

[CS 335A] Assignment 4 - Network Layer

To route or not to route?: that is not even a question!

Deadline: 12/12/2023

Professor: Maria Papadopoulou

TA: Katerina Lionta

Mail : klionta@csd.uoc.gr

Question 1 [10 pts]

Describe how **NAT** violates in four different ways core aspects-principles of the TCP/IP architecture.

1. Η μέθοδος NAT παραβιάζει το αρχιτεκτονικό μοντέλο του IP, το οποίο ορίζει ότι κάθε συσκευή θα προσδιορίζεται μοναδικά από μια IP, τώρα πολλές συσκευές έχουν την ίδια IP
2. Καταστρατηγεί το μοντέλο συνδεσιμότητας από άκρο σε άκρο του διαδικτύου. Ένας οικιακός χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τη μέθοδο NAT για να συνδεθεί μέσω TCP/IP σε έναν server, αλλά ένας απομακρυσμένος χρήστης δεν μπορεί να συνδεθεί σε έναν server παιχνιδιών οικιακού δικτύου
3. Το TCP είναι ένα ασυνδεδασμένο πρωτόκολλο μεταφοράς με το να κρατάει το NAT πληροφορίες για τις συνδέσεις μετατρέπει το TCP σε συνδεδασμένο πρωτόκολλο μεταφοράς
4. Παραβιάζει το κανόνα δόμησης των πρωτοκόλλων σε επίπεδα
5. Το NAT δουλεύει με αριθμούς θύρας του TCP, αν ο χρήστης επιλέξει να χρησιμοποιήσει άλλο πρωτόκολλο μεταφοράς η παρεμβολή του NAT θα κάνει την εφαρμογή να αποτύχει

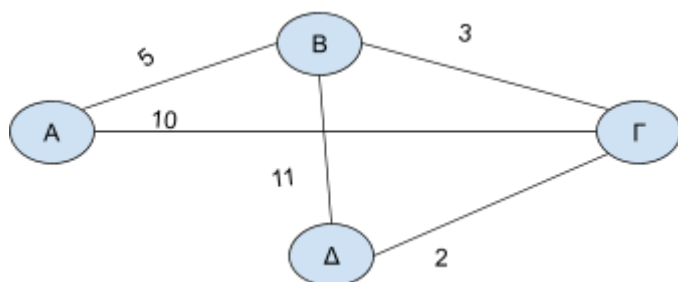
Question 2 [10 pts]

Discuss key differences between the **distance vector vs. link-state algorithms** in terms of computational complexity and communication overhead?

textbook: Επίπεδο δικτύου: Επίπεδο ελέγχου (Μια Συγκριση των αλγορίθμων Δρομολόγησης LS και DV) κεφ.5 σελ.394 8η έκδοση

Question 3 [10 pts]

Present how the **link-state algorithm** runs on router Δ in the network topology shown below



N	D(A), p(A)	D(B), p(B)	D(Γ), p(Γ)	D(Δ), p(Δ)
Δ	∞	11, Δ	2, Δ	-
ΔΓ	12, Γ	5, Γ	-	-
ΔΓB	10, B	-	-	-
ΔΓBA	-	-	-	-

Question 4 [20 pts]

a. What are the main differences of **BGP** vs the link-state and distance-vector routing algorithms? (10 pts)

1. Το BGP είναι πρωτοκόλλο που χρησιμοποιείται για να ανταλλάσουν πληροφορίες τα ASes στο Internet, οι link-state and distance-vector routing αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται κυρίως τοπικά σε ένα AS
2. Το convergence του BGP μπορεί να είναι πιο αργό λόγω των policies, οι routing αλγόριθμοι link-state and distance-vector κάνουν converge πιο γρήγορα γιατί μπορούν να αντιδράσουν πιο γρήγορα στις αλλαγές του δικτύου
3. Το BGP είναι πιο scalable αφού έχει δημιουργηθεί για την επικοινωνία ολοκληρωμένου διαδικτύου σε αντίθεση με τους άλλους δύο αλγόριθμους που είναι κατάλληλοι για μεσαίου μεγέθους δίκτυα.

b. (i) How does BGP help to improve the scalability in routing? ii) Provide an example that illustrates how a network administrator may “compromise” (“trade”) between scalability and routing performance in the context of routing through **autonomous systems (ASs)**. (10 pts)

