

### 3

## Trabalhos Relacionados

Várias tecnologias sem-fio têm sido utilizadas para a construção de sistemas de localização para dispositivos móveis. Entretanto, não existe uma maneira uniforme de classificar tais sistemas. Em [14] os autores apresentam uma taxonomia com um conjunto de propriedades e classificam vários sistemas em função dessas propriedades. Entre essas propriedades podemos citar custo, precisão, infra-estrutura, local onde é realizado o cálculo de inferência, tipo de informação de localização fornecida, entre outras.

O tipo de informação de localização fornecida pode ser uma “Posição Física” ou uma “Localização Simbólica”. Posições físicas geralmente são determinadas em termos de coordenadas geográficas globais, como no *GPS*. Ao contrário, localizações simbólicas geralmente estão associadas a significados abstratos ou nomes de locais, tais como “Laboratório da Pós”, “Biblioteca”, etc.

Essencialmente, existem dois locais onde realizar o cálculo para determinar a localização: no cliente ou na rede. No cliente, o próprio dispositivo móvel ou o objeto sendo localizado é responsável por realizar o cálculo e disponibilizar essa informação. Outra alternativa é realizar esse cálculo na rede, através de medições realizadas em pontos de acesso da rede (antenas), ou do envio das informações necessárias por parte dos dispositivos a um servidor central. Dessa forma, o servidor é responsável pelo cálculo e distribuição da informação.

Essas duas opções apresentam vantagens e desvantagens claras. Em relação a privacidade do usuário sendo localizado, quando a localização é calculada pelo próprio dispositivo o usuário pode ter controle total sobre como distribuir sua localização a outros usuários. No caso do cálculo realizado na rede o usuário precisa confiar a terceiros uma informação bastante sensível ao mesmo. No entanto, isso não parece ser um grande problema, já que atualmente usuários já dependem, e confiam em um certo nível, em serviços centralizadores

de informações, como provedores de internet e servidores de e-mail.

Um fator favorável ao cálculo e distribuição da informação de localização pela rede são os escassos recursos encontrados em dispositivos móveis, onde podemos citar desde a limitação de energia até a pouca largura de banda disponível. Nesta escolha o dispositivo móvel é responsável apenas por informar os dados necessários ao cálculo da localização, tanto a tarefa de inferência da localização como a distribuição dessa informação é responsabilidade de um servidor central, provavelmente localizado na rede fixa, com recursos abundantes para realizar essas tarefas.

As tecnologias de transmissão de ondas no espectro infravermelho, ultrassom, ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que inclui o espectro para o padrão para *WLANs* IEEE 802.11, e o espectro do *Global Positioning System* (1575.42 MHz na banda UHF), são as mais utilizadas na localização de dispositivos móveis.

A seguir discutiremos brevemente o sistema de localização *GPS* e os sistemas que utilizam tecnologias no espectro de frequência infravermelho e ultrassom. Em seguida descreveremos, em mais detalhes, abordagens para a localização usando o padrão IEEE 802.11.

### **Rádio frequência: GPS**

O *Global Positioning System (GPS)* [15, 16] é possivelmente o sistema de localização mais conhecido e utilizado. O *GPS* é um sistema de navegação apoiado por uma rede de 24 satélites colocados em órbita pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Originalmente o sistema foi destinado à aplicações militares. Entretanto, na década de 80, o governo americano tornou o sistema disponível para uso civil.

Satélites *GPS* circundam a terra duas vezes ao dia em uma órbita precisa transmitindo informações de sinais para a Terra. Receptores *GPS* recebem essa informação e usam a técnica de multilateração para calcular a localização do receptor. Basicamente, o receptor calcula a diferença de tempo entre a transmissão do sinal pelo satélite e o tempo de chegada ao receptor. Esta diferença é proporcional à distância do receptor ao satélite. Com a distância a três satélites, o receptor pode determinar a sua posição *2D* (latitude e longitude). Quando o receptor está na visada de quatro ou mais satélites é possível determinar a sua posição *3D* (latitude, longitude e altitude).

A localização usando *GPS*, apesar de altamente disseminada e com equipamentos cada dia mais baratos, ainda não são facilmente encontrados em dispositivos móveis como *handhelds*. Outra desvantagem dessa tecnologia é a impossibilidade de funcionamento em ambientes internos, dado que os sinais *GPS* são obstruídos por construções devido à baixa potência de transmissão do sinal.

