ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
&
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Δημιουργία διαδικτυακής εκπαιδευτικής εφαρμογής για τη Θεωρία Γραφημάτων»

Φοιτητής
Κωνσταντίνος Χατσατουριάν
Αριθμός Μητρώου: 113810

Επιβλέπων
Ευστάθιος Αντωνίου
Καθηγητής

6 Σεπτεμβρίου 2023

Τίτλος Π.Ε. Δημιουργία διαδικτυακής εκπαιδευτικής εφαρμογής για τη Θεωρία Γραφημάτων
Κωδικός Π.Ε. 22118
Ονοματεπώνυμο φοιτητή Κωνσταντίνος Χατσατουριάν
Ονοματεπώνυμο εισηγητή Ευστάθιος Αντωνίου
Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 16 Μαρτίου 2022
Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 6 Σεπτεμβρίου 2023

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Στην οικογένειά μου»

Πρόλογος

Η θεωρία γράφων είναι ένας θεμελιώδης τομέας των μαθηματικών με πολυάριθμες εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Ωστόσο, η εκμάθηση και η διδασκαλία της θεωρίας γράφων μπορεί να αποτελέσει πρόκληση, ιδίως για τους αρχάριους. Η παρούσα ΠΕ παρουσιάζει μια διαδραστική διαδικτυακή εφαρμογή για τη θεωρία γράφων που απλοποιεί τη διαδικασία της εκμάθησης αλλά και της διδασκαλίας τόσο για μαθητές όσο και για καθηγητές. Η διαδικτυακή εφαρμογή παρέχει στους χρήστες ένα διαδραστικό περιβάλλον για να εξερευνήσουν και να πειραματιστούν με διάφορες πτυχές της θεωρίας γράφων. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν τους δικούς τους γράφους, να εφαρμόσουν διάφορους αλγορίθμους και λειτουργίες σε αυτούς και να απεικονίσουν τα αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι φιλική προς το χρήστη και προσβάσιμη σε χρήστες με διαφορετικά επίπεδα μαθηματικών γνώσεων. Επιπλέον, περιλαμβάνεται ολοκληρωμένη τεκμηρίωση και εκπαιδευτικά προγράμματα για να βοηθήσουν τους χρήστες να κατανοήσουν τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες της εφαρμογής. Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της ΠΕ είναι η δημιουργία ενός ισχυρού διδακτικού εργαλείου για τους εκπαιδευτικούς και μιας μοναδικής μαθησιακής εμπειρίας για τους μαθητές. Πιστεύω ότι αυτή η διαδικτυακή εφαρμογή έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει σημαντικά τη διδασκαλία και την εκμάθηση της θεωρίας γράφων και ελπίζω ότι θα υιοθετηθεί ευρέως σε εκπαιδευτικά ιδρύματα σε όλο τον κόσμο, καθώς δε βρήκα κάτι αντίστοιχο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής της.

Περίληψη

Η παρούσα ΠΕ παρουσιάζει μια διαδραστική διαδικτυακή εφαρμογή για την εκμάθηση και τη διδασκαλία της θεωρίας γράφων, η οποία έχει επεκταθεί και βελτιωθεί από ένα έργο ανοικτού κώδικα. Η εφαρμογή αναδομήθηκε χρησιμοποιώντας αναβαθμισμένες εκδόσεις των Bootstrap, jQuery και D3, αντικαθιστώντας τη MathJax με την KaTeX αλλά και τις FontAwesome και Glyphicons με την Bootstrap icons. Η γραμματοσειρά Open Sans που χρησιμοποιήθηκε στο αρχικό έργο έχει διατηρηθεί. Εκτός από αυτές τις ενημερώσεις, ο κώδικας έχει επαναπαραγοντοποιηθεί ώστε να περιλαμβάνει κλάσεις, αντικείμενα και κληρονομικότητα, έχοντας ως αποτέλεσμα πιο αποδοτικό και εξορθολογισμένο κώδικα. Η εφαρμογή περιλαμβάνει τώρα τη λειτουργικότητα της προόδου σε ορισμένους αλγορίθμους, η οποία επιτυγχάνεται με τη σειριοποίηση και την αποσειριοποίηση του αντικειμένου του γράφου από και προς JSON. Επιπλέον, έχει προστεθεί η λειτουργία εξαγωγής του καμβά ως SVG. Αυτά τα χαρακτηριστικά ενισχύουν την εκπαιδευτική αξία της εφαρμογής, επιτρέποντας στους χρήστες να κατανοήσουν βαθύτερα σημαντικές έννοιες της θεωρίας γράφων. Με τη φιλική προς το χρήστη διεπαφή της και τους περιεκτικούς εκπαιδευτικούς πόρους της, αυτή η διαδικτυακή εφαρμογή χρησιμεύει ως πολύτιμο εργαλείο για όποιον ενδιαφέρεται να μάθει ή να διδάξει τη θεωρία γράφων.

Abstract

Graph theory is a fundamental area of mathematics with numerous applications in various fields. However, learning and teaching graph theory can be challenging, especially for beginners. This thesis presents an interactive web application for graph theory that simplifies the process of learning and teaching for both students and teachers. The web application provides users with an interactive environment to explore and experiment with various aspects of graph theory. Users can create their own graphs, apply various algorithms and functions to them, and visualize the results in real time. The application is designed to be user-friendly and accessible to users with different levels of mathematical knowledge. In addition, comprehensive documentation and tutorials are included to help users understand the features and functions of the application. The primary goal of this thesis is to create a powerful teaching tool for teachers and a unique learning experience for students. I believe that this web application has the potential to significantly improve the teaching and learning of graph theory and I hope that it will be widely adopted in educational institutions around the world, as I have not found anything similar during its development.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αντωνίου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάληψη αλλά και την ολοκλήρωση αυτής της ΠΕ. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου αλλά και τους φίλους μου για την υποστήριξή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων

Συντομογραφίες

Abbreviation	Definition
AJAX	Asynchronous JavaScript And XML
API	Application Programming Interface
CSS	Cascading Style Sheets
D3	Data-Driven Documents
DDD	Domain Driven Development
DOM	Document Object Model
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JS	JavaScript
JSON	JavaScript Object Notation
NaN	Not A Number
SASS	Syntactically Awesome Style Sheets
SVG	Scalable Vector Graphics
TDD	Test Driven Development
UI	User Interface
UX	User Experience
ΔΙ.ΠΑ.Ε.	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Θεωρία γράφων

Το πρόβλημα των 7 γεφυρών του Κένιγκσμπεργκ ήταν ένας μαθηματικός γρίφος ο οποίος διαδραματίστηκε στην πρωσική πόλη του Κένιγκσμπεργκ, στο σημερινό Καλίνινγκραντ της Ρωσίας. Αφορούσε την περίπλοκη διάταξη 7 γεφυρών που ένωναν τη νήσο Νάιπχοφ, πλέον Καντ, με τις περιμετρικές χερσαίες εκτάσεις για να επιτρέψουν στους πολίτες να διασχίσουν τον ποταμό Πρέγκελ. Σύμφωνα με τη λαϊκή παράδοση, προέκυψε το ερώτημα αν ένας πολίτης θα μπορούσε να κάνει έναν περίπατο μέσα στην πόλη με τέτοιο τρόπο ώστε να διασχίσει κάθε γέφυρα ακριβώς μία φορά. Το 1735 ο Ελβετός μαθηματικός Λέοναρντ Όιλερ παρουσίασε μια λύση στο περίφημο πρόβλημα καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ένας τέτοιος περίπατος είναι αδύνατος θέτοντας έτσι τα θεμέλια για τη θεωρία γράφων. Η θεωρία γράφων είναι ένας κλάδος των μαθηματικών και της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με τη μελέτη των γράφων και των ιδιοτήτων τους. Ένας γράφος είναι μια μαθηματική αναπαράσταση ενός συνόλου αντικειμένων, που ονομάζονται κόμβοι, και των συνδέσεων μεταξύ τους, που ονομάζονται ακμές.

1.2 Στόχος της πτυχιακής εργασίας

Ο στόχος της ΠΕ είναι η δημιουργία μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία θα παρέχει ένα διαδραστικό γραφικό περιβάλλον έτσι ώστε ο χρήστης:

- Να κατανοήσει βασικές έννοιες
- Να δημιουργήσει γράφους
- Να επιλύσει προβλήματα
- Να κατανοήσει αλγορίθμους

Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος χρησιμοποιήθηκε ένα έργο ανοιχτού κώδικα ως βάση και εμπλουτίστηκε με τις παρακάτω ενότητες:

- Αλγόριθμος του Dijkstra για το συντομότερο μονοπάτι
- Αλγόριθμος του Kruskal για το ελάχιστο συνδετικό δέντρο
- Αλγόριθμος του Prim για το ελάχιστο συνδετικό δέντρο
- Αναζήτηση κατά πλάτος
- Αναζήτηση κατά βάθος
- Ενδο-διατεταγμένη διάσχιση
- Προ-διατεταγμένη διάσχιση
- Μετα-διατεταγμένη διάσχιση

Το αρχικό έργο βρίσκεται στο αποθετήριο στη διεύθυνση `https://github.com/mrpandey/d3graphTheory` και η εφαρμογή στη διεύθυνση `https://d3gt.com/`. Πέρα από τις ενότητες που προστέθηκαν, η παρούσα ΠΕ δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εξάγει ή να εισάγει την πρόοδο μιας ενότητας αλλά και να εξάγει στιγμιότυπα μιας ενότητας.

1.3 Δομή της πτυχιακής εργασίας

Η παρούσα ΠΕ παρουσιάζει μια διαδικτυακή πλατφόρμα εκμάθησης που προσφέρει διαδραστικά μαθήματα σε διάφορους αλγορίθμους και προβλήματα της θεωρίας γράφων. Η πλατφόρμα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα θεμάτων, συμπεριλαμβανομένων βασικών εννοιών, προηγμένων αλγορίθμων και πρακτικών εφαρμογών. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει οπτικοποιήσεις και κινούμενα σχέδια που βοηθούν τους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν καλύτερα τις έννοιες, διαδραστικά κουίζ και προβλήματα εξάσκησης που βοηθούν τους εκπαιδευόμενους να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους και να ελέγξουν την κατανόησή τους. Επιπλέον, η πλατφόρμα επιτρέπει τη γρήγορη δημιουργία γράφων από τον εκπαιδευτή, επιτρέποντάς του να εξηγεί τους αλγορίθμους σε συγκεκριμένα γραφήματα σε πραγματικό χρόνο, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευόμενους να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των αλγορίθμων και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν σε διαφορετικούς τύπους γράφων.

Κεφάλαιο 2: Στοιχεία θεωρίας γράφων

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω τη θεωρία γράφων, καλύπτοντας τις βασικές έννοιες, τους τύπους γράφων, τις αναπαραστάσεις γράφων, τους αλγορίθμους που εφαρμόζονται σε γράφους και τις εφαρμογές της θεωρίας γράφων.

2.2 Βασικές έννοιες

- Κόμβος: Κάθε σημείο ενός γράφου.[1]
- Ακμή: Η σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων.[2]
- Βαθμός: Ο βαθμός ενός κόμβου V ενός γράφου G, είναι ο αριθμός των ακμών του γράφου που συνδέονται με τον κόμβο V.[3]
- Ακολουθία βαθμών: Ο διατεταγμένος κατάλογος των βαθμών των κόμβων σε ένα δεδομένο γράφο ονομάζεται ακολουθία βαθμών. Το μήκος ενός μονοπατιού είναι ο αριθμός των ακμών που περιέχει.[4]
- Περίπατος: Η πεπερασμένη ακολουθία κόμβων και ακμών, όπου κάθε κόμβος γειτνιάζει με τον επόμενο κόμβο της ακολουθίας μέσω μιας ακμής. Ο περίπατος μπορεί να περιέχει επαναλαμβανόμενους κόμβους και ακμές. Επιπλέον, ο περίπατος μπορεί να είναι κλειστός, δηλαδή ο πρώτος και ο τελευταίος κόμβος της ακολουθίας είναι ίδιες.[5]
- Μονοπάτι: Ο περίπατος που δεν έχει επαναλαμβανόμενους κόμβους.[6]
- Κύκλωμα ή κύκλος: Ο περίπατος όπου ο πρώτος και ο τελευταίος κόμβος είναι ίδιος.[7]

2.3 Τύποι γράφων

Στη θεωρία γράφων, υπάρχουν διάφοροι τύποι γράφων που συνήθως μελετώνται. Ακολουθούν μερικοί από τους πιο συνηθισμένους τύπους γράφων:

- Απλός γράφος: Ένας μη κατευθυνόμενος γράφος χωρίς self-loops ή πολλαπλές ακμές όπου η ακμή μεταξύ δύο κόμβων μπορεί να είναι είτε παρούσα είτε απούσα.[8]
- Κατευθυνόμενος γράφος: Ένας γράφος στον οποίο κάθε ακμή έχει μια κατεύθυνση, υποδεικνύοντας ποιος κόμβος είναι η πηγή και ποιος ο προορισμός.[9]
- Σταθμισμένος γράφος: Ένας γράφος στον οποίον κάθε ακμή έχει ένα βάρος που συνδέεται με αυτή.[10]
- Διμερής γράφος: Ένας γράφος του οποίου οι κόμβοι μπορούν να χωριστούν σε δύο διαχωρισμένα σύνολα, έτσι ώστε καμία ακμή να μην συνδέει κόμβους εντός του ίδιου συνόλου.[11]
- Μηδενικός γράφος: Ένας γράφος χωρίς κόμβους ή ακμές.[12]
- Ασήμαντος γράφος: Ένα γράφος με έναν μόνο κόμβο και χωρίς ακμές.[13]
- Μη κατευθυνόμενος γράφος: Ένας γράφος όπου οι ακμές μεταξύ των κόμβων δεν έχουν κατεύθυνση ή προσανατολισμό.[14]
- Συνδεδεμένος γράφος: Ένας γράφος στον οποίο υπάρχει μονοπάτι μεταξύ δύο κόμβων.[15]

- Αποσυνδεδεμένος γράφος: Ένας γράφος όπου τουλάχιστον δύο κόμβοι δε συνδέονται με μονοπάτι.[16]
- Κανονικός γράφος: Ένας γράφος όπου κάθε κόμβος έχει τον ίδιο βαθμό ή ισχύ.[17]
- Πλήρης γράφος: Ένας γράφος όπου κάθε κόμβος του γράφου είναι γειτονικός με όλους τους άλλους κόμβους.[18]
- Γράφος διαδρομής: Ένας γράφος όπου όλοι οι κόμβοι και οι ακμές βρίσκονται σε μία μόνο ευθεία γραμμή.[19]
- Επίπεδος γράφος: Ένας γράφος όπου οι ακμές δεν τέμνονται.[20]
- Κυκλικός γράφος: Ένας γράφος που αποτελείται από έναν ενιαίο κύκλο ή βρόχο με κάποιο αριθμό κόμβων που συνδέονται με κλειστό μονοπάτι.[21]
- Δέντρο: Ένας μη κατευθυνόμενος γράφος που είναι συνδεδεμένος και ακυκλικός, δηλαδή δεν περιέχει κύκλους.[22]
- Πολυδένδρο: Ένας κατευθυνόμενος ακυκλικός γράφος όπου κάθε κόμβος έχει το πολύ έναν γονέα, δηλαδή έχει το πολύ μια ακμή στην οποία είναι ο προορισμός.[23]

2.4 Τρόποι αναπαράστασης γράφων

Στη θεωρία γράφων, υπάρχουν διάφοροι τρόποι αναπαράστασης γράφων. Η επιλογή της αναπαράστασης εξαρτάται από τις συγκεκριμένες ανάγκες και απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος. Ακολουθούν ορισμένες συνήθως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι αναπαράστασης γράφων:

- Πίνακας γειτνίασης: Ένας πίνακας γειτνίασης είναι ένας τετραγωνικός πίνακας που αναπαριστά έναν γράφο. Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα αντιστοιχούν στους κόμβους του γράφου και οι καταχωρήσεις υποδεικνύουν αν υπάρχει ακμή μεταξύ των κόμβων. Μια τιμή 1 ή μια μη μηδενική τιμή αντιπροσωπεύει συνήθως την ύπαρξη ακμής, ενώ μια τιμή 0 ή μια μηδενική τιμή υποδηλώνει την απουσία ακμής. Ο πίνακας γειτνίασης είναι συμμετρικός για μην κατευθυνόμενους γράφους και ασύμμετρος για κατευθυνόμενους γράφους.
- Λίστα γειτνίασης: Μια λίστα γειτνίασης είναι μια συλλογή συνδεδεμένων λιστών ή πινάκων όπου κάθε κόμβος έχει μια λίστα με τους γειτονικές του κόμβους. Είναι μια πιο αποδοτική σε χώρο αναπαράσταση σε σύγκριση με τον πίνακα γειτνίασης για αραιά γραφήματα (γραφήματα με λιγότερες ακμές). Κάθε κόμβος διατηρεί μια λίστα με τους γείτονές του, η οποία μπορεί εύκολα να διασχιστεί για να εξερευνηθεί η δομή του γράφου.
- Πίνακας εμφάνισης: Ο πίνακας προσπτώσεων είναι μια αναπαράσταση πίνακα που αποτυπώνει τόσο τους κόμβους όσο και τις ακμές ενός γράφου. Οι γραμμές του πίνακα αναπαριστούν τους κόμβους και οι στήλες τις ακμές. Κάθε εγγραφή δείχνει αν ένας κόμβος προσπίπτει σε μια ακμή. Συνήθως, η τιμή 1 ή -1 χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την κατεύθυνση της ακμής σε σχέση με τον κόμβο, ενώ η τιμή 0 υποδηλώνει την απουσία ακμής.
- Λίστα ακμών: Μια λίστα ακμών είναι μια απλή και συμπαγής αναπαράσταση ενός γράφου που αποτελείται από μια λίστα ακμών. Κάθε ακμή αναπαρίσταται συνήθως από ένα ζεύγος κόμβων (ή ένα διατεταγμένο ζεύγος για κατευθυνόμενους γράφους). Αυτή η αναπαράσταση είναι κατάλληλη για την αποτελεσματική αποθήκευση γράφων με μεγάλο αριθμό ακμών.
- Αντικείμενο γράφου: Σε ορισμένες γλώσσες προγραμματισμού ή βιβλιοθήκες γράφων, οι γράφοι μπορούν να αναπαρασταθούν με τη χρήση προσαρμοσμένων αντικειμένων γράφων ή κλάσεων. Αυτά τα αντικείμενα ενθυλακώνουν τις απαραίτητες δομές δεδομένων και μεθόδους για την αναπαράσταση και το χειρισμό γράφων. Οι συγκεκριμένες λεπτομέρειες υλοποίησης μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη γλώσσα προγραμματισμού ή τη βιβλιοθήκη που χρησιμοποιείται.

2.5 Αλγόριθμοι που εφαρμόζονται σε γράφους

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι που μπορούν να εφαρμοστούν σε γράφους, καθώς οι γράφοι αποτελούν θεμελιώδη δομή δεδομένων στην επιστήμη των υπολογιστών και έχουν πολυάριθμες εφαρμογές. Ακολουθούν μερικά μόνο παραδείγματα αλγορίθμων γράφων:

- Αλγόριθμος του Dijkstra για το συντομότερο μονοπάτι
- Αλγόριθμος του Kruskal για το ελάχιστο συνδετικό δέντρο
- Αλγόριθμος του Prim για το ελάχιστο συνδετικό δέντρο
- Αναζήτηση κατά πλάτος
- Αναζήτηση κατά βάθος
- Ενδο-διατεταγμένη διάσχιση
- Προ-διατεταγμένη διάσχιση
- Μετα-διατεταγμένη διάσχιση

2.6 Εφαρμογές της θεωρίας γράφων

Στη φυσική και τη χημεία, η θεωρία γράφων χρησιμοποιείται για τη μελέτη των μορίων και των ιδιοτήτων τους. Χρησιμοποιείται επίσης στην ανάλυση σημαντικών διαδικασιών όπως ο ατομικός δεσμός, η μοριακή φασματοσκοπία και η θερμοδυναμική. Η θεωρία γράφων είναι ιδιαίτερα πολύτιμη στις κοινωνικές επιστήμες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μελετηθεί πώς το κύρος των φορέων επηρεάζει τα κοινωνικά δίκτυα και πώς διαδίδονται οι φήμες. Στη βιολογία, η θεωρία γράφων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων και των σχέσεων μεταξύ διαφόρων ειδών σε ένα οικοσύστημα. Οι γράφοι είναι επίσης χρήσιμοι στις προσπάθειες διατήρησης, όπου ένας κόμβος μπορεί να αντιπροσωπεύει περιοχές όπου κατοικούν ορισμένα είδη και οι ακμές μπορούν να αντιπροσωπεύουν διαδρομές μετανάστευσης ή μετακινήσεις μεταξύ αυτών των περιοχών. Η θεωρία γράφων είναι σημαντική στα μαθηματικά και είναι χρήσιμη στη γεωμετρία και σε ορισμένα τμήματα της τοπολογίας, όπως η θεωρία των κόμβων. Επιπλέον, η θεωρία γράφων έχει εφαρμογές στην καθημερινή ζωή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του προβλήματος επιθεώρησης διαδρομών, επίσης γνωστού ως "πρόβλημα του κινέζου ταχυδρόμου", το οποίο περιλαμβάνει την εύρεση του συντομότερου κλειστού βρόχου που διασχίζει κάθε ακμή σε ένα γράφο τουλάχιστον μία φορά. Επιπλέον, η θεωρία γράφων χρησιμοποιείται στα δίκτυα κυκλοφορίας για τη δημιουργία ενός τέλειου συστήματος οδικών μεταφορών και ενός ευφυούς συστήματος μεταφορών.

2.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσίασα τη θεωρία γράφων, καλύπτοντας τις βασικές έννοιες, τους τύπους γράφων, τις αναπαραστάσεις γράφων, τους αλγορίθμους που εφαρμόζονται σε γράφους και τις εφαρμογές της θεωρίας γράφων.

Κεφάλαιο 3: Βιβλιοθήκη D3

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω τα τμήματα της D3 που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της ΠΕ, όπως το d3-force, το d3-selection, το d3-transition και το d3-drag.

3.2 Τι είναι η D3?

Η D3 (ή D3.js) είναι μια δωρεάν και ανοικτού κώδικα βιβλιοθήκη JS για την οπτικοποίηση δεδομένων. Η χαμηλού επιπέδου προσέγγιση που βασίζεται σε πρότυπα ιστού προσφέρει απαράμιλλη ευελιξία στη δημιουργία δυναμικών γραφικών με βάση τα δεδομένα. Για πάνω από μια δεκαετία η D3 έχει τροφοδοτήσει πρωτοποριακές και βραβευμένες οπτικοποιήσεις, έχει γίνει θεμελιώδες δομικό στοιχείο των βιβλιοθηκών γραφημάτων υψηλού επιπέδου και έχει καλλιεργήσει μια κοινότητα επαγγελματιών που ασχολούνται με δεδομένα σε όλο τον κόσμο.

3.3 d3-force

Αυτό το τμήμα υλοποιεί έναν αριθμητικό ολοκληρωτή Verlet ταχύτητας για την προσομοίωση φυσικών δυνάμεων σε σωματίδια. Οι προσομοιώσεις δυνάμεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οπτικοποίηση δικτύων και ιεραρχιών και για την επίλυση συγκρούσεων όπως στα διαγράμματα φυσαλίδων. Για τη χρήση αυτού του τμήματος, απαιτείται η δημιουργία μια προσομοίωσης για έναν πίνακα κόμβων και η εφαρμογή των επιθυμητών δυνάμεων. Στη συνέχεια, ακούω τα συμβάντα χρονισμού για να απεικονίσω τους κόμβους καθώς ενημερώνονται στο σύστημα γραφικών που προτιμάτε, όπως το Canvas ή το SVG.

3.3.1 Προσομοιώσεις δύναμης

Μια προσομοίωση δυνάμεων υλοποιεί έναν αριθμητικό ολοκληρωτή Verlet ταχύτητας για την προσομοίωση φυσικών δυνάμεων σε σωματίδια (κόμβους).[24] Η προσομοίωση υποθέτει σταθερό μοναδιαίο χρονικό βήμα $\Delta t = 1$ για κάθε βήμα και σταθερή μοναδιαία μάζα $m = 1$ για όλα τα σωματίδια. Ως αποτέλεσμα, μια δύναμη F που ασκείται σε ένα σωματίδιο ισοδυναμεί με μια σταθερή επιτάχυνση a κατά το χρονικό διάστημα Δt και μπορεί να προσομοιωθεί απλά προσθέτοντας στην ταχύτητα του σωματιδίου, η οποία στη συνέχεια προστίθεται στη θέση του σωματιδίου.

forceSimulation(nodes)

Δημιουργεί μια νέα προσομοίωση με τον καθορισμένο πίνακα κόμβων και χωρίς δυνάμεις. Εάν δεν καθοριστούν οι κόμβοι, η προεπιλογή είναι ο άδειος πίνακας. Ο προσομοιωτής ξεκινάει αυτόματα. Χρησιμοποιώ την simulation.on για να ακούω για συμβάντα χρονισμού καθώς η προσομοίωση εκτελείται. Αν θέλω να εκτελέσω την προσομοίωση χειροκίνητα, καλώ την simulation.stop και στη συνέχεια καλώ την simulation.tick όπως επιθυμώ.

simulation.restart()

Επανεκκινεί τον εσωτερικό χρονοδιακόπτη της προσομοίωσης και επιστρέφει την προσομοίωση. Σε συνδυασμό με την simulation.alphaTarget ή την simulation.alpha, αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να "ξαναζεστάνει" την προσομοίωση κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης, όπως όταν σύρω έναν κόμβο, ή για να συνεχίσω την προσομοίωση μετά από προσωρινή παύση της με την simulation.stop.

simulation.tick(iterations)

Βηματίζει χειροκίνητα την προσομοίωση κατά τον καθορισμένο αριθμό επαναλήψεων και επιστρέφει την προσομοίωση. Εάν δεν καθοριστεί η τιμή iterations, η προεπιλογή είναι 1 (ένα βήμα). Για κάθε επανάληψη, αυξάνει το τρέχον alpha κατά $(alphaTarget - alpha) * alphaDecay$. Στη συνέχεια καλεί κάθε καταχωρημένη δύναμη, περνώντας το νέο alpha. Στη συνέχεια μειώνει την ταχύτητα κάθε κόμβου κατά $velocity * velocityDecay$. Τέλος αυξάνει τη θέση κάθε κόμβου κατά velocity. Αυτή η μέθοδος δεν αποστέλλει συμβάντα. Τα συμβάντα αποστέλλονται μόνο από τον εσωτερικό χρονοδιακόπτη όταν η προσομοίωση ξεκινά αυτόματα κατά τη δημιουργία ή με την κλήση της simulation.restart. Ο φυσικός αριθμός των χρονικών στιγμών κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης είναι $\lceil \log(alphaMin) / \log(1 - alphaDecay) \rceil$. Από προεπιλογή, αυτός είναι 300. Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την simulation.stop για τον υπολογισμό μιας στατικής διάταξης δυνάμεων. Για μεγάλα γραφήματα, οι στατικές διατάξεις θα πρέπει να υπολογίζονται σε ένα web worker για να αποφεύγεται το πάγωμα της διεπαφής χρήστη.

simulation.nodes(nodes)

Εάν έχει καθοριστεί η μεταβλητή nodes, θέτει τους κόμβους της προσομοίωσης στον καθορισμένο πίνακα αντικειμένων, αρχικοποιώντας τις θέσεις και τις ταχύτητές τους εάν είναι απαραίτητο, και στη συνέχεια αρχικοποιεί εκ νέου τυχόν δεσμευμένες δυνάμεις και επιστρέφει την προσομοίωση. Εάν δεν έχει καθοριστεί η μεταβλητή nodes, επιστρέφει τον πίνακα κόμβων της προσομοίωσης όπως έχει καθοριστεί στον δομητή. Κάθε κόμβος πρέπει να είναι αντικείμενο. Οι ακόλουθες ιδιότητες εκχωρούνται από την προσομοίωση:

- index: Ο δείκτης του κόμβου στον πίνακα των κόμβων.
- x: Η τρέχουσα θέση x του κόμβου.
- y: Η τρέχουσα θέση y του κόμβου.
- vx: Η τρέχουσα ταχύτητα x του κόμβου.
- vy: Η τρέχουσα ταχύτητα y του κόμβου.

