

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

www.netmode.ntua.gr

19/12/2022

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)

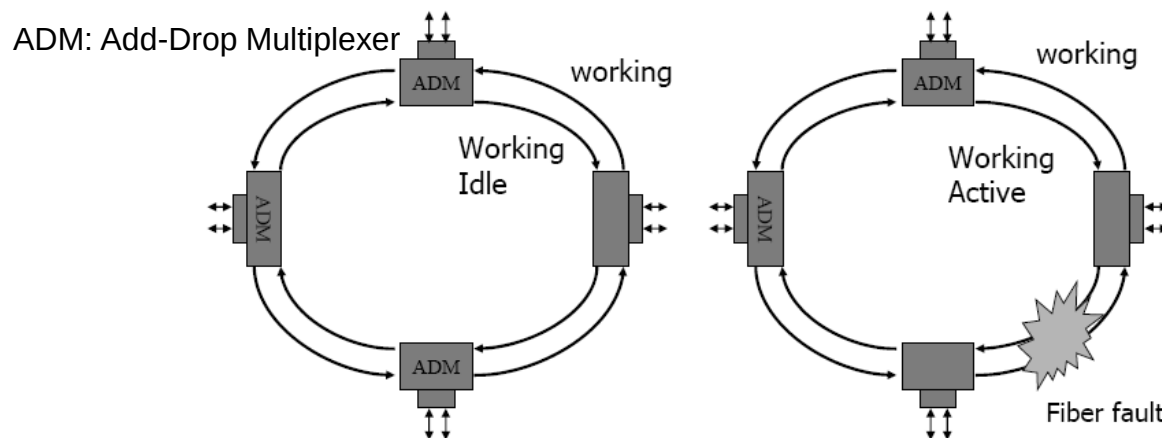
Περιοδικότητα Πλαισίου: 125 μ sec από φωνή PCM 64 Kbps

SONET Frame Format (Synchronous Optical Networking)	SDH (Synchronous Digital Hierarchy)	SONET Optical Carrier Level	LINE RATE (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

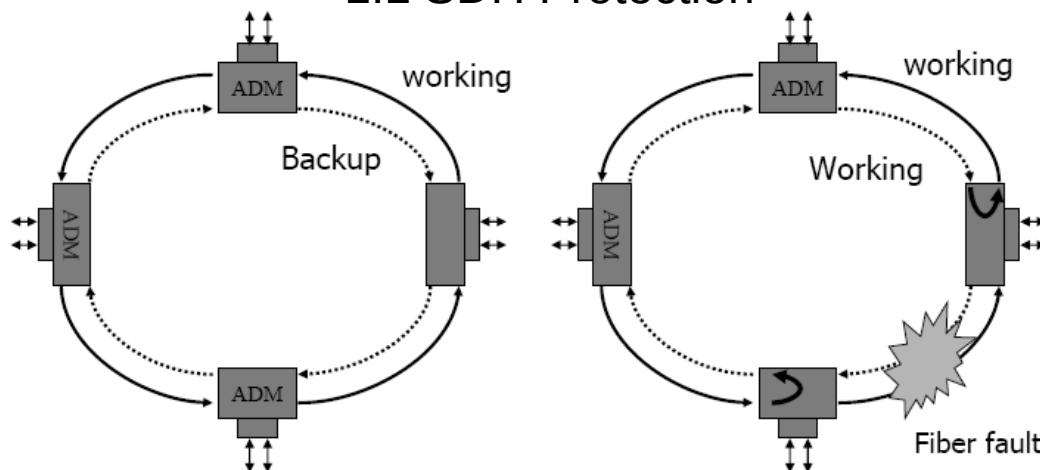


**Χρόνος Αντίδρασης
σε Βλάβη: 50 msec**

ΠΡΙΝ ΤΗ ΒΛΑΒΗ

ΜΕΤΑ ΤΗ ΒΛΑΒΗ (FIBER CUT)

1:1 SDH Protection



ΕΠΙΠΕΔΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - Data Plane (4/5)

