

UNIVERSITY OF THESSALY



COMPLEX NETWORKS

ECE434

Problem Set 1

Authors:

Lefkopoulou Eleni-Maria - 2557

Karanika Athanasia - 2530

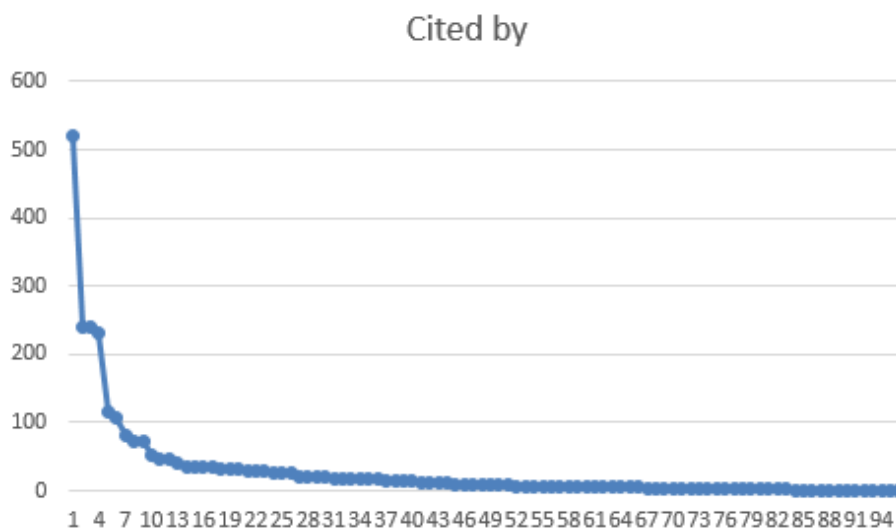
April 11, 2021

Πρόβλημα 01

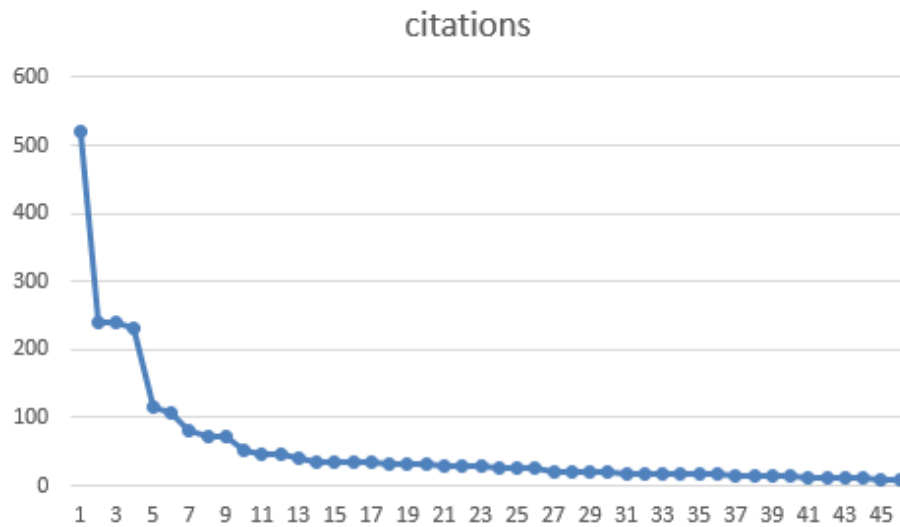
Για το μέλος ΔΕΠ του Τμήματός μας που αναλάβαμε, δηλαδή τον Δημήτριο Κατσαρό εκτελέσαμε τα παρακάτω :

- εξάγαμε την γραφική παράσταση της κατανομής του αριθμού **citations** των άρθρων του μέλους
- υπολογίσαμε τον **εκθέτη** του δυναμο-νόμου της καμπύλης

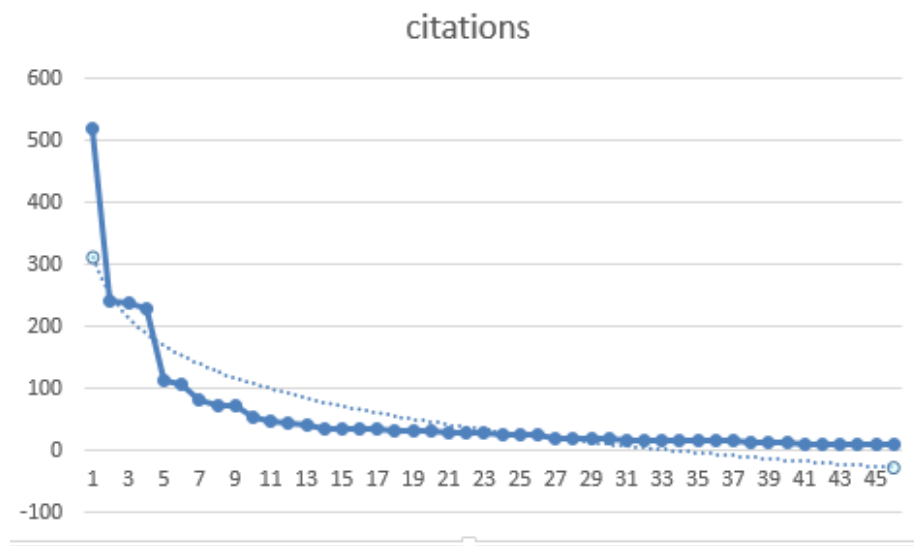
Αρχικά εξάγαμε τα δεδομένα σύμφωνα με τα citations των άρθρων του διδάσκοντα σε ένα excel file και με τη βοήθειά των εργαλείων του σχεδιάσαμε την παρακάτω γραφική :



