



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών



ΤΜΗΜΑ  
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ +  
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

## Τεχνολογία Διοίκησης Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Σημειώσεις για την ενότητα:

### Προσομοίωση Μοντέλων Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Έκδοση 1.0

Α. Τσαλγατίδου - Γ.-Δ. Κάπος

ΑΘΗΝΑ, 2016

# Πρόλογος

Το παρόν σύγγραμμα παρέχει συνοδευτικό υλικό για τη διευκόλυνση της κατανόησης θεμάτων που παρουσιάζονται σε μεταπτυχιακούς φοιτητές, σε διαλέξεις σχετικές με την Προσομοίωση Επιχειρησιακών Διαδικασιών. Με αυτό επιχειρείται μία συνοπτική, αλλά συγχρόνως συμπαγής και περιεκτική παρουσίαση όλων των εννοιών που θα διευκολύνουν τον αναγνώστη-φοιτητή, να κατανοήσει τη σημασία και τις μεθόδους Προσομοίωσης, τις απαιτήσεις και τις προοπτικές σε επίπεδο μοντελοποίησης και τις δυνατότητες αξιοποίησης των αποτελεσμάτων προσομοίωσης. Συγχρόνως, αναδεικνύονται τα προσδοκώμενα οφέλη από τη μελέτη των Επιχειρησιακών Διαδικασιών με Προσομοίωση.

Καθώς η εξοικείωση με τις έννοιες της Προσομοίωσης δεν είναι προαπαιτούμενη, αυτές εισάγονται, όπου αυτό απαιτείται και στο βαθμό κατά τον οποίο διευκολύνει την κατανόηση των εννοιών της συγκεκριμένης θεματικής ενότητας.

Στο σύγγραμμα έχουν χρησιμοποιηθεί αποσπάσματα από τη Διδακτορική Διατριβή του Γεωργίου-Δημητρίου Κάπου, με τίτλο “Μία Μοντελοστρεφής Προσέγγιση για την Αυτοματοποίηση της Προσομοίωσης SysML Μοντέλων Συστημάτων” (2016) [1].

# Περιεχόμενα

<b>Πρόλογος</b>	<b>1</b>
<b>Περιεχόμενα</b>	<b>2</b>
<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>3</b>
<b>2. Σημασία Προσομοίωσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών</b>	<b>3</b>
Προσομοίωση Συστημάτων	3
Τύποι Μοντέλων και Είδη Προσομοίωσης	3
Περιβάλλοντα Εκτέλεσης Προσομοίωσης	4
Επίτευξη Προσομοίωσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών	5
<b>3. Αναμενόμενα Οφέλη</b>	<b>6</b>
Κατανόηση Επιχειρησιακών Διαδικασιών	6
Εντοπισμός Προβλημάτων	7
Ποσοτικά Δεδομένα	7
Εκτίμηση Κόστους	7
Μελέτη Παραλλαγών Διαδικασίας	7
Βελτιστοποίηση Διαδικασιών	8
Περιορισμός Κινδύνων BPR	8
Υψηλός Βαθμός Αξιοπιστίας	8
Χαμηλό Κόστος Διερεύνησης	8
<b>4. Διαφορές Μοντέλων Επιχειρησιακών Διαδικασιών και Προσομοίωσης</b>	<b>9</b>
Διαφορές BPMN - DES	10
<b>5. Διαδικασία Παραγωγής Μοντέλων Προσομοίωσης</b>	<b>10</b>
Αφηρημένες Περιγραφές Επιχειρησιακών Διαδικασιών	10
Δομημένες Περιγραφές Επιχειρησιακών Διαδικασιών	11
Προγράμματα που Υλοποιούν Επιχειρησιακές Διαδικασίες	12
Υψηλού Επιπέδου Ορισμός Επιχειρησιακών Διαδικασιών	12
Μοντελοστρεφής Προσέγγιση	13
<b>6. Επιλογή Συναρτήσεων Κατανομών Πιθανοτήτων</b>	<b>14</b>
Κανονική-Normal (ή Gaussian) Κατανομή ή Καμπύλη Bell	14
Εκθετική Κατανομή	15
Ομοιόμορφη-Uniform (Rectangular) Κατανομή	15
Τριγωνική-Triangular Κατανομή	16
<b>7. Αξιοποίηση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης</b>	<b>16</b>
Καταγραφή Αναλυτικών Στοιχείων Εκτέλεσης	16
Επεξεργασία Αναλυτικών Στοιχείων	18
<b>Αναφορές</b>	<b>18</b>

# 1. Εισαγωγή

Σε αυτό το κείμενο παρατίθενται πληροφορίες για την εισαγωγή και κατανόηση βασικών εννοιών σχετικά με την προσομοίωση επιχειρησιακών διαδικασιών. Αρχικά, στην Ενότητα 2 γίνεται μια εισαγωγή στη σημασία της προσομοίωσης γενικά και της προσομοίωσης επιχειρησιακών διαδικασιών ειδικότερα. Στη συνέχεια, στην Ενότητα 3 γίνεται μία αναφορά στους λόγους για τους οποίους θα κατέφευγε κάποιος στην προσομοίωση επιχειρησιακών διαδικασιών. Στην Ενότητα 4 παρουσιάζονται οι διαφορές ανάμεσα στα μοντέλα επιχειρησιακών διαδικασιών και τα εκτελέσιμα μοντέλα προσομοίωσης. Οι συνθήκες και οι ιδιαιτερότητες κατά τη μετάβαση από το μοντέλο επιχειρησιακής διαδικασίας στο μοντέλο προσομοίωσης περιγράφονται στην Ενότητα 5. Στην Ενότητα 6 γίνεται μία αναφορά σε κάποιες από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες κατανομές για την προδιαγραφή “τυχαίων” χρόνων σε επιμέρους στοιχεία μιας διαδικασίας. Τέλος, στην Ενότητα 7 γίνεται μία σύντομη αναφορά στις δυνατότητες αξιοποίησης των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση της προσομοίωσης.

## 2. Σημασία Προσομοίωσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών

### Προσομοίωση Συστημάτων

Προσομοίωση είναι η τεχνητή αναπαράσταση της λειτουργίας ενός πραγματικού συστήματος ή διαδικασίας [2] για κάποιο χρονικό διάστημα. Η εκτέλεση της προσομοίωσης προϋποθέτει την ανάπτυξη ενός μοντέλου, που αναπαριστά τα κύρια χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά του συγκεκριμένου υπαρκτού ή θεωρητικού συστήματος ή διαδικασίας. Το μοντέλο αναπαριστά το σύστημα, ενώ η προσομοίωση τη λειτουργία του συστήματος για κάποιο χρονικό διάστημα. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται σε διάφορες περιπτώσεις, όπως βελτιστοποίηση απόδοσης, διαχείριση ασφάλειας, δοκιμές, εκπαίδευση, για να αποτιμηθεί η συμπεριφορά του συστήματος σε συγκεκριμένες συνθήκες εκτέλεσης της προσομοίωσης. Η προσομοίωση χρησιμοποιείται και όταν το πραγματικό σύστημα δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα ή δεν είναι διαθέσιμο ή η πρόσβαση σε αυτό δεν είναι ενδεδειγμένη, π.χ. λόγω θεμάτων ασφαλείας.

Σημεία-κλειδιά για την προσομοίωση είναι η κατάλληλη προδιαγραφή χαρακτηριστικών και συμπεριφοράς, η ισορροπημένη χρήση απλοποιήσεων και υποθέσεων στο βαθμό που διευκολύνουν την ανάδειξή τους και χωρίς να επηρεάζουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της Προσομοίωσης. Εδώ μας απασχολεί η προσομοίωση με υπολογιστή (computer simulation), δηλαδή η λειτουργία ενός μοντέλου συστήματος σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον προσομοίωσης με συγκεκριμένες συνθήκες.

### Τύποι Μοντέλων και Είδη Προσομοίωσης

Η προσομοίωση διαφοροποιείται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του τρόπου αναπαράστασης των μοντέλων προσομοίωσης [3]. Έτσι, μπορούμε να διακρίνουμε σε:

- Προσομοίωση με **στοχαστικά** ή **ντετερμινιστικά** μοντέλα: Στα στοχαστικά μοντέλα η συμπεριφορά ορισμένων στοιχείων του μοντέλου συστήματος χαρακτηρίζονται από το στοιχείο της τυχαιότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συναρτήσεις

παραγωγής τυχαίων δειγμάτων, σύμφωνα με την κατανομή, η οποία εκφράζει καλύτερα την τυχαία συμπεριφορά. Στα ντετερμινιστικά μοντέλα δεν υπάρχει καθόλου το στοιχείο της τυχειότητας, που είναι και η τετριμμένη περίπτωση του στοχαστικού μοντέλου.