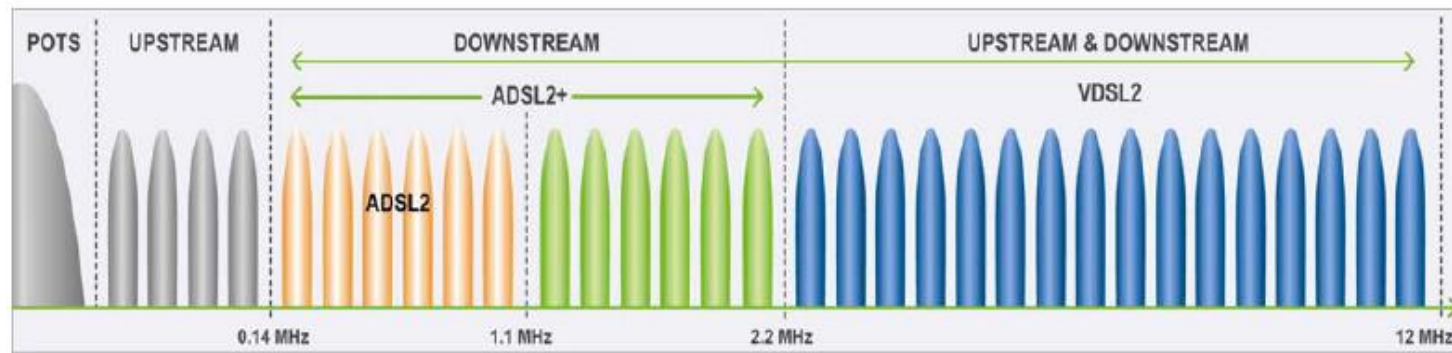
Ψηφιακή Ενσύρματη Πρόσβαση – Wired Digital Local Access

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 (Asymmetric **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

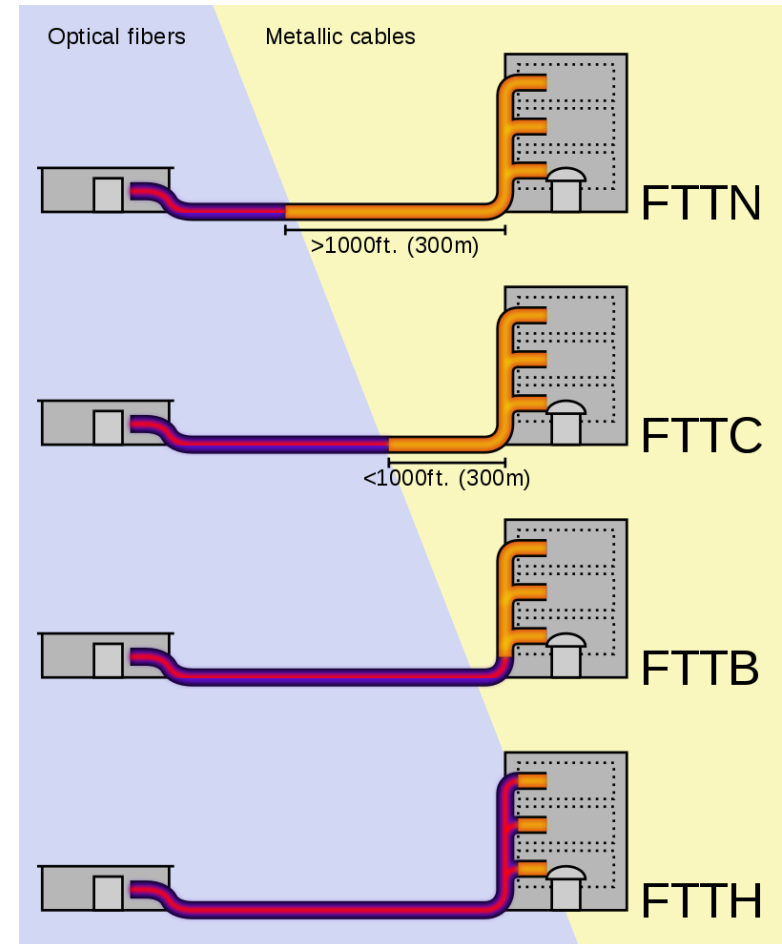
FTTX (Fiber To The X):

> 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

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)

