

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών

Πρόβλεψη Δικαστικών Αποφάσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ ΜΕΞΗΣ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2025

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών

Πρόβλεψη Δικαστικών Αποφάσεων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ ΜΕΞΗΣ

Επιβλέπων : Παναγιώτης Τσανάκας
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Ιουνίου 2025.

.....
Νικόλαος Σ. Παπασπύρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Πέτρος Παπαδόπουλος
Επικ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Νικολάου
Αν. Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

Αθήνα, Ιούνιος 2025

.....
Θεόδωρος Άγγελος Μέξης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Θεόδωρος Άγγελος Μέξης, 2025.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αφενός η σχεδίαση μίας απλής γλώσσας υψηλού επιπέδου με υποστήριξη για προγραμματισμό με αποδείξεις, αφετέρου η υλοποίηση ενός μεταγλωττιστή για τη γλώσσα αυτή που θα παράγει κώδικα για μία γλώσσα ενδιάμεσου επιπέδου κατάλληλη για δημιουργία πιστοποιημένων εκτελέσιμων.

Στη σημερινή εποχή, η ανάγκη για αξιόπιστο και πιστοποιημένα ασφαλή κώδικα γίνεται διαρκώς ευρύτερα αντιληπτή. Τόσο κατά το παρελθόν όσο και πρόσφατα έχουν γίνει γνωστά προβλήματα ασφάλειας και συμβατότητας προγραμμάτων που είχαν ως αποτέλεσμα προβλήματα στην λειτουργία μεγάλων συστημάτων και συνεπώς οικονομικές επιπτώσεις στους οργανισμούς που τα χρησιμοποιούσαν. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην έλλειψη δυνατότητας προδιαγραφής και απόδειξης της ορθότητας των προγραμμάτων που χαρακτηρίζει τις σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού. Για το σκοπό αυτό, έχουν προταθεί συστήματα πιστοποιημένων εκτελέσιμων, στα οποία έχουμε τη δυνατότητα να προδιαγράψουμε την ορθότητα των προγραμμάτων, και να παρέχουμε μία τυπική απόδειξη αυτής, η οποία μπορεί να ελεγχθεί μηχανιστικά πριν το χρόνο εκτέλεσης.

Τα συστήματα που έχουν προταθεί είναι ενδιάμεσου επιπέδου οπότε η διαδικασία προγραμματισμού σε αυτά είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη. Οι γλώσσες υψηλού επιπέδου που συνοδεύουν αυτά τα συστήματα, ενώ είναι ιδιαίτερα εκφραστικές, παραμένουν δύσκολες στον προγραμματισμό. Μία απλούστερη γλώσσα υψηλού επιπέδου, όπως αυτή που προτείνουμε σε αυτή την εργασία, θα επέτρεπε ευρύτερη εξάπλωση του συγκεκριμένου ιδιώματος προγραμματισμού.

Στη γλώσσα που προτείνουμε, ο προγραμματιστής προδιαγράφει τη μερική ορθότητα του προγράμματος, δίνοντας προσυνθήκες και μετασυνθήκες για τις παραμέτρους και τα αποτελέσματα των συναρτήσεων που ορίζει. Επίσης δίνει ένα σύνολο θεωρημάτων βάσει του οποίου κατασκευάζονται αποδείξεις της ορθής υλοποίησης και χρήσης των συναρτήσεων αυτών. Ως μέρος της εργασίας, έχουμε υλοποιήσει σε γλώσσα OCaml ένα μεταφραστή αυτής της γλώσσας στο σύστημα πιστοποιημένων εκτελέσιμων NFLINT.

Επιτύχαμε να διατηρήσουμε τη γλώσσα κοντά στο ύφος των ευρέως διαδεδομένων συναρτησιακών γλωσσών, καθώς και να διαχωρίσουμε τη φάση προγραμματισμού από τη φάση απόδειξης της ορθότητας των προγραμμάτων. Έτσι ένας μέσος προγραμματιστής μπορεί εύκολα να προγραμματίζει στη γλώσσα που προτείνουμε με τον τρόπο που ήδη γνωρίζει, και ένας γνώστης μαθηματικής λογικής να αποδεικνύει σε επόμενη φάση την μερική ορθότητα των προγραμμάτων. Ως απόδειξη της πρακτικότητας της προσέγγισης αυτής, παραθέτουμε ένα σύνολο παραδειγμάτων στη γλώσσα με απόδειξη μερικής ορθότητας.

Λέξεις κλειδιά

Γλώσσες προγραμματισμού, Προγραμματισμός με αποδείξεις, Ασφαλείς γλώσσες προγραμματισμού, Πιστοποιημένος κώδικας.

Abstract

The purpose of this diploma dissertation is on one hand the design of a simple high-level language that supports programming with proofs, and on the other hand the implementation of a compiler for this language. This compiler will produce code for an intermediate-level language suitable for creating certified binaries.

The need for reliable and certifiably secure code is even more pressing today than it was in the past. In many cases, security and software compatibility issues put in danger the operation of large systems, with substantial financial consequences. The lack of a formal way of specifying and proving the correctness of programs that characterizes current programming languages is one of the main reasons why these issues exist. In order to address this problem, a number of frameworks with support for certified binaries have recently been proposed. These frameworks offer the possibility of specifying and providing a formal proof of the correctness of programs. Such a proof can easily be checked for validity before running the program.

