSS) utilizando um número significativamente menor de APs. Isso torna o NPDF mais adequado para ambientes com baixa densidade de estações base do que os métodos determinísticos.
3. Variabilidade Ambiental: Os métodos probabilísticos, especialmente o Algoritmo Bayesiano, podem apresentar desempenho insatisfatório em ambientes não controlados com alta variabilidade nas características do sinal e nos APs. Nesses casos, o desempenho pode parar de aumentar após apenas algumas amostras.
4. Mitigação de Variabilidade: Para lidar com a alta variabilidade ambiental, foi proposta uma modificação no algoritmo Bayesiano que utiliza um filtro de moda (*mode filter*). Este filtro de moda provou ser muito eficaz na redução do erro de distância, abordando uma limitação chave do algoritmo Bayesiano em ambientes descontrolados.
5. Combinação com Métodos Determinísticos: É possível combinar a Estimção Probabilística (NPDF) com técnicas determinísticas de média de localização como KOLA (k-nearest neighbors location averaging), resultando em métodos como KNPfD e WKNPDF. Essa combinação pode impulsionar ainda mais o desempenho, alcançando melhorias de precisão.

fonte: [A comparison of deterministic and probabilistic methods for indoor localization](#)

### Técnicas para predição da localização interna:

## *Técnicas baseadas em medição do sinal:*

### **- RSS e RSSI**

As técnicas de localização interna que utilizam a força do sinal (seja chamada de RSS ou RSSI) são as mais populares devido ao baixo custo e por aproveitarem a infraestrutura já existente, como redes Wi-Fi e beacons Bluetooth.

Essencialmente, todas elas se baseiam no mesmo princípio físico: **quanto mais longe um dispositivo está de um transmissor, mais fraco é o sinal recebido**. A diferença entre as técnicas está em *como* elas utilizam essa informação para calcular a posição.

As três principais técnicas de localização interna baseadas em RSS/RSSI são:

1. [Proximidade \(Proximity\)](#)
2. [Trilateração / Multilateração \(Trilateration / Multilateration\)](#)
3. [Fingerprinting \(Impressão Digital de RF ou Análise de Cena\)](#)
4. [Estimação probabilística](#)

### **- Channel State Information (CSI)**

Os sistemas de localização interna (IPS) que utilizam a Informação do Estado do Canal (Channel State Information - CSI) empregam predominantemente a estratégia range-free (sem base em alcance), conhecida como Fingerprinting (ou Análise de Cena), devido à capacidade do CSI de explorar os efeitos de propagação por múltiplos caminhos (*multipath*) e sua robustez contra canais sem linha de visada (NLOS).

O CSI é uma **característica da camada física (PHY layer)** que fornece uma **descrição mais detalhada da resposta do canal do que o RSSI**, o que permite a discriminação de superposições de fase construtivas e destrutivas.

As principais técnicas e algoritmos de localização que utilizam o CSI como *fingerprint* incluem:

1. [Fingerprinting de CSI \(Análise de Cena\)](#)
2. [Técnicas Baseadas em Similaridade e Modelagem Física:](#)
  - Time-Reversal Resonating Strength (TRRS)
  - Log-likelihood Distance Metric
  - Algoritmo Bayesiano
3. [Técnicas de Machine Learning \(ML\) e Deep Learning \(DL\)](#)
4. [Técnicas de Pré-processamento e Melhoria](#)

### *Técnicas baseadas em tempo:*

#### *- Time of flight (ToF) / Time of Arrival (ToA)*

Essas técnicas são classificadas como baseadas em alcance (range-based) e utilizam o tempo de trânsito de um sinal para estimar a distância, que é então usada em mapeamentos geométricos para determinar a localização.

As principais técnicas envolvidas são a Lateração (ou Trilateração) e a Angulação, juntamente com os algoritmos utilizados para estimar o ToA e mitigar desafios como multipath.

1. **Lateração/Trilateração (Técnica Determinística)**
2. **Algoritmos de Ajuste e Minimização de Erro (Técnicas Determinísticas)**
  - **Quadrados Mínimos Não-Lineares (NLS - Non-linear Least Square)**
  - **Quadrados Mínimos Lineares (LLS - Linear Least Square)**
3. **Algoritmos de Estimação de ToA (Mitigação de Multipath)**
  - ***Filtro de Kalman***
  - ***Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood - ML)***
  - ***Técnicas de Subespaço (Subspace Techniques)***