



UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

## **Investigation of Machine Vibration Analysis System Design**

Diploma Thesis

**Vasileios Dimitriou**

**Supervisor:** Karakonstantis Georgios

Month 2022





UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

## **Investigation of Machine Vibration Analysis System Design**

Diploma Thesis

**Vasileios Dimitriou**

**Supervisor:** Karakonstantis Georgios

Month 2022





ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Διερεύνηση Σχεδίασης Συστημάτων Ανάλυσης Δονήσεων  
Μηχανών**

**Διπλωματική Εργασία**

**Βασίλειος Δημητρίου**

**Επιβλέπων/πουνσα:** Καρακωνσταντής Γεώργιος

Μήνας 2022



Approved by the Examination Committee:

Supervisor **Karakonstantis Georgios**

Rank/position of Supervisor, Department of Electrical and Computer  
Engineering, University of Thessaly

Member **Name Surname of Member 1**

Rank/position of Member 1, Department/Institution of Member 1

Member **Name Surname of Member 2**

Rank/position of Member 2, Department/Institution of Member 2



## **DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS**

«Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism».

The declarant

Vasileios Dimitriou

## Diploma Thesis

### **Investigation of Machine Vibration Analysis System Design**

**Vasileios Dimitriou**

## **Abstract**

The abstract includes the scientific area and the purpose - subject of the thesis, the methodology, the main steps followed and the main results obtained. The total extent of the abstract will be up to one page.

A thesis written in english should include an english and a greek abstract.

### **Keywords:**

term, term, . . . , term

## Διπλωματική Εργασία

**Διερεύνηση Σχεδίασης Συστημάτων Ανάλυσης Δονήσεων Μηχανών**

**Βασίλειος Δημητρίου**

## Περίληψη

Η περίληψη περιλαμβάνει την επιστημονική περιοχή και το σκοπό - αντικείμενο της εργασίας, τη μεθοδολογία, τα κύρια βήματα που ακολουθήθηκαν και τέλος τα κύρια αποτελέσματα. Η συνολική έκταση της περίληψης θα είναι μέχρι μία σελίδα.

Διπλωματική εργασία γραμμένη στα ελληνικά, θα πρέπει να περιλαμβάνει ελληνική και αγγλική περίληψη.

### **Λέξεις-κλειδιά:**

όρος, όρος, . . . , όρος



# Περιεχόμενα

<b>Abstract</b>	<b>x</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>xii</b>
<b>Περιεχόμενα</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής . . . . .	1
1.1.1 Συνεισφορά . . . . .	1
1.2 Οργάνωση του τόμου . . . . .	2
<b>2 Τίτλος κεφαλαίου</b>	<b>3</b>
2.1 Εισαγωγή . . . . .	3
2.2 Ορισμός Δυναμικής Τιμολόγησης . . . . .	3
2.3 Μεταβαλλόμενη τιμή της ενέργειας . . . . .	4
2.3.1 Τίτλος Υπο-ενότητας . . . . .	5
2.3.2 Τίτλος Υπο-ενότητας . . . . .	5
2.3.3 Τίτλος Υπο-ενότητας . . . . .	5
<b>3 Συμπεράσματα</b>	<b>7</b>
3.1 Σύνοψη και συμπεράσματα . . . . .	7
3.2 Μελλοντικές επεκτάσεις . . . . .	7
<b>APPENDICES</b>	<b>9</b>
<b>A Τίτλος Παραρτήματος</b>	<b>11</b>
A.1 Δυνατότητες του LATEX . . . . .	11

---

A.1.1	Πίνακες . . . . .	11
A.1.2	Διαγράμματα - Γραφικές παραστάσεις . . . . .	12
A.1.3	Σχήματα . . . . .	12
A.1.4	Μαθηματικές εκφράσεις . . . . .	13
A.1.5	Αλγόριθμοι . . . . .	13
A.1.6	Θεωρήματα, Πορίσματα, Ορισμοί, κλπ. . . . .	14
A.1.7	Απαριθμήσεις . . . . .	14
A.1.8	Είδη πηγών στις αναφορές . . . . .	14
<b>B</b>	<b>Τίτλος 2ου Παραρτήματος</b>	<b>17</b>

# **Κεφάλαιο 1**

## **Εισαγωγή**

Εδώ αυτή κάνουμε μια γενική περιγραφή του χώρου εφαρμογής της διπλωματικής. Αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά του χώρου και καταλήγουμε στα γενικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει ο χώρος. Η συζήτηση των προβλημάτων θα πρέπει να προϊδεάζει τον αναγνώστη για το τι θα προσπαθήσει να αντιμετωπίσει η διπλωματική, χωρίς ακόμα να αναφερόμαστε συγκεκριμένα στο αντικείμενο της διπλωματικής.