Η θέση (x,y) και η ταχύτητα (vx,vy) μπορούν στη συνέχεια να τροποποιηθούν από τις δυνάμεις και από την προσομοίωση. Εάν το vx ή το vy είναι NaN, η ταχύτητα αρχικοποιείται σε (0,0). Εάν είτε το x είτε το y είναι NaN, η θέση αρχικοποιείται σε μια διάταξη φυλλοταξίας, η οποία επιλέγεται έτσι ώστε να διασφαλίζεται μια αιτιοκρατική, ομοιόμορφη κατανομή. Για να σταθεροποιήσω έναν κόμβο σε μια συγκεκριμένη θέση, μπορώ να καθορίσω δύο πρόσθετες ιδιότητες:

- fx: Η σταθερή θέση x του κόμβου.
- fy: Η σταθερή θέση y του κόμβου.

Στο τέλος κάθε χρονισμού, μετά την εφαρμογή οποιωνδήποτε δυνάμεων, ένας κόμβος με καθορισμένο node.fx επαναφέρει το node.x στην τιμή αυτή και το node.vx μηδενίζεται. Ομοίως, ένας κόμβος με καθορισμένο node.fy επαναφέρει το node.y στην τιμή αυτή και το node.vy μηδενίζεται. Για να αποσταθεροποιήσω έναν κόμβο που είχε προηγουμένως σταθεροποιηθεί, καθορίζω τις ιδιότητες node.fx και node.fy σε null ή διαγράφω αυτές τις ιδιότητες. Εάν ο καθορισμένος πίνακας κόμβων τροποποιηθεί, όπως όταν προστίθενται ή αφαιρούνται κόμβοι από την προσομοίωση, αυτή η μέθοδος πρέπει να κληθεί ξανά με τον νέο (ή τροποποιημένο) πίνακα για να ειδοποιήσει την προσομοίωση και τις δεσμευμένες δυνάμεις για την αλλαγή. Η προσομοίωση δεν δημιουργεί ένα αμυντικό αντίγραφο του καθορισμένου πίνακα.

simulation.alpha(alpha)

Το alpha είναι περίπου ανάλογο με τη θερμοκρασία στην προσομοιωμένη ανόπτηση. Μειώνεται με την πάροδο του χρόνου καθώς η προσομοίωση “κρυώνει”. Όταν το alpha φτάσει στο alphaMin, η προσομοίωση σταματάει, όπως ανέφερα στην simulation.restart. Αν έχει καθοριστεί το alpha, θέτει το τρέχον alpha στον καθορισμένο αριθμό στο εύρος [0,1] και επιστρέφει αυτή την προσομοίωση. Εάν δεν έχει καθοριστεί το alpha, επιστρέφει την τρέχουσα τιμή alpha, η οποία είναι προεπιλεγμένη στο 1.

simulation.alphaTarget(target)

Εάν έχει καθοριστεί η target, θέτει το τρέχον alpha στον καθορισμένο αριθμό στο εύρος [0,1] και επιστρέφει αυτή την προσομοίωση. Εάν δεν έχει καθοριστεί η target, επιστρέφει την τρέχουσα τιμή alpha του στόχου, η οποία είναι προεπιλεγμένη σε 0.

simulation.force(name, force)

Εάν έχει καθοριστεί η force, αναθέτει τη δύναμη για το καθορισμένο όνομα και επιστρέφει αυτή την προσομοίωση. Εάν η force δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τη δύναμη με το καθορισμένο όνομα ή μη καθορισμένη εάν δεν υπάρχει τέτοια δύναμη. Από προεπιλογή, οι νέες προσομοιώσεις δεν έχουν δυνάμεις. Για να αφαιρέσω τη δύναμη με το συγκεκριμένο όνομα, δίνω null ως δύναμη.

simulation.on(typenames, listener)

Εάν έχει καθοριστεί η listener, ορίζει τον ακροατή συμβάντων για τα καθορισμένα typenames και επιστρέφει αυτό την προσομοίωση. Εάν ένας ακροατής συμβάντων έχει ήδη καταχωρηθεί για τον ίδιο τύπο και το ίδιο όνομα, ο υπάρχων ακροατής αφαιρείται πριν προστεθεί ο νέος ακροατής. Εάν η listener είναι null, αφαιρεί τους τρέχοντες ακροατές συμβάντων για τα καθορισμένα typenames, εάν υπάρχουν. Εάν η listener δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον πρώτο τρέχοντα καταχωρημένο listener που ταιριάζει με τα καθορισμένα typenames, εάν υπάρχει. Όταν αποστέλλεται ένα καθορισμένο συμβάν, κάθε ακροατής θα κληθεί με το this.context ως προσομοίωση. Το typenames είναι μια συμβολοσειρά που περιέχει ένα ή περισσότερα typename χωρισμένα με κενά διαστήματα. Κάθε typename είναι ένας τύπος, προαιρετικά ακολουθούμενος από μια τελεία (.) και ένα όνομα, όπως tick.foo και tick.bar. Το όνομα επιτρέπει την εγγραφή πολλαπλών ακροατών για τον ίδιο τύπο. Ο τύπος πρέπει να είναι ένας από τους ακόλουθους:

- tick: Μετά από κάθε χρονισμό του εσωτερικού χρονοδιακόπτη της προσομοίωσης.
- end: Μετά το σταμάτημα του χρονοδιακόπτη της προσομοίωσης όταν alpha < alphaMin.

Τα συμβάντα χρονισμού δεν αποστέλλονται όταν η simulation.tick καλείται χειροκίνητα. Τα συμβάντα αποστέλλονται μόνο από τον εσωτερικό χρονοδιακόπτη και προορίζονται για τη διαδραστική απόδοση της προσομοίωσης. Για να επηρεάσω τη προσομοίωση, καταχωρώ δυνάμεις αντί να τροποποιώ τις θέσεις ή τις ταχύτητες των κόμβων μέσα σε έναν ακροατή συμβάντων χρονισμού.

3.3.2 Δύναμη συνδέσμου

Η δύναμη συνδέσμου ωθεί τους συνδεδεμένους κόμβους μαζί ή χώρια ανάλογα με την επιθυμητή απόσταση συνδέσμου.[25] Η ισχύς της δύναμης είναι ανάλογη της διαφοράς μεταξύ της απόστασης των συνδεδεμένων κόμβων και της απόστασης στόχου, παρόμοια με τη δύναμη ενός ελατηρίου.

forceLink(links)

Δημιουργεί μια νέα δύναμη συνδέσμων με τους καθορισμένους συνδέσμους και τις προεπιλεγμένες παραμέτρους. Εάν δεν καθοριστούν οι σύνδεσμοι, ως προεπιλογή χρησιμοποιείται ο άδειος πίνακας.

link.links(links)

Εάν έχουν καθοριστεί τα links, ορίζει τον πίνακα των συνδέσμων που σχετίζονται με αυτή τη δύναμη, υπολογίζει εκ νέου τις παραμέτρους απόστασης και δύναμης για κάθε σύνδεσμο και επιστρέφει αυτή τη δύναμη. Εάν δεν έχουν καθοριστεί τα links, επιστρέφει τον τρέχοντα πίνακα συνδέσμων, ο οποίος είναι προεπιλεγμένος ως άδειος πίνακας. Κάθε σύνδεσμος είναι ένα αντικείμενο με τις ακόλουθες ιδιότητες:

- source: Ο κόμβος προέλευσης του συνδέσμου.
- target: Ο κόμβος-στόχος του συνδέσμου.
- index: Ο μηδενικός δείκτης στους συνδέσμους, που εκχωρείται από αυτή τη μέθοδο.

Για λόγους ευκολίας, οι ιδιότητες πηγής και στόχου ενός συνδέσμου μπορούν να αρχικοποιηθούν χρησιμοποιώντας αριθμητικά αναγνωριστικά ή αναγνωριστικά συμβολοσειράς αντί για αναφορές αντικειμένων. Όταν αρχικοποιείται η δύναμη του συνδέσμου (ή αρχικοποιείται εκ νέου, όπως όταν αλλάζουν οι κόμβοι ή οι σύνδεσμοι), κάθε ιδιότητα link.source ή link.target που δεν είναι αντικείμενο, αντικαθίσταται από μια αναφορά αντικειμένου στον αντίστοιχο κόμβο με το συγκεκριμένο αναγνωριστικό. Εάν ο καθορισμένος πίνακας συνδέσμων τροποποιηθεί, όπως όταν προστίθενται ή αφαιρούνται σύνδεσμοι από την προσομοίωση, αυτή η μέθοδος πρέπει να κληθεί ξανά με τον νέο (ή τροποποιημένο) πίνακα για να ειδοποιηθεί η δύναμη για την αλλαγή. Η δύναμη δεν δημιουργεί ένα αμυντικό αντίγραφο του καθορισμένου πίνακα.

link.distance(distance)

Εάν έχει καθοριστεί η distance, θέτει τον προσπελάτη απόστασης στον καθορισμένο αριθμό ή τη συνάρτηση, επανεκτιμά τον προσπελάτη απόστασης για κάθε σύνδεσμο και επιστρέφει αυτή τη δύναμη. Εάν η απόσταση δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον τρέχοντα προσπελάτη απόστασης. Ο προσπελάτης απόστασης καλείται για κάθε σύνδεσμο, καθώς του δίνεται ο σύνδεσμος και ο δείκτης του με βάση το μηδέν. Ο αριθμός που προκύπτει αποθηκεύεται εσωτερικά, έτσι ώστε η απόσταση κάθε συνδέσμου να υπολογίζεται εκ νέου μόνο όταν αρχικοποιείται η δύναμη ή όταν καλείται αυτή η μέθοδος με νέα απόσταση και

όχι σε κάθε εφαρμογή της δύναμης.

link.strength(strength)

Εάν έχει καθοριστεί η strength, θέτει τον προσπελάτη ισχύος στον καθορισμένο αριθμό ή τη συνάρτηση, επανεκτιμά τον προσπελάτη ισχύος για κάθε σύνδεσμο και επιστρέφει αυτή τη δύναμη. Εάν η strength δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον τρέχοντα προσπελάτη δύναμης. Όπου count(node) είναι μια συνάρτηση που επιστρέφει τον αριθμό των συνδέσμων με τον συγκεκριμένο κόμβο ως πηγή ή στόχο. Αυτή η προεπιλογή επιλέχθηκε επειδή μειώνει αυτόματα τη δύναμη των συνδέσμων που συνδέονται με κόμβους με έντονη σύνδεση, βελτιώνοντας τη σταθερότητα. Ο προσπελάτης ισχύος καλείται για κάθε σύνδεσμο, αφού του δοθεί ο σύνδεσμος και ο δείκτης του με βάση το μηδέν. Ο αριθμός που προκύπτει αποθηκεύεται εσωτερικά, έτσι ώστε η ισχύς κάθε συνδέσμου να υπολογίζεται εκ νέου μόνο κατά την αρχικοποίηση της δύναμης ή κατά την κλήση αυτής της μεθόδου με νέα ισχύ και όχι σε κάθε εφαρμογή της δύναμης.

3.3.3 Δύναμη πολλών σωμάτων

Η δύναμη πολλών σωμάτων (ή n-σωμάτων) εφαρμόζεται αμοιβαία μεταξύ όλων των κόμβων.[26] Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση της βαρύτητας (έλξη) εάν η ισχύς είναι θετική ή της ηλεκτροστατικής φόρτισης (απώθηση) εάν η ισχύς είναι αρνητική. Αυτή η υλοποίηση χρησιμοποιεί ένα τετράγωνο δέντρο και την προσέγγιση Barnes-Hut για να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση. Η ακρίβεια μπορεί να προσαρμοστεί χρησιμοποιώντας την παράμετρο theta. Σε αντίθεση με τη δύναμη σύνδεσης, η οποία επηρεάζει μόνο δύο συνδεδεμένους κόμβους, η δύναμη φόρτισης είναι παγκόσμια. Κάθε κόμβος επηρεάζει κάθε άλλο κόμβο, ακόμη και αν βρίσκονται σε αποσυνδεδεμένους υπογράφους.

forceManyBody()

Δημιουργεί μια νέα δύναμη πολλών σωμάτων με τις προεπιλεγμένες παραμέτρους.

manyBody.strength(strength)

Εάν έχει καθοριστεί η strength, θέτει τον προσπελάτη ισχύος στον καθορισμένο αριθμό ή τη συνάρτηση, επανεκτιμά τον προσπελάτη ισχύος για κάθε κόμβο και επιστρέφει αυτή τη δύναμη. Μια θετική τιμή προκαλεί την έλξη των κόμβων μεταξύ τους, παρόμοια με τη βαρύτητα, ενώ μια αρνητική τιμή προκαλεί την απώθηση των κόμβων μεταξύ τους, παρόμοια με το ηλεκτροστατικό φορτίο. Εάν η strength δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον τρέχοντα προσπελάτη δύναμης. Ο προσπελάτης ισχύος καλείται για κάθε κόμβο της προσομοίωσης, καθώς του δίνεται ο κόμβος και ο δείκτης του με βάση το μηδέν. Ο αριθμός που προκύπτει αποθηκεύεται εσωτερικά, έτσι ώστε η ισχύς κάθε κόμβου να υπολογίζεται εκ νέου μόνο κατά την αρχικοποίηση της δύναμης ή κατά την κλήση αυτής της μεθόδου με νέα ισχύ και όχι σε κάθε εφαρμογή της δύναμης.

manyBody.distanceMax(distance)

Εάν έχει καθοριστεί η distance, ορίζει τη μέγιστη απόσταση μεταξύ κόμβων στην οποία λαμβάνεται υπόψη αυτή η δύναμη. Εάν η distance δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει την τρέχουσα μέγιστη απόσταση, η οποία είναι προεπιλεγμένη στο άπειρο. Ο καθορισμός μιας πεπερασμένης μέγιστης απόστασης βελτιώνει

την απόδοση και παράγει μια πιο εντοπισμένη διάταξη.

3.3.4 Δυνάμεις θέσης

Οι δυνάμεις θέσης x και y ωθούν τους κόμβους προς μια επιθυμητή θέση κατά μήκος της δεδομένης διάστασης με μια διαμορφώσιμη ισχύ.[27] Η ακτινική δύναμη είναι παρόμοια, με τη διαφορά ότι ωθεί τους κόμβους προς το πλησιέστερο σημείο σε έναν δεδομένο κύκλο. Η ισχύς της δύναμης είναι ανάλογη της μονοδιάστατης απόστασης μεταξύ της θέσης του κόμβου και της θέσης-στόχου. Ενώ αυτές οι δυνάμεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση μεμονωμένων κόμβων, προορίζονται κυρίως για παγκόσμιες δυνάμεις που εφαρμόζονται σε όλους (ή στους περισσότερους) κόμβους.

forceX(x)

Δημιουργεί μια νέα δύναμη θέσης κατά μήκος του άξονα x προς τη δεδομένη θέση x. Εάν η x δεν έχει καθοριστεί, η τιμή του είναι 0.

x.strength(strength)

Εάν έχει καθοριστεί η strength, θέτει τον προσπελάτη ισχύος στον καθορισμένο αριθμό ή τη συνάρτηση, επανεκτιμά τον προσπελάτη ισχύος για κάθε κόμβο και επιστρέφει αυτή τη δύναμη. Η ισχύς καθορίζει πόσο θα αυξηθεί η ταχύτητα x του κόμβου: $(x - node.x) * strength$. Για παράδειγμα, μια τιμή 0,1 υποδηλώνει ότι ο κόμβος θα πρέπει να μετακινείται κατά ένα δέκατο της διαδρομής από την τρέχουσα θέση x στη θέση x-στόχο με κάθε εφαρμογή. Μεγαλύτερες τιμές μετακινούν τους κόμβους πιο γρήγορα στη θέση-στόχο, συχνά εις βάρος άλλων δυνάμεων ή περιορισμών. Μια τιμή εκτός του εύρους [0,1] δεν συνιστάται. Εάν η strength δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον τρέχοντα προσπελάτη δύναμης. Ο προσπελάτης δύναμης καλείται για κάθε κόμβο της προσομοίωσης, καθώς του δίνεται ο κόμβος και ο δείκτης του με βάση το μηδέν. Ο αριθμός που προκύπτει αποθηκεύεται εσωτερικά, έτσι ώστε η ισχύς κάθε κόμβου να υπολογίζεται εκ νέου μόνο κατά την αρχικοποίηση της δύναμης ή κατά την κλήση αυτής της μεθόδου με νέα ισχύ και όχι σε κάθε εφαρμογή της δύναμης.

forceY(y)

Δημιουργεί μια νέα δύναμη θέσης κατά μήκος του άξονα y προς τη δεδομένη θέση y. Εάν η y δεν έχει καθοριστεί, η τιμή της είναι 0.

y.strength(strength)

Εάν έχει καθοριστεί η strength, θέτει τον προσπελάτη ισχύος στον καθορισμένο αριθμό ή τη συνάρτηση, επανεκτιμά τον προσπελάτη ισχύος για κάθε κόμβο και επιστρέφει αυτή τη δύναμη. Η ισχύς καθορίζει πόσο θα αυξηθεί η ταχύτητα y του κόμβου: $(y - node.y) * strength$. Για παράδειγμα, μια τιμή 0,1 υποδηλώνει ότι ο κόμβος θα πρέπει να μετακινείται κατά ένα δέκατο της διαδρομής από την τρέχουσα θέση y στη θέση y-στόχο με κάθε εφαρμογή. Μεγαλύτερες τιμές μετακινούν τους κόμβους πιο γρήγορα στη θέση-στόχο, συχνά εις βάρος άλλων δυνάμεων ή περιορισμών. Μια τιμή εκτός του εύρους [0,1] δεν συνιστάται. Εάν η strength δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον τρέχοντα προσπελάτη δύναμης. Ο προσπελάτης δύναμης καλείται για κάθε κόμβο της προσομοίωσης, καθώς του δίνεται ο κόμβος και ο

δείκτης του με βάση το μηδέν. Ο αριθμός που προκύπτει αποθηκεύεται εσωτερικά, έτσι ώστε η ισχύς κάθε κόμβου να υπολογίζεται εκ νέου μόνο κατά την αρχικοποίηση της δύναμης ή κατά την κλήση αυτής της μεθόδου με νέα ισχύ και όχι σε κάθε εφαρμογή της δύναμης.

3.4 d3-selection

Οι επιλογές επιτρέπουν τον ισχυρό μετασχηματισμό του DOM με βάση τα δεδομένα όπως τα χαρακτηριστικά, το στυλ, τις ιδιότητες, το περιεχόμενο HTML ή κειμένου και πολλά άλλα. Χρησιμοποιώντας τις επιλογές εισόδου και εξόδου της ένταξης δεδομένων, μπορώ επίσης να προσθέσω ή να αφαιρέσω στοιχεία που αντιστοιχούν σε δεδομένα.

3.4.1 Επιλογή στοιχείων

Μια επιλογή είναι ένα σύνολο στοιχείων από το DOM.[28] Συνήθως, αυτά τα στοιχεία προσδιορίζονται από επιλογείς όπως τον .fancy για στοιχεία με την κλάση fancy ή τον div για την επιλογή στοιχείων DIV. Οι μέθοδοι επιλογής υπάρχουν σε δύο μορφές, select και selectAll. Η πρώτη επιλέγει μόνο το πρώτο στοιχείο που ταιριάζει, ενώ η δεύτερη επιλέγει όλα τα στοιχεία που ταιριάζουν με τη σειρά του εγγράφου. Οι μέθοδοι επιλογής ανώτατου επιπέδου, d3.select και d3.selectAll, ζητούν το σύνολο του εγγράφου. Οι μέθοδοι υποεπιλογής, selection.select και selection.selectAll, περιορίζουν την επιλογή στους απογόνους των επιλεγμένων στοιχείων. Υπάρχουν επίσης οι μέθοδοι selection.selectChild και selection.selectChildren για τα άμεσα παιδιά.

select(selector)

Επιλέγει το πρώτο στοιχείο που ταιριάζει με την καθορισμένη συμβολοσειρά επιλογέα. Εάν κανένα στοιχείο δεν ταιριάζει με τον επιλογέα, επιστρέφει μια κενή επιλογή. Εάν πολλά στοιχεία ταιριάζουν με τον επιλογέα, θα επιλεγεί μόνο το πρώτο στοιχείο που ταιριάζει (με τη σειρά του εγγράφου). Εάν ο επιλογέας δεν είναι συμβολοσειρά, αντ' αυτού επιλέγει τον καθορισμένο κόμβο. Αυτό είναι χρήσιμο εάν έχω ήδη μια αναφορά σε έναν κόμβο, όπως το document.body.

selectAll(selector)

Επιλέγει όλα τα στοιχεία που ταιριάζουν με την καθορισμένη συμβολοσειρά επιλογέα. Τα στοιχεία θα επιλεγούν με τη σειρά του εγγράφου (από πάνω προς τα κάτω). Εάν κανένα στοιχείο στο έγγραφο δεν ταιριάζει με τον επιλογέα ή εάν ο επιλογέας είναι μηδενικός ή απροσδιόριστος, επιστρέφει μια κενή επιλογή. Εάν ο επιλογέας δεν είναι συμβολοσειρά, αντ' αυτού επιλέγει τον καθορισμένο πίνακα κόμβων. Αυτό είναι χρήσιμο εάν έχω ήδη μια αναφορά σε κόμβους, όπως το this.childNodes μέσα σε έναν ακροατή συμβάντων ή ένα global όπως το document.links. Οι κόμβοι μπορεί να είναι μια επαναληπτική σειρά ή μια ψευδο-σειρά, όπως μια NodeList.

selection.select(selector)

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, επιλέγει το πρώτο απόγονο στοιχείο που ταιριάζει με την καθορισμένη συμβολοσειρά επιλογέα. Εάν κανένα στοιχείο δεν ταιριάζει με τον καθορισμένο επιλογέα για το τρέχον στοιχείο, το στοιχείο στον τρέχοντα δείκτη θα είναι null στην επιστρεφόμενη επιλογή. Εάν ο επιλογέας

είναι null, κάθε στοιχείο στην επιστρεφόμενη επιλογή θα είναι null, με αποτέλεσμα μια κενή επιλογή. Εάν το τρέχον στοιχείο έχει συσχετισμένα δεδομένα, τα δεδομένα αυτά διαδίδονται στο αντίστοιχο επιλεγμένο στοιχείο. Εάν πολλαπλά στοιχεία ταιριάζουν με τον επιλογέα, επιλέγεται μόνο το πρώτο στοιχείο που ταιριάζει με τη σειρά του εγγράφου. Εάν ο επιλογέας είναι μια συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς του μεταβιβάζεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Πρέπει να επιστρέφει ένα στοιχείο ή null εάν δεν υπάρχει κανένα αντίστοιχο στοιχείο. Σε αντίθεση με το selection.selectAll, το selection.select δεν επηρεάζει την ομαδοποίηση. Διατηρεί την υπάρχουσα δομή και τους δείκτες της ομάδας και διαδίδει τα δεδομένα (αν υπάρχουν) στα επιλεγμένα παιδιά. Η ομαδοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στην ένωση δεδομένων.

selection.selectAll(selector)

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, επιλέγει τα απόγονα στοιχεία που ταιριάζουν με την καθορισμένη συμβολοσειρά επιλογέα. Τα στοιχεία στην επιστρεφόμενη επιλογή ομαδοποιούνται με βάση τον αντίστοιχο γονικό κόμβο τους σε αυτή την επιλογή. Εάν κανένα στοιχείο δεν ταιριάζει με τον καθορισμένο επιλογέα για το τρέχον στοιχείο ή εάν ο επιλογέας είναι null, η ομάδα στον τρέχοντα δείκτη θα είναι κενή. Τα επιλεγμένα στοιχεία δεν κληρονομούν δεδομένα από αυτήν την επιλογή. Χρησιμοποιώ την selection.data για να διαδώσω δεδομένα στα παιδιά. Εάν ο επιλογέας είναι μια συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς του μεταβιβάζεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Πρέπει να επιστρέφει έναν πίνακα στοιχείων (ή ένα iterable, ή έναν ψευδο-πίνακα όπως ένα NodeList), ή τον κενό πίνακα αν δεν υπάρχουν στοιχεία που να ταιριάζουν. Σε αντίθεση με την selection.select, η selection.selectAll επηρεάζει την ομαδοποίηση. Κάθε επιλεγμένος απόγονος ομαδοποιείται από το γονικό στοιχείο της αρχικής επιλογής. Η ομαδοποίηση παίζει σημαντικό ρόλο στην ένωση δεδομένων.

selection.filter(filter)

Φιλτράρει την επιλογή, επιστρέφοντας μια νέα επιλογή που περιέχει μόνο τα στοιχεία για τα οποία το καθορισμένο φίλτρο είναι αληθές. Αυτό είναι περίπου ισοδύναμο με την απευθείας χρήση της d3.selectAll, αν και οι δείκτες μπορεί να είναι διαφορετικοί. Η filter μπορεί να καθοριστεί είτε ως συμβολοσειρά επιλογέα είτε ως συνάρτηση. Εάν το φίλτρο είναι συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς του δίνεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η ψευδοκλάση :nth-child είναι ένας δείκτης με βάση το ένα και όχι ένας δείκτης με βάση το μηδέν. Επίσης, οι παραπάνω συναρτήσεις φίλτρου δεν έχουν ακριβώς το ίδιο νόημα με την :nth-child. Βασίζονται στο δείκτη επιλογής και όχι στον αριθμό των προηγούμενων αδελφών στοιχείων στο DOM. Η επιστρεφόμενη φιλτραρισμένη επιλογή διατηρεί τους γονείς αυτής της επιλογής, αλλά όπως και η array.filter, δεν διατηρεί τους δείκτες, καθώς ορισμένα στοιχεία μπορεί να αφαιρεθούν. Χρησιμοποιώ την selection.select για να διατηρήσω τον δείκτη, αν χρειάζεται.

