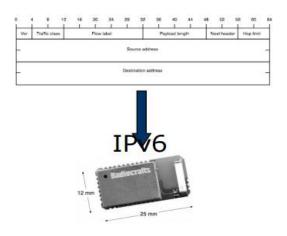
6LowPAN

♣ ACKs

- Slide/Figures Sources
 - IPSO Alliance Webinar "6LowPAN for IP Smart Objects" n
 - 6LoWPAN: The Wireless Embedded Internet, Shelby & Bormann, ISBN: 978-0-470-74799-5, (c) 2009 John Wiley & Sons Ltd

♣ 6LoWPAN là gì?

- Một lớp thích ứng để phù hợp với IPv6 qua mạng không dây công suất thấp
- Được xác định bởi các tiêu chuẩn IETF
 - RFC 4919, 4944
 - draft-ietf-6lowpan-hc and -nd
 - draft-ietf-roll-rpl



TCP/IP Protocol Stack

HTTP RTP TCP UDP **ICMP** IP Ethernet MAC Ethernet PHY

Ap

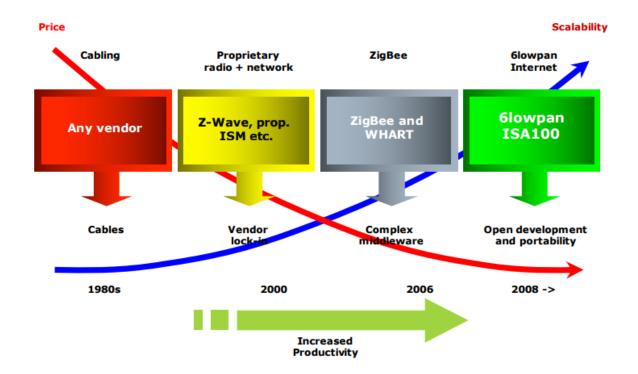
Application					
UDP	ICMP				
IPv6 with	LoWPAN				
IEEE 802	.15.4 MAC				
IEEE 802	.15.4 PHY				
	UDP IPv6 with IEEE 802				

6LoWPAN Protocol Stack

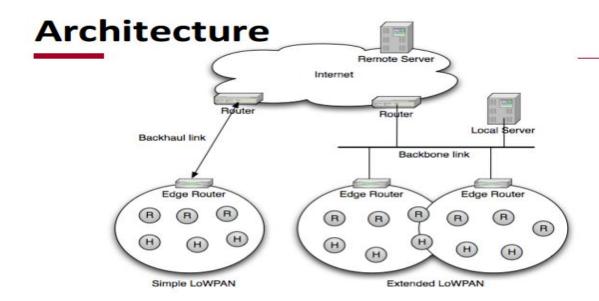
↓ Lợi ích của công nghệ 6LoWPAN:

- Công suất thấp RF + IPv6 = Công nghệ Internet nhúng không dây
- 6LoWPAN làm cho điều này có thể
- Những lợi ích của 6LoWPAN bao gồm:
 - Các tiêu chuẩn mở, tuổi thọ dài, đáng tin cậy
 - Dễ dàng learning-curve
 - Tích hợp Internet trong suốt
 - Khả năng bảo trì mạng
 - Khả năng mở rộng toàn cầu
 - Cho phép một ổ cắm chuẩn API
 - Sử dụng tối thiểu mã và bộ nhớ
 - Tích hợp Internet trực tiếp đầu cuối: Nhiều tuỳ chọn topology

🕹 Sự phát triển của mạng cảm biến không dây



♣ Kiến trúc



- LoWPANs là các mạng lưới sơ khai
- LoWPAN đơn giản
 - Router biên đơn giản

Extended LoWPAN

 Bộ định tuyến LoWPANMultiple Edge mở rộng có liên kết xương sống chung

Ad-hoc LoWPAN

- Không có tuyến đường bên ngoài LoWPAN
- Các vấn đề tích hợp Internet
 - Đơn vị truyền tối đa
 - Giao thức ứng dụng
 - Khả năng kết nối IPv4
 - Tường lửa và NAT
 - Bảo vệ

IPv6							
Ethernet MAC	LoWPAN Adaptation IEEE 802.15.4 MAC						
Ethernet PHY	IEEE 802.15.4 PHY						

IPv6-LoWPAN Router Stack

4 Tính năng thích ứng

- Nén header hiệu quả
 - Header cơ sở và phần mở rộng IPv6, header UDP
- Phân mảnh
 - Khung 1280 byte IPv6 MTU -> 127 byte 802.15.4