### **1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής**

Εδώ αναφερόμαστε συγκεκριμένα στο τί θα κάνει η διπλωματική. Αναφέρουμε λεπτομερώς α) τα προβλήματα που θα λύσει (και που ήδη έχουν περιγραφεί γενικά στην προηγούμενη ενότητα), και β) πώς σκοπεύει να τα λύσει. Είναι σημαντικό κάποιος που θα διαβάσει την ενότητα αυτή να καταλάβει σε σημαντικό βαθμό τον σκοπό της διπλωματικής σας και τις τεχνικές δυσκολίες της, χωρίς να είναι αναγκαίο να δει όλα τα άλλα κεφάλαια. Η ενότητα αυτή θέλει πολύ προσοχή και καλύτερα να τη γράψετε αφού έχετε γράψει όλα τα υπόλοιπα κεφάλαια.

#### **1.1.1 Συνεισφορά**

Εδώ παραθέτουμε αριθμητικά συγκεκριμένες ενέργειες/λύσεις/μεθοδολογίες που παρουσιάζει η διπλωματική και λύνουν τα προβλήματα που υποσχεθήκαμε στην προηγούμενη ενότητα ότι θα λύσει η διπλωματική. Συνήθως η υποενότητα αυτή έχει την παρακάτω μορφή:

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:

1. Μελετήθηκαν συστήματα κ.λ.π.

2. Υλοποιήθηκαν τρεις αλγόριθμοι υπολογισμού κ.λ.π.
3. Αξιολογήθηκε η επίδοση των αλγορίθμων και βρέθηκε ότι κ.λ.π.
4. Ενσωματώθηκαν οι αλγόριθμοι σε πρότυπο σύστημα κ.λ.π.
5. ...

## **1.2 Οργάνωση του τόμου**

Εδώ περιγράφουμε τα κεφάλαια της διπλωματικής: μία πρόταση για το τί θα έχει κάθε κεφάλαιο. Συνήθως η ενότητα αυτή έχει την παρακάτω μορφή (δεν θα σας πάρει πάνω από μία μεγάλη παράγραφο):

Εργασίες σχετικές με το αντικείμενο της διπλωματικής παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2. Το Κεφάλαιο ... συζητά θέματα μοντελοποίησης. Στο Κεφάλαιο ... αναπτύσσουμε κ.λ.π.

Για την τελική οργάνωση του κειμένου σας, συμβουλευθείτε τον επιβλέποντα της εργασίας.

# **Κεφάλαιο 2**

## **Τίτλος κεφαλαίου**

### **2.1 Εισαγωγή**

Τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης παρουσιάζουν όλο και μεγαλύτερο ενδιαφέρον από δημόσιες κρατικές επιτροπές και επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενώ οι βιομηχανίες συνεχίζουν το σχεδιασμό για τη δημιουργία των έξυπνων δικτύων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ανά τον κόσμο δεν επιτρέπουν την αμφίδρομη σχέση με τον καταναλωτή ώστε να μπορεί να είναι ο ίδιος ρυθμιστής της κατανάλωσης ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του.

Μελέτες διαφόρων ερευνητικών ομάδων έδειξαν ότι το κόστος δεν κατανέμεται ισομερώς. Οι καταναλωτές οι οποίοι βρίσκονται υπό καθεστώς «επίπεδης» τιμολόγησης κατανάλωσαν περισσότερη ενέργεια κατά τις ώρες αιχμής. Με τα δυναμικά προγράμματα τιμολόγησης υπάρχει η δυνατότητα να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα με την ενίσχυση της οικονομικής αποδοτικότητας έχοντας σαν αποτέλεσμα την μείωση της ζήτησης σε ώρες αιχμής.