3.4.2 Τροποποίηση στοιχείων

Αφού επιλέξω στοιχεία, χρησιμοποιώ την επιλογή για να τροποποιήσω τα στοιχεία.[29] Οι μέθοδοι επιλογής συνήθως επιστρέφουν την τρέχουσα επιλογή ή μια νέα επιλογή, επιτρέποντας τη συνοπτική εφαρμογή πολλαπλών λειτουργιών σε μια δεδομένη επιλογή μέσω της αλυσίδας μεθόδων. Οι επιλογές είναι αμετάβλητες. Όλες οι μέθοδοι επιλογής που επηρεάζουν τα στοιχεία που επιλέγονται (ή τη σειρά τους) επιστρέφουν μια νέα επιλογή αντί να τροποποιούν την τρέχουσα επιλογή. Ωστόσο, τα στοιχεία

είναι αναγκαστικά μεταβλητά, καθώς οι επιλογές οδηγούν σε μετασχηματισμούς του εγγράφου.

selection.attr(name, value)

Εάν έχει καθοριστεί η value, θέτει το χαρακτηριστικό με το καθορισμένο όνομα στην καθορισμένη τιμή στα επιλεγμένα στοιχεία και επιστρέφει αυτή την επιλογή. Αν η value είναι σταθερά, όλα τα στοιχεία λαμβάνουν την ίδια τιμή του χαρακτηριστικού. Διαφορετικά, αν η value είναι συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, κατά σειρά, αφού περάσει το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον καθορισμό του χαρακτηριστικού κάθε στοιχείου. Μια μηδενική τιμή θα αφαιρέσει το καθορισμένο χαρακτηριστικό. Εάν δεν έχει καθοριστεί value, επιστρέφει την τρέχουσα τιμή του καθορισμένου χαρακτηριστικού για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο της επιλογής. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η επιλογή περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο. Το καθορισμένο όνομα μπορεί να έχει ένα πρόθεμα χώρου ονομάτων, όπως xlink:href για να καθορίσω το χαρακτηριστικό href στο χώρο ονομάτων XLink. Επιπλέον χώροι ονομάτων μπορούν να καταχωρηθούν με προσθήκη στο χάρτη.

selection.classed(names, value)

Εάν έχει καθοριστεί η value, εκχωρεί ή καταργεί την εκχώρηση των καθορισμένων ονομάτων κλάσεων CSS στα επιλεγμένα στοιχεία, ορίζοντας το χαρακτηριστικό class ή τροποποιώντας την ιδιότητα classList και επιστρέφει αυτή την επιλογή. Τα καθορισμένα ονόματα είναι μια συμβολοσειρά από ονόματα κλάσεων με διαχωρισμό διαστημάτων. Εάν η τιμή είναι αληθής, τότε σε όλα τα στοιχεία εκχωρούνται οι καθορισμένες κλάσεις. Διαφορετικά, οι κλάσεις δεν εκχωρούνται. Εάν η value είναι μια συνάρτηση, αυτή αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, κατά σειρά, αφού της μεταβιβαστούν το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την ανάθεση ή την άρση της ανάθεσης κλάσεων σε κάθε στοιχείο. Αν δεν έχει καθοριστεί value, επιστρέφει true αν και μόνο αν το πρώτο (μη μηδενικό) επιλεγμένο στοιχείο έχει τις καθορισμένες κλάσεις. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η επιλογή περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο.

selection.style(name, value, priority)

Εάν έχει καθοριστεί η value, ορίζει την ιδιότητα στυλ με το καθορισμένο όνομα στην καθορισμένη τιμή στα επιλεγμένα στοιχεία και επιστρέφει αυτή την επιλογή. Εάν η value είναι σταθερά, τότε σε όλα τα στοιχεία δίνεται η ίδια τιμή της ιδιότητας στυλ. Διαφορετικά, εάν η value είναι συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού περάσει το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον καθορισμό της ιδιότητας στυλ κάθε στοιχείου. Μια μηδενική τιμή θα αφαιρέσει την ιδιότητα στυλ. Μπορεί επίσης να καθοριστεί μια προαιρετική προτεραιότητα, είτε ως null είτε ως η συμβολοσειρά important (χωρίς το θαυμαστικό). Εάν δεν έχει καθοριστεί η value, επιστρέφει την τρέχουσα τιμή της καθορισμένης ιδιότητας στυλ για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο της επιλογής. Η τρέχουσα τιμή ορίζεται ως η inline τιμή του στοιχείου, αν υπάρχει, και διαφορετικά ως η υπολογισμένη τιμή του. Η πρόσβαση στην τρέχουσα τιμή στυλ είναι γενικά χρήσιμη μόνο αν γνωρίζω ότι η επιλογή περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο.

selection.text(value)

Εάν έχει καθοριστεί η value, ορίζει το περιεχόμενο κειμένου στην καθορισμένη τιμή σε όλα τα επιλεγμένα στοιχεία, αντικαθιστώντας τυχόν υπάρχοντα στοιχεία-παιδιά. Εάν η τιμή είναι μια σταθερά, τότε σε όλα τα στοιχεία δίνεται το ίδιο περιεχόμενο κειμένου. Διαφορετικά, εάν η τιμή είναι μια συνάρτηση, αυτή αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού της μεταβιβαστούν το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον ορισμό του περιεχομένου κειμένου κάθε στοιχείου. Μια μηδενική τιμή θα διαγράψει το περιεχόμενο. Εάν δεν έχει καθοριστεί η value, επιστρέφει το περιεχόμενο κειμένου για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο της επιλογής. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η επιλογή περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο.

selection.html(value)

Εάν έχει καθοριστεί η value, ορίζει την εσωτερική HTML στην καθορισμένη τιμή σε όλα τα επιλεγμένα στοιχεία, αντικαθιστώντας τυχόν υπάρχοντα στοιχεία-παιδιά. Εάν η τιμή είναι μια σταθερά, τότε σε όλα τα στοιχεία δίνεται η ίδια εσωτερική HTML. Διαφορετικά, εάν η τιμή είναι μια συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού περάσει το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον ορισμό της εσωτερικής HTML κάθε στοιχείου. Μια μηδενική τιμή θα διαγράψει το περιεχόμενο. Εάν δεν έχει καθοριστεί η value, επιστρέφει την εσωτερική HTML για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο της επιλογής. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η επιλογή περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο. Χρησιμοποιώ την selection.append ή την selection.insert αντ' αυτού για να δημιουργήσω περιεχόμενο με βάση τα δεδομένα. Αυτή η μέθοδος προορίζεται για όταν θέλω λίγο HTML, π.χ. για πλούσια μορφοποίηση. Επίσης, η επιλογή selection.html υποστηρίζεται μόνο σε στοιχεία HTML. Τα στοιχεία SVG και άλλα μη HTML στοιχεία δεν υποστηρίζουν την ιδιότητα innerHTML και συνεπώς δεν είναι συμβατά με την selection.html. Υπάρχει το XMLSerializer για τη μετατροπή ενός υποδένδρου DOM σε κείμενο. Υπάρχει επίσης το polyfill innersvg, το οποίο παρέχει ένα shim για την υποστήριξη της ιδιότητας innerHTML σε στοιχεία SVG.

selection.append(type)

Εάν ο καθορισμένος τύπος είναι συμβολοσειρά, προσθέτει ένα νέο στοιχείο αυτού του τύπου (όνομα ετικέτας) ως το τελευταίο παιδί κάθε επιλεγμένου στοιχείου ή πριν από το επόμενο στοιχείο αδελφό στην επιλογή ενημέρωσης, εάν πρόκειται για επιλογή εισαγωγής. Η τελευταία συμπεριφορά για τις επιλογές enter μου επιτρέπει να εισάγω στοιχεία στο DOM με σειρά σύμφωνη με τα νέα δεσμευμένα δεδομένα. Ωστόσο, η selection.order μπορεί να εξακολουθεί να απαιτείται εάν τα στοιχεία ενημέρωσης αλλάζουν σειρά (δηλαδή εάν η σειρά των νέων δεδομένων δεν είναι σύμφωνη με τα παλιά δεδομένα). Εάν ο καθορισμένος τύπος είναι μια συνάρτηση, αυτή αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού της μεταβιβαστούν το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Αυτή η συνάρτηση θα πρέπει να επιστρέφει ένα στοιχείο προς προσάρτηση. (Η συνάρτηση τυπικά δημιουργεί ένα νέο στοιχείο, αλλά μπορεί αντ' αυτού να επιστρέψει ένα υπάρχον στοιχείο). Και στις δύο περιπτώσεις, η μέθοδος αυτή επιστρέφει μια νέα επιλογή που περιέχει τα προσαρτημένα στοιχεία. Κάθε νέο στοιχείο κληρονομεί τα δεδομένα των τρεχόντων στοιχείων, αν υπάρχουν, με τον ίδιο τρόπο όπως η επιλογή selection.select. Το καθορισμένο όνομα μπορεί να έχει ένα πρόθεμα χώρου ονομάτων, όπως το svg:text για τον καθορισμό ενός χαρακτηριστικού κειμένου στο χώρο ονομάτων SVG. Επιπλέον χώροι ονομάτων μπορούν να καταχωρηθούν με προσθήκη στο χάρτη. Αν δεν καθοριστεί κανένα namespace, το namespace θα κληρονομηθεί από το γονικό στοιχείο. Ή, αν το όνομα

είναι ένα από τα γνωστά προθέματα, θα χρησιμοποιηθεί το αντίστοιχο namespace (για παράδειγμα, το svg συνεπάγεται svg:svg).

selection.remove()

Αφαιρεί τα επιλεγμένα στοιχεία από το έγγραφο. Επιστρέφει αυτή την επιλογή (τα αφαιρεθέντα στοιχεία) τα οποία έχουν πλέον αποσπαστεί από το DOM. Προς το παρόν δεν υπάρχει ειδικό API για την επαναπρόσθεση των στοιχείων που έχουν αφαιρεθεί στο έγγραφο. Ωστόσο, μπορώ να περάσω μια συνάρτηση στο selection.append ή στο selection.insert για την επαναπρόσθεση στοιχείων.

3.4.3 Σύνδεση δεδομένων

selection.data(data, key)

Συνδέει τον καθορισμένο πίνακα δεδομένων με τα επιλεγμένα στοιχεία, επιστρέφοντας μια νέα επιλογή που αντιπροσωπεύει την επιλογή ενημέρωσης και τα στοιχεία που συνδέθηκαν επιτυχώς με τα δεδομένα.[30] Ορίζει επίσης τις επιλογές εισόδου και εξόδου στην επιστρεφόμενη επιλογή, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσθήκη ή την αφαίρεση στοιχείων που αντιστοιχούν στα νέα δεδομένα. Τα καθορισμένα δεδομένα είναι ένας πίνακας αυθαίρετων τιμών (π.χ. αριθμοί ή αντικείμενα) ή μια συνάρτηση που επιστρέφει έναν πίνακα τιμών για κάθε ομάδα. Όταν τα δεδομένα αντιστοιχίζονται σε ένα στοιχείο, αποθηκεύονται στην ιδιότητα __data__, καθιστώντας έτσι τα δεδομένα "κολλώδη" και διαθέσιμα κατά την επανεπιλογή. Τα δεδομένα καθορίζονται για κάθε ομάδα στην επιλογή. Εάν η επιλογή έχει πολλαπλές ομάδες (όπως d3.selectAll ακολουθούμενη από selection.selectAll), τότε τα δεδομένα θα πρέπει τυπικά να καθορίζονται ως συνάρτηση. Αυτή η συνάρτηση θα αξιολογηθεί για κάθε ομάδα με τη σειρά, αφού της μεταβιβαστούν το γονικό δεδομένο της ομάδας (d, το οποίο μπορεί να είναι απροσδιόριστο), ο δείκτης της ομάδας (i) και οι κόμβοι-γονείς της επιλογής (nodes), με αυτό ως γονικό στοιχείο της ομάδας. Σε συνδυασμό με το selection.join (ή πιο συγκεκριμένα με τα selection.enter, selection.exit, selection.append και selection.remove), το selection.data μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εισαγωγή, ενημέρωση και έξοδο στοιχείων για την αντιστοίχιση δεδομένων. Εάν δεν καθοριστεί μια λειτουργία κλειδιού, τότε το πρώτο δεδομένο στα δεδομένα αντιστοιχίζεται στο πρώτο επιλεγμένο στοιχείο, το δεύτερο δεδομένο στο δεύτερο επιλεγμένο στοιχείο κ.ο.κ. Μια συνάρτηση κλειδιού μπορεί να καθοριστεί για να ελέγχει ποιο δεδομένο ανατίθεται σε ποιο στοιχείο, αντικαθιστώντας την προεπιλεγμένη σύνδεση με δείκτη, υπολογίζοντας ένα αναγνωριστικό συμβολοσειράς για κάθε δεδομένο και στοιχείο. Αυτή η συνάρτηση κλειδιού αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς της δίνεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Η συμβολοσειρά που επιστρέφεται είναι το κλειδί του στοιχείου. Η συνάρτηση κλειδί αξιολογείται επίσης για κάθε νέο δεδομένο στα δεδομένα, καθώς της δίνεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και τα νέα δεδομένα της ομάδας, με αυτό ως γονικό στοιχείο DOM της ομάδας. Η επιστρεφόμενη συμβολοσειρά είναι το κλειδί του δεδομένου. Το datum για ένα δεδομένο κλειδί ανατίθεται στο στοιχείο με το αντίστοιχο κλειδί. Εάν πολλά στοιχεία έχουν το ίδιο κλειδί, τα διπλά στοιχεία τοποθετούνται στην επιλογή εξόδου. Εάν πολλά δεδομένα έχουν το ίδιο κλειδί, τα διπλά δεδομένα τοποθετούνται στην επιλογή εισόδου. Αυτό το παράδειγμα συνάρτησης κλειδιού χρησιμοποιεί το δεδομένο d αν υπάρχει, και διαφορετικά επιστρέφει στην ιδιότητα id του στοιχείου. Δεδομένου ότι αυτά τα στοιχεία δεν είχαν προηγουμένως συνδεθεί με δεδομένα, το datum d είναι μηδενικό όταν η συνάρτηση κλειδί αξιολογείται σε επιλεγμένα στοιχεία και μη μηδενικό όταν η συνάρτηση κλειδί αξιολογείται στα νέα δεδομένα. Οι επιλογές ενημέρωσης και εισόδου επιστρέφονται με τη σειρά των δεδομένων, ενώ η επιλογή εξόδου διατηρεί τη σειρά επιλογής πριν από την ένωση. Εάν καθοριστεί μια συνάρτηση κλειδιού, η σειρά των στοιχείων στην επιλογή ενδέχεται να μην αντιστοιχεί στη σειρά τους στο έγγραφο.

Χρησιμοποιώ την selection.order ή την selection.sort ανάλογα με τις ανάγκες. Εάν δεν καθοριστούν τα δεδομένα, η μέθοδος αυτή επιστρέφει τον πίνακα δεδομένων για τα επιλεγμένα στοιχεία. Αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκκαθάριση δεσμευμένων δεδομένων. Χρησιμοποιώ αντί αυτού την selection.datum.

selection.enter()

Επιστρέφει τους κόμβους enter selection: placeholder για κάθε δεδομένο που δεν είχε αντίστοιχο στοιχείο DOM στην επιλογή. Η enter selection είναι κενή για τις επιλογές που δεν επιστρέφονται από το selection.data. Η enter selection χρησιμοποιείται συνήθως για τη δημιουργία "ελλειπόντων" στοιχείων που αντιστοιχούν σε νέα δεδομένα. Εννοιολογικά, τα placeholders της επιλογής εισαγωγής είναι δείκτες προς το γονικό στοιχείο. Η επιλογή enter χρησιμοποιείται συνήθως μόνο παροδικά για την προσθήκη στοιχείων και συχνά συγχωνεύεται με την επιλογή update μετά την προσθήκη, έτσι ώστε οι τροποποιήσεις να μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στην εισαγωγή όσο και στην ενημέρωση των στοιχείων.

selection.exit()

Επιστρέφει την επιλογή εξόδου, δηλαδή τα υπάρχοντα στοιχεία D στην επιλογή για τα οποία δεν βρέθηκε νέο δεδομένο. Η επιλογή εξόδου είναι κενή για τις επιλογές που δεν επιστρέφονται από το selection.data. Η επιλογή εξόδου χρησιμοποιείται συνήθως για την αφαίρεση "περιττών" στοιχείων που αντιστοιχούν σε παλιά δεδομένα. Εφόσον καθορίστηκε μια συνάρτηση κλειδί (ως συνάρτηση ταυτότητας) και τα νέα δεδομένα περιέχουν τους αριθμούς [4, 8, 16] που αντιστοιχούν σε υπάρχοντα στοιχεία του εγγράφου, η επιλογή ενημέρωσης περιέχει τρία στοιχεία DIV. Η σειρά των στοιχείων D ταιριάζει με τη σειρά των δεδομένων, επειδή η σειρά των παλαιών δεδομένων και η σειρά των νέων δεδομένων ήταν συνεπείς. Εάν η σειρά των νέων δεδομένων είναι διαφορετική, χρησιμοποιώ selection.order για να αναδιατάξω τα στοιχεία στο D.

selection.datum(value)

Λαμβάνει ή ορίζει τα δεσμευμένα δεδομένα για κάθε επιλεγμένο στοιχείο. Σε αντίθεση με την selection.data, αυτή η μέθοδος δεν υπολογίζει μια ένωση και δεν επηρεάζει τα ευρετήρια ή τις επιλογές εισόδου και εξόδου. Εάν καθοριστεί μια τιμή, θέτει τα δεσμευμένα δεδομένα του στοιχείου στην καθορισμένη τιμή σε όλα τα επιλεγμένα στοιχεία. Εάν η τιμή είναι μια σταθερά, όλα τα στοιχεία λαμβάνουν το ίδιο δεδομένο. Διαφορετικά, εάν η τιμή είναι μια συνάρτηση, αυτή αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού περάσει το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο D (nodes[i]). Στη συνέχεια, η συνάρτηση χρησιμοποιείται για τον ορισμό των νέων δεδομένων κάθε στοιχείου. Μια μηδενική τιμή θα διαγράψει τα δεσμευμένα δεδομένα. Εάν δεν καθοριστεί τιμή, επιστρέφει τα δεσμευμένα δεδομένα για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο της επιλογής. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η επιλογή περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη για την πρόσβαση σε προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά δεδομένων της HTML5.

selection.merge(other)

Επιστρέφει μια νέα επιλογή που συγχωνεύει αυτή την επιλογή με την καθορισμένη άλλη επιλογή ή μετάβαση. Η επιλογή που επιστρέφεται έχει τον ίδιο αριθμό ομάδων και τους ίδιους γονείς με αυτή την επιλογή. Τυχόν στοιχεία που λείπουν (μηδενικά) από αυτή την επιλογή συμπληρώνονται με το αντίστοιχο

στοιχείο, εάν υπάρχει (όχι μηδενικό), από την καθορισμένη επιλογή. Εάν η άλλη επιλογή έχει πρόσθετες ομάδες ή γονείς, αγνοούνται. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται εσωτερικά από την selection.join για τη συγχώνευση των επιλογών enter και update μετά τη δέσμευση δεδομένων. Μπορώ επίσης να συγχωνεύσω ρητά, αν και σημειώστε ότι, δεδομένου ότι η συγχώνευση βασίζεται στο δείκτη στοιχείου, θα πρέπει να χρησιμοποιώ λειτουργίες που διατηρούν το δείκτη, όπως η selection.select αντί της selection.filter. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν προορίζεται για τη συνένωση αυθαίρετων επιλογών, αν τόσο αυτή η επιλογή όσο και η καθορισμένη άλλη επιλογή έχουν (μη μηδενικά) στοιχεία στον ίδιο δείκτη, το στοιχείο αυτής της επιλογής επιστρέφεται στη συνένωση και το στοιχείο της άλλης επιλογής αγνοείται.

3.4.4 Χειρισμός γεγονότων

Για την αλληλεπίδραση, οι επιλογές επιτρέπουν την ακρόαση και την αποστολή συμβάντων.[31]

selection.on(typenames, listener, options)

Προσθέτει ή αφαιρεί έναν ακροατή σε κάθε επιλεγμένο στοιχείο για τα καθορισμένα ονόματα τύπων συμβάντων. Το typenames είναι ένας τύπος συμβάντος συμβολοσειράς, όπως click, mouseover ή submit. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τύπος συμβάντος DOM που υποστηρίζεται από το πρόγραμμα περιήγησής σας. Ο τύπος μπορεί προαιρετικά να ακολουθείται από μια τελεία (.) και ένα όνομα. Το προαιρετικό όνομα επιτρέπει την καταχώριση πολλαπλών ανακλήσεων για τη λήψη συμβάντων του ίδιου τύπου, όπως click.foo και click.bar. Για να καθορίσω πολλαπλά ονόματα τύπων, διαχωρίζω τα ονόματα τύπων με κενά, όπως αλλαγή εισόδου ή click.foo click.bar. Όταν ένα καθορισμένο συμβάν αποστέλλεται σε ένα επιλεγμένο στοιχείο, ο καθορισμένος ακροατής θα αξιολογηθεί για το στοιχείο, μεταβιβάζοντας το τρέχον συμβάν (event) και το τρέχον δεδομένο (d), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (event.currentTarget). Οι ακροατές βλέπουν πάντα το τελευταίο datum για το στοιχείο τους. Ενώ μπορώ να χρησιμοποιήσω απευθείας τα event.pageX και event.pageY, είναι συχνά βολικό να μετατρέψω τη θέση του συμβάντος στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων του στοιχείου που έλαβε το συμβάν χρησιμοποιώντας το d3.pointer. Εάν ένας ακροατής συμβάντων είχε ήδη καταχωρηθεί για το ίδιο typename σε ένα επιλεγμένο στοιχείο, ο παλιός ακροατής αφαιρείται πριν προστεθεί ο νέος ακροατής. Για να καταργήσω έναν ακροατή, δίνω null ως ακροατή. Για να καταργήσω όλους τους ακροατές για ένα δεδομένο όνομα, περνάω null ως ακροατή και .foo ως typename, όπου foo είναι το όνομα. Για να καταργήσω όλους τους ακροατές χωρίς όνομα, καθορίζω την τελεία (.) ως typename. Ένα προαιρετικό αντικείμενο options μπορεί να καθορίσει χαρακτηριστικά σχετικά με τον ακροατή συμβάντων, όπως το αν είναι συλλαμβάνων ή παθητικός, βλέπε element.addEventListener. Εάν δεν καθοριστεί ακροατής, επιστρέφει τον τρέχοντα εκχωρημένο ακροατή για το καθορισμένο όνομα τύπου συμβάντος στο πρώτο (μη μηδενικό) επιλεγμένο στοιχείο, εάν υπάρχει. Εάν καθοριστούν πολλαπλά ονόματα τύπων, επιστρέφεται ο πρώτος ακροατής που ταιριάζει.

pointer(event, target)

Επιστρέφει έναν πίνακα αριθμών [x, y] δύο στοιχείων που αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες του καθορισμένου συμβάντος σε σχέση με τον καθορισμένο στόχο. Το συμβάν μπορεί να είναι ένα MouseEvent, ένα PointerEvent, ένα Touch ή ένα προσαρμοσμένο συμβάν που περιέχει ένα UIEvent ως event.sourceEvent. Εάν δεν έχει καθοριστεί ο στόχος, ως προεπιλογή χρησιμοποιείται η ιδιότητα currentTarget του συμβάντος πηγής, εάν είναι διαθέσιμη. Εάν ο στόχος είναι ένα στοιχείο SVG, οι συντεταγμένες του συμβάντος μετασχηματίζονται χρησιμοποιώντας το αντίστροφο του πίνακα μετασχηματισμού συντεταγμένων οθόνης. Εάν ο στόχος είναι στοιχείο HTML, οι συντεταγμένες του συμβάντος μεταφράζονται σε σχέση με την επάνω αριστερή γωνία του ορθογωνίου πελάτη του στόχου. Ως εκ τούτου, το σύστημα συντεταγμέ-

νων μπορεί να μεταφραστεί μόνο σε σχέση με τις συντεταγμένες του πελάτη. Διαφορετικά, επιστρέφεται [event.pageX, event.pageY].

3.4.5 Ροή ελέγχου

Για προχωρημένη χρήση, οι επιλογές παρέχουν μεθόδους για προσαρμοσμένη ροή ελέγχου.[32]

selection.each(function)

Καλεί την καθορισμένη συνάρτηση για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς του δίνεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM (nodes[i]). Αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίκληση αυθαίρετου κώδικα για κάθε επιλεγμένο στοιχείο και είναι χρήσιμη για τη δημιουργία ενός πλαισίου για την ταυτόχρονη πρόσβαση σε δεδομένα γονέα και παιδιού.

selection.call(function, ...arguments)

Καλεί την καθορισμένη συνάρτηση ακριβώς μία φορά, περνώντας αυτή την επιλογή μαζί με τυχόν προαιρετικά ορίσματα. Επιστρέφει αυτή την επιλογή. Αυτό είναι ισοδύναμο με την κλήση της συνάρτησης με το χέρι, αλλά διευκολύνει την αλυσίδα μεθόδων. Η μόνη διαφορά είναι ότι η selection.call επιστρέφει πάντα την επιλογή και όχι την τιμή επιστροφής της καλούμενης συνάρτησης, name.

selection.empty()

Επιστρέφει αληθές εάν αυτή η επιλογή δεν περιέχει κανένα (μη μηδενικό) στοιχείο.

selection.nodes()

Επιστρέφει έναν πίνακα με όλα τα (μη μηδενικά) στοιχεία αυτής της επιλογής.

selection[Symbol.iterator]()

Επιστρέφει έναν επαναλήπτη στα επιλεγμένα (μη μηδενικά) στοιχεία.

selection.node()

Επιστρέφει το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο αυτής της επιλογής. Εάν η επιλογή είναι κενή, επιστρέφει null.

selection.size()

Επιστρέφει το συνολικό αριθμό των (μη μηδενικών) στοιχείων αυτής της επιλογής.

3.5 d3-transition

Μια μετάβαση είναι μια διεπαφή που μοιάζει με επιλογή για την εμψύχωση αλλαγών στο DOM. Αντί να εφαρμόζουν τις αλλαγές ακαριαία, οι μεταβάσεις παρεμβάλλουν ομαλά το DOM από την τρέχουσα κατάστασή του στην επιθυμητή κατάσταση-στόχο σε μια δεδομένη διάρκεια. Για να εφαρμόσω μια μετάβαση, επιλέγω στοιχεία, καλώ την επιλογή selection.transition και στη συνέχεια πραγματοποιώ τις επιθυμητές αλλαγές. Οι μεταβάσεις υποστηρίζουν τις περισσότερες μεθόδους επιλογής (όπως transition.attr και transition.style αντί των selection.attr και selection.style), αλλά δεν υποστηρίζονται όλες οι μέθοδοι. Για παράδειγμα, πρέπει να προσαρτήσω στοιχεία ή να δεσμεύσω δεδομένα πριν από την έναρξη μιας μετάβασης. Παρέχεται ένας τελεστής transition.remove για την άνετη αφαίρεση στοιχείων όταν τελειώνει η μετάβαση. Για τον υπολογισμό της ενδιάμεσης κατάστασης, οι μεταβάσεις αξιοποιούν μια ποικιλία ενσωματωμένων παρεμβολέων. Τα χρώματα, οι αριθμοί και οι μετασχηματισμοί ανιχνεύονται αυτόματα. Εντοπίζονται επίσης συμβολοσειρές με ενσωματωμένους αριθμούς, όπως είναι σύνηθες με πολλά στυλ (όπως το γέμισμα ή τα μεγέθη γραμματοσειράς) και μονοπάτια. Για να καθορίσω έναν προσαρμοσμένο παρεμβολέα, χρησιμοποιώ τα transition.attrTween, transition.styleTween ή transition.tween.

3.5.1 Selecting elements

Οι μεταβάσεις προέρχονται από τις επιλογές μέσω του selection.transition.[33] Μπορώ επίσης να δημιουργήσω μια μετάβαση στο στοιχείο ρίζα του εγγράφου χρησιμοποιώντας το d3.transition.

transition.filter(filter)

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, επιλέγει μόνο τα στοιχεία που ταιριάζουν με το καθορισμένο φίλτρο και επιστρέφει μια μετάβαση στην προκύπτουσα επιλογή. Το φίλτρο μπορεί να καθοριστεί είτε ως συμβολοσειρά επιλογέα είτε ως συνάρτηση. Εάν πρόκειται για συνάρτηση, αξιολογείται για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς του δίνεται το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM. Η νέα μετάβαση έχει το ίδιο id, όνομα και χρονισμό με αυτή τη μετάβαση. Ωστόσο, εάν μια μετάβαση με το ίδιο id υπάρχει ήδη σε ένα επιλεγμένο στοιχείο, επιστρέφεται η υπάρχουσα μετάβαση για αυτό το στοιχείο. Αυτή η μέθοδος είναι ισοδύναμη με την παραγωγή της επιλογής για αυτή τη μετάβαση μέσω της transition.selection, τη δημιουργία μιας υποεπιλογής μέσω της selection.filter και, στη συνέχεια, τη δημιουργία μιας νέας μετάβασης μέσω της selection.transition.

transition.transition()

Επιστρέφει μια νέα μετάβαση στα ίδια επιλεγμένα στοιχεία με αυτή τη μετάβαση, η οποία έχει προγραμματιστεί να ξεκινήσει όταν τελειώσει αυτή η μετάβαση. Η νέα μετάβαση κληρονομεί ένα χρόνο αναφοράς ίσο με το χρόνο αυτής της μετάβασης συν την καθυστέρηση και τη διάρκειά της. Η νέα μετάβαση κληρονομεί επίσης το όνομα, τη διάρκεια και το easing αυτής της μετάβασης. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό μιας ακολουθίας αλυσιδωτών μεταβάσεων. Η καθυστέρηση για κάθε μετάβαση είναι σχετική με την προηγούμενη μετάβαση.