(i)

1. Ο αριθμός των κόμβων που συμμετέχουν στο BGP είναι της τάξης του αριθμού των ASes, ο οποίος είναι πολύ μικρότερος του αριθμού των δικτύων

2. ο εντοπισμός ενός καλού διαπεριοχιακού (inter-domain) δρομολογίου αφορά απλώς τον εντοπισμό μιας διαδρομής προς τον σωστο συνοριακό δρομολογητή, που υπάρχουν λίγοι ανα AS. Επομένως έχουμε έξυπνα υποδιαιρείσει το πρόβλημα της δρομολόγησης σε τμήματα που είναι ευκολότερο να διαχειριστούμε, χρησιμοποιώντας για ακόμη μια φορά ένα νέο επίπεδο ιεραρχίας για να βελτιώσουμε τη δυνατότητα της κλιμάκωσης. Η πολυπλοκότητα της διαπεριοχικής δρομολόγησης είναι της τάξης του αριθμού των ASes, και η πολυπλοκότητα της ενδοπεριοχιακής (intra-domain) δρομολόγησης είναι της τάξης του αριθμού των δικτύων που υπάρχουν σε ένα μεμονωμένο AS.

(ii)

Υπάρχει συχνά ο συμβιβασμός μεταξύ καποιου ειδους βελτιστοποίησης και της δυνατότητας κλιμακωσης του μεγεθους. Όταν εισαγεται ιεραρχια αποκρύπτονται πληροφορίες απο καποιους κόμβους του δικτυου με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η ικανότητα τους να λαμβανουν τις απολυτως βελτιστες αποφασεις. Ωστοσο, η αποκρυψη πληροφοριων είναι πολυ σημαντικη για τη δυνατοτητα κλιμακωσης, αφου απαλλασει τους κομβους απο την υποχρεωση να γνωριζουν τα παντα. Για τα μεγαλα δικτυα είναι παντα αληθες ότι η δυνατοτητα κλιμακωσης αποτελεί πιο επιτακτικο σχεδιαστικο στοχο απο την επιτευξη κατι εντελως βελτιστου.

Question 5 [5 pts]

Which one of the following statements about BGP is FALSE?

- a) EIGP preference value is 20
- b) BGP uses three-way handshake
- c) BGP can not used in AS
- d) BGP uses TCP port 179

Question 6 [5 pts] (see the [Tutorial -Network Layer](#))

When you run the "*show ip bgp*" command, what does the output "next hop of 0.0.0.0" in the routing table of the router indicate?

Ένα δίκτυο που στο BGP table έχει next-hop την IP 0.0.0.0, σημαίνει ότι όλοι οι routers μέσα στο AS πρέπει να στέλνουν σε αυτή την IP τα πακέτα τους για να βγουν έξω από το AS.

Question 7 [10 pts]

What are the well-known communities of the BGP community attribute?

Local AS: Χρησιμοποιείται για να αποφευχθούν τα routing loops. Ένας iBGP neighbor δεν μπορεί να κάνει advertise ένα route σε έναν άλλο iBGP neighbor αν το έλαβε από κάποιον άλλο iBGP neighbor

no-export: Να μη γίνει advertise το route στους eBGP Peers μόνο στους internal peers

no-advertise: Να μη γίνει advertise το route σε κανέναν peer ούτε internal ούτε external

Graceful Shutdown Community: Χρησιμοποιείται όταν ένας router προκειται να κάνει shutdown και ένας άλλος router στο ίδιο AS με τον προηγούμενο αναλαμβάνει το traffic που προορίζεται για τον router που κάνει shutdown.

more info: <https://www.linkedin.com/pulse/ultimate-guide-bgp-communities-catchpoint/>

Question 8 [10 pts]

A. Do **internal BGP (iBGP) sessions** modify the next hop?

Το next hop στα iBGP sessions κατά γενικό κανόνα δεν αλλάζει. Οι iBGP routers δεν αλλάζουν το next-hop field όταν λαμβάνουν updates από άλλους iBGP routers. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως μπορούν να αλλάξουν το next-hop με την εντολή “*next-hop-self*” και να βάλουν τη δική τους IP ως next-hop.

