

LOCALIZAÇÃO

EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Projeto SensorNet



UFMG - ICEx
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

DFE
40 Anos



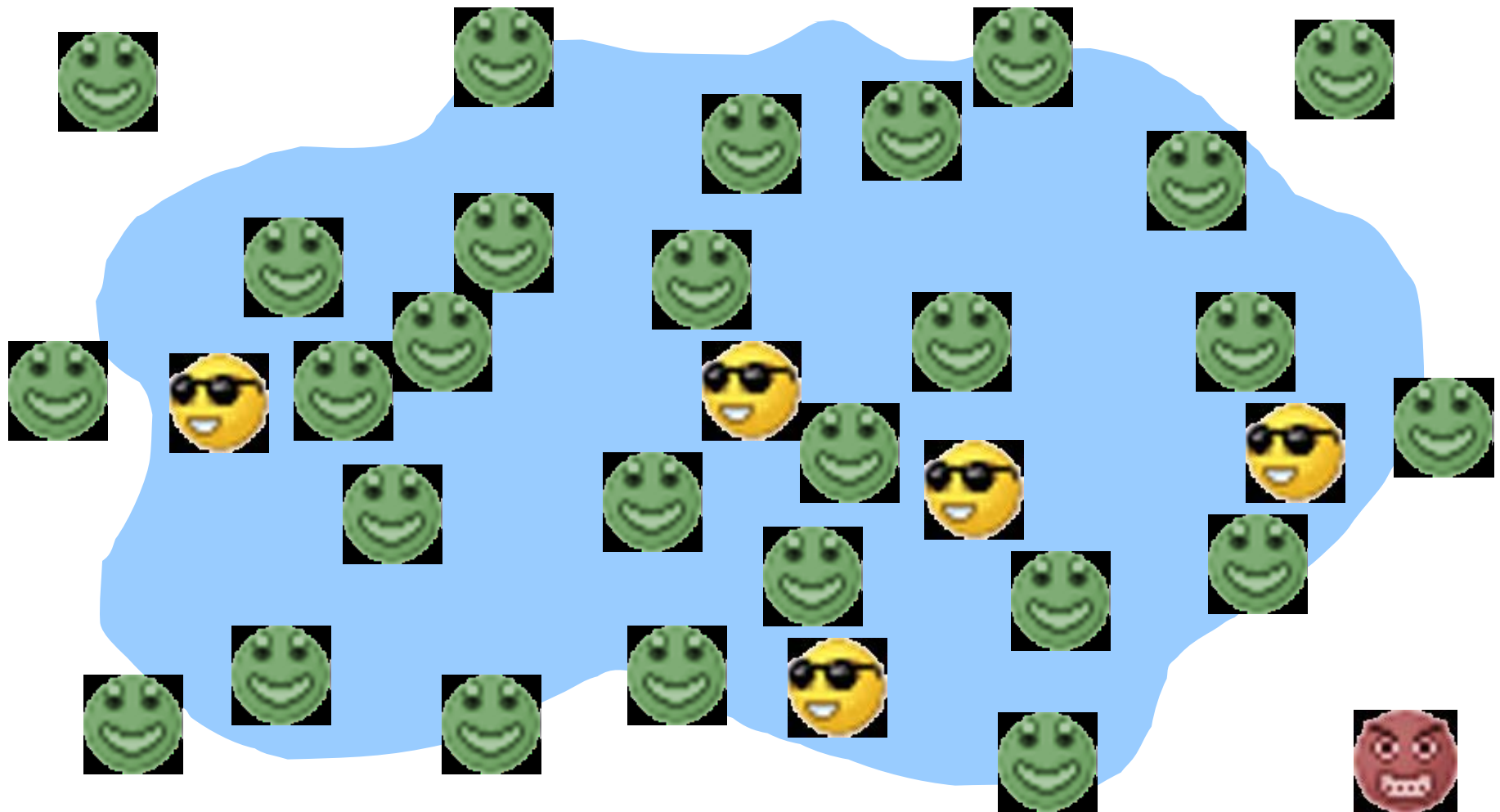
Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico

Introdução, Conceitos e Protocolos

HORÁCIO A. B. FERNANDES DE O.

BELO HORIZONTE, NOVEMBRO DE 2004

PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO



OBJETIVOS

- Problema e Necessidade de Localização;
- Conceitos Básicos;
- Soluções propostas na literatura:
 - AD HOC Position System – APS;
 - Recursive Position Estimation in Sensor Networks; e
 - Localization With Mobile Beacon

SUMÁRIO

- Introdução
- Conceitos Básicos
- Soluções propostas na literatura:
 - AD HOC Positioning System – APS
 - Recursive Position Estimation in Sensor Nets
 - Localization With Mobile Beacon
- Conclusão

CONCEITOS BÁSICOS

- Introdução
- **Conceitos Básicos**
- Soluções propostas na literatura:
 - AD HOC Positioning System – APS
 - Recursive Position Estimation in Sensor Nets
 - Localization With Mobile Beacon
- Conclusão

CONCEITOS BÁSICOS

- **Localização em Redes gerais:**
 - saber a posição física no espaço de um nó;
 - tem sido estudado nos últimos anos:
 - em contextos militares;
 - e de emergências nas **redes celulares.**
- Determinar a posição física de um aparelho:
 - situações de emergência; roubo ou furto;
 - rastreamento de pessoas e etc.

CONCEITOS BÁSICOS

- **Localização com GPS:**
 - pessoa se localiza em qualquer lugar do mundo;
 - instalações de antenas de comunicação outdoor; e
 - aplicações militares.
- **Localização em Redes AD HOC:**
 - utilizada por muitos protocolos (e.g., LAR); e
 - e aplicações (serviços baseados na localização).

CONCEITOS BÁSICOS

▪ Localização em Redes de Sensores:

- posição de eventos;
- roteamento;
- consultas;
- rastreamento; e
- serviços/contexto;

Uma RSSF é basicamente voltada para dados. Saber o local que determinado dado pertence é de suma importância.

CONCEITOS BÁSICOS

- Estimativa de localização:
 - posicionamento estático;
 - Global Positioning System – GPS; e
 - estimativa com base nos vizinhos;

CONCEITOS BÁSICOS

Estimativa de Localização

Posiciona

Fusão

GPS

R

Wizinhos

Posicionamento Estático

- Colocação estática dos sensores no campo:
 - manualmente ou com robôs.
- Vantagem:
 - cálculo de otimizações (e.g., área de cobertura).
- Desvantagem:
 - Nem sempre é possível.

CONCEITOS BÁSICOS

Estimativa de Localização

Posiciona

Global Positioning System - GPS

Vizinhos

- rede de 27 satélites (24 + 3) em órbita da terra;
 - desenvolvido pelos EUA e aberta em seguida;
 - circulam a Terra a 19.300 km;
 - duas voltas completas por dia; e
 - qualquer lugar/momento: 4 satélites “visíveis”;
- receptor GPS:
 - identifica os 4 satélites e calcula a distância; e
 - calcula sua posição utilizando trilateração;

CONCEITOS BÁSICOS

Estimativa de Localização

Posiciona

Global Positioning System - GPS

Wizinhos

- Uma solução é colocar um GPS em cada sensor
 - solução encontrada em muitos protocolos
- Problemas:
 - custo;
 - energia;
 - inacessibilidade;
 - imprecisão; e
 - tamanho do sensor;

CONCEITOS BÁSICOS

Estimativa de Localização

Posiciona

Estimativa com Base nos Vizinhos

Vizinhos

- Utiliza informações dos vizinhos para o cálculo da posição.
- Pode se dividida em duas etapas:
 - medição de distâncias entre nós vizinhos:
 - RSSI – Received Signal Strength Indicator;
 - ToA – Time of Arrival; e
 - TDoA – Time Difference of Arrival;
 - cálculo da posição:
 - multilateração; trilateração;
e triangulação
 - Técnicas Semelhantes:
 - Angle of Arrival
 - Mobile Beacon

CONCEITOS BÁSICOS

Estimativa de Localização

Posiciona

F 11

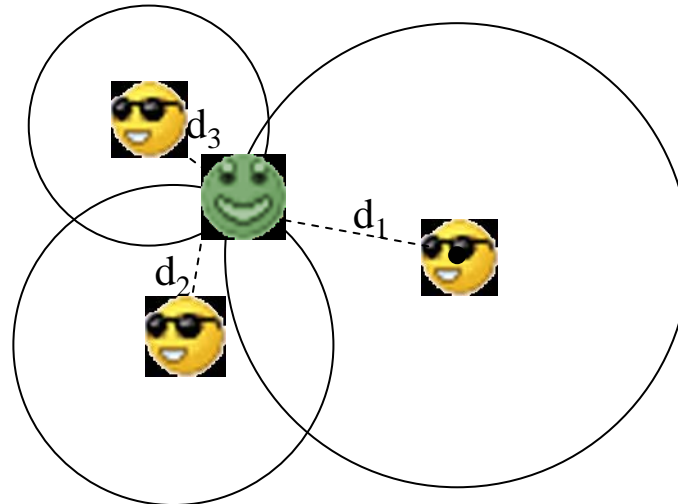
GPS

P

Vizinhos

Estimativa com Base nos Vizinhos

- **Lateração:**
 - Cálculo da posição baseado em medição de distâncias.
 - triangulação;
- **Exemplo: Adivinhe aonde o nó realmente está ..**



CONCEITOS BÁSICOS

Estimativa de Localização

Posiciona

Estimativa com Base nos Vizinhos

Vizinhos

- **Lateração:**
 - Posições em 2D precisam de duas distâncias; e
 - Posições em 3D precisam de três distâncias.
- **Desafios:**
 - Propagação do sinal:
 - ruídos;
 - interferências;
 - absorção;
 - Sombras; etc.

CONCEITOS BÁSICOS

- Componentes:



- Nó Livre (*Free Node*):

- Desconhece sua posição e tenta estimá-la utilizando técnicas de localização;



- Nó Estabelecido (*Settled Node*):

- Nó que estimou sua posição utilizando alguma técnica de localização; e



- Nó Beacon (*Beacon Node*):

- Nó que já conhece sua posição utilizando meios externos à rede (e.g., GPS, pos. estático).

CONCEITOS BÁSICOS

- **Propriedades da Localização:**
 - **Física x Simbólica:**
 - (lat., long.) ou “na cozinha”.
 - **Absoluta x Relativa.**
 - **Precisão ou Granularidade:**
 - 1 metro.
 - **Repetibilidade:**
 - 1 metro 75% das vezes.
 - **Escala:**
 - Localiza quantos objetos em uma área?
 - **Custo:**
 - % da energia gasta na Localização.

AD HOC POSITIONING SYSTEM

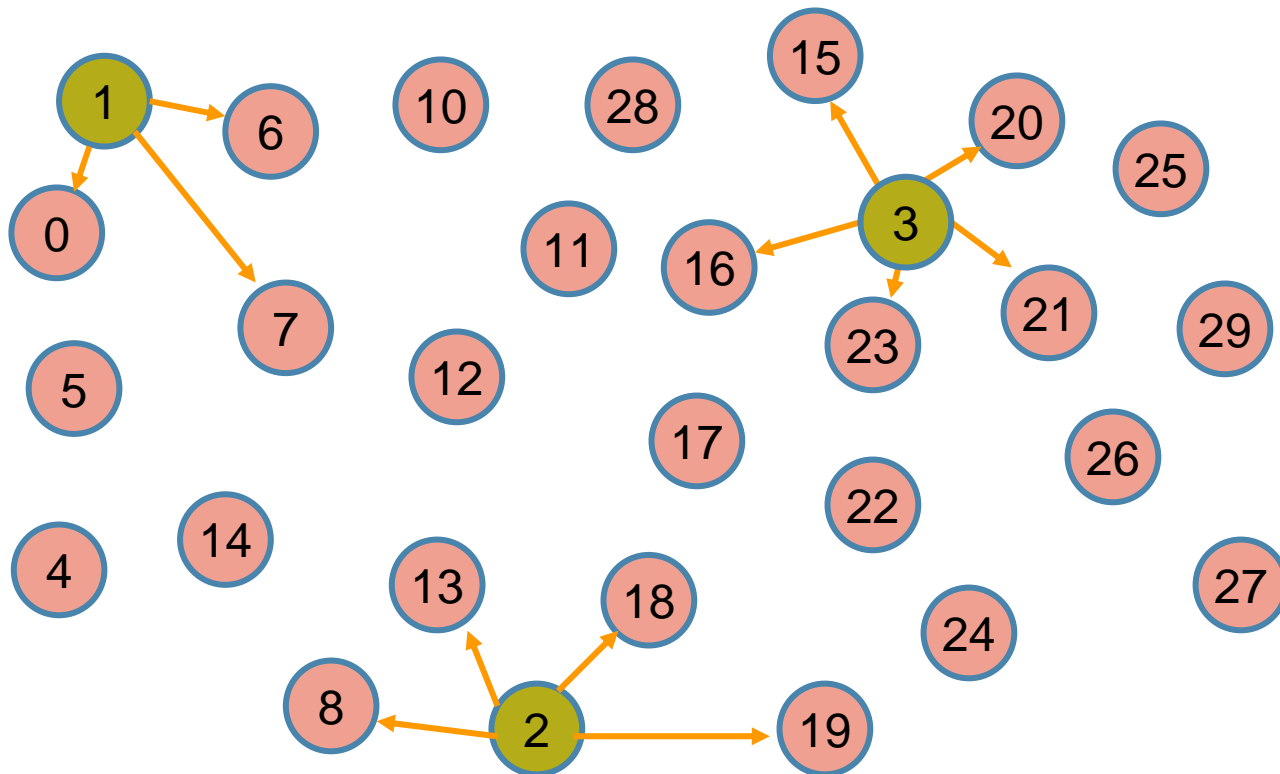
- Introdução
- Conceitos Básicos
- Soluções propostas na literatura:
 - **AD HOC Positioning System – APS**
 - Recursive Position Estimation in Sensor Nets
 - Localization With Mobile Beacon
- Conclusão

