

# Κινητός και Διάχυτος Υπολογισμός (Mobile & Pervasive Computing)

Δημήτριος Κατσαρός

Διάλεξη 15η

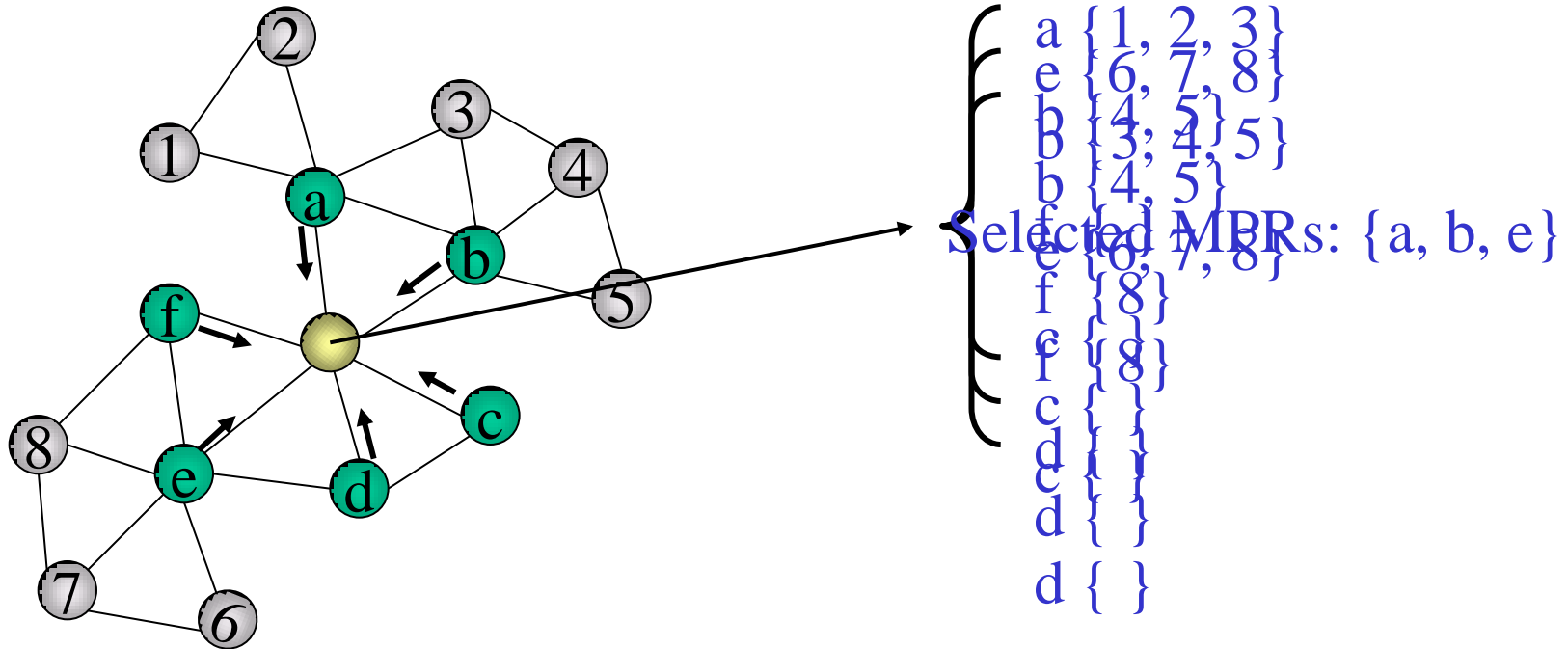
# Περιεχόμενα

- **Clustering ad hoc δικτύων**
  - **Multi-Point Relays (MPRs)**
  - **Weakly Connected Dominating Set (WCDS)**
  - **Maximal Independent Sets (MIS)**
  - **Max-min d-cluster αλγόριθμος**

# Multi-Point Relays

- Χρησιμοποιείται στο OLSR (Optimized Link State Routing) πρωτόκολλο (RFC3626) και ανήκει στην οικογένεια των neighbor-designating broadcasting αλγορίθμων
- Κάθε κόμβος επιλέγει έναν υποσύνολο των 1-hop γειτόνων του για να καλύψει το σύνολο των 2-hop γειτόνων του

# Παράδειγμα εκτέλεσης του MPR



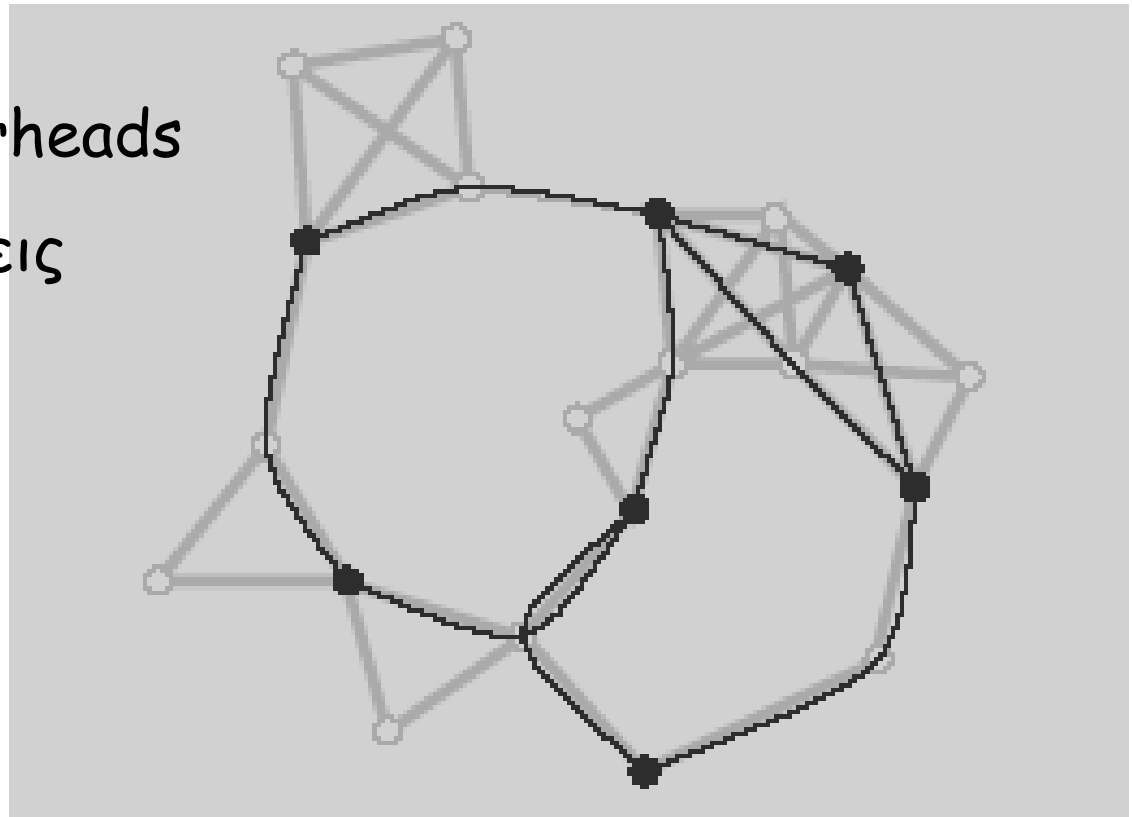
# Περιεχόμενα

- **Clustering ad hoc δικτύων**
  - Multi-Point Relays (MPRs)
  - **Weakly Connected Dominating Set (WCDS)**
  - Maximal Independent Sets (MIS)
  - Max-min d-cluster αλγόριθμος

