

# 6LoWPan

Roteamento

# Agenda

1. Introdução
2. Roteamento L2 (Mesh Under)
3. Roteamento L3 (Route Over)
  - 3.1. Contextualização
  - 3.2. Escopo
  - 3.3. Métricas
  - 3.4. RPL

# Introdução

- Necessidade de encaminhar pacotes passando por mais de um hop
  - Nós podem não ser alcançáveis diretamente
- LoWPAN impõe várias restrições que impactam na escolha de um protocolo de roteamento
  - Baixo consumo de bateria
  - Baixo consumo de memória
  - Baixo consumo de processamento

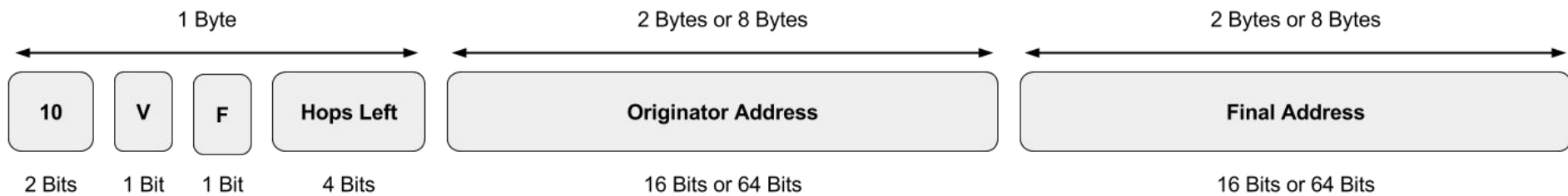
# Introdução

- Importante levar em consideração o sentido do roteamento
  - intra-LoWPAN - Roteamento dentro da própria rede
  - Border routing - Roteamento passando para uma rede externa
- 6LoWPAN possibilita roteamento em duas camadas
  - Mesh Under (Roteamento L2)
  - Route Over (Roteamento L3)

# Mesh Under

- Roteamento na camada de adaptação da LoWPAN
- Utiliza o cabeçalho Mesh definido na RFC 4944
  - Baseado nos endereço MAC dos dispositivos
- Faz com que a comunicação L3 seja transparente entre origem e destino
  - Comunicação IPv6 é abstraída como um único link
- Atualmente o IETF não está trabalhando na definição de nenhum protocolo de roteamento Mesh Under