- Προσομοίωση με **σταθερά** ή **δυναμικά** μοντέλα: Τα σταθερά μοντέλα παρουσιάζουν σταθερή συμπεριφορά καθώς εξελίσσεται ο χρόνος προσομοίωσης. Τα δυναμικά μοντέλα περιγράφουν συστήματα, τα οποία αποκτούν διαφορετική κατάσταση με την πάροδο του χρόνου προσομοίωσης, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η συμπεριφορά τους. Και εδώ, ένα σταθερό μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως η τετριμμένη περίπτωση δυναμικού.
- Προσομοίωση με μοντέλα, όπου η συμπεριφορά ορίζεται με **συνεχή** ή **διακριτό** τρόπο ή πιο συγκεκριμένα με διακριτά συμβάντα: Στα μοντέλα με συνεχή τρόπο μοντελοποίησης, η συμπεριφορά εκφράζεται με διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες αποτυπώνουν πώς η κατάσταση του μοντέλου μεταβάλλεται κατά την πάροδο του χρόνου με συνεχή τρόπο. Αντίθετα, στα μοντέλα διακριτών συμβάντων η κατάσταση του μοντέλου τροποποιείται στιγμιαία σε διακριτές χρονικές στιγμές, σύμφωνα με υπολογισμούς, που λαμβάνουν υπόψη την τρέχουσα κατάσταση, το χρόνο που έχει παρέλθει και το είδος του συμβάντος. Μπορούν να υπάρξουν και συνδυαστικές περιπτώσεις διακριτών-συνεχών μοντέλων προσομοίωσης, όπου διακριτά συμβάντα μπορούν να μεταβάλλουν τιμές συνεχών μεταβλητών κατάστασης ή να αλλάξουν την ισχύουσα σχέση μεταξύ συνεχών μεταβλητών κατάστασης, ενώ και υπέρβαση ενός ορίου (threshold) μιας συνεχούς μεταβλητής κατάστασης θα μπορούσε να πυροδοτήσει ένα διακριτό συμβάν.

Επίσης, η προσομοίωση μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με τον τρόπο εκτέλεσης: **σειριακό** ή **παράλληλο/κατανεμημένο**. Στο σειριακό τρόπο εκτέλεσης, υπάρχει κεντρικός έλεγχος και εκτέλεση της προσομοίωσης. Επομένως, η προώθηση του χρόνου προσομοίωσης, ο υπολογισμός του επόμενου συμβάντος και η μεταβολή των μεταβλητών κατάστασης του μοντέλου προσομοίωσης εκτελούνται σε έναν επεξεργαστή σύμφωνα με κάποιο σειριακό αλγόριθμο. Στην περίπτωση της παράλληλης/κατανεμημένης εκτέλεσης της προσομοίωσης είναι δυνατό η εκτέλεση των επιμέρους λειτουργιών της προσομοίωσης (η προώθηση του χρόνου προσομοίωσης, ο υπολογισμός του επόμενου συμβάντος και η μεταβολή των μεταβλητών κατάστασης) να κατανεμηθεί σε διαφορετικούς επεξεργαστές. Εναλλακτικός τρόπος κατανομής της εκτέλεσης της προσομοίωσης είναι η κατάτμηση του μοντέλου σε υπο-μοντέλα τα οποία προσομοιώνονται αυτόνομα μεν, αλλά με μηχανισμούς συγχρονισμού δε, σε διαφορετικούς επεξεργαστές.

Στις επιχειρησιακές διαδικασίες υπάρχουν αρκετά στοιχεία που παραπέμπουν σε προσομοίωση με συμβάντα διακριτού χρόνου:

- Διακριτές μεταβάσεις από task σε task
- Εκτιμώμενος μέσος χρόνος επεξεργασίας task
- Συγκέντρωση αιτημάτων προς επεξεργασία σε ουρές

Επομένως, εδώ ασχολούμαστε με **δυναμικά, στοχαστικά** μοντέλα προσομοίωσης **διακριτών** συμβάντων που εκτελούνται **σειριακά**.

## Περιβάλλοντα Εκτέλεσης Προσομοίωσης

Η εκτέλεση προσομοίωσης σε υπολογιστή γίνεται με την εκτέλεση προγράμματος το οποίο υλοποιεί την αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος. Στη βασισμένη σε συμβάντα προσομοίωση, το πρόγραμμα παρακολουθεί και προωθεί το χρόνο προσομοίωσης, υπολογίζει το επόμενο συμβάν και μεταβάλλει αναλόγως τις μεταβλητές κατάστασης. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να είναι ειδικού σκοπού πρόγραμμα, κατασκευασμένο ώστε να υλοποιεί τον απαιτούμενο αλγόριθμο για ένα συγκεκριμένο σύστημα. Ωστόσο, με την ανάπτυξη και τη διάδοση της προσομοίωσης έχουν δημιουργηθεί πολλά περιβάλλοντα προσομοίωσης τα οποία διαχωρίζουν

την υλοποίηση του αλγορίθμου εκτέλεσης της προσομοίωσης από το μοντέλο του συγκεκριμένου, αλλά διαφορετικού κάθε φορά μοντέλου προσομοίωσης. Ο διαχωρισμός αυτός έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ο μηχανικός προσομοίωσης επικεντρώνει στα χαρακτηριστικά του μοντέλου και στις συνθήκες προσομοίωσης και όχι σε θέματα και δυσκολίες που αφορούν την υλοποίηση του προγράμματος προσομοίωσης.
- Ευνοείται η βελτιστοποίηση του προγράμματος εκτέλεσης της προσομοίωσης, αφού το ίδιο χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές προσομοίωσης σε διαφορετικά πεδία. Έτσι, αναδεικνύονται οι όποιες αδυναμίες και αντιμετωπίζονται, ενώ βελτιώνονται και θέματα απόδοσης και ακρίβειας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.
- Δίνεται η δυνατότητα γενικής υλοποίησης, δοκιμής και σύγκρισης στην πράξη διαφορετικών προσεγγίσεων προσομοίωσης σε διαφορετικά πεδία εφαρμογής. Επομένως, δεδομένων των πλεονεκτημάτων και της διάδοσης των περιβαλλόντων εκτέλεσης προσομοίωσης, αυτά αξιοποιούνται συνήθως στην πλειονότητα των γενικών περιπτώσεων, όπου απαιτείται προσομοίωση. Όταν υπάρχουν συγκεκριμένες και αυστηρές συνθήκες και απαιτήσεις για τον τρόπο, την ακρίβεια, την απόδοση και άλλες παραμέτρους της εκτέλεσης της προσομοίωσης (π.χ. στρατιωτικές/διαστημικές εφαρμογές ή συστήματα πραγματικού χρόνου), τότε μπορεί τα περιβάλλοντα εκτέλεσης προσομοίωσης να μην μπορούν να εγγυηθούν τις απαιτούμενες συνθήκες και να προκρίνεται η ανάπτυξη προγραμμάτων ειδικού σκοπού.

Ένα περιβάλλον εκτέλεσης προσομοίωσης συνήθως:

- υποστηρίζεται από μία θεωρητική προσέγγιση προσομοίωσης
- υλοποιεί τη θεωρητική προσέγγιση πλήρως ή με κάποιους περιορισμούς
- παρέχει μία ή περισσότερες γλώσσες ή σημειολογίες για τον ορισμό των μοντέλων προσομοίωσης
- παρέχει ένα ή περισσότερα περιβάλλοντα εκτέλεσης προσομοίωσης (προσομοιωτές), οι οποίοι μπορούν να αξιοποιούν έγκυρα μοντέλα προσομοίωσης

Η αναφερόμενη πολλαπλότητα στον τρόπο αναπαράστασης των μοντέλων προσομοίωσης του ίδιου πλαισίου προσομοίωσης, σε συνδυασμό με τους πολλούς και διαφορετικούς προσομοιωτές, εισάγει μία ασάφεια σχετικά με τις δυνατότητες του πλαισίου προσομοίωσης, ενώ δεν επιτρέπει τη δια-λειτουργικότητα μεταξύ των προσομοιωτών και περιορίζει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των μοντέλων προσομοίωσης. Για παράδειγμα, στο DEVS [4], υπάρχει ένα θεωρητικό υπόβαθρο, βασισμένο σε θεωρία συνόλων, αλλά πληθώρα προσομοιωτών, όπως DEVS-C++ [5], DEVS-Java [6], cell-DEVS [7], DEVS-RMI [8], XLSC [9]. Καθένας από τους παραπάνω προσομοιωτές έχει δική του γλώσσα περιγραφής μοντέλων συστημάτων (πρόγραμμα σε Java, C++ ή XML αναπαράσταση).

## Επίτευξη Προσομοίωσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Προσομοίωση επιχειρησιακών διαδικασιών είναι η πειραματική και ρεαλιστική εκτέλεση των μοντέλων προσομοίωσης, αντίστοιχων των ορισμών των πραγματικών (υλοποιημένων ή θεωρητικών) επιχειρησιακών διαδικασιών. Κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης, είναι δυνατή η παρατήρηση της εικονικής λειτουργίας και η καταγραφή μετρήσεων, χωρίς να γίνεται παραγωγή επιχειρησιακού αποτελέσματος. Για να εξασφαλιστεί η αντιστοιχία του μοντέλου προσομοίωσης με την επιχειρησιακή διαδικασία, θα πρέπει να έχει συμπεριφορά αντιπροσωπευτική ως προς την απόδοση και τις επιλογές ροής ελέγχου.

