

Monitoramento Baseado em Predição em Redes de Sensores sem Fio

Paulo Henrique Barros (paulo@velp.com.br)

Ramon Risério Dourado Leite (ramon@cpdee.ufmg.br)

Centro de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
CPDEE - UFMG



Sumário

- Motivação
- Paradigma Monitoramento Baseado em Predição
- Modelos de Predição:
 - PREMON
 - Predição Localizada
 - Mapas de Energia baseados em Predição
 - Outros Modelos de Predição
- Conclusão
- Bibliografia



Motivação

- Muitas aplicações úteis em redes de sensores requerem sensores de monitoramento.
 - Exemplos: detecção de intrusos, rastreamento de alvo, *etc.*
- Precisamos de mecanismos altamente eficientes em energia para o monitoramento em redes de sensores.



Definição do Problema

- Sensores funcionam em baterias com vida útil limitada.
- A vida útil da bateria é aumentada a uma baixa taxa.
 - 2-3% por ano
- Modo de operação eficiente em energia parece ser a melhor alternativa.
- Transmissões drenam a energia.
 - Baterias duram entre 30h e um ano[TinyOS].
- Idealmente, nós queremos fazer monitoramento com um número mínimo de transmissões a partir dos sensores.

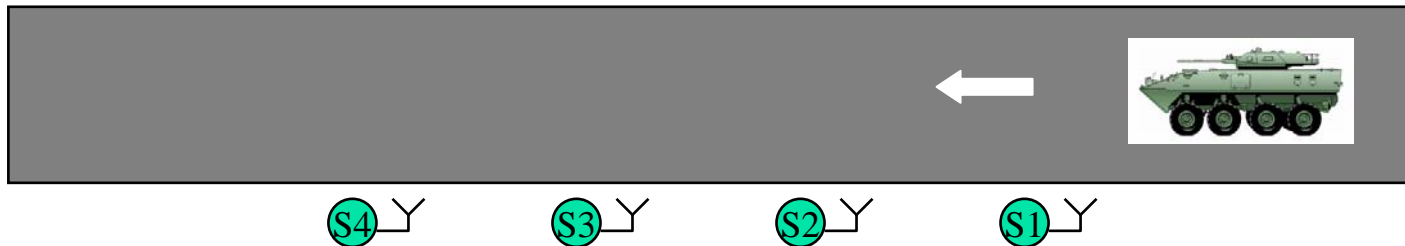


Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.

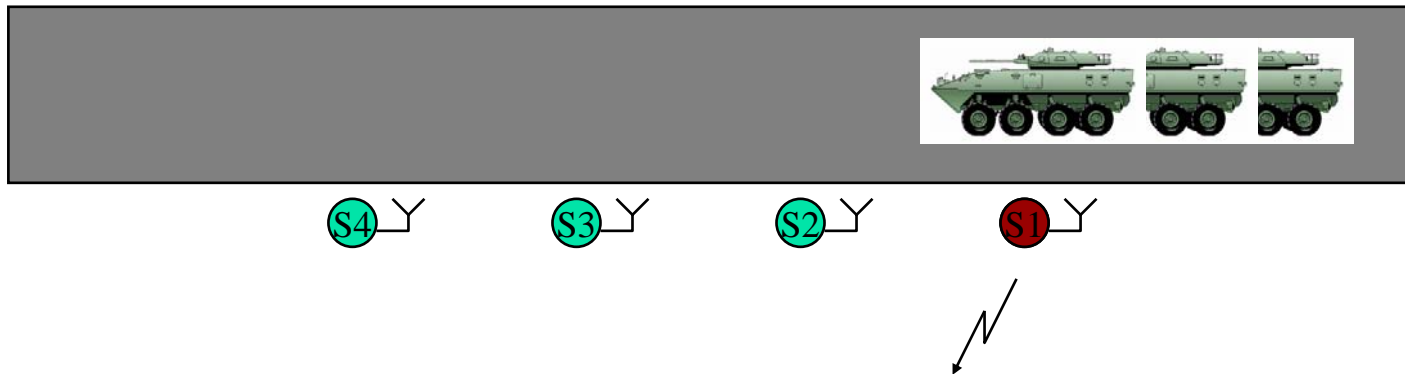
Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.
- Exemplo: Correlação Espaço-Temporal



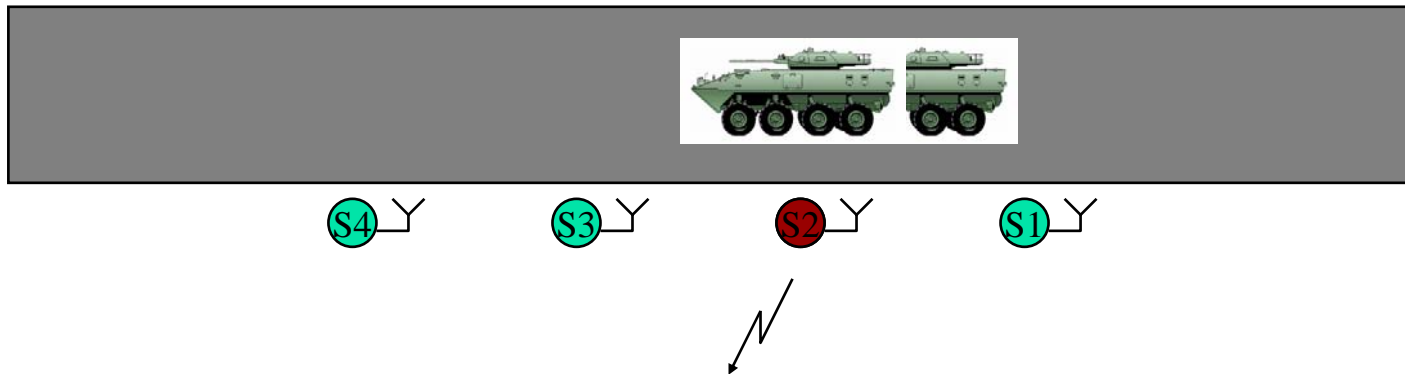
Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.
- Exemplo: Correlação Espaço-Temporal



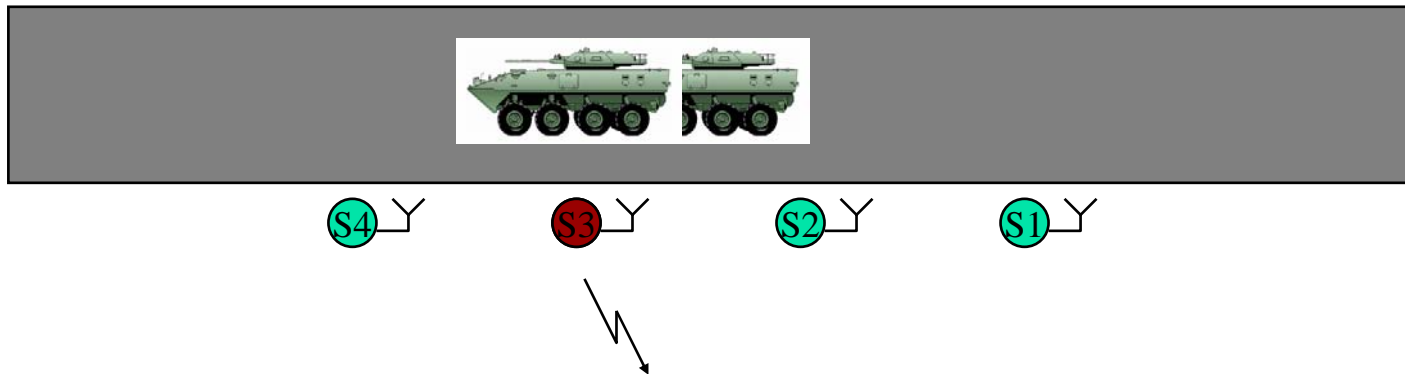
Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.
- Exemplo: Correlação Espaço-Temporal



