

Κινητός και Διάχυτος Υπολογισμός (Mobile & Pervasive Computing)

Δημήτριος Κατσαρός

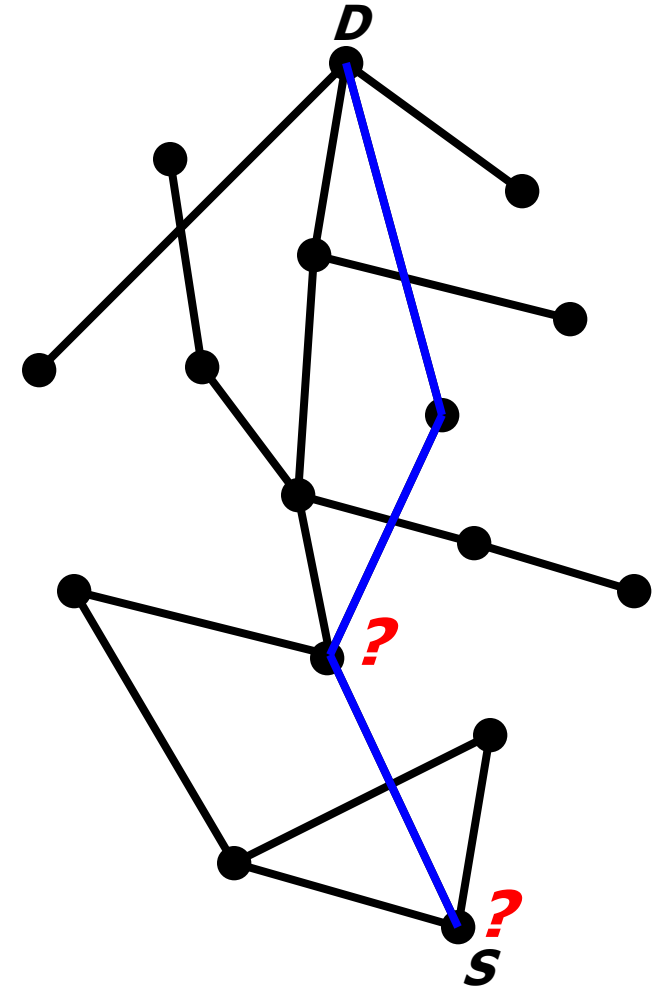
Διάλεξη 19η

Περιεχόμενα

- **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)**
 - **Γεωγραφική δρομολόγηση (Geographic routing)**
 - **Greedy Perimeter Stateless Routing (GPRS)**

Το ζήτημα της δρομολόγησης

- Κάθε router έχει μοναδικό ID
- Τα πακέτα περιέχουν το ID του κόμβου προορισμού
- Ο router καλείται να επιλέξει το επόμενο hop για κάθε πακέτο που λαμβάνει
- Οι routers επικοινωνούν για να συλλέξουν πληροφορίες συνδεσμολογίας τις οποίες χρησιμοποιούν στην προώθηση πακέτων
- Οι διαδρομές αλλάζουν με την αλλαγή τοπολογίας
- Μετρικές επίδοσης:
 - Routing protocol message cost
 - Data delivery success rate
 - Route length (hops)
 - Per-router state



Γιατί αλλάζει η τοπολογία;

- **Αποτυχίες κόμβων**
 - Εξάντληση μπαταρίας
 - Δυσλειτουργία του υλικού
 - Φυσική καταστροφή (σε επικίνδυνο περιβάλλον)
- **Αποτυχίες link**
 - Εμφάνιση πηγών ραδιο-παρεμβολών
 - Κινητά εμπόδια αλλάζουν το multi-path fading
- **Κινητικότητα κόμβων**
 - Το σύνολο των γειτόνων εντός εμβέλειας αλλάζει
 - **Ακραία περίπτωση** για την κλιμάκωση του αλγορίθμου δρομολόγησης
 - Όχι σύνηθες σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Δρομολόγηση: Προσεγγίσεις και κλιμάκωση

