

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ - NETWORK MANAGEMENT

Αρχιτεκτονική & Δρομολόγηση στο Internet - Internet Architecture & Routing

Το Εμπορικό Παγκόσμιο Internet - The Commercial Internet
Tier 1 & Tier 2 Internet Service Providers (ISP), Internet eXchange Points (IXP)
Ορισμοί Μεθόδων Δρομολόγησης - Routing Definitions
Δρομολόγηση Επιπέδου Δικτύου - Network Level Routing (IP)
Πρωτόκολλα Δρομολόγησης IP: Intra-AS & Inter-AS Routing Protocols

Β. Μάγκλαρης

maglaris@netmode.ntua.gr

www.netmode.ntua.gr

25/10/2021

ΔΙΚΤΥΑ ΜΕ ΓΝΩΣΤΑ IP & ΑΥΤΟΝΟΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ (επανάληψη)

Announced Public IP Networks, Autonomous Domains

Autonomous System Numbers - ASN, Border Gateway Protocol - BGP

- Το Internet σήμερα (31/3/2021)
 - Πάνω από **5.168.780.607** τελικοί χρήστες (συνδέσεις) σε συνολικό πληθυσμό **7.875.765.587**, διείσδυση **65,6%**
 - Γύρω στα **900.000** ανακοινώσιμα δίκτυα – γνωστοί προορισμοί (announced public IPv4 networks via **BGP announcements**)
 - Ιεραρχικά ταξινομημένα σε Αυτόνομες Διαχειριστικές Περιοχές **AS** (Autonomous Systems) με μοναδικό αριθμό **ASN** (Autonomous System Number, 16 bits ή 32 bits)
 - Αριθμός διαφημιζόμενων (advertised) AS's μέσω BGP announcements, 13/10/2021: **77.679** (από **106.683** καταχωρημένα ASN)
 - Διάθεση IP & ASN σε blocks των 1024 AS's με διεθνή συντονισμό από **ICANN** (Internet Corporation for Assigned Names & Numbers) - **IANA** (Internet Assigned Number Authority) μέσω **RIR's** (Regional Internet Registries): **ARIN** (American Registry for Internet Numbers), **RIPE NCC** (Réseaux IP Européens Network Coordination Centre), **APNIC** (Asia Pacific Network Information Centre), **AFRINIC** (African Network Information Center), **LATNIC** (Latin America and Caribbean Network Information Centre)

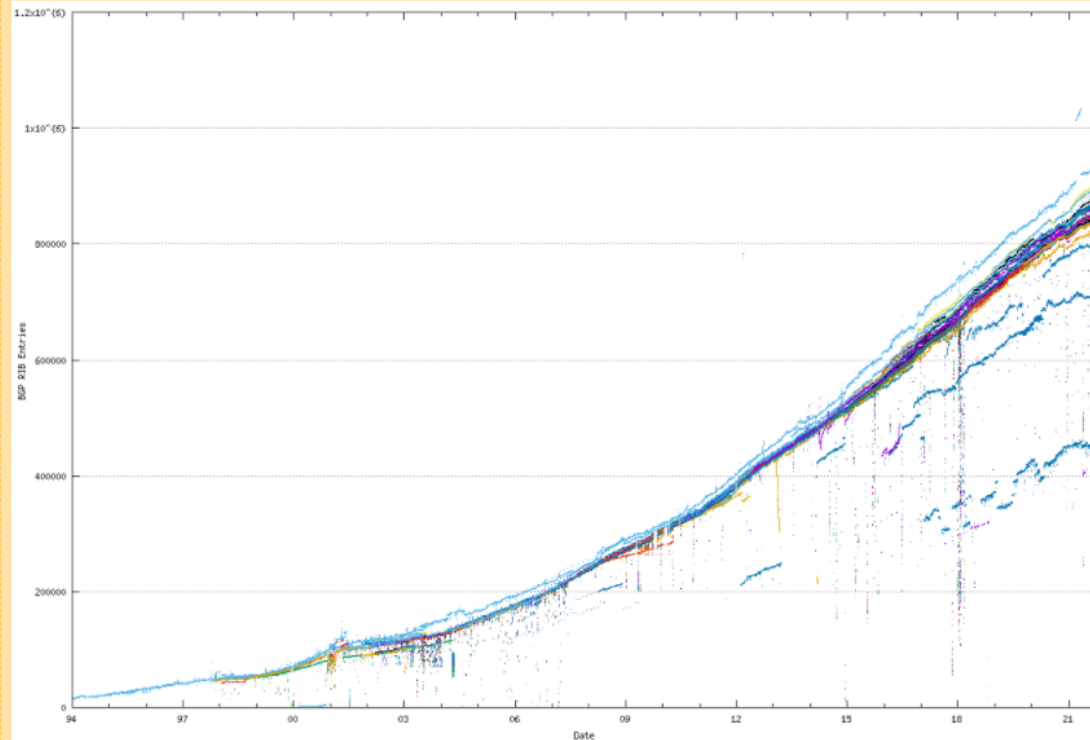
Resource allocations by Regional Registry

Registry	Advertised ASNs	Unadvertised ASNs	Allocated ASNs	Reserved ASNs	Available ASNs	Total ASNs
AFRINIC	1580	466	2046	296	984	3326
APNIC	16590	7411	24001	0	5334	29335
ARIN	19273	11693	30966	1453	1182	33601
RIPENCC	29062	8190	37252	701	4583	42536
LACNIC	11174	1244	12418	439	1222	14079
IANA	0	0	0	0	0	0
TOTAL	77679	29004	106683	2889	13305	122877

BGP TABLES: ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΝΩΣΤΩΝ (PUBLIC) ΔΙΚΤΥΩΝ - ΠΡΟΟΡΙΣΜΩΝ

<http://bgp.potaroo.net/> (επανάληψη)

