

Sistemas Distribuídos

Roteamento em Redes Limitadas (LLN)

Noemi Rodriguez

2019

- uso de protocolos que supõem acoplamento entre nós roteadores
 - BGP: uso de conexões TCP/IP
 - OSPF: uso de *heartbeats*
 - mensagens enviadas a cada detecção de alteração em estado de links
 - gasto de processamento, memória e energia!

Lossy low-power networks

- conceito definido por grupo de trabalho IETF
- redes sem fio de sensores e atuadores com recursos limitados
 - LBR (roteadores de borda) conectam rede à Internet

características

- dispositivos não têm capacidade de manter muito estado
- ênfase em economia de energia
- padrões principais de comunicação:
 - MP2P
 - P2MP
 - P2P

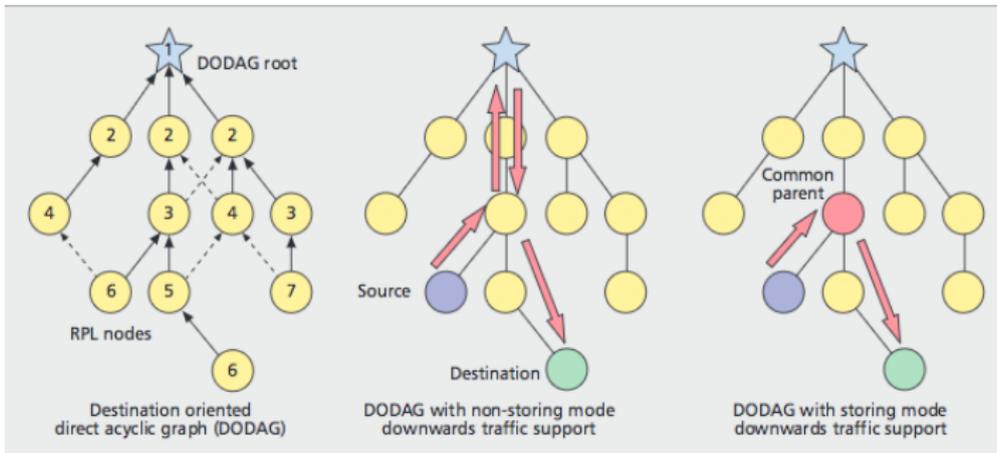
características

- salto a salto ou roteamento na origem
- roteamento pró-ativo ou reativo

RFC 6550

- sobre o 6LoWPAN
 - configuração da wsan: quem é roteador?
 - uso de algoritmo *trickle*
 - estrutura DODAG: *Destination-Oriented Directed Acyclic Graph*
-
- J. Olsson. 6LoWPAN demystified. Technical Report. Texas Instruments. 2014.
(www.ti.com/lit/wp/swry013/swry013.pdf)
 - E. Ancillotti, R. Bruno and M. Conti, “The role of the RPL routing protocol for smart grid communications”. *IEEE Communications Magazine*. 51(1). Jan 2013.

RPL — caminhos até uma *raiz* criam DAG



- 1 raiz inicia procedimento (como único nó no DODAG) com mensagem DIO (*DODAG Information Object*)
- 2 mensagem DIO indica *rank*: métricas variadas
 - mais simples: número de saltos
- 3 número de sequência indica versão do DODAG
- 4 mensagem pode incluir configurações
- 5 cada roteador recebe mensagens DIO e calcula conjunto de progenitores e progenitor *principal*
- 6 mensagem DAO (*Destination Advertisement Object*) enviadas de nós para a raiz anunciam rotas para eles

- roteador transmite DIO “regularmente”
 - ... mas pode detectar que seria redundante transmitir a partir de mensagens recebidas de outros roteadores
- ao receber uma mensagem DIO, roteador verifica se contém informação sobre mesma versão de DODAG que ele já tem ou sobre uma diferente.
 - versão posterior: receptor deve atualizar sua informação
 - versão anterior: atualizar se novo caminho melhor que o armazenado
- mensagens a serem enviadas são escalonadas para envio futuro em tempo t
 - se muitas mensagens redundantes forem recebidas, t é aumentado

- convivência com *duty-cycling*

- muito tendencioso para tráfego MP2P
- modo armazenamento rotas pode levar a carga de armazenamento pesada

"implementabilidade"

- implementação Contiki ocupa aproximadamente 50KBytes
 - restrições levam implementações a cortarem partes da especificação

- H. S. Kim, J. Ko, D. E. Culler and J. Paek. "Challenging the IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL): A Survey". IEEE Communications Surveys and Tutorials. 19(4). 2017.