The frameworks that have been proposed are intermediate-level in nature, thus the process of programming in these is rather cumbersome. The high-level languages that accompany some of these frameworks, while very expressive, are hard to use. A simpler high-level language, like the one proposed in this dissertation, would enable further use of this programming idiom.

In the language we propose, the programmer specifies the partial correctness of a program by annotating function definitions with pre- and post-conditions that must hold for their parameters and results. The programmer also provides a set of theorems, based on which proofs of the proper implementation and use of the functions are constructed. An implementation in OCaml of a compiler from this language to the NFLINT certified binaries framework was also completed as part of this dissertation.

We managed to keep the language close to the feel of the current widespread functional languages, and also to fully separate the programming stage from the correctness-proving stage. Thus an average programmer can program in a familiar way in our language, and later an expert on formal logic can prove the semi-correctness of a program. As evidence of the practicality of our design, we provide a number of examples in our language with full semi-correctness proofs.

Key words

Programming languages, Programming with proofs, Secure programming languages, Certified code.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή αυτής της διπλωματικής εργασίας, κ. Παναγιώτη Τσανάκα, για την συνεχή καθοδήγηση και εμπιστοσύνη του. Ευχαριστώ επίσης τον κ. Μάριο Κονιάρη για τις πολύτιμες συμβουλές του και τις ιδιαίτερα χρήσιμες συζητήσεις που είχαμε καθόλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Θέλω να ευχαριστήσω ακόμη, τον συμφοιτητή μου Δημήτριο Χαραλάμπη για διάφορα πραγματάκια.

Θεόδωρος Άγγελος Μέξης,

Αθήνα, 20η Ιουνίου 2025

Η εργασία αυτή είναι επίσης διαθέσιμη ως Τεχνική Αναφορά CSD-SW-TR-42-17, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών, Εργαστήριο Τεχνολογίας Λογισμικού, Ιούνιος 2025.

URL:

FTP:

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	11
Κατάλογος σχημάτων	13
1. Εισαγωγή	15
1.1 Σκοπός της εργασίας	15
1.2 Η γλώσσα προγραμματισμού C++	16
1.3 Δομή της εργασίας	16
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	19
2.1 Τεχνικές Προβλέψεων	19
2.1.1 Ορισμός και Διαδικασία Πρόβλεψης	19
2.1.2 Κατηγορίες Μεθόδων Πρόβλεψης	19
2.2 Θεωρία πεδίων	20
3. Παρουσίαση Συνόλου Δεδομένων	21
4. Μέθοδοι Πρόβλεψης Δικαστικών Αποφάσεων	23
5. Πειραματικά Αποτελέσματα - Ερμηνεία	25
6. Επίλογος	27
Κείμενο στα αγγλικά	31
1. Introduction	31
1.1 The Goal of this Project	31
1.2 The C++ Programming Language	32
1.3 The Structure of this Thesis	32
2. Theoretical Background	33
2.1 Programming Language Semantics	33
2.2 Domain Theory	34

Παράρτημα	37
A. Ευρετήριο συμβολισμών	37
B. Ευρετήριο γλωσσών	39
C. Ευρετήριο αριθμών	41

Κατάλογος σχημάτων

1.1 Στο τσακίρ κέφι, ο Αγάς γράφει και λίγο κώδικα.	16
---	----

Σχήματα στο αγγλικό κείμενο

1.1 Filled with joy, the Agha decides to write some code.	32
---	----

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Κάθεται ο Αγάς της Λυκόβρυσης στο μπαλκόνι του απάνω από την πλατεία του χωριού, καπνίζει το τσιμπούκι του και πίνει ρακή. Ψιχαλίζει ήσυχα, τρυφερά, και στα γυρτά χοντρά μουστάκια του, τα φρεσκοβαμμένα με καραμπογιά, κρέμονται λαμπυρίζοντας μερικές ψιχάλες· κι ο Αγάς, ξαναμμένος από τη ρακή, τις αναγλείφει να δροσερέψει. Δεξά του στέκεται όρθιος ο σεΐζης, ένας θεόρατος άγριος ανατολίτης, αλλήθωρος και κακομούτσουνος, με την τρουμπέτα του· ζερβά του κάθεται διπλοπόδι, απάνω σε βελουδένιο μαξιλάρι, ένα όμορφο στρουμπουλό τουρκόπουλο, που του ανάβει κάθε τόσο το τσιμπούκι και του γεμίζει ακατάπαυτα την κούπα του ρακή.

Μισοσφαλνάει τα μαχμουρλίδικα μάτια και χαίρεται ο Αγάς τον απάνω κόσμο· όλα τα 'καμε καλά ο Θεός, συλλογιέται, πετυχημένο πράμα είναι ο κόσμος τούτος, τίποτα δεν του λείπει· αν πεινάσεις, έχει ψωμί και κρέας κοκκινιστό και πιλάφι με κανέλα· αν διψάσεις, έχει το αθάνατο νερό, τη ρακή· αν νυστάξεις, έχει κάμει ο Θεός τον ύπνο, ένα κι ένα για τη νύστα· αν θυμώσεις, έχει κάμει το βούρδουλα και τα πισινά του ραγιά· αν σε πιάσουν τα μεράκια σου, έχει κάμει τον αμανέ. Κι αν θες να ξεχάσεις τα ντέρτια και τα βάσανα του κόσμου, έχει κάμει το Γιουσουφάκι.