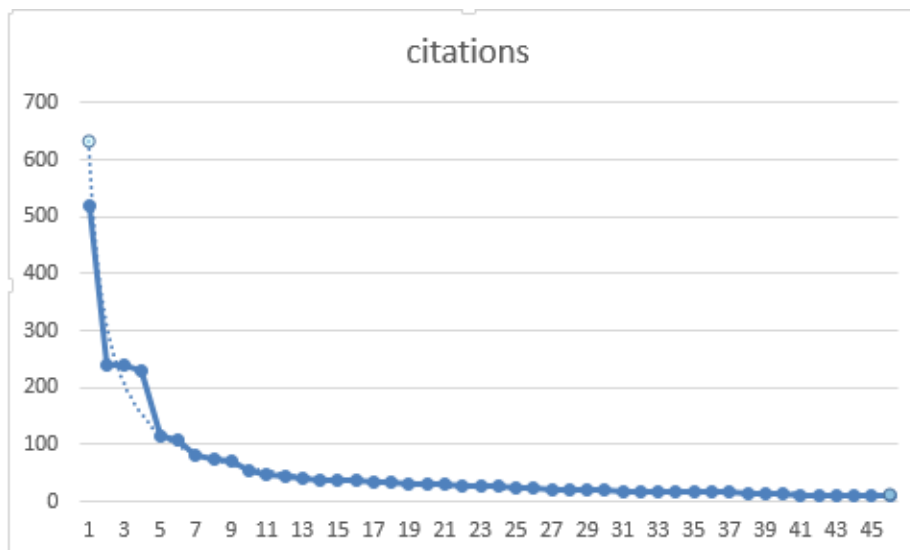
Παίρνοντας τα στοιχεία που είχαν citation το πολύ μέχρι 10 εξαγάγαμε ένα αποτέλεσμα πιο κοντά σε power law :



Παρατηρούμε ότι η γραφική ταιριάζει με τη λογαριθμική γραμμή τάσης:



καθώς και λίγο παραπάνω με τη γραμμή τάσης δύναμης:

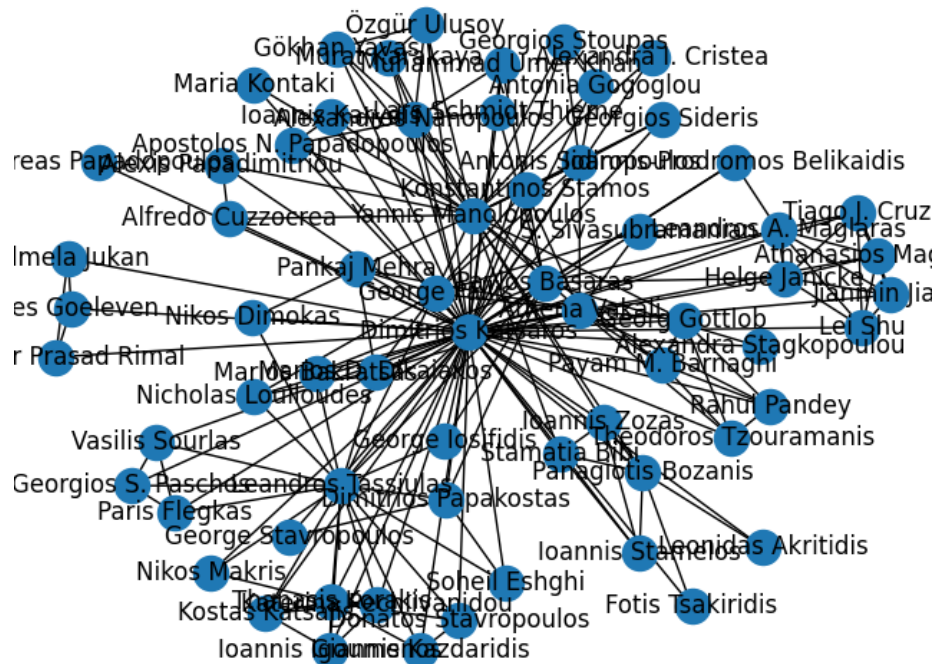


Έπειτα κάνοντας τη χρήση ενός κώδικα python υπολογίσαμε τον εκθέτη του δυναμονόμου της καμπύλης. Πιο συγκεκριμένα ο εκθέτης είναι $\alpha = 2.09$