# Παράδειγμα ad hoc δικτύου

Μαύροι κόμβοι: clusterheads

Μαύρες ακμές: συνδέσεις  
μεταξύ των clusters

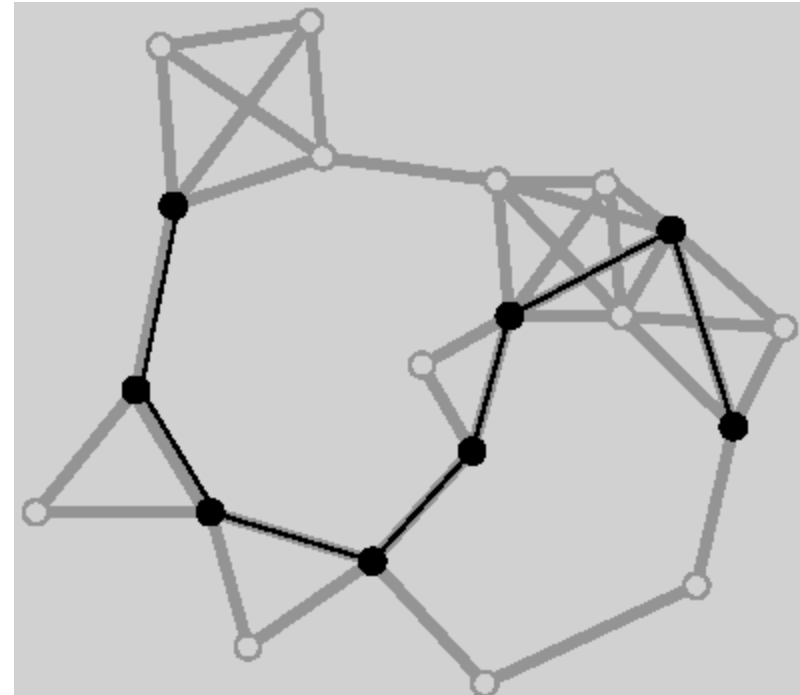


# Μικρό dominating set

- Χρήση των κόμβων ενός dominating set ως **clusterheads**
- Αναθέτουμε κάθε κόμβο σ' εκείνο το cluster που αντιστοιχεί στην κορυφή που κυριαρχεί πάνω της
- Μικρός αριθμός από clusterheads για να απλοποιήσουμε τη δομή του δικτύου
- Ως γνωστό, η εύρεση του ελάχιστου dominating set είναι NP-complete

# Connected dominating set

- Ένα connected dominating set (CDS) ενός γραφήματος  $G$  είναι ένα dominating set του οποίου το **induced γράφημα** είναι συνδεδεμένο
- Χρησιμοποιείται εύκολα για routing μηνυμάτων μεταξύ των clusters
- Η εύρεση ενός ελάχιστου CDS is NP-complete
- Ο αριθμός των clusters μεγάλος

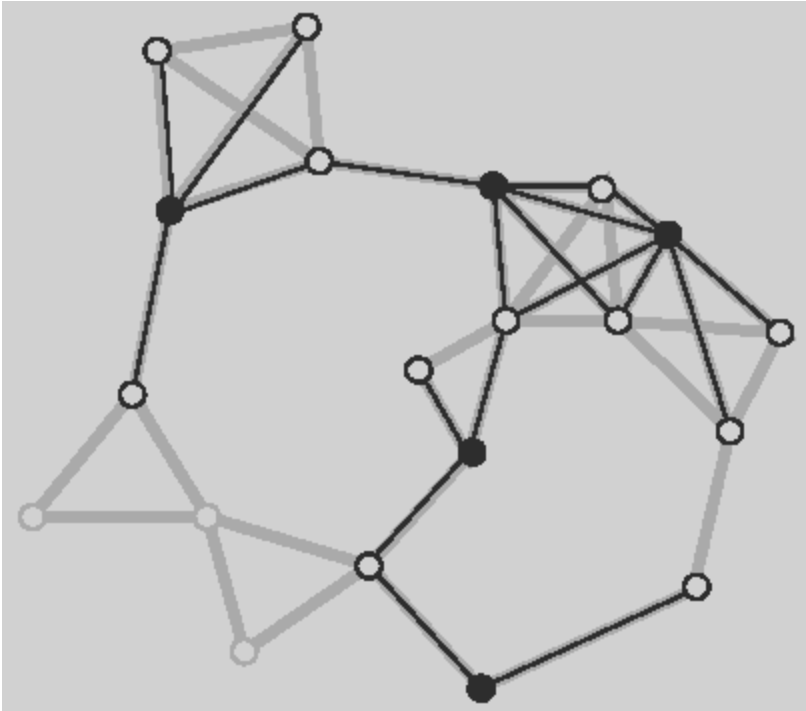




# Weakly induced subgraph

- Ελάττωση του αριθμού των clusters με την “χαλάρωση” της απαίτησης για συνδεσμικότητα
- Το υπογράφημα που είναι **weakly induced** από το  $S(S \subseteq V)$  είναι το γράφημα  $\langle S \rangle_w = (N[S], E \cap (N[S] \times S))$ .
- $\langle S \rangle_w$  περιλαμβάνει τους κόμβους του  $S$  και όλους τους κόμβους που είναι γείτονες αυτών ως σύνολο κόμβων του  $\langle S \rangle_w$
- Οι ακμές του  $\langle S \rangle_w$  είναι όλες οι ακμές του  $G$ , που έχουν τουλάχιστον το ένα άκρο τους στο  $S$

# Παράδ. weakly induced subgraph

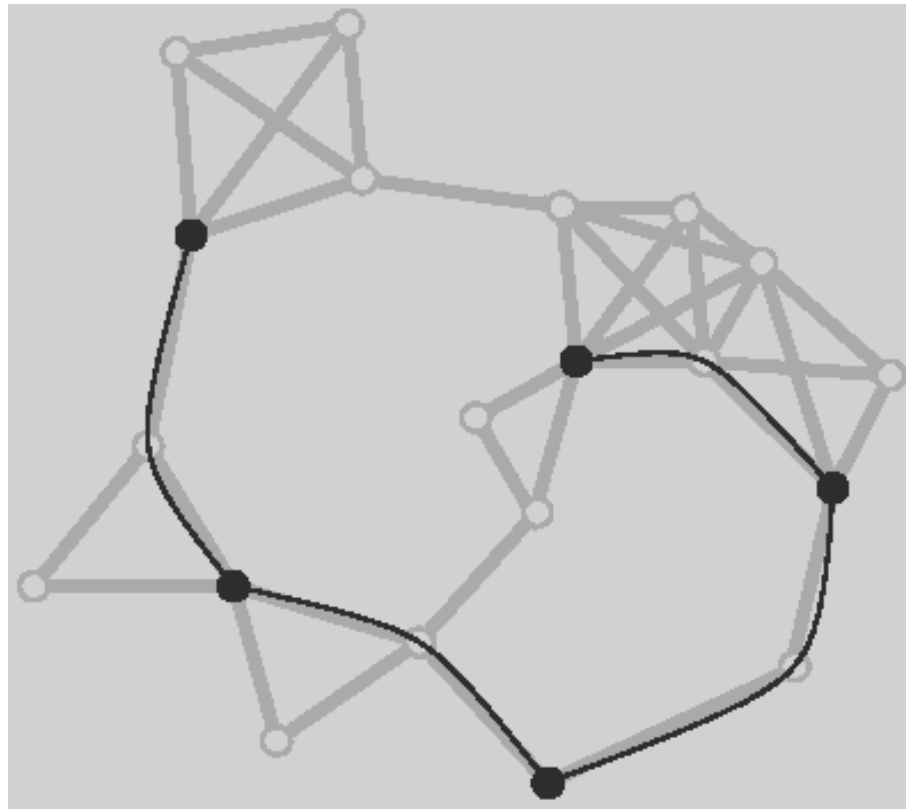


Σύνολο κόμβων: μαύροι κόμβοι

Σύνολο ακμών: μαύρες γραμμές

# Weakly-connected dominating set

- Ένα υποσύνολο κόμβων  $S$  είναι ένα **weakly-connected dominating set (WCDS)**, εάν το  $S$  είναι dominating set και το  $\langle S \rangle_w$  είναι συνδεδεμένο



# Weakly-connected dominating set

- A WCDS μπορεί να είναι μικρότερο από ένα CDS
- Ο υπολογισμός ενός “μικρού” WCDS δεν είναι πιο δύσκολος από τον υπολογισμό ενός “μικρού” CDS
- Συνεπώς, είναι καλύτερη μέθοδος clustering
- Στη συνέχεια αναπτύσσονται μέθοδοι clustering με χρήση WCDS, αλλά δεν διαπραγματευόμαστε το ζήτημα της αυξητικής συντήρησης του παραγόμενου WCDS

