Felhő alapú hálózatok (VITMMA02)
SDN a felhőben

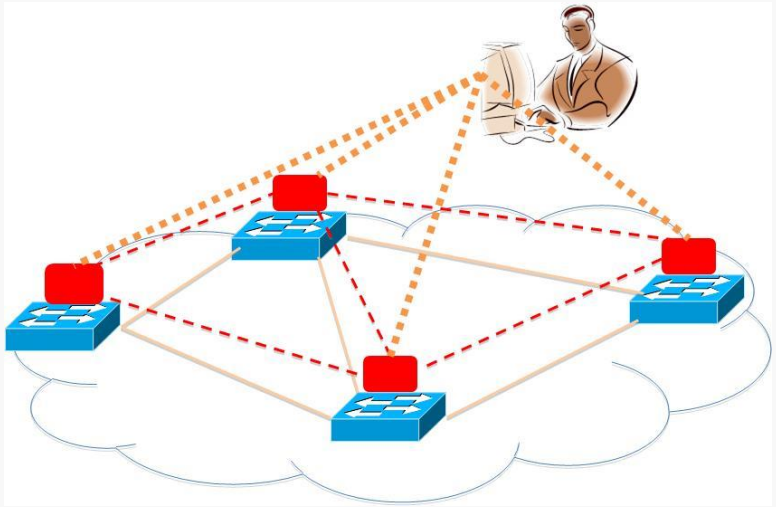
Dr. Maliosz Markosz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

2020. tavasz

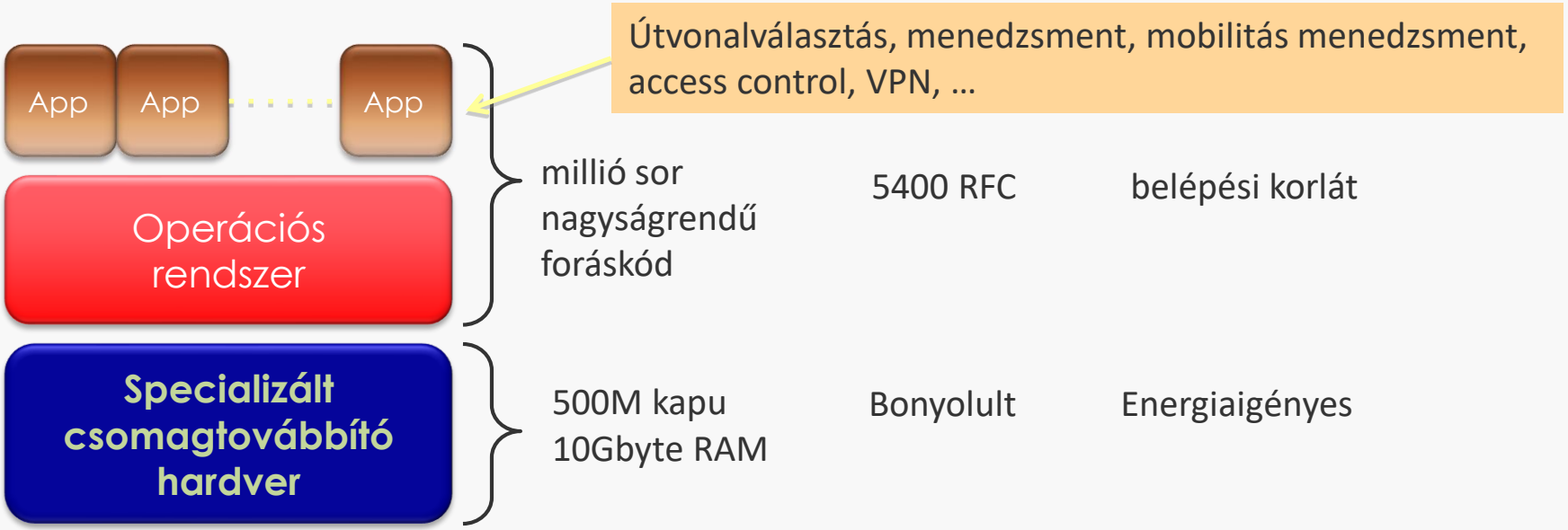
Hagyományos hálózatok

- Adat sík (Data plane): linksebesség időskálán működik (gyors)
  - csomagok kezelése: továbbítás, szűrés, pufferelés, jelölés, ütemezés, számlálók
- Vezérlő sík (Control plane): lassabb időskála (vezérlő üzenetek kezelése)
  - elosztott algoritmusok
  - topológia változósok követése, útvonalak számítása, továbbítási szabályok beállítása
- Menedzsment sík (Management plane): emberi időskála
  - központosított
  - mérések összegyűjtése és eszközök konfigurációja



Hálózat és hálózati eszköz architektúra

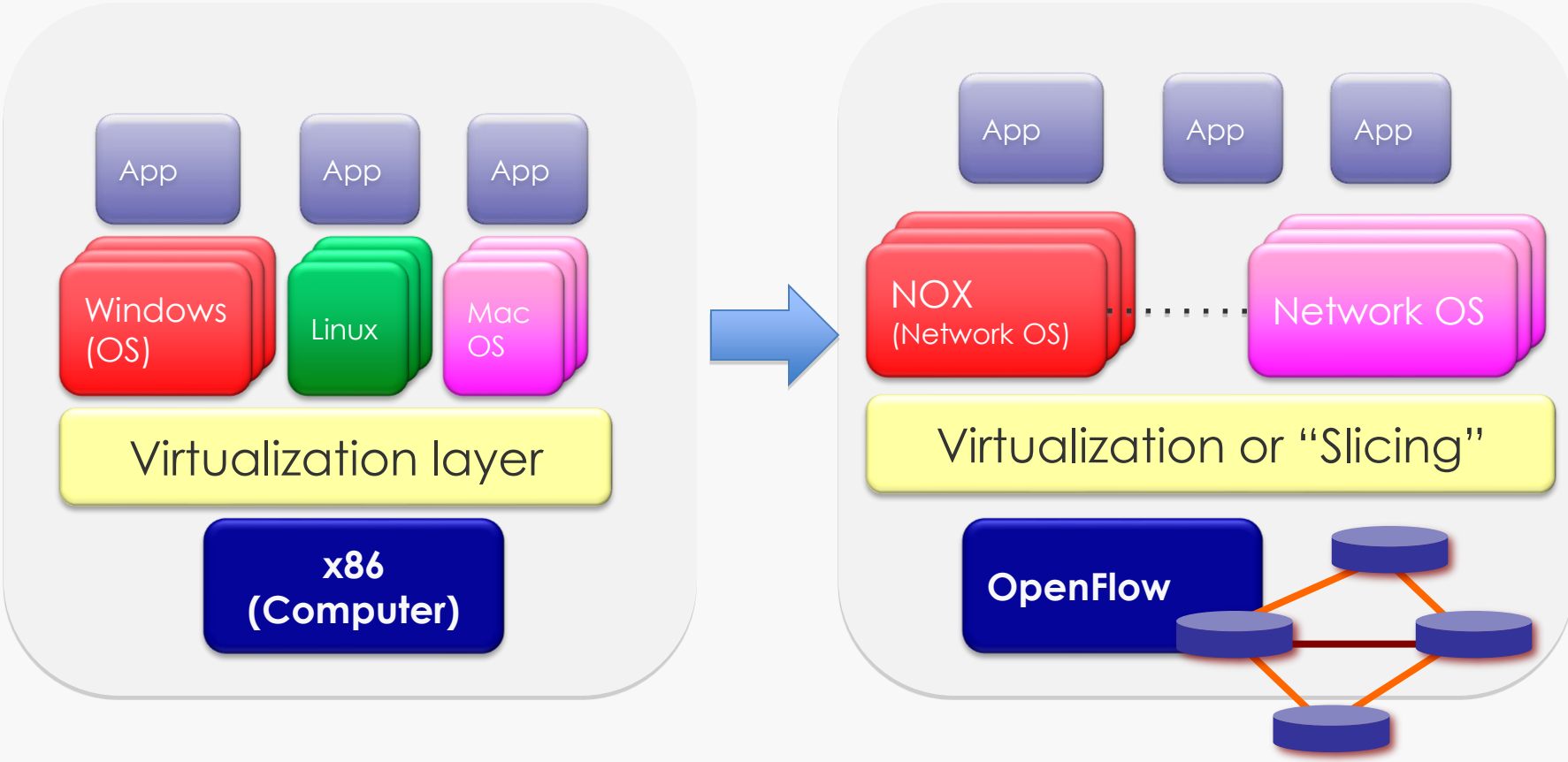
- Régen egyszerű volt: Ethernet, IP, TCP…
- Az új **vezérlési** igények nagyon bonyolulttá tették
  - Izoláció ⇨ VLAN, ACL
  - Traffic engineering ⇨ MPLS, ECMP, súlyok
  - Csomagfeldolgozás ⇨ Tűzfalak, NAT, middleboxes
  - Csomagtartalom elemzés ⇨ Deep packet inspection (DPI)
  - …
- Sok komplex funkció az infrastruktúra része lett
  - OSPF, BGP, multicast, differentiated services, Traffic Engineering, NAT, firewalls, MPLS, …
- „mainframe” mentalitás – monolitikus architketúra



Ideális és megvalósult architektúra

- Miért fontos a rétegek elválasztása?
  - szétválasztott szolgáltatások komponensekkel megvalósítva
  - független, de kompatibilis innováció lehetséges az egyes rétegekben
- Zárt architektúra
  - elmosódott határok, zárt interfészek
  - szoftver és hardver összekötve
  - függőlegesen integrált, komplex, zárt, egyedi, gyártó specifikus interfészek