🖊 Tính năng bổ sung

- Hỗ trợ cho ví dụ Địa chỉ 64-bit và 16-bit 802.15.4
- Có ích với các lớp liên kết công suất thấp như IEEE 802.15.4, ISM băng tầng hẹp và truyền thông đường dây điện
- Tự động định cấu hình mạng sử dụng phát hiện neighbor
- Hỗ trợ Unicast, multicast và broadcast
 - Multicast được nén và lập bản đồ đến broadcast
- Hỗ trợ định tuyến IP (ví dụ: IETF RPL)
- Hỗ trợ sử dụng lưới liên kết (ví dụ 802.15.5)

♣ Giao thức Internet v6

- IPv6 (RFC 2460) = Giao thức Internet thế hệ tiếp theo
 - Hoàn thiện thiết kế lại địa chỉ IP
 - Địa chỉ 128-bit phân cấp với bộ nhận dạng lưu trữ tách rời
 - Phi trạng thái cấu hình tự động
 - Đơn giản quản lý địa chỉ và định tuyến
- Phần lớn lưu lượng dữ liệu vẫn chưa có IPv6 nhưng ...
 - Hầu hết các hệ điều hành máy tính đã có IPv6
 - Các chính phủ bắt đầu yêu cầu IPv6
 - Hầu hết các bộ định tuyến đã có hỗ trọ IPv6
 - Vì vậy, quá trình chuyển đổi IPv6 đang coming
 - Tốc độ tăng trưởng IPv6 hàng năm 1400% (năm 2009)

🖶 Địa chỉ IPv4 so với IPv6

An IPv4 address (dotted-decimal notation)

172 . 16 . 254 . 1

10101100.00010000.111111110.00000001

One byte = Eight bits

Thirty-two bits (4 * 8), or 4 bytes

An IPv6 address (in hexadecimal)

2001:0DB8:AC10:FE01:0000:0000:00000:00000

2001:0DB8:AC10:FE01:: Zeroes can be omitted

Image source: Indeterminant (Wikipeida) GFDL

IPv4: $7x10^{-6}$ [addresses/m²] IPv6: $666x10^{21}$ [addresses/m²]

🖶 IPv4 vs. IPv6 Header

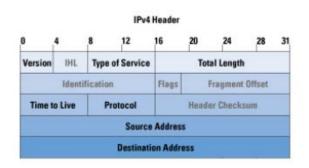




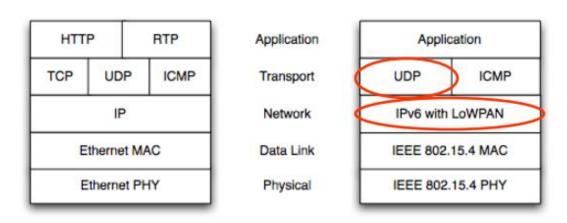
Image source: Bino1000, Mkim (Wikipeida) GFDL

♣ Định dạng 6LoWPAN

- 6LoWPAN là một định dạng header thích ứng
- Cho phép sử dụng IPv6 qua các liên kết không dây năng lượng thấp Nén header IPv6
 Nén header UDP
- Định dạng ban đầu được định nghĩa trong RFC4944
- Cập nhật bởi draft-ietf-6lowpan-hc (Đang tiến hành)

TCP/IP Protocol Stack

6LoWPAN Protocol Stack



♣ Nén Header 6LowPAN trong nháy mắt:

- Trạng thái nén
- Nén độc lập lưu lượng
- Thủ thuật đơn giản trên header IPv6 / UDP
- Giá trị chung cho trường header => dạng nhỏ gọn
 - Phiên bản luôn luôn là 6
 - Lớp lưu lượng và Nhãn lưu lượng là 0
 - Chiều dài tải trọng luôn xuất phát từ header L2
 - Nguồn và Điểm đến
 - Địa chỉ có thể được xóa bỏ (liên kết cục bộ) và / hoặc nén
 - Tùy thuộc vào "context" của sự truyền dẫn

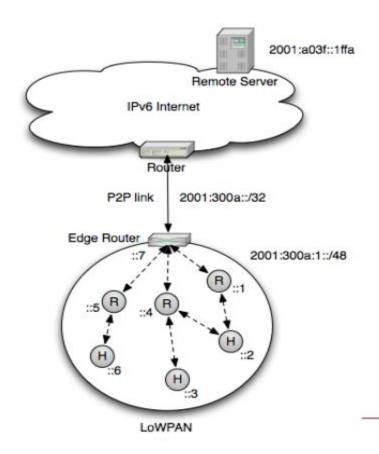
Ver	Traffic Class	Flow Label								
Payload Length Next Header Hop Limit										
Source Address										
Destination Address										

