

Minicurso: Paradigma de Redes Definidas por Software aplicado a Redes de Sensores sem fio e Internet das Coisas

Bruno T. de Oliveira
Renan C. A. Alves
Cíntia B. Margi

Escola Politécnica – Universidade de São Paulo
São Paulo – SP – Brasil

XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de
Sinais (SBrT 2016)
30 de agosto de 2016

Agenda

- 1 Introdução
- 2 Definições
 - Redes de sensores sem fio
 - Internet das Coisas
 - Redes definidas por software
- 3 Estado da arte
 - SDN em redes sem fio
 - Dispositivos sem capacidade SDN
 - Dispositivos com capacidade SDN
 - Análise de Desempenho
 - Esforços de padronização
 - Possibilidade de confluência entre SDN e IoT
- 4 Demonstração
- 5 Considerações Finais

Seção 1

Introdução

Objetivos

Fornecer uma visão geral da aplicação de Redes Definidas por Software (SDN) em redes de sensores sem fio (RSSF) e internet das coisas (IoT), incluindo:

- Definições
- Padronização
- Vantagens e desafios
- Estado da arte

Seção 2

Definições

Subseção 1

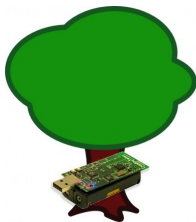
Redes de sensores sem fio

RSSF I

Aplicações

Nós sensores de baixo custo realizando

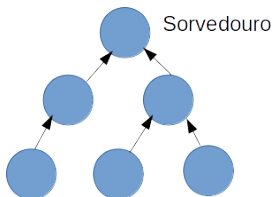
- Monitoração de ambiente
- eHealth
- Agricultura de precisão
- Propósito específico



RSSF II

Características

- Capacidade computacional reduzida (dezenas de KB de memória, alguns MHz)
- Uso de baterias
- Rede ad-hoc de múltiplos saltos
- Mobilidade dos nós
- Geralmente padrão de comunicação "de coleta"



RSSF III

Exemplo de dispositivo: telosB

- Microcontrolador msp430 de 8 MHz
- 10 KB de RAM
- 48 KB de ROM
- Sensores disponíveis
 - Luz (visível e infravermelho)
 - Temperatura
 - Umidade
- Rádio CC2420 compatível com IEEE 802.15.4 2.4 GHz
- Tamanho: 6.5 x 3.1 cm

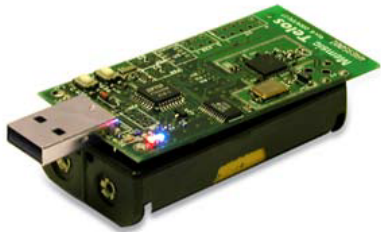


Figura: telosB

Subseção 2

Internet das Coisas

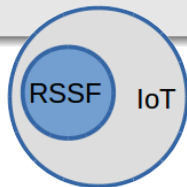
IoT I

Ideia principal

Objetos com capacidade de monitoração, atuação e comunicação conectados entre si e com a Internet.

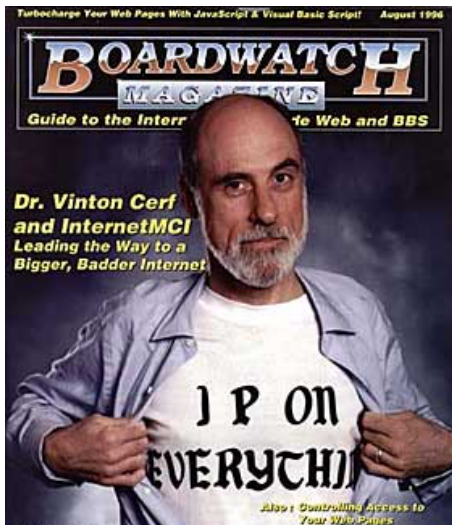
Características

- Semelhanças com RSSF
- Porém propósito específico não é desejável
- Heterogeneidade (dispositivos, enlace)
- Padrão de tráfego



IoT II

Figura: Já foi vislumbrada há um tempo



Subseção 3

Padrão IEEE 802.15.4

Padrão IEEE 802.15.4

Objetivos do IEEE 802.15.4

- Feito para LR-WPAN (low rate wireless personal area network)
- Define camadas física e de enlace
- Complexidade, custo e potência reduzidos

Padrão IEEE 802.15.4 – Camada física

- Até 127 bytes de payload
- Possibilidade de camada física:

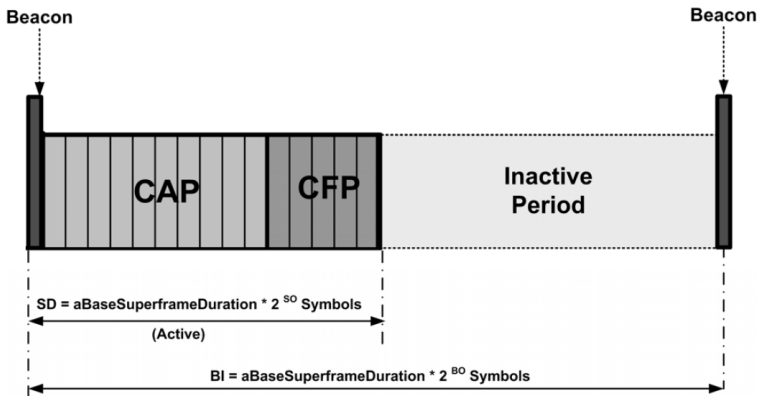
Frequência	Taxa de dados [kbps]	Modulação
868 MHz	20	BPSK
900 MHz	40	BPSK
2.4 GHz	250	O-QPSK

- Outras possibilidades em emendas.
- Consumo de potência – Rádio CC2420 (2.4 GHz)

Estado	Potência [mW]
Sleep	1.278
Rx	59.1
Tx (potência máxima)	52.2

Padrão IEEE 802.15.4 – Acesso ao meio (MAC)

- Pelo menos 9 bytes de cabeçalhos
- Modos de operação: com beacon e sem beacon
- Modo sem beacon: unslotted CSMA/CA
- Modo com beacon:



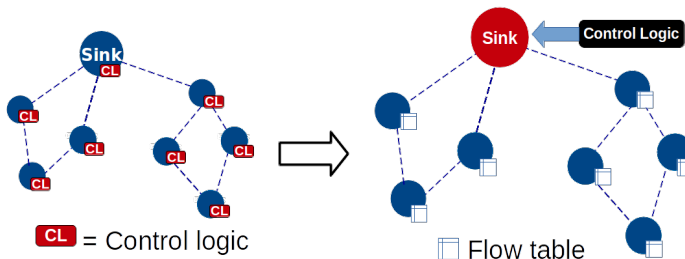
Subseção 4

Redes definidas por software

SDN I

Diferenças para o paradigma tradicional

- Separação do plano de dados e plano de controle
- Centralização das decisões de rede
- Programabilidade
- Controlador

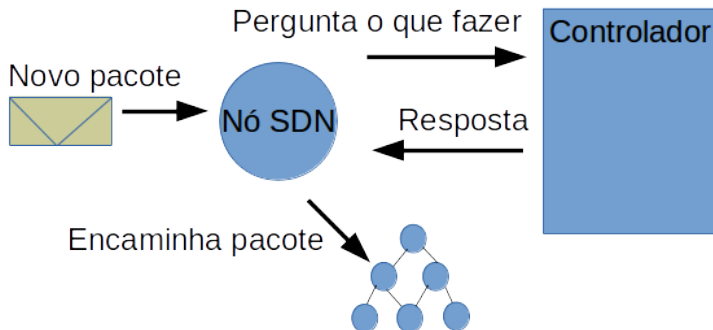


SDN II

Características

- Comunicação entre controlador e nós roteadores: Southbound protocol (e.g. OpenFlow)
- Fluxos podem ser determinados por informações além do endereço
- Tabela de fluxo, possibilidade de "mismatch"
- Custo de comunicação adicional
- Início em redes cabeadas, flexibilidade e teste de novos protocolos
- Iniciativas em redes sem fio

SDN III



Motivação SDN para RSSF/IoT

- Necessita de flexibilidade: Heterogeneidade + cenários diversos
- Otimização de protocolos de roteamento
- Gerenciamento de nós e da rede
- Flexibilidade/gerenciamento nas aplicações executadas na RSSF
- Transição entre protocolos

Desafios

- *In-band* control
- Camada de enlace
- Energia limitada
- Dispositivos finais também são roteadores

Seção 3

Estado da arte

Classificação dos trabalhos

SDN para redes sem fio

- OpenRoads [1] & Capacity Sharing [2]

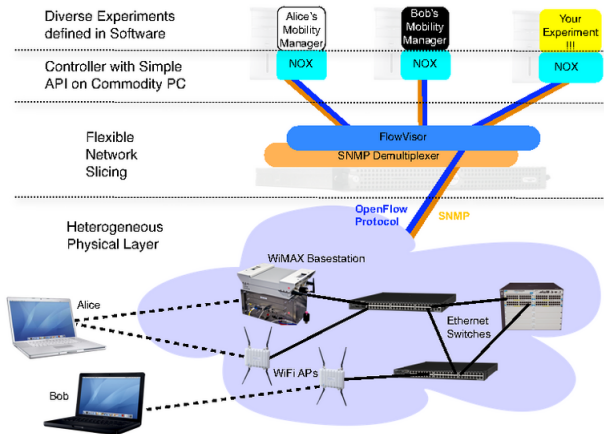
SDN para IoT/RSSF - duas abordagens

- ① Dispositivos sem capacidade SDN, foco no controlador [3, 4]
- ② Dispositivos com capacidade SDN comutando dados, por exemplo Flow-Sensor [5], Sensor OpenFlow [6], SDN Wise [7], and TinySDN [8]

Subseção 1

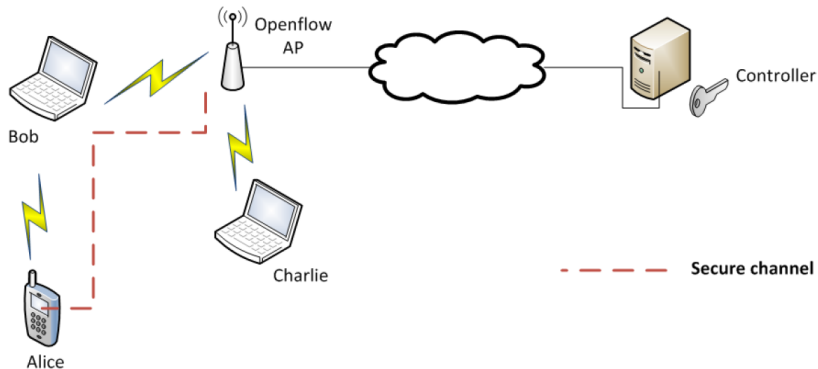
SDN em redes sem fio

OpenRoads Architecture [1]

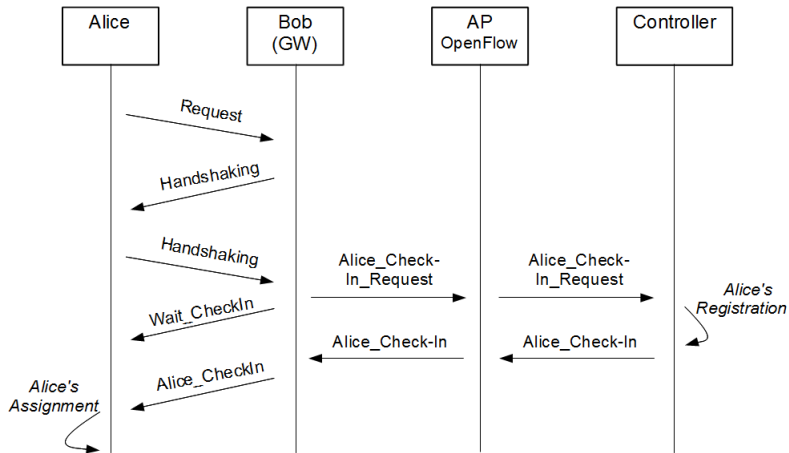


Source: http://archive.openflow.org/wk/index.php/OpenFlow_Wireless

Software-Defined Networking Based Capacity Sharing in Hybrid Networks (SDN-CS) [2]