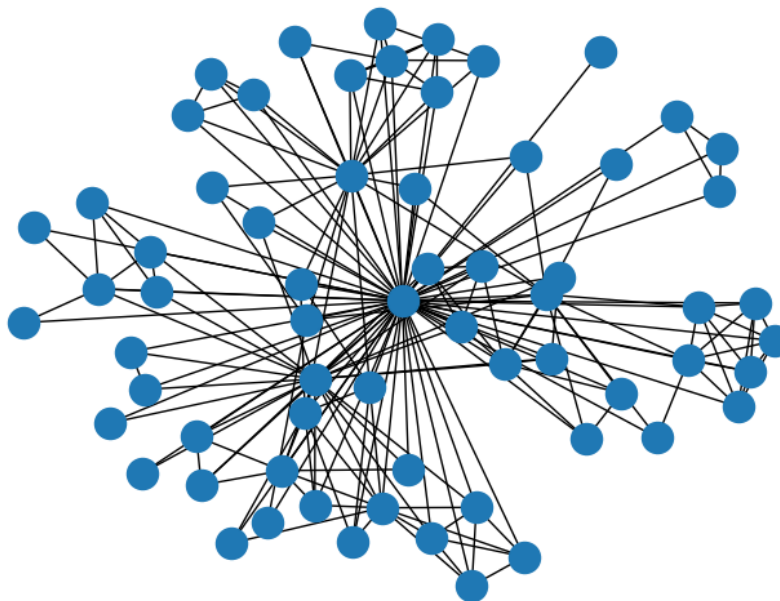
Πρόβλημα 02

Στο δίκτυο των co-authors για το μέλος ΔΕΠ του Τμήματός μας που μας ανατέθηκε για τα έτη 2000-2019 δηλαδή τον Δημήτριο Κατσαρό κατασκευάσαμε ένα δίκτυο-γράφο ως εξής : ο Κατσαρός Δημήτριος έχει συμμετάσχει σε συγγράφει κάποια άρθρα είτε ατομικά είτε ομαδικά. Για κάθε συγγραφέα ενός άρθρου που εμφανίζεται πρώτη φορά προσθέτουμε έναν νέο κόμβο στο δίκτυο με το όνομά του. Για τα άτομα που εμφανίζονται στο ίδιο άρθρο προστίθεται μια νέα ακμή που αντιστοιχεί στη συνεργασία τους. Έτσι μόλις κατασκευαστεί το δίκτυο ως μη κατευθυνόμενο γράφημα θα έχει την εξής μορφή :

Γράφος με τα ονόματα των κόμβων



Γράφος χωρίς τα ονόματα των κόμβων



Είναι δηλαδή ένα δίκτυο 65 κόμβων και 202 ακμών.

Μπορούμε τώρα με κώδικα python να υπολογίσουμε αυτά που ζητούνται.

- **Local clustering coefficient (lcc)** κάθε κόμβου των άρθρων του μέλους.

Όσον αφορά τη local clustering coefficient πρόκειται για μια μετρική που υπολογίζεται ως εξής : εάν ο κόμβος i έχει k_i άμεσους γείτονες C_i είναι το κλάσμα των πραγματικών συνδέσεων των γειτόνων προς τον αριθμό των συνολικών δυνατών $k_i(k_i-1) / 2$ συνδέσεων που μπορεί να υπάρξουν μεταξύ των γειτόνων του i . Μπορώ να βρώ τη local clustering coefficient για κάθε κόμβο ξεχωριστά. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές που υπολογίτηκαν για το δίκτυο μας. Στην πρώτη στήλη βλέπουμε τα διάφορα ονόματα των αρθρογράφων και στη δεύτερη τις τιμές lcc που αντιστοιχούν στον καθένα.

NAME	LCC
Georgios Stoupas	1.0
Antonis Sidiropoulos	0.6071428571428571
Dimitrios Katsaros	0.06746031746031746
Yannis Manolopoulos	0.17753623188405798
Dimitrios Papakostas	0.6
Leandros Tassioulas	0.20526315789473684
Soheil Eshghi	1.0
Pavlos Basaras	0.2878787878787879
George Iosifidis	1.0
George Stavropoulos	1.0
Payam M. Barnaghi	0.8666666666666667
Georg Gottlob	0.8666666666666667
Rahul Pandey	1.0
Theodoros Tzouramanis	1.0
Athena Vakali	0.4393939393939394
Marios Bakratsas	1.0
Leandros A. Maglaras	0.6785714285714286
Lei Shu	1.0
Athanasios Maglaras	1.0
Jianmin Jiang	1.0
Helge Janicke	0.8095238095238095