## Infravermelho

Infravermelho é a parte do espectro eletromagnético com frequência entre  $300GHz$  e  $400THz$ . Uma propriedade importante é que sinais infravermelho não são capazes de atravessar paredes como sinais de rádio. Outra propriedade interessante do infravermelho é que o mesmo não é visível pelo olho humano. A tecnologia infravermelho tem sido usada em um grande número de aplicações comerciais, desde controle remotos até equipamentos com visão noturna. Por já ser explorada comercialmente, a tecnologia de infravermelho é de baixo custo e altamente disponível para o desenvolvimento de novas aplicações.

O *Active Badge Location System* [17], desenvolvido no AT&T Cambridge, foi um dos primeiros sistemas de localização criado. O *badge*, utilizado por usuários ou objetos a serem localizados, emite um sinal infravermelho com um identificador global único a cada 10 segundos ou sob demanda. Um servidor na rede os dados dos sensores infravermelhos fixos no ambiente, agrega-os, e provê uma *API* para acesso aos dados.

A tecnologia de infravermelho é capaz de prover informação precisa sobre a localização de pessoas e objetos. Entretanto, tal tecnologia apresenta algumas desvantagens, tais como, a necessidade de uma grande quantidade de sensores infravermelho devido ao seu limitado alcance (aproximadamente 30m [18], restringindo o tamanho da célula de localização a pequenos e médios ambientes), baixa escalabilidade, alto custo de instalação e manutenção e grandes variações quando sujeitos à luz solar [2].

## Ultra-som

Ultra-som é a parte do espectro eletromagnético com frequência acima de  $20KHz$ . Semelhante ao infravermelho, o ouvido humano não é capaz de escutar sons nessa frequência. Ultra-som é largamente utilizado na indústria e

na medicina, como exemplo podemos citar aparelhos de ultra-sonografia, uma aplicação bastante conhecida que faz uso do ultra-som.

O *Active Bat* [19], também desenvolvido no AT&T Cambridge, utiliza a técnica de multilateração [20] para prover uma localização mais precisa do que o sistema *Active Badge*. Usuários e objetos utilizam crachás, que emitem um pulso ultra-sônico captado por uma grade de receptores montados no teto do ambiente e, simultaneamente, um sinal de rádio frequência. Cada receptor calcula a diferença entre o intervalo de tempo do sinal de rádio frequência e do pulso ultra-sônico para obter a distância ao crachá.

O *Cricket Location System* [21], utiliza emissores ultra-som no ambiente e receptores de baixo custo embutidos nos objetos a serem localizados. Essa estratégia exige ao dispositivo calcular sua própria informação de localização através de multilateração. Semelhante ao sistema *Active Bat*, o *Cricket* utiliza pulsos ultra-sônicos e sinais de rádio frequência. Entretanto, o sistema não necessita de uma grade de sensores de teto com posições fixas como no *Active Bat* porque o receptor, no dispositivo móvel, é o responsável por calcular sua própria localização. O sistema *Cricket* representa um compromisso entre precisão e baixo custo em hardware quando comparado ao sistema *Active Bat*.

A utilização de ultra-som requer uma complexa infra-estrutura em todo o ambiente de interesse, sendo particularmente sensível à posição desses sensores. Desta forma, falta de escalabilidade, dificuldade de implantação e custos elevados são as principais desvantagens desta tecnologia.

## **IEEE 802.11**

Sistemas de localização baseados no padrão IEEE 802.11 podem ser divididos, a grosso modo, em dois grupos, de acordo com o tipo de informação utilizada para determinar a localização de um dispositivo móvel. O tipo de informação utilizada pode ser a posição do ponto de acesso corrente ou informações sobre o sinal do ponto de acesso.

