

# **ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ - NETWORK MANAGEMENT**

**Ενοποιημένες Τηλεπικοινωνιακές Υποδομές - Integrated Communication Infrastructures**

**Ολοκληρωμένες Πλατφόρμες Διαχείρισης - Integrated Management Platforms**

**Οπτική Ιεραρχία SDH - Optical Transmission Hierarchy**

**Ευρυζωνική Πρόσβαση - Next Generation Access**

**Ενοποιημένες Πλατφόρμες Διαχείρισης - Integrated Management Platforms**

**Διαχείριση Κατανεμημένων Υπηρεσιών - Service Management, Nagios**

**Σύγκλιση Επικοινωνιών - Fixed Mobile Convergence**

**Προγραμματιζόμενες Ευφυείς Δικτυακές Υποδομές - SDN Infrastructures**

**B. Μάγκλαρης**

**[maglaris@netmode.ntua.gr](mailto:maglaris@netmode.ntua.gr)**

**[www.netmode.ntua.gr](http://www.netmode.ntua.gr)**

**10/1/2022**

# ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - Data Plane (1/5)

## Μέθοδοι Μεταγωγής – Switching Methods

- Προώθηση (forwarding) μέσω καναλιών σταθερού εύρους: **Μεταγωγή κυκλώματος - circuit switching** π.χ. Παραδοσιακή Τηλεφωνία **POTS** (Plain Old Telephone Service) ή **PSTN** (Public Switched Telephone Network), κινητή τηλεφωνία **GSM**
- Προώθηση με ημι-μόνιμα κυκλώματα **cross-connects**, π.χ. ευφυείς πολυπλέκτες TDM (64Kbps – 34 Mbps), δακτύλιοι **SDH/SONET με εφεδρεία** (έως 10 Gbps) & οπτικοί πολυπλέκτες χρώματος **DWDM** (έως 80 χρώματα, 10 - 100 Gbps/χρώμα)
  - Διαμόρφωση πλαισίων TDM: ITU-T SDH/GFP framing (από STM-1=155 Mbps → STM-, εφεδρεία ring protection, VC-4 (150 Mbps) virtual concatenation (π.χ. VC-4-7v = 7 x VC-4 → 1 Gbps)
  - Optical Digital Wrapper (ITU-T G.709: 2.5, 10, 40, 100 Gbps + **Forward Error Correction - FEC**)
- Κωδικοποίηση σε πακέτα/πλαίσια Ethernet, WiFi (IEEE 802.11), MPLS, TCP/IP
- Προώθηση πακέτων δεδομένων δια μέσου μεταγωγέων (switches) & δρομολογητών (routers): **Μεταγωγή πακέτου – packet switching** για δυναμική κατανομή δικτυακών πόρων με στατιστική πολυπλεξία
  - Μεταγωγή επιπέδου 3 (TCP/IP, Internet)
  - Μεταγωγή επιπέδου 2 (Ethernet)
  - Μεταγωγή επίπεδου 2 ½ (MPLS)

# ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - Data Plane (2/5)

## Οπτικά Δίκτυα Κορμού - Σύγχρονες Ιεραρχίες Δακτυλίων TDM: SONET (ANSI T1.105) & SDH (ITU-T G.707, G.708)

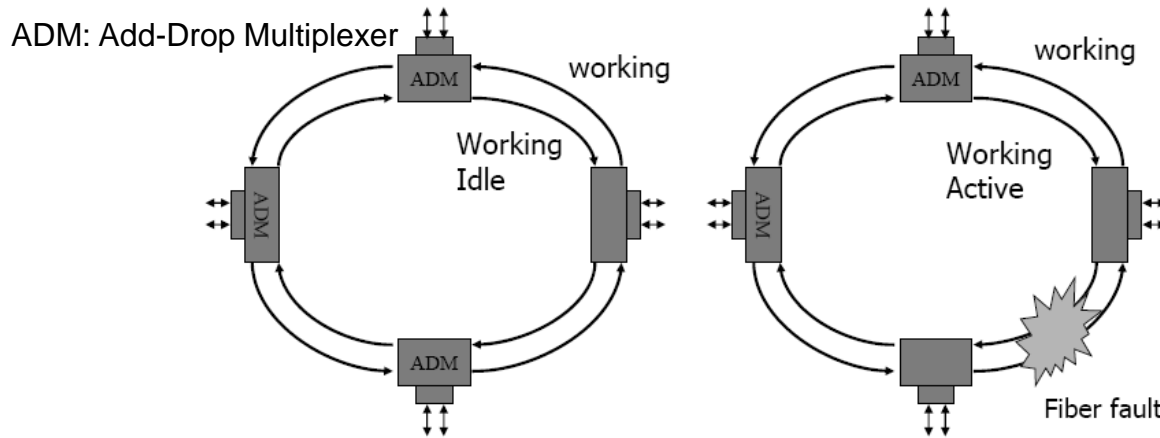
Περιοδικότητα Πλαισίου: 125  $\mu$ sec από φωνή PCM 64 Kbps

<b>SONET Frame Format</b> (Synchronous Optical Networking)	<b>SDH</b> (Synchronous Digital Hierarchy)	<b>SONET Optical Carrier Level</b>	<b>LINE RATE</b> (Mbps)
STS-1	-	OC-1	51.85
STS-3	STM-1	OC-3	155.52
STS-12	STM-4	OC-12	622.08
STS-48	STM-16	OC-18	2488.32
STS-192	STM-64	OC-192	9953.28

# ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - Data Plane (3/5)

## Αυτόματη Αντίδραση σε Βλάβες Οπτικών Δακτυλίων SDH Protection

### 1+1 SDH Protection

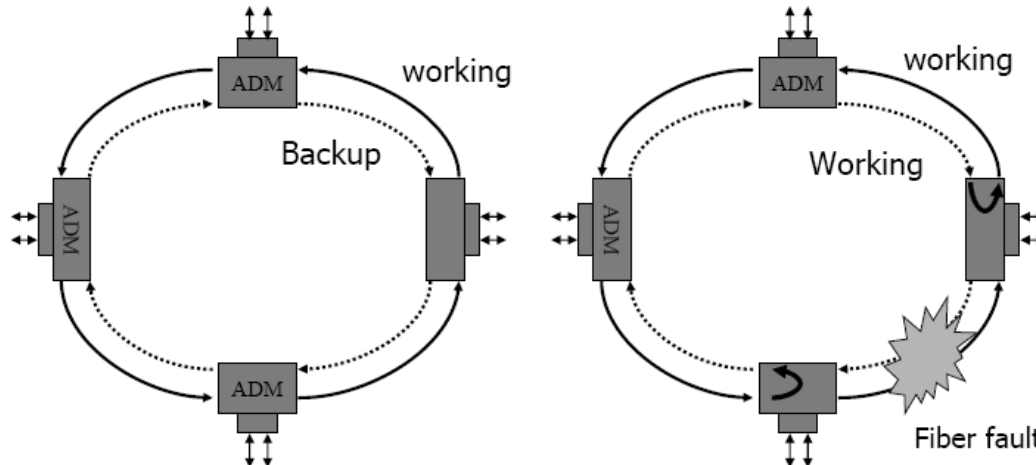


ΠΡΙΝ ΤΗ ΒΛΑΒΗ

ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΛΑΒΗ (FIBER CUT)