- Για ενσύρματο δίκτυο, intra-domain δρομολόγηση στο Internet:
 - Link-state και Distance-vector: **shortest paths σε hops**
 - LS: push full topology map to all routers, **$O(L)$ state**
 - DV: push distances across network diameter, **$O(N)$ state**
 - **Κάθε αλλαγή σε link** πρέπει να σταλεί σε όλους τους routers, διαφορετικά θα προκύψουν βρόχοι/διαμέριση
- Dynamic Source Routing (DSR), ad hoc routing:
 - **Πλημυρρίδα ερωτήσεων on-demand** για να μάθεις τις διαδρομές
 - **Cache τις απαντήσεις**

Κλιμάκωση δρομολόγησης

- Κυρίαρχοι παράγοντες κόστους στα DV, LS, DSR:
 - Ρυθμός αλλαγής της τοπολογίας (εύρος ζώνης)
 - Αριθμός των routers στο routing domain (b/w, state)
- Τεχνικές κλιμάκωσης:
 - Ιεραρχία: στα AS boundaries (BGP) ή σε μικρότερα κλίμακα (OSPF)
 - Στόχος: ελάττωση του αριθμού των routers στο routing domain
 - Υπόθεση: address aggregation
 - Caching: αποθήκευση των source routes (DSR)
 - Στόχος: περιορισμός στην μετάδοση μελλοντικών ερωτήσεων
 - Υπόθεση: οι source route παραμένουν σταθερές ενόσω είναι cached

Σήμερα: Η δρομολόγηση στο Internet κλιμακώνεται εξαιτίας της **IP prefix aggregation**; **δεν εφαρμόζεται εύκολα** σε sensornets

- Μπορούμε να επιτύχουμε αποθήκευση πληροφοριών ανά κόμβο **ανεξάρτητη του N**;
- Μπορούμε να ελαττώσουμε το εύρος ζώνης που ξοδεύεται για την μετάδοση των αλλαγών στην τοπολογία;

Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

Κεντρική ιδέα: Οι κόμβοι γνωρίζουν την γεωγραφική τους θέση

Δρομολόγηση με βάση την γεωγραφία

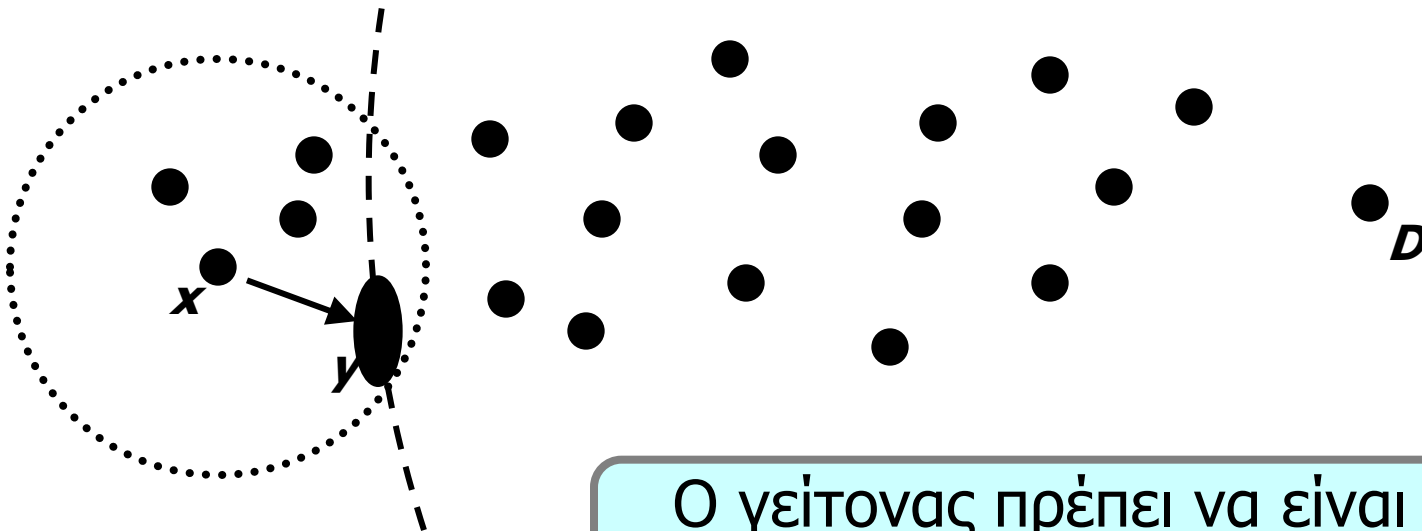
- Το πεδίο ‘packet destination’: τοποθεσία του προορισμού
- Κάθε κόμβος γνωρίζει την γεωγραφική του θέση, π.χ.,
 - Από το GPS (outdoors)
 - Από surveyed position (για μη κινούμενους κόμβους)
 - Από short-range localization (indoors)
- Υποθέτουμε την ύπαρξη ενός αποτελεσματικού συστήματος καταχώρησης/αναζήτησης της θέσης ενός κόμβου

