

Ατομική Διπλωματική Εργασία

ΑΕS C : ΜΙΑ ΑΛΓΕΒΡΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΟΡΩΝ

Φωτεινή Ιωάννου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2012

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**AES C : Μια άλγεβρα διεργασιών για την μοντελοποίηση
και ανάλυση συστημάτων διαχείρισης πόρων**

Φωτεινή Ιωάννου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Άννα Φιλίππου

**Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του**

Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2012

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Άννα Φιλίππου αρχικά για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου για την διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Την ευχαριστώ επίσης για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και την βοήθεια που μου παρείχε όχι μόνο κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου αλλά και για τα τέσσερα χρόνια φοίτησης μου στο Πανεπιστήμιο.

Ευχαριστώ επίσης τους φίλους και συμφοιτητές μου Θεόφιλο Φωκά και Κυριάκο Πέτρου για όλη την βοήθεια που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια και κυρίως για την εμψύωση που μου έδιναν σε δύσκολες στιγμές.

Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για την υπομονή που έκαναν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και για την στήριξη που μου παρείχαν σε καθοριστικές φάσεις της ζωής μου.

Π ε ρ ί λ η ψ η

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την ανάλυση και μοντελοποίηση συστημάτων στα οποία ένα σύνολο από χρήστες διαμοιράζονται μεταξύ τους ένα σύνολο από πόρους. Η εργασία αντλεί την έμπνευσή της από συστήματα διαχείρισης ενέργειας.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι η δημιουργία ενός προτύπου άλγεβρας διεργασιών για την μελέτη και την ανάλυση ενός συστήματος παραγωγής και διανομής ενέργειας. Μέσω του προτύπου αυτού επιδιώκουμε την μοντελοποίηση του φαινομένου ζήτησης ενέργειας από ένα σύνολο οργανισμών και της κατάλληλης παροχής της από ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας.

Η άλγεβρα διεργασιών που προτείνουμε, η AESC (Algebra for Energy Supply and Consumption), αποτελεί μια χρονική άλγεβρα διεργασιών. Η AESC βασίζεται στην άλγεβρα διεργασιών PADS η οποία αποτελεί μια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση ζήτησης και προμήθειας πόρων από τις διεργασίες ενός υπολογιστικού συστήματος. Όπως και στην PADS, η AESC (Algebra for Energy Supply and Consumption), συνδυάζει τις έννοιες των πόρων και της ελεγχόμενης πρόσβασης σε αυτούς μέσω της έννοιας της προτεραιότητας. Η καινοτομία της AESC βρίσκεται στο γεγονός ότι οι δυνατές ενέργειες στην AESC συσχετίζονται κάθε παροχή πόρου με τη διαθέσιμη ποσότητα του πόρου αυτού και κάθε αιτήματος με την ποσότητα που αιτείται ο χρήστης.

Αφού υλοποιήσαμε την επέκταση αυτή στο επίπεδο της σημασιολογίας της γλώσσας, αναπτύξαμε τη θεωρία της AESC στις πιο κάτω κατευθύνσεις:

- Ορίσαμε δύο εναλλακτικές διατυπώσεις της έννοιας του χρονοπρογραμματισμού οι οποίες εκφράζουν πότε ένα σύνολο από εργασίες ικανοποιούνται από μια διεργασία η οποία παρέχει ενέργεια.
- Ορίσαμε την έννοια του υπολοίπου ενέργειας, $\text{remainder}(S,T)$, η οποία εκφράζει ως μια διεργασία της AESC την ενέργεια που απομένει σε ένα σύστημα αφού ικανοποιηθούν τα αιτήματα των χρηστών T . Επίσης, αποδείξαμε ότι δύο εργασίες T_1 και T_2 είναι χρονοπρογραμματίσιμες από την παροχή ενέργειας S , αν και μόνο η T_1 είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την S και η T_2 είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την $\text{remainder}(S,T_1)$.

Π ε ρ ι ε χ ό μ ε ν α

Κ ε φ ά λ α ι ο 1 Ε ι σ α γ ω γ ή	1
1.1 Β α σ ι κ ό υ π ό β α θ ρ ο	1
1.2 Κ ί ν η τ ρ ο	2
1.3 Σ κ ο π ό ς δ ι π λ ω μ α τ ι κ ή ς ε ρ γ α σ ί α ς	2
1.4 Δ ο μ ή τ η ς δ ι π λ ω μ α τ ι κ ή ς ε ρ γ α σ ί α ς	4
 Κ ε φ ά λ α ι ο 2 Α ν α ν ε ώ σ ι μ ε ς π η γ έ ς ε ν έ ρ γ ε ι α ς	5
2.1 Π ε ρ ι γ ρ α φ ή	5
2.2 Ε ί δ η α ν α ν ε ώ σ ι μ ω ν π η γ ώ ν ε ν έ ρ γ ε ι α ς	6
2.2.1 Η λ ι α κ ή ε ν έ ρ γ ε ι α	6
2.2.2 Α ι ο λ ι κ ή ε ν έ ρ γ ε ι α	7
2.2.3 Υ δ ρ ο η λ ε κ τ ρ ι κ ή ε ν έ ρ γ ε ι α	8
2.2.4 Π α λ ι ρ ρ ο ι κ ή ε ν έ ρ γ ε ι α	8
2.2.5 Γ ε ω θ ε ρ μ ι κ ή ε ν έ ρ γ ε ι α	9
2.2.6 Β ι ο μ ά ζ α	10
2.2.7 Υ δ ρ ο γ ό ν ο	10
2.3 Μ ο ν τ έ λ α α ν ά λ υ σ η ς ε ν έ ρ γ ε ι α ς	11
2.3.1 Τ ο μ ο ν τ έ λ ο π ρ ο σ ο μ ο ί ω σ η ς E n e r g y P L A N	11
2.3.2 Τ ο μ ο ν τ έ λ ο π ρ ο σ ο μ ο ί ω σ η ς H ₂ R E S	15
2.3.3 Σ ύ γ κ ρ ι σ η μ ο ν τ έ λ ω ν E n e r g y P L A N κ α ι H ₂ R E S	17
2.4 Α π α ι τ ή σ ε ι ς σ υ σ τ ή μ α τ ο ς κ α τ α ν ο μ ή ς ε ν έ ρ γ ε ι α ς	19
2.5 Σ υ σ τ ή μ α τ α κ α τ α ν ο μ ή ς ε ν έ ρ γ ε ι α ς κ α ι ά λ γ ε β ρ ε ς δ ι ε ρ γ α σ ι ώ ν	20
 Κ ε φ ά λ α ι ο 3 Α λ γ ε β ρ ε ς δ ι ε ρ γ α σ ι ώ ν	22
3.1 Π ε ρ ι γ ρ α φ ή	22
3.2 Ι σ τ ο ρ ι κ ή α ν α δ ρ ο μ ή	24
3.3 Β α σ ι κ ο ί τ ε λ ε σ τ έ ς	25
3.4 Σ η μ α σ ι ο λ ο γ ί α	27
3.5 Η ά λ γ ε β ρ α δ ι ε ρ γ α σ ι ώ ν A C S R	28
3.5.1 Π ε ρ ι γ ρ α φ ή	28
3.5.2 Γ λ ώ σ σ α	29
3.5.3 Σ ύ ν τ α ξ η	29
3.5.4 Σ η μ α σ ι ο λ ο γ ί α	30
3.6 Η ά λ γ ε β ρ α δ ι ε ρ γ α σ ι ώ ν P A D S	31

3.6.1 Περιγραφή	31
3.6.2 Γλώσσα	32
3.6.3 Σύνταξη	33
3.6.4 Σημασιολογία	34
Κεφάλαιο 4 Άλγεβρα διεργασιών AESC	37
4.1 Περιγραφή	37
4.2 Γλώσσα συστήματος AESC	38
4.3 Σύνταξη	41
4.4 Σημασιολογία	42
Κεφάλαιο 5 Χρονοπρογραμματισμός	53
5.1 Περιγραφή	53
5.2 Ορισμοί Χρονοπρογραμματισμού	54
5.2.1 Διαισθητικός ορισμός	54
5.2.2 Σχέση προμήθειας	55
5.2.3 Απόδειξη ισοδυναμίας	59
5.3 Υπόλοιπο προμήθειας	60
5.4 Ταυτόχρονη εξυπηρέτηση δύο εργασιών από μια προμήθεια	64
5.5 Σημασία υπολοίπου προμήθειας	67
Κεφάλαιο 6 Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις	68
6.1 Γενικά συμπεράσματα	68
6.2 Μελλοντική εργασία	70
Βιβλιογραφία	72

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Βασικό υπόβαθρο	1
1.2 Κίνητρο	2
1.3 Σκοπός διπλωματικής εργασίας	2
1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας	4

1.1 Βασικό υπόβαθρο

Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει γίνει ένας από τους σημαντικότερους στόχους σε πολλές χώρες του πλανήτη [9]. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξασφαλίζουν μια βιώσιμη και καθαρή προσέγγιση για την παραγωγή ενέργειας. Ο κυριότερος λόγος όμως για την στροφή αυτή είναι η δραματική μείωση των ορυκτών πόρων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Δυστυχώς όμως σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορούμε να βασιστούμε μόνο στις ανανεώσιμες πηγές για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό μιας χώρας. Το κυριότερο πρόβλημα από την χρήση των ανανεώσιμων πηγών πηγάζει από τις διαφορές διακυμάνσεις στην παραγωγή ενέργειας που μπορούν να προκύψουν κατά την διάρκεια της ημέρας ανάλογα με την διαθεσιμότητα των πηγών που μπορεί να υπάρξει. Υπάρχουν έτσι περιπτώσεις όπου υπάρχει υπερπαραγωγή ενέργειας δηλαδή παραγωγή περισσότερης ενέργειας από ότι είναι η κατανάλωση την δεδομένη χρονική στιγμή και υπάρχουν περιπτώσεις όπου συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή έλλειψη πηγών που οδηγεί στην έλλειψη παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Επομένως η συνολική παραγωγή ενέργειας θα πρέπει να αποτελεί συνδυασμό τόσο χρήσης ανανεώσιμων όσο και ορυκτών πηγών.

1.2 Κίνητρο

Η σωστή διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας τόσο από την χρήση ανανεώσιμων πηγών όσο και από την χρήση των ορυκτών αποτελεί καταλυτικό παράγοντα στην ομαλή λειτουργία μιας περιοχής. Αυτό απαιτεί την εισαγωγή καινοτόμων μεθόδων για τον έλεγχο και την διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας. Ο κύριος στόχος των μεθόδων αυτών είναι η συνεχής ταύτιση παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [5] με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Επομένως η μεγάλη πρόκληση είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο θα είναι σε θέση να διαχειρίζεται τις αιτήσεις για ενέργεια. Για να μπορέσει να το κάνει αυτό θα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζεται τους χρονικούς περιορισμούς των αιτήσεων, τυχόν προτεραιότητες που έχουν και να προμηθεύει την αποθηκευμένη του ενέργεια με τον βέλτιστο τρόπο ικανοποιώντας ταυτόχρονα όσο το δυνατόν περισσότερες αιτήσεις.

1.3 Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό την δημιουργία και μελέτη ενός προτύπου άλγεβρας διεργασιών για την μοντελοποίηση της ζήτησης και προμήθειας ενέργειας. Η μοντελοποίηση αυτή προσομοιώνει την λειτουργία ενός συστήματος διαμοίρασης ενέργειας. Συγκεκριμένα μοντελοποιούμε τις αιτήσεις για ενέργεια που γίνονται από διάφορες ομάδες (εταιρίες, οργανισμοί, οικίες, ξενοδοχεία κτλ) και ορίζουμε πως αυτές μπορούν να χρονοπρογραμματιστούν από ένα σύστημα κατανομής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Το πρότυπο αυτό βασίζεται σε μια σειρά από άλγεβρες διεργασιών που έχουν αναπτυχθεί προηγούμενος για να περιγράψουν και να αναλύσουν διάφορες πλευρές της επικοινωνίας πραγματικού χρόνου.

Η μοντελοποίηση της ζήτησης και προμήθειας ενέργειας δεν μπορεί να γίνει μέσω υπαρχουσών λύσεων. Αυτό γιατί αρχικά άλγεβρες όπως η CCS, ACP και CSP οι οποίες ήταν και οι πρώτες άλγεβρες οι οποίες δημιουργήθηκαν δεν είναι χρονικές άλγεβρες και επομένως δεν περιέχουν στην σημασιολογία τους την έννοια του χρόνου. Ο χρόνος είναι πολύ σημαντικός σε ένα σύστημα κατανομής ενέργειας επομένως η άλγεβρα μας θα πρέπει να είναι σε θέση να τον συλλαμβάνει. Εκτός αυτού όμως οι

άλγεβρες που αναφέρουμε πιο πάνω χαρακτηρίζονται μόνο από ενέργειες που δηλώνονται από λέξεις ή γράμματα (a,b, κτλ) και επομένως δεν μπορούν να συλλάβουν την έννοια της προτεραιότητας των οργανισμών που ζητούν ενέργεια ή της χωρητικότητας των πόρων που προσφέρει το σύστημα. Οι δύο αυτές έννοιες είναι αναγκαίες για την ανάλυση ενός συστήματος διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας και επομένως θα πρέπει να συλλαμβάνονται μέσω της άλγεβρας διεργασιών.

