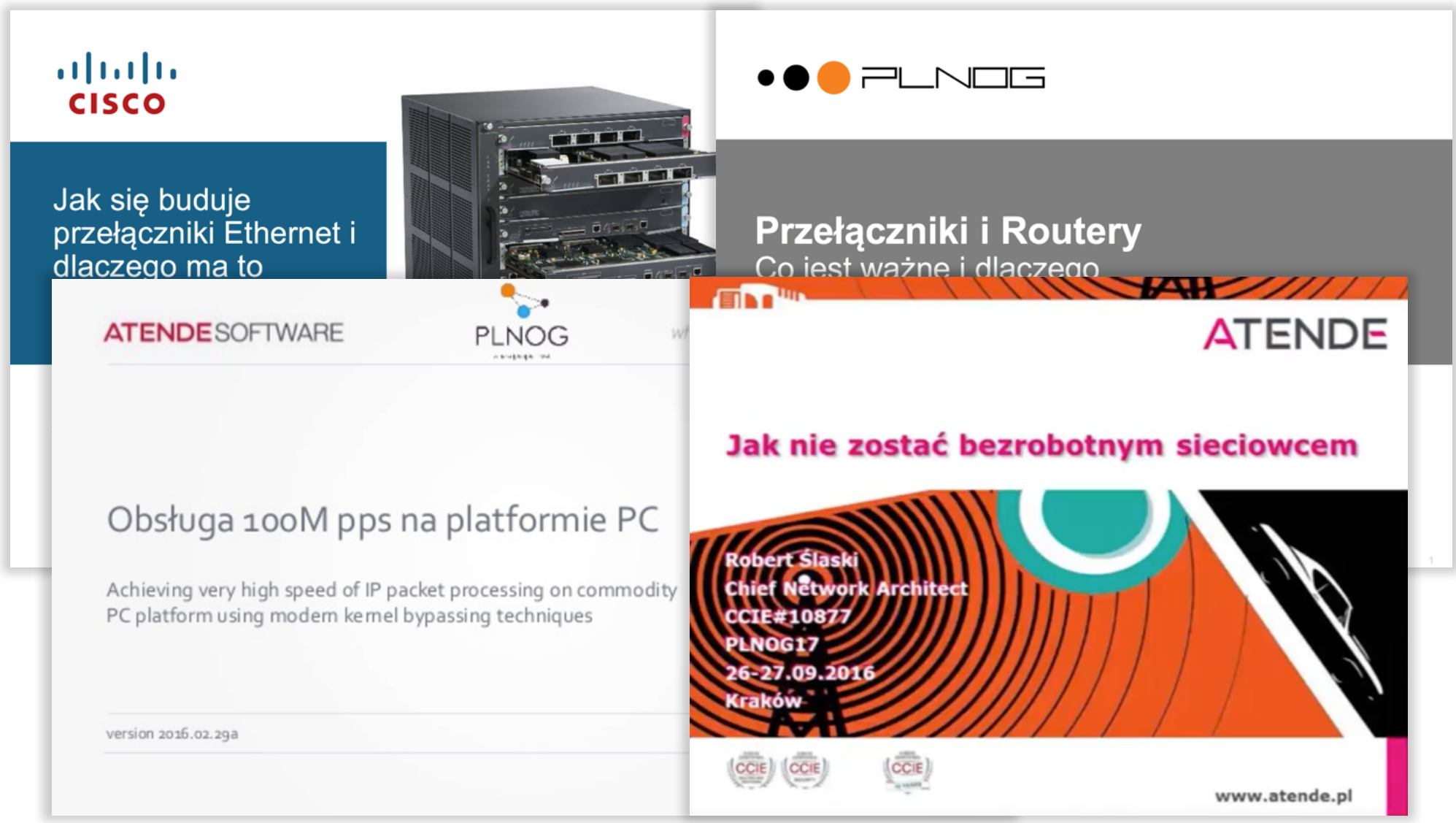
CEF, NetFlow, NetFPGA, Superman, Eureka, fd.io, DPDK i inne trudne nazwy

Historia (obsługi ruchu sieciowego) kołem się toczy

Łukasz Bromirski
lbromirski@cisco.com

PLNOG, Warszawa, marzec 2017

Kontynuacja… wielu sesji



Zawartość (z grubsza)*

- Historia kołem się toczy
- 1970: jak się przekazuje ruch?
- 1980: jak się przekazuje ruch?
- 1990: jak się przekazuje ruch?
- 2000: jak się przekazuje ruch?
- 2010: jak się przekazuje ruch?
- 2020…jak się będzie przekazywać ruch?

* agenda może ulec zmianie bez ostrzeżenia, nawet w trakcie prezentacji

Historia kołem się toczy

Wszystko już było!

- Centralizacja/decentralizacja
- Zrobimy to szybko (CPU) czy dobrze (ASIC)?

  …albo tanio czy drogo?

  …albo dla kogo i dla jakiego rynku (potencjał sprzedażowy)?
- Dlaczego teraz ta prezentacja?

  po 27 latach zbierania doświadczeń świata sieciowego?

  DevOps (2009), komodytyzacja wartości sprzętu sieciowego

  „Networking is Flat” a’la „World is Flat”* Thomasa L. Friedmana

  w końcu: duży poziom skomplikowania stosu sieciowego

https://www.amazon.com/World-Flat-3-0-History-Twenty-first/dp/0312425074/

1970:
Jak się przekazuje ruch?

Jak IMPy przetwarzały ruch?

- Komputer Honeywell 516 (potem 316)
- Pętla obsługi ruchu:

  Wygenerowano przerwanie na interfejsie

  Odebrać pakiet

  Sprawdzić gdzie przesłać pakiet

  Wysłać pakiet
- 3-5kpps'ów!* za 50k$

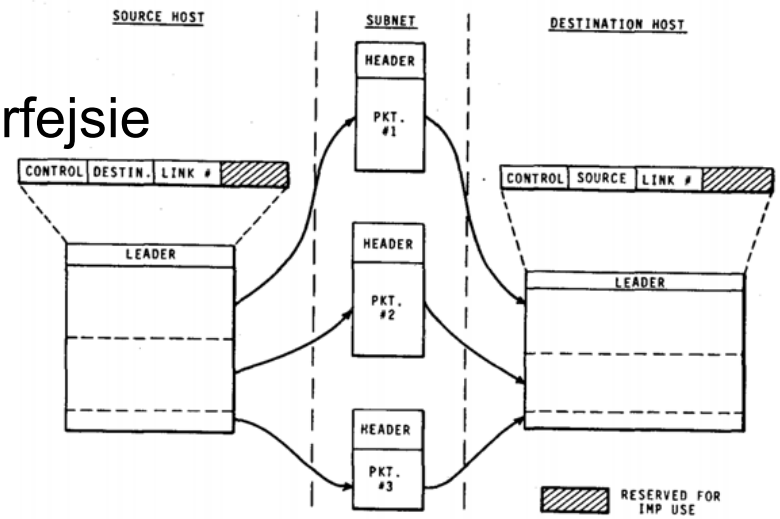
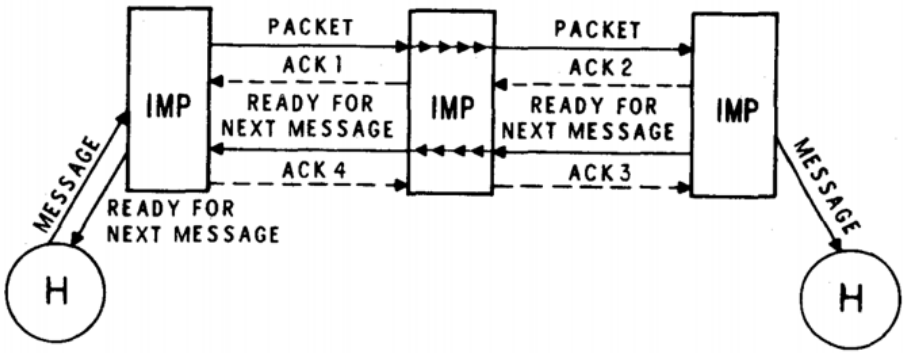


Figure 3—Messages and packets



Rysunki:
http://www.walden-family.com/public/1970-imp-afips.pdf
- RFC 662: https://tools.ietf.org/html/rfc662

Konkurs numer 1

- Jaki tytuł ma RFC 1?

A. IMP Software

B. Host Software

C. Host-Host Transmissions

D. IMP-IMP Transmissions

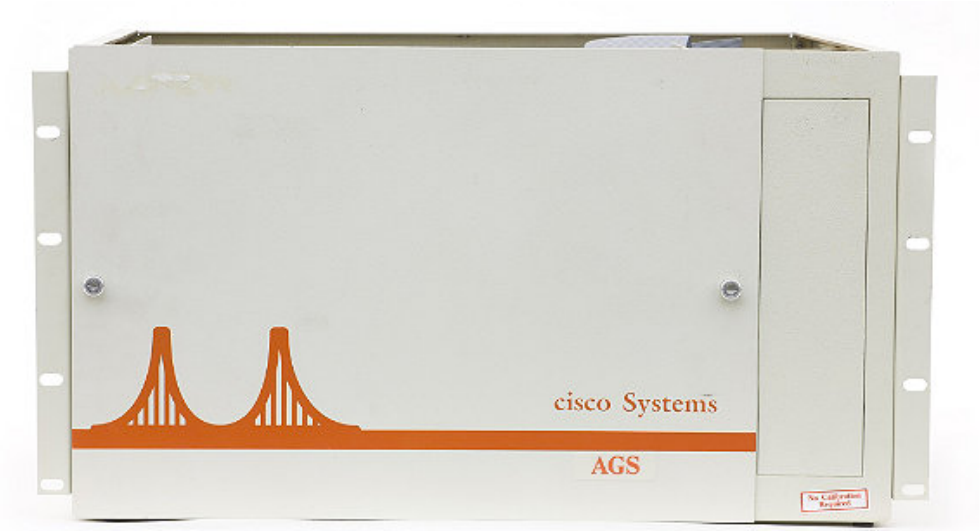
1980:
Jak się przekazuje ruch?

1980 – jak się przekazuje ruch?

- PDP11/05 na Uniwersytecie Stanforda (1980-1985), pozwala połączyć sieć kampusu używającą różnych protokołów (PUP, ChaosNET, XNS)
- Andy Bechtolsheim przekazuje prototypy swoich konstrukcji (komputerów) opartych o Motorola 68000 – po podłączeniu kart Ethernet 3COM kolejne prototypy konstrukcji tańszej i szybszej niż PDP11/05
- Kirk Lougheed i Leonard Bosack przepisują kod (CLI!), dodają ładowanie konfiguracji w trakcie pracy urządzenia (TFTP FTW!), zakładają w 1984 Cisco Systems – powstaje IOS

1980 – Cisco AGS i forwarding

- Cisco AGS w 1990 z 4 portami Ethernet: ~18k$ GPL
- Wydajność 7-14kpps (w zależności od karty procesora, były cztery do wyboru ☺)
- Process switching a potem fast switching



Ethernet

	7	1	6	6	2	46-1500	4
Field length, in bytes	Preamble	SOF	Destination address	Source address	Type	Data	FCS

IEEE 802.3

	7	1	6	6	2	46-1500	4
Field length, in bytes	Preamble	SOF	Destination address	Source address	Length	802.2 header and data	FCS

SOF = Start-of-frame delimiter
FCS = Frame check sequence

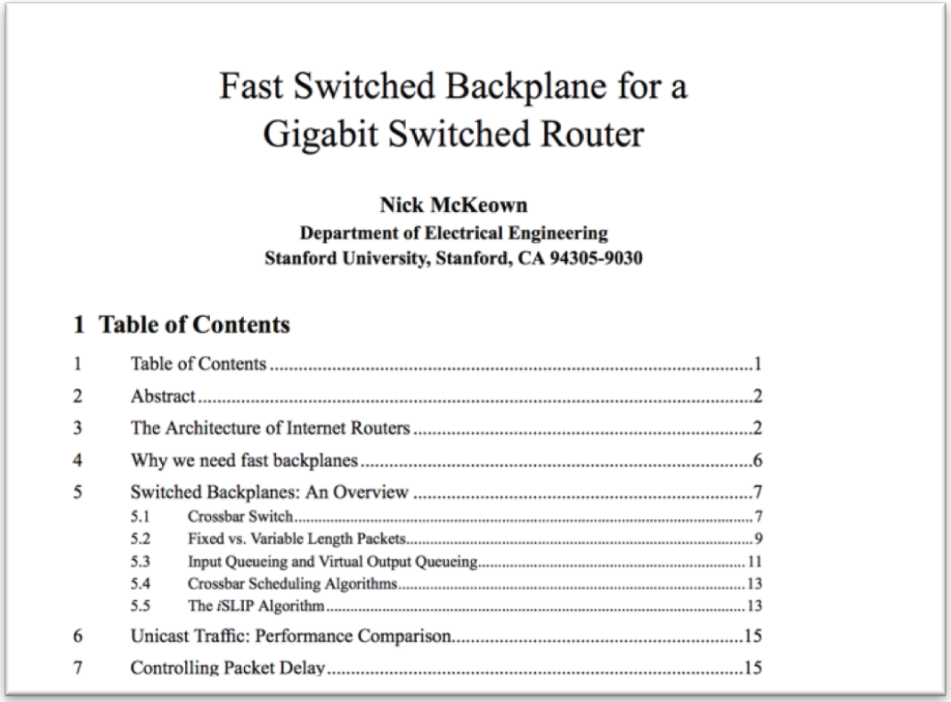
1990: Jak się przekazuje ruch?

1990 – co jest na topie?