Continued on next page

Table 1 – *Continued from previous page*

NAME	LCC
Tiago J. Cruz	1.0
Antonia Gogoglou	1.0
Georgios Sideris	1.0
Ioannis Zozas	0.9
Stamatia Bibi	0.9
Panagiotis Bozanis	0.5238095238095238
Ioannis Stamelos	1.0
Ioannis-Prodromos Belikaidis	1.0
Alexandra I. Cristea	1.0
Alexandra Stagkopoulou	1.0
Muhammad Umer Khan	1.0
Lars Schmidt-Thieme	1.0
Alexandros Nanopoulos	0.4666666666666667
Katerina Pechlivanidou	1.0
Kostas Katsalis	1.0
Ioannis Igoumenos	1.0
Thanasis Korakis	0.6071428571428571
Nikos Makris	1.0
Nikos Dimokas	0.6666666666666666
Alfredo Cuzzocrea	1.0
Alexis Papadimitriou	1.0
Leonidas Akritidis	1.0
Donatos Stavropoulos	1.0
Giannis Kazdaridis	1.0
Vasilis Sourlas	1.0
Paris Flegkas	1.0
Georgios S. Paschos	1.0
Bhaskar Prasad Rimal	1.0
Admela Jukan	1.0
Yves Goeleven	1.0
George Pallis	0.4888888888888889
S. Sivasubramanian	1.0
Andreas Papadopoulos	0
Konstantinos Stamos	1.0
Marios D. Dikaiakos	0.7333333333333333

Continued on next page

Table 1 – *Continued from previous page*

NAME	LCC
Pankaj Mehra	1.0
Nicholas Loulloudes	1.0
Ioannis Karydis	1.0
Apostolos N. Papadopoulos	1.0
Maria Kontaki	1.0
Fotis Tsakiridis	1.0
Gökhan Yavas	1.0
Özgür Ulusoy	1.0
Murat Karakaya	1.0

- **Clustering coefficient** του δικτύου (και ως average του lcc, αλλά και ως network transitivity)

Η **clustering coefficient** είναι μια μετρική της τοπικής αλληλοσύνδεσης και υπολογίζεται ως το μέσο όρο των lcc. (Όσον αφορά τον υπολογισμό ως **average των lcc**)

Η **transitivity** ενός γραφήματος βασίζεται στον σχετικό αριθμό τριγώνων στο γράφημα, σε σύγκριση με τον συνολικό αριθμό των συνδεδεμένων τριγώνων των κόμβων.

Με άλλα λόγια η cc είναι ο αριθμητικός μέσος των lcc ενώ η transitivity είναι ο βεβαρημένος μέσος όρος των lcc.

Αυτό που ισχύει για τις 2 αυτές μετρικές είναι πως για γραφήματα όπου όλοι οι κόμβοι έχουν τον ίδιο βαθμό ή όλοι οι κόμβοι έχουν τον ίδιο lcc αυτές οι σταθερές θα ισούνται αλλιώς έχουν διαφορετική τιμή. Πιο αναλυτικά ο ορισμός του cc έχει το μειονέκτημα ότι τείνει να κυριαρχείται από κορυφές με χαμηλό βαθμό, δεδομένου ότι έχουν μικρό αριθμό πιθανών ζευγαριών γειτόνων (ο παρονομαστής lcc). Συγκεκριμένα, ένας κόμβος με δύο μόνο γείτονες που συνδέονται μεταξύ τους έχει τοπικό σύμπλεγμα. Για το λόγο αυτό, ο cc είναι, γενικά, υψηλότερος από την transitivity. Συμπερασματικά, για δίκτυα με σημαντικό αριθμό κορυφών με χαμηλό βαθμό, ο cc δίνει μια μάλλον κακή εικόνα των συνολικών ιδιοτήτων του δικτύου.

Αυτό παρατηρείται και στο δικό μας δίκτυο καθώς οι 2 τιμές έχουν αρκετά μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους. Παρακάτω φαίνονται οι τιμές αυτές.


```
Clustering coefficient as average of lcc:  
0.8598863353783261
```

```
Clustering coefficient as network transitivity :  
0.23084170854271358
```

- **Characteristic Path Length**

Πρόκειται για το μέσο μήκος από το σύνολο των συντομοτέρων μονοπατιών που συνδέει κάθε ζεύγος κόμβων στο γράφημα. Για το γράφημά μας η τιμή αυτή είναι η ακόλουθη :

```
Characteristic Path Length of graph :  
1.9038461538461537
```

Πρόβλημα 03

Για το παραπάνω δίκτυο θέλουμε να υπολογιστούν τα εξής για κάθε κόμβο του δικτύου :

- **Degree centrality:**

Ορίζεται ως ο αριθμός συνδέσμων που εμφανίζονται σε έναν κόμβο. Παρακάτω φαίνονται οι Degree centrality των κόμβων του δικτύου μας.

