

Κεφάλαιο 5: Εισαγωγή στην Προσομοίωση

Τεχνικές Εκτίμησης Υπολογιστικών συστημάτων

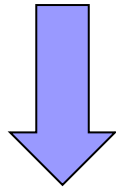
Γιάννης Γαροφαλάκης

Καθηγητής

Προσομοίωση

Τεχνικές χρήσης υπολογιστών για τη «μίμηση» των λειτουργιών διαφόρων ειδών

διαδικασιών ή μηχανισμών



ΣΥΣΤΗΜΑ

Για να το μελετήσουμε, κάνουμε *υποθέσεις* για το πως δουλεύει.

Υποθέσεις (μαθηματικές ή λογικές σχέσεις)



ΜΟΝΤΕΛΟ

Χρήσεις Προσομοίωσης

- Συστήματα παραγωγής
- Η/Υ και δίκτυα
- Αμυντικά συστήματα
- Πωλήσεις
- Συστήματα μεταφορών
- Νοσοκομεία, ταχυδρομικές υπηρεσίες
- Οικονομικά και επιχειρηματικά συστήματα
- Πρόγνωση καιρού, φυσικών μεταβολών
- ...

Συστήματα και Μοντέλα

Ορισμός Συστήματος (1)

Σύστημα είναι μία συλλογή οντοτήτων (π.χ. άνθρωποι ή/και μηχανές) που ενεργούν και αλληλοεπιδρούν, με στόχο κάποιο λογικό αποτέλεσμα

[Schmidt, Taylor, 1970].

Κατάσταση Συστήματος : Η συλλογή των τιμών των μεταβλητών που είναι απαραίτητες για την περιγραφή του συστήματος σε μια χρονική στιγμή, αναφορικά με τους στόχους της μελέτης.

Συστήματα και Μοντέλα (2)

■ Τύποι συστημάτων

□ Διακριτά (discrete)

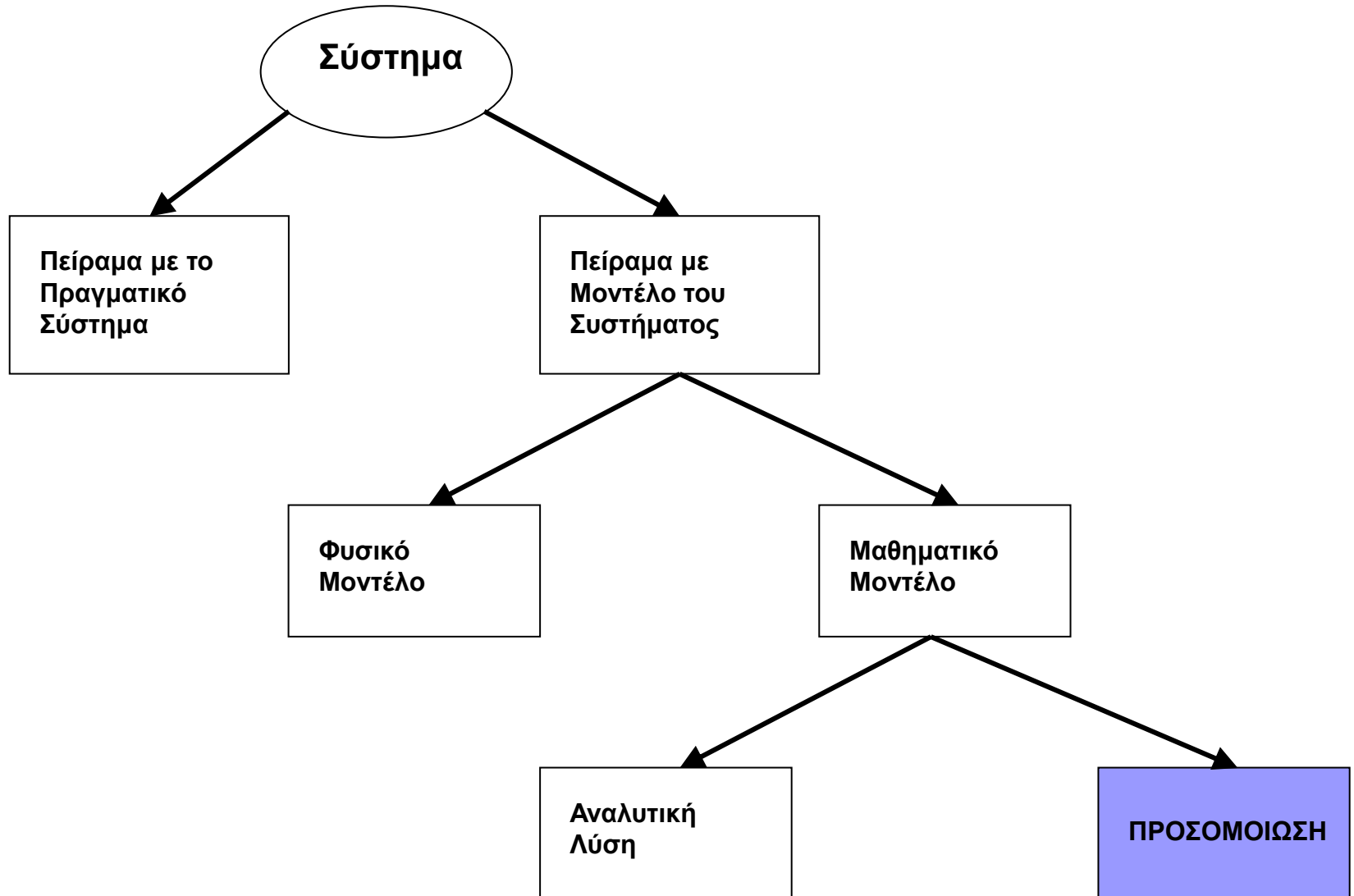
Οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν σε διακεκριμένες στιγμές του χρόνου. Π.χ. όταν συμβεί μια άφιξη ή μια αναχώρηση σε μια τράπεζα.