- ATM, Frame Relay, E1/T1

  Przełączniki Ethernet (Kalpana, 3COM)

- Switching vs Routing
- 1997: Nick McKeown, Uniwersytet Stanforda:



Fast Switched Backplane for a
Gigabit Switched Router

Nick McKeown
Department of Electrical Engineering
Stanford University, Stanford, CA 94305-9030

1 Table of Contents

1 Table of Contents 1
2 Abstract 2
3 The Architecture of Internet Routers 2
4 Why we need fast backplanes 6
5 Switched Backplanes: An Overview 7
5.1 Crossbar Switch 7
5.2 Fixed vs. Variable Length Packets 9
5.3 Input Queueing and Virtual Output Queueing 11
5.4 Crossbar Scheduling Algorithms 13
5.5 The *i*SLIP Algorithm 13
6 Unicast Traffic: Performance Comparison 15
7 Controlling Packet Delay 15

http://yuba.stanford.edu/~nickm/papers/cisco_fasts_wp.pdf

“Routery wieloprotokołowe”

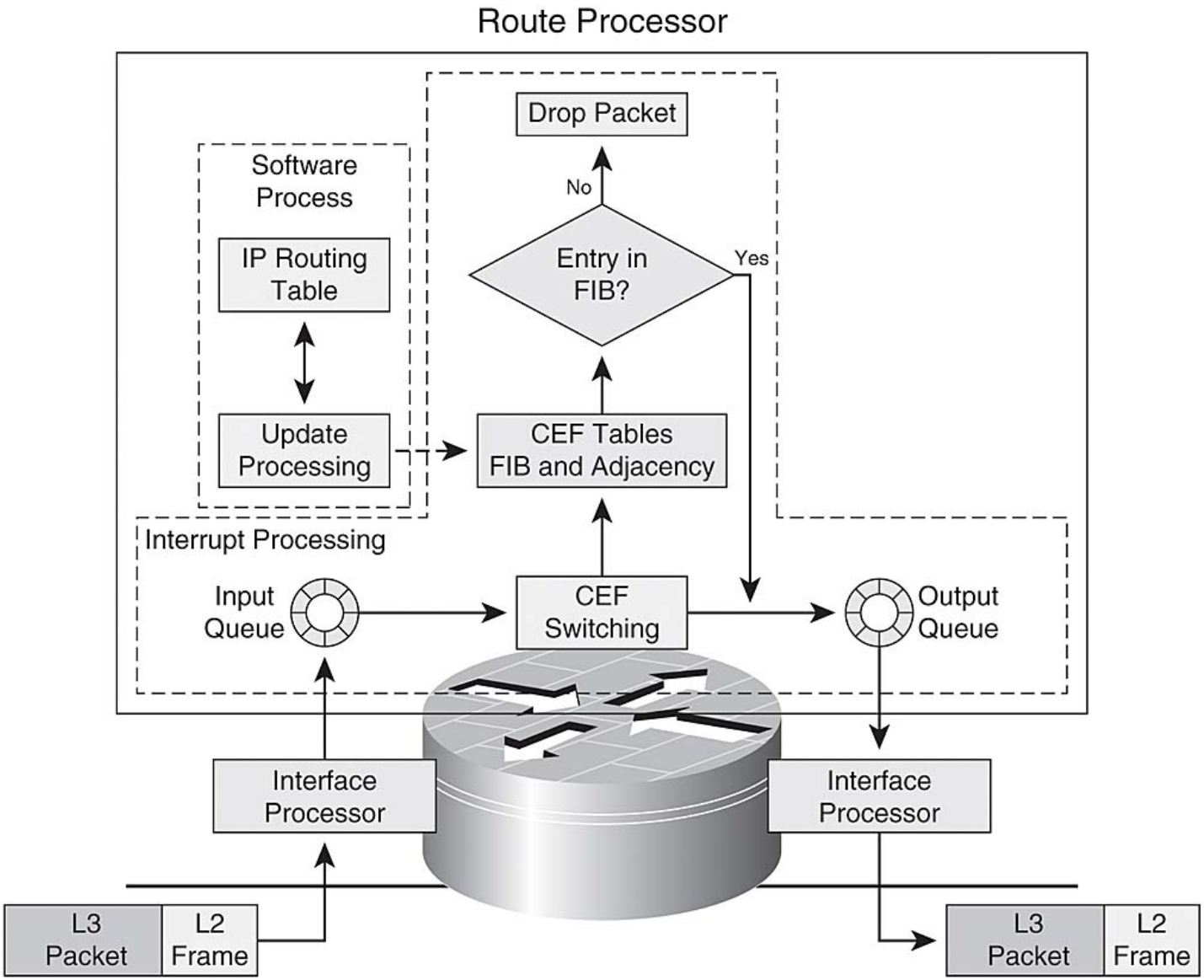
One Cisco Systems router can forward packets concurrently from any combination of the following networking protocols:

- TCP/IP protocols, the most widely implemented protocol suite on networks of all media types. TCP/IP is today's standard for internetworking, and is supported by most computer vendors, including all UNIX-based workstation manufacturers.
- DECnet Phase IV protocol, Digital Equipment's proprietary networking protocol used on DECnet.
- XNS (Xerox Network Service) protocol, used by Xerox, 3COM, and other XNS vendors.
- Novell IPX, Novell's "External Bridge" protocol (Novell refers to their router functionality as *bridging*).
- Ungermann-Bass protocol, used by Ungermann-Bass routing products and other vendors of these routing products.
- AppleTalk (Phase 1 and Phase 2) protocol, Apple Computer's multiprotocol internetwork product.
- ISO Connectionless Network Services (CLNS) routing protocol, as defined by ISO documents 8473, Connectionless Network Protocol (CLNP), and 9542, End System-Intermediate System (ES-IS) Routing Exchange Protocol. The Cisco ISO CLNS routing implementation is compliant with the Government Open Systems Interconnection Profile (GOSIP).
- Apollo Domain network protocols, the native mode networking protocol for Apollo workstations.
- Banyan VINES networking protocol for networking personal computers.
- Xerox's Universal Protocol (PUP), developed at Xerox's Palo Alto Research Center (PARC), used by some Xerox workstations.
- CHAOSnet protocol, used by LISP machine vendors and other organizations in the AI community.
- X.25 protocols, which permit cost-effective, as-needed use of major public networks world wide. Cisco Systems products support both the X.25 protocol and the X.3/X.28/X.29 specifications for X.25 terminal service.
- DDN protocols, as used with the DDN X.25 Standard, 1822-LH/DH, and HDH (1822-J) attachments. The U.S. Department of Defense specifies DDN X.25 Standard for all new attachments to the Defense Data Network; many established research and military networks use 1822-LH/DH.
- Frame Relay serial encapsulation, which conforms to the Frame Relay Interface specification produced by Cisco Systems, StrataCom, Northern Telecom and Digital Equipment Corporation; allows a single, physical connection between the network server and a switch which provides service.
- Switched Multi-Megabit Data Service (SMDS) protocol, a cell relay technology that provides wide area networking service through service providers.
- Point-to-Point Protocol (PPP), an IP encapsulation method (RFC 1134) that encapsulates IP datagrams and other Network Layer Protocol information over point-to-point links.

http://www.employees.org/univercd/Nov-1996/CiscoCD-IOS/DATA/DOC/SOFTWARE/8_3/RPC_R/48116.HTM

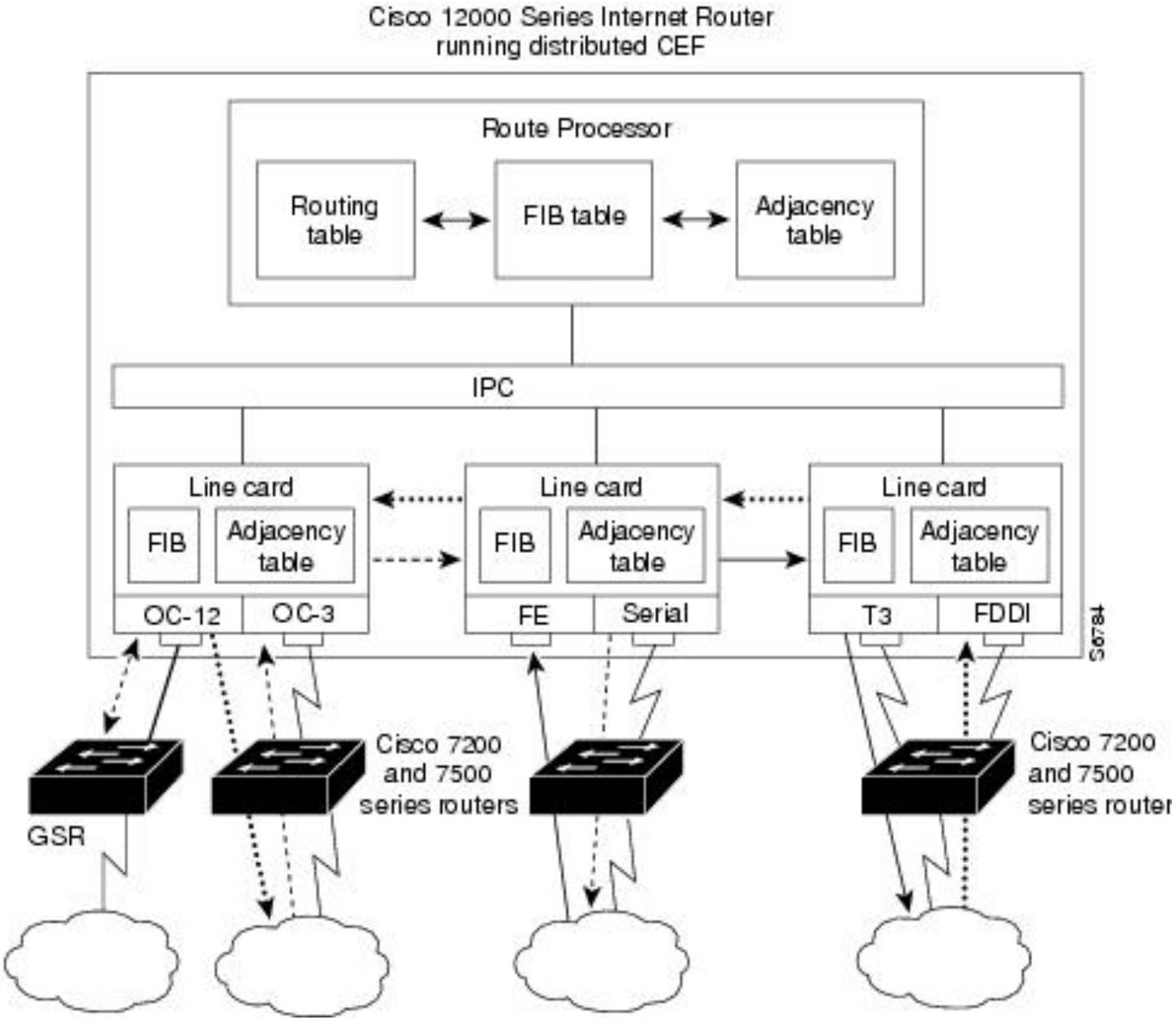
Od process switchingu do CEF i dCEF

…z przystankiem na stworzenie NetFlow



Od process switchingu do CEF i dCEF

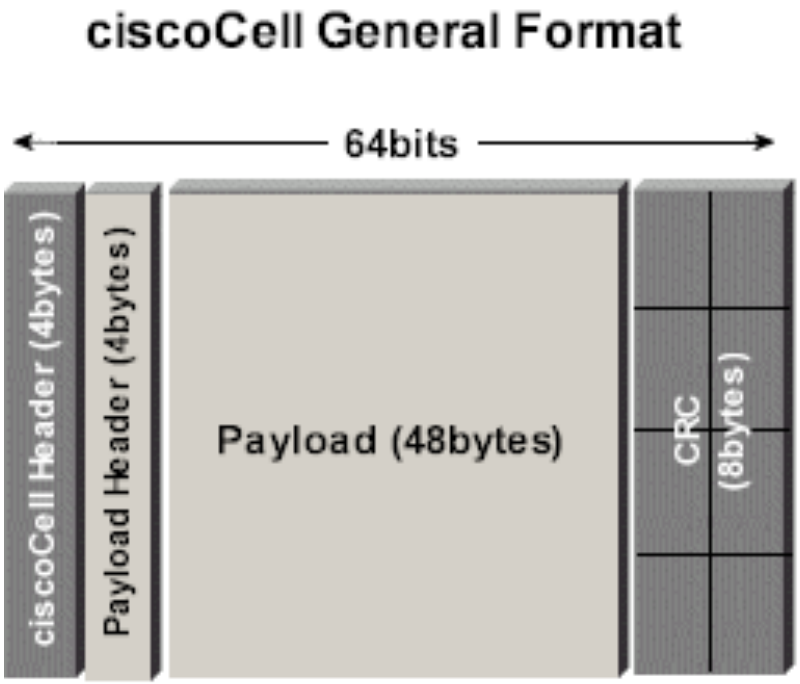
…z przystankiem na stworzenie NetFlow

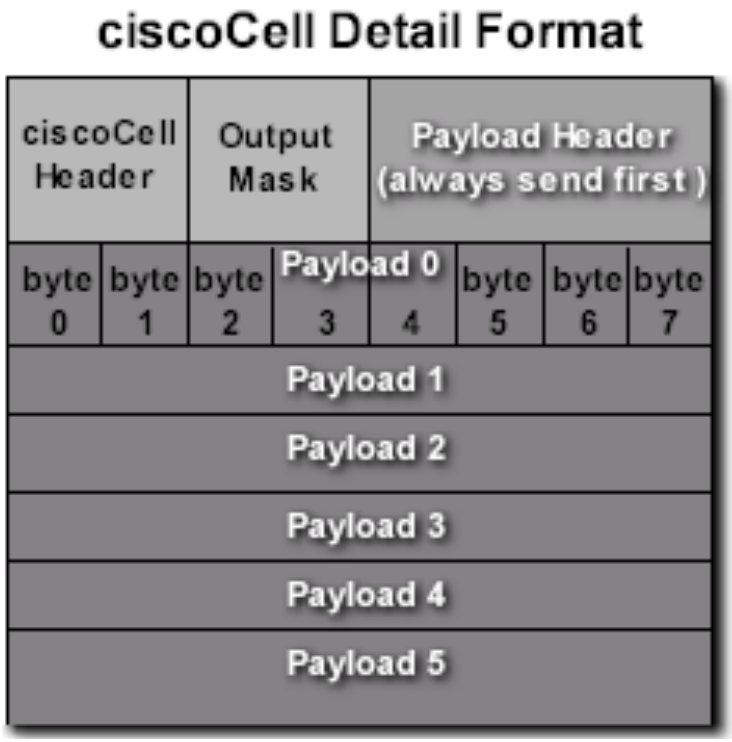


Cisco GSR 12000, Juniper M40

Matryca przełączała… 64 bajtowe komórki

- Znak czasów – nadal nie było wiadomo “co wygra”:

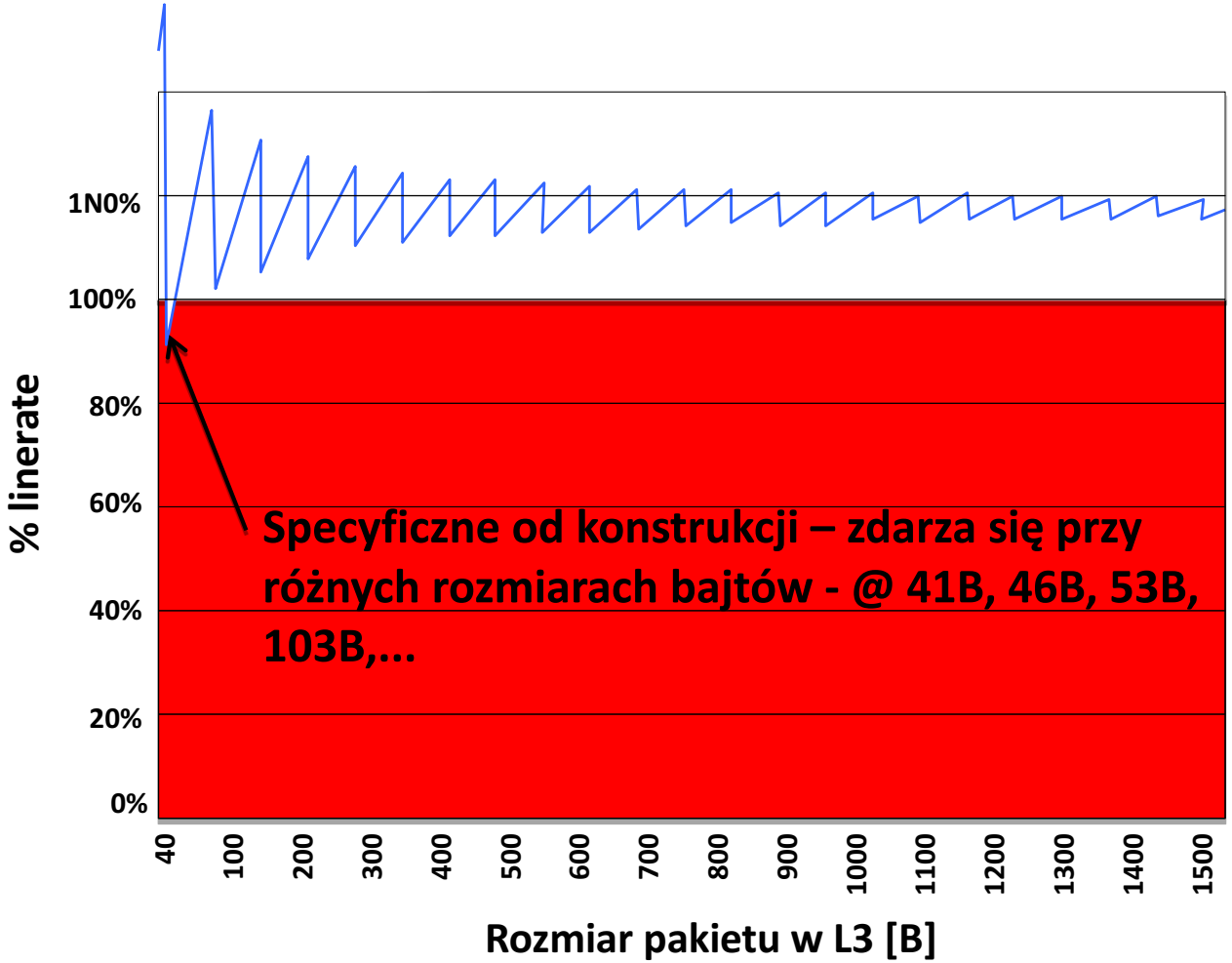




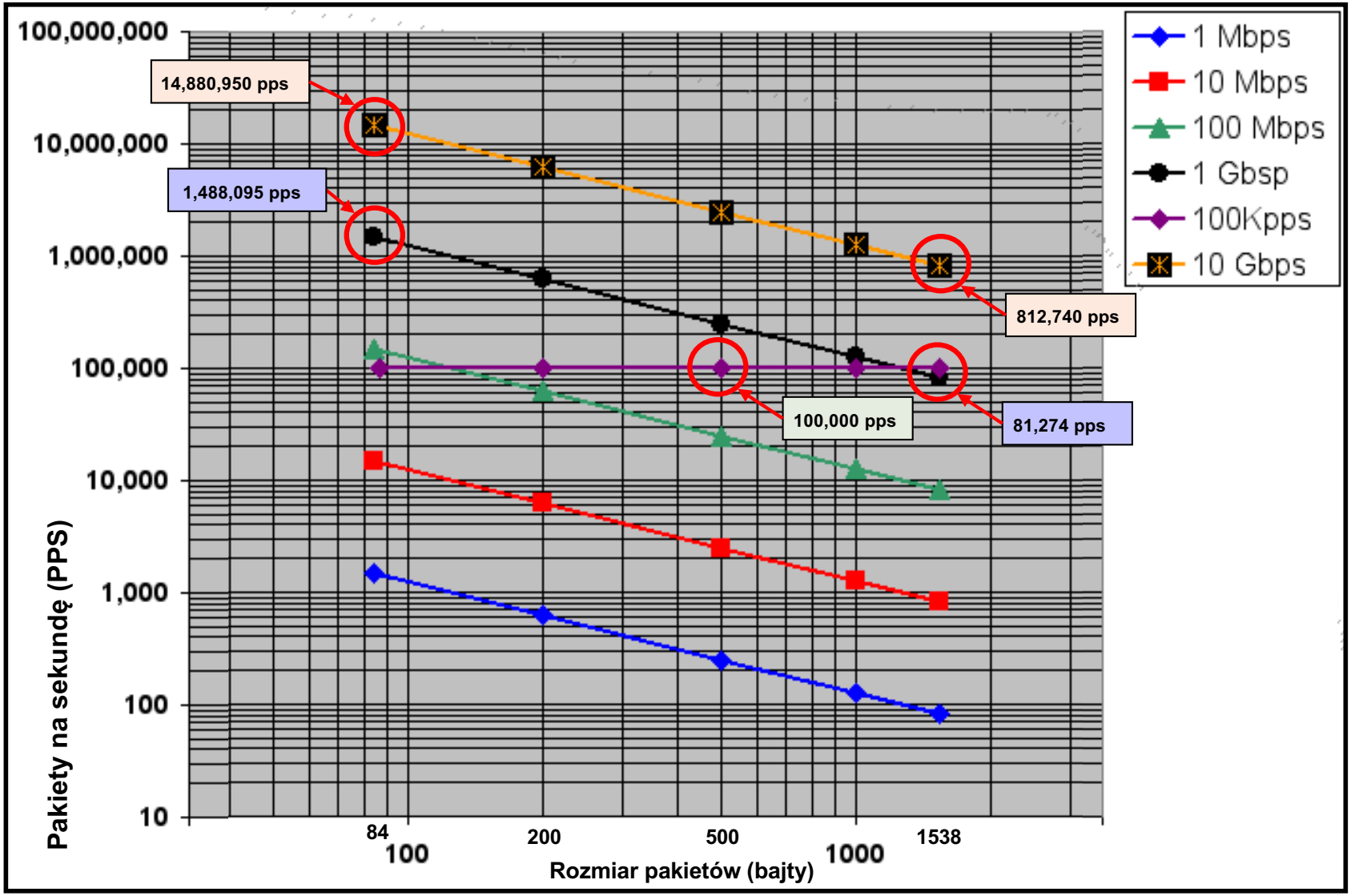
http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/12000-series-routers/47240-arch12000-swfabric.html
https://www.juniper.net/techpubs/hardware/m-series/m40/m40-hwguide/html/overview-hardware6.html

Efekt długości ramki w matrycy

Czym mniejszy overspeed – tym lepiej widać efekt piły.



Forwarding engine – wydajność?



Co jest tym „sprzętem”?

	CPU	NPU	ASIC
Control Plane	Zwykle stosowany, coraz częściej wykorzystuje się SMP i wirtualizację	Nieefektywne – bardzo trudno zaimplementować protokoły kontrolne	Nadal nierealne poza warunkami laboratoryjnymi
Data Plane	Routery serii J/SRX, ISR G1/G2/G3/7200	Cisco ASR 1k Juniper MX	Juniper T/PTX Cisco CRS/NCS
Service Plane	Routery serii J/SRX, ISR G1/G2/7200	Zwykle stosowane.	x86 (coraz częściej)

1998 – CPU vs NPU vs ASIC

- Dostępne platformy dla operatorów:
  GSR 12000 – E0 - ~120-220kpps
- ”Enter of ASICs”:

  GSR 12000 z kartami E1 - z ASICiem dopalającym CEF (Salsa): 1.5Mpps (z ACL 400kpps)

  Juniper M40 z procesorem IBMa IP I: 40Mpps (tylko forwarding, brak ACL i innych mechanizmów)
- Przeskakujemy granicę 10Gbit/s

  …w tle wiele wojen religijnych w świecie sieciowym:

  „a po co nam Ethernet! ATM jest lepszy!”

  „której pamięci używać na FIB?”

  „MPLS – fanaberia!”

2000:
Jak się przekazuje ruch?

Juniper hopes to boost 'Net with massive M40 router

By Jeff Caruso
Mountain View, Calif.

A rapidly growing Internet requires rapidly growing routers, and Juniper last week stepped up to fill the need with an Internet backbone router that can move 40 million packets per second.

The M40 is one of the first routers on this scale, about 10 times faster than Cisco's 12000. But even faster routers are on the horizon. By next year, start-ups such as Avici Systems and Pluris plan to roll out routers that can scale up to terabits per second, a huge step up from the M40's 40G bit/sec.

router, which is under development; the Cisco 12000; and equipment from Argon Networks, Avici and others.

MCI also is looking into offering services over the routers to give some types of traffic priority over others. In this scenario, time-sensitive voice traffic could get through the network ahead of data traf-

service. Interfaces run ATM or IP over SONET up to OC-48, or 2.4G bit/sec.

Routes are discovered by a Pentium processor running Juniper's software, called Junos. The software populates the route table for the ASIC, which handles all aspects of packet forwarding. This central-processor technique differs from compet-

CENTRAL THEME

Unlike competing products, Juniper's M40 uses a central "Internet processor" for all look ups, forwarding and services such as multicast and quality of service.

M40 Internet backbone router

P4 – 2001+, Xilinx, Altera, NetFPGA

The P4 Language Specification

Version 1.0.3

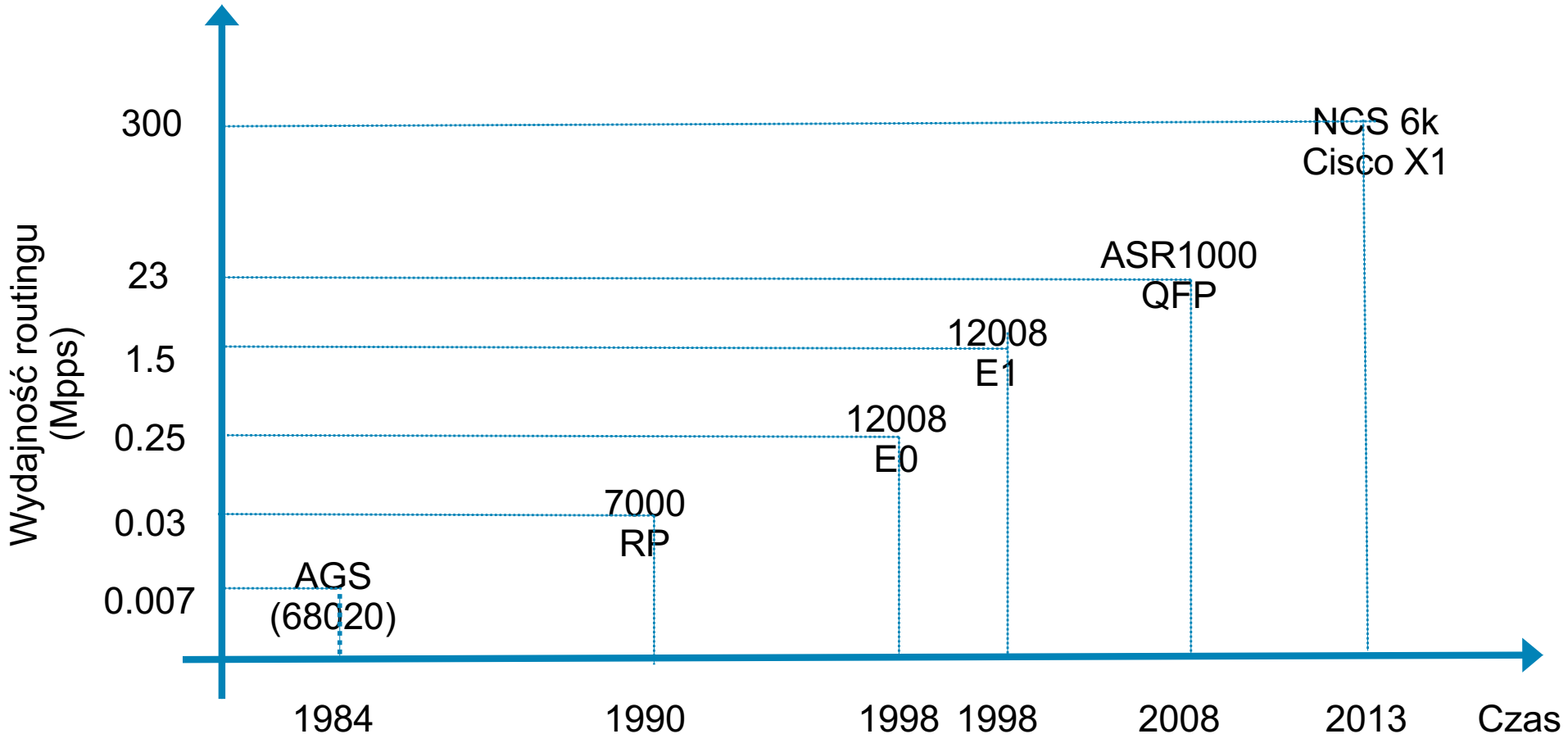
November 2, 2016

The P4 Language Consortium

1 Introduction

P4 is a declarative language for expressing how packets are processed by the pipeline of a network forwarding element such as a switch, NIC, router or network function appliance. It is based upon an abstract forwarding model consisting of a parser and a set of match+action table resources, divided between ingress and egress. The parser identifies the headers present in each incoming packet. Each match+action table performs a lookup on a subset of header fields and applies the actions corresponding to the first match within each table. Figure 1 shows this model.

kpps i Mpps dla CPU i NPU/FPGA



- Dla przypomnienia:

  1GE = 1.44Mpps, 10GE = 14.4Mpps, 100GE = 144Mpps

Konkurs numer 2

- Co kryje się pod nazwą QFP?