Υποθέσεις

- Bi-directional radio links
- Οι κόμβοι του δικτύου βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (2D δίκτυο)
- Διάδοση κύματος στον free space; Η απόσταση από τον αποστολέα προσδιορίζει την ισχύ του σήματος στον παραλήπτη
- Σταθερή, ομοιόμορφη ισχύς μετάδοσης

Άπληστη προώθηση

- Οι κόμβοι μαθαίνουν τις θέσεις των 1-hop γειτόνων τους με beaconing/riggybacking στα πακέτα δεδομένων
- Τοπικά βέλτιστο, επιλογή του επόμενου hop με **άπληστο** τρόπο:
 - Ο γείτονας που είναι γεωγραφικά πλησιέστερα στον προορισμό



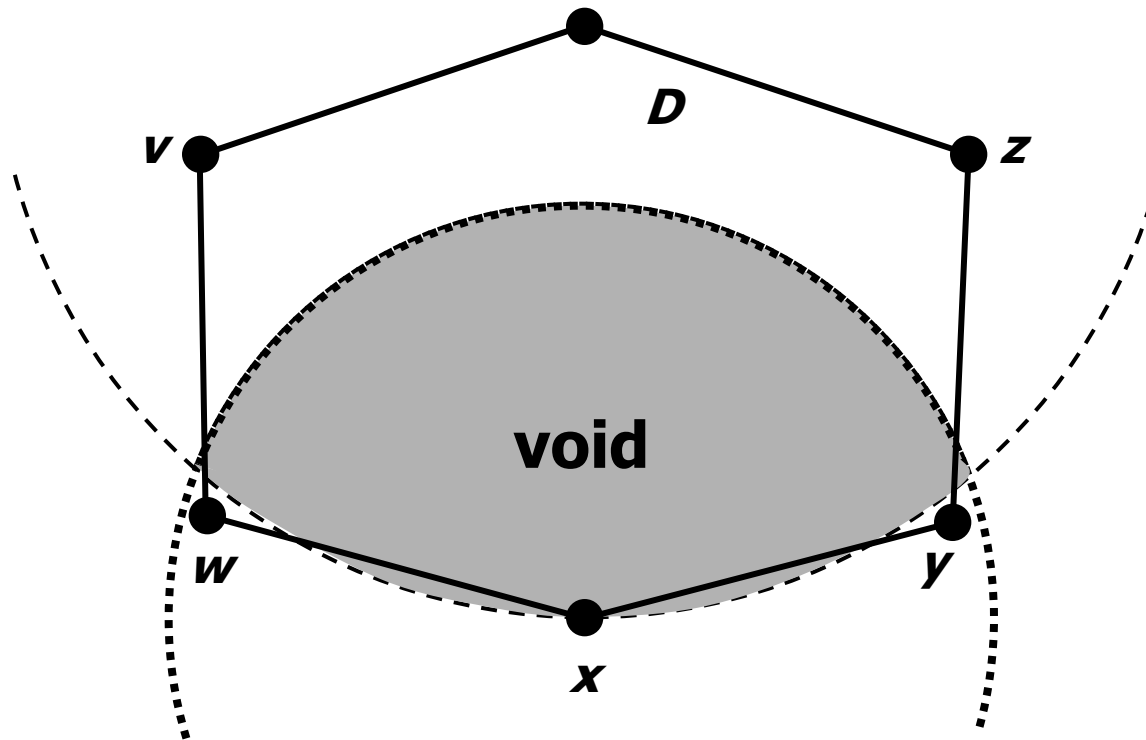
Ο γείτονας πρέπει να είναι **αυστηρά πλησιέστερα** για την αποφυγή loops

