

Χρήση του GNU Octave στο μάθημα Προσομοίωσης της Σχολής Ικάρων

A. Ανδρέατος¹ & A. Λερός²

¹Τομέας Πληροφορικής και Υπολογιστών, Σχολή Ικάρων
aandreatos@hafa.gr , aandreatos@gmail.com

²Τμήμα Αυτοματισμού, ΤΕΙ Χαλκίδας και
Τομέας Πληροφορικής και Υπολογιστών, Σχολή Ικάρων
lerosapostolos@gmail.com

Περίληψη

Η χρήση του ΕΛ/ΛΑΚ στην εκπαίδευση κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος τα τελευταία χρόνια σε πολλά ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Ο Τομέας Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Ικάρων, εδώ και λίγα χρόνια, έχει στραφεί προς την εξέταση λογισμικών ΕΛ/ΛΑΚ για χρήση τόσο στις υποδομές (διακομιστές) όσο και στην εκπαιδευτική διαδικασία. Στη Σχολή Ικάρων διδάσκεται το μάθημα της Προσομοίωσης στην ειδικότητα Μηχανικών Τηλεπικοινωνιών & Ηλεκτρονικών. Πρόκειται για μάθημα υποβάθρου που δίνει τις βασικές αρχές της Προσομοίωσης με στόχο την υποστήριξη μαθημάτων ειδικότητας των επομένων ετών. Σ' αυτό το άρθρο παρουσιάζονται οι λόγοι και τα επιχειρήματα που μας οδήγησαν στην επιλογή του GNU Octave για χρήση στο μάθημα της Προσομοίωσης. Επίσης παρουσιάζεται ένα παιδαγωγικό παράδειγμα προσομοίωσης που δείχνει τις σημερινές δυνατότητες του QtOctave σε πλατφόρμα Linux.

Λέξεις κλειδιά: Προσομοίωση, ΕΛ/ΛΑΚ, GNU Octave.

Abstract

The use of Free and Open Source Software (FOSS) has gained considerable attention recently in many universities. The Computer Engineering and Information Science Division of the Hellenic Air Force Academy has recently turned to FOSS in order to cover educational and infrastructural needs. Computer Simulation is one of our courses in which we have been experimentally using FOSS software during the past two academic years. Simulation is a fundamental course for Engineers and a prerequisite for future courses; a good engineer should be able to model various systems, either existing or under design. In this paper we argue on the use, selection criteria and our experience from the use of GNU Octave in our Simulation course. As a case study we present a pedagogical example showing the contemporary possibilities of QtOctave IDE on Linux platform.

Keywords: Simulation, FOSS, GNU Octave.

1. Εισαγωγή

Τελευταία, όλο και περισσότεροι οργανισμοί, πανεπιστήμια, εταιρείες, φορείς και ιδιώτες στρέφονται προς το ανοικτό λογισμικό, για διάφορους λόγους (Γιαννίκας & Σπινέλλης, 2009· Coll et al., 2008). Οι κυριώτεροι λόγοι είναι:

- 1) Όσο περνά ο καιρός, τόσο βελτιώνεται, αναπτύσσεται και εξαπλώνεται το ανοικτό λογισμικό και αναγνωρίζεται η αξία του.
- 2) Η παγκόσμια εξάπλωση του Διαδικτύου και η ανάπτυξη των τεχνολογιών του -ιδιαίτερα των συνεργατικών και των τηλεπικοινωνιακών εργαλείων- ευνοούν και προάγουν τις εικονικές κοινότητες και την ανάπτυξη του λογισμικού σε παγκόσμια

κλίμακα. Επίσης η φιλοσοφία του Web 2.0 (Ανδρεάτος, 2008) ταιριάζει πολύ περισσότερο στο ανοικτό λογισμικό παρά στο κλειστό.

3) Το ανοικτό λογισμικό επιτρέπει την τροποποίησή του βάσει των αναγκών του χρήστη, την μελέτη του και την μίμηση των καλών πρακτικών του. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για εκπαιδευτικούς και άλλους σκοπούς.

4) Το ανοικτό λογισμικό είναι δωρεάν και αυτό συντείνει στην μείωση του λειτουργικού κόστους, ειδικά όταν πρόκειται για πολλές άδειες.

Η δομή του άρθρου έχει ως εξής: αρχικά παρουσιάζεται το μάθημα της Προσομοίωσης (σκοπός και στόχοι, διδακτική) και τα κριτήρια επιλογής λογισμικού. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η εκπαιδευτική πολιτική του Τομέα Πληροφορικής της Σχολής Ικάρων (Σ.Ι.) που συμπεριλαμβάνει την υιοθεσία του ανοικτού λογισμικού. Κατόπιν, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα προσομοίωσης που δείχνει τις δυνατότητες και την επάρκεια του QtOctave. Το άρθρο καταλήγει με συμπεράσματα. Διευκρινίζουμε πως στόχος του άρθρου δεν είναι η συστηματική σύγκριση διαφόρων λογισμικών αριθμητικών υπολογισμών, ούτε η σύγκριση Octave-Matlab (αντικείμενα που καλύπτονται στην βιβλιογραφία που παρατίθεται), αλλά η διερεύνηση του κατά πόσον το GNU Octave μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του μαθήματος.