Ακολουθώντας όσον αφορά τις χρονικές άλγεβρες τις οποίες μελετήσαμε, ACSR και PADS, και πάλι δεν ήμαστε σε θέση να τις χρησιμοποιήσουμε για την ανάλυση ενός συστήματος διαχείρισης πόρων. Το πιο σημαντικό στοιχείο που δεν περιέχουν οι άλγεβρες αυτές και επομένως δεν τις καθιστά κατάλληλες για ανάλυση ενός τέτοιου συστήματος είναι το γεγονός ότι ενώ ασχολούνται με διαμοίραση πόρων δεν περιέχουν την έννοια της χωρητικότητας ενέργειας που θέλουμε να υπάρχει σε αυτούς. Επίσης ακολουθούν μια άπληστη τακτική όσον αφορά την σχέση προτεραιότητας μεταξύ των εργασιών. Δηλαδή οι άλγεβρες αυτές προσπαθούν να ικανοποιήσουν όσο το δυνατό περισσότερες αιτήσεις. Λόγω του ότι λαμβάνουμε υπόψη μας την εξοικονόμηση ενέργειας θα θέλαμε μια νέα άλγεβρα διεργασιών η οποία να προσπαθεί να εξοικονομεί ενέργεια καθώς διαχειρίζεται τα αιτήματα.

Συνεχίζοντας όσον αφορά την άλγεβρα διεργασιών ACSR, η άλγεβρα αυτή επιτρέπει την ύπαρξη στιγμιαίων γεγονότων τα οποία δεν καταναλώνουν χρόνο. Εμείς θα θέλαμε να έχουμε μια άλγεβρα διεργασιών στην οποία κάθε γεγονός (ενέργεια) να καταναλώνει χρόνο. Επίσης η άλγεβρα διεργασιών ACSR περιλαμβάνει ένα τελεστή κλειστότητας μέσω του οποίου δίνεται η δυνατότητα σε μια εργασία να μονοπωλήσει τους πόρους. Κάτι τέτοιο δεν θέλουμε να είναι εφικτό σε ένα σύστημα διαμοίρασης πόρων αφού θα πρέπει να χειρίζεται τις αιτήσεις για ενέργεια και να τις διαμοιράζει όσο το δυνατό σε περισσότερες εργασίες.

Τέλος όσον αφορά την άλγεβρα διεργασιών PADS, επιτρέπει την εμφάνιση αδιεξόδου στο σύστημα που συμβολίζει την μη ομαλή λειτουργία του. Αντίθετα εμείς θα θέλαμε να μην έχουμε να αντιμετωπίζουμε τυχόν αδιέξοδο του συστήματος αφού κάτι τέτοιο θα σήμαινε και μπλοκάρισμα σε ολόκληρη περιοχή η οποία παίρνει ενέργεια από το εν λόγω σύστημα.

Πρόσφατα έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις για διαμοίραση πόρων κάνοντας χρήση θεωρίας χρονοπρογραμματισμού πραγματικού χρόνου. Παρόλα αυτά οι προσεγγίσεις αυτές είναι περιορισμένες ως προς την εκφραστικότητα τους στο γεγονός ότι ενώ είναι ικανές να περιγράψουν την αίτηση πόρων από τις διεργασίες δεν μπορούν να μοντελοποιήσουν την προμήθεια των πόρων [12]. Μέσω της άλγεβρας AESC παρουσιάζουμε ένα πρότυπο το οποίο χειρίζεται τόσο την αίτηση όσο και την προμήθεια της ενέργειας και είναι εμπνευσμένο από την άλγεβρα διεργασιών PADS.

1.4 Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η υπόλοιπη εργασία είναι δομημένη ως ακολούθως. Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια περίληψη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επίσης γίνεται μια σύγκριση μεταξύ δύο μοντέλων προσομοίωσης χρήσης ανανεώσιμων πηγών, του μοντέλου EnergyPLAN και του μοντέλου H₂RES. Ακολούθως καταγράφονται οι γενικές απαιτήσεις των συστημάτων κατανομής ενέργειας και γίνεται μια αναφορά στο πως οι άλγεβρες διεργασιών μπορούν να μοντελοποιήσουν τις απαιτήσεις αυτές. Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια αναφορά στις άλγεβρες διεργασιών και περιγραφή των αλγεβρών διεργασιών ACSR και PADS η οποία αποτέλεσε και το κύριο σημείο αναφοράς της άλγεβρας διεργασιών που δημιουργήθηκε. Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται μια παρουσίαση της νέας άλγεβρας διεργασιών που αναπτύξαμε, την AESC (Algebra for Energy Supply and Consumption), καθώς και της σημασιολογίας της. Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μας όσον αφορά θέματα χρονοπρογραμματισμού του συστήματος. Τέλος το Κεφάλαιο 6 παρουσιάζει τα συμπεράσματα μας και την μελλοντική δουλειά.

Κεφάλαιο 2

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.1 Περιγραφή	5
2.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	6
2.2.1 Ηλιακή ενέργεια	6
2.2.2 Αιολική ενέργεια	7
2.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια	8
2.2.4 Παλιρροϊκή ενέργεια	8
2.2.5 Γεωθερμική ενέργεια	9
2.2.6 Βιομάζα	10
2.2.7 Υδρογόνο	10
2.3 Μοντέλα ανάλυσης ενέργειας	11
2.3.1 Το μοντέλο προσομοίωσης EnergyPLAN	11
2.3.2 Το μοντέλο προσομοίωσης H ₂ RES	15
2.3.3 Σύγκριση μοντέλων EnergyPLAN και H ₂ RES	17
2.4 Απαιτήσεις συστήματος κατανομής ενέργειας	19
2.5 Συστήματα κατανομής ενέργειας και άλγεβρες διεργασιών	20

2.1 Περιγραφή

Με τον όρο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εννοούμε τις πηγές των οποίων τα αποθέματα ανανεώνονται φυσικά και έτσι ορίζονται ως ανεξάντλητα. Με την εκμετάλλευση σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο βαθμό των πηγών αυτών συμβάλουμε στην μείωση της εξάρτησης από τους μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους, και επομένως πεπερασμένους, όπως είναι το πετρέλαιο και τα άλλα ορυκτά καύσιμα. Επίσης επιτακτικό είναι να αναφέρουμε το γεγονός ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο βασικός υπεύθυνος για την ατμοσφαιρική ρύπανση που δημιουργείται από την παραγωγή, μετασχηματισμό και χρήση των ορυκτών καυσίμων. Έτσι με την χρήση των

ανανεώσιμων πηγών συμβάλουμε στην άμβλυνση διαφόρων κλιματικών φαινομένων όπως για παράδειγμα το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν το κλειδί για την δημιουργία ενός καθαρού ενεργειακού μέλλοντος. Σε πρόσφατες δηλώσεις τους εμπειρογνώμονες από τα Ηνωμένα Έθνη υποστήριξαν ότι οι ανανεώσιμες πηγές θα μπορούσαν να παρέχουν την πλειοψηφία του ενεργειακού εφοδιασμού παγκοσμίως (77%) μέχρι το 2050 αλλά μόνο εάν οι κυβερνήσεις αυξήσουν δραματικά την οικονομική και πολιτική υποστήριξη για τεχνολογίες οι οποίες εκμεταλλεύονται την δημιουργία ανανεώσιμης ενέργειας [6]. Αναφέρουν όμως επίσης πως ένα τέτοιο εγχείρημα αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση λόγω του ότι για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός απαιτούνται επενδύσεις τόσο από τις κυβερνήσεις και όσο και από τον ιδιωτικό τομέα ύψους 5.100 τρισεκατομμυρίων δολαρίων μέχρι το 2020 και σχεδόν 7.200 τρισεκατομμυρίων δολαρίων μεταξύ του 2021 και 2030.

2.2 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Τις πιο κοινές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν η ηλιακή, η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια. Ακολουθούν η γεωθερμική και η παλιρροϊκή ενέργεια, η βιομάζα, η ενέργεια των κυμάτων και το υδρογόνο. Το μεγαλύτερο μέρος της ανανεώσιμης ενέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και ένα άλλο μέρος της για την παραγωγή θερμότητας και ατμού για βιομηχανικές παραγωγές και την θέρμανση σπιτιών και κτιρίων.

2.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου με χρήση μηχανικών μέσων για την συλλογή, αποθήκευση και διανομή της [17]. Έρευνες έχουν δείξει πως σε περίοδο ενός χρόνου το

ποσό της ηλιακής ενέργειας το οποίο φτάνει στην γη υπολογίζεται να είναι διπλάσιο από αυτό που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα. Κύριος σκοπός της συλλογής της ηλιακής ενέργειας είναι η μετατροπή της σε ηλεκτρική καθώς και η χρήση της θερμικής ακτινοβολίας για την θέρμανση σπιτιών και κτιρίων.

Το βασικό μέσο μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι με την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν ως βασικό μέρος ένα κατάλληλα επεξεργασμένο ημιαγωγό μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Η έκθεση των φωτοβολταϊκών πλαίσίων στην ηλιακή ακτινοβολία έχει σαν αποτέλεσμα την μετατροπή ποσοστού 14% της ακτινοβολίας αυτής σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και σχηματίζουν έτσι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τυπικής ισχύος από 20 W έως 300 W.

2.2.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία προέρχεται από την ταχύτητα του ανέμου. Αποτελεί μια από τις καλύτερες πηγές ανανεώσιμης ενέργειας. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Αιολικής Ενέργειας (Global Wind Energy Council), η αγορά αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο θα αυξηθεί περισσότερο από 155% μέχρι το 2012 με επίτευξη συνολικής απόδοσης των 240 GWh.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η αξιοποίηση της γίνεται μέσω ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200-400 KWh [14]. Οι ανεμογεννήτριες αυτές τοποθετούνται σε ανεμώδης περιοχές (συνήθως μερικές δεκάδες), και απαρτίζουν ένα αιολικό πάρκο. Ένα αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 20 ανεμογεννήτριες μπορεί να παράγει αρκετό ηλεκτρισμό, περίπου 1 MWh ο οποίος μπορεί να καλύψει της ανάγκες μιας μικρής πόλης. Η Γερμανία έρχεται πρώτη στην χρήση της αιολικής ενέργειας και ακολουθούν οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ισπανία και η Ινδία. Η Δανία αν και βρίσκεται 6^η

στην κατάταξη αυτή παράγει το 20% του ηλεκτρικού της ρεύματος από την αιολική ενέργεια.

2.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια η οποία προέρχεται από το νερό. Αυτή η μορφή ενέργειας παράγεται από την γρήγορη ροή και πτώση του νερού έτσι τα ποτάμια και οι καταρράκτες αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ένα μεγάλο ποτάμι με γρήγορη ροή νερού ή νερό το οποίο πέφτει γρήγορα από μια υψηλή θέση μπορεί να προσφέρει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μέσω τουρμπινών και γεννητριών μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια [17]. Έτσι με την ύπαρξη των κατάλληλων υδάτινων πόρων (φραγμάτων, καταρρακτών, λιμνών), η υδροηλεκτρική ενέργεια καθιστά μια σημαντική εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

2.2.4 Παλιρροϊκή ενέργεια

Ένα παρόμοιο είδος με την υδροηλεκτρική ενέργεια είναι και η παλιρροϊκή. Η παλιρροϊκή ενέργεια είναι η ενέργεια που δημιουργείται από την αύξηση και μείωση των νερών στις θάλασσες κατά την διάρκεια μιας παλίρροιας. Ο μεγαλύτερος παλιρροϊκός σταθμός παραγωγής ενέργειας στον κόσμο βρίσκεται στις εκβολές του ποταμού Rance στη Βόρεια Γαλλία. Κτίστηκε το 1966 και παράγει 240 MWh ηλεκτρικής ενέργειας [16].

Για την μετατροπή της παλιρροϊκής ενέργειας σε ηλεκτρική, τεράστια φράγματα πρέπει να κτιστούν τα οποία περιέχουν σήραγγες με ενσωματωμένες τουρμπίνες. Κατά την διάρκεια των διακυμάνσεων του νερού που συμβαίνουν σε μια παλίρροια το νερό ρέει μέσα από τις σήραγγες του φράγματος με μεγάλη ταχύτητα και οι τουρμπίνες αυτές μετατρέπουν την ενέργεια του σε ηλεκτρισμό. Η αποτελεσματική λειτουργία του

φράγματος προϋποθέτει την αύξηση της στάθμης του νερού τουλάχιστο 16 ποδιών κατά την διάρκεια της παλίρροιας (αύξηση της πίεσης του νερού). Οι παλίρροιες είναι πιο προβλέψιμες, όσον αφορά στην παραγωγή ενέργειας, από την αιολική και την ηλιακή ενέργεια. Με πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στον σχεδιασμό και στις νέες τεχνολογίες των τουρμπινών, η συνολική διαθεσιμότητα της παλιρροϊκής ενέργειας μπορεί να είναι υψηλότερη από ότι εκτιμήθηκε προηγουμένως. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος να μειωθεί σε ανταγωνιστικά επίπεδα.