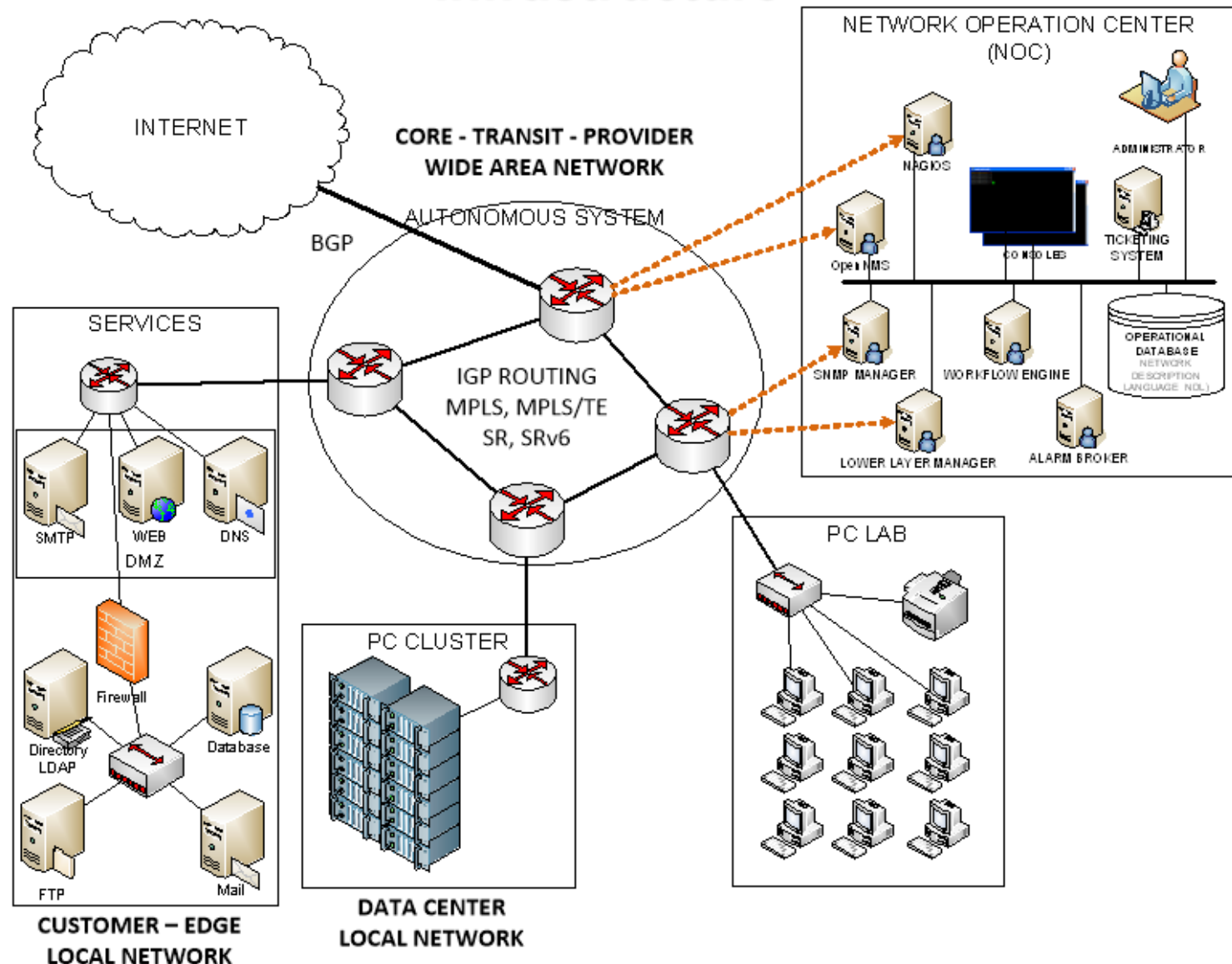
ΣΥΝΟΨΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