2. Μάθημα Προσομοίωσης της Σχολής Ικάρων

2.1 Η διδασκαλία της Προσομοίωσης στην Σ.Ι.

Θεωρείται σημαντικό προσόν του Μηχανικού να μπορεί να κατανοήσει την λειτουργία διαφόρων συστημάτων που θα συναντήσει στην μετέπειτα καριέρα του, να μπορεί να μοντελοποιήσει την συμπεριφορά τους χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους που τον ενδιαφέρουν, είτε πρόκειται για υπάρχοντα συστήματα είτε για νέα πρότυπα υπό σχεδίαση και κατασκευή. Στην ειδικότητα Μηχανικών Τηλεπικοινωνιών και Ηλεκτρονικών (Τ-Η), η Προσομοίωση διδάσκεται ως υποχρεωτικό μάθημα στο β' έτος σπουδών. Μαθήματα εξειδίκευσης που βασίζονται στην προσομοίωση είναι τα Ηλεκτρονικά, οι Τηλεπικοινωνίες, τα Δίκτυα Υπολογιστών, τα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, τα Λειτουργικά Συστήματα κλπ. Στο μάθημα χρησιμοποιείται λογισμικό μαθηματικών υπολογισμών.

Η ύλη του μαθήματος είναι: α) Βασικοί μαθηματικοί υπολογισμοί: προγραμματισμός για την κατανόηση και επεξεργασία βασικών αλγεβρικών σχέσεων, πράξεις με πολυώνυμα, διανύσματα και πίνακες, επίλυση γραμμικών και μη γραμμικών εξισώσεων, αναπαράσταση και γραφική απεικόνιση μεταβλητών εισόδου-εξόδου, και απόκριση γραμμικών συστημάτων. β) Επεξεργασία σημάτων: περιοδικότητα, μετατόπιση φάσης και χρόνου, δειγματοληψία, επίδραση θορύβου, συνέλιξη, φίλτρα, διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση, σειρές Fourier, μετασχηματισμός Fourier, απόκριση συχνότητας. γ) Προσομοίωση Monte Carlo για μοντελοποίηση συστημάτων διακριτών συμβάντων και συστημάτων ουρών αναμονής, εφαρμογές.

Το πρόγραμμα σπουδών της Σχολής Ικάρων χρειάζεται ένα λογισμικό με τις εξής προδιαγραφές (Λερός & Ανδρεάτος, 2010): α) Πλήρη υποστήριξη του μαθήματος της προσομοίωσης αλλά και πολλών μεταγενέστερων μαθημάτων εξειδίκευσης, β) Συμφωνία με την εκπαιδευτική πολιτική του Τομέα Πληροφορικής της Σ.Ι., γ) Γρήγορη καμπύλη μάθησης, δ) Συμμόρφωση με κανόνες ευχρηστίας λογισμικού, ε) Εύχρηστη γραφική διεπαφή, στ) Ύπαρξη ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας και ζ) Δυνατότητα λειτουργίας σε διάφορες πλατφόρμες (λειτουργικά συστήματα). Προκειμένου να επιλεγεί το κατάλληλο λογισμικό για τις ανάγκες μας, εξετάστηκαν πολλά πακέτα που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση (Λερός & Ανδρεάτος, 2010).

Το μάθημα διδάσκεται στην τάξη ως εξής: αρχικά ο διδάσκων παρουσιάζει τις νέες έννοιες βάσει της προαναφερθείσας ύλης και ακολουθεί επίδειξη παραδειγμάτων στον Η/Υ του διδάσκοντος, που προβάλλονται σε οθόνη. Στη συνέχεια, οι ίκαροι καλούνται να υλοποιήσουν παρόμοια παραδείγματα ατομικά στον φορητό τους Η/Υ μέσα στην τάξη, τροποποιώντας τις τιμές μερικών παραμέτρων και αξιολογώντας τα αποτελέσματα. Επιπλέον, δίνονται και εργασίες για εκπόνη κατ' οίκον.

2.2. Κριτήρια αξιολόγησης λογισμικού προσομοίωσης

Τα κριτήρια που θεωρήσαμε κατά την αξιολόγηση, ήσαν τα κάτωθι:

α) Η υποστήριξη όχι μόνο του μαθήματος της προσομοίωσης αλλά και των επομένων μαθημάτων ειδικότητας που έχουν την προσομοίωση ως προαπαιτούμενο μάθημα (π.χ. Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Δίκτυα Υπολογιστών και ειδικά θεωρία ουρών αναμονής, Συστήματα Ραντάρ και Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα). Αυτό υλοποιείται με την ύπαρξη πρόσθετων εξειδικευμένων “Εργαλειοθηκών” (Toolbox).

β) Οι κανόνες ευχρηστίας λογισμικού (Nielsen, 1993).

γ) Η ύπαρξη εύχρηστου περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών (integrated development environment, IDE). Εδώ υπερέχει το Matlab (Linux Format, 2008). Αλλά το πρόσθετο περιβάλλον QtOctave παρέχει και στο Octave αντίστοιχες δυνατότητες.