Εκτός από την παλιρροϊκή ενέργεια, ενέργεια από τους ωκεανούς παίρνουμε μέσω των κυμάτων. Αναλυτές οι οποίοι ασχολούνται με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούν ότι υπάρχει αρκετή ενέργεια στα κύματα των ωκεανών για να παρέχει μέχρι και 2 TW ηλεκτρικής ενέργειας. Ενέργεια μέσω των κυμάτων παράγεται όταν γεννήτριες οι οποίες παράγουν ηλεκτρισμό τοποθετούνται στην επιφάνεια των ωκεανών. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καθορίζεται από το ύψος, την ταχύτητα, το μήκος και την πυκνότητα των κυμάτων.

2.2.5 Γεωθερμική ενέργεια

Μια άλλη πηγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι η γεωθερμική. Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από την θερμότητα του εσωτερικού της Γης σε μορφή νερών, ατμών ή αερίων. Αξίζει να αναφερθεί ότι η θερμοκρασία στον πυρήνα της Γής είναι πάνω από 7000C [11].

Οι δύο βασικές αξιοποιήσεις της ενέργειας αυτής είναι η έμμεση χρήση της με την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια και η άμεση χρήση της όπου γίνεται η αξιοποίηση της θερμότητας για θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων κ.α. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε ορισμένες περιοχές σε όλο τον κόσμο όπου ο φλοιός της γης είναι λεπτός και υπάρχουν ζεστά βράχια κοντά στις επιφάνειες. Γεωθερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν σε ορισμένες χώρες όπως στις ΗΠΑ, τη Νέα Ζηλανδία και την Ισλανδία. Επίσης στο Southampton στο

Ηνωμένο Βασίλειο υπάρχει ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης με βάση την χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Ζεστό νερό (περίπου 700 C) αντλείται από περίπου 1.800 μέτρα υπό το έδαφος και χρησιμοποιείται για να θερμαίνει ξενοδοχεία, γραφεία και δημόσια κτίρια της γύρο περιοχής.

2.2.6 Βιομάζα

Η βιομάζα ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ως βιομάζα ορίζουμε την ύλη που έχει οργανική προέλευση. Πιο ειδικά ορίζουμε οποιοδήποτε υλικό το οποίο προέρχεται από τον φυτικό κόσμο τόσο άμεσα όσο και άμεσα. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, άχυρα), ζωικά απόβλητα, αστικά απορρίμματα και υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων ή της αγροτικής βιομηχανίας [18]. Η ενέργεια από την βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με παρόμοιο τρόπο με τα ορυκτά καύσιμα με το πλεονέκτημα πως η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα και έτσι δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2.2.7 Υδρογόνο

Τέλος ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο θεωρείται το υδρογόνο. Παρά την απλότητα και την αφθονία του, το υδρογόνο δεν υπάρχει στη φύση ως αέριο αλλά είναι πάντοτε σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία όπως για παράδειγμα στο νερό. Επομένως η παραγωγή του γίνεται μέσω της διάσπασης των στοιχείων αυτών. Έτσι το υδρογόνο θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εάν και εφόσον η παραγωγή του προκύψει μέσω χρήσης άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στις μέρες μας το μεγαλύτερο μέρος παραγωγής υδρογόνου προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα και αυτό έχει αρνητικές συνέπειες στο περιβάλλον λόγω των εκπομπών των

αέριων ρύπων που δημιουργούνται κατά την διαδικασία παραγωγής. Επομένως πρέπει να εφαρμοστούν άλλοι τρόποι παραγωγής του μέσω ανανεώσιμων πηγών.

Η πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος είναι η παραγωγή του μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού. Μέσω αυτής της μεθόδου το νερό διασπάται στα βασικά του στοιχεία τα οποία είναι το υδρογόνο και το οξυγόνο. Η διαδικασία αυτή όμως επιβάλλει την χρήση ηλεκτρικού ρεύματος. Επομένως το ηλεκτρικό ρεύμα θα πρέπει να παράγεται από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προκειμένου να διατηρήσουμε τον περιβαλλοντικό χαρακτήρα της παραγωγής υδρογόνου.

Το ηλιακό υδρογόνο είναι το υδρογόνο το οποίο παράγεται από την χρήση της ηλιακής ενέργειας. Αφού γίνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας από συλλέκτες, η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ηλεκτρική με χρήση γεννητριών και χρησιμοποιείται για την ηλεκτρόλυση του νερού. Έτσι χρησιμοποιώντας την απεριόριστη δύναμη του ήλιου το υδρογόνο θα μπορεί να παραχθεί από το θαλασσίνο ή ανακυκλωμένο νερό χωρίς την περεταίρω μόλυνση του περιβάλλοντος [18].

2.3 Μοντέλα ανάλυσης ενέργειας

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα προσομοίωσης τα οποία αναλύουν διάφορες στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα ενέργειας [9]. Στόχος είναι η αύξηση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας (σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο βαθμό), λαμβάνοντας υπόψη των τεχνολογιών που κατέχει κάθε χώρα, όπως για παράδειγμα ύπαρξη ή όχι ανεμόμυλων, αντλιών, φωτοβολταϊκών κ.α., καθώς και τι είδους ανανεώσιμες πηγές μπορούν να εκμεταλλευτούν σε κάθε περίπτωση.

2.3.1 Το μοντέλο προσομοίωσης EnergyPLAN

Το μοντέλο EnergyPLAN είναι ένα ντετερμινιστικό μοντέλο προσομοίωσης [9]. Στόχος του είναι η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός δοθέντος συστήματος παραγωγής ενέργειας. Η ανάλυση του συστήματος αυτού γίνεται κάνοντας χρήση των τεχνικών και

οικονομικών παραγόντων οι οποίοι δίνονται από τον χρήστη ως δεδομένα εισόδου.

Συγκεκριμένα τα δεδομένα εισόδου του συστήματος είναι :

- Απαιτήσεις
 - Σταθερός ηλεκτρισμός
 - Ευέλικτος ηλεκτρισμός
 - Παροχή θερμότητας σε μια περιοχή (district heating)
- Χωρητικότητες
 - Αποθήκευση θερμότητας
 - Αποθήκευση ενέργειας (M W)
- Ρυθμίσεις
 - Τιμές αγοράς
 - Οριακή παραγωγή
 - Κόστα (εισαγωγής/εξαγωγής)
 - Σταθεροποιητικές απαιτήσεις

Το σύστημα αφού αναλύσει τα δεδομένα και επεξεργαστεί διάφορα περίπλοκα συστήματα παραγωγής ενέργειας εξάγει τα αποτελέσματα του και βοηθά στον σχεδιασμό στρατηγικών που έχουν στόχο την βελτιστοποίηση του συστήματος παραγωγής της ενέργειας σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο. Πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν:

- Ενεργειακά ισοζύγια (παραγωγή- κατανάλωση ενέργειας)
- Αποτελέσματα παραγωγής θερμότητας
- Αποτελέσματα παραγωγής ηλεκτρισμού
- Αποτελέσματα εισαγωγής/εξαγωγής ηλεκτρισμού
- Κατανάλωση καυσίμων
- Πληρωμές από εισαγωγές/εξαγωγές

Το σύστημα παραγωγής ενέργειας του μοντέλου EnergyPLAN περιλαμβάνει όπως διαφάνεται πιο πάνω και παραγωγή θερμότητας (εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές) από την χρήση αντλιών θερμότητας και μονάδων

CHP (Combined Head and Power) . Επιπλέον το μοντέλο μπορεί να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας αντλίες ή μπαταρίες.

Το μοντέλο EnergyPLAN χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος κάνει μια τεχνική ανάλυση βασισμένη στις απαιτήσεις και τις χωρητικότητες που εισάγει ο χρήστης. Το δεύτερο μέρος κάνει μια οικονομική ανάλυση βασισμένη στην διεθνή αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας [10]. Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος περιγράφεται στο Σχήμα 2.1

Όσον αφορά την τεχνική ανάλυση για να λειτουργήσει το μοντέλο χρειάζεται 4 διαφορετικά είδη εισόδου:

- 1) Ετήσια κατανάλωση θερμότητας μιας περιοχής καθώς και ετήσια κατανάλωση ηλεκτρισμού.
- 2) Χωρητικότητα των φωτοβολταϊκών και της αιολικής ενέργειας της περιοχής που μελετά καθώς και κάποιου παράγοντα ο οποίος συσχετίζει την χωρητικότητα του ανέμου με την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.
- 3) Χωρητικότητες και λειτουργίες των μονάδων CHP, ηλεκτροπαραγωγών σταθμών, βραστήρων και αντλιών θερμότητας.
- 4) Τεχνικούς περιορισμούς όπως για παράδειγμα το ελάχιστο ποσοστό του φορτίου το οποίο προέρχεται από το τις μονάδες CHP.

Μέσω των πιο πάνω δεδομένων εισόδου το μοντέλο υπολογίζει την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας κάνοντας χρήση δυο διαφορετικών στρατηγικών: meeting heat demand και meeting both heat and electricity demands[10]. Κατά την πρώτη στρατηγική παράγεται θερμότητα σύμφωνα με την ζήτηση. Οι μονάδες οι οποίες παράγουν θερμότητα είναι οι εξής:

- Ηλιακοί θερμοστάτες
- Βιομηχανικές μονάδες CHP

- Αντλίες θερμότητας
- Βραστήρες στις μονάδες C H P

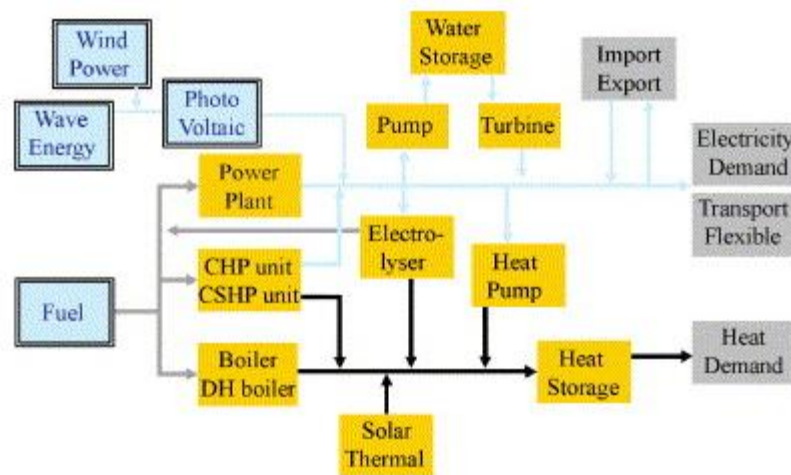
Στην πρώτη αυτή στρατηγική οι μονάδες παράγουν θερμότητα ατομικά αναλόγως της ζήτησης. Ακολουθώντας μέσω κάποιων βημάτων υπολογίζεται η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω των μονάδων αυτών και κατά πόσο είναι εφικτή τυχόν εξαγωγή του.

Κατά την δεύτερη στρατηγική η εξαγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος μειώνεται κυρίως λόγω της χρήσης των βραστήρων στις μονάδες C H P. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικού ρεύματος και την μείωση της παραγωγής του λόγω του ότι οι μονάδες C H P θα πρέπει να μειώσουν την παραγωγή θερμότητας.

Όσον αφορά την οικονομική ανάλυση της εισαγωγής/εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οι δύο στρατηγικές βασίζονται στην αρχή της εξαγωγής όταν οι τιμές αγοράς είναι ψηλότερες από το κόστος παραγωγής και εισαγωγής όταν οι τιμές αγοράς είναι χαμηλότερες από το κόστος παραγωγής.

Σε μεταγενέστερο στάδιο προστέθηκαν στο μοντέλο αυτό δύο νέες ικανότητες αποθήκευσης/μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μια είναι η υδροηλεκτρική αποθήκευση η οποία αποτελείται από μια αντλία (μετατροπή ηλεκτρισμού σε ενέργεια), μια αποθήκη υδροηλεκτρικής ενέργειας (αποθήκευση ενέργειας) και μια τουρμπίνα (μετατροπή ενέργειας σε ηλεκτρισμό). Η άλλη είναι η προσθήκη ενός ηλεκτρολύτη ικανό για παραγωγή καυσίμων και θερμότητας. Η αποθήκευση ηλεκτρισμού περιγράφεται στο μοντέλο σαν υδροηλεκτρική αποθήκευση και ρυθμίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- Σε περίπτωση πλεονάζουσας παραγωγής μια αντλία γεμίζει την αποθήκη
- Υπολογίζεται ο κενός χώρος της αποθήκης και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από την αντλία
- Για την χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας χρησιμοποιείται μια τουρμπίνα η οποία και κάνει την μετατροπή της ενέργειας σε ηλεκτρισμό.