AD HOC POSITIONING SYSTEM

- Proposto por Niculescu, D. *et al.*
- Considerações do Algoritmo:
 - deve ser distribuído;
 - deve minimizar a comunicação entre os nodos e o consumo de energia;
 - deve funcionar mesmo se a rede ficar desconectada;
 - deve prover posicionamento absoluto, em lugar de posicionamento relativo;

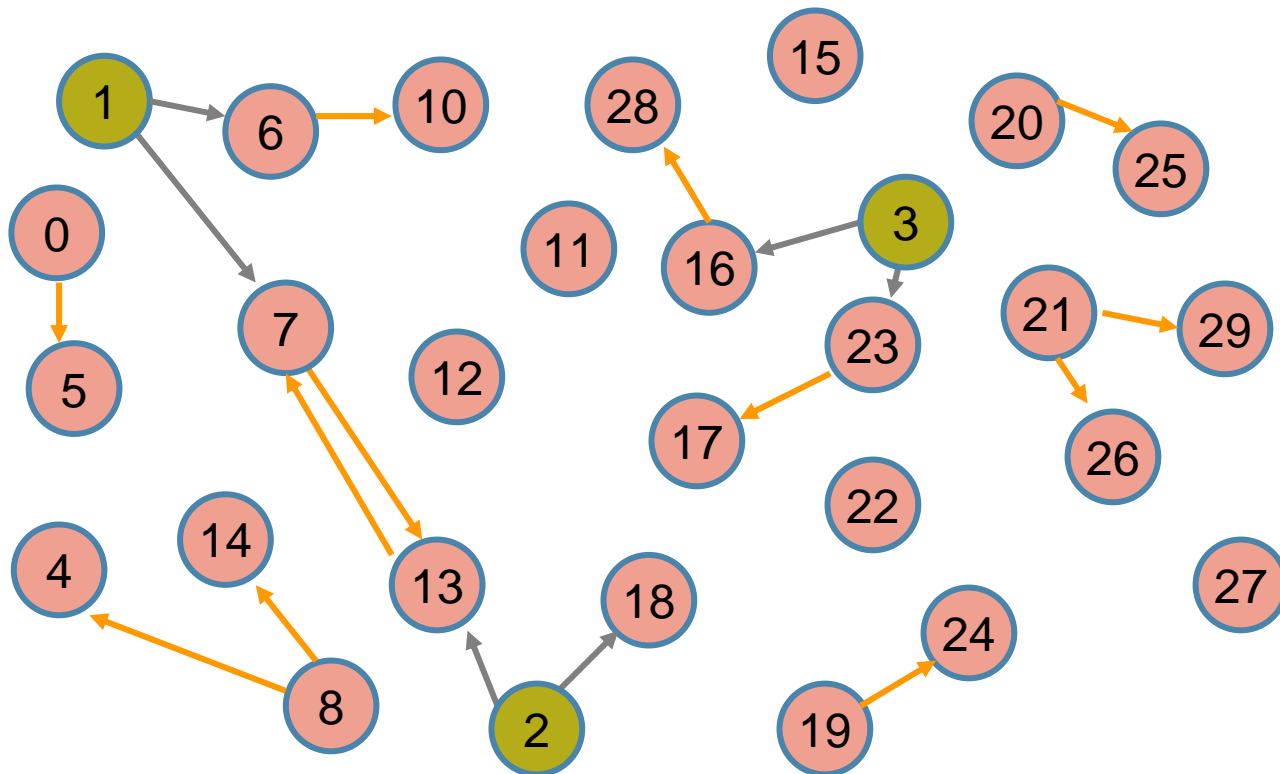
AD Hoc POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



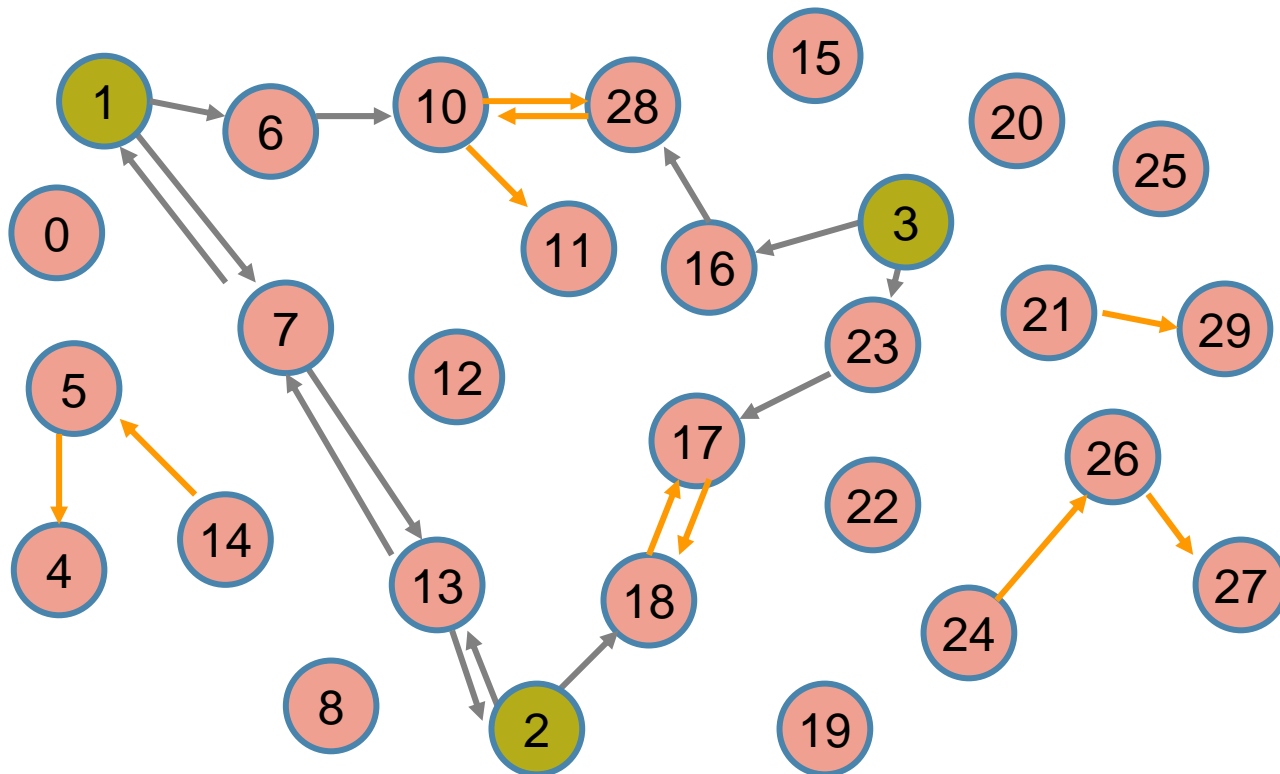
AD Hoc POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



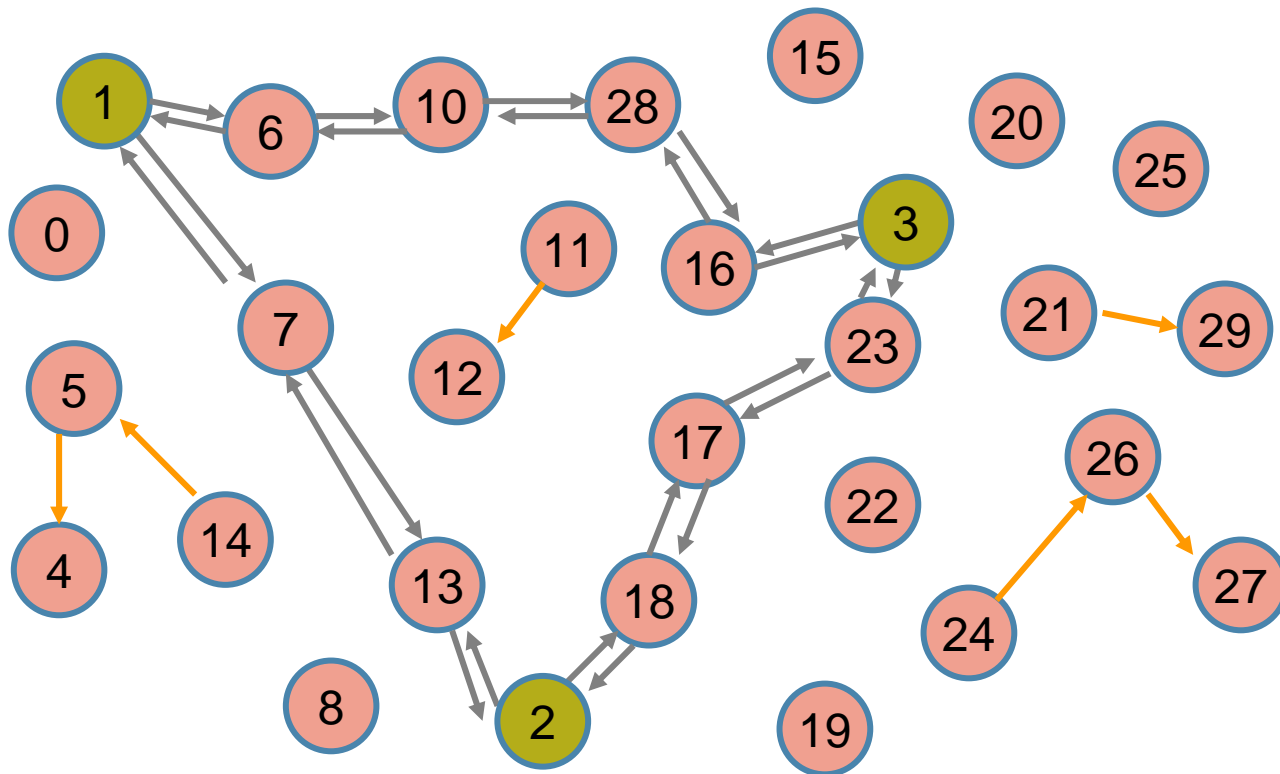
AD HOC POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



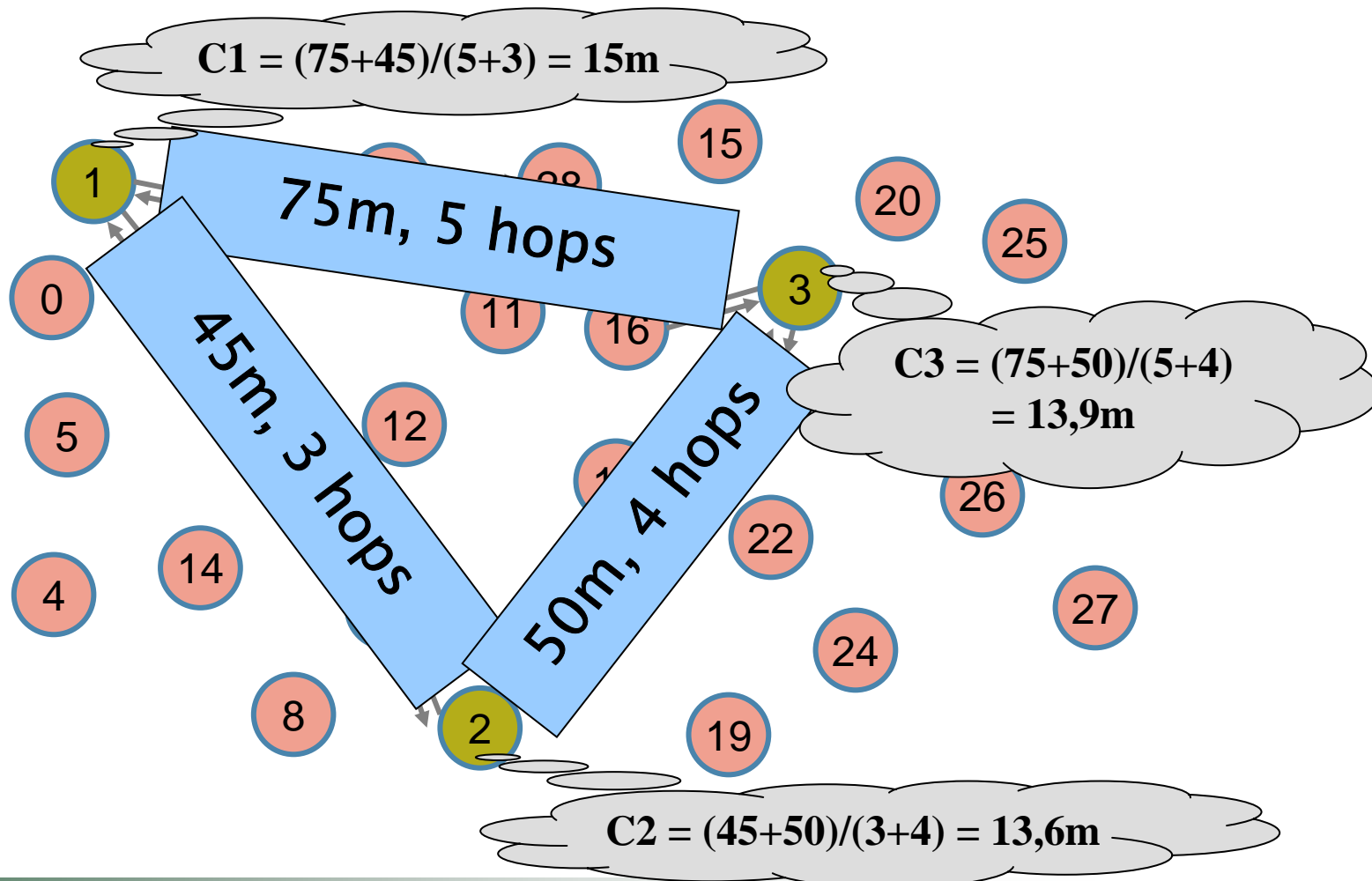
AD Hoc POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