### **2.2 Ορισμός Δυναμικής Τιμολόγησης**

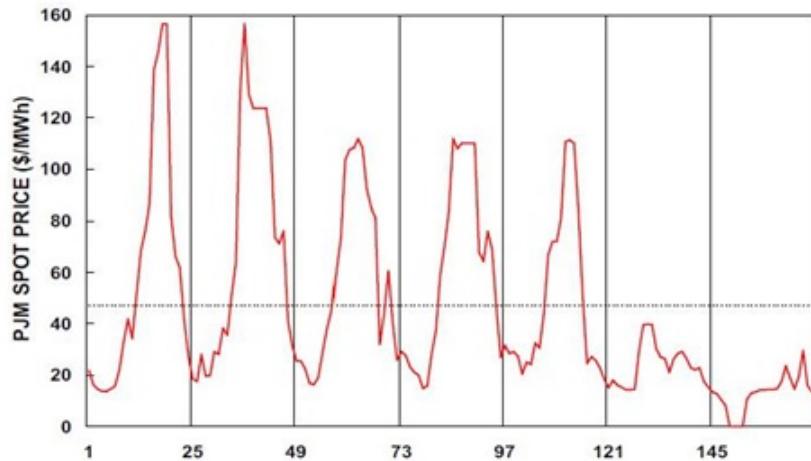
Με τον όρο Δυναμική Τιμολόγηση (dynamic pricing) εννοούμε την δυνατότητα που δίνει ο πάροχος στον πελάτη του, να τιμολογείται με μία τιμή που διαφέρει από ώρα σε ώρα, ενώ για κάθε 24ωρο οι τιμές ανακοινώνονται, οι τιμές ανακοινώνονται από μια μέρα έως και λίγες ώρες πριν. Για τον υπολογισμό αυτής λαμβάνεται υπόψη η τιμή στη χονδρική αγορά, το κόστος για την χρήση των δικτύων, το κέρδος του παρόχου και άλλες χρεώσεις. Με αυτό τον τρόπο οι καταναλωτές εκτίθενται στο ρίσκο της τιμής που διαμορφώνεται ανά

ώρα αλλά γλιτώνουν τη χρέωση που θα τους επέβαλε ο πάροχός τους, εάν αναλάμβανε εκείνος να διαχειριστεί το ρίσκο αυτό. Με την μετάβαση σε δυναμικά τιμολόγια αναμένεται ότι κάποιοι καταναλωτές θα ωφεληθούν ενώ κάποιοι άλλοι θα χάσουν. Εκείνοι οι οποίοι θα χάσουν είναι αυτοί που πραγματοποιούν τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε ώρες αιχμής. Αντίθετα, εκείνοι οι οποίοι θα κερδίσουν είναι αυτοί που παρουσιάζουν τη λεγόμενη "επίπεδη" κατανάλωση δηλαδή δεν καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε ώρες αιχμής. Υπάρχουν και αυτοί οι οποίοι δεν έχουν ούτε όφελος ούτε ζημία γιατί το προφίλ κατανάλωσης ταυτίζεται με τη καμπύλη φορτίου (και κόστους) του συστήματος (υποθέτουμε ανασχεδιασμό τιμολογίων ουδέτερο ως προς τα συνολικά έσοδα του προμηθευτή) [?].

## 2.3 Μεταβαλλόμενη τιμή της ενέργειας

Επειδή υπάρχει μεγάλη αδυναμία των πελατών της λιανικής αγοράς και των φορτίων τους να συμμετέχουν στις αγορές, οι σύγχρονες ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι αρκετά αποτελεσματικές όσον αφορά τον ανταγωνισμό. Η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά μεταβάλλεται από ώρα σε ώρα συχνά ακόμα και κατά 30-50% μέσα σε μια μέρα. Οι λόγοι για τους οποίους η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζει αυτή τη συμπεριφορά είναι οι εξής [?, ?]:

1. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρει πολλές φορές ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. (Για παράδειγμα οι υδροηλεκτρικές μονάδες και εκείνες που χρησιμοποιούν την πυρηνική ενέργεια έχουν κόστος κάτω των 10\$/MWh, ενώ το κόστος για μια συμβατική μονάδα ορυκτών καυσίμων ανέρχεται περίπου στα 100\$/MWh).
2. Το φορτίο του συστήματος μεταβάλλεται από ώρα σε ώρα.
3. Η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί με οικονομικό τρόπο για αυτό το λόγο πρέπει να καταναλώνεται τη στιγμή που παράγεται.
4. Πολύ συχνά προκαλούνται ανισορροπίες μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης εξαιτίας συμβάντων όπως ξαφνική απώλεια μονάδων, του δικτύου ή ακραία φαινόμενα.
5. Η λειτουργία των μονάδων διέπεται από τεχνικούς περιορισμούς. Κάποιες φορές όταν το φορτίο είναι πολύ χαμηλό, η τιμή στην αγορά μηδενίζεται ή γίνεται ακόμα και αρνητική. Αυτό συμβαίνει διότι είναι οικονομικότερο να μείνει μια μονάδα σε λειτουργία παρά να κλείσει και να επαναλειτουργήσει αργότερα.



Σχήμα 2.1: Διακύμανση τις τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας

Στο Σχήμα 2.1 που παρουσιάζεται η διακύμανση τις τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα που διαχειρίζεται η εταιρεία PJM interconnection για λογαριασμό κάποιων πολιτειών των ΗΠΑ για μία βδομάδα του Ιουλίου [?, ?, ?].

### 2.3.1 Τίτλος Υπο-ενότητας

### 2.3.2 Τίτλος Υπο-ενότητας

### 2.3.3 Τίτλος Υπο-ενότητας

κλπ.



# **Κεφάλαιο 3**

## **Συμπεράσματα**

Εδώ εξηγούμε ότι θα συνοψίσουμε την μελέτη που εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής.

### **3.1 Σύνοψη και συμπεράσματα**

Εδώ συνοψίζουμε τα αποτελέσματα της διπλωματικής και περιγράφουμε τα συμπεράσματα που προέκυψαν, αρνητικά και θετικά. Επιβεβαιώνουμε την συνεισφορά της διπλωματικής στα προβλήματα που αναφέραμε στην εισαγωγή.

### **3.2 Μελλοντικές επεκτάσεις**

Εδώ δίνουμε ιδέες για επέκταση της διπλωματικής.



## **APPENDICES**



# Appendix A

## Τίτλος Παραρτήματος

Τα παραρτήματα περιλαμβάνουν συνοδευτικό, υποστηρικτικό υλικό (πίνακες, φωτογραφίες, ερωτηματολόγια, στατιστικά στοιχεία, αποδείξεις, περιγραφές λογισμικών προγραμμάτων, παραδείγματα, περιγραφές πολύπλοκων διαδικασιών, λίστα με πρωτογενή στοιχεία, λεπτομερής περιγραφή και προδιαγραφές εξοπλισμού, οδηγίες εγκατάστασης λογισμικού, κ.λπ.), ή αλλιώς ό, τι θεωρείται χρήσιμο να περιγραφεί, αλλά δεν συνηθίζεται να εντάσσεται μέσα στο κυρίως κείμενο της Εργασίας. Στο κυρίως κείμενο της Εργασίας πρέπει να γίνονται οι κατάλληλες παραπομπές προς τα παραρτήματα, όπου το κείμενο σχετίζεται με υλικό που περιλαμβάνεται σε αυτά. Ένα παράρτημα, αναλόγως με το περιεχόμενό του, μπορεί να είναι ενιαίο, ή να χωρίζεται σε ενότητες.

### A.1 Δυνατότητες του L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Καθώς το παρόν αποτελεί ένα πρότυπο συγγραφής διπλωματικών εργασιών, στην ενότητα αυτή επιδεικνύονται ορισμένες από τις δυνατότητες το L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στο κείμενο μιας διπλωματικής εργασίας (μια καλή πηγή για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων του L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X είναι η ιστοσελίδα [https://www.overleaf.com/learn/latex/Main\\_Page](https://www.overleaf.com/learn/latex/Main_Page)).