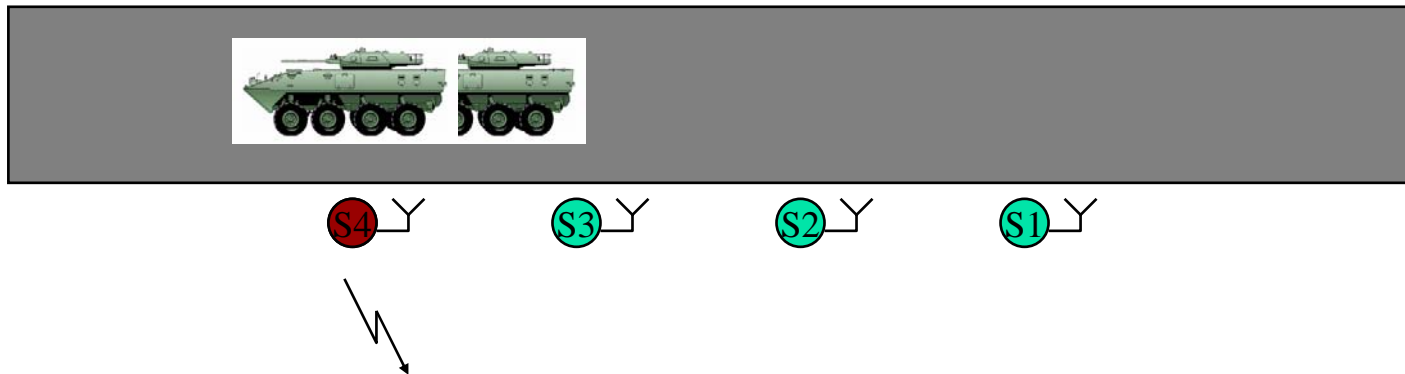
Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.
- Exemplo: Correlação Espaço-Temporal



Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.
- Exemplo: Correlação Espaço-Temporal



Como diminuir as transmissões?

- Chave da solução do problema
 - Sensores muito próximos comumente possuem leituras correlacionadas.
- Exemplo: Correlação Espaço-Temporal



S4-Y

S3-Y

S2-Y

S1-Y

- Use correlação para prever leituras dos sensores.
 - *Idéia básica: um sensor **não** precisa transmitir uma leitura esperada.*



Novo Paradigma de Operação: PREMONition

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

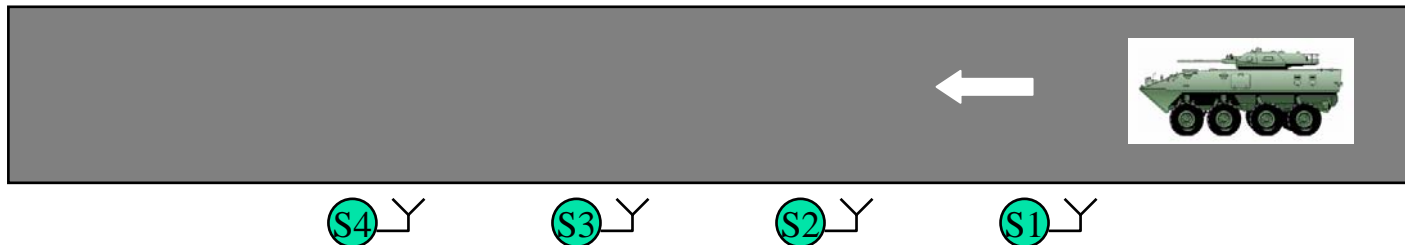
Samir Goel and Tomasz Imielinski, *Prediction-based Monitoring in Sensor Networks: Taking Lessons from MPEG*. Technical Report DCS-TR-438, Department of Computer Science, Rutgers University, June 2001. *Submitted for Publication*

- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.

Novo Paradigma de Operação: PREMONition

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

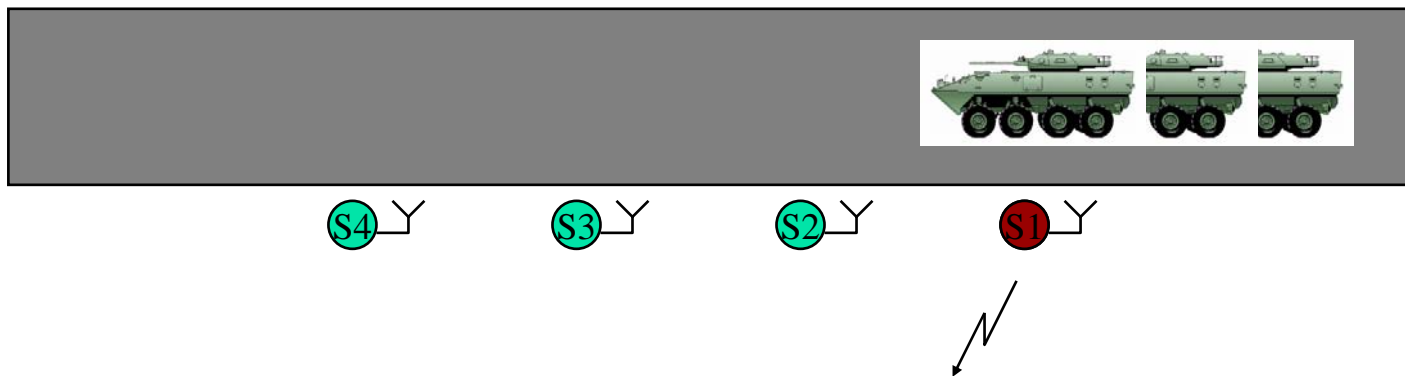
- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.



O paradigma PREMON - Exemplo

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

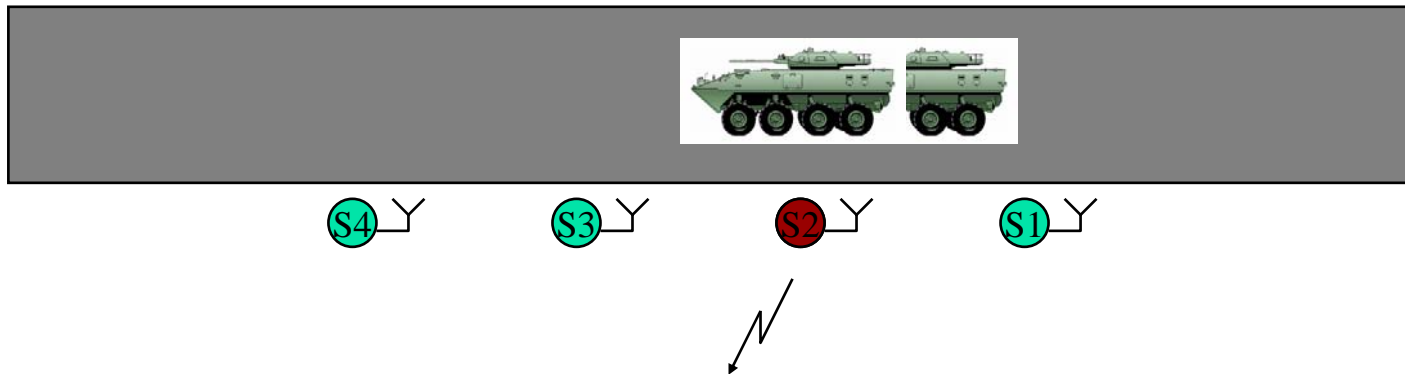
- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.