NAME	DEGREE CENTRALITY
Georgios Stoupas	0.0625
Antonis Sidiropoulos	0.125
Dimitrios Katsaros	1.0
Yannis Manolopoulos	0.375
Dimitrios Papakostas	0.078125
Leandros Tassiulas	0.3125
Soheil Eshghi	0.046875
Pavlos Basaras	0.1875
George Iosifidis	0.046875
George Stavropoulos	0.03125
Payam M. Barnaghi	0.09375
Georg Gottlob	0.09375
Rahul Pandey	0.078125

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

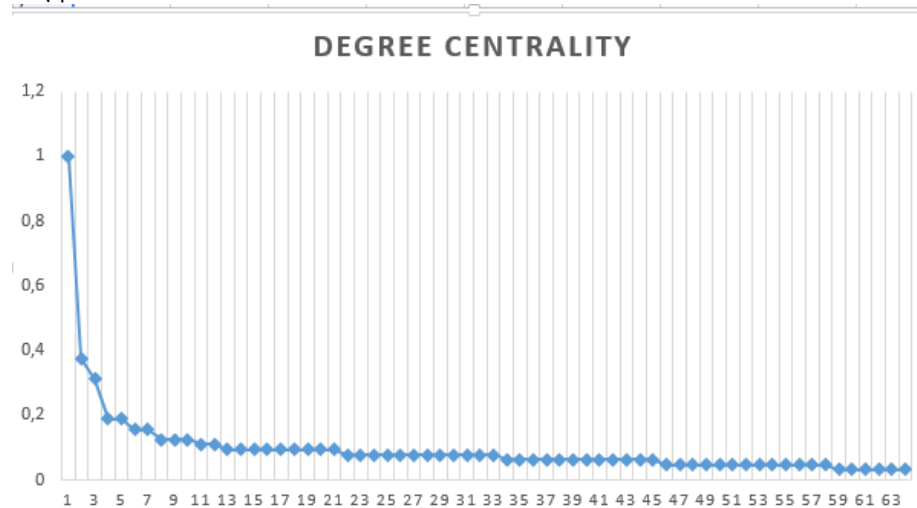
NAME	DEGREE CENTRALITY
Theodoros Tzouramanis	0.078125
Athena Vakali	0.1875
Marios Bakratsas	0.046875
Leandros A. Maglaras	0.125
Lei Shu	0.09375
Athanasios Maglaras	0.09375
Jianmin Jiang	0.09375
Helge Janicke	0.109375
Tiago J. Cruz	0.09375
Antonia Gogoglou	0.0625
Georgios Sideris	0.046875
Ioannis Zozas	0.078125
Stamatia Bibi	0.078125
Panagiotis Bozani	0.109375
Ioannis Stamelos	0.09375
Ioannis-Prodrornos Belikaidis	0.046875
Alexandra I. Cristea	0.03125
Alexandra Stagkopoulou	0.03125
Muhammad Umer Khan	0.0625
Lars Schmidt-Thieme	0.0625
Alexandros Nanopoulos	0.15625
Katerina Pechlivanidou	0.078125
Kostas Katsalis	0.078125
Ioannis Igoumenos	0.078125
Thanasis Korakis	0.125
Nikos Makris	0.046875
Nikos Dimokas	0.046875
Alfredo Cuzzocrea	0.046875
Alexis Papadimitriou	0.046875
Leonidas Akritidis	0.03125
Donatos Stavropoulos	0.0625
Giannis Kazdaridis	0.0625
Vasilis Sourlas	0.0625
Paris Flegkas	0.0625
Georgios S. Paschos	0.0625
Bhaskar Prasad Rimal	0.046875

Continued on next page

Table 2 – *Continued from previous page*

NAME	DEGREE CENTRALITY
Admela Jukan	0.046875
Yves Goeleven	0.046875
George Pallis	0.15625
S. Sivasubramanian	0.046875
Andreas Papadopoulos	0.015625
Konstantinos Stamos	0.078125
Marios D. Dikaiakos	0.09375
Pankaj Mehra	0.0625
Nicholas Loulloudes	0.09375
Ioannis Karydis	0.0625
Apostolos N. Papadopoulos	0.0625
Maria Kontaki	0.03125
Fotis Tsakiridis	0.03125
Gökhan Yavas	0.078125
Özgür Ulusoy	0.078125
Murat Karakaya	0.078125

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των Degree centrality για τους κόμβους.



- **Closeness centrality:**

Η closeness centrality είναι ένα μέτρο για την κεντρικότητα υ-

πολογιζόμενο ως το άθροισμα του μήκους των μικρότερων διαδρομών μεταξύ του κόμβου και όλων των άλλων κόμβων στο γράφημα. Έτσι όσο πιο κεντρικός είναι ένας κόμβος, τόσο πιο κοντά είναι σε όλους τους άλλους κόμβους. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι closeness centrality για τους κόμβους του δικτύου μας.

