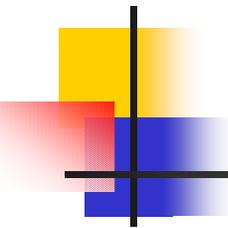


---

# Coleta de Dados e Navegação Assistida em Redes de Sensores sem Fio

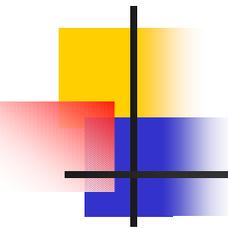
Problemas comuns e possibilidades  
de colaboração entre redes de  
sensores e robótica móvel



# Sumário

---

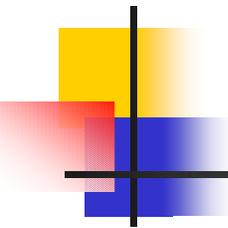
- Introdução
- Abordagens
  - Posicionamento estático do ponto de acesso
  - Definição de estratégia de roteamento
  - Coleta de dados de redes de sensores por robôs móveis
  - Navegação assistida pela rede de sensores
  - Lançamento e navegação assistidos pela rede de sensores
- Conclusão
- Referências



# Introdução

---

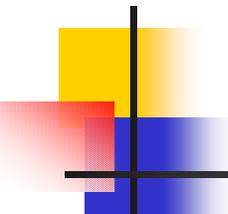
- Problemas em redes de sensores
  - Coleta dos dados da aplicação
    - Eficiência energética da rede
    - Robustez da coleta dos dados
    - Tempo de coleta dos dados
  - Lançamento da rede para cobertura do ambiente
    - Localização dos nós sensores
  - Navegação pelo ambiente assistida pela rede
    - Navegação como parte dos objetivos da aplicação



# Abordagens

---

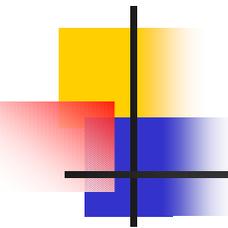
- **Posicionamento estático do ponto de acesso**
- Definição de estratégia de roteamento
- Coleta de dados de redes de sensores por robôs móveis
- Navegação assistida pela rede de sensores
- Lançamento e navegação assistidos pela rede de sensores



# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

---

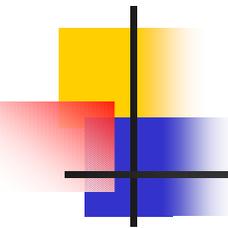
- Power-Aware Base Station Positioning for Sensor Networks (University of California, Berkeley – IEEE INFOCOM 2004)
- Definição a priori da localização de  $n$  pontos de acesso (estações base) de forma a maximizar o tempo de vida da rede
- Aplicação de monitoração ambiental
  - Mínimo de interferência ao ambiente
  - Sem agregação de dados; estudo posterior do histórico dos dados coletados



# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

---

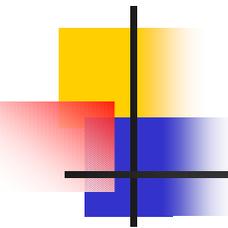
- Modelo geral de rede de sensores
  - Sensores estáticos, com taxas conhecidas de consumo e recarga de bateria
  - Todas as mensagens devem ser enviadas a alguma estação base, onde os dados podem ser processados
- Definição do problema
  - Maximização da taxa de produção de dados na rede, respeitadas as restrições de consumo de energia dos nós
    - Alternativamente, minimização da energia necessária para prover uma determinada taxa de produção
  - Para cada possível leiaute de estações base, existe uma taxa máxima que não viola as restrições de energia dos sensores da rede
  - O objetivo é escolher um leiaute que maximize a taxa de produção
  - Utiliza-se um algoritmo centralizado que recebe informação completa sobre a localização dos nós sensores



# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

---

- O problema de posicionamento de estações base é NP-Completo
  - A solução apresentada utiliza heurísticas computacionalmente eficientes
  - Problema de fluxo máximo em redes
- Avaliação
  - Redes lançadas uniformemente (e.g. agricultura)
  - Redes dispersadas aleatoriamente (e.g. regiões remotas)
  - Redes lançadas com ligações preferenciais (e.g. interação complexa, similar à Web)



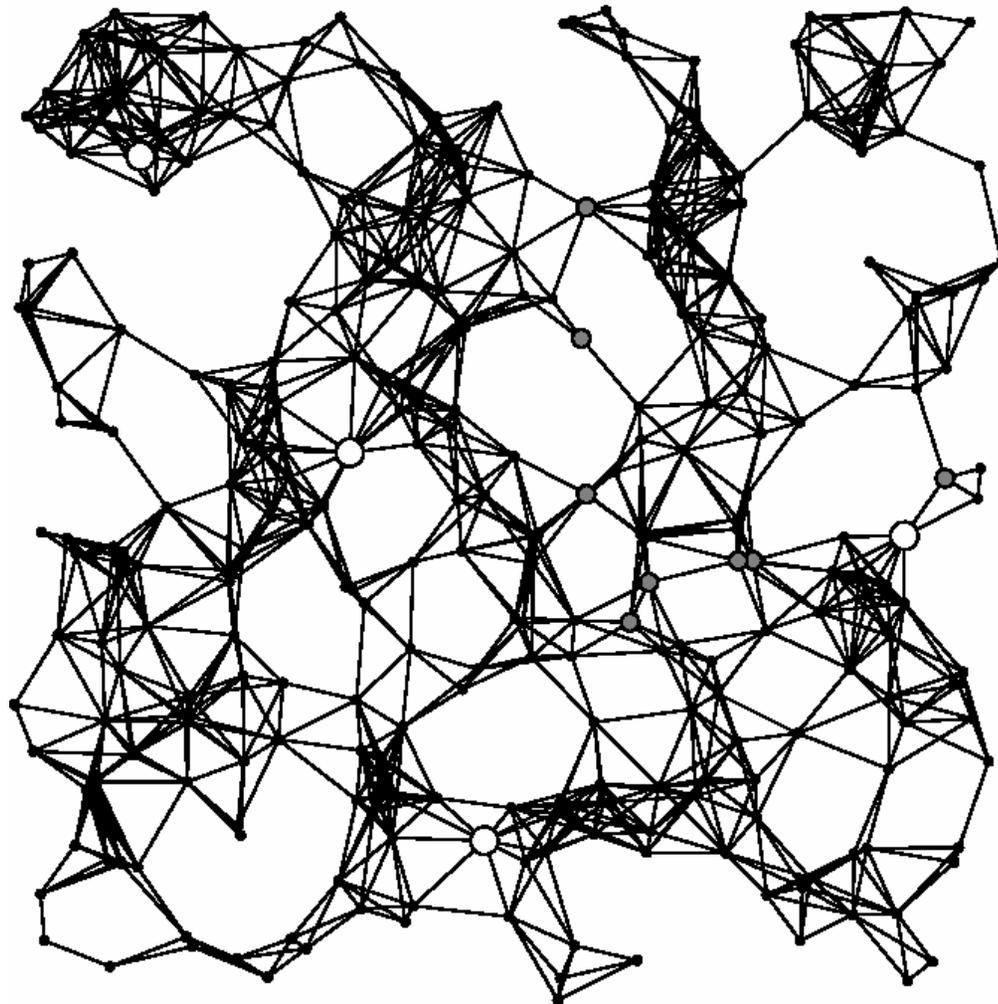
# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

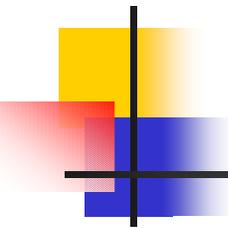
---

- Busca exaustiva
  - Solução ótima, com  $O(n^b)$ ;  $n$  sensores,  $b$  estações
  - Viável para pequenos valores de  $b$
  - Experimentos com 300 nós utilizaram apenas 3 estações
- Algoritmo guloso
  - Determina consecutivamente a posição de cada estação base de forma a melhorar a taxa de produção, mantendo as estações anteriores fixas
  - Soluções próximas à ótima, com  $O(bn)$
- Algoritmo de busca local
  - A partir de uma configuração aleatória inicial de estações base, verifica se a taxa pode ser melhorada pelo deslocamento de uma das estações
    - Se nenhuma melhora é possível, encontrou-se um máximo local
    - O algoritmo reinicia com outras configurações aleatórias, informando o maior máximo local encontrado
  - Soluções próximas à ótima (verificação empírica), com melhor desempenho que a estratégia gulosa

# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

---





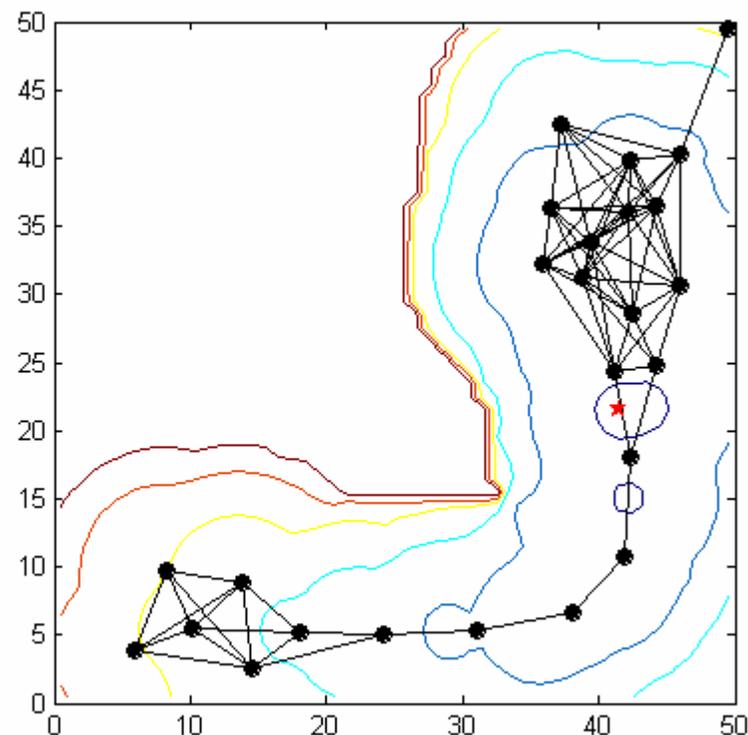
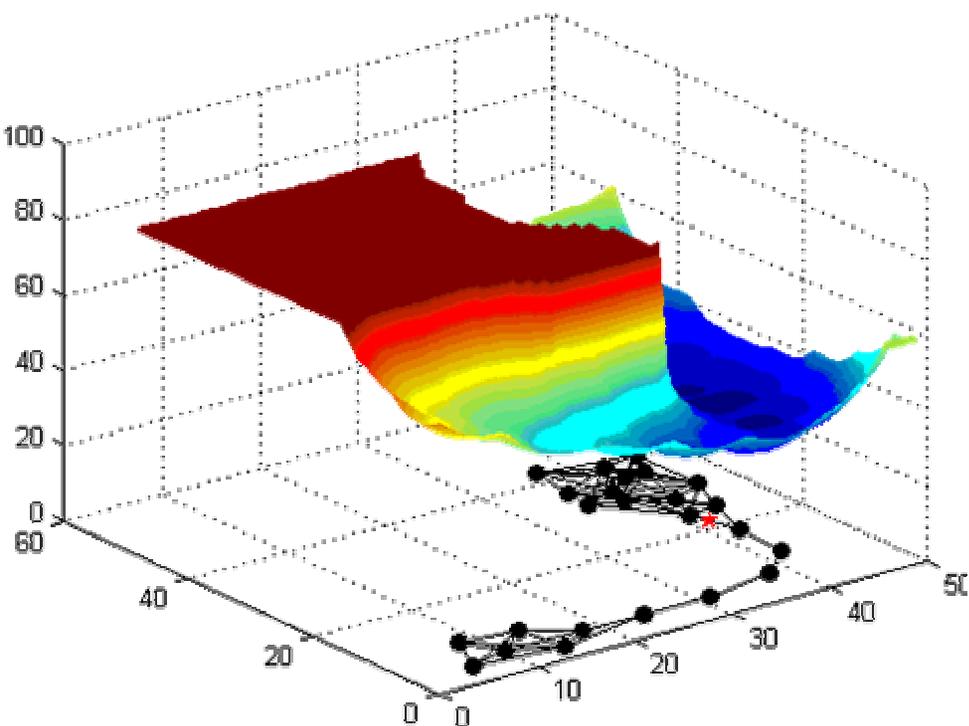
# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

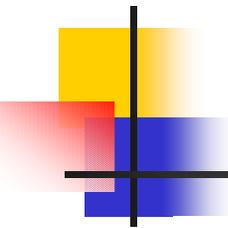
---

- A abordagem não é viável em termos práticos, porém possibilita avaliar a influência do leiaute das estações base na produção e fluxo de dados na rede de sensores
- Não se conhece um algoritmo aproximado com tempo polinomial que forneça garantia da qualidade da solução
- A escolha do leiaute tem grande influência sobre os requisitos de energia da rede
  - Geralmente, as posições das estações base são limitadas a posições que contenham fontes de energia (periferia da rede)
  - Os resultados mostram que em determinadas situações, vale a pena disponibilizar fontes de energia em outras posições para melhorar a eficiência energética da rede

# Posicionamento Estático do Ponto de Acesso

- Solução preliminar para uma estação base
  - Solução exata de um Problema de Fluxo de Custo Mínimo

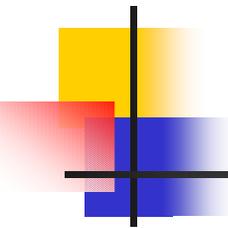




# Abordagens

---

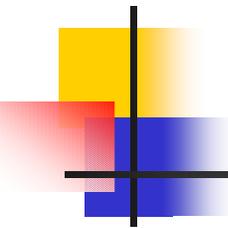
- Posicionamento estático do ponto de acesso
- **Definição de estratégia de roteamento**
- Coleta de dados de redes de sensores por robôs móveis
- Navegação assistida pela rede de sensores
- Lançamento e navegação assistidos pela rede de sensores



# Definição de Estratégia de Roteamento

---

- Maximizing Data Extraction in Energy-Limited Sensor Networks (University of Southern California – IEEE INFOCOM 2004)
- Maximização da extração de dados por um ponto de acesso estacionário em uma rede de sensores com restrições de energia
- Hipóteses
  - Não é necessário nem possível coletar dados de uma rede de sensores de forma contínua em tempo real, devido às restrições de energia
  - A coleta é feita posteriormente, recuperando os dados armazenados nos sensores

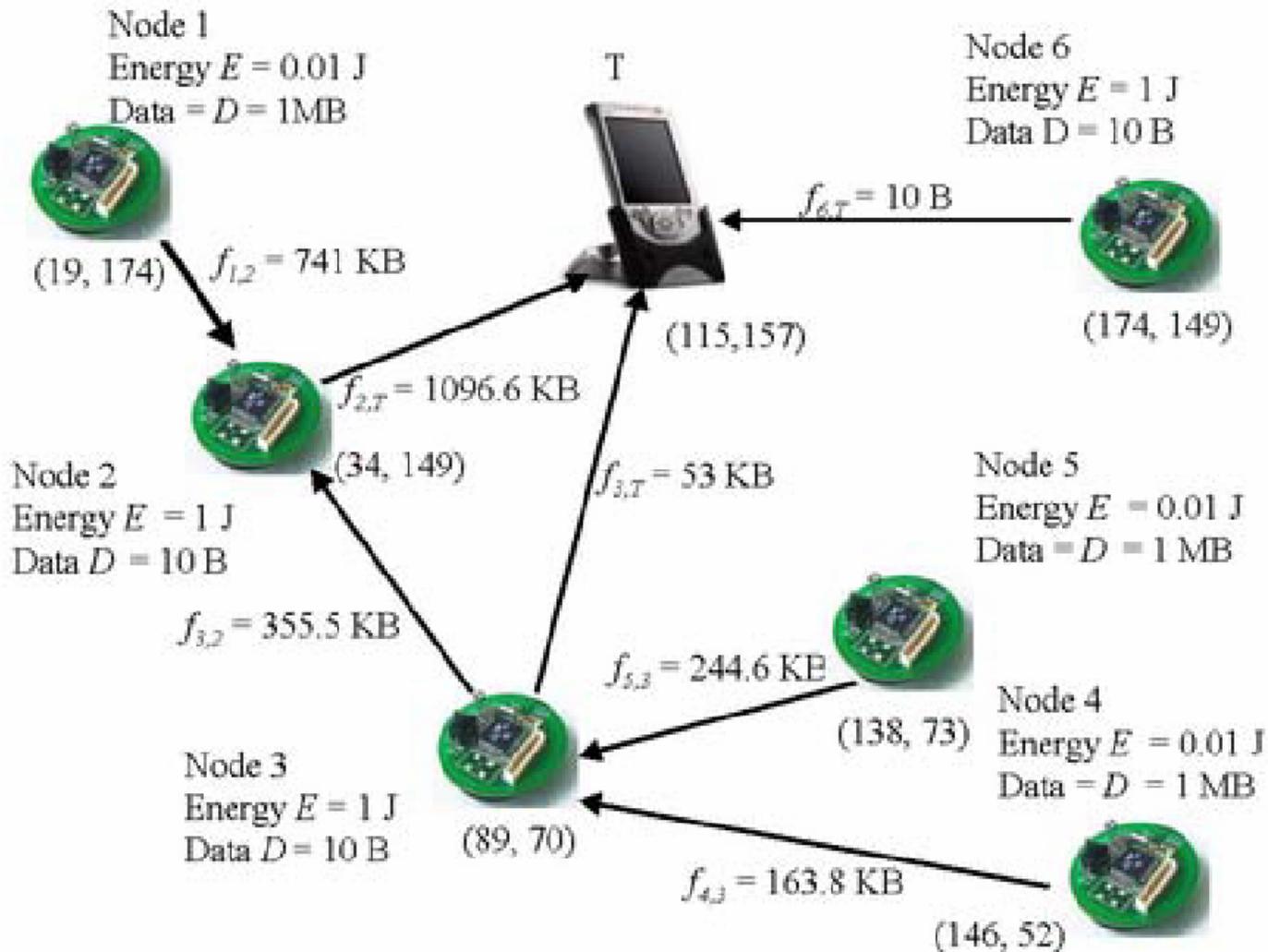


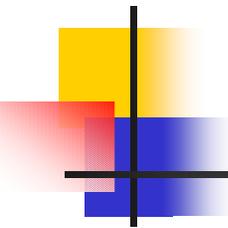
# Definição de Estratégia de Roteamento

---

- Modelo
  - Formulação exata como um Problema de Programação Linear (fluxo de multi-produtos), com restrições de conservação de fluxo e consumo de energia
  - São necessárias informações de topologia, taxas de consumo de energia e coleta de dados
  - Aproximações baseadas na estrutura do problema dual, de forma a obter um algoritmo distribuído implementável na prática
  - Resultados mostram soluções próximas à ótima, e ainda melhores que outras abordagens comuns na literatura

# Definição de Estratégia de Roteamento

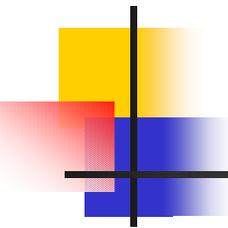




# Abordagens

---

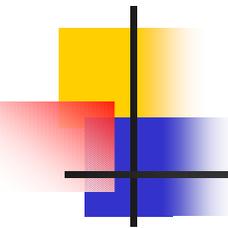
- Posicionamento estático do ponto de acesso
- Definição de estratégia de roteamento
- **Coleta de dados de redes de sensores por robôs móveis**
- Navegação assistida pela rede de sensores
- Lançamento e navegação assistidos pela rede de sensores



# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

---

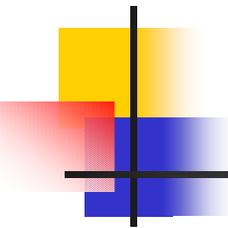
- A Potential Field Approach for Collecting Data From Sensor Networks Using Mobile Robots (UFMG – IEEE/RJS IROS 2004)
- Definição da trajetória a ser seguida por um robô móvel para coletar dados de uma rede de sensores de maneira eficiente
- Motivação
  - Devido à pequena capacidade de armazenamento, a comunicação (*multi-hop*) dos sensores com o ponto de acesso é frequente
  - Tempo de vida da rede é fortemente influenciado pelo processo de transferência de dados



# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

---

- Hipóteses
  - Como os sensores produzem dados continuamente, o robô deve visitar os nós freqüentemente
  - Os dados podem ser coletados assim que o robô entre no alcance de comunicação do nó sensor
  - A capacidade de armazenamento dos robôs é infinita (ou suficientemente grande)
  - Em cada instante de tempo  $t$ , o robô conhece sua própria configuração e a posição e capacidade residual de armazenamento de cada sensor
  - O robô utilizado é holonômico



# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

---

- Definição do problema

- Ambiente limitado, plano e livre de obstáculos

- Robô  $R$

- Configuração  $q_R(t) = (x_R, y_R)$

- Nós sensores  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$

- $q_i = (x_i, y_i)$  no espaço de configurações  $\mathcal{C}$

- Comunicação ideal em um círculo de raio  $r_i$

- Capacidade de armazenamento  $C_i$

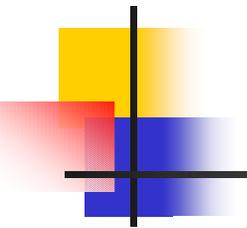
- Quantidade de dados coletados

- $d_i(t) = g_i t$  onde  $g_i$  é a taxa de coleta de dados

- Capacidade residual de armazenamento

$$c_i(t) = \begin{cases} C_i - d_i(t) + h_i(t) & \text{para } \|q_R - q_i\| \leq r_i \\ C_i - d_i(t) & \text{caso contrário} \end{cases}$$

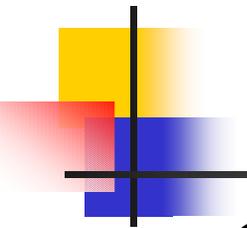
- $h_i$  é a taxa de transferência de dados entre o sensor e o robô



# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

---

- Considerações
  - Devido às características dos sensores e dispositivos de comunicação,  $h_i \gg g_i$
  - Devido às limitações dos sensores,  $0 \leq c_i(t) \leq C_i$ 
    - $d_i(t) - h_i(t) > C_i$  implica em perda de dados
    - A solução proposta define um esquema de controle para o robô que garante que não haja perda de dados
    - Todos os sensores devem ser visitados antes que suas máximas capacidades de armazenamento sejam alcançadas



# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

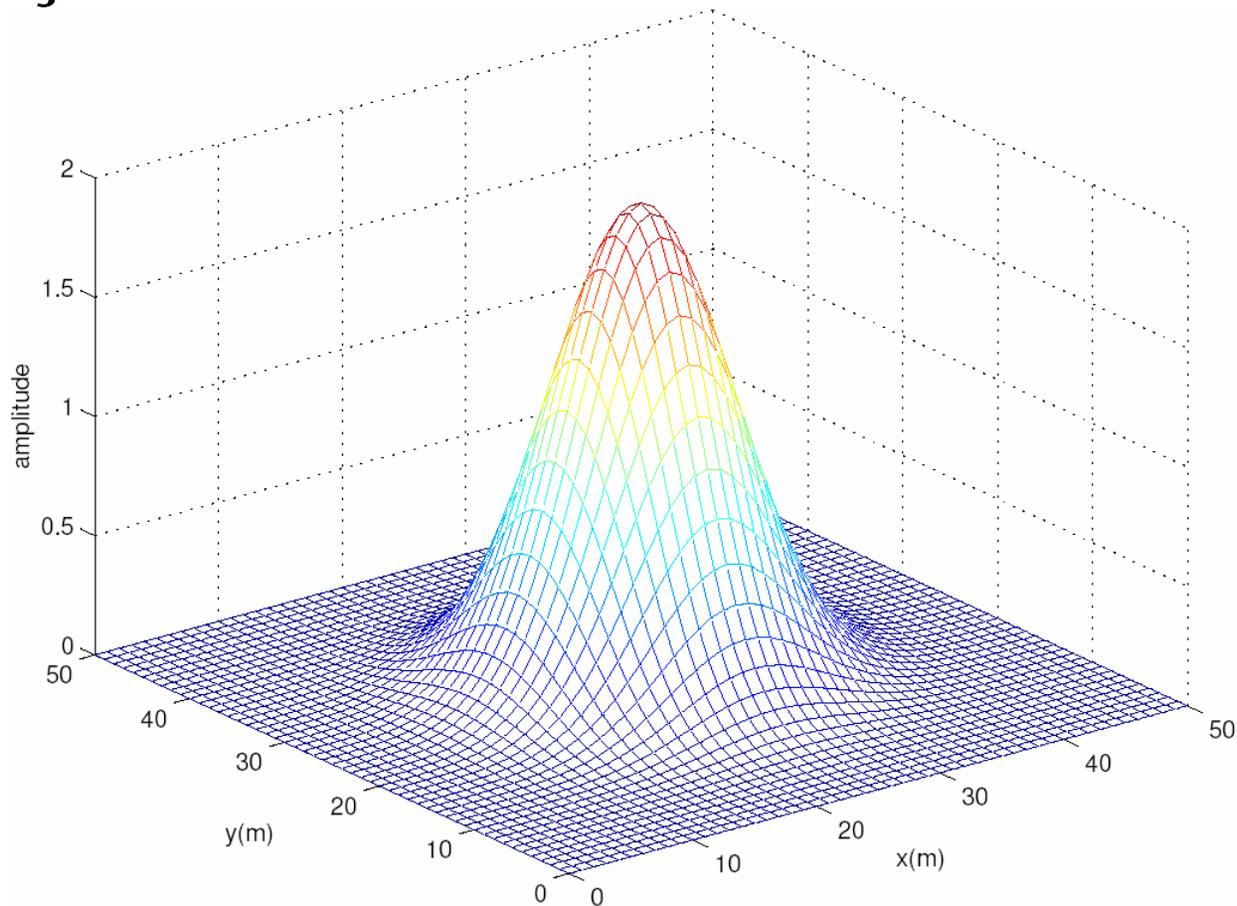
---

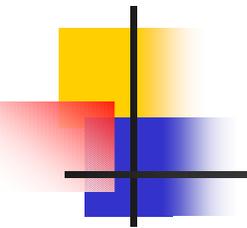
- O problema é tratado como um problema de planejamento de trajetória com múltiplos objetivos
- Abordagem baseada em campos potenciais
  - Superposição de campos potenciais atrativos para posições-alvo e repulsivos para obstáculos
  - Função potencial composta por diversos potenciais atrativos, um para cada nó sensor
    - Propriedade atrativa proporcional à carência de espaço de armazenamento
    - Funções de base radial
      - Controle da intensidade da força atrativa ( $\alpha$ )
      - Controle da região de influência do campo potencial ( $\rho$ )
      - Função centrada em  $q_i$

$$\phi_i(q_R) = \alpha_i e^{-\frac{1}{2\rho_i^2}\|q_R - q_i\|^2}$$

# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

- Funções de base radial





# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

- Abordagem baseada em campos potenciais
  - Robô deve navegar na direção do gradiente da função potencial

$$\nabla \phi_i(q_R) = -\alpha_i \frac{\|q_R - q_i\|}{\rho_i^2} e^{-\frac{1}{2\rho_i^2}\|q_R - q_i\|^2}$$

- Nós com menor capacidade de armazenamento devem ser mais atrativos ao robô
  - Aumento da influência espacial do sensor  $\rho_i = \xi[C_i - c_i(t)]$
  - Aumento da força de atração do sensor  $\alpha_i = \rho_i^\kappa \quad \kappa > 2$

# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

- Abordagem baseada em campos potenciais
  - Cálculo dos gradientes de todos os sensores
  - Determinação do próximo sensor a ser visitado

$$\nabla \phi_{\max}(q_R) = \max(\nabla \phi_i(q_R), 1 \leq i \leq m)$$

- Para evitar mínimos locais, apenas gradientes no mesmo semiespaço de  $\nabla \phi_{\max}$  são considerados em tempo real

$$S = \{x \mid x \cdot \nabla \phi_{\max} > 0, x \neq \nabla \phi_{\max}\}$$

- Controladores do robô
  - Como o robô não precisa alcançar a configuração  $q_i$  do sensor, a utilização de objetivos simultâneos gera trajetórias que interceptam o alcance de comunicação de vários sensores

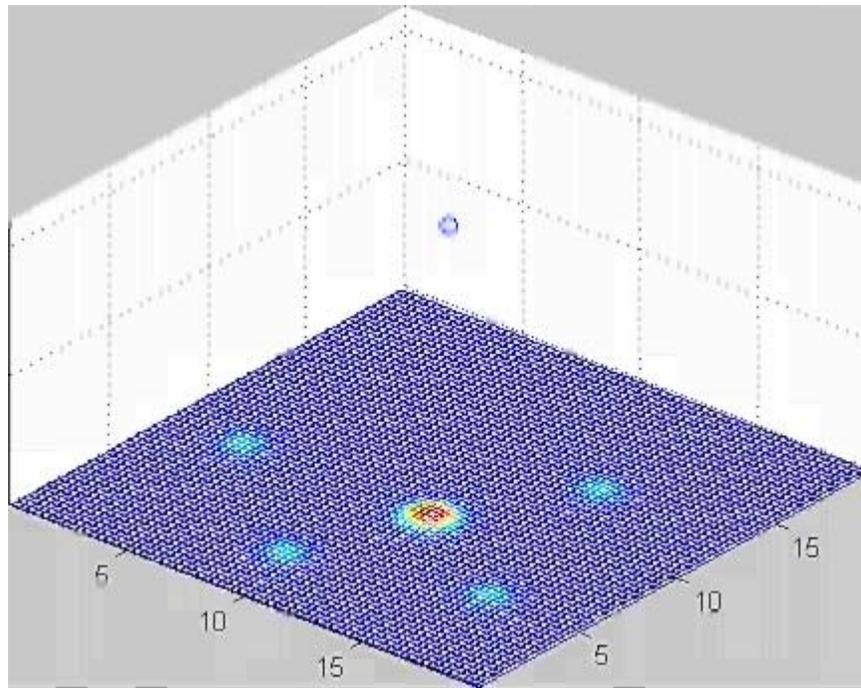
$$v = \nabla \phi_{\max} + \sum_{\nabla \phi_i \in S} \nabla \phi_i(q_R)$$