O paradigma PREMON - Exemplo

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.



O paradigma PREMON - Exemplo

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.



S4 Y

S3 Y

S2 Y

S1 Y



BS

O paradigma PREMON - Exemplo

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

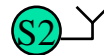
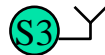
- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.



O paradigma PREMON - Exemplo

“Não há novidade se alguém pode prevê-la”

- Modo de operação:
 - A base computa uma predição e a envia ao sensor.
 - O sensor transmite sua leitura somente quando ela for diferente da leitura prevista.



*S4: predição correta;
não transmite*



PREMON: características-chave

- Troca comunicação por computação
 - $\text{Custo}(\text{computação}) \ll \text{Custo}(\text{comunicação})$
- Trabalha bem se puder ser tolerado:
 - “pequena” quantidade de erros em previsões.
 - “alguma” *latência* em gerar modelos de predição.
- Aplicável sempre que existir correlação (temporal, espacial, ou espaço-temporal).



Modelos de Predição Computacional

- Métodos variam de simples heurísticas a técnicas de regressão e mineração de dados muito complexas.
- Exemplos:
 - Modelo de predição simples usando heurísticas:
 - *“valores de sensores de temperatura em uma região espacial pequena varia $\pm 5F$ ”*
 - Modelo de predição usando técnicas de regressão e mineração de dados:
 - *“valor do sensor X atrasa 2 unidades de tempo em relação ao valor do sensor Y”*
- **Determinantes-chave:**
 - *Domínio do conhecimento, modelo da rede de sensores e tipo de correlação.*
- **Objetivo:** procurar métodos de aplicação mais geral.



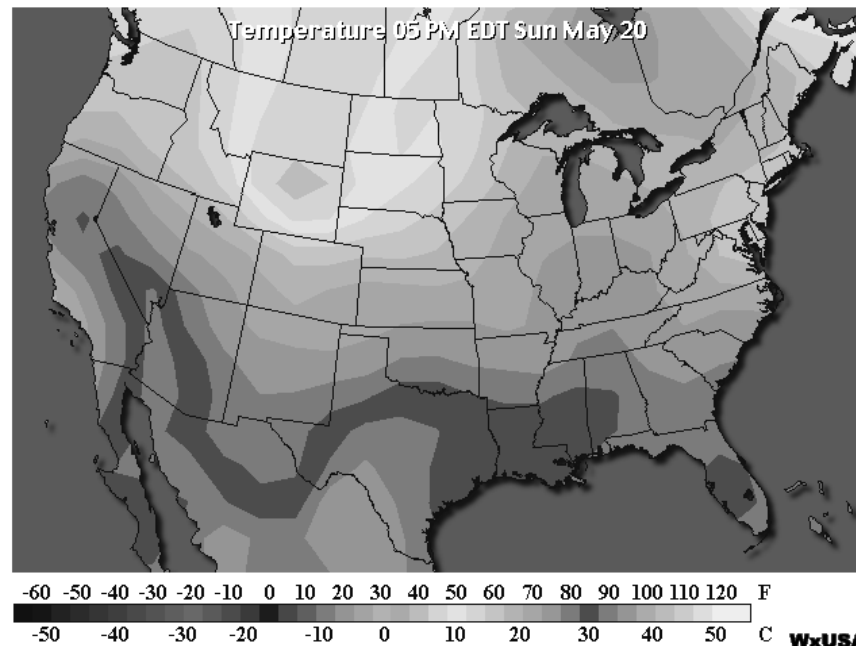
PREMON: Modelo da Rede de Sensores

- Topologia não-determinística.
- Grande número de sensores.
- Sensores estão a múltiplos saltos do *wired node* mais próximo.
- Sensores em um cluster sabem sua localização relativa.
- Sensores e cluster-heads têm energia limitada.

PREMON: Abordagem para modelo de predição computacional

■ Visualização

- Foto instantânea do estado da rede de sensores pode ser visualizada como uma *imagem*.



Visualização

- O monitoramento pode ser visto como a observação de imagens de fotos instantâneas numa escala contínua



Visualização

- O monitoramento pode ser visto como a observação de imagens de fotos instantâneas numa escala contínua



Visualização

- O monitoramento pode ser visto como a observação de imagens de fotos instantâneas numa escala contínua



Visualização

- O monitoramento pode ser visto como a observação de imagens de fotos instantâneas numa escala contínua



Visualização

- O monitoramento pode ser visto como a observação de imagens de fotos instantâneas numa escala contínua



Visualização

- O monitoramento pode ser visto como a observação de um vídeo de valores sensoriados.