B. Do **external BGP (eBGP) sessions** between confederations modify the next hop?

Ναι το next-hop αλλάζει. Οι eBGP routers (gateway routers) που στέλνουν το update σε άλλα ASes αλλάζουν την next-hop IP βάζοντας τη δική τους σε αυτό το field.

Question 9 [10 pts] (see the [Tutorial -Network Layer](#))

Which is the maximum number of IP addresses in each **subnet** if the network 15.0.0.0/8 should be separated into 333 subnets with the same IP range?

Ξέρουμε ότι το δίκτυο έχει $2^{32-8} - 2 = 2^{24} - 2 = 16,777,214$ IP addresses.

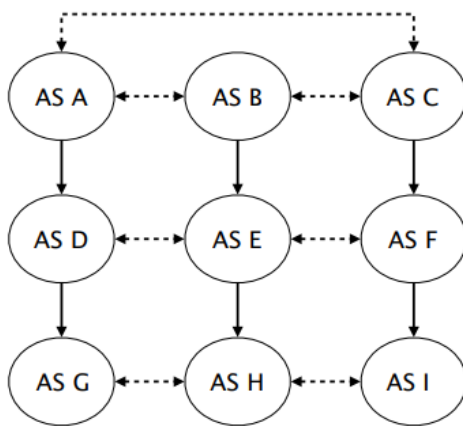
Για να χωρίσουμε το δίκτυο σε 333 subnets θα χρησιμοποιήσουμε 9 bits, επειδή $2^9 = 512$ ($512 - 333 = 179$ subnets δεν θα χρησιμοποιηθούν).

Ο μέγιστος αριθμός των IPs για κάθε subnet είναι $2^{24}/2^9 - 2 = 2^{15} - 2 = 32,766$ IPs

Question 10 [10 pts] (see the [Tutorial -Network Layer](#), Section: *Routing Policy* in the textbook)

Consider the network depicted below. Single-headed plain arrows point from providers to their customers (AS A is the provider of AS D), while double-headed dashed arrows connect peers (AS D and AS E are peers). Each AS in the network originates a unique prefix that it advertises to all its BGP neighbors. Each AS also applies the default selection and

exportation BGP policies based on their customers, peers and providers.



What path (sequence of ASes) is followed when AS G sends packets destined to the prefix originated by AS E? Justify your answer.

Path: [G, D, E]

Ο G είναι customer του D, άρα ο D ό,τι prefixes λαμβάνει απο τον G τα κάνει advertise σε όλους του γείτονές του (customers,providers και peers), ο E είναι peer του D άρα λαμβάνει το prefix.

Submission:

1. Consolidate your report into a **single PDF** file, following the guidelines of the format
2. Send it to **klionta@csd.uoc.gr** with the **subject: 335a_assign4_AM** (deliverables with different subjects will not be accepted)

Part 1: Theory (50 pts)

Question 1: Subnetting [15 pts]

For each subtask justify your answer.

1. Which is the maximum number of IP addresses in each subnet if the network 15.0.0.0/8 should be separated into 333 subnets with the same IP range?

We know that the network has $2^{32-8} - 2 = 2^{24} - 2 = 16,777,214$ IP addresses.

In order to separate the network into 333 subnets we will use 9 bits, because $2^9 = 512$, ($512 - 333 = 179$ subnets unused).

The max number of IPs per subnet is $2^{24}/2^9 - 2 = 2^{15}-2 = 32766$ IPs

2. Which is the maximum number of IP addresses in each subnet if the network 195.1.31.0/24 should be separated into 30 subnets with the same IP range?

We know that the network has $2^{32-24} - 2 = 2^8 - 2 = 254$ IP addresses.

In order to separate the network into 30 subnets we will use 5 bits, because $2^5 = 32$, (2 subnets unused).

The max number of IPs per subnet is $2^8/2^5 - 2 = 8-2 = 6$ IPs

3. Which is the maximum number of IP addresses in each subnet if the network 189.23.0.0 /16. should be separated into 20 subnets with the same IP range?

We know that the network has $2^{32-16} - 2 = 2^{16} - 2 = 65534$ IP addresses.

In order to separate the network into 20 subnets we will use 5 bits, because $2^5 = 32$, (32-20=12 subnets unused).