A. Quantum Forwarding Processor

B. Quick Forward Process

C. Qubit Forwarding Package

D. Quantum Flow Processor

SDN Unicorns!

- 2006, Uniwersytet Stanforda i Martin Casado pracujący nad projektem Ethane
- Zainteresowanie projektem NetFPGA: http://yuba.stanford.edu/~casado/watson-stanford.pdf
- Ethane w ramach pracy grupowej wychodzi na światło dzienne: http://yuba.stanford.edu/~casado/ethane-hoti07.pdf

SDN Unicorns!

- 2006, Uniwersytet Stanforda i Martin Casado pracujący nad p
- Zaint
http:/ df
- Ethar ło
dzien
http:/

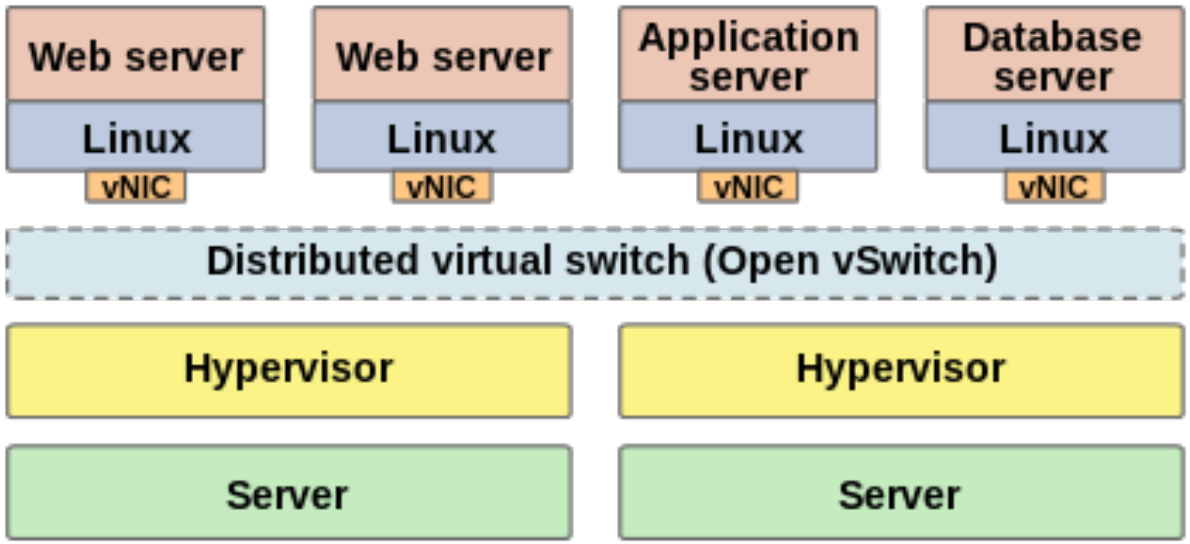
"We recently published our proposal for Ethane: A cleanslate approach to managing and securing enterprise networks. The goal of Ethane is to make enterprise networks (e.g. networks in companies, universities, and home offices) much easier to manage. Ethane is built on the premise that the only way to manage and secure networks **is to make sure we can identify the origin of all traffic**, and hold someone (or some machine) accountable for it."

Open vSwitch

- Każdy producent (i wielu developerów) musi mieć swój SDN i przynajmniej wirtualny (programowy) przełącznik Ethernet

  …czasem również wirtualny (programowy) router

  …czasem przez sklonowanie repozytorium Quaggi i zmianę jej nazwy oraz usunięcie z kodu źródłowego jej autorów (☹)



http://docs.openvswitch.org/en/latest/intro/what-is-ovs/

Open vSwitch

- Każdy producent (i wielu developerów) musi mieć swój S
  E

"The bulk of the code is written in platform-independent C and is easily ported to other environments. The current release of Open vSwitch supports the following features:

- Standard 802.1Q VLAN model with trunk and access ports
- NIC bonding with or without LACP on upstream switch
- NetFlow, sFlow(R), and mirroring for increased visibility
- QoS (Quality of Service) configuration, plus policing
- Geneve, GRE, VXLAN, STT, and LISP tunneling
- 802.1ag connectivity fault management
- OpenFlow 1.0 plus numerous extensions
- Transactional configuration database with C and Python bindings
- High-performance forwarding using a Linux kernel module"

http://docs.openvswitch.org/en/latest/intro/what-is-ovs/

Konsekwencja wyborów rynku…

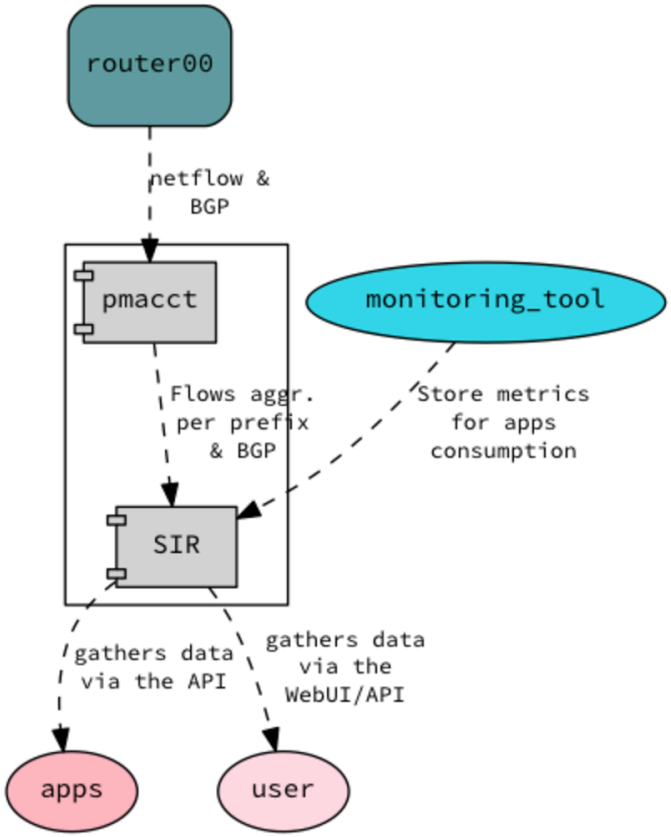
- x86 jako tania, dostępna platforma routingu
- “jeśli za wolno – dodaj więcej procesorów/serwerów”*

  …a stare sprzedaj – casus zalewu E5 2670v2 z AWS

Potęga Open Source

„Niech zakwitnie sto kwiatów!*” – Control/Data Plane dla wszystkich

SIR (SDN Internet Router)



https://github.com/dbarrosop/sir

ExaBGP

README.md

license BSD | pypi v3.4.18 | downloads 0/month | status stable | wheel yes | chat on gitter

Introduction

ExaBGP provides a convenient way to implement Software Defined Networking by transforming BGP messages into friendly plain text or JSON, which can then be easily handled by simple scripts or your BSS/OSS.

It is routinely used to improve service resilience and provide protection against network or service failures. For example, thanks to the `healthcheck` backend included, anycasted DNS service failures can be detected and handled gracefully. To help you get started, Vincent Bernat put forward a full lab explaining how to best use this feature.

Also, alone or in conjunction with fastnetmon, it provides network operators a cost effective DDOS protection solution.

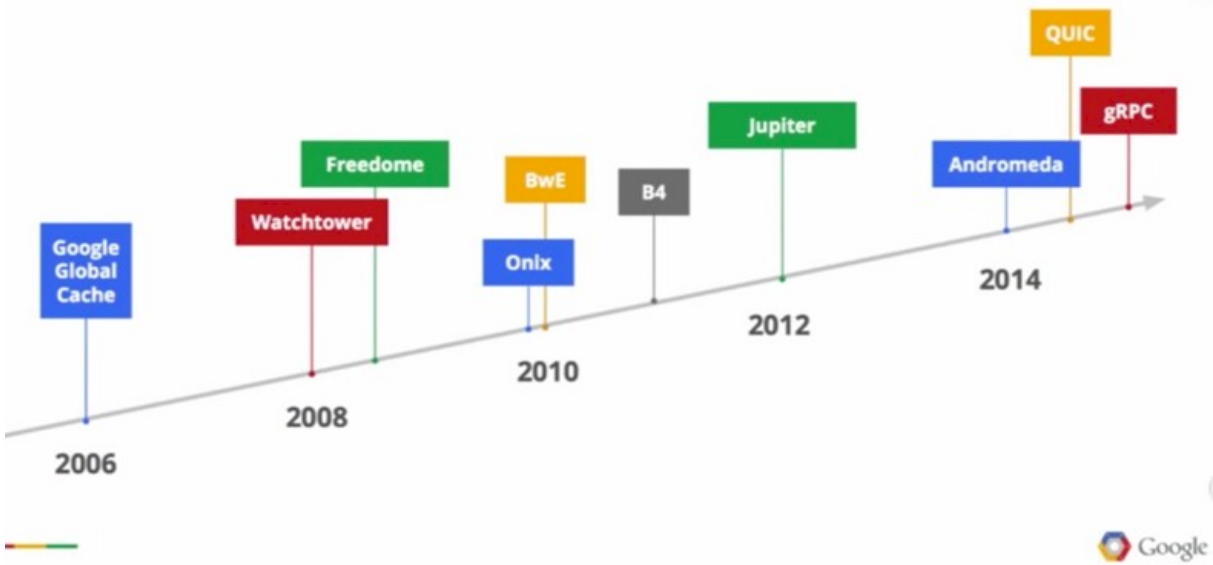
But it is not its only strength, thanks to modern routers' flow balancing, ExaBGP can also be used to save you money on load balancers. Other uses include keeping an eye on network changes done by RIPE or by other networks with GIXLG.

https://github.com/Exa-Networks/exabgp

2010:
Jak się przekazuje ruch?

Google DevOps

- 9 lat przed Facebookiem:



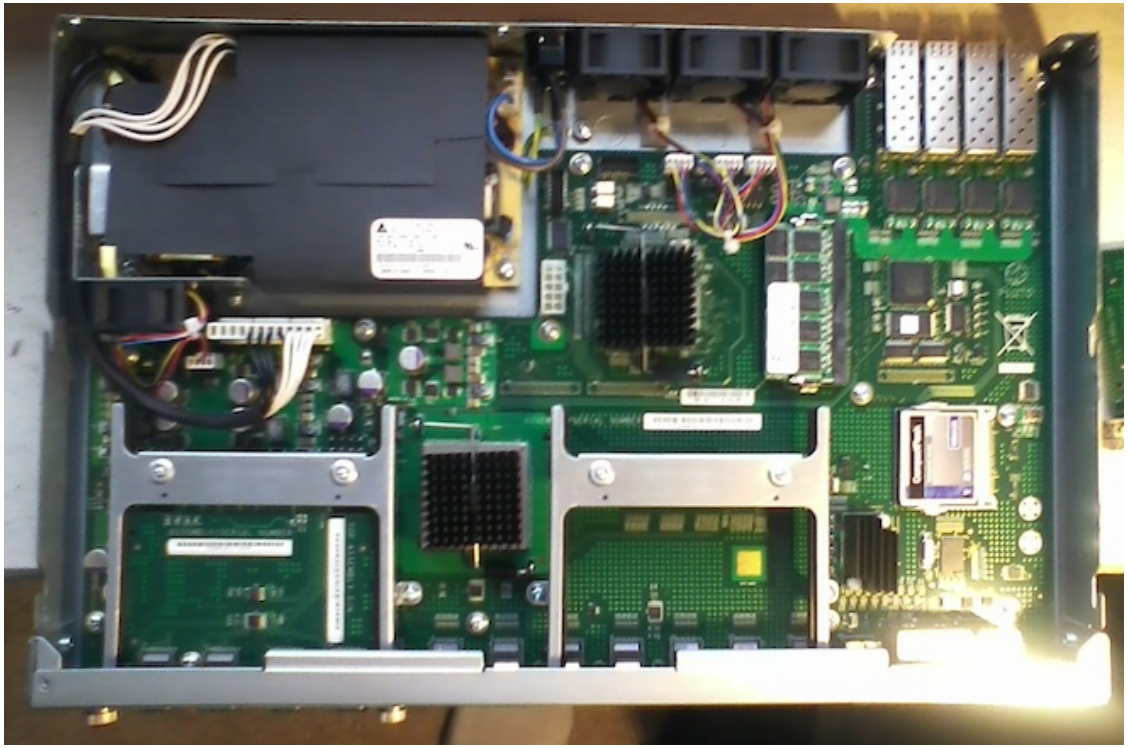
Google Datacenter Networking Over Time

Datacenter Generation	Year	Merchant Silicon	ToR Configuration	Aggregation Block	Spine Block	Fabric Speed	Host Speed	Aggregate Bandwidth
Four-Post CRs	2004	Vendor	48 x 1G	-	-	10G	1G	2 Tb/sec
Firehose 1.0	2005	8 x 10G, 4 x 10G	2 x 10G up, 24 x 1G down	2 x 32 x 10G	32 x 10G	10G	1G	10 Tb/sec
Firehose 1.1	2006	8 x 10G	4 x 10G up, 48 x 1G down	64 x 10G	32 x 10G	10G	1G	10 Tb/sec
Watchtower	2008	16 x 10G	4 x 10G up, 48 x 1G down	4 x 128 x 10G	128 x 10G	10G	1G	82 Tb/sec
Saturn	2009	24 x 10G	24 x 10G	4 x 288 x 10G	288 x 10G	10G	10G	207 Tb/sec
Jupiter	2012	16 x 40G	16 x 40G	8 x 128 x 40G	128 x 40G	10G/40G	10G/40G	1.3 Pb/sec

https://cloudplatform.googleblog.com/2015/06/A-Look-Inside-Googles-Data-Center-Networks.html
https://www.nextplatform.com/2015/06/19/inside-a-decade-of-google-homegrown-datacenter-networks/