δ) Η ισχύς της γλώσσας προγραμματισμού. Όλα τα λογισμικά που θεωρήσαμε βασίζονται στον χειρισμό πινάκων και ως εκ τούτου έχουν μεγάλη ισχύ αφού με λίγες εντολές εκτελούν πολύπλοκους υπολογισμούς.

ε) Η ευκολία εκμάθησης της γλώσσας προγραμματισμού. Επειδή οι ώρες του μαθήματος είναι περιορισμένες, είναι σημαντικό πλεονέκτημα, η γλώσσα του λογισμικού που θα επιλεγεί, να μαθαίνεται εύκολα. Τα λογισμικά αυτού του τύπου προσφέρουν “γρήγορη καμπύλη μάθησης” (“fast learning curve”).

στ) Η χρήση διαδεδομένης και πρότυπης (standard) γλώσσας προγραμματισμού. Δεδομένου ότι το Matlab κυριαρχεί στην κατηγορία του, η γλώσσα προγραμματισμού του αποτελεί πρότυπο εκ των πραγμάτων (de facto standard). Στη γλώσσα προγραμματισμού του Matlab κυκλοφορούν σήμερα αναρίθμητα παραδείγματα μεγάλης εκπαιδευτικής αξίας σε διάφορες γλώσσες (φυσικά και στα Ελληνικά), τόσο

σε βιβλία όσο και σε ψηφιακή μορφή, πολλά από τα οποία διατίθενται δωρεάν. Η χρήση της πρότυπης γλώσσας προγραμματισμού του Matlab εξασφαλίζει μεταφορά κώδικα Matlab σε Octave και αντιστρόφως (βλ. και Kienzle et al., 2010).

ζ) Η ύπαρξη βιβλιογραφίας και κώδικα διαθέσιμου ελεύθερα στο Διαδίκτυο.

3. Η εκπαιδευτική πολιτική του Τομέα Πληροφορικής Σ.Ι.

3.1. Επιχειρήματα υπέρ της χρήσης ΕΛ/ΛΑΚ στην εκπαίδευση

Η χρήση του ΕΛ/ΛΑΚ στην εκπαίδευση αποτελεί σημαντικό άξονα της εκπαιδευτικής πολιτικής του Τομέα Πληροφορικής Σ.Ι. για διάφορους λόγους (πρακτικούς, εκπαιδευτικούς, παιδαγωγικούς, οικονομικούς και ιδεολογικούς).

- **Πρακτικοί λόγοι:** η απόκτηση και δοκιμή ενός προϊόντος ΕΛ/ΛΑΚ είναι μια απλή και άμεση διαδικασία, που παρακάμπτει την γραφειοκρατία.
- **Παιδαγωγικοί λόγοι:** η εξοικείωση των φοιτητών με διάφορα λογισμικά. Αυτό είναι σημαντικό για εκπαιδευτικούς αλλά και για επαγγελματικούς σκοπούς (όπως η απόκτηση εμπειρίας σε διάφορες πλατφόρμες λογισμικού).
- **Εκπαιδευτικοί λόγοι:** α) Ο ρόλος των Πανεπιστημίων είναι η καλλιέργεια, ανάπτυξη και ελεύθερη μετάδοση της γνώσης για το καλό της κοινωνίας. Ένας τρόπος διάδοσης και εκμετάλλευσης της γνώσης είναι μέσω του Λογισμικού, το οποίο γι' αυτόν τον σκοπό πρέπει να είναι ελεύθερο και ανοικτό. β) Σκοπός της εκπαίδευσης δεν είναι η παροχή επαγγελματικής κατάρτισης σε μαθήματα τύπου ECDL. Η ελάχιστη διδασκαλία εφαρμογών γραφείου (όπως επεξεργασία κειμένου και λογιστικό φύλλο) γίνεται για την υποστήριξη της εκπαίδευσης (π.χ. για να μπορούν οι ίκαροι να γράφουν τις εργασίες τους). Η κυρίως εκμάθηση γίνεται από τους ίδιους τους ικάρους. Εξ άλλου ο ανοικτός κώδικας προσφέρεται ως υπόδειγμα καλών πρακτικών λογισμικού στα συναφή μαθήματα (Ανδρεάτος, 2008· Coll et al., 2008).
- **Οικονομικοί λόγοι:** αν και η Σ.Ι. έχει αγοράσει το Matlab, το κόστος αγοράς αδειών Matlab για όλους τους ικάρους (στους οποίους η Σχολή παρέχει φορητό Η/Υ κατά το α' εξάμηνο) είναι απαγορευτικό.
- **Ιδεολογικοί λόγοι:** απαγκίστρωση από μονοπώλια και ανεξαρτησία από τα προϊόντα συγκεκριμένου προμηθευτή ή κατασκευαστή λογισμικού (αλλά και υλικού). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την Πολεμική Αεροπορία, για λόγους ανεξαρτησίας από προμηθευτές και προϊόντα.