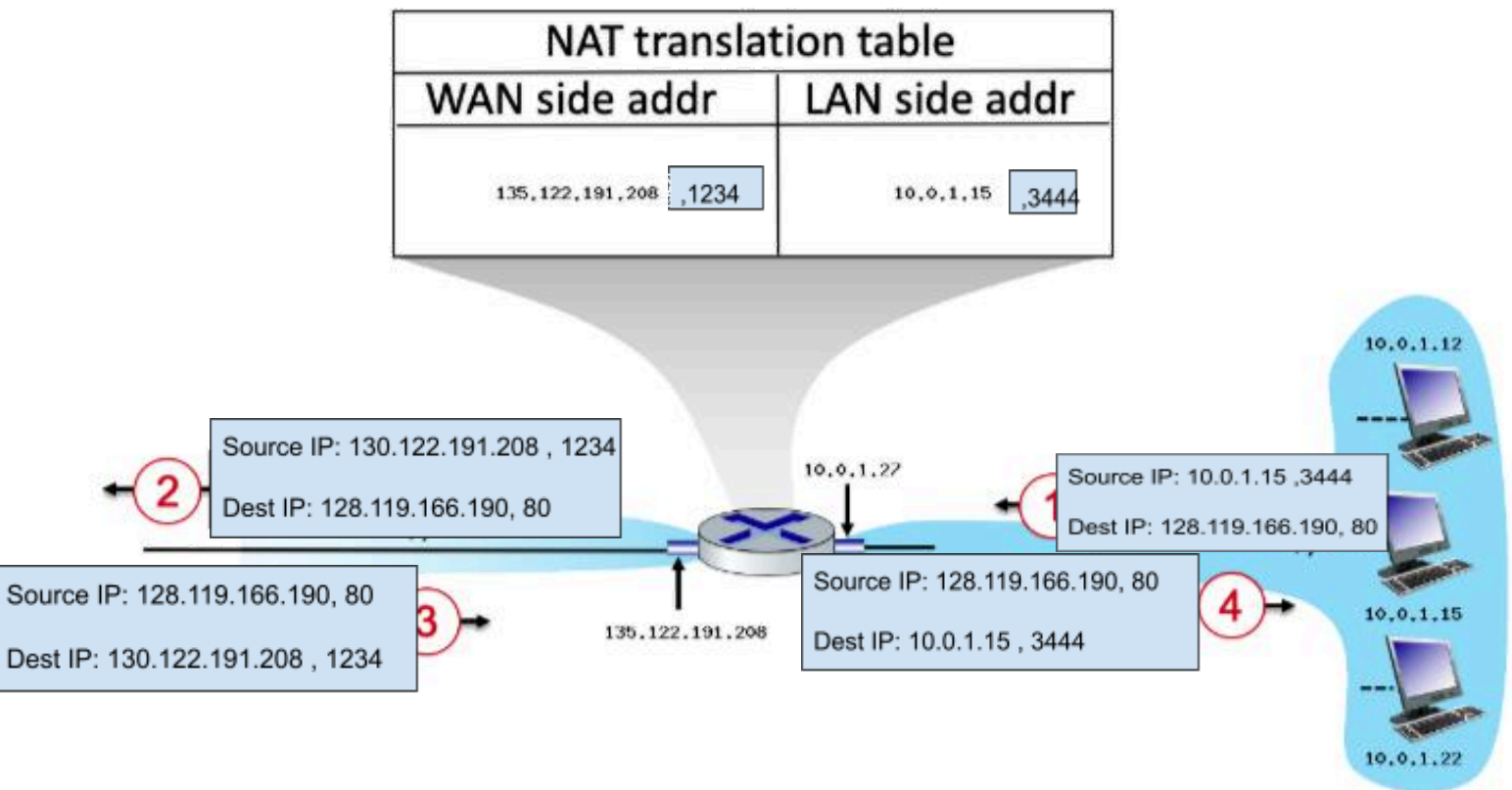
The max number of IPs per subnet is $2^{16}/2^5 - 2 = 2^{11} - 2 = 2048$ IPs

Question 2: NAT [10 pts]

New Exercise

Why Does NAT “violate” the TCP/IP architecture?