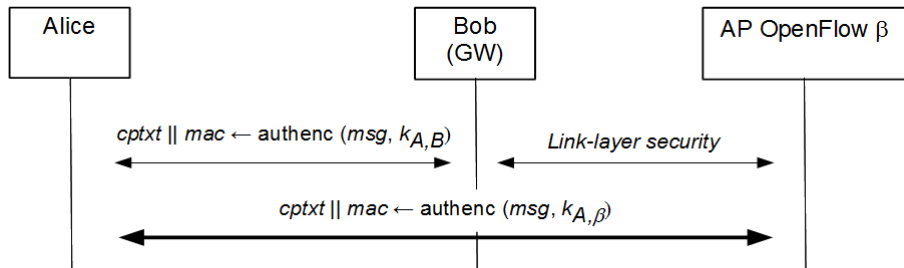


Provisão de serviço através de SDN-CS [2]



Segurança em SDN-CS [2]

- Confidencialidade e autenticidade (criptografia simétrica)



Subseção 2

Dispositivos sem capacidade SDN

Dispositivos sem capacidade SDN

Abordagem inicial

- Nós da RSSF/IoT sem capacidade SDN
- Nós conectados a gateways SDN

Flauzac et al. [9]

- Arquitetura baseada em SDN para IoT
- Separação em domínios para aumentar segurança da rede
- Múltiplos controladores, um para cada domínio
- Existência de uma estação base com capacidade SDN
- Nós da rede IoT não possuem capacidade SDN
- Arquitetura sem prova de conceito

Tadinada

- Descreve uma implementação do protocolo OpenFlow
- Discute casos de uso aplicados à IoT e redes LTE
 - "gateway is an SDN enabled switch, controlled by a cloud-based SDN controller offering low-cost, scalable solution that provides security, confidentiality, quality of service and performance." [3]
 - "SDN is creatively used to offload data related traffic from the Evolved Packet Core (EPC) to improve quality of experience for the users in LTE networks." [3]

Caso de uso: Gateways de IoT com SDN

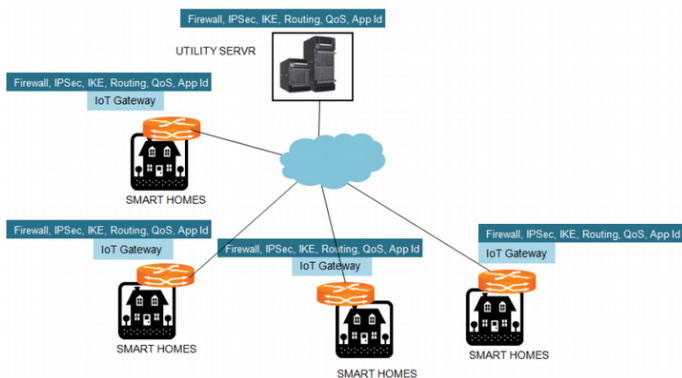


Figura: Gateway de IoT tradicional para Smart Homes

Fonte: Tadinada [3].

Caso de uso: Gateways de IoT com SDN

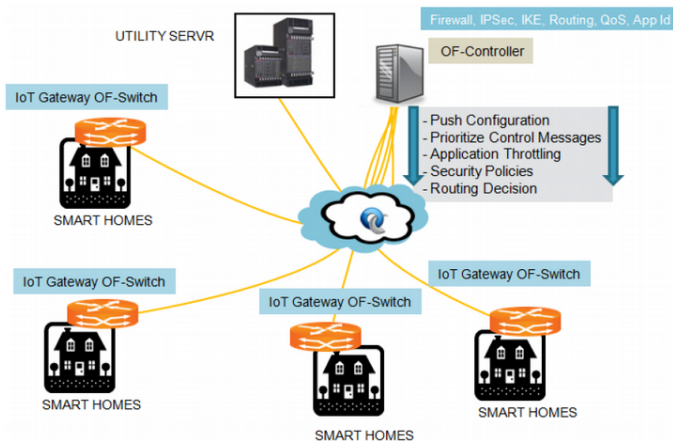
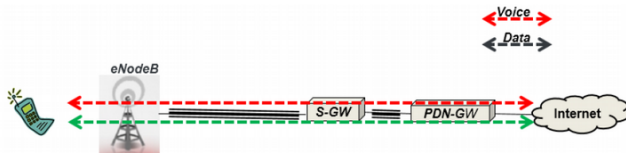


Figura: Gateways de IoT com SDN para Smart Homes

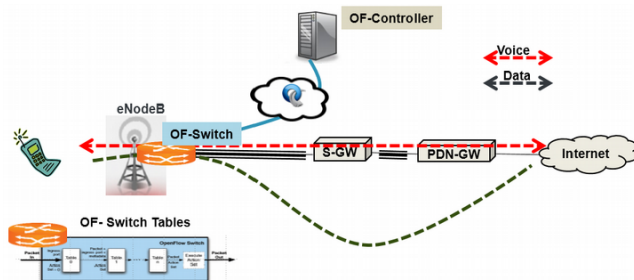
Fonte: Tadinada [3].

Use case: LTE eNodeB com capacidade SDN

Convencional:



Com SDN:



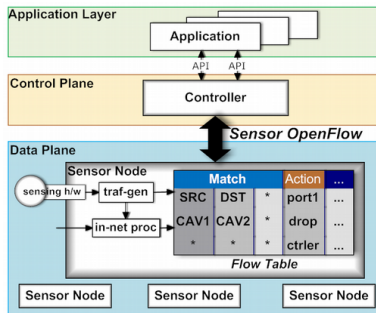
Fonte: Tadinada [3].