#### A.1.1 Πίνακες

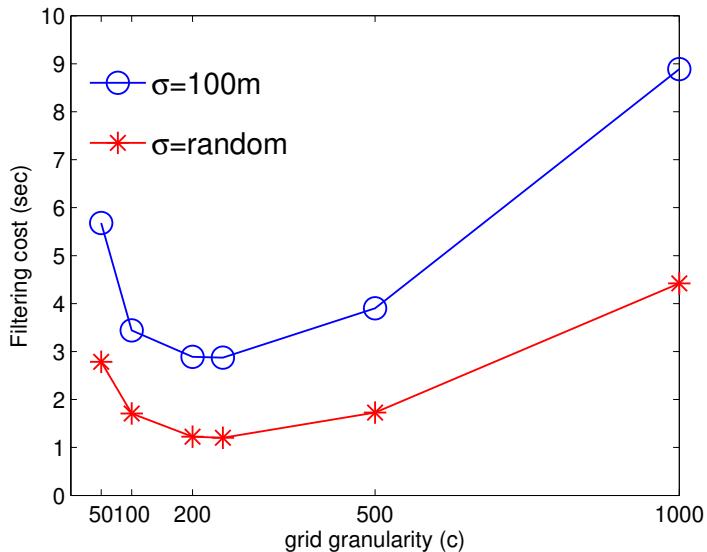
Ο Πίνακας A.1 είναι ένα παράδειγμα πίνακα σχεδιασμένου με εντολές του περιβάλλοντος `tabular`.

Πίνακας A.1: Παράμετροι πειραμάτων

Πλήθος κελιών καννάβου $c \times c$	$50 \times 50, 100 \times 100, 200 \times 200, \mathbf{250 \times 250}, 500 \times 500, 1000 \times 1000$
Τυπική απόκλιση $\sigma$	25m, 50m, 75m, <b>100m</b> , 150m, 200m
Αριθμός εγγύτερων γειτόνων $k$	1, 2, <b>3</b> , 4, 5, 10, 20
Πιθανοτικό κατώφλι $\theta$	50%, 60%, 70%, <b>75%</b> , 80%, 90%, 99%

### A.1.2 Διαγράμματα - Γραφικές παραστάσεις

Στο Σχήμα A.1, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα γραφικής παράστασης σχεδιασμένης με το Gnuplot. Ένας άλλος τρόπος κατασκευής τέτοιων παραστάσεων/διαγραμμάτων είναι με χρήση του πακέτου pgfplots (<http://pgfplots.sourceforge.net/>).

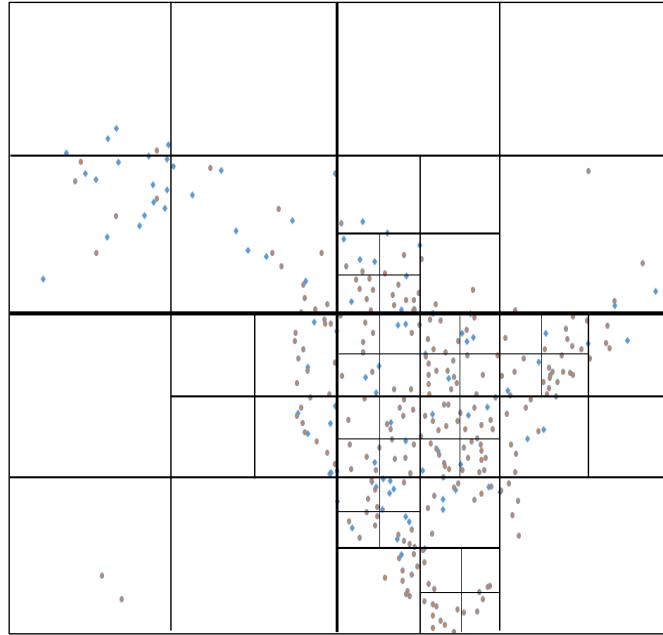


Σχήμα A.1: Κλιμάκωση χρόνου εκτέλεσης για διάφορες υποδιαιρέσεις του καννάβου

Στο Σχήμα A.2, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εισαγωγής σχήματος/εικόνας που περιέχεται σε αρχείο pdf, ενώ στο Κεφάλαιο 2, στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εισαγωγής σχήματος/εικόνας που περιέχεται σε αρχείο jpg.

### A.1.3 Σχήματα

Ακολουθεί στο Σχήμα A.3 ένα παράδειγμα σχήματος φτιαγμένου με εντολές του πακέτου TikZ.



Σχήμα A.2: Quadtree partitioning.