Os sistemas com estratégias mais simples para determinar a localização são o *Place Lab* [22, 23] e o *Herecast* [24]. Esses sistemas utilizam como estratégia de localização a informação sobre o ponto de acesso ao qual o dispositivo está conectado. Como cada ponto de acesso possui um identificador único, é possível distinguir inequivocamente este ponto de acesso de todos os outros. Esses sistemas mantêm armazenados, em uma base de dados,

para cada ponto de acesso um rótulo que identifica a localização física e/ou simbólica desse ponto de acesso. Usuários do sistema populam a base de dados com informações sobre pontos de acesso e sua identificação, compartilhando assim essas informações. Dessa forma, outros usuários podem utilizar estas informações para descobrir sua localização a partir do ponto de acesso ao qual os mesmos estão conectados.

O *Place Lab* mantém associado a cada ponto de acesso uma coordenada geográfica (latitude, longitude, altitude) obtida a partir de aparelhos *GPS*.

O sistema *Herecast*, ao invés de utilizar uma coordenada geográfica para localizar um ponto de acesso, utiliza o conceito de um marco de sinalização associado a cada ponto de acesso. Esse *landmark* nada mais é do que um rótulo lógico da localização de um ponto de acesso. Por exemplo, para um ponto de acesso localizado no 4<sup>o</sup> andar do prédio do RDC poderíamos marcá-lo com o rótulo “RDC - 4<sup>o</sup> Andar”.

Apesar dessa estratégia de associação da localização pelo ponto de acesso corrente prover uma infra-estrutura para localização com baixo custo e de fácil implantação a precisão obtida é bastante limitada, pois depende da densidade de pontos de acesso na região de interesse.

Outros sistemas utilizam informações sobre o sinal de pontos de acesso para determinar a localização, principalmente a intensidade do sinal (*Received Signal Strength Indicator - RSSI*). Tais sistemas podem ser divididos em dois grupos: os que usam técnicas determinísticas e os que usam técnicas probabilísticas na inferência.

Os sistemas *RADAR* [2] e *Aura* [3] utilizam técnicas determinísticas para a inferência da localização.

O sistema *RADAR* foi o primeiro a utilizar a intensidade do sinal de redes IEEE 802.11, como uma indicação de distância entre o dispositivo e o ponto de acesso, para inferir a localização de dispositivos móveis. O *RADAR* usa o algoritmo *Multiple Nearest Neighbor (MNN)* para determinar a localização que mais se assemelha ao sinal do dispositivo coletado. Em um trabalho posterior [25], o sistema *RADAR* foi melhorado usando o algoritmo *Viterbi-like*, que trata os problemas de rastreamento de usuários e *aliasing* de sinais, que ocorre quando duas localizações diferentes possuem um padrão de sinal semelhante conduzindo a uma inferência errônea.

O sistema *Aura* utiliza dois algoritmos para localização: *Pattern Matching (PM)*, e *Triangulation Mapping Interpolation (TMI)* [26]. A idéia do algoritmo

*PM* é basicamente a mesma estratégia utilizada pelo algoritmo *MNN*.

No algoritmo *TMI*, a coordenada de todos os pontos de acesso na região precisa ser conhecida e usa-se uma função para mapear as intensidades de sinal para distâncias, sendo estas calculadas de forma empírica a partir de observações. É gerado através de interpolação um grupo de pontos de referência a partir de pontos de referência coletados empiricamente. A interpolação de valores entre os dados treinados permite ao algoritmo usar menos dados de treinamento do que no algoritmo *PM*. Para determinar a localização são gerados contornos com base nos valores de intensidade de sinal obtidas dos dados de treinamento. Então, é calculada a intersecção entre diferentes contornos (um para cada ponto de acesso) resultando na posição do espaço de sinal do usuário. Com base nas interseções dos contornos é calculada a posição física.

Uma outra gama de sistemas, *Nibble* [11], *Horus* [13, 6], *Ekahau* [27, 5] e o proposto por *Ladd et al.* [10, 28, 4], utilizam técnicas probabilísticas para a inferência de localização.

O sistema *Nibble* foi o primeiro a utilizar técnicas probabilísticas para determinar a localização. A inferência probabilística é realizada utilizando redes *Bayesianas*. Redes *Bayesianas* são modelos para representar incerteza em nosso conhecimento. Essas redes usam a teoria da probabilidade para controlar a incerteza representando dependências condicionais entre diferentes variáveis (nós). No sistema, nós representam padrões de sinal e descrevem a probabilidade condicional de se observar um padrão de sinal em uma dada localização. O sistema utiliza a taxa sinal-ruído como indicador de localização. Essa taxa é quantificada em quatro níveis: alto, médio, baixo e sem ruído.