□ Συνεχή (continuous)

Οι μεταβλητές κατάστασης αλλάζουν συνεχώς στο χρόνο. Π.χ. η κίνηση οχήματος με την οποία αλλάζουν οι παράμετροι θέσης και ταχύτητας.

□ Λίγα συστήματα στην πράξη είναι εξ ολοκλήρου διακριτά ή συνεχή, αλλά συνήθως μια εκδοχή είναι κυρίαρχη.

Τρόποι μελέτης συστήματος (1)



Τρόποι μελέτης συστήματος (2)

- Πείραμα με το Πραγματικό Σύστημα ή Πείραμα με Μοντέλο του Συστήματος
 - Φυσική πρόσβαση στο σύστημα και λειτουργία κάτω από τις νέες συνθήκες
 - Υψηλό κόστος και πιθανά προβλήματα στην κανονική λειτουργία του συστήματος.
 - Κατασκευή *μοντέλου* συστήματος κατά τη φάση σχεδιασμού που αναπαριστά το σύστημα κατά τη μελέτη.
 - Η εγκυρότητα μοντέλου παίζει σημαντικό ρόλο.

Τρόποι μελέτης συστήματος (3)

- Φυσικό Μοντέλο ή Μαθηματικό Μοντέλο
 - Ένα μαθηματικό μοντέλο αναπαριστά το σύστημα με βάση λογικές και ποσοτικές σχέσεις οι οποίες χειριζόμενες και μεταβαλλόμενες κατάλληλα, επιτρέπουν να δούμε πώς αντιδρά το μοντέλο και κατά συνέπεια πώς θα αντιδρούσε το σύστημα, αν το μαθηματικό μοντέλο είναι έγκυρο.

Τρόποι μελέτης συστήματος (4)

■ Αναλυτική Λύση ή Προσομοίωση

- Αν το μοντέλο είναι αρκετά απλό (που ίσως σημαίνει παραδοχές απλοποίησης της πραγματικότητας), είναι δυνατό να πάρουμε μία ακριβή, *αναλυτική λύση*.
- Αν υπάρχει αναλυτική λύση στο μαθηματικό μοντέλο και είναι υπολογιστικά αποδοτική, συνήθως την προτιμούμε από την προσομοίωση.
- Αν το μοντέλο είναι πολύπλοκο πρέπει να μελετηθεί με τη χρήση προσομοίωσης.
- Πολλές φορές συνδυάζονται αναλυτική λύση και προσομοίωση (π.χ. στην έρευνα).