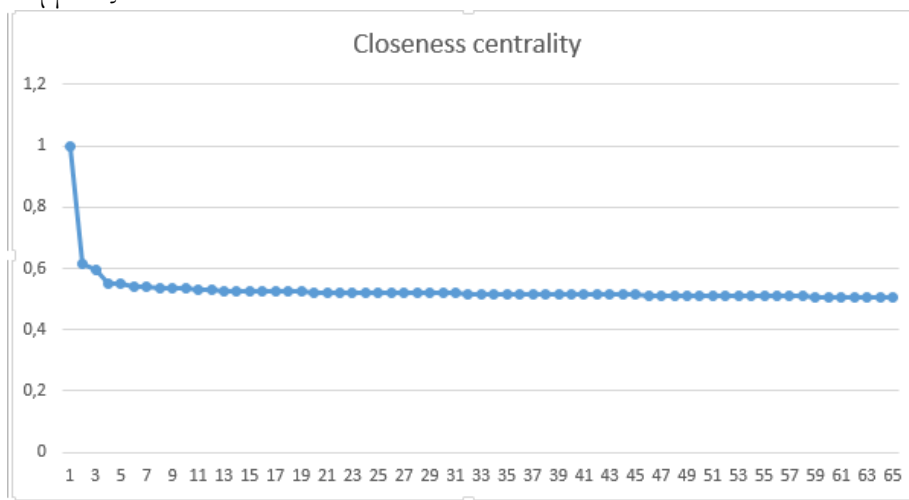
NAME	CLOSENESS CENTRALITY
Georgios Stoupas	0.5161290322580645
Antonis Sidiropoulos	0.5333333333333333
Dimitrios Katsaros	1.0
Yannis Manolopoulos	0.6153846153846154
Dimitrios Papakostas	0.5203252032520326
Leandros Tassiulas	0.5925925925925926
Soheil Eshghi	0.512
Pavlos Basaras	0.5517241379310345
George Iosifidis	0.512
George Stavropoulos	0.5079365079365079
Payam M. Barnaghi	0.5245901639344263
Georg Gottlob	0.5245901639344263
Rahul Pandey	0.5203252032520326
Theodoros Tzouramanis	0.5203252032520326
Athena Vakali	0.5517241379310345
Marios Bakratsas	0.512
Leandros A. Maglaras	0.5333333333333333
Lei Shu	0.5245901639344263
Athanasios Maglaras	0.5245901639344263
Jianmin Jiang	0.5245901639344263
Helge Janicke	0.5289256198347108
Tiago J. Cruz	0.5245901639344263
Antonia Gogoglou	0.5161290322580645
Georgios Sideris	0.512
Ioannis Zozas	0.5203252032520326
Stamatia Bibi	0.5203252032520326
Panagiotis Bozanis	0.5289256198347108
Ioannis Stamelos	0.5161290322580645
Ioannis-Prodromos Belikaidis	0.512
Alexandra I. Cristea	0.5079365079365079

Continued on next page

Table 3 – *Continued from previous page*

NAME	CLOSENESS CENTRALITY
Alexandra Stagkopoulou	0.5079365079365079
Muhammad Umer Khan	0.5161290322580645
Lars Schmidt-Thieme	0.5161290322580645
Alexandros Nanopoulos	0.5423728813559322
Katerina Pechlivanidou	0.5203252032520326
Kostas Katsalis	0.5203252032520326
Ioannis Igoumenos	0.5203252032520326
Thanasis Korakis	0.5333333333333333
Nikos Makris	0.512
Nikos Dimokas	0.512
Alfredo Cuzzocrea	0.512
Alexis Papadimitriou	0.512
Leonidas Akritidis	0.5079365079365079
Donatos Stavropoulos	0.5161290322580645
Giannis Kazdaridis	0.5161290322580645
Vasilis Sourlas	0.5161290322580645
Paris Flegkas	0.5161290322580645
Georgios S. Paschos	0.5161290322580645
Bhaskar Prasad Rimal	0.512
Admela Jukan	0.512
Yves Goeleven	0.512
George Pallis	0.5423728813559322
S. Sivasubramanian	0.512
Andreas Papadopoulos	0.5039370078740157
Konstantinos Stamos	0.5203252032520326
Marios D. Dikaiakos	0.5245901639344263
Pankaj Mehra	0.5161290322580645
Nicholas Loulloudes	0.5161290322580645
Ioannis Karydis	0.5161290322580645
Apostolos N. Papadopoulos	0.5161290322580645
Maria Kontaki	0.5079365079365079
Fotis Tsakiridis	0.5079365079365079
Gökhan Yavas	0.5203252032520326
Özgür Ulusoy	0.5203252032520326
Murat Karakaya	0.5203252032520326

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των Closeness centrality για τους κόμβους.