Για την επιτυχή υλοποίηση της προσομοίωσης επιχειρησιακών διαδικασιών θα πρέπει να ληφθούν μία σειρά από αποφάσεις:

- **Παραγωγή Μοντέλου Προσομοίωσης:** Στην προσομοίωση, η ακρίβεια και η πιστότητα του μοντέλου προσομοίωσης καθορίζει το βαθμό επιτυχίας της αξιοποίησής της. Ένα μοντέλο, που έχει οριστεί μερικώς ή με αποκλίσεις από το πραγματικό σύστημα είναι σίγουρο ότι θα οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα. Επομένως ένα από τα βασικά θέματα που θα μας απασχολήσουν είναι ο τρόπος παραγωγής/διαμόρφωσης των μοντέλων προσομοίωσης επιχειρησιακών διαδικασιών.
- **Επιλογή περιβάλλοντος εκτέλεσης προσομοίωσης:** Το περιβάλλον εκτέλεσης προσομοίωσης θα πρέπει να παρέχει τις απαραίτητες δυνατότητες μοντελοποίησης, τόσο σε επίπεδο δομής, όσο και σε επίπεδο συμπεριφοράς. Η συμβατότητα με τους υφιστάμενους ορισμούς επιχειρησιακών διαδικασιών θα πρέπει να ελέγχεται. Μία γενική και αφαιρετική συνάφεια μεταξύ του περιβάλλοντος εκτέλεσης και της γλώσσας ορισμού των επιχειρησιακών διαδικασιών είναι απαραίτητη. Ωστόσο, αν υπάρχει και συντακτική συμβατότητα, τότε η διαδικασία της προσομοίωσης μπορεί να αναβαθμιστεί σημαντικά σε όρους αυτοματοποίησης και αξιοπιστίας. Τέλος, άλλα, μη λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως η απαιτούμενη υποδομή (servers, λειτουργικά συστήματα) και ο τρόπος διεπαφής (π.χ. web user interface, παροχή web services) μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια επιλογής περιβάλλοντος εκτέλεσης προσομοίωσης.
- **Συλλογή και αξιοποίηση στοιχείων για επιμέρους στάδια της επιχειρησιακής διαδικασίας:** Η εκτέλεση της προσομοίωσης εξαρτάται από παραμέτρους που τίθενται σε επιμέρους συστατικά του συνολικού μοντέλου προσομοίωσης (π.χ. εκτιμώμενος χρόνος εκτέλεσης ενός σταδίου). Εφόσον, υπάρχουν αντίστοιχα στάδια σε υφιστάμενες επιχειρησιακές διαδικασίες, θα πρέπει να προσδιοριστεί ο τρόπος συγκέντρωσης και αξιοποίησης ιστορικών στοιχείων εκτέλεσης (π.χ. από το log file του Workflow Management System). Αν δεν υπάρχει διαθεσιμότητα αντίστοιχων στοιχείων, θα πρέπει να διεξαχθούν μελέτες σχετικά με:
  - Απόδοση βημάτων της διαδικασίας
  - Κόστος πόρων - εκτέλεσης επιμέρους ενεργειών
  - Συχνότητα εμφάνισης αιτήσεων/περιπτώσεων

Είναι εμφανές ότι η ενασχόληση με την προσομοίωση επιχειρησιακών διαδικασιών “επιβάλλει” μία τυπική αντιμετώπιση των επιχειρησιακών διαδικασιών ενός οργανισμού (μοντελοποίηση, καταγραφή στοιχείων εκτέλεσης, διεξαγωγή σχετικών μελετών).

### 3. Αναμενόμενα Οφέλη

Η προσομοίωση είναι μία επιστημονική μέθοδος, που εφαρμόζεται σε πολλά πεδία και με πολλούς τρόπους. Σε αυτή την ενότητα επιχειρείται η συγκέντρωση των αναμενόμενων ωφελειών που μπορεί να αποδώσει η Προσομοίωση στην περίπτωση της Τεχνολογίας Επιχειρησιακών Διαδικασιών.

#### Κατανόηση Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Μία βασική απαίτηση κατά την ανάπτυξη και επανεξέταση Επιχειρησιακών Διαδικασιών είναι η ουσιαστική και σε βάθος κατανόησή τους. Ο αφαιρετικός (περιγραφικός ή πιο τυπικός) ορισμός Επιχειρησιακών Διαδικασιών δεν επαρκεί πάντα για την επίτευξη ενός ικανοποιητικού επιπέδου κατανόησης τους από όλους τους εμπλεκόμενους (αναλυτές, στελέχη, υπαλλήλους). Σε αυτές τις περιπτώσεις η παρουσίαση της εκτέλεσης της εξεταζόμενης Επιχειρησιακής Διαδικασίας με Προσομοίωση, μπορεί να δράσει καταλυτικά.

Επίσης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η μελέτη των Επιχειρησιακών Διαδικασιών δεν γίνεται σε όρους κάποιου τυπικού τρόπου αναπαράστασης/μοντελοποίησής τους (π.χ. BPMN), η διαδικασία της παραγωγής εκτελέσιμου μοντέλου προσομοίωσης είναι πιθανό να αναδείξει σημεία και πτυχές της Επιχειρησιακής Διαδικασίας, που δεν είχαν εντοπιστεί ή δεν είχαν αναλυθεί επαρκώς.

## Εντοπισμός Προβλημάτων

Η Προσομοίωση παρέχει τη δυνατότητα παρατήρησης της “εικονικής” δυναμικής λειτουργίας μίας Επιχειρησιακής Διαδικασίας, που δεν υπάρχει ακόμα. Επομένως, μπορεί να εξυπηρετήσει στον εντοπισμό προβλημάτων, που δεν μπορούν να διαπιστωθούν από την στατιστική παρατήρηση του ορισμού της νέας διαδικασίας. Π.χ. μπορούν να εντοπιστούν τα βήματα, όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες καθυστερήσεις και επιβαρύνουν σημαντικά τη συνολική απόδοση της διαδικασίας (λογικό πρόβλημα). Επίσης, μπορούν να εντοπιστούν συντακτικά προβλήματα και λάθη εκ παραδρομής στον ορισμό της Επιχειρησιακής Διαδικασίας, π.χ. εντοπισμός βημάτων της διαδικασίας που δεν εκτελούνται (σχεδόν) ποτέ, ενώ κάτι τέτοιο δεν ήταν αναμενόμενο.

## Ποσοτικά Δεδομένα

Η Προσομοίωση μπορεί να οδηγήσει σε ποσοτική εκτίμηση της απόδοσης λειτουργίας μίας επιχειρησιακής διαδικασίας με ακρίβεια. Μπορούν να εξαχθούν στοιχεία, όπως (α) ο συνολικός χρόνος διεκπεραίωσης ενός αριθμού στιγμιοτύπων Επιχειρησιακής Διαδικασίας, (β) ο ελάχιστος/μέγιστος/μέσος χρόνος εκτέλεσης ενός στιγμιοτύπου και (γ) ο χρόνος αναμονής σε ουρές πριν την επεξεργασία στα βήματα της διαδικασίας.

Παράλληλα, μπορούν να αξιολογηθούν στοιχεία όπως το ποσοστό αξιοποίησης των δεσμευμένων πόρων για την εκτέλεση της διαδικασίας (resource utilization).

Επομένως, με την προσομοίωση καθίσταται εφικτή η αναλυτική και με ποσοτικά δεδομένα μελέτη της συμπεριφοράς και της απόδοσης της εφαρμογής μίας νέας διαδικασίας.

## Εκτίμηση Κόστους

Η ακριβής και με ποσοτικό τρόπο εκτίμηση των συνθηκών εκτέλεσης μίας Επιχειρησιακής Διαδικασίας, μέσω Προσομοίωσης, δίνει τη δυνατότητα ασφαλούς πρόβλεψης οικονομικών παραμέτρων και του κόστους. Έτσι, μπορούν να προκύψουν στοιχεία για το συνολικό κόστος λειτουργίας μίας Επιχειρησιακής Διαδικασίας, για την διεκπεραίωση ενός αριθμού υποθέσεων. Επίσης, μπορούν να εντοπιστούν περιπτώσεις ακριβών πόρων, οι οποίοι δεν αξιοποιούνται επειδή περιμένουν την ολοκλήρωση της επεξεργασίας των υποθέσεων από άλλους πόρους. Γενικά, η προσιτή πρόσβαση στα αποτελέσματα προσομοίωσης (σε σχέση με την παρατήρηση μίας υλοποιημένης πλέον Επιχειρησιακής Διαδικασίας) παρέχει υποστήριξη σε σημαντικές αποφάσεις σχετικά με τη δομή και το σχήμα επεξεργασίας των Επιχειρησιακών Διαδικασιών (π.χ. επιλογή αν πρέπει να αξιοποιηθούν περισσότεροι οικονομικοί πόροι ή λιγότεροι ακριβοί).

## Μελέτη Παραλλαγών Διαδικασίας

Με την προσομοίωση, η πρόσβαση σε ακριβείς εκτιμήσεις των δεδομένων λειτουργίας της εξεταζόμενης διαδικασίας είναι απλή. Αυτό καθιστά εφικτή και απλή τη συγκριτική μελέτη παραλλαγών μίας διαδικασίας. Για παράδειγμα, η επίπτωση της προσθήκης ενός βήματος



επεξεργασίας σε μία Επιχειρησιακή Διαδικασία μπορεί να είναι άμεσα διαθέσιμη και με τρόπο ποσοτικό.

## Βελτιστοποίηση Διαδικασιών

Έχοντας υπόψη τις παραπάνω επιμέρους αναμενόμενες ωφέλειες από την Προσομοίωση, μπορούν να αναγνωριστούν οι δυνατότητες ουσιαστικής και ποσοτικά προσδιοριζόμενης υποστήριξης της βελτιστοποίησης των Επιχειρησιακών Διαδικασιών. Τα κριτήρια θα πρέπει να έχουν προσδιοριστεί και η σειρά προτεραιότητάς τους να έχει καθοριστεί. Έτσι, μπορούν να εξεταστούν εναλλακτικές Διαδικασίες ως προς την ταχύτητα διεκπεραίωσης ή/και το κόστος επεξεργασίας. Τα παραγόμενα λεπτομερή αποτελέσματα προσομοίωσης μπορούν να αξιοποιηθούν από μεθοδολογίες και εργαλεία λογισμικού για τη βελτιστοποίηση διαδικασιών.