3.5.2 Modifying elements

Αφού επιλέξω στοιχεία και δημιουργήσω μια μετάβαση με την επιλογή selection.transition, χρησιμοποιώ τις μεθόδους μετασχηματισμού της μετάβασης για να επηρεάσω το περιεχόμενο του εγγράφου.[34]

transition.style(name, value, priority)

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, εκχωρεί το tween στυλ για το στυλ με το καθορισμένο όνομα στην καθορισμένη τιμή-στόχο με την καθορισμένη προτεραιότητα. Η τιμή εκκίνησης του tween είναι η inline τιμή του στυλ, αν υπάρχει, και διαφορετικά η υπολογισμένη τιμή του, όταν ξεκινάει η μετάβαση. Η τιμή-στόχος μπορεί να καθοριστεί είτε ως σταθερά είτε ως συνάρτηση. Εάν πρόκειται για συνάρτηση, αξιολογείται αμέσως για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, καθώς της μεταβιβάζονται το τρέχον σημείο αναφοράς (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM. Εάν η τιμή-στόχος είναι null, το στυλ αφαιρείται όταν ξεκινά η μετάβαση. Διαφορετικά, επιλέγεται ένας παρεμβολέας με βάση τον τύπο της τιμής στόχου, χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο αλγόριθμο:

1. Αν η τιμή είναι αριθμός, χρησιμοποιώ interpolateNumber.
2. Εάν η τιμή είναι χρώμα ή συμβολοσειρά που μπορεί να συναρτηθεί με χρώμα, χρησιμοποιώ interpolateRgb.
3. Χρησιμοποιώ interpolateString.

transition.remove()

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, αφαιρεί το στοιχείο όταν τελειώσει η μετάβαση, εφόσον το στοιχείο δεν έχει άλλες ενεργές ή εκκρεμείς μεταβάσεις. Εάν το στοιχείο έχει άλλες ενεργές ή εκκρεμείς μεταβάσεις, δεν κάνει τίποτα.

3.5.3 Χρονισμός

Η χαλάρωση, η καθυστέρηση και η διάρκεια μιας μετάβασης είναι παραμετροποιήσιμες.[35] Για παράδειγμα, μια καθυστέρηση ανά στοιχείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κλιμάκωση της αναδιάταξης των στοιχείων, βελτιώνοντας την αντίληψη.

transition.delay(value)

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, ορίζει την καθυστέρηση μετάβασης στην καθορισμένη τιμή σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η τιμή μπορεί να καθοριστεί είτε ως σταθερά είτε ως συνάρτηση. Εάν πρόκειται για συνάρτηση, αξιολογείται αμέσως για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού της περάσει το τρέχον datum (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM. Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον καθορισμό της καθυστέρησης μετάβασης κάθε στοιχείου. Εάν δεν έχει καθοριστεί καθυστέρηση, η προεπιλεγμένη τιμή της είναι μηδέν. Εάν δεν έχει καθοριστεί τιμή, επιστρέφει την τρέχουσα τιμή της καθυστέρησης για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο στη μετάβαση. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η μετάβαση περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο. Ο ορισμός της καθυστέρησης σε πολλαπλάσιο του δείκτη i είναι ένας βολικός τρόπος για να κλιμακώνω τις μεταβάσεις σε ένα σύνολο στοιχείων. Φυσικά, μπορώ επίσης να υπολογί-

σω την καθυστέρηση ως συνάρτηση των δεδομένων ή να ταξινομήσω την επιλογή πριν υπολογίσω μια καθυστέρηση με βάση τον δείκτη.

transition.duration(value)

Για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, ορίζει τη διάρκεια μετάβασης στην καθορισμένη τιμή σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η value μπορεί να καθοριστεί είτε ως σταθερά είτε ως συνάρτηση. Εάν πρόκειται για συνάρτηση, αξιολογείται αμέσως για κάθε επιλεγμένο στοιχείο, με τη σειρά, αφού περάσει το τρέχον δεδομένο (d), ο τρέχων δείκτης (i) και η τρέχουσα ομάδα (nodes), με αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM. Η τιμή επιστροφής της συνάρτησης χρησιμοποιείται στη συνέχεια για τον καθορισμό της διάρκειας μετάβασης κάθε στοιχείου. Εάν δεν καθοριστεί διάρκεια, η προεπιλεγμένη τιμή είναι 250ms. Εάν δεν καθοριστεί η value, επιστρέφει την τρέχουσα τιμή της διάρκειας για το πρώτο (μη μηδενικό) στοιχείο στη μετάβαση. Αυτό είναι γενικά χρήσιμο μόνο αν γνωρίζω ότι η μετάβαση περιέχει ακριβώς ένα στοιχείο.

3.5.4 Ροή ελέγχου

Για προχωρημένη χρήση, οι μεταβάσεις παρέχουν μεθόδους για προσαρμοσμένη ροή ελέγχου.[36]

Η ζωή μιας μετάβασης

Αμέσως μετά τη δημιουργία μιας μετάβασης, όπως με την επιλογή selection.transition ή transition.transition, μπορώ να διαμορφώσω τη μετάβαση χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως οι transition.delay, transition.duration, transition.attr και transition.style. Οι μέθοδοι που καθορίζουν τιμές-στόχους (όπως η transition.attr) αξιολογούνται συγχρονισμένα. Ωστόσο, οι μέθοδοι που απαιτούν την αρχική τιμή για παρεμβολή, όπως οι transition.attrTween και transition.styleTween, πρέπει να αναβληθούν μέχρι να ξεκινήσει η μετάβαση. Λίγο μετά τη δημιουργία, είτε στο τέλος του τρέχοντος καρέ είτε κατά τη διάρκεια του επόμενου καρέ, η μετάβαση προγραμματίζεται. Σε αυτό το σημείο, οι ακροατές συμβάντων καθυστέρησης και έναρξης δεν μπορούν πλέον να αλλάξουν. Η απόπειρα να γίνει κάτι τέτοιο προκαλεί σφάλμα με το μήνυμα “too late: already scheduled” (ή αν η μετάβαση έχει τελειώσει, “transition not found”). Όταν η μετάβαση ξεκινά στη συνέχεια, διακόπτει την ενεργή μετάβαση με το ίδιο όνομα στο ίδιο στοιχείο, αν υπάρχει, αποστέλλοντας ένα συμβάν διακοπής στους εγγεγραμμένους ακροατές. Οι διακοπές συμβαίνουν κατά την έναρξη, όχι κατά τη δημιουργία, και έτσι ακόμη και μια μετάβαση με μηδενική καθυστέρηση δεν θα διακόψει αμέσως την ενεργή μετάβαση. Στην παλιά μετάβαση δίνεται ένα τελικό πλαίσιο. Χρησιμοποιώ την selection.interrupt για να διακόψω αμέσως. Η μετάβαση εκκίνησης ακυρώνει επίσης όλες τις εκκρεμείς μεταβάσεις με το ίδιο όνομα στο ίδιο στοιχείο που δημιουργήθηκαν πριν από τη μετάβαση εκκίνησης. Στη συνέχεια, η μετάβαση αποστέλλει ένα συμβάν έναρξης στους εγγεγραμμένους ακροατές. Αυτή είναι η τελευταία στιγμή κατά την οποία μπορεί να τροποποιηθεί η μετάβαση, ο χρονισμός, τα tweens και οι ακροατές της μετάβασης δεν μπορούν να τροποποιηθούν όταν αυτή εκτελείται. Η απόπειρα να γίνει κάτι τέτοιο προκαλεί σφάλμα με το μήνυμα “too late: already running” (ή αν η μετάβαση έχει τελειώσει, “transition not found”). Η μετάβαση αρχικοποιεί τα tweens της αμέσως μετά την εκκίνηση. Κατά τη διάρκεια του πλαισίου που ξεκινά η μετάβαση, αλλά αφού έχουν ξεκινήσει όλες οι μεταβάσεις που ξεκινούν αυτό το πλαίσιο, η μετάβαση καλεί τα tweens της για πρώτη φορά. Η ομαδοποίηση της αρχικοποίησης των tween, η οποία συνήθως περιλαμβάνει ανάγνωση από το DOM, βελτιώνει την απόδοση αποφεύγοντας τις διαδοχικές αναγνώσεις και εγγραφές του DOM. Για κάθε καρέ που μια μετάβαση είναι ενεργή, καλεί τα tweens της με μια χαλαρή τιμή t που κυμαίνεται από 0 έως 1. Μέσα σε κάθε πλαίσιο, η μετάβαση επικαλείται τα tweens της με τη σειρά που έχουν καταχωρηθεί. Όταν μια μετάβαση τελειώνει, καλεί τα tweens της μια τελευταία φορά με (μη χαλαρή) τιμή t 1. Στη συνέχεια

αποστέλλει ένα συμβάν λήξης στους καταχωρημένους ακροατές. Αυτή είναι η τελευταία στιγμή κατά την οποία η μετάβαση μπορεί να επιθεωρηθεί. Μετά τον τερματισμό της, η μετάβαση διαγράφεται από το στοιχείο και η διαμόρφωσή της καταστρέφεται. Η διαμόρφωση μιας μετάβασης καταστρέφεται επίσης κατά τη διακοπή ή την ακύρωση. Η προσπάθεια επιθεώρησης μιας μετάβασης μετά την καταστροφή της προκαλεί σφάλμα με το μήνυμα “transition not found”.

3.6 d3-drag

Το σύρσιμο και απόθεση είναι μια δημοφιλής μέθοδος αλληλεπίδρασης για το χειρισμό χωρικών στοιχείων.[37] Μετακινώ το δείκτη σε ένα αντικείμενο, πατάω παρατεταμένα για να το πιάσω, “σέρνω” το αντικείμενο σε μια νέα θέση και αφήνω το για να το “ρίξω”. Η συμπεριφορά drag του D3 παρέχει μια ευέλικτη αφαίρεση για το drag-and-drop. Μπορώ να σύρω κόμβους σε έναν γράφο με κατεύθυνση δύναμης, ή σε μια προσομοίωση συγκρουόμενων κύκλων. Το σύρσιμο δεν είναι μόνο για τη μετακίνηση στοιχείων. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι απόκρισης σε μια χειρονομία σύρσιμο. Το σύρσιμο είναι ανεξάρτητο από το DOM, οπότε μπορεί να το χρησιμοποιηθεί με SVG, HTML ή ακόμα και Canvas. Και μπορώ να την επεκτείνω με προηγμένες τεχνικές επιλογής, όπως μια επικάλυψη Voronoi ή μια αναζήτηση κοντινότερου στόχου. Το σύρσιμο ενοποιεί την είσοδο με ποντίκι και αφή και αποφεύγει τις ιδιορρυθμίες του προγράμματος περιήγησης.

3.6.1 drag()

Δημιουργεί ένα νέο σύρσιμο. Το επιστρεφόμενο σύρσιμο είναι τόσο ένα αντικείμενο όσο και μια συνάρτηση και συνήθως εφαρμόζεται σε επιλεγμένα στοιχεία μέσω της επιλογής selection.call.

3.6.2 drag(selection)

Εφαρμόζει αυτό το σύρσιμο στην καθορισμένη επιλογή. Αυτή η συνάρτηση συνήθως δεν καλείται απευθείας και αντ’ αυτού καλείται μέσω της selection.call. Εσωτερικά, το σύρσιμο χρησιμοποιεί την selection.on για να δεσμεύσει τους απαραίτητους ακροατές συμβάντων για το σύρσιμο. Η εφαρμογή του συρσίματος θέτει επίσης το στυλ -webkit-tap-highlight-color σε διαφανές, απενεργοποιώντας την επισήμανση του tap στο iOS. Αν θέλω διαφορετικό χρώμα επισήμανσης πατήματος, αφαιρέστε ή εφαρμόστε ξανά αυτό το στυλ μετά την εφαρμογή του συρσίματος.

3.6.3 drag.filter(filter)

Εάν έχει καθοριστεί η filter, θέτει το φίλτρο συμβάντος στην καθορισμένη συνάρτηση και επιστρέφει το σύρσιμο. Εάν η filter δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει το τρέχον φίλτρο. Εάν το φίλτρο επιστρέψει ψευδές, το γεγονός που το ξεκίνησε αγνοείται και δεν ξεκινούν οι κινήσεις συρσίματος. Έτσι, το φίλτρο καθορίζει ποια συμβάντα εισόδου αγνοούνται. Το προεπιλεγμένο φίλτρο αγνοεί τα συμβάντα mousedown σε δευτερεύοντα κουμπιά, καθώς αυτά τα κουμπιά προορίζονται συνήθως για άλλους σκοπούς, όπως το μενού περιβάλλοντος.

3.6.4 drag.on(typenames, listener)

Εάν έχει καθοριστεί η listener, ορίζει τον ακροατή συμβάντων για τα καθορισμένα typenames και επιστρέφει το σύρσιμο. Εάν ένας ακροατής συμβάντων έχει ήδη καταχωρηθεί για τον ίδιο τύπο και το ίδιο όνομα, ο υπάρχων ακροατής αφαιρείται πριν από την προσθήκη του νέου ακροατή. Εάν το listener είναι null, αφαιρεί τους τρέχοντες ακροατές συμβάντων για τα καθορισμένα typenames, εάν υπάρχουν. Εάν η listener δεν έχει καθοριστεί, επιστρέφει τον πρώτο τρέχοντα καταχωρημένο ακροατή που ταιριάζει με τα καθορισμένα ονόματα τύπου, εάν υπάρχει. Όταν αποστέλλεται ένα καθορισμένο συμβάν, κάθε ακροατής θα κληθεί με το ίδιο πλαίσιο και τα ίδια ορίσματα όπως οι ακροατές της selection.on, το τρέχον συμβάν και το δεδομένο d, με το πλαίσιο αυτό ως το τρέχον στοιχείο DOM. Το typenames είναι μια συμβολοσειρά που περιέχει ένα ή περισσότερα typename χωρισμένα με κενά διαστήματα. Κάθε typename είναι ένας τύπος, προαιρετικά ακολουθούμενος από μια τελεία (.) και ένα όνομα, όπως drag.foo και drag.bar. Το όνομα επιτρέπει την εγγραφή πολλαπλών ακροατών για τον ίδιο τύπο. Ο τύπος πρέπει να είναι ένας από τους ακόλουθους:

- start: Μετά την ενεργοποίηση ενός νέου δείκτη (κατά το mousedown ή το touchstart).
- drag: Μετά τη μετακίνηση ενός ενεργού δείκτη (με mousemove ή touchmove).
- end: Αφού ένας ενεργός δείκτης γίνει ανενεργός (με mouseup, touchend ή touchcancel).

Οι αλλαγές στους καταχωρημένους ακροατές μέσω του drag.on κατά τη διάρκεια μιας χειρονομίας συρσίματος δεν επηρεάζουν την τρέχουσα χειρονομία συρσίματος. Αντ' αυτού, πρέπει να χρησιμοποιήσω το event.on, το οποίο μου επιτρέπει επίσης να καταχωρίσω προσωρινούς ακροατές συμβάντων για την τρέχουσα χειρονομία συρσίματος. Κατά τη διάρκεια μιας χειρονομίας συρσίματος αποστέλλονται ξεχωριστά συμβάντα για κάθε ενεργό δείκτη. Για παράδειγμα, εάν σύρω ταυτόχρονα πολλά θέματα με πολλά δάχτυλα, αποστέλλεται ένα συμβάν έναρξης για κάθε δάχτυλο, ακόμη και αν και τα δύο δάχτυλα αρχίζουν να αγγίζουν ταυτόχρονα.

3.6.5 event.on(typenames, listener)

Ισοδύναμο με το drag.on, αλλά ισχύει μόνο για την τρέχουσα χειρονομία συρσίματος. Πριν από την έναρξη της χειρονομίας συρσίματος, δημιουργείται ένα αντίγραφο των ακροατών του τρέχοντος συμβάντος συρσίματος. Αυτό το αντίγραφο συνδέεται με την τρέχουσα χειρονομία συρσίματος και τροποποιείται από το event.on. Αυτό είναι χρήσιμο για προσωρινούς ακροατές που λαμβάνουν συμβάντα μόνο για την τρέχουσα χειρονομία συρσίματος.

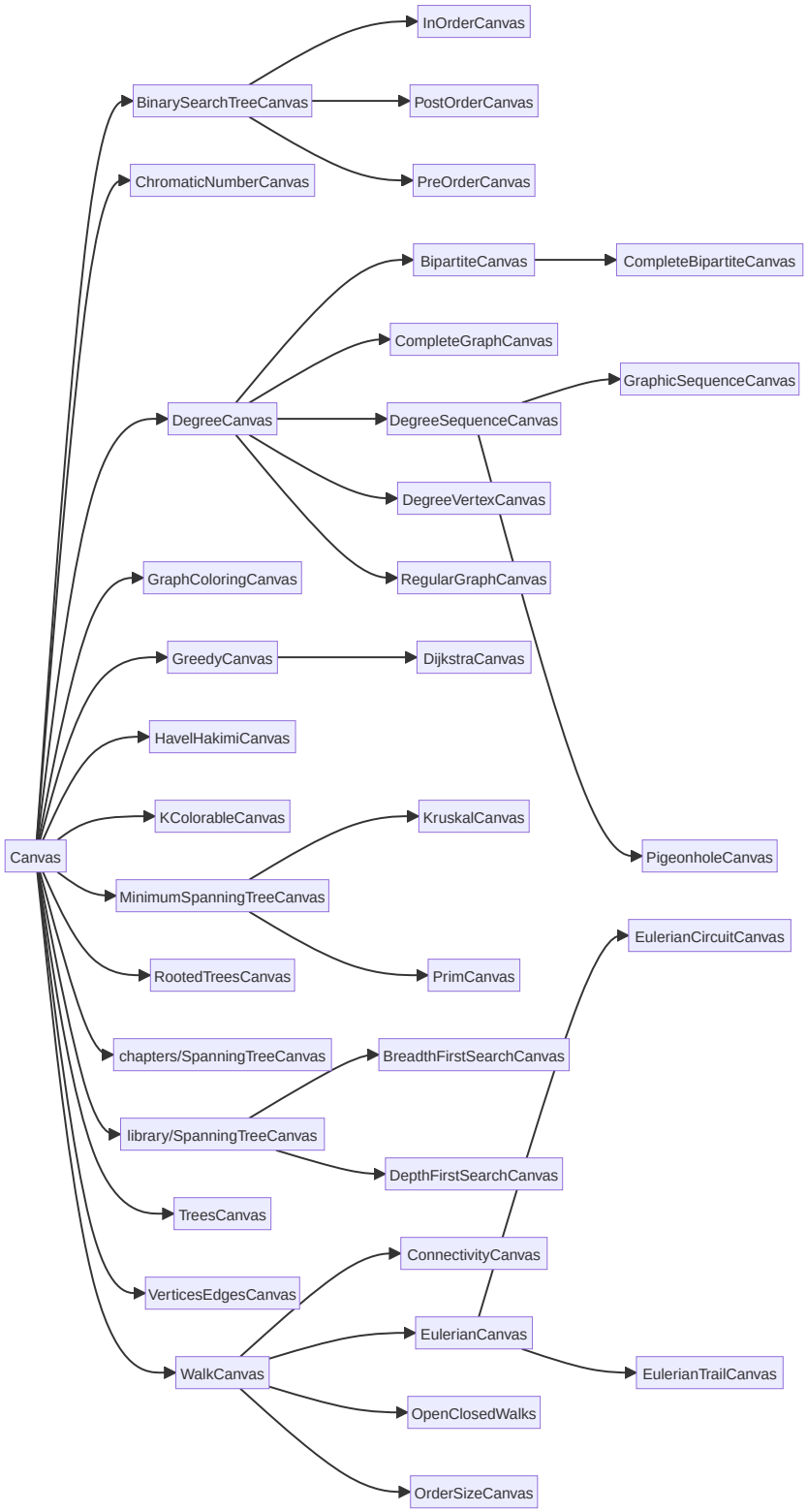
3.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσίασα τα τμήματα της D3 που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της ΠΕ, όπως το d3-force, το d3-selection, το d3-transition και το d3-drag.

Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός και υλοποίηση της εφαρμογής

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω μια βιβλιοθήκη από κλάσεις που χρησιμοποίησα ως βάση στη δομή της ΠΕ, τις αλλαγές που έκανα στην επαναπαραγοντοποίηση του υπάρχοντος έργου, αλλά και τις ενότητες που προσέθεσα. Η παρακάτω διανυσματική εικόνα είναι ένα διάγραμμα το οποίο απεικονίζει τη σχέση των κλάσεων μεταξύ τους.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα κλάσεων

4.2 Βιβλιοθήκη

4.2.1 Edge

Η κλάση Edge επιτρέπει τη δημιουργία μιας ακμής με τη χρήση του μοτίβου builder. Περιέχει τις ιδιότητες source για την κορυφή προέλευσης, target για την κορυφή στόχου και weight για το βάρος της ακμής.

4.2.2 Edges

Η κλάση Edges επεκτείνει την κλάση Array και αναπαριστά έναν πίνακα αντικειμένων ακμών. Υλοποιεί τη μέθοδο find η οποία αναζητεί και επιστρέφει την πρώτη ακμή του πίνακα με τη μέθοδο super.find που έχει τις παραμέτρους source και target. Υλοποιεί τη μέθοδο remove η οποία βρίσκει τον δείκτη της παραμέτρου edge στον πίνακα χρησιμοποιώντας την this.indexOf και την αφαιρεί από τον πίνακα χρησιμοποιώντας την this.splice.

4.2.3 Vertex

Η κλάση Vertex επιτρέπει τη δημιουργία μιας κορυφής με τη χρήση του μοτίβου builder. Περιέχει τις ιδιότητες identifier για το αναγνωριστικό της κορυφής, x για τη δυναμική τετμημένη της κορυφής, y για τη δυναμική τεταγμένη της κορυφής, color για το χρώμα της κορυφής, degree για τον βαθμό της κορυφής, depth για το βάθος της κορυφής, fx για τη στατική τετμημένη της κορυφής, fy για τη στατική τεταγμένη της κορυφής και parity για την ισοτιμία της κορυφής. Προσθέτει τη μέθοδο increment η οποία αυξάνει κατά 1 τον βαθμό της κορυφής. Προσθέτει τη μέθοδο decrement η οποία μειώνει κατά 1 τον βαθμό της κορυφής αν ο βαθμός είναι μεγαλύτερος από το μηδέν.

4.2.4 Vertices

Η κλάση Vertices επεκτείνει την κλάση Array και αναπαριστά έναν πίνακα αντικειμένων κορυφών. Προσθέτει τη μέθοδο first η οποία επιστρέφει την πρώτη κορυφή του πίνακα με τη χρήση της μεθόδου at. Προσθέτει τη μέθοδο last η οποία επιστρέφει την τελευταία κορυφή του πίνακα με τη χρήση της μεθόδου at. Επιπλέον, προσθέτει τη μέθοδο remove η οποία αφαιρεί μια κορυφή από τον πίνακα.

4.2.5 Graph

Η κλάση Graph αναπαριστά μια δομή δεδομένων γράφου και ο δομητής της δέχεται τις παραμέτρους vertices και edges. Η παράμετρος vertices είναι στιγμιότυπο της κλάσης Vertices και η παράμετρος edges είναι στιγμιότυπο της κλάσης Edges. Υλοποιεί τη μέθοδο neighbors η οποία επιστρέφει τις γειτονικές κορυφές μιας κορυφής. Υλοποιεί τη μέθοδο order η οποία επιστρέφει τον αριθμό των κορυφών του γράφου, ο οποίος είναι το μέγεθος του πίνακα vertices. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο size η οποία επιστρέφει τον αριθμό των ακμών του γράφου, ο οποίος είναι το μέγεθος του πίνακα edges.

4.2.6 Canvas

Η αφηρημένη κλάση Canvas αναπαριστά μια δομή δεδομένων καμβά και ο δομητής της δέχεται την παράμετρο graph. Η παράμετρος graph είναι στιγμιότυπο της κλάσης Graph. Υλοποιεί τη μέθοδο addVertex η οποία προσθέτει μια κορυφή στον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο alpha η οποία επιστρέφει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο clear η οποία διαγράφει τις κορυφές και τις ακμές από τον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο colors η οποία επιστρέφει τα διαθέσιμα χρώματα για τον καμβά αυτής της ενότητας. Υλοποιεί τη μέθοδο convert η οποία σειριοποιεί τις ακμές του γράφου. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο drag η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων συρσίματος. Υλοποιεί τη μέθοδο draw η οποία απεικονίζει τις κορυφές και τις ακμές στον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο drawEdge η οποία προσθέτει μια νέα ακμή. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο drawEdges η οποία ενημερώνει τις ακμές του καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο drawVertex η οποία προσθέτει μια νέα κορυφή. Υλοποιεί τη μέθοδο drawVertices η οποία ενημερώνει τις κορυφές του καμβά. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο endEdge η οποία προσθέτει μια ακμή στον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο fill η οποία χρωματίζει τις κορυφές του καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο force η οποία δημιουργεί μια προσομοίωση δύναμης για τη διάταξη του γράφου. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο hideEdge η οποία αποκρύπτει την επικείμενη ακμή. Υλοποιεί τη μέθοδο keyDown η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων πληκτρολογίου. Υλοποιεί τη μέθοδο keyUp η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων πληκτρολογίου. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο latex η οποία εκτυπώνει ένα μήνυμα σε μορφή LaTeX. Υλοποιεί τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο load η οποία φορτώνει τον γράφο από ένα αρχείο JSON. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο message η οποία παραμετροποιεί το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Υλοποιεί τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Υλοποιεί τη μέθοδο parity η οποία επιστρέφει την ισοτιμία. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο radius η οποία θέτει τη διάμετρο των κορυφών του καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο register η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο removeEdge η οποία διαγράφει μια ακμή από τον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο removeVertex η οποία διαγράφει μια κορυφή από τον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο save η οποία αποθηκεύει τον γράφο σε ένα αρχείο JSON. Υλοποιεί τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα τις κορυφές του γράφου. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο startEdge η οποία χειρίζεται την έναρξη της δημιουργίας μιας ακμής μεταξύ κορυφών του γράφου με βάση τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη Υλοποιεί τη μέθοδο tick η οποία ενημερώνει τις θέσεις των κορυφών και των ακμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δύναμης. Υλοποιεί τη μέθοδο updateEdge η οποία ενημερώνει τις δυναμικές συντεταγμένες της επικείμενης ακμής.

4.2.7 DegreeCanvas

Η αφηρημένη κλάση DegreeCanvas επεκτείνει την κλάση Canvas. Επεκτείνει τη μέθοδο drawVertex η οποία απεικονίζει τον βαθμό της κορυφής. Επεκτείνει τη μέθοδο endEdge η οποία προσθέτει μια ακμή στον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge(η οποία ent, edge): Διαγράφει την edge από τον γράφο και μειώνει τον βαθμό των κορυφών της. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο removeVertex(η οποία ent, vertex): Διαγράφει την vertex από τον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο tick η οποία ενημερώνει τις θέσεις των κορυφών και των ακμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δύναμης. Υλοποιεί τη μέθοδο decrementDegree η οποία μειώνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής. Υλοποιεί τη μέθοδο incrementDegree η οποία αυξάνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής.