Στη Σ.Ι. η μετάβαση προς τη χρήση ΕΛ/ΛΑΚ πραγματοποιείται βαθμιαία: αρχικά, χρήση ΕΛ/ΛΑΚ για πλατφόρμες κλειστού λογισμικού (π.χ. OpenOffice, Mozilla) και ταυτόχρονα χρήση ανοικτών γλωσσών όπως Java και MySQL. Σε επίπεδο υποδομών, Moodle για την υποστήριξη μκτής εκπαίδευσης. Σε δεύτερο στάδιο, παράλληλη χρήση πλατφορμών ανοικτού και κλειστού λογισμικού. Σε τρίτο στάδιο, καθολική μετάβαση σε πλατφόρμα Λίνουξ (Ανδρεάτος, 2008· Coll et al., 2008).

3.2. Η επιλογή του GNU Octave

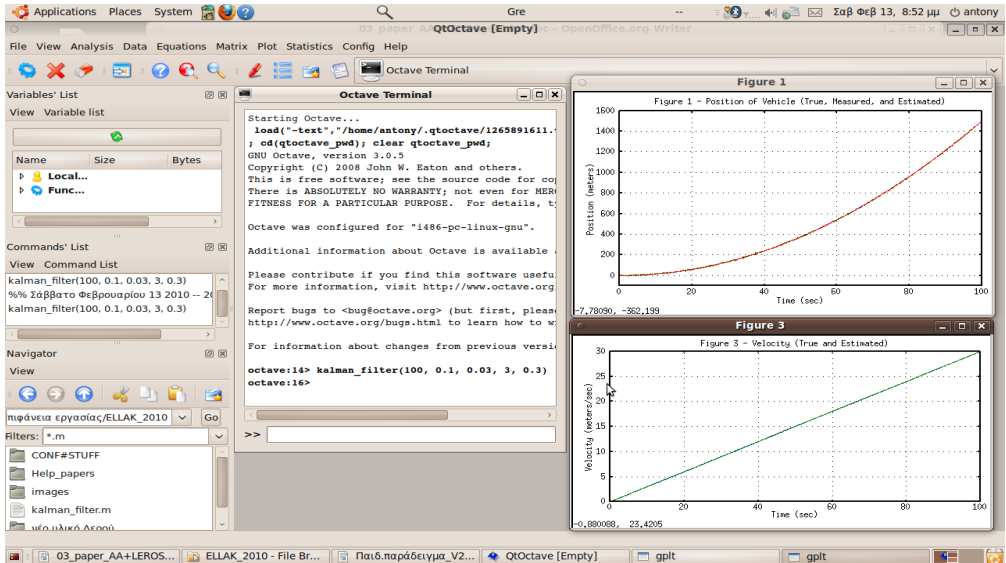
Αναμφίβολα, από πλευράς δυνατοτήτων, βιβλιογραφίας και διεθνώς εγκατεστημένης “βάσης χρηστών”, το Matlab ξεχωρίζει. Είναι εύχρηστο, η γλώσσα προγραμματισμού του μαθαίνεται εύκολα και παρέχει ένα εξαιρετικό IDE που πληροί τις σχετικές προδιαγραφές. Διατίθεται σε όλες τις πλατφόρμες (Windows, Linux, Unix και Mac), παρέχει εξαιρετικά γραφικά, ενώ δέχεται δεδομένα σε ποικιλία μορφών (formats). Επιπλέον, παρέχει ένα ισχυρό και εύχρηστο εργαλείο ανάπτυξης εφαρμογών γραφικής διεπαφής (GUI development), ενώ συνοδεύεται από το Simulink, ένα εξαιρετικό εργαλείο μοντελοποίησης δυναμικών συστημάτων σε επίπεδο δομικών στοιχείων, που χρησιμοποιεί γραφικά και παρέχει μεγάλες δυνατότητες στον χρήστη χωρίς να απαιτεί γνώσεις προγραμματισμού (Λερός & Ανδρεάτος, 2010). Παρ' όλ' αυτά, η χρήση του Matlab συνοδεύεται και από ορισμένα μειονεκτήματα: α) Το βασικό μειονέκτημα του Matlab σε σχέση με τ' άλλα πακέτα είναι το κόστος. β) Το Matlab είναι “βαρύ” και απαιτητικό σε πόρους λογισμικό, αφού απαιτεί υπολογιστή με σημαντική υπολογιστική ισχύ, μεγάλη μνήμη και χώρο δίσκου. Πάντως στο μάθημα της προσομοίωσης δεν έχουμε απαιτητικές εφαρμογές κι έτσι αυτό τελικά αποβαίνει μειονέκτημα. γ) Ένα άλλο μειονέκτημα, σημαντικό για εκπαιδευτικά ιδρύματα, είναι το “δέσιμο στο άρμα” ενός συγκεκριμένου προμηθευτή.

Λαμβάνοντας υπόψη προηγούμενες συγκρίσεις λογισμικών μαθηματικών υπολογισμών όπως Euler Math Toolbox, Matlab, Sage, SciLab, Octave και EngLab (Λερός & Ανδρεάτος, 2010· Linux Format, 2008· Πουλή & Τερζή, 2007), επιλέξαμε το Octave, διότι: α) καλύπτει πλήρως τους στόχους του μαθήματος της Προσομοίωσης, β) διαθέτει μεγάλη συμβατότητα με το Matlab (πράγμα που μας επιτρέπει τη χρήση βιβλίων του Matlab, που διατίθενται και στα Ελληνικά), γ) είναι εύκολη εγκατάσταση και η χρήση του, δ) διατίθεται δωρεάν, ε) υπάρχει κοινότητα που το υποστηρίζει, στ) υπάρχει βιβλιογραφία γι' αυτό (στ' αγγλικά) και ζ) έχει ευοίωνες προοπτικές εξέλιξης και περαιτέρω βελτίωσής του.