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

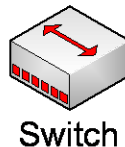
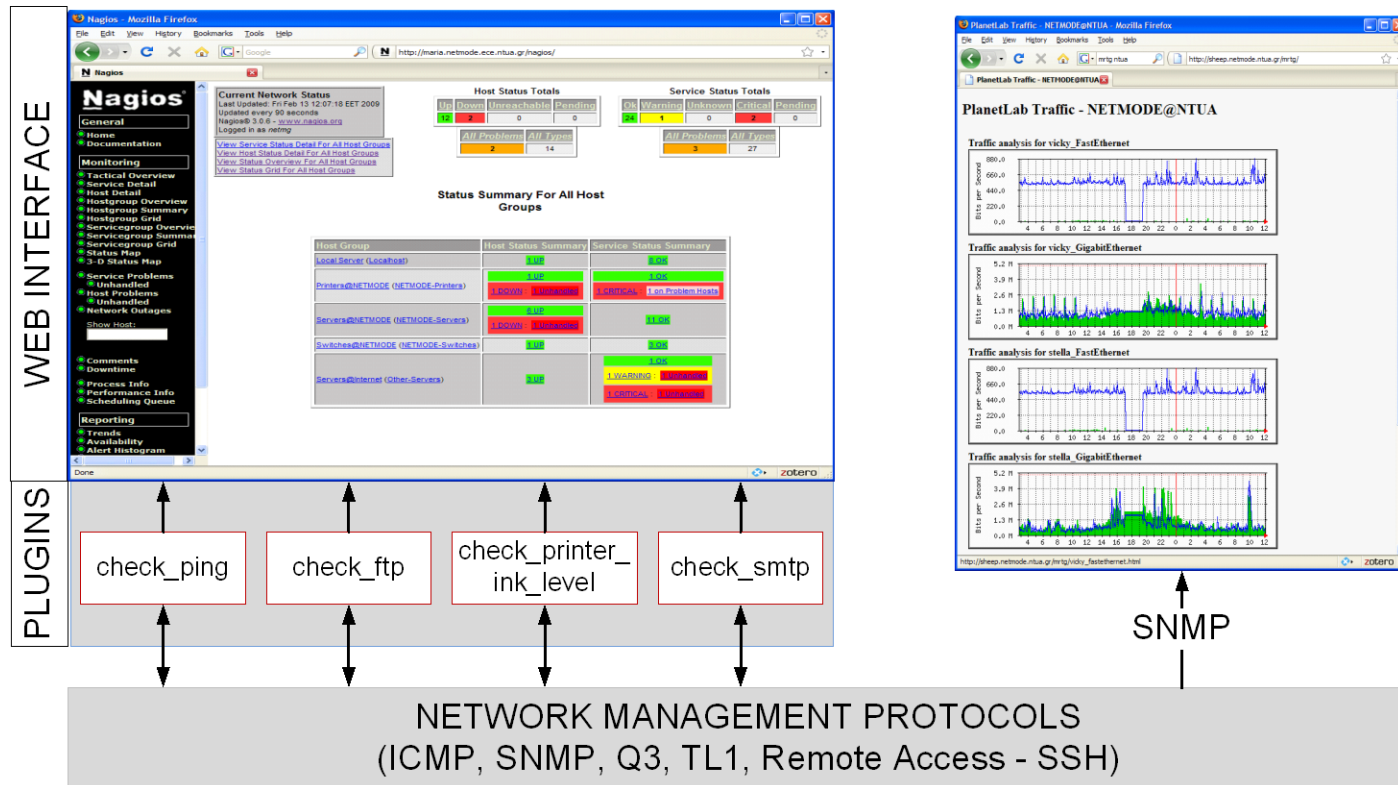
- Αυτοματοποιούν διαδικασίες διαμόρφωσης, Automatic Configuration Templates: Ansible <https://www.ansible.com/overview/it-automation> (Open Source, Linux - based...)
- Ομαδοποιούν λειτουργίες FCAPS
- Open Source
 - Nagios – Service Monitoring <http://www.nagios.org/>
 - OpenNMS – Network Monitoring http://www.opennms.org/index.php/Main_Page
 - 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