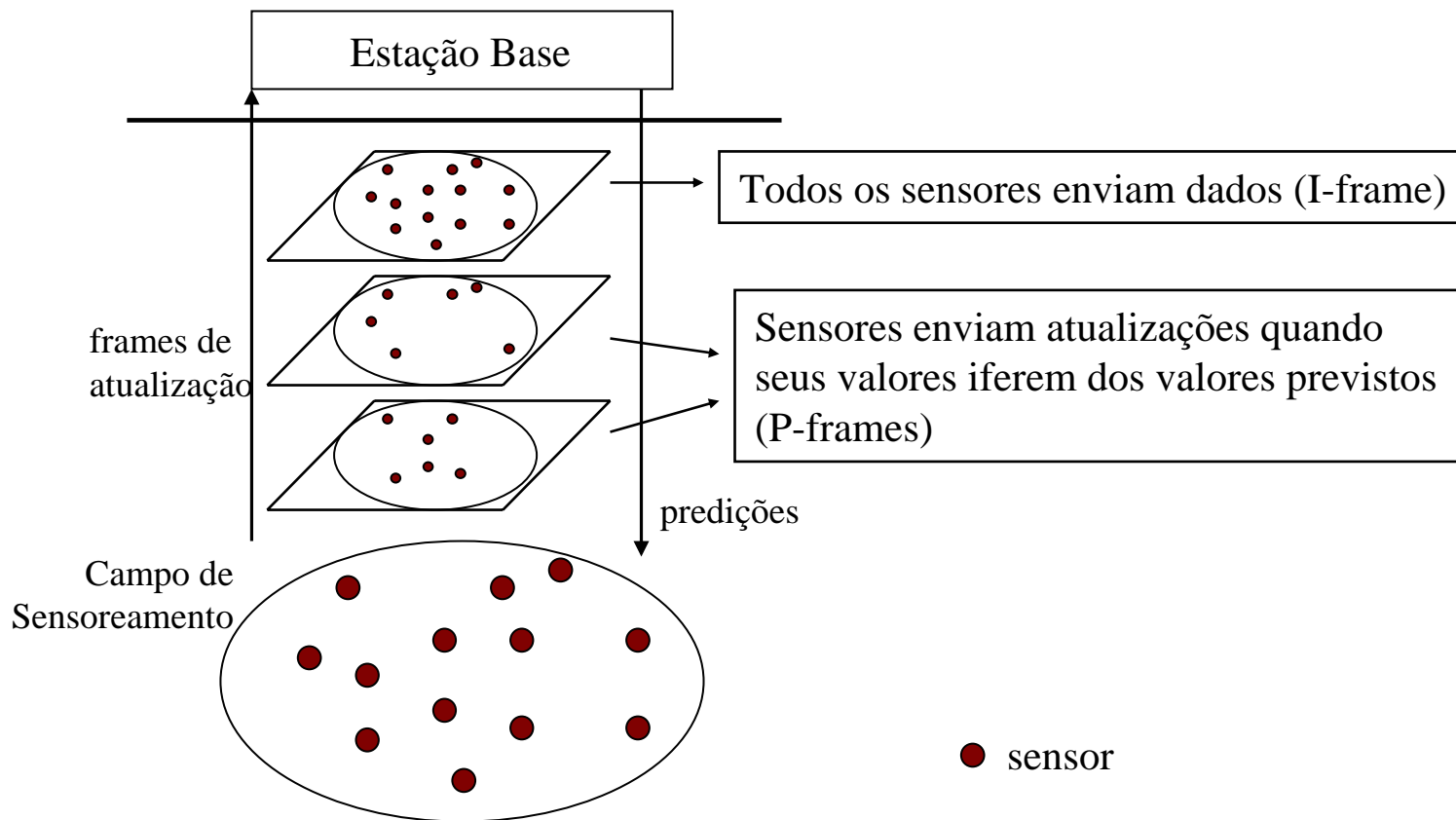




Observação-chave

- Operação no monitoramento:
 - Inicialmente, todos os sensores transmitem suas leituras atuais para a estação base.
 - Em seguida, os sensores transmitem apenas quando suas leituras mudam.
 - Operação na visualização:
 - Inicialmente, a imagem *completa é transmitida*.
 - Em seguida, apenas as *diferenças* da imagem anterior são transmitidas.
- ⇒ Isto é análogo à maneira como MPEG codifica um vídeo!

Analogia com MPEG



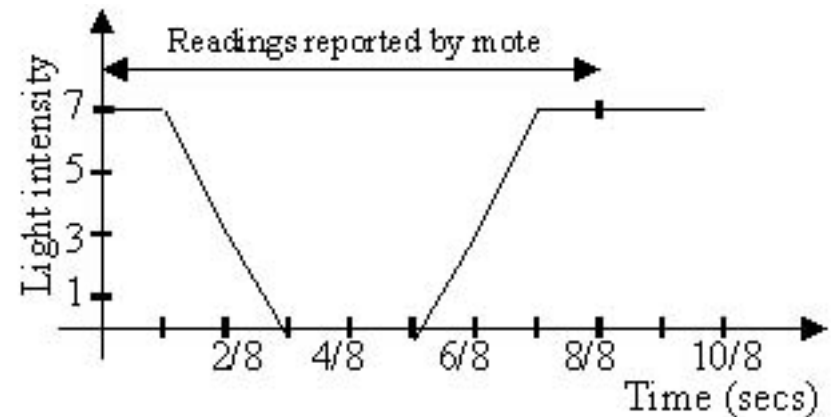
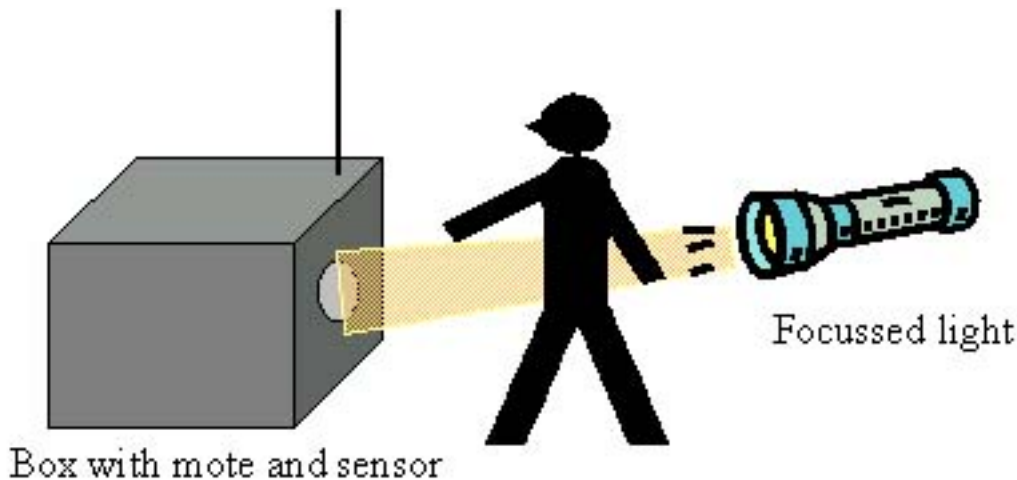
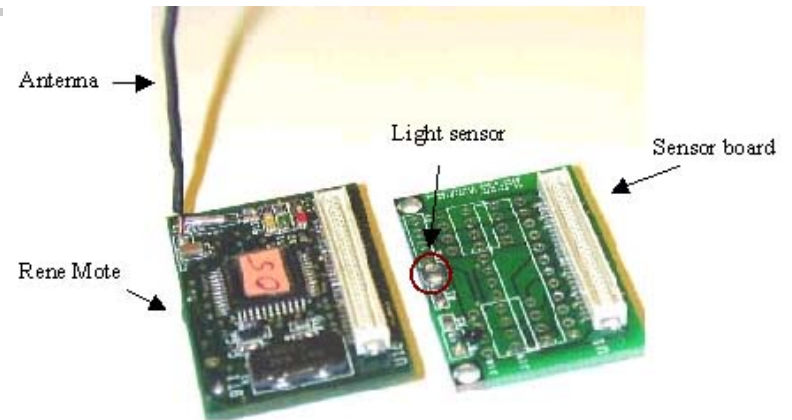