3.3. Χρήση του Octave στο μάθημα Προσομοίωσης της Σ.Ι.

Η χρήση του Octave στο μάθημα της Προσομοίωσης της Σχολής Ικάρων άρχισε δοκιμαστικά τον Σεπτέμβριο του 2008 σε πλατφόρμα Windows και περιβάλλον γραμμής εντολών, που δεν είναι πολύ δημοφιλές μεταξύ των Ικάρων, όπως έδειξε η αξιολόγηση του μαθήματος. Έτσι στα μέσα του εξαμήνου το μάθημα συνεχίστηκε στο γραφικό περιβάλλον του Matlab. Η προσπάθεια συνεχίστηκε κατά το επόμενο ακαδημαϊκό έτος (Σεπτ. 2009), με την παράλληλη χρήση Octave και Matlab. Ταυτόχρονα, κάποια άλλα μαθήματα του γ' έτους πέρασαν σε πλατφόρμα Linux, σύμφωνα με την στρατηγική του Τομέα Πληροφορικής που περιγράφεται στο (Ανδρεάτος, 2009). Τον Δεκέμβριο 2009 επαναξιολογήθηκε η χρήση του Octave στο μάθημα της Προσομοίωσης, αλλά σε πλατφόρμα Linux. Διαπιστώθηκε ότι: α) Το σύνολο και η ποικιλία των εργαλείοιθκών που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια για το Octave (βλ. <http://octave.sourceforge.net/packages.php>) είναι εντυπωσιακά (82

εργαλειοθήκες). Είναι πράγματι αξιοσημείωτη η αύξηση της λίστας σε σχέση με τον Φεβρουάριο 2008, όπου αναφέρονται 29 εργαλειοθήκες (Zea, 2008). β) Η χρήση του Octave σε πλατφόρμα Linux αναβαθμίζεται σημαντικά με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος **QtOctave** (βλ. Σχήμα 1). Το QtOctave είναι παραθυρικό περιβάλλον φιλικό προς τον χρήστη, παρόμοιο με το περιβάλλον του Matlab. Εκτός του κλασικού παραθύρου γραμμής εντολών που εμφανίζεται στο κέντρο (Octave Terminal), παρέχει επιπλέον παράθυρα μεταβλητών, εντολών και πλοήγησης (βλ. Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Το γραφικό περιβάλλον QtOctave σε πλατφόρμα Linux

4. Παιδαγωγικό παράδειγμα προσομοίωσης με το Octave

Για να δείξουμε και πρακτικά την χρήση του Octave παραθέτουμε ένα παράδειγμα. Έστω ένα αυτοκίνητο που κινείται ευθύγραμμα στο δρόμο. Εάν x_1 είναι η θέση του και x_2 η ταχύτητά του, τότε από τους θεμελιώδεις νόμους του Νεύτωνα και υπό ιδανικές συνθήκες, η θέση του συναρτήσει του (διακριτού) χρόνου $\Delta t = [(k+1) - k]$ δίνεται από τη σχέση $x_{1,k+1} = x_{1k} + \Delta t x_{2k} + (\Delta t^2/2) u_k$ και η ταχύτητά του από τη σχέση $x_{2,k+1} = x_{2k} + \Delta t u_k$, όπου u_k είναι η επιτάχυνση. Σε διανυσματική μορφή το γραμμικό μοντέλο διακριτού χρόνου του συστήματος του αυτοκινήτου στο χώρο καταστάσεων $x = [x_1 \ x_2]^T$ με είσοδο την επιτάχυνση u_k και έξοδο τη θέση του $y_k = x_{1k}$ είναι:

$$x_{k+1} = F x_k + B u_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x_k + \begin{bmatrix} \Delta t^2/2 \\ \Delta t \end{bmatrix} u_k \quad (1a)$$

$$y_k = C x_k = [1 \quad 0] x_k \quad (1\beta)$$

Όμως για μη ιδανικές συνθήκες όπως αντίσταση ανέμου, ανώμαλο οδόστρωμα, κλπ, στο παραπάνω μοντέλο πρέπει να συμπεριληφθούν διάφορες αβεβαιότητες που περιγράφονται από: α) θόρυβο w_k στην επιτάχυνση με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση σ_w (m/sec²). β) Σφάλμα μέτρησης λόγω του οργάνου, με μηδενικό μέσον όρο και τυπική απόκλιση σ_v (m). Τότε το δυναμικό μοντέλο του αυτοκινήτου (1) και το μοντέλο μετρήσεων z_k της εξόδου του τροποποιούνται ως εξής:

$$x_{k+1} = F x_k + B u_w + w_k = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} x_k + \begin{bmatrix} \Delta t^2/2 \\ \Delta t \end{bmatrix} u_k + w_k \quad (2\alpha)$$

