



Εργαστήριο Υπολογιστικών Συστημάτων

Καθ. Γεώργιος Παπακωνσταντίνου

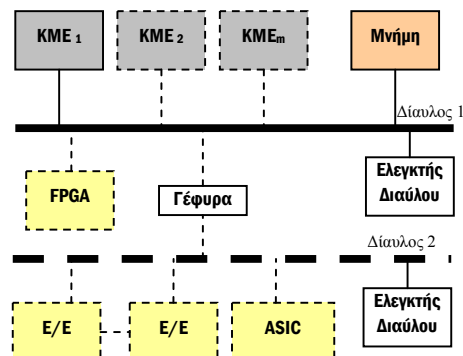
Μάρτιος 2005

2^η ΑΣΚΗΣΗ

Έλεγχος κίνησης μάζας¹

Θεωρητικό Μέρος

Τα Ενσωματωμένα Συστήματα (embedded systems) είναι υπολογιστικά συστήματα ειδικού σκοπού προσαρμοσμένα στο να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες των συσκευών της σύγχρονης ζωής όπως κινητά τηλέφωνα, palmtops, ελεγκτές αεροσκαφών και αυτοκινήτων κλπ. Για το λόγο αυτό συνήθως χαρακτηρίζονται από το μικρό τους μέγεθος και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους ως προς την κατανάλωση ισχύος, την απόδοση σε συγκεκριμένες εφαρμογές και το χαμηλό τους κόστος. Ένα «Ενσωματωμένο Σύστημα» (Ε.Σ.) (Embedded System) αποτελεί υπολογιστική μονάδα με αρχιτεκτονική και αρχές λειτουργίας παρόμοιες με αυτές των συμβατικών υπολογιστών, η οποία ωστόσο προσαρμόζεται στις ανάγκες και απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Έτσι, και στην περίπτωση των Ε.Σ., βασικό δομικό στοιχείο αποτελεί ένας μικροεπεξεργαστής, ο οποίος βρίσκεται συνδεδεμένος μέσω μιας ιεραρχίας διαύλων με στοιχεία προσωρινής και μόνιμης αποθήκευσης (μνήμες RAM, EPRROM, Flash, non-Volatile). Παράλληλα, στα Ε.Σ. μπορεί να απαντώνται και στοιχεία εξειδικευμένου υλικού τα οποία επικοινωνούν με τα βασικά δομικά στοιχεία και καλούνται να επιτελέσουν συγκεκριμένες εργασίες ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής σε απόδοση, κατανάλωση ισχύος, λειτουργίες E/E κ.α. Τα στοιχεία αυτά υλοποιούνται είτε σε μη προγραμματιζόμενο υλικό (VLSI, ASICs) είτε σε προγραμματιζόμενο υλικό (PLDs, FPGAs) και διασυνδέονται μέσω μιας ιεραρχίας (πιθανώς πολλών επιπέδων) διαύλων με τον μικροεπεξεργαστή και τη μνήμη. (Εικόνα 1).



Εικόνα 1 Γενικό διάγραμμα αρχιτεκτονικής δομής Ενσωματωμένου Συστήματος

¹ Το λεπτομερές υλικό για την διεξαγωγή της άσκησης υπάρχει στην σελίδα <http://www.cslab.ece.ntua.gr/courses/embedded>.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Δεδομένης της επιλογής συγκεκριμένου Ε.Σ., η ζητούμενη εφαρμογή χωρίζεται σε κομμάτια που θα προγραμματιστούν στον επεξεργαστή του Ε.Σ. και κομμάτια τα οποία θα υλοποιηθούν σε υλικό. Ο τρόπος διαχωρισμού των μερών αυτών αποτελεί το στάδιο Συσχεδίασης Υλικού/Λογισμικού και καθορίζεται από τις απαιτήσεις (constraints) του τελικού Ε.Σ. σε απόδοση, καταναλισκόμενη επιφάνεια, κόστος, κατανάλωση ισχύος κ.α.