Χρόνος Αντίδρασης  
σε Βλάβη: **50 msec**

### 1:1 SDH Protection



# ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - Data Plane (4/5)

## Ψηφιακή Ενσύρματη Πρόσβαση – Wired Digital Local Access

**ISDN** (Integrated **S**ervices **D**igital **N**etwork): Πρόσβαση ψηφιακών καναλιών PCM @ 64 Kbps με σύγχρονη πολυπλεξία χρόνου (TDM)

- Basic Rate 2B+D
- Primary Rate 30B+D

**ADSL, VDSL, VDSL2 Vectoring** (**A**symmetric **D**igital **S**ubscriber **L**ine, **V**ery high bit rate **D**igital **S**ubscriber **L**ine): Βασική Ψηφιακή Πρόσβαση (**Basic Broadband**) πάνω από Αναλογικούς Συνδρομητικούς Βρόχους Παραδοσιακής Τηλεφωνίας (POTS)

<https://en.wikipedia.org/wiki/VDSL>



Version	Standard name	Common name	Downstream rate ⇅	Upstream rate ⇅	Approved on ⇅
VDSL	ITU G.993.1	VDSL	55 Mbit/s	3 Mbit/s	2001-11-29
VDSL2	ITU G.993.2	VDSL2	200 Mbit/s	100 Mbit/s	2006-02-17
VDSL2-Vplus	ITU G.993.2 Amendment 1 (11/15)	VDSL2 Annex Q VPlus/35b	300 Mbit/s	100 Mbit/s	2015-11-06

# ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - Data Plane (5/5)

## Ενσύρματη Πρόσβαση – Wired Digital Local Access Technologies

### Next Generation Access (NGA)

#### Οπτικά Δίκτυα Ευρυζωνικής Πρόσβασης

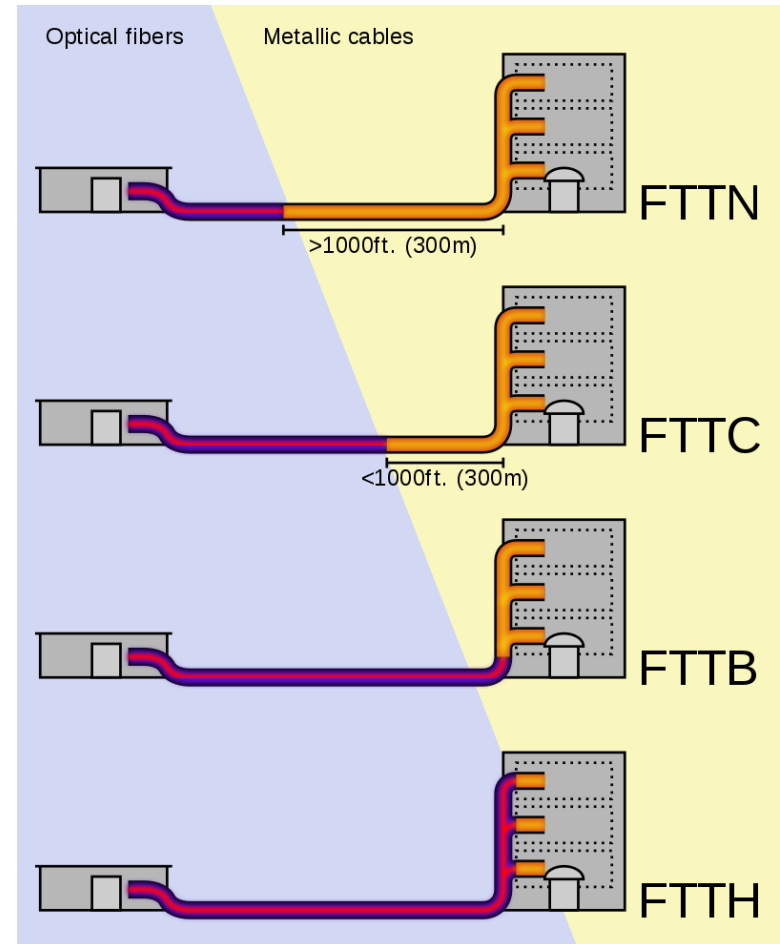
#### FTTX (Fiber To The X):

> 24 Mbps (1 Gbps) από TELCO Central Office σε X (Node, Curb, Building, Home)

### Digital Agenda της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Καθολική βασική ευρυζωνική πρόσβαση (**basic broadband**) το 2013 και πρόσβαση στο Internet σε >30 Mbit/s το 2020.

Το 2020 πάνω από το 50% των σπιτιών πρέπει να έχουν πρόσβαση στο Internet σε ταχύτητες >100 Mbit/s μέσω **NGA**.



[https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x)

Εναλλακτική Ευρυζωνική Πρόσβαση: Μέσω **ασύρματων** δικτύων WiFi , 4G (LTE) → 5G

# ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ - Control Plane (1/2)

## Σηματοδοσία Κατανομής Καναλιού - Ελέγχου Μεταγωγής - Δρομολόγησης Μονίμων Συνδέσεων Circuit Switching

- Σηματοδοσία **Channel Associated Signaling - CAS** (π.χ. ψηφιακή τηλεφωνία + υπηρεσίες call forwarding, caller ID...)
- Σηματοδοσία κοινού καναλιού **Common Channel Signaling - CCS**, ανεξάρτητη από την δρομολόγηση της υπό έλεγχο κλήσης