$$z_k = H x_k + v_k = [1 \quad 0] x_k + v_k \quad (2\beta)$$

Για το παραπάνω στοχαστικό μοντέλο του αυτοκινήτου (2α) και για τις θορυβώδεις μετρήσεις της θέσης του (2β) κάθε χρονική στιγμή, οι αλγοριθμικές εξισώσεις του φίλτρου Kalman (Anderson & Moore, 1979· Grewal & Andrews, 1993) που δίνουν την εκτίμηση \hat{x}_k της κατάστασης x_k , είναι:

$$K_k = P_k H^T (H P_k H^T + R)^{-1} \quad (3\alpha)$$

$$\hat{x}_{k+1} = (F \hat{x}_k + B u_k) + K_k (z_k - H \hat{x}_k) \quad (3\beta)$$

$$P_{k+1} = F (I - K_k H) P_k F^T + Q \quad (3\gamma)$$

όπου K_k το κέρδος Kalman, P_k η διασπορά του σφάλματος $e_k = (x_k - \hat{x}_k)$, $E \{w_k w_k^T\} = Q$ η διασπορά του θορύβου w_k στην επιτάχυνση u_k που μοντελοποιεί τις αβεβαιότητες στη διεργασία x_k και $E \{v_k v_k^T\} = R$ η διασπορά του θορύβου v_k που μοντελοποιεί το σφάλμα του οργάνου κατά την λήψη των μετρήσεων z_k .

Σημείωση: Το φίλτρο Kalman με τη σχέση (3β) αλγοριθμικά παρέχει την επόμενη βέλτιστη εκτίμηση \hat{x}_{k+1} για την τιμή της κατάστασης x_{k+1} , με την έννοια ότι ελαχιστοποιεί τη διασπορά του σφάλματος P_{k+1} , καθώς μέσω του κέρδους Kalman K_k , ενημερώνει την προηγούμενη εκτίμηση \hat{x}_k βάσει τη διαφορά μεταξύ της ίδιας της πραγματικής διαθέσιμης μέτρησης z_k και της εκτίμησής της $H \hat{x}_k$. Το κέρδος Kalman K_k , μέσω της σχέσης (3α), συνδυάζει την εμπιστοσύνη που υπάρχει για το μοντέλο του γραμμικού συστήματος (2α), όπως αυτή εκφράζεται με τις παραμέτρους F και Q , και επίσης την εμπιστοσύνη που υπάρχει για το γραμμικό μοντέλο των μετρήσεων (2β), όπως αυτή εκφράζεται με τις παραμέτρους H και R , που και οι δύο περιπτώσεις υπολογίζονται στην (3γ) για τη διασπορά του σφάλματος P_{k+1} .

Για τον υπολογισμό της διασποράς Q προκύπτει από το παραπάνω μοντέλο (2α) ότι η θέση x_1 είναι συνάρτηση της ταχύτητας ($x_2 * \Delta t$) και της επιτάχυνσης

$(\Delta t^2/2)*u_k$. Επειδή η τυπική απόκλιση της επιτάχυνσης είναι σ_w , τότε η τυπική απόκλιση της θέσης $E\{x_1\}$, λόγω της τυπικής απόκλισης του θορύβου της επιτάχυνσης, θα είναι $E\{x_1\}=(\Delta t^2/2)\sigma_w$ και η διασπορά του θορύβου της επιτάχυνσης στη διασπορά της θέσης θα είναι $E\{x_1^2\}=[(\Delta t^2/2)\sigma_w]^2=\sigma_w^2\Delta t^4/4$. Παρομοίως η διασπορά του θορύβου της επιτάχυνσης στη διασπορά της ταχύτητας θα είναι $E\{x_2^2\}=(\Delta t^2)\sigma_w^2$. Τέλος η συνδιακύμανση (covariance) θέσης-ταχύτητας, λόγω της διασποράς του θορύβου στην επιτάχυνση, θα είναι $E\{x_1x_2\}=[(\Delta t^2/2)\sigma_w](\Delta t\sigma_w)=\sigma_w^2\Delta t^3/2$. Έτσι:

$$E\{w_k w_k^T\}=Q=E\begin{bmatrix} x_1^2 & x_1x_2 \\ x_1x_2 & x_2^2 \end{bmatrix}=\sigma_w^2\begin{bmatrix} \Delta t^4/4 & \Delta t^3/2 \\ \Delta t^3/2 & \Delta t^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