# Αλγόριθμ. για εύρεση μικρού WCDS

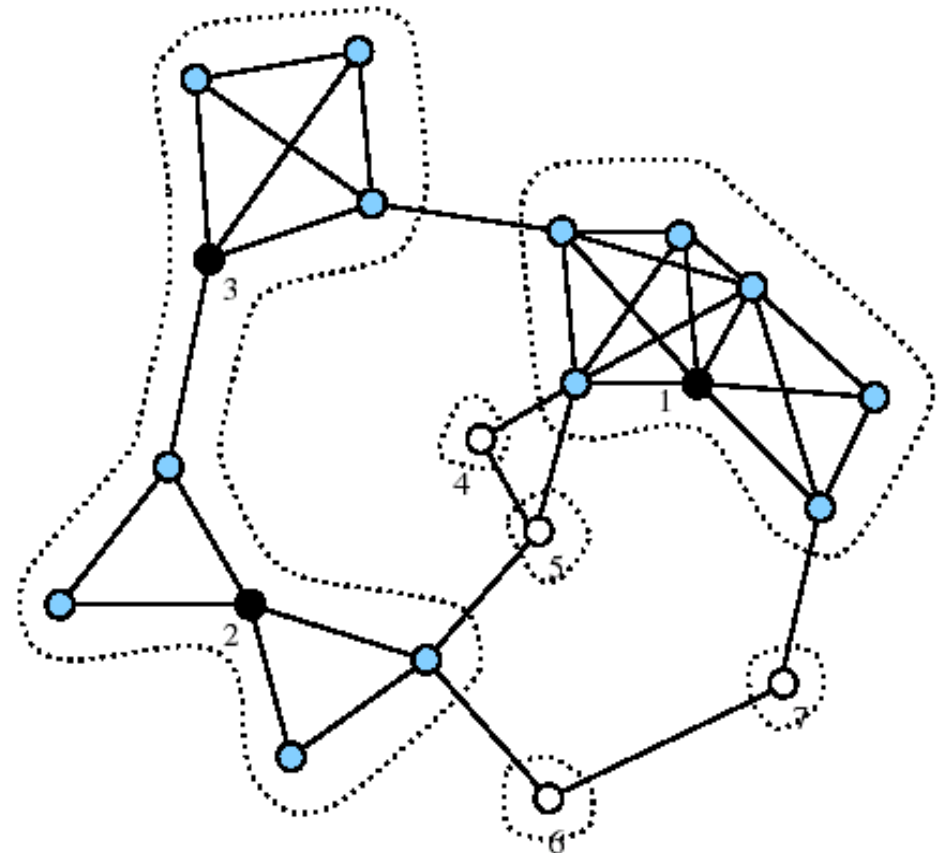
- **Αλγόριθμοι I και II**: Δυο centralized αλγόριθμοι
- **Αλγόριθμοι III και IV**: Distributed υλοποιήσεις των αλγορίθμων I και II
- **Αλγόριθμος V**: Distributed Asynchronous προσέγγιση

# Αλγόριθμος I (περίληψη)

- Δεδομένου ενός γραφήματος  $G=(V,E)$ , κάθε κόμβος συσχετίζεται με ένα χρώμα (*white*, *gray*, ή *black*)
- Όλοι οι κόμβοι αρχικά είναι *white*
- Σε κάθε επανάληψη, ο αλγόριθμος χρωματίζει *black* έναν *white* ή *gray* κόμβο καθώς επίσης χρωματίζει *gray* όλους τους γειτονικούς του κόμβους
- Στο τέλος, οι *black* κόμβοι συνιστούν ένα *weakly-connected dominating set*

# Ορολογία: η έννοια “piece”

- Piece αναφέρεται σε μια επιμέρους υποδομή του γραφήματος
- Ένα white piece είναι απλά ένας white κόμβος
- Ένα black piece περιέχει ένα maximal σύνολο από black κόμβους των οποίων το weakly induced υπογράφημα είναι συνδεδεμένο συν όποιοι προσκείμενοι gray κόμβοι



Τα pieces σηματοδοτούνται με dotted περιοχές

# Ορολογία: η έννοια “improvement”

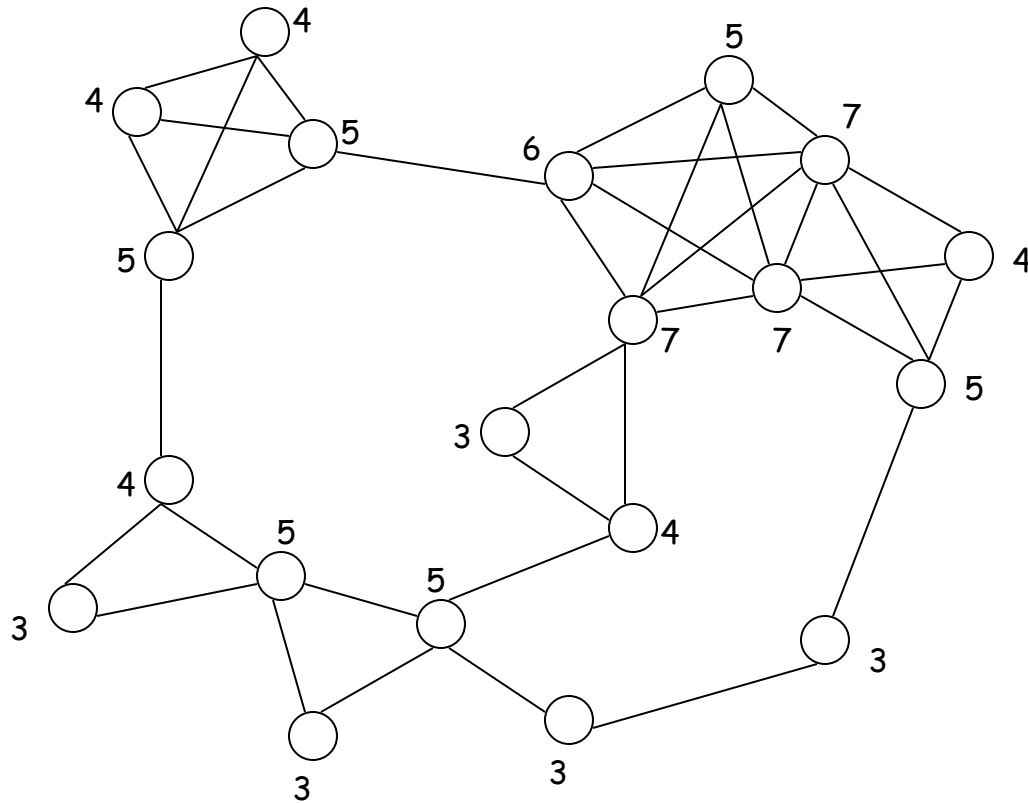
- Το improvement ενός (non-black) κόμβου  $u$  είναι ο αριθμός των pieces που θα συνενώνονταν σε ένα μόνο black piece εάν ο  $u$  χρωματιζόταν black
- Στο τελευταίο παράδειγμα, χρωματίζοντας τον κόμβο 5 black θα συνένωνε 4 pieces, ενώ χρωματίζοντας black τον κόμβο 4 θα συνένωνε 3 pieces