Σχήμα 2.1: Σχέδιο λειτουργίας EnergyPLAN [9]

2.3.2 Το μοντέλο προσομοίωσης H₂RES

Το μοντέλο H₂RES όπως και το EnergyPLAN προσομοιώνει την εισαγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την δημιουργία ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 2.2). Το μοντέλο H₂RES σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει την χρήση ανανεώσιμων πηγών σε συστήματα ενέργειας που υπάρχουν σε νησιά ή απομονωμένες περιοχές οι οποίες λειτουργούν ανεξάρτητα [9]. Το μοντέλο αυτό είναι σε θέση δοθέντος μιας χρονικής περιόδου να εξισορροπεί την ζήτηση σε νερό, ηλεκτρισμό, θερμότητα και υδρογόνο, να ορίζει τις κατάλληλες αποθηκευτικές μονάδες καθώς και να διαχειρίζεται την προμήθεια της παραγόμενης ενέργειας. Το μοντέλο μπορεί να συμπεριλάβει για την εξαγωγή αποτελεσμάτων όλες τις μορφές παραγωγής θερμότητας, εκτός της πυρηνικής [3], καθώς και όλες τις μορφές ανανεώσιμης ενέργειας εκτός της παλιρροϊκής. Επίσης το μοντέλο περιλαμβάνει όλες τις αποθηκευτικές τεχνολογίες και τεχνολογίες μετατροπής ενέργειας εκτός της αποθήκευσης υπό μορφή συμπιεσμένου αέρα.

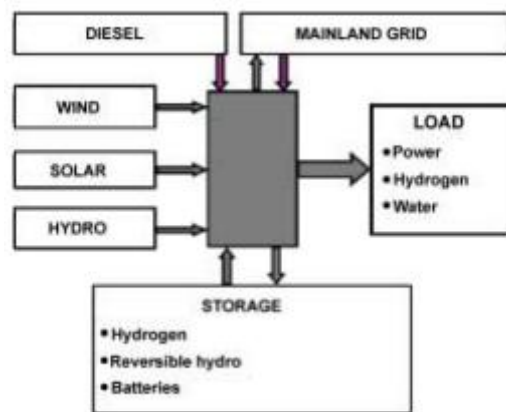
Για να προσομοιώσει την ενέργεια που μπορεί να παραχθεί από τον αέρα, τον ήλιο και το νερό το μοντέλο αυτό δέχεται σαν δεδομένα την ταχύτητα του αέρα, την ηλιακή ακτινοβολία και δεδομένα όσο αφορά την βροχόπτωση από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό [3].

Η διαδικασία υπολογισμού της ενέργειας η οποία θα παραχθεί από τον άνεμο γίνεται με την εισαγωγή της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 10 μέτρων, και δοθέντος του είδους του ανεμόμυλου που θα χρησιμοποιηθεί παράγει τα δεδομένα εξόδου. Για την διαδικασία αυτή το μοντέλο μπορεί να δεχθεί έως και 4 διαφορετικά μοντέλα ανεμόμυλων με τα χαρακτηριστικά τους τα οποία και εισάγονται από τον χρήστη.

Η διαδικασία υπολογισμού της ενέργειας η οποία θα παραχθεί από τον ήλιο γίνεται με υπολογισμούς από την μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας προέρχονται από τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών που χρησιμοποιούνται στην περιοχή και τα οποία εισάγονται, όπως και άλλοι σχετικοί παράγοντες, από τον χρήστη.

Για την διαδικασία υπολογισμού της υδροηλεκτρικής ενέργειας εκτός από τα δεδομένα βροχόπτωσης το μοντέλο δέχεται σαν είσοδο δεδομένα όσο αφορά την εξάτμιση του νερού στα φράγματα για να μπορέσει να υπολογίσει την καθαρή εισροή νερού. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να παρθούν όπως έχει προαναφερθεί από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό ή μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας ημερήσιους, εβδομαδιαίους ή και μηνιαίους μέσους όρους. Η καθαρή εισροή νερού στην συνέχεια υπολογίζεται ως η διαφορά της αποθηκευμένης ποσότητας νερού με την εξάτμιση ανά τετραγωνικό μέτρο στα φράγματα.

Αφού το μοντέλο παράγει τα αποτελέσματα από τις μετατροπές των ανανεώσιμων πηγών σε μια άλλη διαδικασία εισαγάγει ένα μέρος ή και όλη την παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια, έχοντας σε γνώση του το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί να δεχθεί, στο σύστημα. Η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια στην συνέχεια μπορεί να αποθηκευτεί σαν υδρογόνο, αντλούμενο νερό, ή ηλεκτρισμός σε μπαταρίες. Αν όμως η παραγόμενη ανανεώσιμη ενέργεια δεν είναι αρκετή για να καλύψει την ζήτηση, τότε αυτή καλύπτεται με χρήση καυσίμων. Αντιθέτως αν η πλεονάζουσα παραγόμενη ενέργεια είναι περισσότερη από όση μπορεί να αποθηκευτεί τότε απορρίπτεται. Αυτή η ενέργεια μπορεί τότε να χρησιμοποιηθεί στις διάφορες αφαλατώσεις νερού που συνήθως υπάρχουν στα νησιά.

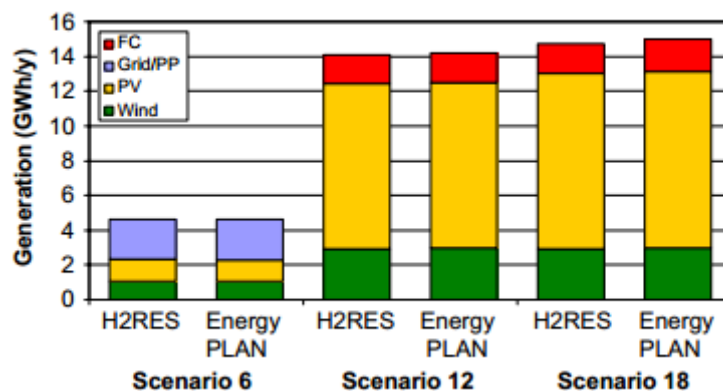


Σχήμα 2.2: Σχέδιο λειτουργίας H₂RES [9]

2.3.3 Σύγκριση μοντέλων EnergyPLAN και H₂RES

Τόσο το μοντέλο EnergyPLAN όσο και το μοντέλο H₂RES έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση πολλών περιοχών με στόχο την καλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών κάθε περιοχής. Αξίζει να αναφέρουμε την μελέτη που έγινε στο νησί Mljet στο οποίο αναλύθηκαν σενάρια και από τα δύο μοντέλα [9]. Το νησί αυτό έχει έκταση 1004Km², αριθμό κατοίκων 1111 και οι πιο υποσχόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας του είναι η αιολική και η ηλιακή. Κατά το 2002 η ετήσια κατανάλωση ρεύματος ανήλθε στα 2696 MWh.

Συνολικά μελετήθηκαν 18 διαφορετικά σενάρια με τη χρήση του μοντέλου H₂RES για τα έτη 2005, 2010 και 2015. Για το έτος 2010 τα ίδια ακριβώς σενάρια έχουν μελετηθεί και από το μοντέλο EnergyPLAN. Τα αποτελέσματα τα οποία εξάχθηκαν είναι πανομοιότυπα και για τα δυο μοντέλα. Μέσα σε αυτά τα σενάρια μελετήθηκαν και κάποια τα οποία αναπαριστούσαν συστήματα όπου το 100% της ζήτησης της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος προερχόταν από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το Σχήμα 2.3 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ετήσιας παραγωγής ενέργειας για το 2010, για το νησί Mljet, όπως παράχθηκαν από τα 2 μοντέλα για τρία διαφορετικά σενάρια.



Σχήμα 2.3: Ετήσια ηλεκτρική παραγωγή για το 2010

Από την σύγκριση των 2 αυτών μοντέλων παρατηρούμε 3 βασικές διαφορές:

- Το μοντέλο H₂RES επικεντρώνεται σε ανάλυση συστημάτων ενέργειας για νησιά ενώ το μοντέλο EnergyPLAN επικεντρώνεται σε εθνικό επίπεδο ανάλυσης.
- Το μοντέλο H₂RES περιλαμβάνει μόνο τεχνική ανάλυση σε αντίθεση με το μοντέλο EnergyPLAN που όπως είδαμε περιλαμβάνει τεχνική ανάλυση και ανάλυση της αγοράς.
- Το μοντέλο H₂RES περιλαμβάνει μόνο την προμήθεια ηλεκτρικού ρεύματος σε αντίθεση με το μοντέλο EnergyPLAN το οποίο προνοεί και για την προμήθεια θερμότητας.

Τα μοντέλα αυτά είναι πολύτιμα και αξιόπιστα εργαλεία τα οποία μπορούν να εντάξουν στο μέγιστο δυνατό βαθμό την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της περιοχής που μελετούν χωρίς κάποια απρόσμενη αύξηση του κόστους. Τρανό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη του νησιού Mljet για το οποίο και τα 2 μοντέλα βρήκαν πως το νησί αυτό μπορεί να μετατραπεί σε ένα νησί το οποίο χρησιμοποιεί 100% ανανεώσιμη ενέργεια όσο αφορά την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και μεταφοράς υδρογόνου.

2.4 Απαιτήσεις συστήματος κατανομής ενέργειας

Προκειμένου να καθορίσουμε σωστά την λειτουργία ενός συστήματος κατανομής ενέργειας αρχικά θα πρέπει να αναλύσουμε τις απαιτήσεις που υπάρχουν από αυτό.

- Χρόνος

Ένα σύστημα κατανομής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να συλλαμβάνει την έννοια του χρόνου. Ο χρόνος δηλώνει την στιγμή που μια εργασία εμφανίζεται στο σύστημα και μπορεί να είναι είτε διακριτός είτε συνεχόμενος. Ο διακριτός χρόνος μετριέται μέσω διακριτών τιμών και μοντελοποιείται μέσω θετικών αριθμών. Στο διακριτό χρόνο διάφορα γεγονότα μπορούν να εμφανιστούν στο σύστημα σε ακέραιες χρονικές στιγμές. Στο συνεχή χρόνο ο χρόνος αυξάνεται συνεχόμενα και μοντελοποιείται μέσω θετικών πραγματικών αριθμών. Γεγονότα μπορούν να συμβούν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, και η διαφορά στους χρόνους των εμφανίσεων δύο γεγονότων μπορεί να είναι αυθαίρετα μικρή [19].

- Πόροι

Το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να μοντελοποιεί την έννοια των πόρων αφού σε αυτούς στηρίζεται η συμπεριφορά των διεργασιών. Οι πόροι θα πρέπει να χορηγούνται από τις προμήθειες, να αιτούνται από τις εργασίες και να καταναλώνονται από αυτές. Επίσης οι πόροι θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από το ποσό της ενέργειας το οποίο έχουν αποθηκευμένο. Τέλος είναι σημαντικό το σύστημα να είναι σε θέση να εκτελεί παράλληλα εργασίες, δηλαδή να κατανέμει πόρους παράλληλα όπου αυτό είναι δυνατό.

- Ταυτοχρονισμός

Ένα σύστημα κατανομής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζεται τυχόν ταυτοχρονισμούς που μπορεί να εμφανιστούν. Με τον όρο ταυτοχρονισμός εννοούμε την εμφάνιση δύο γεγονότων την ίδια χρονική στιγμή. Υπάρχουν δύο τρόποι χειρισμού δύο γεγονότων α και β που εμφανίζονται στο σύστημα την ίδια χρονική στιγμή. Ο ένας είναι να βλέπουμε τα γεγονότα ως ασύγχρονα, δηλαδή ότι εμφανίζονται το ένα μετά το άλλο και ο άλλος είναι να τα βλέπουμε

ως συγχρονισμένα, δηλαδή ότι εμφανίζονται ακριβώς την ίδια χρονική στιγμή [7]

- **Επικοινωνία**

Η επικοινωνία είναι πολύ σημαντική για την συνεργασία μεταξύ παράλληλων διεργασιών. Ένα σύστημα κατανομής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των διεργασιών. Υπάρχουν δύο τρόποι επικοινωνίας, ο δυαδικός και ο ν-αδικός. Στον δυαδικό μόνο δύο διεργασίες επικοινωνούν κάθε φορά ενώ στον ν-αδικό μπορούν να επικοινωνούν ταυτόχρονα ν εργασίες μαζί.

- **Προτεραιότητα**

Το σύστημα κατανομής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να υποστηρίξει τυχόν προτεραιότητες που υπάρχουν στις διεργασίες που εμφανίζονται στο σύστημα. Αυτό γιατί οι πόροι του συστήματος είναι περιορισμένοι και επομένως αν το σύστημα δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσει όλα τα αιτήματα θα πρέπει να δίνει προτεραιότητα σε αιτήματα που προέρχονται από διεργασίες με μεγαλύτερη προτεραιότητα.