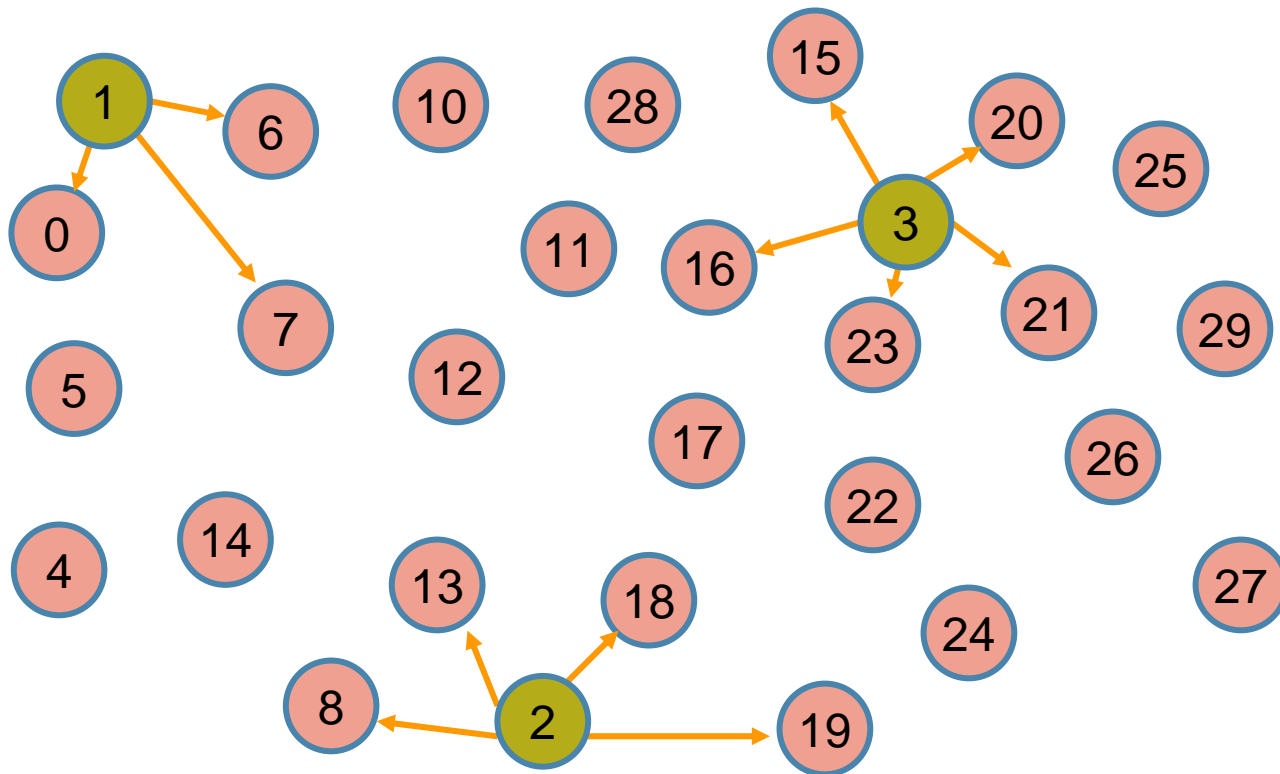
AD Hoc POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



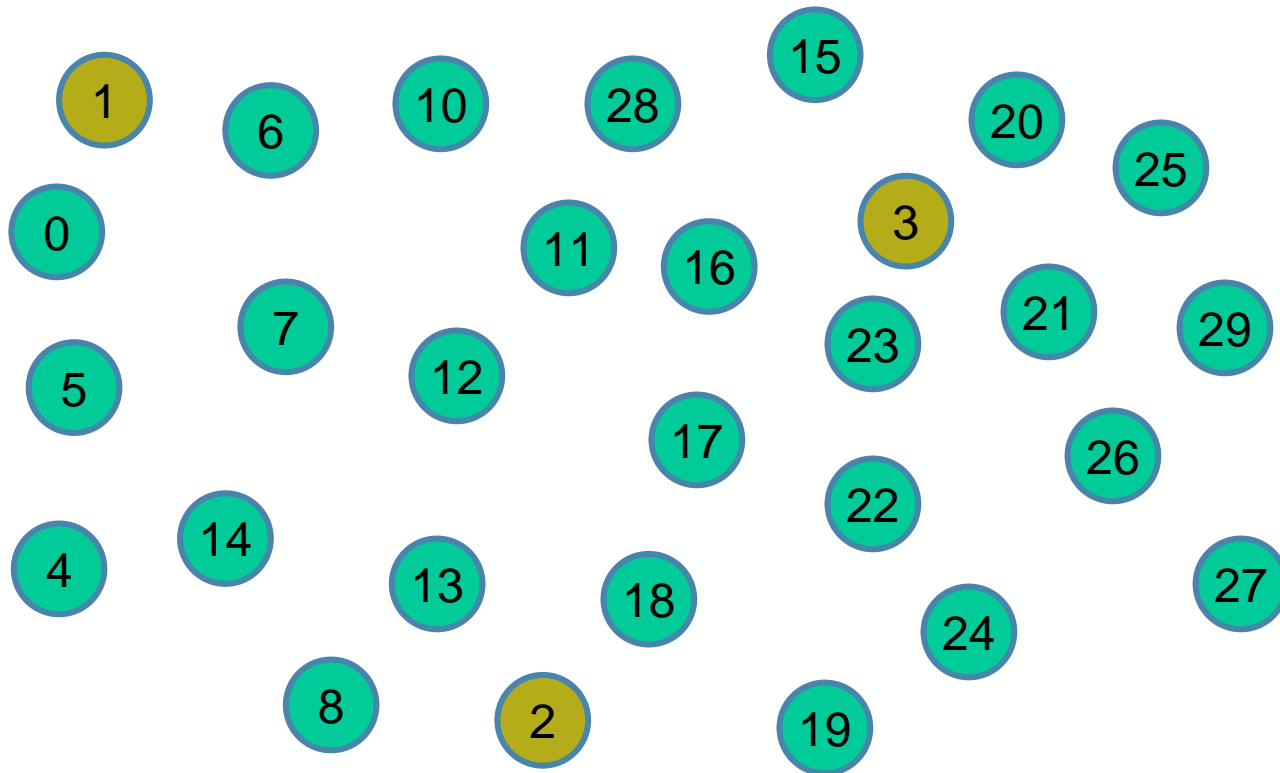
AD HOC POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



AD HOC POSITIONING SYSTEM

Exemplo de Funcionamento



AD HOC POSITIONING SYSTEM

- Funcionamento:
 - necessita de pelo menos três nós beacons (*landmarks*);
 - quando um nodo possui estimativas para 3 ou mais *landmarks*, ele pode calcular sua posição;
 - estimativa inicial do nodo é o centróide dos *landmarks* que ele conhece

AD HOC POSITIONING SYSTEM

- Funcionamento:
 - vizinhos imediatos a um *landmark* podem estimam sua distância diretamente (RSSI);
 - através de propagação, os demais vizinhos (segundo, terceiro, ... *hop*) podem inferir sua distância a um *landmark*;
 - complexidade depende do número de *landmarks* e do grau de conectividade de cada nodo

AD HOC POSITIONING SYSTEM

- similar ao roteamento por vetor de distância
 - cada nodo se comunica apenas com seus vizinhos;
 - em cada mensagem o nó informa suas estimativas para os *landmarks*;
- Três alternativas de métodos de propagação
 - DV-Hop
 - DV-Distance
 - Euclidiano

AD HOC POSITIONING SYSTEM

- DV-Hop
 - esquema mais básico, baseado na troca de vetor de distância;
 - todos os nodos obtêm as distâncias, em saltos, para os *landmarks*;
 - cada nodo mantém uma tabela $\{X_i, Y_i, h_i\}$ e troca atualizações com seus vizinhos
 - quando um *landmark* obtém distâncias para outros *landmarks*, ele estima o tamanho médio de um salto e o difunde na rede como uma correção;
 - quando um nó recebe a correção, ele pode estimar a distância para para os *landmarks* e realizar a triangulação.

AD HOC POSITIONING SYSTEM

▪ Vantagens

- simples;
- necessita de apenas 3 nós beacon;
- distribuído, não requer infra-estrutura especial, provê coordenadas globais.

Desvantagens

- erros altos:
 - simulações mostraram erros de até 20m.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

- Introdução
- Conceitos Básicos
- Soluções propostas na literatura:
 - **AD HOC Positioning System – APS**
 - **Recursive Position Estimation in Sensor Nets**
 - **Localization With Mobile Beacon**
- Conclusão

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

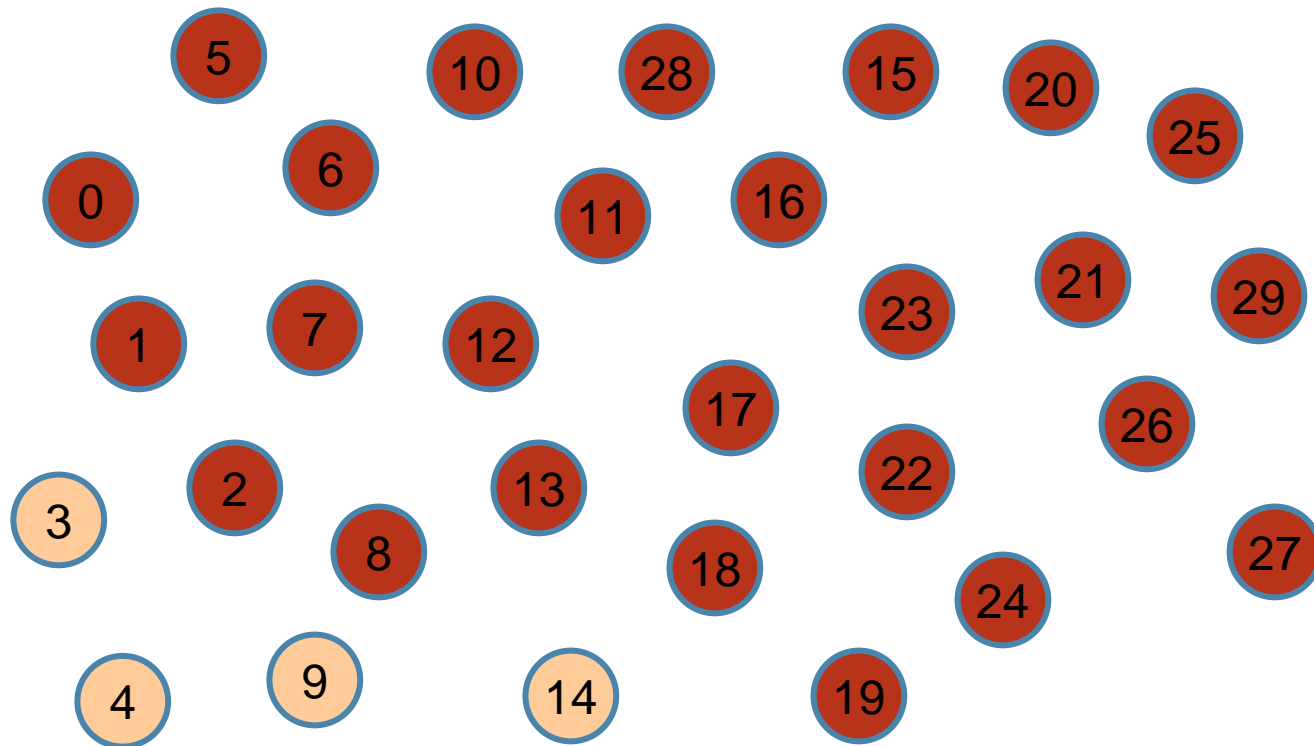
- Proposto por Albowicz *et al.*:

“Provê um framework para estender a estimativa de posicionamento através de uma rede de sensores.”