Pré-requisito para algoritmo baseado em MPEG

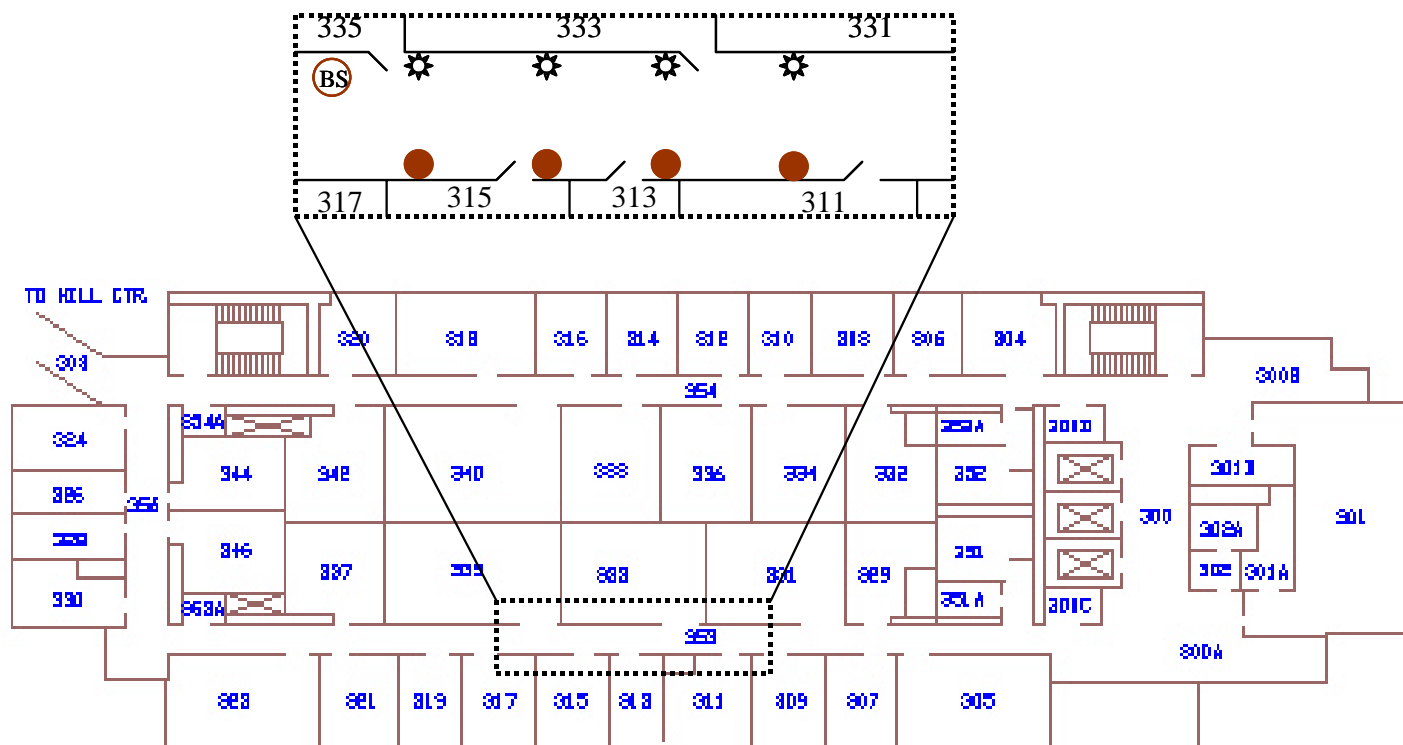
- Mudanças em valores de sensores são geograficamente adjacentes.
- Velocidade de movimento constante em escalas de tempo muito pequenas.
- Movimento coerente – em caso de grupo de objetos numa proximidade geográfica.

Experimentos

- Processador 4 MHz
- Rádio: 10kbps (OOK)
- 8KB de memória de programa
- 512 bytes de memória de dados
- Sensor de luz



Configuração do Experimento



THIRD FLOOR

Ⓟ location of base-station-mote

● sensor-mote

★ focused light source



Configuração do Experimento

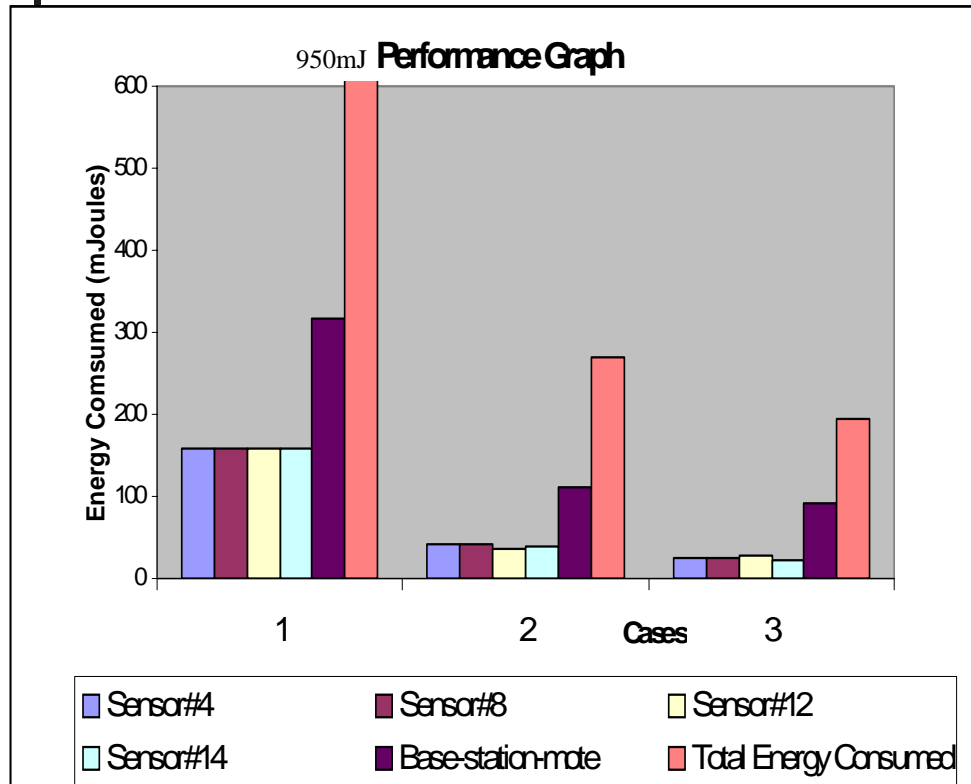
- Versão unidimensional do problema
- Casos considerados:
 - Caso#1 - Modo default:
 - Sensores enviam seus valores sensoreados uma vez a cada segundo.
 - Caso#2 – Apenas previsões de valores constantes:
 - BS faz uma previsão de valor constante se o valor de um sensor não muda por 2 frames consecutivos. BS não transmite previsões de movimento.
 - Caso#3: Previsões constantes e de movimento
 - BS **transmite** ambas as previsões (constantes e de movimento)
 - BS faz uma previsão de movimento baseada em duas leituras correlacionadas do sensor de movimento.



Constantes

- Custo de transmissão/bit = $1 \mu\text{J}$
- Custo de recepção/bit = $0.5 \mu\text{J}$
- Custo de computação = $0.8 \mu\text{J}$ por 100 instruções
- Tamanho atualização = 11 bytes ($T_u=88 \mu\text{J}$, $R_u=44 \mu\text{J}$)
- Tamanho da predição
 - Predição de Movimento = 8 bytes ($T_p = 64 \mu\text{J}$, $R_p = 32 \mu\text{J}$)
 - Predição Valor Constante = 5 bytes ($T_p = 40 \mu\text{J}$, $R_p = 20 \mu\text{J}$)

Resultados Iniciais



Caso#1: mode default

Caso#2: apenas predições de valor constante

Caso#3: predições de movimento e constantes

Sumário de Resultados:

- Caso#3 executa 5 vezes melhor que o Caso#1
- Caso#3 executa 28% melhor que o Caso#2



Consideração

- O monitoramento dos dados do sensor pode ser visto como assistir um “vídeo” e algoritmos MPEG-2 podem ser adaptados para gerar previsões.



