

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΑΘΗΝΩΝ**



**ATHENS UNIVERSITY  
OF ECONOMICS  
AND BUSINESS**

# AIR ROUTES NETWORK ANALYSIS

Network Science

Christos Charmantas

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	2
Επεξεργασία αρχικών δεδομένων .....	2
Εισαγωγή δεδομένων στο Gephi .....	3
Γράφος.....	4
Κόμβοι .....	7
Κεντρικότητα .....	15
Betweenness Centrality .....	15
Closeness Centrality .....	18
Harmonic Closeness Centrality .....	21
Eigenvector Centrality.....	24
Eccentricity .....	27
Clustering.....	30
Ομοφυλία .....	32
Graph Density .....	33
Πηγές .....	33

## Εισαγωγή

Μελετώντας την Ανάλυση Κοινωνικών Δικτύων, συνειδητοποιούμε ότι μπορούμε να εξάγουμε αρκετή γνώση από ένα σύνολο δεδομένων αν το αναπαραστήσουμε με την μορφή ενός κοινωνικού δικτύου. Με μία γρήγορη αναζήτηση στο διαδίκτυο μπορούμε να βρούμε ένα πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων για πολλούς διαφορετικούς τομείς (π.χ υγεία, άθληση, εγκληματολογία, μετεωρολογία κλπ). Η δική μου επιλογή ύστερα από πολλή αναζήτηση, πειραματισμό και σύγκριση δεδομένων ήταν ένα σύνολο δεδομένων αεροπορικών διαδρομών. Πρόκειται για τα δεδομένα παγκόσμιων πτήσεων έως το 2014. Το αρχικό αρχείο περιλαμβάνει 67663 διαδρομές ανάμεσα σε 3427 αεροδρόμια. Αποτελείται από 9 στήλες οι οποίες δίνουν πληροφορίες για κάθε διαδρομή.

### Στήλες:

- Airline: 2 γράμματα (IATA) ή 3 γράμματα (ICAO) κωδικός της αερογραμμής
- Airline ID: Μοναδικός αριθμός - κωδικός για την κάθε αερογραμμή
- Source Airport: 3 γράμματα (IATA) ή 4 γράμματα (ICAO) κωδικός του αεροδρομίου εκκίνησης
- Source Airport ID: Μοναδικός αριθμός – κωδικός για το αεροδρόμιο εκκίνησης
- Destination Airport: 3 γράμματα (IATA) ή 4 γράμματα (ICAO) κωδικός του αεροδρομίου προορισμού
- Destination Airport ID: Μοναδικός αριθμός – κωδικός για το αεροδρόμιο προορισμού
- Codeshare: “Y” αν η πτήση δεν εκτελείται από κάποια αερογραμμή
- Stops: Ο αριθμός των στάσεων της πτήσης
- Equipment: 3 γράμματα κωδικός για τον τύπο του αεροπλάνου που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη πτήση

Ένα δίκτυο αποτελείται από αντικείμενα και σχέσεις μεταξύ αυτών των αντικειμένων. Για τον λόγω αυτό, συνηθίζουμε να τα αναπαριστούμε με την μορφή γράφων. Ο δικός μας γράφος θα είναι κατευθυνόμενος με βάρη στις κορυφές αλλά και τις ακμές. Η κατεύθυνση μίας ακμής προκύπτει από το τα αεροδρόμια εκκίνησης και προορισμού, τα βάρη των κορυφών από το πλήθος των πτήσεων από και προς τα συγκεκριμένα αεροδρόμια και τα βάρη των ακμών από το πλήθος των πτήσεων ανάμεσα στα 2 αεροδρόμια που ενώνουν. Οι στάσεις δεν υπολογίζονται για πτήσεις από και προς ένα αεροδρόμιο, π.χ στην πτήση Αθήνα – Παρίσι μέσω Μιλάνου, το αεροδρόμιο του Μιλάνου δεν θα σχετίζεται με την πτήση.

## Επεξεργασία αρχικών δεδομένων

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εργασίας δεν θα χρειαστούμε όλες τις στήλες, αλλά μόνο τις Source Airport και Destination Airport. Το αρχικό αρχείο που βρήκα στο διαδίκτυο (<https://openflights.org/data.html>) είναι το routes.dat . Για την κατάλληλη επεξεργασία του χρειάστηκε να μετατραπεί σε csv μορφή το οποίο έγινε ανοίγοντας το dat αρχείο με το Microsoft Excel και στην συνέχεια αποθηκεύοντάς το με την μορφή csv. Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε ένα script σε γλώσσα python (routeCodes.py) το οποίο επεξεργάζεται το αρχείο csv, κρατάει μόνο τις επιθυμητές στήλες και παράγει το τελικό αρχείο SrcDesNames.csv το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε στο Gephi.

## Εισαγωγή δεδομένων στο Gephi

Δημιουργώντας ένα νέο workspace στο λογισμικό Gephi, εισάγουμε τα δεδομένα από το τελικό csv αρχείο και στο παράθυρο του "Import report" αλλάζουμε τον τύπο του γράφου σε κατευθυνόμενο.

Import report

Source: Stream ImporterSpreadsheetCSV

Issues Report

Nodes	Issues
<i>i</i> Parallel edges detected, remember to choose a merge strategy	INFO

Graph Type: Directed

More options...

☒ Auto-scale ☐ Create missing nodes ☒ Self-loops

Edges merge strategy: Sum

# of Nodes: 3427  
# of Edges: 67663

Dynamic Graph: no  
Dynamic Attributes: no  
Multi Graph: no

☒ New workspace  
☐ Append to existing workspace

OK Cancel

## Γράφος

### Οπτικοποίηση

Για την οπτικοποίηση του γράφου χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Radial Axis Layout από το plugin του Gephi Circular Layout με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:

Layout ×

Radial Axis Layout

i

Run

Layout Tuning

Scaling Width

1.2

Resize Nodes

☒

Node Size

100

Axis-Spar Control

Knockdown Axes/Spars

☐

Number of Axes/Spars

3

Knockdown Range

Middle Range

Node Placement

Group Nodes by

Modularity Class (Attribute)