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

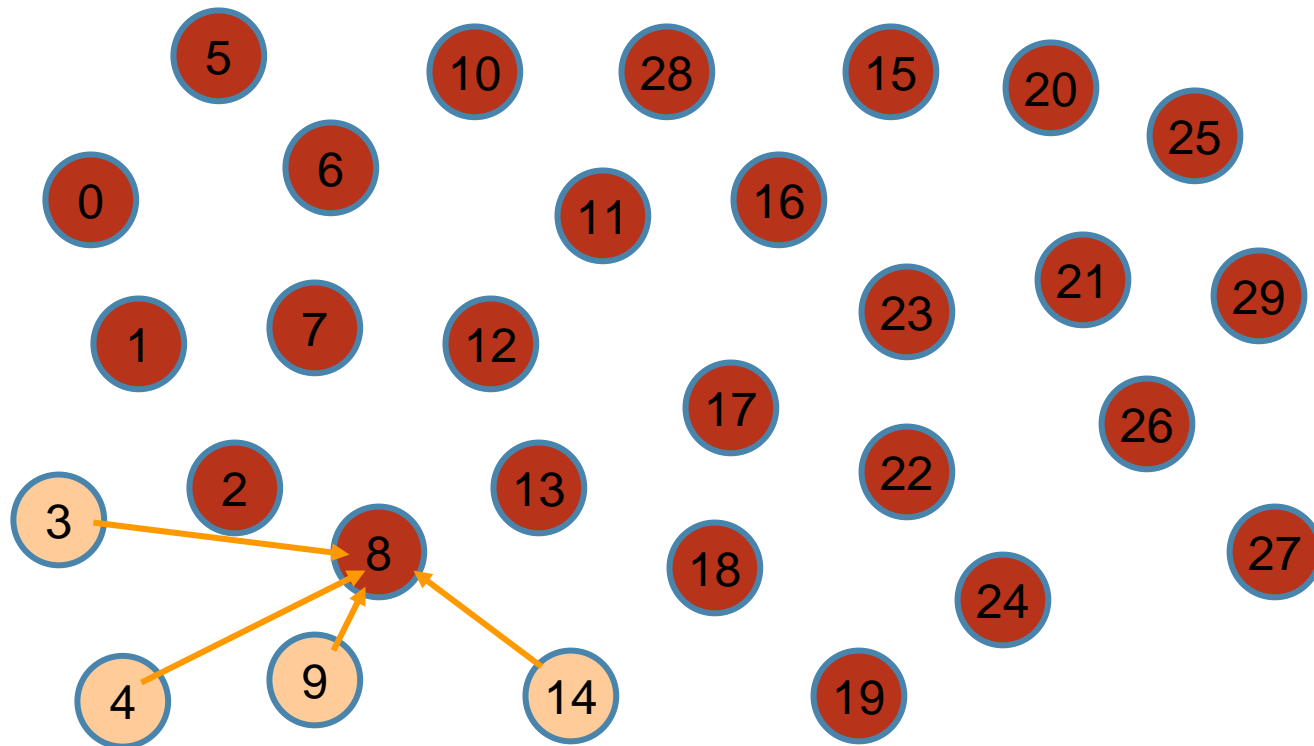
(Utiliza Três Dimensões)

Exemplo de Funcionamento



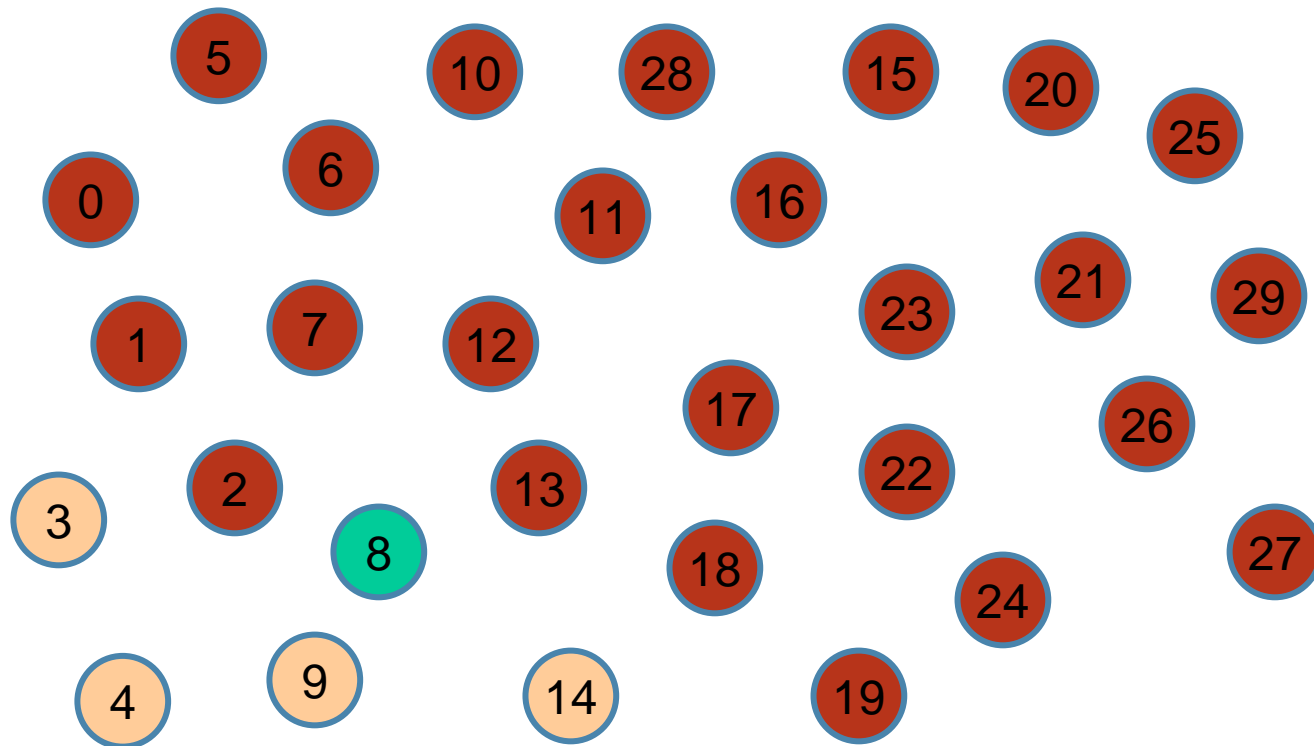
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



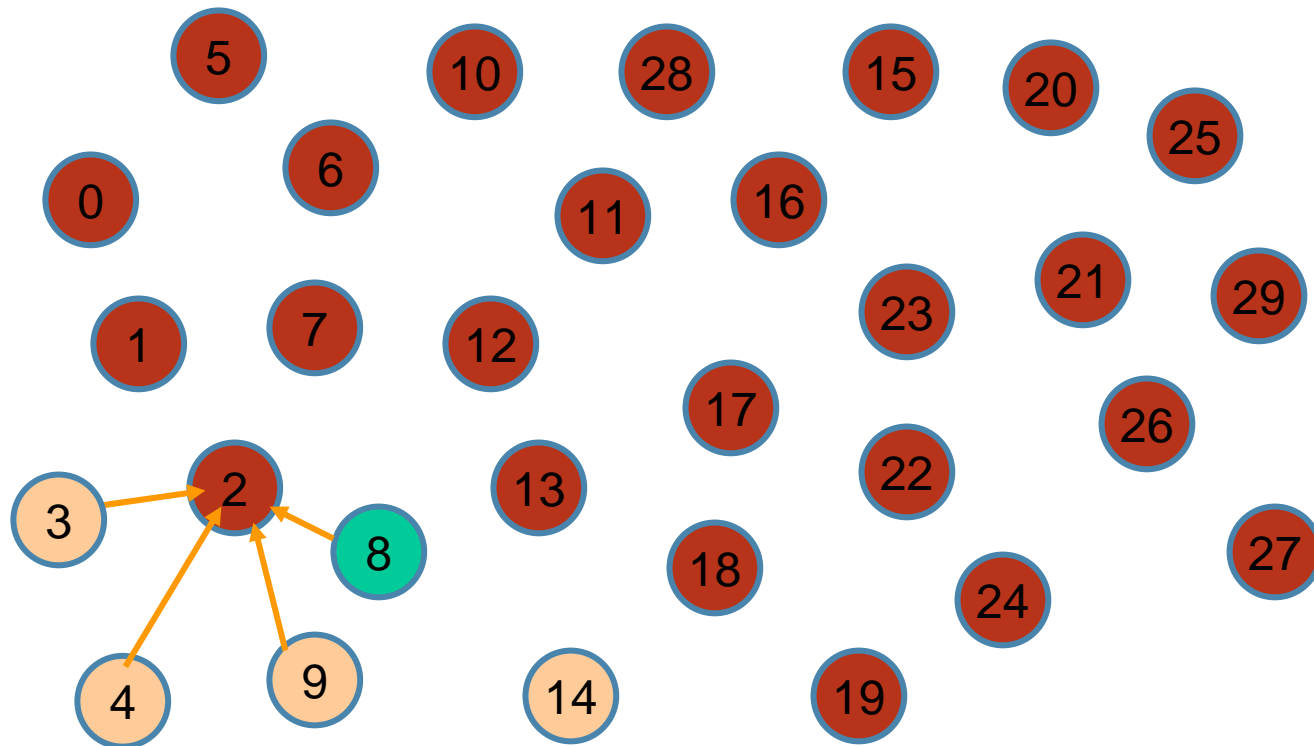
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



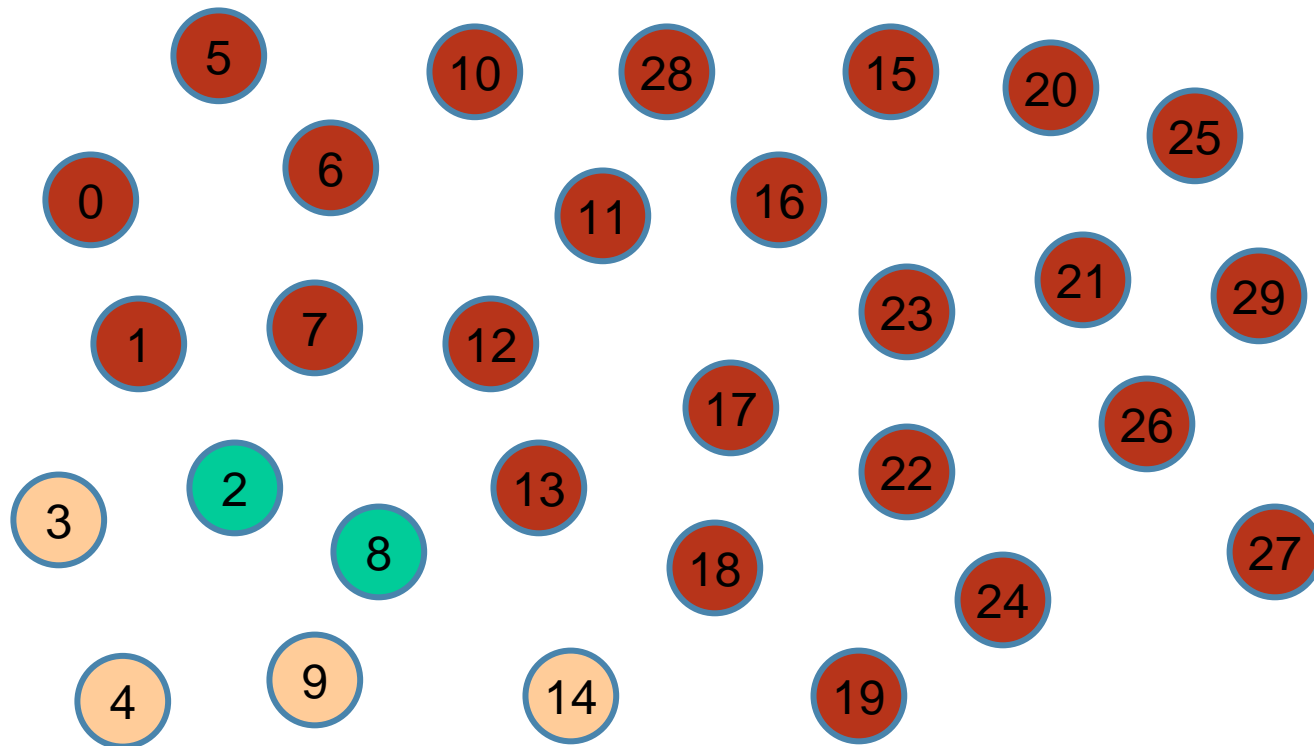
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



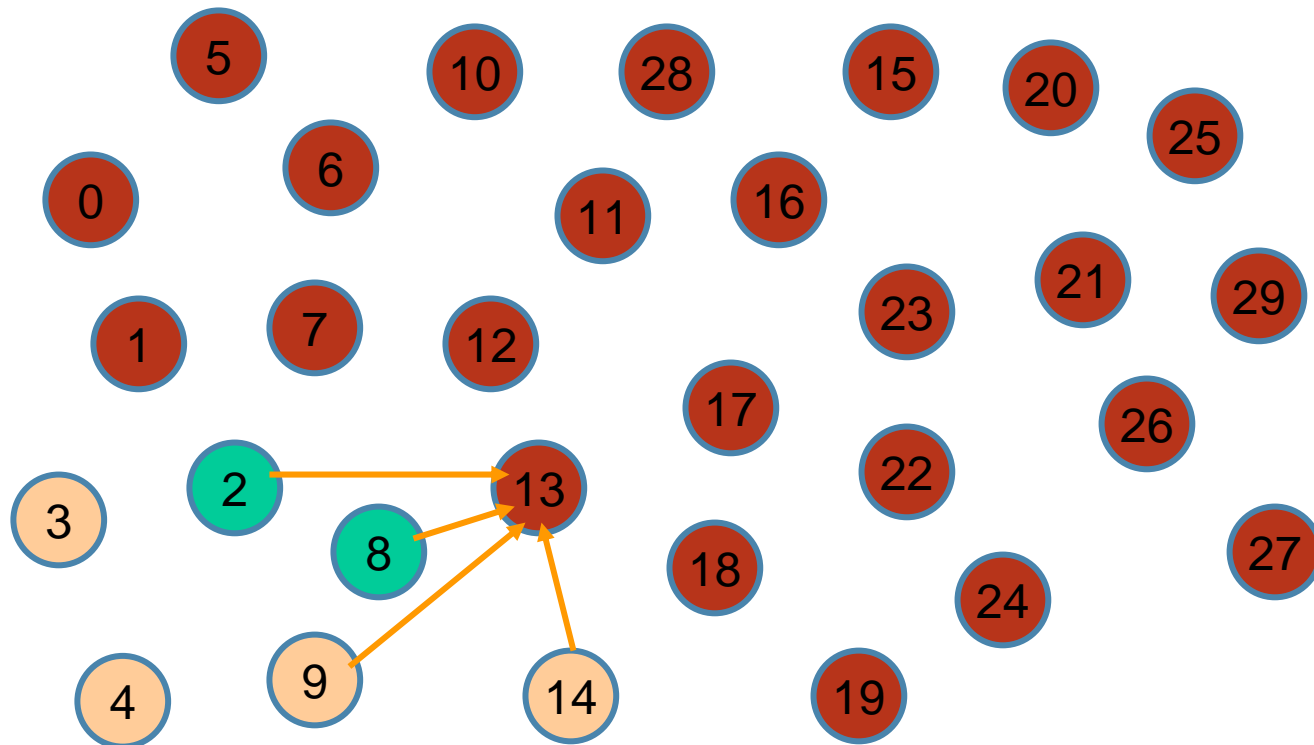
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