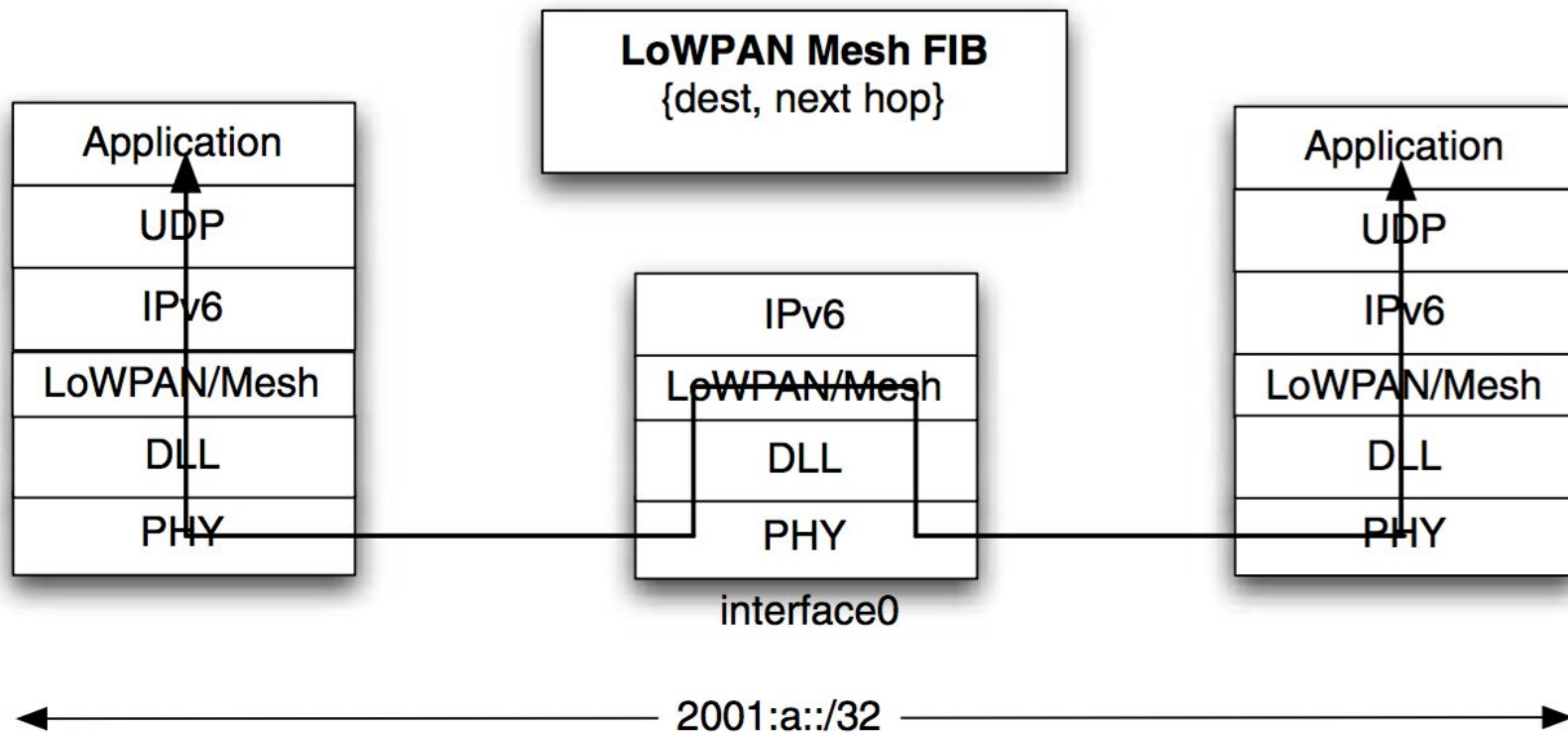
# Mesh Under



# Mesh Under

- Origem
  - Preenche o cabeçalho mesh com os MACs de origem e destino
  - Seta o destino L2 com o endereço do próximo hop escolhido pelo protocolo de roteamento
- Nó intermediário
  - Verifica que o pacote não tem como destino final ele mesmo
  - Decrementa o campo next hop do cabeçalho mesh
  - Altera o destino L2 com o endereço do próximo hop escolhido pelo protocolo de roteamento
- Destino
  - Verifica que o pacote tem como destino final ele mesmo
  - Consome o pacote