Subseção 3

Dispositivos com capacidade SDN

Sensor OpenFlow

- Discussão inicial de OpenFlow em redes de sensores
- Prevê reuso de funcionalidades e facilidade de gerenciamento
- Sem implementação ou resultados quantitativos

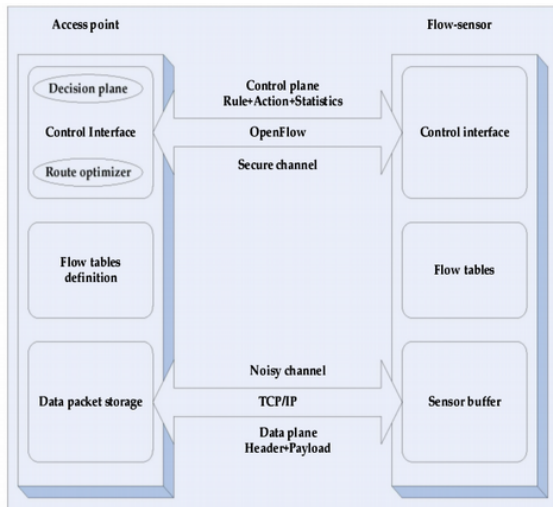


Fonte: Lou et al. [6].

Flowsensor I

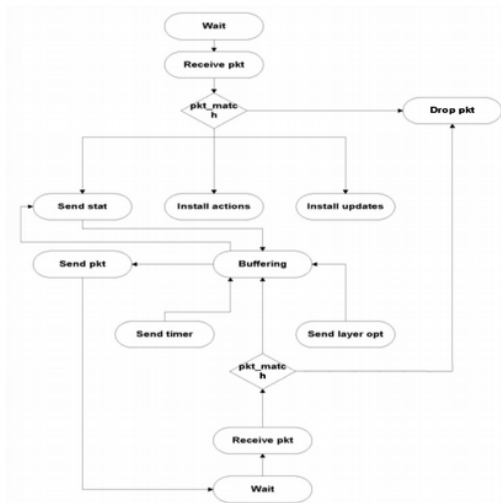
- Uso de OpenFlow em RSSF para aumentar confiabilidade
- Não discute restrições (e.g. TCP, tamanho do pacote)
- Resultados em simulação

Flowsensor II



Fonte: A. Mahmud and R Rahman [5].

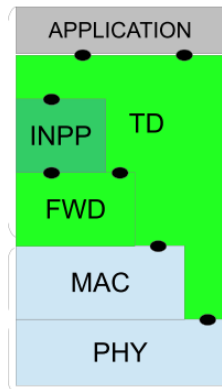
Flowsensor III



Fonte: A. Mahmud and R Rahman [5].

SDN Wise I

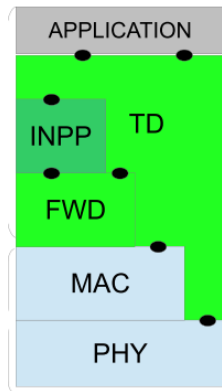
- Propõe protocolo southbound próprio
- Uso do padrão IEEE 802.15.4 para camadas MAC e PHY
- Continuação de trabalho anterior pelos mesmos autores [10]



Fonte: Gallucio et al. [7].

SDN Wise II

- Topology Discovery (TD), uso de RSSI
- Forwarding (FWD), uso de tabela de fluxo
- In network data processing (INPP), para realizar agregação de dados



Fonte: Gallucio et al. [7].

SDN Wise III

Exemplo de tabela de fluxo

- Verificação de até 3 campos
- Manutenção de estado
- Ações: encaminhar, modificar, descartar, INPP
- Estatísticas

Matching Rule					Matching Rule					Matching Rule					Action					Statistics	
Op.	Size	S	Addr.	Value	Op.	Size	S	Addr.	Value	Op.	Size	S	Addr.	Value	Type	M	S	Addr.	Value	TTL	Counter
=	2	0	2	B	>	2	0	10	x_{Tbr}	=	1	1	0	0	Modify	1	1	0	1	122	23
=	2	0	2	B	\leq	2	0	10	x_{Tbr}	=	1	1	0	1	Modify	1	1	0	0	122	120
=	2	0	2	B	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	Forward	0	0	0	D	122	143
=	2	0	2	A	=	1	1	0	0	-	0	-	-	-	Drop	0	0	-	-	100	42
=	2	0	2	A	=	1	1	0	1	-	0	-	-	-	Forward	0	0	0	D	100	32

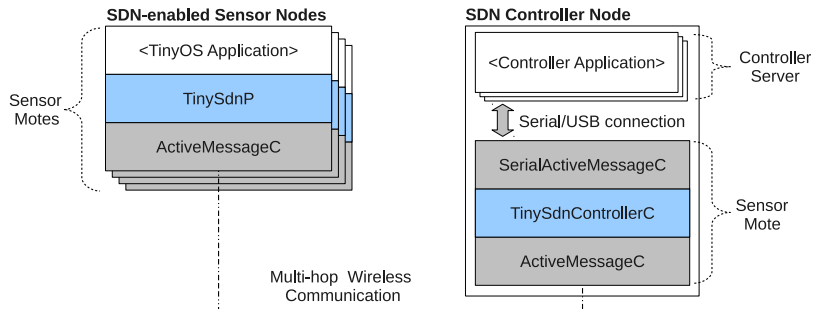
Fonte: Gallucio et al. [7].

TinySDN I

- Contemporâneo ao SDN Wise
- Propõe protocolo southbound próprio
- Uso do padrão IEEE 802.15.4 para camadas MAC e PHY
- Baseado no sistema operacional TinyOS
- Permite o uso de múltiplos controladores

TinySDN II

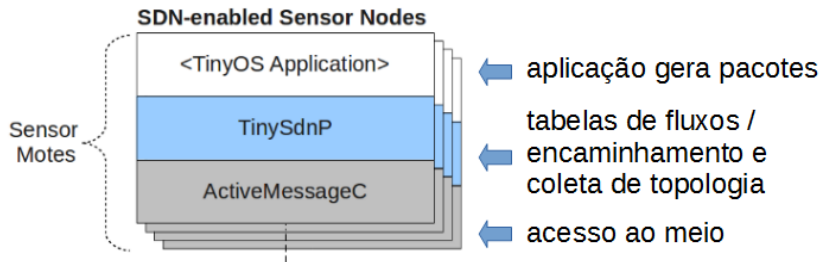
Arquitetura [8]