## Ψηφιακή πρόσβαση Integrated Services Digital Network – ISDN

- **Συγχρονισμός** χρονικού πλαισίου (TDM frame synchronization): **επαναλήψεις κάθε 125 μsec**
- **Πολυπλεξία** καναλιών **B** σύγχρονης μετάδοσης φωνής (PCM @ 64 Kbps FDX) και Καναλιού **D** σηματοδοσίας (FDX) - μπορεί να μεταδίδει και ασύγχρονα πακέτα δεδομένων
- **2B+D, Basic Rate Interface (BRI) @ 144 Kbps FDX: 2B** κανάλια PCM @ 64 Kbps, **1D** κοινό κανάλι σηματοδοσίας @ 16 Kbps
- **30B+D, Primary Rate Interface (PRI) @ 2 Mbps FDX: 30B** κανάλια PCM @ 64 Kbps, **1D** κοινό κανάλι σηματοδοσίας @ 64 Kbps

## Πρωτόκολλο Signaling System 7 - SS7

- Έλεγχος διασύνδεσης παρόχων ψηφιακής τηλεφωνίας, περιαγωγή λειτουργιών ευφυούς δικτύου (**Intelligent Networks**) μέσω ξεχωριστών υποδικτύων σηματοδοσίας
- **Common Channel Signaling – CCS Networks** (π.χ. διεθνής περιαγωγή – roaming κινητής τηλεφωνίας GSM)



# ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΛΕΓΧΟΥ - Control Plane (2/2)

## Σηματοδοσία ελέγχου μεταγωγής - δρομολόγησης - δέσμευσης πόρων μέσα από συνδέσεις data-plane δικτύων packet switching (TCP/IP, Internet)

- Σηματοδοσία με μορφή πεδίων επικεφαλίδων (π.χ. πεδία επικεφαλίδων Ethernet, TCP/IP, MPLS) στα υπό έλεγχο πακέτα δεδομένων (τύπου **associated in-band signaling**)
- Αυτόνομα πακέτα υλοποίησης πρωτοκόλλων (π.χ. DNS, ARP, δρομολόγησης IGP/BGP) διακινούμενα μαζί με πακέτα δεδομένων (in-band signaling)
- Σηματοδοσία για video - voice conference over IP: ITU/T H323 (Multi-Conference Unit, MCU), **SIP** (Session Initiation Protocol, IETF RFC 4579...)

## Σηματοδοσία για Ευφυή Προγραμματιζόμενα Δίκτυα Νέας Γενιάς (Software Defined Networking - SDN)

- Έλεγχος συνυπαρχόντων σε κοινές δικτυακές υποδομές (substrate) «απομονωμένων» εικονικών δικτύων VPN σε επίπεδα 2 (VLAN), 3 (IP VPN) ή και 4 (εφαρμογές – πόρτες TCP/UDP)
- Σηματοδοσία - έλεγχος - ευφυΐα έξω από το δίκτυο διακίνησης δεδομένων (out-of-band signaling), π.χ. **OpenFlow Controllers** προγραμματιζόμενα ανά **ιδιοκτήτη (tenant)** εικονικού δικτύου, έξω από το δίκτυο δεδομένων αλλά με αμφίδρομη πρόσβαση σε πολιτικές δρομολόγησης εικονικών δικτύων
- Ευφυής Δρομολόγηση σε Δίκτυα Κορμού (**Core, Carrier Networks**) με προδιαγραφές επίδοσης (**Traffic Engineering-TE**) για διαχωρισμό ροών μεταξύ υποσυνόλων ζευγών πηγών – προορισμών διασυνδεόμενων δικτύων
- Source Routing, **Segment Routing** (SR): MPLS-TE → SR-MPLS, IPv6 → SRv6  
<https://www.juniper.net/us/en/products-services/what-is/segment-routing/#:~:text=Contact%20Us-,What%20is%20segment%20routing%3F,headers%20at%20an%20ingress%20node>



# ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ - Management Plane

- Τηλεπικοινωνιακές υποδομές παρόχων δικτυακών υπηρεσιών: Κλειστά διαχειριστικά συστήματα ανάλογα με τον προμηθευτή τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού κέντρων μεταγωγής, εξοπλισμού πολυπλεξίας SDH κλπ.
  - ✓ Μοντέλο **OS/NE** (Operation System / Network Element)
  - ✓ Διαχείριση οπτικών δικτύων **DWDM** (επέκταση κλειστών proprietary συστημάτων διαχείρισης SDH, χρήση scripts, Java - JMX, Web Services, Q3 - TL1 - Corba...)
  - ✓ Ενοποιημένα συστήματα διαχείρισης **TMN** (Telecommunications Management Network)
- Διαχείριση δικτύων TCP/IP (Internet – Intranet – Extranet) μέσω **SNMP**
  - ✓ SNMP transactions using UDP over IP, **SMI** Data Model, **BER** for **MIB** syntax
- Διαχείριση δικτύων TCP/IP μέσω **NETCONF**
  - ✓ **YANG** Data Model, πρωτόκολλα RPC over TCP/TCL, **XML** format, **Datastore** CRUD (Create, Read, Update, Delete) operations
  - ✓ **RESTCONF**: https/REST Web API as a front-end to NETCONF RPCs
- Διαχειριστικές λειτουργίες OSI, **CFAPS** (υλοποίηση σε πλατφόρμα OS ή NMS)
  - ✓ **C**onfiguration (Διαχείριση Διάρθρωσης)
  - ✓ **F**ault (Διαχείριση Βλαβών)
  - ✓ **A**ccounting (Λογιστική Διαχείριση)
  - ✓ **P**erformance (Διαχείριση Απόδοσης)
  - ✓ **S**ecurity (Διαχείριση Ασφαλείας)