♣ Đia chỉ IPv6

- Địa chỉ IPv6 128-bit = Tiền tố 64-bit + Giao diện ID 64 bit (IID)
- Tiền tố 64-bit là phân cấp
 - Xác định mạng bạn đang sử dụng và vị trí của nó ở đâu trên toàn cầu
- 64-bit IID xác định giao diện mạng
 - Phải là duy nhất cho mạng đó
 - Thông thường được hình thành phi trạng thái từ địa chỉ MAC của giao diện
 - Được gọi là tự động cấu hình địa chỉ không trạng thái (RFC2462)
- Có nhiều loại địa chỉ IPv6 khác nhau
 - Loopback (0 :: 1) và Unspecified (0 :: 0)
 - Unicast với phạm vi toàn cầu (ví dụ: 2001: :) hoặc liên kết cục bộ (FE80: :)
 - Địa chỉ Multicast (bắt đầu bằng FF::)
 - Địa chỉ Anycast (địa chỉ unicast special-purpose)

IPv6 Addr		Prefix		Interface Identifier				
	<		128 bits -		<u>→</u>			

- Địa chỉ IPv6 được nén trong 6LoWPAN
- Tiền tố
 - Địa chỉ trong phạm vi 6LoWPAN thường chứa tiền tố chung
 - Các nút thường liên lạc với một hoặc vài thiết bị trung tâm
 - Thiết lập trạng thái (context) cho các tiền tố như vậy chỉ trạng thái bảo trì
 - Hỗ trơ tối đa 16 context 6LoWPAN nén IPv6
- Interface ID
 - Thông thường bắt nguồn từ addr L2 trong quá trình tự động cấu hình
 - Elide khi Interface Identifier có thể được bắt nguồn từ header L2

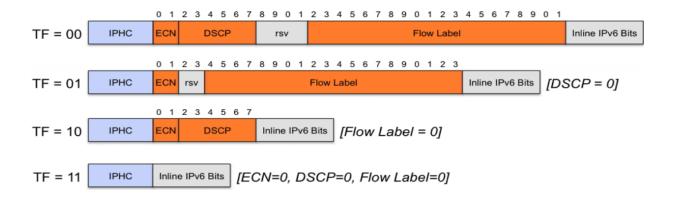


↓ The Header Compression header

- TF (Lớp lưu lượng và Nhãn lưu lượng)
 - 0: Carried Inline (ECN+DSCP+Flow), 1: ECN+Flow, 2: ECN+DSCP, 3: Tất cả bằng 0
- NH (nén header tiếp theo)
 - 0: Carry Inline, 1: header tiếp theo được nén
- HLIM (Hop Limit = Inline, 1, 64, 255)
 - 0: Carried Inline, 1: 1, 2: 64, 3: 255
- CID (Context Identifier Extension)
 - 0: No 1-byte CID identifier, 1: 1-byte identifier follows
- SAC/DAC (Source/Destination Address Compression)
 - 0: Stateless, 1: Context-based
- SAM/DAM (Source/Destination Address Mode)
 - 0: 16 bytes inline, 1: 8 bytes inline, 2: 2 bytes inline, 3: elided
- M (Multicast Destination)
 - 0: Destination is not multicast, 1: Destination is multicast

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
0	1	1	Т	F	NH	HL	IM	CID	SAC	SA	M	М	DAC	DA	ΑM	In-line IPv6 Header Bits

Traffic Class and Flow Label Compression

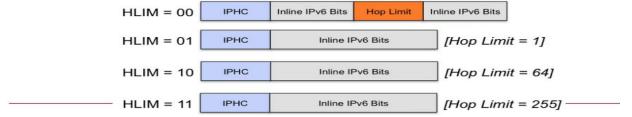


🖊 Next Header and Hop limit compression

■ Next Header Field

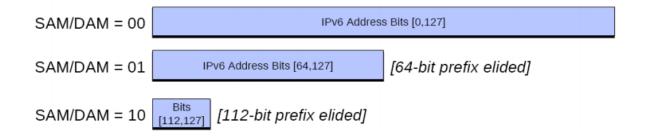


☐ Hop Limit Field



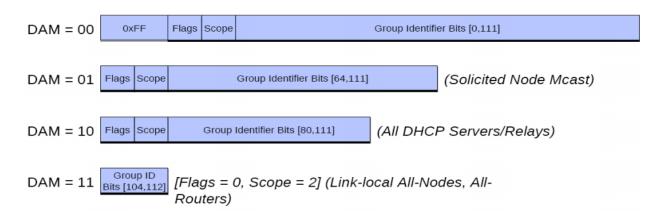
🖊 Nén địa chỉ

Source/Destination Address Compression modes



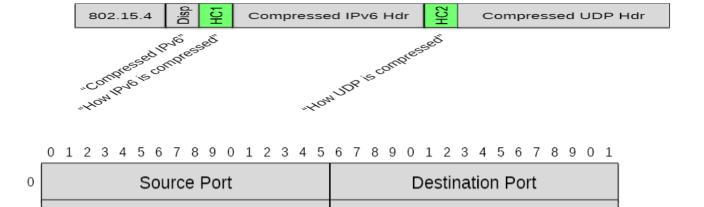
- Chế độ không trạng thái (SAC / DAC = 0)
 - Tiền tố là liên kết cục bộ (fe80 :: / 10)
- Context-Based (SAC/DAC=1)
 - Tiền tố lấy từ context được lưu trữ (tối đa 16 context)
 - CID = 0, sử dụng ContextID = 0
 - CID = 1, bao gồm 4-bit ContextID cho nguồn và đích