— Μεγάλος μάστορας είναι ο Αλλάχ, μουρμούρισε συγκινημένος, μεγάλος μάστορας, μερακλής· κόβει το μυαλό του· πως του ήρθε τώρα κι έκαμε τη ρακή και το Γιουσουφάκι!

Βουρκώνουν τα μάτια του Αγά από τη θρησκευτική κατάνυξη κι από το πολύ ρακοπότι. Σκύβει από το μπαλκόνι και καμαρώνει τους ραγιάδες του να σουλατσέρουν στην πλατεία φρεσκοξουρισμένοι, γιορτοντυμένοι, με τα κόκκινα φαρδιά ζωνάρια, με τα νιοπλυμένα κοντοβράκια, με τα γαλάζια τουζλούκια. Άλλοι φορούν φέσι, άλλοι σαρίκι, άλλοι σκούφο από αρνίσια προβιά. Οι πιο ασίκηδες έχουν και στο αυτί τους ένα κλωνί βασιλικό ή ένα τσιγάρο.

1.1 Σκοπός της εργασίας

Τρίτη της Λαμπρής, τώρα τέλεψε η λειτουργιά. Γλυκιά, τρυφερή μέρα, ήλιος, ψιχαλίζει, μύρισαν οι λεμονανθοί, μπουμπουκιάζουν τα δέντρα, ανασταίνονται τα χόρτα, ανεβαίνει ο Χριστός από κάθε σβωλαράκι χώμα. Σουλατσάρουν οι χριστιανοί στην πλατεία, σμίγουν οι φίλοι, ασπάζεται ο ένας τον άλλο, λεν «Χριστός ανέστη» κι ύστερα καθίζουν στον καφενέ του Κωσταντή ή κάτω από το μεγάλο πλάτανο στη μέση της πλατείας, παραγγέλνουν ναργιλέδες και καφέδες κι αρχίζει, σαν την ψιλή βροχή, το γλυκό κουβεντολόι.

— Τέτοια θα 'ναι κι η Παράδεισο, λέει ο Χαράλαμπος ο καντηλανάφτης· ήλιος απαλός, σιγανή βροχούλα, λεμονιές ανθισμένες, ναργιλέδες και ψιλή κουβέντα στους αιώνες των αιώνων.

Στην άλλη άκρη της πολιτείας, πίσω από τον πλάτανο, υψώνεται φρεσκοασβεστωμένη, με το χαριτωμένο καμπαναριό της, η εκκλησία του χωριού, η Σταύρωση του Χριστού. Η πόρτα της είναι σήμερα στολισμένη με βάγια και δάφνες. Γύρα τρογύρα, τα μαγαζάκια και τα εργαστήρια του χωριού: Το σαμαράδικο του αγριάνθρωπου Παναγιώταρου, που τον λεν και Γυψοφά· γιατί μια φορά έφεραν στο χωριό το γύψινο αγαλματάκι του Μ. Ναπολέοντα, και το 'φαε· κι υστέρτα έφεραν ένα άλλο, του Κεμάλ-πασά, και το 'φαε κι αυτό· κι ύστερα έφεραν του Βενιζέλου, και το 'φαε κι αυτό. Δίπλα, το μπαρμπέικο του Αντώνη «Ο Ερωτόκριτος», κι απάνω στην πόρτα κρεμασμένη μια ταμπέλα, με μεγάλα κόκκινα γράμματα του αιμάτου: «Εξέρχονται και οδόντες»! Πιο πέρα το χασάπικο του κυρ Δημητρώ του κουτσού: «Κεφαλάκια φρέσκα, η Ηρωδιάς»! Κάθε Σάββατο σφάζει ένα μου-

Σχήμα 1.1: Στο τσακίρ κέφι, ο Αγάς γράφει και λίγο κώδικα.

σκάρι και, πριν το σφάξει, του χρυσώνει τα κέρατα, του μπογιατίζει το κούτελο, του περνάει κόκκινες κορδέλες στο λαιμό και το γυρίζει στο χωριό κουτσαίνοντας και τελαλίζει τις χάρες του. Και τέλος ο περίφημος καφενές του Κωσταντή, μακρόστενος, δροσερός, που μοσχομυρίζει καφέ και τουμπεκί και φασκόμηλο το χειμώνα. Και στον τοίχο του δεξιά κρέμονται, καμάρι του χωριού, τρεις μεγάλες γυαλιστερές λιθογραφίες: η Γενοβέφα από τη μια μεριά, μισόγυμνη μέσα σ' ένα δάσο τροπικό· από την άλλη μεριά, η βασίλισσα Βικτώρια, παχιά, γαλανομάτα, με τεράστιο στήθος παραμάνας· και στη μέση, άγριος, με γκρίζα θυμωμένα μάτια, μ' έναν αψηλό σκούφο αστρακάν, ο Κεμάλ-πασάς.

Όλοι αγαθοί άνθρωποι, δουλευταράδες, καλοί νοικοκυραίοι, πλούσιο το χωριό, κι ο Αγάς του καλός άνθρωπος κι αυτός, μερακλής, που πολύ αγαπάει τη ρακή, τις βαριές μυρωδιές, μόσκο και πατσουλί, και το αφράτο τουρκόπουλο, που κάθεσαι ζερβά του, στο βελουδένιο μαξιλάρι. Κοιτάζει τώρα τους χριστιανούς, όπως κοιτάζει ο βοσκός τα καλοθρεμμένα αρνοπρόβατά του και χαίρεται.