Google DevOps

- 2012, Shelby, Iowa: “Pluto” lands ☺
  https://www.wired.com/2012/09/pluto-switch/



Facebook DevOps

- Facebook Wedge & SixPack

  wersje 40GE i 100GE

- Protokół routingu dla aplikacji: Open/R

https://code.facebook.com/posts/1142111519143652/introducing-open-r-a-new-modular-routing-platform/

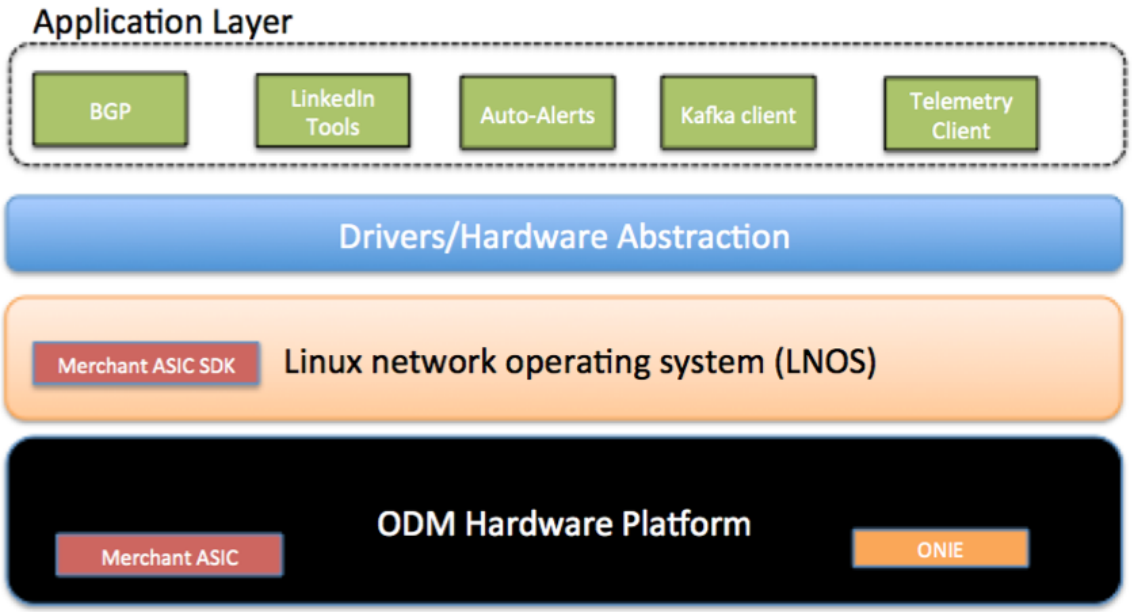
Facebook DevOps

- Z prezentacji “produktowej”:

	Traditional switch	6-pack
Hardware architecture	Closed, silicon-specific	Open, Ethernet-only
System topology	Single stage with XBAR fabric	Dual-stage spine leaf
Software integration	Vendor-specific OS	Open software OS
Feature velocity	Vendor-driven	Operator-driven
Manageability and visibility	Supervisor cards, external	Server array, inside and out
Building blocks	Vendor-specific	Off-the-shelf
Development cycle - growth	18-24 month cycle	8-12 month cycle

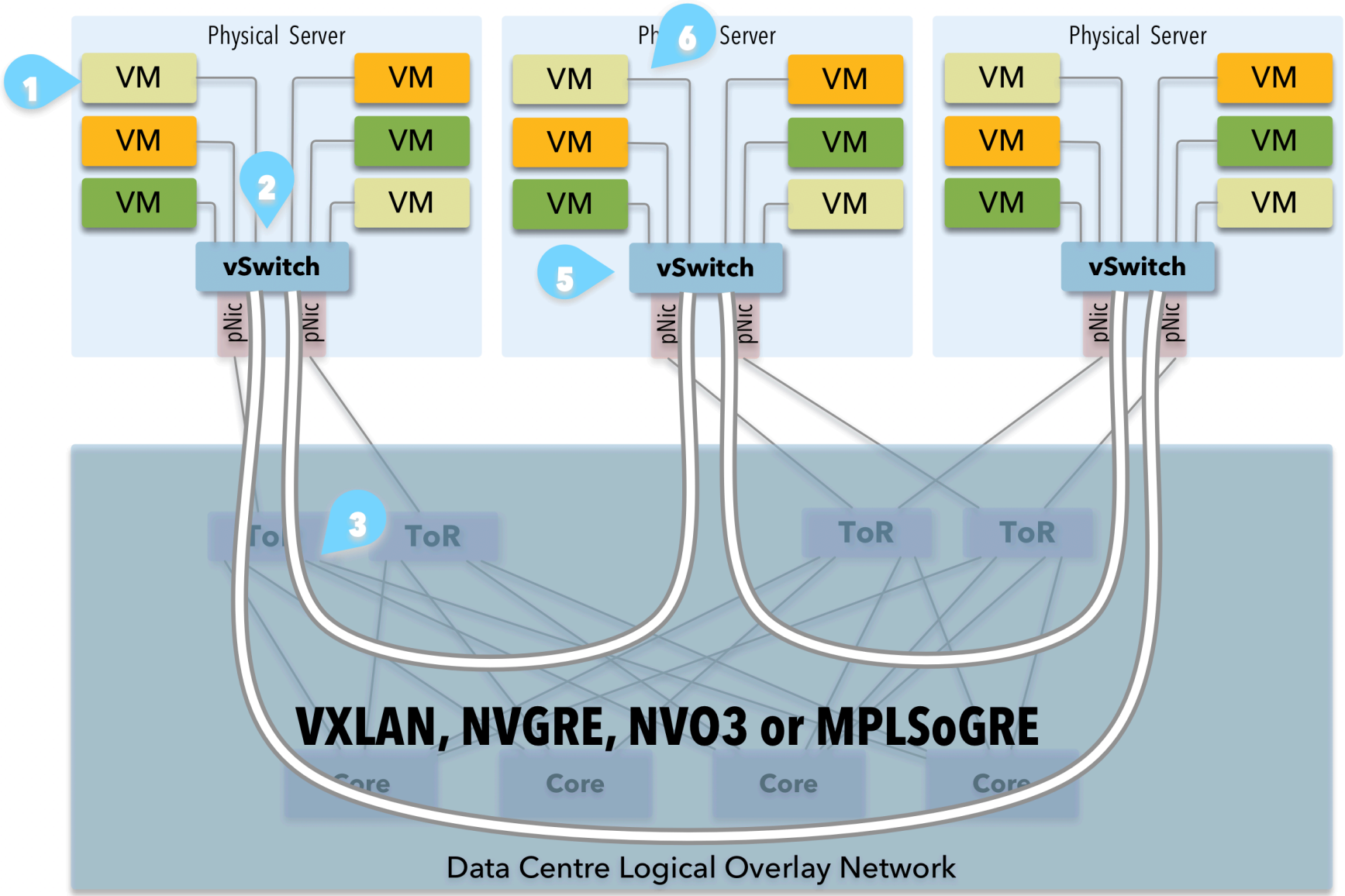
LinkedIn – projekt “Falco”

- 3.2Tbit/s przełącznik Pidgeon, 100GE (spine & leaf)
- IP OpenFabric RFC



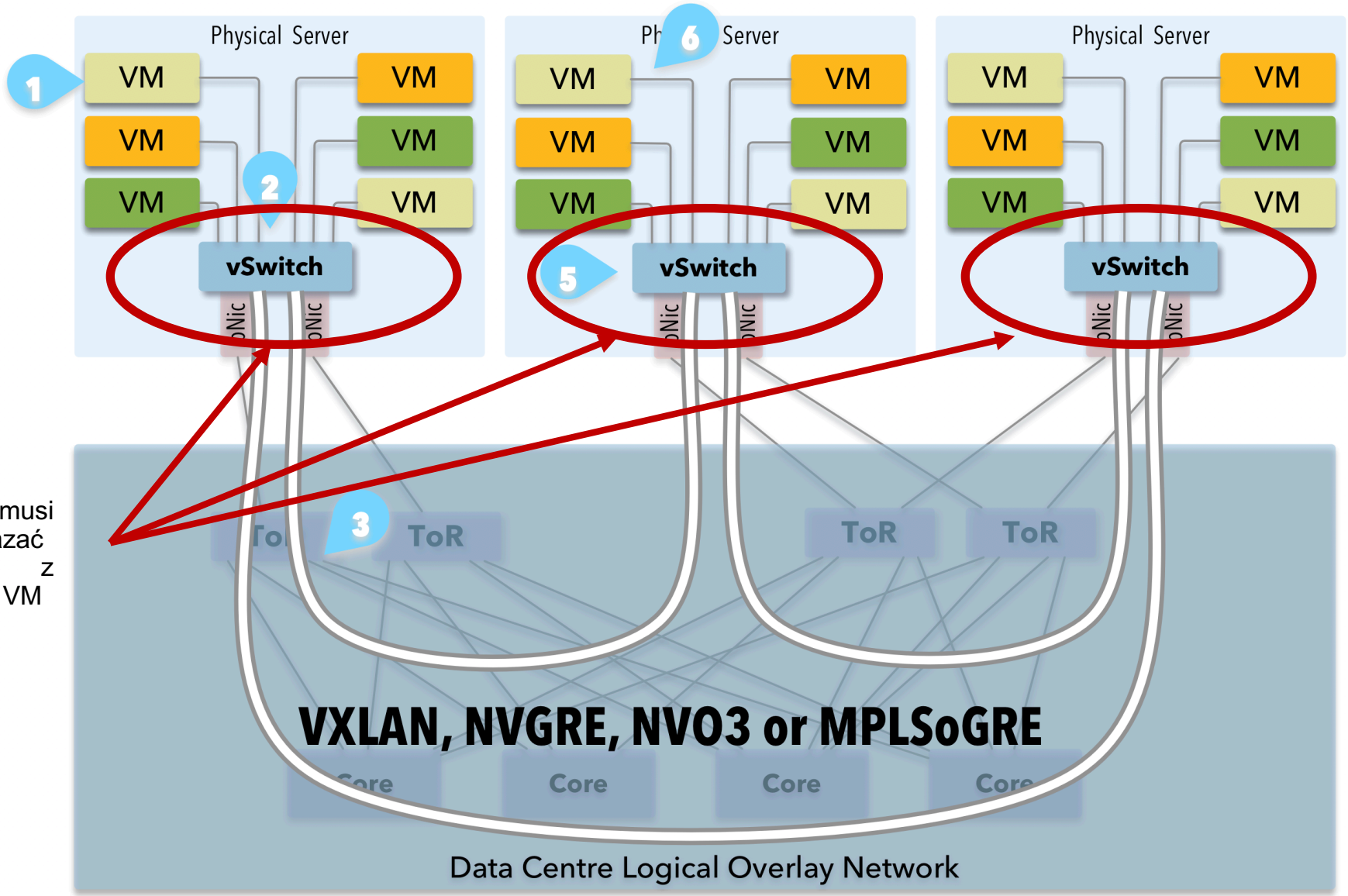
https://engineering.linkedin.com/blog/2016/02/falco-decoupling-switching-hardware-and-software-pigeon
https://tools.ietf.org/html/draft-white-openfabric-00

Overlays! Overlays FTW!



http://etherealmind.com/introduction-to-how-overlay-networking-and-tunnel-fabrics-work/

Overlays! Overlays FTW!



Ktoś musi przekazać pakiet z lub do VM

http://etherealmind.com/introduction-to-how-overlay-networking-and-tunnel-fabrics-work/

Overlays na PLNOG #17

https://www.youtube.com/watch?v=2vvlPtgUBHg

NfV – co i gdzie, realnie? (do ~2010)

- Przekazywanie ruchu (L0-L3) – lepsze dla NPU

  …niewiele liczenia, duże zapotrzebowanie na przepustowość i I/O

  przewidywalność obsługi ruchu i wydajności

- Usługi i aplikacje (L4+) – lepiej użyć CPU

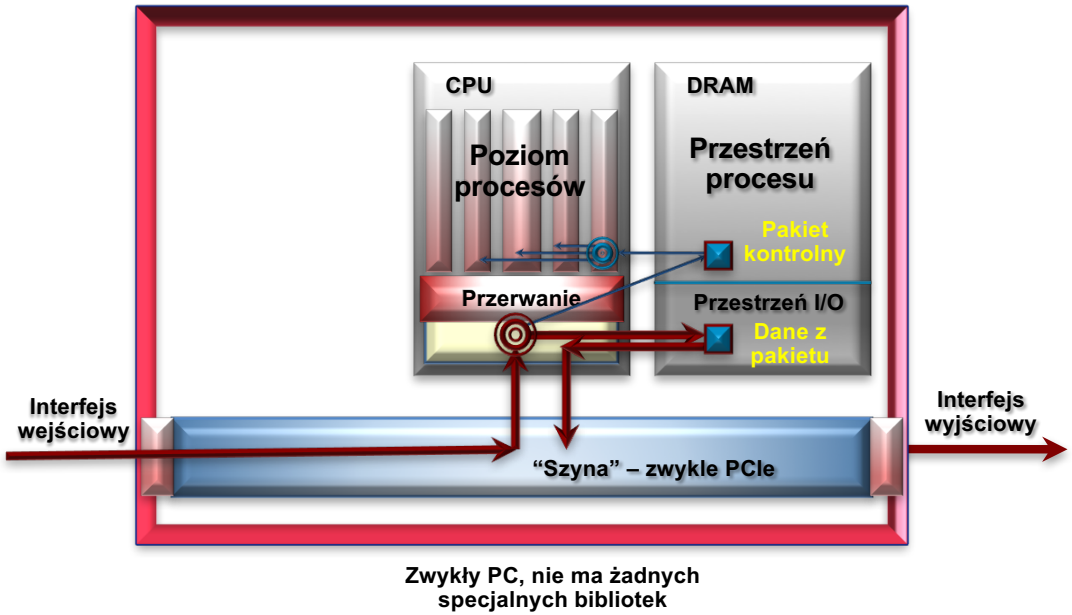
  duże zapotrzebowanie na moc obliczeniową