# Mesh Under

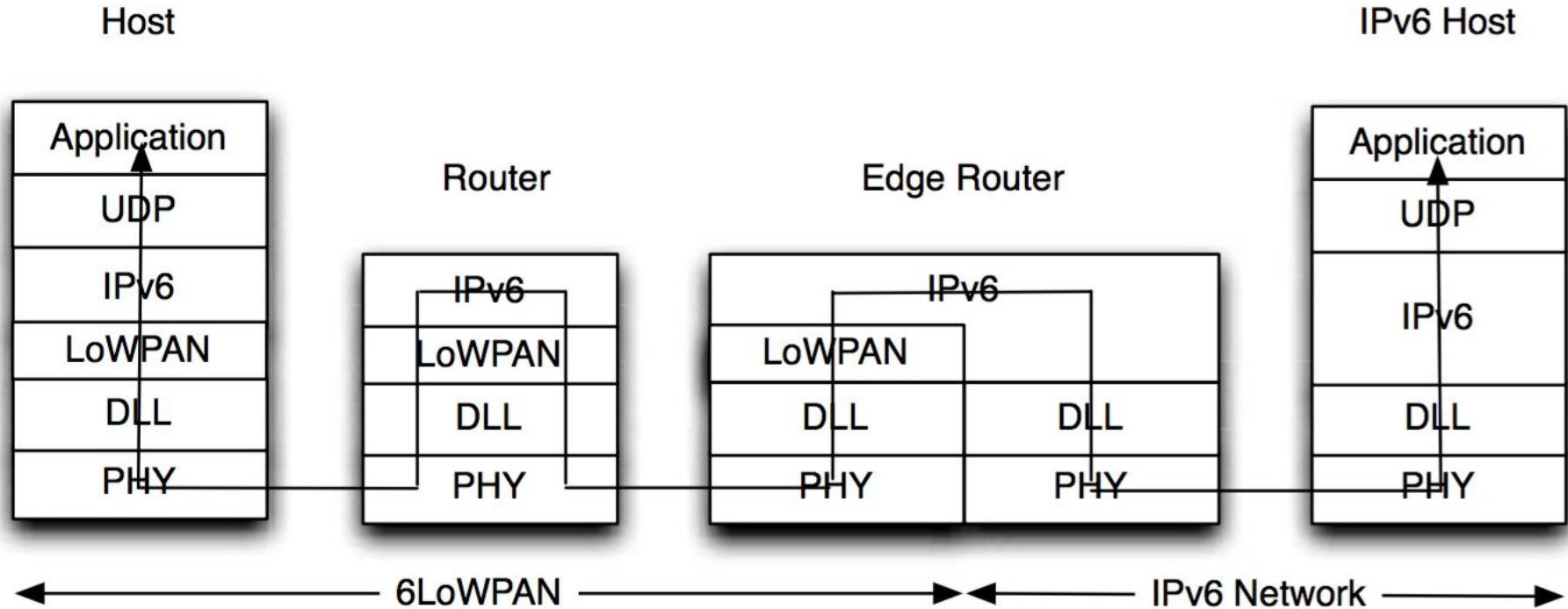




# Route Over

- Roteamento na camada IP (L3)
- Utilização de apenas uma interface para comunicação
  - Envio e recebimento
- Espaço de endereçamento flat
  - Todos os dispositivos compartilham o mesmo prefixo IPv6
- Diversos requisitos
  - Suportar ciclos de sleep
  - Economia de energia
  - Múltiplos tipos de endereçamento

# Route Over



# Route Over

- Muitas características e requisitos conflitantes
- Desafio é equilibrar demandas as restrições com qualidade de serviço
- Grupo criado dentro do IETF para definir um protocolo de roteamento para 6LoWPAN
- ROLL WG (Routing Low power and Lossy Networks Working Group)

# Route Over - Contextualização

- Distance-vector Routing
  - Variante do algoritmo de Bellman-Ford
  - Associa custo a cada um dos links
  - Escolhe o caminho com menor custo
- Link-state Routing
  - Cada nó tem visão completa da rede (flooding)
  - Cálculo do menor caminho de cada nó para os demais
  - Utiliza algoritmo de Dijkstra

# Route Over - Contextualização

- Proactive Routing
  - Cria tabela de roteamento antes dela ser necessária
  - Alto overhead na rede
  - Ideal para topologias com baixa mobilidade na rede
- Reactive Routing
  - Cria tabela de roteamento sob demanda
  - Pouco overhead na rede
  - Ideal para topologias com alta mobilidade e alta comunicação peer-to-peer

# Route Over - Escopo

- Redes Urbanas
  - Monitoramento ambiental
  - Leitura automática de sensores
  - Smart Grids
- Algoritmo de roteamento deve ter
  - Baixo consumo energético
  - Escalável e autônomo
  - Levar em conta limitação dos nós

# Route Over - Escopo

- Redes Industriais
  - Sensores de baixo custo
  - Aumento de segurança
  - Aumento de produtividade
- Algoritmo de roteamento deve ter
  - Baixo consumo energético
  - Confiabilidade
  - Fácil configuração e manutenção

# Route Over - Escopo

- Redes Prediais
  - Sensores de baixo custo
  - Aumento de segurança
  - Aumento de produtividade
- Algoritmo de roteamento deve ter
  - Baixo consumo energético
  - Escalabilidade
  - Auto configuração e fácil gerência



# Route Over - Escopo

- Redes Residenciais
  - Saúde
  - Automação
  - Segurança e monitoramento
- Algoritmo de roteamento deve ter
  - Baixo consumo energético
  - Comunicação peer-to-peer
  - Nenhuma configuração e adaptabilidade

# Route Over - Escopo

- Redes Residenciais
  - Saúde
  - Automação
  - Segurança e monitoramento
- Algoritmo de roteamento deve ter
  - Baixo consumo energético
  - Comunicação peer-to-peer
  - Nenhuma configuração e adaptabilidade

Type	Areas	Requirement
Addressing	U, I, B, H	The protocol MUST support unicast, anycast and multicast addressing.
Addressing	B, H	A device MUST be able to communicate peer-to-peer with any other device in the network.
General	B	The protocol MUST support the capability of nodes to act as a proxy for sleeping nodes. The proxy stores packets for a sleeping node, and delivers them during the next awake cycle.
Traffic flow	U, I	The protocol MUST support multiple paths to a given destination for reliability and load balancing.
Configuration	U, I, B, H	Autoconfiguration of the routing algorithm MUST be supported, without human intervention.
Configuration	B	It MUST be possible to commission devices without requiring any additional commissioning devices (e.g. a laptop).
Configuration	U, I, B, H	The protocol MUST be able to dynamically adapt to changes based on network layer and link-layer abstractions.
Configuration	I	The protocol MUST support the distribution of configuration information from a centralized management controller.
Management	H	The protocol MUST support the ability to isolate a misbehaving node.