2.5 Συστήματα κατανομής ενέργειας και άλγεβρες διεργασιών

Μελετώντας τις απαιτήσεις ενός συστήματος κατανομής ενέργειας παρατηρήσαμε ότι οι άλγεβρες διεργασιών αποτελούν μια τυπική μέθοδο για την περιγραφή και ανάλυση συστημάτων τα οποία εμπεριέχουν απαιτήσεις όπως αυτές που ορίσαμε πιο πάνω. Περιλαμβάνουν ένα σύνολο τελεστών οι οποίοι θα μας βοηθήσουν να προσομοιάσουμε την συμπεριφορά των διεργασιών όσον αφορά την επικοινωνία, τον ταυτοχρονισμό και την έννοια της προτεραιότητας καθώς και ένα σύνολο τελεστών που χειρίζονται τον χρόνο.

Επίσης παρακολουθώντας το μάθημα ΕΠΛ 664 «Ανάλυση και Επαλήθευση Συστημάτων» είχα την δυνατότητα να εξοικειωθώ με τις άλγεβρες διεργασιών και στον τρόπο με τον οποίο τις χρησιμοποιούμε για να αναλύουμε σύνθετα συστήματα. Αυτό

μου έδωσε και τις απαραίτητες γνώσεις και ικανότητες που χρειαζόμουν προκειμένου να αναπτύξουμε την άλγεβρα διεργασιών AESC.

Μελετώντας τα μοντέλα ανάλυσης ενέργειας EnergyPLAN και H₂RES, τα οποία προσομοιώνουν την παραγωγή ηλεκτρισμού από διάφορες πηγές, αποφασίσαμε να προχωρήσουμε ένα βήμα μπροστά και να ορίσουμε πως αυτή η ποσότητα ηλεκτρισμού μπορεί να διανεμηθεί σωστά από ένα σύστημα κατανομής ενέργειας, διατυπωμένο από μια άλγεβρα διεργασιών, προκειμένου να καλύψει όσο το δυνατό μεγαλύτερη ζήτηση.

Κεφάλαιο 3

Άλγεβρες Διεργασιών

3.1 Περιγραφή	22
3.2 Ιστορική αναδρομή	24
3.3 Βασικοί τελεστές	25
3.4 Σημασιολογία	27
3.5 Η άλγεβρα διεργασιών ACSR	28
3.5.1 Περιγραφή	28
3.5.2 Γλώσσα	29
3.5.3 Σύνταξη	29
3.5.4 Σημασιολογία	30
3.6 Η άλγεβρα διεργασιών PADS	31
3.6.1 Περιγραφή	31
3.6.2 Γλώσσα	32
3.6.3 Σύνταξη	33
3.6.4 Σημασιολογία	34

3.1 Περιγραφή

Ο όρος άλγεβρα διεργασιών αποτελείται από τις λέξεις «διεργασία» και «άλγεβρα». Μιλώντας για διεργασία αναφερόμαστε στην συμπεριφορά ενός συστήματος. Με τον όρο σύστημα εννοούμε οτιδήποτε παρουσιάζει μια συμπεριφορά, όπως είναι η εκτέλεση ενός προγράμματος, οι ενέργειες μιας μηχανής ή ακόμη και οι ενέργειες ενός ανθρώπου. Η συμπεριφορά είναι το σύνολο των ενεργειών που μπορεί να εκτελέσει το σύστημα, η σειρά με την οποία μπορούν να εκτελεστούν οι ενέργειες αυτές καθώς και οποιοιδήποτε άλλοι παράγοντες μπορεί να επηρεάζουν την εκτέλεση αυτή. Τέλος η λέξη άλγεβρα δηλώνει ότι ακολουθούμε μια αλγεβρική προσέγγιση για να μιλήσουμε

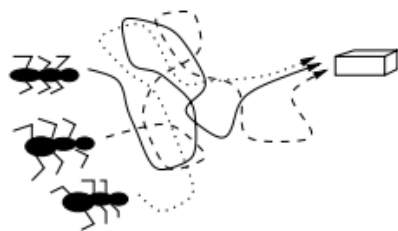
για αυτή την συμπεριφορά. Επομένως, οι άλγεβρες διεργασιών αποτελούν ένα μαθηματικό πλαίσιο μέσα στο οποίο η συμπεριφορά ενός συστήματος εκφράζεται μέσω αλγεβρικών όρων [4].

Η συμπεριφορά ενός συστήματος αποτελείται κυρίως από διεργασίες οι οποίες χειρίζονται κάποια δεδομένα. Τις περισσότερες φορές αυτή η συμπεριφορά αποτελεί μια σύνθεση πολλών διεργασιών που εκτελούνται παράλληλα. Οι διεργασίες αυτές ανταλλάζουν δεδομένα με σκοπό να αλληλεπιδράσουν και πιθανόν να επηρεάσουν την συμπεριφορά κάποιων άλλων διεργασιών του συστήματος. Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει μια αρχιτεκτονική ενός παράλληλου συστήματος. Στο σύστημα αυτό κάθε διεργασία P_i ενημερώνει τις γειτονικές τις διεργασίες για την κατάσταση της αποστέλλοντας τους κάποιο μήνυμα. Οι γείτονες χρησιμοποιούν τα μηνύματα αυτά προκειμένου να κάνουν τυχόν υπολογισμούς και να ενημερώσουν την δική τους κατάσταση.



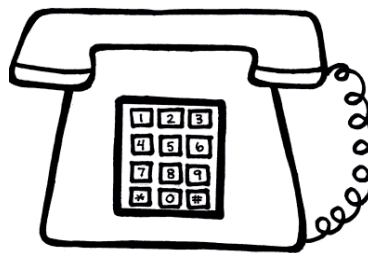
Σχήμα 3.1: Αρχιτεκτονική παράλληλου συστήματος [4]

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω ένα σύστημα δεν έχει σχέση μόνο με τον κόσμο των πληροφορικών συστημάτων. Αντίθετα μπορεί να αντιπροσωπεύει την λειτουργία ενός οργανισμού ή ακόμη και την συμπεριφορά μιας αποικίας μυρμηγκιών! Τα μυρμήγκια συμπεριφέρονται σαν ξεχωριστές οντότητες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των άλλων μυρμηγκιών. Μόλις ένα μυρμήγκι εντοπίσει τροφή, εκπέμπει μια μυρωδιά για να προσελκύσει άλλα έντομα (Σχήμα 3.2). Ο Tofts κατάφερε να εξηγήσει κάποια φαινόμενα αποικιών μυρμηγκιών μοντελοποιώντας τέτοιες αποικίες ως παράλληλα συστήματα χρησιμοποιώντας άλγεβρες διεργασιών.



Σχήμα 3.2: Αποικία μυρμηγκιών [4]

Ακόμα ένα παράδειγμα συστήματος είναι η συσκευή τηλεφώνου (Σχήμα 3.3). Τα κουμπιά της αντιπροσωπεύουν τις ξεχωριστές ενέργειες του συστήματος τα οποία επηρεάζουν την κατάσταση του με διαφορετικό τρόπο (σχηματίζοντας διαφορετικούς αριθμούς). Η συσκευή τηλεφώνου σε συνδυασμό με ένα χρήστη αποτελούν ένα παράλληλο σύστημα.



Σχήμα 3.3: Συσκευή τηλεφώνου [4]

Σήμερα οι άλγεβρες διεργασιών χρησιμοποιούνται ευρέως για τον καθορισμό και την επαλήθευση παράλληλων συστημάτων και έχουν επεκταθεί στο να περιλαμβάνουν χρονικές και πιθανολογικές συμπεριφορές [15]. Με την χρήση τους μπορούμε να εντοπίσουμε επιθυμητές και μη ιδιότητες ενός συστήματος και να επαληθεύσουμε ότι το σύστημα παρουσιάζει την επιθυμητή συμπεριφορά, δηλαδή για κάθε είσοδο σε αυτό, παράγεται η σωστή έξοδος. Τέλος μπορούμε να εντοπίσουμε κατά πόσο δύο συστήματα εκφράζουν την ίδια συμπεριφορά κάνοντας χρήση ισοδυναμιών.

3.2 Ιστορική αναδρομή

Κεντρικό πρόσωπο της ιστορίας των αλγεβρών διεργασιών ήταν ο Robin Milner, ο οποίος γεννήθηκε το 1934 και ανέπτυξε την αλγεβρα διεργασιών CCS (Calculus of Communicating Systems) κατά την διάρκεια των χρόνων 1973 με 1980 [2]. Ο Milner ήταν ο πρώτος που παρατήρησε ότι οι παράλληλες διεργασίες έχουν μια αλγεβρική δομή [1]. Για παράδειγμα όταν κτίσουμε δύο διεργασίες P και Q , μπορούμε να δημιουργήσουμε μια νέα διεργασία με τον παράλληλο ή γραμμικό συνδυασμό των δύο διεργασιών P και Q . Το αποτέλεσμα του συνδυασμού αυτού θα είναι μια νέα διεργασία της οποίας η συμπεριφορά εξαρτάται από τις δύο πιο πάνω διεργασίες και

τον τρόπο που συνδυάστηκαν. Επομένως το θέμα ήταν πώς να περιγραφεί η επικοινωνία μεταξύ δυο διεργασιών που τρέχουν παράλληλα, κάτι που ανέπτυξε με την CCS.

Ακόμη ένας σημαντικό πρόσωπο που συνείσφερε στην ανάπτυξη των άλγεβρών διεργασιών ήταν ο Tony Hoare ο οποίος γεννήθηκε το 1934 και ο οποίος περιέγραψε την άλγεβρα διεργασιών CSP (Communicating Sequential Process). Το σημαντικό βήμα σε αυτή την προσέγγιση ήταν πως δεν χρησιμοποιούσε καθόλου καθολικές μεταβλητές.

Τέλος το 1982 οι Jan Bergstra και Jan Willem Klop περιέγραψαν την άλγεβρα διεργασιών ACP (Algebra of Communicating Processes) όπου και για πρώτη φορά έγινε αναφορά στην φράση «άλγεβρα διεργασιών».

Στα επόμενα χρόνια έγινε πολλή δουλειά και έχουν δημιουργηθεί πολλές άλγεβρες διεργασιών με διάφορες προεκτάσεις όπως δεδομένα, χρόνο, πιθανότητες κα [2]. Σήμερα οι άλγεβρες διεργασιών έγιναν μια θεωρία που βρίσκεται πίσω από όλα τα παράλληλα και κατανεμημένα συστήματα με κύριο συστατικό την επικοινωνία.

3.3 Βασικοί τελεστές

Προκειμένου να μπορούμε να κτίσουμε τις διεργασίες μας και επομένως να καθορίσουμε την συμπεριφορά τους μέσω μιας άλγεβρας διεργασιών υπάρχει ένα σύνολο από τελεστές και ένα σύνολο ατομικών ενεργειών που μας το επιτρέπουν. Πιο κάτω παρουσιάζουμε τους βασικότερους τελεστές που χρησιμοποιούνται στις άλγεβρες διεργασιών.

- Ακολουθιακός τελεστής

Η συμπεριφορά μιας διεργασίας συλλαμβάνεται μέσω μεταβάσεων. Θεωρώντας την ύπαρξη ενός συνόλου ενεργειών που μπορεί να εκτελέσει μια διεργασία (π.χ. αποστολή δεδομένων, διάβασμα τιμής κτλ), η διεργασία είναι σε θέση να εκτελέσει την ενέργεια

αυτή και να εξελιχθεί σε μια νέα διεργασία. Για παράδειγμα αν P και Q δύο διεργασίες και a μια ενέργεια, τότε γράφουμε

$$P = a.Q$$

για να δείξουμε ότι η διεργασία P είναι ικανή να εκτελέσει την ενέργεια a και να εξελιχθεί στην διεργασία Q . Συνήθως η πιο πάνω συμπεριφορά αντιπροσωπεύεται με την μορφή $P \xrightarrow{a} Q$.

Να σημειώσουμε ότι για να περιγράψουμε το γεγονός ότι μια διεργασία εκτελεί μια ενέργεια και τερματίζει συμβολίζεται με την χρήση του συμβόλου 0 δηλαδή αν γράψουμε $P = a.0$ δηλώνει ότι η διεργασία P εκτελεί μια ενέργεια a και τερματίζει. Εκτός από το σύμβολο 0 χρησιμοποιούνται επίσης σε διάφορες άλγεβρες διεργασιών οι λέξεις FIN ή NIL για την δήλωση τερματισμού μιας διεργασίας.