Ύμνος στην Γεωγραφία

- Αυτο-περιγραφόμενη
- Καθώς αυξάνει η πυκνότητα των κόμβων, το **shortest path** τείνει προς την **Ευκλείδεια ευθεία** μεταξύ της πηγής και του προορισμού
- Η ‘κατάσταση’ που συντηρεί κάθε κόμβος αφορά μόνο τους 1-hop γείτονές του:
 - Χαμηλή state ανά κόμβο: $O(\text{density})$
 - Χαμηλό overhead για το πρωτόκολλο δρομολόγησης: η state εκπέμπεται μόνο σε one hop

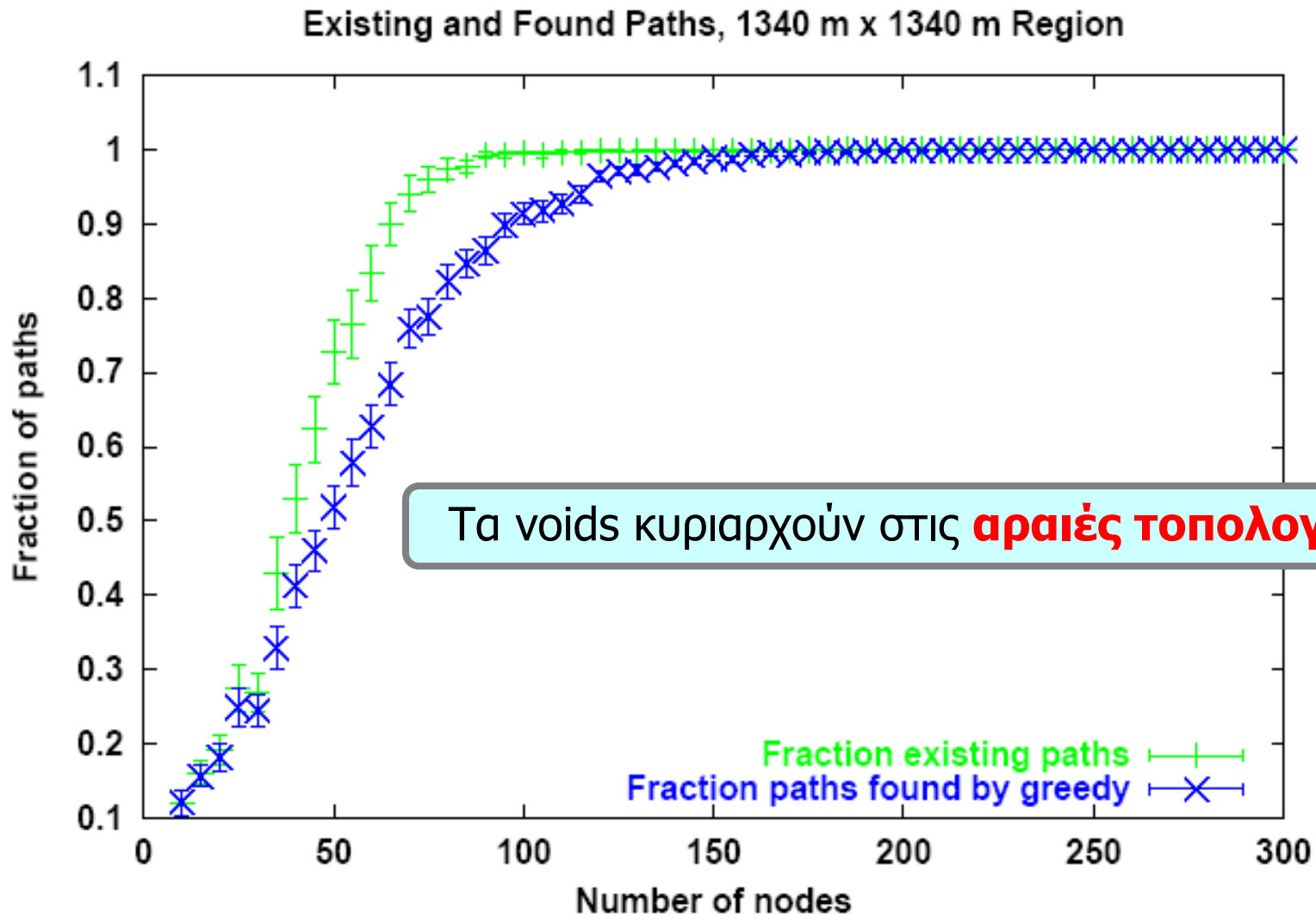
Αποτυχία της Greedy Forwarding

Η άπληστη προώθηση δεν είναι πάντα εφικτή! Δείτε:



Πώς μπορούμε να **παρακάμψουμε** τα voids;
... βασιζόμενοι **μόνο στην 1-hop γειτονιά;**