«Καλοί άνθρωποι, συλλογιέται, γέμισαν κι εφέτο το κελάρι μου πεσκέσια της Λαμπρής — τυριά, κουλούρες σουσαμωτές, τσουρέκια, κόκκινα αυγά... Ένας, ας είναι καλά, μου 'φερε κι ένα λαγηνάκι χιώτικη μαστίχα για το Γιουσουφάκι μου, να μασάει και να μυρίζει το στοματάκι του...»

Είπε, κι έριξε μια τρυφερή ματιά στο αγαδόπουλο που μασούσε μαστίχα, παχουλό κι αποχαυνωμένο.

1.2 Η γλώσσα προγραμματισμού C++

Κι έτσι που συλλογιόταν το κελάρι του γεμάτο αγαθά, και σιγοψιχάλιζε, και γυάλιζαν οι πέτρες, και τα κοκόρια άρχισαν να λαλούν, και δίπλα του, κουλουριαστό στα πόδια του, το Γιουσουφάκι μασούσε μαστίχα και χτυπούσε ευτυχισμένο τη γλώσσα του, ο Αγάς ένιωσε ξαφνικά την καρδιά του να ξεχειλίζει, σήκωσε το λαιμό, έκαμε ν' αρχίσει τον αμανέ, μα βαρέθηκε. Γυρνάει στο σείζι του και του γνέφει να βαρέσει την τρουμπέτα, να σωπάσει ο λαός· κι ύστερα γυρνάει ζερβά του:

— Τραγούδησέ μου, Γιουσουφάκι, να 'χεις την ευκή μου, τραγούδησε μου το «Ντουνιά ταμπίρ, ρουγιά ταμπίρ, αμάν, αμάν!», τραγούδησέ μου το, γιατί θα πλαντάξω!

Το παχουλό παιδόπουλο αποτραβάει χωρίς βιάση τη μαστίχα από το στόμα του, την κολνάει στο γυμνό γόνατό του, ακουμπάει τη δεξιά του παλάμη στο μάγουλο κι αρχίζει τον αγαπημένο αμανέ του Αγά του: «Κόσμος κι όνειρο είναι ένα, αμάν, αμάν!»

Παθητικιά, ναζλιδικη, η φωνή ανέβαινε, κατέβαινε, γουργούριζε σαν περιστέρα. Κι ο Αγάς έκλεισε τα μάτια, κι όλη την ώρα που βαστούσε ο αμανές τόσο ήταν βαλαντωμένος που 'χε ξεχάσει να πει.

— Είναι στα κέφια του ο Αγάς, μουρμούρισε ο Κωσταντής σερβίροντας τους καφέδες· ας είναι καλά η ρακή.

— Ας είναι καλά το Γιουσουφάκι, είπε χαμογελώντας πικρά ο Γιαννακός, ο πραγματευτής και γραμματοφόρος του χωριού, με τα κάτασπρα κοντοστρόγγυλα γένια και τα πουλίσια, αρπαχτικά μάτια.

— Ας είναι καλά η μοίρα η στραβή που τον έκαμε αυτόν Αγά κι εμάς ραγιάδες, μουρμούρισε ο αδερφός του παπά, ο Χατζη-Νικολής, που έκανε το δάσκαλο του χωριού, ξερακιανός, με γυαλάκια και μ' ένα χοντρό μυτερό καρύδι του λαιμού, που ανεβοκατέβαινε, όταν μιλούσε.

1.3 Δομή της εργασίας

Πήρε φωτιά, θυμήθηκε τους προγόνους, αναστέναξε:

— Μια φορά, εξακολούθησε, κρατούσαν τα χρώματα τούτα οι δικοί μας, οι Έλληνες, γύρισε ο τροχός κι ήρθαν οι Βυζαντινοί, Έλληνες κι αυτοί και χριστιανοί, ξαναγύρισε ο τροχός κι ήρθαν οι Αγαρηνοί... Μα αναστήθηκε ο Χριστός, παιδιά, θ' αναστηθεί κι η πατρίδα! Κωσταντή, έλα κέρασε τα παλικάρια!

Ωστόσο ο αμανές τέλεψε, το τουρκόπουλο ξανάβαλε στο στόμα του τη μαστίχα κι άρχισε πάλι ν' αναχαράζει, αποχαυνωμένο. Βάρεσε ξανά η τρουμπέτα, μπορούσαν τώρα οι ραγιάδες να γελούν και να φωνάζουν λεύτερα.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Τεχνικές Προβλέψεων

2.1.1 Ορισμός και Διαδικασία Πρόβλεψης

Ως πρόβλεψη μπορεί να οριστεί η εκτίμηση αβέβαιων μελλοντικών γεγονότων. Οι προβλέψεις μπορούν να γίνουν βασισμένες στην εμπειρία και την παρατήρηση, σε στατιστικές μεθόδους, καθώς και σε πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα. Χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού.