#### A.1.4 Μαθηματικές εκφράσεις

Ακολουθούν παραδείγματα μαθηματικών εκφράσεων.

$$\hat{I}(x, u, t) = \text{dist}(y(t_f), \Gamma) + \int_t^{t_f} \mathcal{L}(y(s), u(s), s) ds \quad (\text{A.1})$$

$$\frac{d}{dx} \left( \int_0^z f(u) du \right) = f(x).$$

#### A.1.5 Αλγόριθμοι

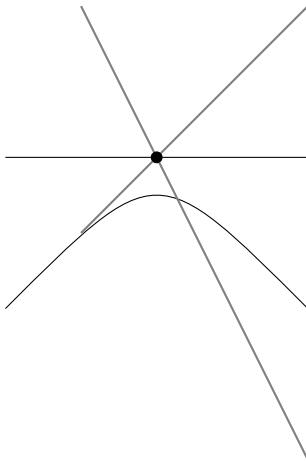
Ακολουθεί ο Αλγόριθμος 1, ο οποίος είναι μορφοποιημένος με τα πακέτα algorithm και algorithmic.

---

##### Algorithm 1 Probabilistic $k\theta NN$ Monitoring

---

- 1: **Procedure** *VerifyCandidate* (focal query point  $q$ , threshold  $\theta$ , object  $o$ , list of auxiliary objects  $P$ , distance  $kMAXDIST$ )
  - 2: **if**  $\Phi(o, kMAXDIST) \geq \theta$  **and**  $L_2(q, o) \leq L_2(q, P.\text{top}())$  **then**
  - 3:      $P.\text{pop}();$      *//Replace the most extreme element in P, since candidate o ...*
  - 4:      $P.\text{push}(o);$      *//... has enough probability and has its mean closer to focal q*
  - 5: **end if**
  - 6: **End Procedure**
-



Σχήμα A.3: Παράδειγμα σχήματος με εντολές του πακέτου TikZ

### A.1.6 Θεωρήματα, Πορίσματα, Ορισμοί, κλπ.

Ακολουθεί παράδειγμα θεωρήματος από την ιστοσελίδα [https://www.overleaf.com/learn/latex/Theorems\\_and\\_proofs](https://www.overleaf.com/learn/latex/Theorems_and_proofs)

**Theorem 4.1.** *Let  $f$  be a function whose derivative exists in every point, then  $f$  is a continuous function.*

### A.1.7 Απαρίθμησις

Μια απαρίθμηση (itemized list) βοηθά στην παρουσίαση μιας σειράς περιπτώσεων με σαφήνεια. Ακολουθεί παράδειγμα.

Η εκπαίδευση στην Ελλάδα διακρίνεται σε:

- Πρωτοβάθμια
- Δευτεροβάθμια
- Τριτοβάθμια

### A.1.8 Είδη πηγών στις αναφορές

Στο references.bib μπορεί να δει κανείς πώς γράφονται διάφορα είδη πηγών (Βιβλία Ξενόγλωσσα [?], Βιβλία Ελληνικά [?], Άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά [?], Άρθρα σε επιστημονικά συνέδρια [?], Ιστοσελίδες [?], Πτυχιακές Εργασίες [?], Διπλωματικές Εργασίες

[?], Μεταπτυχιακές Διπλωματικές Εργασίες [?], Διδακτορικές Διατριβές [?], Τεχνικές Αναφορές [?], Διπλώματα Ευρεσιτεχνίας [?]), Κεφάλαια σε συλλογικούς τόμους [?].



## **Appendix B**

### **Τίτλος 2ου Παραρτήματος**

Τα παραρτήματα περιλαμβάνουν συνοδευτικό, υποστηρικτικό υλικό (πίνακες, φωτογραφίες, ερωτηματολόγια, στατιστικά στοιχεία, αποδείξεις, περιγραφές λογισμικών προγραμμάτων, παραδείγματα, περιγραφές πολύπλοκων διαδικασιών, λίστα με πρωτογενή στοιχεία, λεπτομερής περιγραφή και προδιαγραφές εξοπλισμού, οδηγίες εγκατάστασης λογισμικού, κ.λπ.), ή αλλιώς ό,τι θεωρείται χρήσιμο να περιγραφεί, αλλά δεν συνηθίζεται να εντάσσεται μέσα στο κυρίως κείμενο της Εργασίας. Στο κυρίως κείμενο της Εργασίας πρέπει να γίνονται οι κατάλληλες παραπομπές προς τα παραρτήματα, όπου το κείμενο σχετίζεται με υλικό που περιλαμβάνεται σε αυτά. Ένα παράρτημα, αναλόγως με το περιεχόμενό του, μπορεί να είναι ενιαίο, ή να χωρίζεται σε ενότητες.