Node Layout Direction

Counter Clockwise

Order Nodes in Spar/Axis by

Degree

Ascending Order of Spar/Axis

☐

Draw Spar/Axis as Spiral

☒

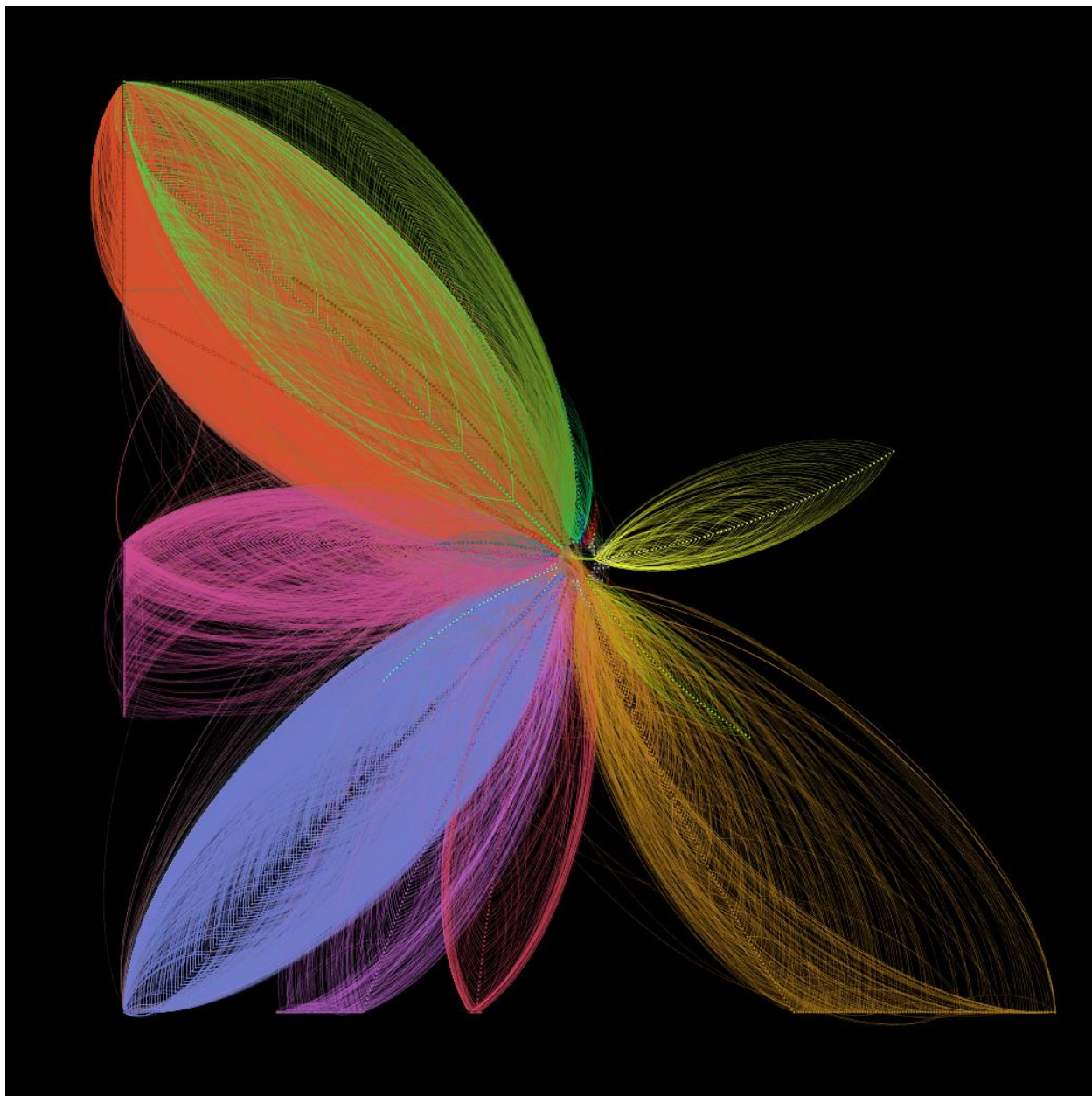
Transition

Enable Transition

☐

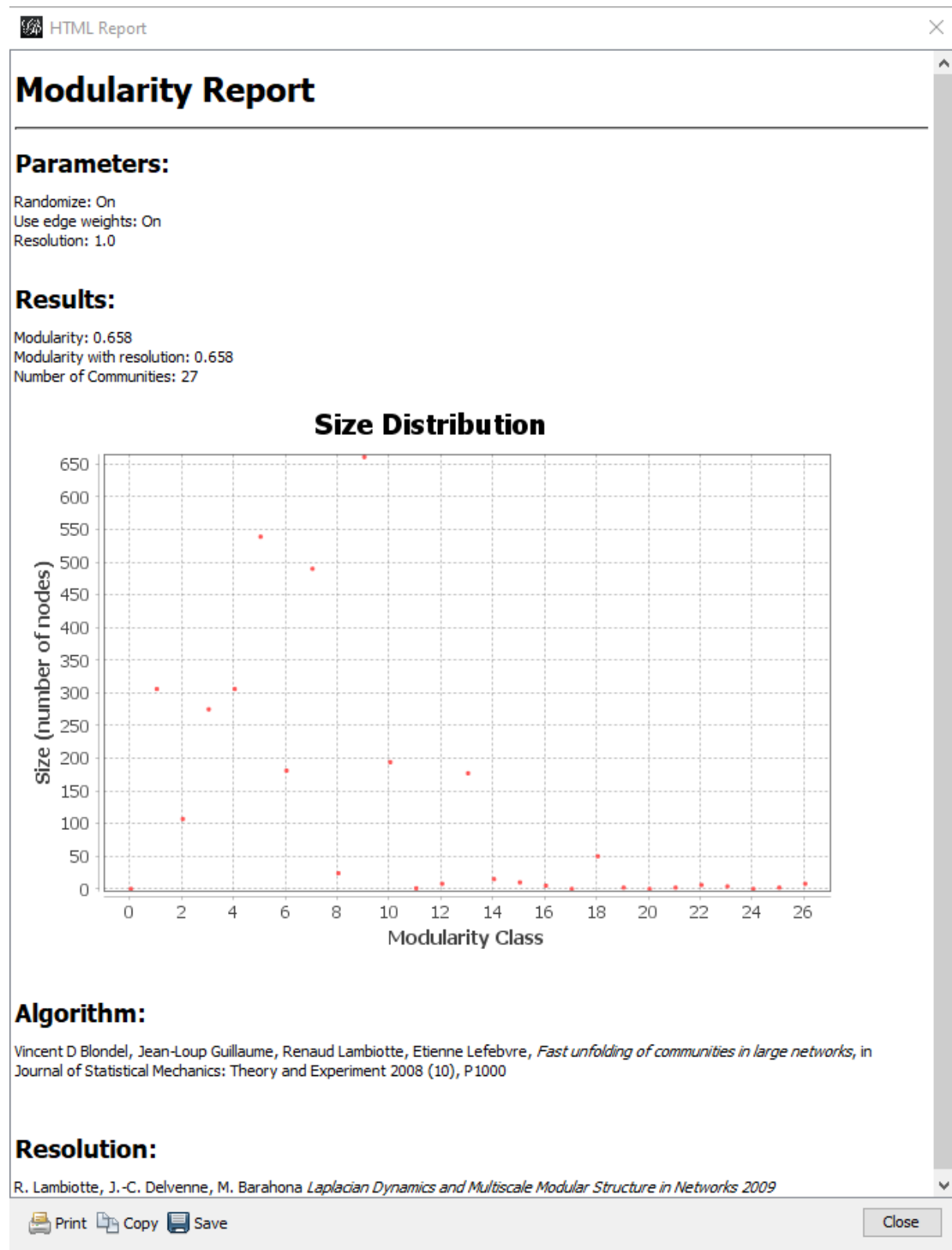
Transition Steps

100000.0



Η εικόνα του γράφου παρουσιάζεται σε μαύρο βάθος για να διακρίνονται ακόμη και οι λεπτές ακμές και κόμβοι. Στην συγκεκριμένη αναπαράσταση οι χρωματικές ομαδοποιήσεις έχουν γίνει βάσει του Modularity Class και όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο του γράφου, οι βαθμοί των κόμβων μικραίνουν. Βλέποντας τις ετικέτες των κόμβων καταλαβαίνουμε ότι τα αεροδρόμια κάθε ομάδας βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο δημιουργώντας έτσι περιοχές. Συγκεκριμένα θα οι χρωματικές ομάδες που βλέπουμε στον γράφο είναι περιοχές, όπως Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Λατινική Αμερική, Αλάσκα, Ασία, Μεσοποταμία, Αφρική κλπ. Ενδεικτικά η μπλε ομάδα περιέχει αεροδρόμια της βορείου Αμερικής με τους μεγαλύτερους βαθμούς να έχουν εκείνα της Αταλάντας, του Ορλάντο και του Ντάλας, η κόκκινη ομάδα περιέχει αεροδρόμια της Ευρώπης με τους μεγαλύτερους βαθμούς να έχουν η Φρανκφούρτη, το Παρίσι και το Άμστερνταμ και η πράσινη ομάδα είναι αεροδρόμια της Ασίας με μεγαλύτερο αυτό του

Πεκίνου. Θα δούμε όλα τα παραπάνω να επιβεβαιώνονται με τα στοιχεία και τις μετρικές που αναφέρονται παρακάτω.



Ο γράφος που σχηματίστηκε έχει 3427 κόμβους και 67663 ακμές. Οι ακμές είναι κατευθυνόμενες αφού αναπαριστούν πτήσεις μεταξύ αεροδρομίων. Η διάμετρος του γράφου είναι 14, δηλαδή στην χειρότερη περίπτωση για να πάει ένας ταξιδιώτης από ένα αεροδρόμιο σε ένα άλλο χρειάζεται 14 στάσεις. Το μήκος του μέσου μονοπατιού είναι 4.14620432933603, δηλαδή μία πτήση ανάμεσα σε 2 αεροδρόμια κάνει κατά μέσω όρο 4 στάσεις.



### Κόμβοι

Ο μέσος βαθμός των κόμβων είναι 10.970, δηλαδή κάθε αεροδρόμιο έχει κατά μέσο όρο 11 πτήσεις από και προς άλλα αεροδρόμια. Ο κόμβος με τον μεγαλύτερο βαθμό είναι το αεροδρόμιο με κωδικό FRA (αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης) με 477 πτήσεις από και προς αυτό. Με βάση αυτή την πληροφορία και τον παρακάτω πίνακα μπορούμε να κάνουμε πολλές υποθέσεις σχετικά με τον τουρισμό στις συγκεκριμένες χώρες – περιοχές, την δυναμική των αεροπορικών εταιριών που δραστηριοποιούνται στις συγκεκριμένες χώρες, αλλά μας δίνει και μία κατεύθυνση για το που μπορούμε να κοιτάξουμε για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το εμπόριο και τις υπηρεσίες που προσφέρει η κάθε περιοχή. Ο αριθμός των αδύναμων συνδέσεων είναι 9 ενώ των δυνατών συνδέσεων είναι 46. Δεν υπάρχει κάποια γιγάντια σύνδεση που να περιλαμβάνει όλους τους κόμβους.




## Οι 40 κόμβοι με τον μεγαλύτερο βαθμό ταξινομημένοι σε φθίνουσα σειρά:

Id	Label	Interval	Eccentricity	Closeness Centr...	Harmonic Closeness Centr...	Betweenness Centr...	Modularity Cl...	Component...	Strongly-Connecte...	In-Degree	Out-Degree	Degree
FRA	FRA		8.0	0.398937	0.454955	597736.592908	4	1	26	238	239	477
CDG	CDG		8.0	0.396408	0.452874	723184.714501	4	1	26	233	237	470
AMS	AMS		8.0	0.389055	0.444911	499964.201124	4	1	26	231	232	463
IST	IST		8.0	0.377276	0.433861	483108.347357	6	1	26	230	227	457
ATL	ATL		9.0	0.363548	0.417608	344528.698686	10	1	26	216	217	433
PEK	PEK		8.0	0.376267	0.431041	576260.118048	3	1	26	206	206	412
ORD	ORD		8.0	0.376897	0.426408	555899.656532	10	1	26	203	206	409
MUC	MUC		8.0	0.376309	0.42898	180704.553005	4	1	26	189	191	380
DME	DME		9.0	0.33967	0.392839	344782.552025	1	1	26	189	189	378
DFW	DFW		9.0	0.362884	0.411789	294566.866235	10	1	26	185	187	372
DXB	DXB		8.0	0.390044	0.441297	695608.701545	6	1	26	182	188	370
LHR	LHR		8.0	0.394832	0.444146	449889.083502	4	1	26	171	171	342
DEN	DEN		8.0	0.343435	0.386792	306738.473846	10	1	26	168	169	337
IAH	IAH		9.0	0.367985	0.417548	269121.991452	10	1	26	168	169	337
LGW	LGW		8.0	0.353724	0.402778	117434.002636	4	1	26	165	165	330
BCN	BCN		8.0	0.350894	0.400495	120670.895348	4	1	26	163	163	326
JFK	JFK		8.0	0.384187	0.432558	301964.239806	10	1	26	160	162	322
FCO	FCO		8.0	0.373273	0.421681	142609.950986	4	1	26	159	157	316
MAD	MAD		8.0	0.369596	0.420511	265569.199224	4	1	26	156	158	314
PVG	PVG		8.0	0.362067	0.409409	259241.696014	3	1	26	153	152	305
STN	STN		8.0	0.302951	0.347612	55377.365572	4	1	26	152	153	305
EWB	EWB		8.0	0.372326	0.418418	203847.539278	10	1	26	152	153	305
CAN	CAN		9.0	0.351186	0.398641	204068.930055	3	1	26	149	150	299
LAX	LAX		8.0	0.386208	0.42927	775462.550397	10	1	26	148	149	297
DUS	DUS		8.0	0.354392	0.401486	64588.193075	4	1	26	147	147	294
BRU	BRU		8.0	0.353502	0.401428	91505.035746	4	1	26	147	146	293
YYZ	YYZ		8.0	0.37978	0.424738	498430.600635	10	1	26	146	147	293
MAN	MAN		8.0	0.347893	0.39483	80706.171481	4	1	26	144	146	290
DUB	DUB		8.0	0.340149	0.385843	84110.939791	4	1	26	144	144	288
SVO	SVO		8.0	0.356449	0.403201	204500.786777	1	1	26	144	144	288
CLT	CLT		9.0	0.339397	0.383583	94775.206774	10	1	26	139	141	280
VIE	VIE		8.0	0.352211	0.398245	54032.729079	4	1	26	138	137	275
ZRH	ZRH		8.0	0.370123	0.416123	91446.510018	4	1	26	136	137	273
MIA	MIA		9.0	0.349876	0.396085	251536.230357	10	1	26	134	135	269
DTW	DTW		9.0	0.349297	0.392457	100025.145284	10	1	26	134	135	269
HKG	HKG		9.0	0.367425	0.416234	325967.391018	3	1	26	134	133	267
LAS	LAS		9.0	0.34382	0.385286	144255.918076	10	1	26	133	133	266
ICN	ICN		9.0	0.370651	0.418148	316605.443888	3	1	26	131	131	262
MSP	MSP		9.0	0.341905	0.381747	157002.01964	10	1	26	130	130	260
PMI	PMI		8.0	0.312801	0.356806	42973.774713	4	1	26	126	126	252
SIN	SIN		8.0	0.349912	0.399081	365969.366412	3	1	26	125	125	250

Οι 40 ακμές με τον μεγαλύτερο βαθμό ταξινομημένες σε φθίνουσα σειρά:

Source	Target	Type	Id	Label	Interval	Weight
ORD	ATL	Directed	142978			20.0
ATL	ORD	Directed	141450			19.0
HKT	BKK	Directed	139719			13.0
ORD	MSY	Directed	143051			13.0
ATL	MIA	Directed	141449			12.0
AUH	MCT	Directed	141463			12.0
DOH	BAH	Directed	142093			12.0
JFK	LHR	Directed	142371			12.0
LHR	JFK	Directed	142597			12.0
MIA	ATL	Directed	142751			12.0
CAN	HGH	Directed	145999			12.0
BKK	HKG	Directed	154572			12.0
HKG	BKK	Directed	154625			12.0
JFK	MSY	Directed	140334			11.0
MSY	JFK	Directed	140344			11.0
ATL	DFW	Directed	141447			11.0
CDG	JFK	Directed	141607			11.0
JFK	CDG	Directed	142349			11.0
LAX	LHR	Directed	142464			11.0
LHR	LAX	Directed	142602			11.0
MCT	AUH	Directed	142715			11.0
SYD	AKL	Directed	143623			11.0
ATL	DEN	Directed	144563			11.0
DEN	ATL	Directed	144616			11.0
KGL	EBB	Directed	144691			11.0
CNX	BKK	Directed	146191			11.0
HRE	LUN	Directed	146322			11.0
SFO	ATL	Directed	146685			11.0
BKK	SIN	Directed	137129			10.0
KUL	SIN	Directed	137137			10.0
SIN	KUL	Directed	137152			10.0
CGO	HGH	Directed	137359			10.0
CKG	XIY	Directed	137400			10.0
DLC	HGH	Directed	137472			10.0
HGH	CGO	Directed	137493			10.0
HGH	DLC	Directed	137496			10.0
JHG	KMG	Directed	137527			10.0
KMG	JHG	Directed	137541			10.0
XIY	CKG	Directed	137699			10.0
BKK	ICN	Directed	139180			10.0

Τα βάρη των ακμών στον παραπάνω πίνακα μαρτυρούν πολλά για τις συνδέσεις μεταξύ περιοχών αλλά και το πόσο συνδέονται αεροδρόμια της ίδιας περιοχής.