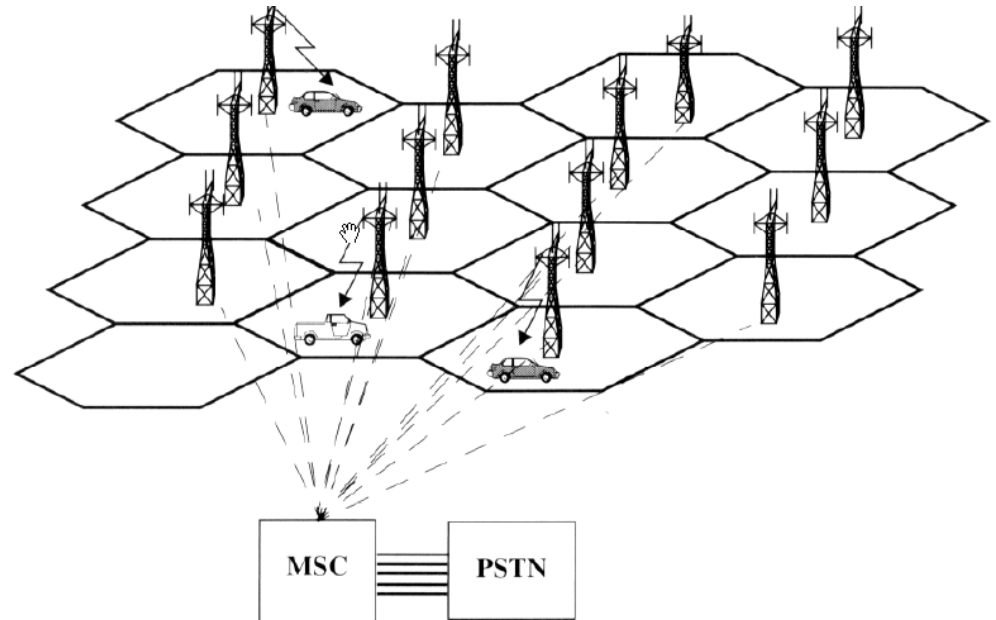
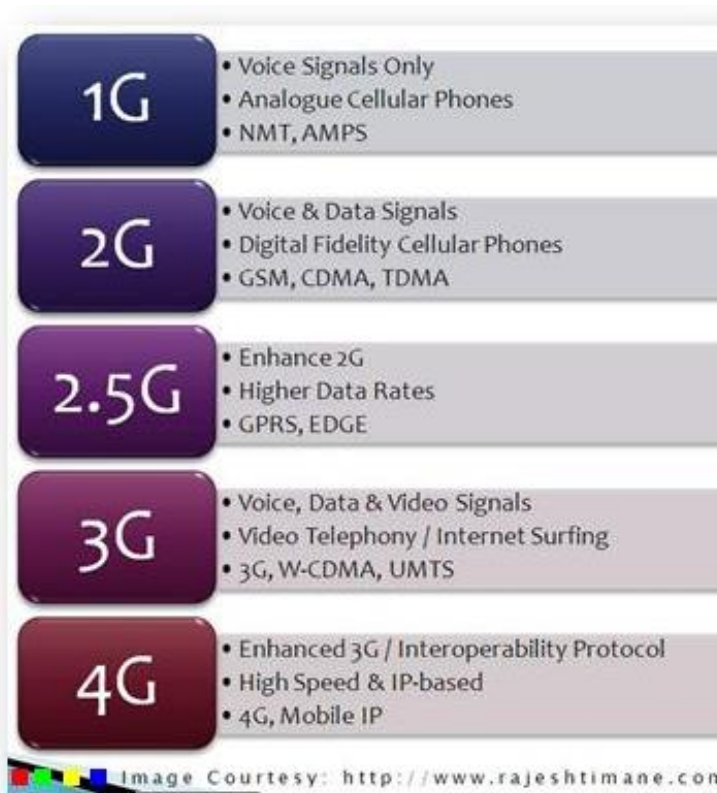
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ NAGIOS PLUGINS

- 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)