Growth of the BGP Table - 1994 to Present



BGP Table Data

Report last updated at Wed, 13 Oct 2021 12:16:55 GMT

IPv4 BGP Reports

AS131072 APNIC R&D	898414
AS6447 Route-Views.Oregon-ix.net	935209

IPv4 Route-Views

IPv6 BGP Reports

AS131072 APNIC R&D	140959
AS6447 Route-Views.Oregon-ix.net	135298

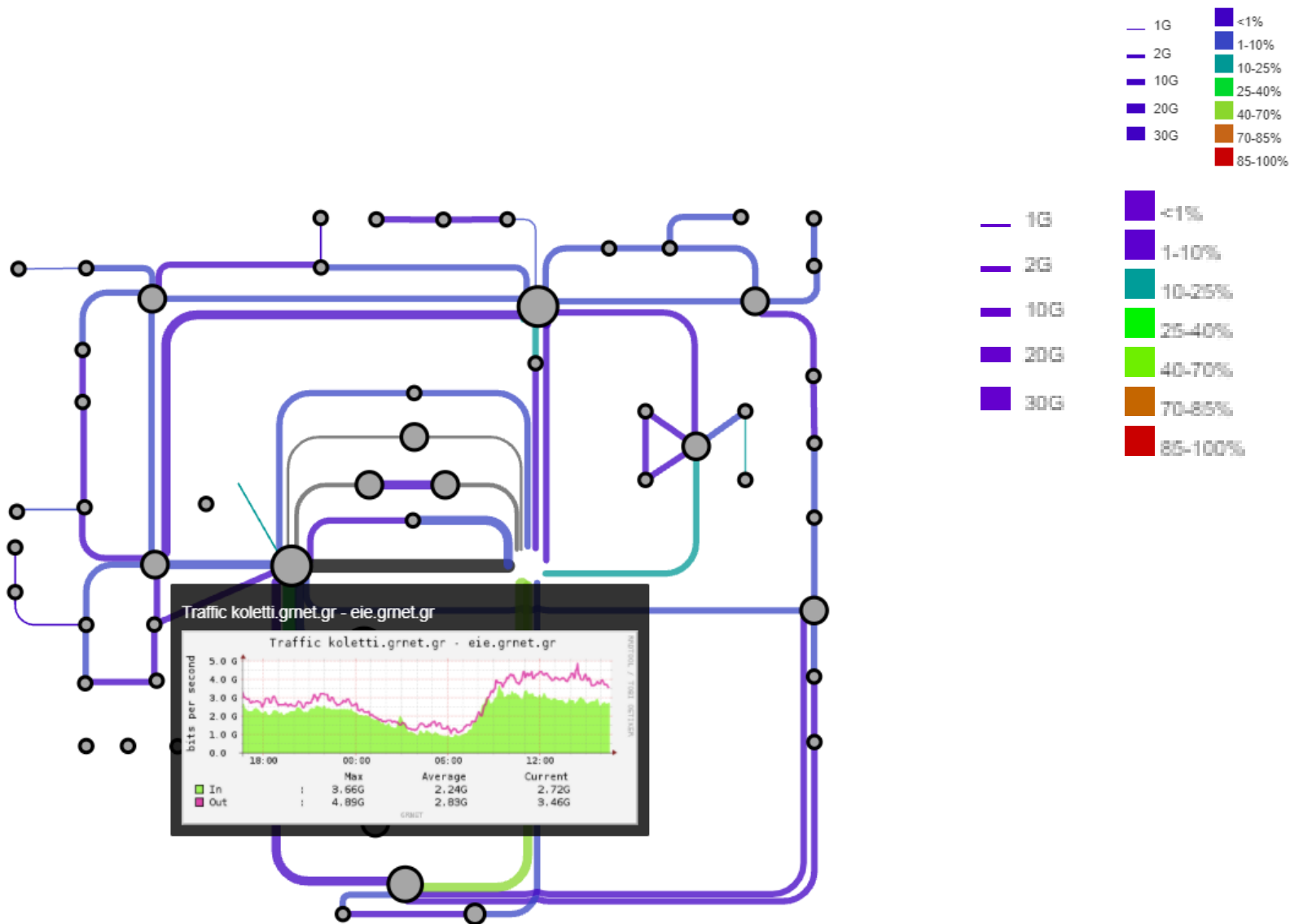
ΕΔΥΤΕ - GRNET: ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΟΡΜΟΥ - IP Overlay (13/10/2021)

<https://netmon.grnet.gr/networkmap/> (επανάληψη)

October 13, 2021 - October 12, 2021

Last Updated: 4:36:36

Carrier Links
IP Links



ΤΟ ΠΑΝΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓÉΑΝΤ <http://www.geant.org/>

ΓÉΑΝΤ  the pan-European research and education network

(επανάληψη)

**ΔΙΑΣΥΝΔΕΕΙ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ
ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ
10-100 Gbps:**

42 Εθνικά Δίκτυα Έρευνας & Εκπαίδευσης (National Research & Education Networks – NRENs)

ΤΕΛΙΚΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ:

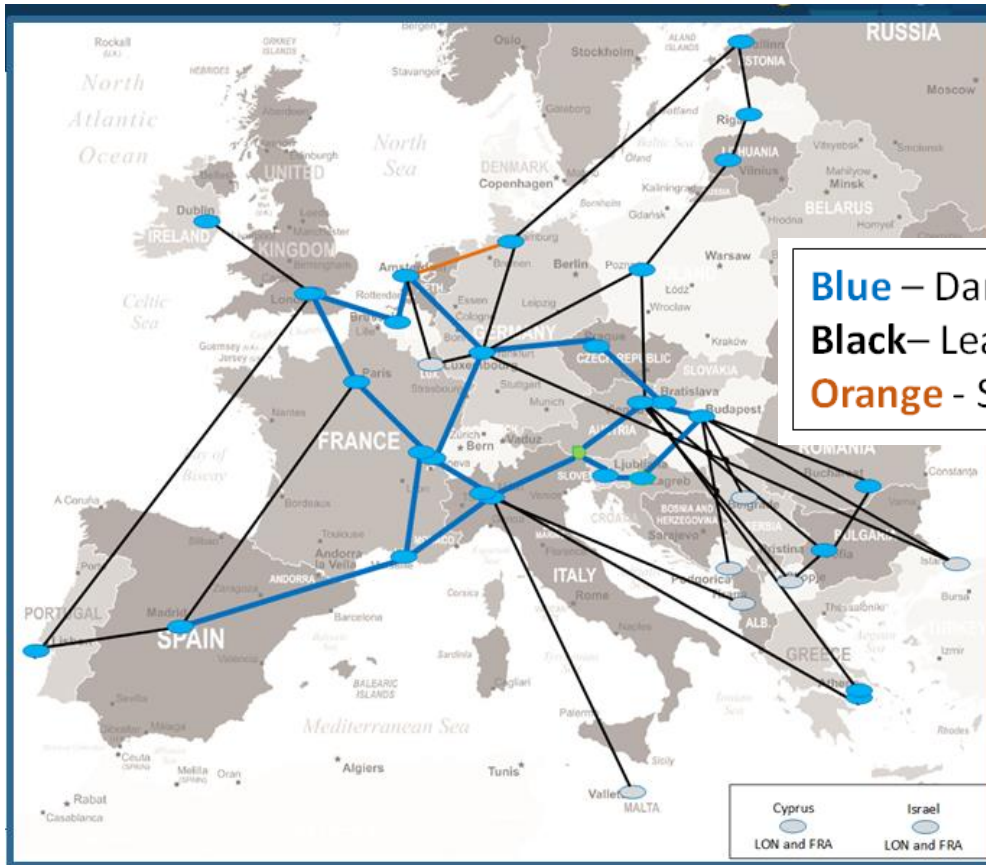
10.000 ++ Ιδρύματα

Ερευνητικές υποδομές παγκόσμιας εμβέλειας (CERN/HEP, ITER, ESFRI...)

50 εκ. ++ φοιτητές, μαθητές, εκπαιδευτικό προσωπικό, ερευνητές

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ:

DANTE + TERENA → ΓÉΑΝΤ Association





CAIDA'S IPV4 AND IPV6 AS CORE: VISUALIZING IPV4 AND IPV6 INTERNET TOPOLOGY AT A MACROSCOPIC SCALE IN 2020

SINCE 2000, CAIDA HAS GENERATED AS CORE GRAPHS – INTERNET TOPOLOGY MAPS ALSO REFERRED TO AS AS-LEVEL INTERNET GRAPHS – IN ORDER TO VISUALIZE THE SHIFTING TOPOLOGY OF THE INTERNET OVER TIME, AS CAN BE SEEN IN THE HISTORICAL VIEW. FOR A DETAILED EXPLANATION OF THE METHODOLOGY USED IN GENERATING THE AS CORE VISUALIZATIONS, SEE THE MAIN IPV4 & IPV6 AS CORE PAGE.

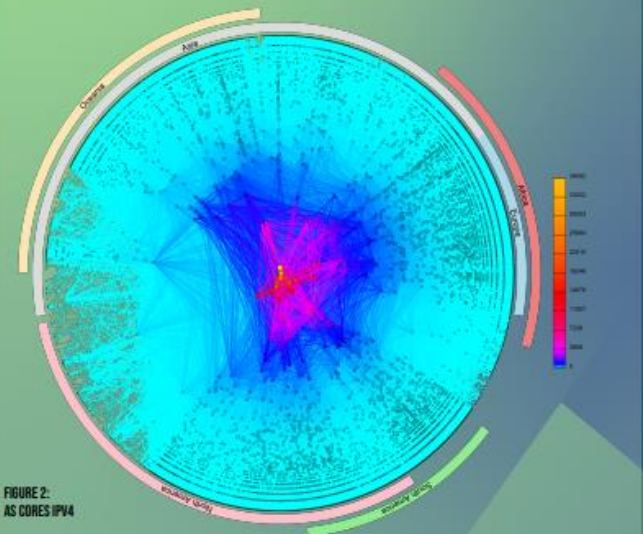


FIGURE 2: AS CORES IPV4

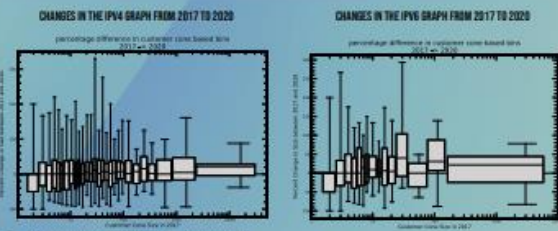


FIGURE 4: EACH BOX CORRELATES AT LEAST 25 ASes AND REPRESENTS A VARIABLE RANGE OF CUSTOMER CONE SIZES IN 2017. THE CORRELATION SHOWS THE PERCENTAGE CHANGE IN CUSTOMER CONE SIZE FOR ASes IN THE RANGE 2017 TO 2020 AT THE 90%, 75%, 50%, 25%, AND 0% MARKS.