Multicast Addresses Compression



UDP Header Compression

4



Checksum

- Giả sử giá trị chung cho các trường header và xác định các dạng nhỏ gọn
 - Port trong khoảng 61616 đến 61632 (4 bit)
 - Chiều dài bắt nguồn từ độ dài IPv6

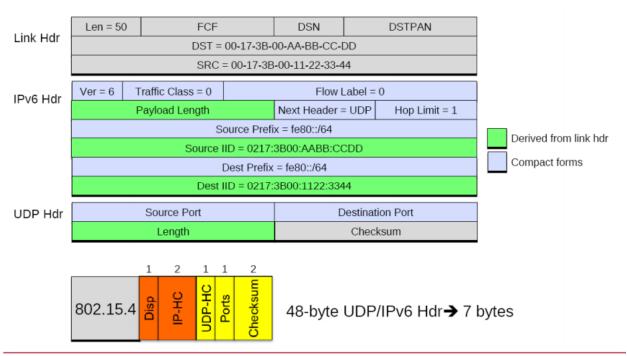
Length

• Checksum có thể được xóa bỏ nếu sử dụng các kiểm tra toàn vẹn khác (ví dụ: Ipsec)

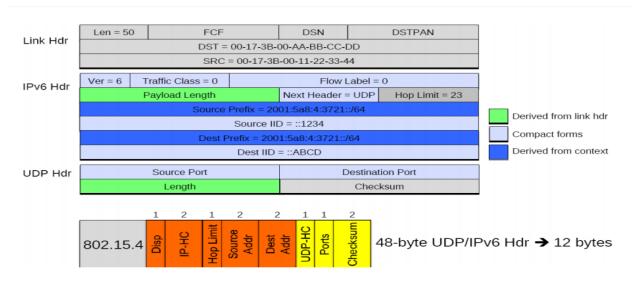
0	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	0	C	Р	

- C (Checksum): 0: Inline, 1: Elide
- P (Ports):
 - 0: Inline o 1: Elide first 8 bits of Dest Port
 - 2: Elide first 8 bits of Source Port
 - 3: Elide first 12 bits of Source and Dest Ports

Liên kết nội bộ:

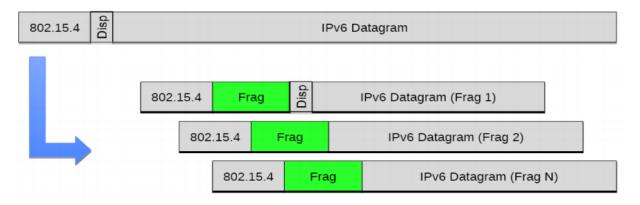


Global Unicast

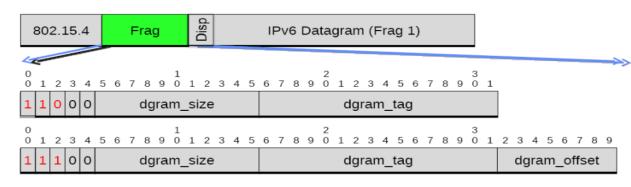


4 Phân mảnh

- IPv6 yêu cầu tối thiểu 2-PDU 1280 byte
- 802.15.4 có tải trọng tối đa 127 byte
- Các gói tin IPv6 nên được phân mảnh bởi lớp thích ứng 6LowPAN



🖊 Header phân mảnh:



dgram_size: kích thước của fragment trong các byte

- dgram tag: phân mảnh ID (chung cho tất cả các fragment)
- dgram_offset: fragmentation offset (word of 8 bytes). Elided in the 1° fragment