- Τελεστής επιλογής

Ο τελεστής επιλογής δίνει την δυνατότητα σε μια διεργασία να επιλέξει να εκτελέσει ανάμεσα από διάφορες ενέργειες. Για παράδειγμα η πιο κάτω δήλωση περιγράφει ένα χρήστη ο οποίος έχει να επιλέξει ανάμεσα στο να πιεί τσάι ή καφέ που θα ήταν πιθανό να μοντελοποιεί ένα χρήστη ο οποίος βρίσκεται σε ένα μηχάνημα επιλογής ποτών [19].

$$User = tea.0 + coffee.0$$

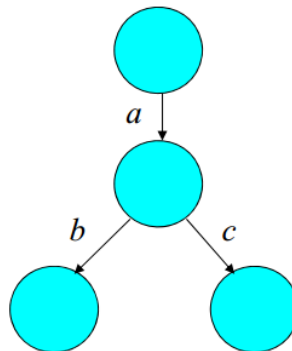
- Τελεστής παράλληλης σύνθεσης

Ο τελεστής παράλληλης σύνθεσης μας προσφέρει την ικανότητα να εκφράσουμε την παράλληλη κίνηση δύο διεργασιών. Δηλαδή αν έχουμε δύο διεργασίες P , Q και μπορούν να εκτελέσουν τις ενέργειες a, b αντίστοιχα, δηλαδή ισχύει ότι $P = a.P', Q = b.Q'$, και θέλουμε να εκφράσουμε την παράλληλη σύνθεση τους, τότε γράφουμε

$$P \parallel Q$$

για να δείξουμε ότι οι δύο διεργασίες μπορούν να κινηθούν παράλληλα. Δηλαδή οι δύο διεργασίες εκτελούν παράλληλα τις ενέργειες a, b και συμπεριφέρονται ως διεργασίες P' και Q' , $P \parallel Q \xrightarrow{a,b} P' \parallel Q'$.

Οι τελεστές αυτοί συνδυάζονται προκειμένου να δημιουργήσουν ένα σύνολο από κανόνες οι οποίοι αποτελούν και την σημασιολογία μιας άλγεβρας διεργασιών. Κάθε άλγεβρα διεργασιών συνήθως αποτελείται από κάποιους βασικούς κανόνες και από επεκτάσεις τους. Με βάση τους κανόνες η συμπεριφορά του συστήματος ορίζεται ως ένας γράφος. Στο Σχήμα 3.4 φαίνεται η γραφική αναπαράσταση των δυνατών ενεργειών της διεργασίας $P = a.(b.0 + c.0)$. Η διεργασία P αφού εκτελέσει την ενέργεια a έχει την δυνατότητα επιλογής εκτέλεσης είτε της ενέργειας b , είτε της ενέργειας c . Ένας γράφος ενός συστήματος αποτελεί το σύστημα μετάβασης στο οποίο μια κατάσταση επιλέγεται ως η ρίζα, δηλαδή η αρχική κατάσταση του συστήματος. Αν το σύστημα περιέχει μεταβάσεις της μορφής $S \xrightarrow{a} S'$, τότε ο γράφος μπορεί να εξελιχθεί από την κατάσταση S στην κατάσταση S' εκτελώντας την ενέργεια a . Οι γράφοι συνήθως χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ισοδυναμίας μεταξύ δύο συστημάτων. Ισοδυναμία μεταξύ δύο γράφων δύο συστημάτων υπάρχει αν και μόνο αν μπορούν να εκτελέσουν ακριβώς το ίδιο σύνολο ενεργειών.



Σχήμα 3.4: Γράφος διεργασίας $P = a.(b.0 + c.0)$ [19]

3.4 Σημασιολογία

Η σημασιολογία στις άλγεβρες διεργασιών αποτελεί ένα σύνολο από κανόνες που συλλαμβάνουν την συμπεριφορά κάθε ενός από τους τελεστές που την αποτελούν. Μέσω της σημασιολογίας περιγράφονται όλες οι ικανές και μη κινήσεις, που μπορεί να

κάνει το σύστημα μας ανάλογα με το τι θέλουμε να περιγράψουμε. Οι κανόνες σε όλες τις άλγεβρες διεργασιών δηλώνονται με τον πιο κάτω τρόπο και δηλώνουν πως αν ισχύουν οι συνθήκες μεταβάσεων και η επιμέρους συνθήκη, τότε ισχύει το συμπέρασμα το οποίο είναι η ζητούμενη μετάβαση. Οποιοσδήποτε κανόνας δεν περιέχει συνθήκες μεταβάσεων ονομάζεται αξίωμα. Επίσης δεν είναι υποχρεωτικό σε όλους τους κανόνες να υπάρχει μια επιμέρους συνθήκη.

$\frac{\text{συνθήκες μεταβάσεων}}{\text{συμπέρασμα}} \quad \text{επιμέρους συνθήκη}$

Αφού αναφέραμε τα βασικά συστατικά των άλγεβρων διεργασιών στην συνέχεια θα κάνουμε μια περιγραφή δυο άλγεβρων διεργασιών που αποτέλεσαν το κύριο σημείο αναφοράς στην ανάπτυξη της άλγεβρας διεργασιών A E S C .

3.5 Η άλγεβρα διεργασιών A C S R

3.5.1 Περιγραφή

Η άλγεβρα διεργασιών A C S R δημιουργήθηκε για να περιγράψει και να αναλύσει συστήματα πραγματικού χρόνου τα οποία αποτελούνται από διεργασίες που τρέχουν παράλληλα και επικοινωνούν μεταξύ τους [7]. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση της C C S που χρησιμοποιεί ενέργειες που καταναλώνουν χρόνο καθώς και πιθανότητες [8]. Συγκεκριμένα η άλγεβρα διεργασιών A C S R υποστηρίζει συγχρονισμένες χρονικές ενέργειες και ασύγχρονα στιγμιαία γεγονότα. Η A C S R δίνει ένα τυπικό πλαίσιο το οποίο συνδυάζει την περιοχή της άλγεβρας διεργασιών και χρονοπρογραμματισμού πραγματικού χρόνου και μέσω αυτής μπορούμε να μελετούμε συστήματα τα οποία είναι ευαίσθητα σε θέματα καθυστέρησης και διαθεσιμότητας πόρων όπως είναι ένα λειτουργικό σύστημα.

3.5.2 Γλώσσα

Το μοντέλο της άλγεβρας διεργασιών ACSR βασίζεται στην άποψη ότι ένα σύστημα πραγματικού χρόνου αποτελείται από ένα σύνολο διεργασιών οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους και χρησιμοποιούν κοινούς πόρους, οι οποίοι συμβολίζονται με R , για να εκτελέσουν τις λειτουργίες τους ή για να επικοινωνήσουν μεταξύ τους. Η χρησιμοποίηση πόρων μοντελοποιείται ως χρονική ενέργεια κατά την οποία καταναλώνεται χρόνος. Αντίθετα η επικοινωνία μεταξύ δύο διεργασιών θεωρείται ως στιγμιαίο γεγονός κατά την οποία δεν καταναλώνεται χρόνος. Μια ενέργεια a , στην ACSR μπορεί να είναι:

- Ενέργεια εισόδου: $a, a?$
- Ενέργεια εξόδου: $\bar{a}, a!$
- Εσωτερική ενέργεια: τ

Η εσωτερική ενέργεια μπορεί να συμβεί αν έχουμε ταυτόχρονη εμφάνιση της ενέργειας εισόδου και ενέργειας εξόδου. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι έχουμε επικοινωνία μεταξύ των δύο διεργασιών.

Ο χρόνος στην άλγεβρα διεργασιών ACSR είναι διακριτός και επομένως τα γεγονότα μπορούν να εμφανιστούν μόνο σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Αν και στα συστήματα πραγματικού χρόνου δεν ισχύει κάτι τέτοιο θα ήταν δύσκολη οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση του χρόνου από την ACSR [7]. Επίσης προκειμένου να χειρίζεται θέματα που αφορούν πότε μια ενέργεια υπερνικά μια άλλη έχει εισαχθεί στην ACSR η έννοια της προτεραιότητας. Επομένως κάθε ενέργεια και κάθε στιγμιαίο γεγονός που μπορεί να εκτελέσει το σύστημα συνοδεύεται και από μια προτεραιότητα.

3.5.3 Σύνταξη

Η γραμματική η οποία περιγράφει την σύνταξη των διεργασιών στην ACSR περιγράφεται στο Σχήμα 3.5. Η διεργασία μπορεί να είναι NIL , δηλαδή να μην εκτελεί

καμία ενέργεια, να εκτελεί μια ενεργεία A η οποία καταναλώνει πόρους και στην συνέχεια εξελίσσεται, $A:P$, ή να εκτελεί ένα στιγμιαίο γεγονός (a,n) και στην συνέχεια να εξελίσσεται, $(a,n):P$. Επίσης μπορεί να είναι μια επιλογή μεταξύ δύο διεργασιών, $P+Q$ και η παράλληλη σύνθεση δύο διεργασιών, $P\parallel Q$. Ο τελεστής της εμβέλειας, $P\Delta_t^a(Q,R,S)$, δεσμεύει την διεργασία P σε μια προσωρινή εμβέλεια. Συγκεκριμένα το t δηλώνει την μέγιστη ώρα που μπορεί να εκτελείται η διεργασία P και τα Q,R,S αποτελούν χειριστήρια που χειρίζονται διάφορες περιπτώσεις που μπορεί να συμβούν κατά την εκτέλεση της P . Ο τελεστής $[P]_I$ δεσμεύει όλους τους πόρους $I \subseteq R$, ο τελεστής περιορισμού $P\backslash L$, περιορίζει την συμπεριφορά της P και τέλος η διεργασία $rec\ X..P$ δηλώνει την αναδρομή.

$$P ::= \text{NIL} \mid A:P \mid (a,n).P \mid P+P \mid P\parallel P \mid P\Delta_t^a(P,P,P) \mid [P]_I \mid P\backslash F \mid rec\ X.P \mid X$$

Σχήμα 3.5: Σύνταξη ACSR [7]

3.5.4 Σημασιολογία

Η σημασιολογία της άλγεβρας διεργασιών ACSR απεικονίζει τις δυνατές λειτουργίες και αλληλεπιδράσεις του συστήματος. Διαχωρίζεται σε δύο βήματα. Πρώτα η σημασιολογία χωρίς την εισαγωγή της προτεραιότητας καθορίζει τα βήματα μιας διαδικασίας ως δομικοί κανόνες [13]. Στην συνέχεια η σημασιολογία με εισαγωγή προτεραιότητας αποκλείει την εκτέλεση ορισμένων ενεργειών που υπερτερούν έναντι άλλων. Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει όλους τους κανόνες που συνθέτουν την άλγεβρα διεργασιών ACSR χωρίς την ύπαρξη προτεραιότητας..

(Act1)	$e.P \xrightarrow{e} P$	(Act2)	$A : P \xrightarrow{A} P$
(Sum1)	$\frac{P_1 \xrightarrow{\alpha} P}{P_1 + P_2 \xrightarrow{\alpha} P}$	(Sum2)	$\frac{P_2 \xrightarrow{\alpha} P}{P_1 + P_2 \xrightarrow{\alpha} P}$
(Par1)	$\frac{P_1 \xrightarrow{e} P'_1}{P_1 \parallel P_2 \xrightarrow{e} P'_1 \parallel P_2}$	(Par2)	$\frac{P_2 \xrightarrow{e} P'_2}{P_1 \parallel P_2 \xrightarrow{e} P_1 \parallel P'_2}$
(Par3)	$\frac{P_1 \xrightarrow{(a?,n)} P'_1, P_2 \xrightarrow{(a!,n)} P'_2}{P_1 \parallel P_2 \xrightarrow{(r,n+m)} P'_1 \parallel P'_2}$		
(Par4)	$\frac{P_1 \xrightarrow{A_1} P'_1, P_2 \xrightarrow{A_2} P'_2}{P_1 \parallel P_2 \xrightarrow{A_1 \cup A_2} P'_1 \parallel P'_2}, \quad \rho(A_1) \cap \rho(A_2) = \emptyset$		
(Res1)	$\frac{P \xrightarrow{e} P', \quad l(e) \notin F}{P \setminus F \xrightarrow{e} P' \setminus F}$	(Res2)	$\frac{P \xrightarrow{A} P'}{P \setminus F \xrightarrow{A} P' \setminus F}$
(CI1)	$\frac{P \xrightarrow{A_1} P', A_2 = \{(r,0) \mid r \in I - \rho(A_1)\}}{[P]_I \xrightarrow{A_1 \cup A_2} [P']_I}$	(CI2)	$\frac{P \xrightarrow{e} P'}{[P]_I \xrightarrow{e} [P']_I}$
(Hide1)	$\frac{P \xrightarrow{A} P', \quad A' = \{(r,n) \in A \mid r \notin I\}}{P \setminus I \xrightarrow{A'} P' \setminus I}$	(Hide2)	$\frac{P \xrightarrow{e} P'}{P \setminus I \xrightarrow{e} P' \setminus I}$
(Sc1)	$\frac{P \xrightarrow{e} P', \quad l(e) \neq bl, \quad t > 0}{P \Delta_t^b(Q, R, S) \xrightarrow{e} P' \Delta_t^b(Q, R, S)}$	(Sc2)	$\frac{P \xrightarrow{(bl,n)} P', \quad t > 0}{P \Delta_t^b(Q, R, S) \xrightarrow{(r,n)} Q}$
(Sc3)	$\frac{P \xrightarrow{A} P', \quad t > 0}{P \Delta_t^b(Q, R, S) \xrightarrow{A} P' \Delta_{t-1}^b(Q, R, S)}$	(Sc4)	$\frac{R \xrightarrow{\alpha} R', \quad t = 0}{P \Delta_t^b(Q, R, S) \xrightarrow{\alpha} R'}$
(Sc5)	$\frac{S \xrightarrow{\alpha} S', \quad t > 0}{P \Delta_t^b(Q, R, S) \xrightarrow{\alpha} S'}$	(Rec)	$\frac{P \xrightarrow{\alpha} P', C \stackrel{\text{def}}{=} P}{C \xrightarrow{\alpha} P'}$

