



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών

Ενότητα: Ασκήσεις για τις ενότητες 6 – 10 (Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων και Στρώμα Δικτύου)

Ιωάννης Μοσχολιός

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά **ΠΠ**
μαθήματα

Περιεχόμενα

1. Σκοποί ενότητας	5
2. Περιεχόμενα ενότητας.....	5
3. Ασκήσεις για τις Ενότητες 6-10: (Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων και Στρώμα Δικτύου)	7

1. Σκοποί ενότητας

Ο βασικός σκοπός αυτής της ενότητας είναι η παρουσίαση ασκήσεων για την κατανόηση της ύλης των ενοτήτων 6 έως 10 της θεωρίας του μαθήματος Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών. Οι ασκήσεις που παρουσιάζονται καλύπτουν όλο το φάσμα της αντίστοιχης ύλης της θεωρίας, ενώ κάθε άσκηση συνοδεύεται από λεπτομερή περιγραφή της διαδικασίας επίλυσης.

2. Περιεχόμενα ενότητας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται ασκήσεις, καθώς και οι λύσεις τους, για την κατανόηση: 1) του πρωτοκόλλου TCP, 2) αλγορίθμων αποφυγής συμφόρησης στο TCP και 3) του προσαρμοστικού αλγορίθμου για τον υπολογισμό του χρόνου προθεσμίας μιας σύνδεσης TCP (αλγόριθμος Jacobson – Karels)

3. Ασκήσεις για τις Ενότητες 6-10: (Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων και Στρώμα Δικτύου)

Ασκηση 1

α) Θεωρούμε ότι τοπικό δίκτυο ακολουθεί CSMA/CD και επιλέγει τυχαίες αναμονές/οπισθοχωρήσεις πολλαπλάσιες του 512 bits ($K \cdot 512$ bits) μετά από κάθε σύγκρουση. Εφόσον επιλεγεί $K=100$ πόσος είναι ο χρόνος αναμονής για 10Mbps Ethernet;

β) Έστω ότι δύο κόμβοι A και B βρίσκονται σε 10Mbps Ethernet και ο χρόνος διάδοσης ανάμεσά τους είναι 225 bit times. Έστω ότι ο κόμβος A αρχίζει την μετάδοση πλαισίου και πριν ολοκληρώσει, ο κόμβος B αρχίζει επίσης να μεταδίδει πλαίσια. Υπάρχει περίπτωση ο A να ολοκληρώσει την μετάδοση πριν διαπιστώσει ότι ο B άρχισε να μεταδίδει; Ποιά είναι η χειρότερη χρονική στιγμή που το σήμα από τον B μπορεί να φτάσει στον A; *Υπόδειξη: το ελάχιστο πλαίσιο προς μετάδοση θα είναι $512+64$ bits.*

γ) Έστω ότι έχουμε 100Mbps 10BaseT Ethernet. Για να έχουμε απόδοση 0.50, ποια πρέπει να είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο κόμβων; Έστω ότι το μέγεθος πλαισίου είναι 64 bytes. Μπορεί η απόσταση που υπολογίσατε παραπάνω να εγγυηθεί ότι ο κόμβος θα μπορεί να προσδιορίζει ότι κατά την δική του μετάδοση και κάποιος άλλος επίσης μετέδιδε; *Υπόδειξη: Η απόδοση δίνεται σαν $1/(1+5\alpha)$, όπου $\alpha = \text{χρόνος διάδοσης} / \text{χρόνος μετάδοσης} = \text{PROP} / \text{TRANSP}$.*

Λύση

α) Η αναμονή είναι $100 \cdot 512$ bits = 51200 bits. Οπότε για γραμμή των 10Mbps η αναμονή θα είναι $51200 \text{ bits} / 10 \text{ Mbps} = 5.12$ msec.

β) Θεωρούμε $t=0$ την χρονική στιγμή που ο A αρχίζει την μετάδοση. Σύμφωνα με την υπόδειξη ο A μπορεί να μεταδώσει ένα ελάχιστο πλαίσιο $512+64$ bits και θα ολοκληρώσει την μετάδοση μετά από $512+64$ bit times. Εφόσον η απόσταση μεταξύ των δύο κόμβων είναι μικρότερη του παραπάνω χρόνου δεν είναι δυνατόν ο A να ολοκληρώσει την μετάδοση πριν διαπιστώσει ότι ο B άρχισε να μεταδίδει. Συμπληρωματικά για να απαντηθεί και η συνέχεια,

- $t=0$ ο A μεταδίδει
- $t=576$ ο A θα ολοκληρώσει την μετάδοση
- Στην χειρότερη περίπτωση όμως ο B αρχίζει να μεταδίδει $t=224$ (A και B έχουν απόσταση 225).
- $t=224 + 225 = 449$ το πρώτο bit από τον B φτάνει στον A.
- επειδή $449 < 576$ ο A εγκαταλείπει την μετάδοση έχοντας διαπιστώσει σύγκρουση.

γ) Θέλουμε η απόδοση $1/(1+5\alpha) = 0.5 \Rightarrow \alpha = 0.2 = \text{PROP} / \text{TRANSP}$.

Έχουμε $\text{PROP} = d / (1.8 \cdot 10^8) \text{ m/sec}$ και $\text{TRANSP} = (8 \cdot 64 \text{ bits}) / 10^8 \text{ bits/sec} = 5.12 \mu \text{ sec}$, όπου d η απόσταση. Αντικαθιστούμε στην παραπάνω σχέση και λύνουμε ως προς d , οπότε προκύπτει ότι $d = 184$ meters.

Για να μπορεί ο κόμβος να διαπιστώσει σύγκρουση κατά την δική του μετάδοση θα πρέπει $TRANSP = 5.12 \mu sec > 2 * PROP = 2 * 184 m / (1.8 * 10^8) m/sec = 2.04 \mu sec$. Άρα ο κόμβος θα είναι σε θέση να αντιληφθεί μετάδοση από άλλο κόμβο όταν και αυτός μεταδίδει.

Άσκηση 2

Ένα δίκτυο Ethernet περιέχει δύο κόμβους τους X και Z. Έστω ότι η καθυστέρηση διάδοσης μεταξύ των δύο αυτών κόμβων είναι 140 μsec . Οι κόμβοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο CSMA/CD και σε περίπτωση που κάποιος κόμβος παρατηρήσει σύγκρουση τότε στέλνει ένα μήνυμα ότι υπάρχει σύγκρουση για ένα διάστημα 40 μsec .

1) Έστω ότι σε χρόνο $t=0$, ο κόμβος X αρχίζει να μεταδίδει ένα πακέτο. Επίσης σε χρόνο $t=a$ (πριν ολοκληρωθεί η μετάδοση του πακέτου από τον X) ο κόμβος Z αρχίζει να μεταδίδει και αυτός ένα πακέτο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σύγκρουση των δύο πακέτων. Βρείτε το πάνω όριο για την μεταβλητή a .

2) Αν οι δύο κόμβοι ξεκινούσαν ταυτόχρονα σε χρόνο $t=0$ να μεταδίδουν ένα πακέτο, μετά από πόσο χρόνο θα διαπίστωναν σύγκρουση; Εφόσον μετά τη σχετική διαπίστωση μεταδώσουν μήνυμα ύπαρξης σύγκρουσης πόσος χρόνος θα περάσει μέχρι να ηρεμήσει το κοινό μέσο;

Λύση

1) Ο κόμβος Z δεν παρατηρεί άλλα πακέτα στο κοινό μέσο μέχρι να περάσουν τα 140 μsec και να φτάσει το πακέτο από τον κόμβο X. Οπότε η μέγιστη επιτρεπτή τιμή για το σχετικό χρόνο μετάδοσης είναι κάτω από τα 140 μsec (πάνω όριο).

2) Και οι δύο κόμβοι διαπιστώνουν τη σύγκρουση μετά από 140 μsec . Οι δύο κόμβοι μεταδίδουν στην συνέχεια μήνυμα σύγκρουσης για άλλα 40 μsec και μετά σιωπούν. Έχουν περάσει συνολικά $140 \mu sec + 40 \mu sec = 180 \mu sec$. Το τελευταίο bit από το μήνυμα σύγκρουσης από τον X κόμβο θα φτάσει στον Z κόμβο μετά από 140 μsec . Το ίδιο και για το μήνυμα από τον Z προς τον X. Άρα συνολικά θα έχουν μεσολαβήσει $180 \mu sec + 140 \mu sec = 320 \mu sec$.

Άσκηση 3

Υποθέστε τέσσερις κόμβους A, B, Γ και Δ συνδεδεμένους μέσω ενός hub με καλωδίωση Ethernet 10 Mbps. Οι αποστάσεις μεταξύ του hub και των τεσσάρων κόμβων είναι 300m, 400m, 500m και 700m αντιστοίχως. Εφαρμόζεται το πρωτόκολλο CSMA/CD. Η ταχύτητα διάδοσης του σήματος είναι $2 \cdot 10^8$ m/s. (α) ποιο είναι το ελάχιστο απαιτούμενο μέγεθος πλαισίου; Ποιο το μέγιστο; (β) εάν όλα τα πλαίσια έχουν μέγεθος 1500 bits να προσδιορίσετε την απόδοση του συγκεκριμένου Ethernet δικτύου.

Λύση

(α) το ελάχιστο απαιτούμενο μέγεθος πλαισίου απορρέει από την ικανότητα του κόμβου να ανιχνεύσει μία σύγκρουση πριν την ολοκλήρωση της μετάδοσης του τρέχοντος πλαισίου. Η οριακή περίπτωση ενδιαφέροντος αναφέρεται σε ταυτόχρονη μετάδοση από την άλλη άκρη του μέσου. Απλοί υπολογισμοί μας υποδεικνύουν ότι το L_{\min} δίνεται από την σχέση:

$$L_{\min} = 2 \cdot T_{\text{prop}} \cdot R = 2 \cdot \frac{(500 + 700)m}{2 \cdot 10^8 m/s} \cdot 10 \cdot 10^6 \text{ bps} = 120 \text{ bits}$$

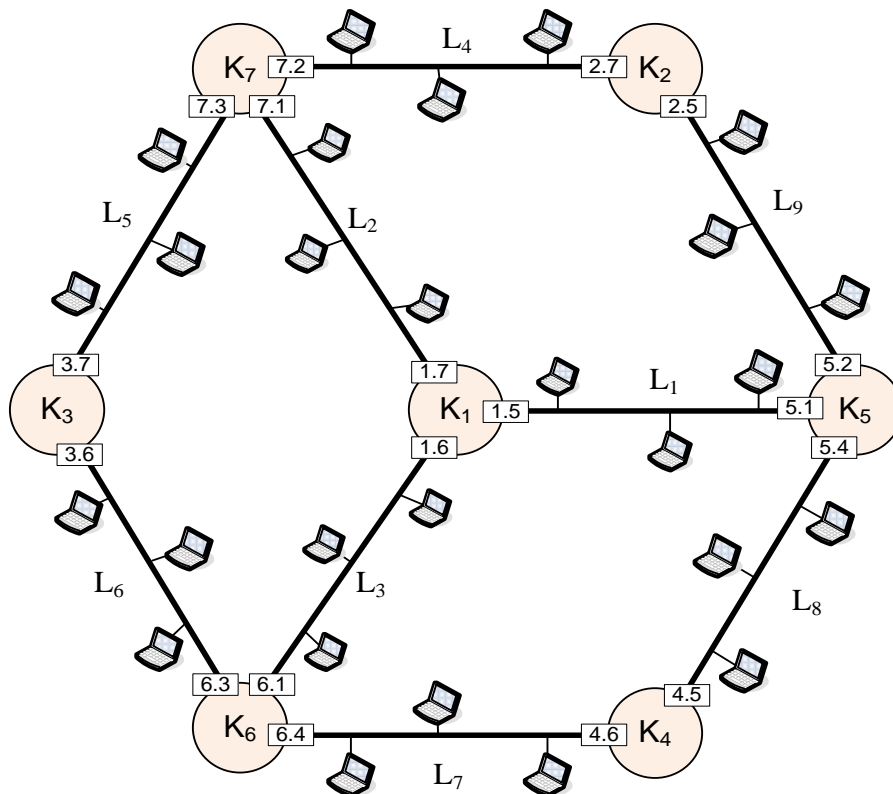
Δεν υπάρχει μέγιστο απαιτούμενο μέγεθος πλαισίου.