Breve revisão de codificação de vídeo MPEG

- MPEG-2 é um padrão de compressão de áudio e vídeo.
- Compressão de vídeo em MPEG-2 são de dois tipos:
 - Compressão espacial
 - Compressão temporal



Codificação MPEG: Compressão Temporal

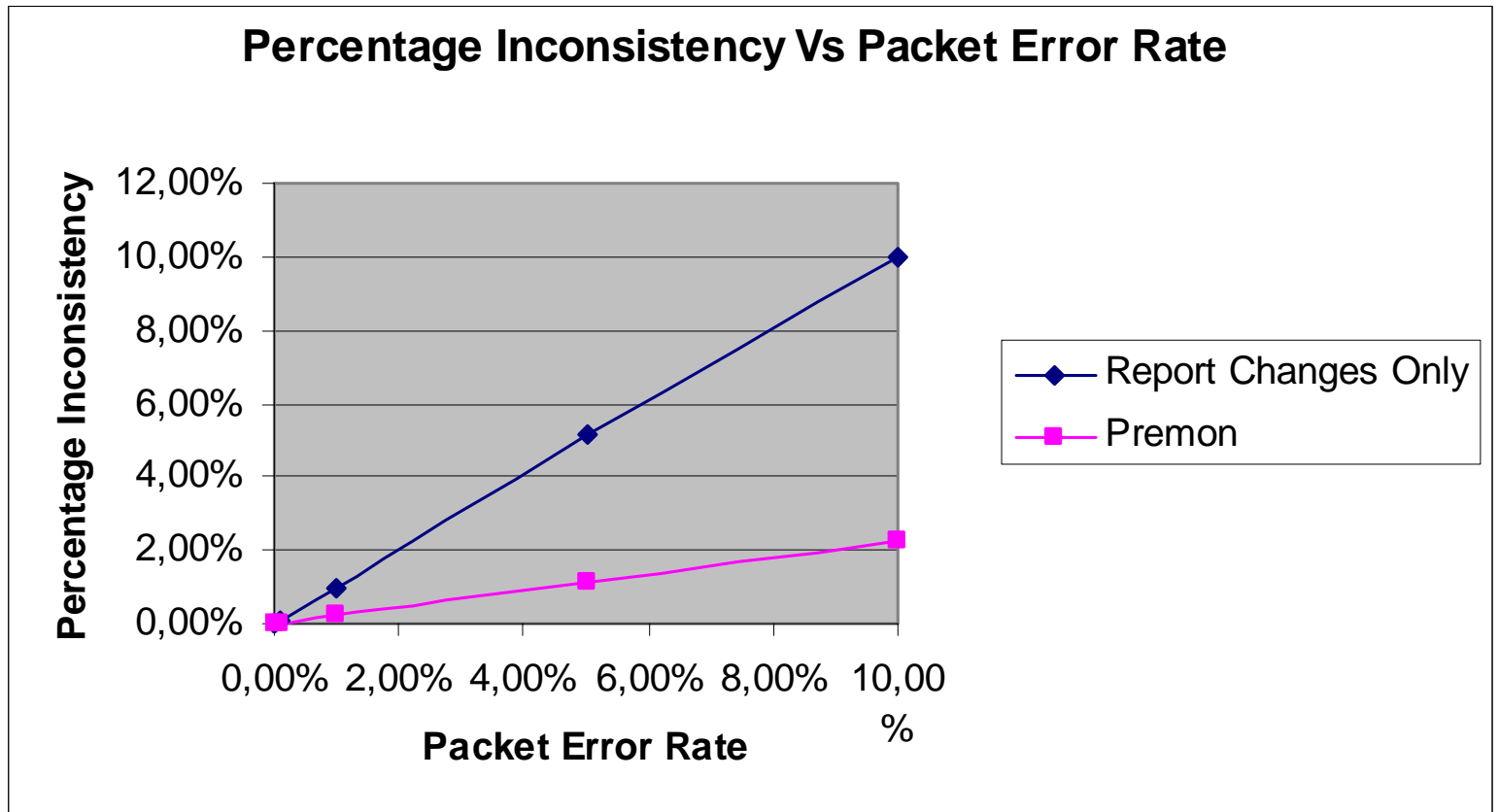
- Idéia básica
 - Imagens sucessivas em um vídeo tipicamente não têm diferenças significativas.
- Visão simplificada:
 - Inicialmente um frame completo (I-frame) é enviado.
 - Frames subsequentes são *diferenças* do frame anterior.
- *diff frames* podem se tornar grandes devido ao movimento do objeto no vídeo
- Solução: *compensação de movimento*



MPEG-2: Compensação de movimento

- Divide imagem em *macro-blocos*
- Calcula vetores de movimento usando algoritmo de *block-matching*
- Calcula erro de predição
- Codifica o macro-bloco como vetores de movimento + erro de predição
- Um frame com macro-blocos codificados desta forma é chamado P-frame

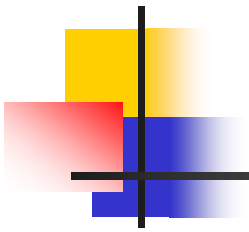
Efeito de perdas (Simulações)





Contrapontos

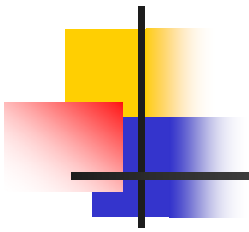
- Harvest energy
- Análise da energia da rede X vida útil da RSSF
- Comparação com atualização somente se valor é diferente
- Melhoria da técnica: predição é enviada somente quando é diferente da anterior



Modelo de Predição Localizada para Monitoramento de Objetos

Yingqi Xu, Wang-Chien Lee, **On Localized Prediction for Power Efficient Object Tracking in Sensor Networks**

- Tempo de vida pode ser aumentado **diminuindo-se transmissões de longa-distância** (nó – nó de monitoramento) e **desativando os componentes do rádio** o máximo tempo possível.
- Predição Localizada:
 - **Maioria dos nós ficam dormindo** até serem acordados por um nó ativo através de canal de baixa potência.
 - Mecanismo de predição chamado “*Dual Prediction*”.



Modelo de Predição Localizado para Monitoramento de Objetos

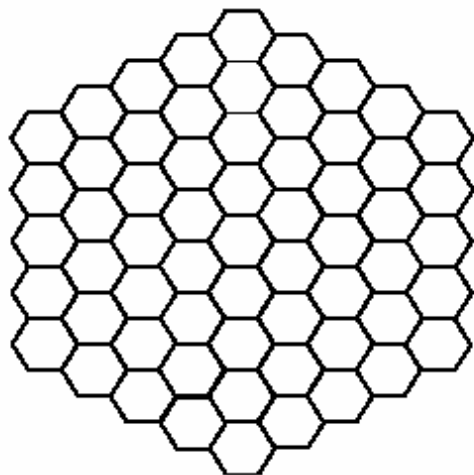
- Diferente do PREMON, os parâmetros para predição da movimentação do objeto monitorado é **calculado tanto nos nós sensores quanto no *cluster head***.
- **Transmissões de longa distância são minimizadas** ao custo da **troca do histórico de movimentação** do objeto monitorado entre nós vizinhos (necessário na predição) e **aumento do trabalho computacional** nos nós.
- Artigo apresenta **análise matemática** para explorar o potencial de redução de consumo de energia da técnica proposta.



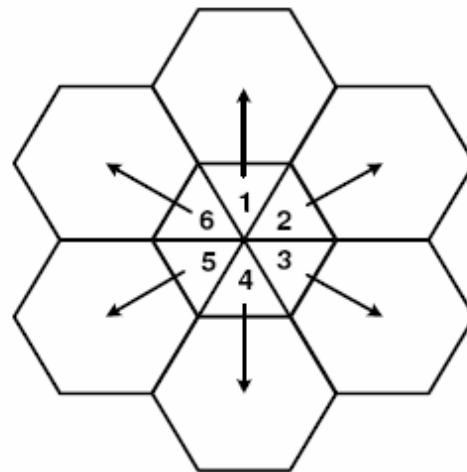
Predição Localizada: Arquitetura

- **Hierarquizada.**
- **TDMA** é usada como protocolo de MAC para comunicação entre nó sensores e *cluster head*.
- “***Low power paging channel***” é usada na comunicação entre nós sensores.
- ***Paging Channel***, comparado com **TDMA**, é mais flexível e energeticamente eficiente, pois os sensores são ativados sob demanda.