  DPI, FW, CGN, BNG, Mobility, DNS, DDoS

  W zasadzie brak funkcji specyficznych dla konkretnego interfejsu

A co gdyby jednak spróbować…

(dotknąć ruchu sieciowego „zwykłym” CPU)



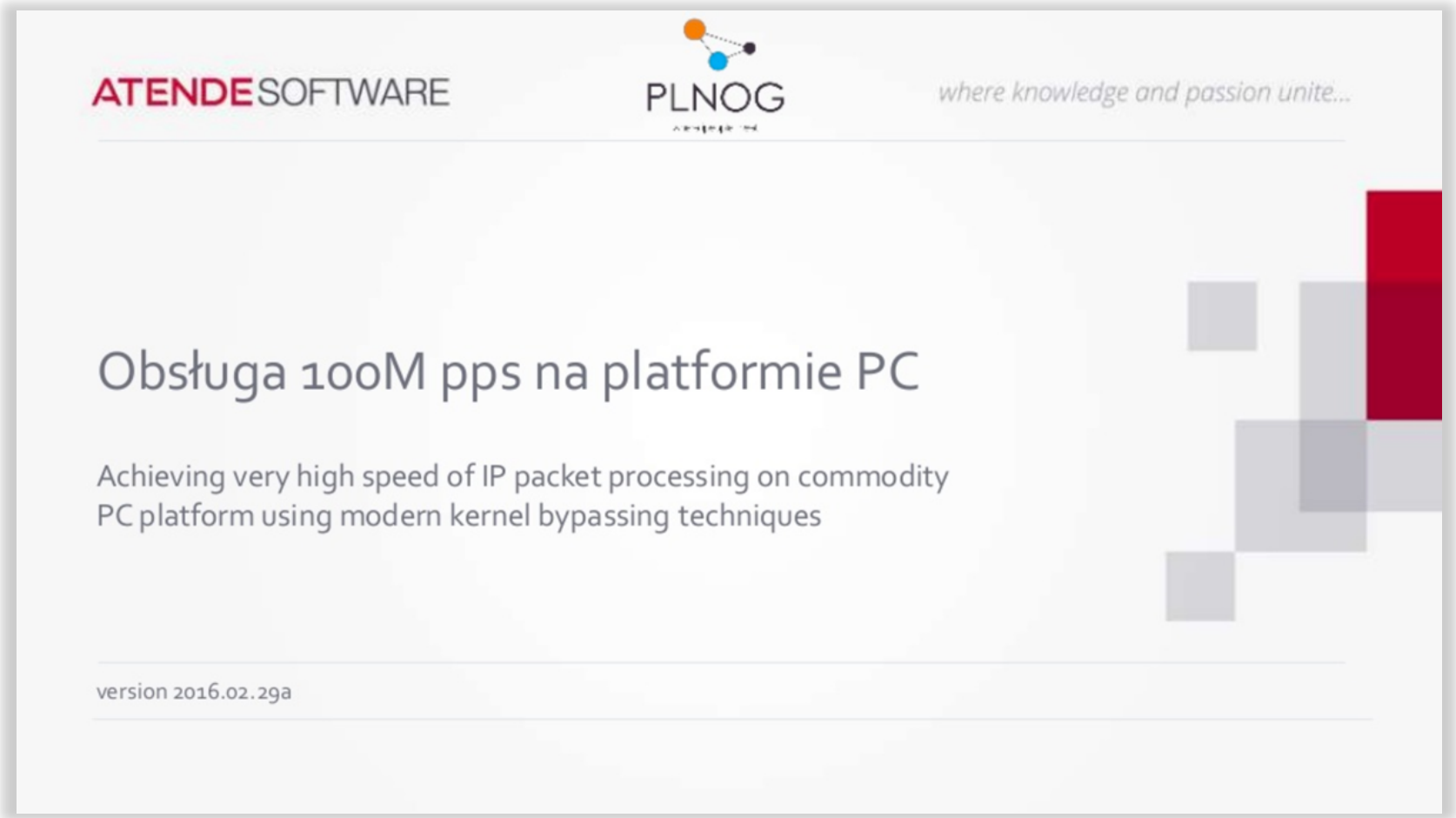
Zwykły PC, nie ma żadnych specjalnych bibliotek

- Interfejs 10GE – 14.88Mpps
  - każdy pakiet trzeba obsłużyć w 67.2ns
  - 134 cykle CPU na pakiet przy taktowaniu 2GHz
- Interfejs 40GE
  - budżet na pakiet już tylko 16.7ns
  - tylko 33.5 cykli na CPU
- Interfejs 100GE
  - Budżet na pakiet już tylko 6.7ns
  - tylko 13 cykli na CPU
- Pamięć zewnętrzna do procesora (DRAM) jest “oddalona” o 70ns… nie ma czasu

http://blogs.cisco.com/sp/a-bigger-helping-of-internet-please

Jak szybko obsłużyć pakiet z NIC?

- Prezentacja z PLNOG #16, Paweł Małachowski i Przemysław Frasunek, Atende Software:



VPP – Vector Packet Processor

- Stos działający w przestrzeni użytkownika, wspierany przez DPDK i jego EAL

  Duża elastyczność – dużo gotowych bibliotek do obsługi różnych rodzajów ruchu (L2, IPv4, IPv6), tunelowań (GRE, VXLAN, LISP) oraz funkcji (ACL, QoS, NSH, etc)

  zoptymalizowany pod równoległe przetwarzanie rozproszone

- VPP pracuje na wektorach wskaźników na pakiety i przetwarza je używając skierowanego grafu węzłów
- Ten sam kod pracuje bezpośrednio na sprzęcie, w VMce i w kontenerach Linuksa
- ”Nieustannie doskonalony od 2002 roku!”

https://fd.io/

Architektura VPP

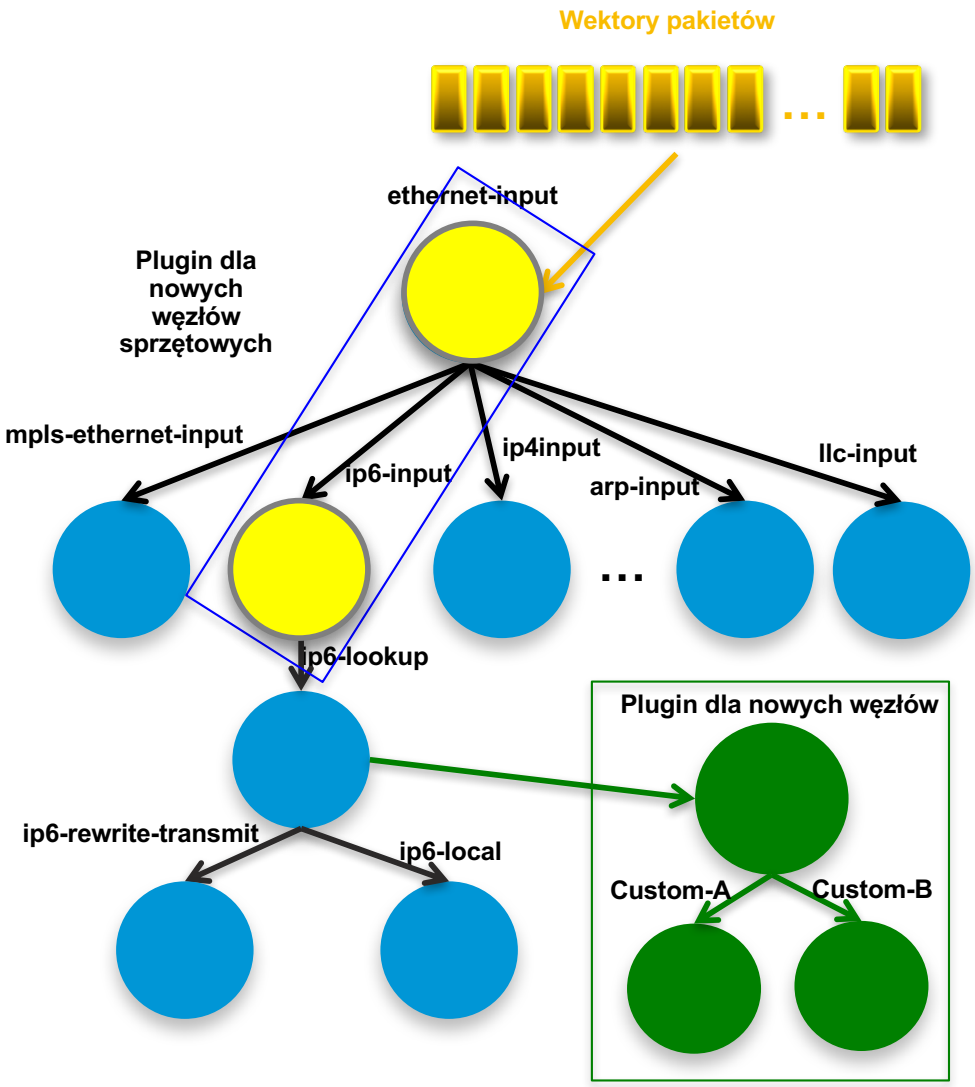
Pluginy to podprojekty

Plugin może

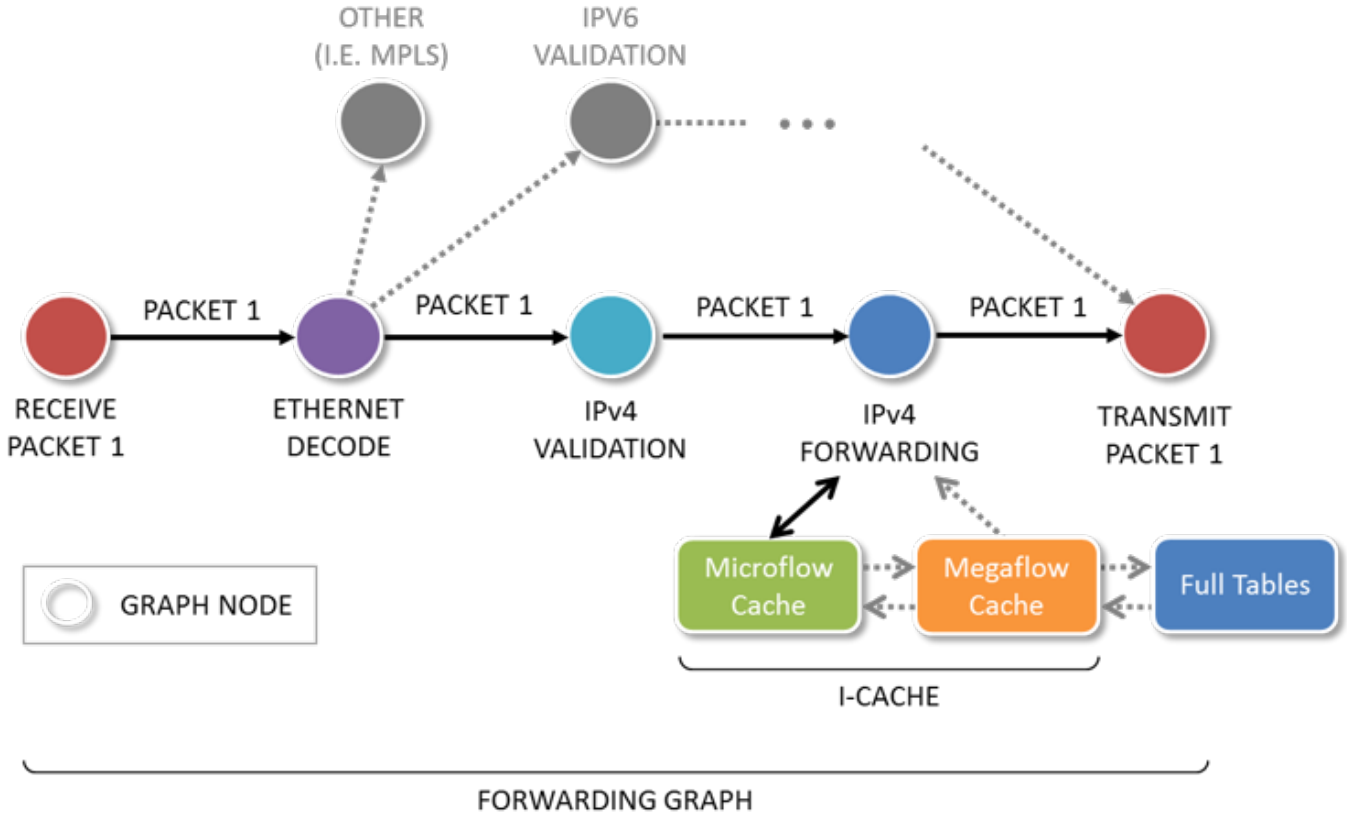
- Wprowadzić nowe węzły grafu
- Zmienić ustawienie grafu
- Zostać zbudowany niezależnie od drzewa VPP
- Może zostać dodany dynamicznie w trakcie pracy stosu VPP
- …wszystko w przestrzeni użytkownika

Co to daje?