Η διαδικασία παραγωγής προβλέψεων είναι μια απαιτητική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, στην συγκεκριμένη παράγραφο θα περιγραφούν επιγραμματικά τα πέντε βασικά βήματα που είναι απαραίτητα για την παραγωγή και αξιολόγηση προβλέψεων:

1. *Καθορισμός του προβλήματος.* Συνιστά ένα από τα πιο σημαντικά και ταυτόχρονα δυσκολότερα μέρη της διαδικασίας παραγωγής προβλέψεων. Σε αυτό το βήμα γίνεται απόπειρα να καθοριστούν τα επιθυμητά μεγέθη που πρόκειται να προβλεφθούν, καθώς και η μετέπειτα χρήση των προβλέψεων αυτών.
2. *Συλλογή των δεδομένων.* Η διαδικασία αυτή αποδεικνύεται συχνά χρονοβόρα, καθώς εκτός των μετρήσιμων αριθμητικών δεδομένων, σημαντική αποδεικνύεται και η χρήση διαθέσιμων εμπειρικών πληροφοριών για το αντικείμενο προς μελέτη.
3. *Προεπεξεργασία των δεδομένων.* Ένα καίριο βήμα για την παραγωγή προβλέψεων συνιστά η απόκτηση μιας ολοκληρωμένης αίσθησης των διαθέσιμων δεδομένων, έτσι ώστε να εντοπιστούν πιθανά λάθη, ασυνήθιστες τιμές, σημαντικές τάσεις ή εποχικότητα. Σκοπός της προεπεξεργασίας των δεδομένων είναι η δημιουργία ενός εξομαλυμένου συνόλου δεδομένων για την εφαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης.
4. *Επιλογή μεθόδων πρόβλεψης.* Επιτυγχάνεται η ορθή επιλογή μοντέλων πρόβλεψης καθώς και η ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία επιλογής των κατάλληλων παραμέτρων τους, ώστε να παραχθούν τα πλέον ακριβή αποτελέσματα.
5. *Χρήση και αξιολόγηση των μοντέλων πρόβλεψης.* Το τελικό στάδιο περιλαμβάνει την χρήση των επιλεγμένων μοντέλων ώστε να παραχθούν οι ζητούμενες προβλέψεις. Το κατά πόσο τα επιλεγμένα μοντέλα και προβλέψεις είναι ικανοποιητικές μπορεί να κριθεί μόνο με την πάροδο του χρόνου, και πιο συγκεκριμένα καθώς τα νέα δεδομένα γίνονται διαθέσιμα. Η αξιολόγηση και η μέτρηση της ακρίβειας των προβλέψεων επιτυγχάνεται με εξειδικευμένους στατιστικούς δείκτες.

2.1.2 Κατηγορίες Μεθόδων Πρόβλεψης

Οι μέθοδοι πρόβλεψης διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες σύμφωνα με τη διαδικασία παραγωγής τους:

Ποσοτικές Μέθοδοι. Οι ποσοτικές μέθοδοι αναφέρονται στην εφαρμογή στατιστικών μοντέλων χρονοσειρών ή αιτιοκρατικών μοντέλων επί μιας σειράς δεδομένων με σκοπό την αυτοματοποιημένη και συστηματική παραγωγή προβλέψεων. Οι στατιστικές προβλέψεις είναι άμεσα εφαρμόσιμες και αποδεκτά ακριβείς, ειδικότερα αν συνδυαστούν με κατάλληλα διαστήματα εμπιστοσύνης.

2.2 Θεωρία πεδίων

Μπήκε η Μαριορή με το δίσκο, χαιρέτησε χαμοβλεπούσα τους προεστούς, στάθηκε μπροστά από τον άρχοντα. Χλωμή, μεγαλομάτα, γαϊτανοφρύδα, με δυο χάντρες πλεξούδες καστανά μαλλιά, τυλιμένες στεφανωτά γύρα στο κεφάλι. Γέμισε ο γερο-άρχοντας τρουλωτά το κουταλάκι του γλυκού βύσσινο, κοίταξε την κοπέλα, σήκωσε το ποτήρι.

— Στις χαρές σου, Μαριορή μου, ευκήθηκε· ο γιος μου βιάζεται.

Ήταν αρραβωνιασμένη η παπαδοπούλα με τον μοναχογιό του το Μιχελή, και ο παπάς καμάρωνε που θα'κανε τέτοιο συμπεθεριό και θα'πιανε γρήγορα αγγόνια.

— Δεν μπορώ να καταλάβω γιατί βιάζεται τόσο ο βλογιμένος· δεν μπορεί, λέει, πια... πρόσθεσε γελώντας ο άρχοντας κι έκλεισε το μάτι στην κοπέλα.

Κι αυτή κοκκίνησε ως το λαιμό, πλαντούσε, δεν μπόρεσε να μιλήσει.

— Χαρές να'χουμε! είτε ο παπα-Γρηγόρης, μπαίνοντας με μια μπουκάλα μοσχάτο κρασί. Με την ευχή του Χριστού και της Παναγιάς!

Άγριος, κοτσονάτος, με διχαλωτή γενειάδα κάτασπρη, καλοθρεμμένος, μύριζε λιβάνι και βούτυρο. Είδε την κόρη του να κοκκινίζει και, για ν'αλλάξει κουβέντα:

— Πότε με το καλό θα παντρέψεις και την παρακόρη σου το Λενιό; ρώτησε.

Το Λενιό ήταν μια από τις μπασταρδοπούλες που ο άρχοντας είχε σκαρώσει με τις παραδουλεύτρες του. Την είχε αρραβωνιάσει με τον ήμερο πιστό τσοπάνη του, το Μανολιό, και την είχε αρχοντικά προικίσει μ'ένα κοπάδι πρόβατα, που τα'βοσκε ο Μανολιός στο αντικρινό βουνό της Παναγιάς.