♣ Sự phân mảnh trong thực tiễn

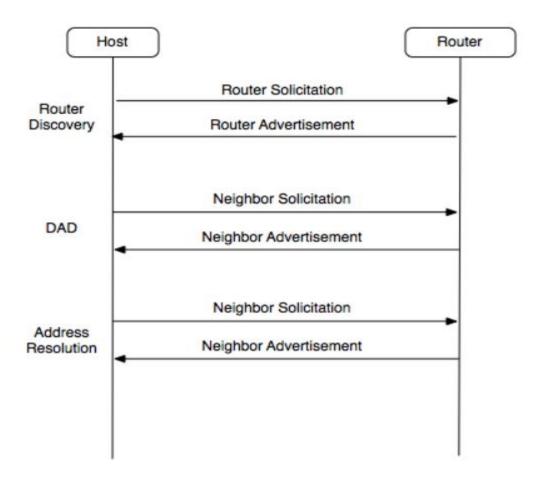
- Hiệu suất của các gối tin IPv6 lớn bị phân mảnh trên mạng lưới không dây năng lượng thấp là nghèo nàn!
- Mất đoạn làm cho toàn bộ gói tin bị truyền lại
- Băng thông thấp và sự chậm trễ của kênh không dây
- Giao thức ứng dụng 6LoWPAN nên tránh phân mảnh
- Sự phân mảnh được xử lý tại lớp ứng dụng (COAP)
- Sự nén nên được sử dụng trên các giao thức ứng dụng IP hiện có, sử dụng trên 6LoWPAN nếu có thể

↓ Thiết lập và vận hành 6LoWPAN

- Tự động cấu hình là rất quan trọng trong các mạng nhúng
- Để một mạng 6LoWPAN bắt đầu hoạt động:
 - Kết nối lớp liên kết giữa các nút (vận hành)
 - Network layer address configuration, discovery of neighbors, registrations (bootstrapping)
 - Thuật toán định tuyến thiết lập các đường dẫn (khởi tạo tuyến đường)
 - Liên tục bảo vệ

↓ IPv6 Neighbor Discovery

- IPv6 là định dạng ND là các bộ não
 - "Giao thức định tuyến một bước" được định nghĩa trong RFC4861
- Xác định giao diện giữa các neighbor
- Tîm neighbor
 - Neighbor Solicitation / Neighbor Acknowledgement
- Tìm định tuyến
 - Router Solicitation / Router Advertisement
- Độ phân giải địa chỉ sử dụng NS / NA
- Phát hiện địa chỉ trùng lặp sử dụng NS / NA
- Neighbor Unreachability Detection using NS/NA
- DHCPv6 có thể được sử dụng kết hợp với ND

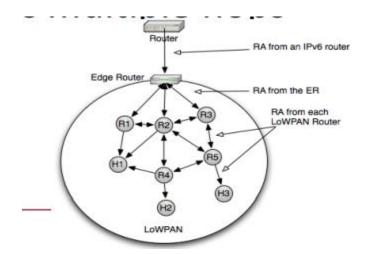


- Tiêu chuẩn ND cho IPv6 không phù hợp với 6LoWPAN:
 - Giả sử một liên kết duy nhất cho tiền tố mạng con IPv6
 - Giả định rằng các nút luôn luôn bật
 - Sử dụng nhiều lưu lượng multicast (phát sóng / lũ trong 6LoWPAN)
 - Không hỗ trợ đa tác vụ hiệu quả qua ví dụ: 802.15.4
- 6LoWPAN Neighbor Discovery cung cấp:
 - Một liên kết thích hợp và mô hình mạng con cho mạng không dây công suất thấp
 - Minimized node-initiated control traffic
 - Nút đăng ký (NR) và nút xác nhận (NC)
 - phát hiện địa chỉ trùng lặp (DAD) và phục hồi
 - Hỗ trợ mở rộng cơ sở hạ tầng Edge Router
- ND cho 6LoWPAN đã được xác định trong dự thảo-ietf-6lowpan-nd (đang tiến hành)

♣ Prefix Dissemination

-Trong các mạng IPv6 bình thường, RA được gửi đến một liên kết dựa trên thông tin (tiền tố vv) được định cấu hình cho giao diện bộ định tuyến đó

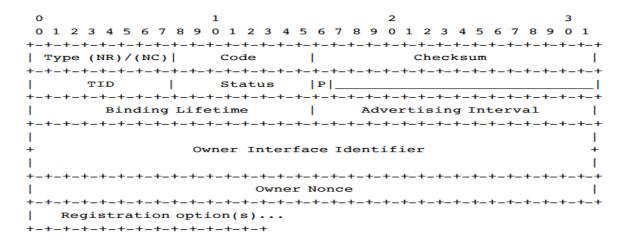
- Trong ND cho 6LoWPAN RAs cũng được sử dụng để tự động phổ biến thông tin router thông qua nhiều bước nhảy