- **(Shortest-Path) Betweenness centrality :**

Ο SPBC δείκτης ενός κόμβου είναι ίσος με το κλάσμα του αριθμού των συντομότερων μονοπατιών μεταξύ ζευγών κόμβων που περνάνε από τον κόμβο αυτό, προς το συνολικό αριθμό συντομότερων μονοπατιών μεταξύ του ζεύγους των δυο κόμβων. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις SPBC τιμές για κάθε κόμβο.

NAME	BETWEENNESS CENTRALITY
Georgios Stoupas	0.0
Antonis Sidiropoulos	0.0018187830687830685
Dimitrios Katsaros	0.802455357142857
Yannis Manolopoulos	0.05431547619047617
Dimitrios Papakostas	0.0009093915343915343
Leandros Tassiulas	0.0361276455026455
Soheil Eshghi	0.0
Pavlos Basaras	0.0113260582010582
George Iosifidis	0.0
George Stavropoulos	0.0
Payam M. Barnaghi	0.000248015873015873
Georg Gottlob	0.000248015873015873
Rahul Pandey	0.0

Continued on next page

Table 4 – *Continued from previous page*

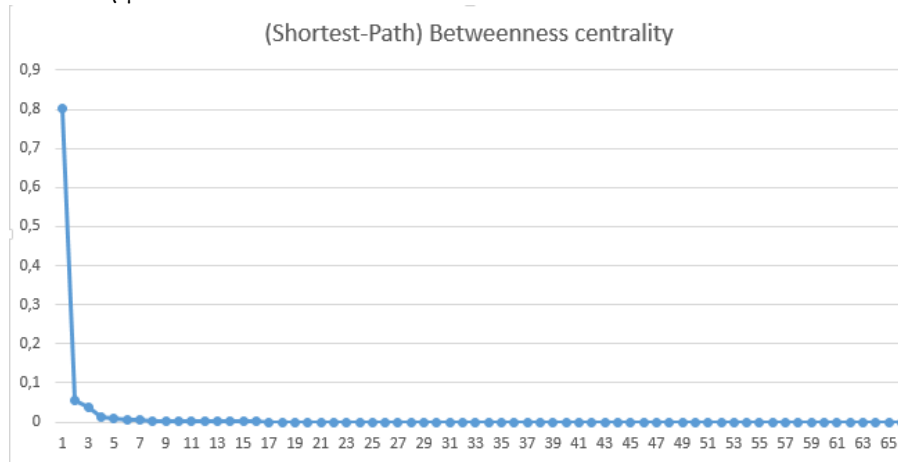
NAME	BETWEENNESS CENTRALITY
Theodoros Tzouramanis	0.0
Athena Vakali	0.007523148148148149
Marios Bakratsas	0.0
Leandros A. Maglaras	0.0018187830687830685
Lei Shu	0.0
Athanasios Maglaras	0.0
Jianmin Jiang	0.0
Helge Janicke	0.0006613756613756613
Tiago J. Cruz	0.0
Antonia Gogoglou	0.0
Georgios Sideris	0.0
Ioannis Zozas	0.0001240079365079365
Stamatia Bibi	0.0001240079365079365
Panagiotis Bozanis	0.0023561507936507935
Ioannis Stamelos	0.0
Ioannis-Prodrornos Belikaidis	0.0
Alexandra I. Cristea	0.0
Alexandra Stagkopoulou	0.0
Muhammad Umer Khan	0.0
Lars Schmidt-Thieme	0.0
Alexandros Nanopoulos	0.005456349206349207
Katerina Pechlivanidou	0.0
Kostas Katsalis	0.0
Ioannis Igoumenos	0.0
Thanasis Korakis	0.0018187830687830685
Nikos Makris	0.0
Nikos Dimokas	0.00016534391534391533
Alfredo Cuzzocrea	0.0
Alexis Papadimitriou	0.0
Leonidas Akritidis	0.0
Donatos Stavropoulos	0.0
Giannis Kazdaridis	0.0
Vasilis Sourlas	0.0
Paris Flegkas	0.0
Georgios S. Paschos	0.0
Bhaskar Prasad Rimal	0.0

Continued on next page

Table 4 – *Continued from previous page*

NAME	BETWEENNESS CENTRALITY
Admela Jukan	0.0
Yves Goeleven	0.0
George Pallis	0.004381613756613756
S. Sivasubramanian	0.0
Andreas Papadopoulos	0.0
Konstantinos Stamos	0.0
Marios D. Dikaiakos	0.0006613756613756613
Pankaj Mehra	0.0
Nicholas Loulloudes	0.0
Ioannis Karydis	0.0
Apostolos N. Papadopoulos	0.0
Maria Kontaki	0.0
Fotis Tsakiridis	0.0
Gökhan Yavas	0.0
Özgür Ulusoy	0.0
Murat Karakaya	0.0

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των Betweenness centrality για τους κόμβους.



- **PCI centrality** : Ο PCI index ενός κόμβου είναι k ,αν δεν υπάρχουν περισσότεροι από k 1-hop γείτονες του κόμβου με βαθμό μεγαλύτερο από k .Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τις PCI centrality.