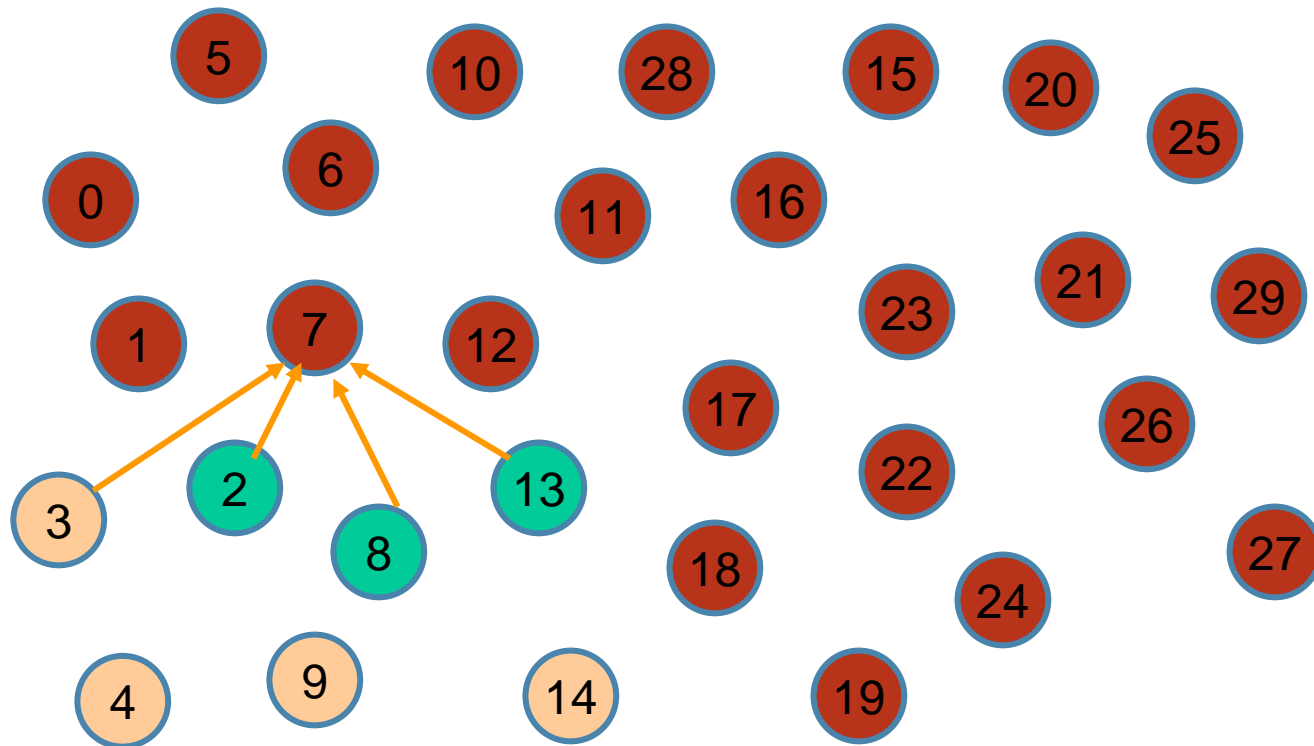
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



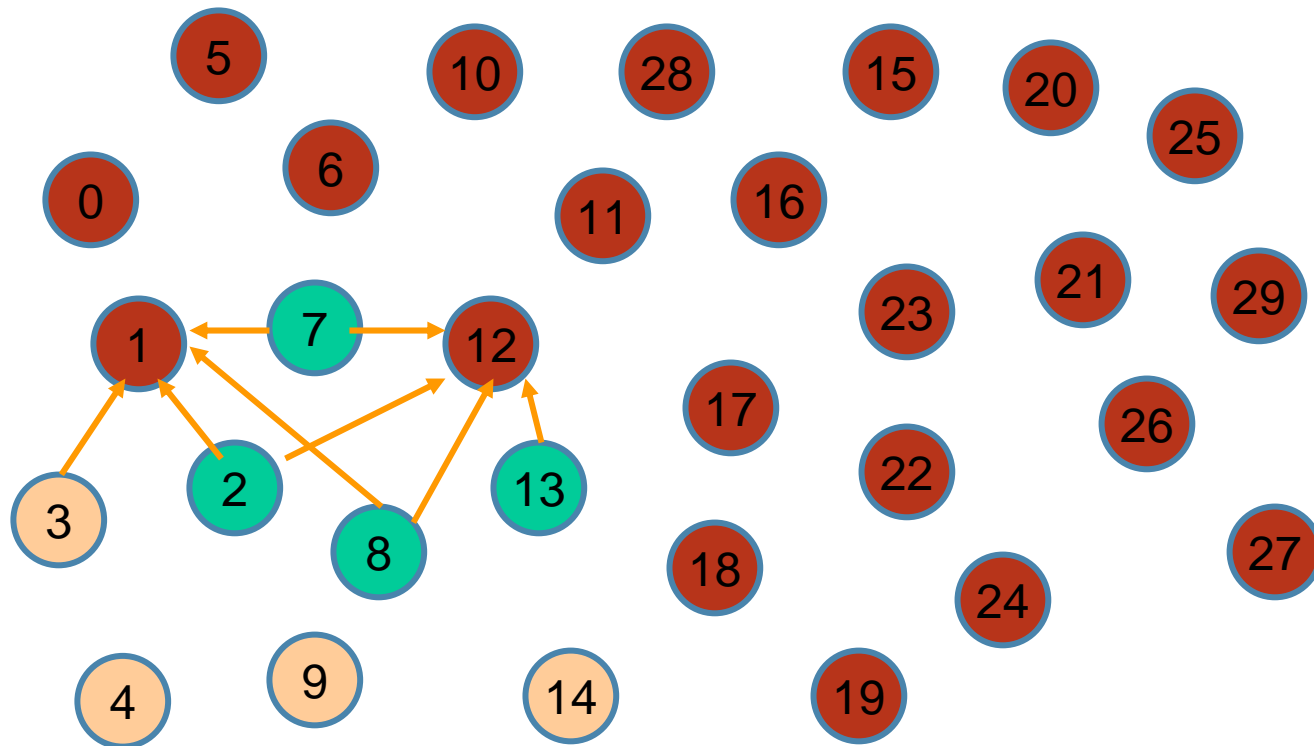
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



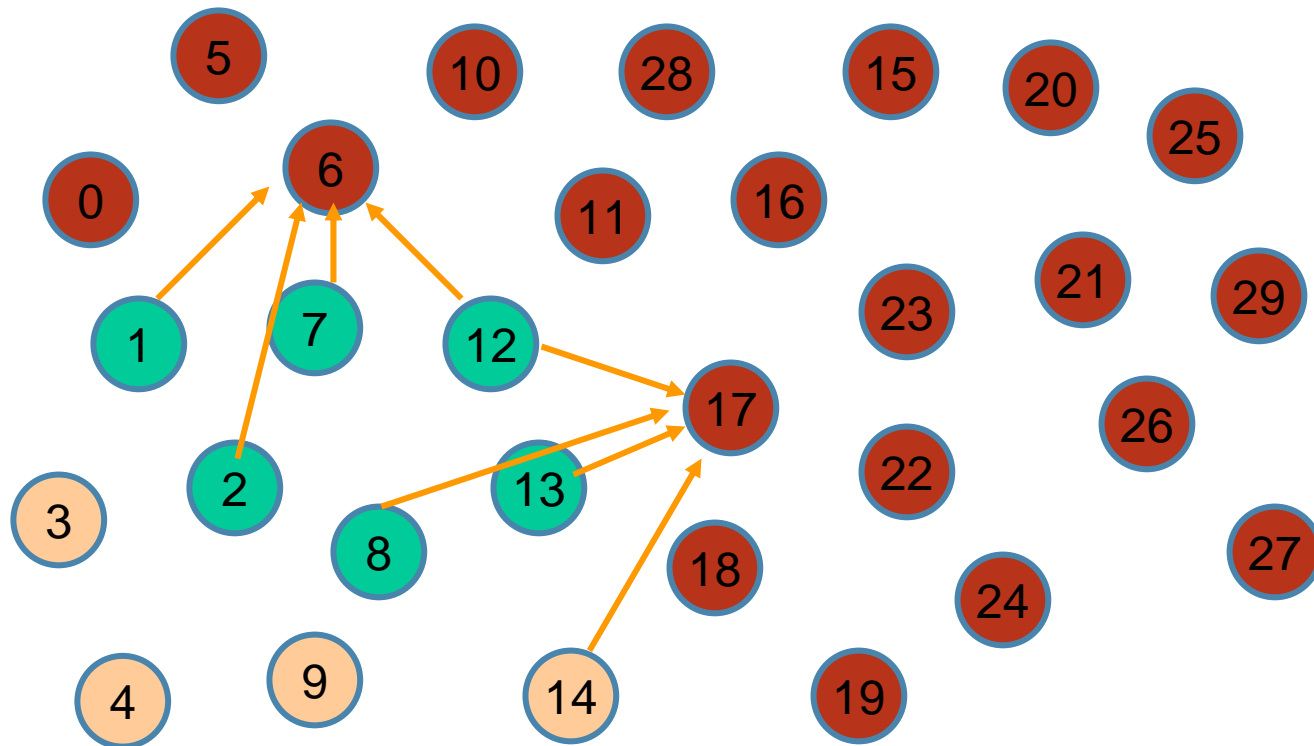
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



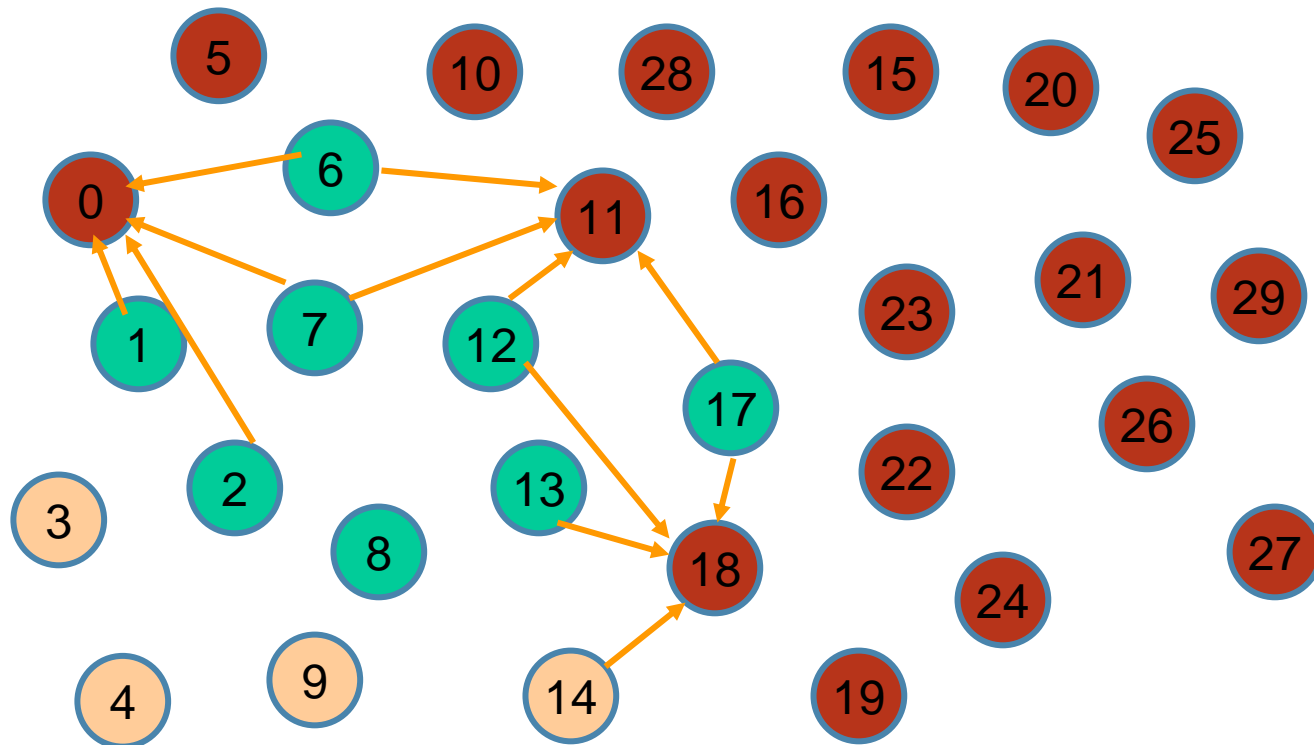
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



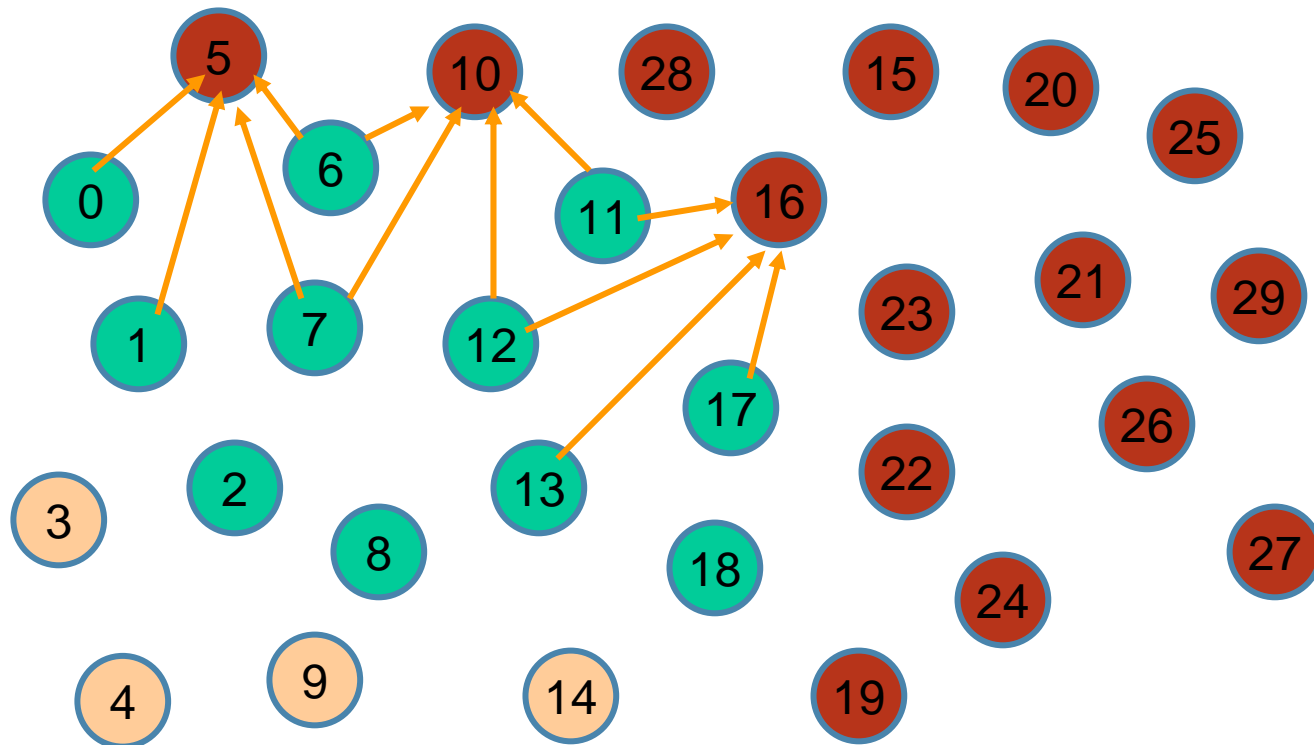
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