Scalability	U	The protocol <b>MUST</b> be able to support a large number of nodes in regions containing on the order of $10^2$ to $10^4$ nodes.
Scalability	U	The protocol <b>MUST</b> accommodate a very large and increasing number of nodes without deteriorating selected performance parameters.
Scalability	B	The protocol <b>MUST</b> be able to support networks with at least 2000 nodes, and subnetworks with up to 255 nodes each.
Scalability	H	The protocol <b>MUST</b> support up to 250 devices in the network.
Performance	I	Success or failure regarding route discovery <b>MUST</b> be reported within several minutes and <b>SHOULD</b> be reported within tens of seconds.
Performance	H	The protocol <b>MUST</b> converge within 0.5 seconds with no mobility, respond to topology change within 0.5 seconds if the sender has moved, and with 2 seconds if the destination has moved.
Performance	H	Sleeping nodes <b>MUST</b> be taken into account by the routing algorithm.
Metrics	U, I, B, H	The protocol <b>MUST</b> support different link and node metrics for use in constraint-based routing.

# Route Over - Métricas

- Utilizado para escolher a melhor rota
- Métricas de link
  - Taxa de transmissão
  - Latência
  - Confiabilidade
- Métricas de nó
  - Memória
  - Processamento
  - Bateria restante

Metric	Type	Description
Node memory	QT, ST	The memory available for routing information on a node.
Node CPU	QT, ST	Computational power, not considered to be critical in most ROLL applications.
Node energy	QT, DY	The residual energy left for battery-powered nodes, important for optimizing network lifetime.
Node overload	QT, DY	A simple indication of the network load (e.g. queue size) of a node.
Link throughput	QT, DY	The total and currently available throughput of a link.
Link latency	QT, DY	The range of latency and current latency for a link.
Link reliability	QT, DY	The link reliability specified as e.g. average packet error rate, which is a critical routing metric.
Link coloring	QL, ST	This static attribute is used to prefer or avoid specific links for specific traffic types.

QT = Quantitative, QL = Qualitative, ST = Static, DY = Dynamic.

# Route Over - RPL

- ROLL Working Group avaliou diversos algoritmos de roteamento já existentes
  - AODV
  - DYMO
  - OLSR
- Foi verificado que nenhum deles atendia os requisitos sem a implementação de modificações consideráveis