 HTML Report



## Connected Components Report

### Parameters:

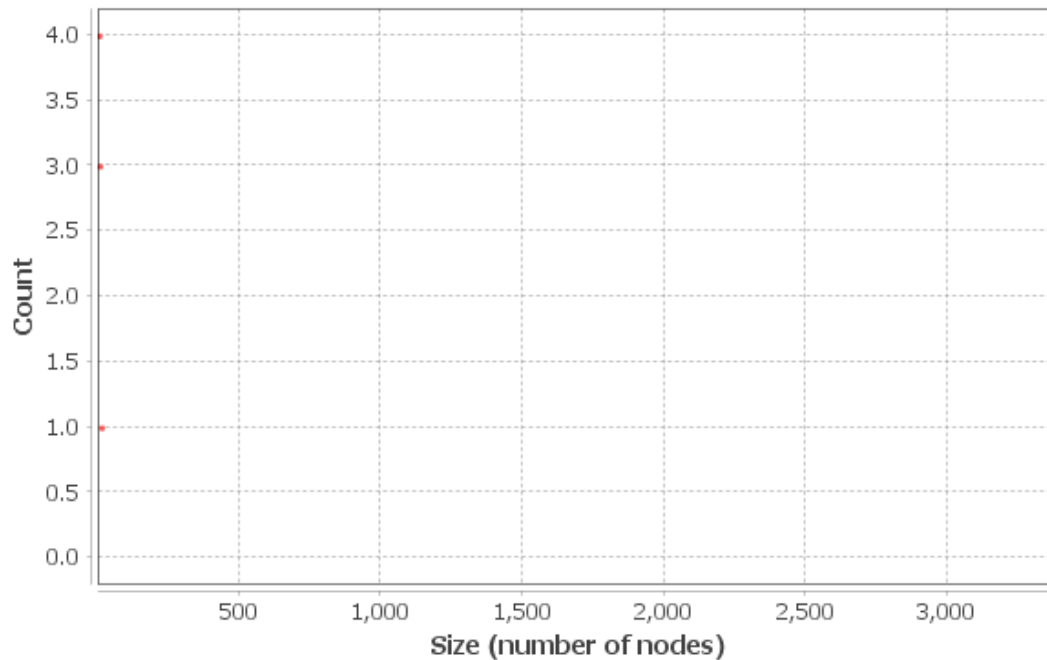
Network Interpretation: directed

### Results:

Number of Weakly Connected Components: 9




Number of Strongly Connected Components: 46

### Size Distribution



### Algorithm:

Robert Tarjan, *Depth-First Search and Linear Graph Algorithms*, in SIAM Journal on Computing 1 (2): 146–160 (1972)

 Print  Copy  Save

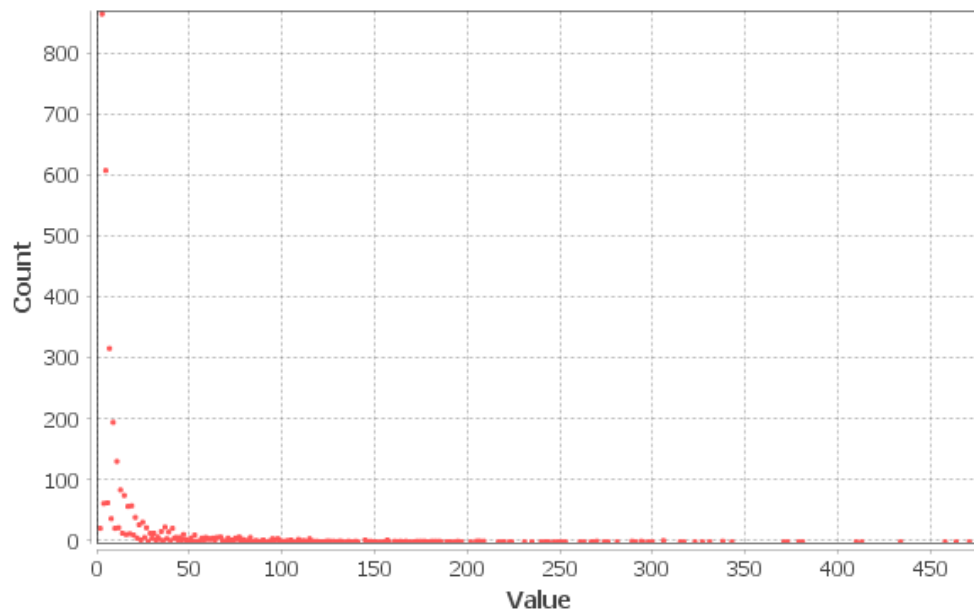
Close

# Degree Report

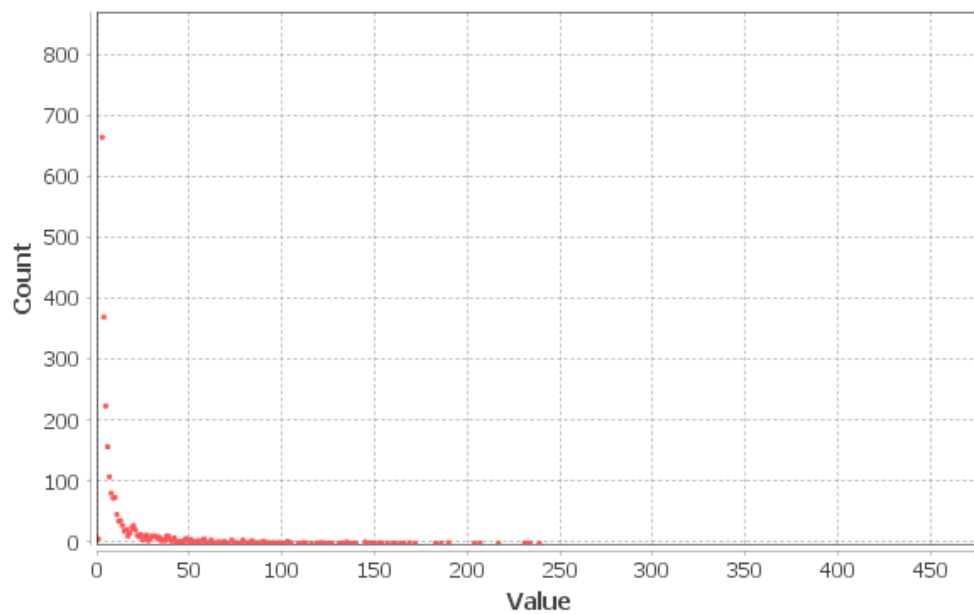
## Results:

Average Degree: 10.970

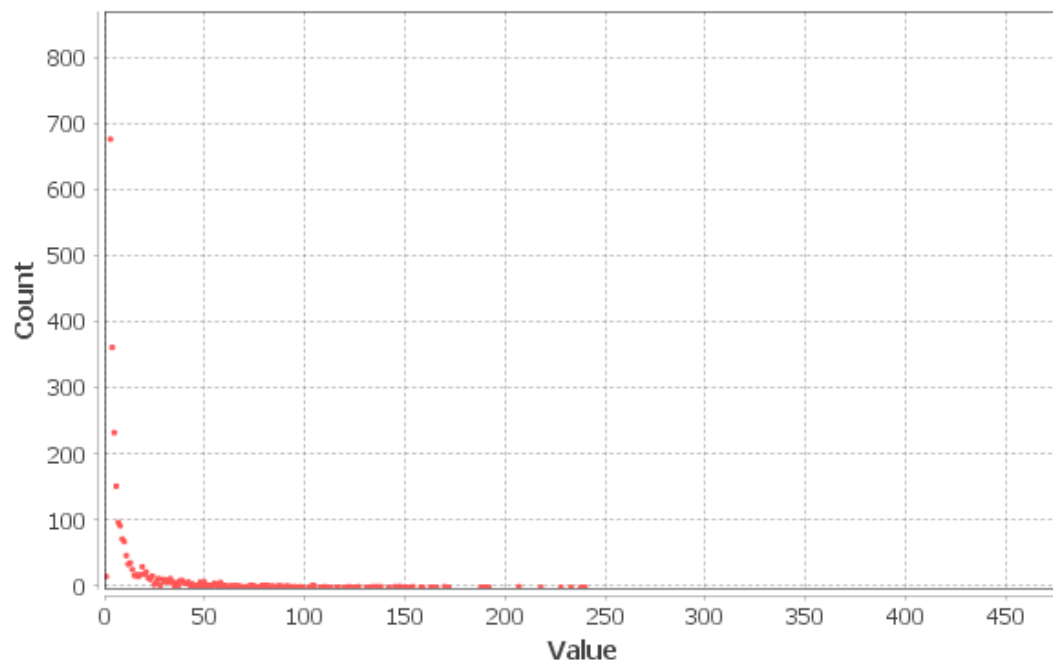
### Degree Distribution






### In-Degree Distribution



## Out-Degree Distribution



 Print  Copy  Save

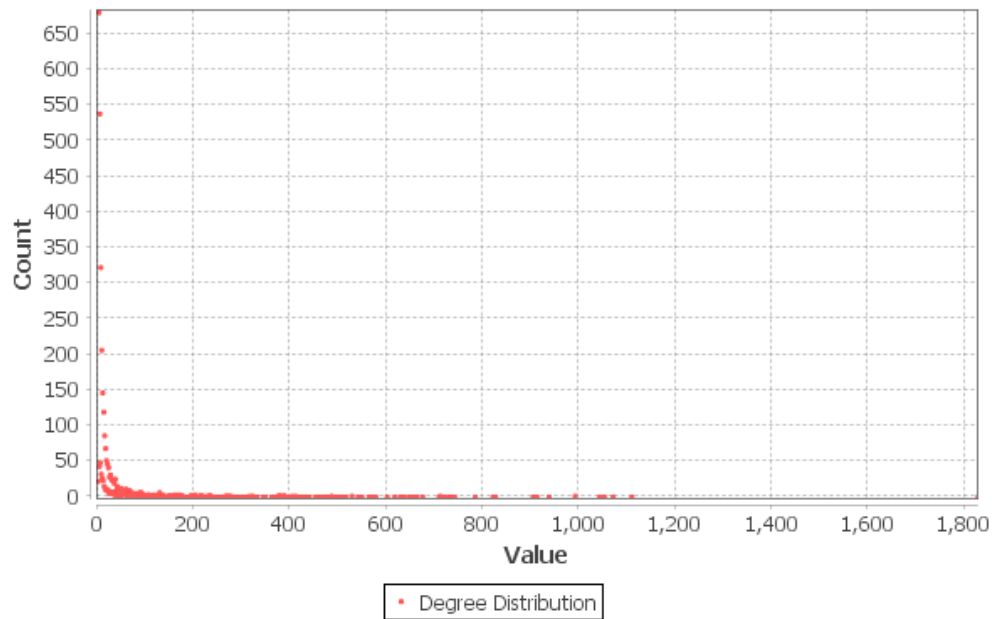
Close

# Weighted Degree Report

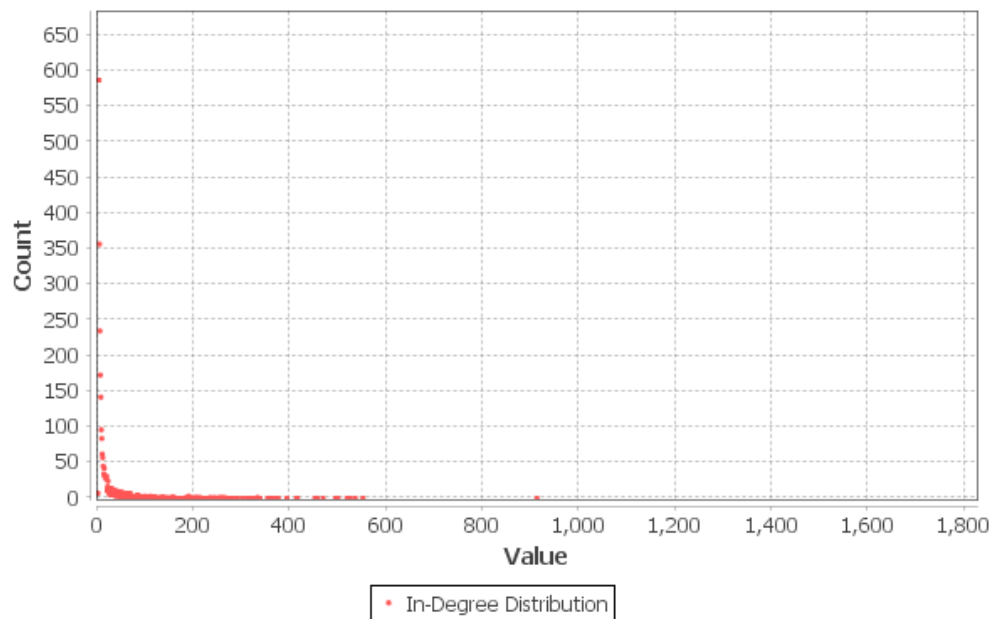
## Results:

Average Weighted Degree: 19.744

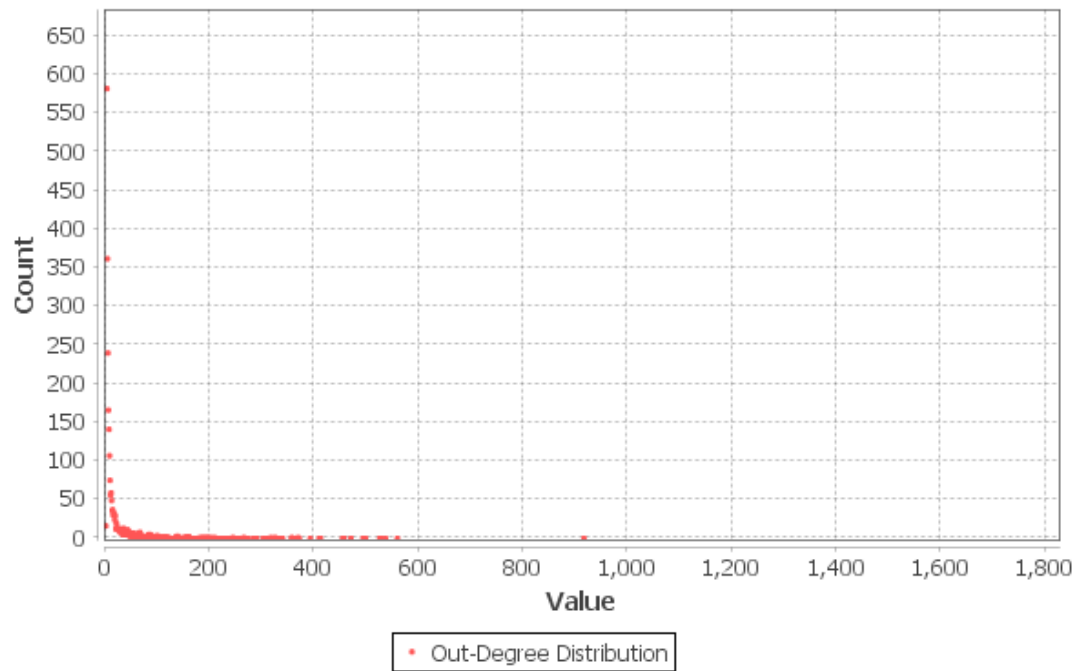
### Degree Distribution






### In-Degree Distribution



## Out-Degree Distribution



 Print  Copy  Save

Close

## Κεντρικότητα

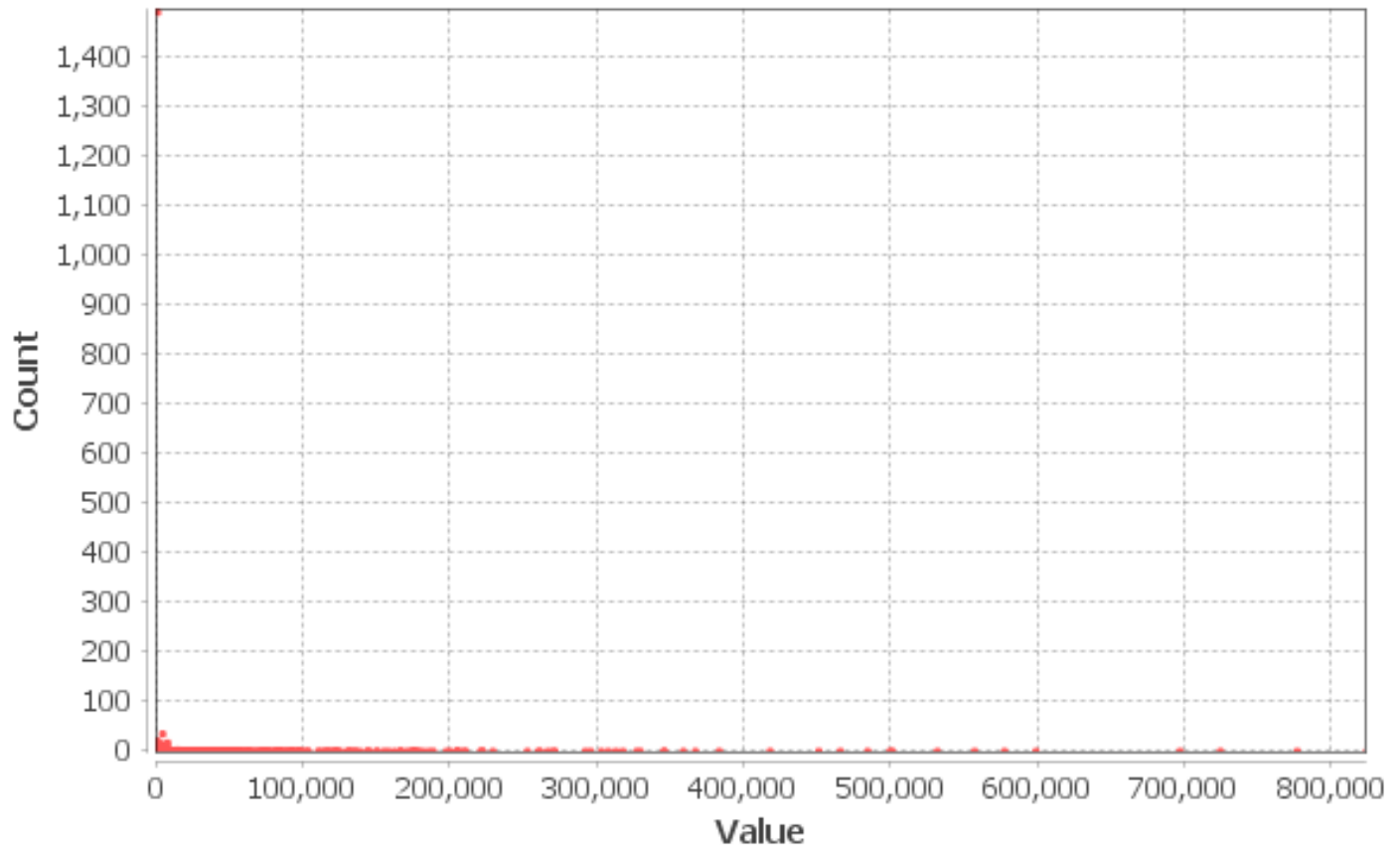
Παρακάτω φαίνονται ταξινομημένοι οι 40 κόμβοι με την μεγαλύτερη κεντρικότητα καθώς, η κατανομή και ο γράφος με βάρος κάθε κόμβου από την αντίστοιχη κεντρικότητα κάθε κατηγορίας.

## Betweenness Centrality

Id	Label	Interval	Eccentricity	Closeness Centr...	Harmonic Closeness Centr...	Betweenness Centr...	In-Degree	Out-Degree	Degree	Component...	Strongly-Connecte...	Modularity Cl...
ANC	ANC		9.0	0.297323	0.323523	822811.210546	34	34	68	1	26	7
LAX	LAX		8.0	0.386208	0.42927	775462.550397	148	149	297	1	26	13
CDG	CDG		8.0	0.396408	0.452874	723184.714501	233	237	470	1	26	4
DXB	DXB		8.0	0.390044	0.441297	695608.701545	182	188	370	1	26	12
FRA	FRA		8.0	0.398937	0.454955	597736.592908	238	239	477	1	26	4
PEK	PEK		8.0	0.376267	0.431041	576260.118048	206	206	412	1	26	2
ORD	ORD		8.0	0.376897	0.426408	555899.656532	203	206	409	1	26	13
SEA	SEA		8.0	0.355961	0.392668	530561.697672	94	90	184	1	26	13
AMS	AMS		8.0	0.389055	0.444911	499964.201124	231	232	463	1	26	4
YYZ	YYZ		8.0	0.37978	0.424738	498430.600635	146	147	293	1	26	13
IST	IST		8.0	0.377276	0.433861	483108.347357	230	227	457	1	26	4
GRU	GRU		9.0	0.347	0.388783	464611.718721	90	92	182	1	26	1
LHR	LHR		8.0	0.394832	0.444146	449889.083502	171	171	342	1	26	13
NRT	NRT		8.0	0.373314	0.416575	416756.915039	103	103	206	1	26	2
SYD	SYD		9.0	0.338614	0.37724	382198.798466	83	85	168	1	26	3
SIN	SIN		8.0	0.349912	0.399081	365969.366412	125	125	250	1	26	12
BNE	BNE		9.0	0.320459	0.352793	357719.920641	56	60	116	1	26	3
DME	DME		9.0	0.33967	0.392839	344782.552025	189	189	378	1	26	8
ATL	ATL		9.0	0.363548	0.417608	344528.698686	216	217	433	1	26	13
YUL	YUL		9.0	0.343785	0.383628	328462.54944	92	93	185	1	26	13
HKG	HKG		9.0	0.367425	0.416234	325967.391018	134	133	267	1	26	2
ICN	ICN		9.0	0.370651	0.418148	316605.443888	131	131	262	1	26	2
CPH	CPH		7.0	0.357733	0.400589	311902.032334	120	121	241	1	26	4
DEN	DEN		8.0	0.343435	0.386792	306738.473846	168	169	337	1	26	13
JFK	JFK		8.0	0.384187	0.432558	301964.239806	160	162	322	1	26	13
DFW	DFW		9.0	0.362884	0.411789	294566.866235	185	187	372	1	26	13
BOG	BOG		9.0	0.321834	0.36012	291082.716646	74	74	148	1	26	1
JNB	JNB		9.0	0.339397	0.379787	270355.761046	83	81	164	1	26	15
IAH	IAH		9.0	0.367985	0.417548	269121.991452	168	169	337	1	26	13
MAD	MAD		8.0	0.369596	0.420511	265569.199224	156	158	314	1	26	4
BKK	BKK		8.0	0.353169	0.401487	260201.412979	121	121	242	1	26	12
PVG	PVG		8.0	0.362067	0.409409	259241.696014	153	152	305	1	26	2
MIA	MIA		9.0	0.349876	0.396085	251536.230357	134	135	269	1	26	13
MNL	MNL		9.0	0.330787	0.367246	228255.048258	78	78	156	1	26	2
ARN	ARN		8.0	0.348396	0.39278	221022.691216	123	123	246	1	26	4
SFJ	SFJ		8.0	0.265613	0.282073	220942.699875	8	8	16	1	26	16
YVR	YVR		9.0	0.347035	0.384361	219800.168086	75	75	150	1	26	13
KUL	KUL		9.0	0.340595	0.38684	209442.360552	111	112	223	1	26	12
BET	BET		10.0	0.230245	0.245195	208671.316667	21	22	43	1	26	7
SVO	SVO		8.0	0.356449	0.403201	204500.786777	144	144	288	1	26	8
DOH	DOH		8.0	0.372326	0.417582	204151.776642	118	116	234	1	26	12



## Betweenness Centrality Distribution





Στην εικόνα οι κόμβοι με το μεγαλύτερο βαθμό betweenness centrality έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και πιο σκούρο χρώμα. Κάθε περιοχή έχει λίγους μεγάλους κόμβους στο κέντρο του γράφου. Αυτό μας δίνει την πληροφορία ότι πρόκειται για αεροδρόμια τα οποία ενώνουν αρκετά άλλα και κυρίως ενώνουν μικρότερα αεροδρόμια της περιοχής τους με αεροδρόμια άλλης περιοχής. Συνήθως τέτοιου είδους αεροδρόμια αποτελούν στάσεις σε διαδρομές όπου δεν υπάρχουν απευθείας πτήσεις.