Os sistemas *Horus*, *Ekahau* e o proposto por *Ladd et al.* utilizam o método conhecido como *Histogram* para determinar a localização. Esse método foi proposto de forma independente pelos três sistemas. Todos utilizam a distribuição da intensidade do sinal como métrica para a distância geográfica. Apesar de utilizarem basicamente o mesmo algoritmo para inferência de localização, esses sistemas se diferenciam devido a diversas características. A seguir, analisaremos cada um desses sistemas dando ênfase às características mais importantes de cada.

O sistema *Horus* tenta reduzir o custo computacional de determinar a localização aplicando a técnica chamada de *location-clustering*. A idéia básica desta técnica é agrupar pontos de referência pelos pontos de acesso que os cobrem, diminuindo o número de pontos de referência que precisam ser

consultados no cálculo da inferência. Em trabalhos recentes [29, 30] os autores tentam identificar possíveis causas de variações na intensidade do sinal de rádio-frequência desenvolvem módulos para atenuar essas variações através de módulos chamados de *Correlation Modeler*, *Correlation Handler*, *Continuous Space Stimator* e *Small-Space Compensator*.

No sistema *Ekahau* o problema de determinar a localização é tratado como um problema de “aprendizagem” no qual a tarefa é modelar como as intensidades de sinais estão distribuídas em diferentes regiões geográficas, tendo como base as amostras de padrões de sinais coletadas em diferentes localizações conhecidas. Além do método do *Histogram* os autores desenvolveram outro método conhecido por *Kernel*. No método *Kernel* a função de probabilidade,  $p(o|s)$ , é determinada através de uma função de densidade. Uma função de densidade largamente utilizada é o núcleo *Gaussiano*.

O sistema proposto por *Ladd et al.* faz uso de um histograma adicional na função de probabilidade. O histograma adicional é o histograma do número de vezes que um ponto de acesso responde a um determinada varredura. A função de probabilidade é então a multiplicação da probabilidade do valor da intensidade do sinal com a probabilidade do número de vezes que um ponto de acesso aparece na varredura. Os autores ainda demonstram que, aplicando inferência probabilística, a informação da intensidade do sinal é suficiente para localizar um dispositivo móvel de forma confiável.

A grande vantagem de utilizar redes locais sem fio para localização advém do fato de que esta técnica de localização não requer qualquer outra infraestrutura, além dos pontos de acesso da rede sem fio. A grande desvantagem é o esforço inicial necessário para o mapeamento da região no qual se deseja realizar a localização. Projetos como o *Place Lab* e *Herecast* contornam esse problema uma vez que não demandam um mapeamento prévio de regiões. Entretanto, esse custo é compensado com uma inferência menos precisa.

A Tabela 3.1 mostra uma classificação dos sistemas baseados em redes IEEE 802.11 apresentados com relação a algumas propriedades. Apresentamos também nessa tabela algumas características do LIS.

Sistema	Tipo de Localização	Local do cálculo de inferência	Técnica de Localização	Informação	Necessidade de Mapeamento
<b>PlaceLab</b>	Posição Física	Cliente	Ponto de Acesso Corrente	Ponto de Acesso	Não
<b>Herecast</b>	Localização Simbólica	Cliente	Ponto de Acesso Corrente	Ponto de Acesso	Não
<b>RADAR</b>	Localização Simbólica	Rede	MNN	Intensidade de Sinal	Sim
<b>Aura</b>	Localização Simbólica	Cliente	PM, TMI	Intensidade de Sinal	Sim
<b>Nibble</b>	Localização Simbólica	Cliente	Histograma	Taxa Sinal Ruído	Sim
<b>Horus</b>	Localização Simbólica	Cliente	Histograma	Intensidade de Sinal	Sim
<b>Ekahau</b>	Localização Simbólica	Rede	Histograma, Kernel	Intensidade de Sinal	Sim
<b>Ladd</b>	Localização Simbólica	Cliente	Histograma	Intensidade de Sinal	Sim
<b>LIS</b>	Localização Simbólica	Rede	MNN, Histograma	Intensidade de Sinal	Sim

Tabela 3.1: Comparação entre sistemas baseados em redes IEEE 802.11.