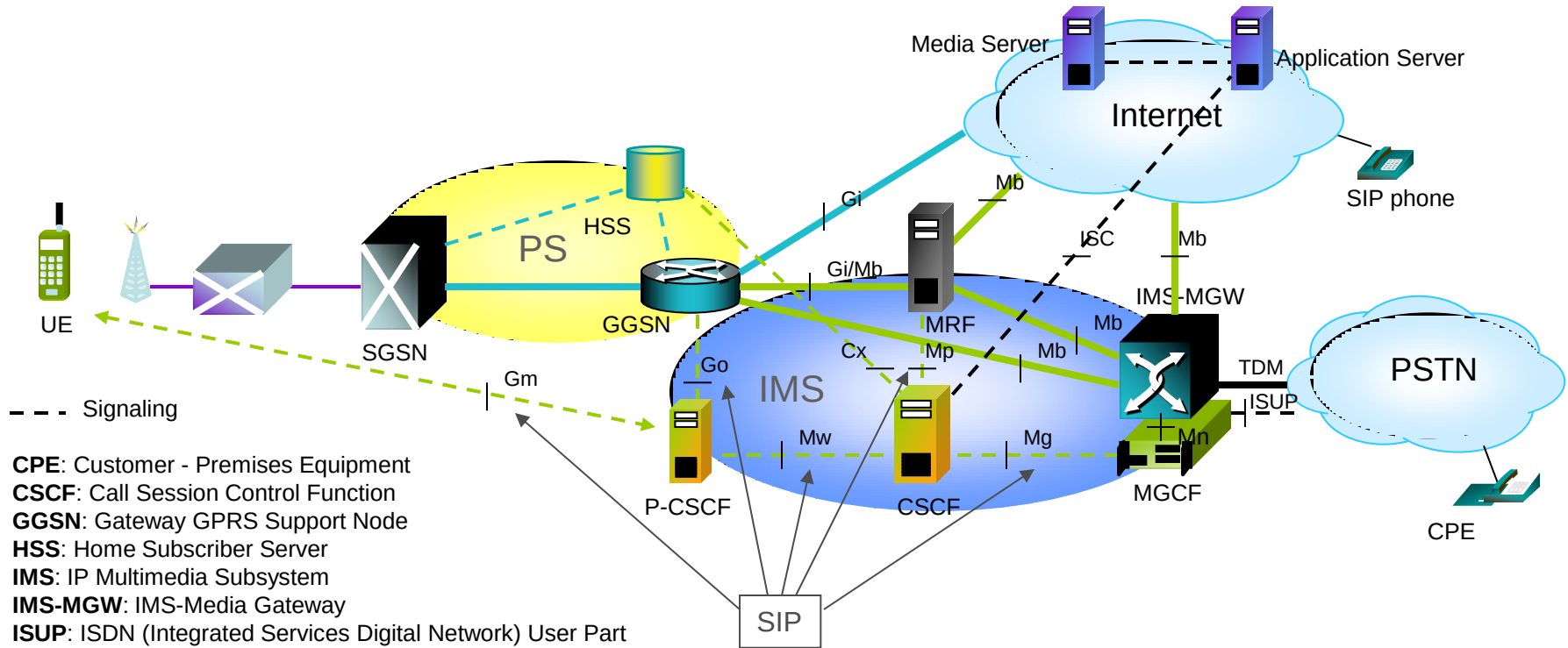


MSC: Mobile Switching Center (Κέντρο Μεταγωγής Κινητής Τηλεφωνίας)

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^η ΓΕΝΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

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

<https://5g-ppp.eu/white-papers/>

Προδιαγραφές 3GPP

(3rd Generation Partnership Project)

<https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview>

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

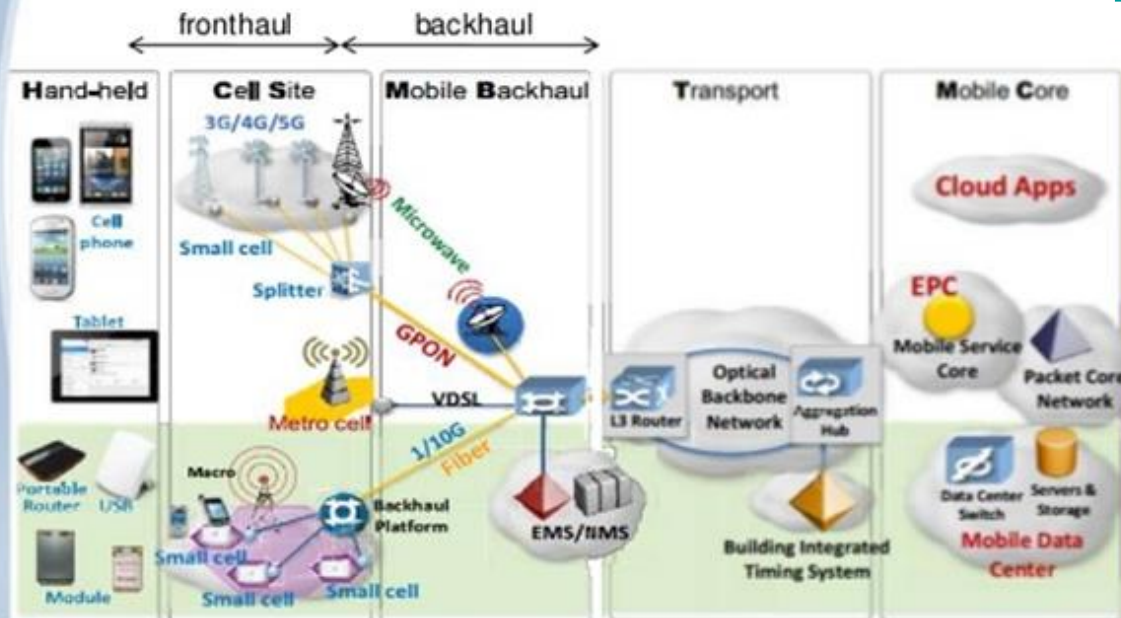
Core Network

Clouds, CDNs, Data Centers...