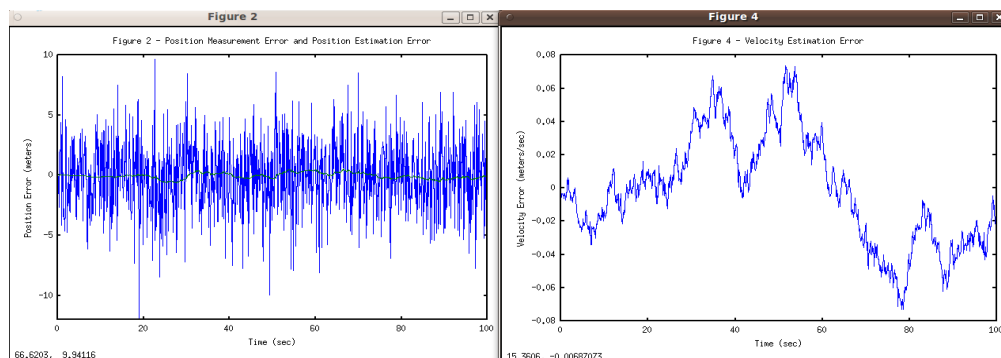
Για τις μετρήσεις, παρομοίως, επειδή η μέτρηση z_k από την (2β) είναι ανάλογη της θέσης x_1 (δηλαδή είναι $z_k=(1)x_1$ επειδή $H=[1 \ 0]$) και η τυπική απόκλιση του θορύβου της μέτρησης της θέσης είναι σ_v , τότε η τυπική απόκλιση της θέσης $E\{x_1\}$ λόγω της τυπικής απόκλισης του θορύβου στις μετρήσεις της θέσης θα είναι $E\{x_1\}=(1)\sigma_v$ με διασπορά:

$$E\{v_k^2\}=R=E\{(1x_1)^2\}=E\{(1\sigma_v)^2\}=\sigma_v^2 \quad (5)$$

Για την αρχικοποίηση του αλγορίθμου του φίλτρου Kalman (3) επιλέγεται μια εκτίμηση \hat{x}_0 της κατάστασης x_0 στην αρχική στιγμή. Επίσης επιλέγεται και κάποια εκτίμηση για τη διασπορά P_0 που αντιπροσωπεύει τις αβεβαιότητες για την εκτίμηση \hat{x}_0 . Εάν υπάρχει αρκετή βεβαιότητα για την αρχική εκτίμηση \hat{x}_0 , τότε η τιμή της P_0 είναι μικρή, διαφορετικά είναι μεγάλη, αλλά μετά από μερικές επαναλήψεις του αλγορίθμου αυτές οι αρχικές τιμές για \hat{x}_0 και P_0 δεν παίζουν και σπουδαίο ρόλο στην απόδοση του φίλτρου. Έτσι για όλες τις προσομοιώσεις του φίλτρου Kalman, σ' αυτό το παράδειγμα, αυτές έχουν επιλεγεί: $x_0=\hat{x}_0=[0 \ 0]^T$ και $P_0=Q$. Οι υπόλοιπες παράμετροι του παραδείγματος έχουν αφηθεί ελεύθερες για ρύθμιση από τον χρήστη κατά βούληση ως είσοδοι για διάφορες προσομοιώσεις. Αυτές οι παράμετροι με τα αντίστοιχα ονόματά τους που εμφανίζονται ως ορίσματα κωδικοποιημένα σε κώδικα Octave/Matlab στη συνάρτηση `kalman_filter` η οποία υλοποιεί τις παραπάνω εξισώσεις (2), (3), (4) και (5) είναι: Η χρονική διάρκεια $T = \text{duration}$ σε sec της κίνησης του αυτοκινήτου (διάρκεια προσομοίωσης), το βήμα $\Delta t = dt$ σε sec, η τυπική απόκλιση $\sigma_w = \text{sigma_w}$ σε m/sec^2 του θορύβου w_k του συστήματος, η τυπική απόκλιση $\sigma_v = \text{sigma_v}$ σε m του θορύβου v_k των μετρήσεων και η επιτάχυνση $u_k = u$.

Εκτελώντας την συνάρτηση `kalman_filter` (`duration`, `dt`, `sigma_w`, `sigma_v`, `u`) με

τιμές $\text{duration}=100$, $\text{dt}=0.1$, $\text{sigma}_w=0.03$, $\text{sigma}_v=3$ και $u=0.3$, παίρνουμε τις γραφικές παραστάσεις της θέσης και της ταχύτητας του αυτοκινήτου (Figure 1 & 3 αντίστοιχα στο ανωτέρω Σχήμα 1), καθώς επίσης και των σφαλμάτων μέτρησης και εκτίμησης της θέσης (Figure 2 στο κατωτέρω Σχήμα 2) και του σφάλματος εκτίμησης της ταχύτητας (Figure 4 στο Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Σφάλματα μέτρησης και εκτίμησης της θέσης (αριστερά) και σφάλμα εκτίμησης της ταχύτητας (δεξιά)

Η παραπάνω ρεαλιστική μελέτη περίπτωσης ανέδειξε την επάρκεια του QtOctave για τις ανάγκες του μαθήματος της Προσομοίωσης. Στόχος μας είναι, κατά το επόμενο ακαδημαϊκό έτος (Σεπτ. 2010), η καθολική μετάβαση και αυτού του μαθήματος σε πλατφόρμα Linux, μιας και σε πλατφόρμα Windows, το QtOctave παρουσιάζει ακόμα κάποια μικροπροβλήματα (bugs). Ο κώδικας του παραδείγματος διατίθεται στο URL <http://t-h.wikispaces.com/octave> και τρέχει αυτούσιο και στο Matlab.