- Możemy wykorzystać zalety i specyfikę konkretnego sprzętu
- Wsparcie dla wielu architektur sprzętowych (x86, ARM, PPC)
- Niewiele kodu zależne od samego OS (clib) – pozwala to przygotować porty na inne relatywnie szybko



Klasyczne przetwarzenie ruchu IPv4

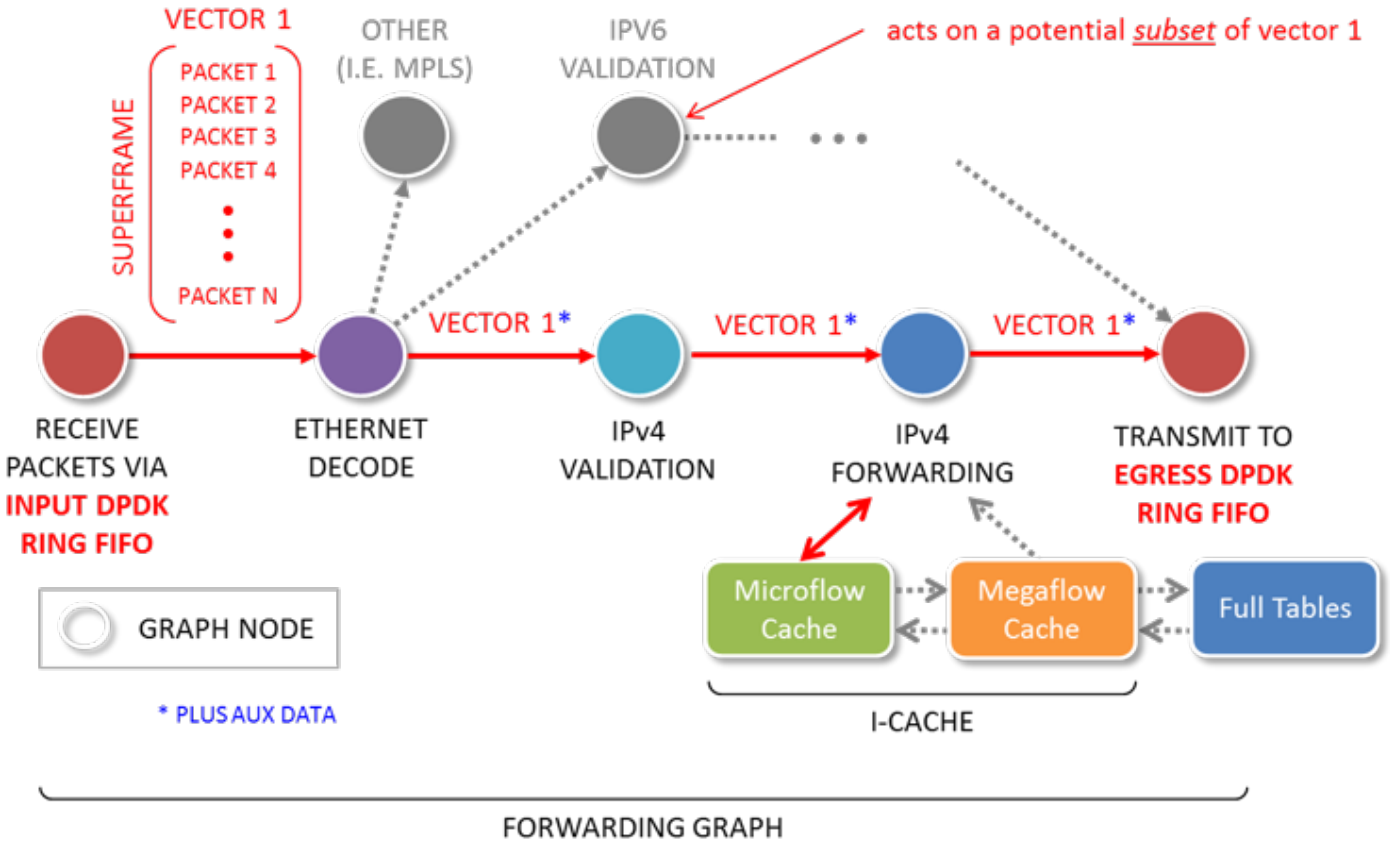


Wąskim gardłem jest cache – więc nawet dla bardzo stuningowanej konfiguracji ze wsparciem DPDK, obsługa odbywa się szeregowo. Zatem mimo tego, że DPDK daje fajny zestaw pakietów do obsługi, są przetwarzane indywidualnie czyli – skalarnie.

0x800 to pakiet IPv4 – trafia do węzła weryfikującego sumy kontrolne i TTL. Potem dochodzi do decyzji o routingu i tutaj wykonujemy lookup do pamięci podręcznej microflow – i jeśli to potrzebne – megaflow. Dwa pudła i trafiamy do pełnego procesu OVS… wolno.

Przetwarzanie wektorowe ruchu IPv4

Za pomocą DPDK

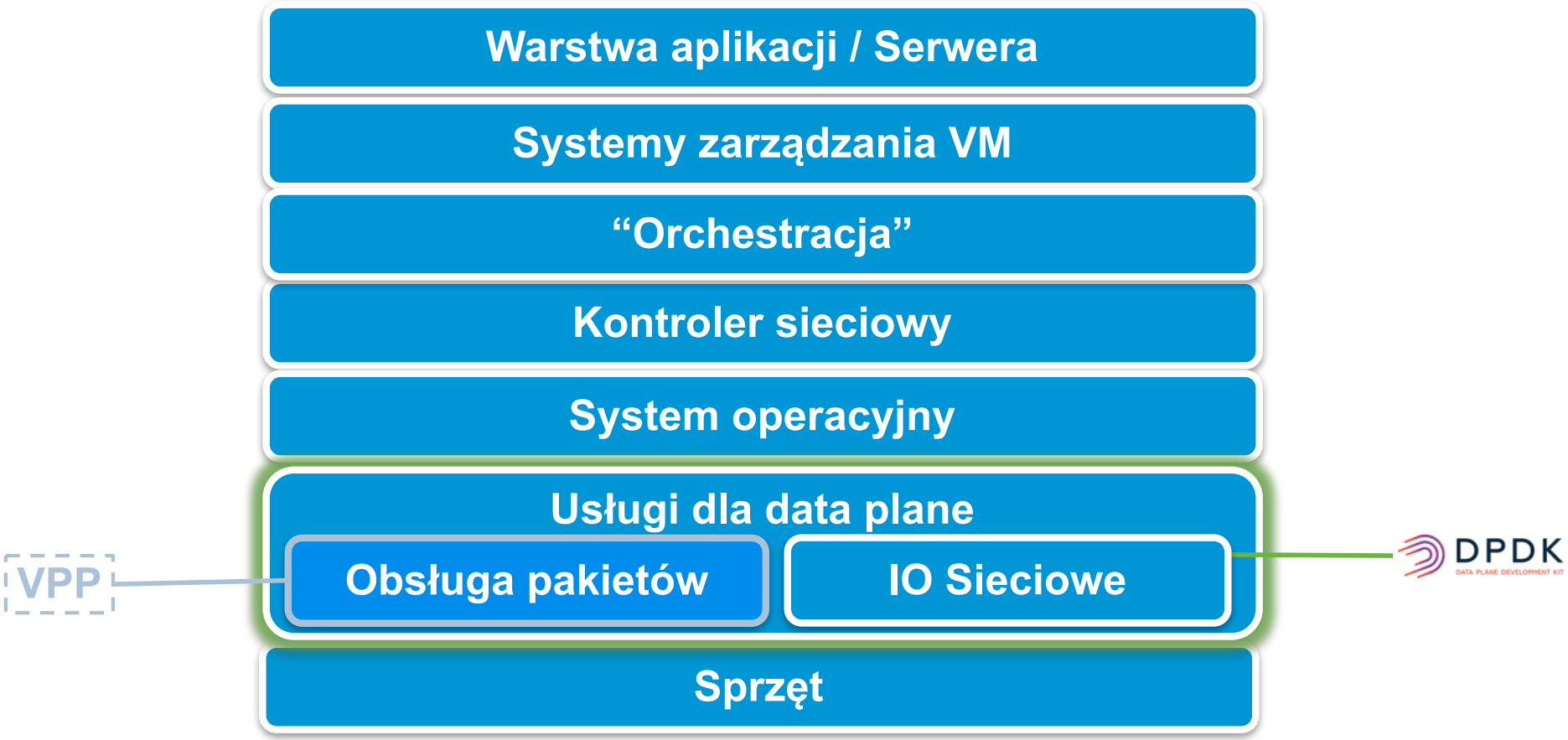


Pakiety samplowane w krótkim odcinku czasu mają duże prawdopodobieństwo być podobne, jeśli nie identyczne. Umieszczane są w ‘superramce’ skoro najprawdopodobniej wymagać będą do obsługi podobnych zasobów.

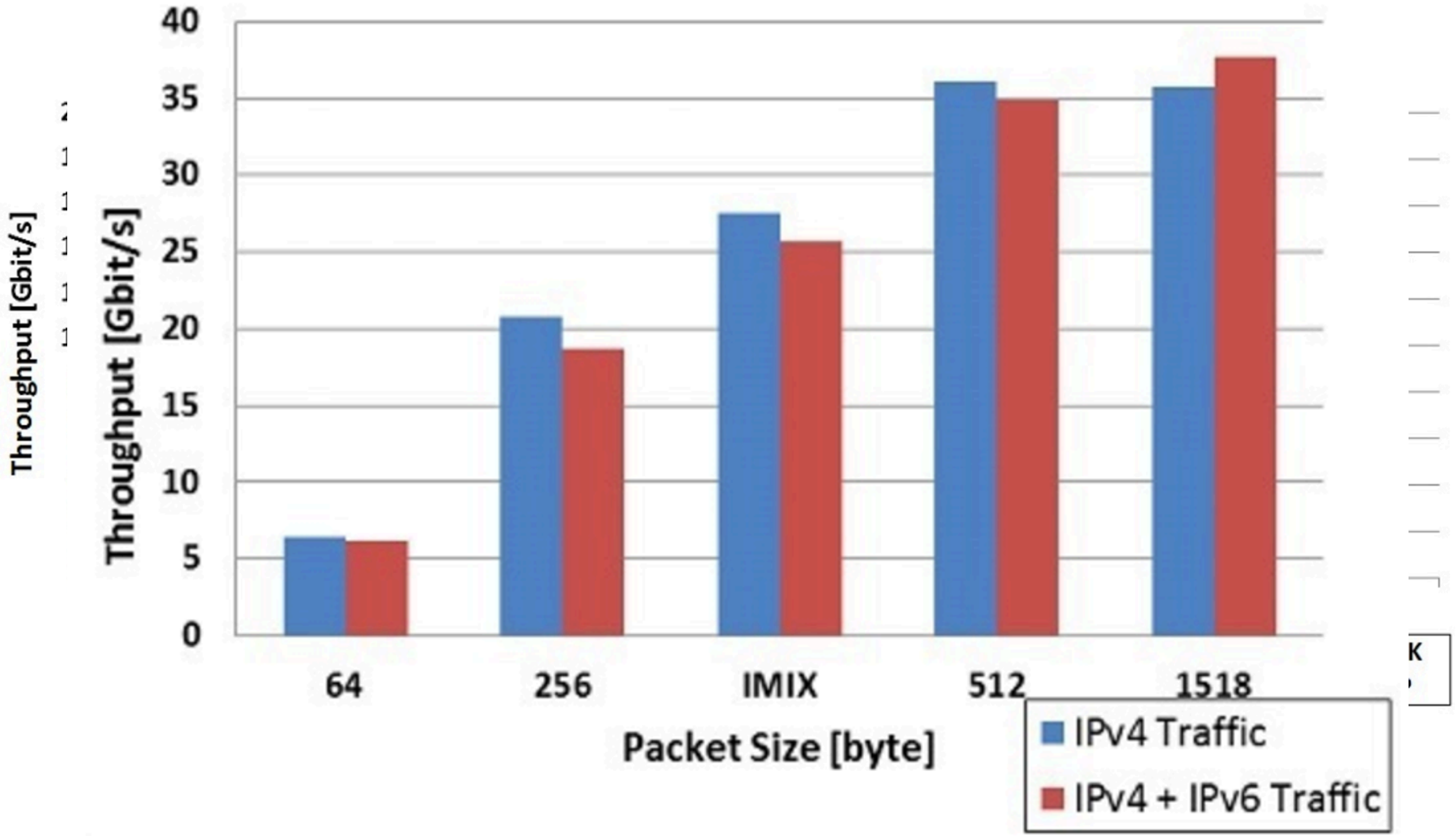
DPDK z VPP zbiera grupę pakietów zamiast pojedynczo – wektor zawiera oczywiście wskaźnik a nie sam pakiet, unikamy dodatkowych problemów z opóźnieniami kopiowania oraz wypełnienia cache procesora.

https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_processor

VPP w stosie hosta



VPP – co daje realnie?



http://www.lightreading.com/nfv/nfv-tests-and-trials/validating-ciscosnfv-infrastructure-pt-1/d/d-id/718684?page_number=8

NPU i “programowalne ASICi” walczą

- Wydajność realna vs teoretyczna – imponująca!

Table 1. DP hardware at first glance – values may not represent fair comparison (type PP means programmable pipeline)

Chip name (nm)	Gbps	Mpps	Power / 10G	Type
Ericsson SNP 4000 (45)	200	300	4W	NPU
Netronome NFP-6 (22)	200	300	2.5W	NPU
Cavium Octeon III (28)	100	?	5W	NPU
Tilera Gx8036 (40)	40	60	6.25W	NPU
Intel X-E5 4650 DPDK (32)	50	80	24W	CPU
EzChip NP4 (55)	100	180	3.5W	PP
Marvell Xelerated AX (65)	100	150	?	PP
EzChip NP5 (28)	200	?	3W	PP
Intel FM6372 (65)	720	1080	1W	Switch
BCM56840 (40)	640	?	?	Switch
Marvell Lion 2 (40)	960	720	0.5W	Switch

Table 2. The (almost) real picture: comparison of the same (PBB) use case

Chip name	Power	Mpps	Mpps / Watt	Type
Ericsson SNP 4000	80W	1080	13.5	NPU
Netronome NFP-6	50W	493	9.9	NPU
Cavium Octeon III	50W	480	9.6	NPU
Tilera Gx8036	25W	180	7.2	NPU
Intel Xeon 2630 DPDK	80W	140	1.75	CPU
EzChip NP4	35W	333	9.5	PP
Intel FM6372	80W	1080	13.5	Switch
Marvell Lion 2	45W	720	16	Switch

http://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2013/papers/hotsdn/p103.pdf

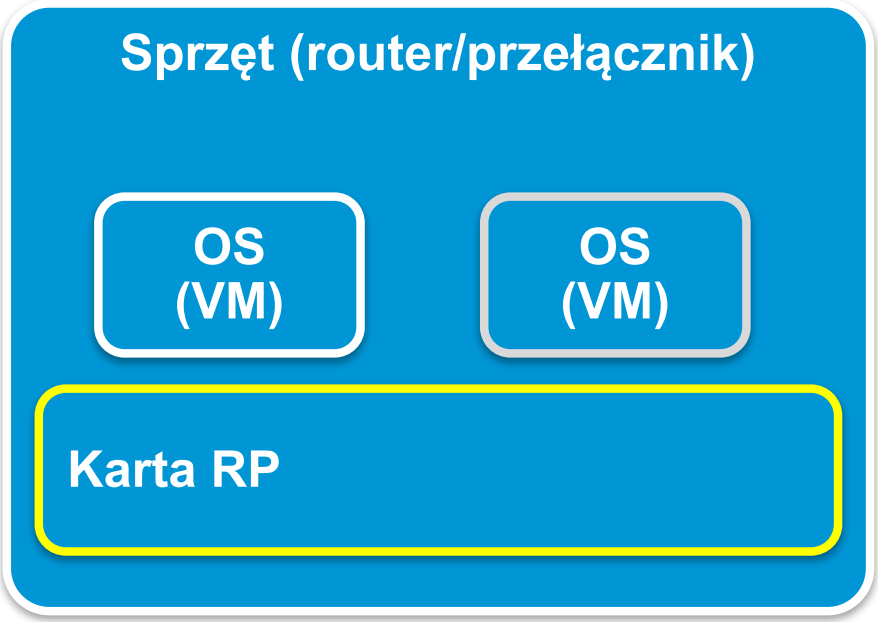
2020:
Jak to będzie?