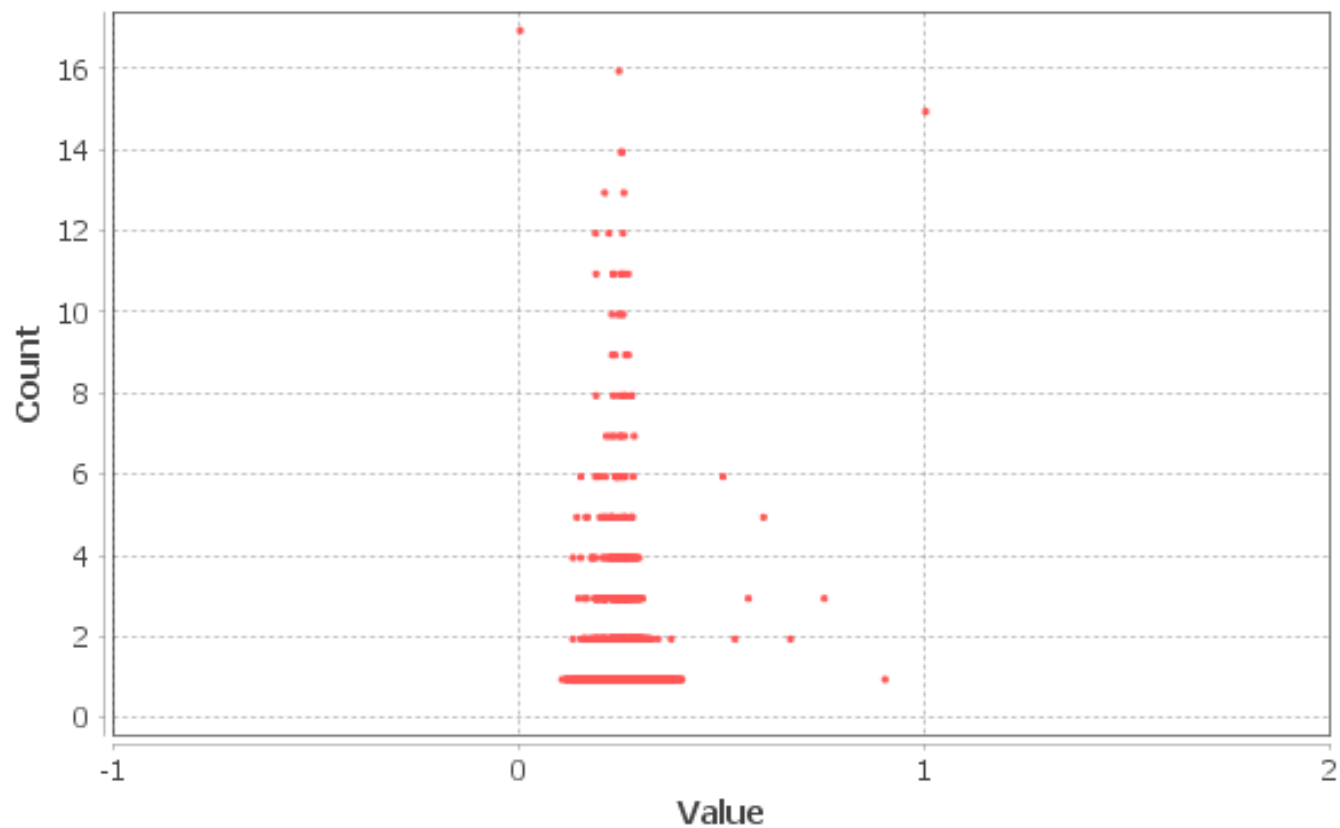
## Closeness Centrality

Id	Label	Interval	Eccentricity	Closeness Centr...	Harmonic Closeness Centr...	Betweenness Centr...	In-Degree	Out-Degree	Degree	Component...	Strongly-Connecte...	Modularity Cl...
SYB	SYB		1.0	1.0	1.0	3374.0	1	1	2	1	18	7
CDJ	CDJ		1.0	1.0	1.0	3374.0	1	1	2	1	9	1
AOS	AOS		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	21	7
KLN	KLN		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	16	7
PVE	PVE		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	14	9
KOO	KOO		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	5	15
DUT	DUT		1.0	1.0	1.0	6.0	3	3	6	3	29	17
ERS	ERS		1.0	1.0	1.0	4.0	3	3	6	7	42	22
SPB	SPB		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	2	27	14
SSB	SSB		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	2	27	14
BLD	BLD		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	4	30	18
GCV	GCV		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	4	30	18
CKX	CKX		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	6	34	21
TKJ	TKJ		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	6	34	21
GEA	GEA		2.0	0.9	0.944444	65.0	9	8	17	8	44	23
BFI	BFI		2.0	0.75	0.833333	5.0	2	2	4	5	32	19
MPA	MPA		2.0	0.75	0.833333	0.0	2	2	4	7	42	22
NDU	NDU		2.0	0.75	0.833333	0.0	2	2	4	7	42	22
KKB	KKB		2.0	0.666667	0.75	6746.0	1	1	2	1	19	7
RDC	RDC		2.0	0.666667	0.75	6746.0	1	1	2	1	10	1
FRD	FRD		2.0	0.6	0.666667	2.0	1	1	2	5	32	19
AKB	AKB		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	3	29	17
IJO	IJO		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	3	29	17
KQA	KQA		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	3	29	17
OND	OND		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	7	42	22
KOC	KOC		2.0	0.5625	0.611111	8.0	2	2	4	8	44	23
LIF	LIF		3.0	0.5625	0.648148	1.0	3	3	6	8	44	23
BMV	BMV		2.0	0.5625	0.611111	0.0	1	2	3	8	44	23
TGJ	TGJ		3.0	0.529412	0.592593	0.0	2	2	4	8	44	23
UVE	UVE		3.0	0.529412	0.592593	0.0	2	2	4	8	44	23
ESD	ESD		3.0	0.5	0.611111	2.0	1	1	2	5	32	19
CLM	CLM		3.0	0.5	0.611111	0.0	1	1	2	5	32	19
ILP	ILP		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
KNQ	KNQ		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
MEE	MEE		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
TOU	TOU		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
FRA	FRA		8.0	0.398937	0.454955	597736.592908	238	239	477	1	26	4
CDG	CDG		8.0	0.396408	0.452874	723184.714501	233	237	470	1	26	4
LHR	LHR		8.0	0.394832	0.444146	449889.083502	171	171	342	1	26	13
DXB	DXB		8.0	0.390044	0.441297	695608.701545	182	188	370	1	26	12
AMS	AMS		8.0	0.389055	0.444911	499964.201124	231	232	463	1	26	4



Όπως και στην προηγούμενη εικόνα οι κόμβοι με μεγαλύτερο βαθμό closeness centrality είναι πιο μεγάλοι και έχουν πιο σκούρο χρώμα. Σε σχέση όμως με το betweenness centrality βλέπουμε ότι υπάρχουν πιο πολλοί σκούροι κόμβοι. Αυτό συμβαίνει γιατί τα περισσότερα αεροδρόμια από κάθε ομάδα έχουν απευθείας πτήσεις προς τα αεροδρόμια στο κέντρο του γράφου, εκείνα δηλαδή με το μεγαλύτερο betweenness centrality. Καταλαβαίνουμε για τον γράφο μας ότι όλα τα αεροδρόμια μεταξύ τους δεν απέχουν πολύ. Έτσι επιβεβαιώνεται και το ότι το μήκος του μέσου μονοπατιού είναι μόλις 4.