5. Συμπεράσματα

Αν και το Matlab κυριαρχεί διεθνώς στην κατηγορία των λογισμικών μαθηματικών υπολογισμών, η χρήση του στην εκπαίδευση συνοδεύεται από ορισμένα μειονεκτήματα. Στην προσπάθειά μας να βρούμε ένα εναλλακτικό λογισμικό ανοικτού κώδικα, εξετάσαμε και συγκρίναμε διάφορες εναλλακτικές λύσεις (Λερός & Ανδρέατος, 2010). Τελικώς καταλήξαμε στο GNU Octave για τους λόγους που προαναφέρθηκαν. Πρόσθετο επιχείρημα υπέρ της επιλογής μας αυτής είναι η δωρεάν διάθεση πολλών εξειδικευμένων εργαλειαθικών του Octave, που το καθιστούν πολύτιμο εργαλείο για πολλά άλλα μαθήματα.

Οι ασκήσεις που καλούνται οι φοιτητές να εκπονήσουν στα πλαίσια του μαθήματος, δεν υπερβαίνουν σε αλγοριθμική πολυπλοκότητα, θεωρητικό υπόβαθρο εννοιών προσομοίωσης και υπολογιστική ισχύ το παιδαγωγικό παράδειγμα που παρουσιάσαμε. Ως εκ τούτου το Octave καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του μαθήματος. Τα στοιχεία που λείπουν από το Octave για να αντικαταστήσουν πλήρως το Matlab, όσον αφορά την χρήση του στον Τομέα Πληροφορικής, είναι το εργαλείο

δημιουργίας εφαρμογών GUI (“Guide”), καθώς και κάποιο εργαλείο γραφικού προγραμματισμού προσομοίωσης συστημάτων, αντίστοιχο του Simulink.

Το Octave θεωρείται σήμερα ένα ισχυρό εργαλείο έρευνας και ανάπτυξης (Zea, 2008). Υπάρχει βιβλιογραφία γι' αυτό, ενώ παράλληλα είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό συμβατό με το Matlab. Οι δυνατότητές του επαρκούν για να καλύψουν τις διδακτικές ανάγκες του μαθήματος της Προσομοίωσης, ενώ ταυτόχρονα εναρμονίζονται με την εκπαιδευτική πολιτική του Τομέα Πληροφορικής.

Βιβλιογραφία

- Anderson, B. and Moore, J. (1979). *Optimal Filtering*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1979.
- Coll, H., Bri, D., Garcia, M. & Lloret, J. (2008). Free software and open source applications in higher education. In *Proceedings of the 5th WSEAS / IASME Int'l Conference on Engineering Education*, Heraklion, Greece, July 22-24, 2008.
- de Jong, T. (2006). Inquiry learning in technology enhanced learning environments. *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΤΠΕ*. Θεσ/νίκη, 5-8 Οκτ. 2006, σσ. 488-491.
- Grewal, M. and Andrews, A. (1993). *Kalman Filtering Theory and Practice*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kienzle, P. et al., *Octave - Matlab Compatibility Database*. Διαθέσιμο από: <http://users.powernet.co.uk/kienzle/octave/matcompat/>. Ανάκτηση: 20 Μαρ. 2010.
- Nielsen J. (1993). *Usability Engineering*. London: Academic Press.
- Zea, T. T. (2008). *Technical Report on Literature Review on a Matlab Alternative – Octave*. Advanced Computing Group, 27 Feb 2008.
- Ανδρεάτος Α. (2008). «Χρήστης ή 'χάκερ';». Παρουσίαση Κοινότητας Ανοιχτού Λογισμικού Σ.Ι. Α' συνέδριο Κοινοτήτων ΕΛ/ΛΑΚ. Αθήνα, 21-22 Μαρτ. 2008.
- Ανδρεάτος Α. (2009). «Μια στρατηγική προώθησης του ΕΛ/ΛΑΚ στην γ'/θμια εκπαίδευση». Παρουσίαση Κοινότητας Ανοιχτού Λογισμικού Σ.Ι. Β' συνέδριο Κοινοτήτων ΕΛ/ΛΑΚ. Λάρισα, 9-10 Μαΐου 2009.
- Γιαννίκας Β. & Σπινέλλης Δ. (2009). Χρήση Λογισμικού Ανοιχτού Κώδικα από μεγάλες Αμερικανικές επιχειρήσεις. *Πρακτικά 4th Mediterranean Conference on Information Systems (MCIS 2009)*. Athens, Sept. 25-27, 2009.
- Λερός Α. & Ανδρεάτος Α. (2010). *Αναθεώρηση μαθήματος Προσομοίωσης*. Τεχνική αναφορά. Τομέας Πληροφορικής και Η/Υ. Σχολή Ικάρων, Ιαν. 2010.
- Πουλή Β. & Τερζή Γ. (2007). *Αξιολόγηση λύσεων ελεύθερου λογισμικού όπως SCILAB, GNU Octave, SciPy κλπ σαν εναλλακτική λύση του Matlab για την διδασκαλία και εφαρμογή των θεωριών αυτομάτου ελέγχου*. Πτυχιακή Εργασία. ΤΕΙ Σερρών, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμ. Πληρ/κής & Επικοινωνιών. “Συγκριτικό: Αριθμοφάγοι”. Περ. *Linux Format*, τ.23, Σεπτ.-Οκτ. 2008, σ.42.