BETWEEN 2017, LAST YEAR'S CHINA PRODUCTION AS CORE PEAKED AND 2020, THE AS CORE CAN BE OBSERVED AS A MORE DISTRIBUTED AND FLATTER, WHILE THE SMALLEST ASes WERE STAYING UNCHANGED. FOR EXAMPLE, ASes WITH CUSTOMER CONE SIZES OF 11 WOULD REPRESENT 87% OF ASes INCREASED IN SIZE BY 20% OR MORE, 10% WERE UNCHANGED, AND THE REMAINING 3% OF ASes, SLIGHTLY WORSE ASes SAW AN INCREASE IN THE NUMBER OF CUSTOMERS. THE MOVEMENT ON DISPLAYS THE LARGEST 25 ASes REPRESENTING CUSTOMER CONE SIZES BETWEEN 200 AND 200,000 ASes WITHIN THIS SET OF ASes. THE MEDIAN 2017 PERCENTILE TO THE 25th PERCENTILE INCREASED BETWEEN 1.4% TO 300.4%, ASes WITHIN THIS RANGE FROM THE 5th PERCENTILE TO THE MEDIAN DECREASED THEIR CONE SIZE BETWEEN 61.2% TO 4.2%.

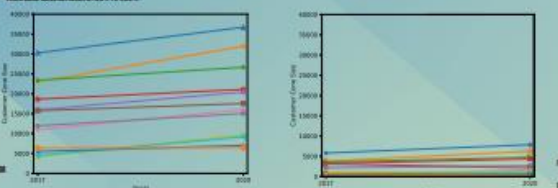


FIGURE 7: TOP 10 ASes BY IPv4 CUSTOMER CONE SIZE IN 2017 OR 2020.

FIGURE 7: SHOWS THE CHANGE IN SIZE OF THE TOP 10 ASes AND THE LARGEST 25 CUSTOMER CONES IN EITHER SET OF ASes. ALL OF THESE ASes INCREASED THEIR CUSTOMER CONE SIZE BETWEEN 2017 AND 2020. THE RANGE OF INCREASED CHANGE WAS A 30.5% INCREASE, WITH A MEDIAN INCREASE OF 21.0%. THE LARGEST GROWTH WAS OBSERVED FOR BENTON NETWORK ASes, INC. (ASes WITHIN A 200% INCREASE TO THEIR CUSTOMER CONE SIZE). LEVEL 3 COMMUNICATIONS INCREASED THE LARGEST ASes WITH A CONE SIZE OF 20 AND 200 IN 2020.



FIGURE 10: SHOWS THE CHANGE IN CUSTOMER CONE SIZE OF THE TOP 10 ASes IN 2017 OR 2020. OF THE 12 ASes SHOWN, NINE INCREASED IN SIZE. THE OTHER THREE DECREASED. IN TOTAL, THE MEAN CHANGE IN CONE SIZE FOR ALL 12 ASes CAN BE INCREASED BY 22.37%, AND A MEDIAN INCREASE OF 20.9%. THE NINE ASes WHO INCREASED RECEIVED A MEAN INCREASE OF 57.4%, AND A MEDIAN INCREASE OF 26.02%. THE LARGEST GROWTH WAS OBSERVED FROM CLOUD GIGAWATT (ASes), WHICH INCREASED BY 140.57% OF THE THREE ASes WHO INCREASED IN THEIR CONE SIZES. THEIR MEAN INCREASE WAS 60.80% AND A MEDIAN INCREASE OF 31.2%. THE LARGEST IPv6 CUSTOMER CONE AS OF JANUARY 2020 WAS FROM HURRICANE ELECTRIC, INC. (ASes), WITH A CONE SIZE OF 2,000 ASes.

FIGURE 10: SHOWS THE CHANGE IN CUSTOMER CONE SIZE OF THE TOP 10 ASes IN 2017 OR 2020. OF THE 12 ASes SHOWN, NINE INCREASED IN SIZE. THE OTHER THREE DECREASED. IN TOTAL, THE MEAN CHANGE IN CONE SIZE FOR ALL 12 ASes CAN BE INCREASED BY 22.37%, AND A MEDIAN INCREASE OF 20.9%. THE NINE ASes WHO INCREASED RECEIVED A MEAN INCREASE OF 57.4%, AND A MEDIAN INCREASE OF 26.02%. THE LARGEST GROWTH WAS OBSERVED FROM CLOUD GIGAWATT (ASes), WHICH INCREASED BY 140.57% OF THE THREE ASes WHO INCREASED IN THEIR CONE SIZES. THEIR MEAN INCREASE WAS 60.80% AND A MEDIAN INCREASE OF 31.2%. THE LARGEST IPv6 CUSTOMER CONE AS OF JANUARY 2020 WAS FROM HURRICANE ELECTRIC, INC. (ASes), WITH A CONE SIZE OF 2,000 ASes.

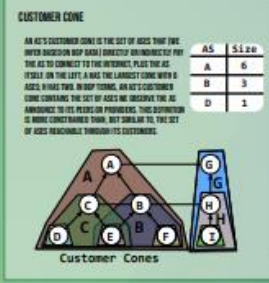
CONCLUSION

THIS AS CORE VISUALIZATION ADDRESSES ONE OF CAIDA'S TOPOLOGY MAPPING PROJECT GOALS, WHICH IS TO DEVELOP TECHNIQUES TO ALGORITHMICALLY STRUCTURAL NETWORKS AND REPORT THE EVOLUTION OF CRITICAL COMPONENTS OF THE INTERNET INFRASTRUCTURE. THE IPv4 AS CORE SHOWS THE RELATIVE GROWTH OF THIS INTERNET TOPOLOGY FROM 2017 TO 2020. THE NET CHANGE IN THE NUMBER OF IPv4 ASes BETWEEN 2017 AND 2020 WAS 13,889 (+30.37%), AND A 37.6 (+38.27%) INCREASE IN ASes. THIS ALSO INCLUDES AN INCREASE OF 13,827 (+38.08%) INCREASE IN ASes ADDRESS RANGES.

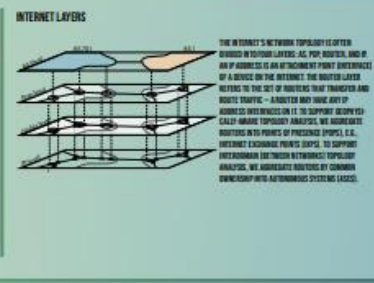
THE IPv6 DATA SHOWS THE RELATIVE GROWTH OF THIS INTERNET TOPOLOGY FROM 2017 TO 2020. THE NET CHANGE IN THE NUMBER OF IPv6 ASes WAS 1,891 (+18.87%), A 13,354 (+32.20%) INCREASE IN ASes, AND A NET INCREASE OF 301,733 (+2.1%) INCREASE IN ASes FROM 2017 TO 2020.