(β) η απόδοση του συγκεκριμένου δικτύου προσδιορίζεται βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$e = \frac{1}{1 + 5 \cdot \frac{T_{\text{prop}}}{T_{\text{trans}}}} = 0.83$$

Άσκηση 4

Το σχήμα 1 δείχνει μια μορφή eLAN που αποτελείται από οκτώ (8) LAN, με τα προσδιοριστικά L_1 έως L_8 , τα οποία διασυνδέονται μέσω επτά (7) γεφυρών (κόμβων), με τα προσδιοριστικά K_1 έως K_7 . Κάθε LAN συνδέεται σε μία γέφυρα μέσω μιας συγκεκριμένης τηλεπικοινωνιακής θύρας.



Σχήμα 1: eLAN αποτελούμενο από 8 LAN.

Ζητείται να δημιουργηθεί το κατάλληλο δένδρο επικάλυψης του eLAN που δεν επιτρέπει την ύπαρξη βρόχων. Για το σκοπό αυτό να ακολουθηθούν τα βήματα του Πρωτοκόλλου Δένδρου Επικάλυψης (Spanning Tree Protocol) IEEE 802.1d/w, και να δοθεί ο Πίνακας 1 με τα μηνύματα διαμόρφωσης που ανταλλάσσονται σε όλα τα βήματα (γραμμές του Πίνακα) από όλες τις πόρτες των γεφυρών (στήλες του Πίνακα) μέχρις ότου να συγκλίνει ο αλγόριθμος.

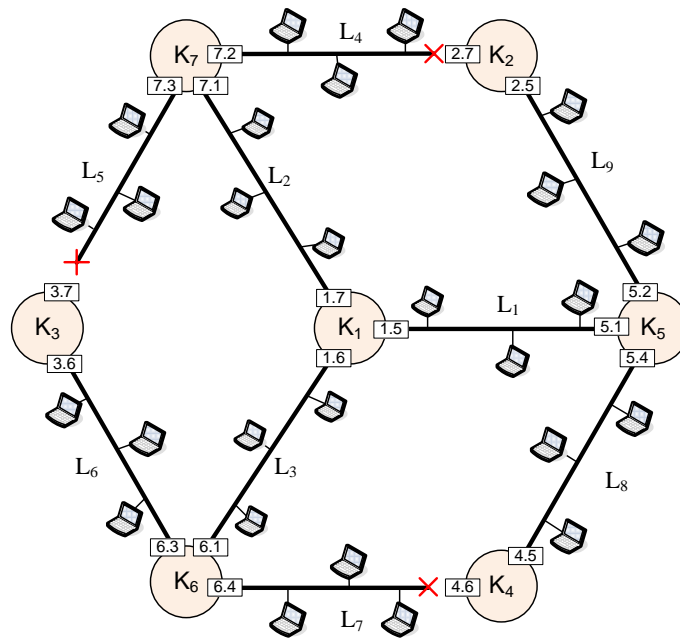
Πίνακας 1

Βήματα του αλγορίθμου		Θύρες Γεφυρών																	
		Γέφυρα 1			Γέφυρα 2		Γέφυρα 3		Γέφυρα 4		Γέφυρα 5			Γέφυρα 6			Γέφυρα 7		
		1.5	1.6	1.7	2.5	2.7	3.6	3.7	4.5	4.6	5.1	5.2	5.4	5.1	6.3	6.4	7.1	7.2	7.3
0	Αποστολή	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0
	Λήψη	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0
	Απόφαση																		
1	Αποστολή																		
	Λήψη																		
	Απόφαση																		
2	Αποστολή																		
	Λήψη																		
	Απόφαση																		
3	Αποστολή																		
	Λήψη																		
Βήματα: 4 - ∞																			

Λύση

Αναλυτικά οι διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε όλα τα Βήματα φαίνονται στον Πίνακα 2. Το σχήμα 2 δείχνει το τελικό δένδρο επικάλυψης.

Ειδικότερα για τις Γέφυρες K₂, K₃ και K₄ οι Πύλες (2.7), (3.7) και (4.6) δείχνεται ότι έχουν διακοπεί. Αυτό σημαίνει ότι δεν περνά πλαίσια δεδομένων, αλλά όμως περνά τα μηνύματα από τη ρίζα έτσι ώστε οι Πύλες αυτές να συμμετέχουν στην εκτέλεση του αλγορίθμου.



Σχήμα 2: Τελικό δέντρο επικάλυψης

Πίνακας 2

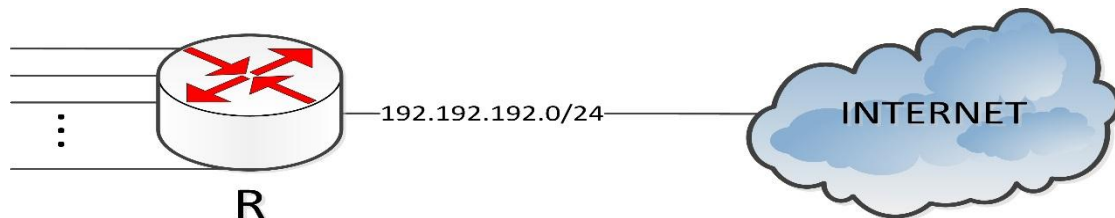
Βήματα του αλγορίθμου	Θύρες Γεφυρών																				
	Γέφυρα 1			Γέφυρα 2		Γέφυρα 3		Γέφυρα 4		Γέφυρα 5			Γέφυρα 6			Γέφυρα 7					
	1.5	1.6	1.7	2.5	2.7	3.6	3.7	4.5	4.6	5.1	5.2	5.4	5.1	6.3	6.4	7.1	7.2	7.3			
0	Αποστολή	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0		
	Λήψη	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₇ ,K ₇ ,0	K ₅ ,K ₅ ,0	K ₆ ,K ₆ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0		
	Απόφαση	Η γέφυρα K ₁ αποφασίζει ότι αυτή είναι η ρίζα			Η γέφυρα K ₂ αποφασίζει ότι αυτή είναι η ρίζα		Η γέφυρα K ₃ αποφασίζει ότι αυτή είναι η ρίζα		Η γέφυρα K ₄ αποφασίζει ότι αυτή είναι η ρίζα		Η γέφυρα K ₅ αποφασίζει ότι ρίζα είναι η K ₁ (σταματά να στέλνει στην K ₁)			Η γέφυρα K ₆ αποφασίζει ότι ρίζα είναι η K ₁ (σταματά να στέλνει στην K ₁)			Η γέφυρα K ₇ αποφασίζει ότι ρίζα είναι η K ₁ (σταματά να στέλνει στην K ₁)				
1	Αποστολή	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	---	K ₅ ,K ₁ ,1	K ₅ ,K ₁ ,1	---	K ₆ ,K ₁ ,1	K ₆ ,K ₁ ,1	---	K ₇ ,K ₁ ,1	K ₇ ,K ₁ ,1		
	Λήψη	---	---	---	K ₅ ,K ₁ ,1	K ₇ ,K ₁ ,1	K ₆ ,K ₁ ,1	K ₇ ,K ₁ ,1	K ₅ ,K ₁ ,1	K ₆ ,K ₁ ,1	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0	K ₄ ,K ₄ ,0	K ₁ ,K ₁ ,0	K ₂ ,K ₂ ,0	K ₃ ,K ₃ ,0		
	Απόφαση	<i>Σημείωση:</i> Ο αλγόριθμος έχει συγκλίνει για τη Γέφυρα K ₁ , οπότε αυτή είναι η ρίζα και πρέπει μόνο να αποστέλλει μηνύματα με σταθερό χρονισμό στις Γέφυρες K ₅ , K ₆ και K ₇			Η γέφυρα K ₂ αποφασίζει ότι ρίζα είναι η K ₁ μέσω της K ₅ και διακόπτει τη θύρα (2,7)		Η γέφυρα K ₃ αποφασίζει ότι ρίζα είναι η K ₁ μέσω της K ₆ και διακόπτει τη θύρα (3,7)		Η γέφυρα K ₄ αποφασίζει ότι ρίζα είναι η K ₁ μέσω της K ₅ και διακόπτει τη θύρα (4,6)		Η γέφυρα K ₅ προωθεί το μήνυμα K ₅ ,K ₁ ,1 σε K ₂ και K ₄ μέσω των θυρών (5,2) και (5,4) επιβεβαιώνοντας ότι ρίζα είναι η K ₁			Η γέφυρα K ₆ προωθεί το μήνυμα K ₆ ,K ₁ ,1 σε K ₃ και K ₄ μέσω των θυρών (6,3) και (6,4) επιβεβαιώνοντας ότι ρίζα είναι η K ₁			Η γέφυρα K ₇ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και δεν προωθεί μηνύματα σε κανέναν άλλο κόμβο (λαμβάνει μηνύματα μόνο από τον K ₁)				
Αποστολή	---				---	---	---	---	---	---	---	---	K ₅ ,K ₁ ,1	K ₅ ,K ₁ ,1	---	K ₆ ,K ₁ ,1	K ₆ ,K ₁ ,1	---	K ₇ ,K ₁ ,1	K ₇ ,K ₁ ,1	
Λήψη	---				---	---	K ₅ ,K ₁ ,1	X	K ₆ ,K ₁ ,1	X	K ₅ ,K ₁ ,1	X	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---
2	Αποστολή	<i>Σημείωση:</i> Ο αλγόριθμος έχει συγκλίνει για τη Γέφυρα K ₁ , οπότε αυτή είναι η ρίζα και πρέπει μόνο να αποστέλλει μηνύματα με σταθερό χρονισμό στις Γέφυρες K ₅ , K ₆ και K ₇			---		---		---		---			---			---				
	Λήψη				K ₅ ,K ₁ ,1		X	K ₆ ,K ₁ ,1		X	K ₅ ,K ₁ ,1		X	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---	K ₁ ,K ₁ ,0	---
	Απόφαση				Η γέφυρα K ₂ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και προωθεί μηνύματα μόνο σε K ₃ (το K ₄ έχει διακοπεί)		Η γέφυρα K ₆ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και προωθεί μηνύματα μόνο σε K ₃ (το K ₄ έχει διακοπεί)			Η γέφυρα K ₇ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και προωθεί μηνύματα σε K ₂ και K ₃ (λαμβάνει μόνο μήνυμα από K ₁)											
3	Αποστολή	<i>Σημείωση:</i> Ο αλγόριθμος έχει συγκλίνει για τη Γέφυρα K ₁ , οπότε αυτή είναι η ρίζα και πρέπει μόνο να αποστέλλει μηνύματα με σταθερό χρονισμό από Γέφυρα K ₅ το K ₅ ,K ₁ ,1 (Η θύρα (2,7) λαμβάνει συνεχώς το μήνυμα K ₇ ,K ₁ ,1 παρότι ανενεργή στη μετάδοση δεδομένων).			---		---		---		---			---			---				
	Λήψη				K ₅ ,K ₁ ,1		X	K ₆ ,K ₁ ,1		X	K ₅ ,K ₁ ,1		X	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---	K ₁ ,K ₁ ,0	---	---	K ₁ ,K ₁ ,0	---
	Απόφαση				Η γέφυρα K ₅ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και προωθεί μηνύματα σε K ₂ και K ₄		Η γέφυρα K ₆ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και προωθεί μηνύματα μόνο σε K ₃ (το K ₄ έχει διακοπεί)			Η γέφυρα K ₇ επιβεβαιώνει ότι ρίζα είναι η K ₁ και προωθεί μηνύματα σε K ₂ και K ₃ (λαμβάνει μόνο μήνυμα από K ₁)											
Bήματα: 4 - ∞	Αποστολή	Με την περάτωση του Βήματος 3 έχει ολοκληρωθεί η σύγκληση του αλγορίθμου σε όλες τις γέφυρες. Σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα αρχίζει ένα καινούργιο Βήμα με την αποστολή από τη ρίζα (K ₁) ενός μηνύματος διαμόρφωσης με τα στοιχεία K ₁ ,K ₁ ,0 το οποίο διαχέεται σε όλες τις γέφυρες με τον τρόπο που αναφέρεται παραπάνω στο Βήμα 3.																			
	Λήψη	Το ∞ ταυτίζεται με το Βήμα εκείνο όπου θα παρουσιαστεί λάθος στην λήψη ενός αναμενόμενου μηνύματος από κάποια Θύρα.																			