## Closeness Centrality Distribution



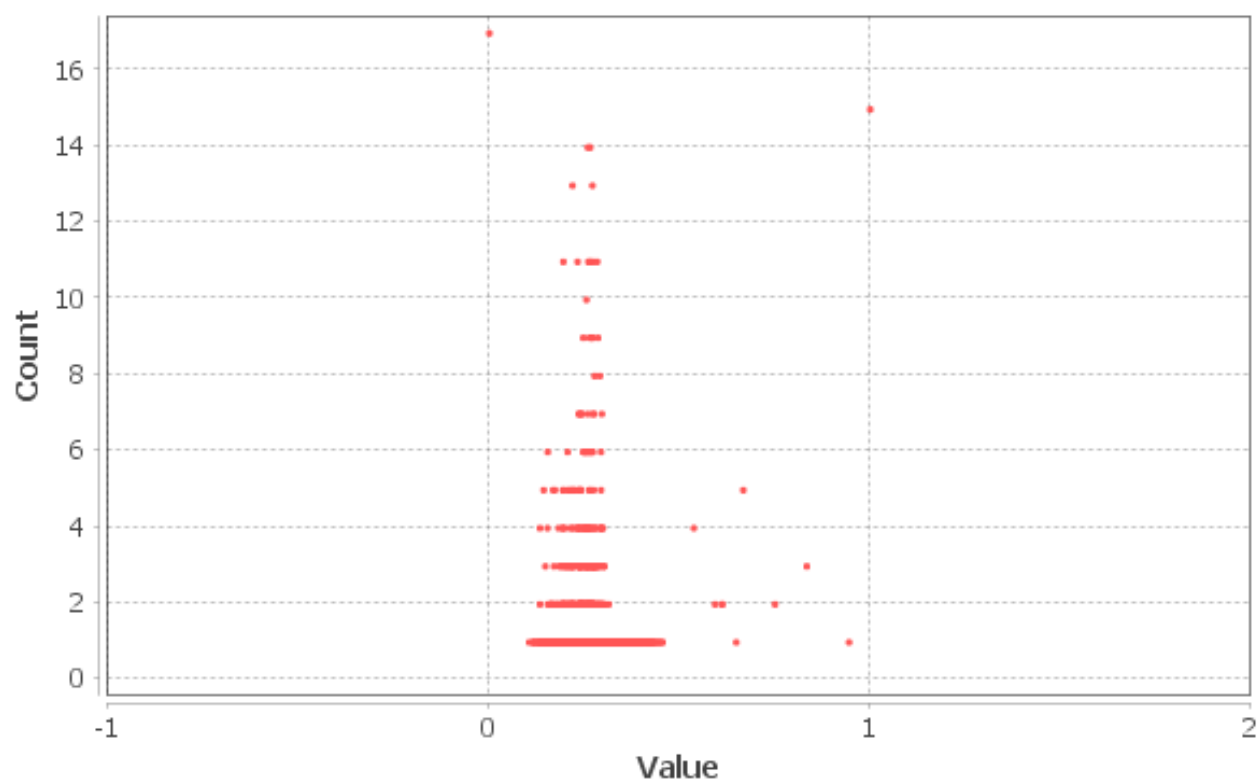
## Harmonic Closeness Centrality

Id	Label	Interval	Eccentricity	Closeness Centr...	Harmonic Closeness Centr...	Betweenness Centr...	In-Degree	Out-Degree	Degree	Component...	Strongly-Connecte...	Modularity Cl...
SYB	SYB		1.0	1.0	1.0	3374.0	1	1	2	1	18	7
CDJ	CDJ		1.0	1.0	1.0	3374.0	1	1	2	1	9	1
AOS	AOS		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	21	7
KLN	KLN		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	16	7
PVE	PVE		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	14	9
KOO	KOO		1.0	1.0	1.0	3373.0	1	1	2	1	5	15
DUT	DUT		1.0	1.0	1.0	6.0	3	3	6	3	29	17
ERS	ERS		1.0	1.0	1.0	4.0	3	3	6	7	42	22
SPB	SPB		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	2	27	14
SSB	SSB		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	2	27	14
BLD	BLD		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	4	30	18
GCW	GCW		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	4	30	18
CKX	CKX		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	6	34	21
TKJ	TKJ		1.0	1.0	1.0	0.0	1	1	2	6	34	21
GEA	GEA		2.0	0.9	0.944444	65.0	9	8	17	8	44	23
BFI	BFI		2.0	0.75	0.833333	5.0	2	2	4	5	32	19
MPA	MPA		2.0	0.75	0.833333	0.0	2	2	4	7	42	22
NDU	NDU		2.0	0.75	0.833333	0.0	2	2	4	7	42	22
KKB	KKB		2.0	0.666667	0.75	6746.0	1	1	2	1	19	7
RDC	RDC		2.0	0.666667	0.75	6746.0	1	1	2	1	10	1
FRD	FRD		2.0	0.6	0.666667	2.0	1	1	2	5	32	19
AKB	AKB		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	3	29	17
IKO	IKO		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	3	29	17
KQA	KQA		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	3	29	17
OND	OND		2.0	0.6	0.666667	0.0	1	1	2	7	42	22
LIF	LIF		3.0	0.5625	0.648148	1.0	3	3	6	8	44	23
KOC	KOC		2.0	0.5625	0.611111	8.0	2	2	4	8	44	23
BMV	BMV		2.0	0.5625	0.611111	0.0	1	2	3	8	44	23
ESD	ESD		3.0	0.5	0.611111	2.0	1	1	2	5	32	19
CLM	CLM		3.0	0.5	0.611111	0.0	1	1	2	5	32	19
TGJ	TGJ		3.0	0.529412	0.592593	0.0	2	2	4	8	44	23
UVE	UVE		3.0	0.529412	0.592593	0.0	2	2	4	8	44	23
ILP	ILP		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
KNQ	KNQ		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
MEE	MEE		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
TOU	TOU		3.0	0.5	0.537037	0.0	1	1	2	8	44	23
FRA	FRA		8.0	0.398937	0.454955	597736.592908	238	239	477	1	26	4
CDG	CDG		8.0	0.396408	0.452874	723184.714501	233	237	470	1	26	4
AMS	AMS		8.0	0.389055	0.444911	499964.201124	231	232	463	1	26	4
LHR	LHR		8.0	0.394832	0.444146	449889.083502	171	171	342	1	26	13
DXB	DXB		8.0	0.390044	0.441297	695608.701545	182	188	370	1	26	12



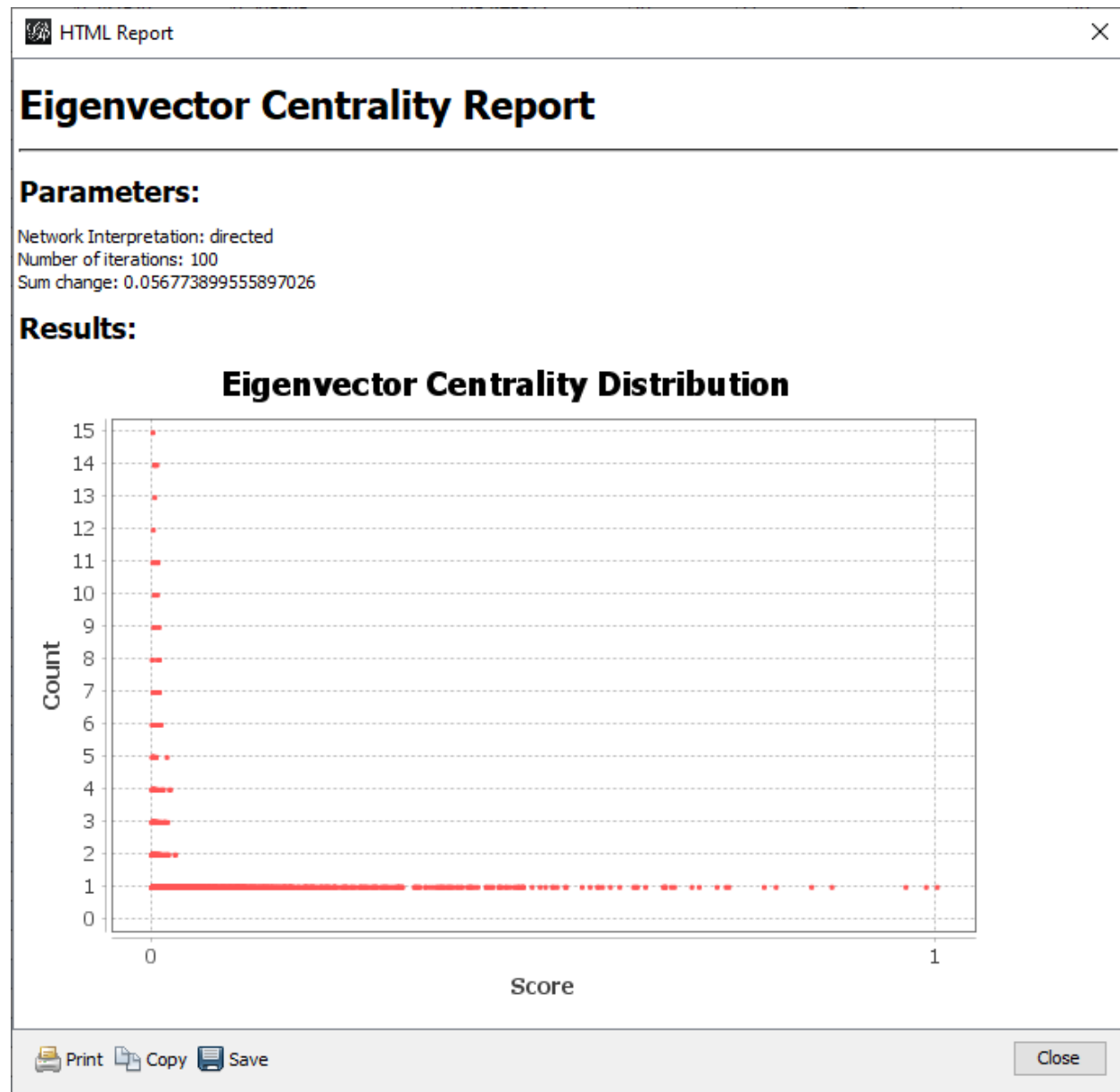


## Harmonic Closeness Centrality Distribution





## Eigenvector Centrality



Id	Label	Interval	Eccentricity	Closeness Cent...	Harmonic Closeness Ce...	Betweenness Cen...	In-Degree	Out-Degree	Degree	Compone...	Strongly-Connect...	Modularity ...	Eigenvector Cen...
FRA	FRA		8.0	0.398937	0.454955	597736.592908	238	239	477	1	26	4	1.0
AMS	AMS		8.0	0.389055	0.444911	499964.201124	231	232	463	1	26	4	0.986055
CDG	CDG		8.0	0.396408	0.452874	723184.714501	233	237	470	1	26	4	0.960085
MUC	MUC		8.0	0.376309	0.42898	180704.553005	189	191	380	1	26	4	0.865873
LHR	LHR		8.0	0.394832	0.444146	449889.083502	171	171	342	1	26	13	0.840023
FCO	FCO		8.0	0.373273	0.421681	142609.950986	159	157	316	1	26	4	0.794782
IST	IST		8.0	0.377276	0.433861	483108.347357	230	227	457	1	26	4	0.779603
ZRH	ZRH		8.0	0.370123	0.416123	91446.510018	136	137	273	1	26	4	0.734624
BCN	BCN		8.0	0.350894	0.400495	120670.895348	163	163	326	1	26	4	0.731025
MAD	MAD		8.0	0.369596	0.420511	265569.199224	156	158	314	1	26	4	0.719467
BRU	BRU		8.0	0.353502	0.401428	91505.035746	147	146	293	1	26	4	0.696916
JFK	JFK		8.0	0.384187	0.432558	301964.239806	160	162	322	1	26	13	0.687507
DUB	DUB		8.0	0.340149	0.385843	84110.939791	144	144	288	1	26	4	0.665235
DUS	DUS		8.0	0.354392	0.401486	64588.193075	147	147	294	1	26	4	0.661259
VIE	VIE		8.0	0.352211	0.398245	54032.729079	138	137	275	1	26	4	0.653875
DXB	DXB		8.0	0.390044	0.441297	695608.701545	182	188	370	1	26	12	0.653219
MAN	MAN		8.0	0.347893	0.39483	80706.171481	144	146	290	1	26	4	0.653091
LGW	LGW		8.0	0.353724	0.402778	117434.002636	165	165	330	1	26	4	0.650867
CPH	CPH		7.0	0.357733	0.400589	311902.032334	120	121	241	1	26	4	0.628441
ORD	ORD		8.0	0.376897	0.426408	555899.656532	203	206	409	1	26	13	0.617899
EWB	EWB		8.0	0.372326	0.418418	203847.539278	152	153	305	1	26	13	0.615904
MDX	MDX		8.0	0.350711	0.39516	45026.36712	111	107	218	1	26	4	0.613165
PEK	PEK		8.0	0.376267	0.431041	576260.118048	206	206	412	1	26	2	0.595485
YYZ	YYZ		8.0	0.37978	0.424738	498430.600635	146	147	293	1	26	13	0.583553
SVO	SVO		8.0	0.356449	0.403201	204500.786777	144	144	288	1	26	8	0.573546
ATL	ATL		9.0	0.363548	0.417608	344528.698686	216	217	433	1	26	13	0.568917
GVA	GVA		8.0	0.339738	0.383697	17928.630314	100	101	201	1	26	4	0.567019
TXL	TXL		8.0	0.339636	0.38304	31451.555801	110	109	219	1	26	4	0.557786
ARN	ARN		8.0	0.348396	0.39278	221022.691216	123	123	246	1	26	4	0.547584
LAX	LAX		8.0	0.386208	0.42927	775462.550397	148	149	297	1	26	13	0.527344
AGP	AGP		8.0	0.321008	0.365082	28041.358118	115	115	230	1	26	4	0.526042
DOH	DOH		8.0	0.372326	0.417582	204151.776642	118	116	234	1	26	12	0.515764
PRG	PRG		8.0	0.330011	0.370562	16278.938997	94	94	188	1	26	4	0.51144
LIS	LIS		8.0	0.341215	0.384613	165716.000456	101	103	204	1	26	4	0.509518
IAD	IAD		8.0	0.366547	0.409293	154115.344698	122	126	248	1	26	13	0.501052
ATH	ATH		8.0	0.331761	0.373799	124088.697332	102	104	206	1	26	4	0.494139
HAM	HAM		8.0	0.326091	0.364891	7379.230319	87	87	174	1	26	4	0.483975
OSL	OSL		8.0	0.330819	0.372739	165384.304628	104	104	208	1	26	4	0.472783
NCE	NCE		8.0	0.330431	0.370673	29033.909674	90	90	180	1	26	4	0.472613
PMI	PMI		8.0	0.312801	0.356806	42973.774713	126	126	252	1	26	4	0.471762
IAH	IAH		9.0	0.367985	0.417548	269121.991452	168	169	337	1	26	13	0.470849