# Route Over - RPL

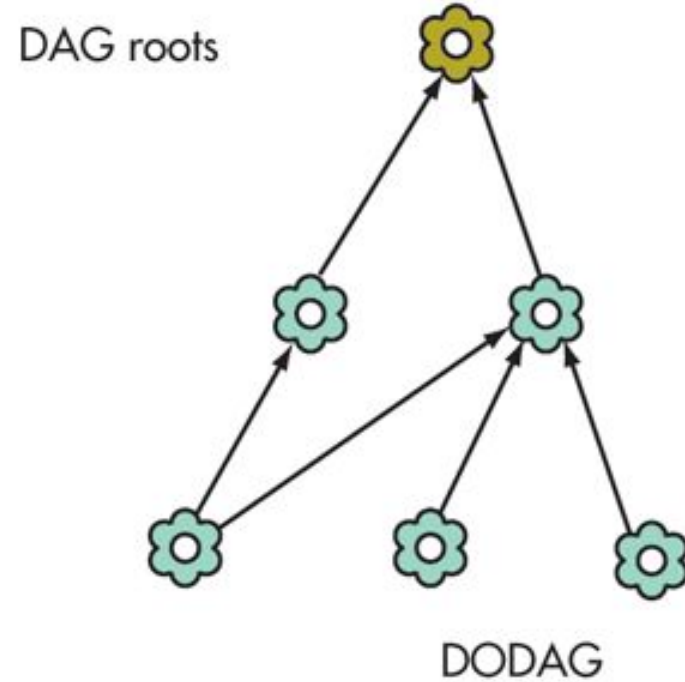
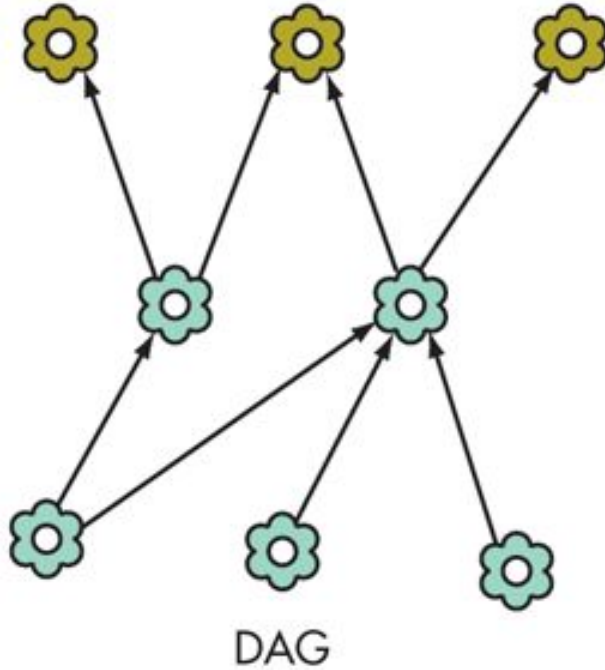
- ROLL Working Group propôs a implementação de outro algoritmo
  - RPL
- Otimizado para "Sink Communication"
  - Comunicação entre um nó da internet para vários sensores
  - Comunicação de um sensor para vários nós da internet
- Pode ser classificado como um protocolo
  - Distance-Vector
  - Proativo



# Route Over - RPL

- DAG (Directed Acyclic Graph)
  - Grafo sem nenhum ciclo
- DAG Root
  - Nó de borda do grafo (Não possui filhos)
  - Edge Router
  - Pode existir mais de um na rede
- DODAG (Destination Oriented Directed Acyclic Graph)
  - DAG com apenas um único DAG Root