Τρόποι μελέτης συστήματος (5)

□ Προσομοίωση

Η εκτέλεση αριθμητικών πειραμάτων στο μοντέλο για τις εισόδους (δεδομένα) που μας ενδιαφέρουν, για να δούμε πως αυτά επηρεάζουν τις εξόδους (μέτρα απόδοσης) του συστήματος.

Είδη μοντέλων προσομοίωσης (1)

- **Στατικά ή Δυναμικά** Μοντέλα Προσομοίωσης
 - Ένα *στατικό* μοντέλο προσομοίωσης αναπαριστά ένα σύστημα σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ή αναπαριστά ένα σύστημα στο οποίο ο χρόνος δεν έχει σημασία, π.χ. ένα πολύπλοκο ολοκλήρωμα.
 - Ένα *δυναμικό* μοντέλο προσομοίωσης αναπαριστά ένα σύστημα, όπως αυτό εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου.
- **Ντετερμινιστικά ή Στοχαστικά** Μοντέλα Προσομοίωσης
 - Αν ένα μοντέλο προσομοίωσης δεν περιλαμβάνει πιθανοτικά (δηλαδή "τυχαία") τμήματα, ονομάζεται *ντετερμινιστικό*.
 - Στα ντετερμινιστικά μοντέλα, η έξοδος είναι καθορισμένη, με δεδομένο το σύνολο των ποσοτήτων και σχέσεων εισόδου του μοντέλου. Π.χ. μια πολύπλοκη διαφορική εξίσωση.
 - Πολλά συστήματα πρέπει να χρησιμοποιήσουν *στοχαστικά* μοντέλα προσομοίωσης, δηλαδή μοντέλα που θα έχουν τουλάχιστον ορισμένα τμήματα με "τυχαία" είσοδο.

Είδη μοντέλων προσομοίωσης (2)

■ Αυτο-οδηγούμενα ή Ιχνο-οδηγούμενα Μοντέλα Προσομοίωσης

- Σε ένα *αυτο-οδηγούμενο* (self-driven) μοντέλο, υπάρχει μία εσωτερική πηγή τυχαίων αριθμών. Οι τυχαίοι αριθμοί οδηγούν τα τμήματα του μοντέλου, δηλαδή χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των στιγμών εμφάνισης των γεγονότων του συστήματος.
 - Αποτελεί ένα αυτόνομο μοντέλο το οποίο δεν χρειάζεται εξωτερικές εισόδους (inputs) για να λειτουργήσει.
- Ένα *ιχνο-οδηγούμενο* (trace-driven) μοντέλο καθοδηγείται από ακολουθίες εισόδου που προέρχονται από δεδομένα (trace data) που έχουν δημιουργηθεί από τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος.
 - Αποφεύγονται οι δυσκολίες της πιθανοτικής ανάλυσης που χρειάζεται για τη χρήση κατανομών στην περιγραφή των εισόδων του μοντέλου.
 - Τα μοντέλα αυτά είναι εύκολο να επιβεβαιωθούν.
 - Μικρό εύρος εφαρμογών που μπορούν να αντιμετωπίσουν.

Είδη μοντέλων προσομοίωσης (3)

- **Συνεχή ή Διακριτά** Μοντέλα Προσομοίωσης
 - Ανάλογοι ορισμοί με τα αντίστοιχα συστήματα.
 - Ένα διακριτό μοντέλο δεν χρησιμοποιείται μόνο για την αναπαράσταση ενός διακριτού συστήματος και ένα διακριτό σύστημα δεν αναπαρίσταται μόνο από ένα διακριτό μοντέλο προσομοίωσης.
 - Η απόφαση για τη χρήση ενός διακριτού ή ενός συνεχούς μοντέλου για ένα συγκεκριμένο σύστημα, εξαρτάται από τους ιδιαίτερους στόχους της μελέτης. Π.χ. η μελέτη της κίνησης οχημάτων σε ένα οδικό δίκτυο, μπορεί να ιδωθεί από τη σκοπιά του κάθε (διακριτού) οχήματος, ή ως (συνεχής) ροή.