4.2.8 DisjointSet

Η κλάση DisjointSet αναπαριστά μια δομή δεδομένων ξένων συνόλων. Υλοποιεί τη μέθοδο find(element) η οποία είναι μια αναδρομική συνάρτηση που βρίσκει και επιστρέφει τον εκπρόσωπο (γονέα) του συνόλου στο οποίο ανήκει το element. Χρησιμοποιεί συμπίεση διαδρομής για τη βελτιστοποίηση μελλοντικών λειτουργιών εύρεσης ενημερώνοντας τις αναφορές γονέων κατά μήκος της διαδρομής προς τη ρίζα. Υλοποιεί τη μέθοδο findSet(object) η οποία παίρνει ένα object και επιστρέφει τον εκπρόσωπο του συνόλου στο οποίο ανήκει το object. Ανακτά το αντίστοιχο στοιχείο από το χάρτη και καλεί τη μέθοδο find για να βρει τον εκπρόσωπο. Υλοποιεί τη μέθοδο makeSet(object) η οποία δημιουργεί ένα νέο σύνολο με ένα μόνο στοιχείο object. Δημιουργεί ένα αντικείμενο element με ιδιότητες object (το ίδιο το στοιχείο), parent (που αρχικά δείχνει στον εαυτό του) και rank (αρχικά 0). Το στοιχείο αποθηκεύεται στη συνέχεια στο χάρτη με κλειδί το object. Υλοποιεί τη μέθοδο union(x, y) η οποία συγχωνεύει δύο σύνολα που αντιπροσωπεύονται από τα στοιχεία x και y. Βρίσκει τους αντιπροσώπους των x και y καλώντας τη μέθοδο find.

4.2.9 Element

Η κλάση Element επιτρέπει τη δημιουργία στοιχείων με τη χρήση του μοτίβου builder για τη χρήση τους στη δομή δεδομένων DisjointSet. Περιέχει τις ιδιότητες object η οποία αντιπροσωπεύει το αντικείμενο που περικλύει το στοιχείο, parent η οποία αντιπροσωπεύει τον γονέα του στοιχείου και την rank η οποία αντιπροσωπεύει την τάξη του στοιχείου.

4.2.10 EulerianCanvas

Η αφηρημένη κλάση EulerianCanvas επεκτείνει την κλάση WalkCanvas. Η κλάση EulerianCanvas παρέχει ένα πλαίσιο για την επίλυση και την εμφάνιση προβλημάτων οϊλεριανής διαδρομής σε έναν καμβά, επιτρέποντας στους χρήστες να περιηγηθούν μεταξύ διαφορετικών προβλημάτων και να επικυρώσουν τις λύσεις τους. Η κλάση EulerianCanvas αναπαριστά έναν καμβά που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων οϊλεριανής διαδρομής. Επεκτείνει τη μέθοδο drawVertex η οποία προσθέτει ετικέτες κειμένου που εμφανίζουν τον βαθμό κάθε κορυφής. Επεκτείνει τη μέθοδο extendWalk η οποία επεκτείνει τον τρέχοντα περίπατο στον καμβά όταν γίνεται click σε μια ακμή. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία καταχωρεί ακροατές συμβάντων για τις κορυφές και τις ακμές στον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία προορίζεται να υπερκαλυφθεί σε υποκλάσεις και θα πρέπει να επιστρέφει το όνομα του συγκεκριμένου προβλήματος οϊλεριανής διαδρομής που επιλύεται. Επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί ακροατές συμβάντων για το διανυσματικό στοιχείο στον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο solve η οποία καλείται για την επίλυση του τρέχοντος προβλήματος. Καθαρίζει τον καμβά, κλωνοποιεί τον γράφο από το τρέχον πρόβλημα, απλώνει τις κορυφές και σχεδιάζει τον γράφο στον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία για να επικυρώσει την τρέχουσα λύση στον καμβά. Εάν ο αριθμός των επιλεγμένων ακμών ταιριάζει με το μέγεθος του γράφου, το τρέχον πρόβλημα χαρακτηρίζεται ως επιλυμένο. Αν απομένουν περισσότερα προβλήματα, το επόμενο πρόβλημα επιλύεται αυτόματα μετά από καθυστέρηση 1 δευτερολέπτου.

4.2.11 GreedyCanvas

Η αφηρημένη κλάση GreedyCanvas επεκτείνει την κλάση Canvas. Η κλάση GreedyCanvas παρέχει πρόσθετη λειτουργικότητα και προσαρμογή ειδικά για την απεικόνιση του άπληστου αλγορίθμου. Χειρίζεται την οπτικοποίηση των βαρών στις ακμές, επιτρέπει στο χρήστη να ενημερώνει τις τιμές των βαρών διαδραστικά και εκτελεί επικύρωση για να ελέγξει αν ο γράφος έχει επιλυθεί σύμφωνα με τα κριτήρια του αλγορίθμου. Επεκτείνει τη μέθοδο drawEdge η οποία προσθέτει μια νέα ακμή. Επεκτείνει τη μέθοδο drawVertex η οποία απεικονίζει τον βαθμό της κορυφής. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο endEdge η οποία προσθέτει μια ακμή στον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge(event, edge) η οποία διαγράφει την edge από τον γράφο και μειώνει τον βαθμό των κορυφών της. Επεκτείνει τη μέθοδο removeVertex(event, vertex) η οποία διαγράφει την vertex από τον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο tick η οποία ενημερώνει τις θέσεις των κορυφών και των ακμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δύναμης. Υλοποιεί τη μέθοδο updateWeight η οποία καλείται όταν γίνεται click σε μια ετικέτα βάρους στην απεικόνιση του γράφου. Ανοίγει ένα modal παράθυρο διαλόγου για την ενημέρωση της τιμής βάρους της αντίστοιχης ακμής. Μετά την ενημέρωση του βάρους, ενημερώνει τις ετικέτες βάρους στην οπτικοποίηση, αποκρύπτει τον modal διάλογο και καλεί τη validate.

4.2.12 MinimumSpanningTreeCanvas

Η αφηρημένη κλάση MinimumSpanningTreeCanvas επεκτείνει την κλάση Canvas και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός καμβά για την εμφάνιση ενός δέντρου ελάχιστης διάτασης ενός γράφου. Το minimum spanning tree είναι ένας υπογράφος του αρχικού γράφου που συνδέει όλες τις κορυφές με το ελάχιστο συνολικό βάρος. Επεκτείνει τη μέθοδο drawEdge η οποία προσθέτει μια νέα ακμή. Επεκτείνει τη μέθοδο drawVertex η οποία απεικονίζει τον βαθμό της κορυφής. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο endEdge η οποία προσθέτει μια ακμή στον γράφο και ενημερώνει τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο tick η οποία ενημερώνει τις θέσεις των κορυφών και των ακμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δύναμης. Υλοποιεί τη μέθοδο updateWeight η οποία καλείται όταν γίνεται click σε μια ετικέτα βάρους στην απεικόνιση του γράφου. Ανοίγει ένα modal παράθυρο διαλόγου για την ενημέρωση της τιμής βάρους της αντίστοιχης ακμής. Μετά την ενημέρωση του βάρους, ενημερώνει τις ετικέτες βάρους στην οπτικοποίηση, αποκρύπτει τον modal διάλογο και καλεί τη μέθοδο validate.

4.2.13 PriorityQueue

Η κλάση PriorityQueue επεκτείνει την κλάση Queue και αναπαριστά μια δομή δεδομένων ουράς προτεραιότητας. Υλοποιεί τη μέθοδο enqueue η οποία προσθέτει ένα στοιχείο στην ουρά προτεραιότητας. Το στοιχείο και η προτεραιότητά του αποθηκεύονται ως αντικείμενο στην ουρά. Υλοποιεί τη μέθοδο sort η οποία καλείται μετά την προσθήκη ενός στοιχείου στην ουρά προτεραιότητας. Ταξινομεί τα στοιχεία στην ουρά με βάση τις προτεραιότητές τους χρησιμοποιώντας τη μέθοδο super.sort.

4.2.14 Problem

Η κλάση Problem επιτρέπει τη δημιουργία μιας περίπτωσης προβλήματος με τη χρήση του μοτίβου builder. Περιέχει τις ιδιότητες graph η οποία Θέτει τον γράφο που θα επιστρέψει η graph, colors η οποία Θέτει τα χρώματα που θα επιστρέψει η colors και message η οποία Θέτει το μήνυμα που θα επιστρέψει η message.

4.2.15 Queue

Η κλάση Queue επεκτείνει την κλάση Array και αναπαριστά μια δομή δεδομένων ουράς. Υλοποιεί τη μέθοδο dequeue η οποία αφαιρεί και επιστρέφει το στοιχείο που βρίσκεται στο μπροστινό μέρος της ουράς (το πρώτο στοιχείο του πίνακα) αν η ουρά δεν είναι κενή. Αν η ουρά είναι κενή, επιστρέφει ένα σφάλμα. Υλοποιεί τη μέθοδο enqueue η οποία προσθέτει ένα στοιχείο στο πίσω μέρος της ουράς (το προσθέτει στο τέλος του πίνακα). Υλοποιεί τη μέθοδο front η οποία επιστρέφει το στοιχείο στο μπροστινό μέρος της ουράς (το πρώτο στοιχείο του πίνακα), αν η ουρά δεν είναι κενή. Εάν η ουρά είναι κενή, επιστρέφει ένα σφάλμα. Υλοποιεί τη μέθοδο isEmpty η οποία ελέγχει αν η ουρά είναι κενή. Επιστρέφει true αν η ουρά είναι κενή, και false σε αντίθετη περίπτωση. Υλοποιεί τη μέθοδο rear η οποία επιστρέφει το στοιχείο στο τέλος της ουράς (το τελευταίο στοιχείο του πίνακα), αν η ουρά δεν είναι κενή. Αν η ουρά είναι κενή, επιστρέφει ένα σφάλμα. Υλοποιεί τη μέθοδο size η οποία επιστρέφει τον αριθμό των στοιχείων στην ουρά (το μήκος του πίνακα).

4.2.16 SpanningTreeCanvas

Η αφηρημένη κλάση SpanningTreeCanvas επεκτείνει την κλάση Canvas και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός καμβά για επικαλύπτοντα δέντρα. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επεκτείνει τη μέθοδο search η οποία ορίζει μια αφηρημένη μέθοδο που πρέπει να υλοποιήσει έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο αναζήτησης. Επεκτείνει τη μέθοδο tick η οποία ενημερώνει τις θέσεις των κορυφών και των ακμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δύναμης. Υλοποιεί τη μέθοδο traversal η οποία ορίζει μια αφηρημένη μέθοδο που πρέπει να υλοποιήσει έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο διάσχισης.

4.2.17 Utilities

Η βοηθητική κλάση Utilities παρέχει μεθόδους για την εργασία με γράφους και την εκτέλεση λειτουργιών όπως η κλωνοποίηση ενός γράφου. Υλοποιεί τη μέθοδο clone(graph): λαμβάνει ως είσοδο ένα αντικείμενο graph και δημιουργεί έναν βαθύ κλώνο του γράφου. Επαναλαμβάνει τις κορυφές και τις ακμές του γράφου εισόδου, δημιουργεί νέα αντικείμενα Vertex και Edge χρησιμοποιώντας το πρότυπο builder και τα προσθέτει σε νέα αντικείμενα Vertices και Edges. Τέλος, δημιουργεί ένα νέο αντικείμενο Graph χρησιμοποιώντας τις κλωνοποιημένες κορυφές και ακμές και το επιστρέφει. Σας επιτρέπει να δημιουργήσετε ένα αντίγραφο ενός αντικειμένου γράφου χωρίς να τροποποιήσετε τον αρχικό γράφο. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο όταν θέλετε να εκτελέσετε λειτουργίες σε έναν γράφο χωρίς να επηρεάσετε τα αρχικά δεδομένα.

4.2.18 Identifier

Η βοηθητική κλάση Identifier επιτρέπει τη δημιουργία μοναδικών αναγνωριστικών. Χρησιμοποιώντας την κλάση Identifier, μπορείτε να δημιουργήσετε μοναδικά αναγνωριστικά καλώντας τη μέθοδο generate. Κάθε φορά που καλείται η μέθοδος generate, θα επιστρέφει μια νέα μοναδική τιμή αναγνωριστικού. Τα αναγνωριστικά δημιουργούνται διαδοχικά ξεκινώντας από το 1. Περιέχει την ιδιότητα identifier για το αναγνωριστικό. Υλοποιεί τη μέθοδο generate η οποία αυξάνει κατά 1 το αναγνωριστικό και το επιστρέφει.

4.2.19 Node

Η κλάση Node επιτρέπει τη δημιουργία ενός κόμβου με τη χρήση του μοτίβου builder. Περιέχει τις ιδιότητες left για τον αριστερό κόμβο παιδί, right για το δεξί κόμβο παιδί και value για την τιμή του τρέχοντος κόμβου.

4.2.20 Nodes

Η κλάση Nodes επεκτείνει την κλάση Array και αναπαριστά έναν πίνακα αντικειμένων κόμβων. Προσθέτει τη μέθοδο first επιστρέφει τον πρώτο κόμβο του πίνακα με τη χρήση της μεθόδου at. Προσθέτει τη μέθοδο last επιστρέφει τον τελευταίο κόμβο του πίνακα με τη χρήση της μεθόδου at. Επιπλέον, προσθέτει τη μέθοδο remove αφαιρεί έναν κόμβο από τον πίνακα.

4.2.21 BinarySearchTreeCanvas

Η αφηρημένη κλάση BinarySearchTreeCanvas επεκτείνει την κλάση Canvas και χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός καμβά για δυαδικά δέντρα αναζήτησης. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία παρακάμπτεται, εμποδίζοντας τη διάδοση του συμβάντος mousedown στις ακμές. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί χειριστές συμβάντων για τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο traversal η οποία ορίζει μια αφηρημένη μέθοδο που πρέπει να υλοποιήσει έναν συγκεκριμένο αλγόριθμο διάσχισης.

4.3 Επαναπαραγοντοποίηση

4.3.1 Vertices and Edges

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση VerticesEdgesCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση των κορυφών και των ακμών ενός γράφου. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία επιστρέφει τις κορυφές και τις ακμές του γράφου. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία είναι αφηρημένη σε αυτή την υλοποίηση.

4.3.2 Order and Size of a Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση OrderSizeCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση της τάξης/σειράς και του μεγέθους ενός γράφου. Η τάξη/σειρά ενός γράφου υποδηλώνει τον αριθμό των κορυφών. Το μέγεθος ενός γράφου υποδηλώνει τον αριθμό των ακμών. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία επιστρέφει τον ελάχιστο και μέγιστο βαθμό των κορυφών του γράφου. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.3 Degree of a Vertex

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση DegreeVertexCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του βαθμού των κορυφών σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία επιστρέφει τον ελάχιστο και μέγιστο βαθμό των κορυφών του γράφου. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.4 Degree Sequence of a Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση DegreeSequenceCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση της ακολουθίας βαθμών σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία επιστρέφει την ακολουθία βαθμών των κορυφών του γράφου. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.5 Graphic Sequence

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση GraphicSequenceCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeSequenceCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση των γραφικών ακολουθιών σε έναν γράφο. Περιλαμβάνει προκαθορισμένες λύσεις γράφων για διαφορετικές γραφικές ακολουθίες, οι οποίες αναπαρίστανται από τον πίνακα solutions. Κάθε λύση αποτελείται από έναν γράφο με τις κορυφές και τις ακμές του. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Υλοποιεί τη μέθοδο solve η οποία επιλύει την graph. Χρησιμοποιείται για να γεμίσει ο καμβάς με μια συγκεκριμένη λύση γράφου. Καθαρίζει τον καμβά και τον γεμίζει με τις κορυφές και τις ακμές του συγκεκριμένου γράφου. Στη συνέχεια εφαρμόζει τον αλγόριθμο διάταξης, σχεδιάζει εκ νέου τον γράφο και ενημερώνει την αναπαράσταση LaTeX.

4.3.6 Havel-Hakimi Algorithm

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση HavelHakimiCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση γράφων που χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο Havel-Hakimi. Επεκτείνει τη μέθοδο drawVertex η οποία προσθέτει μια νέα κορυφή με ετικέτα τον βαθμό και διάμετρο ανάλογη του βαθμού. Επεκτείνει τη μέθοδο endEdge η οποία μειώνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής στην περίπτωση που ο βαθμός της κορυφής δεν είναι μηδενικός. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία δημιουργεί μια προσομοίωση δύναμης για τη διάταξη του γράφου. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία είναι αφηρημένη σε αυτή την υλοποίηση. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name

η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί χειριστές συμβάντων για τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge η οποία μειώνει τον βαθμό των κορυφών της διαγραφόμενης ακμής. Επεκτείνει τη μέθοδο startEdge η οποία εκτελείται στην περίπτωση που ο βαθμός της κορυφής δεν είναι μηδενικός. Επεκτείνει τη μέθοδο tick η οποία ενημερώνει τις θέσεις των κορυφών και των ακμών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δύναμης. Υλοποιεί τη μέθοδο decrementDegree η οποία μειώνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής. Υλοποιεί τη μέθοδο incrementDegree η οποία αυξάνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο solve η οποία χρησιμοποιείται για να γεμίσει τον καμβά με ένα συγκεκριμένο πρόβλημα γράφου. Καθαρίζει τον καμβά, κλωνοποιεί τον γράφο από το επιλεγμένο πρόβλημα, απλώνει τις κορυφές και σχεδιάζει τον γράφο. Ενημερώνει επίσης τη σελιδοποίηση και την ορατότητα των κουμπιών με βάση τον τρέχοντα δείκτη του προβλήματος. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία επικυρώνει τον γράφο μετά την προσθήκη ή την αφαίρεση μιας ακμής. Αν όλες οι κορυφές έχουν μηδενικό βαθμό, σημειώνει το πρόβλημα ως λυμένο στη σελιδοποίηση. Εάν υπάρχουν περισσότερα προβλήματα, προχωρά αυτόματα στο επόμενο πρόβλημα μετά από μια μικρή καθυστέρηση.

4.3.7 Pigeonhole Principle

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση PigeonholeCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeSequenceCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση γράφων που χρησιμοποιούν την αρχή του περιστερώνα. Σύμφωνα με την αρχή του περιστερώνα, αν υπάρχουν περισσότερες κορυφές από τον μέγιστο βαθμό του γράφου, τότε τουλάχιστον δύο κορυφές πρέπει να έχουν τον ίδιο βαθμό. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα τις κορυφές του γράφου.

4.3.8 Regular Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση RegularGraphCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση κανονικών γράφων. Σε έναν κανονικό γράφο όλες οι κορυφές έχουν τον ίδιο βαθμό. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία επιστρέφει την ακολουθία βαθμών των κορυφών του γράφου. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών.

4.3.9 Complete Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση CompleteGraphCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση πλήρων γράφων. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Παρέχει ένα μήνυμα με βάση τις ιδιότητες του γράφου. Υπολογίζει την ακολουθία βαθμών του γράφου ταξινομώντας τους βαθμούς των κορυφών σε φθίνουσα σειρά. Το μήνυμα περιλαμβάνει την ακολουθία βαθμών και υποδεικνύει αν ο γράφος είναι πλήρης γράφος (δηλαδή, κάθε ζεύγος κορυφών συνδέεται με μια ακμή). Εάν ο γράφος είναι πλήρης, περιλαμβάνει τον συμβολισμό “K_n” για την αναπαράσταση ενός πλήρους γράφου με “n” κορυφές. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα

τις κορυφές του γράφου.

4.3.10 Bipartite Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση BipartiteCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση DegreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση και την επικύρωση διμερών γράφων. Επεκτείνει τη μέθοδο clear η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο colors η οποία εμπλουτίζει τα διαθέσιμα χρώματα για τον καμβά αυτής της ενότητας. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο endEdge η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο fill η οποία χρωματίζει τις κορυφές του καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο load η οποία χρησιμοποιείται για τη φόρτωση ενός γράφου από ένα αρχείο JSON. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο radius η οποία αλλάζει τη διάμετρο των κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί χειριστές συμβάντων για τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο removeVertex η οποία επικυρώνει τον καμβά.

4.3.11 Complete Bipartite Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση CompleteBipartiteCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση BipartiteCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση και την επικύρωση πλήρων διμερών γράφων. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Παρέχει ένα μήνυμα με βάση τις ιδιότητες του γράφου. Εάν ο γράφος είναι διμερής και έχει πλήρη διμερή δομή, επιστρέφει ένα αλφαριθμητικό σε μορφή LaTeX που υποδεικνύει ότι πρόκειται για πλήρη διμερή γράφο με τον αριθμό των ακμών να υπολογίζεται ως το γινόμενο των μεγεθών των δύο διμερών συνόλων. Εάν ο γράφος είναι διμερής αλλά όχι πλήρης, επιστρέφει ένα μήνυμα που υποδεικνύει ότι είναι διμερής αλλά όχι πλήρης. Εάν ο γράφος δεν είναι διμερής, επιστρέφει μήνυμα που υποδεικνύει ότι δεν είναι διμερής. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.12 Walk

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση WalkCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση και τον χειρισμό περιπάτων σε έναν γράφο. Ένας περίπατος είναι μια ακολουθία κορυφών και ακμών σε έναν γράφο όπου οι διαδοχικές κορυφές συνδέονται με ακμές. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο clear η οποία καθαρίζει τον περίπατο και καθαρίζει τον καμβά καλώντας τη μέθοδο super.clearWalk. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων για τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη με τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge η οποία αποτρέπει την αφαίρεση ακμών που αποτελούν μέρος του περιπάτου. Επεκτείνει τη μέθοδο removeVertex η οποία αποτρέπει την αφαίρεση κορυφών που αποτελούν μέρος του περιπάτου. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία είναι αφηρημένη σε αυτή την υλοποίηση. Υλοποιεί τη μέθοδο clearWalk η οποία καθαρίζει τον περίπατο αφαιρώντας τις κλάσεις CSS που σχετίζονται με τον περίπατο από τις κορυφές και τις ακμές, επαναφέροντας τον πίνακα walk και επαναφέροντας τον βαθμό των κορυφών. Υλοποιεί τη μέθοδο decrementDegree η οποία μειώνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο extendWalk η οποία καλείται όταν γίνεται click σε μια ακμή για να επεκταθεί ο περίπατος. Ελέγχει αν η ακμή είναι ήδη μέ-

ρος του περιπάτου και είτε την προσθέτει στον περίπατο είτε την αφαιρεί από τον περίπατο με βάση την τρέχουσα κατάσταση. Υλοποιεί τη μέθοδο incrementDegree η οποία αυξάνει τον βαθμό των κορυφών της ακμής. Υλοποιεί τη μέθοδο reverseWalk η οποία αντιστρέφει τη σειρά των ακμών στον περίπατο και ενημερώνει ανάλογα τις κλάσεις CSS των αρχικών και τελικών κορυφών.

4.3.13 Open vs Closed Walks

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση OpenClosedWalks, η οποία επεκτείνει την κλάση WalkCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση, τον χειρισμό και τον προσδιορισμό του αν ο περίπατος είναι ανοικτός ή κλειστός. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα τις κορυφές του γράφου.

4.3.14 Connectivity

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση ConnectivityCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση WalkCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση της συνδεσιμότητας ενός γράφου. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο clear η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο endEdge η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο load η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία παρέχει ένα μήνυμα με βάση τη συνδεσιμότητα του γράφου. Εάν υπάρχει μόνο ένα συνδεδεμένο στοιχείο, το μήνυμα υποδεικνύει ότι ο γράφος είναι συνδεδεμένος. Εάν υπάρχουν πολλαπλά συνδεδεμένα στοιχεία, το μήνυμα υποδεικνύει ότι ο γράφος είναι ασύνδετος και καθορίζει τον αριθμό των συνδεδεμένων στοιχείων. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge η οποία επικυρώνει τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο removeVertex η οποία επικυρώνει τον καμβά. Υλοποιεί τη μέθοδο color η οποία ορίζει το χρώμα των κορυφών με βάση την ομάδα τους. Χρησιμοποιεί μια παλέτα χρωμάτων για την ανάθεση χρωμάτων στις ομάδες. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία καθορίζει τη συνδεσιμότητα του γράφου. Πραγματοποιεί μια αναζήτηση κατά πλάτος πρώτα ξεκινώντας από την πρώτη κορυφή και αναθέτει κάθε κορυφή σε μια ομάδα (συνδεδεμένη συνιστώσα). Ο αριθμός των ομάδων υποδεικνύει τη συνδεσιμότητα του γράφου. Η μέθοδος ενημερώνει επίσης τα χρώματα των κορυφών και καλεί τη μέθοδο super.latex για να ενημερώσει τον εμφανιζόμενο κώδικα LaTeX.

4.3.15 Eulerian Circuit

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση EulerianCircuitCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση EulerianCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση των κυκλωμάτων Euler σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.16 Eulerian Trail

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση EulerianTrailCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση EulerianCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση των μονοπατιών Euler σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.17 Graph Coloring

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση GraphColoringCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του χρωματισμού γράφων. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο fill η οποία χρωματίζει τις κορυφές του καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας.

4.3.18 k-Colorable Graph

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση KColorableCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση γράφων και την επίλυση προβλημάτων με k-χρωματισμό. Συγκεκριμένα εστιάζει στο πρόβλημα k-colorable, όπου ο στόχος είναι να χρωματίσει τις κορυφές ενός γράφου χρησιμοποιώντας το πολύ k χρώματα έτσι ώστε καμία γειτονική κορυφή να μην έχει το ίδιο χρώμα. Επεκτείνει τη μέθοδο colors η οποία ανακτά το σύνολο των χρωμάτων για το τρέχον πρόβλημα. Επεκτείνει τη μέθοδο fill η οποία καθορίζει το χρώμα γεμίσματος μιας κορυφής με βάση το χρώμα που της έχει ανατεθεί. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία ορίζει ακροατές συμβάντων ποντικιού για τις κορυφές και τις ακμές του καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Δείχνει αν ο γράφος είναι σωστά χρωματισμένος, πόσα χρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αν το τρέχον πρόβλημα έχει επιλυθεί. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί χειριστές συμβάντων για τον καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία είναι αφηρημένη σε αυτή την υλοποίηση. Υλοποιεί τη μέθοδο color η οποία είναι ένας χειριστής γεγονότων για το χρωματισμό των κορυφών. Αλλάζει το χρώμα μιας κορυφής όταν γίνεται κλικ. Υλοποιεί τη μέθοδο solve η οποία καθαρίζει τον καμβά, κλωνοποιεί τον γράφο από το τρέχον πρόβλημα και ξανασχεδιάζει τον γράφο. Ενημερώνει επίσης τα κουμπιά σελιδοποίησης με βάση το τρέχον πρόβλημα. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία ελέγχει αν ο γράφος είναι σωστά χρωματισμένος. Εφαρμόζει μια κλάση “ομοίου χρώματος” στις ακμές με γειτονικές κορυφές που έχουν το ίδιο χρώμα. Επιστρέφει μια σημαία που δείχνει αν ο γράφος είναι έγκυρος ή όχι.

4.3.19 Chromatic Number

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση ChromaticNumberCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση γράφων και την επίλυση προβλημάτων χρωματικών αριθμών. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο fill η οποία χρωματίζει τις κορυφές του καμβά. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force

η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία είναι αφηρημένη σε αυτή την υλοποίηση. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα τις κορυφές του γράφου. Υλοποιεί τη μέθοδο solve η οποία καθαρίζει τον καμβά, κλωνοποιεί τον γράφο από το επιλεγμένο πρόβλημα, ανασχεδιάζει τον γράφο, ενημερώνει την έξοδο LaTeX και ενημερώνει τα κουμπιά σελιδοποίησης και την ένδειξη του τρέχοντος προβλήματος.

4.3.20 Trees

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση TreesCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση και τον χειρισμό δέντρων. Ένα δέντρο είναι ένας άκυκλος συνδεδεμένος γράφος όπου υπάρχει ακριβώς ένα μονοπάτι μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα τις κορυφές του γράφου. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία ελέγχει αν ο τρέχον γράφος περιέχει έναν κύκλο. Εκτελεί μια αναζήτηση κατά πλάτος πρώτα ξεκινώντας από κάθε κορυφή και παρακολουθεί τις επισκέψεις στις κορυφές και τις γονικές τους κορυφές. Εάν μια επισκέψιμη κορυφή συναντηθεί ξανά και δεν είναι η γονική της, υποδεικνύει την ύπαρξη κύκλου στον γράφο.