- Encontra controlador mais “próximo”
- Coleta de informações de vizinhança

- Contém lógica do plano de controle
- Gerencia fluxos e informação de topologia

TinySDN III



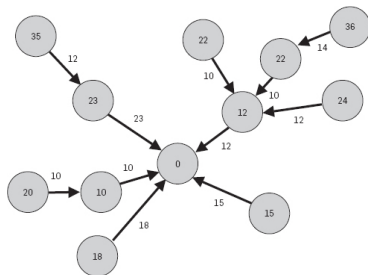
Nó sensor TinySDN

- Dispositivo final + switch SDN;
- Deve encontrar um nó controlador assim que ligar
- Executa coleta de informação de topologia e a envia para o nó controlador

TinySDN IV

Interação com Collection Tree Protocol

- Utilizado para encontrar vizinhança e controlador
- Múltiplas Raízes, portanto múltiplos controladores SDN
- Link Estimator: qualidade de enlace independente de hardware
- Porém: Não fornece rotas downward



TinySDN V

Coleta de Informação de Topologia

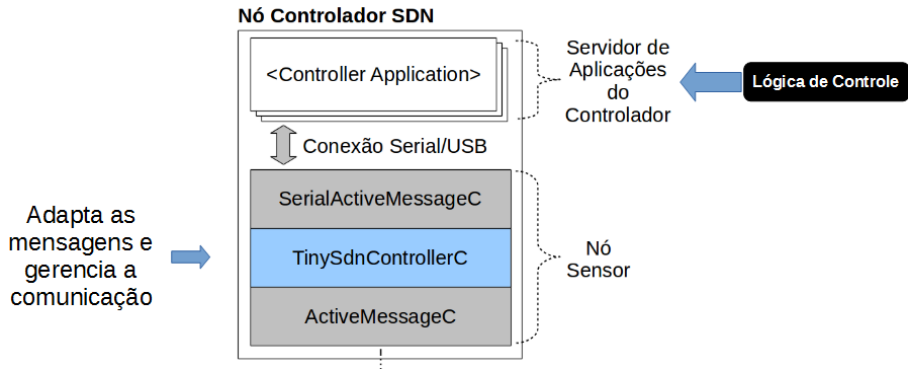
- Cada nó sensor SDN reconhece seus vizinhos e mede a qualidade dos enlaces com eles
- Cada nó sensor SDN envia as informações de topologia coletadas para o nó controlador SDN
 - Exemplo de tabela de vizinhos

<i>Neighbor Id</i>	<i>Link Quality (ETX)</i>
3	10
5	50
9	∞

TinySDN VI

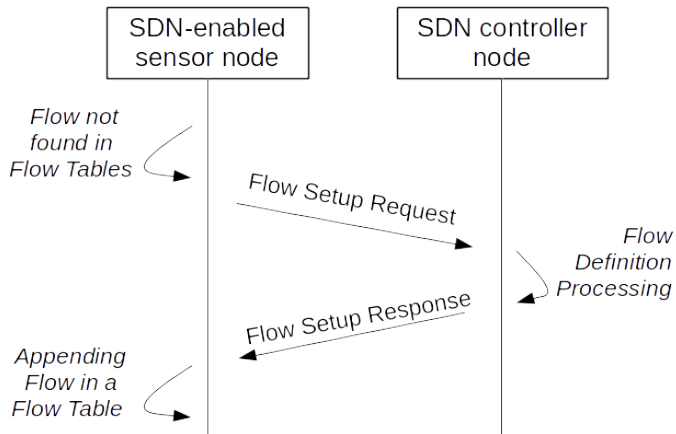
Nó Controlador SDN

- Executa as tarefas de um controlador SDN:
 - Mantém informações sobre a topologia da rede
 - Cria e gerencia os fluxos da rede



TinySDN VII

Definições de Fluxos e Ações



TinySDN VIII

Exemplo de tabela de fluxo

- Uso de FlowIDs, identificados pela aplicação
- Ações: encaminhar, receber, descartar
- Estatísticas

<i>Flow ID</i>	<i>Action</i>	<i>Action Parameter</i>	<i>Count</i>
2	Forward	5	2
9	Receive	-	5
11	Drop	-	2
34	Forward	10	50

TinySDN IX

Definições de Fluxos de Controle

- O CTP mantém apenas rotas dos nós sensores para a raiz (nó controlador SDN)
- Fluxos de controle são utilizados para manter rotas downward (do nó controlador SDN para os nós sensores SDN)
- Todos os nós executam a ação forward até chegar no nó sensor SDN de destino

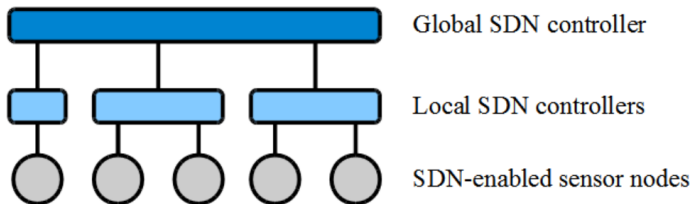
<i>Destination Node Id</i>	<i>Next Hop Node Id</i>
5	5
10	5
13	5
15	3

TinySDN X

Demonstração

Spotted [11]

- Utiliza infraestrutura do TinySDN
- Provê coordenação entre múltiplos controladores
- Controlador local: interage com subconjunto de nós
- Controlador global: interage com controladores locais



Subseção 4

Análise de Desempenho

Métricas

Métricas aferidas SDN Wise

- Atraso de pacotes de aplicação (Round Trip Time – RTT)
- Eficiência / Custo de controle
- Tempo de resposta do controlador