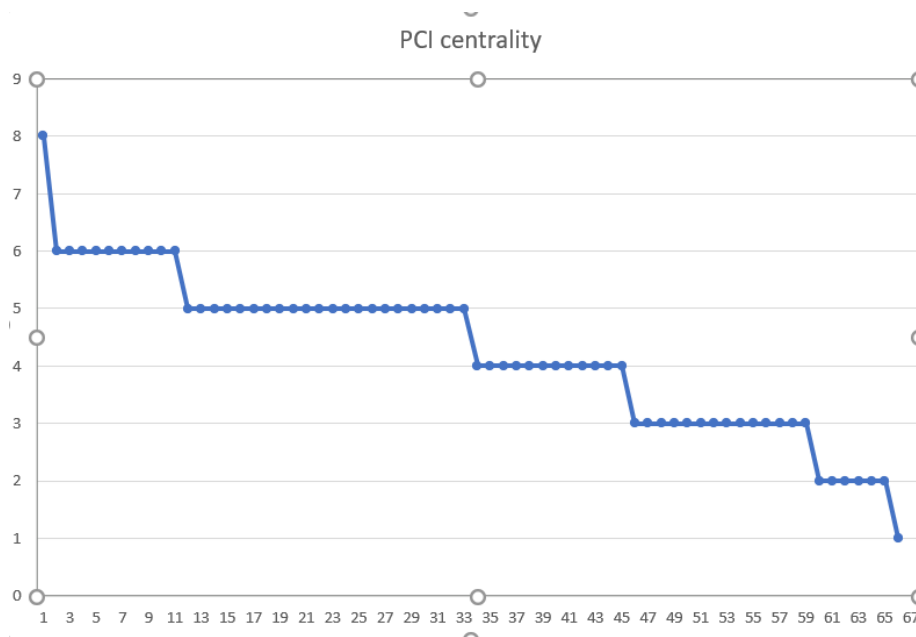
NAME	PCI CENTRALITY
Murat Karakaya	5
Georgios Stoupas	4
Antonis Sidiropoulos	5
Dimitrios Katsaros	8
Yannis Manolopoulos	6
Dimitrios Papakostas	3
Leandros Tassiulas	6
Soheil Eshghi	3
Pavlos Basaras	5
George Iosifidis	3
George Stavropoulos	2
Payam M. Barnaghi	5
Georg Gottlob	5
Rahul Pandey	5
Theodoros Tzouramanis	5
Athena Vakali	6
Marios Bakratsas	3
Leandros A. Maglaras	6
Lei Shu	6
Athanasios Maglaras	6
Jianmin Jiang	6
Helge Janicke	6
Tiago J. Cruz	6
Antonia Gogoglou	4
Georgios Sideris	3
Ioannis Zozas	5
Stamatia Bibi	5
Panagiotis Bozanis	5
Ioannis Stamelos	5
Ioannis-Prodromos Belikaidis	3
Alexandra I. Cristea	2
Alexandra Stagkopoulou	2
Muhammad Umer Khan	4
Lars Schmidt-Thieme	4
Alexandros Nanopoulos	5
Katerina Pechlivanidou	5

Continued on next page

Table 5 – *Continued from previous page*

NAME	PCI CENTRALITY
Kostas Katsalis	5
Ioannis Igoumenos	5
Thanasis Korakis	5
Nikos Makris	3
Nikos Dimokas	3
Alfredo Cuzzocrea	3
Alexis Papadimitriou	3
Leonidas Akritidis	2
Donatos Stavropoulos	4
Giannis Kazdaridis	4
Vasilis Surlas	4
Paris Flegkas	4
Georgios S. Paschos	4
Bhaskar Prasad Rimal	3
Admela Jukan	3
Yves Goeleven	3
George Pallis	6
S. Sivasubramanian	3
Andreas Papadopoulos	1
Konstantinos Stamos	5
Marios D. Dikaiakos	5
Pankaj Mehra	4
Nicholas Loulloudes	5
Ioannis Karydis	4
Apostolos N. Papadopoulos	4
Maria Kontaki	2
Fotis Tsakiridis	2
Gökhan Yavas	5
Özgür Ulusoy	5
Murat Karakaya	5

Παρακάτω φαίνεται η κατανομή των PCI centrality για τους κόμβους.



Συμπέρασμα :

Η κατανομή που ταιριάζει πιο πολύ σε power law είναι η degree centrality .

Η closeness centrality δεν ταιριάζει καθόλου αφού κατεβαίνει μέχρι το 0.5 και δεν μειώνεται περαιτέρω.

Η SPBC centrality πέφτει πολύ αποτομα και προσεγγίζει πιο πολύ από ότι μια powerlaw το μηδέν .

Η PCI centrality μειώνεται 'βηματικά' και δεν προσεγγίζει powerlaw