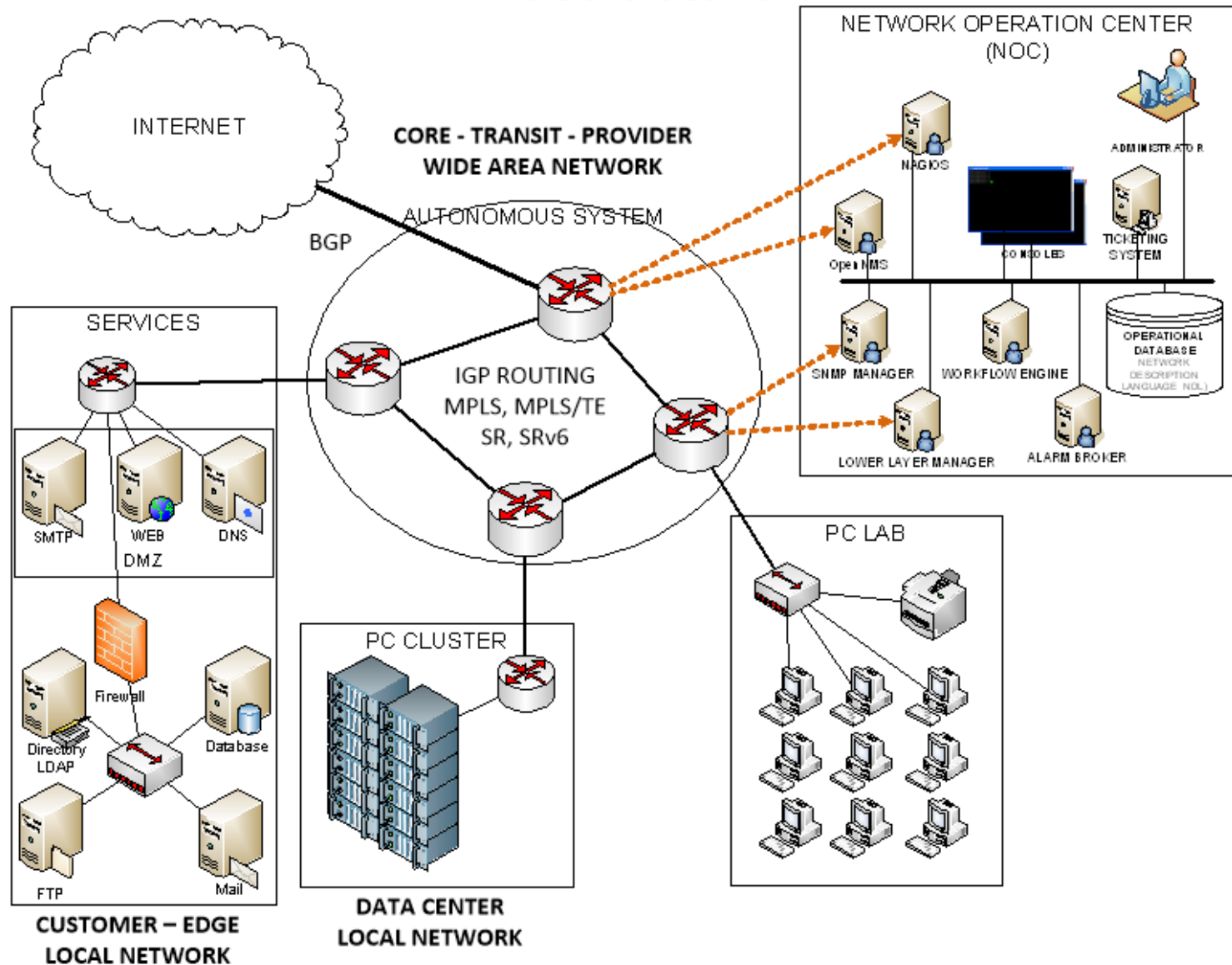
# ΣΥΝΟΨΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

## Integrated Management Tools

- **Diagnostics**
  - ICMP: ping, traceroute
  - tcpdump, Wireshark (Ethereal)
- **net-snmp** (NMS - Agent/MIB, SMI, BER για UDP PDUs)
  - snmp-get
  - snmp-walk
  - snmp-trap
  - snmp-set
- **NETCONF** (NMS - YANG Core Modules, YANG, XML με SSH ή TLS/SOAP/https)
- **Monitoring protocols & tools** (per-flow statistics, sampling)
  - Netflow
  - sFlow
  - Visualization tools (e.g. open source NTOP)
  - MRTG (RRDtool)
- **Transmission** (DWDM, SDH tools): CMIP, TMN, **Proprietary**
  - TL1, Q3, Corba

# ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

## Integrated Management of a Distributed Internet-based Infrastructure



# ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

## Integrated Management Tools

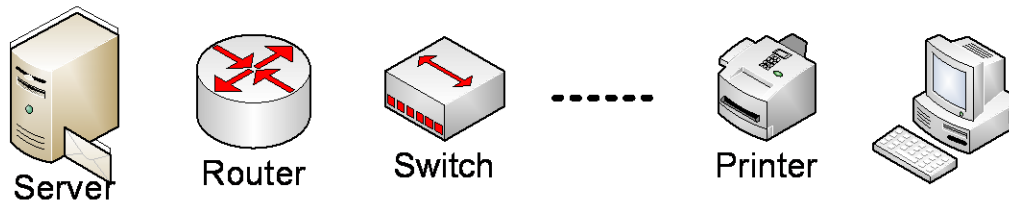
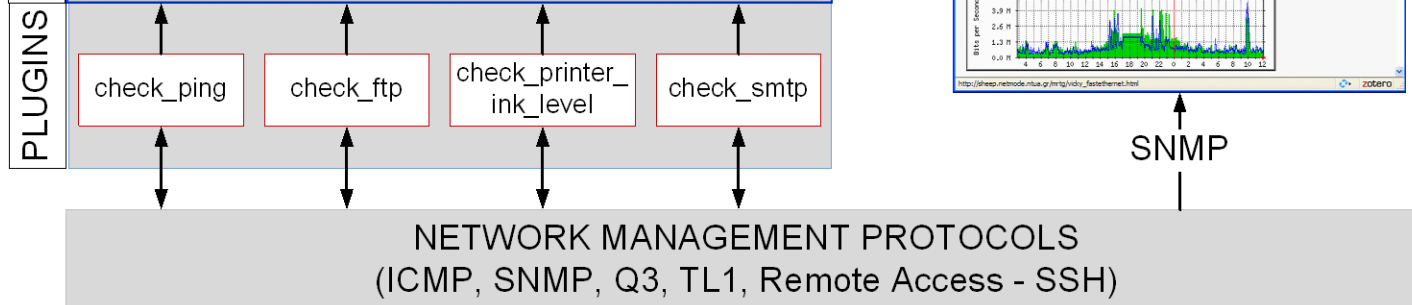
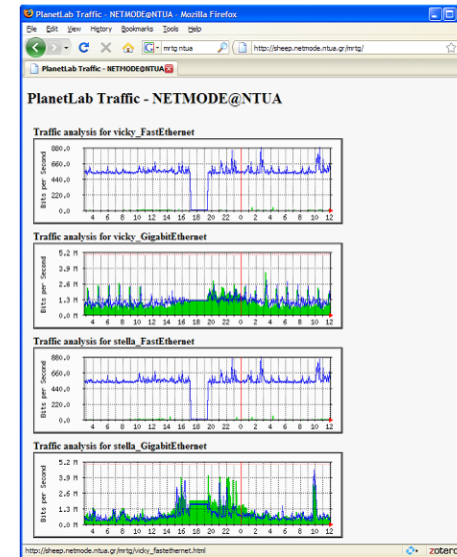
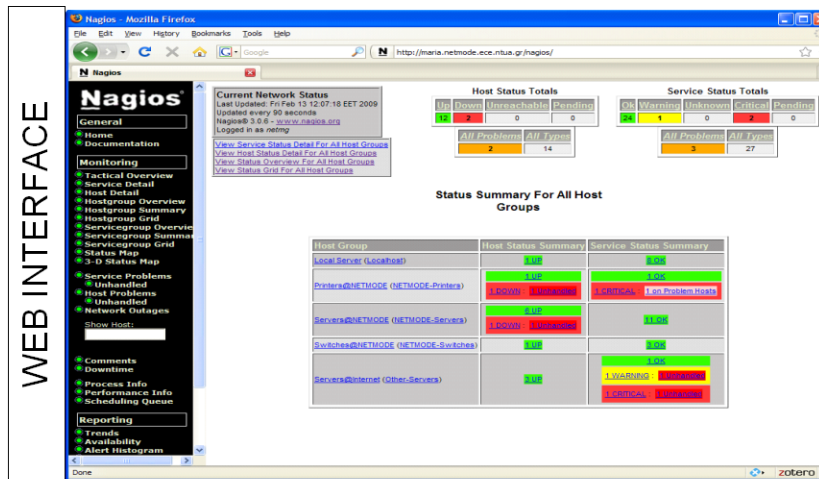
- Αυτοματοποιούν διαδικασίες διαμόρφωσης, Automatic Configuration Templates: Ansible <https://www.ansible.com/overview/it-automation> (Open Source, Linux - based...)
- Ομαδοποιούν λειτουργίες FCAPS
- Open Source
  - Nagios – Service Monitoring <http://www.nagios.org/>
  - OpenNMS – Network Monitoring [http://www.opennms.org/index.php/Main\\_Page](http://www.opennms.org/index.php/Main_Page)
  - Cluster Management
    - Linux Heartbeat <http://www.linux-ha.org/doc/users-guide/users-guide.html>
    - Ganglia <http://ganglia.info/>
    - Big Data, Hadoop Clusters <http://hadoop.apache.org/>
- Commercial
  - HP Openview
  - IBM Tivoli
  - CiscoWorks....

# ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΩΝ ΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

## Network Service Management S/W Tools

### NAGIOS

### MRTG



# NAGIOS PLUGINS

Plugin Return Code	Service State	Host State
0	OK	UP
1	WARNING	UP or DOWN/UNREACHABLE
2	CRITICAL	DOWN/UNREACHABLE
3	UNKNOWN	DOWN/UNREACHABLE

RETURN CODE | TEXT OUTPUT |  
OPTIONAL PERFDATA | LONG TEXT LINE ... | PERFDATA ...

0 | PING OK - Packet loss = 0%, RTA = 0.15 ms

0 | DISK OK - free space: / 3326 MB (56%); | /=2643MB;5948;5958;0;5968



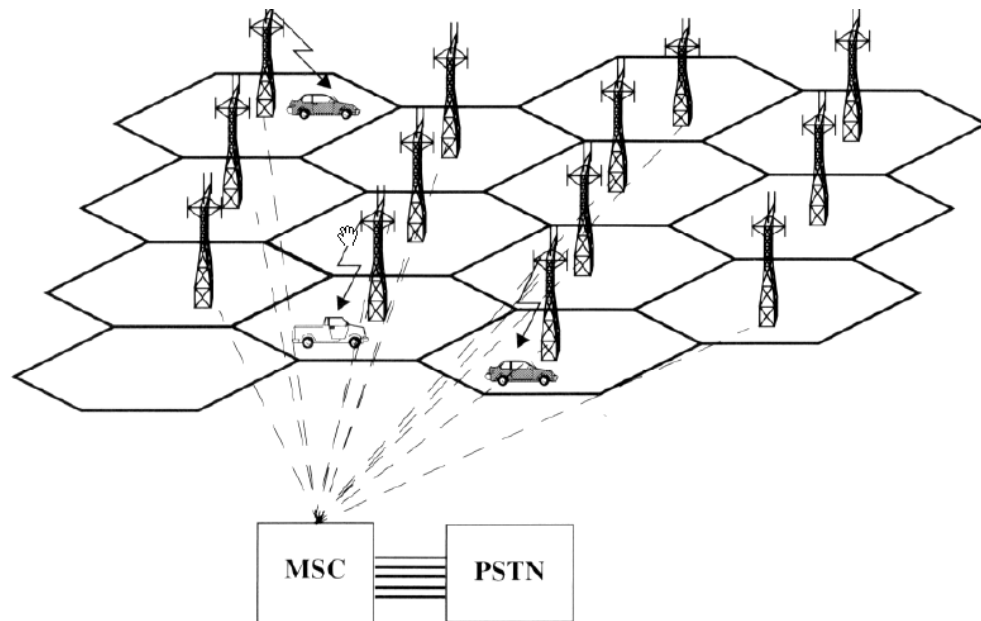
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ NAGIOS PLUGINS

- check\_http
- check\_snmp
- check\_icmp
- check\_ntp
- check\_ifoperstatus
- check\_mrtg
- check\_ssh
- check\_ifstatus
- check\_ntp\_time
- check\_imap
- check\_ups
- check\_ftp

```
check_ping -H <host> -w <wrta>,<wpl>% -c  
  <crta>,<cpl>%
```

# ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ

**GSM (2G, 1988) - UMTS (3G, 2000) - LTE (4G, 2010)**

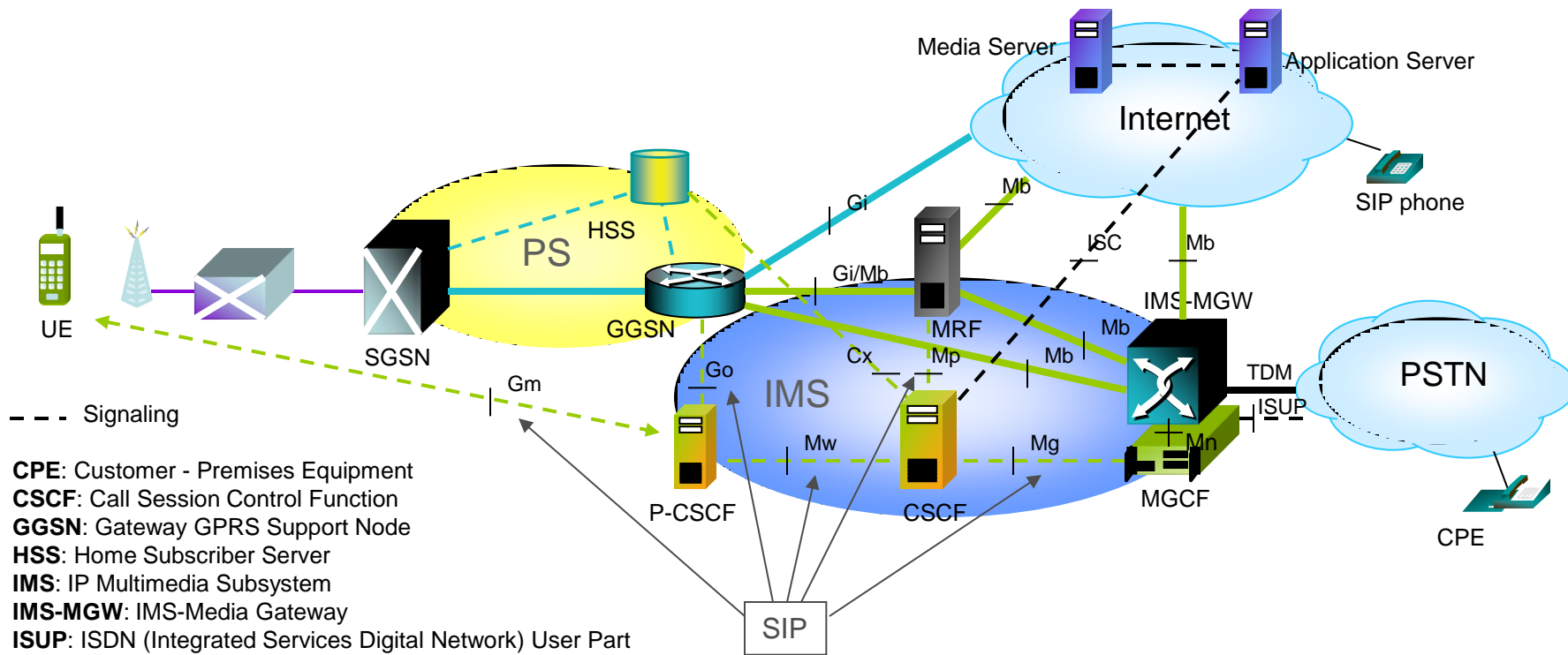


**MSC:** Mobile Switching Center (Κέντρο Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας)

**PSTN:** Public Switched Telephone Network (Δημόσιο Τηλεφωνικό Δίκτυο)

# ΕΝΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ IMS (IP Multimedia Subsystem)

Άποψη της ITU-T & Τηλεπικοινωνιακών Παρόχων (TELCO Operators) για Converged Networking



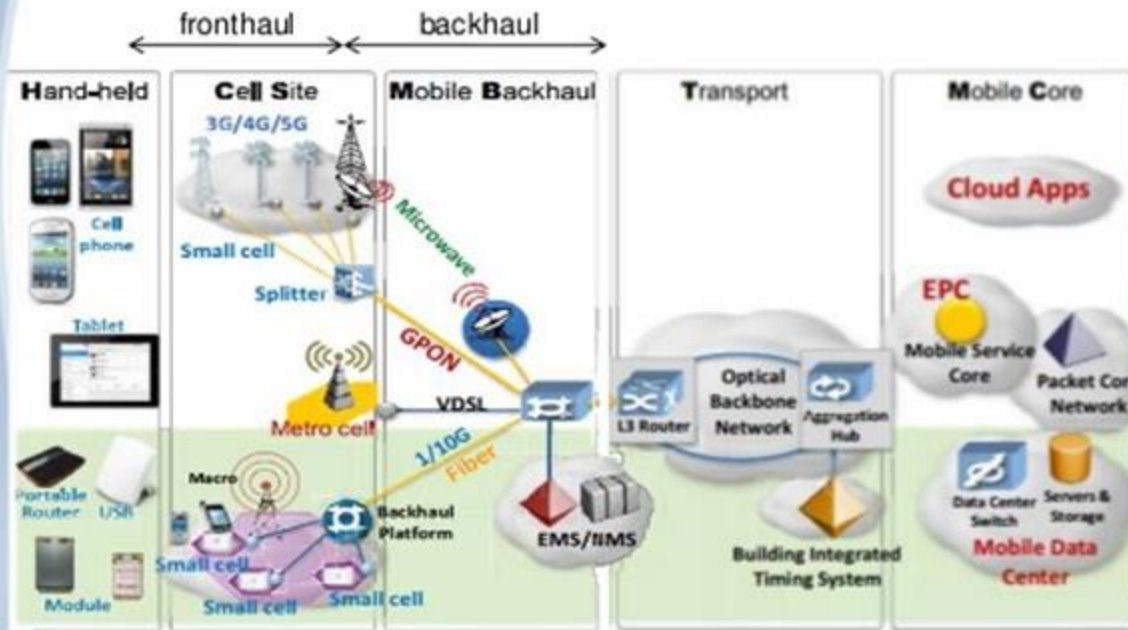
- Signaling
- CPE:** Customer - Premises Equipment
- CSCF:** Call Session Control Function
- GGSN:** Gateway GPRS Support Node
- HSS:** Home Subscriber Server
- IMS:** IP Multimedia Subsystem
- IMS-MGW:** IMS-Media Gateway
- ISUP:** ISDN (Integrated Services Digital Network) User Part
- MGCf:** Media Gateway Control Function
- MRF:** Media Resource Function
- P-CSCF:** Proxy - Call Session Support Function
- PS:** Packet Switching domain
- PSTN:** Public Switched Telephone Network
- SIP:** Session Initiation Protocol
- SGSN:** Serving GPRS Support Node
- UE:** User Equipment

# Η 5<sup>η</sup> ΓΕΝΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

## Σύγκλιση Επικοινωνιών - Ενοποιημένο Internet του 2020++ Fixed-mobile Convergence (FMC)

# 5G

### 5G Backhaul, Fronthaul network



Source <http://www.bost.ey.gov.tw/Upload/UserFiles/12.pdf>

### Προδιαγραφές 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project)

#### Radio Access Fronthaul Network (RAN)

Hand-held Devices, I/A & Streaming Video  
Antennas (Microcells, Metro Cells, MIMO, Drones)

- Low-Band: 600-850 MHz (30-250 Mbps)
- Mid-Band: 2.5-3.7 GHz (100-900 Mbps)
- High-Band: 25-39 GHz (> 1 Gbps)

#### Backhaul Mobile Network

Microwave, VDSL, GPON, p2p Fibers  
Cell antennas → Edge Servers

#### Transport Optical Backbone Network

L3 Router, Aggregation Hub

#### Core Network

Clouds, CDNs, Data Centers...