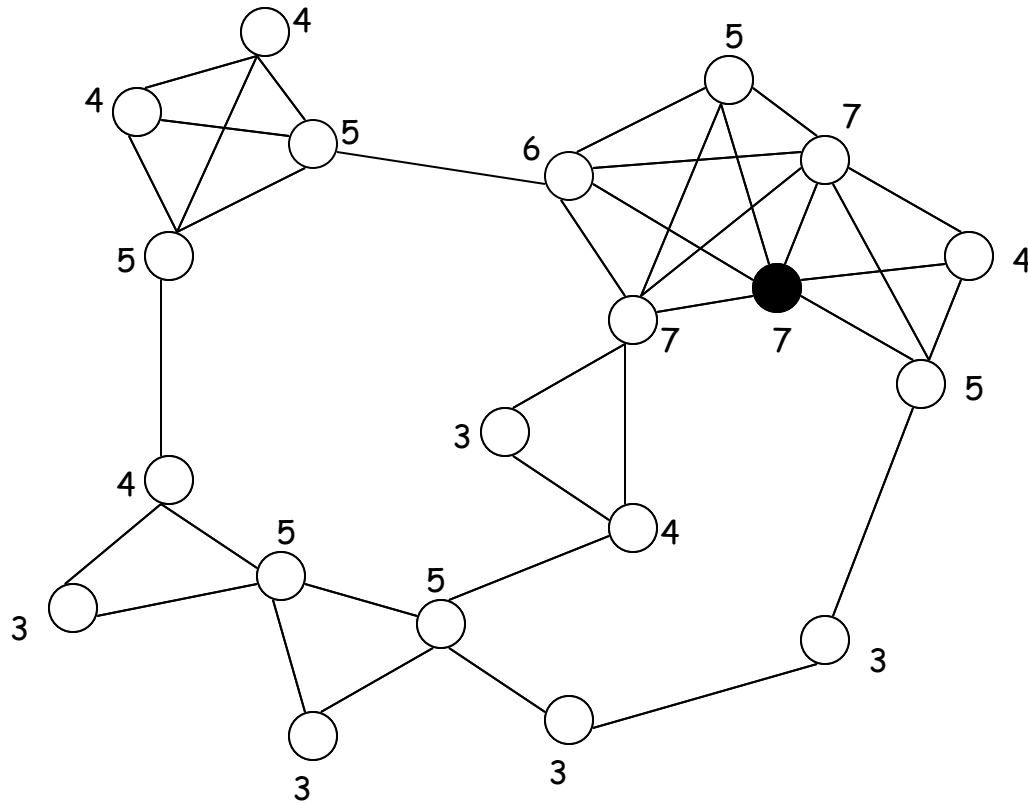
# Αλγόριθμος I (λεπτομέρειες)

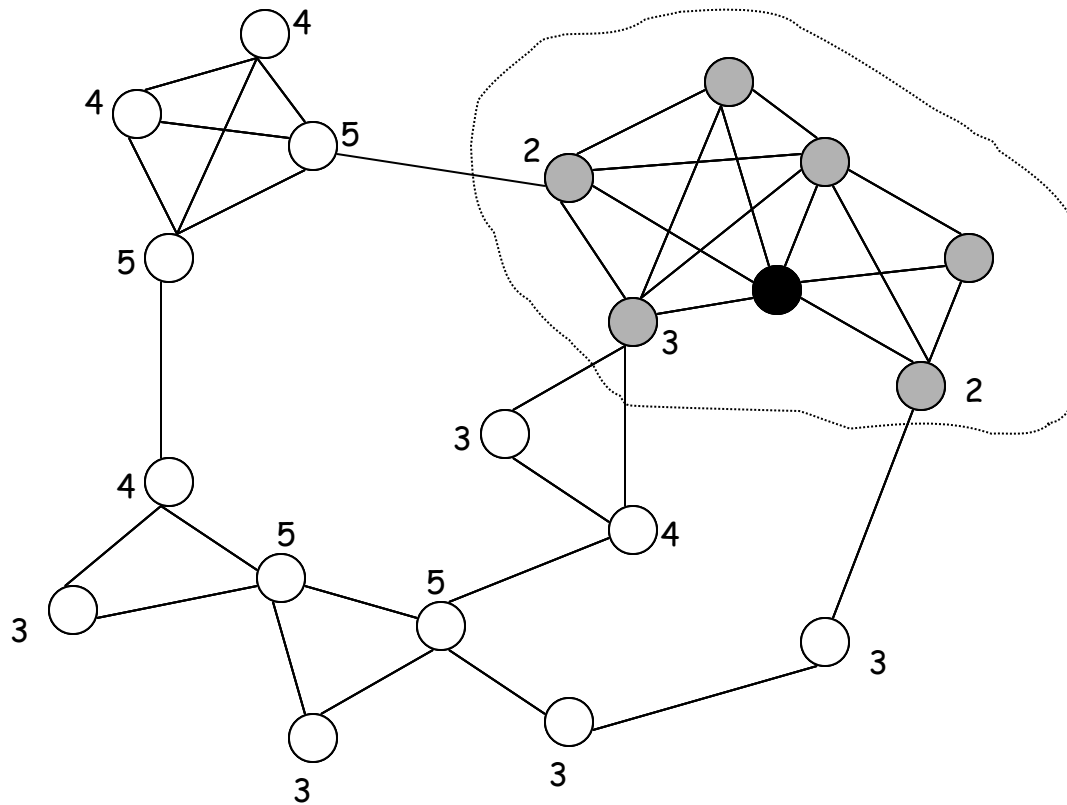
- Σε κάθε επανάληψη, ο αλγόριθμος επιλέγει ένα μόνο white ή gray κόμβο για να χρωματίσει black
- Η επιλογή γίνεται με άπληστο τρόπο: επιλέγεται ο κόμβος με το μεγαλύτερο improvement
- Μέχρι να απομείνει μόνο ένα piece