IPv4 YEAR	ASes	ASes/LN	IPv6	IPv6 ASes/LN	ASes	ASes/LN
2017	45,227	182,789	40,725,594	14	150	150
2020	41,357	120,011	25,198,831	29	151	151

IPv6 YEAR	ASes	ASes/LN	IPv6	IPv6 ASes/LN	ASes	ASes/LN
2017	12,946	54,261	9,823,827	29	150	150
2020	10,595	41,087	576,964.5	20	151	151



STAFF
CAIDA TEAM:
 DONALD WALTON, BRADLEY HOFFMANN, KE CLAFFY
SOFTWARE DEVELOPMENT:
 YOUNG HYUN, MATTHEW LUCKIE, ALEX MANDER, BRADLEY HOFFMANN, ANDREW DANKOWICZ
POSTER DESIGN:
 MELISSA HERNANDEZ
COPYRIGHT © 2020
 WE RESPECT ALL RIGHTS RESERVED.
SPONSORED BY:
 CENTER FOR APPLIED INTERNET RESEARCH
 1000 UNIVERSITY AVENUE, SUITE 1000
 BERKELEY, CA 94702-1550
 TEL: 415.747.8000
 WWW.CAIDA.ORG



INTERNET LAYERS
 THE INTERNET'S NETWORK TOPOLOGY CENTERED WITHIN THE INTERNET LAYERS AS IP ROUTER, AND IP ASes (ASes) AS AN INTERCONNECT POINT (INTERFACES) BY A RANGE OF THE INTERNET. THE BOTTOM LAYER BEING THE SET OF ROUTERS THAT TRANSMIT AND ROUTE TRAFFIC – A ROUTER MAY HAVE MULTIPLE INTERFACES ON IT TO SUPPORT DIFFERENT CUSTOMER CONES. THE INTERNET LAYERS ARE SUPPORTED BY A RANGE OF THE INTERNET LAYERS ASes. THE INTERNET LAYERS ARE SUPPORTED BY A RANGE OF THE INTERNET LAYERS ASes. THE INTERNET LAYERS ARE SUPPORTED BY A RANGE OF THE INTERNET LAYERS ASes.



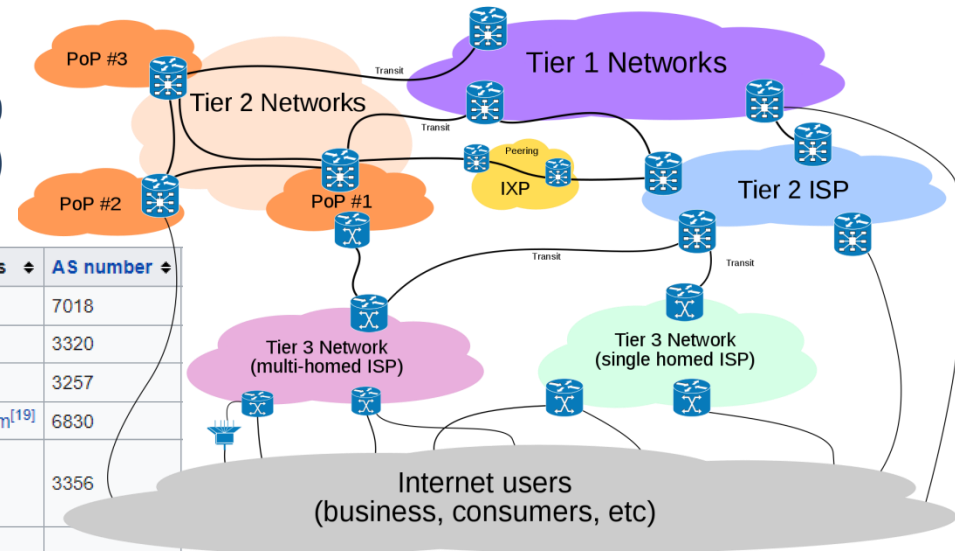
DATA SOURCE
 CAIDA'S AS CORE VISUALIZATION REPRESENTS A MACROSCOPIC VIEW OF ACTIVE (TRIGGERED) AND PASSIVE (EMPTY) TOPOLOGY SAMPLES COLLECTED OVER THE FIRST FIVE DAYS OF JANUARY 2020. EACH AS CORE REPRESENTS AN AUTONOMOUS SYSTEM (AS) WHICH REPRESENTS A COLLECTION OF IP ADDRESSES ON THE INTERNET. THE ASes ARE IDENTIFIED BY THE NUMBER OF CUSTOMERS THEY SERVE. ASes ARE IDENTIFIED BY THE NUMBER OF CUSTOMERS THEY SERVE. ASes ARE IDENTIFIED BY THE NUMBER OF CUSTOMERS THEY SERVE. ASes ARE IDENTIFIED BY THE NUMBER OF CUSTOMERS THEY SERVE.

FOR MORE INFORMATION ABOUT THE TOPOLOGY MAPPING PROJECT, SEE:
<https://www.caida.org/projects/macrographs/>
FOR DETAILS ON OUR AS CUSTOMER CONE MAPPING METHODOLOGY, BASED ON INFORMATION AS RELATIONSHIPS FROM BGP DATA, SEE CAIDA'S INTRODUCTION TO RELATIONSHIP-BASED AS MAPPING BY:
<https://www.caida.org/as/as-as-relationgraphs/>

ΤΟ «ΕΜΠΟΡΙΚΟ» INTERNET: **There is no Free Lunch**

http://en.wikipedia.org/wiki/Tier_1_network

Οι 16 **Tier 1** ISP's με πρόσβαση και στα 900,000 δίκτυα - γνωστούς προορισμούς (IPv4 prefixes)



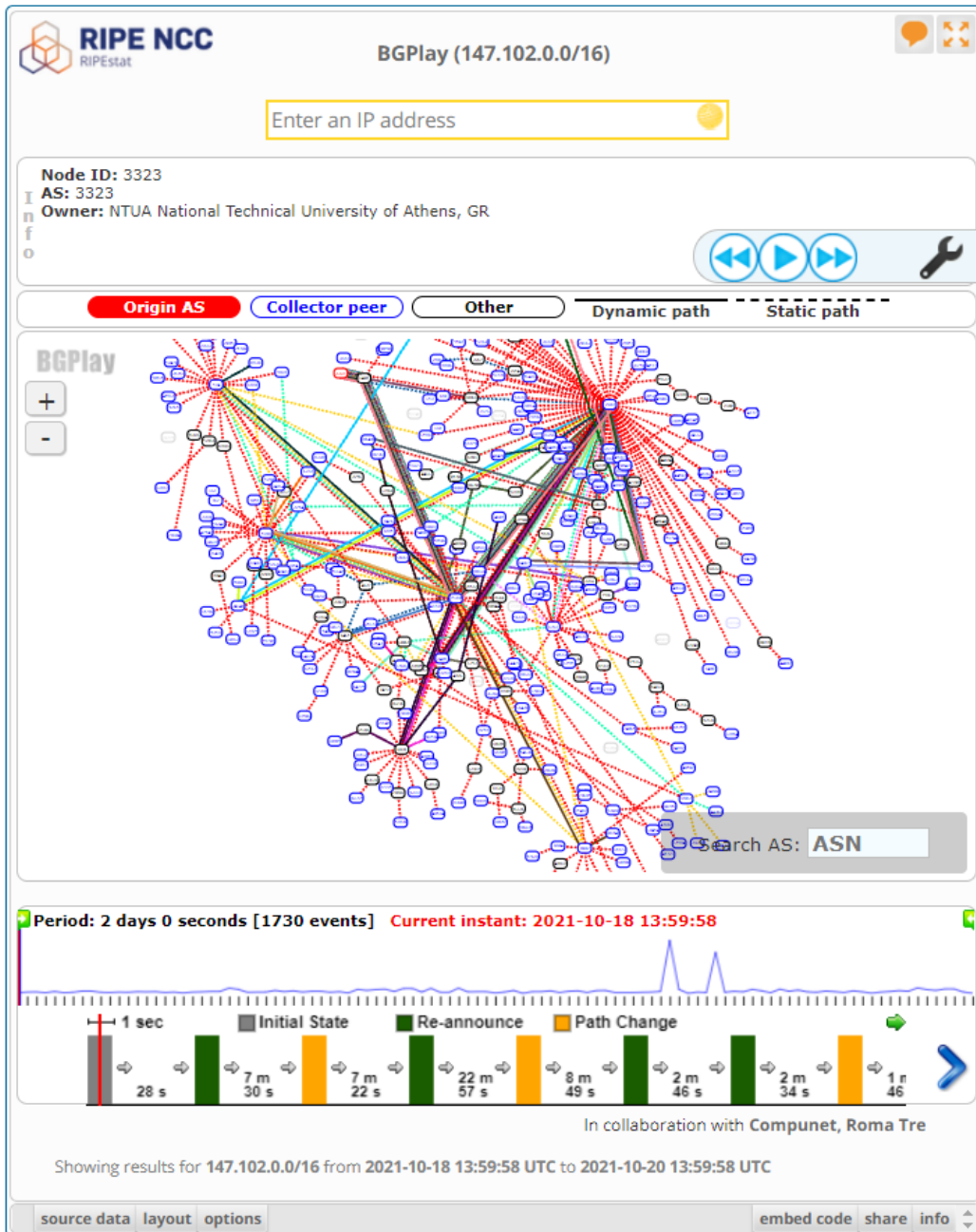
Tier 2 ISP's με ελαφρά μειωμένη πρόσβαση (συχνά θεωρούμενοι **Tier 1**)