## Περιορισμός Κινδύνων BPR

Κατά το Business Process Reengineering (BPR), γίνονται μικρότερης ή μεγαλύτερης έκτασης μεταβολές στις Επιχειρησιακές Διαδικασίες. Κάποιες από τις αλλαγές που γίνονται στα πλαίσια ανανέωσης του τρόπου λειτουργίας ενός οργανισμού, μπορεί να εγκυμονούν κινδύνους για την αποδοτική και οικονομική λειτουργία του οργανισμού. Αυτές μπορούν να εντοπιστούν εγκαίρως και να αντιμετωπιστούν κατάλληλα. Επίσης, το συνολικό αποτέλεσμα της αναμόρφωσης των επιχειρησιακών διαδικασιών μπορεί να εξεταστεί από άποψη κόστους και απόδοσης με τρόπο ποσοτικό και ακριβή.

## Υψηλός Βαθμός Αξιοπιστίας

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση της Προσομοίωσης είναι ακριβή και αντιπροσωπευτικά της πραγματικής λειτουργίας της διαδικασίας. Αυτό εξασφαλίζεται κυρίως από (α) τη δυνατότητα επαρκούς προσέγγισης του μη ντετερμινιστικού χρόνου επεξεργασίας των βημάτων της επιχειρησιακής διαδικασίας, μέσω επιλογής κατάλληλων συναρτήσεων κατανομών πιθανοτήτων, και (β) το γεγονός ότι τα παραγόμενα αποτελέσματα είναι ποσοτικά κι επομένως μπορούν να ελεγχθούν με απόλυτο τρόπο και να οδηγήσουν σε αντικειμενική αξιολόγησή τους, καθώς και των παραμέτρων προσομοίωσης. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση ενός αντιπροσωπευτικού μοντέλου προσομοίωσης και η ενδεδειγμένη επιλογή των παραμέτρων καθορίζουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων, ενώ η ύπαρξη ψηφιακών μοντέλων των Επιχειρησιακών Διαδικασιών απλοποιεί και βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της Προσομοίωσης.

## Χαμηλό Κόστος Διερεύνησης

Η μελέτη Επιχειρησιακών Διαδικασιών με Προσομοίωση έχει χαμηλό κόστος, παρά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και τα λοιπά σημαντικά οφέλη που αποδίδει, ιδιαίτερα σε σύγκριση με πραγματική πειραματική λειτουργία μίας δοκιμαστικής, υπό εξέταση Επιχειρησιακής Διαδικασίας, όπου ο χρόνος και το κόστος οργάνωσης και λειτουργίας θα ήταν πολλαπλάσιο. Επίσης, κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης τα δεδομένα εκτέλεσης συγκεντρώνονται εξ αρχής και είναι άμεσα διαθέσιμα για επεξεργασία και αξιολόγηση. Τέλος, εκτός από το χαμηλό λειτουργικό κόστος της εκτέλεσης της Προσομοίωσης, πιο σημαντική είναι ίσως η προστασία του οργανισμού από επιπτώσεις στη φήμη του, καθώς οι όποιες δοκιμαστικές εκτελέσεις μοντέλων προσομοίωσης Επιχειρησιακών Διαδικασιών ατυχούς έμπνευσης αναγνωρίζονται εσωτερικά, προλαμβάνοντας την εξωτερική έκθεση.

## 4. Διαφορές Μοντέλων Επιχειρησιακών Διαδικασιών και Προσομοίωσης

Τα μοντέλα προσομοίωσης, που πρέπει να παραχθούν για την εκτέλεση της προσομοίωσης, βασίζονται στα μοντέλα επιχειρησιακών διαδικασιών σε μεγάλο βαθμό, αλλά έχουν και αρκετές διαφοροποιήσεις. Αυτό οφείλεται στο διαφορετική στόχευση. Τα μοντέλα επιχειρησιακών πρέπει να τις περιγράφουν με ακρίβεια ώστε να είναι σαφές τι θα έπρεπε να εκτελεστεί αν κάποιος επεξεργαστής αναλάμβανε μία διαδικασία σε ένα οποιοδήποτε στάδιο της. Αντίθετα, το εκτελέσιμο μοντέλο προσομοίωσης θα πρέπει να εκτελέσει ένα πλήθος περιπτώσεων διαδικασίας, αξιοποιώντας συγκεκριμένους πόρους και εκτιμώντας τον (μη ντετερμινιστικό) χρόνο ολοκλήρωσης κάθε σταδίου.

Συνοπτικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα μοντέλα ορισμού επιχειρησιακών διαδικασιών είναι:

- Εκφραστικά για να διευκολύνουν την ανάλυση
- Παραστατικά για το διαμοιρασμό της γνώσης
- Αντιπροσωπευτικά της διαδικασίας, σύμφωνα με τις προϋποθέσεις εκτέλεσης
- Εξαντλητικά στην περιγραφή δυνατών περιπτώσεων

Τα εκτελέσιμα μοντέλα προσομοίωσης επιχειρησιακών είναι:

- Εκτελέσιμα ως προς συγκεκριμένες όψεις
- Αντιπροσωπευτικά της διαδικασίας, σύμφωνα με τις συνθήκες εκτέλεσης
- Εξαντλητικά στην εξέταση περιπτώσεων εκτέλεσης

Έτσι, κάποιες λεπτομέρειες του μοντέλου επιχειρησιακής διαδικασίας μπορεί να μην μεταφέρονται στο μοντέλο προσομοίωσης, ενώ το μοντέλο προσομοίωσης πρέπει να εμπλουτιστεί με στοιχεία που αφορούν τις συνθήκες δυναμικής εκτέλεση της διαδικασίας δεν περιλαμβάνονται στο πρώτο.

Οι συνήθεις περιπτώσεις αναφέρονται ακολούθως:

- **Κατανομή Συμβάντων Έναρξης:** Η εκτέλεση ενός συνόλου περιπτώσεων μίας επιχειρησιακής διαδικασίας απαιτεί αρχικά τον προσδιορισμό του πόσο συχνά αναμένονται αιτήσεις έναρξης της διαδικασίας και με τη μοντέλο αφίξεων. Αυτό συνήθως ορίζεται με μία κατάλληλη συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων. Επίσης, απαιτείται να καθοριστεί είτε το συνολικό πλήθος των νέων αιτημάτων, είτε η διάρκεια εκτέλεσης (εικονικός χρόνος προσομοίωσης).
- **Διαθεσιμότητα πόρων (άνθρωποι, μηχανές):** Οι πραγματικά διαθέσιμοι πόροι για την εκτέλεση μίας διαδικασίας δεν αφορούν το γενικό μοντέλο επιχειρησιακής διαδικασίας και δεν θα έπρεπε, αφού ο ορισμός της διαδικασίας παραμένει αμετάβλητος, ανεξάρτητα από τις επιλογές για τους διαθέσιμους πόρους κατά τη διάρκεια λειτουργία της. Για την εκτέλεση της προσομοίωσης όμως, το πλήθος, το κόστος και ο χρονοπρογραμματισμός επεξεργασίας των πόρων (ανθρώπινο δυναμικό και υπολογιστές) πρέπει να έχουν προσδιοριστεί, ώστε να γίνουν οι πειραματικές αναθέσεις εργασίας και οι επεξεργασίες.
- **Διάρκεια και κόστος επεξεργασίας ενός βήματος:** Για τον υπολογισμό του χρόνου επεξεργασίας σε κάθε στάδιο της διαδικασίας (απασχόληση για τον πόρο και καθυστέρηση για τη διαδικασία), πρέπει να έχει καθοριστεί η αντίστοιχη κατανομή πιθανοτήτων για το χρόνο ολοκλήρωσης της επεξεργασίας. Και σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κατάλληλες συναρτήσεις κατανομών πιθανοτήτων. Παράλληλα, κάθε στάδιο της διαδικασίας, εκτός από το κόστος (λόγω απασχόλησης του πόρου) μπορεί να έχει και κάποιο πάγιο κόστος (π.χ. έξοδα αποστολής ταχυδρομικής επιστολής). Τέλος, μία παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη είναι ότι οι πόροι δεν αφιερώνονται πλήρως

σε μία επιχειρησιακή διαδικασία, επομένως η πραγματική τους διαθεσιμότητα μπορεί να είναι μικρότερη από τη θεωρητική.

- **Πιθανότητες επιλογής (gateways):** Σε αρκετά σημεία μίας επιχειρησιακής διαδικασίας υπάρχουν δύο ή περισσότερα εναλλακτικά επόμενα βήματα. Στο μοντέλο της επιχειρησιακής διαδικασίας δεν προσδιορίζεται πόσο πιθανό είναι να ακολουθήσει κάθε ένα από τα επόμενα βήματα, αφού στην πράξη αυτό θα καθορίζεται από το περιεχόμενο της κάθε περίπτωσης. Στην προσομοίωση όμως, όπου δεν υπάρχει επιχειρησιακό αποτέλεσμα και περιεχόμενο, πρέπει να προσδιορίζονται οι πιθανότητες να ακολουθηθεί ο κάθε κλάδος.