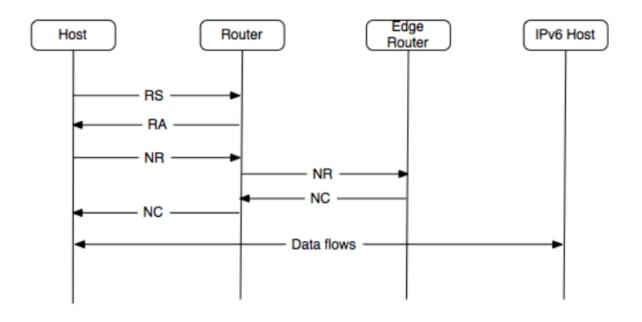
♣ Nút đăng ký

- 6LoWPAN-ND Optimizes only the host-router interface
 - RFC4861 = tín hiệu giữa tất cả các neighbor (phân phối)
- Nút đăng ký với các thiết bị định tuyến lân cận
 - Trao đổi thông điệp NR / NC
 - Bảng ràng buộc của các nút đăng ký được giữ bởi router
- Nút đăng ký cho phép thay đổi
 - Phát hiện khả năng không thể truy cập máy chủ / bộ định tuyến
 - Độ phân giải địa chỉ (a priori)
 - Phát hiện địa chỉ trùng lặp
- Đăng ký là các ràng buộc mềm
 - Định kỳ làm mới với một tin nhắn mới NR

♣ NR/NC Format

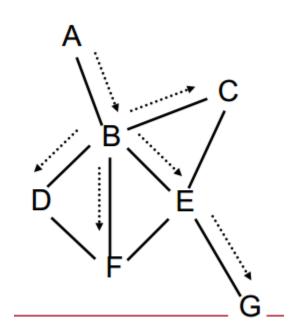


↓ Typical 6LoWPAN-ND Exchange

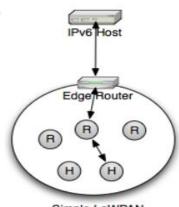


₩hat should be the Optimum "Ideal" Routing Protocol for WSNs

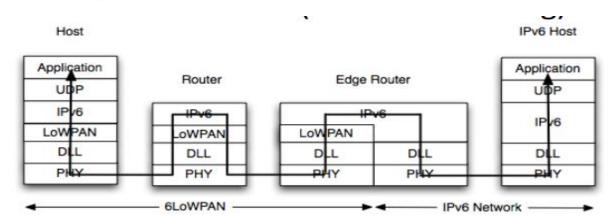
- Các tuyến đường ngắn nhất
 - Tránh chồng chéo nhau
 - Tiêu thụ năng lượng tối thiểu
 - Cần thông tin topology toàn cầu



- ♣ Các loại giao thức định tuyến
- Algorithm classes:
 - Distance-vector: Liên kết được kết hợp với cost, được sử dụng để tìm tuyến đường ngắn nhất. Mỗi router dọc theo đường dẫn lưu thông tin local hop kế tiếp về bảng định tuyến của nó.
- Link-state: Mỗi node nhận được thông tin đầy đủ về mạng, điển hình là flooding. Mỗi nút tính toán một đường ngắn nhất được tính cho mỗi đích.
- Các loại tín hiệu
 - Chủ động: Thông tin định tuyến thu được trước khi nó được xem là cần thiết.
 - Reactive: Thông tin định tuyến được phát hiện động khi cần thiết.
- Route metrics là một chỉ số quan trọng
- ♣ 6LoWPAN Routing
- Ở đây chúng tôi xem xét IP định tuyến (ở lớp 3)
- Định tuyến trong một LoWPAN
 - Single-interface routing
 - Flat address space (exact-match)
 - Stub network (no transit routing)



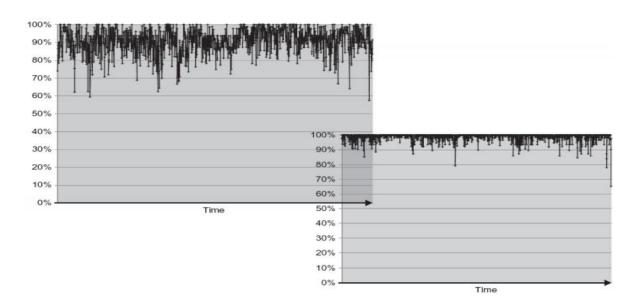
Simple LoWPAN



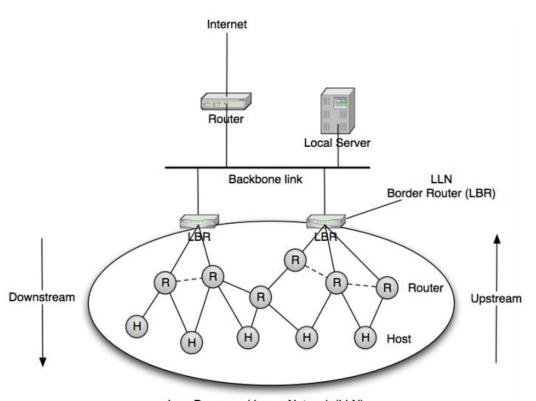
- ♣ Các giao thức cho 6LoWPAN
- IP là agnostic với giao thức định tuyến được sử dụng
 - Nó chuyển tiếp dựa trên các bảng ghi định tuyến
- Vì vậy, 6LoWPAN là giao thức định tuyến Agnostic
 - Sự xem xét đặc biệt để định tuyến qua LoWPANs
 - Single interface routing, flat topology
 - Low-power and lossy wireless technologies
 - Luồng dữ liệu cụ thể cho các ứng dụng nhúng
- Giao thức MANET hữu ích trong một số trường hợp đặc biệt, ví dụ AODV, DYMO
- New IETF working group formed
 - Định tuyến qua mạng lưới điện năng thấp và rò rỉ (ROLL)
 - Phát triển đặc biệt cho các ứng dụng nhúng