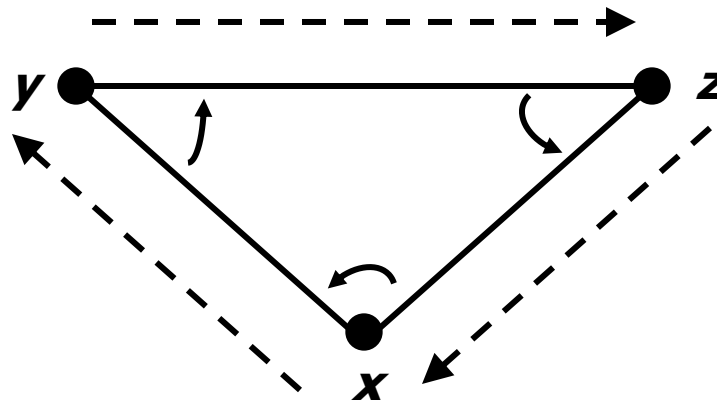
Πυκνότητα κόμβων και voids



Διάσχιση void: Κανόνας δεξιού χεριού

Γνωστός τρόπος διάσχισης γραφήματος: **right-hand rule**

Απαιτεί γνώση **μόνο των θέσεων των γειτόνων**

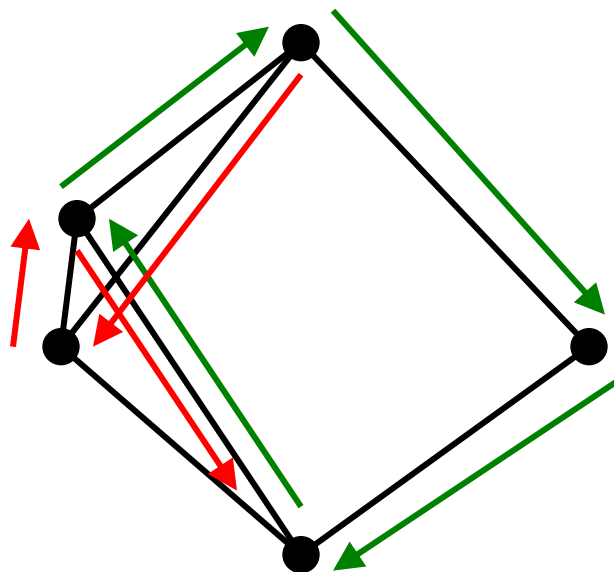


Ο κανόνας αυτός υποδεικνύει ότι όταν φτάσουμε σε έναν κόμβο y από έναν κόμβο x (δηλ., από το link (x,y)), τότε το επόμενο link το οποίο θα διασχίσουμε είναι εκείνο στον κόμβο y , το οποίο είναι το ακολουθιακό επόμενο του y μετά το (x,y) με φορά αντίθετη της κίνησης των δεικτών του ρολογιού (counterclock-wise)