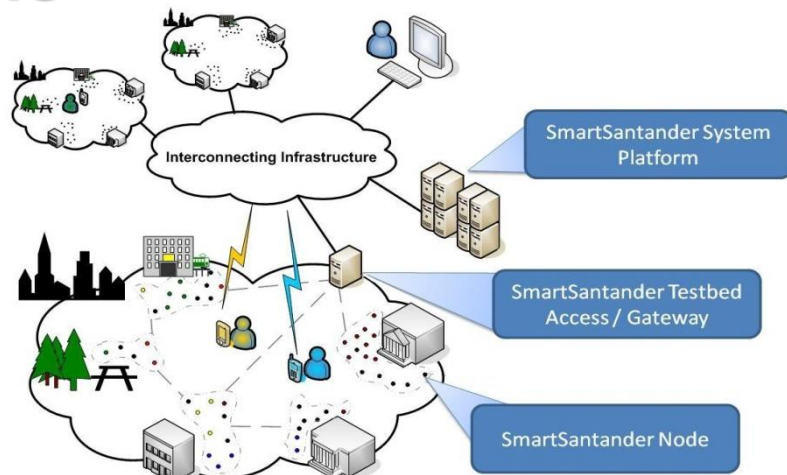
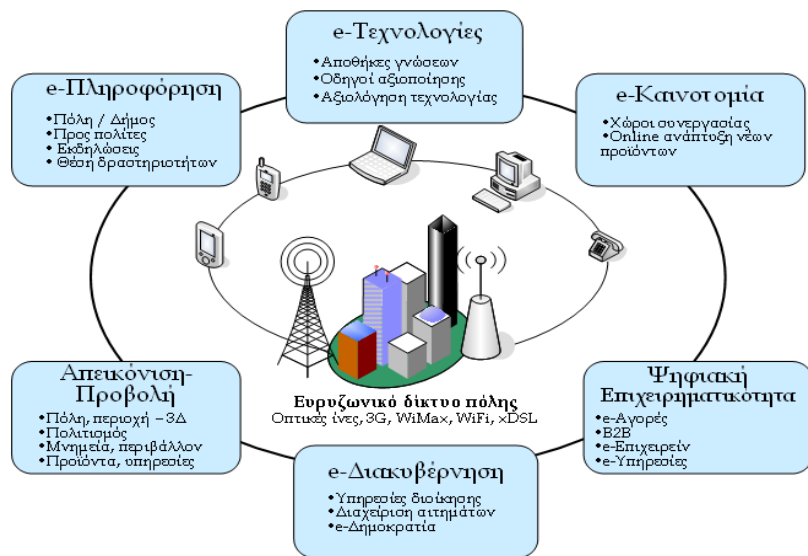
#### Air Latency

Goal: 1 - 4 msec (Edge Servers δίπλα σε κεραίες)  
Σημερινές επιδόσεις: 20-30 msec

### Εφαρμογές

- Enhanced Mobile Broadband, **eMBB** (Smart Cellphones 4G → 5G, 800-1000 Euros/Συσκευή)
- Ultra-Reliable Low-Latency Communications, **URLLC** (Factory Automation - **Industry 4.0**, Robotics, Transport Security - Autonomous Vehicles, Τηλεϊατρική...)
- Massive Machine-Type Communication, **mMTC** (Μεγάλος Αριθμός Τερματικών - **Sensor Networks, IoT**)

# SENSOR NETWORKS, IoT - Internet of Things, SMART CITIES & REGIONS



## Η Ευφυής Πόλη Santander, Β.Δ. Ισπανία

Δίκτυα Πρόσβασης με 12.000 Αισθητήρες (Wireless Sensors)

Καταμεμημένες Εφαρμογές σε Υπολογιστικά Νέφη (Clouds)

<http://www.smartsantander.eu/>

## Ευφυείς Πόλεις: Υποδομές & Εφαρμογές

Tsarchopoulos, P. (2006) Evaluating Scenarios for Digital Cities

## Η εποχή του Διαδικτύου του Μέλλοντος (Future Internet) έχει ξεκινήσει:

- **Οπτικά & Ασύρματα Δίκτυα Κορμού** σε παγκόσμια κλίμακα, Content Distribution
- **Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Αισθητήρων** (Wireless Sensor Networks), 35 δισεκατομμύρια τελικοί κόμβοι (πρόβλεψη για το 2020)
- **Σύγκλιση Δικτυακών Τεχνολογιών**: Ευρυζωνικές οπτικές & δορυφορικές ζεύξεις, ασύρματα δίκτυα (GPRS, GSM, LTE, 5G Radio Access Network - RAN), τοπικά δίκτυα Ethernet & WiFi, επικοινωνίες μικρής εμβέλειας Bluetooth, IR, RFID...
- **Τεχνολογίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων** χαμηλής ισχύος & κόστους (Zigbee, Bluetooth, SigFox, LoRa, NB-IoT / Narrow Band Internet of Things)
- **Πρόσβαση σε Εικονικά Υπολογιστικά Περιβάλλοντα**, private – public clouds ευφυείς ψηφιακές εφαρμογές, υπηρεσίες triple play, αυτόματη οδήγηση, Industry 4.0
- **Smart Data, Control & Management Plane**, Network Softwarization, Segment Routing (SR-MPLS, SRv6), Programmable Data Planes (P4, XDP), Machine Learning

Οι 4 μεγαλύτεροι κατασκευαστές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού





# ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΕΥΦΥΕΙΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ & ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

## Converged Programmable Communication Infrastructures & Services

- Υπηρεσίες **Triple-Play** (Internet, Voice, Video) πάνω σε ενοποιημένα δίκτυα IP
- **IP Multimedia System (IMS)**: Σχέδιο Σύγκλησης της **3G.IP** (forum κατασκευαστών κινητής τηλεφωνίας, μετέπειτα **3GPP**) από το **1999** που υιοθετήθηκε από τις **TELCO (PNO, Public Network Operators)** και την **ITU-T** (International Telecommunication Union)
- Το μέλλον των Ενοποιημένων Επικοινωνιών: Η σημερινή άποψη της **Fixed-mobile Convergence** με την **Αρχιτεκτονική 5<sup>ης</sup> Γενιάς (5G)** και το επερχόμενο τσουνάμι των **Sensor Networks** → **Internet of Things (IoT)**
- Αυτοματοποίηση διαμόρφωσης, ελέγχου και διαχείρισης υποδομών και υπηρεσιών σε ευφυές, προγραμματιζόμενο (software-defined) και **ΑΣΦΑΛΕΣ** οικοσύστημα με εγγυήσεις (;) διασφάλισης προσωπικών δεδομένων - **privacy**
- Διασύνδεση Σηματοδοσίας - Επιπέδων Ελέγχου σε **ομοσπονδιακό περιβάλλον πολλαπλών διαχειριστικών περιοχών (;;;)**