Initially, all nodes are white

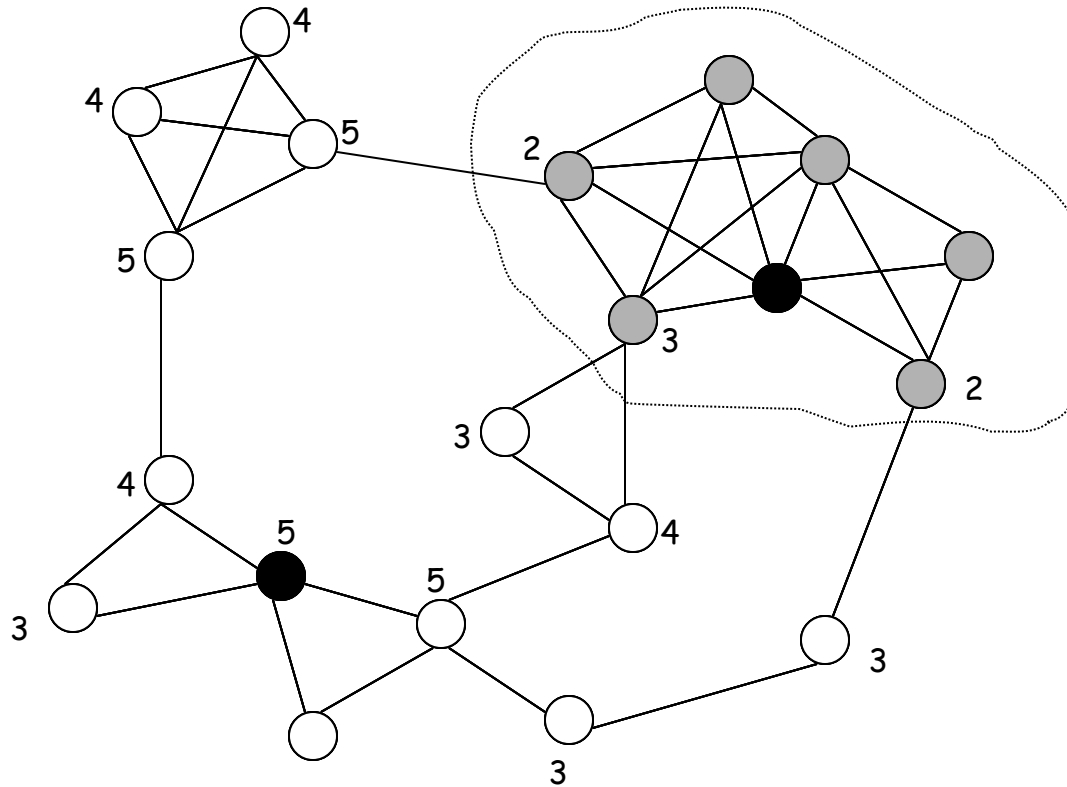


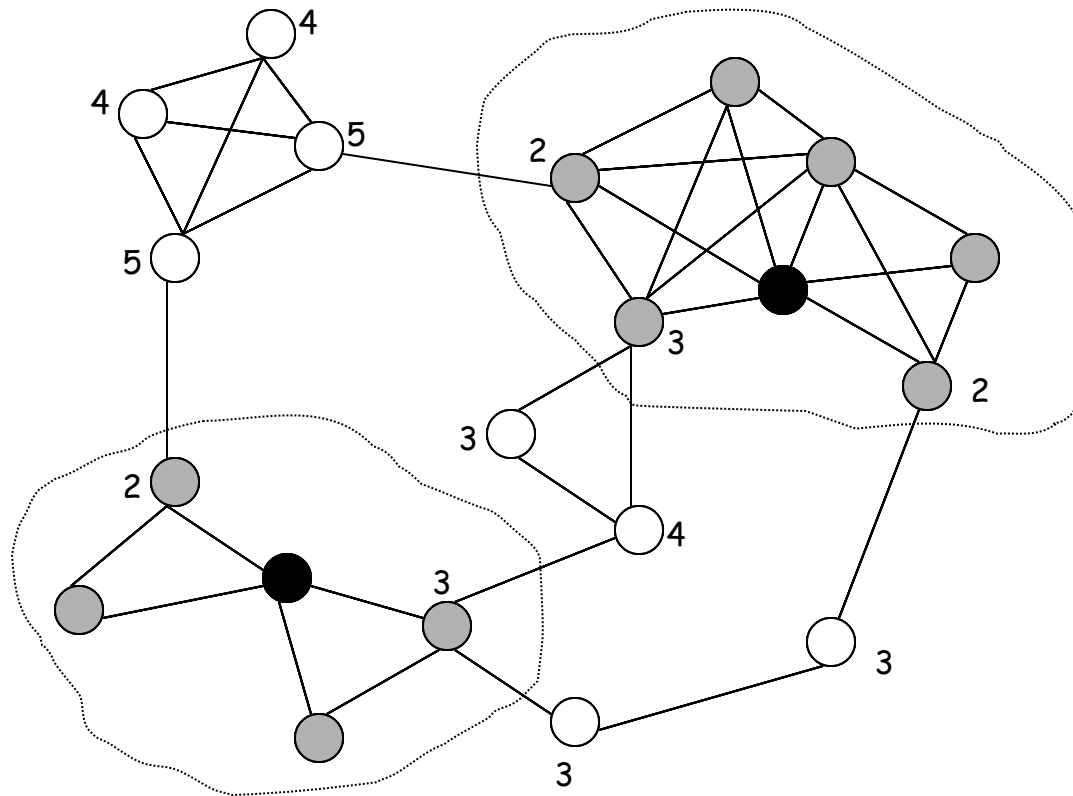
# First Iteration



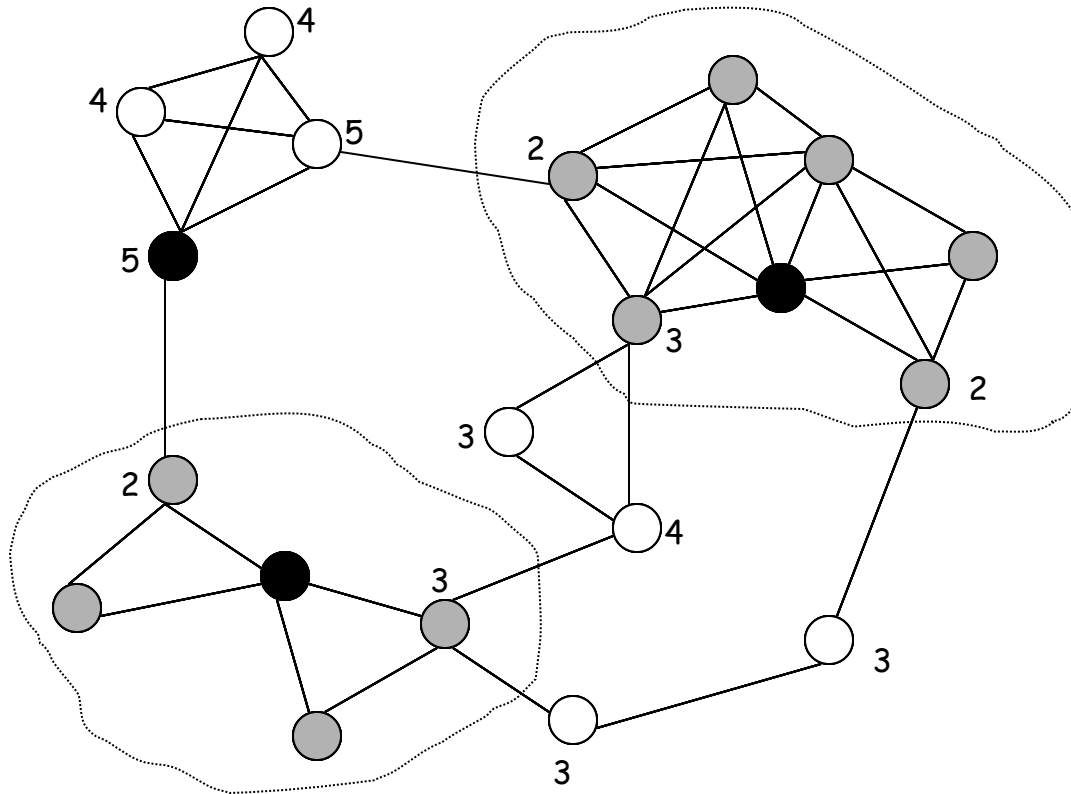


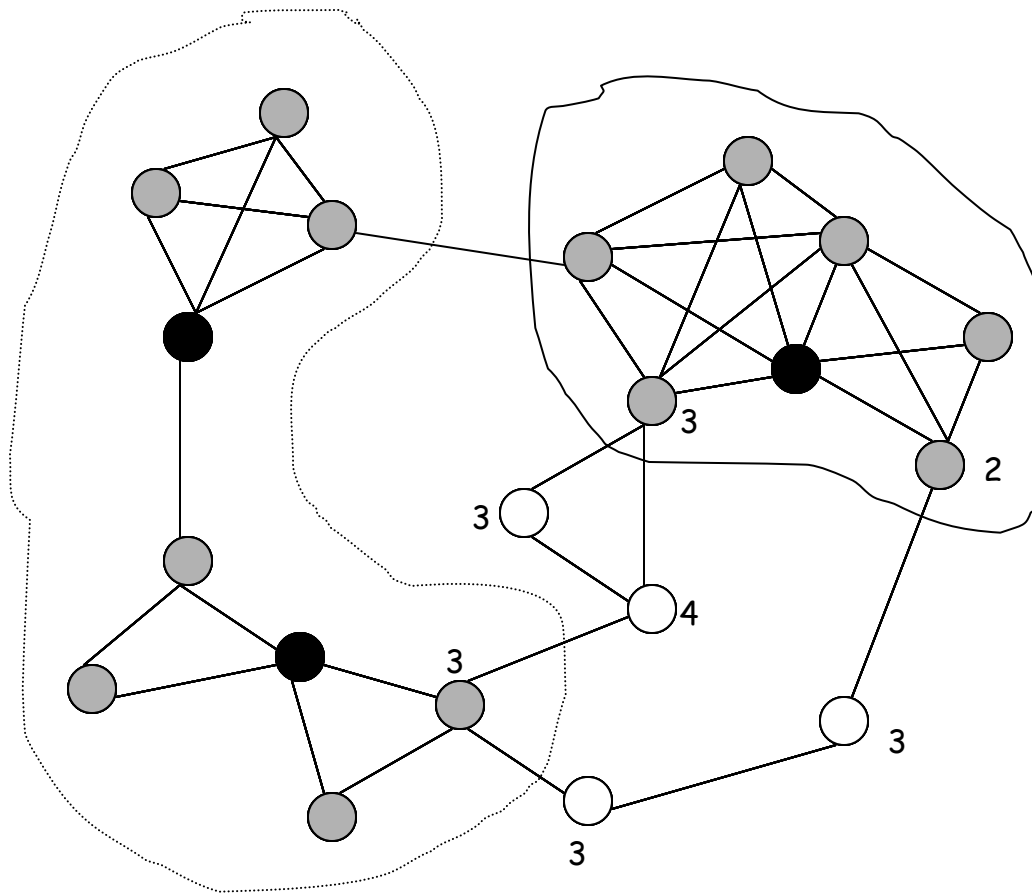
# Second Iteration





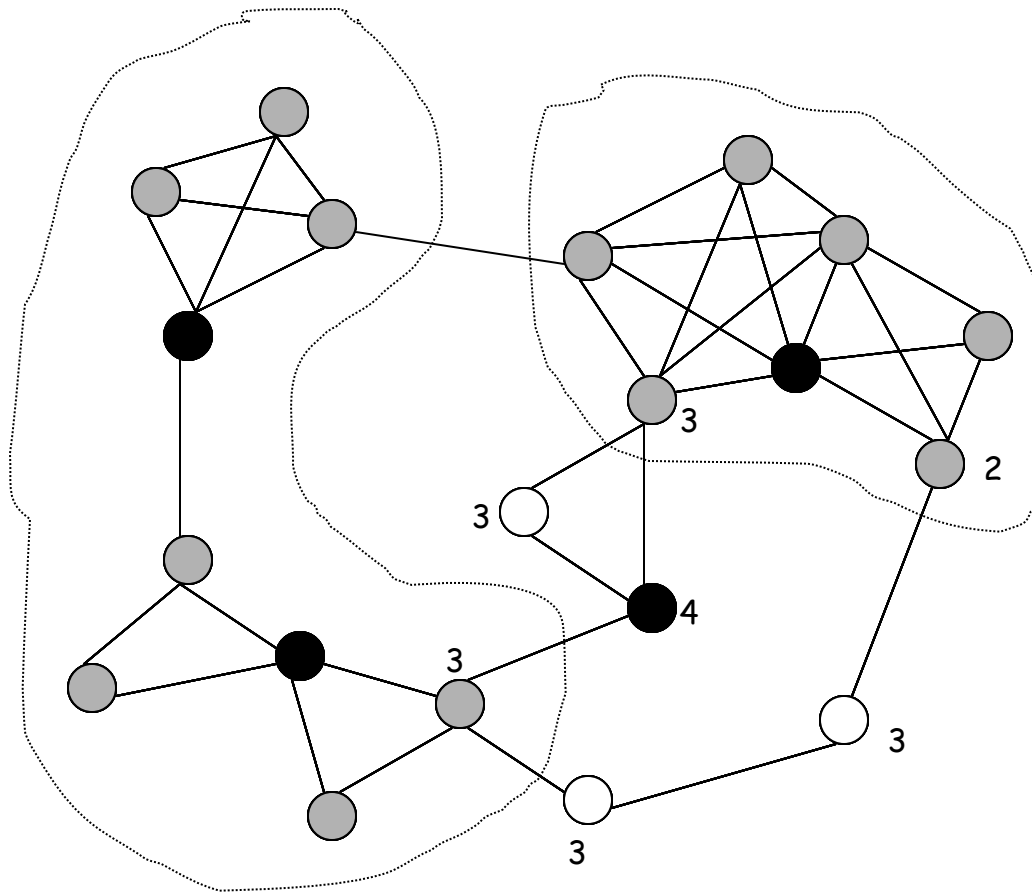
# Third Iteration

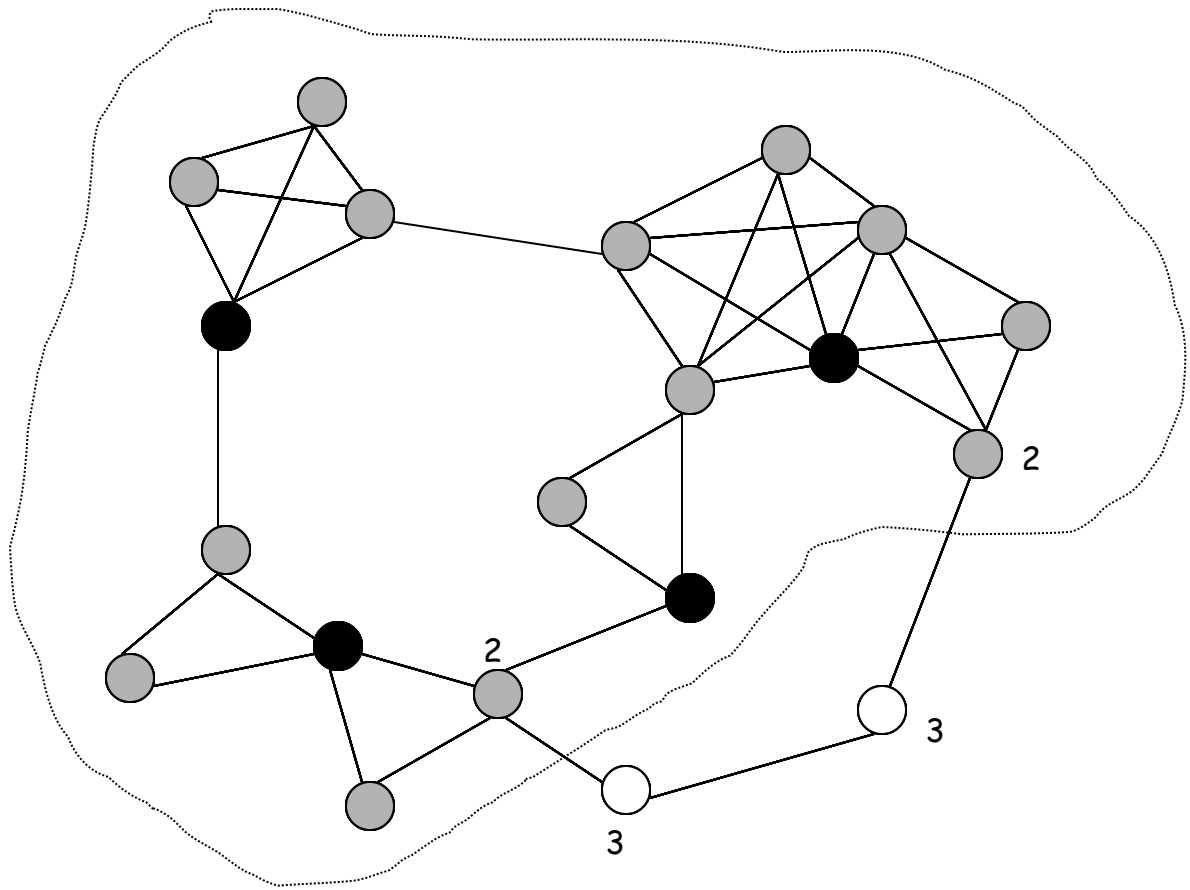




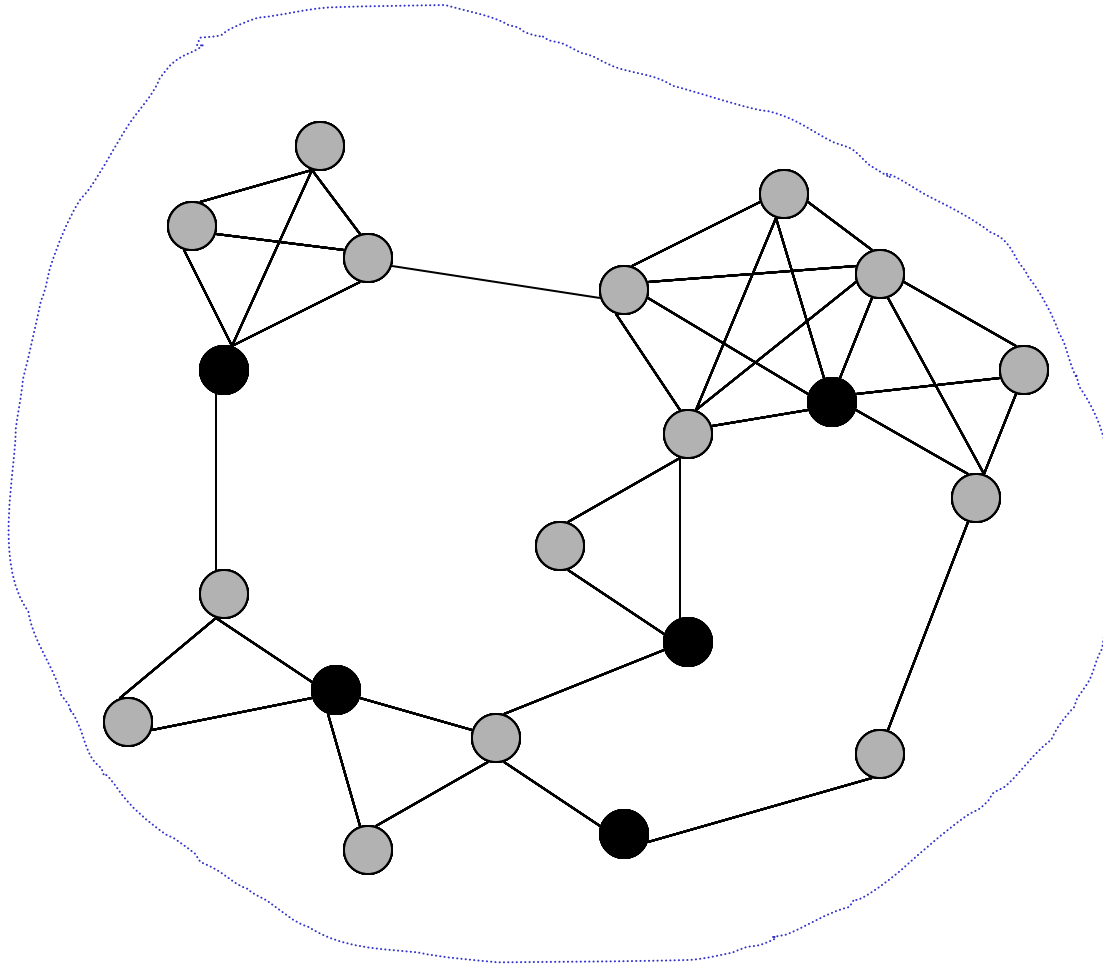


# Fourth Iteration





# Last Iteration



# Επίδοση του WCDS

- Το μέγεθος του weakly-connected dominating set που σχηματίζεται από τον Αλγόριθμο I είναι το πολύ  $(\ln\Delta+1) |\mathbf{OPT}|$
- OPT συμβολίζει το ελάχιστο μέγεθος του weakly-connected dominating set για τον G
- $\Delta$  συμβολίζει το μέγιστο βαθμό του G

# Αλγόριθμος II (1/2)

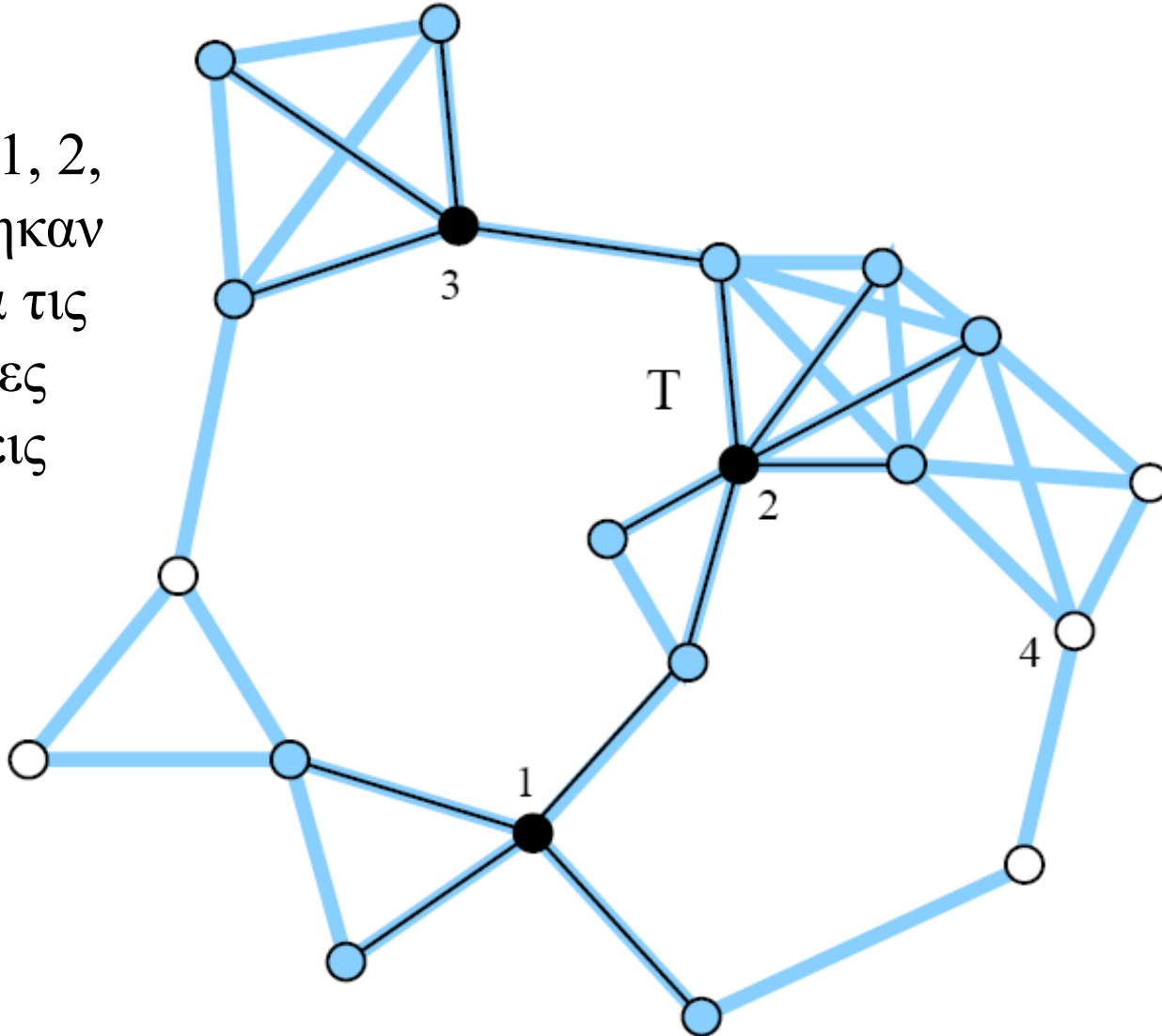
- Υπολογίζει το WCDS με σταδιακή επαύξηση ενός μόνο μαύρου κομματιού  $T$