## Διαφορές BPMN - DES

Επικεντρώνοντας στις διαφορές των γλωσσών προσομοίωσης διακριτού χρόνου και της γλώσσας ορισμού επιχειρησιακών διαδικασιών BPMN, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η τελευταία:

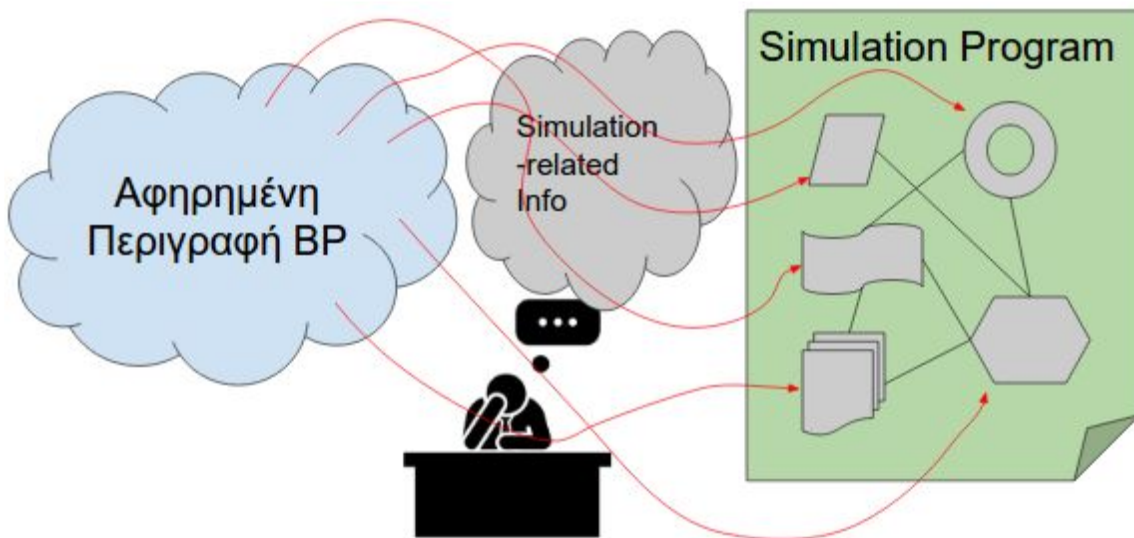
- δεν έχει την έννοια της ουράς (queue)
- δεν προβλέπει την ανάθεση προτεραιοτήτων, όταν υπάρχουν πολλά και διαφορετικού τύπου στάδια επεξεργασίας την ίδια χρονική στιγμή
- δεν λαμβάνει υπόψη το χρόνο μετάβασης από ένα βήμα στο επόμενο
- δεν παρέχει τη δυνατότητα απόδοσης πιθανότητα κάθε κλάδου μετά από σημείο επιλογής

## 5. Διαδικασία Παραγωγής Μοντέλων Προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα η παραγωγή του μοντέλου προσομοίωσης είναι από τα σημαντικότερα στάδια για την επίτευξη της εκτέλεσης της προσομοίωσης και εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες: τον τρόπο ορισμού των επιχειρησιακών διαδικασιών και τη γλώσσα ορισμού των μοντέλων προσομοίωσης. Αυτά επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό και τις δυνατότητες επιλογής μεθόδου/υποδομής μετάβασης (μετασχηματισμού) από τον ορισμό της επιχειρησιακής διαδικασίας στον ορισμό του μοντέλου προσομοίωσης, προσθέτοντας και την πρόσθετη απαιτούμενη πληροφορία. Στη συνέχεια περιγράφονται ορισμένα σχήματα τέτοιας μετάβασης.

### Αφηρημένες Περιγραφές Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Θεωρώντας ότι η επιχειρησιακή διαδικασία έχει οριστεί με τρόπο περιγραφικό και χαλαρό, υπάρχει πολύς δρόμος να διανυθεί μέχρι την παραγωγή εκτελέσιμου μοντέλου προσομοίωσης. Η ουσιαστική απουσία αυστηρών όρων μοντελοποίησης, δεν ευνοεί την ανάδειξη των σημαντικών εννοιών της επιχειρησιακής διαδικασίας και τη δομημένη αντιστοίχιση τους προς κατάλληλες έννοιες του μοντέλου προσομοίωσης. Επομένως, είναι αρκετά πιθανό να οδηγηθούμε σε σύνταξη προγράμματος προσομοίωσης, ύστερα από πολύ κόπο και με ασαφή τρόπο εισαγωγής των πρόσθετων απαιτούμενων πληροφοριών (βλ. σχήμα παρακάτω).

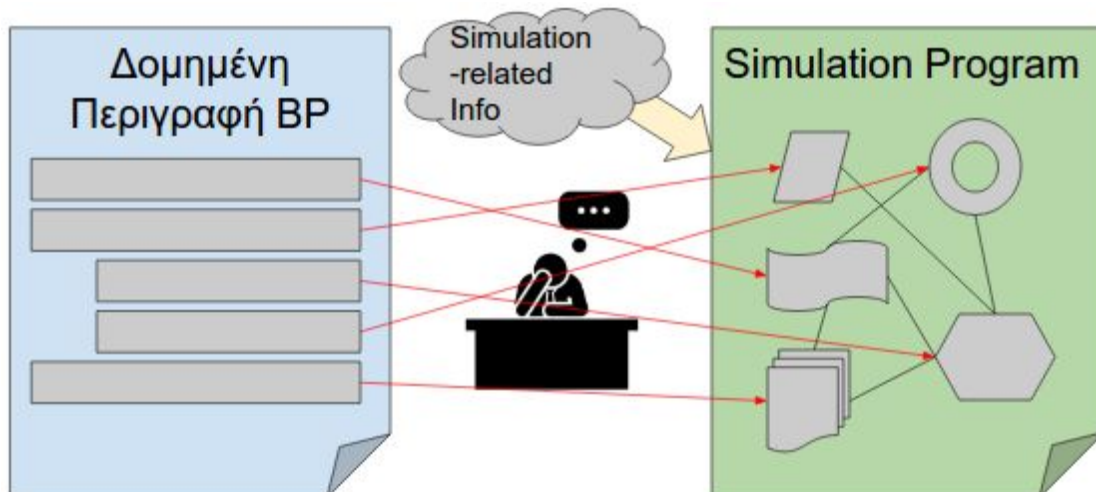


Έτσι οδηγούμαστε σε σύνθετα και ετερογενή προγράμματα προσομοίωσης, όπου η συντήρηση είναι δύσκολη και η διαδικασία αναπροσαρμογής, λόγω αλλαγής στον ορισμό της επιχειρησιακής διαδικασίας, δύσκολη. Επίσης, στην περίπτωση που, στα πλαίσια αναζήτησης καλύτερων εναλλακτικών, γίνουν δοκιμαστικές τροποποιήσεις στο πρόγραμμα προσομοίωσης, η αλλαγή αυτή δεν είναι εύκολο να μεταφερθεί αντίστροφα στον ορισμό της διαδικασίας.

Μία καλύτερη περίπτωση θα μπορούσε να είναι η χρήση πιο δομημένων μορφών αποτύπωσης μοντέλων προσομοίωσης επιχειρησιακών διαδικασιών. Αυτό θα μπορούσε να εξωθήσει τους αναλυτές στο να αναγνωρίσουν με έναν πιο τυποποιημένο τρόπο τα στοιχεία της επιχειρησιακής διαδικασίας, καλύπτοντας σε κάποιο βαθμό το έλλειμμα της πρωτογενούς πληροφορίας.

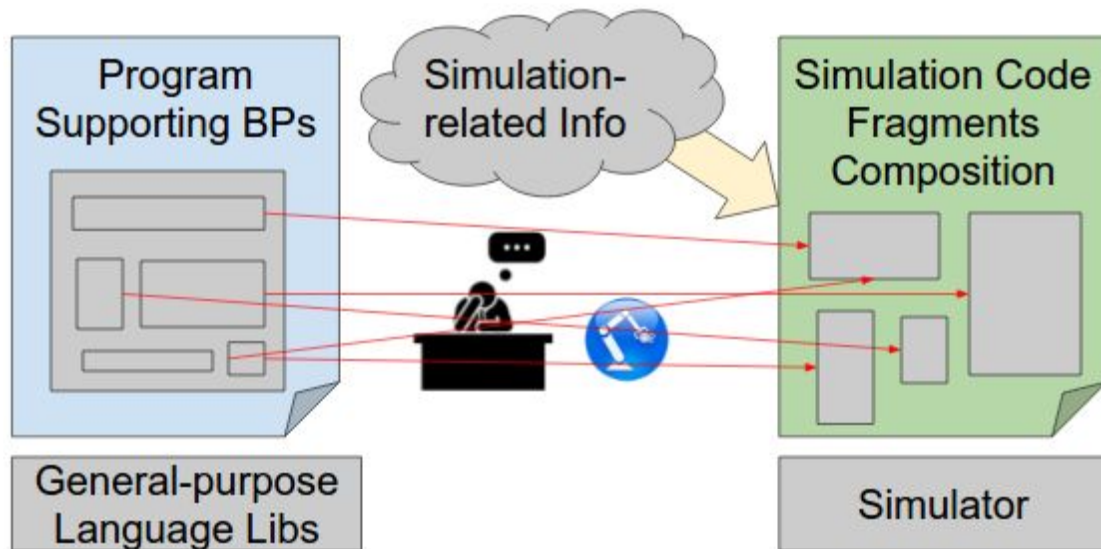
## Δομημένες Περιγραφές Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Η εκκίνηση από πιο δομημένες αποτυπώσεις επιχειρησιακών διαδικασιών εξυπηρετεί την αναγνώριση των δομικών στοιχείων και των διακριτών βημάτων, απλοποιώντας τη διαδικασία παραγωγής του προγράμματος προσομοίωσης, βάσει σαφών αντιστοιχίσεων. Το σχήμα που ακολουθεί αποτυπώνει μία τέτοια μορφή μετάβασης. Καθώς ο ορισμός των επιχειρησιακών διαδικασιών γίνεται με δομημένη λεκτική περιγραφή και όχι με κάποιο τυπικό τρόπο, η αυτοματοποίηση του μετασχηματισμού δεν είναι εφικτή.