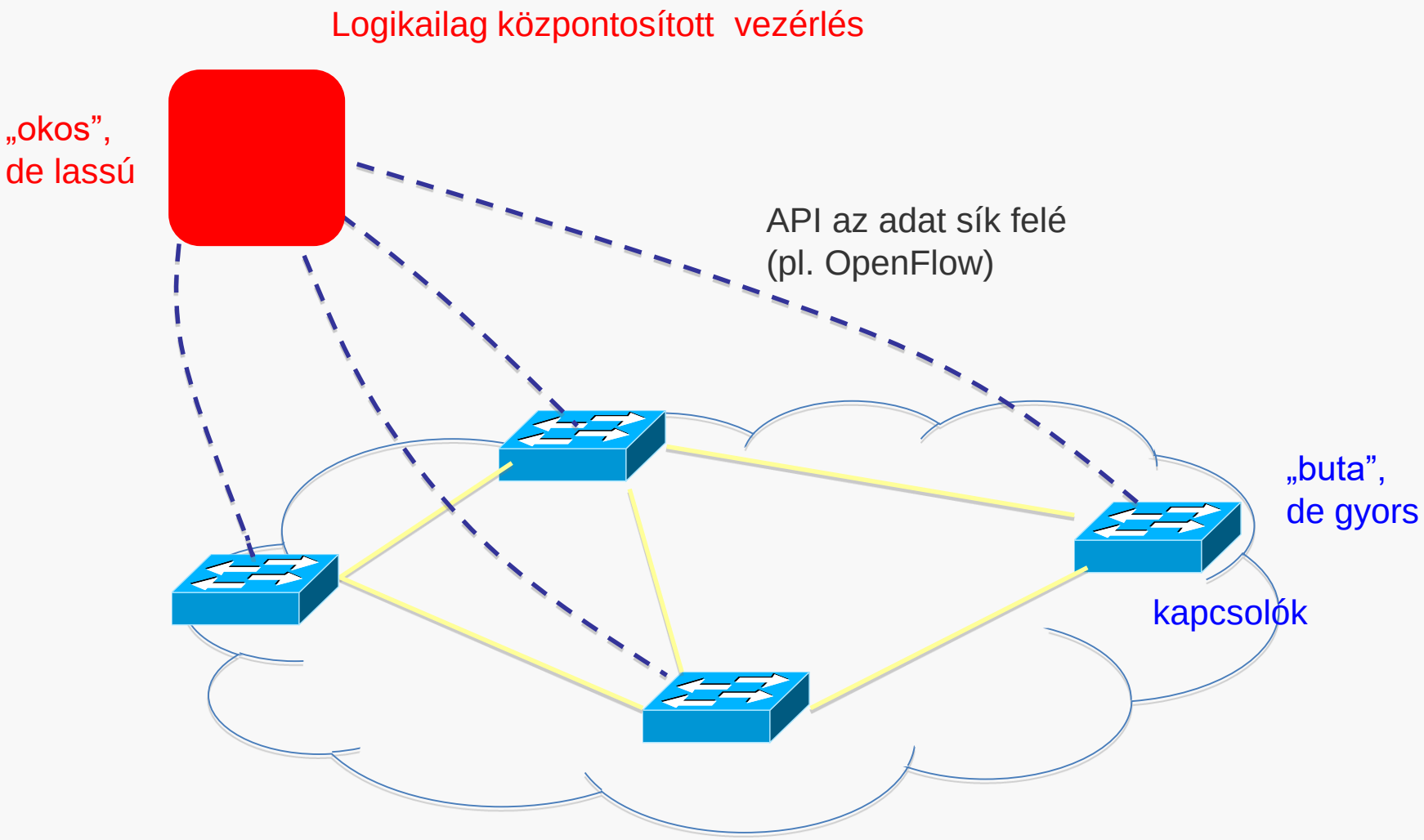
Hasonlóság a számítógép architektúrák



Számítógépek

Hálózatok

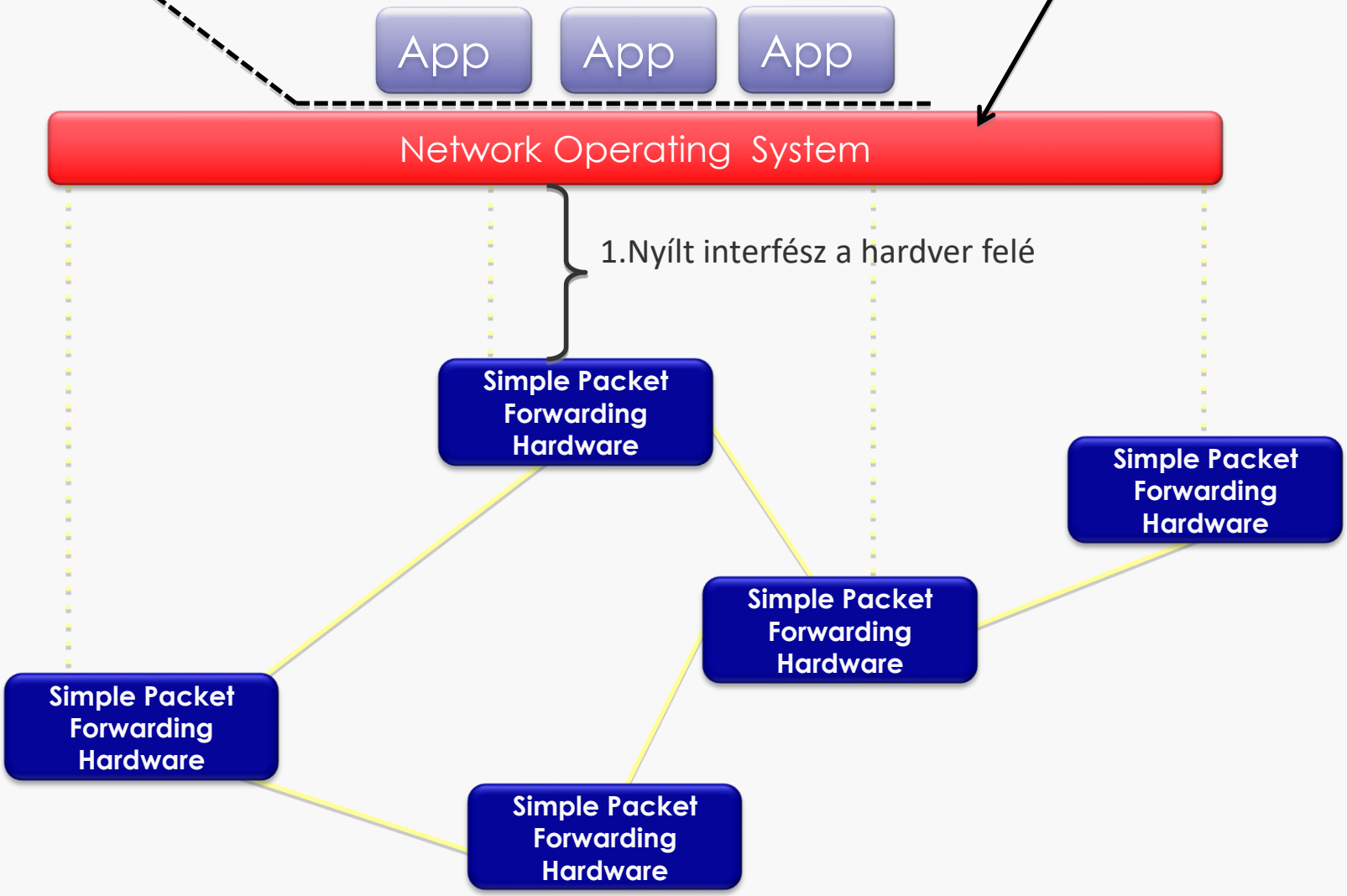
Szoftver Definiált Hálózatok (SDN)