— Αν θέλει ο Θεός, αποκρίθηκε, αυτές τις μέρες· το Λενιό, λέει, βιάζεται. Βιάζεται το καλορίζικο· σηκώθηκε, μαθές, το βυζί του και θέλει να βυζάζει γιο. «Μάης μπαίνει, μου'πε προχτές, Μάης μπαίνει, αφεντικό, και πρέπει να βιαστούμε.»

Γέλασε πάλι καλόκαρδα, τα προγούλια του σείστηκαν.

— Το Μάη είπε, παντρεύονται τα γαϊδούρια, έχει δίκιο το Λενιό· πρέπει να βιαστούμε. Άνθρωποι είναι κι αυτοί, και ας είναι και φαμέγοι.

— Καλός είναι ο Μανολιός, έκαμε ο παπάς· καλά θα ζήσουν.

Κεφάλαιο 3

Παρουσίαση Συνόλου Δεδομένων

Κεφάλαιο 4

Μέθοδοι Πρόβλεψης Δικαστικών Αποφάσεων

Κεφάλαιο 5

Πειραματικά Αποτελέσματα - Ερμηνεία

Κεφάλαιο 6

Επίλογος

Κείμενο στα αγγλικά

Chapter 1

Introduction

Sitting on his balcony above the village square, the Agha of Lycovrissi smoked his pipe and sipped raki. A thin, warm rain fell softly; on his fat mustaches, which were freshly dyed black, tiny drops hung and twinkled; warmed by the raki, the Agha licked his lips and enjoyed the cool. At his right hand, holding a trumpet, stood Hussein, his squire and bodyguard, a giant Oriental, wicked as a monkey, and with a squint. At his left, seated on a velvet cushion with his legs tucked under him, a dimpled boy ceaselessly relit his pipe for him and refilled his cup with raki.

The Agha half shut his heavy eyelids and savored this world below. All that the good God has made is perfect, he thought: this world's a real success. Are you hungry? here's bread and minced meat or pilaff with cinnamon. Are you thirsty? here's that water of youthfulness, raki. Are you sleepy? God has made sleep; nothing like it when you're sleepy. If you're angry, He's made the whip and the raia's buttocks. If you're depressed, He's made the amanés, If, lastly, you want to forget all the sorrows and worries of this world, He's made Youssoufaki.

A wonderful artist, Allah! he murmured sentimentally, yes, indeed, a wonderful artist Who knows His business and is ingenious, too. How the devil did He get the idea of making raki and Youssoufaki?

The Agha's eyes moistened with tears; he had drunk so much raki that his soul was filled with tenderness. Leaning over his balcony, he watched the raia's strolling in the square, just shaved, in their best clothes, with their broad red sashes, freshly washed breeches, long blue leggings. Some wore the fez, others the turban, others the sheepskin cap. The smartest had a sprig of basil or a cigarette behind the ear.

1.1 The Goal of this Project

It was Easter Tuesday; Mass was just over. Exquisite weather, tender: spring sun and rain; the lemon blossoms were fragrant, the trees budding, the grass reviving, Christ rising from every clod. The Christians were coming and going across the square and embracing one another with the Paschal greeting: Christ is risen! Risen indeed! — after which they would go and sit at Kostandis's café or in the middle of the square under the old plane tree. They ordered narghiles, with their long tubes and bubbling water, and coffee, and at once there began an endless chatter, like the light rain.

This is what it'll be like in Paradise, hazarded Charaiambos the beadle, soft sunshine, a gentle rain falling without a sound, lemon trees in blossom, narghiles, and agreeable conversation, forever and ever.

At the other end of the square, behind the plane tree, freshly whitewashed and with its graceful bell tower beside it, rose the village church: the Crucifixion. Today its doorway was decked with palm and laurel branches. All around were small shops and stalls:

There was Panayotaros the saddler's (a clown with the nickname Plaster-eater: once, when a plaster statuette of Napoleon was brought to the village, he had bolted it. After that, they had brought another, of Kemal Pasha; bolted again. Finally, one of Venizelos; bolted like the others).

Next door, Andonis the barber's with its signboard saying Andonis. Above the door an inscription in thick, dark-red letters announced: Teeth also extracted.

Farther on, the butcher's shop kept by old lame Dimitri: Fresh calves' heads, Herodiade. Every

Figure 1.1: Filled with joy, the Agha decides to write some code.

Saturday he killed a calf; before doing so he gilded its horns, painted its forehead, hung red ribbons round its neck and, limping, led it through the village, singing its virtues.

Lastly the famous Café Kostandis, a long narrow room where it was cool and there was always a balmy smell of coffee and tobacco and, in winter, sage. On its walls hung — the pride of the village — three impressive portraits on glossy paper: on one side Saint Genevieve, half naked in a tropical forest; on the other, Queen Victoria, with blue eyes and an enormous nurse's bosom; right in the middle, hard-faced, grey-eyed, glowering and wearing a tall Astrakhan cap, Kemal Pasha.

Fine men, all these villagers, hard workers, good fathers; and the Agha, too, was a fine man with his love for raki, for the heavy scents — musk and patchouli — and for the pretty boy seated at his left on the velvet cushion. Amused, the Agha gazed upon the Christians, like a shepherd upon his flock, and was well pleased.