Describe the Network Address Translation (NAT) (**5 pts**) and how it works in the following context (**5 pts**): Three hosts, with private IP addresses 10.0.1.12, 10.0.1.15, 10.0.1.22 are in a local network behind a NAT'd router that sits between these three hosts and the Internet. IP datagrams, with the source or destination IP address of these three hosts, must pass through NAT router. The router's interface on the LAN side has IP address 10.0.1.27, while the router's interface on the Internet side has IP address 130.122.191.208. Suppose that the host with IP address 10.0.1.15 sends an IP datagram with destination address 128.119.166.190, source port 3444, and destination port 80. **NOTE: Show your results by showing any intermediate step of the datagram like the tutorial's slides.**



Question 3 [5 pts]

- A. 1,2
- B. 4
- C. 2
- D. 1,2
- E. 4,5,2

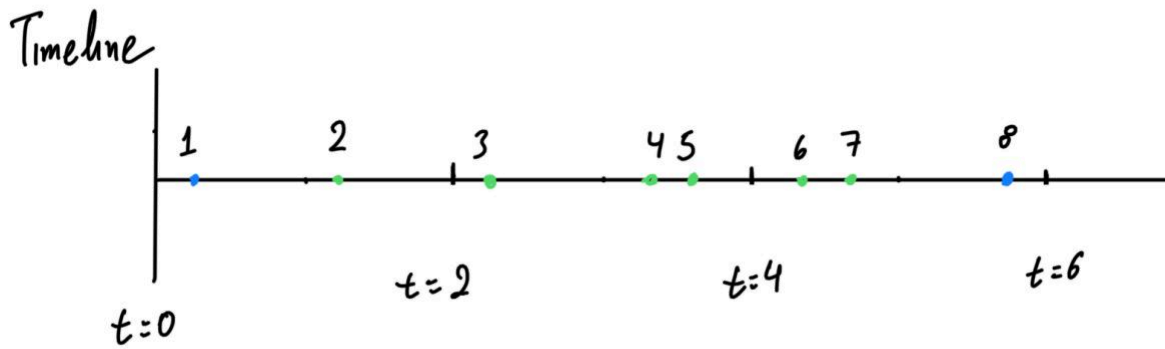
Question 4: Packet Scheduling [10 pts]

Consider the arrival of 8 packets to an output link at a router as indicated by the figure below. For simplicity, we will consider the time to be “slotted”, with a slot beginning at $t = 0, 1, 2, 3$, etc. Packets can arrive at any time during a slot, and multiple packets can arrive during a slot. At the beginning of each time slot, the packet scheduler will choose only one packet, among those queued (if any), for transmission according to the packet scheduling discipline (that you will select below). Each packet requires exactly one slot time to transmit, and so a packet selected for transmission at time t , will complete its transmission at $t+1$, at which time another packet will be selected for transmission, among those queued. Present the exact order and at what time each packet arrives for the following scheduling scenarios:

- a. FIFO (5 pts)
- b. Priority Scheduling (5 pts)

Showcase your results for each packet as the following example: **Time: $t=1$, Packet: x**

- HIGH PRIORITY
- LOW PRIORITY



- a. Time: $t=1$ Packet: 1
 Time: $t=2$ Packet: 2
 Time: $t=3$ Packet: 3
 Time: $t=4$ Packet: 4
 Time: $t=5$ Packet: 5
 Time: $t=6$ Packet: 6
 Time: $t=7$ Packet: 7
 Time: $t=8$ Packet: 8
- b. Time: $t=1$ Packet: 1
 Time: $t=2$ Packet: 2
 Time: $t=3$ Packet: 3
 Time: $t=4$ Packet: 4
 Time: $t=5$ Packet: 5
 Time: $t=6$ Packet: 8
 Time: $t=7$ Packet: 6
 Time: $t=8$ Packet: 7

Question 5: Longest Prefix Matching [10 pts]

Consider a datagram network using 32-bit host addresses. Suppose a router has four links, numbered 0 through 3, and packets are to be forwarded to the link interfaces as follows:

Destination Address Range	Link Interface
11100000 00000000 00000000 00000000 through 11100000 00111111 11111111 11111111	0
11100000 01000000 00000000 00000000 through 11100000 01000000 11111111 11111111	1
11100000 01000000 00000000 00000000 through 11100000 01111111 11111111 11111111	2
Default	3