# Route Over - RPL



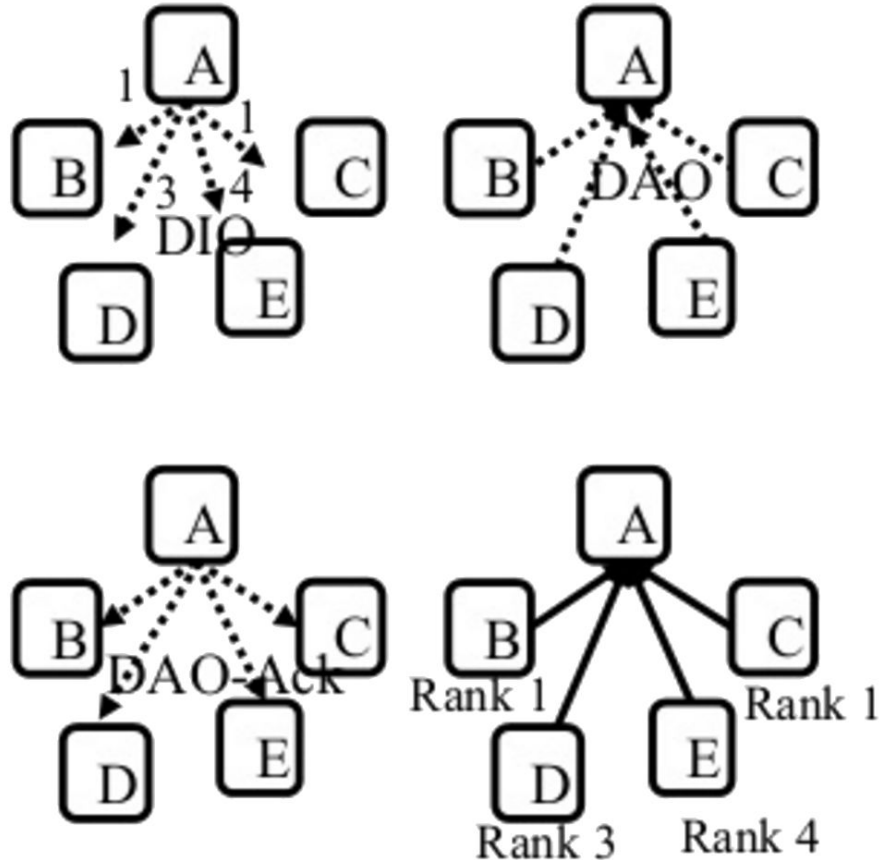
# Route Over - RPL

- Rank
  - Define a posição relativa de um nó na DODAG
  - Aumenta conforme descemos na DODAG
  - Diminui quando subimos na DODAG
  - Calculado baseado na função objetiva que leva em conta as métricas definidas
- Non-Storing Mode
  - Cada nó da DODAG tem informação apenas dos nós pais
  - Apenas a raiz da DODAG possui informação completa da rede
- Storing Mode
  - Todos os nós da DODAG tem informação completa da rede

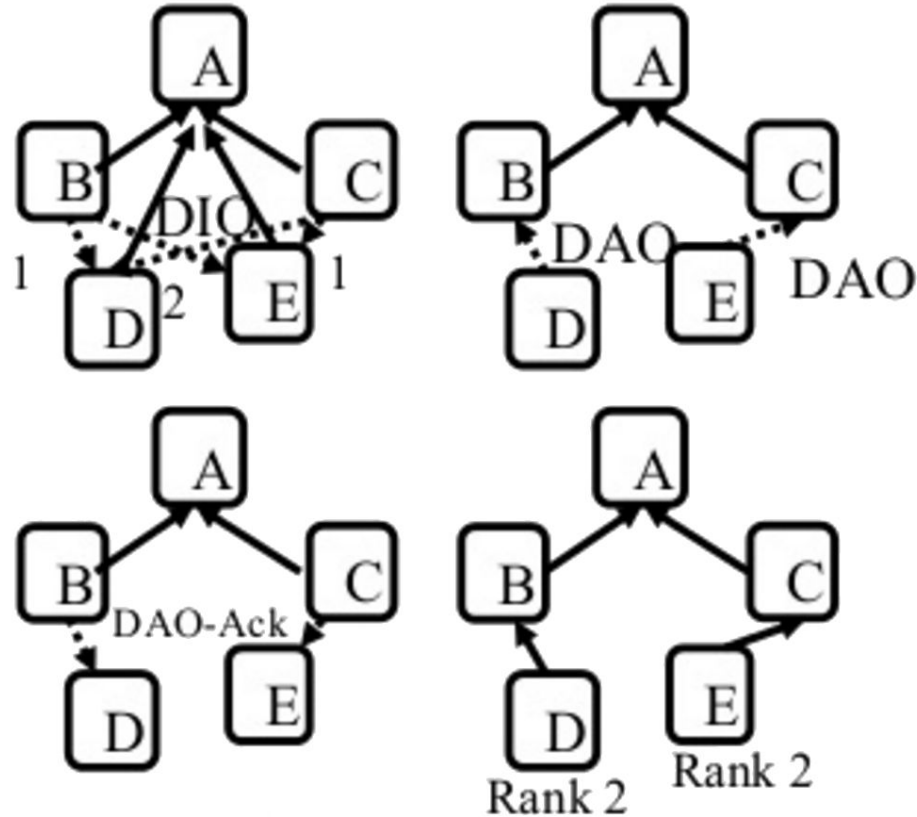
# Route Over - RPL

- Mensagens baseadas em ICMPv6
- DIO (DODAG Information Object)
  - Mensagem multicast que propaga informações do nó para a rede
- DIS (DODAG Information Solicitation)
  - Mensagem propagada para perguntar na rede pela existência de alguma DODAG
- DAO (DODAG Destination Advertisement Object)
  - Mensagem enviada por um nó filho para pedir permissão para se juntar a uma DODAG
- DAO-ACK (DODAG Destination Advertisement Object Acknowledgement)
  - Mensagem de resposta ao DAO permitindo ou negando a entrada de um nó na DODAG

# Route Over - RPL



# Route Over - RPL



# Route Over - RPL

- Para realizar roteamento peer-to-peer existem duas possibilidades
  - No modo Storing é possível que um nó dentro intermediário na DODAG envie os pacotes para o destino correto
  - No modo Non-Storing é necessário que todos os pacotes sejam encaminhados até o DODAG root (Edge Router) para depois serem encaminhados para o destino final

# Referências

- RFC 6550 - RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks
- 6LoWPAN - The Wireless Embedded Internet