4.3.21 Rooted Trees

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση RootedTreesCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση και τον χειρισμό ριζωμένων δέντρων. Ένα ριζωμένο δέντρο είναι ένα δέντρο στο οποίο μια κορυφή ορίζεται ως ρίζα. Επεκτείνει τη μέθοδο addVertex η οποία προσθέτει μια νέα κορυφή στον καμβά όταν συμβαίνει ένα συμβάν click του ποντικιού. Δημιουργεί μια νέα κορυφή, τη συνδέει με τη γονική κορυφή, ενημερώνει τις αναφορές των παιδιών και των γονέων και σχεδιάζει εκ νέου τον γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο clear η οποία καθαρίζει τον καμβά αφαιρώντας όλες τις κορυφές και τις ακμές από τον γράφο. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο colors η οποία ορίζει τα χρώματα που θα χρησιμοποιηθούν για τις κορυφές. Επεκτείνει τη μέθοδο drag η οποία ρυθμίζει τη συμπεριφορά σύρσης για τις κορυφές. Επεκτείνει τη μέθοδο fill η οποία καθορίζει το χρώμα γεμίσματος μιας κορυφής με βάση το βάθος της. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία εγκαθιστά ακροατές συμβάντων για την προσθήκη και την αφαίρεση κορυφών. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί χειριστές συμβάντων για τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο removeVertex η οποία αφαιρεί μια κορυφή από τον καμβά όταν εμφανίζεται ένα συμβάν μενού περιβάλλοντος. Αφαιρεί την κορυφή και το υποδέντρο της από τον γράφο, ενημερώνει τις αναφορές παιδιών και γονέων, υπολογίζει εκ νέου το βάθος των υπόλοιπων κορυφών και σχεδιάζει εκ νέου τον γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο spread η οποία απλώνει ομοιόμορφα τις κορυφές του γράφου. Υλοποιεί τη μέθοδο height η οποία υπολογίζει το ύψος του δέντρου, το οποίο είναι το μέγιστο βάθος των κορυφών. Υλοποιεί τη μέθοδο increaseDepth η οποία αυξάνει αναδρομικά το βάθος μιας κορυφής και των απογόνων της. Επιπλέον, υλοποιεί τη μέθοδο removeTree η οποία αφαιρεί αναδρομικά μια κορυφή και το υποδέντρο της από τον γράφο.

4.3.22 Spanning Tree

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση SpanningTreeCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση Canvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση και τον χειρισμό δέντρων αλληλοεπικάλυψης/διάσχισης. Ένα συνδετικό δέντρο ενός γράφου είναι ένας υπογράφος που είναι δέντρο και συνδέει όλες τις κορυφές του αρχικού γράφου. Επεκτείνει τη μέθοδο alpha η οποία αλλάζει την επιτάχυνση της προσομοίωσης δύναμης. Επεκτείνει τη μέθοδο force η οποία αλλάζει τη δύναμη και την απόσταση της προσομοίωσης δύναμης. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο listen η οποία εγκαθιστά ακροατές συμβάντων για την αφαίρεση ακμών από τον γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία αλλάζει το μήνυμα που θα εμφανίσει η super.latex. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επιπλέον, επεκτείνει τη μέθοδο register η οποία καταχωρεί χειριστές συμβάντων για τον καμβά. Επεκτείνει τη μέθοδο removeEdge η οποία αφαιρεί μια ακμή από τον γράφο όταν εμφανίζεται ένα συμβάν του μενού περιβάλλοντος. Καλεί επίσης τη μέθοδο validate για να ελέγξει αν ο γράφος που προκύπτει εξακολουθεί να είναι ένα έγκυρο δένδρο διάσχισης. Υλοποιεί τη μέθοδο check η οποία ελέγχει αν ο τρέχων γράφος είναι ένα έγκυρο δένδρο διάσχισης. Εκτελεί μια αναζήτηση κατά πλάτος για να καθορίσει αν όλες οι κορυφές είναι συνδεδεμένες. Υλοποιεί τη μέθοδο solve η οποία επιλύει το τρέχον πρόβλημα. Καθαρίζει τον καμβά, κλωνοποιεί τον γράφο από το τρέχον πρόβλημα, σχεδιάζει τον γράφο, ενημερώνει τη σελιδοποίηση και καλεί τη μέθοδο validate. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία επικυρώνει τον τρέχοντα γράφο. Αν ο γράφος δεν είναι έγκυρο δένδρο, εμφανίζει ένα μήνυμα επικάλυψης και καλεί τη μέθοδο solve μετά από μια καθυστέρηση. Αν ο γράφος είναι έγκυρο δένδρο και υπάρχουν περισσότερα προβλήματα προς επίλυση, σημειώνει το τρέχον πρόβλημα ως λυμένο στην σελιδοποίηση και καλεί τη μέθοδο solve μετά από μια καθυστέρηση.

4.4 Προσθήκες

4.4.1 Αλγόριθμος του Dijkstra

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση DijkstraCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση GreedyCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του αλγορίθμου του Dijkstra για την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο message η οποία για την εμφάνιση της απόστασης και της διαδρομής του συντομότερου μονοπατιού που βρέθηκε από τον αλγόριθμο του Dijkstra. Η μέθοδος τροποποιεί το χρώμα των ακμών στο συντομότερο μονοπάτι για να τονίσει το μονοπάτι. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Υλοποιεί τη μέθοδο validate η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο του Dijkstra.

4.4.2 Αναζήτηση κατά πλάτος

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση BreadthFirstSearchCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση SpanningTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του αλγορίθμου αναζήτησης κατά πλάτος σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο search η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο της αναζήτησης κατά πλάτος.

4.4.3 Αναζήτηση κατά βάθος

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση DepthFirstSearchCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση SpanningTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του αλγορίθμου αναζήτησης κατά

βάθος σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο search η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο της αναζήτησης κατά βάθος.

4.4.4 Αλγόριθμος του Kruskal

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση KruskalCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση MinimumSpanningTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του αλγορίθμου του Kruskal για την εύρεση του ελάχιστου δέντρου διάσχισης σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο traversal η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο του Kruskal.

4.4.5 Αλγόριθμος του Prim

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση PrimCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση MinimumSpanningTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση του αλγορίθμου του Prim για την εύρεση του ελάχιστου δέντρου διάσχισης σε έναν γράφο. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο traversal η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο του Prim.

4.4.6 Ενδο-διατεταγμένη διάσχιση

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση InOrderCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση BinarySearchTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση της ενδο-διατεταγμένης διάσχισης ενός δυαδικού δέντρου αναζήτησης σε έναν γράφο. Η ενδο-διατεταγμένη διάσχιση, διασχίζει το αριστερό υποδέντρο, επισκέπτεται τον κόμβο ρίζα και διασχίζει το δεξιό υποδέντρο. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο traversal η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο της ενδο-διατεταγμένης διάσχισης.

4.4.7 Προ-διατεταγμένη διάσχιση

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση PreOrderCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση BinarySearchTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση της προ-διατεταγμένης διάσχισης ενός δυαδικού δέντρου αναζήτησης σε έναν γράφο. Η προ-διατεταγμένη διάσχιση, επισκέπτεται τον κόμβο ρίζα, διασχίζει το αριστερό υποδέντρο και διασχίζει το δεξιό υποδέντρο. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο traversal η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο της προ-διατεταγμένης διάσχισης.

4.4.8 Μετα-διατεταγμένη διάσχιση

Αυτή η ενότητα υλοποιείται από την κλάση PostOrderCanvas, η οποία επεκτείνει την κλάση BinarySearchTreeCanvas. Είναι μια υλοποίηση για την οπτικοποίηση της μετα-διατεταγμένης διάσχισης ενός δυαδικού δέντρου αναζήτησης σε έναν γράφο. Η μετα-διατεταγμένη διάσχιση, διασχίζει το αριστερό υποδέντρο, διασχίζει το δεξιό υποδέντρο και επισκέπτεται τον κόμβο ρίζα. Επεκτείνει τη μέθοδο name η οποία επιστρέφει το όνομα της ενότητας. Επεκτείνει τη μέθοδο traversal η οποία υλοποιεί τον αλγόριθμο της μετα-διατεταγμένης διάσχισης.

4.5 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσίασα μια βιβλιοθήκη από κλάσεις που χρησιμοποίησα ως βάση στη δομή της ΠΕ, τις αλλαγές που έκανα στην επαναπαραγοντοποίηση του υπάρχοντος έργου, αλλά και τις ενότητες που προσέθεσα.

Κεφάλαιο 5: Εγχειρίδιο χρήσης της εφαρμογής

5.1 Εισαγωγή

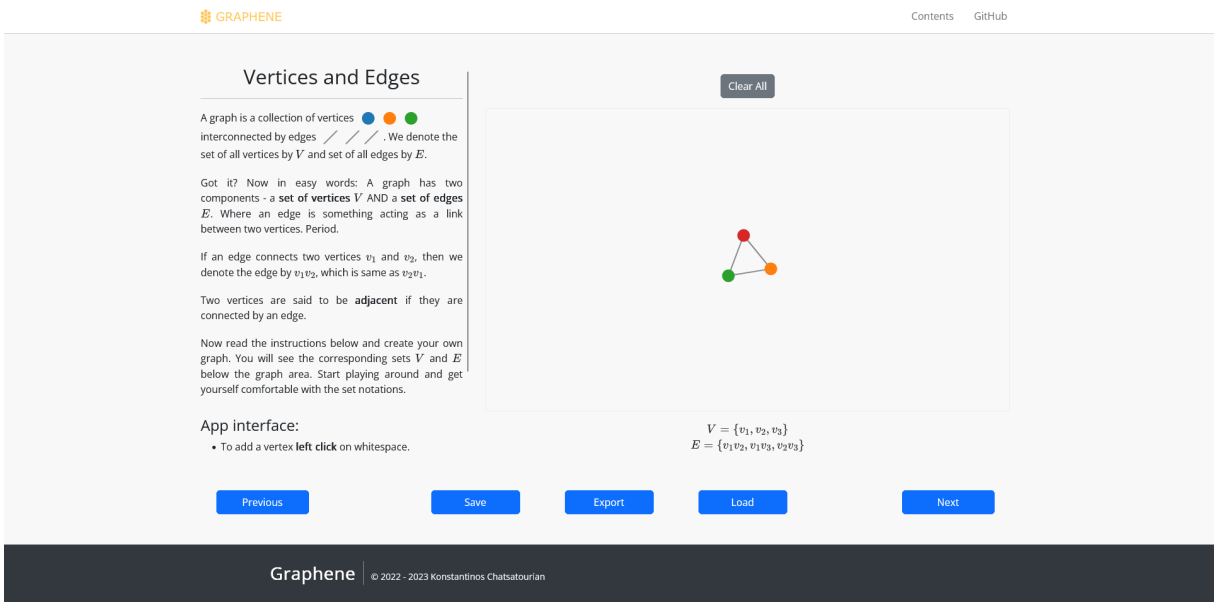
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω τις λειτουργίες που υπήρχαν, βελτιώθηκαν και προστέθηκαν στο αρχικό έργο με τη χρήση στιγμιότυπων. Το αρχικό έργο υποστήριζε την προσθήκη και την αφαίρεση κόμβων και ακμών. Ωστόσο, δεν υποστηριζόταν η μετακίνηση κόμβων και διορθώθηκε. Έπειτα προστέθηκαν οι λειτουργίες εξαγωγής και εισαγωγής προόδου σε μια ενότητα καθώς και η εξαγωγή στιγμιότυπου μιας ενότητας.

5.2 Προσθήκη κόμβων

Στις παρακάτω ενότητες δεν είναι δυνατή η προσθήκη κόμβων.

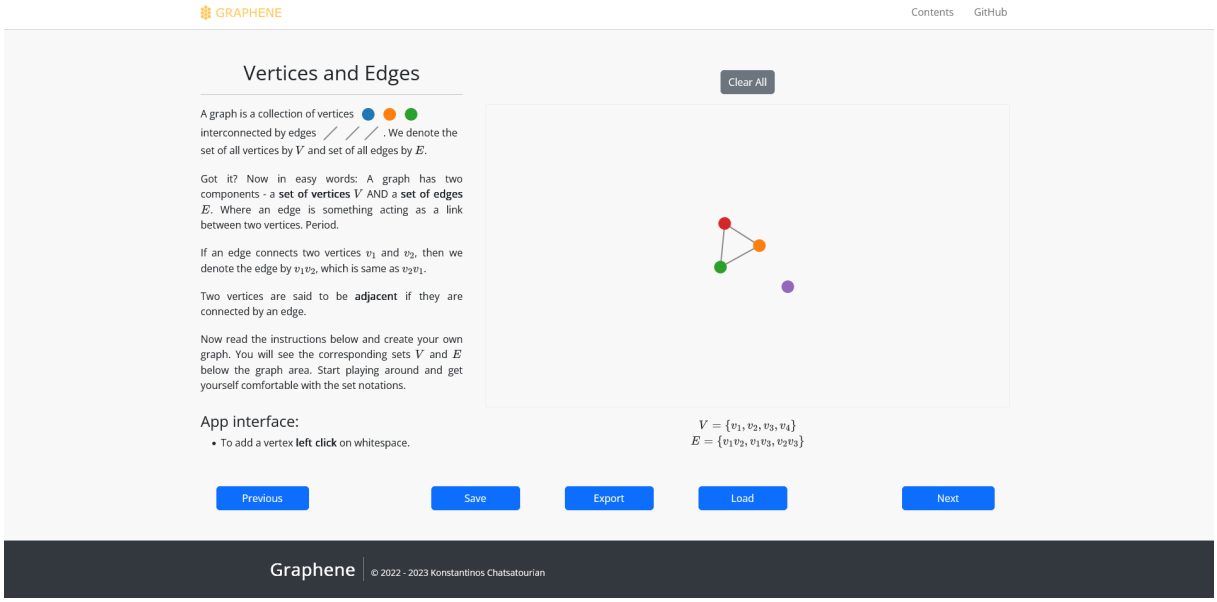
- Havel-Hakimi Algorithm
- Eulerian Circuit
- Eulerian Trail
- k-Colorable Graph
- Chromatic Number
- Spanning Tree of a Graph
- In-order Traversal
- Pre-order Traversal
- Post-order Traversal

Σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες δίνεται η δυνατότητα προσθήκης ενός κόμβου. Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.1: Γράφος πριν την προσθήκη κόμβου

Έπειτα προσθέτω έναν νέο κόμβο κάνοντας click σε κενό σημείο του καμβά. Τέλος, η εκάστοτε ενότητα εφαρμόζει τον αλγόριθμο της εκ νέου και ανανεώνει το μήνυμά της.



Σχήμα 5.2: Γράφος μετά την προσθήκη κόμβου

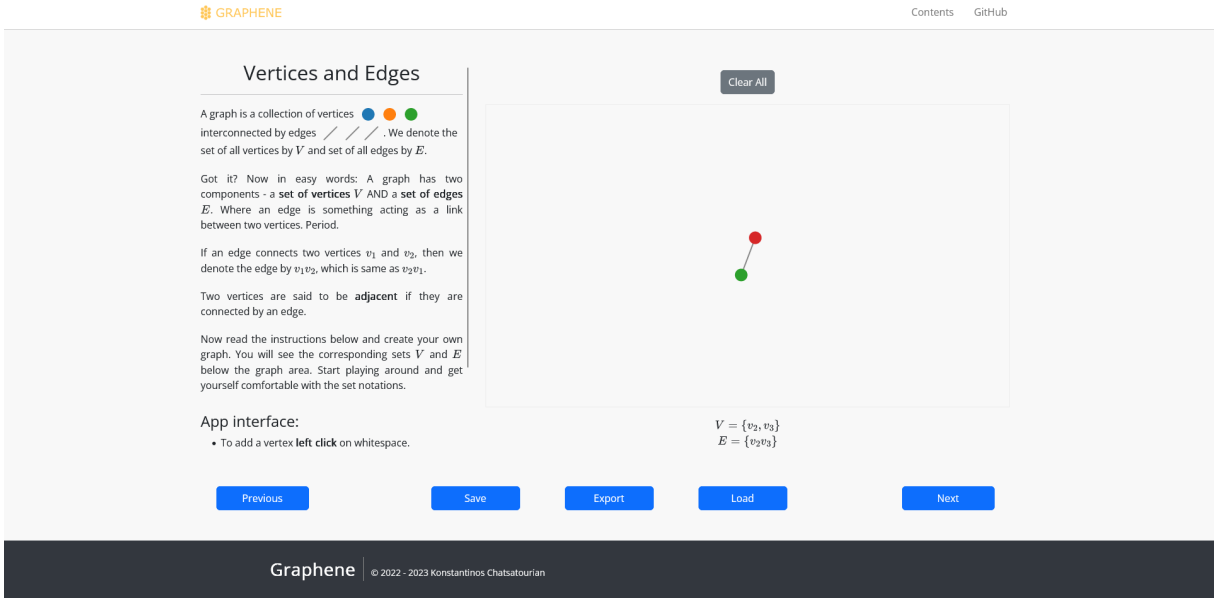
5.3 Αφαίρεση κόμβων

Στις παρακάτω ενότητες δεν είναι δυνατή η αφαίρεση κόμβων.

- Havel-Hakimi Algorithm

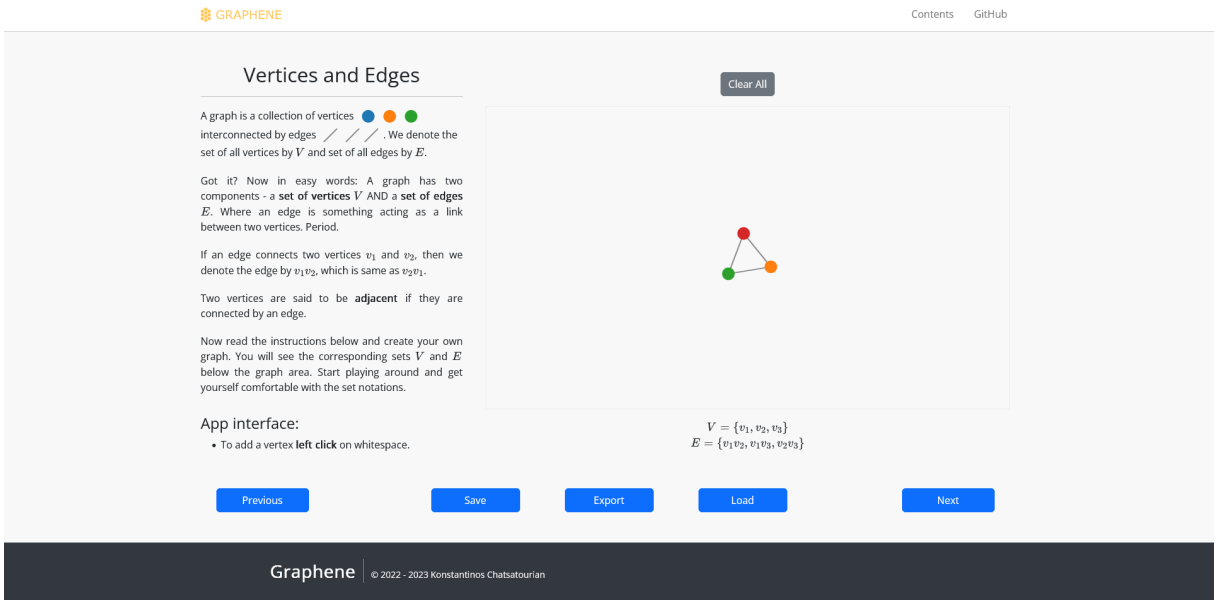
- Eulerian Circuit
- Eulerian Trail
- k-Colorable Graph
- Chromatic Number
- Spanning Tree of a Graph
- In-order Traversal
- Pre-order Traversal
- Post-order Traversal

Σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες δίνεται η δυνατότητα αφαίρεσης ενός κόμβου. Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.3: Γράφος πριν την αφαίρεση κόμβου

Έπειτα αφαιρώ έναν κόμβο πατώντας δεξί click πάνω του. Τέλος, η εκάστοτε ενότητα εφαρμόζει τον αλγόριθμο της εκ νέου και ανανεώνει το μήνυμά της.



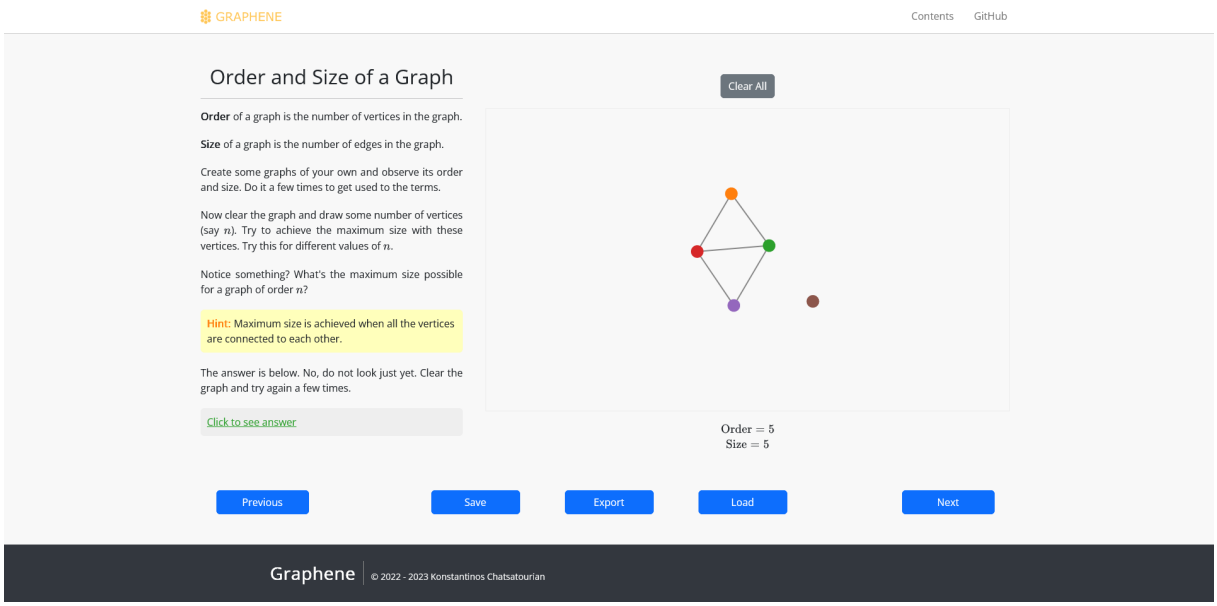
Σχήμα 5.4: Γράφος μετά την αφαίρεση κόμβου

5.4 Προσθήκη ακμών

Στις παρακάτω ενότητες δεν είναι δυνατή η προσθήκη ακμών.

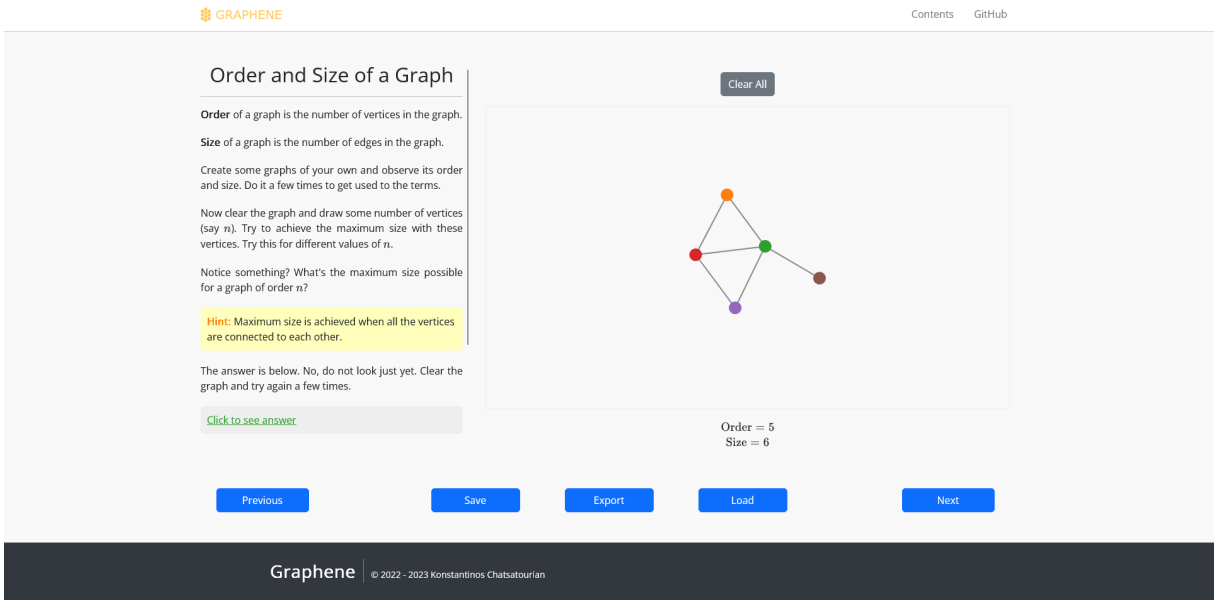
- Eulerian Circuit
- Eulerian Trail
- k-Colorable Graph
- Chromatic Number
- Rooted Trees
- Spanning Tree of a Graph
- In-order Traversal
- Pre-order Traversal
- Post-order Traversal

Σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες δίνεται η δυνατότητα προσθήκης μιας ακμής. Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.5: Γράφος πριν την προσθήκη ακμής

Έπειτα προσθέτω μια νέα ακμή κάνοντας click στον κόμβο πηγή και ξανά click στον κόμβο προορισμό. Τέλος, η εκάστοτε ενότητα εφαρμόζει τον αλγόριθμο της εκ νέου και ανανεώνει το μήνυμά της.



Σχήμα 5.6: Γράφος μετά την προσθήκη ακμής

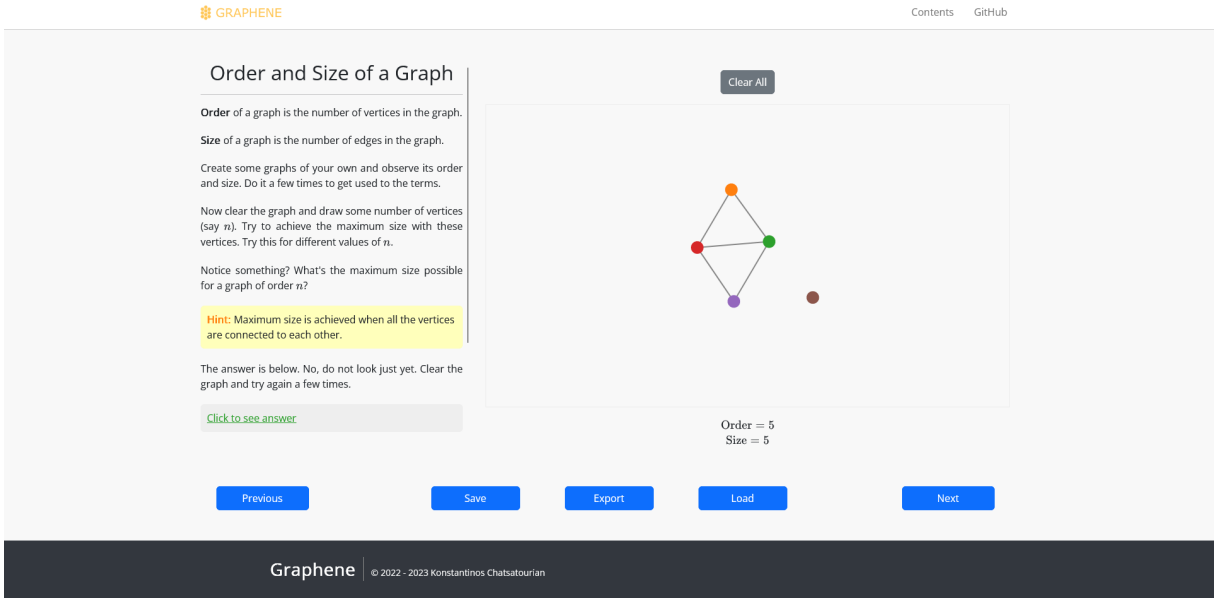
5.5 Αφαίρεση ακμών

Στις παρακάτω ενότητες δεν είναι δυνατή η αφαίρεση ακμών.