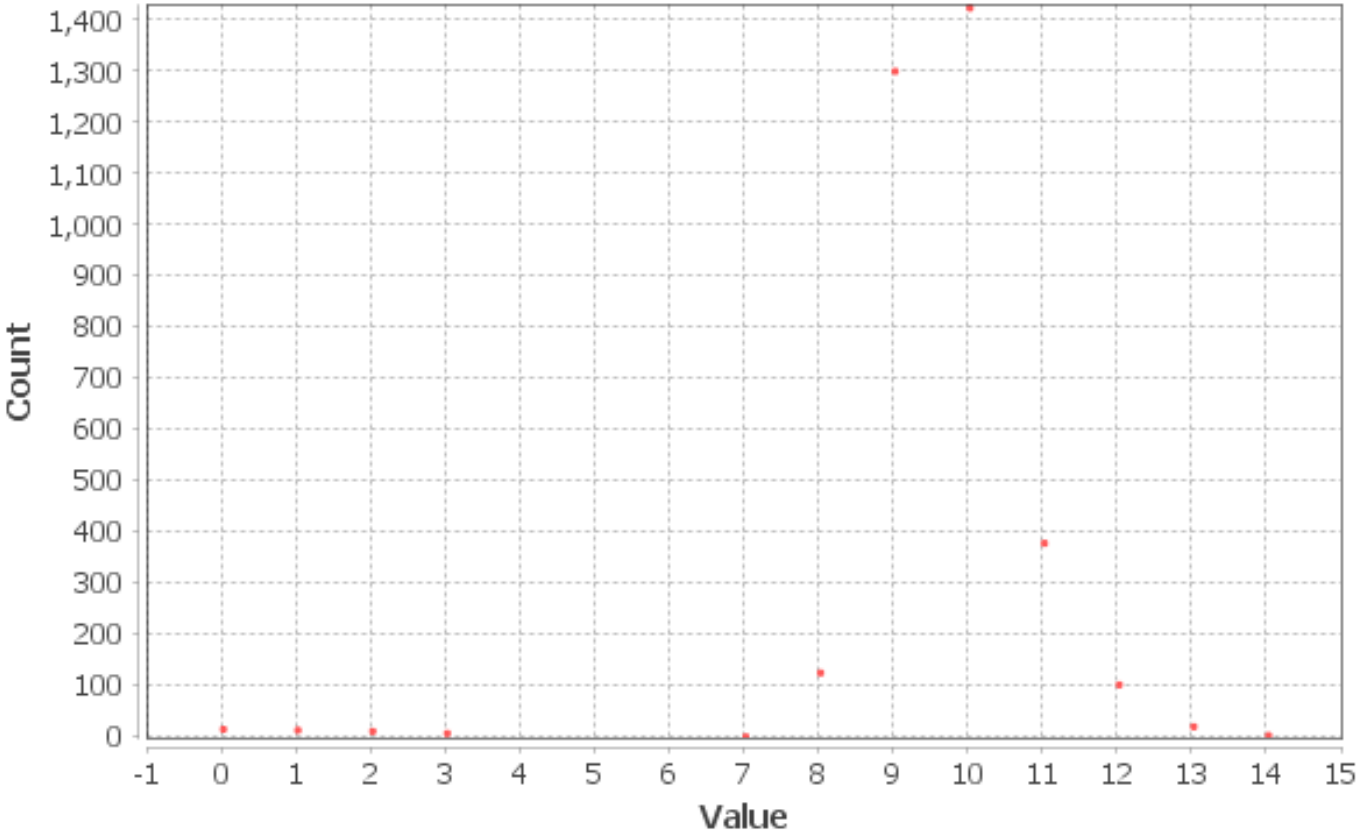


Βλέπουμε ότι στον γράφο οι κόμβοι με τον μεγαλύτερο βαθμό τις συγκεκριμένης μετρικής βρίσκονται κοντά στο κέντρο και οι κόμβοι κάθε ομάδας δεν έχουν απότομες αλλαγές μεγέθους στην ταξινόμησή τους.

## Eccentricity

Id	Label	Interval	Eccentricity	Closeness Centr...	Harmonic Closeness Centr...	Betweenness Centr...	Modularity Cl...	Component...	Strongly-Connecte...	In-Degree	Out-Degree	Degree
YZG	YZG		14.0	0.126888	0.129422	9.583333	2	1	26	2	2	4
XEQ	XEQ		14.0	0.103222	0.104595	6741.0	16	1	26	1	1	2
KCG	KCG		14.0	0.119739	0.121592	10110.0	12	1	26	1	1	2
LPS	LPS		14.0	0.113655	0.11509	0.0	20	1	31	1	1	2
YPO	YPO		14.0	0.116108	0.117671	0.0	2	1	26	1	1	2
YIK	YIK		13.0	0.145279	0.148677	4489.474454	2	1	26	2	2	4
YWB	YWB		13.0	0.14526	0.148622	2264.108879	2	1	26	2	2	4
YGZ	YGZ		13.0	0.139281	0.141921	0.0	8	1	26	1	1	2
NME	NME		13.0	0.136263	0.139329	3369.5	12	1	26	1	2	3
CHU	CHU		13.0	0.136049	0.138694	13478.0	12	1	26	1	1	2
BFQ	BFQ		13.0	0.139782	0.142697	3371.0	10	1	26	1	1	2
OGM	OGM		13.0	0.139782	0.142697	3371.0	10	1	26	1	1	2
OTD	OTD		13.0	0.139782	0.142697	3371.0	10	1	26	1	1	2
PYC	PYC		13.0	0.139782	0.142697	3371.0	10	1	26	1	1	2
SAX	SAX		13.0	0.139782	0.142697	3371.0	10	1	26	1	1	2
QUV	QUV		13.0	0.115091	0.116865	6746.0	16	1	26	1	1	2
SVR	SVR		13.0	0.115146	0.116926	0.0	16	1	26	1	1	2
PIP	PIP		13.0	0.135988	0.138504	6741.0	12	1	26	1	1	2
KCL	KCL		13.0	0.136005	0.138536	10115.0	12	1	26	1	1	2
WSX	WSX		13.0	0.128225	0.1303	3390.0	20	1	31	2	2	4
BVI	BVI		13.0	0.141073	0.144321	13.820513	3	1	26	2	2	4
XTG	XTG		13.0	0.144261	0.147265	0.0	3	1	26	1	1	2
STZ	STZ		13.0	0.136927	0.139805	0.0	11	1	38	0	1	1
PTJ	PTJ		13.0	0.144389	0.147436	0.0	3	1	41	0	1	1
ZTB	ZTB		13.0	0.14521	0.148666	1.666667	2	1	26	2	2	4
ZLT	ZLT		13.0	0.14531	0.148893	15.083333	2	1	26	2	2	4
YAT	YAT		13.0	0.131355	0.133629	6747.0	2	1	26	2	2	4
AKV	AKV		12.0	0.169912	0.174953	11224.474454	2	1	26	2	2	4
YQC	YQC		12.0	0.169886	0.174854	8998.525546	2	1	26	2	2	4
TCT	TCT		12.0	0.157319	0.16099	3371.0	12	1	26	1	1	2
YRB	YRB		12.0	0.161811	0.16596	6747.0	8	1	26	2	2	4
AKI	AKI		12.0	0.157708	0.162147	2.0	12	1	26	2	2	4
KUK	KUK		12.0	0.157686	0.161925	3371.0	12	1	26	2	1	3
GNU	GNU		12.0	0.157678	0.161875	3371.0	12	1	26	1	1	2
MLL	MLL		12.0	0.157907	0.162613	16.166667	12	1	26	1	2	3
WNA	WNA		12.0	0.157678	0.161875	3371.0	12	1	26	1	1	2
KKI	KKI		12.0	0.157708	0.162147	2.0	12	1	26	2	2	4
OOK	OOK		12.0	0.157723	0.162186	8427.0	12	1	26	2	2	4
TNK	TNK		12.0	0.157693	0.161915	5057.5	12	1	26	2	1	3
YIO	YIO		12.0	0.161803	0.16597	1.0	8	1	26	2	2	4
YVM	YVM		12.0	0.16178	0.165723	0.0	8	1	26	1	1	2

# Eccentricity Distribution

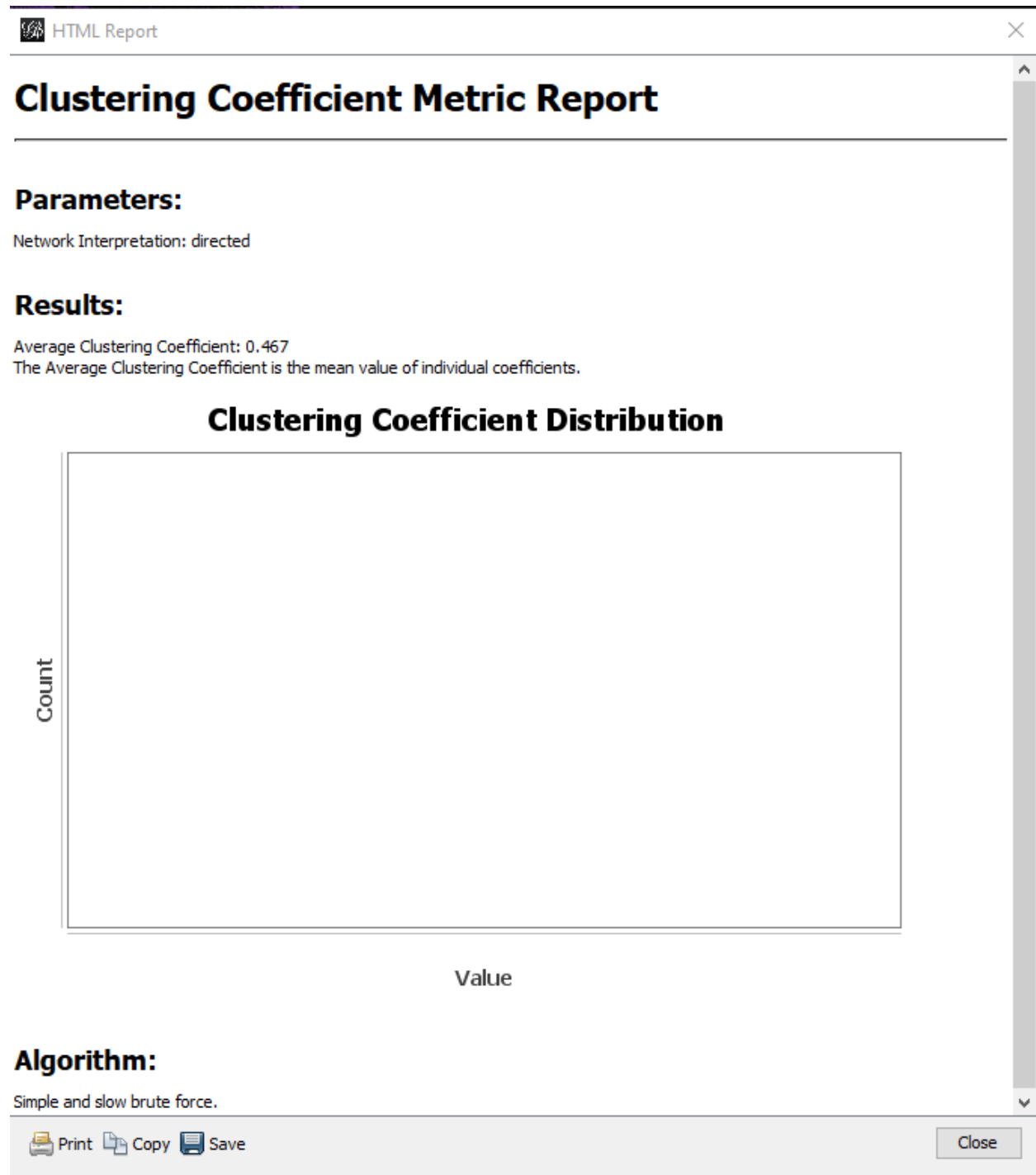




Το αποτέλεσμα της εικόνας προκύπτει από το γεγονός ότι σχεδόν όλα τα αεροδρόμια περνάνε από κάποιο κεντρικό με πολύ λίγα άλματα και έτσι φτάνουν στο μακρινό τους προορισμό γρήγορα.