- Ο αλγόριθμος ξεκινά με την επιλογή ενός τυχαίου κόμβου του  $G$  για να τον χρωματίσει black
- Στις επόμενες επαναλήψεις, επιλέγεται να χρωματιστεί black ο υποψήφιος κόμβος με τον μεγαλύτερο αριθμό white κόμβων στην γειτονιά του
- Οι υποψήφιοι κόμβοι είναι οι gray κόμβοι του  $T$  και οι white κόμβοι που είναι προσκείμενοι σ' αυτούς τους gray

## Αλγόριθμος II (2/2)

- Σε κάθε επανάληψη, ο αλγόριθμος εξετάζει όλους αυτούς τους υποψηφίους κόμβους
- Για κάθε υποψήφιο κόμβο  $u$ , ο αλγόριθμος μετρά τον αριθμό των white κόμβων που βρίσκονται στην “κλειστή” γειτονιά του  $u$
- Εάν επιλεγεί ο  $u$ , αυτοί οι white θα προστεθούν στο  $T$
- Τελικά, επιλέγεται εκείνος ο υποψήφιος  $u$  με τον μεγαλύτερο αριθμό από αυτούς τους white
- Στην επόμενη διαφάνεια βλέπουμε τον αλγόριθμο μετά την τρίτη επανάληψη
- Το μέγεθος του weakly-connected dominating set είναι το πολύ  $(\lg \Delta + 2) |OPT|$

# Παράδειγμα Αλγορίθμου II

Οι κόμβοι 1, 2, 3 προστέθηκαν στο T κατά τις τρεις πρώτες επαναλήψεις



# Αλγόριθμοι III και IV

- Σε ad hoc δίκτυα, ο mobile host δεν γνωρίζει τη δομή του δικτύου πέρα από τη γειτονιά της
- Distributed εκδόσεις των Αλγορίθμων I και II
- Εξακολουθούν να είναι κληρονομικά ακολουθιακοί, αφού μόνο ένας κόμβος μπορεί να χρωματιστεί black σε κάθε επανάληψη
- Πώς? Χτίζουμε ένα rooted spanning tree και επιλέγουμε την κορυφή του ως διαιτητή για να αποστέλει μηνύματα και να κατευθύνει τις επιλογές εκτέλεσης των αλγορίθμων
- Στέλνει μήνυμα διαμέσου του spanning tree για αναζήτηση του κόμβου με την “καλύτερη” βελτίωση
- Μαζεύει τις απαντήσεις με convergecast, στέλνει unicast στον επιλεγθέντα κόμβο