- Eulerian Circuit

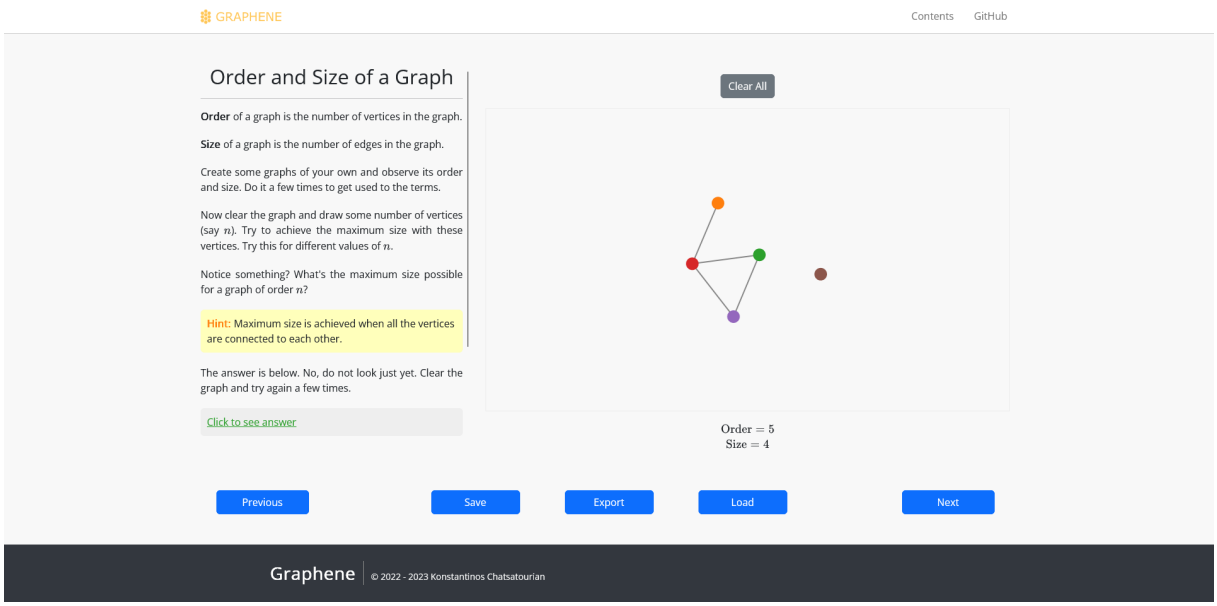
- Eulerian Trail
- k-Colorable Graph
- Chromatic Number
- Rooted Trees
- Spanning Tree of a Graph
- In-order Traversal
- Pre-order Traversal
- Post-order Traversal

Σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες δίνεται η δυνατότητα αφαίρεσης μιας ακμής. Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.7: Γράφος πριν την αφαίρεση ακμής

Έπειτα αφαιρώ μια ακμή πατώντας δεξί click πάνω της. Τέλος, η εκάστοτε ενότητα εφαρμόζει τον αλγόριθμο της εκ νέου και ανανεώνει το μήνυμά της.



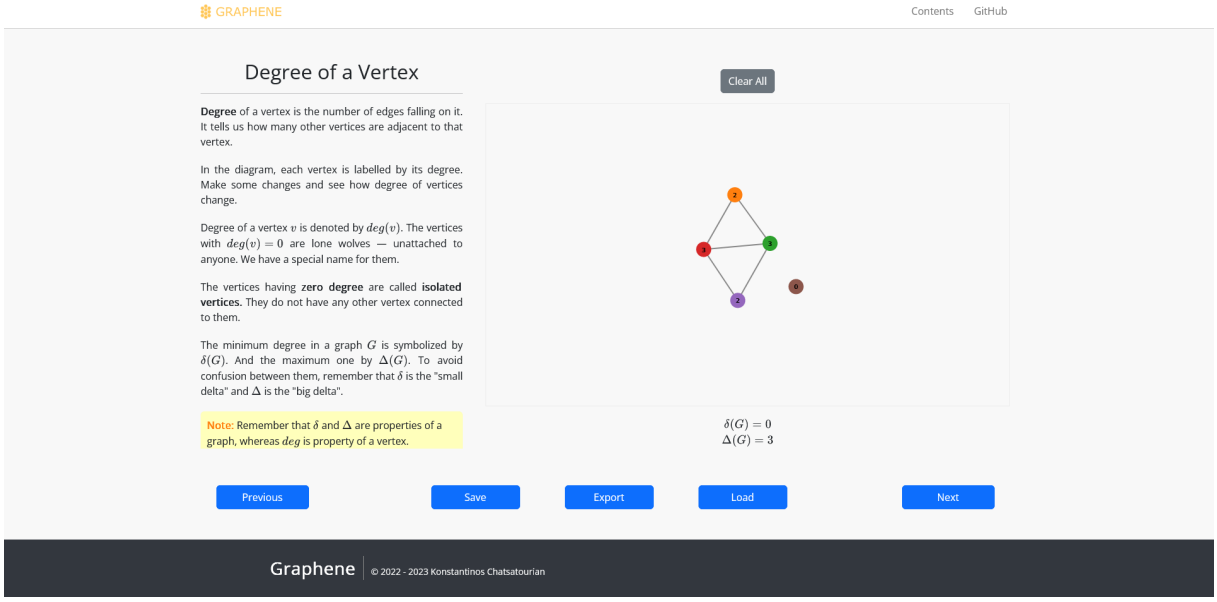
Σχήμα 5.8: Γράφος μετά την αφαίρεση ακμής

5.6 Μετακίνηση κόμβων

Σε όλες τις ενότητες δίνεται η δυνατότητα μετακίνησης ενός κόμβου.

5.6.1 Αρχική θέση κόμβου

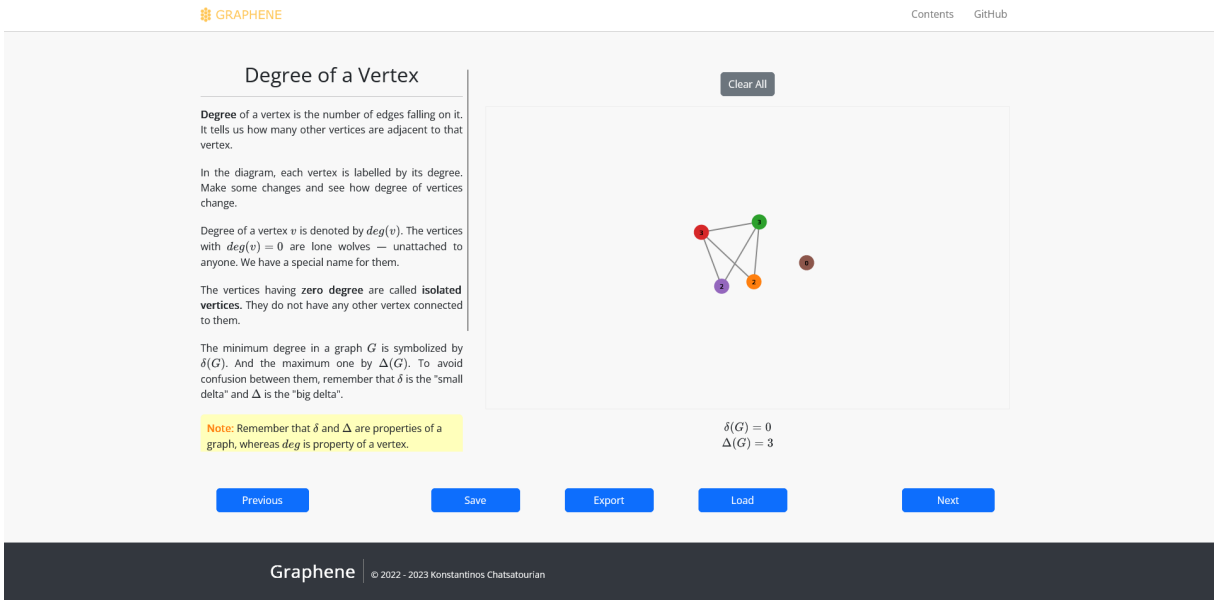
Αρχικά υπολογίζεται η θέση ενός κόμβου από την κλάση Canvas που ορίζει πώς διαταχθούν οι κόμβοι στον καμβά.



Σχήμα 5.9: Γράφος πριν τη μετακίνηση κόμβου

5.6.2 Ανανεωμένη θέση κόμβου

Έπειτα μπορώ να μετακινήσω έναν κόμβο κρατώντας πατημένο το πλήκτρο CTRL και κάνοντας drag and drop.



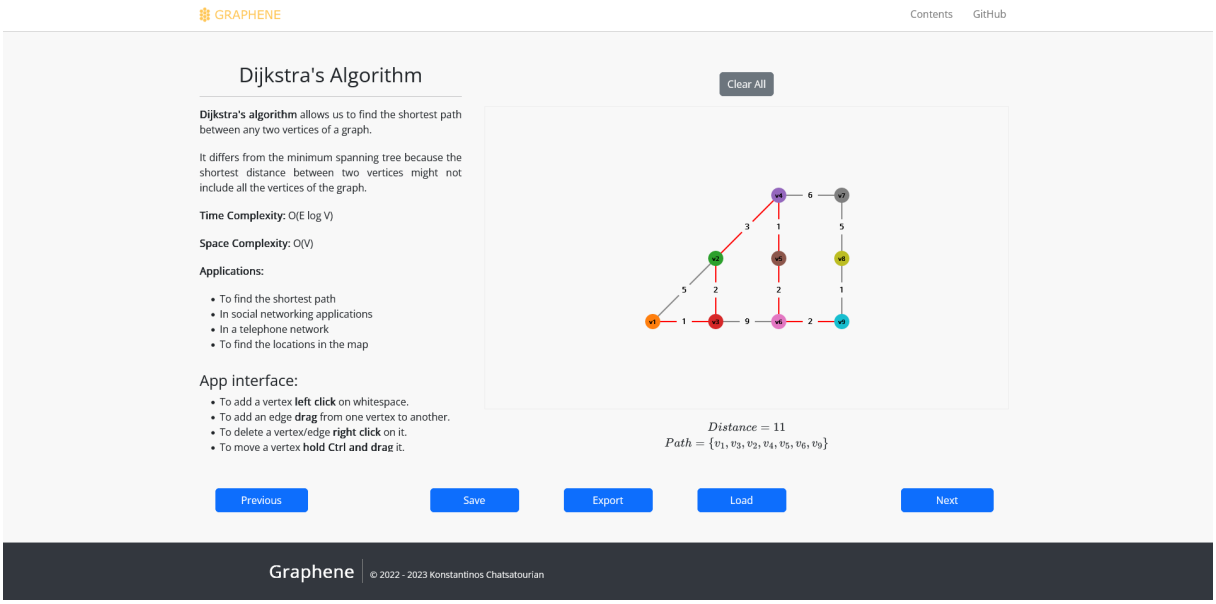
Σχήμα 5.10: Γράφος μετά τη μετακίνηση κόμβου

5.7 Ενημέρωση βαρών

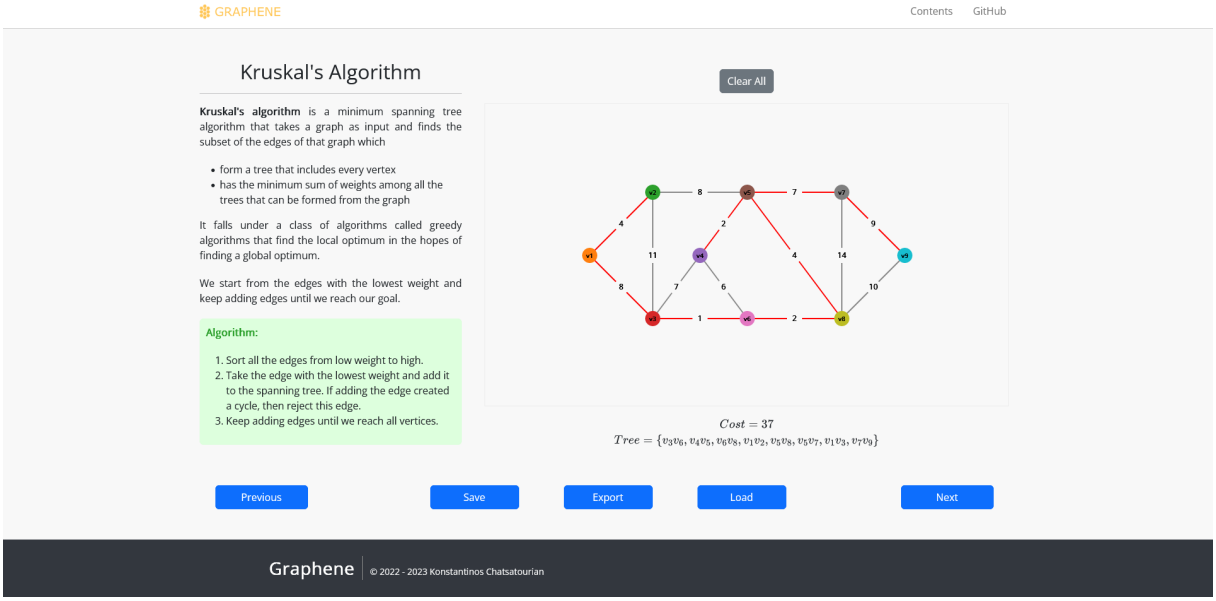
Στις ενότητες των αλγορίθμων του Dijkstra, του Kruskal και του Prim, δίνεται η δυνατότητα της ενημέρωσης των βαρών των ακμών.

5.7.1 Χρωματισμός αρχικού μονοπατιού

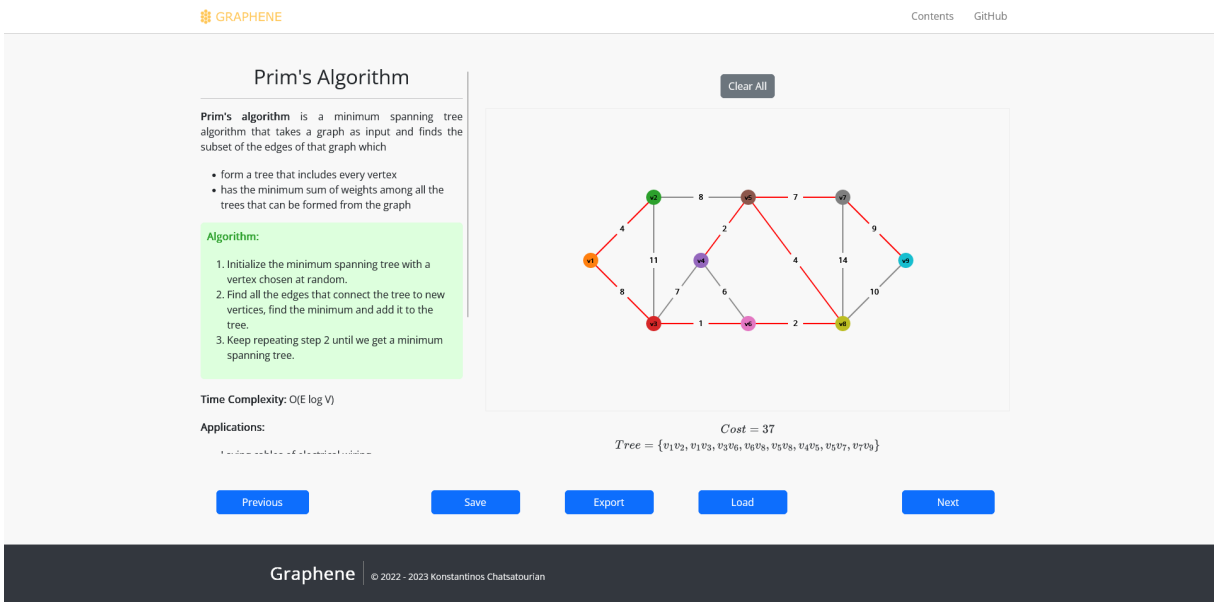
Αρχικά χρωματίζεται με κόκκινο χρώμα το μονοπάτι που σχηματίζει η εκτέλεση του αλγορίθμου στον γράφο.



Σχήμα 5.11: Συντομότερο μονοπάτι του Dijkstra πριν την ενημέρωση βάρους



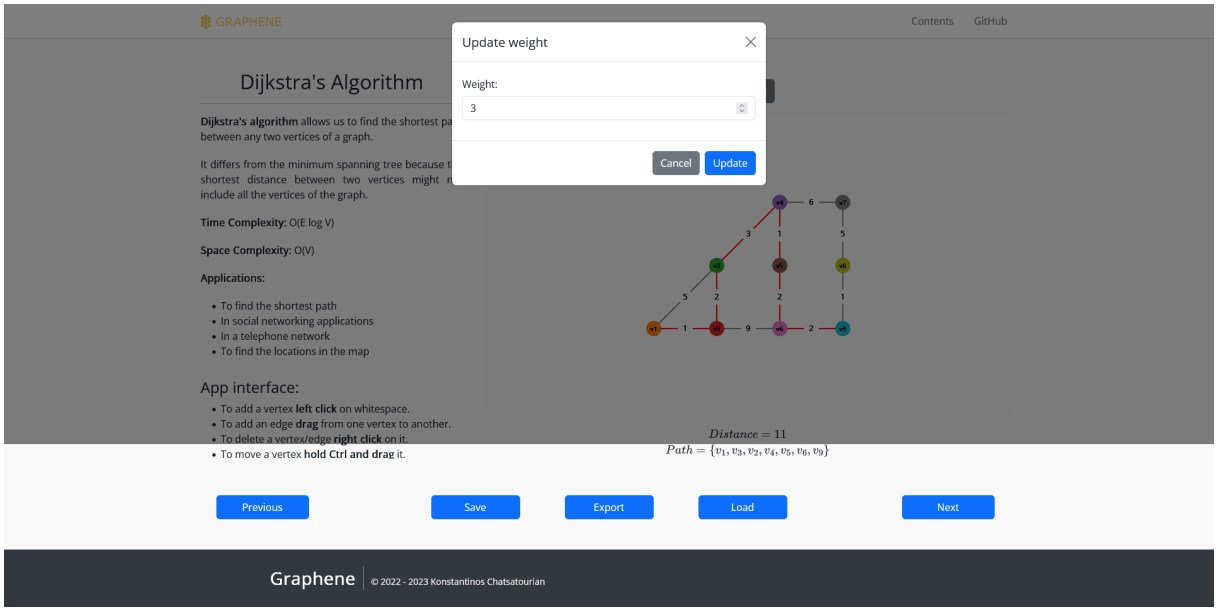
Σχήμα 5.12: Ελάχιστο συνδετικό δέντρο του Kruskal πριν την ενημέρωση βάρους



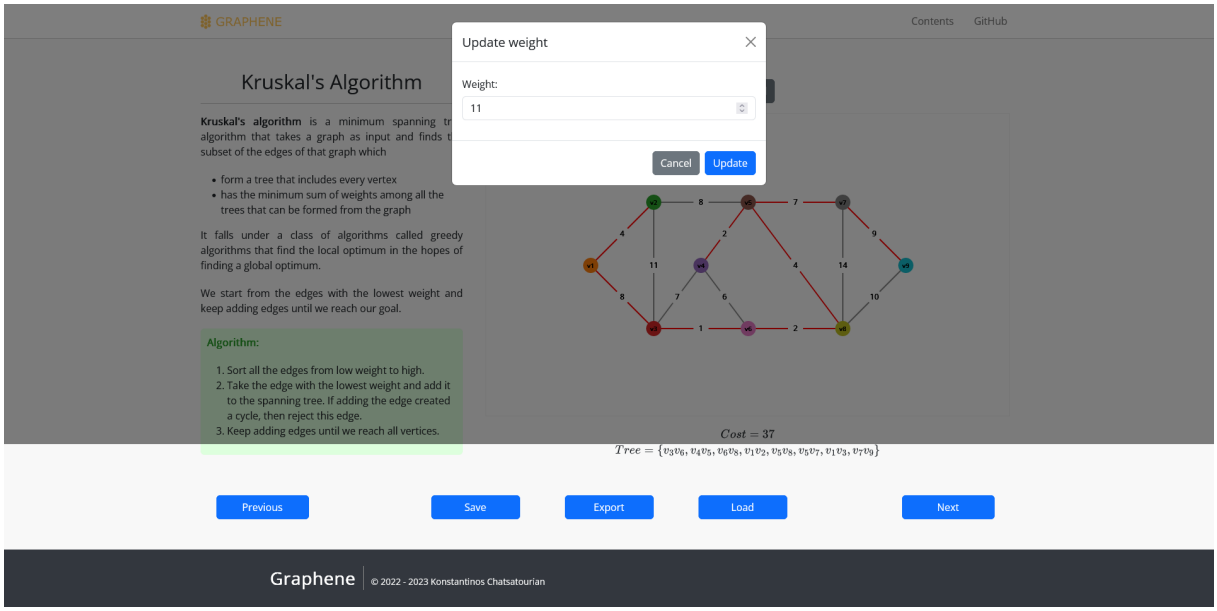
Σχήμα 5.13: Ελάχιστο συνδετικό δέντρο του Prim πριν την ενημέρωση βάρους

5.7.2 Ενημέρωση βάρους

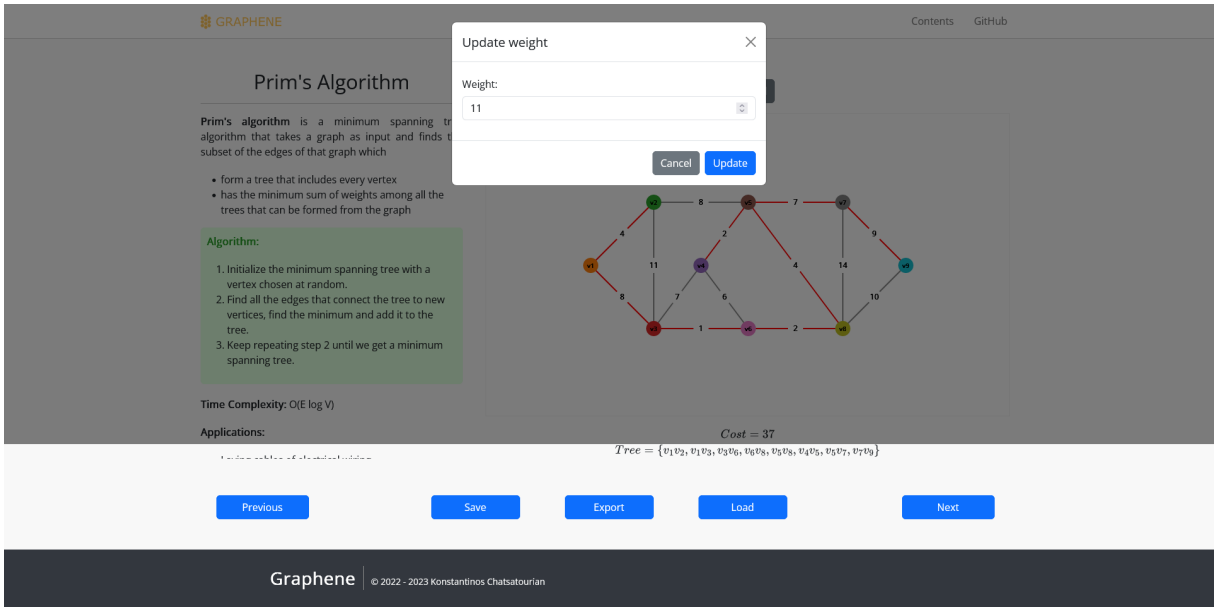
Έπειτα αλλάζω το βάρος μιας ακμής πατώντας πάνω στο βάρος που θέλω να αλλάξω και εμφανίζεται ένα modal στο οποίο θα θέσω το νέο βάρος.



Σχήμα 5.14: Ενημέρωση βάρους στην ενότητα του Dijkstra



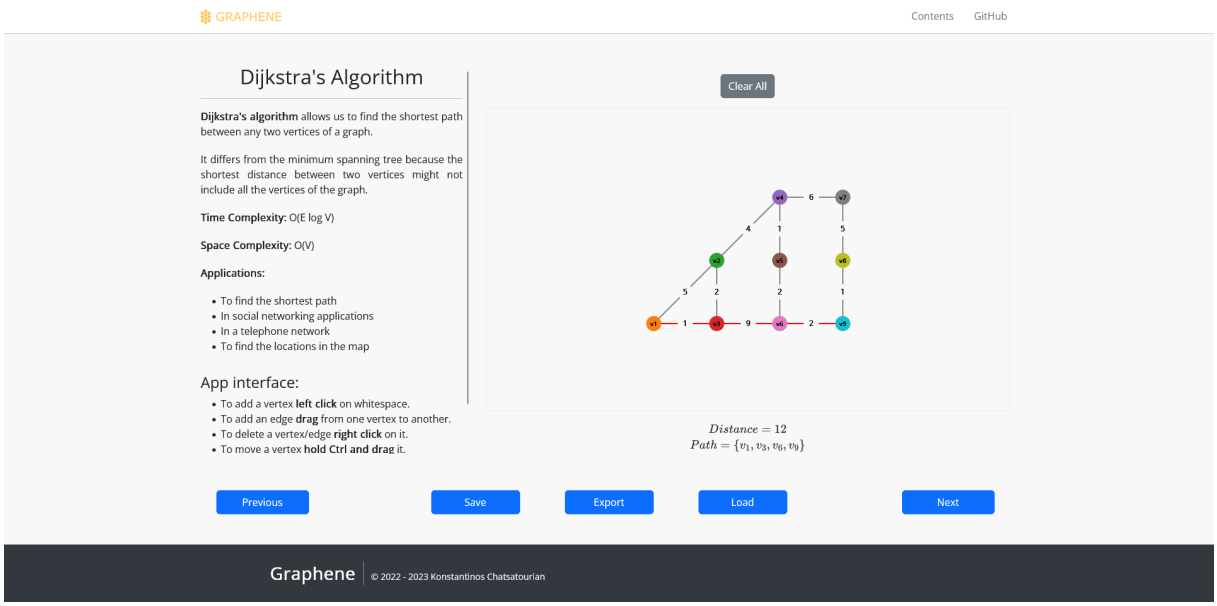
Σχήμα 5.15: Ενημέρωση βάρους στην ενότητα του Kruskal



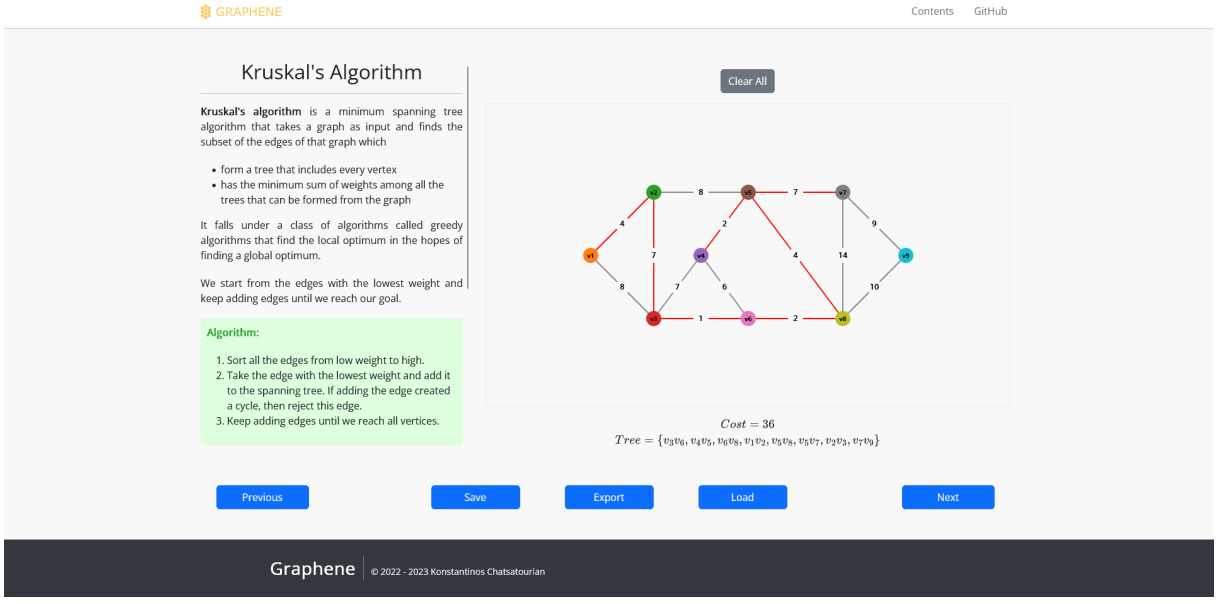
Σχήμα 5.16: Ενημέρωση βάρους στην ενότητα του Prim

5.7.3 Χρωματισμός νέου μονοπατιού

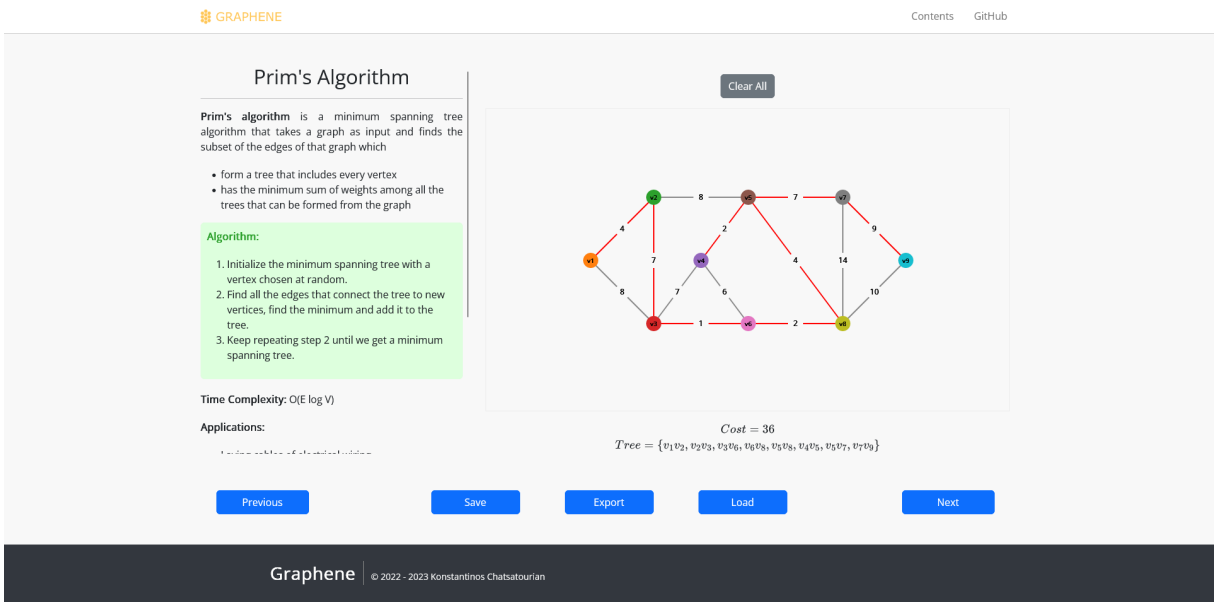
Τέλος χρωματίζεται με κόκκινο χρώμα το νέο μονοπάτι που σχηματίζει η επανεκτέλεση του αλγορίθμου στον γράφο μετά την αλλαγή του βάρους.