## Προγράμματα που Υλοποιούν Επιχειρησιακές Διαδικασίες

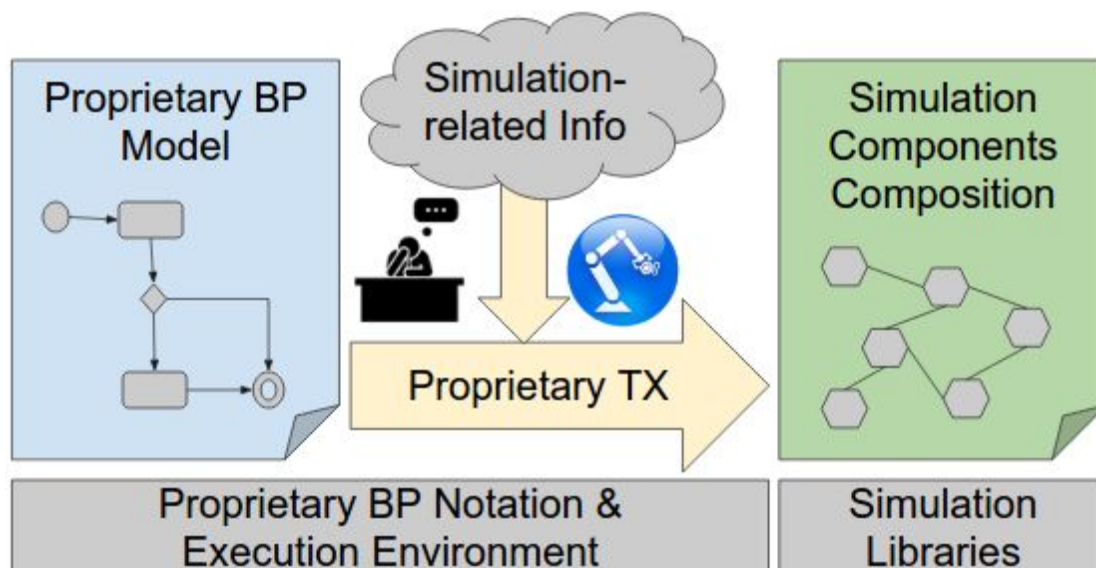
Στην περίπτωση όπου οι επιχειρησιακές διαδικασίες υποστηρίζονται από σχετικά προγράμματα, τότε υπάρχει η δυνατότητα αυτοματοποιημένης εξαγωγής πληροφορίας για τη δομή και τη συμπεριφορά της επιχειρησιακής διαδικασίας. Έτσι, μπορεί να υποστηριχθεί ημι-αυτοματοποιημένη παραγωγή του προγράμματος προσομοίωσης, ως δομημένη σύνθεση simulation components που είναι διαθέσιμα για αυτή τη χρήση. Αυτό αποτυπώνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Μία τέτοια προσέγγιση είναι εφικτή μόνο για υφιστάμενες και υποστηριζόμενες επιχειρησιακές διαδικασίες (π.χ. για δοκιμές της απόδοσης υπό μεγαλύτερο φόρτο ή με διαφορετική σύνθεση πόρων) και αποκλείονται οι περιπτώσεις νέων, υπό εξέταση επιχειρησιακών διαδικασιών.



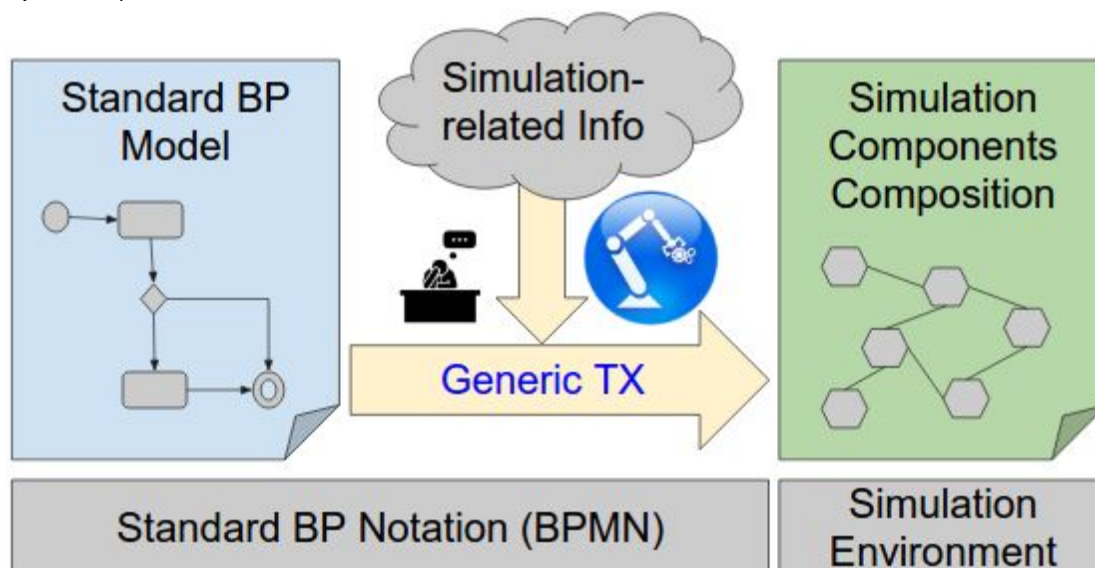
Η αξιοποίηση περιβάλλοντος εκτέλεσης προσομοίωσης παρέχει τη δυνατότητα το πρόγραμμα προσομοίωσης να διαμορφώνεται με σύνθεση και αρχικοποίηση simulation components, αντί για συγγραφή κώδικα χαμηλού επιπέδου.

## Υψηλού Επιπέδου Ορισμός Επιχειρησιακών Διαδικασιών

Εφόσον οι επιχειρησιακές διαδικασίες ορίζονται βάσει συγκεκριμένων, υψηλού επιπέδου προδιαγραφών, τότε η διαδικασία παραγωγής εκτελέσιμων μοντέλων προσομοίωσης μπορεί να αυτοματοποιηθεί σε μεγαλύτερο βαθμό και με πιο απλό τρόπο. Το μοντέλο της επιχειρησιακής διαδικασίας δεν απαιτείται να εξαχθεί από λεκτικές περιγραφές ή από κώδικα προγραμμάτων, που τις υποστηρίζουν. Είναι διαθέσιμο και μάλιστα σε υψηλού επιπέδου σημασιολογική αναπαράσταση, επιτρέποντας την επίτευξη της αντιστοίχισης σε εννοιολογικό επίπεδο, αλλά και την απλή υλοποίησή της με αξιοποίηση γλωσσών μετασχηματισμού υψηλού επιπέδου (βλ. σχήμα που ακολουθεί).



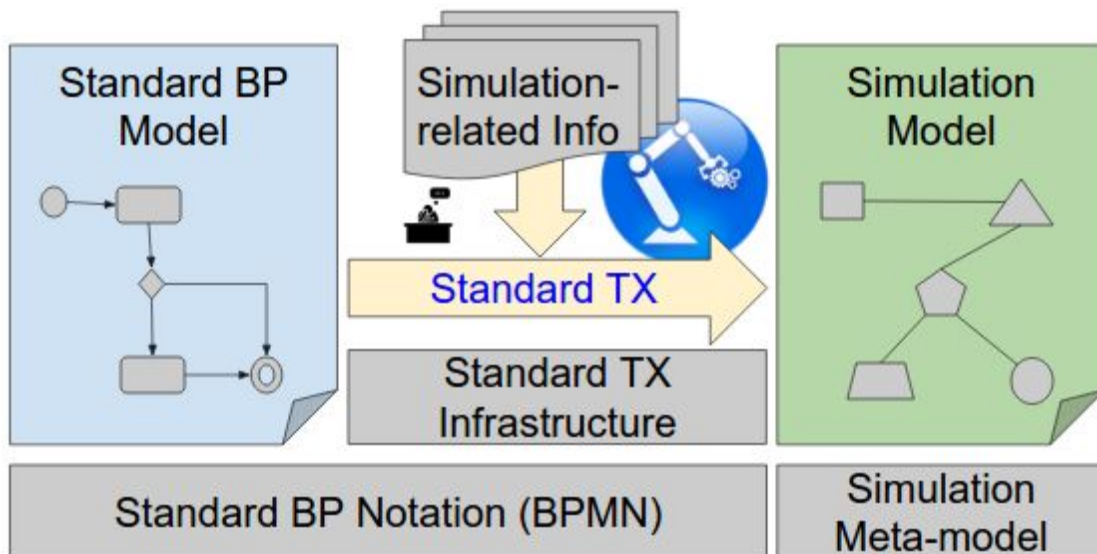
Αν η χρησιμοποιούμενη γλώσσα ορισμού επιχειρησιακών διαδικασιών είναι, εκτός από υψηλού επιπέδου, και πρότυπη (π.χ. BPMN), τότε οι υψηλού επιπέδου μετασχηματισμοί μπορούν να γενικευθούν και να είναι διαθέσιμοι σε κάθε εμπλεκόμενο, που ακολουθεί ή έχει συμβατότητα με το πρότυπο. Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί, τα περιθώρια αυτοματοποίησης μεγαλώνουν και η διαδικασία απλοποιείται, αφού πλέον υποστηρίζεται από μία ευρύτερη οικογένεια προϊόντων (συμβατών με το πρότυπο) και απευθύνεται σε ευρύτερο κοινό (όσοι θέλουν ή μπορούν να έχουν διαθέσιμα μοντέλα των επιχειρησιακών διαδικασιών, σύμφωνα με το πρότυπο).