Άσκηση 5

Οι Διαδικτυακές ανάγκες μιας εταιρείας σε διευθύνσεις IPv4, έχουν ως εξής:

Τμήμα Πωλήσεων	120 διευθύνσεις
Τμήμα Ανάπτυξης Προϊόντων	60 διευθύνσεις
Τμήμα Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών	35 διευθύνσεις
Σύνολο απαιτούμενων διευθύνσεων	215 διευθύνσεις

Η εταιρεία έχει λάβει από έναν Internet Service Provider (ISP), με τον οποίο συνδέεται μέσω ενός μόνο δρομολογητή R, τη διεύθυνση IP = **192.192.192.0/24** (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Σύνδεση εταιρείας με ISP.

Να βρεθούν:

- α) Το ποσοστό (%) του συνολικού αριθμού των απαιτούμενων διευθύνσεων ως προς τον συνολικό αριθμό των εκχωρηθεισών διευθύνσεων.
- β) Δεδομένου ότι ο δρομολογητής R έχει ικανό αριθμό διεπαφών (interfaces), η εταιρεία θα χρησιμοποιήσει τις διεπαφές αυτές για την ταχύτερη πρόσβαση των εισερχομένων πακέτων (datagrams) στα Τμήματα της εταιρείας, δημιουργώντας υποδίκτυα. Ιδανικά, η εταιρεία θα ήθελε 3 υποδίκτυα, ένα για κάθε Τμήμα της.
- β1) Αν για τον σκοπό αυτό (subnetting) χρησιμοποιηθεί μία μόνο subnetmask, να δείξετε κατ' αρχήν ότι 3 υποδίκτυα δεν είναι δυνατόν να ορισθούν και να ορίσετε τον αριθμό υποδικτύων που αναγκαστικά θα χρησιμοποιήσει η εταιρεία. Ακολουθώντας, να ορισθούν οι διευθύνσεις IP των υποδικτύων και η subnetmask, καθώς και όλες οι διευθύνσεις (και η διεύθυνση Broadcast) κάθε υποδικτύου, συμπληρώνοντας τον Πίνακα 3 (ο οποίος έχει τόσες γραμμές όσες απαιτούνται από τον αριθμό των υποδικτύων).

Πίνακας 3: Subnetting με Subnetmask =

Τμήμα εταιρείας	Διεύθυνση υποδικτύου	Απαιτούμενος αριθμός διευθύνσεων	Εκχωρούμενος αριθμός διευθύνσεων	Διευθύνσεις hosts/δεπαφών		Διεύθυνση Broadcast
				Από	Μέχρι	

Σημειωτέον ότι το άθροισμα των απαιτούμενων διευθύνσεων στην 3η στήλη του πίνακα πρέπει να είναι 215 διευθύνσεις.

β2) Να υπολογισθεί το ποσοστό (%) του συνολικού αριθμού των απαιτούμενων διευθύνσεων ως προς τον αριθμό των εκχωρηθεισών διευθύνσεων λόγω του «subnetting» (Πίνακας 3) και να συγκριθεί με το ποσοστό που βρέθηκε στην ερώτηση (Α).

γ) Αν για "subnetting" χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία subnetmasks, τότε είναι δυνατόν να ορισθούν ακριβώς 3 υποδίκτυα αντιστοίχως προς τα 3 Τμήματα της εταιρείας.

γ1) Να ορισθούν οι διευθύνσεις IP των υποδικτύων και η subnetmask κάθε υποδικτύου, καθώς και όλες οι διευθύνσεις (και η διεύθυνση Broadcast) κάθε υποδικτύου, συμπληρώνοντας τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Subnetting

Τμήμα εταιρείας	Διεύθυνση υποδικτύου - subnetmask	Απαιτούμενος αριθμός διευθύνσεων	Εκχωρούμενος αριθμός διευθύνσεων	Διευθύνσεις hosts/δεξαφών		Διεύθυνση Broadcast
				Από	Μέχρι	

Σημειωτέον ότι το άθροισμα των απαιτούμενων διευθύνσεων στην 3η στήλη του πίνακα πρέπει να είναι 215 διευθύνσεις.

γ2) Να υπολογισθεί το ποσοστό (%) του συνολικού αριθμού των απαιτούμενων διευθύνσεων ως προς τον αριθμό των εκχωρηθεισών διευθύνσεων λόγω του «subnetting» (Πίνακας 2) και να συγκριθεί (και σχολιασθεί) με το ποσοστό που βρέθηκε στην ερώτηση (Α) και στην ερώτηση (Β2).

δ) Αν το Τμήμα Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών απαιτεί 10 μόνο διευθύνσεις, τότε:

δ1) Να ορισθούν οι διευθύνσεις IP των υποδικτύων και η subnetmask κάθε υποδικτύου, καθώς και όλες οι διευθύνσεις (και η διεύθυνση Broadcast) κάθε υποδικτύου, τροποποιώντας τον Πίνακα 4. Το αποτέλεσμα να καταχωρηθεί στον Πίνακα 5. Ο αριθμός των υποδικτύων πρέπει να παραμείνει 3.

Πίνακας 5: Subnetting

Τμήμα εταιρείας	Διεύθυνση υποδικτύου - subnetmask	Απαιτούμενος αριθμός διευθύνσεων	Εκχωρούμενος αριθμός διευθύνσεων	Διευθύνσεις hosts/δεξαφών		Διεύθυνση Broadcast
				Από	Μέχρι	

Σημειωτέον ότι το άθροισμα των απαιτούμενων διευθύνσεων στην 3η στήλη του πίνακα πρέπει να είναι 190 διευθύνσεις.

δ2) Να υπολογισθεί το ποσοστό (%) του συνολικού αριθμού των απαιτούμενων διευθύνσεων ως προς τον συνολικό αριθμό των εκχωρηθεισών διευθύνσεων λόγω του «subnetting» (Πίνακας 5).

δ3) Τι ποσοστό του συνολικού χώρου των διευθύνσεων IP που έλαβε η εταιρεία από τον ISP χρησιμοποιείται στον Πίνακα 5;

Λύση

α) Ο συνολικός αριθμός των εκχωρηθεισών διευθύνσεων είναι $2^{\delta}-2$, όπου δ ο αριθμός των bits στο «host part» της διεύθυνσης. Δηλ. $\delta=32-24=8$. Άρα, $2^8-2 = 254$ (οι 2 διευθύνσεις που αφαιρέθηκαν αφορούν στην διεύθυνση «broadcast» και στην διεύθυνση του υποδικτύου).

Επομένως το ζητούμενο ποσοστό είναι $215/254 = 84,65\%$.

β1) Αν χρησιμοποιηθεί μία μόνο «subnetmask» για «subnetting», αυτό σημαίνει ότι τα υποδίκτυα θα έχουν τον ίδιο αριθμό διευθύνσεων IP.

Θα θέλαμε να ορισθούν 3 υποδίκτυα, αντιστοίχως προς τα τρία Τμήματα της εταιρείας. Αυτό όμως δεν είναι δυνατόν να γίνει, διότι δεσμεύοντας bit προς bit, τα bits του «host-part» μιας διεύθυνσης IP, προκύπτει αριθμός ίσος με δύναμη του 2. Δηλ. δεσμεύοντας 1 bit, ορίζονται $2^1=2$ υποδίκτυα, δεσμεύοντας 2 bits, ορίζονται $2^2=4$ υποδίκτυα, δεσμεύοντας 3 bits, ορίζονται $2^3=8$ υποδίκτυα, κλπ. Επομένως, θα χρειαστούμε 2 bits και θα ορισθούν 4 υποδίκτυα.

Η subnetmask που προκύπτει από τα 2 bits του «host-part» της διεύθυνσης IP 192.192.192.0 /24 είναι 255.255.255.192 (ή αλλιώς, 192.192.192.0 /26).

Κάθε υποδίκτυο θα έχει $2^{\delta}-2$ διευθύνσεις, όπου $\delta=32-24-2 = 6$. Δηλ. $2^6-2= 64-2 = 62$ διευθύνσεις.

Άρα το Τμήμα Πωλήσεων που απαιτεί 120 διευθύνσεις, θα αντιστοιχεί σε 2 υποδίκτυα (Τμήμα Πωλήσεων Α και Τμήμα Πωλήσεων Β, με 60 και 60 απαιτούμενες διευθύνσεις IP, αντιστοίχως), ώστε $2*62 > 120$.

Πίνακας 3: Subnetting με Subnetmask = 255.255.255.192

Τμήμα εταιρείας	Διεύθυνση υποδικτύου	Απαιτούμενος αριθμός διευθύνσεων	Εκχωρούμενος αριθμός διευθύνσεων	Διευθύνσεις hosts/δεπαφών		Διεύθυνση Broadcast
				Από	Μέχρι	
Πωλήσεων Α	192.192.192.0	60	62	192.192.192.1	192.192.192.62	192.192.192.63
Πωλήσεων Β	192.192.192.64	60	62	192.192.192.65	192.192.192.126	192.192.192.127
Ανάπτυξης Προϊόντων	192.192.192.128	60	62	192.192.192.129	192.192.192.190	192.192.192.191
Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών	192.192.192.192	35	62	192.192.192.193	192.192.192.254	192.192.192.255

β2) Το άθροισμα των απαιτούμενων διευθύνσεων στην 3η στήλη του πίνακα είναι 215 διευθύνσεις, ενώ των εκχωρηθεισών διευθύνσεων (4^η στήλη του Πίνακα 3) είναι $4*62 = 248$ διευθύνσεις.

Επομένως το ζητούμενο ποσοστό είναι $215/248 = 86,69\% > 84,65\%$ της περίπτωσης (α).

γ) Για "subnetting" θα χρησιμοποιηθούν περισσότερες από μία subnetmasks.

γ1) Μπορούμε να διακρίνουμε τα Τμήματα της εταιρείας μεταξύ τους, χωρίς να χρειάζεται να "σπάσουμε" το Τμήμα Πωλήσεων στα δύο. Έχοντας ως βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 3, θα ενώσουμε το Τμήμα Πωλήσεων Α, με το Τμήμα Πωλήσεων Β (αυτό λέγεται *route aggregation*). Για

να κατανοήσουμε την κοινή διεύθυνση του υποδικτύου (κοινό network part) του ενιαίου Τμήματος Πωλήσεων που θα προκύψει, πρέπει να επικεντρωθούμε στο τελευταίο byte (οκτάδα) των διευθύνσεων που έχει τιμές bits, από 00000000 μέχρι 01111111 (δηλ. από 0_{10} μέχρι 127_{10} όπως φαίνεται στον Πίνακα 3). Βλέπουμε λοιπόν ότι το πρώτο bit είναι κοινό και άρα θα πρέπει να προστεθεί μόνο αυτό στο network part των διευθύνσεων. Έτσι, η διεύθυνση του υποδικτύου των Πωλήσεων θα είναι 192.192.192.0/25, δηλ. η subnetmask θα είναι 255.255.255.128. Το υποδίκτυο αυτό θα έχει 2^7-2 διευθύνσεις, όπου $\delta=32-24-1=7$. Δηλ. $2^7-2=128-2=126$ διευθύνσεις. Τα άλλα υποδίκτυα του Πίνακα 3 παραμένουν ως έχουν, με subnetmask = 255.255.255.192.

Πίνακας 4: Subnetting (2 Subnetmasks)

Τμήμα εταιρείας	Διεύθυνση υποδικτύου - Subnetmask	Απαιτούμενος αριθμός διευθύνσεων	Εκχωρούμενος αριθμός διευθύνσεων	Διευθύνσεις hosts/δεπαφών		Διεύθυνση Broadcast
				Από	Μέχρι	
Πωλήσεων	192.192.192.0 - 255.255.255.128	120	126	192.192.192.1	192.192.192.127	192.192.192.127
Ανάπτυξης Προϊόντων	192.192.192.128 - 255.255.255.192	60	62	192.192.192.129	192.192.192.190	192.192.192.191
Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών	192.192.192.192 - 255.255.255.192	35	62	192.192.192.193	192.192.192.254	192.192.192.255

γ2) Το άθροισμα των απαιτούμενων διευθύνσεων στην 3η στήλη του πίνακα είναι 215 διευθύνσεις, ενώ των εκχωρηθεισών διευθύνσεων (4^η στήλη του Πίνακα 4) είναι $2 \cdot 62 + 126 = 250$ διευθύνσεις.

Επομένως το ζητούμενο ποσοστό είναι $215/250 = 86\% < 86,69\%$ της περίπτωσης (β2) και $86\% > 84,65\%$ της περίπτωσης (α).

Στην περίπτωση (α) γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του συνολικού χώρου των διευθύνσεων (254), διότι δεν "χάνουμε" διευθύνσεις σε υποδίκτυα και broadcast διευθύνσεις, όπως στην περίπτωση β (248) ή γ (250).

δ) Το Τμήμα Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών απαιτεί 10 μόνο διευθύνσεις.

δ1) Ο Πίνακας 4 θα τροποποιηθεί, όσον αφορά στο Τμήμα Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών, το οποίο απαιτεί πλέον μόνο 10 διευθύνσεις IP. Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μόνο 4 bits στο host part ($2^4-2 = 14 > 10$) και επομένως τα υπόλοιπα 4 bits μπορούν να δεσμευτούν στο network part. Επομένως, στο Τμήμα Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών, θα χρησιμοποιήσουμε διευθύνσεις 192.192.192.192/28, δηλ. subnetmask = 255.255.255.240.

Πίνακας 5: Subnetting

Τμήμα εταιρείας	Διεύθυνση υποδικτύου - subnetmask	Απαιτούμενος αριθμός διευθύνσεων	Εκχωρούμενος αριθμός διευθύνσεων	Διευθύνσεις hosts/δεπαφών		Διεύθυνση Broadcast
				Από	Μέχρι	
Πωλήσεων	192.192.192.0 - 255.255.255.128	120	126	192.192.192.1	192.192.192.127	192.192.192.127
Ανάπτυξης Προϊόντων	192.192.192.128 - 255.255.255.192	60	62	192.192.192.129	192.192.192.190	192.192.192.191
Διοίκησης Προσωπικού & Οικονομικών	192.192.192.192 - 255.255.255.240	10	14	192.192.192.193	192.192.192.206	192.192.192.207

δ2) Το άθροισμα των απαιτούμενων διευθύνσεων στην 3η στήλη του πίνακα είναι 190 διευθύνσεις, ενώ των εκχωρηθεισών διευθύνσεων (4^η στήλη του Πίνακα 5) είναι 14 + 62 + 126 = 202 διευθύνσεις.

Επομένως το ζητούμενο ποσοστό είναι $190/202 = 94,06\%$.

δ3) Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι δεν εξαντλούμε όλον το χώρο των διευθύνσεων που πήραμε από τον ISP.

Από τις 254 διευθύνσεις, εκχωρήθηκαν οι 202 για hosts/διεπαφές + 3 για διευθύνσεις υποδικτύων + 3 ως broadcast διευθύνσεις (σύνολο 202 + 6 = 208 διεπαφές). Επομένως, το ζητούμενο ποσοστό είναι $208/254 = 81,89\%$.

Άσκηση 6

Θεωρούμε την μετάδοση ενός IPv4 datagram μέσω 100 μεταγωγών (switches). Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι 500 Mbps, ενώ το payload του IPv4 datagram είναι x bytes.

α) Να υπολογιστεί ο χρόνος μετάδοσης του datagram μέσω ενός μεταγωγέα.

β) Αν κατά την άφιξη του IPv4 datagram σε κάθε μεταγωγέα υπάρχουν IPv4 datagrams, με payload x bytes, που εξυπηρετούνται τότε το datagram που μας ενδιαφέρει θα περιμένει στην ουρά αναμονής μέχρι να εξυπηρετηθεί. Θεωρήστε ότι κατά την άφιξη του datagram στον 1^ο μεταγωγέα υπάρχει ένα datagram που εξυπηρετείται, στον 2^ο μεταγωγέα υπάρχουν 2 datagrams, στον 3^ο μεταγωγέα υπάρχουν 3 datagrams,...,στον 100^ο μεταγωγέα υπάρχουν 100 datagrams. Να υπολογιστεί ο μέγιστος χρόνος που θα χρειαστεί το datagram από την στιγμή που θα φθάσει στον πρώτο μεταγωγέα μέχρι να εξυπηρετηθεί από τον τελευταίο μεταγωγέα.

Λύση

α) Ο χρόνος μετάδοσης του datagram είναι $t = 8(x+20)/(500 \cdot 10^6)$.

β) Ο ζητούμενος χρόνος ισούται με $100 \cdot t + 101 \cdot 50 \cdot t$ μs, όπου $t = 8(x+20)/(500 \cdot 10^6)$.

Άσκηση 7

Αν q είναι η πιθανότητα εμφάνισης λάθους σε bit (Bit Error Rate) στον IPv6 header, να υπολογιστεί η πιθανότητα εμφάνισης τουλάχιστον τριών λαθών στον header.

Λύση

$$P[X = 0] = (1 - q)^{3200}$$

$$P[X = 1] = \binom{3200}{1} (1 - q)^{3199} q$$

$$P[X = 2] = \binom{3200}{2} (1 - q)^{3198} q^2$$

$$P[X \geq 3] = 1 - P[X = 0] - P[X = 1] - P[X = 2]$$

Άσκηση 8

Ας υποθέσουμε ότι πρόκειται να μεταδώσουμε ένα αρχείο MP3 μεγέθους 5Mbytes μέσω TCP/IPv6. Αν το συνολικό μέγεθος ενός datagram είναι 1000 byte, να υπολογιστεί: α) ο αριθμός των datagrams που απαιτούνται για την μετάδοση αυτή και β) το overhead που προκύπτει εξαιτίας του τεμαχισμού (segmentation) του αρχείου σε datagrams.

Λύση

Το μέγεθος του αρχείου MP3 = 5 Mbytes. Υποθέτουμε ότι η πληροφορία μεταφέρεται σε TCP segments, όπου κάθε TCP segment έχει header μεγέθους 20 bytes. Τότε κάθε datagram μπορεί να μεταφέρει $1000 - 20 - 40 = 940$ bytes του αρχείου MP3

Ο αριθμός των απαιτούμενων fragments ισούται με $\left\lceil \frac{5 \times 10^6}{940} \right\rceil = 5320$. Όλα τα fragments πλην του τελευταίου θα έχουν μέγεθος 1,000 bytes. Το τελευταίο fragment θα έχει μέγεθος $140 + 20 + 40 = 200$ bytes.

$$\text{Overhead} = ((5320 \times 1000 - 5.0M) / 5.0M) \times 100 = 6.4\%$$

Άσκηση 9

Να υπολογιστεί η απόδοση ενός πακέτου IPv6 που μεταφέρει 10 ms δεδομένων φωνής που έχει κωδικοποιηθεί κατά PCM. Να επαναληφθεί ο υπολογισμός αν το πακέτο IPv6 μεταφέρει 1 MPEG2 video frame των 4 Mbps, θεωρώντας frame rate ίσο με 30 frames/s.

Λύση

10 ms δεδομένων φωνής 64 kbps = $10 \cdot 10^{-3} \cdot 64 \cdot 10^3 = 640$ bits = 80 bytes

IPv6 Header = 40 bytes

Επομένως:

Απόδοση = $80 / (80 + 40) = 2/3 = 66.7\%$

1 video frame = $4 \cdot 10^6 / 30 = 133333$ bits = 16666 bytes

Επομένως:

Απόδοση = $16666 / (16666 + 40) = 99.76\%$

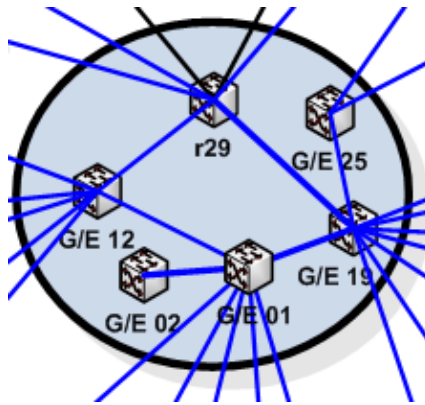
Άσκηση 10

α) Ο Κεντρικός Αλγόριθμος Δρομολόγησης (Link State Algorithm - Dijkstra) έχει το εξής χαρακτηριστικό (επιλέξατε τη σωστή απάντηση):

- Ο κόμβος που θα «τρέξει» τον Αλγόριθμο πρέπει να γνωρίζει τα κόστη σε όλους τους κλάδους του δικτύου.
- Υπολογίζεται η οικονομικότερη διαδρομή («shortest path») από έναν κόμβο αφετηρία προς όλους τους άλλους κόμβους.
- Στην επαναληπτική διαδικασία του Αλγορίθμου, μετά από n επαναλήψεις υπολογίζονται οι συντομότερες διαδρομές προς n κόμβους.
- Όλα τα ανωτέρω αποτελούν χαρακτηριστικά του αλγορίθμου.
- Κανένα από τα ανωτέρω δεν αποτελεί χαρακτηριστικό του αλγορίθμου.

β) Εφαρμογή του αλγορίθμου

Στο σχήμα 4 απεικονίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του Πανεπιστημίου Πατρών, και ειδικότερα το μέρος του δικτύου (κορμού) με τους βασικούς κόμβους που βρίσκονται στα κτήρια: **01, 02, 12, 19, 25** και **29**, μέσω των οποίων εξυπηρετούνται τα υπόλοιπα κτήρια του Πανεπιστημίου (καθώς και η επικοινωνία με το εξωτερικό δίκτυο του ΟΤΕ, μέσω του κόμβου **29**). Οι αποστάσεις μεταξύ των κτηρίων, καθώς και οι χωρητικότητες σε εύρος ζώνης (ταχύτητες) των δικατευθυντήριων ζεύξεων μεταξύ των κτηρίων αυτών (κλάδοι του δικτύου), φαίνονται στον πίνακα 6.



Σχήμα 4: Διασύνδεση των βασικών τηλεπικοινωνιακών κόμβων του Πανεπιστημίου Πατρών.

Πίνακας 6: Αποστάσεις και χωρητικότητες υφισταμένων ζεύξεων μεταξύ των κτηρίων.

Κτήριο	01	02	12	19	25	29
01		0,15 km	0,35 km	0,25 km	0,70 km	1,00 km
02	1,0 Gbps		0,25 km	0,45 km	1,25 km	1,20 km
12	0,1 Gbps	-		1,00 km	1,00 km	0,75 km
19	1,0 Gbps	-	-		0,35 km	0,60 km
25	-	-	-	0,1 Gbps		0,30 km
29	-	-	0,1 Gbps	1,0 Gbps	-	

Για την διεκπεραίωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μεταξύ **των βασικών αυτών κόμβων**, να βρεθούν οι διαδρομές ελαχίστου κόστους («shortest paths») από το κτήριο **12** προς όλα τα άλλα κτήρια, λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το κόστος μιας ζεύξης είναι *ανάλογο της απόστασης και αντιστρόφως ανάλογο της χωρητικότητας* της ζεύξης. Συγκεκριμένα:

i) Να βρείτε τον πίνακα (i) με τα κόστη κάθε ζεύξης (κλάδου) που θα χρησιμοποιηθούν για την δρομολόγηση, στο δίκτυο του σχήματος 4.

Πίνακας (i): Κόστος διεκπεραίωσης της κίνησης σε κάθε κλάδο.

Κτήριο	01	02	12	19	25	29
01						
02						
12						
19						
25						
29						

ii) Να βρείτε τις διαδρομές ελαχίστου κόστους (από τον κόμβο **12** προς το όλους τους άλλους κόμβους) και το αντίστοιχο κόστος σε κάθε μια απ' αυτές, με δικούς σας απλούς υπολογισμούς που θα κάνετε, βασιζόμενοι στον πίνακα (i) και επισκοπώντας το σχήμα 4. Καταχωρήσατε τις διαδρομές ελαχίστου κόστους και το αντίστοιχο κόστος στον πίνακα (ii).

Πίνακας (ii): Διαδρομές ελαχίστου κόστους από τον κόμβο **12** προς όλους τους άλλους κόμβους.

Από κόμβο 12 προς κόμβο:	Διαδρομή ελαχίστου κόστους	Κόστος διαδρομής
01		
02		
19		
25		
29		

iii) Να εφαρμόσετε τον κεντρικό αλγόριθμο δρομολόγησης του Dijkstra, παρουσιάζοντας τον πίνακα (πίνακας iii) που χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος αυτός για την εύρεση των διαδρομών ελαχίστου κόστους. (Σημειωτέον ότι τα στοιχεία του πίνακα αυτού δείχνουν εκτός από το συνολικό κόστος της διαδρομής από τον κόμβο αφετηρία προς τον κόμβο προορισμού, και ποιος είναι ο κόμβος **αμέσως πριν** από τον κόμβο προορισμού).

Πίνακας (iii): Πίνακας αλγορίθμου Dijkstra, από τον κόμβο **12** προς όλους τους άλλους κόμβους.

Σύνολο κόμβων	01	02	19	25	29
Αρχικά:					
Βήμα 1:					
Βήμα 2:					
Βήμα 3:					
Βήμα 4:					
Βήμα 5:					

iv) Εξηγήσατε με βάση τον πίνακα του αλγορίθμου Dijkstra που βρήκατε στην ερώτηση (iii), πώς τελικά εντοπίζεται η διαδρομή ελαχίστου κόστους (καθόσον οι διαδρομές δεν είναι απολύτως εμφανείς στον πίνακα του αλγορίθμου Dijkstra). Για την εξήγηση, πάρτε ως παράδειγμα τη διαδρομή από τον κόμβο **12** στον **29**.

Λύση

α) Ο Κεντρικός Αλγόριθμος Δρομολόγησης (Link State Algorithm - Dijkstra) έχει το εξής χαρακτηριστικό (επιλέξατε τη σωστή απάντηση):

- Ο κόμβος που θα «τρέξει» τον Αλγόριθμο πρέπει να γνωρίζει τα κόστη σε όλους τους κλάδους του δικτύου.
- Υπολογίζεται η οικονομικότερη διαδρομή («shortest path») από έναν κόμβο αφετηρία προς όλους τους άλλους κόμβους.
- Στην επαναληπτική διαδικασία του Αλγορίθμου, μετά από n επαναλήψεις υπολογίζονται οι συντομότερες διαδρομές προς n κόμβους.
- Όλα τα ανωτέρω αποτελούν χαρακτηριστικά του αλγορίθμου.
- Κανένα από τα ανωτέρω δεν αποτελεί χαρακτηριστικό του αλγορίθμου.

β) Στο σχήμα 4 απεικονίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του Πανεπιστημίου Πατρών, και ειδικότερα το μέρος του δικτύου (κορμού) με τους βασικούς κόμβους που βρίσκονται στα κτήρια: **01**, **02**, **12**, **19**, **25** και **29**, μέσω των οποίων εξυπηρετούνται τα υπόλοιπα κτήρια του Πανεπιστημίου (καθώς και η επικοινωνία με το εξωτερικό δίκτυο του ΟΤΕ, μέσω του κόμβου **29**). Οι αποστάσεις μεταξύ των

κτηρίων, καθώς και οι χωρητικότητες σε εύρος ζώνης (ταχύτητες) των δικατευθυντήριων ζεύξεων μεταξύ των κτηρίων αυτών (κλάδοι του δικτύου), φαίνονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7: Αποστάσεις και χωρητικότητες υφισταμένων ζεύξεων μεταξύ των κτηρίων.

Κτήριο	01	02	12	19	25	29
01		0,15 km	0,35 km	0,25 km	0,70 km	1,00 km
02	1,0 Gbps		0,25 km	0,45 km	1,25 km	1,20 km
12	0,1 Gbps	-		1,00 km	1,00 km	0,75 km
19	1,0 Gbps	-	-		0,35 km	0,60 km
25	-	-	-	0,1 Gbps		0,30 km
29	-	-	0,1 Gbps	1,0 Gbps	-	

Για την διεκπεραίωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μεταξύ των **βασικών αυτών κόμβων**, να ευρεθούν οι διαδρομές ελαχίστου κόστους («shortest paths») από το κτήριο **12** προς όλα τα άλλα κτήρια, λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το κόστος μιας ζεύξης είναι *ανάλογο της απόστασης και αντιστρόφως ανάλογο της χωρητικότητας* της ζεύξης. Συγκεκριμένα:

i) Αφού το κόστος είναι ανάλογο της απόστασης και αντιστρόφως ανάλογο της χωρητικότητας της ζεύξης, αυτό μπορεί να εκφραστεί από την σχέση:

$$c_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{s_{i,j}} \quad (\text{σχέση 1})$$

Όπου: $c_{i,j}$ είναι το κόστος μεταξύ των κόμβων i και j ,

$d_{i,j}$ είναι η χιλιομετρική απόσταση μεταξύ των κόμβων i και j ,

$s_{i,j}$ είναι η χωρητικότητα (ταχύτητα μετάδοσης) μεταξύ των κόμβων i και j σε Gbps.

Βάσει της σχέσης 1, για τις τιμές του πίνακα 7, υπολογίζουμε τον πίνακα με το κόστος κάθε ζεύξης (κλάδου του δικτύου).

Πίνακας (i): Κόστος διεκπεραίωσης της κίνησης σε κάθε κλάδο.

Κτήριο	01	02	12	19	25	29
01		0,15	3,50	0,25	∞	∞
02	0,15		∞	∞	∞	∞
12	3,50	∞		∞	∞	7,50
19	0,25	∞	∞		3,50	0,60
25	∞	∞	∞	3,50		∞
29	∞	∞	7,50	0,60	-	

ii)

Πίνακας (ii): Διαδρομές ελαχίστου κόστους από τον κόμβο **12** προς όλους τους άλλους κόμβους.

Από κόμβο 12 προς κόμβο:	Διαδρομή ελαχίστου κόστους	Κόστος διαδρομής
01	12 → 01	3,50
02	12 → 01 → 02	3,65
19	12 → 01 → 19	3,75
25	12 → 01 → 19 → 25	7,25
29	12 → 01 → 19 → 29	4,35

iii) Αρχικά, στο σύνολο των κόμβων (1^η στήλη του Πίνακα iii) έχουμε μόνο τον κόμβο αφετηρία, **12**. Ως επικεφαλίδα στις επόμενες στήλες του Πίνακα (iii) βάζουμε τους υπολοίπους κόμβους (δεν έχει σημασία η σειρά τους). Αν ο κόμβος **12** συνδέεται απ' ευθείας με έναν κόμβο (υπάρχει κλάδος), τότε στην αντίστοιχη στήλη γράφουμε το κόστος του κλάδου και μέσα σε παρένθεση τον κόμβο **12**, για να δηλώσουμε μέσω ποιου κόμβου (**12**) καταλήγουμε στον κόμβο αυτόν. Αν ο κόμβος **12** δεν συνδέεται απ' ευθείας με τον έναν κόμβο (δεν υπάρχει κλάδος), τότε στην αντίστοιχη στήλη γράφουμε άπειρο (∞), δηλ. άπειρο κόστος. Η διαδικασία αυτή αποτελεί την αρχικοποίηση του αλγορίθμου Dijkstra.

Κατόπιν (Βήμα 1), βρίσκουμε σε ποιον κόμβο έχουμε το ελάχιστο κόστος (δηλ. τον **01**) και τον βάζουμε στο σύνολο των κόμβων (αυτό σημαίνει ότι έχουμε βρει «shortest path» από τον κόμβο «αφετηρία», προς τον κόμβο αυτόν). Αν τύχει να έχουμε ίδιο κόστος σε δύο ή περισσότερους κόμβους, επιλέγουμε αυθαίρετα έναν κόμβο. Ακολουθώντας ανανεώνουμε τα κόστη προς τους υπολοίπους κόμβους (προς αυτούς που δεν ανήκουν στο σύνολο των κόμβων της στήλης 1, του Βήματος 1), εφόσον μπορούμε να φθάσουμε σε κόμβο μέσω του κόμβου αυτού που μόλις βάλαμε στο σύνολο των κόμβων, εφόσον προκύπτει μικρότερο κόστος. Π.χ. προς τον κόμβο **02**, μέσω του **01** έχουμε συνολικό κόστος $3,50 + 0,15 = 3,65$, δηλ. μικρότερο του απείρου, και επομένως θα καταχωρηθεί στον πίνακα αμέσως κάτω από το άπειρο κόστος, και βεβαίως θα γράψουμε μέσα σε παρένθεση ότι φθάσαμε στον **02** μέσω του **01**. Ελέγχοντας τα κόστη προς όλους τους υπόλοιπους κόμβους συμπληρώνεται όλη η γραμμή του πίνακα που αντιστοιχεί στο Βήμα 1.

Επαναλαμβάνεται η ίδια ακριβώς διαδικασία (επόμενα Βήματα) μέχρις ότου όλοι οι κόμβοι του δικτύου μπουν στο σύνολο των κόμβων και τότε τερματίζει ο αλγόριθμος.

Πίνακας (iii): Πίνακας αλγορίθμου Dijkstra, από τον κόμβο **12** προς όλους τους άλλους κόμβους.

Σύνολο κόμβων	01	02	19	25	29
Αρχικά: 12	3,50 (12)	∞	∞	∞	7,50 (12)
Βήμα 1: 12, 01	-	3,65 (01)	3,75 (01)	∞	7,50 (12)
Βήμα 2: 12, 01, 02	-	-	3,75 (01)	∞	7,50 (12)
Βήμα 3: 12, 01, 02, 19	-	-	-	7,25 (19)	4,35 (19)
Βήμα 4: 12, 01, 02, 19, 29	-	-	-	7,25 (19)	-
Βήμα 5: 12, 01, 02, 19, 29, 25	-	-	-	-	-

iv) Θέλοντας να εντοπίσουμε στον πίνακα του αλγορίθμου Dijkstra τη διαδρομή από τον κόμβο **12** στον **29**, αρχίζουμε από τον κόμβο προορισμού (δηλ. τον **29**) και εντοπίζουμε τον αμέσως προηγούμενο κόμβο, μέχρι να φθάσουμε στον κόμβο αφετηρία (δηλ. τον **12**) (βήμα προς βήμα).

Στον πίνακα του αλγορίθμου Dijkstra, αρχίζουμε από την στήλη «**29**», και στην τελευταία **μη κενή** γραμμή της στήλης «**29**» διαβάζουμε το συνολικό ελάχιστο κόστος της διαδρομής από τον **12** στον **29** (κόστος **4,35**), καθώς και ότι φθάνουμε στον **29** από τον κόμβο **19**, δηλ. ο αμέσως προηγούμενος κόμβος είναι ο **19**, και επομένως έχουμε:

Βήμα 1: **19 → 29**

Το επόμενο βήμα είναι να διαβάσουμε στην στήλη «**19**», στην τελευταία μη κενή γραμμή, ποιος είναι ο αμέσως προηγούμενος κόμβος του **19**, διαβάζουμε **01** και έχουμε:

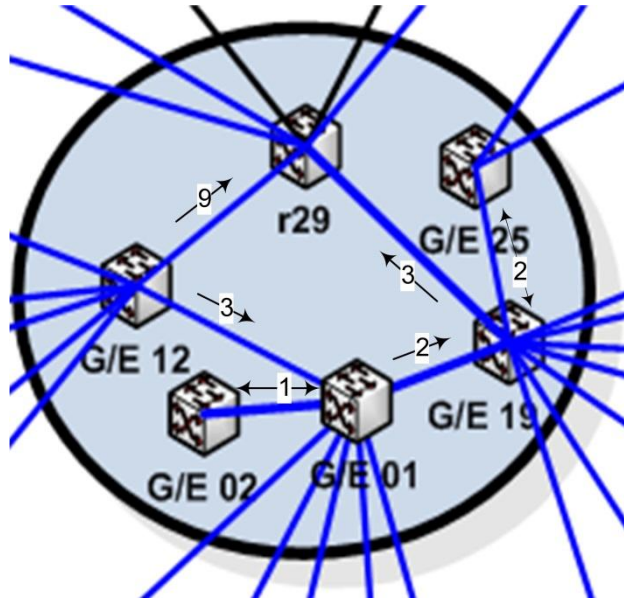
Βήμα 2: **01 → 19 → 29**

Στο επόμενο βήμα (3), πηγαίνουμε στην στήλη «**01**», και διαβάζουμε στην τελευταία μη κενή γραμμή της, ποιος είναι ο αμέσως προηγούμενος κόμβος του **01**. Θα διαβάσουμε **12**, δηλ. τον κόμβο αφετηρία, που σημαίνει ότι εδώ σταματάμε, διότι έχουμε σχηματίσει την πλήρη διαδρομή:

Βήμα 3: **12 → 01 → 19 → 29** (ελάχιστο κόστος 4,35).

Άσκηση 11

Στο σχήμα 5 απεικονίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο του Πανεπιστημίου Πατρών, και ειδικότερα το μέρος του δικτύου (κορμού) με τους βασικούς κόμβους που βρίσκονται στα κτήρια: **01, 02, 12, 19, 25** και **29**, μέσω των οποίων εξυπηρετούνται τα υπόλοιπα κτήρια του Πανεπιστημίου (καθώς και η επικοινωνία με το εξωτερικό δίκτυο του ΟΤΕ, μέσω του κόμβου **29**). Το κόστος διεκπεραίωσης της κίνησης μέσω των κλάδων του δικτύου (υφιστάμενες ζεύξεις), δηλώνεται στο σχήμα 5 με τους αριθμούς πάνω σε βέλη.



Σχήμα 5: Διασύνδεση των βασικών τηλεπικοινωνιακών κόμβων του Πανεπιστημίου Πατρών.

Για την διεκπεραίωση της τηλεπικοινωνιακής κίνησης μεταξύ των **βασικών αυτών κόμβων**, να ευρεθούν οι διαδρομές ελαχίστου κόστους («shortest paths») προς το κτήριο **29** από όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου, εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο **Bellman-Ford**. Συγκεκριμένα:

1) Να βρείτε την αρχική κατάσταση του αλγορίθμου, προσδιορίζοντας σε κάθε κόμβο i , μία ετικέτα « D_i^0 », όπου D_i^0 είναι το αρχικό κόστος (σύμφωνα με τον αλγόριθμο Bellman-Ford), της διαδρομής (μονοπατιού) από τον κόμβο i προς τον κόμβο προορισμού **29**, αν η διαδρομή ($i \rightarrow 29$) περιέχει το πολύ $h=0$ ακμές (κλάδους). Καταχωρήστε την αρχική κατάσταση του αλγορίθμου σε πίνακα, που θα λέγεται **πίνακας Bellman-Ford**.

Πίνακας του αλγορίθμου Bellman-Ford, από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο 29.

Κόμβος i	12	01	02	19	25	29
Αρχική Κατάσταση ($h=0$)						

2) Να βρείτε την ετικέτα « $D_i^1(v)$ » κάθε κόμβου i , μετά την 1^η επανάληψη (Βήμα 1) του αλγορίθμου και να την καταχωρήσετε στον **πίνακα Bellman-Ford**. D_i^1 είναι το κόστος της διαδρομής από τον κόμβο i προς τον κόμβο προορισμού **29**, αν η διαδρομή ($i \rightarrow 29$) περιέχει το πολύ $h=1$ ακμές (κλάδους). Σε

περίπτωση που (όντως) περιέχει ακμή, το v στην ετικέτα (μέσα στην παρένθεση) δείχνει τον αμέσως επόμενο κόμβο (του κόμβου i). Ειδικά στο 1^ο Βήμα (όταν $h=1$), το v συμπίπτει με τον κόμβο προορισμού. Στην ορολογία του αλγορίθμου Bellman-Ford, το κάθε βήμα λέγεται *χαλάρωση ακμής*, ή απλά *χαλάρωση*, καθόσον το κόστος της διαδρομής προς τον κόμβο προορισμού ενδέχεται να βελτιωθεί μέσω μιας νέας ακμής.

Πίνακας του αλγορίθμου Bellman-Ford, από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο 29.

Κόμβος i	12	01	02	19	25	29
Αρχική Κατάσταση ($h=0$)						
Βήμα 1 ($h=1$)						

3) Ομοίως, να βρείτε την ετικέτα « $D_i^2(v)$ » κάθε κόμβου i , μετά την 2^η επανάληψη (Βήμα 2) του αλγορίθμου, και να συμπληρώσετε τον πίνακα Bellman-Ford. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρότι επαυξάνεται η διαδρομή (το μονοπάτι μεταξύ αφετηρίας – προορισμού) σε κάθε Βήμα κατά 1 ακμή (κλάδο), το κόστος ενδέχεται να μειωθεί.

Ακολούθως, συμπληρώστε τον πίνακα, με όλα τα Βήματα του αλγορίθμου.

Πίνακας του αλγορίθμου Bellman-Ford, από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο 29.

Κόμβος i	12	01	02	19	25	29
Αρχική Κατάσταση ($h=0$)						
Βήμα 1 ($h=1$)						
Βήμα 2 ($h=2$)						
...						

4) Ποιος είναι ο μέγιστος δυνατός αριθμός επαναλήψεων (Βήματα) του αλγορίθμου; (γιατί;)

5) Να σχεδιαστούν στο δίκτυο, οι διαδρομές ελαχίστου κόστους από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο προορισμού **29**, βάσει του πίνακα Bellman-Ford. Τι πληροφορίες παίρνουμε από τον πίνακα για να σχεδιάσουμε τις διαδρομές αυτές;

Λύση

1)

Πίνακας του αλγορίθμου Bellman-Ford, από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο 29.

Κόμβος i	12	01	02	19	25	29
Αρχική Κατάσταση ($h=0$)	∞	∞	∞	∞	∞	0

Η αρχική κατάσταση προκύπτει εξ ορισμού του αλγορίθμου Bellman-Ford.

2)

Πίνακας του αλγορίθμου Bellman-Ford, από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο 29.

Κόμβος i	12	01	02	19	25	29
Αρχική Κατάσταση ($h=0$)	∞	∞	∞	∞	∞	0
Βήμα 1 ($h=1$)	9 (29)	∞	∞	3 (29)	∞	0
Βήμα 2 ($h=2$)	9 (29)	5 (19)	∞	3 (29)	5 (19)	0
Βήμα 3 ($h=3$)	8 (01)	5 (19)	6 (01)	3 (29)	5 (19)	0
Βήμα 4 ($h=4$)	8 (01)	5 (19)	6 (01)	3 (29)	5 (19)	0

Ο αλγόριθμος σταματά στο Βήμα 4 ($h=4$) αφού δεν άλλαξε καμία ετικέτα κόμβου σε σύγκριση με το προηγούμενο Βήμα ($h=3$).

3)

Ο μέγιστος δυνατός αριθμός επαναλήψεων του αλγορίθμου εξαρτάται από τον αριθμό κόμβων N , και είναι $N-1$, διότι σε ένα δίκτυο με N συνολικά κόμβους, η μέγιστη δυνατή διαδρομή που μπορεί να ληφθεί υπ' όψη κατά την τελευταία επανάληψη, θα περνά από $N-1$ κόμβους. (Αυτό εξαρτάται και από την τοπολογία του δικτύου.)

4)

Πίνακας του αλγορίθμου Bellman-Ford, από όλους τους κόμβους προς τον κόμβο 29.

Κόμβος i	12	01	02	19	25	29
Αρχική Κατάσταση ($h=0$)	∞	∞	∞	∞	∞	0
Βήμα 1 ($h=1$)	9 (29)	∞	∞	3 (29)	∞	0
Βήμα 2 ($h=2$)	9 (29)	5 (19)	∞	3 (29)	5 (19)	0
Βήμα 3 ($h=3$)	8 (01)	5 (19)	6 (01)	3 (29)	5 (19)	0
Βήμα 4 ($h=4$)	8 (01)	5 (19)	6 (01)	3 (29)	5 (19)	0

5) Θα σχεδιάσουμε στο δίκτυο τις διαδρομές ελαχίστου κόστους από κάθε κόμβο προς τον 29, διαβάζοντας στον Πίνακα Bellman-Ford ότι:

Μέσω ενός μόνον κλάδου ($h=1$) φθάνουμε στον 29 από τον κόμβο 19, με (ελάχιστο) κόστος 3:
19→29

Μέσω δύο κλάδων ($h=2$) φθάνουμε στον 29 από τους κόμβους 01 και 25 (μέσω του 19), με (ελάχιστο) κόστος 5 και 5, αντιστοίχως (κατά σύμπτωση ίσον):

01→19→29

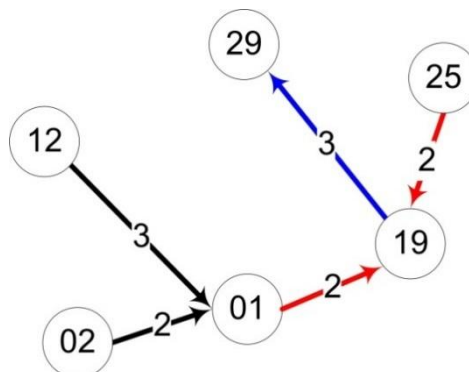
25→19→29

Μέσω τριών κλάδων ($h=3$) φθάνουμε στον 29 από τους κόμβους 12 και 02 (μέσω του 01), με (ελάχιστο) κόστος 8 και 6:

12→01→19→29

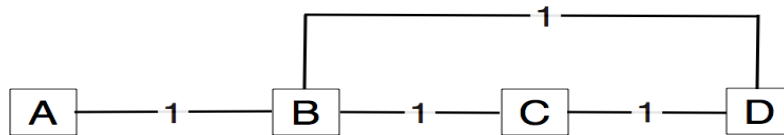
02→01→19→29

Οι διαδρομές αυτές φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα:



Άσκηση 12

Υποθέστε ότι το παρακάτω δίκτυο χρησιμοποιεί για τη δρομολόγηση κάποιον αλγόριθμο διανύσματος αποστάσεων. Το κόστος του κάθε συνδέσμου φαίνεται στην εικόνα.



1. Δώστε όλα τα διανύσματα απόστασης (με τον επόμενο κόμβο σε μορφή πίνακα) που ανταλλάσσονται και περιγράψτε τα επόμενα βήματα (με μορφή πινάκων) έως ότου όλοι οι δρομολογητές να έχουν την ελάχιστη διαδρομή προς κάθε άλλο δρομολογητή στο δίκτυο.
2. Ποια είναι τα μηνύματα που ανταλλάσσονται όταν ο διαχειριστής του δικτύου αναδιαμορφώνει το κόστος του συνδέσμου B-D σε 9;
3. Στο αρχικό σχήμα, όταν δηλαδή το κόστος όλων των συνδέσμων είναι 1, ποια είναι τα μηνύματα που ανταλλάσσονται όταν ο σύνδεσμος C-D αποτύχει;
4. Θεωρήστε το ίδιο αρχικό δίκτυο του παραπάνω σχήματος το οποίο χρησιμοποιεί κάποιο πρωτόκολλο δρομολόγησης κατάστασης συνδέσμων και τον αλγόριθμο Dijkstra για τον υπολογισμό των συντομότερων διαδρομών. Δώστε όλα τα μηνύματα κατάστασης συνδέσμων που θα στείλουν οι δρομολογητές. Επίσης εφαρμόστε τον αλγόριθμο Dijkstra στον δρομολογητή B και δώστε τον πίνακα δρομολόγησης που θα προκύψει σε αυτό το δρομολογητή. Ποια μηνύματα ανταλλάσσονται όταν ο σύνδεσμος B-C αποτύχει;

Λύση

1.

Βήμα 0: Αρχικά έχουμε μόνο τους γειτονικούς

Κόμβος	Απόσταση από τον κόμβο			
	A	B	C	D
A	0, -	1, B	∞, -	∞, -
B	1, A	0, -	1, C	1, D
C	∞, -	1, B	0, -	1, D
D	∞, -	1, B	1, C	0, -

Βήμα 1: Σύγκλιση

Κόμβος	Απόσταση από τον κόμβο			
	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	2, B
B	1, A	0, -	1, C	1, D
C	2, B	1, B	0, -	1, D
D	2, B	1, B	1, C	0, -

2. Εάν αλλάξει το κόστος του B-D σε 9 θα έχουμε:

Κόμβος	Απόσταση από τον κόμβο			
	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	2, B
B	1, A	0, -	1, C	9, D
C	2, B	1, B	0, -	1, D
D	2, B	9, B	1, C	0, -

Οπότε στο επόμενο βήμα θα έχουμε:

	Απόσταση από τον κόμβο			
Κόμβος	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	10, B
B	1, A	0, -	1, C	2, C
C	2, B	1, B	0, -	1, D
D	10, B	2, C	1, C	0, -

Και τέλος (σύγκλιση)

	Απόσταση από τον κόμβο			
Κόμβος	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	3, B
B	1, A	0, -	1, C	2, C
C	2, B	1, B	0, -	1, D
D	3, C	2, C	1, C	0, -

3. Ξεκινάμε από τους πίνακες της σύγκλισης του 1^{ου} ερωτήματος, δηλαδή:

	Απόσταση από τον κόμβο			
Κόμβος	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	2, B
B	1, A	0, -	1, C	1, D
C	2, B	1, B	0, -	1, D
D	2, B	1, B	1, C	0, -

Εφόσον το C-D αποτυγχάνει οι πρώτοι που θα το «δουν» είναι οι ίδιοι κόμβοι, οπότε θα έχουμε:

	Απόσταση από τον κόμβο			
Κόμβος	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	2, B
B	1, A	0, -	1, C	1, D
C	2, B	1, B	0, -	$\infty, -$
D	2, B	1, B	$\infty, -$	0, -

Στην επόμενη ανταλλαγή πινάκων θα έχουμε σύγκλιση:

	Απόσταση από τον κόμβο			
Κόμβος	A	B	C	D
A	0, -	1, B	2, B	2, B
B	1, A	0, -	1, C	1, D
C	2, B	1, B	0, -	2, B
D	2, B	1, B	2, B	0, -

4.

Ο Α θα στείλει: <A-B, 1>

Ο Β θα στείλει: <B-A, 1>, <B-D, 1>, <B-C, 1>

Ο C θα στείλει: <C-B, 1>, <C-D, 1>

Ο D θα στείλει: <D-B, 1>, <D-C, 1>

Κάθε δρομολογητής θα λάβει όλα τα παραπάνω. Με βάση αυτά θα αναπαραστήσει τον γράφο του δικτύου και κατά τα γνωστά θα χρησιμοποιήσει τον Dijkstra για την εύρεση των συντομότερων μονοπατιών.

Προσωρινό Δέντρο	A	C	D	Σχόλια
{B}	1, B	1, B	1, B	Διαλέγουμε τον A (ίδιο κόστος, αλλά μικρότερο αναγνωριστικό)
{B, A}	-	1, B	1, B	Διαλέγουμε τον C (ίδιο κόστος, αλλά μικρότερο αναγνωριστικό)
{B, A, C}		-	1, B	Διαλέγουμε τον D (ίδιο κόστος, αλλά μικρότερο αναγνωριστικό)
{B, A, C, D}			-	Τέλος

Με βάση τον αλγόριθμο ο πίνακας δρομολόγησης στον Β θα είναι:

Προορισμός	Επόμενος	Κόστος
B	B	0
A	A	1
C	C	1
D	D	1

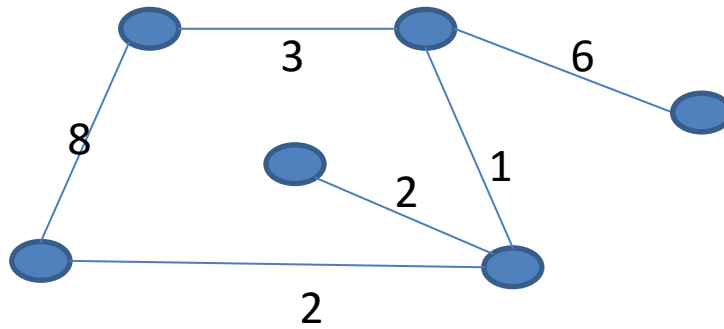
Εάν η B-C αποτύχει τότε οι Β και C θα στείλουν τα μηνύματα:

<B-C, ∞>

<C-B, ∞>

Όλοι οι δρομολογητές θα τα λάβουν και θα αφαιρέσουν τον σύνδεσμο από το γράφο και θα εφαρμόσουν τον Dijkstra ξανά στο νέο γράφο.

Άσκηση 13



Θεωρήστε το δίκτυο των έξι κόμβων του παραπάνω σχήματος όπου το κόστος των συνδέσμων που δίνεται στον γράφο είναι το ίδιο σε κάθε κατεύθυνση.

α) Εφαρμόστε βήμα προς βήμα τον αλγόριθμο Bellman-Ford δίνοντας το συνολικό διάνυσμα απόστασης (περιέχει τα διανύσματα απόστασης όλων των κόμβων) σε κάθε βήμα εξηγώντας τι συνέβη. Αναπαραστήστε γραφικά τα βήματα λειτουργίας του αλγορίθμου στον κόμβο Δ.

Υπόδειξη: Ο αρχικός συνολικός πίνακας των διανυσμάτων απόστασης (βήμα 0) δίνεται ακολούθως:

Κόμβος	Απόσταση προς τον κόμβο					
	A	B	Γ	Δ	E	Z
A	0	∞	3	8	∞	∞
B	∞	0	∞	∞	2	∞
Γ	3	∞	0	∞	1	6
Δ	8	∞	∞	0	2	∞
E	∞	2	1	2	0	∞
Z	∞	∞	6	∞	∞	0

β) Έστω ότι καταρρέει ο σύνδεσμος Γ-E.

Δώστε τους πίνακες διανύσματος απόστασης στους κόμβους A, B, Δ, και Z αμέσως μετά αφού οι Γ και E στείλουν την πρώτη ενημέρωση στους γειτονικούς τους.

Δώστε τους πίνακες διανύσματος απόστασης στους κόμβους A και Δ μετά τον επόμενο κύκλο ενημερώσεων, καθώς και αυτόν του Γ μετά τον τρίτο κύκλο ενημερώσεων (βοήθεια: βλ. ενημέρωση από τον A στον Γ). Στο υποερώτημα αυτό οι πίνακες διανύσματος να περιέχουν και τον επόμενο κόμβο (δηλαδή [κόμβος, επόμενος κόμβος, απόσταση]) όπως φαίνεται παρακάτω:

Βοήθεια: Για παράδειγμα στο βήμα 0 η μορφή του διανύσματος απόστασης στον κόμβο A είναι:

A		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
B	-	∞
Γ	Γ	3
Δ	-	∞
E	-	∞
Z	Γ	9

Λύση

Βήμα 0:

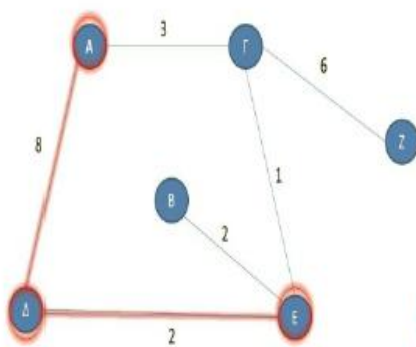
Όπως στην εκφώνηση

Βήμα 1:

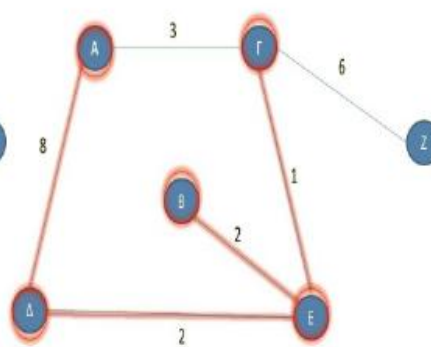
	Απόσταση προς τον κόμβο					
Κόμβος	A	B	Γ	Δ	E	Z
A	0	∞	3	8	4	9
B	∞	0	3	4	2	∞
Γ	3	3	0	3	1	6
Δ	8	4	3	0	2	∞
E	4	2	1	2	0	7
Z	9	∞	6	∞	7	0

Βήμα 2:

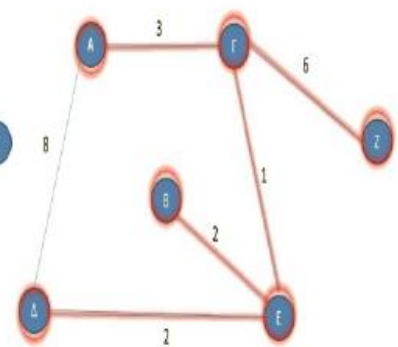
	Απόσταση προς τον κόμβο					
Κόμβος	A	B	Γ	Δ	E	Z
A	0	6	3	6	4	9
B	6	0	3	4	2	9
Γ	3	3	0	3	1	6
Δ	6	4	3	0	2	9
E	4	2	1	2	0	7
Z	9	9	6	9	7	0



Βήμα 0



Βήμα 1



Βήμα 2

β)

Βήμα 0: οι πίνακες διανύσματος απόστασης στους κόμβους A, B, Δ και Z αμέσως μετά αφού οι Γ και Ε στείλουν την πρώτη ενημέρωση στους γειτονικούς τους

A		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
B	-	∞
Γ	Γ	3
Δ	-	∞
E	-	∞
Z	Γ	9

B		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
A	-	∞
Γ	-	∞
Δ	E	4
E	E	2
Z	-	∞

Δ		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
A	-	∞
B	E	4
Γ	-	∞
E	E	2
Z	-	∞

Z		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
A	Γ	9
B	-	∞
Γ	Γ	6
Δ	-	∞
E	-	∞

Βήμα 1: οι πίνακες διανύσματος απόστασης στους κόμβους A και Δ μετά τον επόμενο κύκλο ενημερώσεων

Α		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
Β	Δ	12
Γ	Γ	3
Δ	Δ	8
Ε	Δ	10
Ζ	Γ	9

Δ		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
Α	Α	8
Β	Ε	4
Γ	Α	11
Ε	Ε	2
Ζ	Α	17

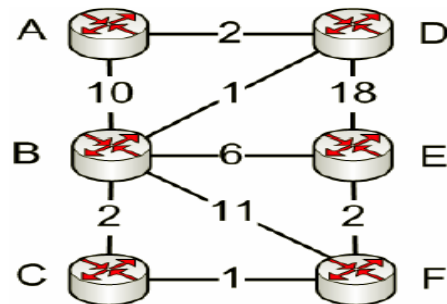
Βήμα 2: οι πίνακες διανύσματος απόστασης του Γ όπως προκύπτει μετά τον τρίτο κύκλο ενημερώσεων

Γ		
Κόμβος προορισμού	Επόμενος κόμβος	Κόστος
Α	Α	3
Β	Α	15
Δ	Α	11
Ε	Α	13
Ζ	Ζ	6

Άσκηση 14

Οι κόμβοι του σχήματος διασυνδέονται μεταξύ τους και με κόστος όπως αναγράφεται σε κάθε σύνδεσμο.

- 1) Χωρίς να χρησιμοποιήσετε τον αλγόριθμο διανύσματος αποστάσεων, αλλά απλά με παρατήρηση, δώστε πίνακα με κόστος βέλτιστης διαδρομής από κάθε κόμβο προς κάθε άλλο.
- 2) Για τον κόμβο C αναφέρεται ποιες πληροφορίες και από ποιους τις λαμβάνει όταν εφαρμόζεται αλγόριθμος κατάστασης συνδέσμων.
- 3) Για τον κόμβο C βρείτε την διαδρομή (επόμενο κόμβο) που θα ακολουθήσουν τα πακέτα δεδομένων με προορισμό τον κόμβο D όταν εφαρμόζεται αλγόριθμος κατάστασης συνδέσμων. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.
- 4) Εφόσον αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο διανύσματος αποστάσεων, ποιοι είναι οι αρχικοί πίνακες διανύσματος αποστάσεων για τους κόμβους A, B, D, E;
- 5) Έστω ότι μόνο ο κόμβος B στέλνει τον πίνακα διανύσματος απόστασης. Πως διαμορφώνεται τώρα ο πίνακας διανύσματος αποστάσεων για τους κόμβους A, B, D, E;



Λύση

1)

	A	B	C	D	E	F
A	0	3	5	2	8	6
B	3	0	2	1	5	3
C	5	2	0	3	3	1
D	2	1	3	0	6	4
E	8	5	3	6	0	2
F	6	3	1	4	2	0

2) Εφόσον αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο κατάστασης συνδέσμων, ο κόμβος C θα λαμβάνει από όλους τους κόμβους ενημέρωση (αντίστοιχες γραμμές του πίνακα στο ερώτημα 1).

Εφόσον αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο διανύσματος αποστάσεων, ο κόμβος C θα λαμβάνει από τους κόμβους B και F πληροφόρηση αναφορικά με το κόστος προώθησης από αυτούς (αντίστοιχες γραμμές του πίνακα στο ερώτημα 1), ενώ δεν θα λαμβάνει ενημέρωση από τους A, D, E αφού δεν είναι άμεσα συνδεδεμένοι.

3) Εφόσον αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο κατάστασης συνδέσμων για την διαδρομή από τον κόμβο C προς τον κόμβο D επιλέγονται ως ενδιάμεσοι κόμβοι κατά σειρά όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Όπως φαίνεται σε κάθε γραμμή (η επιλογή τονίζεται με διαφορετικό χρώμα στον πίνακα) επιλέγεται ο επόμενος κόμβος με το μικρότερο κόστος ώστε να συμπεριληφθεί στο σεντ του Ν'. Σε περίπτωση δύο κόμβων με το ίδιο ελάχιστο κόστος επιλέγεται τυχαία ένας από τους δύο.

Βήμα	N'	A	B	D	E	F
0	C	∞	2, C	∞	∞	1, C
1	CF	∞	2, C	∞	3, F	-
2	CFB	12, B	-	3, B	3, F	-
3	CFBD	5, D	-	-	3, F	-
4	CFBDE	5, D	-	-	-	-
5	CFBDEA	-	-	-	-	-

Οπότε $C \rightarrow B \rightarrow D$ με κόστος 3.

Εφόσον αποφασίσουμε να χρησιμοποιήσουμε τον αλγόριθμο διανύσματος αποστάσεων για την διαδρομή από τον κόμβο C προς τον κόμβο D υπάρχουν δύο εναλλακτικές διαδρομές με το ακόλουθο κόστος

Το κόστος για $C \rightarrow D$ μέσω B είναι $2+1=3$

Το κόστος για $C \rightarrow D$ μέσω F είναι $1+4=5$

Οπότε εφόσον επιλέγουμε την διαδρομή με το ελάχιστο κόστος, ο επόμενος κόμβος θα είναι ο B.

4) Με απλή παρατήρηση της τοπολογίας οι αρχικοί πίνακες θα έχουν σαν τιμή το κόστος των άμεσα γειτονικών κόμβων, ενώ οι μη γειτονικοί κόμβοι θα έχουν αρχικά τιμή (κόστος) άπειρο. Με βάση αυτό δίνεται ο παρακάτω πίνακας.

	A	B	C	D	E	F
A	0	10	∞	2	∞	∞
B	10	0	2	1	6	11
D	2	1	∞	0	18	∞
E	∞	6	∞	18	0	2

5) Με βάση την πληροφορία που μεταφέρει ο πίνακας B υπολογίζονται ξανά οι βέλτιστες διαδρομές οπότε ο πίνακας του παραπάνω ερωτήματος (4) γίνεται τώρα:

	A	B	C	D	E	F
A	0	3	5	2	9	14
B	10	0	2	1	6	11
D	2	1	3	0	7	12
E	16	6	8	7	0	2

Άσκηση 15

Θεωρούμε ένα δίκτυο IP το οποίο αποτελείται από N κόμβους, με $N \leq 25$. Κάθε κόμβος έχει D γειτονικούς κόμβους. Στο δίκτυο εφαρμόζεται το πρωτόκολλο πληροφοριών δρομολόγησης (Routing Information Protocol – RIP). Να υπολογιστούν:

- A) ο αριθμός των μηνυμάτων ενημέρωσης για την δρομολόγηση της κυκλοφορίας που στέλνονται ανά δευτερόλεπτο σε όλο το δίκτυο.
- B) το μέγιστο μέγεθος σε bytes ενός μηνύματος ενημέρωσης ως συνάρτηση του πλήθους των κόμβων N .
- Γ) η συνολική μέγιστη απαίτηση σε εύρος ζώνης του δικτύου για την εξυπηρέτηση των μηνυμάτων ενημέρωσης.

Λύση

- A) Εφόσον κάθε κόμβος στέλνει μήνυμα ενημέρωσης κάθε 30 δευτερόλεπτα στους γειτονικούς του κόμβους (D) και το σύνολο των κόμβων είναι N , όπου $N \leq 25$, ο συνολικός αριθμός μηνυμάτων ανά δευτερόλεπτο είναι $ND/30$.
- B) Ένα μήνυμα RIP αποτελείται από την επικεφαλίδα μήκους 4 bytes + 20 bytes ανά προορισμό. Επομένως, κάθε κόμβος μπορεί να στείλει μήνυμα με μέγιστο μέγεθος $20 \cdot N + 4$ bytes κάθε 30 δευτερόλεπτα.
- Γ) Η συνολική μέγιστη απαίτηση σε εύρος ζώνης είναι $ND[20 \cdot N + 4]/30$ bytes / s.

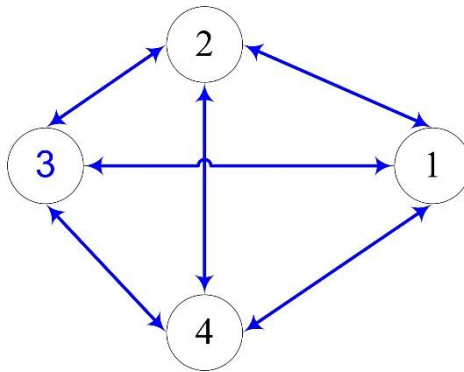
Άσκηση 16

Σ' ένα δίκτυο OSPF, οι γειτονικοί κόμβοι ανταλλάσσουν πακέτα «χαιρετισμού» (Hello packets) στοχεύοντας στον εντοπισμό μιας αλλαγής κατάστασης συνδέσμου, καθώς και στην άμεση πληροφόρηση όλων των κόμβων του δικτύου γι' αυτή την αλλαγή κατάστασης.

Αν θεωρήσουμε ότι το δίκτυο OSPF αποτελείται από L αμφίδρομους συνδέσμους (Links) τότε:

- A) Να υπολογίσετε τον αριθμό των πακέτων «χαιρετισμού» που στέλνονται ανά δευτερόλεπτο, συνολικά σε όλο το δίκτυο.
- B) Να υπολογίσετε το μέγεθος σε bytes ενός πακέτου «χαιρετισμού», αν θεωρήσουμε ότι κάθε κόμβος συνδέεται με N γειτονικούς κόμβους.
- Γ) Βασιζόμενοι στα ερωτήματα (A) και (B), να υπολογίσετε την συνολική μέγιστη απαίτηση σε bps του δικτύου για την εξυπηρέτηση των πακέτων «χαιρετισμού».

Εφαρμογή: Βρείτε το μέγιστο εύρος ζώνης για την ανταλλαγή μηνυμάτων «χαιρετισμού» στο δίκτυο OSPF του Σχήματος 6:



Σχήμα 6: Δίκτυο OSPF 4 κόμβων.

Λύση

A) Εφόσον τα πακέτα «χαιρετισμού» στέλνονται ανά 10 δευτερόλεπτα, ο συνολικός αριθμός πακέτων ανά δευτερόλεπτο είναι $2 \cdot L / 10$ (πακέτα/sec).

B) Ένα πακέτο «χαιρετισμού» αποτελείται από την επικεφαλίδα μήκους 24 bytes (standard OSPF header) + 20 bytes + 4 bytes (που εκφράζουν το Router ID) για κάθε γειτονικό κόμβο. Επομένως, το μέγεθος σε bytes ενός πακέτου «χαιρετισμού» είναι $24 + 20 + 4 \cdot N$ bytes.

Γ) Η συνολική μέγιστη απαίτηση σε εύρος ζώνης είναι $2L[(24 + 20 + 4 \cdot N) \cdot 8] / 10$ bps.

Εφαρμογή: Στο δίκτυο του Σχήματος 1, έχουμε $L = 6$ και $N = 3$.

Άρα το απαιτούμενο μέγιστο εύρος ζώνης είναι $2 \cdot 6 [(24 + 20 + 4 \cdot 3) \cdot 8] / 10 = 537,6$ bps.

Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Ιωάννης Μοσχολιός, 2015.

Ιωάννης Μοσχολιός. «Δίκτυα Επικοινωνίας Υπολογιστών, Ασκήσεις για τις ενότητες 6-10: Στρώμα Ζεύξης Δεδομένων και Στρώμα Δικτύου». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE604/>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης

- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό δεν κάνει χρήση εικόνων/σχημάτων/διαγραμμάτων/φωτογραφιών ή πινάκων από έργα τρίτων:

Πηγές:

[1] J. Kurose and K. Ross, Δικτύωση Υπολογιστών – Προσέγγιση από Πάνω προς τα Κάτω, 6^η έκδοση, Εκδόσεις Γκιούρδας, 2015.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Πανεπιστημίου Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