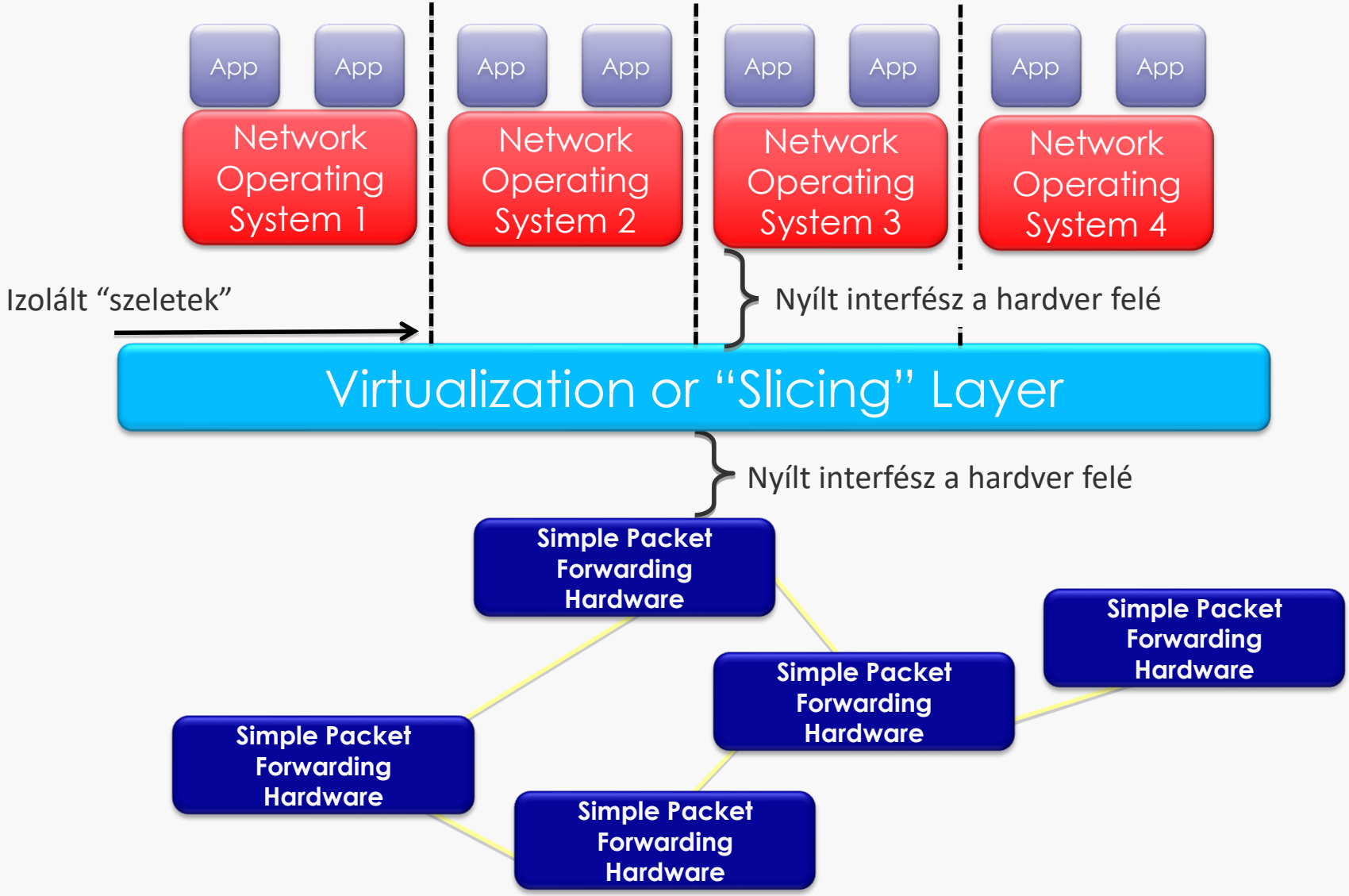
SDN komponensek

3. Jól definiált nyílt API

2. Operációs rendszer
Bővíthető, lehetőleg nyílt forráskódú

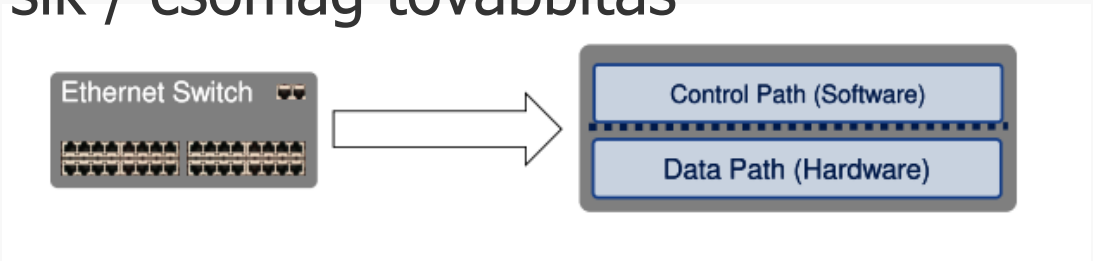


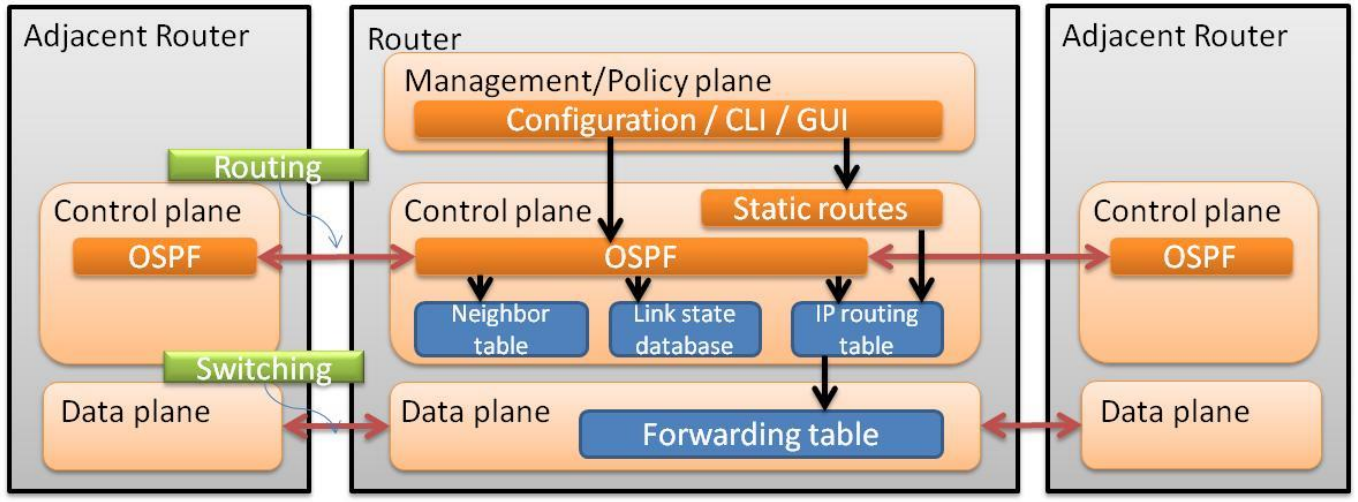
SDN virtualizáció



Hagyományos kapcsoló/útválasztó

- Működés szétbontható síkokra
  - Menedzsment sík / konfiguráció
  - Vezérlő sík / döntések
  - Adat sík / csomag továbbítás





SDN koncepció

- A vezérlő- és adatsík elemek szétválasztása
  - a hálózati intelligencia és állapot logikailag központosított
  - a vezérelt hálózati infrastruktúra *absztrakt* formában jelenik meg az alkalmazások számára
- A vezérlősík szoftver általános hardveren fut
  - leválasztás a speciális hálózati hardverről
  - általános szerverek alkalmazása
- Az adatsík programozható
  - Az adatsík felügyelete, vezérlése és programozás egy központi helyről
- Nem csak a hálózati eszközök, hanem az egész hálózat vezérelhető

Vezérlő szoftver program

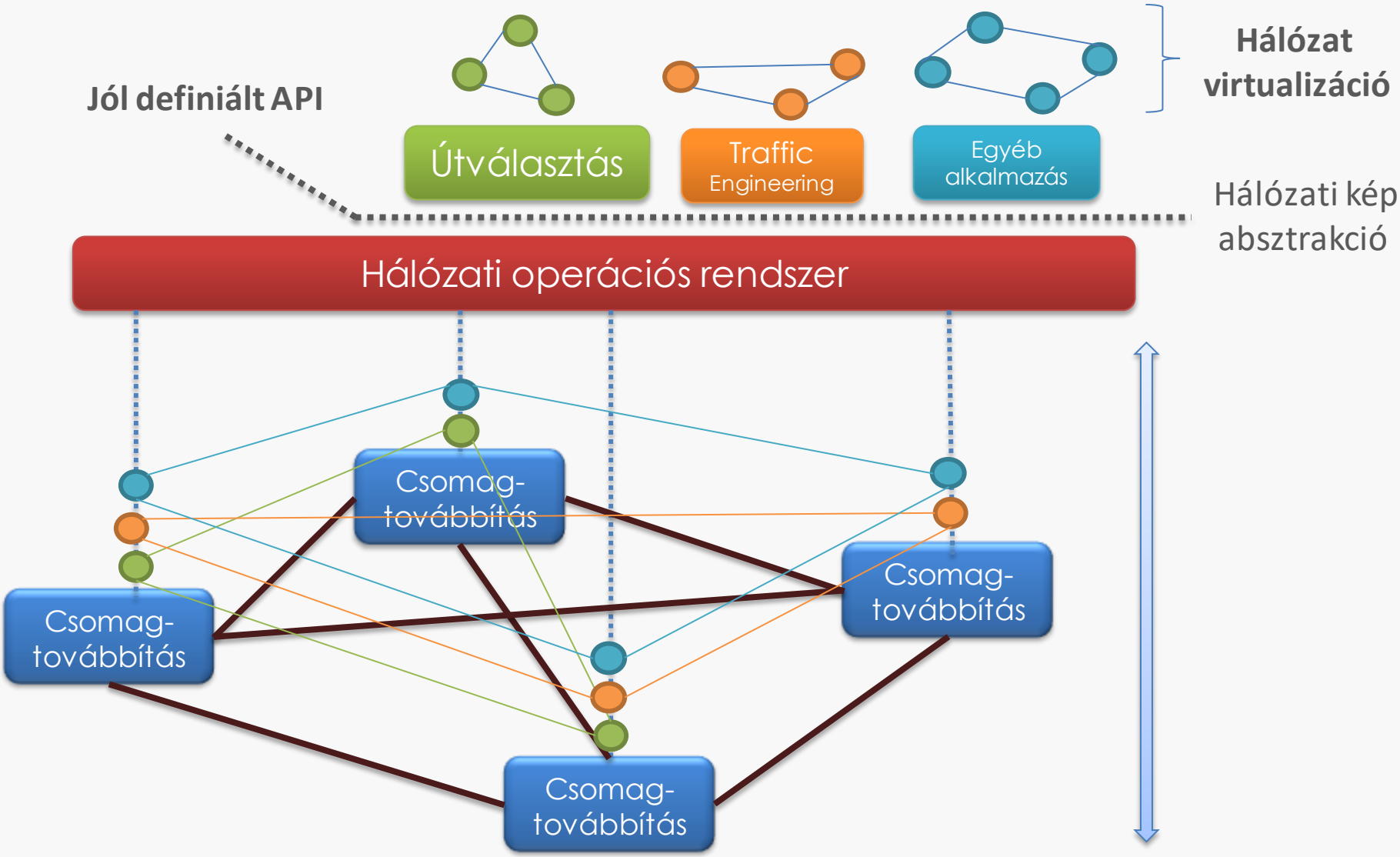
A vezérlő program az általa észlelt hálózati képen végez műveleteket

- **Bemenet**: globális hálózati kép (gráf/adatbázis)
  - API-n keresztül elérhető információkkal ellátott hálózati gráf
  - a kapcsolóktól érkező „események”
    - topológia változás
    - forgalmi statisztikák
    - érkező csomagok
- **Kimenet**: minden egyes hálózati eszköz beállítása
  - A vezérlő mechanizmus egy program, ami pl. egy gráf algoritmust valósít meg
  - Üzenetek küld a kapcsolóknak
    - szabályok beállítása, törlése
    - statisztikák lekérdezése
    - csomagok küldése