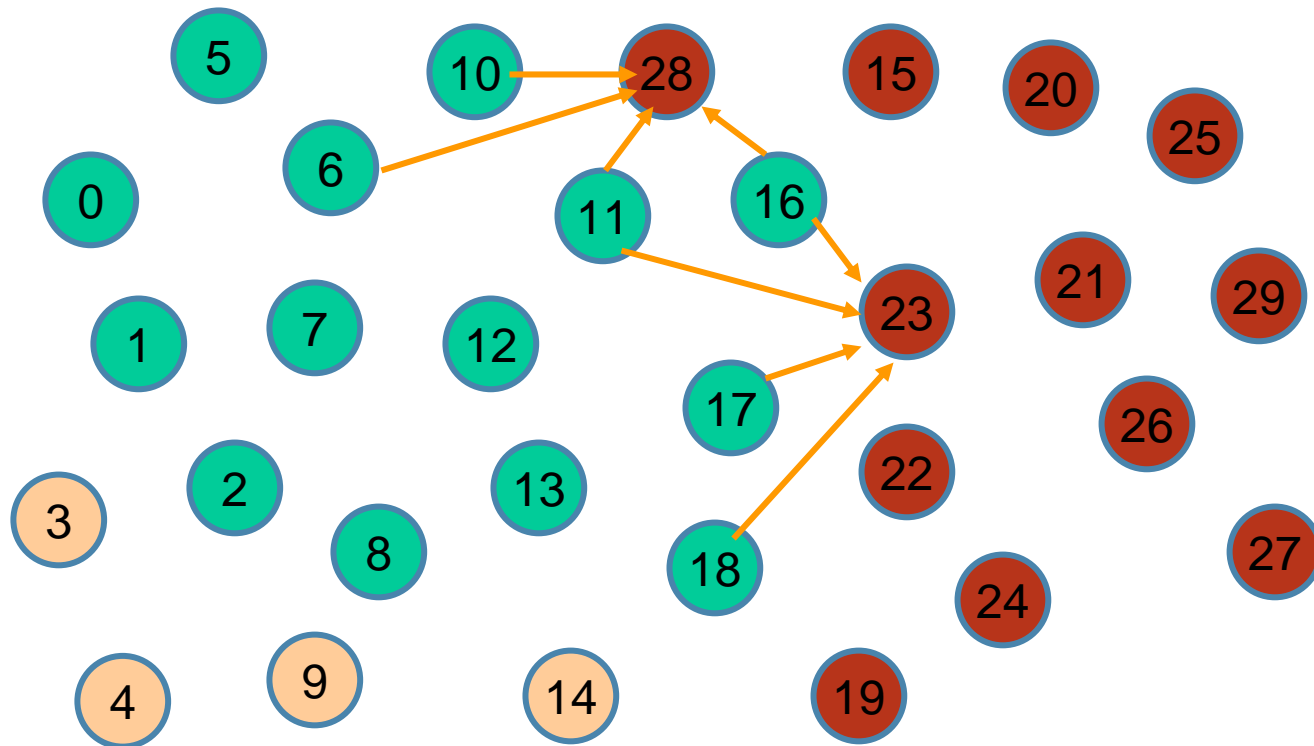
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



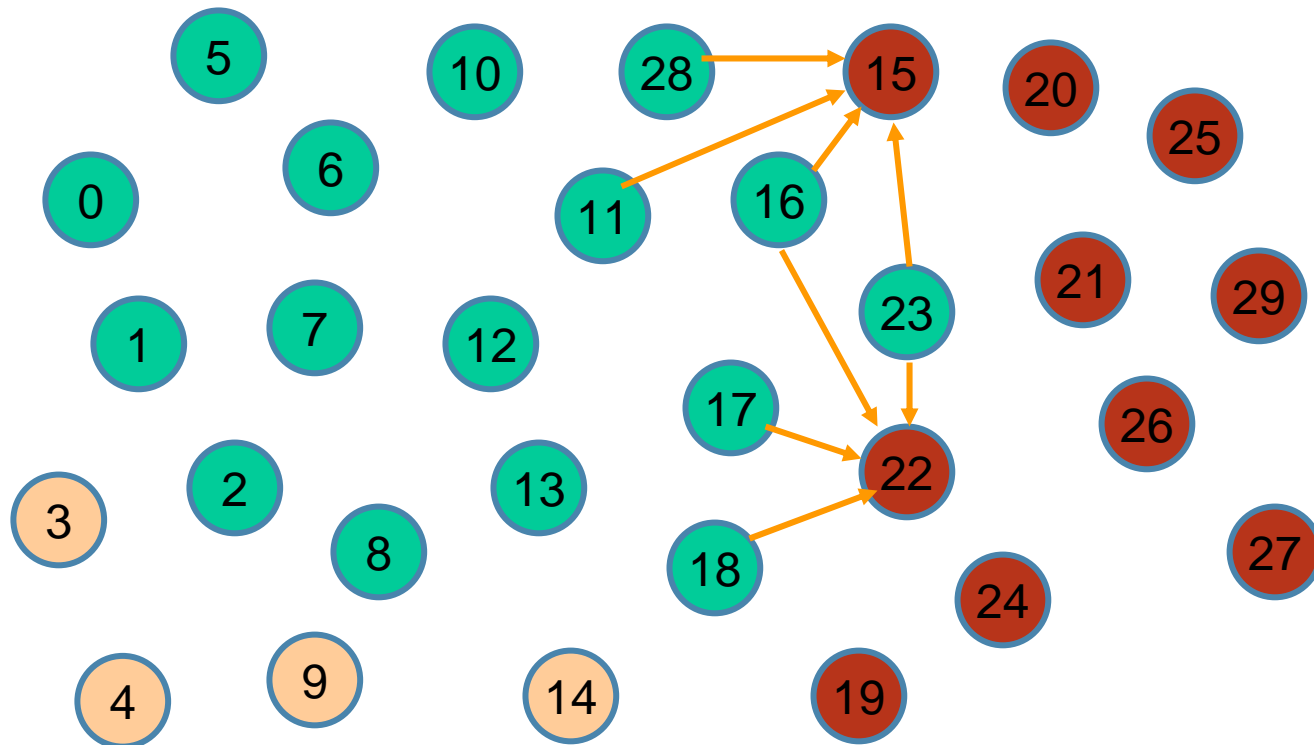
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



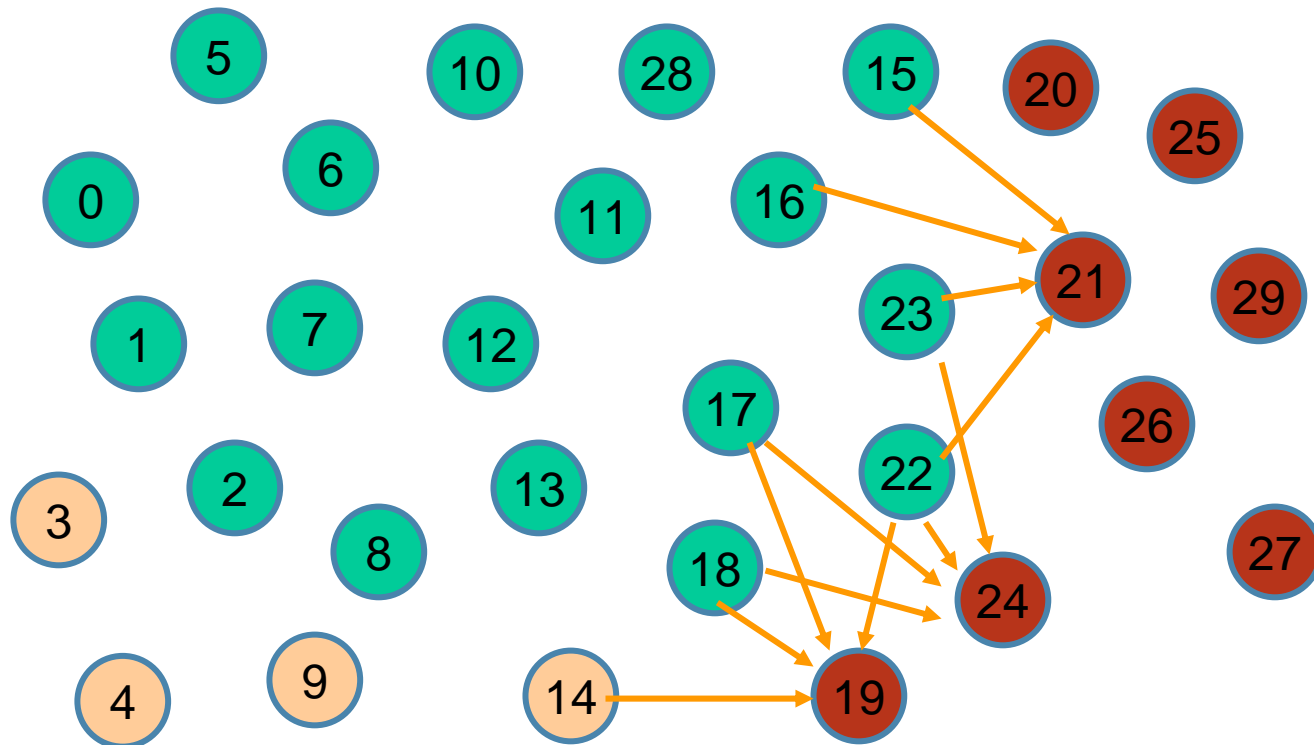
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



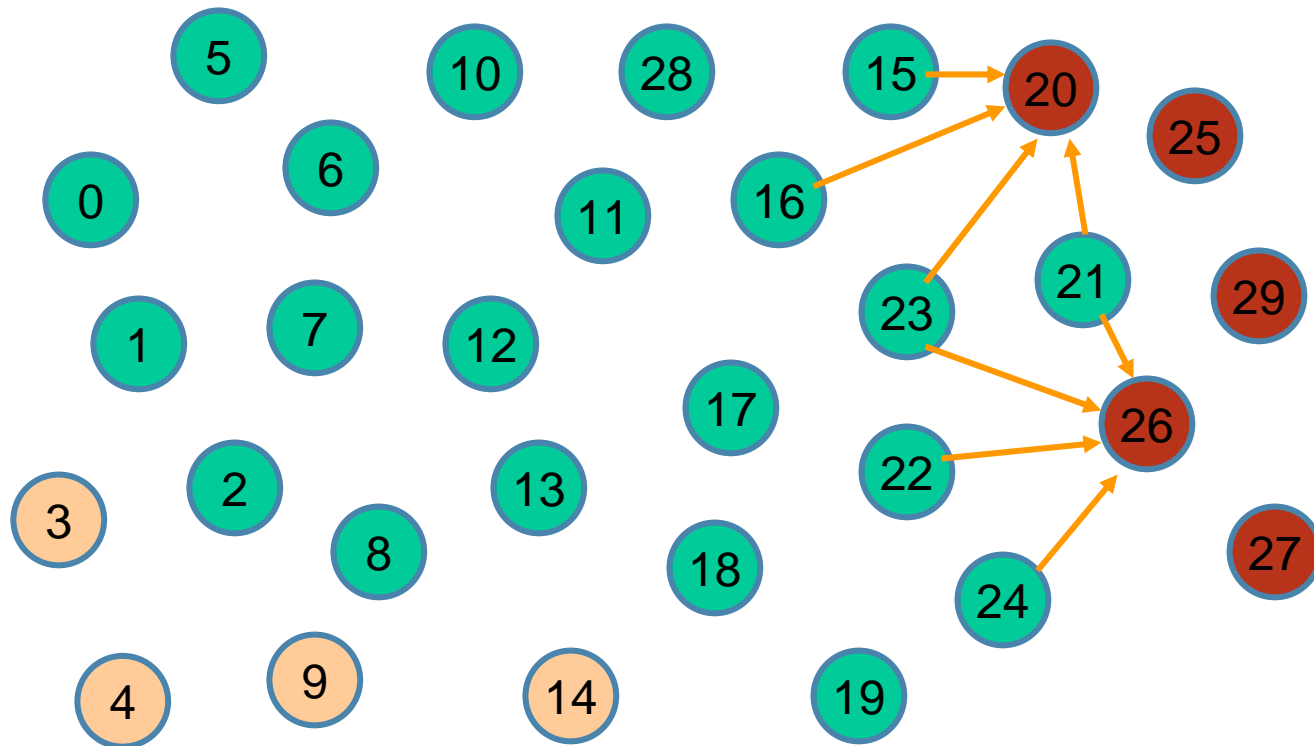
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