- A. Provide a forwarding table that uses the **longest prefix matching** rule, and forwards packets to the correct link interfaces. (5 pts)

11100000 00***** ***** *****	0
11100000 01000000 ***** *****	1
11100000 01***** ***** *****	2
Default	3

- B. Describe how your forwarding table determines the appropriate link interface for datagrams with destination addresses: (5 pts)

1. 11001000 10010001 01010001 01010101 -> 3
2. 11100000 01000000 00000000 00000000 -> 1
3. 11100001 01100000 11000011 00111100 -> 2
4. 11100001 10000000 00010001 01110111 -> 3
5. 11100000 01000000 10010000 01101010 -> 1

Part 2: IP Fragmentation (10 pts)

- **IP datagram size** = 5000 Bytes
- **L_a MTU** = 6000
- **L_b MTU** = 1500
- **L_c MTU** = 580
- **IP header** = 20 Bytes



For L_a:

The MTU of L_a is greater than the size of the IP datagram so we don't need to change anything.

For L_b:

The MTU of L_b is smaller than the size of the IP datagram.

The MTU of L_b without the IPv4 header is $1500 - 20 = 1480$ bytes

The payload of the initial packet is $5000 - 20 = 4980$ bytes

We are going to divide the initial packet into $4980 / 1480 = 3.36 \approx 4$ packets

Segment	Range(bytes)	Offset	More
0	0-1479	0	1
1	1480-2959	$1480/8=185$	1
2	2960-4439	$2(1480/8)=370$	1
3	4440-4980	$3(1480/8)=555$	0

For L_c:

The MTU of L_c is smaller than the MTU of the previous link, so we should divide each one of the 4 packets into smaller segments.

The MTU of L_c without the IPv4 header is $580 - 20 = 560$ bytes

The payload of the initial packet is $1500 - 20 = 1480$ bytes

We are going to divide the initial packet into $1480 / 560 = 2.64 \approx 3$ packets

So each of the 4 incoming fragmented packets, is divided again into 3 packets

For the first packet:

Segment	Range(bytes)	Offset	More
---------	--------------	--------	------

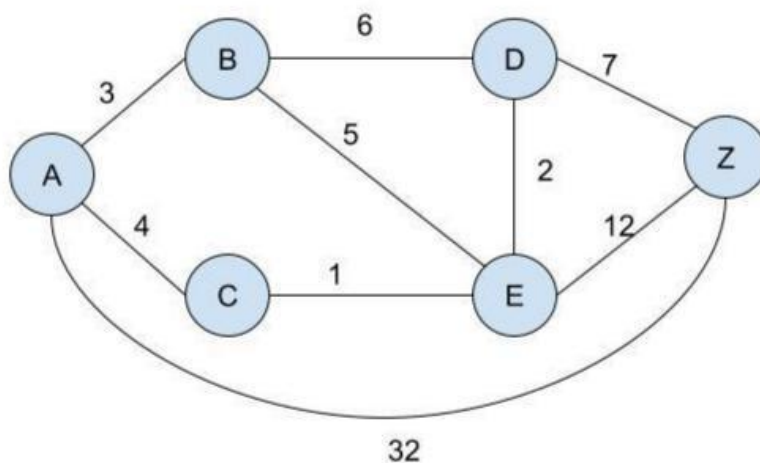
0	0-559	0	1
1	560-1119	$560/8=70$	1
2	1120-1679	$2(560/8)=140$	0

The process is the same for the rest of the packets.

Finally, 12 packets will reach the host D, each one with 580 bytes in length.

Part 3: Link-State Routing Algorithm (10 pts)

Consider the following network with the cost of its links. Please present the optimal (cost-efficient) paths starting from node A to Z using the Dijkstra algorithm.