A vezérlő program **nem elosztott** rendszer

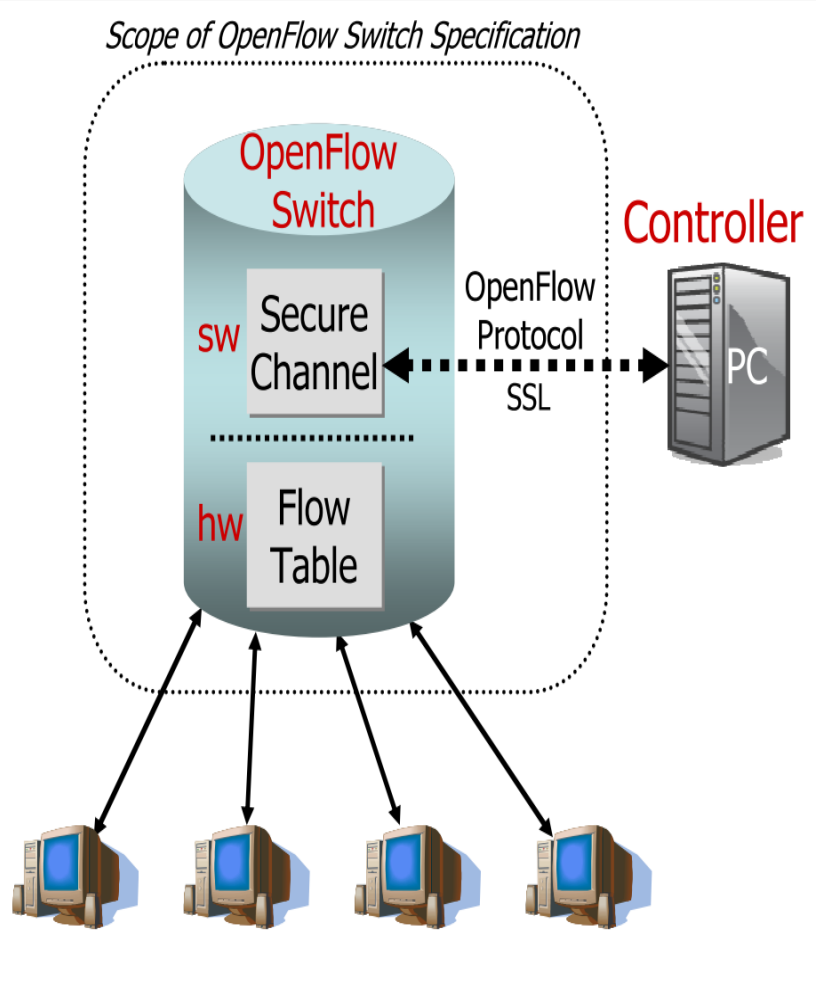
- az absztrakció elrejti az elosztott állapot részleteit

SDN absztrakció a vezérlő síkon



OpenFlow

- Nyílt interfész „fekete dobozként” kezelhető hálózati eszközökhöz (útválasztó, L2/L3 kapcsoló)
- Szeparált vezérlő és adat sík
  - Egy OpenFlow kapcsoló adat síkja tartalmazza a folyam táblázatot (Flow Table), és egy műveletet (action) minden bejegyzéshez
  - A vezérlő síkban: vezérlő (controller), amely a folyam bejegyzéseket felprogramozza
- Az OpenFlow tkp. egy standard interfész, amin keresztül hozzáadhatók és törölhetők bejegyzések egy Ethernet kapcsoló belső folyam táblázatához



OpenFlow eszközök

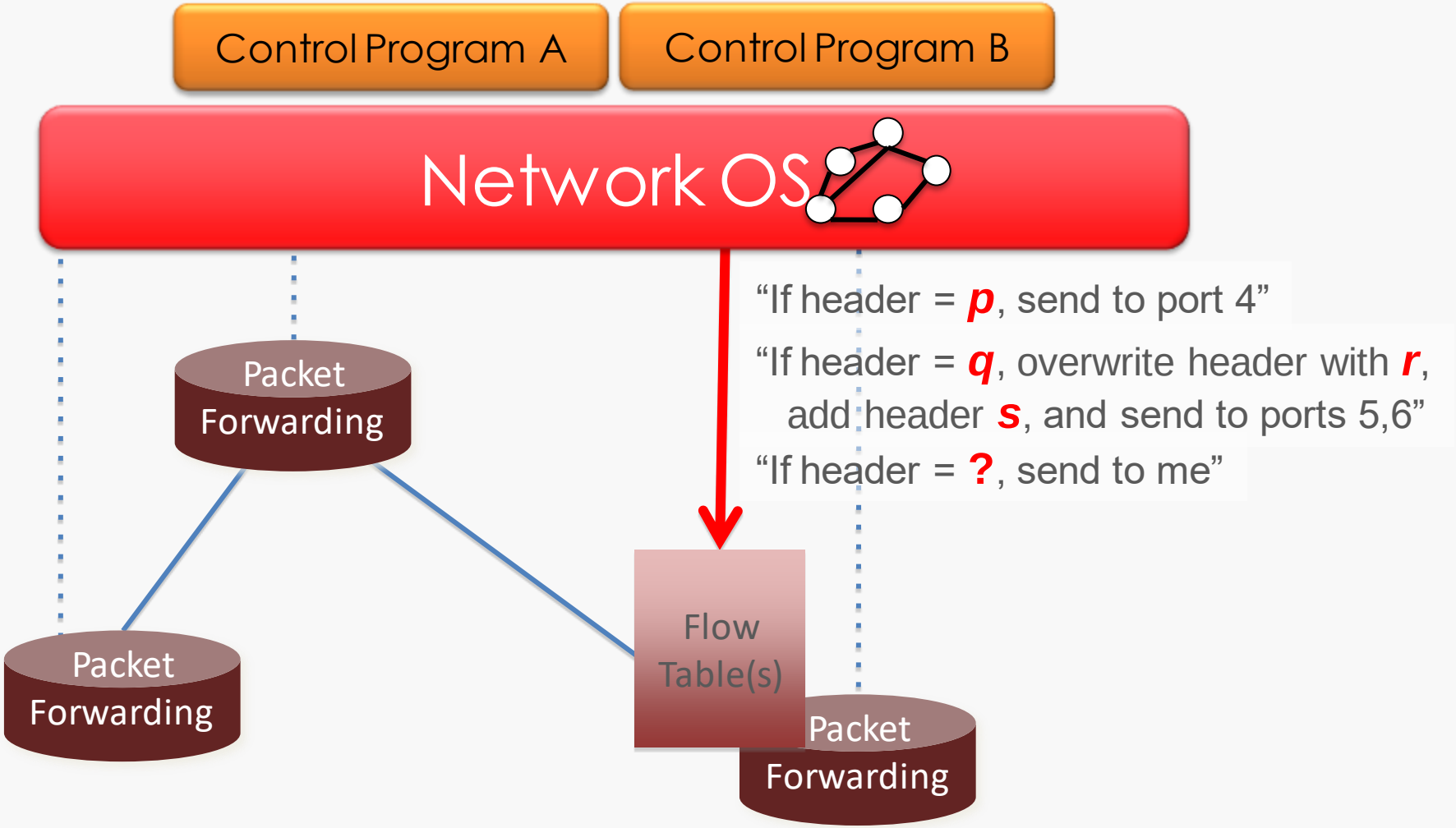
Vezérlő/NOS

- POX (Python)
  - általános SDN vezérlő
- NOX (C++)
  - az első OpenFlow controller
- Floodlight (Java)
  - ipari szintű megoldás
- OpenDaylight (Java)
  - NFV
- Ryu (Python)
  - nyílt forrású Network Operating System (NOS)
- ovs-controller (C)
  - referencia vezérlő az Open vSwitch-hez
- ...

Kapcsolók

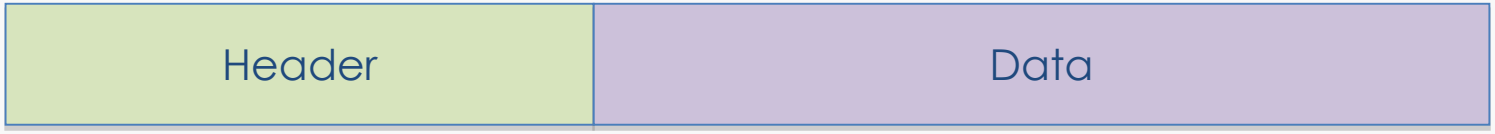
- Szoftveres kapcsolók
  - Stanford Reference Implementation v1.0
  - Open vSwitch
    - Linux-based Software Switch (Kernel Space implementáció)
    - Nem csak OF kapcsoló, hanem hypervisorokban is alkalmazott
- Szoftver → Hardver
  - Általános hardveren
    - OpenWRT-t futtatva
    - szoftveres kacsolók portolhatók
    - CPU-n futtatva
    - user space implementáció
  - NetFPGA-alapú implementáció
- Hardver kapcsoló gyártók
  - HP, Cisco, Juniper, IBM, Arista, NEC, Netgear, Pronto, ...