Πίνακας 3.1: Κανόνες μετάβασης συστήματος πριν από προτεραιότητα [13]

3.6 Η άλγεβρα διεργασιών PADS

3.6.1 Περιγραφή

Η άλγεβρα διεργασιών PADS (Process Algebra for Demand and Supply) δημιουργήθηκε ως μια προσέγγιση για μοντελοποίηση των αιτήσεων πόρων και προμήθειας για την τυπική ανάλυση ενός ιεραρχικού χρονοπρογραμματισμού. Αποτελεί ένα πλαίσιο για ανάλυση σχετικά με τις ενέργειες αίτησης και προμήθειας πόρων, σε ένα σύστημα πραγματικού χρόνου η οποία είναι εμπνευσμένη από την άλγεβρα διεργασιών ACSR (Algebra of Communicating Shared Resources). Η βασική διαφορά της άλγεβρας PADS από τα υπόλοιπα πλαίσια τα οποία δημιουργήθηκαν για

την θεωρία χρονοπρογραμματισμού πραγματικού χρόνου είναι πως περιγράφει τόσο τις διεργασίες που ζητούν τους πόρους, όσο και την προμήθεια που δίνει τους πόρους. Αντίθετα τα υπόλοιπα πλαίσια δεν είναι τόσο εκφραστικά αφού ενώ είναι ικανά να περιγράψουν τις διεργασίες που κάνουν τις αιτήσεις δεν μπορούν να μοντελοποιήσουν την προμήθεια πόρων [12].

3.6.2 Γλώσσα

Η άλγεβρα διεργασιών PADS ασχολείται με την ανάλυση ενός συστήματος το οποίο αποτελείται από ένα σύνολο διεργασιών. Οι διεργασίες αυτές λειτουργούν βάση ενός συνόλου επαναχρησιμοποιήσιμων πόρων που συμβολίζεται με R . Πιο συγκεκριμένα οι διεργασίες αυτές χωρίζονται περαιτέρω στις εργασίες που πρέπει να εκτελέσει το σύστημα και που χρειάζονται να δεσμεύσουν κάποιους πόρους, και στις προμήθειες που ορίζουν πότε και ποιοι πόροι είναι διαθέσιμοι.

Κάθε πόρος $r \in R$ μπορεί να:

- Ζητείται από μια εργασία: r
- Χορηγείται από μια προμήθεια: $\bar{r}$
- Να καταναλώνεται: $\vec{r}$

Η κατανάλωση ενός πόρου μπορεί να συμβεί εφόσον η αίτηση και η χορηγία για τον ίδιο πόρο είναι διαθέσιμες την ίδια χρονική στιγμή. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι έχουμε συγχρονισμό των δύο ενεργειών.

Για να αυξήσουν την εκφραστικότητα του συστήματος, οι αιτήσεις και οι καταναλώσεις των πόρων συνοδεύονται από μια προτεραιότητα, όπου οι προτεραιότητες ανήκουν στο σύνολο των θετικών ακεραίων. Με την εισαγωγή της προτεραιότητας μπορούμε να περιγράψουμε μέσω της άλγεβρας αυτής την πιο ακριβή συμπεριφορά τέτοιων συστημάτων πραγματικού χρόνου για αίτηση και χορηγία πόρων. Αυτό γιατί λόγω του ότι οι πόροι είναι πεπερασμένοι πολλές φορές οι εργασίες πρέπει να συναγωνίζονται η

μια την άλλη στο πιαθα δεσμεύσει πιο γρήγορα τους πόρους αυτούς ανάλογα με τις ανάγκες της.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο στην μοντελοποίηση τέτοιων συστημάτων αποτελεί και η έννοια του χρόνου. Η χρονική συμπεριφορά ενός συστήματος πραγματικού χρόνου εξαρτάται τόσο από τις καθυστερήσεις που συμβαίνουν λόγω συγχρονισμού στις διεργασίες όσο και από την διαθεσιμότητα των κοινών πόρων [7]. Οι περισσότερες άλγεβρες διεργασιών πραγματικού χρόνου συλλαμβάνουν τις καθυστερήσεις λόγω συγχρονισμού αλλά υστερούν στο να συλλάβουν τις καθυστερήσεις που μπορεί να συμβούν λόγω διαθεσιμότητας ή μη των πόρων. Αυτό συμβαίνει γιατί θεωρούν ότι οι εργασίες δουλεύουν σε ένα ιδανικό λειτουργικό σύστημα και μπορούν να δεσμεύσουν τους πόρους όποτε θέλουν. Αυτό δεν συμβαίνει στην άλγεβρα διεργασιών PADS αφού όπως είπαμε μοντελοποιεί και την προμήθεια πόρων.

Στην άλγεβρα διεργασιών PADS, ο χρόνος είναι διακριτός και γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ενέργειες απαιτούν μια μονάδα χρόνου για να ολοκληρωθούν, η οποία καθορίζεται μέσω ενός καθολικού ρολογιού. Η ενέργεια $\emptyset$ δηλώνει την αδράνεια μιας εργασίας η οποία μπορεί να συμβεί αν η εργασία δεν ζητά κάποιο πόρο την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

3.6.3 Σύνταξη

Η σύνταξη της άλγεβρας PADS παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5. Η γραμματική που χρησιμοποιείται καθορίζει ένα σύνολο από εργασίες, T , προμήθειες, S , και συστήματα, P , τα οποία περιγράφουν τον συνδυασμό των ενεργειών που μπορούν να γίνουν από τις εργασίες και τις προμήθειες. Τα ρ, γ αποτελούν το σύνολο όλων των δυνατών ενεργειών που μπορεί να εκτελέσει μια διεργασία του συστήματος. Το FIN συμβολίζει τον ομαλό τερματισμό μιας διεργασίας ενώ αντίθετα το δ δηλώνει αδιέξοδο του συστήματος. Τέλος τα C, D αποτελούν ένα σύνολο από σταθερές που σχετίζονται με εργασίες και προμήθειες αντίστοιχα.

$$\begin{aligned}
T &::= \text{FIN} \mid \rho : T \mid T + T \mid C \\
S &::= \text{FIN} \mid \gamma : S \mid S + S \mid D \\
P &::= \delta \mid T \mid S \mid P \parallel P
\end{aligned}$$

Σχήμα 3.5: Σύνταξη PADS [12]

Επομένως μια εργασία μπορεί να είναι *FIN*, να εκτελέσει μια ενέργεια για μία μονάδα χρόνου και να εξελιχθεί σε *T* ή να είναι μια μη ντετερμινιστική επιλογή $T_1 + T_2$. Το ίδιο ισχύει και για τις προμήθειες χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους τελεστές. Τέλος το σύστημα μπορεί να είναι αδιέξοδο ή ένας οποιοσδήποτε συνδυασμός από εργασίες και προμήθειες.

3.6.4 Σημασιολογία

Η σημασιολογία της άλγεβρας διεργασιών PADS απεικονίζει τις δυνατές λειτουργίες και αλληλεπιδράσεις του συστήματος διατυπωμένου στη γλώσσα προδιαγραφής της άλγεβρας διεργασιών [19]. Η σημασιολογία χωρίζεται σε δύο βήματα. Αρχικά δεν γίνεται εισαγωγή της έννοιας της προτεραιότητας επομένως ο μη ντετερμινισμός επιλύεται με όλους τους δυνατούς τρόπους. Ακολούθως ορίζεται μια έννοια προτεραιότητας που βάση αυτής η σημασιολογία εκλεπτύνεται. Με την εισαγωγή της σημασιολογίας με προτεραιότητα η PADS επιτυγχάνει να κρατήσει στο σύστημα μεταβάσεις που υλοποιούν τις καλύτερες και επιθυμητές συμπεριφορές των εργασιών. Ο Πίνακας 3.3 παρουσιάζει τους κανόνες μετάβασης του συστήματος πριν την εισαγωγή της προτεραιότητας.

(Idle)	$FIN \xrightarrow{\emptyset} FIN$	
(ActT)	$\rho : T \xrightarrow{\rho} T$	(ActS) $\gamma : S \xrightarrow{\gamma} S$
(SumT)	$\frac{T_i \xrightarrow{\alpha} T, i \in \{1, 2\}}{T_1 + T_2 \xrightarrow{\alpha} T}$	(SumS) $\frac{S_i \xrightarrow{\alpha} S, i \in \{1, 2\}}{S_1 + S_2 \xrightarrow{\alpha} S}$
(ConstT)	$\frac{T \xrightarrow{\alpha} T'}{C \xrightarrow{\alpha} T'} \quad C \stackrel{\text{def}}{=} T$	(ConstS) $\frac{S \xrightarrow{\alpha} S'}{D \xrightarrow{\alpha} S'} \quad D \stackrel{\text{def}}{=} S$
(Par)	$\frac{P_1 \xrightarrow{\alpha_1} P'_1 \quad P_2 \xrightarrow{\alpha_2} P'_2}{P_1 \parallel P_2 \xrightarrow{\alpha_1 \oplus \alpha_2} P'_1 \parallel P'_2}$	compatible(α_1, α_2)

Πίνακας 3.3: Κανόνες μετάβασης συστήματος πριν από προτεραιότητα [12]

Το αξίωμα (Idle) χαρακτηρίζει μια διεργασία η οποία έχει τερματίσει και επιτρέπει στο σύστημα να περνά χρόνο. Οι κανόνες (ActT) και (ActS) δηλώνουν πως μια διεργασία μπορεί να εκτελέσει μια ενέργεια και να εξελιχθεί, οι κανόνες (SumT) και (SumS) δηλώνουν την μη ντετερμινιστική επιλογή μεταξύ δυο διεργασιών, οι κανόνες (ConstT) και (ConstS) δηλώνουν το πως λειτουργεί μια σταθερά και τέλος ο κανόνας (Par) δηλώνει τότε είναι επιτρεπτή η παράλληλη εξέλιξη του συστήματος.

Μέσω των κανόνων αυτών μελετήθηκε η συμπεριφορά ενός συστήματος πραγματικού χρόνου στο οποίο εργασίες και προμήθειες αιτούνται και χορηγούν κοινούς πόρους. Η άλγεβρα διεργασιών PADS βοήθησε στο να οριστεί η ακριβής έννοια του χρονοπρογραμματισμού διεργασιών, δηλαδή στο πότε μια διεργασία μπορεί να χρονοπρογραμματίσει κάτω από μια διεργασία προμήθειας. Επίσης ορίστηκε μια σχέση προμήθειας μεταξύ μιας εργασίας και μιας προμήθειας, που δηλώνει ότι η προμήθεια είναι σε θέση να χρονοπρογραμματίσει την εργασία. Εκτός αυτού μελετήθηκαν και ορίστηκαν διάφορες άλλες τεχνικές όπως για παράδειγμα η σύνθεση μιας βέλτιστης προμήθειας για ένα σύνολο εργασιών.

Η μελέτη της άλγεβρας διεργασιών PADS ήταν απαραίτητη προκειμένου να κατανοήσουμε περισσότερα όσον αφορά το πρόβλημα χορηγίας και κατανάλωσης πόρων και να δημιουργήσουμε την άλγεβρα διεργασιών AESC η οποία μελετά το

πρόβλημα χορηγίας και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα σύστημα κατανομής ενέργειας.

Κεφάλαιο 4

Άλγεβρα Διεργασιών AESC

4.1 Περιγραφή	37
4.2 Γλώσσα συστήματος AESC	38
4.3 Σύνταξη	41
4.4 Σημασιολογία	42

4.1 Περιγραφή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή της άλγεβρας διεργασιών AESC (Algebra for Energy and Consumption) που έχει σαν σκοπό την μοντελοποίηση της αίτησης και προμήθειας ενέργειας. Συγκεκριμένα μοντελοποιούμε τις αιτήσεις για ενέργεια που γίνονται από τις διάφορες ομάδες (εταιρίες, οργανισμοί, οικίες, ξενοδοχεία κτλ) και ορίζουμε πως αυτές μπορούν να χρονοπρογραμματιστούν από ένα σύστημα κατανομής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Η συγκεκριμένη άλγεβρα διεργασίας είναι εμπνευσμένη από την άλγεβρα διεργασίας PADS.