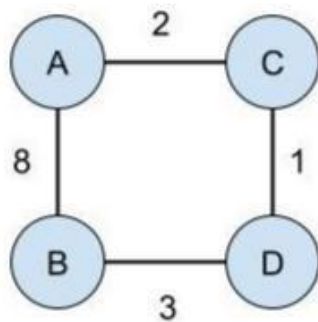
N	D(A), p(A)	D(B), p(B)	D(C), p(C)	D(D), p(D)	D(E), p(E)	D(Z),p(Z)
A	-	3,A	4,A	∞	∞	32,A
AB	-	-	4,A	9,B	8,B	32,A
ABC	-	-	-	9,B	5,C	32,A
ABCE	-	-	-	7,E	-	17,E
ABCED	-	-	-	-	-	14,D
ABCEDZ	-	-	-	-	-	-

Part 4: Distance-Vector Routing Algorithm (15 pts)

1. What are the events in the Distance-Vector Routing Algorithm that “trigger” a router to transmit distance vector information to its neighbors? **(5 pts)**

The switch of the cost of a neighbor link

2. How many times will the nodes of the following network exchange vectors, during a distance-vector algorithm before the network converges? Present the final Distance-vector and the path for each node. **(10 pts)**



1. Initialization

A Table	A	B	C	D
A	0	8	2	∞
B	∞	∞	∞	∞
C	∞	∞	∞	∞

B Table	A	B	C	D
A	∞	∞	∞	∞
B	8	0	∞	3
D	∞	∞	∞	∞

Table C	A	B	C	D
---------	---	---	---	---

A	∞	∞	∞	∞
C	2	∞	0	1
D	∞	∞	∞	∞

Table D	A	B	C	D
B	∞	∞	∞	∞
C	∞	∞	∞	∞
D	∞	3	1	0

2. Exchange information

A Table	A	B	C	D
A	0	8	2	∞
B	8	0	∞	3
C	2	∞	0	1

B Table	A	B	C	D
A	0	8	2	∞
B	8	0	∞	3
D	∞	3	1	0

$$D_B(A) = \min\{c(B,A)+D_A(A), c(A,D)+D_D(B)\} = \min\{8, \infty+3\}=8$$

$$D_B(C) = \min\{c(B,C)+D_C(C), c(B,D)+D_D(C)\} = \min\{\infty, \infty+3\}=8$$

Table C	A	B	C	D
----------------	----------	----------	----------	----------

A	0	8	2	∞
C	2	∞	0	1
D	∞	3	1	0

Table D	A	B	C	D
B	8	0	∞	3
C	2	∞	0	1
D	∞	3	1	0

3. Compute new distances

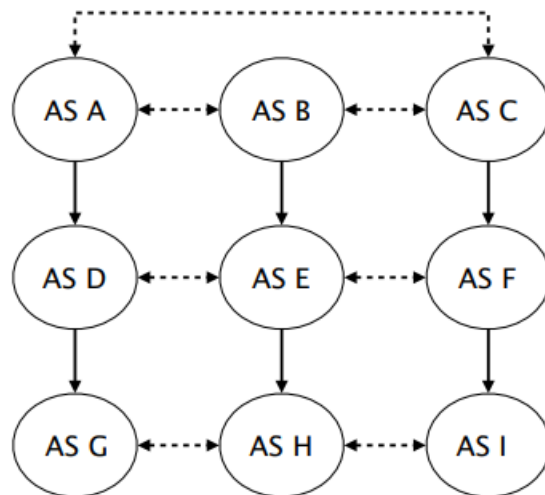
For table A nothing changes:

$$D_A(B) = \min\{c(A,B)+D_B(B), c(A,C)+D_C(B)\} = \min\{8, 2+\infty\}=8$$

$$D_A(C) = \min\{c(A,C)+D_C(C), c(A,B)+D_B(C)\} = \min\{2, 8+\infty\}=2$$

Part 5: BGP Policies (12 pts)

Consider now the network depicted on the left. Single-headed plain arrows point from providers to their customers (AS A is the provider of AS D), while double-headed dashed arrows connect peers (AS D and AS E are peers). Each AS in the network originates a unique prefix that it advertises to all its BGP neighbors. Each AS also applies the default selection and exportation BGP policies based on their customers, peers and providers. Justify your answers



a) What path (sequence of ASes) is followed when AS G sends packets destined to the prefix originated by AS E?

Solution: Path: [G, D, E]

b) What path (sequence of ASes) is followed when AS F sends packets destined to the prefix originated by AS G?

Solution: Path: [F, C, A, D, G]

c) Suppose AS A and AS C give you a “dump” of all the BGP routes they learn for every destination. You then extract all links from the AS paths seen in those “dumps” and use them to construct a view of the AS-level topology. Draw the resulting AS-level topology in the figure below.

Solution:

