

# Εισαγωγή στη Βιωσιμότητα

Εισήγηση **Πρώτη**  
Μάθημα Δίκτυα Υπολογιστών  
Εαρινό εξάμηνο 2022



 **ΚΕΝΤΡΟ ΕΡΕΥΝΩΝ**  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



# Περιεχόμενα Παρουσίασης

- Βιώσιμη ή Αειφόρος Ανάπτυξη
- Βιώσιμη ή Πράσινη Πληροφορική
- Εκπαίδευση για την Βιώσιμη Πληροφορική
- Ενσωμάτωση της Βιώσιμης Ανάπτυξης στα Προγράμματα Σπουδών Πληροφορικής των Πανεπιστημίων



## Μάθημα Δίκτυα Υπολογιστών

- Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Δίκτυα IP
- Αλγόριθμοι της Κατάστασης Αναστολής
- Οικογένεια Αλγορίθμων: Εξοικονόμηση Ενέργειας βάσει Γράφων
- Θεωρία των Γράφων
- Αλγόριθμοι: ESACON, ESTOP, ESOL, GRiDA



# Εισαγωγή στη Βιωσιμότητα-Αειφορία (1)

70ή Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών (25 Σεπτεμβρίου 2015)

«Μετασχηματίζοντας τον Κόσμο μας: Η Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη»

(United Nations: Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015, United Nations)

17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης και 169 υποστόχους



Ο κύριος σκοπός είναι η προώθηση και ενσωμάτωση και των τριών διαστάσεων της βιώσιμης ανάπτυξης

- κοινωνική
- περιβαλλοντική
- οικονομική

σε όλες τις τομεακές πολιτικές των χωρών ...



# Εισαγωγή στη Βιωσιμότητα-Αειφορία (2)

70ή Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών (25 Σεπτεμβρίου 2015)

«Μετασχηματίζοντας τον Κόσμο μας: Η Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη»

17 **Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης** και 169 υποστόχους



... η προώθηση  
της **διασύνδεσης** και  
της **συνοχής**  
των πολιτικών και νομοθετικών  
πλαισίων σχετικών με τους στόχους  
της βιώσιμης ανάπτυξης

# Ο στόχος 4 αναφέρεται στην ποιοτική εκπαίδευση

και ένας από τους υποστόχους, ο 4.7, υπογραμμίζει ότι

... όλοι οι εκπαιδευόμενοι θα αποκτήσουν τη γνώση και θα καλλιεργήσουν τις δεξιότητες που χρειάζονται για να προάγουν τη βιώσιμη ανάπτυξη ...

μέσω της εκπαίδευσης για:

- την βιώσιμη ανάπτυξη και τον βιώσιμο τρόπο ζωής
- τα ανθρώπινα δικαιώματα
- την ισότητα των φύλων
- την προαγωγή της κουλτούρας της ειρήνης και της μη-βίας
- την ταυτότητα του παγκόσμιου πολίτη
- την αναγνώριση της πολιτιστικής ποικιλομορφίας
- τη συμβολή του πολιτισμού στη βιώσιμη ανάπτυξη

# Η Βιώσιμη ή αλλιώς Αειφόρος Ανάπτυξη (1)



... μπορεί να γίνει αντιληπτή μέσω της αντιμετώπισης προκλήσεων που αφορούν πέντε άξονες (5 P):

- Άνθρωποι (*People*)
- Πλανήτης (*Planet*)
- Ευημερία (*Prosperity*)
- Ειρήνη (*Peace*)
- Εταιρική Σχέση (*Partnership*)

# Η Βιώσιμη ή αλλιώς Αειφόρος Ανάπτυξη (2)

... επιδιώκει να καλύψει τις ανάγκες και τις προσδοκίες του παρόντος  
χωρίς να διακυβεύεται

η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες

Για να το υποστηρίξει αυτό εισάγει τέσσερις διαστάσεις της Βιωσιμότητας:

- Ατομική / Ανθρώπινη
- Κοινωνική ισότητα
- Οικονομική ανάπτυξη
- Προστασία του περιβάλλοντος



# Η Βιώσιμη ή αλλιώς Αειφόρος Ανάπτυξη (3)

Η Βιωσιμότητα αναδεικνύεται σαν ένα κρίσιμο μέλημα στην τεχνολογία της πληροφορίας σχετικά με το μέλλον του πλανήτη μας



Ο *Nolin* (*Sustainable information and information science. Inf. Res.* 2010, 15(2)) υποστηρίζει ότι: οι τέσσερις διαστάσεις της αειφόρου ανάπτυξης μπορεί να είναι **ελλιπείς** από την άποψη της τεχνολογίας των πληροφοριών και των επικοινωνιών και **θα έπρεπε να συνδυαστούν με μια τεχνολογική διάσταση**



# Η βιώσιμη ή αλλιώς αειφόρος ανάπτυξη (4)

Η τεχνολογική διάσταση καλύπτει

την ικανότητα διατήρησης και εξέλιξης των συστημάτων στο χρόνο



τη συντήρηση και εξέλιξη μαζί με την ανθεκτικότητα και την ευκολία των μεταβάσεων ενός συστήματος

Ταυτόχρονα έχει αναγνωριστεί η σημασία

- της διαχείρισης
- της πρόσβασης
- της χρήσης
- της ανταλλαγής δεδομένων και πληροφοριών για την αειφόρο ανάπτυξη



(Chowdhury, G., Koya, K. Information practices for sustainability: Role of iSchools in achieving the UN sustainable development goals (SDGs). *J. Assoc. Inf. Sci. Technol.* **2017**, 68, 2128–2138)

# Ως Βιώσιμη Πληροφορική (Sustainable IT) ορίζεται

- η κατασκευή, χρήση, διαχείριση και διάθεση της τεχνολογίας των πληροφοριών
- με τρόπο που ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον προς όφελος των ατόμων και άλλων ενδιαφερόμενων μερών
- διασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη ευημερία στους πυλώνες της οικονομικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας



(Lazzarini, B., Perez-Foguet, A., Boni, A. Key characteristics of academics promoting Sustainable Human Development within engineering studies. *J. Clean. Prod.* **2018**, 188, 237–252)



Αναφέρεται επίσης και ο όρος

## Πράσινη Πληροφορική (Green Computing)

αρκετές φορές στις κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με την αειφορία

των ACM / IEEE-CS (The Association for Computing Machinery and the IEEE Computer Society: Computing Curricula 2020 (CC2020): Paradigms for Global Computing Education)

και ACM/AIS (The Association for Computing Machinery (ACM) and the Association for Information Systems (AIS): IS2020: Competency Model for Undergraduate Programs in Information Systems)

για την ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών  
Πληροφορικής στα **διεθνή προγράμματα σπουδών**

# Ένας από τους στόχους της εκπαίδευσης για την Βιώσιμη Πληροφορική (Sustainable IT Education )

είναι να ενσωματώσει

- την ευαισθητοποίηση
- την εκτίμηση και
- την πρακτική εφαρμογή της Βιώσιμης Πληροφορικής στην καθημερινή αλλά και την επαγγελματική ζωή





# Εκπαίδευση για την Βιώσιμη Πληροφορική (1)

Αυτό σημαίνει ότι:

- ο *σχεδιασμός*
- η *κατασκευή*
- η *χρήση* και
- η *διάθεση εξοπλισμού Πληροφορικής*

για τη βελτίωση της απόδοσης και της χρήσης ενός συστήματος

θα πρέπει να **διασφαλίζει παράλληλα**

**την οικονομική και περιβαλλοντική Βιωσιμότητα**

που υποστηρίζονται από κοινωνικές και επιχειρηματικές ηθικές ευθύνες



# Εκπαίδευση για την Βιώσιμη Πληροφορική (2)

Αν και η Βιωσιμότητα έχει συχνά ταυτιστεί με περιβαλλοντικά ζητήματα απαιτεί **την ταυτόχρονη εξέταση**

- των περιβαλλοντικών πόρων
- της κοινωνικής και ατομικής ευημερίας
- της οικονομικής ευημερίας και
- της **μακροπρόθεσμης Βιωσιμότητας της τεχνικής υποδομής**





# Οι δεξιότητες αυτές περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων ...

- την οικολογική δράση
- την προνοητική σκέψη
- την επικοινωνία και χρήση των μέσων ενημέρωσης
- τη συνεργασία σε ομάδες
- την κριτική σκέψη
- την ενσυναίσθηση και την αλλαγή προοπτικής
- τη διεξαγωγή αξιολόγησης
- την διεπιστημονική εργασία
- τη συμμετοχή
- τον σχεδιασμό και υλοποίηση καινοτόμων έργων
- τη συστημική σκέψη για το χειρισμό της πολυπλοκότητας του συστήματος





# Η εκπαίδευση για την Βιώσιμη Πληροφορική (1)

μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές-ριες:

- να συνειδητοποιήσουν την **κοινωνική** και **περιβαλλοντική** τους ευθύνη
- να τους παρακινήσει για να συνεισφέρουν στην κοινότητα



ώστε να κάνουν τον κόσμο ένα καλύτερο μέρος για να ζήσουν

# Η εκπαίδευση για την Βιώσιμη Πληροφορική (2)

θα πρέπει να διασφαλίσει ότι οι φοιτητές-ριες :



- αφενός αποκτούν τις απαραίτητες γνώσεις και τις δεξιότητες για την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης και
- αφετέρου μπορούν να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα και πρακτικές πληροφόρησης σχετικές με τη Βιωσιμότητα

# Τα Πανεπιστήμια πρέπει:

- να **ενσωματώσουν** την βιώσιμη ανάπτυξη στα εκπαιδευτικά τους προγράμματα για τους μελλοντικούς επαγγελματίες της Πληροφορικής
- να **κοινοποιήσουν** τον ρόλο τους στην οικοδόμηση της αειφόρου κοινωνίας του αύριο
- να **εισάγουν** περιβαλλοντικές και κοινωνικές προοπτικές στα προγράμματα σπουδών των μελλοντικών αποφοίτων

**«Βιώσιμα προγράμματα σπουδών»**

*(Sustainable Curricula)*



# Εμπόδια στην αλλαγή των προγραμμάτων σπουδών σε ότι αφορά τη Βιωσιμότητα

- Καθυστέρηση της συμπερίληψης της Βιωσιμότητας και της γνώσης σχετικά

με το πώς η υπάρχουσα βασική θεωρία και πρακτική μπορεί να σχετίζεται με τη Βιωσιμότητα

- Ύπαρξη ελάχιστων οδηγιών σχετικά

με τα θέματα και τα μαθήματα που πρέπει να συμπεριληφθούν και

πώς μπορεί να γίνει η ενσωμάτωσή τους στο πρόγραμμα σπουδών





# Οι περισσότερες προσπάθειες για τη μεταρρύθμιση των προγραμμάτων σπουδών ...

έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην ανάπτυξη μεμονωμένων μαθημάτων για το περιβάλλον και τη Βιωσιμότητα (π.χ. περιβαλλοντική Πληροφορική)



Οι Sammalisto et al., πρότειναν ότι

*(Sammalisto, K., Lindqvist, T. Integration of sustainability in higher education: A study with international perspectives. Innov. High. Educ. 2008, 32, 221–233)*

η απόκτηση γνώσης για την αειφορία θα πρέπει να ενσωματωθεί συνδέοντας την έννοια της Βιωσιμότητας με ένα συγκεκριμένο πεδίο σπουδών και όχι με ξεχωριστά μαθήματα

# Υπάρχει ανάγκη για ευρεία μεταρρύθμιση του προγράμματος σπουδών ...

- (1) να συμπεριληφθεί η έννοια της Βιωσιμότητας στα μαθήματα Πληροφορικής
  - (2) να περιλαμβάνει **εννοιολογική εκπαίδευση** αλλά και **πρακτική** σε μαθήματα Πληροφορικής
- έτσι ώστε οι φοιτητές-φοιτήτριες να μπορούν να έρθουν σε επαφή με διάφορα στοιχεία θεμάτων Βιωσιμότητας



# Υπάρχει ανάγκη για ευρεία μεταρρύθμιση του προγράμματος σπουδών ...

(3) καθορισμός της Βιωσιμότητας σε βασικούς αλλά και συμπληρωματικούς τομείς της Πληροφορικής:

ανάπτυξη και χρήση τεχνολογιών

εργαλείων

προτύπων

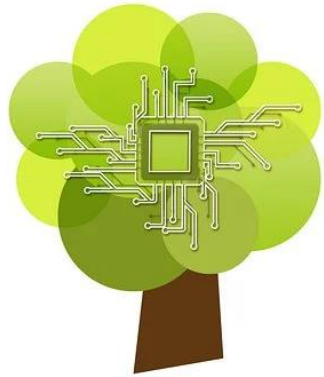
μεθόδων

κανονισμών

πολιτικών και πρακτικών

ανθρώπινη και κοινωνική/θεσμική συμπεριφορά

για την επίτευξη Βιωσιμότητας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των δεδομένων και των πληροφοριών



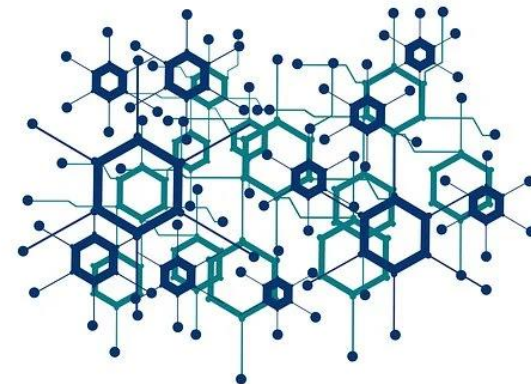
# Υπάρχει ανάγκη για ευρεία μεταρρύθμιση του προγράμματος σπουδών ...

(4) ενσωμάτωση των προαναφερθέντων στα προγράμματα σπουδών

έτσι ώστε οι μελλοντικοί επαγγελματίες να μπορούν

να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν βιώσιμες και φιλικές ως προς το περιβάλλον προσεγγίσεις στην πράξη

στον τομέα της Πληροφορικής





# Ενότητες που μπορούν να συμπεριληφθούν στα υπάρχοντα βασικά μαθήματα σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ACM/IEEE-CS 2020

*(The Association for Computing Machinery and the IEEE Computer Society: Computing Curricula 2020 (CC2020): Paradigms for Global Computing Education)*

για την ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών της Πληροφορικής (1)

- ✓ Θεωρία Αειφορίας (*Sustainability Theory*)
- ✓ Απαιτήσεις Βιωσιμότητας και Ανάλυση (*Sustainability Requirements and Analysis*)
- ✓ Θέματα Βιωσιμότητας στο Σχεδιασμό Πληροφοριακών Συστημάτων (*Sustainability Issues in Information System Design*)
- ✓ Ανάπτυξη και Διαχείριση Πληροφοριακών Συστημάτων (*Information Systems Development and Management*)

# Ενότητες που μπορούν να συμπεριληφθούν στα υπάρχοντα βασικά μαθήματα σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ACM/IEEE-CS 2020

(The Association for Computing Machinery and the IEEE Computer Society: Computing Curricula 2020 (CC2020): Paradigms for Global Computing Education)

## για την ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών της Πληροφορικής (2)

- ✓ Διαχείριση Διαδικασιών Πληροφορικής με προσανατολισμό στη Βιωσιμότητα (*Sustainability Oriented Informatics Process Management*)
- ✓ Αλληλεπίδραση Ανθρώπινου Υπολογιστή με προσανατολισμό στη Βιωσιμότητα (*Sustainability Oriented Human Computer Interaction*)
- ✓ Προσομοίωση και Μοντελοποίηση Αειφόρου Συστήματος (*Sustainable System Simulation and Modelling*)

# Ενότητες που μπορούν να συμπεριληφθούν στα υπάρχοντα βασικά μαθήματα σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές ACM/IEEE-CS 2020

(The Association for Computing Machinery and the IEEE Computer Society: Computing Curricula 2020 (CC2020): Paradigms for Global Computing Education)

για την ανάπτυξη προγραμμάτων σπουδών της Πληροφορικής (3)

- ✓ Βιώσιμο Κέντρο Δεδομένων (*Sustainable Data Center*)
- ✓ Internet of Things (*IoT*)
- ✓ Αειφόρος Υπολογισμός Νέφους (*Sustainable Cloud Computing*)
- ✓ Παγκόσμια Επαγγελματική Πρακτική/Κοινωνική Ευθύνη (*Global Professional Practice/Social Responsibility*)
- ✓ Εφαρμογές που σχετίζονται με τη Βιωσιμότητα (*Sustainability Related Applications*)

# Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Δίκτυα IP

Τις τελευταίες δεκαετίες η κατανάλωση ενέργειας έχει εξελιχθεί σε ένα σημαντικό παγκόσμιο ζήτημα

Προσπάθειες για μείωση της ποσότητας της καταναλωμένης ενέργειας εξαιτίας

- των τεράστιων επιπτώσεων της από τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου
- της μεγάλης σπατάλης ενέργειας

Το Διαδίκτυο αποτελεί σημαντική πηγή κατανάλωσης ενέργειας λόγω

- της τεράστιας υποδομής συσκευών δρομολόγησης και μεταγωγής των συσκευών-πελατών
- της εκθετικής του ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια



# Προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος της κατανάλωσης ενέργειας στο Διαδίκτυο

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει:

- τεχνικές που προσαρμόζουν την κατανάλωση σε σχέση με τον κυκλοφοριακό φόρτο τροποποιώντας τη σχεδίαση συσκευών υλικού

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει:

- τον συντονισμό μεταξύ των συσκευών δικτύου, τοποθετώντας ορισμένες από αυτές τις συσκευές και συνδέσμους σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας





Η δεύτερη κατηγορία συνοδεύεται  
από διαφορετικές υλοποιήσεις και αλγορίθμους  
και με πεδίο εφαρμογής να είναι  
η εξοικονόμηση ενέργειας σε ώρες χαμηλής κυκλοφορίας



Αυτές οι υλοποιήσεις εκμεταλλεύονται  
νέους μηχανισμούς αναδιαμόρφωσης του δικτύου ως συνέπεια  
των διακυμάνσεων της κυκλοφορίας

➔ ένα υποσύνολο στοιχείων δικτύου (π.χ. συνδέσεις ή  
δρομολογητές) να μπορεί να τεθεί σε κατάσταση χαμηλής ισχύος

Αυτό συνεπάγεται ότι

η εξοικονόμηση ενέργειας στο Διαδίκτυο μπορεί να επιτευχθεί:

- με τον έλεγχο της τοπολογίας του δικτύου και
- με την απενεργοποίηση ή θέτοντας σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας τις συνδέσεις ή τις συσκευές του δικτύου

με σκοπό τη μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται σε περιόδους εκτός αιχμής

(π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας)



Όλες αυτές οι υλοποιήσεις επικεντρώνονται αποκλειστικά  
στην απενεργοποίηση της σύνδεσης

αφού είναι **πρακτικά αδύνατον** να απενεργοποιηθεί ένας  
ολόκληρος κόμβος του δικτύου

Εάν ένας δρομολογητής τεθεί σε κατάσταση αναμονής  
δεν είναι σε θέση

- να λάβει
- να επεξεργαστεί
- να προωθήσει πακέτα



με συνέπεια να αφαιρείται από την τοπολογία του δικτύου

## Η «**αναμονή δρομολογητή**» συνεπάγεται και άλλα ζητήματα

- οδηγεί σε μια ισχυρότερη φάση αναδιαμόρφωσης σε σχέση με την αναμονή σύνδεσης
- θα μπορούσε να επηρεάσει την αξιοπιστία του δικτύου (*συνδεσιμότητα και ικανότητα αντίδρασης σε συμβάντα αποτυχίας*)
- δεν είναι δυνατή όταν είναι η πηγή και-ή ο προορισμός της κίνησης



# Το φορτίο κυκλοφορίας δικτύου

δεν παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του  
με αποτέλεσμα να υπάρχουν

**ώρες αιχμής** κατά τις οποίες

το δίκτυο είναι συμφορημένο και υπερφορτωμένο

**ώρες εκτός αιχμής** κατά τις οποίες

το δίκτυο δεν είναι καθόλου συμφορημένο

Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει η δυνατότητα

**να απενεργοποιούνται ορισμένες συσκευές και συνδέσεις**

διατηρώντας παράλληλα

τη **συνδεσιμότητα** και την **αξιοπιστία** του δικτύου



Η κύρια ιδέα είναι  
*να διατηρηθεί η συνδεσιμότητα δικτύου  
χωρίς απώλεια πακέτων και  
με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας*



Αυτό θα πρέπει να επιτευχθεί εξασφαλίζοντας παράλληλα και συγκεκριμένες ιδιότητες της προκύπτουσας τοπολογίας:

- η *συνδεσιμότητα* μεταξύ των τερματικών ή
- τα *προκύπτοντα μήκη* διαδρομής

# Οι αλγόριθμοι της κατάστασης αναστολής (*Sleep Mode Algorithms*)

αναλαμβάνουν τον περιορισμό της  
τοπολογίας δικτύου

- μέσω της **απενεργοποίησης** ορισμένων  
στοιχείων του δικτύου σε αναλογία με τον  
φόρτο κυκλοφορίας
- κατά **τις ώρες εκτός αιχμής**
- χωρίς να επηρεάζεται η συνδεσιμότητα και  
η απόδοση του δικτύου



# Οι αλγόριθμοι της κατάστασης αναστολής (*Sleep Mode Algorithms*)

διαφέρουν ως προς:

- τον τρόπο με τον οποίο επιλέγουν το βέλτιστο σύνολο συσκευών προς απενεργοποίηση
- τον κεντρικό ή κατανεμημένο χαρακτήρα τους
- τις γνώσεις τους για τον πίνακα κυκλοφορίας



# Οικογένεια αλγορίθμων

## Εξοικονόμηση Ενέργειας βάσει Γράφων

(*Graph-based Energy Saving - GES*)



Η μεθοδολογία που προτείνουν επιτρέπει:

- τον **εντοπισμό συνδέσμων** στον γράφο του δικτύου που μπορούν να τεθούν σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας
- την **απενεργοποίηση** αυτών των συνδέσμων
- την **αντιστοιχία** στο ότι οι κάρτες γραμμής IP καταναλώνουν χαμηλή ποσότητα ενέργειας

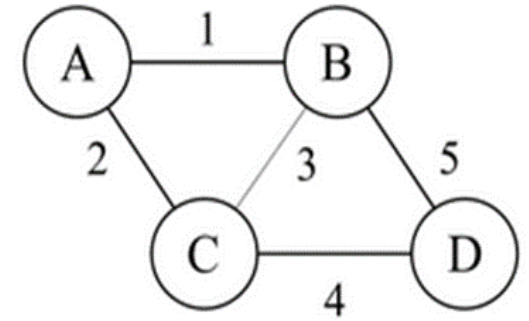
# Θεωρία των γράφων (1)

Μοντελοποιούμε την τοπολογία ενός δικτύου με έναν **μη κατευθυνόμενο** γράφο  $G=(\mathcal{N}, \mathcal{E})$

$(\mathcal{N}, \mathcal{E})$  είναι ένα διατεταγμένο ζεύγος /

$\mathcal{N}$  το μη κενό πεπερασμένο σύνολο των κορυφών

$\mathcal{E}$  το σύνολο των ακμών που είναι σύνολο από διμελή σύνολα κορυφών (είναι μη διατεταγμένο ζεύγος κόμβων)



Η αναπαράσταση **των κόμβων γίνεται με σημεία** και

**των ακμών με γραμμές**

Ο αριθμός των κόμβων είναι η τάξη (*order*) του γράφου και ο αριθμός των ακμών είναι το μέγεθος (*size*) του γράφου

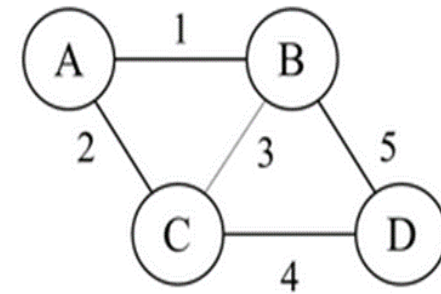


# Θεωρία των γράφων (2)

Μια **κορυφή** μοντελοποιεί έναν **κόμβο δικτύου**

π.χ. έναν δρομολογητή

Μια **ακμή (σύνδεση)** μοντελοποιεί τη **λογική διασύνδεση** δύο δρομολογητών



Αναγνωρίζουμε τρία βασικά στοιχεία σε έναν γράφο  $\mathcal{G}$ :

(1) Το **δέντρο της συντομότερης διαδρομής**

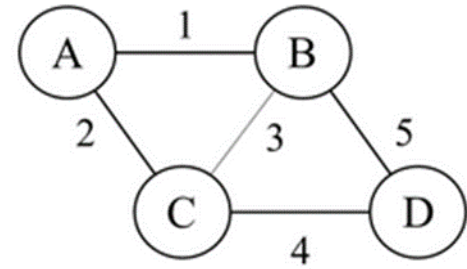
του κόμβου  $n$  προς όλους τους άλλους κόμβους ( $\mathcal{T}_n$ )

που μπορεί να υπολογιστεί για κάθε κόμβο δικτύου  $n$ ,

είναι ο **υπογράφος** του  $\mathcal{G}$  που συνδέει το  $n$  με όλες τις άλλες

κορυφές με τα συντομότερα μονοπάτια

# Θεωρία των γράφων (3)



(2) Η **ενδιάμεση ακμή** μιας σύνδεσης  $\ell$  ( $\mathcal{B}\ell$ ) ορίζεται ως ο **αριθμός των διαδρομών** από όλους τους κόμβους προς όλους τους άλλους κόμβους που **διέρχονται από αυτή την ακμή** (μετρά πόσες φορές αυτή η ακμή διασχίζεται από τις διαδρομές του δικτύου)

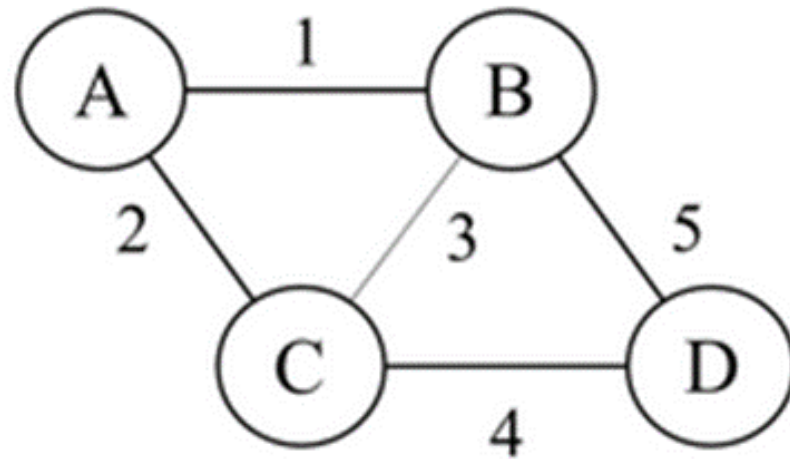
(3) Η **αλγεβρική συνδεσιμότητα** του  $\mathcal{G}$  ( $\mathcal{A}(\mathcal{G})$ )

μετρά τον βαθμό συνδεσιμότητας του γράφου

$\mathcal{A}(\mathcal{G}) > 0$  εάν και μόνο εάν ο  $\mathcal{G}$  είναι **συνεκτικός γράφος**

(αν για κάθε ζευγάρι κορυφών υπάρχει διαδρομή που τις συνδέει)

# Ένα παράδειγμα γράφου



$\mathcal{N} = \{A, B, C, D\}$ ,  $\mathcal{E} = \{AB, AC, BC, BD, CD\}$ ,  
 $order = 4$ ,  $size = 5$ ,  $\mathcal{A}(\mathcal{G}) = 2$  και  $\mathcal{B}\mathcal{L} = 4$

# Αλγόριθμος ESACON

(Cuomo, F., Abbagnale, A., Cianfrani, A., Polverini, M. Keeping the connectivity and saving the energy in the internet.

2011 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). 2011, 319-324)

## (Energy Saving based on Algebraic CONnectivity)

- μοντελοποιεί την τοπολογία του Διαδικτύου με έναν μη κατευθυνόμενο γράφο  $G=(\mathcal{N}, \mathcal{E})$
- αξιοποιεί την αλγεβρική συνδεσιμότητα προκειμένου να εντοπίσει τους συνδέσμους που μπορούν να απενεργοποιηθούν κατά τις ώρες εκτός αιχμής
- διατηρεί παράλληλα τη συνδεσιμότητα δικτύου πάνω από σταθερό όριο με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα δίκτυα IP

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: /* STEP 1 */  
3:  $E = |\mathcal{E}|$ ;  
4:  $\mathcal{A}(G)$  is the algebraic connectivity of graph  $G$ ;  
5:  $\mathcal{V} = \text{zeros}$ ;  
6: for each  $l \in \mathcal{E}$  do  
7:    $\mathcal{V}[l] = l$ ;  
8:    $G^l = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - l)$ ;  
9:    $\Delta^l = \mathcal{A}(G) - \mathcal{A}(G^l)$ ;  
10: end for  
11:  $\mathcal{L} = \text{sort } \mathcal{V}$  in increasing order based on the values  $\Delta^l$ ; /*Output of STEP 1*/  
12: /* STEP 2 */  
13:  $\mathcal{SL} = \emptyset$ ;  
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do  
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL} - \mathcal{L}[i])$ ;  
16:    $\gamma(G') = \frac{\mathcal{A}(G')}{\mathcal{A}(G)} \cdot 100$ ;  
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then  
18:      $\mathcal{SL} = \mathcal{SL} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;  
19:   end if  
20: end for  
21: Outputs:  $\mathcal{SL}$  /*list of network links that can be switched off*/ and  $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL})$  /*final network topology*/.
```

# Αλγόριθμος ESACON

(Energy Saving based on Algebraic CONnectivity)

- Δημιουργεί μια ταξινομημένη λίστα συνδέσμων ( $\mathcal{L}$ ). Η είσοδος είναι η τοπολογία δικτύου  $G$  και το κριτήριο που χρησιμοποιείται για τη διάταξη των συνδέσεων δικτύου είναι η αλγεβρική συνδεσιμότητα
- Αναγνωρίζει ένα σύνολο συνδέσμων προς απενεργοποίηση ( $S\mathcal{L}$ ). Η είσοδος είναι η ταξινομημένη λίστα  $\mathcal{L}$  και η έξοδος είναι το σύνολο εκείνων των συνδέσμων που μπορούν να απενεργοποιηθούν διατηρώντας παράλληλα τη συνδεσιμότητα ολόκληρου του δικτύου σε ένα δεδομένο όριο

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: /* STEP 1 */  
3:  $E = |\mathcal{E}|$ ;  
4:  $\mathcal{A}(G)$  is the algebraic connectivity of graph  $G$ ;  
5:  $\mathcal{V} = \text{zeros}$ ;  
6: for each  $l \in \mathcal{E}$  do  
7:    $\mathcal{V}[l] = l$ ;  
8:    $G^l = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - l)$ ;  
9:    $\Delta^l = \mathcal{A}(G) - \mathcal{A}(G^l)$ ;  
10: end for  
11:  $\mathcal{L} = \text{sort } \mathcal{V}$  in increasing order based on the values  $\Delta^l$ ; /*Output of STEP 1*/  
12: /* STEP 2 */  
13:  $S\mathcal{L} = \emptyset$ ;  
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do  
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - S\mathcal{L} - \mathcal{L}[i])$ ;  
16:    $\gamma(G') = \frac{\mathcal{A}(G')}{\mathcal{A}(G)} \cdot 100$ ;  
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then  
18:      $S\mathcal{L} = S\mathcal{L} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;  
19:   end if  
20: end for  
21: Outputs:  $S\mathcal{L}$  /*list of network links that can be switched off*/ and  $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - S\mathcal{L})$  /*final network topology*/.
```



# Αλγόριθμος ESACON

(Energy Saving based on Algebraic CONnectivity)

Ο στόχος του ESACON είναι να συμπεριλάβει στη λίστα μεταγωγής  $\mathcal{SL}$  εκείνες τις συνδέσεις που έχουν **μικρό αντίκτυπο στη συνδεσιμότητα δικτύου**

Η ιδέα είναι ότι

**ενεργοποιώντας τη λειτουργία αδράνειας αυτών των συνδέσεων**

μπορεί **να εξοικονομηθεί ενέργεια χωρίς να διακυβεύεται**

- η συνδεσιμότητα του δικτύου και
- η σχετιζόμενη απόδοση

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: /* STEP 1 */  
3:  $E = |\mathcal{E}|$ ;  
4:  $\mathcal{A}(G)$  is the algebraic connectivity of graph  $G$ ;  
5:  $\mathcal{V} = \text{zeros}$ ;  
6: for each  $l \in \mathcal{E}$  do  
7:    $\mathcal{V}[l] = l$ ;  
8:    $G^l = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - l)$ ;  
9:    $\Delta^l = \mathcal{A}(G) - \mathcal{A}(G^l)$ ;  
10: end for  
11:  $\mathcal{L} = \text{sort } \mathcal{V}$  in increasing order based on the values  $\Delta^l$ ; /*Output of STEP 1*/  
12: /* STEP 2 */  
13:  $\mathcal{SL} = \emptyset$ ;  
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do  
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL} - \mathcal{L}[i])$ ;  
16:    $\gamma(G') = \frac{\mathcal{A}(G')}{\mathcal{A}(G)} \cdot 100$ ;  
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then  
18:      $\mathcal{SL} = \mathcal{SL} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;  
19:   end if  
20: end for  
21: Outputs:  $\mathcal{SL}$  /*list of network links that can be switched off*/ and  $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL})$  /*final network topology*/.
```

## (Energy Saving based on TOPOlogy control)

- **Εντοπίζει** τις υποχρησιμοποιούμενες κάρτες γραμμής του δρομολογητή και τοποθετώντας αυτές σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας
- Είναι **μια εξέλιξη του αλγορίθμου ESACON** όπου εκτός από την αλγεβρική συνδεσιμότητα, λαμβάνεται επίσης υπόψη

**η ενδιάμεση ακμή ενός συνδέσμου  $BL$**

διατηρώντας παράλληλα τα πρωτεύοντα τοπολογικά χαρακτηριστικά του δικτύου

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;
2: /* STEP 1 */
3:  $\mathcal{B}$  = zeros; /*Array with betweenness values for every link */
4:  $\mathcal{L}$  = zeros;
5: for each  $n \in \mathcal{N}$  do
6:   Compute, by running Dijkstra,  $\mathcal{T}_n$  = shortest path tree from  $n$  to all
   the other nodes;
7:   for each edge  $l \in \mathcal{T}_n$  do
8:      $\mathcal{B}_l = \mathcal{B}_l + 1$ ;
9:   end for
10: end for
11:  $\mathcal{L}$  = sort  $\mathcal{E}$  in increasing order on the basis of  $\mathcal{B}$ ; /*Output of STEP 1*/
12: /* STEP 2 */
13:  $S\mathcal{L} = \emptyset$ ;
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - S\mathcal{L} - \mathcal{L}[i])$ ;
16:    $\gamma(G') = \frac{A(G')}{A(G)} \cdot 100$ ;
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then
18:      $S\mathcal{L} = S\mathcal{L} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include the link  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;
19:   end if
20: end for
21: Outputs:  $S\mathcal{L}$  /*list of network links that can be switched off*/ and
    $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - S\mathcal{L})$  /*final network topology*/.
```

# Αλγόριθμος ESTOP

(Energy Saving based on TOPOlogy control)

Αποτελείται από δύο κύρια βήματα:

- τον υπολογισμό της  $\mathcal{B}$  για κάθε σύνδεσμο και δημιουργία μιας ταξινομημένης λίστας συνδέσμων  $\mathcal{L}$
- την αναγνώριση ενός συνόλου συνδέσεων που θα τεθούν σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας (με έλεγχο της συνδεσιμότητας της προκύπτουσας τοπολογίας) και δημιουργία μιας λίστας αδράνειας  $\mathcal{SL}$

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: /* STEP 1 */  
3:  $\mathcal{B} = \text{zeros}$ ; /*Array with betweenness values for every link */  
4:  $\mathcal{L} = \text{zeros}$ ;  
5: for each  $n \in \mathcal{N}$  do  
6:   Compute, by running Dijkstra,  $\mathcal{T}_n =$  shortest path tree from  $n$  to all  
   the other nodes;  
7:   for each edge  $l \in \mathcal{T}_n$  do  
8:      $\mathcal{B}_l = \mathcal{B}_l + 1$ ;  
9:   end for  
10: end for  
11:  $\mathcal{L} = \text{sort } \mathcal{E}$  in increasing order on the basis of  $\mathcal{B}$ ; /*Output of STEP 1*/  
12: /* STEP 2 */  
13:  $\mathcal{SL} = \emptyset$ ;  
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do  
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL} - \mathcal{L}[i])$ ;  
16:    $\gamma(G') = \frac{A(G')}{A(G)} \cdot 100$ ;  
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then  
18:      $\mathcal{SL} = \mathcal{SL} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include the link  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;  
19:   end if  
20: end for  
21: Outputs:  $\mathcal{SL}$  /*list of network links that can be switched off*/ and  
    $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL})$  /*final network topology*/.
```

# Αλγόριθμος ESTOP

(Energy Saving based on TOPOlogy control)

- Η **είσοδος** του αλγορίθμου είναι η τοπολογία δικτύου  $G=(\mathcal{N}, \mathcal{E})$  και
- η **έξοδος** είναι μια ταξινομημένη λίστα των συνδέσεων που συνθέτουν το δίκτυο, που συμβολίζεται ως  $\mathcal{L}$

Η **βασική διαφορά** σε σχέση με τον ESACON είναι

- το **κριτήριο** που χρησιμοποιείται από τον ESTOP για την ταξινόμηση των συνδέσεων δικτύου είναι η  $\mathcal{B}$

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: /* STEP 1 */  
3:  $\mathcal{B}$  = zeros; /*Array with betweenness values for every link */  
4:  $\mathcal{L}$  = zeros;  
5: for each  $n \in \mathcal{N}$  do  
6:   Compute, by running Dijkstra,  $\mathcal{T}_n$  = shortest path tree from  $n$  to all  
   the other nodes;  
7:   for each edge  $l \in \mathcal{T}_n$  do  
8:      $\mathcal{B}_l = \mathcal{B}_l + 1$ ;  
9:   end for  
10: end for  
11:  $\mathcal{L}$  = sort  $\mathcal{E}$  in increasing order on the basis of  $\mathcal{B}$ ; /*Output of STEP 1*/  
12: /* STEP 2 */  
13:  $\mathcal{S}\mathcal{L} = \emptyset$ ;  
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do  
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{S}\mathcal{L} - \mathcal{L}[i])$ ;  
16:    $\gamma(G') = \frac{\mathcal{A}(G')}{\mathcal{A}(G)} \cdot 100$ ;  
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then  
18:      $\mathcal{S}\mathcal{L} = \mathcal{S}\mathcal{L} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include the link  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;  
19:   end if  
20: end for  
21: Outputs:  $\mathcal{S}\mathcal{L}$  /*list of network links that can be switched off*/ and  
    $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{S}\mathcal{L})$  /*final network topology*/.
```



# Αλγόριθμος ESTOP

(Energy Saving based on TOPOlogy control)

Ο αλγόριθμος υπολογίζει

- τη **συντομότερη διαδρομή  $s$**  για κάθε ζεύγος κόμβων και
- για κάθε διαδρομή βρίσκει τις **συνδέσεις** που ανήκουν σε αυτή αυξάνοντας τη  $\mathcal{B}$  που σχετίζεται με αυτές

Άπληστος αλγόριθμος Dijkstra (πρόβλημα συντομότερης διαδρομής - *shortest path problem*)

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: /* STEP 1 */  
3:  $\mathcal{B} = \text{zeros}$ ; /*Array with betweenness values for every link */  
4:  $\mathcal{L} = \text{zeros}$ ;  
5: for each  $n \in \mathcal{N}$  do  
6:   Compute, by running Dijkstra,  $\mathcal{T}_n =$  shortest path tree from  $n$  to all  
   the other nodes;  
7:   for each edge  $l \in \mathcal{T}_n$  do  
8:      $\mathcal{B}_l = \mathcal{B}_l + 1$ ;  
9:   end for  
10: end for  
11:  $\mathcal{L} = \text{sort } \mathcal{E}$  in increasing order on the basis of  $\mathcal{B}$ ; /*Output of STEP 1*/  
12: /* STEP 2 */  
13:  $\mathcal{SL} = \emptyset$ ;  
14: for  $i = 1, 2, \dots, E$  do  
15:    $G' = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL} - \mathcal{L}[i])$ ;  
16:    $\gamma(G') = \frac{A(G')}{A(G)} \cdot 100$ ;  
17:   if  $\gamma(G') \geq \gamma_{th}$  then  
18:      $\mathcal{SL} = \mathcal{SL} \cup \mathcal{L}[i]$  /*include the link  $\mathcal{L}[i]$  in the switching list*/;  
19:   end if  
20: end for  
21: Outputs:  $\mathcal{SL}$  /*list of network links that can be switched off*/ and  
    $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{SL})$  /*final network topology*/.
```



## (Energy Saving based on Occurrence of Links)

- Απενεργοποίηση των λιγότερο χρησιμοποιούμενων συνδέσμων στο δίκτυο με βάση τις εμφανίσεις συνδέσεων και κόμβων
- Υλοποίηση χρησιμοποιώντας τον άπληστο αλγόριθμο Dijkstra
- Διατίθεται σε τέσσερις εκδόσεις (***b-ESOL***, ***f-ESOL***, ***(f + b)-ESOL***, ***(f x 2)-ESOL***) που παρουσιάζουν διαφορετικούς συμβιβασμούς, όπως πολυπλοκότητα χρόνο εκτέλεσης και αποτελεσματικότητα στην απενεργοποίηση των λιγότερο χρησιμοποιούμενων συνδέσμων

# Αλγόριθμος ESOL

(Energy Saving based on Occurrence of Links)

Τα **αποτελέσματα απόδοσης** αυτών των τεσσάρων αλγορίθμων αναλύθηκαν με την εφαρμογή τους σε πραγματικές τοπολογίες αυτόνομων συστημάτων IP και σε άλλες υλοποιήσεις

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι

σε τρεις χρησιμοποιούμενες τοπολογίες

- το ποσοστό των συνδέσεων που απενεργοποιούνται είναι μεταξύ **60%-90%**
- ενώ εξακολουθεί να είναι **έγκυρη η συνδεσιμότητα δικτύου**

# Αλγόριθμος ESOL

(Energy Saving based on Occurrence of Links)

- Ο αλγόριθμος **b-ESOL** είναι το πιο αποτελεσματικός αλλά αργός
- Ο αλγόριθμος **f-ESOL** είναι ο ταχύτερος με το μικρότερο ποσοστό συνδέσεων που απενεργοποιούνται από τον **b-ESOL**
- Ένας συνδυασμός των αλγορίθμων **b-ESOL** και **f-ESOL** αυξάνει τον αριθμό των συνδέσεων που απενεργοποιούνται
- Η επανάληψη του αλγορίθμου **f-ESOL** παρουσιάζει μια καλή προσέγγιση του αλγορίθμου **b-ESOL** με πολύ μειωμένο χρόνο

# Αλγόριθμος ESOL

(Energy Saving based on Occurrence of Links)

---

## Algorithm 1 *b*-ESOL

---

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: compute  $\{(s, d)\}^G$ ;  
3: for each  $l_{ij} \in G$  do  
4:   compute  $O^G(l_{ij})$ ;  
5: end for  
6: sort in decreasing order the  $O^G(l_{ij})$  values;  
7:  $\mathcal{S} = \emptyset$ ;  
8: netConn = 1 /*binary variable that indicates if the network  
   is connected*/;  
9: Niter = 0;  
10:  $G^{Niter} = G$ ;  
11: while netConn do  
12:    $X = \{l_{ij} : O^{G^{Niter}}(l_{ij}) \text{ is the smallest}\}$ ;  
13:    $G^{Niter+1} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{S} - X)$ ;  
14:   compute  $\{(s, d)\}^{G^{Niter+1}}$ ;  
15:   for each  $i \in G^{Niter+1}$  do  
16:     compute  $O^{G^{Niter+1}}(i)$ ;  
17:   end for  
18:   if  $\min_{1 \leq i \leq N} \{O^{G^{Niter+1}}(i)\} \geq 2 \cdot (N - 1)$  then  
19:      $\mathcal{S} = \mathcal{S} \cup X$ ;  
20:     for each  $l_{ij} \in G^{Niter+1}$  do  
21:       compute  $O^{G^{Niter+1}}(l_{ij})$ ;  
22:     end for  
23:     Niter = Niter + 1;  
24:   else  
25:     netConn = 0;  
26:   end if  
27: end while  
28: Outputs:  $\mathcal{S}$  /*list of network's links that can be switched off*/,  
    $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{S})$  /*final network topology*/ and Niter.
```

---

---

## Algorithm 2 *f*-ESOL

---

```
1: Input: a network graph  $G(\mathcal{N}, \mathcal{E})$ ;  
2: compute  $\{(s, d)\}^G$ ;  
3: for each  $l_{ij} \in G$  do  
4:   compute  $O^G(l_{ij})$ ;  
5: end for  
6: sort in decreasing order the values  $O^G(l_{ij})$ ;  
7:  $\mathcal{S} = \emptyset$ ;  
8: stop = 0;  
9: Niter = 0;  
10: K = 2;  
11: while (stop==0) do  
12:    $X = \{l_{ij} : O^G(l_{ij}) < N/K\}$ ;  
13:    $G^{reduced} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - X)$ ;  
14:   compute  $\{(s, d)\}^{G^{reduced}}$ ;  
15:   for each  $i \in G^{reduced}$  do  
16:     compute  $O^{G^{reduced}}(i)$ ;  
17:   end for  
18:   if  $\min_{1 \leq i \leq N} \{O^{G^{reduced}}(i)\} \geq 2 \cdot (N - 1)$  then  
19:      $\mathcal{S} = X$ ;  
20:     stop = 1;  
21:   else  
22:     K = K + 1;  
23:   end if  
24: end while  
25: Niter = K - 1;  
26: Outputs:  $\mathcal{S}$  /*list of network's links that can be switched off*/,  
    $G^{fin} = (\mathcal{N}, \mathcal{E} - \mathcal{S})$  /*final network topology*/ and Niter.
```

---

# Αλγόριθμος GRiDA

(Bianzino, A.P., Chiaraviglio, L., Mellia, M., Rougier, J.-L. GRiDA: GGreen

Distributed Algorithm for energy-efficient IP backbone networks. Computer Networks. 2012, 56(14), 3219-3232)

## (GReen Distributed Algorithm)

- Κατανεμημένος αλγόριθμος
- Θέτει τους συνδέσμους σε δίκτυα IP σε κατάσταση αναστολής λειτουργίας με βάση το πρωτόκολλο Open Shortest Path First (OSPF)\* για

να **περιορίσει** τον όγκο των διαμοιραζόμενων πληροφοριών και να **μειώσει** την πολυπλοκότητα του αλγορίθμου

\*ιεραρχικό πρωτόκολλο δρομολόγησης εσωτερικών πυλών (Interior Gateway Protocol - IGP) με βάση την κατάσταση της σύνδεσης (Link-State)

```
Node Choice
Input:  $K^{old}, S$ 
Output:  $K, K^{old}, S^{old}$ 
 $S^{old} = S$ 
if lastLSA == OK:
     $K^* = \min_K U(K, S)$ 
    if (check_connectivity( $K^*$ ) == OK):
         $K = K^*$ 
        if  $K \neq K^{old}$ :
            to_be_checked = TRUE
    else
         $p(K^*, S) = p(K^*, S) + \beta$ 
else:
     $K = \text{all\_on configuration}$ 
```

```
LSA Arrival
Input:  $K, K^{old}, S^{old}, p$ 
Output:  $K, p$ 
if to_be_checked == TRUE:
    if LSA == OK:
        for  $J$  in  $K$ :
             $p(J, S^{old}) = p(J, S^{old}) \times \delta$ 
    else:
         $p(K, S^{old}) = p(K, S^{old}) + \beta$ 
         $K = K^{old}$ 
    to_be_checked = FALSE
```



# Αλγόριθμος GRiDA

(GRreen Distributed Algorithm)

Τυφλός αλγόριθμος κυκλοφορίας που εξαρτάται από

- το **τρέχον φορτίο** και
- το **ιστορικό** των προηγούμενων αποφάσεων για την απενεργοποίηση των συνδέσμων

Στοχεύει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του δικτύου

**προσαρμόζοντας** τη χωρητικότητα του δικτύου στην τρέχουσα ζήτηση για κίνηση

```
Node Choice
Input:  $K^{old}, S$ 
Output:  $K, K^{old}, S^{old}$ 
 $S^{old} = S$ 
if lastLSA == OK:
     $K^* = \min_K U(K, S)$ 
    if (check_connectivity( $K^*$ ) == OK):
         $K = K^*$ 
        if  $K \neq K^{old}$ :
            to_be_checked = TRUE
    else:
         $p(K^*, S) = p(K^*, S) + \beta$ 
else:
     $K = all\_on\ configuration$ 
```

```
LSA Arrival
Input:  $K, K^{old}, S^{old}, p$ 
Output:  $K, p$ 
if to_be_checked == TRUE:
    if LSA == OK:
        for  $J$  in  $K$ :
             $p(J, S^{old}) = p(J, S^{old}) \times \delta$ 
    else:
         $p(K, S^{old}) = p(K, S^{old}) + \beta$ 
         $K = K^{old}$ 
    to_be_checked = FALSE
```

# Αλγόριθμος GRiDA

## (GReen Distributed Algorithm)

- **Απενεργοποιεί** τις συνδέσεις όταν υποχρησιμοποιούνται και η απουσία τους στο δίκτυο δεν επηρεάζει τις λειτουργίες του δικτύου και
- **Ενεργοποιεί** τις συνδέσεις αδράνειας όταν απαιτείται χωρητικότητα για να διασφαλιστεί η σωστή αντίδραση σε σφάλματα και αλλαγές σε ζήτηση κυκλοφορίας

```
Node Choice  
Input:  $K^{old}, S$   
Output:  $K, K^{old}, S^{old}$   
 $S^{old} = S$   
if lastLSA == OK:  
   $K^* = \min_K U(K, S)$   
  if (check_connectivity( $K^*$ ) == OK):  
     $K = K^*$   
    if  $K \neq K^{old}$ :  
      to_be_checked = TRUE  
  else:  
     $p(K^*, S) = p(K^*, S) + \beta$   
else:  
   $K = \text{all\_on configuration}$ 
```

```
LSA Arrival  
Input:  $K, K^{old}, S^{old}, p$   
Output:  $K, p$   
if to_be_checked == TRUE:  
  if LSA == OK:  
    for  $J$  in  $\mathcal{K}$ :  
       $p(J, S^{old}) = p(J, S^{old}) \times \delta$   
  else:  
     $p(K, S^{old}) = p(K, S^{old}) + \beta$   
     $K = K^{old}$   
  to_be_checked = FALSE
```

# Αλγόριθμος GRiDA

## (GReen Distributed Algorithm)

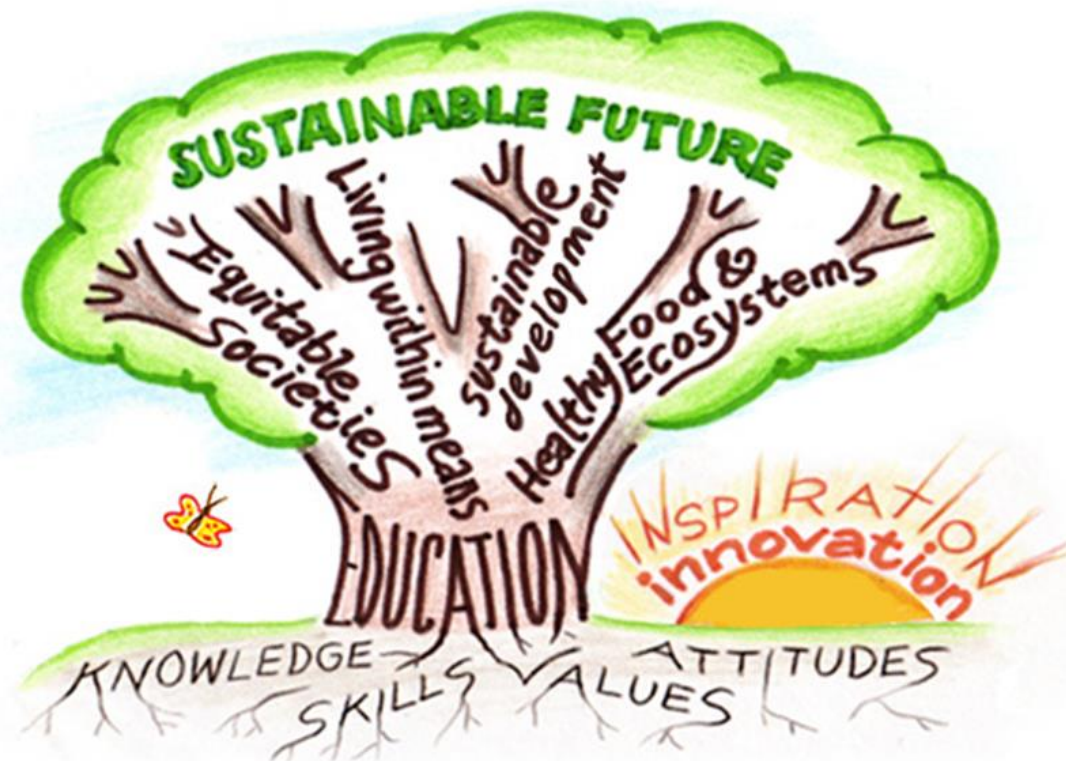
Η διαδικασία **απενεργοποίησης / ενεργοποίησης** της σύνδεσης είναι αποκεντρωμένη σε κάθε κόμβο ο οποίος λαμβάνει **τοπικές αποφάσεις** σε τυχαία διαστήματα χωρίς κανένα συντονισμό μεταξύ των κόμβων

```
Node Choice  
Input:  $K^{old}, S$   
Output:  $K, K^{old}, S^{old}$   
 $S^{old} = S$   
if lastLSA == OK:  
     $K^* = \min_K U(K, S)$   
    if (check_connectivity( $K^*$ ) == OK):  
         $K = K^*$   
        if  $K \neq K^{old}$ :  
            to_be_checked = TRUE  
    else  
         $p(K^*, S) = p(K^*, S) + \beta$   
else:  
     $K = all\_on$  configuration
```

```
LSA Arrival  
Input:  $K, K^{old}, S^{old}, p$   
Output:  $K, p$   
if to_be_checked == TRUE:  
    if LSA == OK:  
        for  $J$  in  $K$ :  
             $p(J, S^{old}) = p(J, S^{old}) \times \delta$   
    else:  
         $p(K, S^{old}) = p(K, S^{old}) + \beta$   
         $K = K^{old}$   
    to_be_checked = FALSE
```

# Βιβλιογραφία

- United Nations: Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, **2015**, United Nations
- Nolin, J. Sustainable information and information science. *Inf. Res.* **2010**, 15(2)
- Chowdhury, G., Koya, K. Information practices for sustainability: Role of iSchools in achieving the UN sustainable development goals (SDGs). *J. Assoc. Inf. Sci. Technol.* **2017**, 68, 2128–2138
- The Association for Computing Machinery and the IEEE Computer Society: Computing Curricula **2020** (CC2020): Paradigms for Global Computing Education
- The Association for Computing Machinery and the Association for Information Systems: IS**2020**: Competency Model for Undergraduate Programs in Information Systems
- Lazzarini, B., Perez-Foguet, A., Boni, A. Key characteristics of academics promoting Sustainable Human Development within engineering studies. *J. Clean. Prod.* **2018**, 188, 237–252
- Sammalisto, K., Lindhqvist, T. Integration of sustainability in higher education: A study with international perspectives. *Innov. High. Educ.* **2008**, 32, 221–233
- Cuomo, F., Abbagnale, A., Cianfrani, A., Polverini, M. Keeping the connectivity and saving the energy in the internet. 2011 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). **2011**, 319-324
- Cuomo, F., Cianfrani, A., Polverini, M., Daniele, M. Network pruning for energy saving in the Internet. *Computer Networks.* **2012**, 56, 2355–2367
- Cuomo, F., Abbagnale, A., Papagna, S. ESOL: Energy saving in the Internet based on Occurrence of Links in routing paths. 2011 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks. **2011**, 1-6
- Bianzino, A.P., Chiaraviglio, L., Mellia, M., Rougier, J.-L. GRiDA: GReen Distributed Algorithm for energy-efficient IP backbone networks. *Computer Networks.* **2012**, 56(14), 3219-3232



Σας ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας!  
[eriang@unipi.gr](mailto:eriang@unipi.gr)