Excellent fellows, he thought, this year again they've filled my cellar with their Easter presents — cheeses, coronets of sesame bread, brioches, scarlet eggs... One of them, may Heaven preserve him, has brought me a box of Chian mastic for my Youssoufaki to munch and make his little mouth smell nice.

1.2 The C++ Programming Language

The Agha felt happy: My cellar, he thought, is bursting with good things, the rain is falling gently, the cocks are crowing, and, close beside me, crouched at my feet, my Youssoufaki munches his mastic and smacks his tongue. The Agha suddenly felt his heart overflowing. He bent his neck and was about to begin singing the amanés; but the effort was too great; turning toward Hussein he signed to him to put his trumpet to his lips to silence the raïas. After which, he turned to his left:

“Sing, Youssoufaki (my blessing be upon you), sing me ‘Dounia tabir, rouya tabir, aman, aman!’ Sing it to me or I shall burst!”

The pretty boy, without hurrying, took the mastic from his mouth, stuck it on his bare knee, leaned his right palm against his cheek and began to sing his Agha's favorite amanés: “World and dream are but one, aman, aman!”

His fluting voice went up and down with dove-like cooings. The Agha, enchanted, shut his eyes and, as long as the boy sang, forgot to drink.

One of his good days, whispered Kostandis as he served coffee, blessed be raki!

Blessed be Youssoufaki, said Yannakos, smiling maliciously. He was the village carrier and courier: a thick pepper-and-salt beard, eyes of a bird of prey.

“A curse on destiny, the blind hag, for having made him an Agha and us raïas,” growled the priest's brother, Hadji Nikolis, the village schoolmaster; a dry individual with glasses and a jutting Adam's apple that bobbed up and down when he talked.

1.3 The Structure of this Thesis

He kindled, thought of his ancestors, sighed:

There was a time when our people, the Hellenes, were the masters of these lands. The wheel turned and the Byzantines came — Hellenes too, and Christians. The wheel turned again, and the children of Hagar came... But Christ rose again, my friends, our country will rise again, too! Here, Kostandis, another round!

The amanés finished, the exquisite boy put back the mastic into his mouth and resumed his sleepy rumination. The trumpet sounded again: the raïas could now laugh and shout freely.

Chapter 2

Theoretical Background

Captain Fortounas, one of the five village Elders, appeared at the door of the café: a tall, corpulent character, formerly a boat owner who for many years had ploughed the Black Sea, transporting Russian corn and not above smuggling. He had not a hair on his chin: complexion olive, a parchment skin, deep wrinkles, tiny, sparkling, jet-black eyes. He had grown old, and his boat with him. One night it had smashed on a reef off Trebizond: shipwrecked and disillusioned, Captain Fortounas had come back to his native village, intending to put away as much raki as possible and, when the time came, to turn his face to the wall and die. His eyes had seen too many things; he had had enough; no, he hadn't had enough; he was tired, but ashamed to admit it.

2.1 Programming Language Semantics

Today he was wearing his captain's boots, his yellow belt and his notable's cap — real Astrakhan; in his hand the long staff of an Elder. Two or three villagers stood up respectfully and invited him to a glass of raki.

No time, my children, even for raki, said he; Christ is risen! I'm going to the priest's house, we've a notables' meeting. In less than an hour's time, all those who've been invited should be there. Quick, cross yourselves and come; you know what the business is today, surely. Ah, one of you should go and fetch saddler Panayotaros with his devil's beard; we need him badly.

He was silent for a moment, blinking, then said maliciously:

If he isn't at home, he'll be at the widow's. They all burst out laughing.

Christofis, the old muleteer, who had learned love in his young days — and a heavy price he had paid for it — came out with this violent retort:

What are you sniggering at, you chicken heads? He's quite right. Do as you damn well like, Panayotaros, and pay no attention to what they say! Life's short, death's long. Go ahead, my lad!

Fat Dimitri, the butcher, shook his close-shaved skull:

God preserve the widow, our Katerina! The devil knows how many horns she saves us from!

Captain Fortounas laughed.

There, children, don't argue. Every village should have its odd woman, so that the honest ones mayn't be upset. It's like the fountain by the roadside, that's it: those who're thirsty stop there and have a drink. Otherwise they come knocking at all our doors, one after the other; and the women, when they're asked for water...

He turned, and noticed the schoolmaster.

What, you here still, old one? Aren't you on the council, too? Turn even the café into a school? Class is over, come along!

Don't you want me to come, too? said old Christofis, with a wink to the company. I'd do for Judas.

But Captain Fortounas had already started up the slope, leaning heavily on his stick. He was not in good shape today; his rheumatism was at him with its pincers; he had not closed an eye all night. Of course he had gulped down two or three big glasses of raki that morning by way of remedy, but, devil take it, the pain hadn't given him a moment's peace. Even the raki hadn't done the trick.

If I weren't ashamed, I'd start screaming: that might quiet the pain a bit. But there's this damned self-respect and look jovial. And if I let slip my stick, I shan't let any young imp help me, I shall stoop and pick it up by myself... Come on, Captain Fortounas, bite your lips, hoist your sails, steer into the waves, my lad! Don't go covering yourself with shame! By God, sir, life, too, is a squall; it'll pass!

He growled and blasphemed to himself. As he climbed the hill a lurch hurled him from one wall to the other. He stopped a moment and looked around him: nobody was looking; he sighed noisily and this relieved him a little. Raising his eyes toward the upper end of the village, he caught sight of a white patch among the trees, the indigo-shuttered house of the priest.