Air Latency

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

5G Backhaul, Fronthaul network

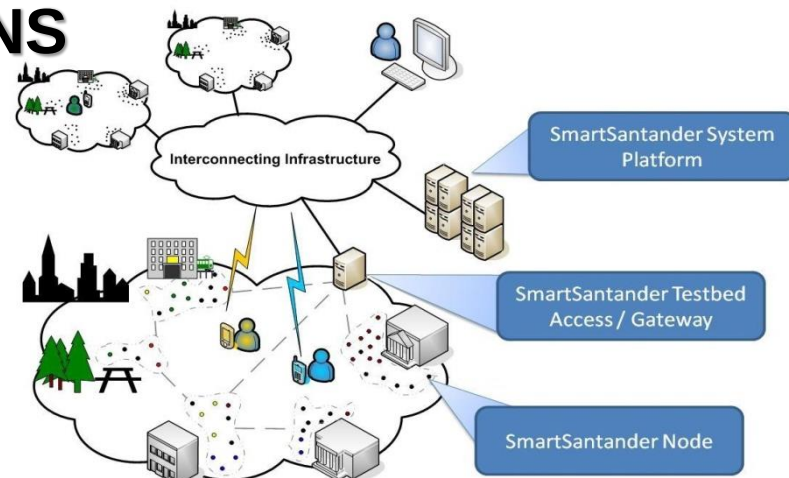
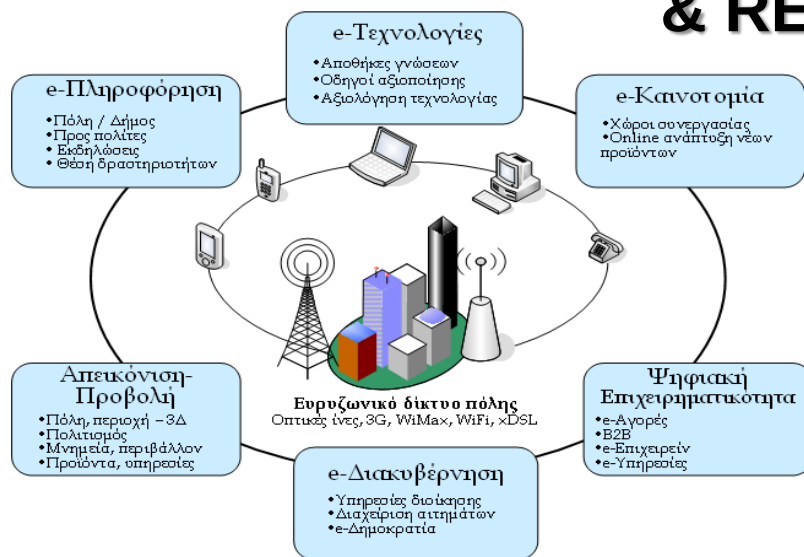


Source <http://www.bost.ey.gov.tw/Upload/UserFiles/12.pdf>

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, B.A. 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 Delivery Networks (**CDN**)
- **Ασύρματα Δίκτυα Πρόσβασης Αισθητήρων** (Wireless Sensor Networks), 35 δισεκατομμύρια τελικοί κόμβοι (εκτίμηση για 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^{ης} 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)