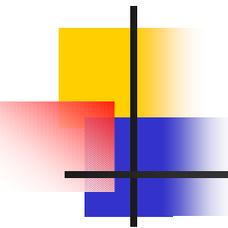
$$u = k \frac{v}{\|v\|}$$

$$\dot{q}_R = u$$

# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

- Resultados

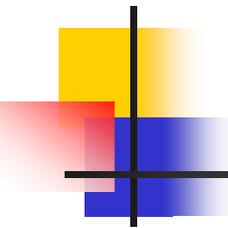




# Coleta de Dados de Redes de Sensores por Robôs Móveis

---

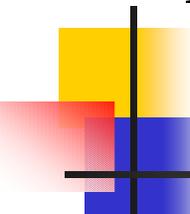
- Discussão
  - Supõe-se que a taxa de coleta dos sensores é pequena em comparação à velocidade do robô
    - Caso contrário, alguns nós podem nunca serem servidos
    - Como a metodologia é reativa, esse problema não foi considerado
  - Não é possível garantir que todos os sensores sejam visitados antes de esgotarem sua capacidade de armazenamento
- Críticas
  - Apesar de não se considerar a comunicação multi-hop entre os sensores durante a navegação do robô, considera-se que sempre há informação sobre a capacidade de armazenamento corrente de cada nó
  - Não são considerados aspectos de energia na navegação
  - Estes poderiam ser incorporados à função potencial, para permitir que nós com menor energia residual fossem servidos primeiro



# Abordagens

---

- Posicionamento estático do ponto de acesso
- Definição de estratégia de roteamento
- Coleta de dados de redes de sensores por robôs móveis
- **Navegação assistida pela rede de sensores**
- Lançamento e navegação assistidos pela rede de sensores



# Navegação assistida pela rede de sensores

---

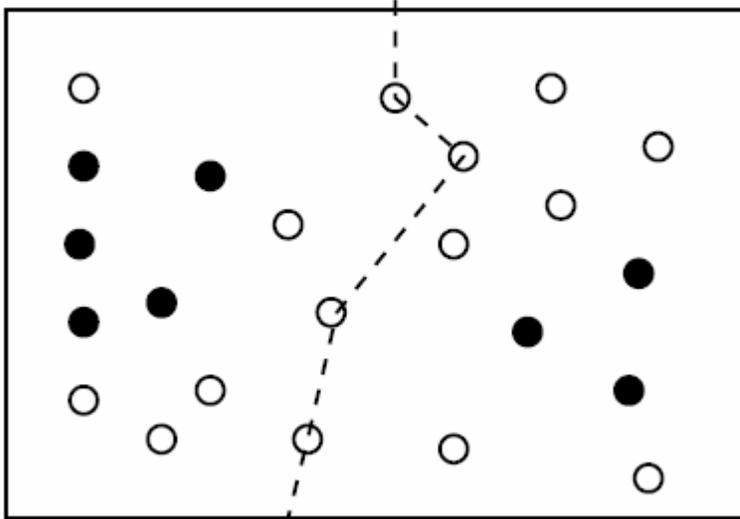
- Distributed Algorithms for Guiding Navigation across a Sensor Network (Dartmouth College – DCS – MOBICOM 2003)
- Definição da trajetória a ser seguida por um objeto móvel dados os destinos e obstáculos
  - A trajetória é calculada e armazenada pelos próprios sensores
- Protocolo desenvolvido
  - Utiliza campo potencial para repulsão dos obstáculos e atração dos destinos sobre o objeto móvel
  - Encontra o melhor caminho para o destino evitando os obstáculos
  - Distribui a informação na rede de sensores para que seja recuperada de forma reativa

# Navegação assistida pela rede de sensores

---

- Cenário
  - Objeto móvel
    - Robô ou pessoa guiada por um aparelho (notebook, PDA, etc)
  - Obstáculos
    - Regiões de perigo no ambiente (fogo, fumaça), outras pessoas, etc.
  - Destino
    - Definido a priori
  - Mapa geométrico
    - O mapa é calculado, mas não é armazenado como um todo
    - Informação é distribuída na rede
    - Cada nó guarda apenas a informação de interesse à navegação naquele ponto (para onde ir).

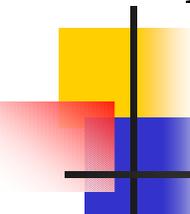
# Navegação assistida pela rede de sensores



- Nodos que detectaram obstáculos.
- Nodos que não detectaram obstáculo.
- Melhor caminho

2 obstáculos e 1 destino

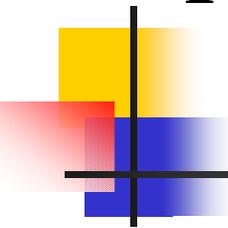




# Navegação assistida pela rede de sensores

---

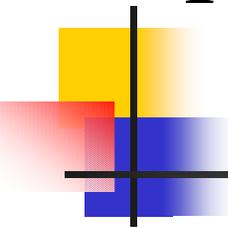
- Protocolo de campo potencial
  - Nós que detectaram obstáculo
    - Enviam mensagens para os nós vizinhos
      - Informações: id do nó, valor do potencial e quantidade de saltos a partir da origem
  - Nós vizinhos
    - Armazenam apenas as mensagens com o menor número de saltos
    - Repassam as mensagens com a informação recalculada
      - Incrementa o número de saltos
      - Recalcula o potencial
  - Cada nó
    - Soma os potenciais recebidos formando o potencial daquela área



# Navegação assistida pela rede de sensores

---

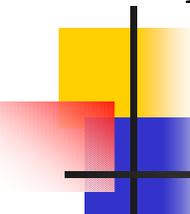
- Protocolo de computação do melhor caminho
  - Nó destino
    - Envia uma mensagem para os nós vizinhos
      - Informações: id destino, id nó corrente, potencial (zero), saltos a partir do destino
  - Nós vizinhos:
    - Armazena apenas a mensagem com o menor potencial.
      - Guarda de onde veio a mensagem
    - Envia uma mensagem aos seus vizinhos somando seu potencial ao potencial recebido



# Navegação assistida pela rede de sensores

---

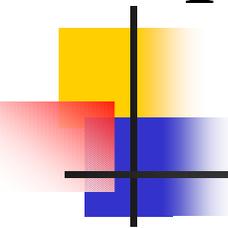
- Protocolo de guia de navegação
  - Nó móvel
    - Pergunta aos nós vizinhos para onde ir em seguida
    - Escolhe o melhor caminho entre as respostas recebidas
  - Nós vizinhos
    - Respondem a pergunta com as informações guardadas pelos protocolos anteriores



# Navegação assistida pela rede de sensores

---

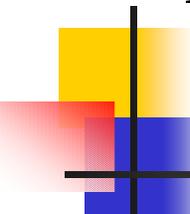
- Hardware usado no experimento
  - MICA Motes MOT300
    - Processador Atmel ATMEGA103
      - 4Mhz, 128KB Instruction Memory, 4KB RAM
      - 4Mbit flash
    - Dispositivos
      - LEDs, low-power radio transceiver, photo-sensor, serial port, co-processor unit
    - Comunicação de rádio
      - RF Monolithics 916.50 MHz transceiver (TR1000)
  - Sistema Operacional
    - TinyOS



# Navegação assistida pela rede de sensores

---

- Experimento
  - A rede de nós foi montada manualmente
  - Cada nó sabe sua localização
  - É definido o nó destino
  - Os campos potenciais dos obstáculos e dos destinos são calculados periodicamente
  - São inseridos obstáculos dinamicamente



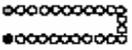
# Navegação assistida pela rede de sensores

---

- Mensuração
  - Tempo de estabilização/resposta da rede
  - Não foi usada uma estação base
  - Os dados são colhidos por vídeo e logs
  - São montadas várias topologias de rede
  - Os obstáculos e destinos são colocados em locais variados

# Navegação assistida pela rede de sensores

- Tempos mensurados

Exp. Config.	danger prop.	Shortest distance	goal prop.	safest path	Exp. Config.	danger prop.	Shortest distance	goal prop.	safest path
	0.23	1.13	0.17	9.23		1.23	22.33	2.27	19.27
	0.20	2.17	0.13	4.23		5.20	20.30	1.17	9.40
	1.16	3.13	2.13	10.03		1.30	16.23	1.10	2.17
	0.10	3.10	0.10	1.07		9.37	17.37	0.33	8.43
	0.23	1.33	0.13	1.07		1.10	1.10	3.13	5.10
	1.43	2.10	0.17	2.17		7.27	12.23	0.20	8.40
	1.10	27.17	4.27	9.10		4.20	4.20	0.30	12.80