Name	Headquarters	AS number
AT&T ^[11]	United States	7018
Deutsche Telekom Global Carrier ^[13]	Germany	3320
GTT Communications	United States	3257
Liberty Global ^{[17][18]}	United Kingdom ^[19]	6830
Lumen Technologies (formerly CenturyLink formerly Level 3) ^{[21][22][23]}	United States	3356
Lumen Technologies (formerly CenturyLink formerly Level 3 formerly Global Crossing) ^{[21][22][23]}	United States	3549
NTT Communications (formerly Verio) ^[26]	Japan	2914
Orange ^[27]	France	5511
PCCW Global	Hong Kong	3491
T-Mobile US (formerly Sprint) ^[29]	United States	1239
Tata Communications (formerly Teleglobe) ^[31]	India	6453
Telecom Italia Sparkle (Seabone) ^[33]	Italy	6762
Telia Carrier ^[34]	Sweden	1299
Telxius (Subsidiary of Telefónica) ^[36]	Spain	12956
Verizon Enterprise Solutions (formerly UUNET) ^[42]	United States	701
Zayo Group (formerly AboveNet) ^[44]	United States	6461

Name	Headquarters	AS Number
China Telecom ^[48]	China	4134
China Unicom ^[49]	China	4837
Cogent Communications (formerly PSINet) ^[50]	United States	174
Comcast ^[53]	United States	7922
Hurricane Electric ^[54]	United States	6939
RETN ^[57]	United Kingdom	9002
Vodafone Carrier Services (formerly Cable & Wireless) ^[58]	United Kingdom	1273
Verizon Enterprise Solutions (formerly XO Communications) ^{[60][61]}	United States	2828
Telstra ^[62]	Australia	4637

ΠΑΡΟΧΗ INTERNET ΣΤΟ Ε.Μ.Π. (NTUA - ASN 3323)

<https://stat.ripe.net/special/bgplay>



NTUA (3323)
GRNET (5408)
GÉANT (21320)

GÉANT Internet Feeds

- **COGENT (174)**
- **Telia (1299)**
- **HURRICANE US (6939)**
- **NORDUnet (2603)**

TO ATHENS INTERNET EXCHANGE (AIX)

Πρωτοβουλία του Ε.Μ.Π. & του GRNET, 1996

ΜΕΛΗ: **Tier 2** ISP's της Ελλάδας & ΕΔΕΤ για Εθνικό Peering

- GRNET (ΕΔΕΤ)
- Forthnet
- Hellas On Line
- Altec Telecoms
- NetOne
- Vivodi
- Verizon Hellas
- ON Telecoms
- OTENET
- AT&T Global Network Services Hellas
- ORANGE BUSINESS SERVICES
- Vodafone NET
- WIND
- Tellas
- Lannet

Το BGP δεν ανακοίνωνε Εθνικούς Προορισμούς συνδρομητών εκτός Ελλάδος μέσω AIX, μόνο από Tier 1 – Tier 2 feeds των παρόχων τους (πιθανή συνεργασία μόνο σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης)

GREEK INTERNET EXCHANGE (GR-IX)

2009: ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗ ΑΙΧ → GR-IX

<https://www.gr-ix.gr/>

GR-IX::Athens (57 μέλη)

3 σημεία στέγασης (Points-of-Presence, PoP's)

- N.H.R.F. (Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών)
- Lamda Hellix
- Telecom Italia Sparkle, Greece

GR-IX::Thessaloniki (21 μέλη)

1 σημείο στέγασης (Point-of-Presence, PoP)

- SYNAPSECOM S.A.

GR-IX::Athens

Member	AS	ATH01	ATH02	ATH03
Amazon	16509		✓	
Athens Exchange Group	12036			✓
CD	207540		✓	
City of Athens	206628	✓		
Cloudflare	13335		✓	
Connections	197940			✓
CRNET	2269			✓
Qix (Qixue)	6866			✓
Deutsche Telekom	13244		✓	
Edges Network	47797		✓	
ERT	20146	✓		
Raspnet	26407			✓
FIN	207640		✓	
Rational	51262			✓
Goman	20211		✓	
Greece Telecom	206622			✓
Greek Internet Exchange (GR-IX)	192269	✓		
National Infrastructure for Research and Technology (GRNET)	5408	✓		✓
HCI	27794			✓
Hellenic Telecommunications and Post Commission	202946	✓		
HostElin	20220		✓	
Hurtiana Electric	6229		✓	
Italian	207546			✓
Information Society SA	20206		✓	✓
Interconnect	206927			✓
Inter Telekom	48172			✓
InterNet Hellas	20162			✓
Lancom	192261			✓
Lambda Hellix	26210		✓	✓
Meradok	206229			✓
Microsoft	16509		✓	
Modulus	201464		✓	✓
Necti	27462			✓
NOVA	1241		✓	✓
ODNevionia	60725			✓
OneCom Global Communications	21165			✓
OTE	2799		✓	✓
Packet Clearing House Route Collector	26266			✓
Polnet	201920			✓
Real TV GmbH	207227		✓	
Roi Games Ltd	6207			✓
Shovuz	202043			✓
SOI Telekom	208149			✓
Subspace	22261		✓	
Synapsecom	2282			✓
TI Spanska Greece	192477			✓
Top Host	192246		✓	
Wanion	702		✓	
Vodafone	2229		✓	✓
WIND	25472		✓	✓
Xuboro	202796			✓

GR-IX::Thessaloniki

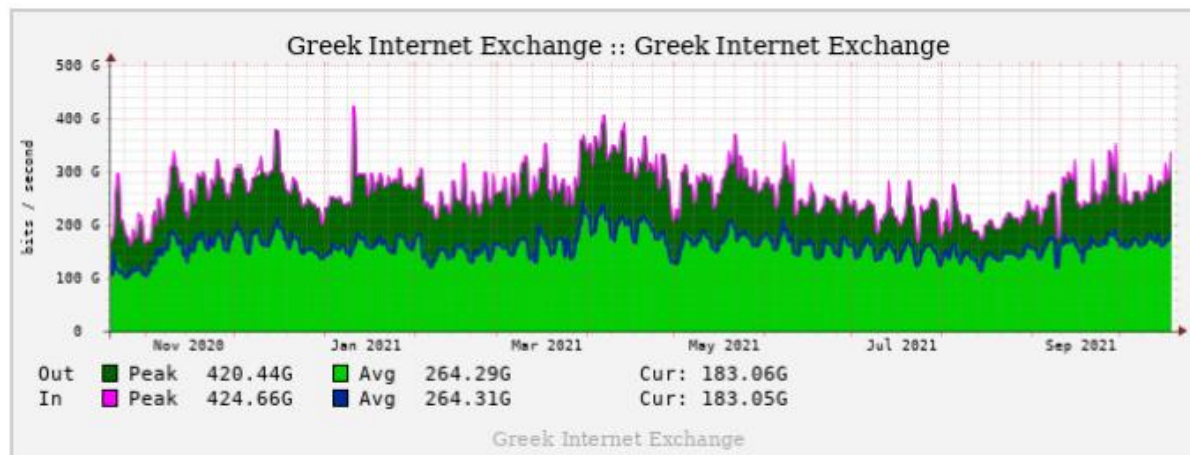
Member	AS	THESS01
Cloudflare	13335	✓
Deutsche Telekom	13244	✓
Greece Telecom	206622	✓
National Infrastructure for Research and Technology (GRNET)	5408	✓
HCI	27794	✓
Inter Telekom	48172	✓
SACT	21267	✓
Meradok	206229	✓
NOVA	1241	✓
OTE	2799	✓
SD Company	44201	✓
Subspace	22261	✓
Synapsecom	2282	✓
Telehouse	27244	✓
Top Host	192246	✓
Vectra	26205	✓
Wacom	6826	✓
Vodafone	2229	✓
WIND	25472	✓