- muitas vzs dispositivos que não suportam IP
- roteamento como parte da aplicação permite adaptação a características específicas

- normalmente supõe nós estáticos e gateways possivelmente móveis
- redes podem ser homogêneas ou heterogêneas

fluxos de dados

- contínuos
 - disparados por eventos
 - sob demanda
 - roteamento como parte da aplicação!!!
-
- Kemal Akkaya and Mohamed Younis. A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 3(3), May 2005.

agregação

- supressão (filtragem)
- redução
 - mínimo, máximo, soma, média, ...

- sem endereçamento individual de nós
- roteamento reativo (sob demanda)
- as demandas por informação são baseadas em metadados ou atributos
 - SPIN
 - Directed Diffusion
 - Rumor Routing

inundação

- cada nó transmite o que recebe para todos os (demais) vizinhos

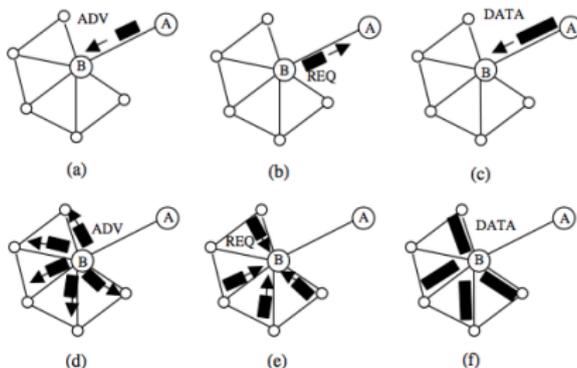
fofoca

- cada nó transmite o que recebe para um vizinho selecionado aleatoriamente

- simplicidade
 - sobrecarga de energia e processamento
-
- eventos
 - consultas

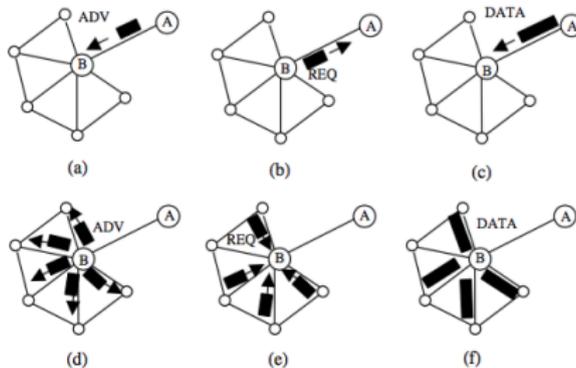
Protocolo SPIN

- anúncios, requisições e respostas
 - modelo, sem padronização de formatos de msgs



- W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan. Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks. In Proc. of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '99). 1999.

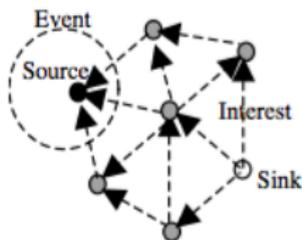
Protocolo SPIN



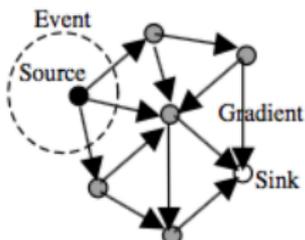
- economia em relação a inundação
- pouca garantia de chegada da informação

Difusão direcionada

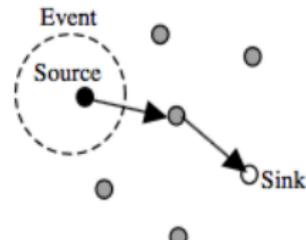
- anúncios de interesse e respostas com dados



(a)



(b)



(c)

- C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin. Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In Proc. of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking (MobiCom '00). 2000.