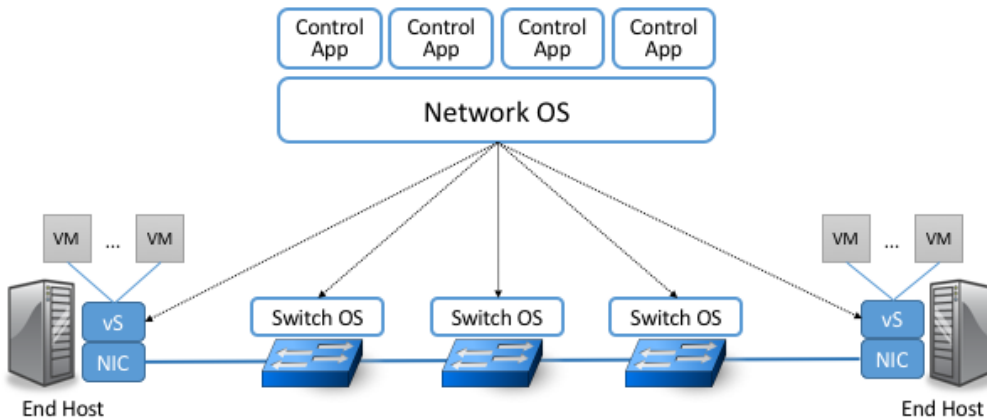
ONLY TWO SUCCESS STORIES

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

ΕΝΟΠΙΗΜΕΝΗ 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

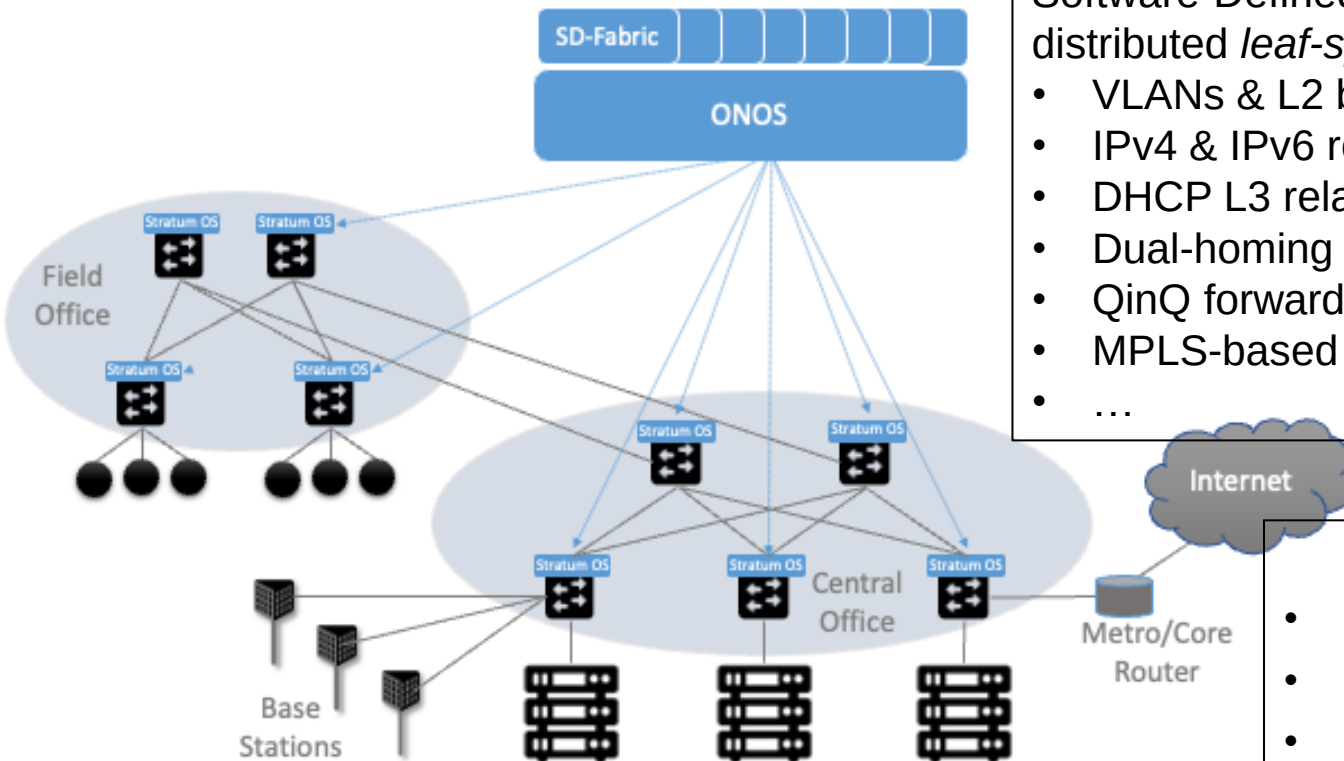
Configuration & Control Software

- 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