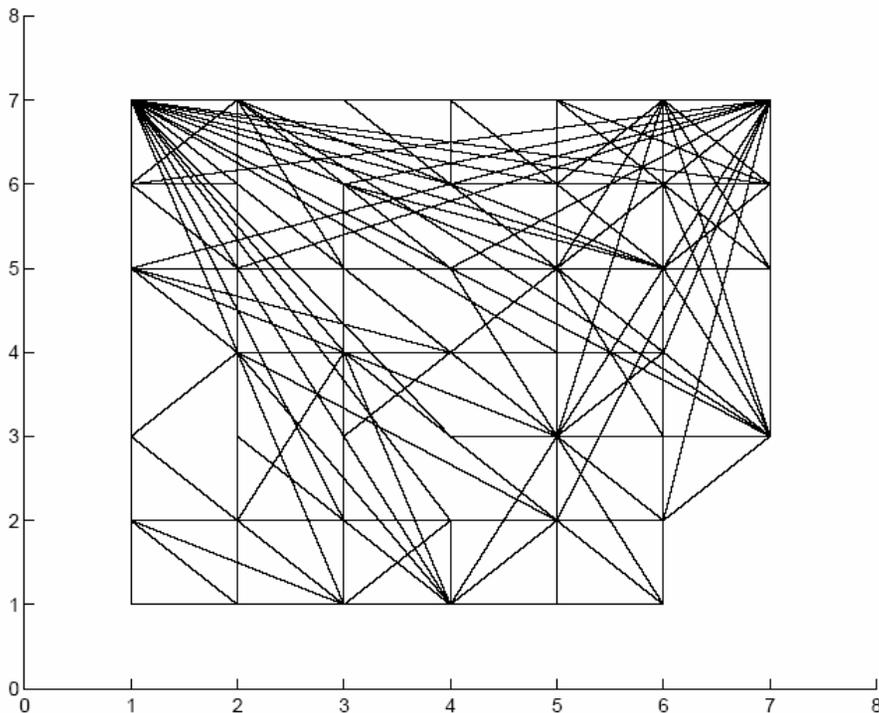
# Navegação assistida pela rede de sensores

- Tempo de resposta

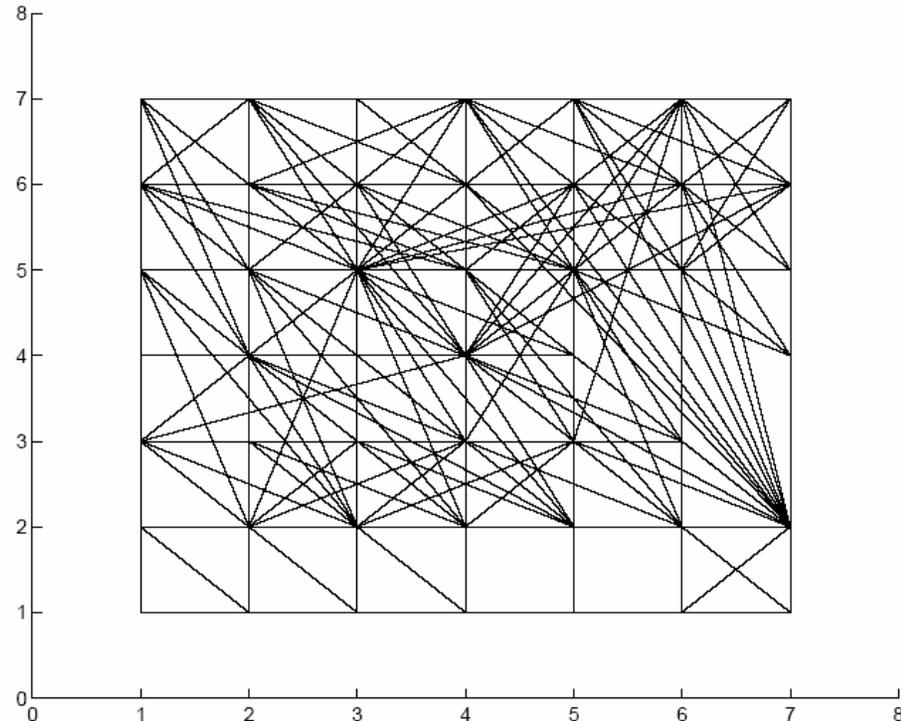
Exp. No.	Exp. Config.	Response Time	Exp. No.	Exp. Config.	Response Time
0		0	8		4.43
1		3.63	9		5.33
2		6.83	10		4.43
3		3.60	11		9.63
4		4.93	12		6.27
5		2.13	13		4.50

# Navegação assistida pela rede de sensores

- Conectividade entre os nós
  - Antes de melhoramentos de performance

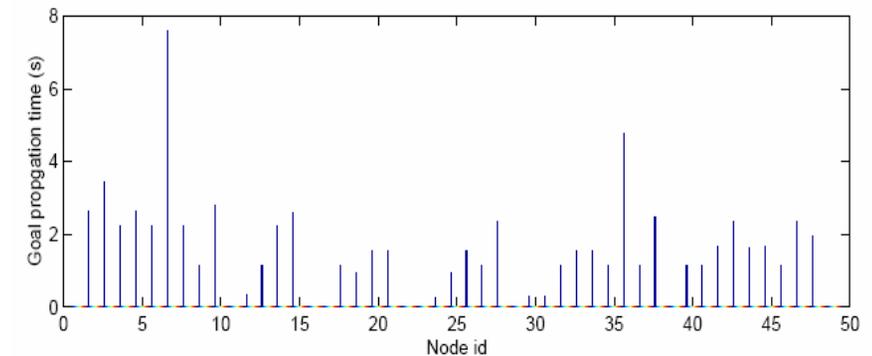
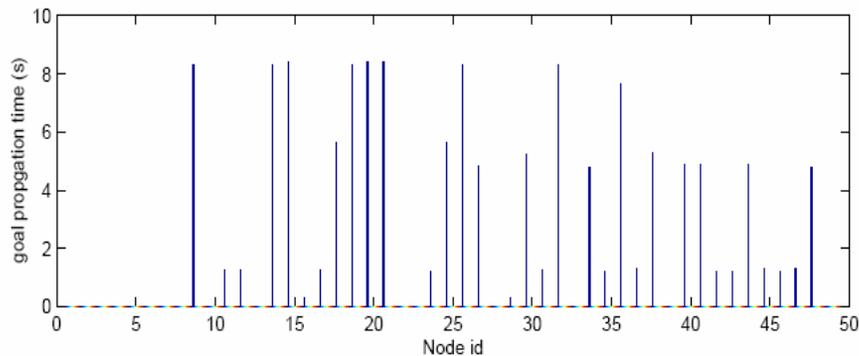
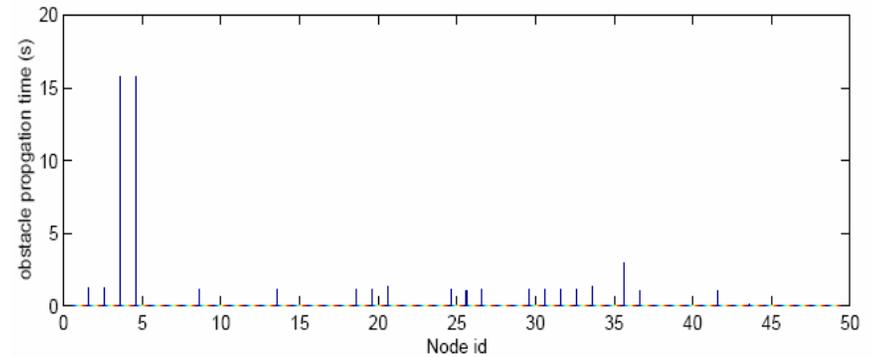
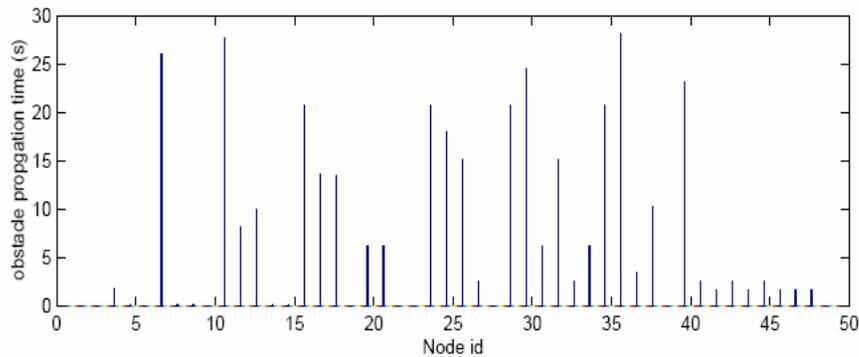


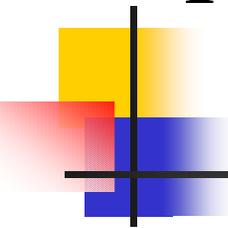
- Depois de melhoramentos de performance



# Navegação assistida pela rede de sensores

- Tempo de propagação
  - Antes de melhoramentos de performance

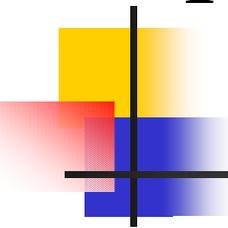




# Navegação assistida pela rede de sensores

---

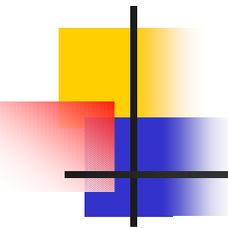
- Discussão
  - Perda de dados não é rara
  - Conexão assimétrica
    - O caminho de volta não é garantido
  - Congestionamento
    - É um grande problema devido a limitações de hardware
  - Condições imprevisíveis
    - Nós distantes se comunicam quando não deveriam



# Navegação assistida pela rede de sensores

---

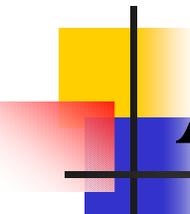
- Considerações
  - Repositório de informação distribuída
    - Mesmo com vários destinos seria possível distribuir a informação
  - Obstáculos móveis
    - A velocidade do movimento é restringida pelo tempo de estabilização da rede