- Με τον right-hand rule μπορούμε να διασχίσουμε το εσωτερικό μιας κλειστής (ενν. planar) πολυγωνικής περιοχής (δηλ., μιας **face**) σε clock-wise διάταξη των κόμβων οι οποίοι την ορίζουν. Για παράδειγμα, την προηγούμενη void περιοχή με την εξής σειρά: $x \rightarrow w \rightarrow v \rightarrow D \rightarrow z \rightarrow y \rightarrow x$. Ο κανόνας διασχίζει μια εξωτερική περιοχή σε counterclock-wise διάταξη

Επιπεδικά & μη γραφήματα

Σε γραφήματα με τεμνόμενες ακμές (μη επιπεδικά), ο κανόνας του δεξιού χεριού μπορεί να μην ‘ταξιδέψει’ αποκλειστικά και μόνο στο εσωτερικό μιας face



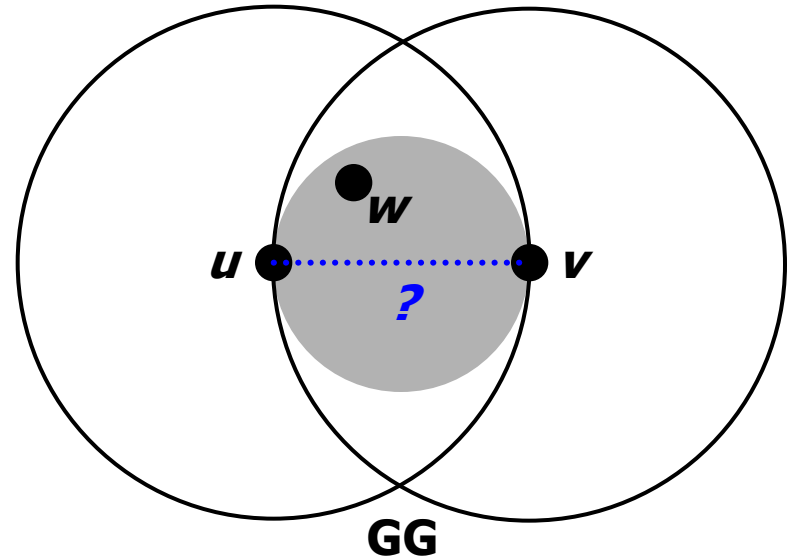
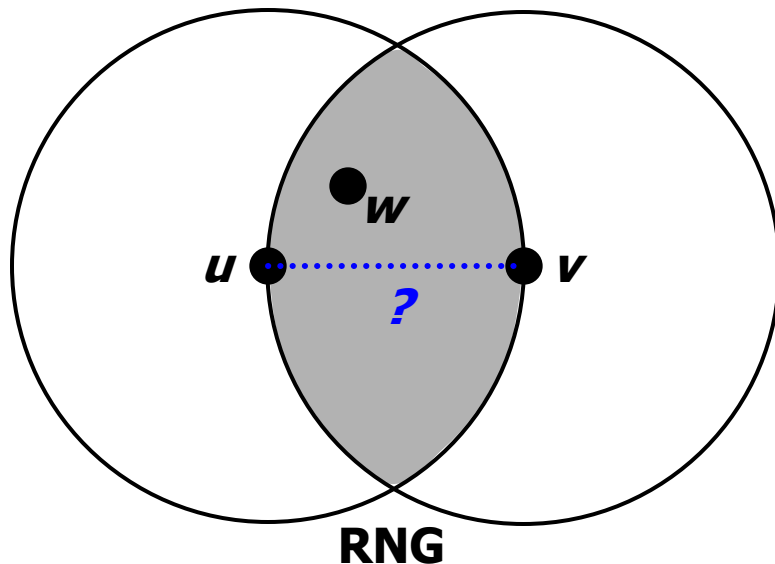
Πώς να αφαιρέσουμε τις τεμνόμενες ακμές χωρίς να διαμερίσουμε το γράφημα;

Με τη χρήση μόνο των θέσεων των 1-hop γειτόνων;

Επιπεδοποιημένα γραφήματα

Relative Neighborhood Graph (RNG) και Gabriel Graph (GG):
Είναι γνωστά επιπεδικά γραφήματα