OpenFlow


Control Program A
Control Program B
Network OS
"If header = p, send to port 4"
"If header = q, overwrite header with r,
add header s, and send to ports 5,6"
"If header = ?, send to me"
Packet Forwarding
Packet Forwarding
Flow Table(s)
Packet Forwarding

OpenFlow szabályok, műveletek

- Egyszerű csomagkezelési szabályok
  - <Header match, Action>
  - <Fejléc illeszkedési minta, művelet>
  - tetszőleges bitminta megadható:

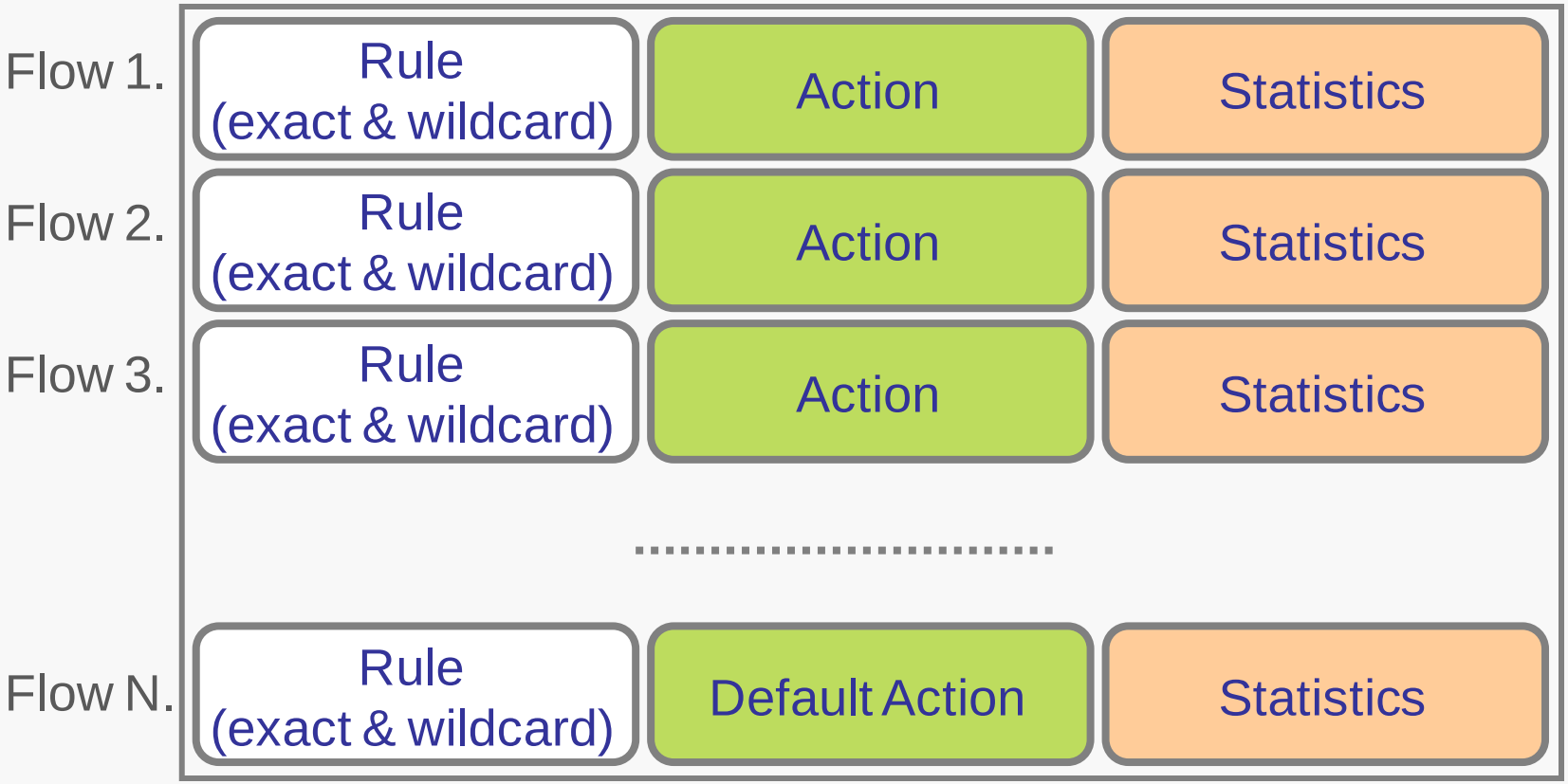


Match: 1000x01xx0101001x

- Művelet (action)
  - Továbbítás megadott port(ok)ra, eldobás, továbbküldés a vezérlőnek
  - Fejléc felülírás, hozzáadás (push), levétel (pop)
  - Továbbítás megadott bitsebességgel

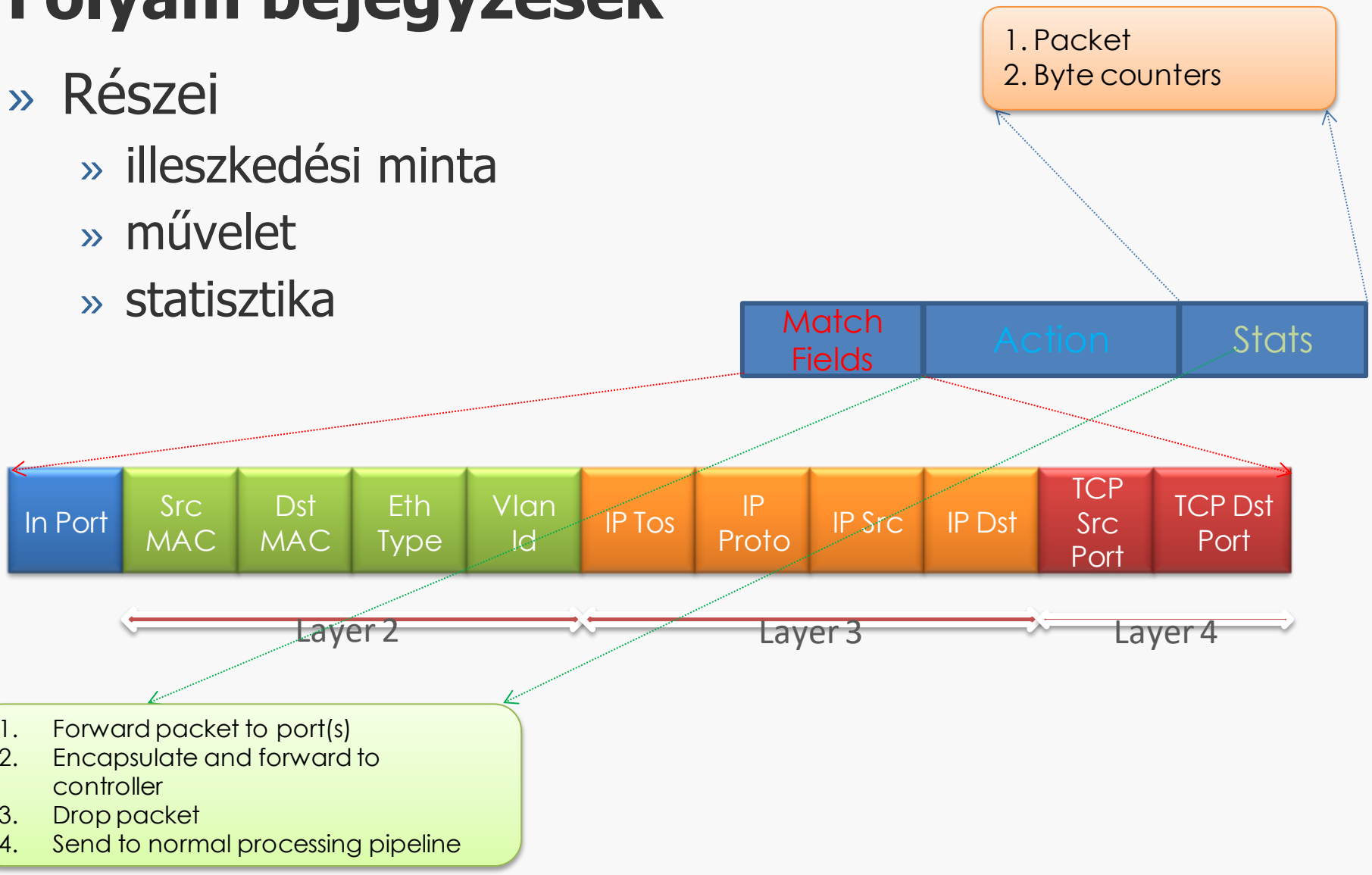
Folyam táblázat

- Lehet több is, át lehet irányítani egyikből a másikba a feldolgozást



Folyam bejegyzések

- Részei
  - illeszkedési minta
  - művelet
  - statisztika



Pédák 1.

Ethernet kapcsolás

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Action
*	*	00:1f:..	*	*	*	*	*	*	*	port6

Folyam szintű kapcsolás

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Action
port3	00:20..	00:1f..	0800	vlan1	1.2.3.4	5.6.7.8	4	17264	80	port6

Tűzfal

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Action
*	*	*	*	*	*	*	*	*	22	drop

Pédák 2.

Útvonalválasztás

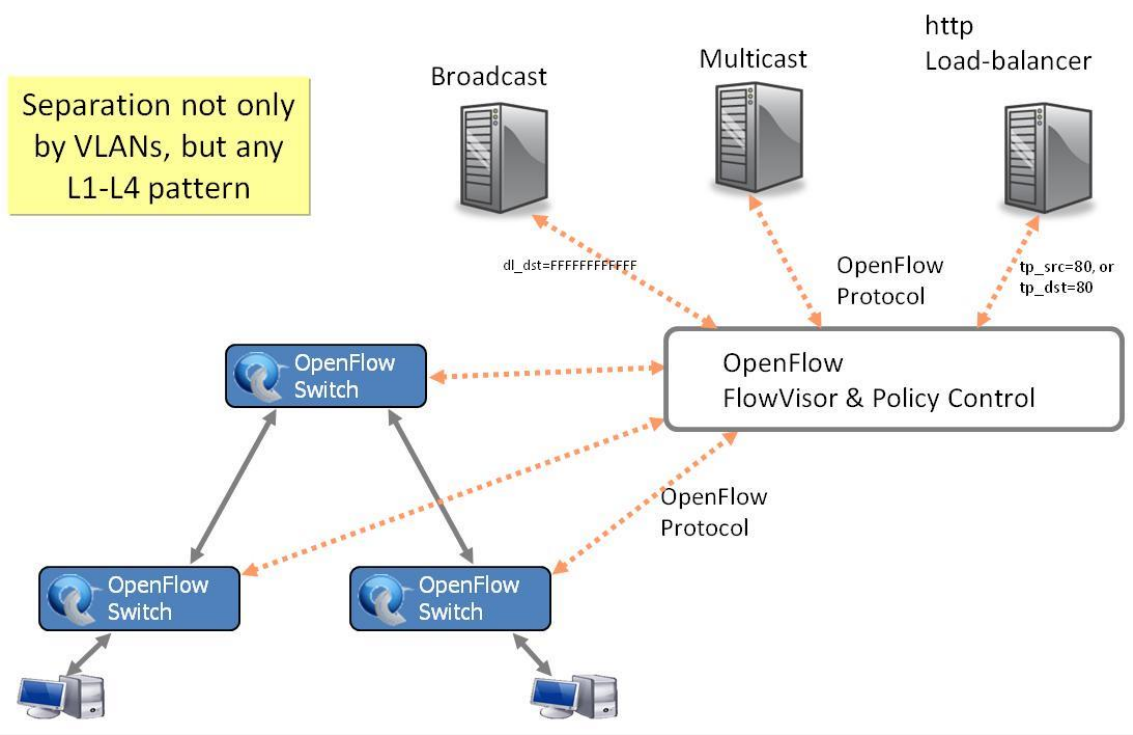
Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Action
*	*	*	*	*	*	5.6.7.8	*	*	*	port6

VLAN kapcsolás

Switch Port	MAC src	MAC dst	Eth type	VLAN ID	IP Src	IP Dst	IP Prot	TCP sport	TCP dport	Action
*	*	00:1f..	*	vlan1	*	*	*	*	*	port6, port7, port9

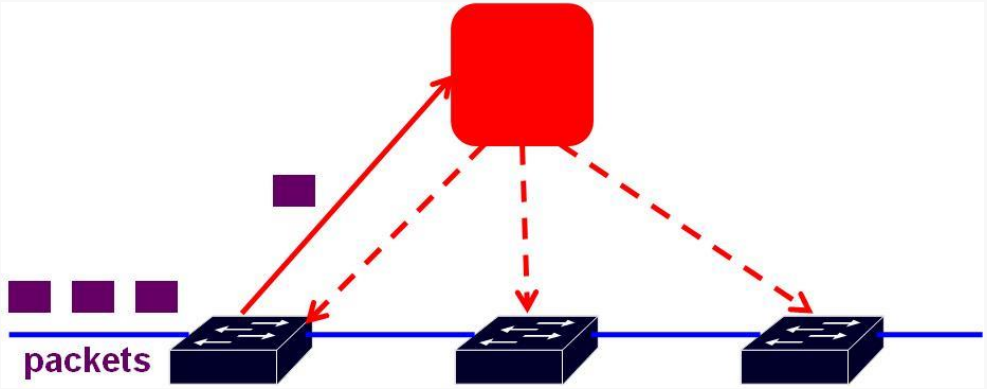
Izolált szeletek

- proxy a vezérlő és az adat sík között
- hardver erőforrások szeletekhez rendelése
- topológia felderítés szeletenként



Folyam szintű csomagkezelés: reaktív

- folyam első csomagja a vezérlőhöz továbbítva
- a vezérlő felprogramozza a folyamnak megfelelő szabályokat az adatsíkon
  - rendszerint egy szabály, de lehet több is (lista)
- a vezérlő visszaküldi az első csomagot a hálózati eszköznek
- a folyam további csomagjai a felprogramozott szabályok alapján továbbítódnak

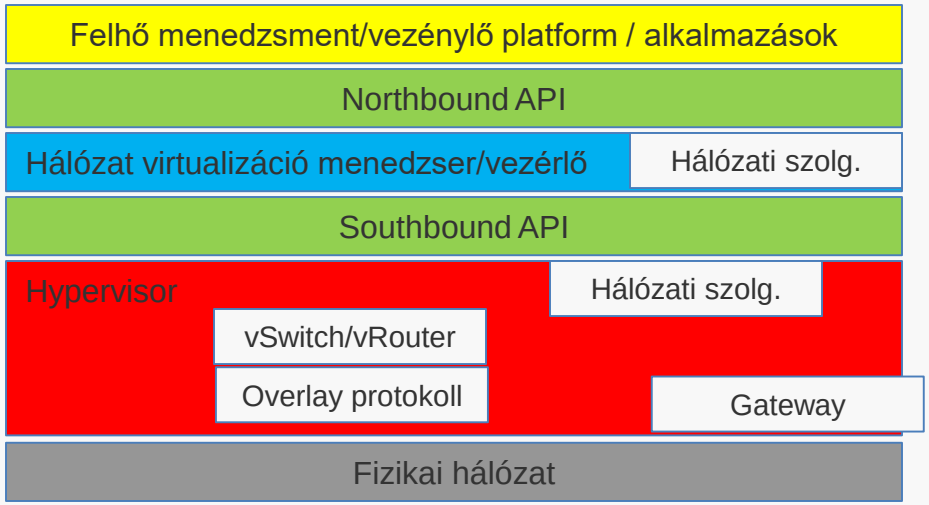


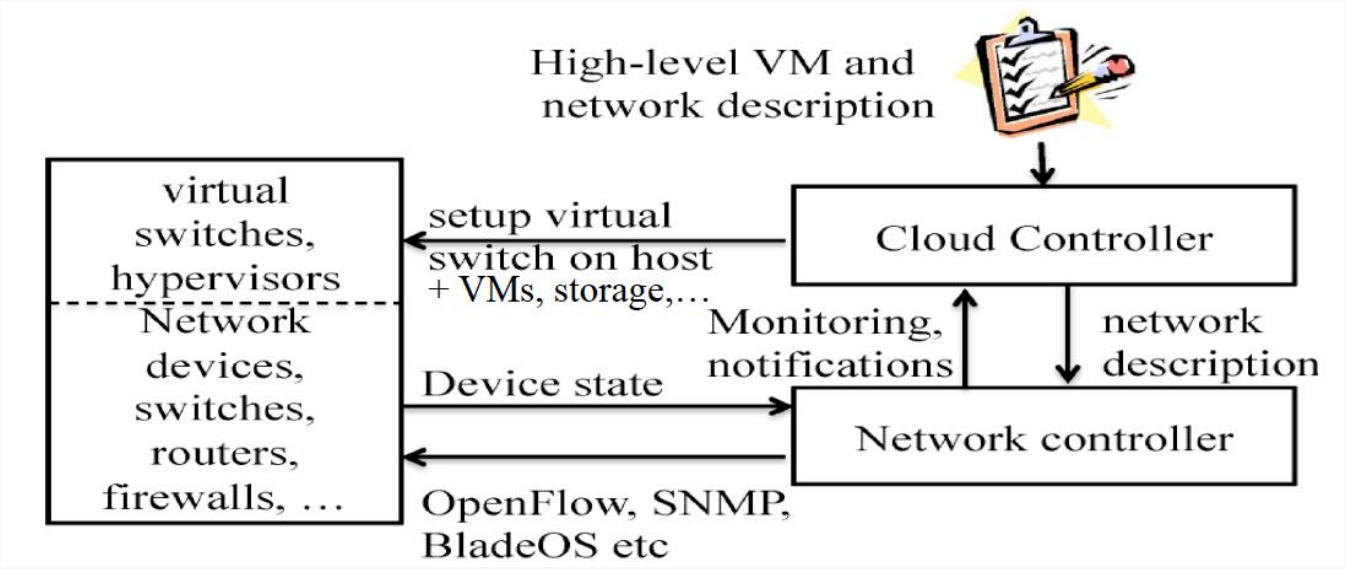
SDN a felhőben

- Reaktív végpont-végpont hálózatok helyett…
  - első csomag a vezérlőhöz ⇨ késleltetés
  - végpont-végpont: sok bejegyzés, skálázhatósági probléma
  - előfizetők/VM-ek változása minden kapcsolót érint
- …proaktív fedőhálózat (overlay)
  - a fizikai hálózat L2/L3 összeköttetést biztosít
  - a vezérlő előre felprogramozza az eszközöket ⇨ kis késleltetés
  - alagutak: előfizető állapot csak a végpontokban (hypervisor virt. kapcs. / útválasztó), skálázható
  - kevesebb bejegyzés a továbbítási táblázatokban
    - nem a VM-ek, hanem csak fizikai szerverek közötti kapcsolatok
  - előfizetők változása a fizikai hálózatot nem érinti

Felhő menedzsment és SDN

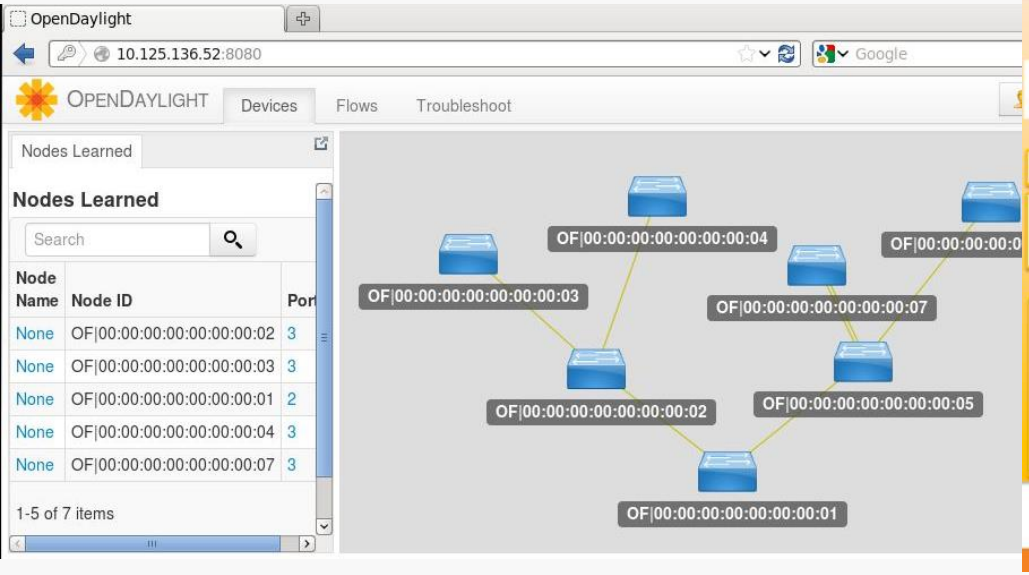
- Orchestration (vezénylés): OpenStack biztosítja
  - magasabb szintű absztrakció
    - a virtuális erőforrásokat látja
  - nem csak a hálózat, hanem egy teljes alkalmazás rendszer
    - VM-ek, háttértárak, stb. + hálózat
  - CLI vagy horizon dashboard
  - automatizált: Heat
    - sablonok
- SDN
  - a fentiek alacsonyabb szintű hálózati megvalósítása