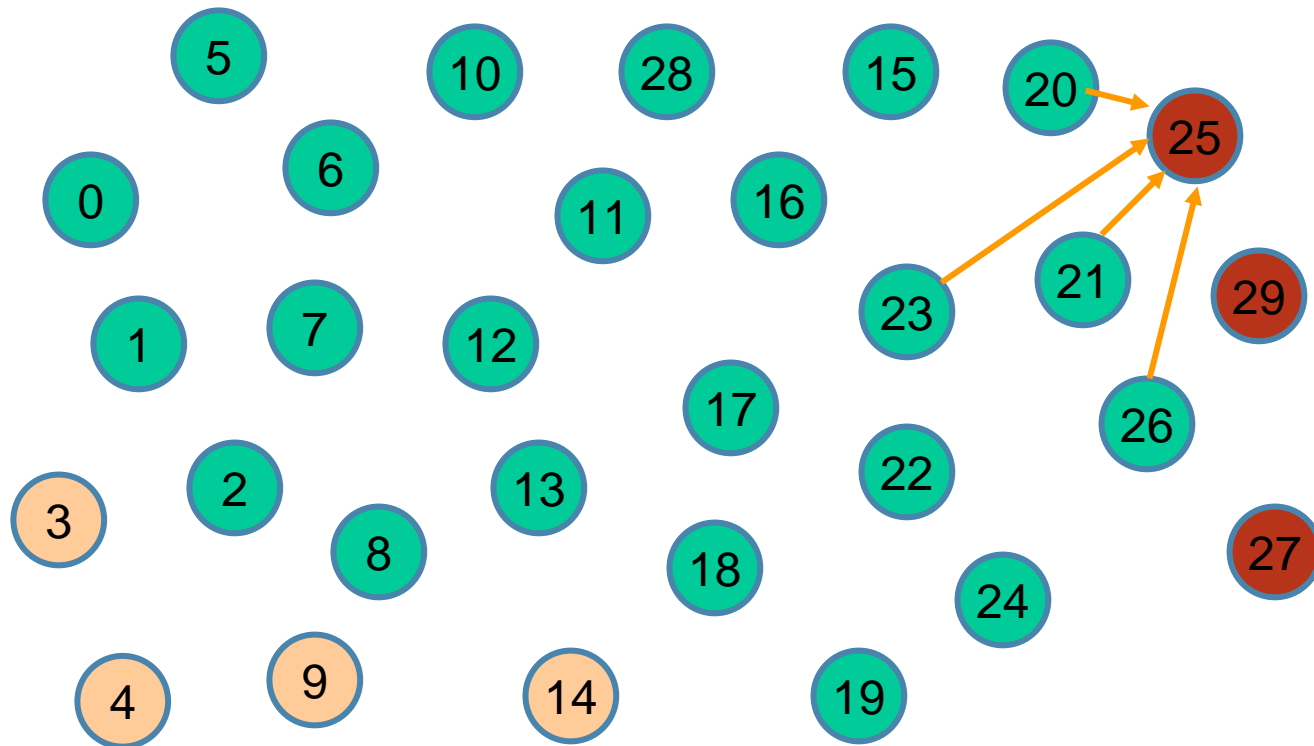
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



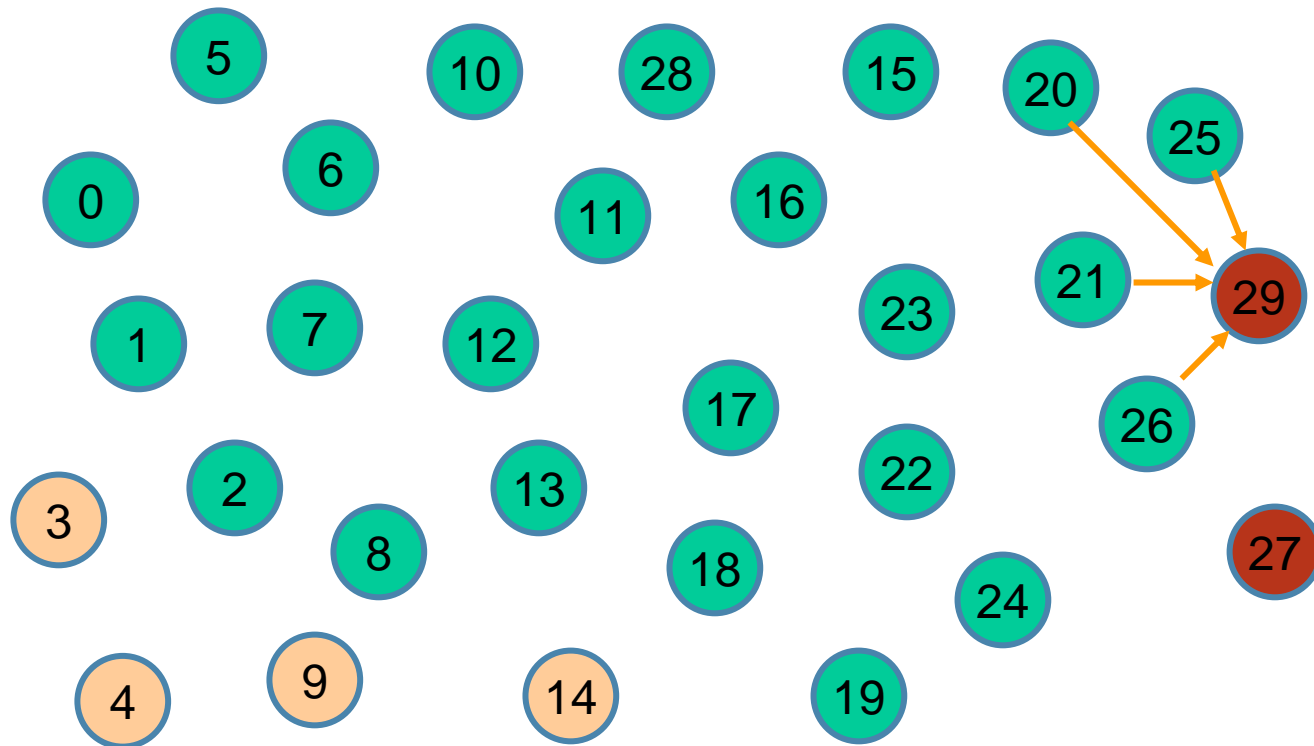
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



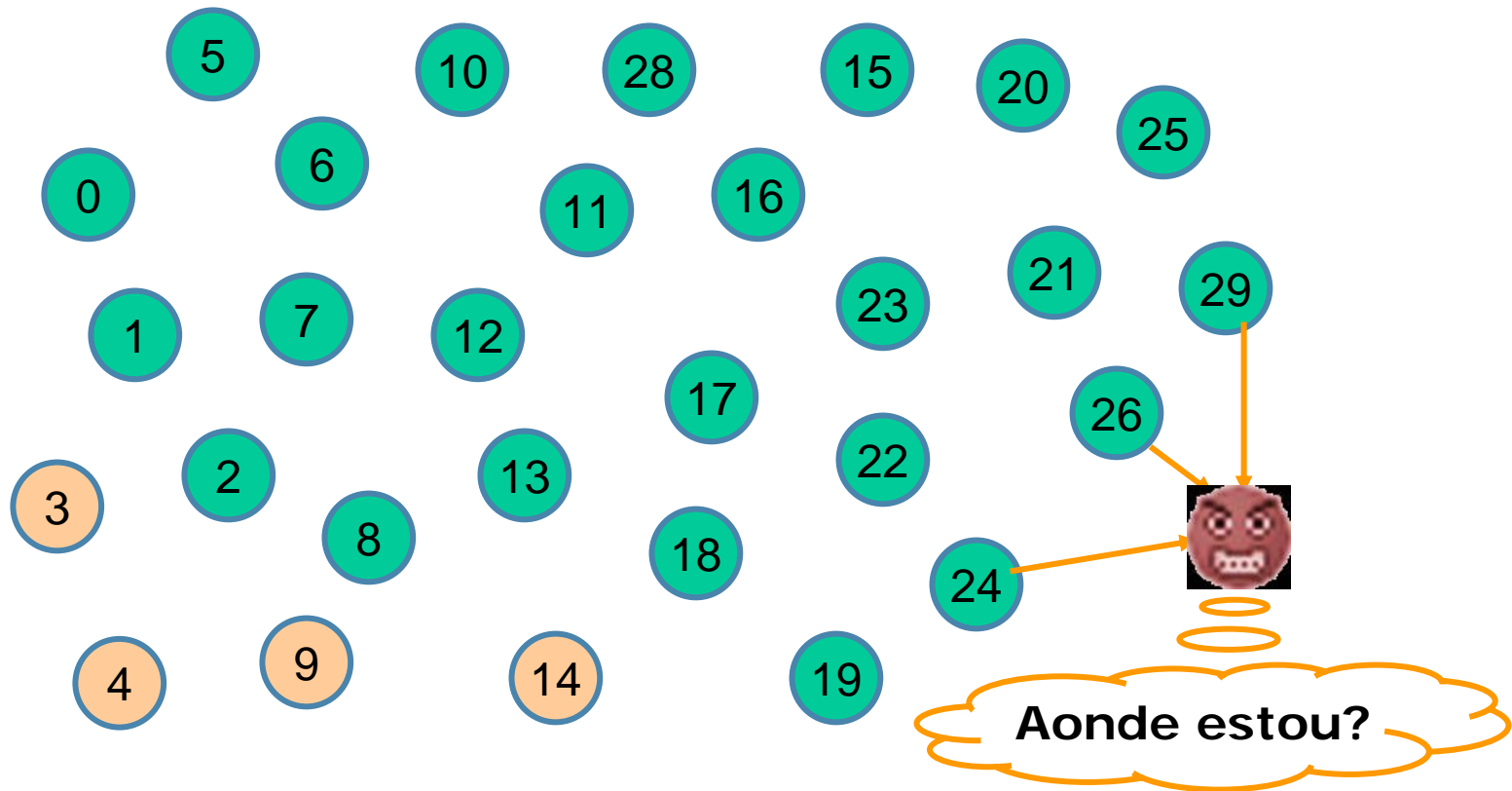
RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Exemplo de Funcionamento



RECURSIVE POSITION ESTIMATION

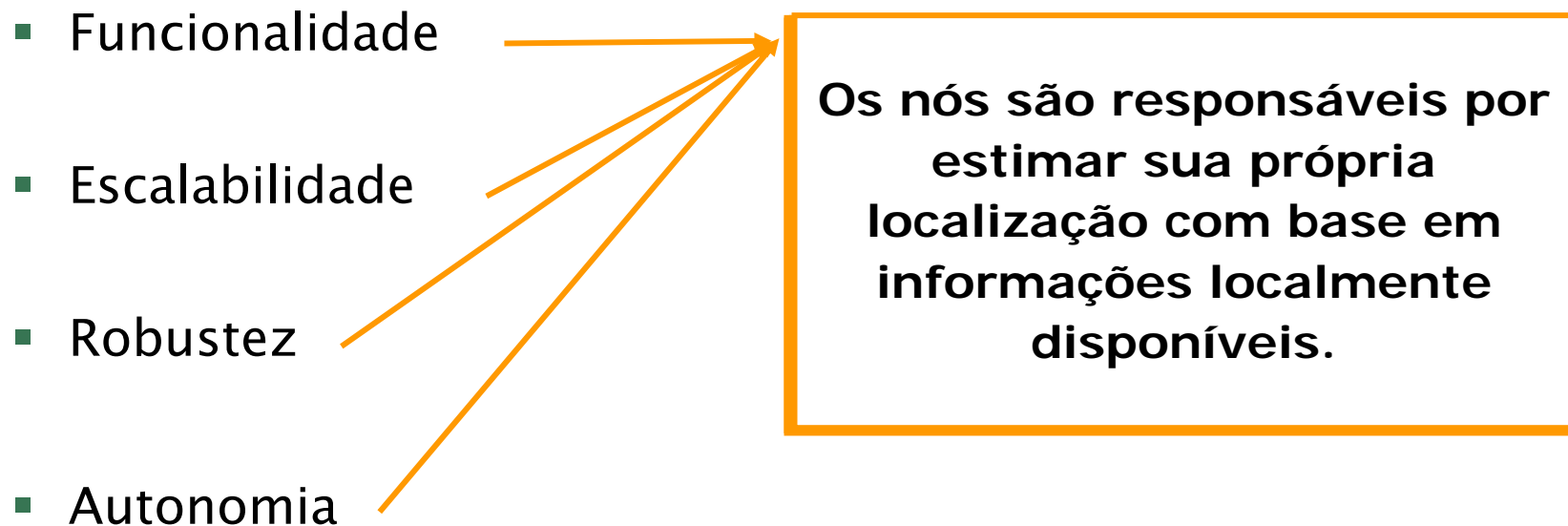
- **Objetivos do Protocolo:**

- Funcionalidade

- Escalabilidade

- Robustez

- Autonomia



**Os nós são responsáveis por
estimar sua própria
localização com base em
informações localmente
disponíveis.**

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

- Considerações:
 - a maioria dos nós não conhecem suas posições;
 - nós com GPS podem não calcular suas posições;
 - posicionamento é importante, mas não é garantida;
 - medição de distância entre nós vizinhos; e
 - utilização de triangulação com 3 dimensões.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

- **Algoritmo de Disseminação de Posição:**
 - **Fase 1:** nó determina seus pontos de referência.
 - **Fase 2:** obtém ou utiliza as informações de distâncias.
 - **Fase 3:** o nó estima a sua posição.
 - **Fase 4:** torna-se uma referência.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