# Abordagens

---

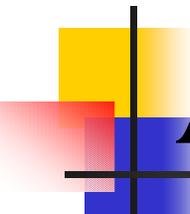
- Posicionamento estático do ponto de acesso
- Definição de estratégia de roteamento
- Coleta de dados de redes de sensores por robôs móveis
- Navegação assistida pela rede de sensores
- **Lançamento e navegação assistidos pela rede de sensores**



# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

---

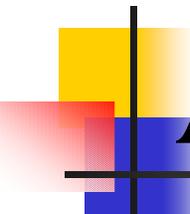
- Coverage, Exploration and Deployment by a Mobile Robot and Communication Network (University of Southern California – Telecommunication Systems Journal 2004)
- Exploração e cobertura de um espaço pelo robô
  - Tarefas de monitoração, localização, busca e resgate
- Lançamento de redes de sensores
  - Monitoração ambiental, vigilância, etc
- Tratamento simultâneo dos problemas
  - Robô lança a rede no ambiente à medida que o explora
  - Rede guia futuras navegações do robô no ambiente



# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Características do problema
  - Ambiente desconhecido
  - Cobertura do ambiente é alcançada de forma dinâmica (movimento constante do robô)
  - Cenário
    - Desabamento de um prédio
    - Robôs são enviados para busca de sobreviventes
    - Exploração e cobertura do ambiente sem a possibilidade de uso de mapas conhecidos a priori
  - Lançamento pelo robô de um conjunto de nós de comunicação (marcadores) no ambiente
  - Navegação do robô pelo ambiente utilizando as informações dos marcadores

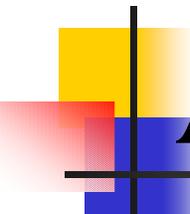


# Lançamento e Navegação

## Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Estratégia de cobertura
  - Completa (cobre cada nó do grafo)
  - Eficiente (tempo de cobertura linear no tamanho da rede)
  - Robusta a mudanças no ambiente
- Lançamento da rede
  - Após o lançamento, o nó emite pacotes de dados com diferentes potências
    - Pacote MAX: fluxo de dados através da rede
    - Pacote MIN: sugestão de direção para navegação
  - Informações de navegação
    - Direções (norte, sul, leste, oeste)
      - Estado (em aberto, explorada)
      - Contador com o tempo desde a última exploração daquela direção
    - Direções em aberto são recomendadas primeiro
    - Direções exploradas são recomendadas em ordem de tempo decorrido



# Lançamento e Navegação

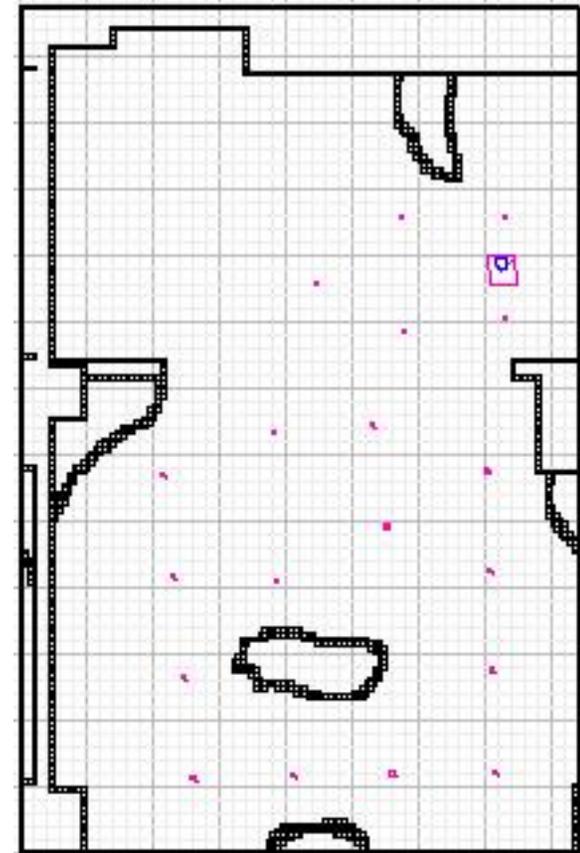
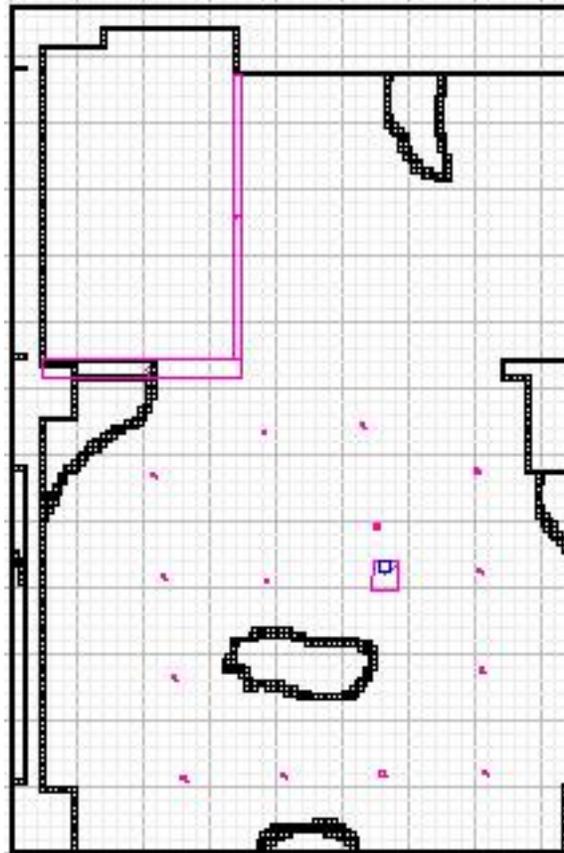
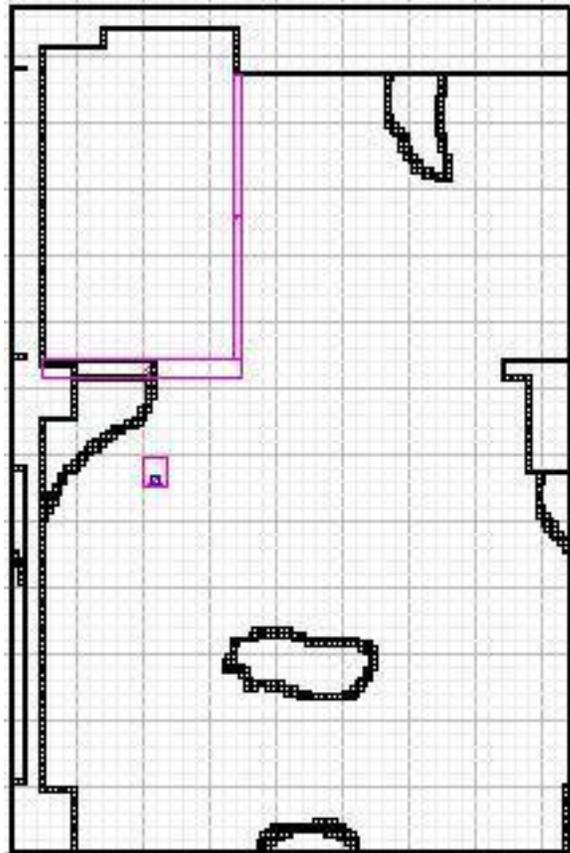
## Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Lançamento da rede
  - Durante a navegação, o robô mantém uma noção do *nó corrente*
    - Nó com maior quantidade de pacotes MIN recebidos pelo robô
  - O robô analisa as mensagens recebidas pelo nó corrente e se orienta de acordo com a direção sugerida
  - O robô envia uma mensagem de atualização solicitando ao nó corrente que marque a direção de aproximação como *explorada*
    - Direção de aproximação não deve ser recomendada brevemente
  - O robô percorre uma distância determinada na direção indicada, e envia nova mensagem ao nó corrente solicitando que a direção sugerida seja marcada como *explorada* e o contador seja atualizado
  - Se a direção sugerida estiver obstruída, o robô solicita ao nó corrente que atualize seu estado com essa informação e que sugira outra direção
  - Caso não sejam recebidos pacotes MIN de nenhum nó após um limite de tempo, o robô lança um novo nó no ambiente

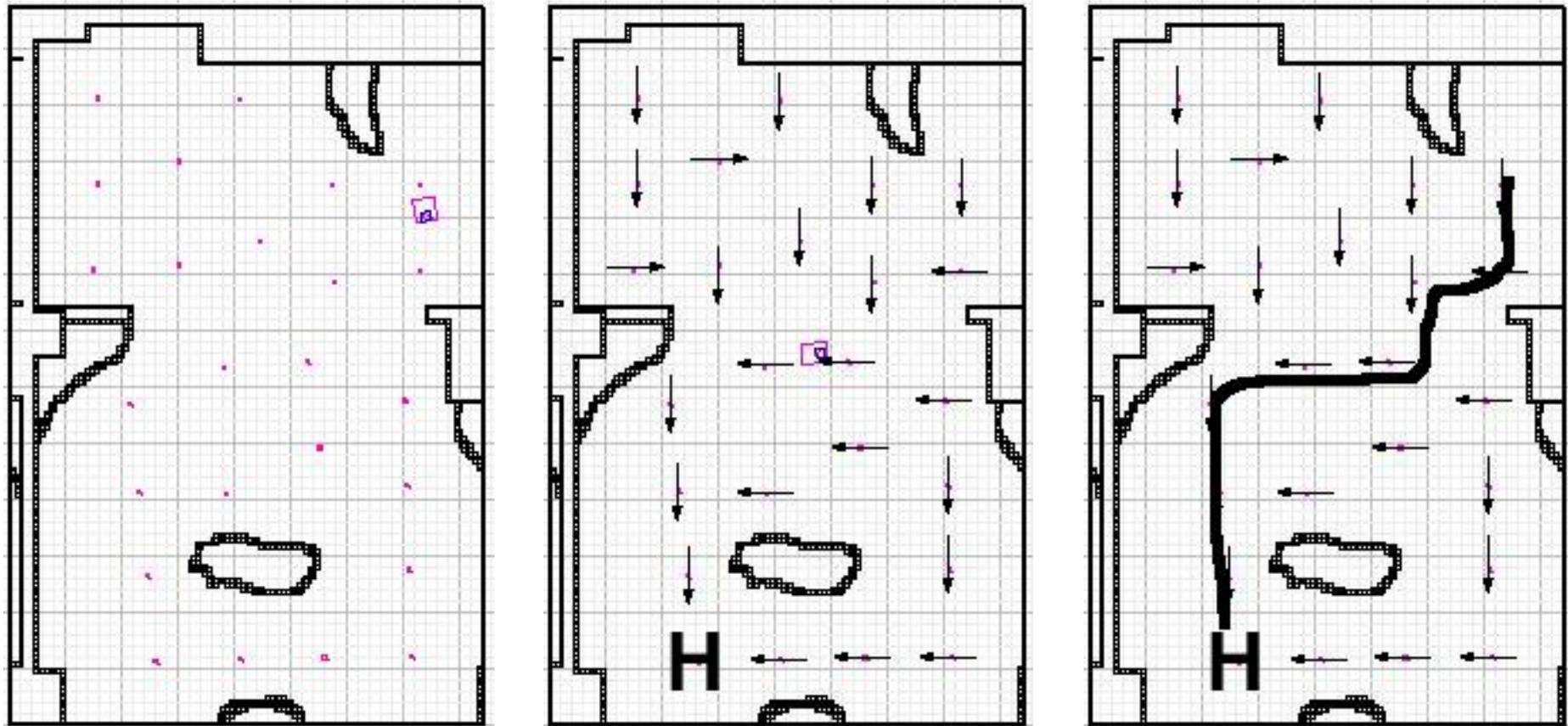
# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