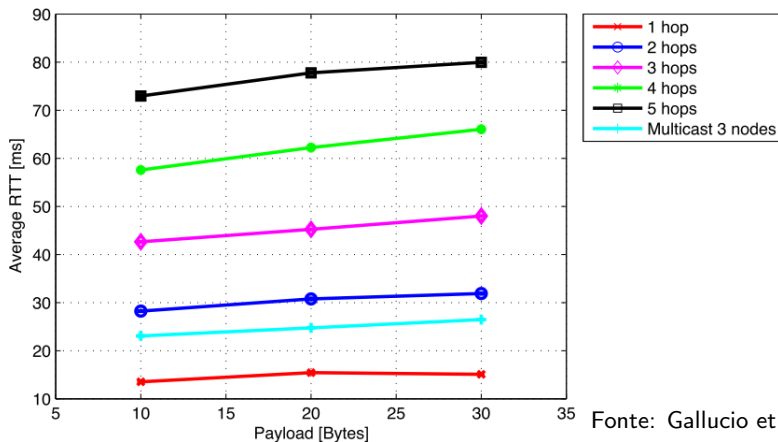
Métricas aferidas TinySDN

- Tempo para encontrar o controlador
- Tempo para entregar o primeiro pacote
- Ocupação de memória

SDN*W*ise – RTT

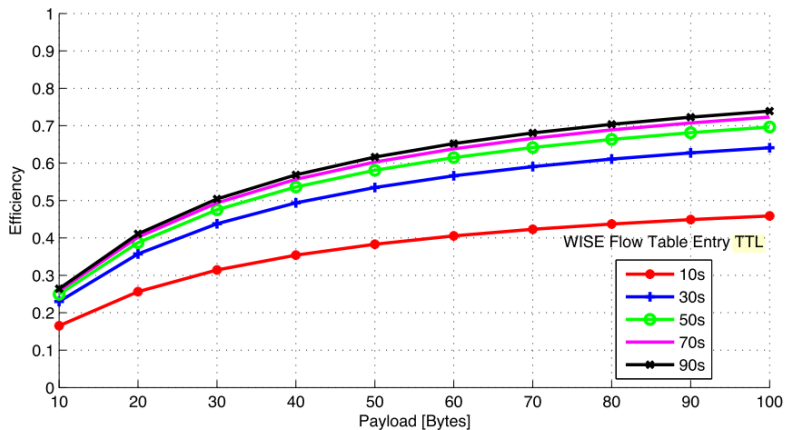
Cenário

Topologia em linha, 6 nós



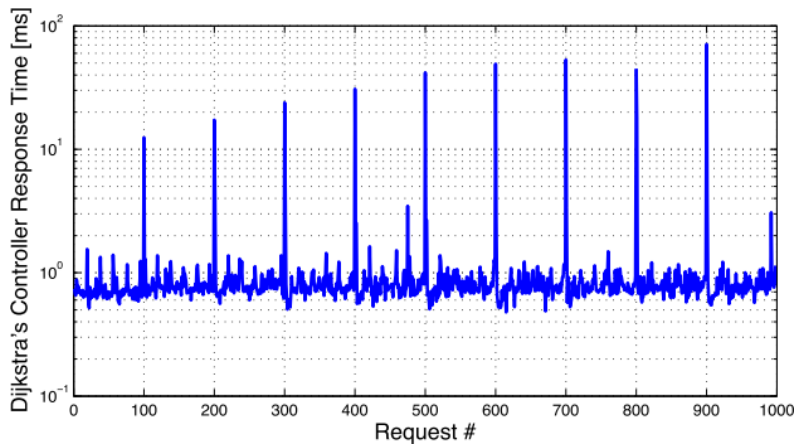
Fonte: Gallucio et al. [7].

SDN Wise – Eficiência



Fonte: Gallucio et al. [7].

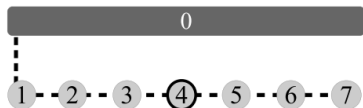
SDN Wise – Tempo de resposta do controlador



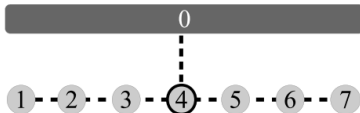
Fonte: Gallucio et al. [7].

TinySDN – Cenários

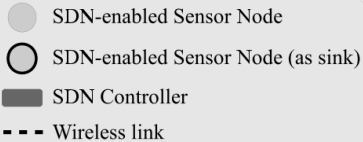
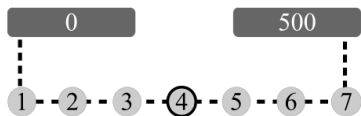
(a)



(b)

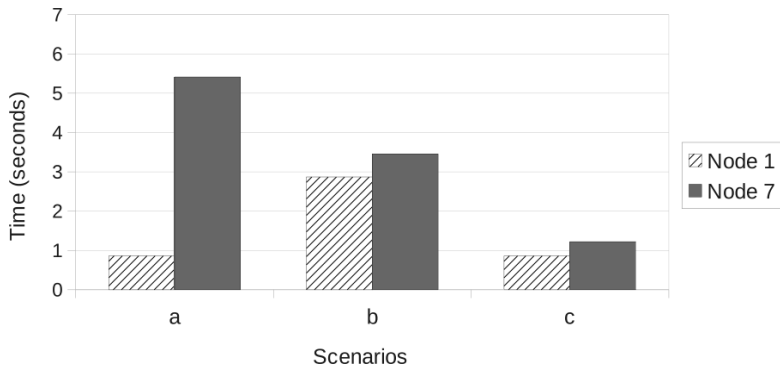


(c)



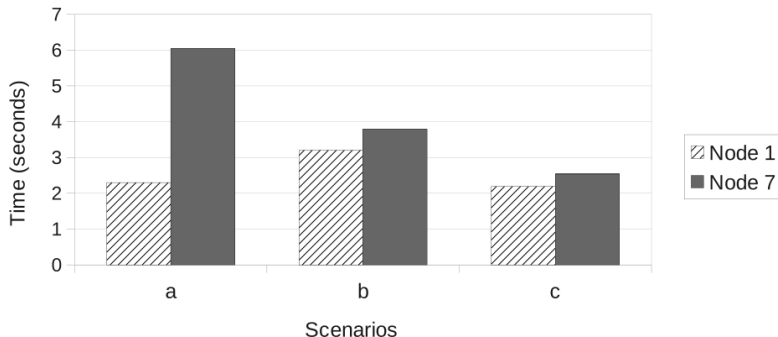
Fonte: Oliveira e Margi [8].