What the devil was he thinking of, the old sod, going and building his house at the top of the hill, he grumbled. His curse upon me! And he resumed his climb.

Two notables had already arrived; seated cross-legged on the divan they were waiting in silence for the dish to be brought in. The priest had gone to give his orders in the kitchen, where his only daughter, Mariori, was preparing the coffee, the cool water, and the preserves.

Close to the windows the first Elder of Lycovrissi sat throned: corpulent, lordly in manner, wearing breeches of fine linen, a gold-braided bolero and a stout gold ring on his forefinger — his seal with his initials interlaced: G.P., George Patriarcheas. His hands were fat and soft, like a bishop's. He had never done anything in his life, having a whole tribe of servants and serfs working for his service. He had swollen intestines, spreading buttocks, a pendulous paunch and three tiers of chin which, one on top of another, rested on a well-fleshed, hairy chest. He had two or three teeth missing in front — it was his only defect and made him lisp and stammer. But even this defect added to his distinction, for it forced whoever was speaking with him to lean toward him in order to hear what he said.

At his right in a corner, thin, grubby, with a cadaverous head, bleary eyes and huge callused hands, sat in a heap, humble and self-effacing, the second notable: the richest man of the village, old Ladas. Bent over the land, for seventy years he had ploughed it, sowed it, reaped it, planted it with olives and vines, pressed it, drunk its blood. Not once since he was a lad had he cleaned it off him. Insatiable, he had hurled himself on it, demanding that it yield him a thousand to one. Yet he never once said, God be praised! but grumbled, eternally discontented. Now, in his old age, the land was not enough for him. As his death approached and he felt himself getting near the end of his scroll, he was impatient to devour the whole village. He had taken to lending money at high rates; men down on their luck pledged their vineyards and their houses and, when payment was due and they hadn't a penny, saw their property sold at auction and old Ladas gobbling up the lot.

And yet he moaned without stopping, and never had enough to eat; Penelope, his wife, went barefoot, and when the one and only daughter he had managed to produce fell ill, he had let her die through not sending for the doctor.

It costs a lot of money, he had said; the big towns are a long way off; how can I get a doctor out? And then, what do they know, more than others? Plague on them! We've got our priest; he knows the old medicines, and I shall only pay him for the extreme unction. She'll get well just the same, and it'll be cheaper.

But the priest's electuaries were no use, the holy oils had no effect, and the young girl died at seventeen and shook free of her father. He, too, was freed from the expense of a wedding: one day, not long after his daughter's death, he had done the accounts: dowry about so much; linen, tables, chairs so much. And then wouldn't he have been obliged to invite to the wedding all those relatives, who put away victuals like the gluttons they are? So then meat, bread, wine so much... He had added it all up, a pretty figure: his daughter would have reduced him to beggary. So what did it matter? We shall all die... Besides, she had escaped from the worries of this world — husband, children, illness, housework... In fact, she'd been lucky, God rest her soul!

2.2 Domain Theory

Mariori came in with the dish, greeted the notables and, with eyes cast down, stopped first in front of the archon. She was pale and had big eyes, fine-drawn eyebrows, and two great tresses of chestnut

hair made her a crown. The old archon helped himself to a full spoonful of wild bitter cherry conserve, looked at the young girl and raised his glass.

To your loves, Mariori; my son's getting impatient.

The priest's daughter was engaged to his only son, Michelis, and the priest boasted that such a match would soon bring him grandchildren.

I begin to see why he's so impatient, the young dog. He can't stand it any more, he says, the old man added with a laugh and winked at the young girl.

She blushed to the roots of her hair and became tongue-tied.

Joy to us all! said Grigoris, the priest, as he brought in a bottle of muscatel wine. With the blessing of Christ and the Virgin!

Green still, getting stout, with a perfectly white forked beard, he smelled of incense and fat. He saw his daughter's confusion and, to change the subject:

And when, God willing, he asked, do you think of marrying off that adopted daughter of yours as well — Lenio?

Lenio was one of the bastards the archon had begotten on his servants. He had betrothed her to his shepherd, the faithful Manolios, and given her a generous dowry in the shape of a flock of sheep, which Manolios minded on the Mount of the Virgin, close to the village.

God willing, quite soon, he replied; Lenio's in a hurry. She's in a hurry, the lucky girl! I do believe her breasts are swelling and she needs to nurse a son. 'Here's the month of May,' she said to me the other day, 'here's the month of May, master, it's high time.'

He laughed again, wholeheartedly, and his triple chin shook.

Only donkeys wed in May, he said; she's right, Lenio is, it's high time. They're human, too, after all, even if they are servants.

Manolios is a good lad, said the priest; they will be happy.

Παράρτημα Α

Ευρετήριο συμβολισμών

$A \rightarrow B$: συνάρτηση από το πεδίο A στο πεδίο B .

Παράρτημα Β

Ευρετήριο γλωσσών

C++: πώς θα βγάλω λεφτά...

Haskell: η γλώσσα της ζωής μου αλλά πάνε οι μπύρες...

Javascript: χα, χα, χα...

Python: πώς θα τελειώνω για να πάω για μπύρες...

Παράρτημα C

Ευρετήριο αριθμών

17: ask Zachos.

42: life, the universe and everything — ask Douglas.