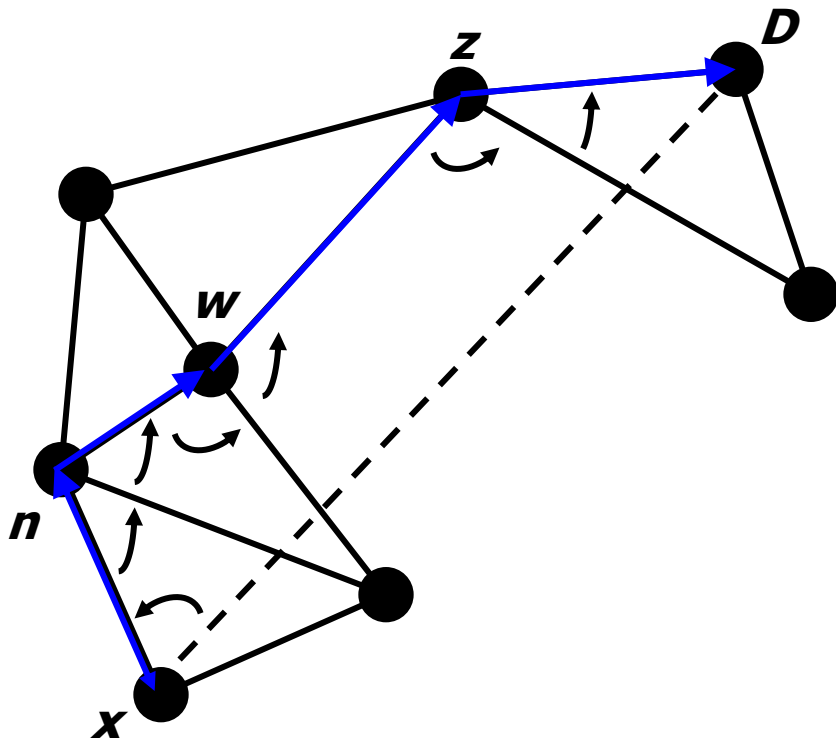
Ο RNG και ο GG μπορούν να κατασκευαστούν μόνο με γνώση των θέσεων των γειτόνων, και μπορεί ναδειχτεί ότι δεν διαμερίζουν το δίκτυο!



Το πλήρες Greedy Perimeter Stateless Routing πρωτόκολλο

- Όλα τα πακέτα ξεκινούν σε greedy mode
- Ο greedy mode χρησιμοποιεί το πλήρες γράφημα
- Όταν αποτύχει ο greedy mode, ο κόμβος μαρκάρει την θέση του πάνω στο πακέτο, και γυρίζει το πακέτο σε perimeter mode
- Σε perimeter mode τα πακέτα ακολουθούν την απλή διάσχιση ενός επιπέδικου γραφήματος:
 - Προώθηση κατά μήκος διαδοχικά πλησιεστέρων προς τον προορισμό faces με τον κανόνα του δεξιού χεριού, μέχρι να φτάσουμε στον προορισμό
 - Τα πακέτα ‘γυρίζουν’ σε greedy mode όταν φτάσουν σε έναν κόμβο πλησιέστερα στον προορισμό από ότι ήταν ο κόμβος που εισήγαγε το πακέτο σε perimeter mode

Παράδειγμα προώθησης πακέτου όταν είναι σε perimeter mode



Προώθηση packet σε perimeter mode (στο συγκεκριμένο δίκτυο το greedy mode of forwarding “δουλεύει”)

Ο κανόνας πρακτικά σημαίνει ότι:

- Όταν το packet βρίσκεται σε κόμβο ο οποίος δεν έχει τεμνόμενο link με την \overline{xD} , τότε προωθείται counterclockwise ως προς την \overline{xD} σ’ εκείνον τον κόμβο ο οποίος έχει το link το τεμνόμενο με την \overline{xD} . Π.χ., προώθηση μετά τον x

- Διάσχιση της face πλησιέστερα στο D κατά μήκος της \overline{xD} με τον κανόνα του δεξιού χεριού, μέχρι να τμηθεί η \overline{xD}
- Επανάληψη με την επόμενη πλησιέστερη face, ...