♣ IETF ROLL

- Định tuyến qua mạng lưới điện năng thấp và rò rỉ (ROLL)
 - Working group at the IETF
- Tiêu chuẩn hoá một thuật toán định tuyến cho các app nhúng
- Các yêu cầu cụ thể của ứng dụng
 - Tự động hóa home
 - Tự động hóa commercial building
 - Tự động trong công nghiệp
- Phân tích tất cả các giao thức hiện có
- Giải pháp phải làm việc qua IPv6 và 6LoWPAN
- Giao thức trong tiến trình được gọi là RPL "Ripple"
 - Phương thức tiếp cận distance-vector
- Background
- Hạn chế thiết bị! (Vài Kbytes of RAM, hàng chục Kbytes của Flash, vi điều khiến 8/16-bit)
- Có thể có quy mô rất lớn (10-100sK nút)
- Low-speed highly unstable lossy links (oscillation avoidance is a key)
- Thiết bị không giám sát trong môi trường khắc nghiệt
- ♣ Triết lý RPL
- Nguyên tắc chung: "Không quá khắc nghiệt"



♣ ROLL RPL "Ripple"



Low-Power and Lossy Network (LLN)

🖊 Yêu cầu / Mục tiêu

- Unicast / Anycast / Multicast Định tuyến Adaptive: số liệu khác nhau

- Constraint-Based Routing: đường song song
- Khả năng mở rộng
- Mục tiêu: RPL xây dựng một Destination-Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG)
- DODAG phụ thuộc vào chức năng Objective Function (OF) chi tiết

♣ Số liệu và hạn chế:

- Chỉ số: vô hướng để nắm bắt hiệu suất liên kết / đường dẫn (độ tin cậy, nhiễu, thông lượng, vv)
- Han chế: các tiêu chí để loại bỏ liên kết từ một DODAG
- Định tuyến kết hợp số liệu và các ràng buộc. Ví dụ: "tìm đường dẫn với độ tin cậy tối đa mà không đi qua bất kỳ liên kết không mã hóa"

♣ The Most Common Routing Metric

- Nút

Residual Energy (node)

CPU, Storage, WorkLoad, Battery/Mains

- Liên kết
 - Troughput (số liệu cục bộ / toàn cầu)
 - Độ trễ (chỉ số cục bộ / toàn cầu)
 - Độ tin cậy (chỉ số cục bộ / toàn cầu) Expected Transmission Count (ETX) Link Quality Level (LQL)
- Hop count

4 The ETX

- "Số lượng trung bình của gói tin truyền tải thành công để truyền gói tin"



- Ví du:
 - Là xác suất lỗi gói tin từ A đến B và từ B đến A p và q, tương ứng, ETX là: 1 / [(1-p) (1-q)]
 - P và q có thể được ước tính thông qua định kỳ beaconing

4 RPL Messages

- DODAG Information Object (DIO)

Link Local Messages to Advertise/Build Up DODAG

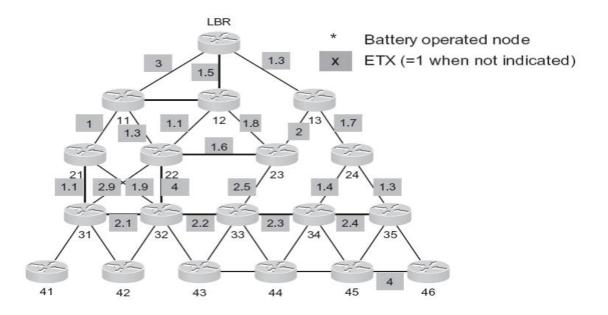
Chứa tất cả các thông tin để trao đổi số liệu / thiết lập ràng buộc

- Destination Advertisment Object (DAO)