TinySDN – Tempo para encontrar controlador



Fonte: Oliveira e Margi [8].

TinySDN – Tempo para entregar primeiro pacote



Após o primeiro, os pacotes são entregues em aproximadamente 33ms.
Fonte: Oliveira e Margi [8].

TinySDN – Memória

Protocol	RAM	ROM
CTP	2072	22562
TinySDN	3168	24940

Fonte: Oliveira e Margi [8].

Subseção 5

Esforços de padronização

Internet Engineering Task Force (IETF)

Camada	Grupo	Observações
Aplicação	CoRE ACE	CoAP: Constrained Application Protocol – criar, ler, atualizar e apagar recursos <i>Objetivo:</i> autenticação e autorização
Transporte	DICE	Uso de DTLS em ambientes restritos
Rede	6lowPAN ROLL 6lo 6TiSCH	IPv6 em redes IEEE 802.15.4 Routing Over Low power and Lossy networks – RFC 6550: RPL Camadas de adaptação para outras camadas de enlace (e.g. PLC) Camada de gerenciamento para o modo TSCH do IEEE 802.15.4e para redes IPv6

Modo TSCH do padrão IEEE 802.15.4e

Objetivo

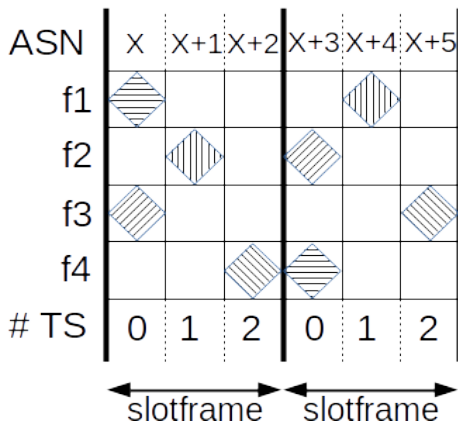
Atender requisitos de redes industriais, principalmente em relação a latência

Estrutura de funcionamento

- TDMA
- Coordenador envia pacotes especiais (enhanced beacons)
 - Sincronismo
 - Timming
 - Informações sobre slotframe e timeslots
- Channel hopping: contador global (ASN)
- Timeslots podem ser de transmissão, recepção e/ou compartilhado

Exemplo de slotframe do TSCH

$$CH = Freqs[(macASN + chOffset) \% \#Freqs]$$



- Política de alocação fora do escopo do padrão

6TiSCH – Arquitetura

- Camada adicional 6top
- Alocação estática, distribuída e/ou centralizada
- Scheduling function (SF)
- Agenda mínima

COAP	ND, RPL
UDP	ICMPv6
IPv6	
6lowpan	
6TOP	
TSCH	
15.4 PHY	

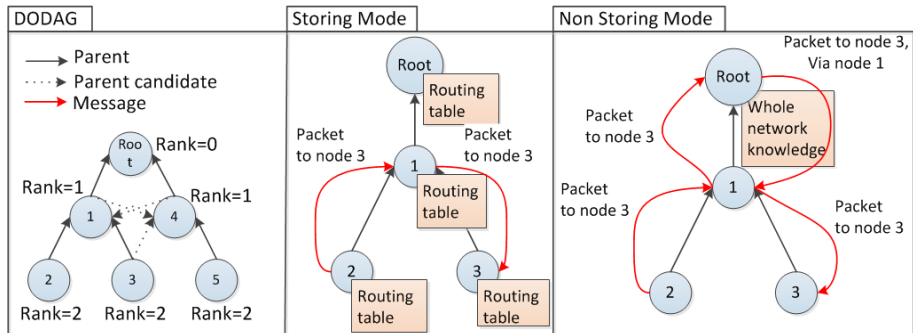
6lowpan

- Cabeçalho do IPv6 “puro” é grande
 - 40 bytes, dos quais 32 são endereçamento
- Mecanismos para compressão de cabeçalho
 - Compressão de endereço através de prefixos
 - Uso do endereço MAC para formar endereço de rede
 - Possibilidade de omitir campos assumindo valores comuns
- Possível compressão de outros protocolos (UDP, TCP, ICMPv6)

RPL

RFC 6550 – IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks

- Funciona com 6lowPAN
- Rotas em direção à raiz (upward routes): construção de DODAG com uso de Função Objetiva (Objective Function)
- Rotas em direção contrária (downward routes): modos de operação storing e non-storing



Outros esforços de padronização I

- Outros grupos envolvidos com a padronização
- Sobreposição entre as atividades dos grupos

Dentre estes grupos de padronização podemos citar:

- IIC *Industrial Internet Consortium* – AT&T, Cisco, GE, IBM e Intel
- ITU-T *International Telecommunications Union, Telecommunication Standards Sector*
- IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*): P2413 WG, foco em uma arquitetura para a IoT
- OASIS Consortium – IBM, ISIS Papyrus, Microsoft, Primeton.
- Weightless: grupo de interesse em M2M e IoT – Accenture, ARM, Cable & Wireless Communications, CSR, Neul.
- oneM2M – iniciativa global de padronização de comunicação M2M e IoT.

Outros esforços de padronização II

- Thread – Yale Security, Silicon Labs, Samsung, Google Nest Labs, Freescale, Big Ass Fans, ARM.