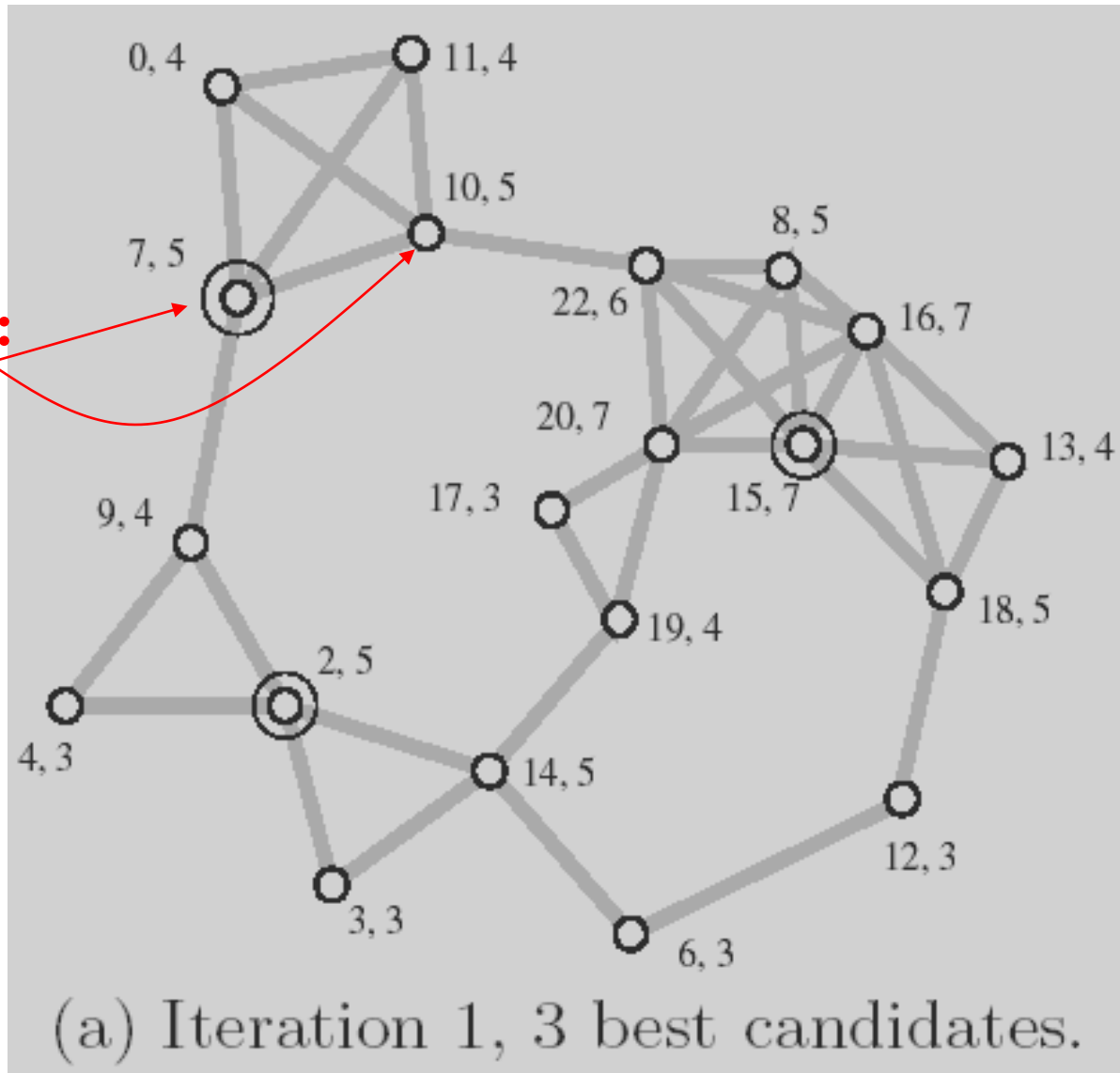


# Αλγόριθμος V

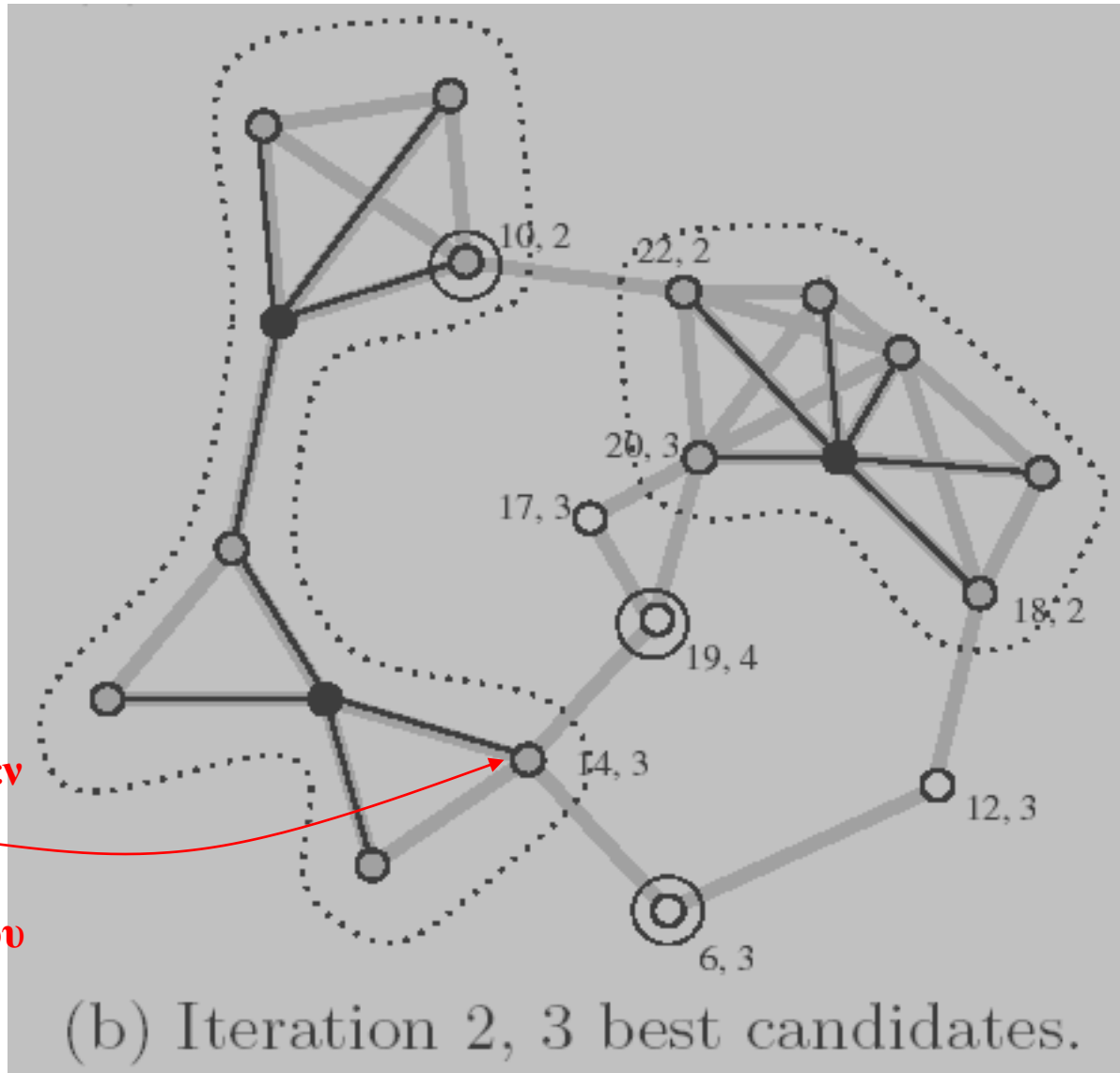
- Πλήρως distributed προσέγγιση
- Επέκταση πολλαπλών black pieces παράλληλα
- Σε κάθε επανάληψη, κάθε piece υπολογίζει τους δικούς του υποψήφιους
- Ένας υποψήφιος κόμβος είναι είτε gray κόμβος ή white κόμβος προσκείμενος σε κάποιο gray κόμβο
- Κάθε piece επιλέγει από τους δικούς του υποψήφιους κόμβους τον υποψήφιο με το μεγαλύτερο improvement και τον χρωματίζει black καθώς και τους γείτονές του gray
- Ένα black piece μπορεί να έχει περισσότερους από έναν υποψηφίους, ενώ ένα white έχει μόνο έναν, τον εαυτό του

# Πρώτη επανάληψη

**Break ties:  
lower ID**



## Δεύτερη επανάληψη



Ο κόμβος 14 δεν έχει το largest improvement στη γειτονιά του