DNS services (anycast name servers)

AS112 (Hellas DNS lookup for RFC 1918 addresses)	112	✓
RDFTH.gr	48222	✓

Year Graph

<https://portal.gr-ix.gr/statistics/ixp>



DNS services (anycast name servers)

AS112 (Hellas DNS lookup for RFC 1918 addresses)	112	✓	✓
RDFTH.gr	48222	✓	
Packet Clearing House DNS (Root Servers and about 400 gr.DeletDe)	42	✓	
RFP (K-root)	29122	✓	
Wanion (Internet Resolution Service (i-res.com, net.gr))	26412	✓	

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

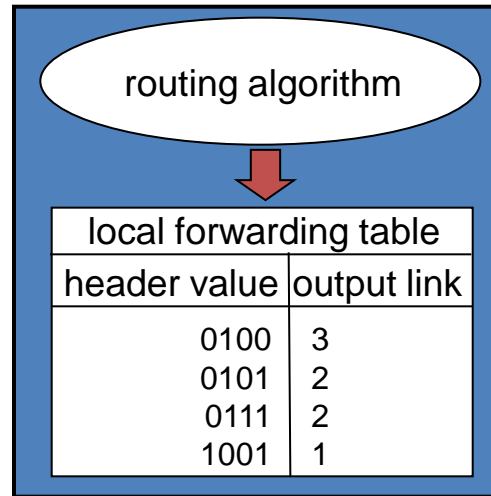
- **Διαχειριστικός Έλεγχος**
 - Συγκεντρωτικός: Δημόσια Δίκτυα Μεταγωγής Πακέτου **X.25/X.75**
 - Κατανεμημένος: **Internet**
 - Interior Gateway Protocols - **IGP**
 - Exterior (Border) Gateway Protocols - **EGP/BGP**
- **Δρομολόγηση με ή χωρίς Εναλλακτικούς Δρόμους**
 - Single choice:
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 3 στο **Internet: Host Routing, IGP** (OSPF, IS-IS), **BGP**
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 2: **Bridged Ethernet LANs**
 - Alternate routing:
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 3 στο Internet: **IGP ECMP** (Equal-Cost Multi-Path)
 - Δρομολόγηση Επιπέδου 2 ½: **MPLS/TE** (Multi-Protocol Label Switching / Traffic Engineering)
 - Τηλεφωνικά Δίκτυα **PSTN** (Public Switched Telephone Networks)
- **Διαχειριστική Δυναμική**
 - Στατική δρομολόγηση:
 - **Host Routing** στο Internet - Default Gateway
 - Υπολογισμός εναλλακτικών δρόμων με σταθερά βάρη γραμμών (**X.25/X.75**)
 - Δυναμική δρομολόγηση:
 - Μεταβαλλόμενα βάρη γραμμών (**ARPANet**)
 - Μεταβολές ανάλογα με διαθεσιμότητα γραμμών (**Internet IGP, BGP**)

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ INTERNET

- **Προώθηση (forwarding):** Μετακίνηση πακέτων από την είσοδο δρομολογητή σε κατάλληλη έξοδο (*λειτουργία data plane*)
- **Δρομολόγηση (routing):** καθορισμός διαδρομής πακέτων από πηγή προς προορισμό, *routing algorithms* (*λειτουργία control plane*)

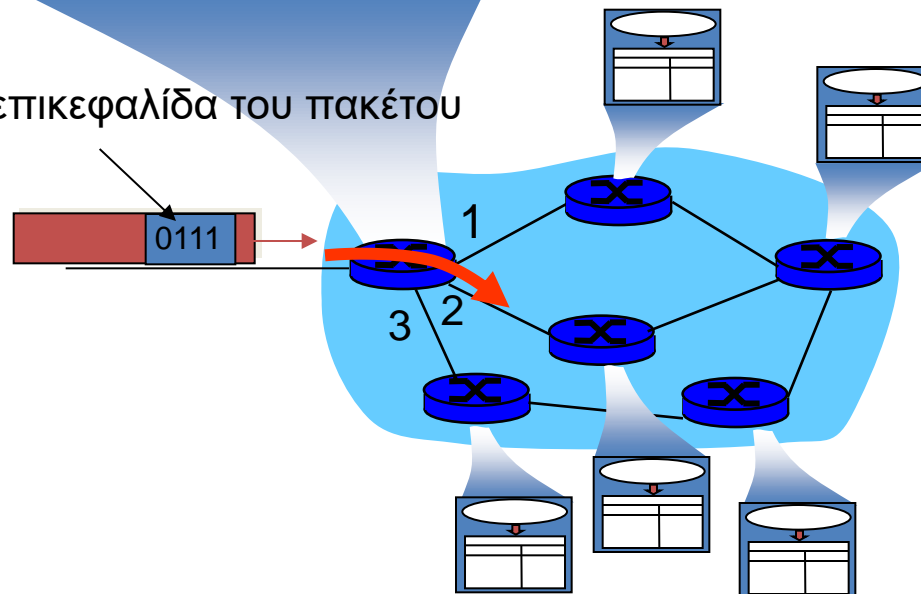
Σημείωση: Στις επόμενες διαφάνειες χρησιμοποιήθηκε υλικό υποστήριξης του βιβλίου των Kurose & Ross “**Computer Networking: A Top-Down Approach,**” Pearson Publisher, 6th Edition.

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟ INTERNET



Συσχέτιση Δρομολόγησης – Προώθησης

Τιμή στην επικεφαλίδα του πακέτου



ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Layer 3 Intra-AS Routing

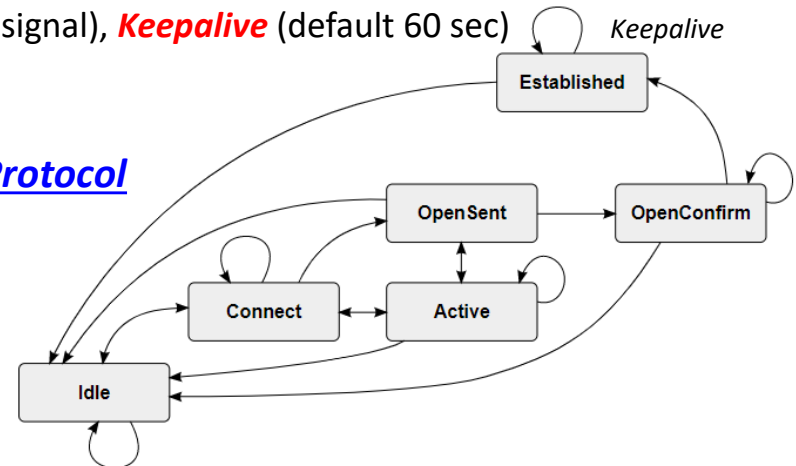
- **Intra-AS Routing, Interior Gateway Protocols (IGP):** Μια έξοδος προς επόμενο Interface για κάθε υποδίκτυο (subnet) τελικό προορισμό εντός ενός AS
 - RIP (Routing Internet Protocol): Πρωτόκολλο παλαιάς γενιάς, βασισμένο σε αλγόριθμους **distance vector (Bellman Ford)**
 - OSPF (Open Shortest Path First): Το πιο διαδομένο σήμερα, βασισμένο σε αλγόριθμους **link state (Dijkstra)**. Για λόγους κλιμάκωσης, μπορεί να υλοποιηθεί ιεραρχικά γύρω από την περιοχή κορμού (**backbone area 0** ή 0.0.0.0) και με συνδεδεμένες περιφερειακές περιοχές (**stub areas**). Για δρομολόγηση πακέτων IPv4, ισχύει η OSPF Version 2: RFC 2328, 1998
 - IS-IS
 - Δυνατότητα πολλαπλών εναλλακτικών δρόμων ίσου κόστους (ECMP): Direct routing μεταξύ γειτονικών δρομολογητών με παράλληλες συνδέσεις και επιλογή εξόδου με proprietary αλγορίθμους (π.χ. Per-Packet Round-Robin, Per-Flow Load Balancing, Per Source -Destination Traffic Engineering...) Για αυτοματισμό του OSPF απαιτείται τροποποίηση του αλγορίθμου **Dijkstra για k-Shortest paths**

ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Layer 3 Inter-AS Routing

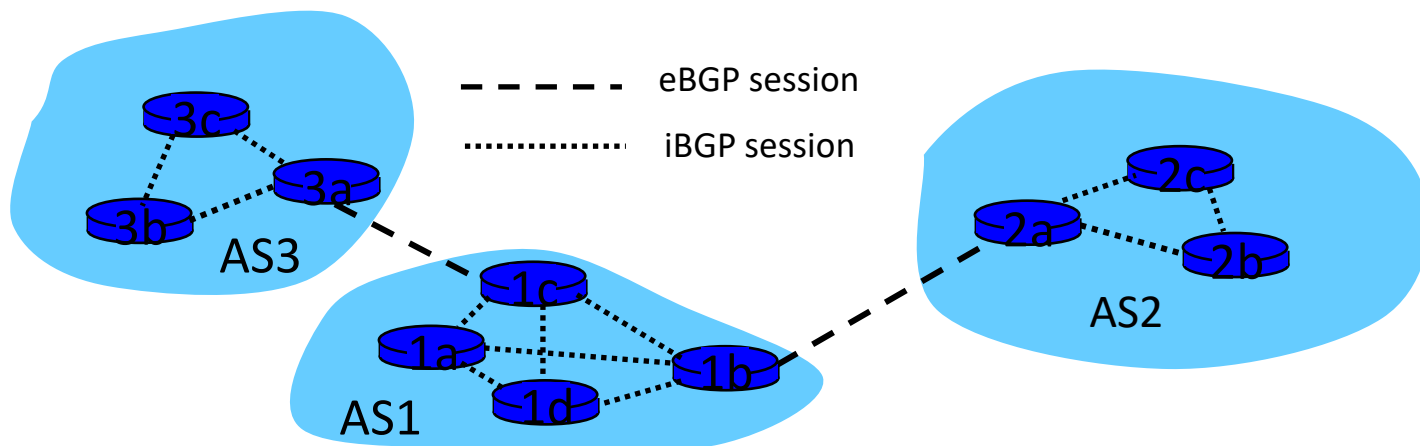
- **Inter-AS Routing, Exterior (Border) Gateway Protocols (EGP/BGP):** Πολλές εναλλακτικές διαδρομές με βάρη προς όλα τα γνωστά δίκτυα (περίπου 900.000 σήμερα) μεταξύ ακραίων (border) routers αυτονόμων συστημάτων (Autonomous Systems, AS, περίπου **78.000** σήμερα)
 - Η διαδρομή καταγράφεται στον BGP Table των ακραίων δρομολογητών (border gateways) ενός AS ανά prefix (υποδίκτυο προορισμού) και την σειρά των AS's της προτεινόμενης διαδρομής (μαζί με το βάρος της)
 - Οι πίνακες BGP φυλάσσονται στην ηλεκτρονική μνήμη των border gateways και ανανεώνονται δυναμικά όποτε υπάρχουν αλλαγές στο Internet με ευθύνη των γειτονικών δρομολογητών (border gateways) που ανακοινώνουν τα δίκτυα των αυτονόμων κοινοτήτων (AS's) που γνωρίζουν (**advertising**)
 - Ο υπολογισμός των «βέλτιστων» Inter-AS δρόμων γίνεται κατανεμημένα, βασισμένος σε αλγόριθμους **distance vector (Bellman Ford)** με κόστη τα βάρη των συνδέσεων μεταξύ border gateways. Οι δρόμοι Inter-AS μπορεί να αλλάξουν στη πορεία ενός πακέτου προς τον τελικό του προορισμό
 - BGP (RFC 4271): Control plane packets (signals) μεταξύ BGP peers – TCP port 149
 - Finite State Machine: **Idle, Connect, Active, OpenSent, OpenConfirm, Established**
 - BGP packet types: **Open, Update, Notification** (error signal), **Keepalive** (default 60 sec)

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



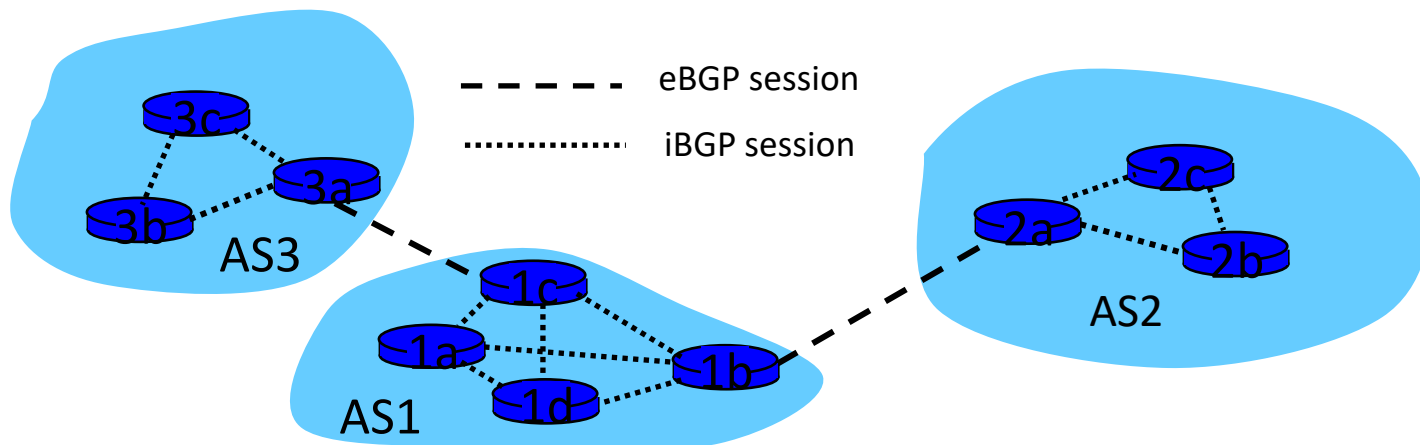
ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ BGP

- Τα ζεύγη από συντοριακούς δρομολογητές (BGP peers) ανταλλάσσουν πληροφορίες δρομολόγησης (routing info) πάνω από ημι-σταθερές συνδέσεις TCP: **BGP sessions**
 - Οι BGP sessions δεν χρειάζεται να αντιστοιχίζονται σε φυσικές συνδέσεις links
- Όταν το AS2 ανακοινώνει ένα πρόθεμα (prefix υποδικτύου προορισμού) προς AS1:
 - Το AS2 **υπόσχεται** ότι θα προωθεί πακέτα με διεύθυνση προορισμού που να ανήκει στο δεδομένο prefix
 - Το AS2 μπορεί να συναθροίσει (aggregate) prefixes υποδικτύων στις ανακοινώσεις του