## Μοντελοστρεφής Προσέγγιση

Υιοθετώντας μία μοντελοστρεφή προσέγγιση (model-driven approach), η διαδικασία παραγωγής του μοντέλου προάγεται σε ένα υψηλότερο επίπεδο. Το μοντέλο προσομοίωσης θεωρείται μία εκτελέσιμη παραλλαγή του βασικού μοντέλου της επιχειρησιακής διαδικασίας. Πλέον ο μετασχηματισμός δεν είναι μόνο γενικός, αλλά και ορισμένος με πρότυπες γλώσσες μετασχηματισμού, ως μετάβαση από το μετα-μοντέλο της BPMN στο μετα-μοντέλο του περιβάλλοντος προσομοίωσης, όπως παρουσιάζει και το σχήμα που ακολουθεί.





Με τη μοντελοστρεφή προσέγγιση υπάρχει ελευθερία επιλογής για το περιβάλλον σχεδιασμού και ορισμού των επιχειρησιακών διαδικασιών και το περιβάλλον εκτέλεσης της προσομοίωσης, αφού κυριαρχούν τα μετα-μοντέλα της BPMN και της προσομοίωσης, αντίστοιχα, επιτυγχάνοντας διαχωρισμό των θεμάτων του μετασχηματισμού από τα θέματα της αξιοποίησης κάθε μοντέλου (επιχειρησιακής διαδικασίας και προσομοίωσης) από αντίστοιχα εργαλεία. Παράλληλα οι μετασχηματισμοί διατηρούνται απλοί και επιτυγχάνεται μεγιστοποίηση της αυτοματοποίησης σε συνδυασμό με χαρακτηριστικά που ευνοούν τη διαλειτουργικότητα.

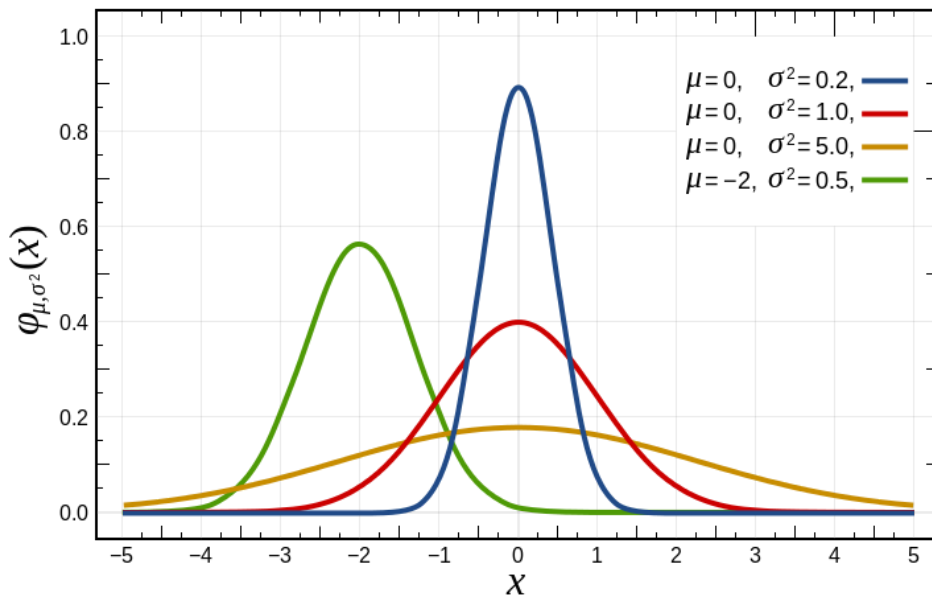
## 6. Επιλογή Συναρτήσεων Κατανομών Πιθανοτήτων

Όπως έχει αναφερθεί, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εξέταση της συνολικής συμπεριφοράς μίας επιχειρησιακής διαδικασίας με προσομοίωση, όταν χρόνος άφιξης των αιτημάτων και ο χρόνος επεξεργασίας σε κάθε στάδιο της διαδικασίας δεν είναι ντετερμινιστικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιλέγεται μία κατανομή πιθανοτήτων και οι απαιτούμενες παράμετροι για να χαρακτηρίσουν την αντίστοιχη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (probability density function - PDF). Η επιτυχία στην επιλογή κατανομή, αλλά και των παραμέτρων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων προσομοίωσης.

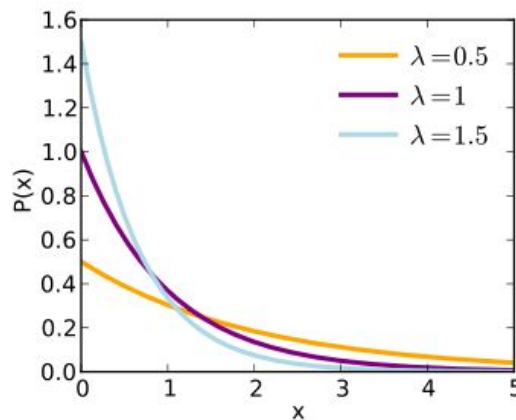
Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά κάποιες συνήθεις περιπτώσεις κατανομών.

### Κανονική-Normal (ή Gaussian) Κατανομή ή Καμπύλη Bell

Πρόκειται για μία πολύ σημαντική κατανομή στην στατιστική, που πολλές φορές χρησιμοποιείται για φυσικά ή κοινωνικά φαινόμενα για τα οποία δεν είναι γνωστή η ακριβής κατανομή των δειγμάτων, ως ασφαλής λύση. Η παράμετρος  $\mu$  εκφράζει το μέσο όρο των δειγμάτων, γύρω από τον οποίο υπάρχει και συγκέντρωση συμμετρικά. Η παράμετρος  $\sigma^2$  (variance) εκφράζει την ένταση της συγκέντρωσης γύρω από το μέσο.

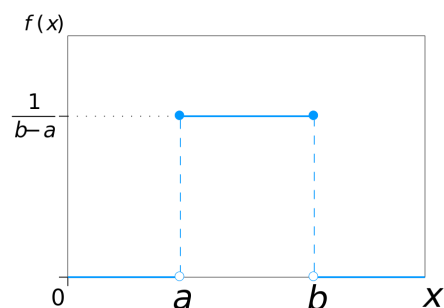


## Εκθετική Κατανομή



Οι τιμές της κατανομής αντιστοιχούν στο χρόνο ανάμεσα σε δείγματα μίας διαδικασίας Poisson, με ρυθμό άφιξης  $\lambda$  (δείγματα στη μονάδα του χρόνου). Επομένως, ο μέσος χρόνος είναι  $\lambda^{-1}$ . Καθώς υπάρχει αυξημένη πιθανότητα στις μικρές τιμές (μείωση με εκθετικό τρόπο), αναμένονται και λίγα δείγματα πολύ μεγάλων τιμών, ώστε να διατηρείται ο μέσος όρος.

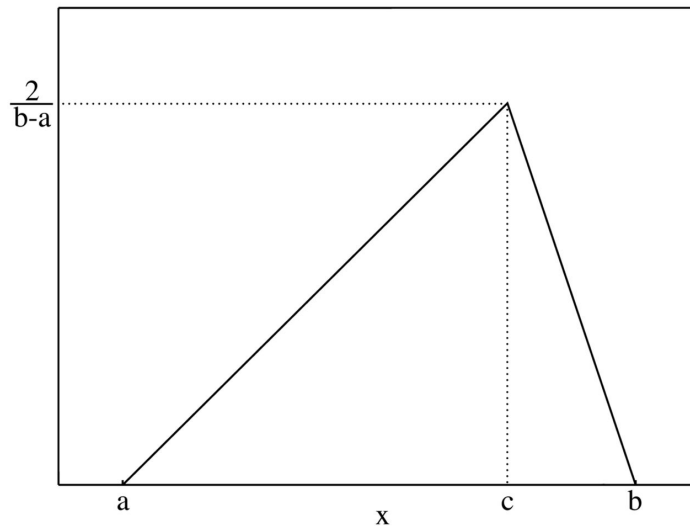
## Ομοιόμορφη-Uniform (Rectangular) Κατανομή



Χρησιμοποιείται όταν οι τιμές αναμένονται να είναι μεταξύ δύο τιμών/παραμέτρων ( $a$  και  $b$ ) με ίσες πιθανότητες. Ο μέσος είναι  $(a+b)/2$ .



## Τριγωνική-Triangular Κατανομή



Χρησιμοποιείται όταν οι τιμές αναμένονται να είναι μεταξύ δύο τιμών/παραμέτρων (a και b) με συγκέντρωση σε μία τρίτη τιμή (c).

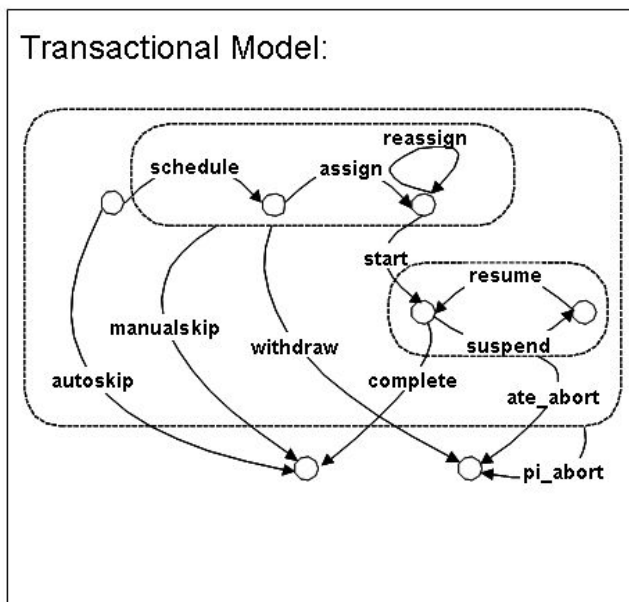
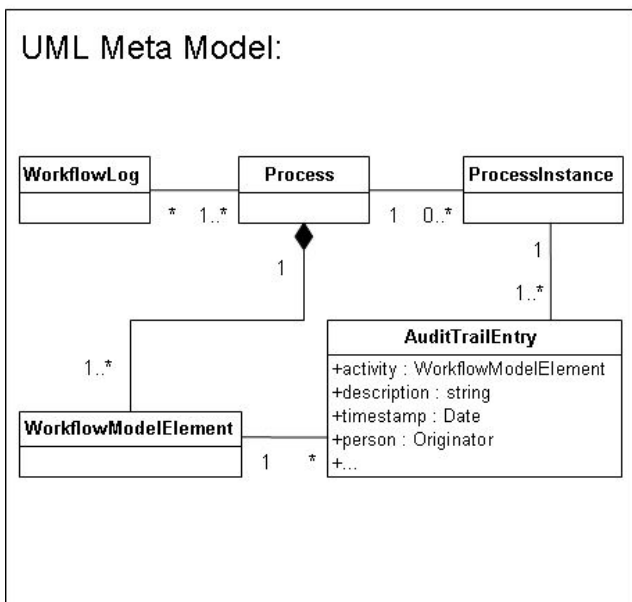
## 7. Αξιοποίηση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