Είδη μοντέλων προσομοίωσης (4)

ΤΕΛΙΚΑ:

- Μοντέλα Προσομοίωσης Διακριτών Γεγονότων (discrete event simulation models)
 - διακριτά, δυναμικά, στοχαστικά και αυτο-οδηγούμενα.
 - Τα ντετερμινιστικά μοντέλα μπορούν να θεωρηθούν ειδικές περιπτώσεις των στοχαστικών μοντέλων, και δεν υπάρχει απώλεια της γενικότητας στη μελέτη των μοντέλων προσομοίωσης.

Ο Μηχανισμός εξέλιξης του χρόνου (1)

■ Ρολόι προσομοίωσης (simulation clock)

- Η μεταβλητή του μοντέλου προσομοίωσης που μας δίνει την τρέχουσα τιμή του χρόνου.
- Λόγω του δυναμικού χαρακτήρα των μοντέλων προσομοίωσης διακριτών γεγονότων, πρέπει να έχουμε τη δυνατότητα αποθήκευσης της τρέχουσας τιμής του προσομοιωμένου χρόνου, ενώ χρειαζόμαστε και ένα μηχανισμό αύξησής του από μία τιμή σε μία άλλη.
- Η μονάδα χρόνου που χρησιμοποιεί το ρολόι είναι συνήθως η ίδια με αυτή που χρησιμοποιούν οι παράμετροι εισόδου.
- Δεν υπάρχει σχέση του χρόνου που καταγράφει το ρολόι, με το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση του προσομοιωτή στον υπολογιστή.

Ο Μηχανισμός εξέλιξης του χρόνου (2)

- Δύο τρόποι για την εξέλιξη του ρολογιού προσομοίωσης:
 - Εξέλιξη με βάση το Χρόνο του Επομένου Γεγονότος (next-event time advance).
 - Περισσότερο διαδεδομένη
 - Εξέλιξη Σταθερής Αύξησης του Χρόνου (fixed-increment time advance).
 - Μπορεί να θεωρηθεί ειδική περίπτωση της πρώτης.

Εξέλιξη με βάση το Χρόνο του Επομένου Γεγονότος

- Το ρολόι προσομοίωσης αρχικοποιείται στο μηδέν και καθορίζονται οι στιγμές εμφάνισης των μελλοντικών γεγονότων.
- Το ρολόι τότε αυξάνεται στο χρόνο εμφάνισης του πιο κοντινού στο μέλλον, από τα γεγονότα αυτά.
- Η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται ώστε να πάρει υπ όψη της το γεγονός που εμφανίστηκε.
- Ενημερώνεται επίσης η γνώση μας για τις χρονικές στιγμές εμφάνισης των μελλοντικών γεγονότων.
- Το ρολόι αυξάνεται ώστε να δείχνει τη στιγμή εμφάνισης του νέου πιο κοντινού στο μέλλον γεγονότος.
- Η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται, καθορίζονται οι χρονικές στιγμές εμφάνισης των μελλοντικών γεγονότων.
- Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ικανοποιηθεί κάποια προκαθορισμένη συνθήκη τερματισμού της προσομοίωσης.
- Οι ενδιάμεσες ανενεργοί περίοδοι δεν λαμβάνονται υπ όψη και το ρολόι μετακινείται αυτόματα στη στιγμή εμφάνισης του επομένου γεγονότος.

Μέθοδος εξέλιξης σταθερής αύξησης του χρόνου

- Το ρολόι προσομοίωσης εξελίσσεται με σταθερές αυξήσεις ακριβώς Δt μονάδων χρόνου κάθε φορά.
- Μετά από κάθε ενημέρωση του ρολογιού, γίνεται ένας έλεγχος για να εξακριβωθεί εάν θα έπρεπε να έχουν εμφανισθεί κάποια γεγονότα κατά το προηγούμενο χρονικό διάστημα.
- Αν εμφανίσθηκαν γεγονότα στο διάστημα αυτό, θεωρούμε ότι αυτά εμφανίζονται στο τέλος του χρονικού διαστήματος.
- Η κατάσταση του συστήματος ενημερώνεται κατάλληλα.

Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (1)

- Τμήματα μοντέλων προσομοίωσης διακριτών γεγονότων .
 - Κατάσταση Συστήματος (system state)
 - Η συλλογή των μεταβλητών κατάστασης που είναι απαραίτητες για την περιγραφή του συστήματος σε μία χρονική στιγμή.
 - Ρολόι Προσομοίωσης (simulation clock)
 - Μία μεταβλητή που περιέχει την τρέχουσα τιμή του προσομοιωμένου χρόνου.

Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (2)

- Λίστα Γεγονότων (event list)
 - Μία λίστα που περιέχει την επόμενη χρονική στιγμή εμφάνισης κάθε τύπου γεγονότος.
- Μετρητές Στατιστικών (statistical counters)
 - Μεταβλητές που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση στατιστικών μετρήσεων της απόδοσης του συστήματος.

Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (3)

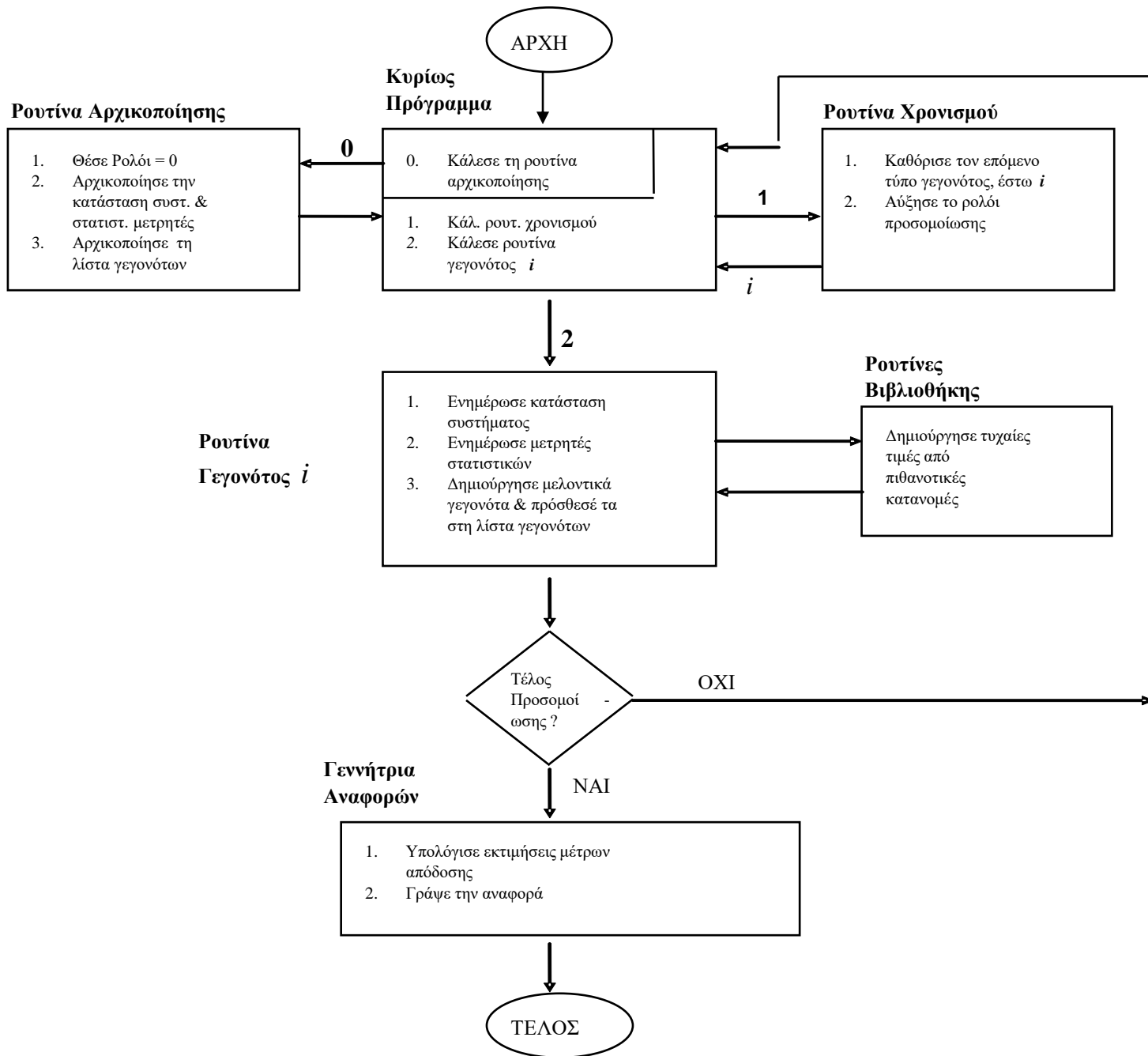
- Ρουτίνα Αρχικοποίησης (initialization routine)
 - Ένα υποπρόγραμμα που αρχικοποιεί το μοντέλο προσομοίωσης τη χρονική στιγμή μηδέν.
- Ρουτίνα Χρονισμού (timing routine)
 - Ένα υποπρόγραμμα που αναγνωρίζει το επόμενο γεγονός από τη λίστα γεγονότων και ακολούθως αυξάνει το ρολόι προσομοίωσης στη χρονική στιγμή που το γεγονός αυτό θα εμφανισθεί.

Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (4)

- Ρουτίνες Γεγονότων (event routines)
 - Υποπρογράμματα που ενημερώνουν την κατάσταση συστήματος όταν εμφανίζεται ένα συγκεκριμένο είδος γεγονότος (υπάρχει μία τέτοια ρουτίνα για κάθε είδος γεγονότος).
- Ρουτίνες Βιβλιοθήκης (library routines)
 - Σύνολο υποπρογραμμάτων που δημιουργούν τυχαίες εμφανίσεις τιμών από πιθανοτικές κατανομές, που έχουν ορισθεί ως μέρος του μοντέλου προσομοίωσης.

Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (5)

- Γεννήτρια Αναφορών (report generator)
 - Υποπρόγραμμα που υπολογίζει εκτιμήσεις των επιθυμητών μέτρων απόδοσης από τους μετρητές στατιστικών και παράγει αναφορές όταν τελειώσει η εκτέλεση του προσομοιωτή.
- Κυρίως Πρόγραμμα (main program)
 - Το πρόγραμμα που καλεί τη ρουτίνα χρονισμού για να καθοριστεί το επόμενο γεγονός και μετά μεταφέρει τον έλεγχο στην αντίστοιχη ρουτίνα γεγονότος για να ενημερωθεί κατάλληλα η κατάσταση του συστήματος. Ελέγχει επίσης αν πρέπει να τερματισθεί η προσομοίωση και καλεί τότε τη γεννήτρια αναφορών.



Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (6)

- Η οργάνωση και η λειτουργία ενός προγράμματος προσομοίωσης διακριτών γεγονότων που χρησιμοποιεί το μηχανισμό εξέλιξης με βάση το χρόνο του επομένου γεγονότος:
 - Τυπική για την ανάπτυξη προσομοιωτών με γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού όπως η Python, η C, η Pascal και η FORTRAN.
 - Ονομάζεται *Προσέγγιση Χρονοδρομολόγησης Γεγονότων (event-scheduling approach)* στη μοντελοποίηση της προσομοίωσης.
 - Οι χρονικές στιγμές εμφάνισης των μελλοντικών γεγονότων κωδικοποιούνται στο μοντέλο και προγραμματίζονται να εμφανισθούν στο προσομοιωμένο μέλλον.

Συστατικά και οργάνωση ενός μοντέλου προσομοίωσης διακριτών χρόνων (7)

- Εναλλακτική προσέγγιση στο θέμα:
 - *Προσέγγιση Διαδικασίας (process approach)*
 - “Βλέπει” την προσομοίωση σε σχέση με τις ξεχωριστές οντότητες που εμπλέκονται.
 - Ο κώδικας που γράφεται εδώ, περιγράφει την “εμπειρία” μιας “τυπικής” οντότητας καθώς αυτή μετακινείται δια μέσου του συστήματος.
 - Η ανάπτυξη προσομοιωτή με την προσέγγιση διαδικασίας, γίνεται συνήθως με χρήση ειδικών γλωσσών ή περιβαλλόντων προγραμματισμού για προσομοίωση, όπως η SIMULA, η GPSS, η SIMSCRIPT, η SIMAN, η SLAM, PythonSim, κ.α.
 - Και εδώ, όμως, η βάση είναι η event-scheduling λογική...