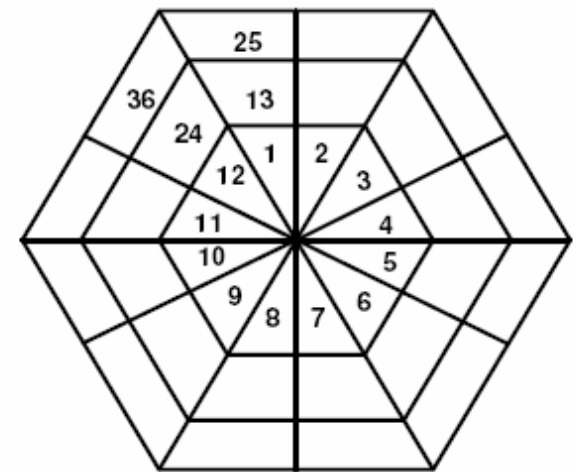
Predição Localizada: Modelo de Localização e Topologia



(a) Hexagon



(b) Six triangles

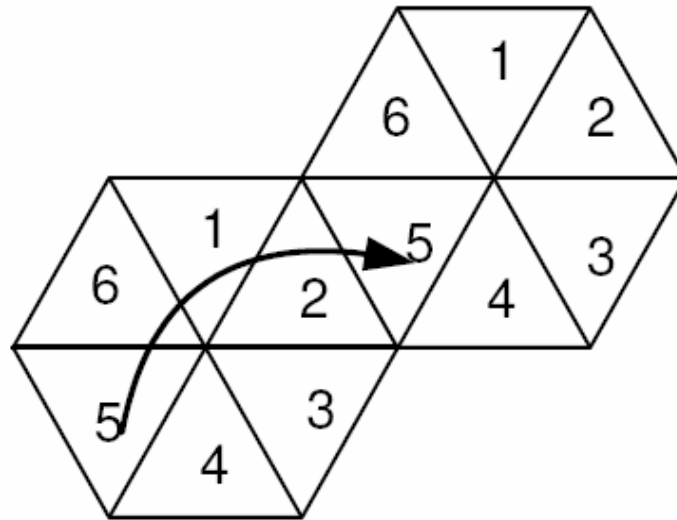


(c) Smaller subarea

Figure 1: Ideal sensor network topology

Predição Localizada: Monitoramento de Deslocamento de Objetos

Destination Node



Current node

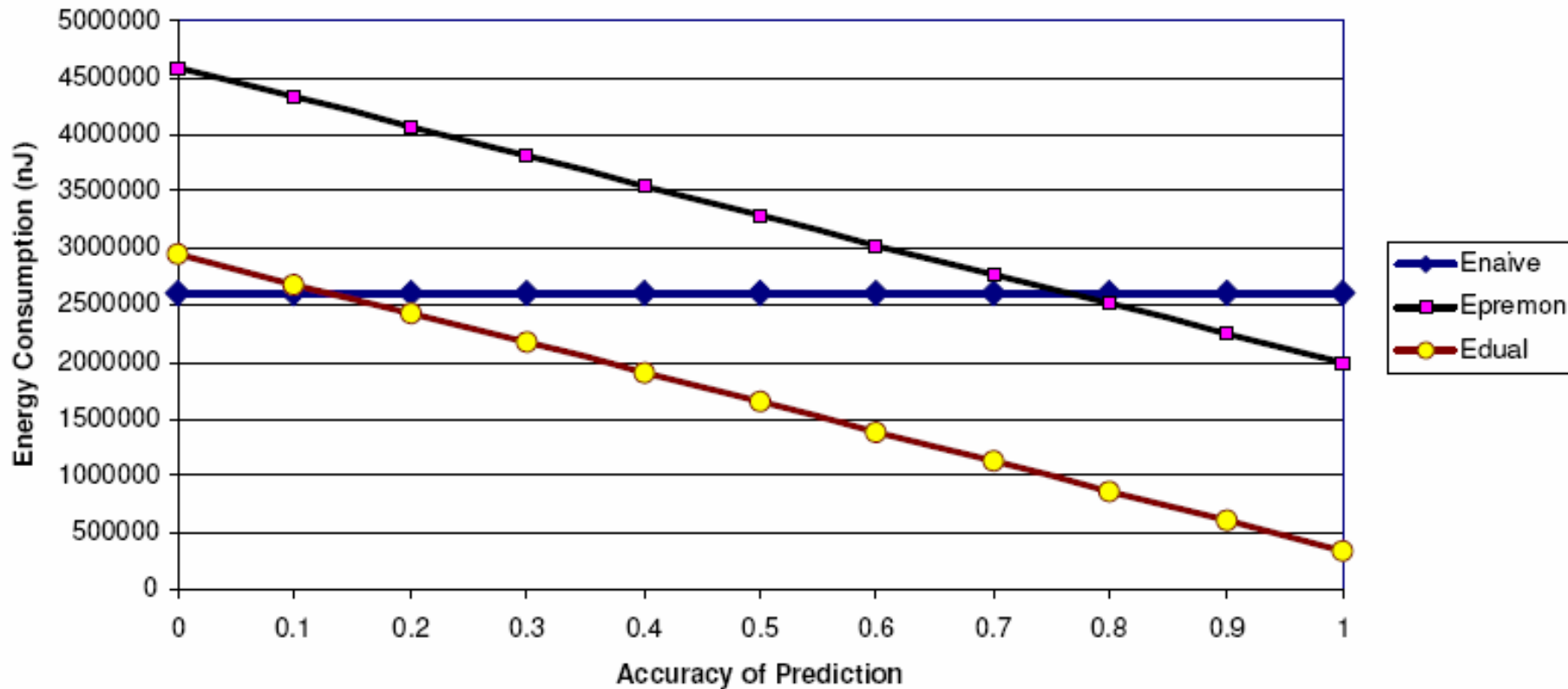


Predição Localizada: Modelos de Predição

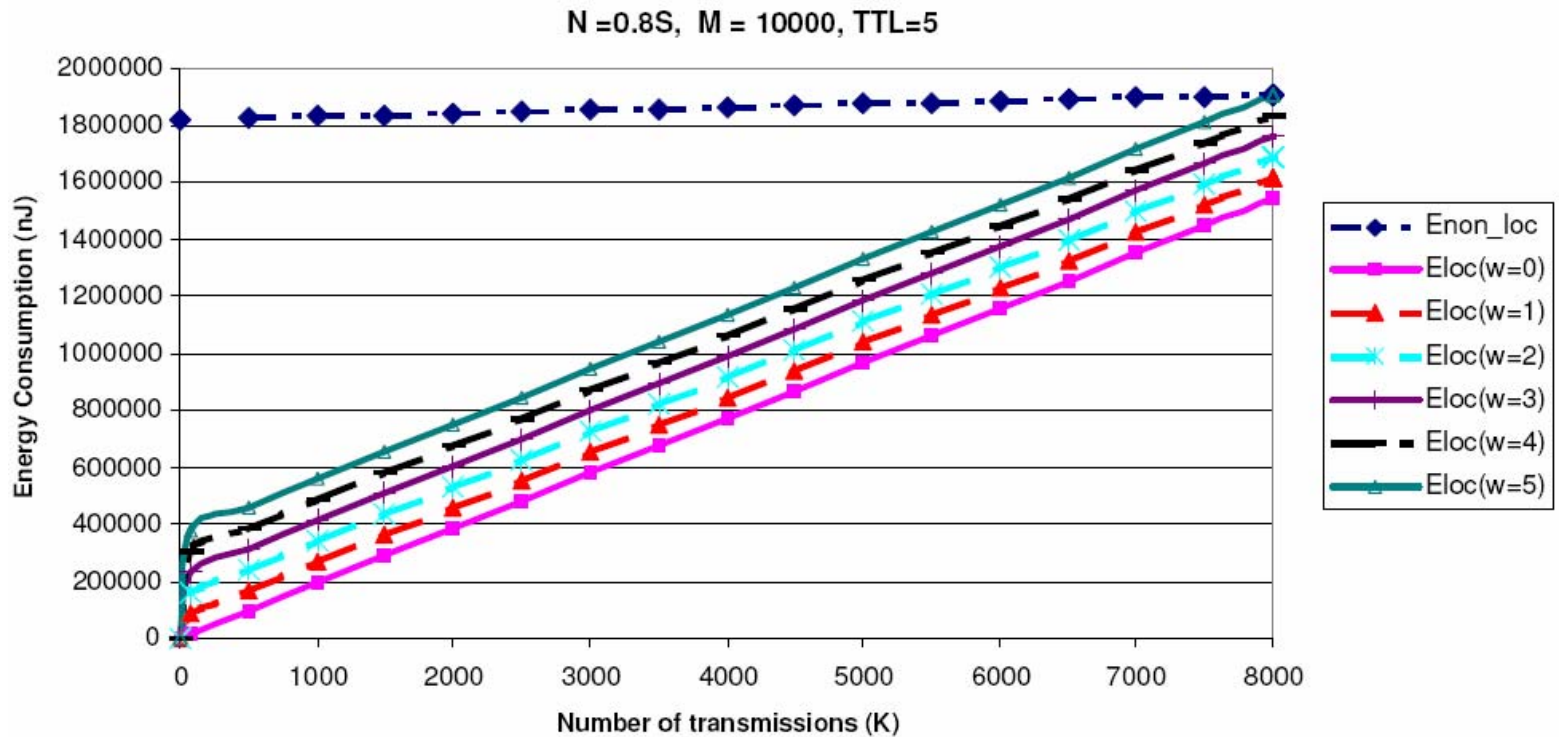
- **Constant Model:** Assume que a velocidade e direção do objeto irão se manter os mesmos. Não necessita que seja transmitida a história do objeto de um nó para outro.
- **Average Model:** A história do objeto monitorado é salva e transmitida de nó para o outro. A predição do movimento é feita com base na media histórica.
- **Exponential Average Model:** Semelhante ao *Average Model*, porém este modelo atribui mais peso a história recente.
- **Todos os modelos podem comprimir a história do objeto em um único valor, evitando um overhead excessivo.**

Predição Localizada: Resultados

K=500, N =50 Pnaive=8, Phistory=7, Ppremon=6



Predição Localizada: Resultados



(b) $N = 0.8S$



Contrapontos

- **Hardware complexo:** Nó precisa transmitir/receber dados em modos distintos.
- **Faltam detalhes:**
 - Como o primeiro nó será acordado para poder acordar os outros?
 - O que exatamente fica desligado quando o nó está dormindo?
- **Resultado apresentado foi obtido de forma analítica.**



Construção de Mapas de Energia baseados em Modelos de Predição

Mini, R. A. F., Loureiro, A. A. F., and Nath, B. (2003b). **Prediction-based energy map for wireless sensor networks**, *In Proceedings of the 8th IFIP International Conference on Personal Wireless Communications (PWC'03)*

- **Cada nó calcula localmente os parâmetros do modelo de predição baseados na sua história passada e envia para o nó de monitoramento.**
- **Quando o erro de predição ultrapassa um determinado valor o nó envia outra mensagem com os novos parâmetros de predição.**
- **Modelo probabilístico** baseado na cadeia de Markov.
- **Modelo estatístico** onde o consumo de energia é representado por uma série temporal e o modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) é utilizado para fazer as predições.
- Podem ser utilizadas **técnicas de amostragem** onde apenas alguns nós enviam mensagens sobre a sua energia. (correlação espacial)