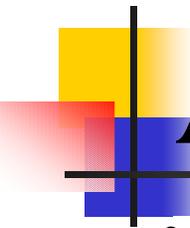
- Simulações



# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

- Simulações

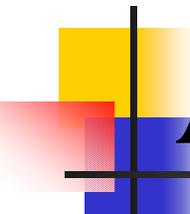




# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Observações
  - O algoritmo é robusto quanto a perda de pacotes e imprecisão da bússola do robô
    - Simulações assumem condições ideais de comunicação e orientação dos robôs
  - Abordagem minimiza recursos de localização pelo robô, a não ser que se deseje determinar a posição dos nós durante o lançamento da rede
  - Equipamento simulado
    - Robô Pioneer 2DX equipado com *laser range finder*, bússola e interface *ethernet* sem fio
    - Nós Motes equipados com rádio de potência de sinal ajustável
  - Foi utilizado o simulador Player/Stage para a interação dos robôs com o ambiente
    - No entanto, não ficou claro como a rede de sensores e os próprios aspectos de comunicação são simulados

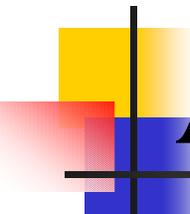


# Lançamento e Navegação

## Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Mobile Robot Navigation Using a Sensor Network  
(University of Southern California – IEEE ICRA 2004)
- Abordagem
  - A estratégia de navegação é tal que o robô não necessita do mapa do ambiente, nem de instrumentos de localização
  - Para navegar de um ponto A até um ponto B, o robô deve escolher uma ação que maximiza suas chances de atingir o objetivo, sendo capaz de medir seu progresso e reconhecer quando o objetivo tenha sido alcançado
  - Algoritmo distribuído para determinação da navegação
    - Política ótima de navegação é determinada de forma distribuída segundo um Problema de Decisão de Markov
    - Algoritmo de iteração de valor executado pelos nós da rede



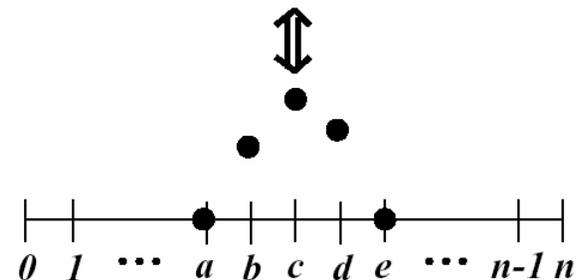
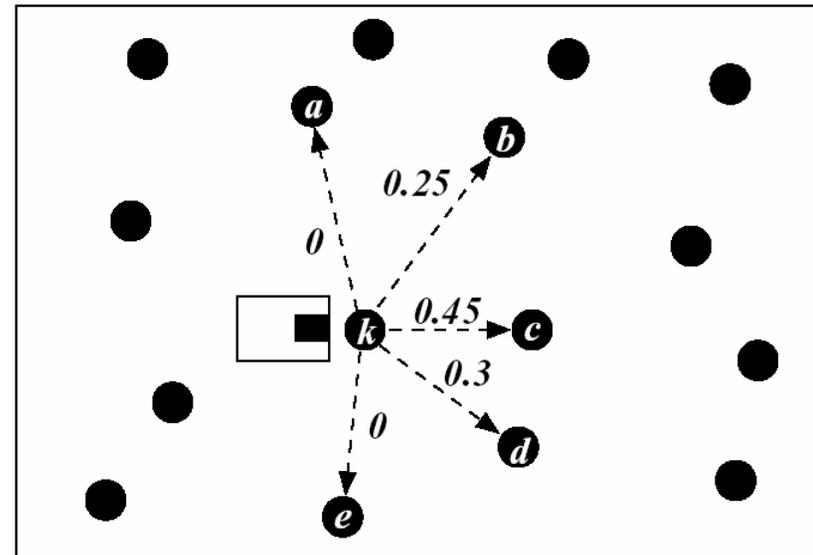
# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

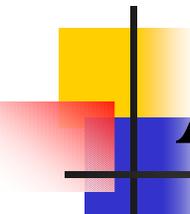
---

- Planejamento da navegação
  - Especificação do objetivo da navegação
    - Requisição do robô para ser guiado até um dado local
    - Requisição da presença do robô por um nó sensor
  - O nó mais próximo ao objetivo inicia o processo de cálculo do campo de navegação
    - Cada nó determina probabilisticamente a direção ótima que o robô deve seguir enquanto estiver em sua vizinhança
    - O campo de navegação provê o robô com a melhor orientação possível para alcançar o objetivo

# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

- Problema de Decisão de Markov
  - Conjunto de vértices  $S$  (nós sensores) na rede lançada
  - Conjunto de ações  $A$  que o robô pode executar na vizinhança de cada nó
  - Modelo de transição  $P(s'|s,a)$ 
    - $A(s) \subseteq A$ , para cada par de vértices  $s, s' \in S$  e  $a \in A(s)$





# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

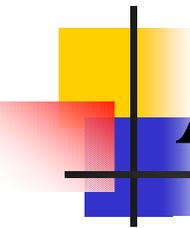
---

- Problema de Decisão de Markov
  - Determinação da política ótima
    - Algoritmo de iteração de valor nos vértices  $S - s_g$

$$U_{t+1}(s) = C(s, a) + \max_{a \in A(s)} \sum_{s' \in S-s} P(s'|s, a) \times U_t(s')$$

- $C(s, a) < -1/|S|$  é o custo associado a cada ação
- Política ótima

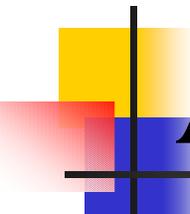
$$\pi(s) = \arg \max_{a \in A(s)} \sum_{s' \in S-s} P(s'|s, a) \times U(s')$$



# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Problema de Decisão de Markov
  - Solução centralizada
    - Robô mantém um modelo de transição probabilístico obtido durante o lançamento da rede de sensores
      - Cálculo centralizado das utilidades de cada nó e determinação centralizada da política ótima
    - Aprendizado do modelo de transição demanda várias travessias pela rede
    - Conhecimento sobre o modelo restrito ao robô, limitando sua utilização

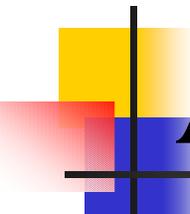


# Lançamento e Navegação

## Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Problema de Decisão de Markov
  - Solução distribuída
    - Cada nó da rede atualiza sua utilidade e calcula a ação ótima de navegação para o robô na sua vizinhança
    - O nó mais próximo ao objetivo injeta na rede um pacote *Início de Cálculo* contendo seu identificador
      - Pacote é redirecionado usando *flooding*
    - Nós que recebem o pacote iniciam seus valores de utilidade e custo de acordo com o fato de serem ou não o objetivo
    - Cada nó atualiza sua utilidade de acordo com a iteração de valor, e utilizando as utilidades dos nós vizinhos
      - Cada nó solicita aos vizinhos os valores de suas utilidades
    - Após o cálculo das utilidades, cada nó determina a política ótima para si
      - Utilidades dos nós vizinhos são solicitadas novamente
    - A política determinada é armazenada no nó como parte de sua sugestão de direção