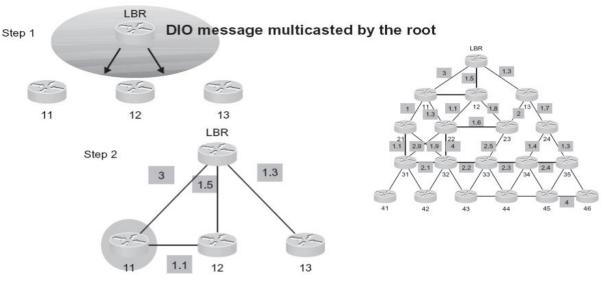
Được sử dụng để truyền bá thông tin về điểm đến (tiền tố)

Hỗ trơ đến ptp và ptmp traffic

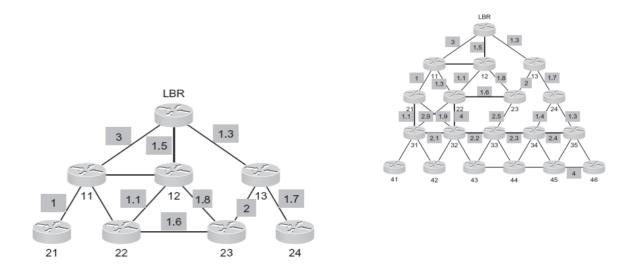
- DODAG Information Solicitation (DIS)
 Used to solicit DIOs
- ♣ Cấu trúc DODAG



♣ Bước 1 và 2

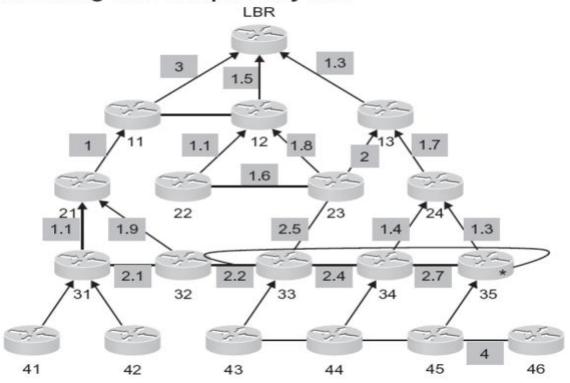


4 Bước 3:



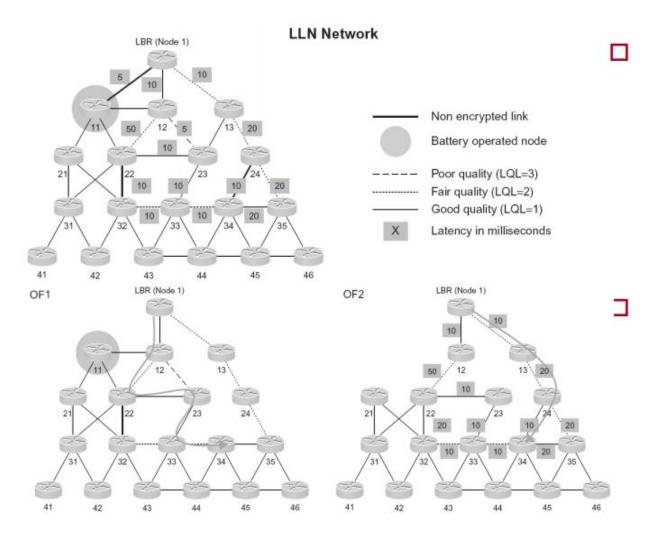
♣ DODAG cuối cùng:

Resulting DAG computed by RPL



♣ Multiple Routing OF calls for Multiple DODAGs

- Mạng rất giống nhau có thể hỗ trợ các ứng dụng khác nhau
 - + Es: network with battery- and main-operated devices, high and low bandwidth links, and two applications(telemetry and alarming)
- + Một "time sensitive path" dành cho các báo động (độ trễ thấp, độ tin cậy cao, không có khó khăn về năng lượng)
- + Một "non-time sensitive path" để tối ưu hóa năng lượng từ xa (không đi qua các nút hoạt động bằng pin)



- OF1: sử dụng LQL như một thước đo toàn cầu, giảm thiểu số liên kết chất lượng thấp và công bằng, tránh các liên kết không mã hoá
- OF2: tìm đường đi tốt nhất về độ trễ trong khi tránh các liên kết chất lượng kém và các nút hoạt động bằng pin
- 4 Phân loại của các giao thức định tuyến cho mạng cảm biến không dây

- DATA CENTRIC PROTOCOLS
 - Flooding, Gossiping, SPIN, Directed Diffusion, SAR (Sequential Assignment Routing), Rumor Routing, Constrained AnisotropicDiffused Routing, COUGAR, ACQUIRE, ZigBee, RPL
- HIERARCHICAL PROTOCOLS
 LEACH, PEGASIS, TEEN (Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)
- LOCATION BASED (GEOGRAPHIC) PROTOCOLS
 MECN, SMECN (Small Minimum Energy Com Netw), GAF (Geographic Adaptive Fidelity), GEAR, Distributed Topology/Geographic,