Σχήμα 5.17: Συντομότερο μονοπάτι του Dijkstra μετά την ενημέρωση βάρους



Σχήμα 5.18: Ελάχιστο συνδετικό δέντρο του Kruskal μετά την ενημέρωση βάρους



Σχήμα 5.19: Ελάχιστο συνδετικό δέντρο του Prim μετά την ενημέρωση βάρους

5.8 Εξαγωγή και εισαγωγή προόδου

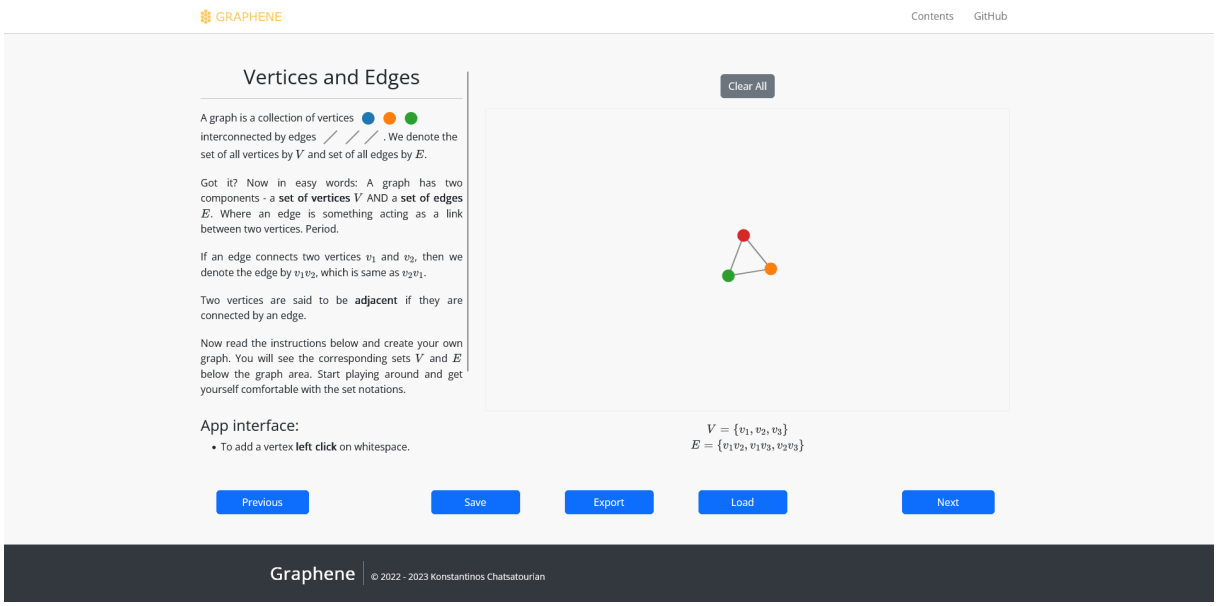
Στις παρακάτω ενότητες δεν είναι δυνατή η εξαγωγή και η εισαγωγή προόδου.

- Havel-Hakimi Algorithm
- Eulerian Circuit
- Eulerian Trail
- k-Colorable Graph
- Chromatic Number
- Spanning Tree of a Graph
- Dijkstra’s Algorithm
- Prim’s Algorithm
- In-Order Traversal
- Pre-Order Traversal
- Post-Order Traversal

Σε όλες τις υπόλοιπες ενότητες δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής και εισαγωγής προόδου.

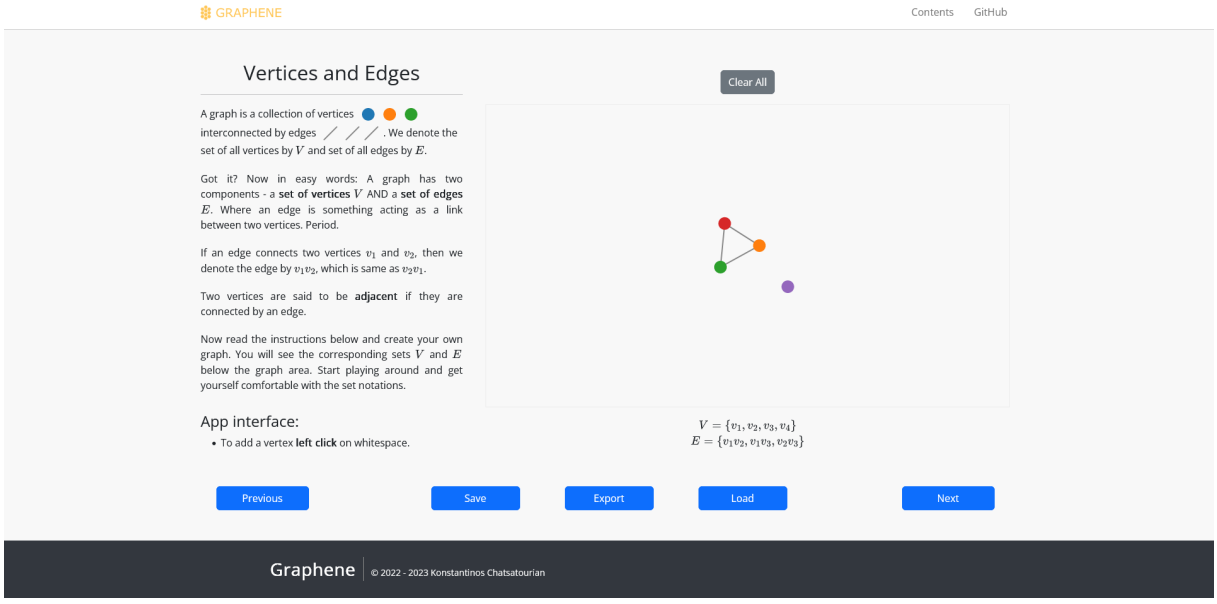
5.8.1 Εξαγωγή προόδου

Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.20: Γράφος πριν την εξαγωγή προόδου

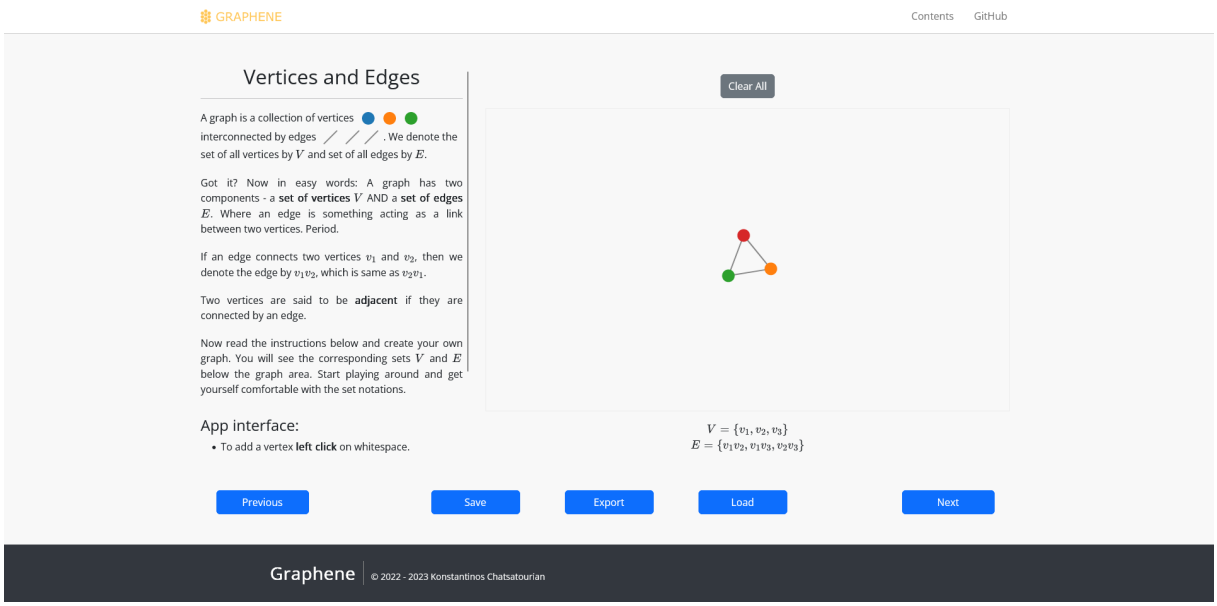
Έπειτα προσθέτω έναν νέο κόμβο κάνοντας click σε κενό σημείο του καμβά. Τέλος, εξάγω την πρόοδο της ενότητας σε ένα αρχείο JSON κάνοντας click στο κουμπί Save.



Σχήμα 5.21: Γράφος κατά την εξαγωγή προόδου

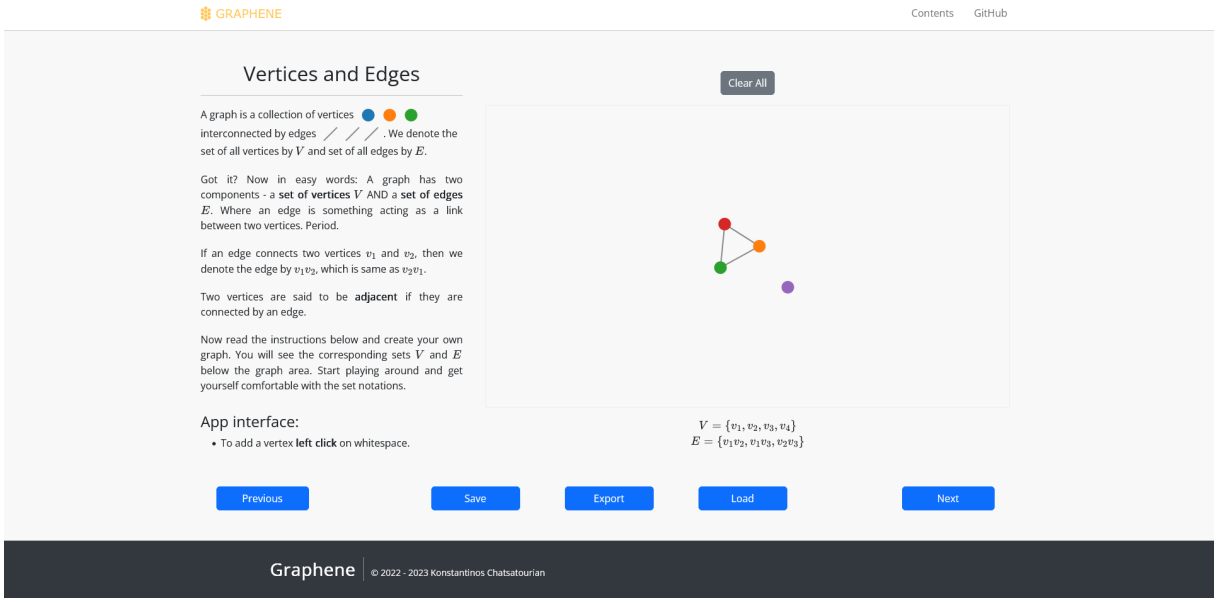
5.8.2 Εισαγωγή προόδου

Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.22: Γράφος πριν την εισαγωγή προόδου

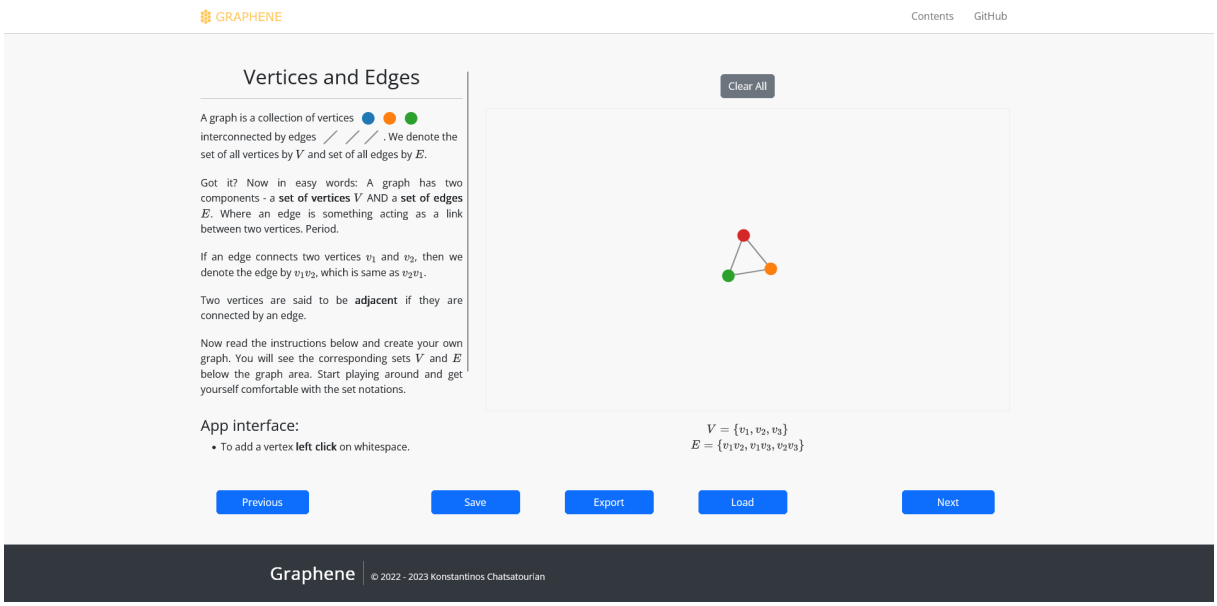
Έπειτα αφαιρώ έναν κόμβο πατώντας δεξί click πάνω του. Τέλος, εισάγω την πρόοδο της ενότητας κάνοντας click στο κουμπί Load και επιλέγοντας το αρχείο JSON της προόδου.



Σχήμα 5.23: Γράφος μετά την εισαγωγή προόδου

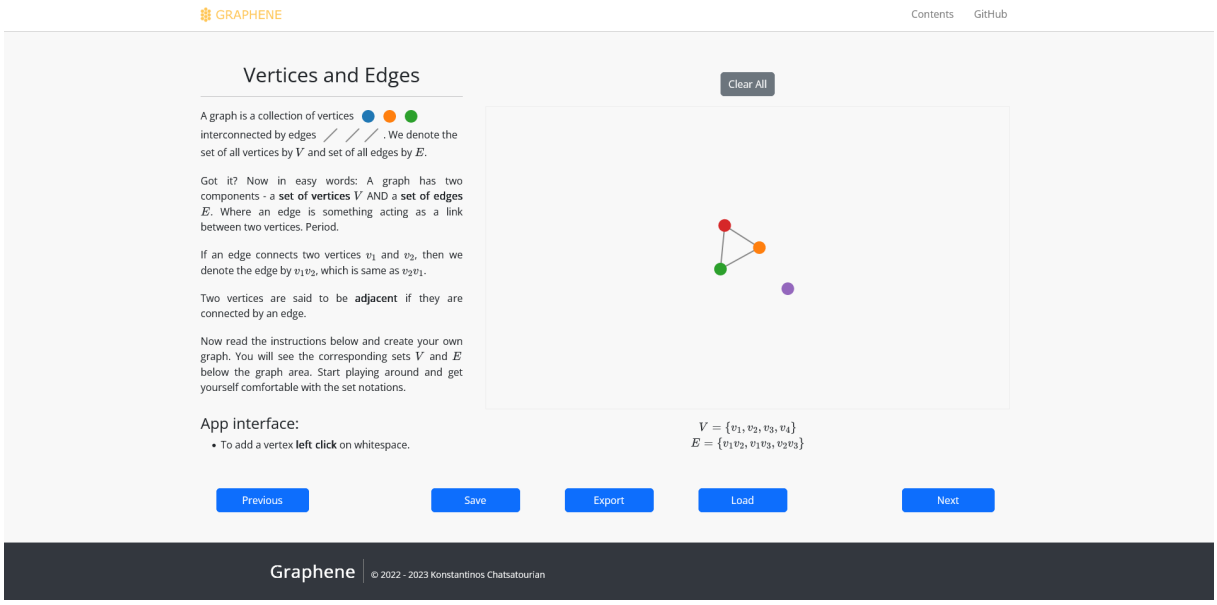
5.9 Εξαγωγή στιγμιότυπου

Σε όλες τις ενότητες δίνεται η δυνατότητα εξαγωγής στιγμιότυπου. Αρχικά σχηματίζεται ο γράφος με τους προεπιλεγμένους κόμβους και τις ακμές.



Σχήμα 5.24: Γράφος πριν την εξαγωγή στιγμιότυπου

Έπειτα προσθέτω έναν νέο κόμβο κάνοντας click σε κενό σημείο του καμβά. Τέλος, εξάγω το στιγμιότυπο της ενότητας σε διανυσματική μορφή SVG κάνοντας click στο κουμπί Export.



Σχήμα 5.25: Γράφος κατά την εξαγωγή στιγμιότυπου

5.10 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσίασα τις λειτουργίες που υπήρχαν, βελτιώθηκαν και προστέθηκαν στο αρχικό έργο με τη χρήση στιγμιότυπων.

Κεφάλαιο 6: Προτάσεις βελτίωσης

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω τις προτάσεις βελτίωσης. Το κεφάλαιο είναι χωρισμένο σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία αναφέρω τα πλεονεκτήματα που θα προσέφερε η χρήση ενός πλαισίου ιστού. Στη δεύτερη κατηγορία αναφέρω τα πλεονεκτήματα που θα προσέφερε η χρήση προτύπων σχεδιασμού. Στην τρίτη κατηγορία αναφέρω ενότητες που θα μπορούσαν να προστεθούν για να εμπλουτίσουν περαιτέρω την εφαρμογή.

6.2 Πλαίσιο ιστού

Αυτά είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση ενός πλαισίου ιστού όπως το Angular, το React ή το Vue:

- **Ανάπτυξη**: Παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση για την ανάπτυξη, την αποσφαλμάτωση και την ανάλυση του κώδικα της εφαρμογής.
- **Επαναχρησιμοποίηση**: Επιτρέπει την κατανομή του κώδικα σε μικρότερα επαναχρησιμοποιήσιμα συστατικά.
- **Συμβατότητα**: Στοχεύει σε εφαρμογές ιστού για επιτραπέζιες και κινητές συσκευές με κοινή βάση κώδικα.
- **Συντήρηση**: Η διαδικασία της συντήρησης της εφαρμογής γίνεται πιο εύκολη όταν αυτή βασίζεται σε ένα πλαίσιο ιστού.
- **Υποστήριξη**: Παρέχει πρόσβαση σε ένα οικοσύστημα υποστηριζόμενο από ενεργές κοινότητες προγραμματιστών.

6.3 Πρότυπα σχεδιασμού

Αυτά είναι κάποια από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση προτύπων σχεδίασης όπως το DDD ή το TDD:

- **Ανθεκτικότητα**: Τα πρότυπα δημιουργούν ένα θεμέλιο για μακροχρόνια, προσαρμόσιμα συστήματα λογισμικού.
- **Αξιοπιστία**: Η άμεση επικύρωση των αλλαγών στον κώδικα, επιτρέπει την ταχεία ανίχνευση σφαλμάτων.
- **Αποτελεσματικότητα**: Οι καθιερωμένες λύσεις μειώνουν το χρόνο ανάπτυξης και εξασφαλίζουν αξιοπιστία.
- **Επεκτασιμότητα**: Η χαλαρή σύζευξη επιτρέπει προσαρμοστικό και εύκολα επεκτάσιμο λογισμικό.
- **Επικοινωνία**: Η κοινή γλώσσα του τομέα ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ προγραμματιστών και ειδικών.
- **Ποιότητα**: Ο σχεδιασμός κώδικα με γνώμονα τη δυνατότητα ελέγχου, έχει ως αποτέλεσμα την

αύξηση της συνολικής ποιότητας.
- **Προσαρμοστικότητα**: Η προσαρμογή των εξελισσόμενων απαιτήσεων του τομέα μέσω της ευέλικτης βάσης κώδικα.

6.4 Περιεχόμενο

Αυτές είναι κάποιες από τις ενότητες που θα μπορούσαν να προστεθούν:

- Αλγόριθμος των Bellman-Ford για το συντομότερο μονοπάτι[38]
- Αλγόριθμος των Ford-Fulkerson για τη μέγιστη ροή σε ένα δίκτυο ροής[39]
- Αλγόριθμος του Huffman για τη συμπίεση δεδομένων[40]
- Αλγόριθμος των Floyd-Warshall για το συντομότερο μονοπάτι σε ένα κατευθυνόμενο σταθμισμένο γράφημα[41]
- Αλγόριθμος της οπισθοδρόμησης για την επίλυση προβλήματος[42]
- Αλγόριθμος των Rabin-Karp για την εύρεση μοτίβων σε κείμενο[43]

6.5 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσίασα τις προτάσεις βελτίωσης.

Βιβλιογραφία

[1] E. Weisstein, "Vertex." https://mathworld.wolfram.com/GraphVertex.html.

[2] E. Weisstein, "Edge." https://mathworld.wolfram.com/GraphEdge.html.

[3] E. Weisstein, "Vertex degree." https://mathworld.wolfram.com/VertexDegree.html.

[4] E. Weisstein, "Degree sequence." https://mathworld.wolfram.com/DegreeSequence.html.

[5] E. Weisstein, "Walk." https://mathworld.wolfram.com/Walk.html.

[6] E. Weisstein, "Path." https://mathworld.wolfram.com/GraphPath.html.

[7] E. Weisstein, "Cycle." https://mathworld.wolfram.com/GraphCycle.html.

[8] E. Weisstein, "Simple graph." https://mathworld.wolfram.com/SimpleGraph.html.

[9] E. Weisstein, "Directed graph." https://mathworld.wolfram.com/DirectedGraph.html.

[10] E. Weisstein, "Weighted graph." https://mathworld.wolfram.com/WeightedGraph.html.

[11] E. Weisstein, "Bipartite graph." https://mathworld.wolfram.com/BipartiteGraph.html.

[12] E. Weisstein, "Null graph." https://mathworld.wolfram.com/NullGraph.html.

[13] E. Weisstein, "Singleton graph." https://mathworld.wolfram.com/SingletonGraph.html.

[14] E. Weisstein, "Undirected graph." https://mathworld.wolfram.com/UndirectedGraph.html.

[15] E. Weisstein, "Connected graph." https://mathworld.wolfram.com/ConnectedGraph.html.

[16] E. Weisstein, "Disconnected graph." https://mathworld.wolfram.com/DisconnectedGraph.html.

[17] E. Weisstein, "Regular graph." https://mathworld.wolfram.com/RegularGraph.html.

[18] E. Weisstein, "Complete graph." https://mathworld.wolfram.com/CompleteGraph.html.

[19] E. Weisstein, "Path graph." https://mathworld.wolfram.com/PathGraph.html.

[20] E. Weisstein, "Planar graph." https://mathworld.wolfram.com/PlanarGraph.html.

[21] E. Weisstein, "Cyclic graph." https://mathworld.wolfram.com/CyclicGraph.html.

[22] E. Weisstein, "Tree." https://mathworld.wolfram.com/Tree.html.

[23] E. Weisstein, "Rooted tree." https://mathworld.wolfram.com/RootedTree.html.

[24] M. Bostock, "D3 force simulation." https://d3js.org/d3-force/simulation.

[25] M. Bostock, "D3 link force." https://d3js.org/d3-force/link.

[26] M. Bostock, "D3 many-body force." https://d3js.org/d3-force/many-body.

[27] M. Bostock, "D3 position force." https://d3js.org/d3-force/position.

[28] M. Bostock, “D3 selection selecting.” https://d3js.org/d3-selection/selecting.

[29] M. Bostock, “D3 selection modifying.” https://d3js.org/d3-selection/modifying.

[30] M. Bostock, “D3 selection joining.” https://d3js.org/d3-selection/joining.

[31] M. Bostock, “D3 selection events.” https://d3js.org/d3-selection/events.

[32] M. Bostock, “D3 selection control flow.” https://d3js.org/d3-selection/control-flow.

[33] M. Bostock, “D3 transition selecting.” https://d3js.org/d3-transition/selecting.

[34] M. Bostock, “D3 transition modifying.” https://d3js.org/d3-transition/modifying.

[35] M. Bostock, “D3 transition timing.” https://d3js.org/d3-transition/timing.

[36] M. Bostock, “D3 transition control flow.” https://d3js.org/d3-transition/control-flow.

[37] M. Bostock, “D3 drag.” https://d3js.org/d3-drag.

[38] “Bellman-ford algorithm.” https://programiz.com/dsa/bellman-ford-algorithm.

[39] “Ford-fulkerson algorithm.” https://programiz.com/dsa/ford-fulkerson-algorithm.

[40] “Huffman coding.” https://programiz.com/dsa/huffman-coding.

[41] “Floyd-warshall algorithm.” https://programiz.com/dsa/floyd-warshall-algorithm.

[42] “Backtracking algorithm.” https://programiz.com/dsa/backtracking-algorithm.

[43] “Rabin-karp algorithm.” https://programiz.com/dsa/rabin-karp-algorithm.