### Καταγραφή Αναλυτικών Στοιχείων Εκτέλεσης

Κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης καταγράφονται τα αναλυτικά δεδομένα εκτέλεσης, όπως η ώρα έναρξης επεξεργασίας κάθε σταδίου, ο πόρος που ασχολείται με την επεξεργασία, η διάρκεια επεξεργασίας κ.ο.κ. Συχνά για την καταγραφή των στοιχείων αυτών αξιοποιείται το Mining eXtensible Markup Language (MXML), που είναι μία πρότυπη γλώσσα για την καταγραφή στοιχείων εκτέλεσης επιχειρησιακών διαδικασιών.

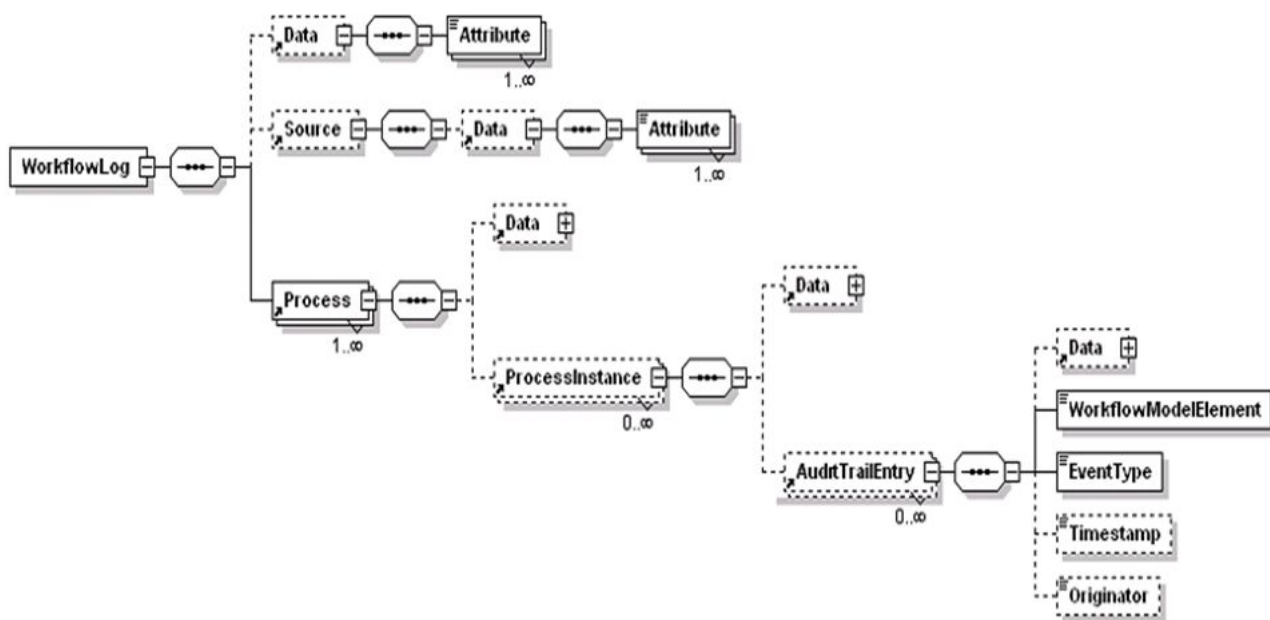
Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται το UML μετα-μοντέλο και το transactional model της MXML. Από το πρώτο φαίνεται ότι ένα WorkflowLog περιέχει στοιχεία για πολλά AuditTrailEvents τα οποία συμβαίνουν για κάποιο στιγμιότυπο (ProcessInstance), που βρίσκεται σε ένα στάδιο επεξεργασίας (WorkflowModelElement) ενός Process. Το transactional model παρέχει μία συνοπτική αναπαράσταση των υποστηριζόμενων γεγονότων (events) και των επιπτώσεων στην κατάσταση επεξεργασίας ενός process instance.

# Process Mining Meta Model



Η μορφή των αρχείων τύπου MXML παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

## Log File Format MXML



Ένα παράδειγμα περιεχομένων ενός MXML αρχείου είναι το ακόλουθο:

```

<Source program="com.bimpsimulator"/>
<Process id="in_7010885841502710777.bpmn">
  <ProcessInstance id="503">
    <Data>
      <Attribute name="LogType">MXML.EnactmentLog</Attribute>
    </Data>
    <AuditTrailEntry>
      <WorkflowModelElement>Παραλαβή Αίτησης & Δικαιολογητικών</WorkflowModelElement>
      <EventType>assign</EventType>
      <Timestamp>2016-11-16T11:05:03.731+00:00</Timestamp>
    </AuditTrailEntry>
  </ProcessInstance>
</Process>
</Source>
  
```

```
</WorkflowModelElement>  
<EventType>complete</EventType>  
<Timestamp>2016-11-16T11:05:04.731+00:00</Timestamp>  
</AuditTrailEntry>
```

## Επεξεργασία Αναλυτικών Στοιχείων

Έχοντας διαθέσιμα τα πλήρη αναλυτικά στοιχεία εκτέλεσης, είναι δυνατή η στατιστική τους επεξεργασία και η εξαγωγή συγκεντρωτικών τιμών (π.χ. ελάχιστος, μέγιστος, μέσος, τυπική απόκλιση) για διάφορα στοιχεία της επιχειρησιακής διαδικασίας (π.χ. συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης ενός process instance, χρόνος αναμονής για επεξεργασία, χρόνος εκτέλεσης ενός σταδίου επεξεργασίας).

Επίσης, με τη συνδυαστική εξέταση διαφορετικών στοιχείων μπορούν να προκύψουν χρήσιμες πληροφορίες για την εκτέλεση μίας διαδικασίας. Π.χ. συνδυάζοντας τη διάρκεια επεξεργασίας σε ένα στάδιο της διαδικασίας με το κόστος του πόρου ανά ώρα, μπορεί να εκτιμηθεί το κόστος αυτού του σταδίου. Έτσι, μπορεί να διαμορφωθεί ένα ολοκληρωμένο προφίλ απόδοσης και κόστους.

Τα αναλυτικά ή και τα συγκεντρωτικά στοιχεία μπορεί να αναδείξουν προβληματικά σημεία στον ορισμό μίας επιχειρησιακής διαδικασίας ή στις επιλογές διαθέσιμων πόρων. Η ακριβής γνώση των προβληματικών σημείων μπορεί να διευκολύνει την διαδικασία ανεύρεσης βελτιωτικών τροποποιήσεων.

## Αναφορές

- [1] Γ.-Δ. Κάπος, “Μία μοντελοστρεφής προσέγγιση για την αυτοματοποίηση της προσομοίωσης SysML μοντέλων συστημάτων”, Διδακτορική Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Σχολή Ψηφιακής Τεχνολογίας. Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεματικής, 2016.  
<http://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/38874>
- [2] J. Banks, J. Carson, B. Nelson, and D. Nicol, Discrete-event system simulation, 5th ed. Prentice Hall, 2010.
- [3] A. Law, Simulation modeling and analysis, 4th ed., ser. McGraw-Hill series in industrial engineering and management science. McGraw-Hill, 2006.
- [4] B. P. Zeigler, H. Praehofer, and T. Kim, Theory of Modeling and Simulation, 2nd ed. Academic Press, 2000.
- [5] B. P. Zeigler, Y. Moon, D. Kim, and J. G. Kim, “DEVS-C++: A high performance modelling and simulation environment.” in HICSS (1), 1996, pp. 350–359. [Online]. Available: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/hicss/hicss1996-1.html#ZeiglerMKK96>
- [6] B. P. Zeigler and H. S. Sarjoughian, Introduction to DEVS Modeling and Simulation with JAVA. DEVSJAVA Manual, 2003.
- [7] G. A. Wainer and N. Giambiasi, Timed Cell-DEVS: modelling and simulation of cell spaces. Springer-Verlag: H. Sarjoughian, F. Cellier Eds., 2001, ch. 10. [Online]. Available: <http://cell-devs.sce.carleton.ca/publications/2001/WG01b>
- [8] M. Zhang, B. P. Zeigler, and P. Hammonds, “DEVS/RMI-an auto-adaptive and reconfigurable distributed simulation environment for engineering studies,” International Test and Evaluation Association Journal, vol. 27, no. 1, pp. 49–60, 2005.
- [9] N. Meseth, P. Kirchhof, and T. Witte, “XML-based DEVS modeling and interpretation,” in SpringSim '09: Proceedings of the 2009 Spring Simulation Multiconference. San Diego, CA, USA: Society for Computer Simulation International, 2009, pp. 1–9.