## Clustering

Από την μετρική Avg. Clustering Coefficient του Gephi προκύπτει:






Για τον υπολογισμό των τριγώνων στον γράφο αλλά και της μετρικής clustering coefficient για κάθε κόμβο χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί το plugin του Gephi Clustering Coefficient. Τα αποτελέσματα της μετρικής αυτής:





HTML Report
×

Number of triangles: 101117  
 Number of paths (Length 2): 1221697  
 Value of Clustering Coefficient: 0.24830298125743866





Print

Copy

Save

Close

Ενδεικτικές τιμές clustering coefficient ανά κόμβο:


HTML Report
×

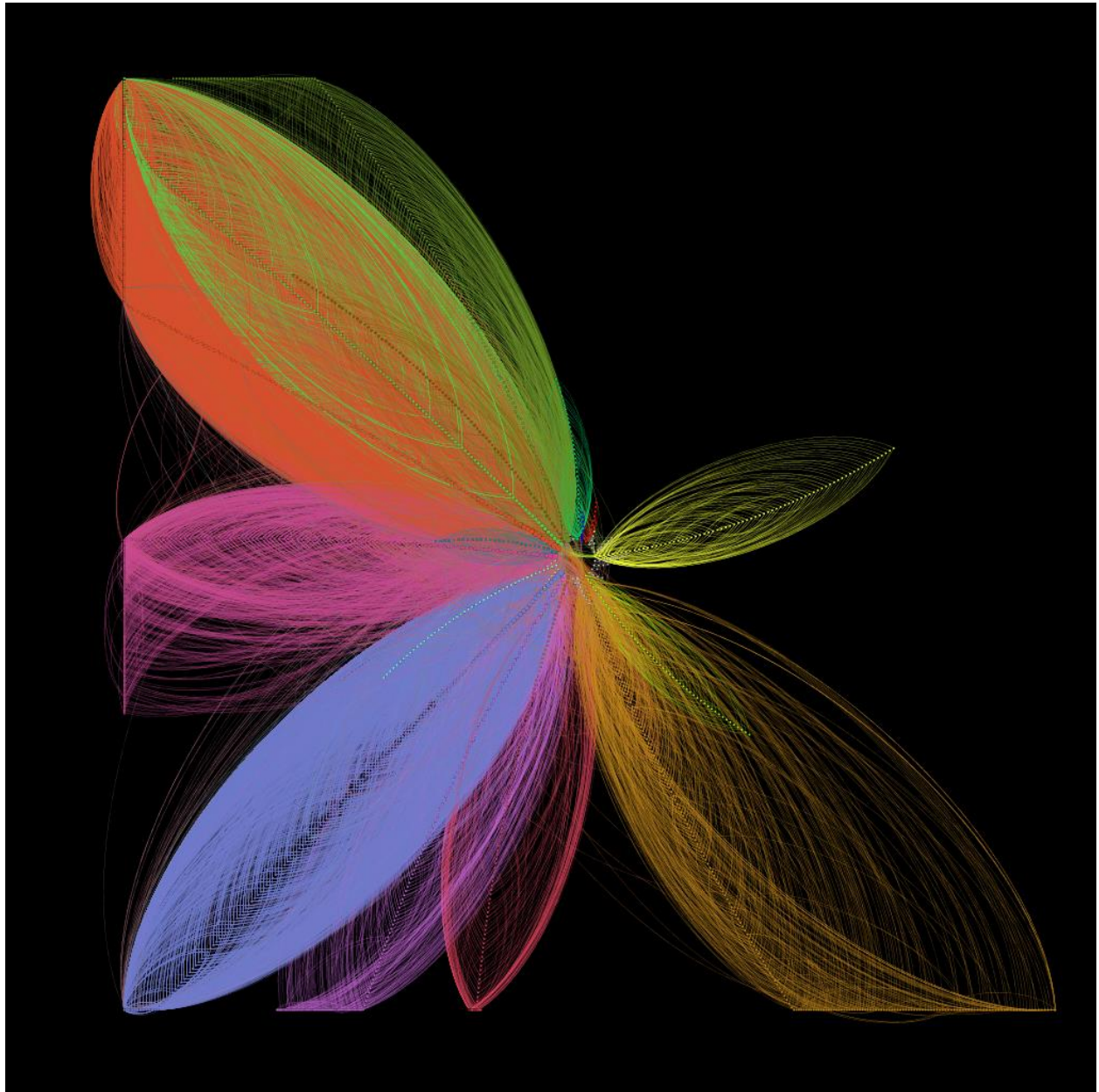
Node ASF: C = 0.5714285969734192  
 Node KZN: C = 0.4285714328289032  
 Node MRV: C = 0.5  
 Node CEK: C = 0.5494505763053894  
 Node OVB: C = 0.2605224847793579  
 Node DME: C = 0.07435254752635956  
 Node NBC: C = 0.8095238208770752  
 Node TGK: C = 0.0  
 Node UUA: C = 0.666666665348816  
 Node EGO: C = 0.5  
 Node KGD: C = 0.6222222447395325  
 Node GYD: C = 0.4318488538265228  
 Node AER: C = 0.516339898109436  
 Node LED: C = 0.17714917659759521  
 Node SVX: C = 0.18995928764343262  
 Node NJC: C = 0.6111111044883728  
 Node NUX: C = 0.5777778029441833  
 Node BTK: C = 0.8333333134651184  
 Node IKT: C = 0.24338623881340027  
 Node HTA: C = 0.5277777910232544  
 Node KCK: C = 0.0  
 Node ODO: C = 0.0  
 Node UKX: C = 0.0  
 Node ULK: C = 1.0  
 Node YKS: C = 0.24901185929775238  
 Node MJZ: C = 0.8666666746139526  
 Node AYP: C = 0.0  
 Node LIM: C = 0.20614035427570343  
 Node CUZ: C = 0.6000000238418579  
 Node PEM: C = 1.0  
 Node HUU: C = 0.0  
 Node IQT: C = 0.666666665348816  
 Node PCL: C = 1.0  
 Node TPP: C = 1.0  
 Node ABJ: C = 0.5047619342803955  
 Node BOY: C = 1.0  
 Node OUA: C = 0.6190476417541504


Print

Copy

Save

Close



## Ομοφυλία

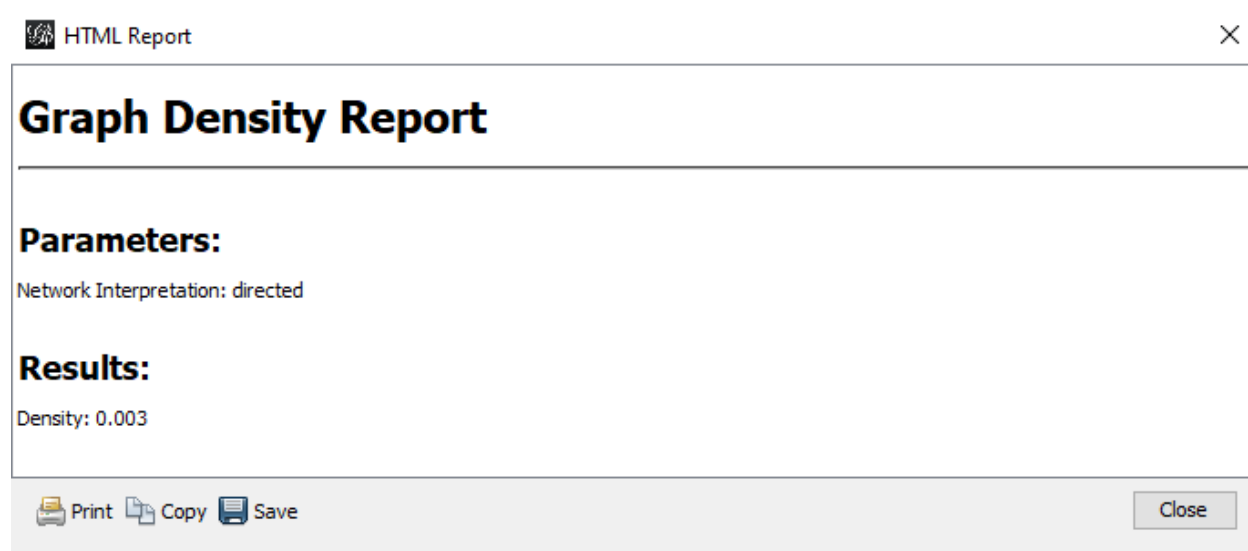


Αν ξαναδούμε την αρχική εικόνα του γράφου στην οποία οι κόμβοι είναι ομαδοποιημένοι ανά περιοχή βάσει του modularity παρατηρούμε ότι υπάρχουν πολλές ακμές μεταξύ των κόμβων μιας ομάδας. Στην αναπαράσταση του γράφου φαίνεται κάθε χρώμα να κυριαρχεί σε μια περιοχή του επιπέδου. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι τα αεροδρόμια μίας περιοχής, π.χ της Ευρώπης, πραγματοποιούν πτήσεις κυρίως σε προορισμούς εντός της ίδιας περιοχής. Αεροδρόμια τα οποία δεν βρίσκονται κοντά στο κέντρο του γράφου ( δεν πραγματοποιούν σχεδόν καμία πτήση εκτός της περιοχής τους), είναι αεροδρόμια τα οποία μοιάζουν αρκετά μεταξύ τους. Για παράδειγμα, αν ένας ταξιδιώτης βρίσκεται στην Αθήνα και επιθυμεί να μεταβεί στο αεροδρόμιο της Νέας Υόρκης, θα χρειαστεί πιθανότατα να περάσει από κάποιο άλλο αεροδρόμιο, όπως αυτό της Φρανκφούρτης, ή του Χίθροου στο Λονδίνο. Το ίδιο θα συμβεί και από οποιοδήποτε άλλο αεροδρόμιο που βρίσκεται μακριά από το κέντρο του γράφου.

Επιπλέον, βλέπουμε ότι υπάρχουν απευθείας πτήσεις, άρα ακμές μεταξύ κόμβων μίας περιοχής αφού παρατηρούμε στην αναπαράσταση τις ακμές κάθε ομάδας να πλέκονται. Αυτό μας δείχνει ότι δεν πηγαίνουν όλες οι ακμές στο κέντρο του γράφου και στα μεγάλα αεροδρόμια, αλλά οι κόμβοι εκτελούν δρομολόγια και μεταξύ τους. Συνεπώς, υπάρχει ομοφυλία στον γράφο μας και κυρίως αν περιοχή.

## Graph Density

Η συγκεκριμένη μετρική μας δείχνει πόσο κοντά είναι ο γράφος μας στον είναι πλήρης.



Το αποτέλεσμα μας δείχνει ότι ο γράφος μας απέχει πολύ από το να γίνει πλήρης και είναι κάτι πολύ λογικό. Αν ο γράφος μας ήταν πλήρης, τότε όλα τα αεροδρόμια θα είχαν απευθείας πτήσεις μεταξύ τους. Αυτή η περίπτωση δεν θα εξυπηρετούσε καθόλου την αγορά. Αν μόνο ένας ταξιδιώτης από την Κρήτη ήθελε να πάει στο Μεξικό, τότε θα έπρεπε να ταξιδέψει ένα αεροπλάνο χωρίς στάση με ένα μόνο επιβάτη αυτή την διαδρομή. Προσπαθώντας να μειωθεί το κόστος των πτήσεων οι αεροπορικές εταιρίες αλλά και τα αεροδρόμια έχουν σχηματίσει ένα αποτελεσματικό δίκτυο πτήσεων. Ανάλογα με την θέση του κόμβου στο δίκτυο, παρατηρούμε και τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις. Σίγουρα το αεροδρόμιο της Αταλάντας στις ΗΠΑ χρειάζεται να είναι μεγαλύτερο από εκείνο της Κεφαλονιάς. Την ίδια δομή συναντάμε σε όλα τα αποδοτικά δίκτυα, όπως το internet και τα οδικά δίκτυα.

## Πηγές

- Διαλέξεις μαθήματος
- <https://gephi.org/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Clustering\\_coefficient](https://en.wikipedia.org/wiki/Clustering_coefficient)
- <https://openflights.org/data.html>
- [https://www.centiserver.org/centrality/Eccentricity\\_Centrality/](https://www.centiserver.org/centrality/Eccentricity_Centrality/)
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Eigenvector\\_centrality](https://en.wikipedia.org/wiki/Eigenvector_centrality)
- <https://gephi.org/tutorials/gephi-tutorial-layouts.pdf>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_science](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_science)