Wiele się uprościło w ciągu 30 lat

…w tym kwestia wysokiej dostępności

- ISSU? eFSU? Unified ISSU? Wybierz-Swoją-Nazwę-SU
- Dwie karty RP, dwa OSy, przełączenie (pasmo*)

  vs dwie VMki na jednej karcie z CPU x86



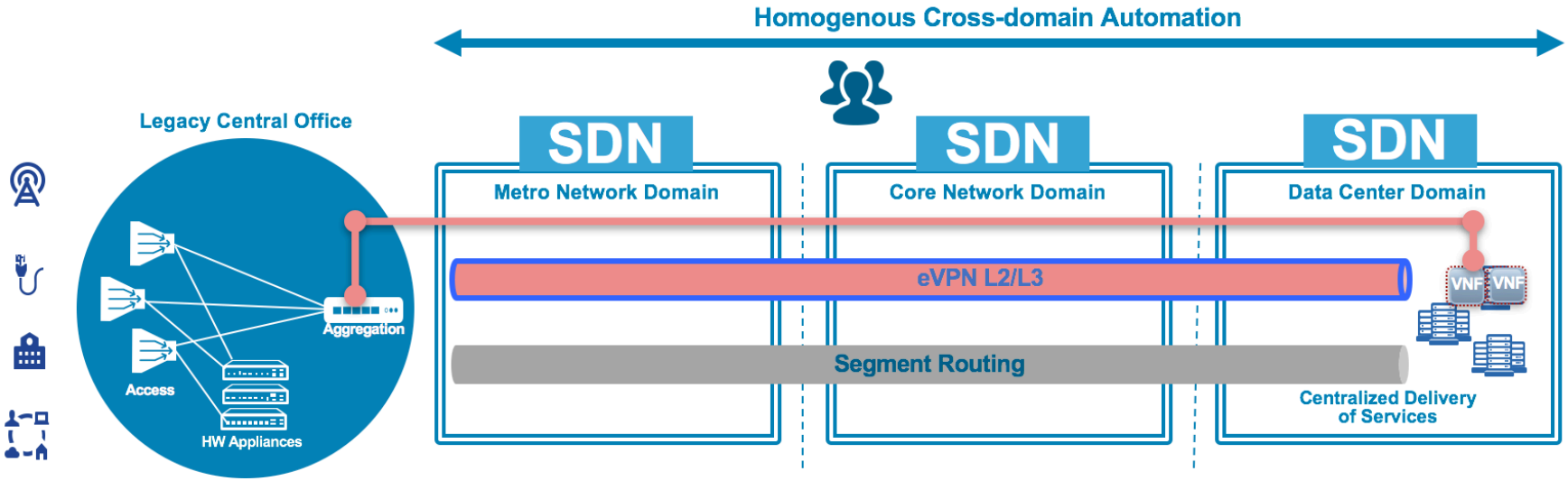
Wiele się uprościło w ciągu 30 lat

…stos protokołów sieciowych

- IPv4/v6, IGP, MPLS (LDP/RSVP), MPLS-TE (IPv4*)

  vs

- IPv6 z IGP = SR z IPv6 (RH)

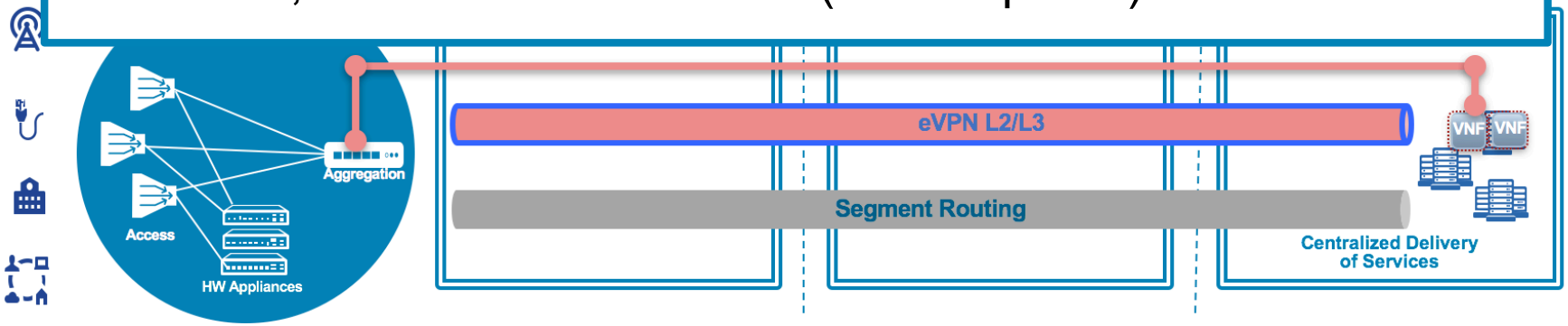


http://www.segment-routing.net/

Wiele się uprościło w ciągu 30 lat

…stos protokołów sieciowych

- IPv4/v6, IGP, MPLS (LDP/RSVP), MPLS-TE (IPv4*)
- Segment Routing może zapewniać dodatkowo “z pudełka”:
  - Równoważenie/rozkładanie ruchu
  - Szybką konwergencję (FRR/MPLS-TE)
  - Rozróżnienie tras per aplikacja/usługa
  - …inne, zależne od kontrolera (control plane)



http://www.segment-routing.net/

Jak żyć? W co inwestować czas?

- Telemetria – osadzona w ASICach i NPU

  Produkty (ASIC/NPU i oprogramowanie) zaprojektowane do jej obsługi (skala wielu Tbit/s)

  Telemetria daje szansę lepszego opisu tego, co dzieje się w sieci - big data i analityka na danych

    ogromna ilość potencjalnych zastosowań

- Routing aplikacji

  Open/R to zaledwie początek (ktoś pamięta Proximity Routing?)

  OSPF, IS-IS, EIGRP, BGP… czy przeżyją?

    …dzielenie Internetu na osobne światy (DC, WAN, InterAS)

- Skoro wszyscy żądają produktu dla nich konkretnie, coraz trudniej będzie mieć produkt dla wszystkich

Pytania?

ODERWIJ SOBIE
KARTECZKĘ!
SĄ ZA DARMO!
DZIĘKUJĘ! ☺
DZIĘKUJĘ! ☺
DZIĘKUJĘ! ☺
DZIĘKUJĘ! ☺

Zajrzeć (koniecznie!)

- Biblioteki i programowanie:

  Intel DPDK: http://dpdk.org/

  Cisco VPP / Linux Foundation fd.io: https://fd.io/

- Ewolucja CPU/NPU:

  Cisco AGS i procesory CSC1/2:
  http://ciscoarchive.lunaimaging.com/luna/servlet/detail/CHMC~4~4~236~612:Processor-Data-Sheet
  http://ciscoarchive.lunaimaging.com/luna/servlet/detail/CHMC~4~4~262~511:AGS-Router

  Rodzina kart w routerach GSR 12000:
  http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/12000-series-routers/47242-arch12000-lcdesign.html

  Ericsson SNP4000:
  https://www.ericsson.com/news/1686201

  Ezchip NPS400:
  http://www.mellanox.com/related-docs/prod_npu/PB_NPS-400.pdf

  Podsumowanie (archiwalne - z 2002 roku) ewolucji dostępnych platform I dostawców:
  https://web.archive.org/web/20060420164249/http://www.whnet.com/giga.html

Zajrzeć (koniecznie!)

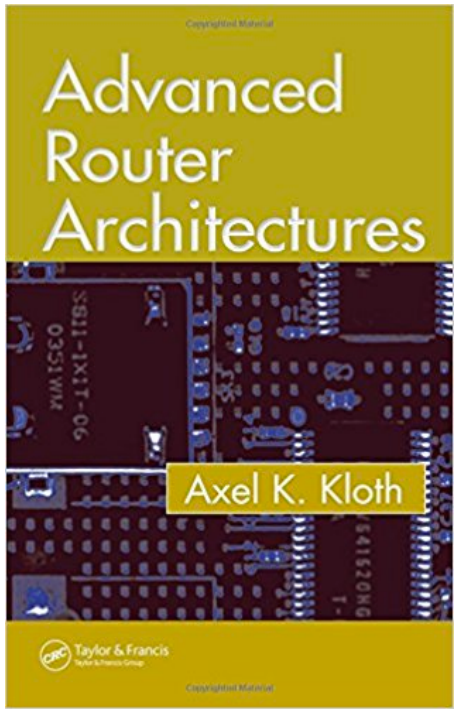
- Ewolucja SDN@Google:

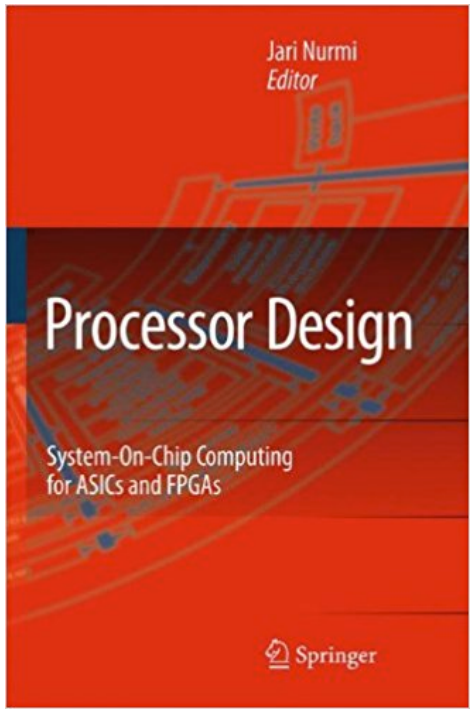
  http://opennetsummit.org/archives/apr12/hoelzle-tue-openflow.pdf
  https://people.eecs.berkeley.edu/~sylvia/cs268-2014/papers/b4-sigcomm13.pdf
  https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/en//pubs/archive/42948.pdf

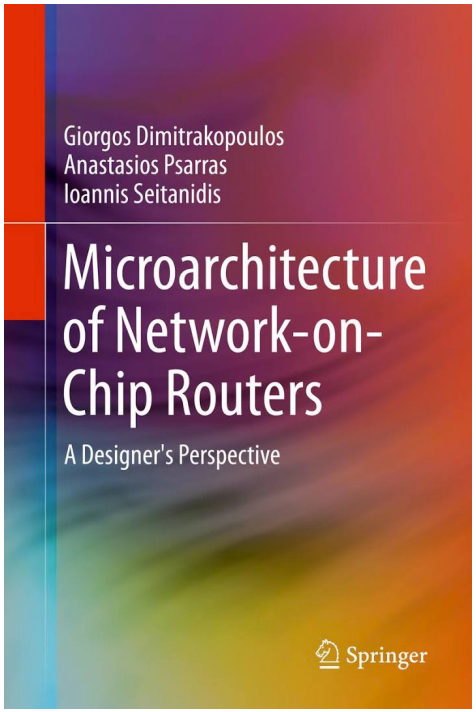
- Listy Open Compute:

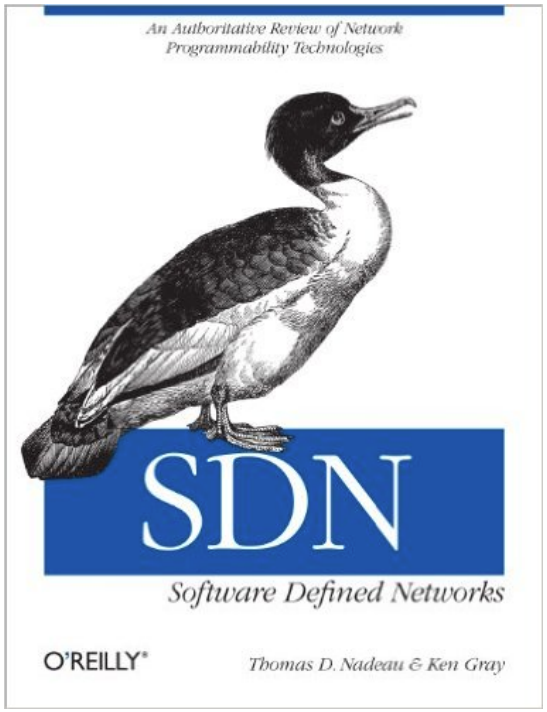
  http://lists.opencompute.org/mailman/listinfo

Książki!


Advanced Router Architectures
Axel K. Kloth
Taylor & Francis


Jari Nurmi
Editor
Processor Design
System-On-Chip Computing for ASICs and FPGAs
Springer


Giorgos Dimitrakopoulos
Anastasios Psarras
Ioannis Seitanidis
Microarchitecture of Network-on-Chip Routers
A Designer's Perspective
Springer


An Authoritative Review of Network Programmability Technologies
SDN
Software Defined Networks
O'REILLY
Thomas D. Nadeau & Ken Gray

PLNOG