Στην περίπτωση που η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελείται από μία μόνο διεργασία τότε αυτή υλοποιείται στο Ε.Σ. και εκτελείται. Στην περίπτωση όμως που η συγκεκριμένη εφαρμογή απαιτεί την ταυτόχρονη εκτέλεση περισσότερων των μία διεργασιών που πρέπει να συνεργάζονται μεταξύ τους, απαιτείται η παρουσία ενός λειτουργικού συστήματος, το οποίο ρυθμίζει τη σειρά εκτέλεσης των διεργασιών στο σύστημα ορίζοντας έναν αλγόριθμο διάθεσης των πόρων του Ε.Σ. (επεξεργαστή, Ε/Ε κ.α.) στην κάθε διεργασία. Ο αλγόριθμος αυτός υλοποιεί το κομμάτι της χρονοδρομολόγησης (Scheduling) των διεργασιών του λειτουργικού συστήματος. Η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης εξαρτάται άμεσα από τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής και από τη γενική πολιτική που επιθυμείται να εξασφαλίζει το Ε.Σ. στην εκτέλεση των διεργασιών. Στον Πίνακα 1 παρατίθεται ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο χαρακτηριστικών τα οποία επηρεάζονται από την επιλογή του αλγορίθμου δρομολόγησης.

Πίνακας 1 Βασικά χαρακτηριστικά που επηρεάζονται από την επιλογή αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης

System Oriented – Σχετικές με την Απόδοση (Performance Related)	
Ρυθμαπόδοση (Throughput)	Ο αλγόριθμος δρομολόγησης στοχεύει στο να μεγιστοποιήσει τον αριθμό των διεργασιών που ολοκληρώνονται στη μονάδα του χρόνου.
Χρήση Επεξεργαστή (Processor Utilization)	Ο αλγόριθμος δρομολόγησης στοχεύει στη μεγιστοποίηση του ποσοστού στο οποίο ο επεξεργαστής είναι busy (εκτελεί μία διεργασία).
Δικαιοσύνη (Fairness)	Ο αλγόριθμος δρομολόγησης εξασφαλίζει ίσες ευκαιρίες εκτέλεσης στην ΚΜΕ σε όλες τις διεργασίες.
Προτεραιότητες	Ο αλγόριθμος εξασφαλίζει την ταχύτερη εκτέλεση διεργασιών με μεγάλη προτεραιότητα (είτε αυτές ορίζονται στατικά είτε δυναμικά).
Εξισορρόπηση Πόρων (Resource Balancing)	Ο αλγόριθμος εξασφαλίζει την όσο το δυνατό μεγαλύτερη χρήση πόρων. Διεργασίες που χρησιμοποιούν λιγότερο πόρους που ήδη είναι υπερφορτωμένοι προτιμώνται στη δρομολόγηση
Εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο (Real Time)	Ο αλγόριθμος πρέπει εξασφαλίζει την περιοδική εκτέλεση των διεργασιών ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Στην περίπτωση που ο αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης καλείται να εξασφαλίσει την ορθή εκτέλεση εφαρμογής σε πραγματικό χρόνο, το Ε.Σ. ονομάζεται και σύστημα πραγματικού χρόνου (Real-Time System). Τέτοια συστήματα διέπονται από αυστηρούς



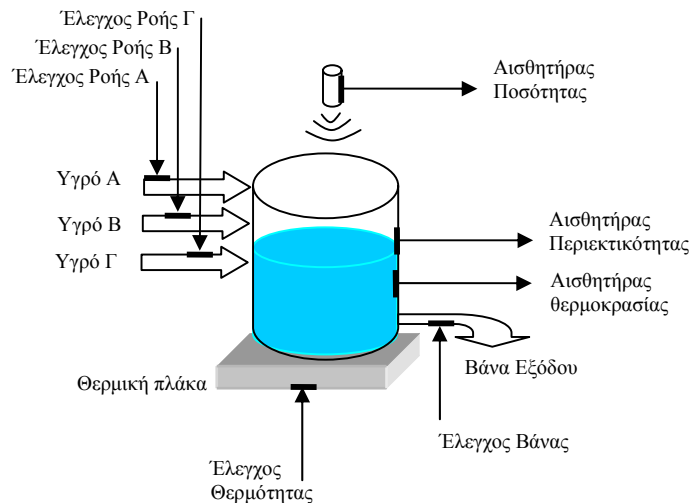
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

χρονικούς περιορισμούς εκτέλεσης των διεργασιών. Οι χρονικοί αυτοί περιορισμοί χωρίζονται σε Hard Real-Time constraints αν η αποτυχία εξασφάλισης τους θεωρείται καταστροφική και σε Soft Real-Time constraints αν η αποτυχία εξασφάλισής τους, αν και δεν είναι επιθυμητή, δεν προκαλεί σημαντικό πρόβλημα.