Dentre os arcabouços para desenvolvimento de IoT, podemos citar:

- *AllSeen*
- *Open Interconnect Consortium* (OIC)
- ISO/IEC JTC 1/SWG 5 IoT
- *W3C Web of Things Community Group* (CG)

Em julho/2016, o NIST (*National Institute of Standards and Technology* - EUA) publicou o documento¹ *NIST Special Publication 800-183: Networks of 'Things'*

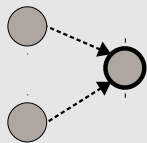
¹Disponível em: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-183>

Subseção 6

Possibilidade de confluência entre SDN e IoT

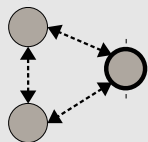
Uso do RPL no TinySDN ²

Desempenho: CTP vs RPL

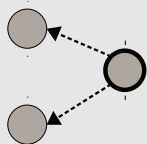


RPL também é eficiente no padrão de tráfego de coleta, comparável ao CTP [12]

RPL suporta outros padrões de tráfego



point-to-point

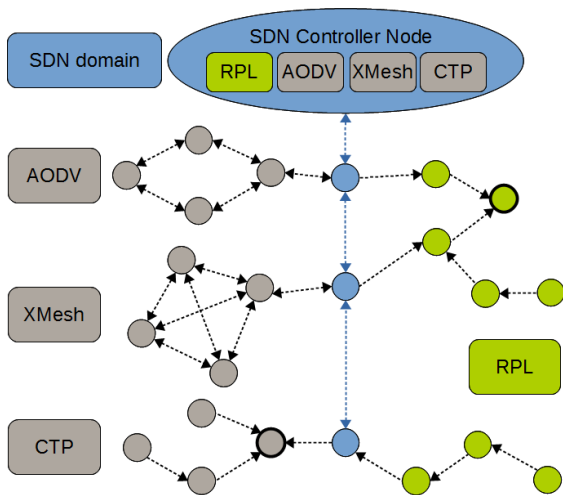


point-to-multipoint

- Poderia ser utilizado como fluxo de controle
- Uso de protocolo padrão permite que nós não-SDN enviem pacotes de controle SDN

²discussão de [13]

SDN para transição entre tecnologias legadas³



³discussão de [13]

Seção 5

Considerações Finais

Sumário

- Vantagens que SDN pode trazer para IoT e RSSF:
 - Otimização de rotas e aplicação de políticas
 - Gerenciamento dos recursos dos nós (e.g. energia, falhas)
 - Compartilhamento de infraestrutura entre aplicações
 - E.g. otimização de rotas de acordo com aplicação
 - Transição entre tecnologia legadas
- Desafios
 - Restrição de memória nos nós
 - Sobre-custo de comunicação

Trabalhos Futuros

- Testes de desempenho em redes maiores
- Implementação de mecanismos de segurança
 - Por exemplo, integração com WSNETESec [14]
- Melhorias na inteligência dos controladores
 - Trabalhos atuais se baseiam em minimização de custo de link
- Investigação de interações entre camadas (crosslayer)

Obrigado!

btrevizan@larc.usp.br

ralves@larc.usp.br

cintia@usp.br

Seção 6

Principais Referências

- [1] K.-K. Yap, M. Kobayashi, D. Underhill, S. Seetharaman, P. Kazemian, and N. McKeown, "The stanford openroads deployment," in *Proceedings of the 4th ACM International Workshop on Experimental Evaluation and Characterization*, ser. WINTECH '09. New York, NY, USA: ACM, 2009, pp. 59–66.
- [2] M. A. S. Santos, B. T. de Oliveira, C. B. Margi, B. Nunes, T. Turletti, and K. Obraczka, "Software-defined networking based capacity sharing in hybrid networks," in *Proceedings of Capacity Sharing Workshop (CSWS'13), In conjunction with ICNP'13*, May 2013.
- [3] V. Tadinada, "Software defined networking: Redefining the future of internet in iot and cloud era," in *Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2014 International Conference on*, Aug 2014, pp. 296–301.
- [4] Z. Qin, G. Denker, C. Giannelli, P. Bellavista, and N. Venkatasubramanian, "A software defined networking architecture for the internet-of-things," in *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE*, May 2014, pp. 1–9.

- [5] A. Mahmud and R. Rahmani, "Exploitation of openflow in wireless sensor networks," in *Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2011 International Conference on*, vol. 1, 2011, pp. 594–600.
- [6] T. Luo, H.-P. Tan, and T. Q. S. Quek, "Sensor openflow: Enabling software-defined wireless sensor networks." *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 11, pp. 1896–1899, 2012.
- [7] L. Galluccio, S. Milardo, G. Morabito, and S. Palazzo, "SDN-WISE: Design, prototyping and experimentation of a stateful SDN solution for Wireless Sensor networks," in *2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, April 2015, pp. 513–521.
- [8] B. T. de Oliveira, C. B. Margi, and L. B. Gabriel, "TinySDN: Enabling multiple controllers for software-defined wireless sensor networks," in *Communications (LATINCOM), 2014 IEEE Latin-America Conference on*, Nov 2014, pp. 1–6.

- [9] O. Flauzac, C. Gonzalez, A. Hachani, and F. Nolot, "Sdn based architecture for iot and improvement of the security," in *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2015 IEEE 29th International Conference on*, March 2015, pp. 688–693.
- [10] S. Costanzo, L. Galluccio, G. Morabito, and S. Palazzo, "Software defined wireless networks: Unbridling sdns," in *Proceedings of the 2012 European Workshop on Software Defined Networking*, ser. EWSDN '12. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2012, pp. 1–6. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/EWSDN.2012.12>
- [11] B. T. de Oliveira and C. B. Margi, "Distributed control plane architecture for software-defined wireless sensor networks," in *20th IEEE International Symposium on Consumer Electronics (IEEE ISCE 2016)*, 2016.

- [12] J. Ko, S. Dawson-Haggerty, O. Gnawali, D. Culler, and A. Terzis, "Evaluating the Performance of RPL and 6LoWPAN in TinyOS," in *Proceedings of the Workshop on Extending the Internet to Low power and Lossy Networks*, ser. IP+SN '11, Apr. 2011.
- [13] B. T. de Oliveira, R. C. A. Alves, and C. B. Margi, "Software-defined wireless sensor networks and internet of things standardization synergism," in *Standards for Communications and Networking (CSCN), 2015 IEEE Conference on*, October 2015, pp. 96–101.
- [14] B. T. Oliveira and C. B. Margi, "WSN-ETESec: Criptografia fim-a-fim em redes de sensores sem fio," in *Anais do XXX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC) - Trilha Principal e Salão de Ferramentas*. Porto Alegre - RS: Sociedade Brasileira de Computação, 2012, pp. 930–937.