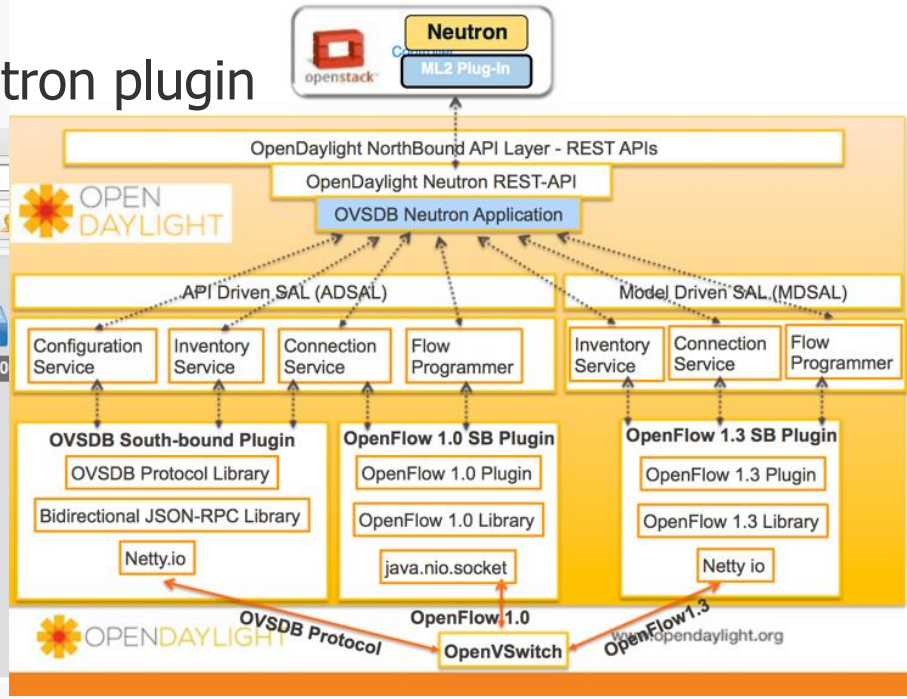




OpenStack

- OVS Neutron plugin
  - OpenFlow a virtuális kapcsoló táblázatok felprogramozására
    - VM MAC címe és a szerver hypervisor transzport IP címe közötti leképezés – ezt a vezénylés (orchestration) számára ismert
    - proaktív
    - északi interfész (northbound): Neutron
    - déli interfész (southbound): OpenFlow
- Lehet más SDN vezérlő plugin
  - pl. OpenDaylight OpenStack Neutron plugin





SND a felhőben

- Nem csak a virtuális kapcsolók/útválasztók beállítására, hanem a fizikai hálózati eszközökre is

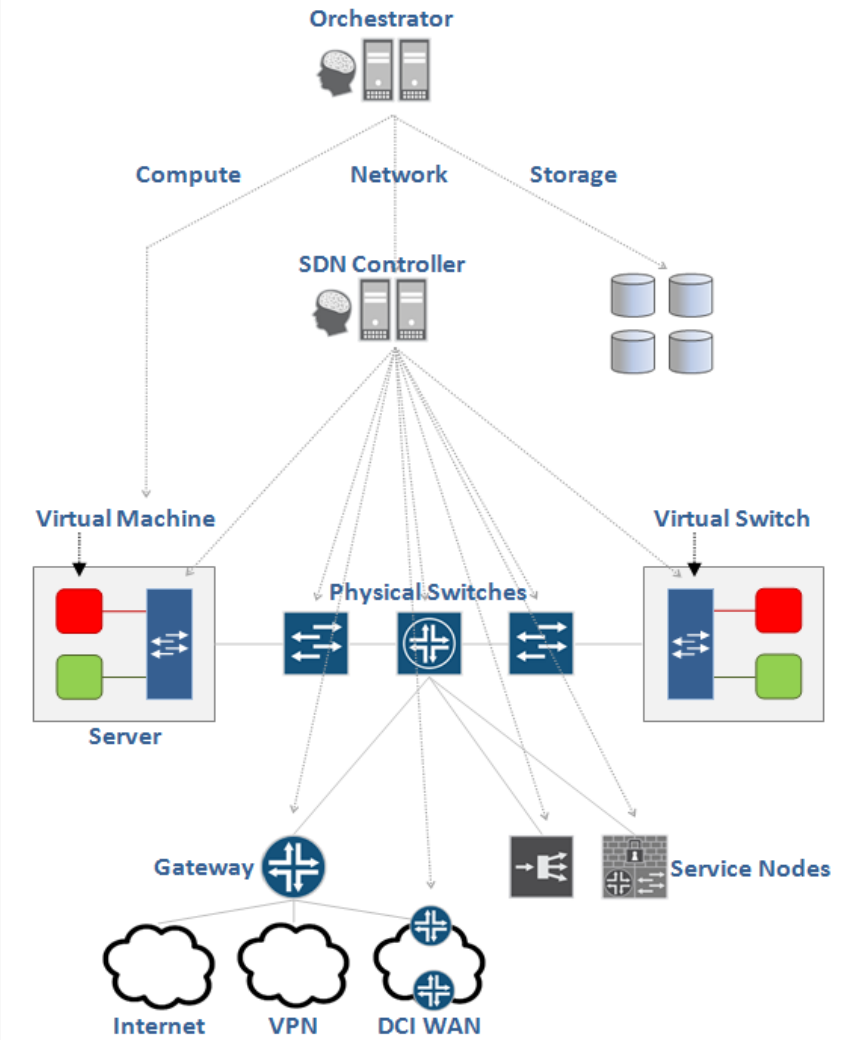


Figure 22: The Role of Orchestration in the Data Center

Forrás: http://www.opencontrail.org/opencontrail-architecture-documentation/

Adatközpont hálózati követelmények

- Kapcsolók konfigurációjának és állapotának minimalizálása
  - automatizálás, amennyire lehetséges
- Hatékony forgalom továbbítás, nagy teljesítmény
  - ne legyen hurok
  - alkalmazkodás a forgalmi változásokhoz
  - ügyfél SLA betartása
- VM migráció gyorsan és könnyen
  - transzparens migrálás
- Gyors, hatékony hiba felderítés/elhárítás
  - elég gyakori a nagy méretből adódóan
  - a hálózatnak is igazodnia kell a hibaelhárításhoz

Tradícionális megoldások

- Layer 3
  - + hierarchikus címzés ⇨ kis továbbítási táblázatok
  - + OSPF gyors hibakezelés
  - + IP TTL: hurkok kivédése
  - - magas az adminisztrációs teher (alhálózatok konfigurálása, DHCP, stb.)
- Layer2
  - + Flat MAC címzés (helyfüggetlen)
  - + hurkok kivédése: STP
  - + kevesebb az adminisztrációs teher
  - - broadcast forgalom (nem jól skálázható)
  - - STP nem tudja kihasználni a teljes topológiát
- VLAN
  - skálázhatóság (max. 4K)
  - statikus konfigurációból származó hátrányok

SDN megoldás

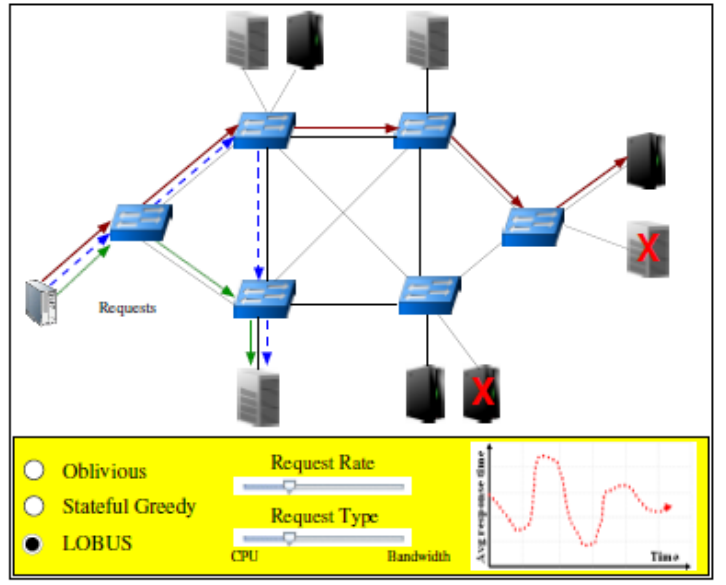
- a vezérlő teljes hálózati képet kap
  - eszközök felderítése
  - MAC, IP címek, kapcsolatok
- a vezénylés által adott feladat alacsonyabb szintű hálózati megvalósítása
- gyors és dinamikus hálózat kialakítás
  - rugalmas: ügyfelek által megadott módon
  - automatizált hálózati erőforrás kiosztás/kezelés
  - forgalmi terhelés optimalizálása, akár adatközpontok között
- skálázhatóság
- NFV

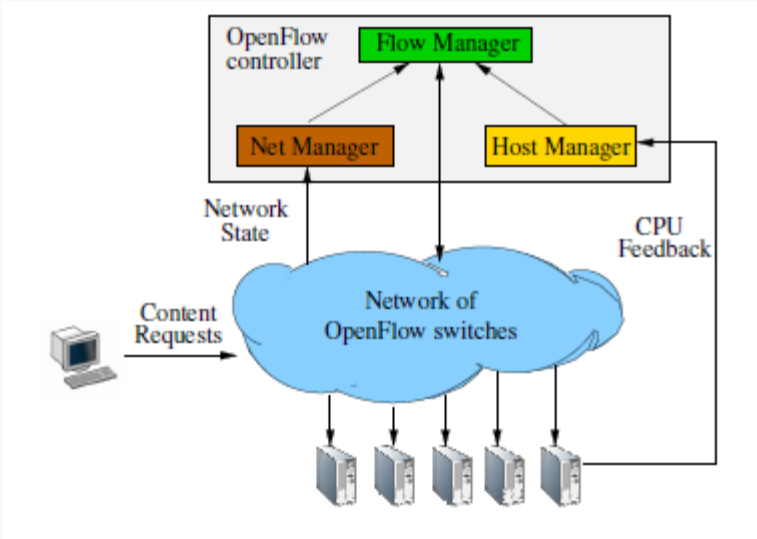
Felhő specifikus feladatok

- terheléskiegyenlítés (Load Balancing – LB)
- adatközpontok közötti alagút
- VM migrálás
- skálázható csomagtovábbítás