Για την καλύτερη κατανόηση της ανάγκης συστημάτων πραγματικού χρόνου θεωρήστε το παρακάτω παράδειγμα:

Δίνεται δεξαμενή στην οποία παρασκευάζεται μείγμα χημικού προϊόντος. Το μείγμα αποτελείται από 3 χημικά συστατικά A,B,Γ τα οποία παρέχονται μέσω αντλιών στη δεξαμενή. Η δεξαμενή θερμαίνεται μέσω αντίστασης ούτως ώστε το μείγμα να διατηρείται πάντα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Ένας αισθητήρας βρίσκεται μέσα στο μείγμα και παρέχει πληροφορία για την περιεκτικότητα των τριών συστατικών κάθε χρονική στιγμή. Επίσης δύο αισθητήρες παρέχουν πληροφορία για την ποσότητα του μείγματος στη δεξαμενή και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (Εικόνα 2)



Εικόνα 2 Παράδειγμα εφαρμογής

Ζητείται η υλοποίηση εφαρμογής σε Ε.Σ. η οποία ελέγχει τους αισθητήρες και ρυθμίζει τη ροή των τριών χημικών συστατικών ούτως ώστε να παρασκευαστεί μείγμα συγκεκριμένης περιεκτικότητας και ποσότητας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Για την εφαρμογή αυτή:

- Επιθυμούμε η περιεκτικότητα στα τρία χημικά συστατικά να είναι **ακριβώς** η ζητούμενη. Για να επιτευχθεί ο σκοπός αυτός μία διεργασία (P1) πρέπει να ελέγχει ανά τακτά χρονικά (T1) διαστήματα τον αισθητήρα περιεκτικότητας και να ελέγχει ανάλογα τη ροή του υγρού από τις αντλίες (Hard Real-Time Constraint). Για την επιτέλεση αυτής της λειτουργίας η διεργασία απαιτεί χρόνο E1.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

- Επιθυμούμε η θερμοκρασία να διατηρείται πάντα **ακριβώς** σε συγκεκριμένη τιμή. Έτσι μία διεργασία (P2) θα πρέπει να ελέγχει ανά τακτά χρονικά διαστήματα (T2) τον αισθητήρα θερμοκρασίας και να ελέγχει ανάλογα την παρεχόμενη θερμότητα (Hard Real-Time Constraint). Για την επιτέλεση αυτής της λειτουργίας η διεργασία απαιτεί χρόνο E2.
- Επιθυμούμε να παρασκευάσουμε μία συγκεκριμένη ποσότητα η οποία θα έχει **περίπου** μία συγκεκριμένη τιμή. Έτσι μία τρίτη διεργασία (P3) ελέγχει ανά τακτά χρονικά διαστήματα (T3) την ποσότητα που παρασκευάστηκε και ανάλογα ανοίγει η κλείνει τη βάνα εξόδου της δεξαμενής. Η απαίτηση αυτή δεν είναι τόσο σημαντική για την συγκεκριμένη εφαρμογή και έτσι ο περιορισμός αυτός χαρακτηρίζεται ως Soft Real-Time Constraint. Για την επιτέλεση αυτής της λειτουργίας η διεργασία απαιτεί χρόνο E3.

Ισχύει $T1 < T2$ αφού η περιεκτικότητα του δείγματος αλλάζει ταχύτερα από ότι η θερμοκρασία του. Επίσης $T1 < T2 < T3$ αφού αφενός ο έλεγχος της ποσότητας είναι λιγότερο σημαντικός και αφετέρου μπορεί να ρυθμιστεί γρηγορότερα με τον έλεγχο της βάνας σε περίπτωση αστοχίας. Ισχύει επίσης $E1 > E3 = E2$.

Αρχικά, θα χρησιμοποιηθεί αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης πραγματικού χρόνου που ονομάζεται

Rate-Monotonic Scheduling. Στον

Πίνακας 2 παρατίθενται ενδεικτικές τιμές για τις παραπάνω διεργασίες.