ΔΙΑΝΟΜΗ BGP REACHABILITY INFO

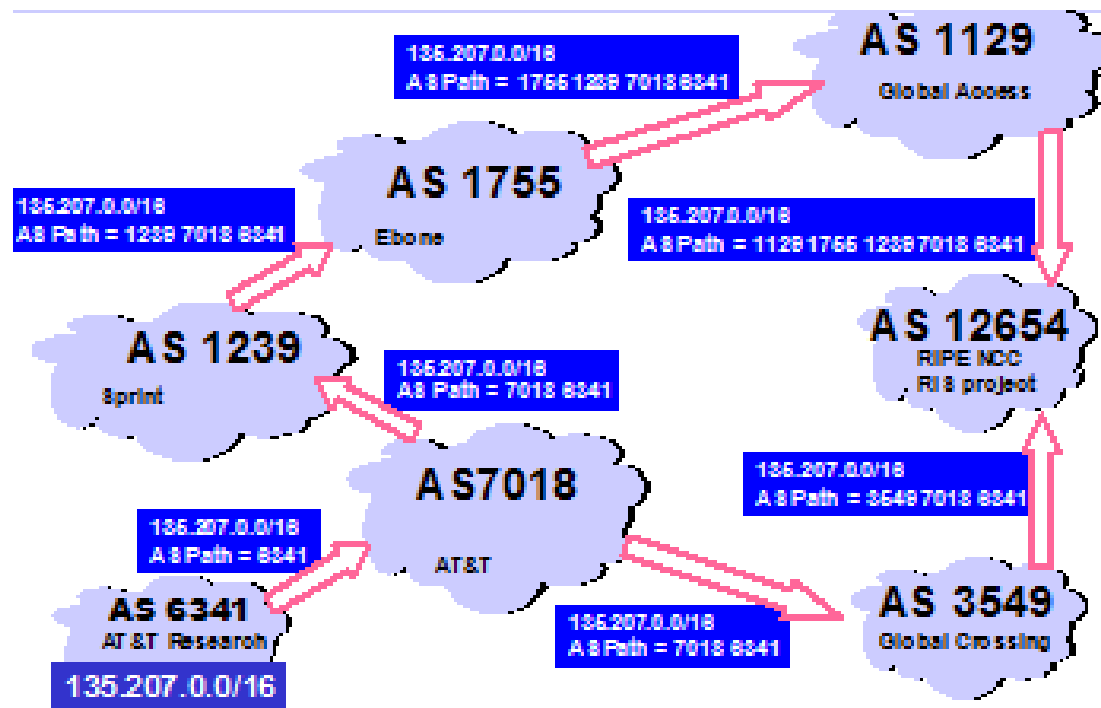
- Με χρήση σύνδεσης TCP, το πρωτόκολλο **eBGP (external BGP)** μεταξύ των border gateways 3a και 1c στέλνει **prefix reachability info** της AS3 στην AS1
 - 1c μπορεί να χρησιμοποιήσει **iBGP (internal BGP)** για διανομή νέων **prefix reachability info** σε όλους τους δρομολογητές κορμού της AS1
 - 1b μπορεί να ξανα-ανακοινώσει νέο **prefix reachability info** στο AS2 πάνω από σύνδεση eBGP μεταξύ 1b-to-2a
- Ένας δρομολογητής όταν μαθαίνει νέο **network prefix**, δημιουργεί routing entry στο πίνακα προώθησης (**forwarding table**)
- Οι δρομολογητές που μετέχουν στο iBGP μέσα σε μια AS πρέπει να είναι απ' ευθείας διασυνδεδεμένοι (**fully connected iBGP routers**)



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗΣ

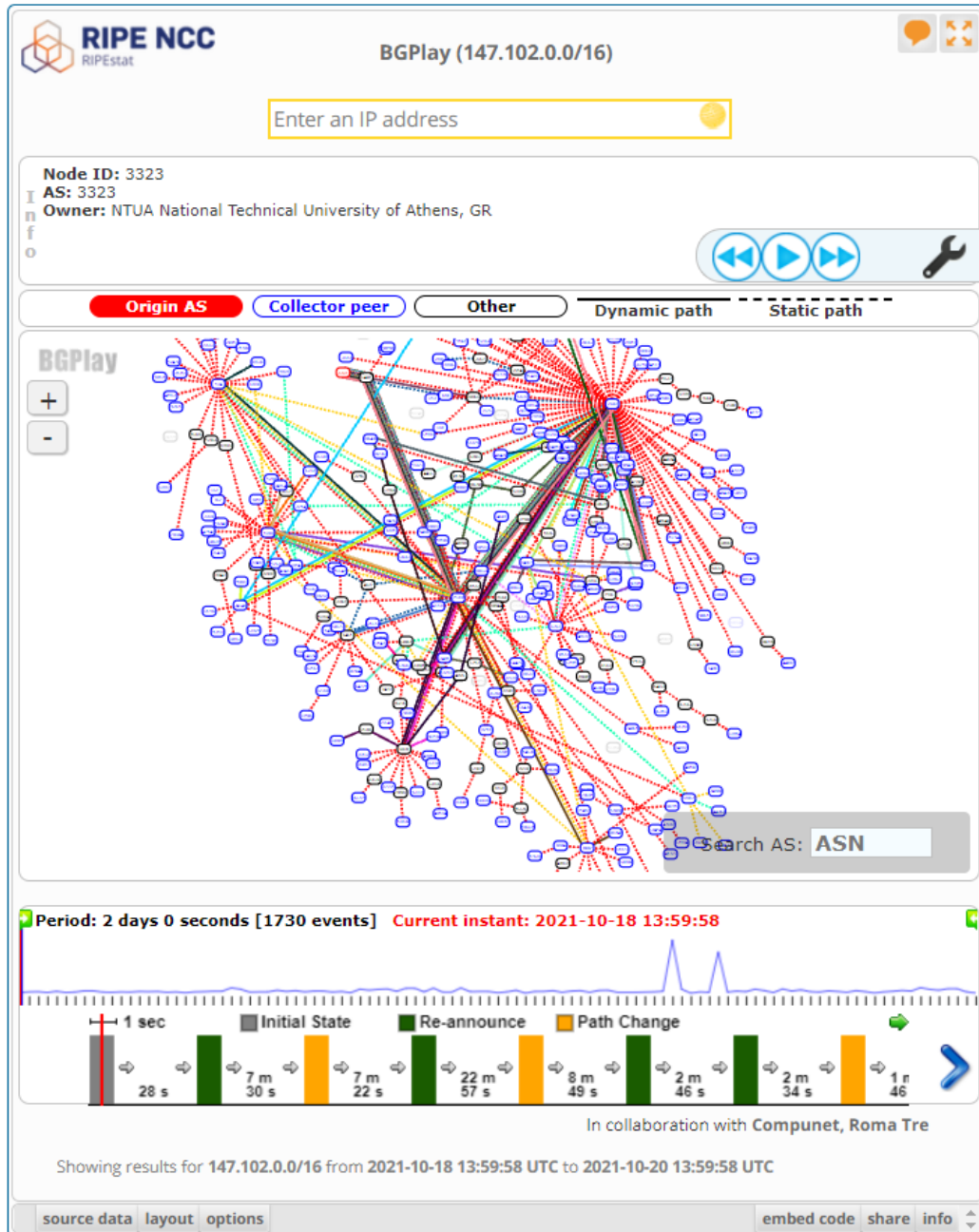
ΔΙΚΤΥΟΥ 135.207.0.0/16 ΜΕΣΩ BGP (επανάληψη)

(από παρουσίαση του Timothy G. Griffin, AT&T Research, Paris 2002)



ΠΑΡΟΧΗ INTERNET ΣΤΟ Ε.Μ.Π. (NTUA - ASN 3323)

<https://stat.ripe.net/special/bgplay>



NTUA (3323)
GRNET (5408)
GÉANT (21320)

GÉANT Internet Feeds

- **COGENT (174)**
- **Telia (1299)**
- **HURRICANE US (6939)**
- **NORDUnet (2603)**