Fase 1

Fase 2

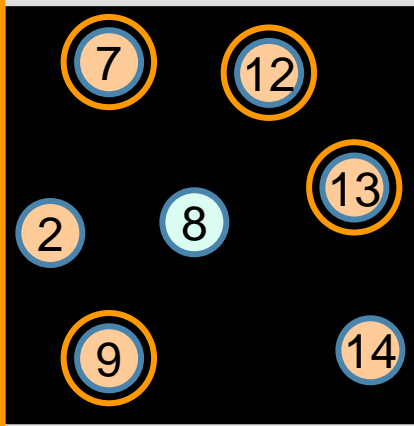
Fase 3

Fase 4

- Seleção de Referências:

- Valor residual enviado pelas referências;
- nó faz “ranking”;

$$residual(x, y, z) = \sum_{i \in reference} \left(\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - d_i \right)^2$$



- escolhe as 4 referências mais confiáveis;
- para referências originais, $residual \sim 0$.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

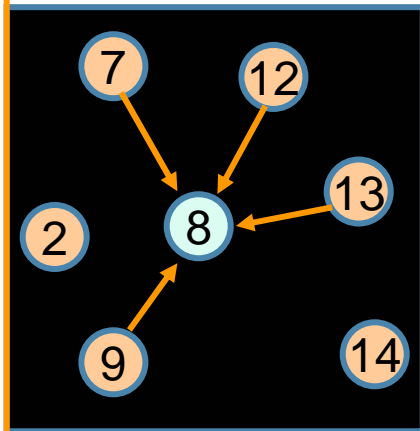
Algoritmo de Disseminação de Posição

Fase 1

Fase 2

Fase 3

Fase 4



- Cálculo das distâncias:
 - utilizar as técnicas mencionadas;
 - RSSI;
 - AoA;
 - ToA; e
 - TDoA;
 - pode-se rejeitar estimativas instáveis.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

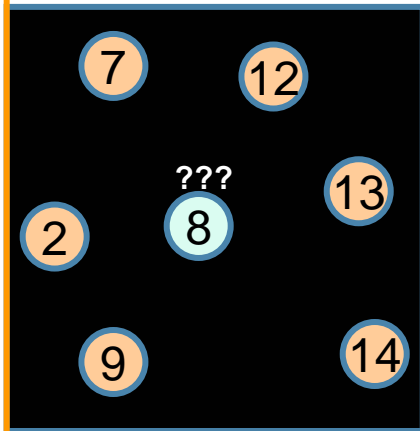
Algoritmo de Disseminação de Posição

Fase 1

Fase 2

Fase 3

Fase 4



- Estimativa do Posicionamento:
 - cada referência gera uma equação:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + \varepsilon_i$$

- posição = linearização (séries de Taylor);
- pode-se obter estimativas erradas;
 - solução: rejeitar residuais > 0.01 m2.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

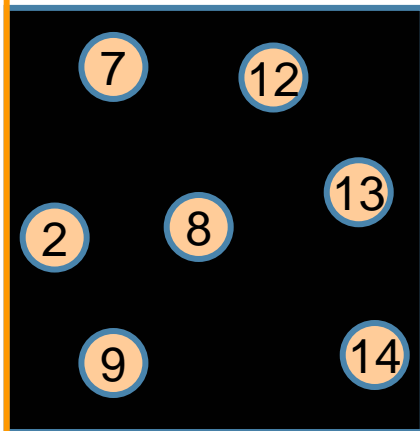
Algoritmo de Disseminação de Posição

Fase 1

Fase 2

Fase 3

Fase 4



- Referência para o próximo nível:
 - se é obtida uma estimativa razoável;
 - cuidado: evitar erros crescentes;
 - tornando-se referência:
 - aumenta a possibilidade para outros nós; e
 - permite melhorar estimativas já feitas;
- principal fator de escalabilidade.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

- **Conclusão do Artigo:**
 - apresentação de um framework básico;
 - permite estimativas diante de ruídos;
 - rejeita erros grandes; e
 - hierarquia escalável através de recursão simples.

RECURSIVE POSITION ESTIMATION

- **Conclusão Final:**
 - solução bastante viável e com as vantagens já citadas.
- **Porém ..**
 - erros podem ser propagados;
 - cada nó deve ter pelo menos 4 vizinhos referências;
 - pode ser reduzido para 3 ..
 - é melhor uma estimativa ruim ou nenhuma?

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- Introdução
- Conceitos Básicos
- Soluções propostas na literatura:
 - AD HOC Positioning System – APS
 - Recursive Position Estimation in Sensor Nets
 - **Localization With Mobile Beacon**
- Conclusão

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- Proposto por Mihail Sichitiu *et al.*:

“Sistema de localização
auxiliado por um beacon
móvel que conhece sua posição
a cada instante.”

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- Lembra do Beacon?



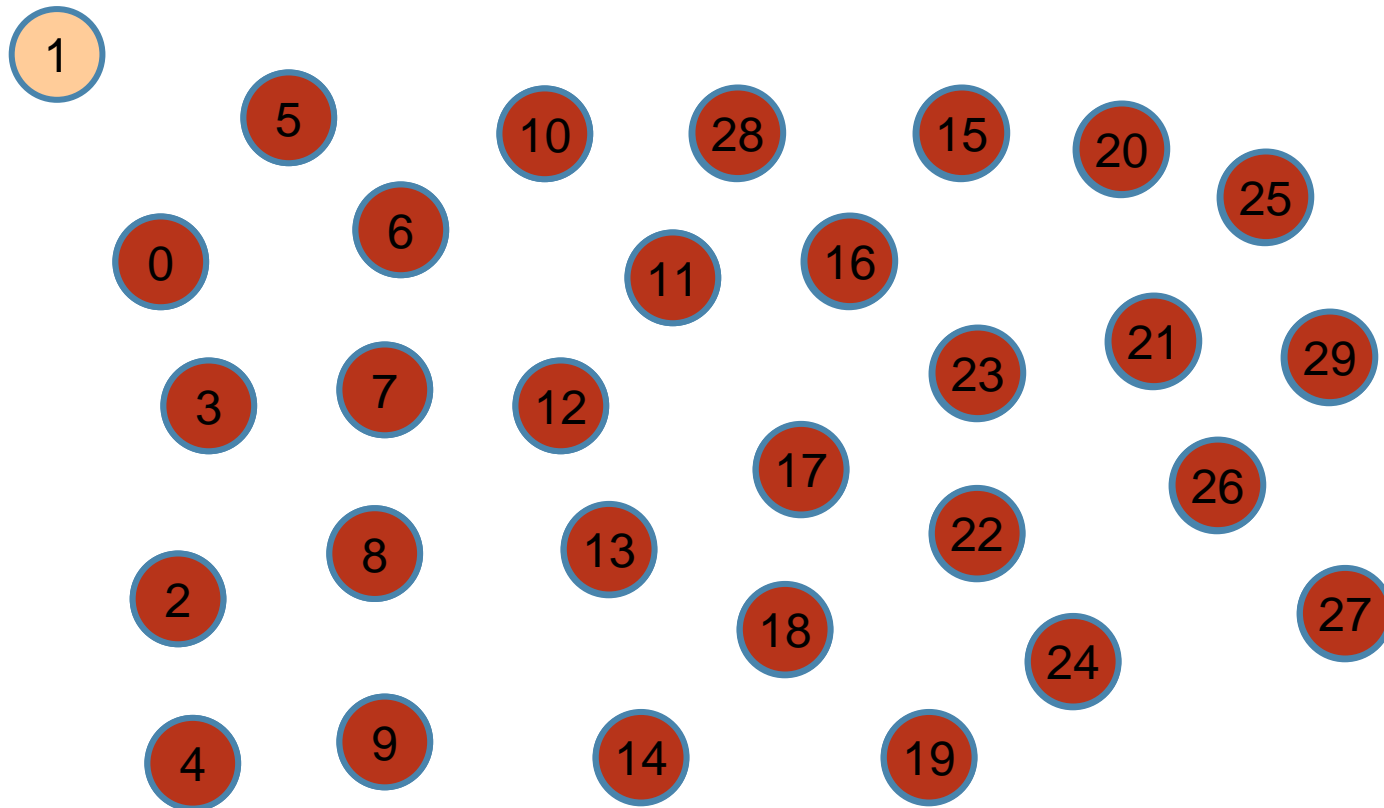
- Pois é .. Agora ele pode se mover !!
- Possíveis Beacons Móveis:
 - algo operado por uma pessoa;
 - um veículo não tripulado;
 - um dirigível; e etc.

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- **Funcionamento:**
 - os nós são lançados com um beacon móvel;
 - o beacon móvel começa a se mover pelo campo de sensores enviando mensagens de *broadcast* com sua posição; e
 - um nó ao receber três ou mais pacotes pode estimar sua posição.

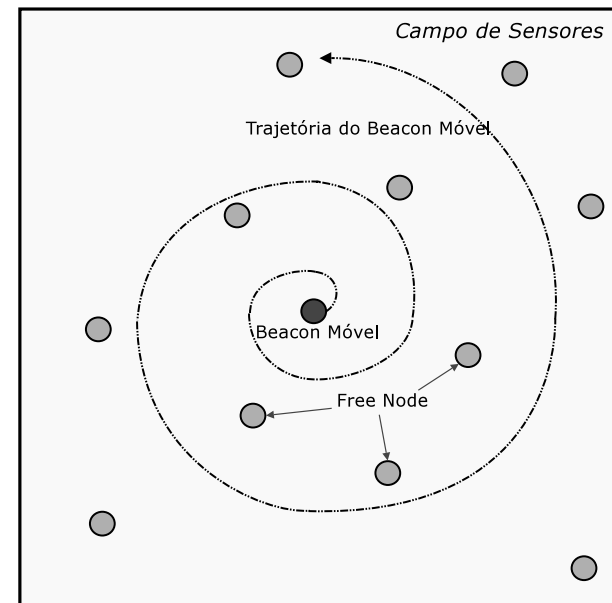
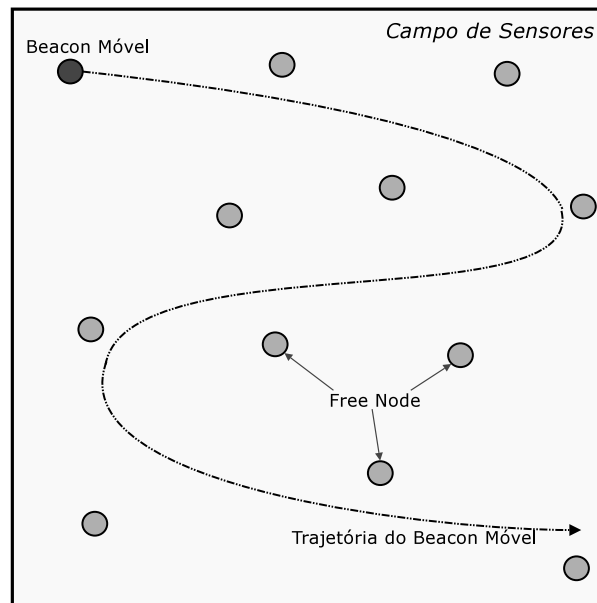
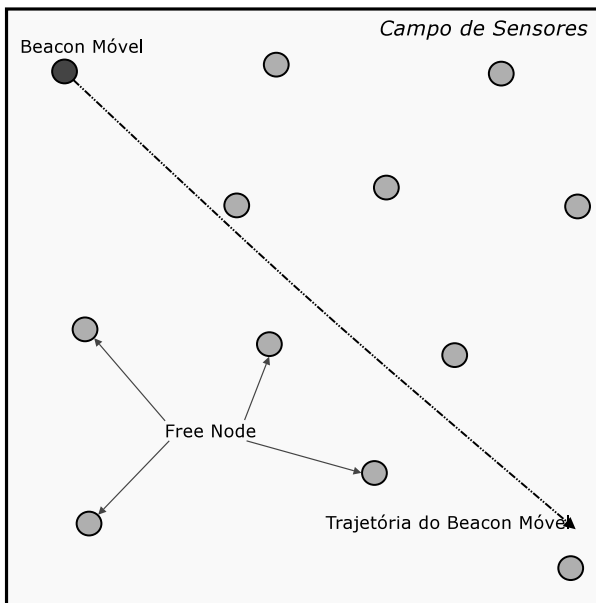
LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

Exemplo de Funcionamento



LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- Possíveis trajetórias:



- deve-se evitar trajetórias retas

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- Vantagens:
 - nós não precisam ter GPS;
 - não propaga erros pela rede;
 - menor consumo de energia dos nós;
- Desvantagens:
 - precisa de um beacon *móvel*;
 - estimativas podem demorar bastante;

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

- Introdução
- Conceitos Básicos
- Soluções propostas na literatura:
 - AD HOC Positioning System – APS
 - Recursive Position Estimation in Sensor Nets
 - Localization With Mobile Beacon
- Conclusão

LOCALIZATION WITH MOBILE BEACON

▪ Referências:

- Ilyas, M. and Mahgoub, I. (2004). *Handbook of sensor networks: compact wireless and wired sensing systems*. CRC Press LLC.
- Albowicz, J. Chen, A., and Zhang, L. (2001). Recursive position estimation in sensor networks. *In Proceedings of the 9th International Conference on Network Protocols*. Riverside - California - USA.
- Niculescu, D. and Nath, B. (2001). Ad Hoc positioning system (aps). *In IEEE Global Communications Conference (GlobeCom2001)*. San Antonio - TX - USA.
- Sichitiu, M. L. and Ramadurai, V. (2003). Localization of wireless networks with a mobile beacon. Technical report tr-03/06, Center for Advances Computing and Communications (CACC). Raleigh - NC.
- Hightower, J. and Borriello, G. (2001) A Survey and Taxonomy of Location Systems for Ubiquitous Computing, *IEEE Computer*

LOCALIZAÇÃO

EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Projeto SensorNet - <http://www.sensornet.dcc.ufmg.br>



UFMG - ICEx
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

DFE
40 Anos



Obrigado !!

HORÁCIO A. B. FERNANDES DE O.
HORACIO@DCC.UFMG.BR