Πίνακας 2 Ενδεικτικοί χρόνοι διεργασιών

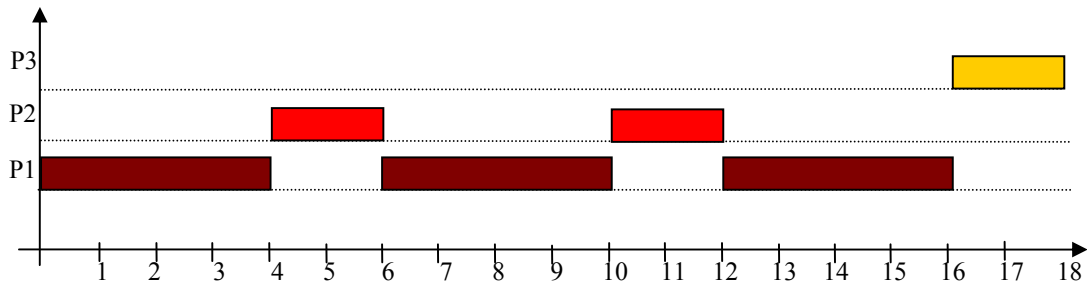
Διεργασία (Pi)	Χρόνος Εκτέλεσης (Ei)	Περίοδος (Ti)
P1	4	6
P2	2	9
P3	2	18

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ορίζει προτεραιότητες στις διεργασίες βάσει τις περιόδου εκτέλεσής τους. Όσο μικρότερη είναι η περίοδος τόσο μεγαλύτερη η προτεραιότητά τους. Η μελέτη της δρομολόγησης μπορεί να γίνει για χρονικό διάστημα ίσο με το ελάχιστο κοινό πολλαπλάσιο των περιόδων των διεργασιών (ΕΚΠ=18). Η δρομολόγηση των διεργασιών δίνεται στην Εικόνα 3.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

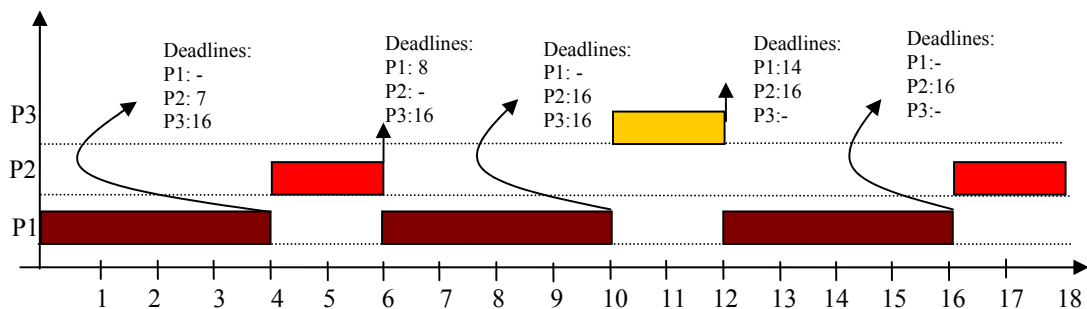


Εικόνα 3 Rate-Monotonic Scheduling διεργασιών

Όπως φαίνεται, και οι τρεις διεργασίες μπορούν να εκτελεστούν στα χρονικά περιθώρια που επιβάλλονται και έτσι το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ορθά. Διαφορετική περίπτωση θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια μη ορθή συμπεριφορά του συστήματος. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το Rate-Monotonic Scheduling παρέχονται στις σημειώσεις που επισυνάπτονται και μπορούν να αναζητηθούν σε σχετική βιβλιογραφία.