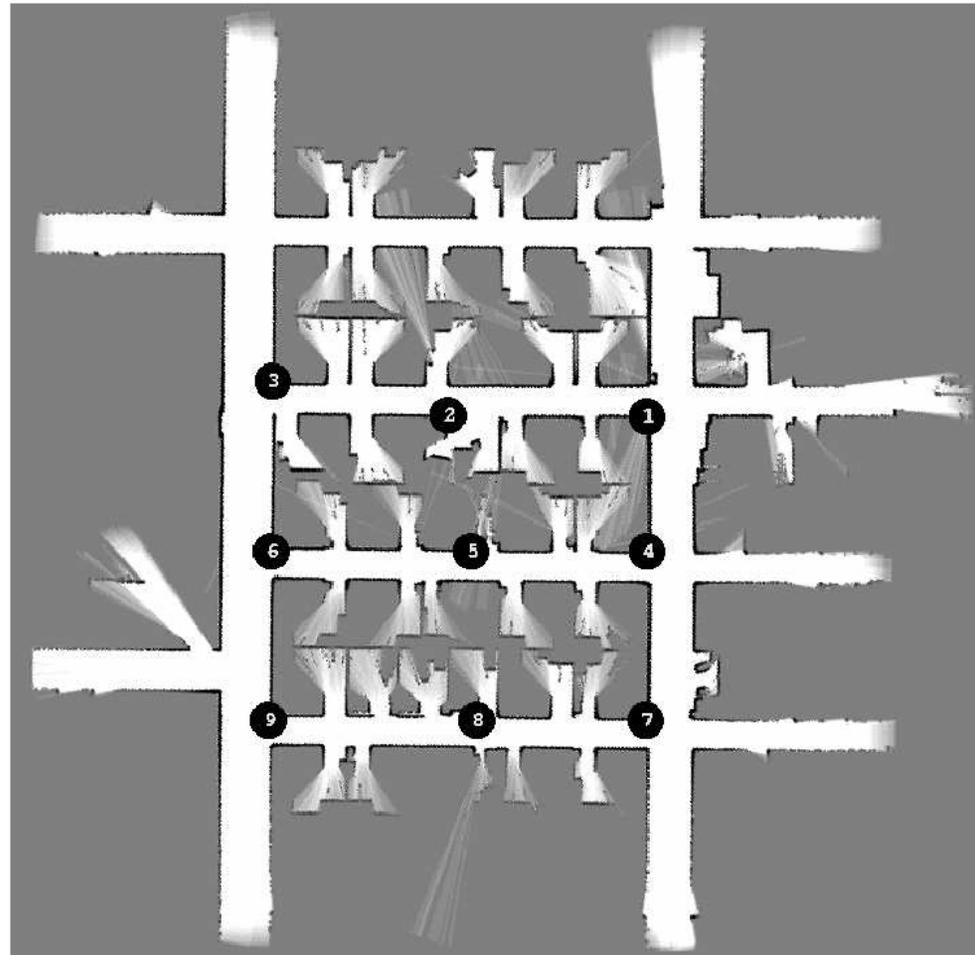
# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Experimentos
  - Equipamento
    - Robô Pioneer 2DX equipado com laser range finder para desvio de obstáculos, e uma estação base Mica 2 Mote para comunicação com a rede
    - Rede composta por 9 sensores Mica 2 Mote, previamente posicionados no ambiente
      - Cada nó possui informação previamente programada sobre seus vizinhos
      - A rede é lançada previamente e o modelo de transição é conhecido
      - Como cada nó possui somente um vizinho em cada direção, o modelo de transição reduz-se à unidade
  - Resultados
    - A navegação é iniciada quando algum sensor detecta um evento, disparando um alarme e definido o objetivo do robô
    - Total de 50 testes, com objetivos distintos
    - Em todos os casos, o robô alcançou corretamente o objetivo

# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

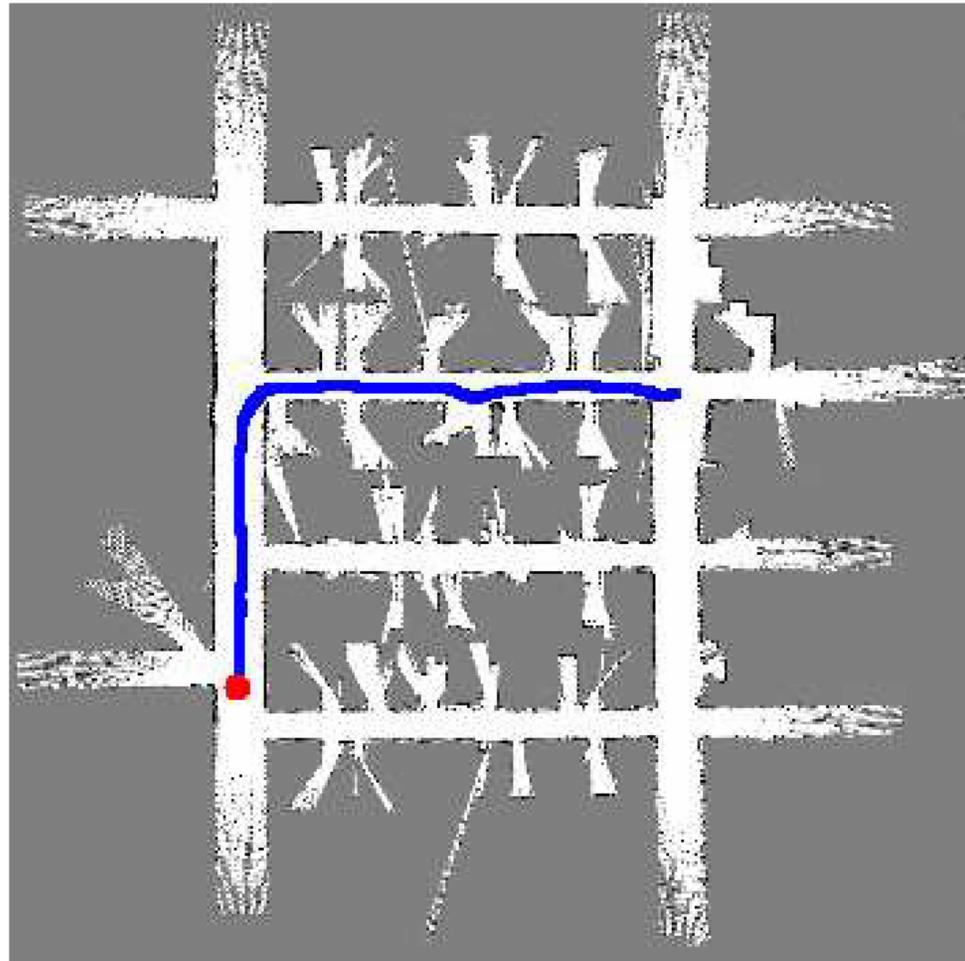
- Experimentos

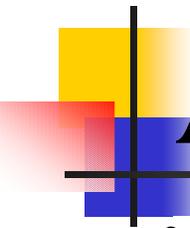


# Lançamento e Navegação Assistidos pela Rede de Sensores

- Experimentos

Trial	Goal 3	Goal 5	Goal 6	Goal 8	Goal 9
1	0.7	1.4	0.78	2.9	0.96
2	0.82	1.26	0.86	1.6	0.96
3	0.94	1.45	0.72	1.62	1.35
4	0.91	1.41	0.91	2.4	1.26
5	0.85	1.4	0.87	1.4	1.21
6	0.97	1.39	1.3	2.1	1.24
7	0.85	1.01	0.85	1.7	0.95
8	0.98	1.55	0.88	2.8	1.51
9	0.89	1.5	0.55	1.79	1.4
10	0.66	1.04	1.02	2.1	0.92
Average	0.86	1.34	0.87	2.04	1.17





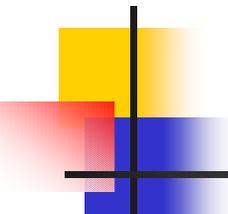
# Lançamento e Navegação

## Assistidos pela Rede de Sensores

---

- Discussão

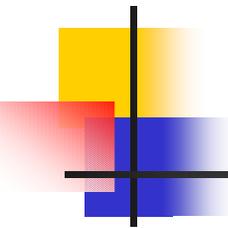
- Navegação é um problema fundamental em robótica móvel
  - A abordagem se baseia na instrumentação do ambiente com uma rede de sensores
  - O robô não executa localização ou mapeamento
  - O robô não precisa ser sofisticado – a determinação das informações de navegação é feita pela rede
- Os nós na rede de sensores são sincronizados no tempo
- O ambiente pode ser dinâmico
  - Novas áreas de exploração ou regiões de perda de nós sensores são detectadas naturalmente pelo robô no algoritmo de lançamento
  - A política ótima de navegação só precisa ser recalculada caso o objetivo mude
- Nos experimentos de mundo real, a determinação da vizinhança do robô é feita de acordo com o algoritmo *Adaptive Delta Percent* (Intel), baseado na intensidade do sinal recebido pelo nó sensor
- Não há análise do comportamento da rede durante o cálculo do campo de navegação



# Conclusões

---

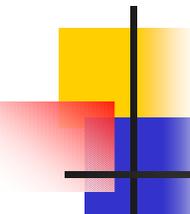
- Abordagens de navegação
  - Campo potencial em abordagens centralizadas
  - Campo potencial em abordagens distribuídas
  - Problema de Decisão de Markov em abordagens distribuídas
- Problemas das abordagens
  - Escalabilidade
  - Localização dos nós sensores
  - Análise da performance da rede quanto ao fluxo de informação
  - Comparação dos resultados produzidos com a literatura
  - Integração das soluções propostas



# Conclusões

---

- Direções de pesquisa
  - Utilização do mapa de energia para definição de trajetórias de navegação para coleta
  - Avaliação do comportamento da rede de sensores durante a navegação assistida ou coleta de dados
  - Validação experimental no mundo real



# Referências

---

- Andrej Bogdanov, Elitza Maneva and Samantha Riesenfeld, “Power-aware Base Station Positioning for Sensor Networks”, in *Proceedings of IEEE Infocom2004*, 2004.
- Narayanan Sadagopan and Nhaskar Krishnamachari, “Maximizing Data Extraction in Energy-Limited Sensor Networks”, in *Proceedings of IEEE Infocom2004*, 2004.
- Guilherme A. S. Pereira, Marcelo B. Soares and Mario F. M. Campos, “A potential field approach for collecting data from sensor networks using mobile robots”, in *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Robotics and Intelligent Systems*, 2004.
- Qun Li, Michael DeRosa and Daniela Rus, “Distributed Algorithms for Guiding Navigation across a Sensor Network”, in *Proceedings of ACM Mobicom2003*, 2003.
- Maxim A. Batalin and Gaurav Sukhatme, “Coverage, Exploration and Deployment by a Mobile Robot and Communication Network,” in *Telecommunication Systems Journal*, 2004
- Maxim A. Batalin, Gaurav Sukhatme and Myron Hattig, “Mobile Robot Navigation Using a Sensor Network”, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2004.