Outros Modelos de Predição

Vibhore Kumar, Brian F Cooper, Shamkant B Navathe. **Predictive Filtering: A Learning-Based Approach to Data Stream Filtering**

- **Extrapolação Linear:**
 - **Predição é calculada como estando na linha que une as duas últimas leituras.**
- **Dupla Exponencial Suavizada:**
 - **Serie temporal obtida através de uma regressão linear simples.**
- **Rede Neural:**
 - **Por questões computacionais o algoritmo de treinamento fica apenas no nó de monitoramento.**



Conclusões

- O paradigma de monitoramento baseado em predição pode aumentar significativamente a eficiência em energia.
- Aplicável somente quando existir correlação.
- *Domínio do conhecimento, modelo da rede de sensores e tipo de correlação.*



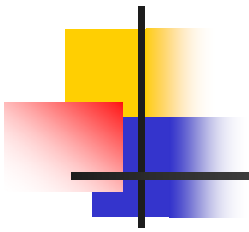
Bibliografia:

- <http://www.cs.rutgers.edu/dataman/webdust>
- Samir Goel and Tomasz Imielinski, *Prediction-based Monitoring in Sensor Networks: Taking Lessons from MPEG*. Technical Report DCS-TR-438, Department of Computer Science, Rutgers University, June 2001. *Submitted for Publication*
- Samir Goel and Tomasz Imielinski, *Prediction-based Monitoring in Sensor Networks: Taking Lessons from MPEG*. DIMACS Workshop on Pervasive Networking, May 21, 2001.
- Tomasz Imielinski and Samir Goel, *DataSpace - querying and monitoring deeply networked collections in physical space*, IEEE Personal Communications Magazine, Special Issue on "Networking the Physical World", October 2000.
- Barros, Allan K., *Codificação Neural: como o cérebro processa informação*. Palestra, CPDEE UFMG, Novembro 2004.



Bibliografia:

- Raquel A.F. Mini, Max do Val Machado, Antonio A.F. Loureiro, Badri Nath - ADHOC 95, 13 August 2004 - Prediction-based energy map for wireless sensor networks
- Raquel A. F. Mini , Badri Nath , Antonio A. F. Loureiro - Prediction-based Approaches to Construct the Energy Map for Wireless Sensor Networks
- Yingqi Xu, Wang-Chien Lee - On Localized Prediction for Power Efficient Object Tracking in Sensor Networks
- Vibhore Kumar, Brian F Cooper, Shamkant B Navathe. Predictive Filtering: A Learning-Based Approach to Data Stream Filtering
- Lizhi Charlie Zhong, Rahul Shah, Chunlong Guo, Jan Rabaey - *An Ultra-Low Power and Distributed Access Protocol for Broadband Wireless Sensor Networks*



Questões?