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί αλγόριθμος χρονοδρομολόγησης πραγματικού χρόνου που ονομάζεται Earliest-Deadline-First Scheduling (ή EDF εν συντομία). Θα χρησιμοποιηθούν οι ενδεικτικές τιμές για τις διεργασίες που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Ο αλγόριθμος αυτός προσδιορίζει δυναμικά τις προτεραιότητες των διεργασιών. Η μεγαλύτερη προτεραιότητα δίνεται στη διεργασία της οποία τα χρονικά περιθώρια για την εκτέλεση της είναι τα μικρότερα. Αυτό σημαίνει ότι η προτεραιότητα της κάθε διεργασίας θα πρέπει να επαναπροσδιορίζεται με την περάτωση κάθε μίας από αυτές. Σε περίπτωση ίσων περιθωρίων χρόνου επιλέγεται μία διεργασία στην τύχη (στο παρακάτω παράδειγμα η P3)

Η χρονοδρομολόγηση των διεργασιών του Πίνακα 2 βάσει του αλγορίθμου EDF δίνεται στην Εικόνα 4.



Εικόνα 4 Earliest Deadline Scheduling διεργασιών

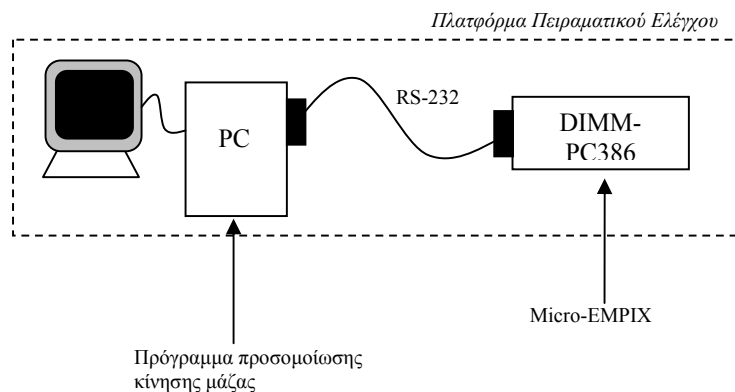


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Πειραματικό Μέρος

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση θα εργαστείτε στο πειραματικό λειτουργικό σύστημα Micro-Empix Ver 1.0. Το Micro-Empix αποτελεί ένα μικρό λειτουργικό σύστημα που προορίζεται για Ενσωματωμένα Συστήματα. Το Ενσωματωμένο Σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί είναι το DIMM-PC386. Το πειραματικό περιβάλλον στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η πειραματική άσκηση δίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5 Πειραματικό Περιβάλλον

Το «Πρόγραμμα Προσομοίωσης Κίνησης Μάζας» (MassSimulator Ver 1.0), το οποίο θα σας δοθεί, έχει υλοποιηθεί σε Visual C++, εκτελείται σε περιβάλλον Windows και προσομοιώνει την κίνηση μίας μάζας σε τρισδιάστατο χώρο, όταν ασκούνται πάνω της δυνάμεις F_x , F_y , F_z στις τρεις διαστάσεις.

Στόχος είναι ο έλεγχος της μάζας μέσω PID ελεγκτή που εφαρμόζεται στις τρεις δυνάμεις με στόχο την μετακίνηση της μάζας σε ένα συγκεκριμένο σημείο στο χώρο. Ο PID έλεγχος για κάθε μία από τις τρεις διαστάσεις εκτελείται στο Ενσωματωμένο Σύστημα. Κάθε PID ελεγκτής για τον έλεγχο της δύναμης στη μία διάσταση, υλοποιείται ως μία διεργασία στο Micro Empix. Λεπτομέρειες για τη χρήση του προγράμματος Mass Simulator και του τρόπου επικοινωνίας τους με το Ενσωματωμένο Σύστημα δίνονται στο συνημμένο φυλλάδιο.

Ζητείται να υλοποιήσετε τις τρεις αυτές διεργασίες, τον δαίμονα (daemon) επικοινωνίας του Ενσωματωμένου Συστήματος (Micro-Empix) με τα στοιχεία E/E του προσομοιωτή και να γίνει χρονοδρομολόγηση των διεργασιών βάσει του αλγορίθμου Rate Monotonic Scheduling.

Πειραματιστείτε με διάφορες τιμές περιόδου για τις τρεις διεργασίες και αναφέρετε τα συμπεράσματά σας.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΟΡΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Παραδοτέα

- Αναφορά του τρόπου υλοποίησης των διεργασιών ελέγχου και του αλγορίθμου χρονοδρομολόγησης στο Micro-Empix.
- Πειραματικά αποτελέσματα του ελέγχου της Μάζας για διάφορες τιμές περιόδου διεργασιών.

Καλή Επιτυχία