**Stitching of CONTROL PLANE PROTOCOLS across Autonomous Domains (Multi-domain Signaling Protocols)**

### **ONLY TWO SUCCESS STORIES**

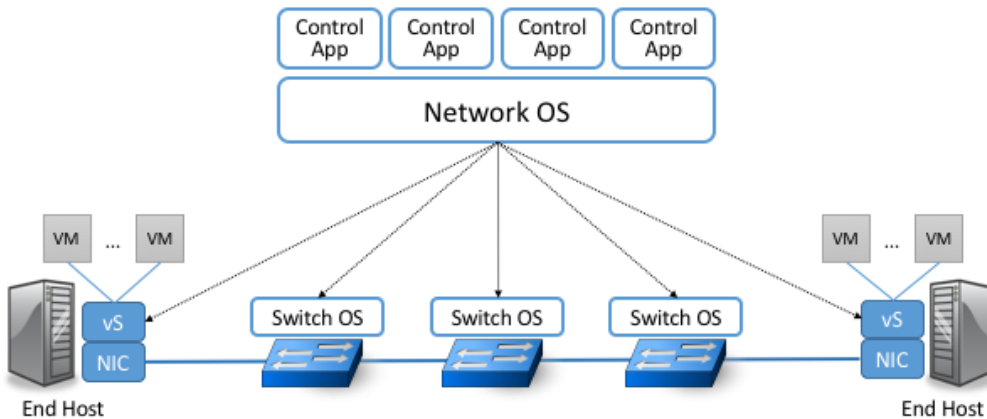
- **SS7 (International Telephony)**
- **BGP (Global Internet)**



# ENOΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ Software-Defined Network

## SDN Software Stack - Peterson et.al. Ch. 3

<https://sdn.systemsapproach.org/arch.html>



### SDN End-to-End Perspective

end-host/VM → virtual Switch (vS) → transit Switches → vS → end-host/VM

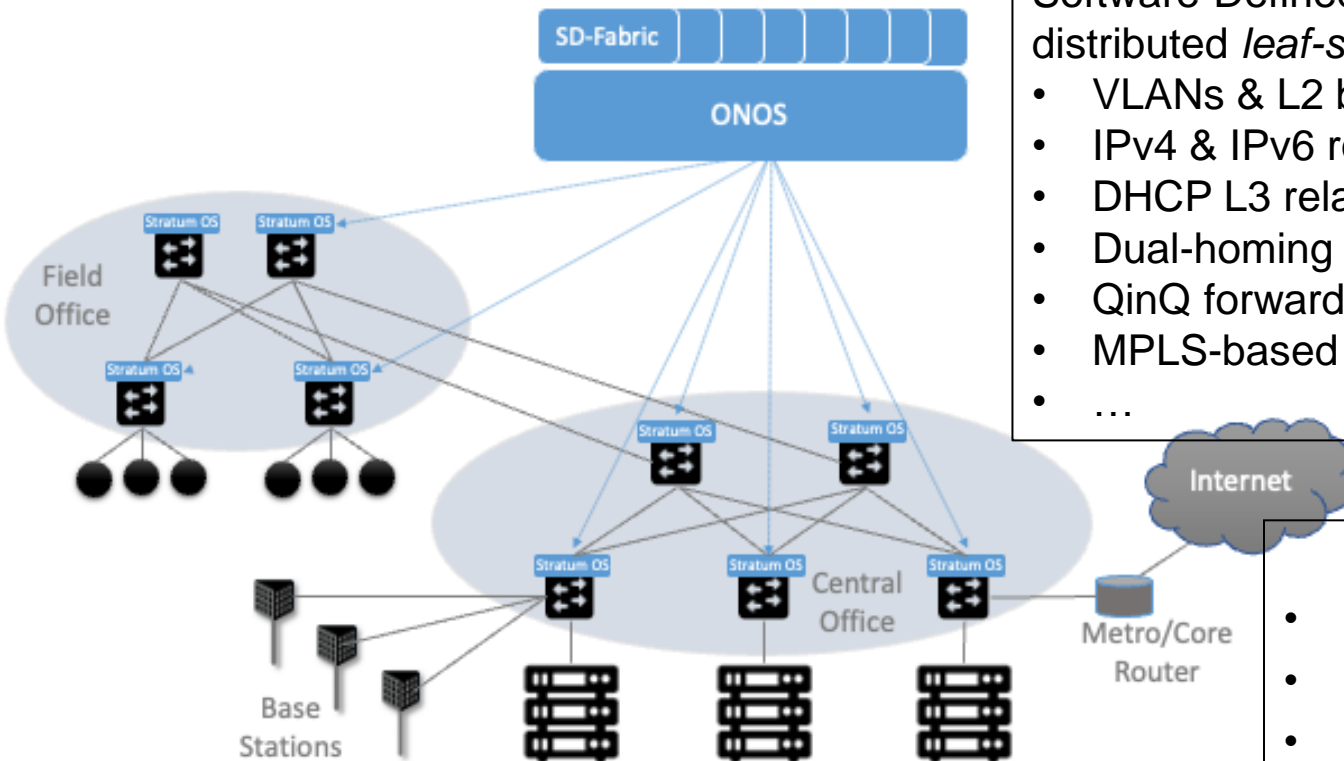
### Configuration & Control Software

- Network OS (e.g. [ONOS](#))
- Switch OS (e.g. [Stratum](#))
- Control App (e.g. [Trellis](#))

### Trellis Control Apps

Software-Defined (SD) Fabric suite in distributed *leaf-spine* data-center topologies:

- VLANs & L2 bridging
- IPv4 & IPv6 routing
- DHCP L3 relay
- Dual-homing of Servers/Routers
- QinQ forwarding/termination
- MPLS-based pseudowires
- ...



### ONOS Functionality

- Topology Management
- Configuration Management
- Control of Switches