Terheléskiegyenlítés

- Dinamizmus
  - az OpenFlow bejegyzésekhez időzítő tartozik
- Terheléskiegyenlítéshez szükséges műveletek
  - a publikus IP cím átírása a kiszolgáló IP címére
  - a kiszolgálóhoz tartozó kimeneti portra továbbítás
  - az ellenkező irányba fordítottan ugyanez
- Megoldandó
  - hash alapú útválasztás
  - TCP flag vizsgálat az új folyamok megkülönböztetésére
- Plug-n-Serve: Load-Balancing Web Traffic using OpenFlow
  - terheléskiegyenlítés a hálózat és a kiszolgálók terhelése alapján, elosztott módon

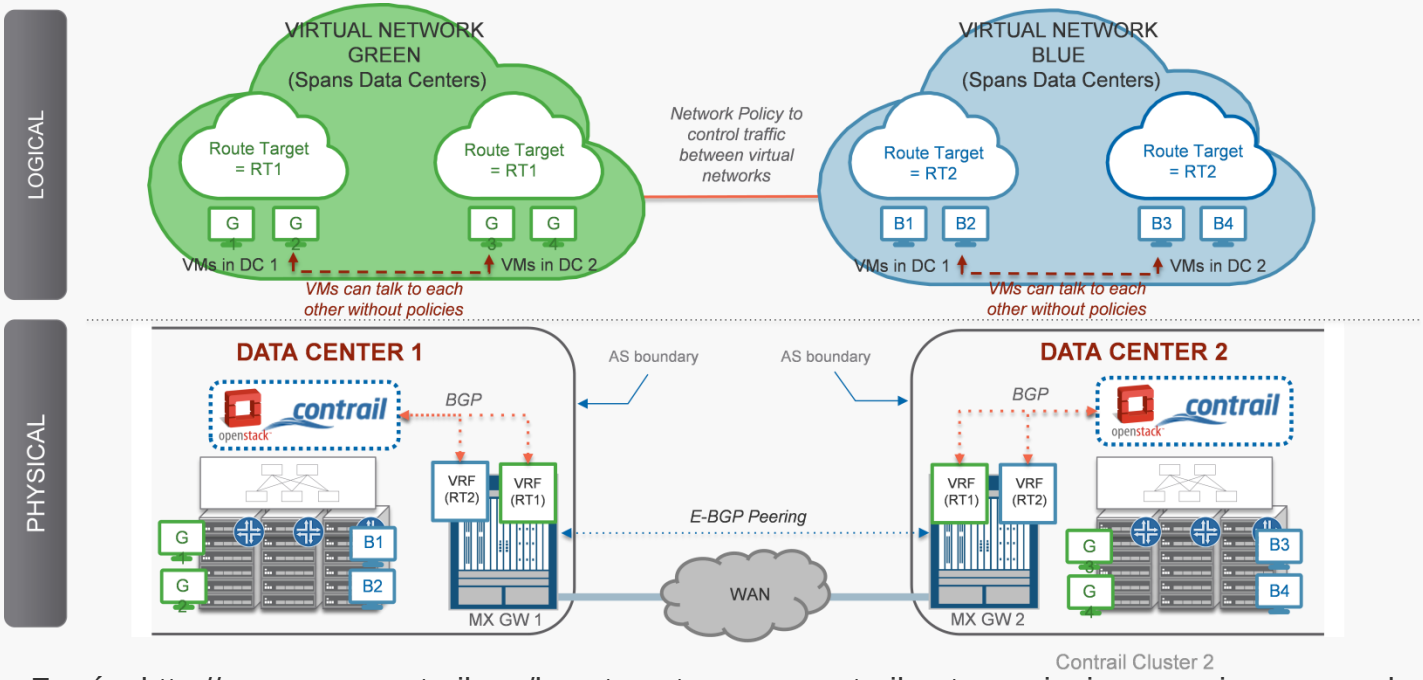




Forrás: http://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2009/demos/sigcomm-pd-2009-final26.pdf

SDN adatközpontok közötti forgalomra

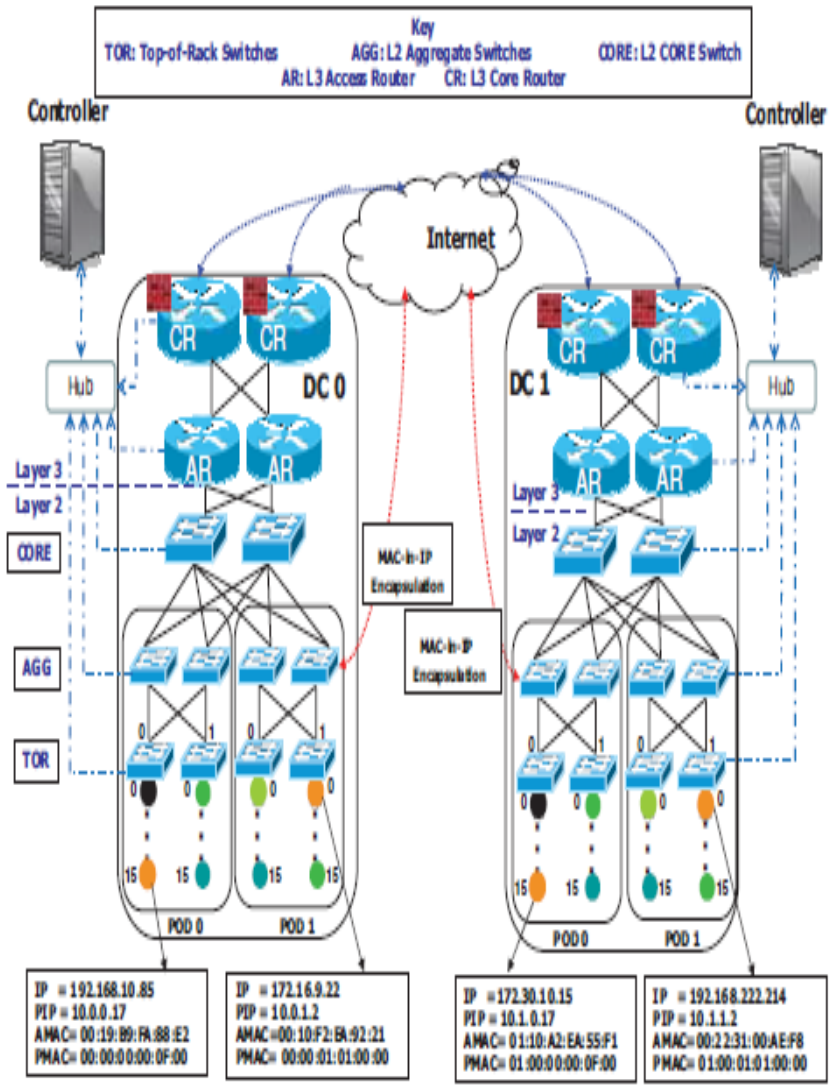
- Forgalom
  - cloud bursting
  - földrajzi szempontok a terheléskiegyenlítésben
- Alagutak kiépítése reaktív módszerrel
  - multipath
  - útvonalak változtatása = fejlécek átprogramozása menet közben



Forrás: http://www.opencontrail.org/how-to-setup-opencontrail-gateway-juniper-mx-cisco-asr-and-software-gw/

VM migrálás

- Okai
  - karbantartás, terheléskiegyenlítés
  - VM-ek összerendezése (energiatakarékosság)
  - katasztrófa elhárítás: teljes alkalmazás rendszer áttelepítés
- Másik alhálózatba migrálás nehézségei
  - hierarchikus IP címzés
  - kézi átkonfigurálás nem életképes megoldás
  - az élő TCP kapcsolatok ne szakadjanak meg
- CrossRoads
  - helyfüggetlenség: pszeudo MAC (PMAC) és IP címek (PIP)
  - SDN vezérlő kezeli az összerendeléseket



Forrás: Mann, V.; Vishnoi, A; Kannan, K.; Kalyanaraman, S., "CrossRoads: Seamless VM mobility across data centers through software defined networking," *Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2012 IEEE , vol., no., pp.88,96, 16-20 April 2012*

SDN skálázhatóság

- Kihívás a vezérlő sík számára
  - VM-ek száma, ügyfél szabályok, SLA-k, folyamok száma, stb.
- multi domain környezetben vezérlők szövetsége (federation)
  - információcsere
  - állapotok megosztása
  - könnyen bővíthető
- NEC 2014. tesztek
  - Trema OpenFlow vezérlő
  - Layer 2 hálózatok VXLAN technológiával
  - vezérlő terheléskiegyenlítéssel: több kiszolgáló
    - egy kiszolgáló 410 kapcsolót kezel, lineáris skálázódás
  - 16 000 virtuális hálózatot kezel
    - 1024 kapcsoló, mindegyiken 128 VM
  - konstans 4 mp egy virtuális hálózat kialakítása

Alkalmazások

- Amazon, Google, Facebook, Microsoft Azure
  - saját egyedi SDN megoldások
- Google inter-datacenter WAN: SDN + OpenFlow
  - központosított forgalom szervezés (traffic engineering)
  - hálózati költségek csökkentése
- NEC által telepített adatközpontokban
  - költségek csökkentése
- VMware
  - Nicira (SDN, hálózat virt.)
    - Network Virtualization Platform (NVP): overlay hálózati technológia ⇨ VMware NSX

Források

- Nick McKeown (Stanford University),"Software-defined Networking", Infocom Keynote Talk, April 2009, Rio de Janeiro, Brazil
- Srini Seetharaman, OpenFlow/SDN tutorial, Nov 2011
- Jennifer Rexford (Princeton University), Computer Science 461: Computer Networks, Software Defined Networking
- Matt Davy (Indiana University), Software Defined Networking & OpenFlow, GENI Workshop, July 7th, 2011
- Open Networking Foundation, https://www.opennetworking.org/
- http://www.openflow.org/
- CHIBA Yasunobu, SUGYOU Kazushi, „ OpenFlow Controller Architecture for Large-Scale SDN Networks”, NEC Technical Journal/Vol.8 No.2/Special Issue on SDN and Its Impact on Advanced ICT System, 2014