- anúncios de interesse
 - difusão pela rede
 - possibilidade de restringir broadcast
 - reenviados periodicamente

```
type = four-legged animal
interval = 1s // inicialmente intervalo grande
rect = [-100, 200, 200, 400]
timestamp = 01:20:40
expiresat = 01:30:40
```

- cada nó mantém *cache* de interesses
- conceito de gradientes

```
type = four-legged animal
```

```
interval = 1s
```

```
duration = 20s
```

```
rect = [-100, 200, 200, 400]
```

```
timestamp = 01:20:40
```

```
expiresat = 01:30:40
```

gradient = nó vizinho interessado, taxa, duração, ...

- nó que recebe interesse atualiza seu cache
 - interesses distintos: tipo, intervalo, região
- nó retransmite interesse segundo alguma política
 - broadcast
 - ...
 - uso de informação anterior
- não há registro da origem do interesse (*sink*)

- nós na região de um interesse recebido podem ligar sensores
- ao receber dado de sensor ou por mensagem, busca por interesse que case
 - taxas de atendimento podem ser diminuídas no caminho
 - nós mantêm dados recebidos em cache

reforço de rotas

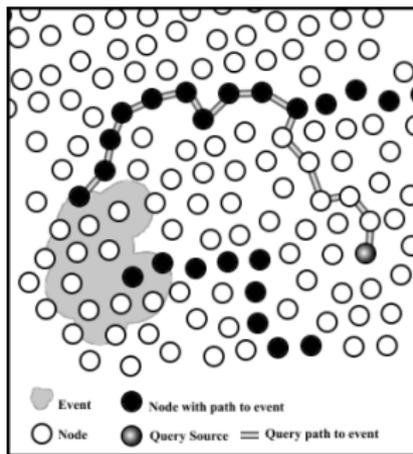
- *sink* pode escolher um vizinho para reenviar mensagem de interesse com maior taxa de atualização

- bom para aplicações baseadas em consultas
- não tão bom para aplicações de monitoramento contínuo...
- escolha de caminho preferencial pode detonar energia de determinados nós

Roteamento por rumores (rumor routing)

evitando inundação

- eventos geram *agentes* em caminhos aleatórios



- D. Braginsky, D. Estrin. Rumor routing algorithm for sensor networks. In Proc. of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications (WSNA '02). 2002.

Roteamento por rumores (rumor routing)

- rede é um conjunto denso de nós com alcance de rádio simétrico
- nós registram eventos únicos
- eventos geram *agentes* em caminhos aleatórios
- consultas também percorrem caminhos aleatórios

Roteamento por rumores (rumor routing)

Visão Geral

- Cada nó mantém uma lista de vizinhos e uma tabela de eventos
 - evento \rightarrow nó (caminho), # saltos
- Nó que observa eventos gera (aleatoriamente) *agente* (em caminho aleatório)
- Agente “caminha” até passar por L saltos, propagando informação sobre o evento inicial e colhida pelo caminho.
- Consultas descrevem eventos específicos. Ao receber consulta, se nó conhece evento, encaminha para nó em sua tabela; caso contrário reenvia consulta (em caminho aleatório).
- Nó que originou a consulta pode gerar um *timeout* e retransmitir a consulta com o mesmo algoritmo ou usar inundação.

agentes: comportamento e sincronização

- agente transporta lista (eventos, # saltos)
 - chegada a nós A a partir de nó B indica caminho
- em cada nó, agente e nó atualizam suas listas
- nós não destinatários da mensagem também utiliza infos no agente
- agente adiciona vizinhos de nó visitado a sua lista de nós recentemente vistos
 - evita loops

- agente carrega lista de evento (metadados) e número de saltos até ele
- ao chegar a novo nó, sincronização com a tabela local
- nó que recebe agente pode não ter caminho algum ou ter caminho pior até evento
- queries e agentes têm TTL para expiração

técnicas

- probabilidade para rotear entre um conjunto de nós vizinhos
- radios ligados apenas parte do tempo
 - funciona bem para aplicações baseadas em eventos

- noção de *clusters* ou grupos com um líder
 - líder pode ser escolhido dinamicamente
 - tratamento de falhas
 - preocupação com consumo de energia
- roteamento entre Internet e nós feito por líderes

uso de GPS em cada nó

- roteamento de demandas a regiões específicas
 - uso conjunto com difusão direcionada para rotear interesses a regiões específicas (GEAR)
- cálculo de distâncias entre nós para construção de rotas