Οι έννοιες της αίτησης και προμήθειας ενέργειας αποτελούν σημαντικό στοιχείο για τον καθορισμό της έννοιας της ανάλυσης του χρονοπρογραμματισμού σε πραγματικό χρόνο. Στο κεφάλαιο αυτό ορίζουμε με τυπικό τρόπο και τις δύο έννοιες αυτές. Μέσω της ανάλυσης του προβλήματος αυτού μελετούμε τα ακόλουθα θέματα:

- *Χρονοπρογραμματισμός:* Καθορίζουμε μια σχέση προμήθειας (supply relation), την οποία συμβολίζουμε με $\mid =$ και αντιπροσωπεύει τότε μια εργασία T , είναι χρονοπρογραμματίσιμη από μια προμήθεια S .

- *Remainder*: Ορίζουμε την έννοια του $remainder(S, T)$ ως την υπόλοιπη προμήθεια που απομένει μετά από την εκτέλεση μιας δράσης μεταξύ μιας προμήθειας S και μιας εργασίας T και αποδεικνύουμε ότι αν μια προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει μια εργασία T_1 και το υπόλοιπο της, μια εργασία T_2 , τότε η προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει παράλληλα τις εργασίες T_1 και T_2 .

4.2 Γλώσσα συστήματος AESC

Θεωρούμε ότι το σύστημα μας αποτελείται από ένα σύνολο διεργασιών οι οποίες λειτουργούν βάσει ενός συνόλου διαθέσιμων πόρων R . Συγκεκριμένα οι διεργασίες μας χωρίζονται στις εργασίες και τις προμήθειες. Πιο κάτω παρουσιάζουμε τα βασικά συστατικά του συστήματος.

• Πόροι

Το σύστημα θα έχει ένα σύνολο πόρων R . Κάθε $r_i \in R$ θα αντιπροσωπεύει το είδος του πόρου της ενέργειας. Για παράδειγμα ο πόρος r_1 θα συμβολίζει την ηλιακή ενέργεια που δέχεται το σύστημα, ο πόρος r_2 την αιολική ενέργεια κ.ο.κ. Κάθε εργασία θα καθορίζει από πριν από ποιους πόρους θα ζητά ενέργεια. Για παράδειγμα μια εργασία που αντιπροσωπεύει μια εταιρία η οποία είναι φιλική προς το περιβάλλον και λειτουργεί μόνο με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα ζητά μόνο ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Κάθε πόρος $r_i \in R$ μπορεί να ζητείται από μια εργασία, r_i , να χορηγείται από μια προμήθεια, $\overline{r_i}$, ή να καταναλώνεται, $\overleftrightarrow{r_i}$, όταν ζητείται από μια εργασία και χορηγείται από μια προμήθεια ταυτόχρονα.

• Εργασίες

Σε ένα σύστημα κατανομής ενέργειας οι εργασίες αντιπροσωπεύουν τις διάφορες μονάδες οι οποίες ζητούν ενέργεια. Συμβολίζουμε κάθε τέτοια εργασία με την σημειογραφία T_i όπου $i \in \mathbb{N}$. Κάθε εργασία T_i θα ορίζεται βάσει των δράσεων που την χαρακτηρίζουν. Μια δράση μιας εργασίας έχει την μορφή (r, e, pr) και αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά: τον πόρο από τον οποίο ζητά την ενέργεια, r , το ποσό της

ενέργειας που ζητά, e , και την προτεραιότητα που έχει pr , έναντι άλλων εργασιών, όπου $pr \in \mathbb{N}$. Οι προτεραιότητες χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την σημαντικότητα της συγκεκριμένης εργασίας. Για παράδειγμα μια εργασία που αντιπροσωπεύει ένα νοσοκομείο θα έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα στην ζήτηση ενέργειας από μια εργασία που αντιπροσωπεύει μια οικία.

- **Προμήθεια**

Σε ένα σύστημα κατανομής ενέργειας η προμήθεια καθορίζει για κάθε χρονική στιγμή ποιοι πόροι είναι διαθέσιμοι, δηλαδή έχουν αποθηκευμένο κάποιο ποσό ενέργειας. Δοθέντος ενός πόρου r_i , θα συμβολίζουμε την διαθεσιμότητα του συγκεκριμένου πόρου με $\overline{r_i}$. Κάθε προμήθεια S_i , θα ορίζεται βάσει των δράσεων που την χαρακτηρίζουν. Μια δράση μιας προμήθειας έχει την μορφή $(\overline{r}, C)$ και αποτελείται από τα εξής χαρακτηριστικά: διαθέσιμο πόρο, $\overline{r}$ και προσφερόμενες μονάδες ενέργειας για τον κάθε διαθέσιμο πόρο, C .

- **Δράσεις**

Μια δράση στην άλγεβρα διεργασιών μας αντιστοιχεί σε ένα πολυσύνολο το οποίο συνδέει αιτήσεις πόρων, χορηγήσεις και καταναλώσεις. Στη συνέχεια, για θέματα απλοποίησης, θα αναφερόμαστε στα πολυσύνολα με τον ορισμό του συνόλου. Αξίζει να σημειώσουμε ότι κάθε πόρος μπορεί να αναπαρασταθεί περισσότερες από μια φορές σε μια δράση αφού η συνολική του ενέργεια δυνατόν να εξυπηρετεί περισσότερες από μια εργασίες. Για παράδειγμα η δράση $\{(\vec{r_1}, 10, 1), (\vec{r_1}, 10, 1)\}$ περιλαμβάνει την κατανάλωση από τον πόρο r_1 20 μονάδων ενέργειας (συνολικά) από δύο διαφορετικές εργασίες που τυγχάνει να ζητούν από τον ίδιο πόρο την ίδια ποσότητα ενέργειας και με την ίδια προτεραιότητα. Η έννοια του συνόλου δεν θα μας παρείχε την δυνατότητα αναπαράστασης της πιο πάνω δράσης γι' αυτό και αναφερόμαστε σε πολυσύνολα. Οι δράσεις των αιτήσεων και των καταναλώσεων οι οποίες αφορούν τις εργασίες συνοδεύονται από την έννοια της προτεραιότητας.

Για παράδειγμα η δράση $\{(r_1, 100, 1), (r_2, 200, 2)\}$ δηλώνει την αίτηση 100 μονάδων ενέργειας από τον πόρο r_1 με προτεραιότητα 1 και την αίτηση 200 μονάδων ενέργειας

από τον πόρο r_2 με προτεραιότητα 2. Η δράση $\{(r_1, 100, 1), (\bar{r}_2, 50), (\vec{r}_2, 20, 2)\}$ δηλώνει την αίτηση 100 μονάδων ενέργειας από τον πόρο r_1 με προτεραιότητα 1, την χορηγία 50 μονάδων ενέργειας από τον πόρο r_2 και την κατανάλωση 20 μονάδων ενέργειας από τον πόρο r_2 με προτεραιότητα 2.

Ορίζουμε τις πιο κάτω έννοιες σε σχέση με τις δράσεις:

- Γράφουμε $\rho(a)$ για το σύνολο των πόρων που εμφανίζονται σε μια δράση a . Για παράδειγμα $\rho(\{(r_1, 100, 1), (\bar{r}_2, 50), (\vec{r}_2, 20, 2)\}) = \{r_1, r_2\}$

- Γράφουμε a^μ για το σύνολο των πόρων που εμφανίζονται σε μια δράση a με την μορφή που εμφανίζονται.

Για παράδειγμα $\{(r_1, 100, 1), (\bar{r}_2, 50), (\vec{r}_2, 20, 2)\}^\mu = \{r_1, \bar{r}_2, \vec{r}_2\}$

- Γράφουμε $act_r(a)$ για όλα τα αιτήματα της δράσης a που αναφέρονται στον πόρο r . Δηλαδή $act_r(a) = \{(r, e, pr) \mid (r, e, pr) \in a\}$.

Για παράδειγμα $act_{r_1}(\{(r_1, 100, 1), (r_2, 200, 0), (\bar{r}_1, 200)\}) = \{(r_1, 100, 1)\}$

- Γράφουμε $cap(r, a)$ για το ποσό της ενέργειας που ζητείται από τον πόρο r μέσω της δράσης a . Δηλαδή $cap(r, a) = \sum_{(r, x, pr) \in a} x$

Για παράδειγμα από την δράση $a = \{(r_1, 100, 1), (\bar{r}_2, 50), (\vec{r}_2, 20, 3)\}$ έχουμε ότι

$$cap(r_1, a) = 100$$

Η έννοια του χρόνου είναι πολύ σημαντική σε ένα σύστημα κατανομής ενέργειας. Ο χρόνος θα συλλαμβάνει την στιγμή όπου μια εργασία εμφανίζεται στο σύστημα. Στο σύστημα μας ο χρόνος ορίζεται ως διακριτός. Δηλαδή μετριέται μέσω διακριτών τιμών και αυξάνεται μέσω διακριτών βημάτων. Κάθε δράση παίρνει μια μονάδα χρόνου και για να εκφράσουμε δράσεις οι οποίες έχουν μεγαλύτερη διάρκεια από μια μονάδα χρόνου τότε επαναλαμβάνουμε την ίδια δράση όσες φορές είναι και η διάρκεια που

θέλουμε να ορίσουμε. Χρησιμοποιούμε διακριτό χρόνο για να απλοποιήσουμε το σύστημα μας υποθέτοντας ότι οι εργασίες εμφανίζονται σε καθορισμένες χρονικές περιόδους. Επίσης να σημειώσουμε ότι η μεταβολή του χρόνου είναι συγχρονισμένη. Δηλαδή ο χρόνος περνά μόνο αν όλες οι διεργασίες του συστήματος συμφωνούν, επομένως υπάρχει για όλες μια μεταβολή του χρόνου μεταφέροντας τις σε μια νέα κατάσταση. Αν μια εργασία δεν είναι ενεργή, δηλαδή δεν χρησιμοποιεί κάποιο διαθέσιμο πόρο τότε συμβολίζουμε την δράση αυτή με την σημειογραφία $\emptyset$.

4.3 Σύνταξη

Στην σύνταξη της γραμματικής μας καθορίζουμε το σύνολο εργασιών, T , το σύνολο προμηθειών, S και το σύνολο των συστημάτων, P . Επίσης το σύμβολο C προέρχεται από ένα σύνολο σταθερών οι οποίες χρησιμοποιούνται για να ορίσουν δράσεις. Κάθε σταθερά C , συνοδεύεται από ένα ορισμό της μορφής $C \stackrel{def}{=} T$, όπου η εργασία T μπορεί να περιέχει εμφανίσεις της C . Με παρόμοιο τρόπο ορίζουμε το σύμβολο D που είναι το αντίστοιχο για τις προμήθειες.

$$\begin{aligned} T &::= NIL \mid \sum_{i \in I} a_i : T_i \mid C \\ S &::= NIL \mid \sum_{i \in I} \beta_i : S_i \mid D \\ P &::= T \mid S \mid P \parallel P \end{aligned}$$

Πίνακας 4.1: Σύνταξη διεργασιών AESC

Επεξηγήσεις

Η διεργασία NIL είναι μια επιθυμητή κατάσταση όπου επιτρέπει στον χρόνο να κυλά και ορίζει πότε μια διεργασία έχει τερματίσει και δεν εκτελεί άλλες δράσεις. Μια εργασία T μπορεί να είναι NIL , μια σταθερά εργασίας C , ή μια μη ντετερμινιστική επιλογή μεταξύ ενός συνόλου εργασιών, $a_i : T_i$, όπου το i παίρνει τιμές από ένα σύνολο δεικτών I . Η διεργασία αυτή επιλέγει μη ντετερμινιστικά κάποιο $i \in I$ και συνεχίζει με την εκτέλεση της δράσης a_i κατά την πρώτη μονάδα χρόνου και ακολούθως

συμπεριφέρεται ως T_i . Για ευκολία, θα χρησιμοποιούμε την συντομογραφία $a_1:T_1 + a_2:T_2$ αντί για $\sum_{i \in \{1,2\}} a_i:T_i$. Παρόμοια μια προμήθεια S μπορεί να είναι NIL , μια σταθερά προμήθειας D , ή μια μη ντετερμινιστική επιλογή μεταξύ ενός συνόλου προμηθειών $\sum_{i \in I} \beta_i:S_i$.

Τέλος το σύστημα P αποτελεί τον συνδυασμό εργασιών με προμήθειες. Συγκεκριμένα το σύστημα μπορεί να είναι μια εργασία T , μια προμήθεια S ή παράλληλη εκτέλεση τους. Στην παράλληλη εκτέλεση $P_1 \parallel P_2$ η P_1 και η P_2 τρέχουν παράλληλα και συγχρονίζονται καθώς εκτελούν τις δράσεις τους. Επίσης όποτε μια εργασία αιτείται κάποιο πόρο, και χορηγείται από μια προμήθεια την ίδια χρονική στιγμή, τότε παίρνουμε μια κατανάλωση του συγκεκριμένου πόρου.

4.4 Σημασιολογία

Η σημασιολογία της AESC θα δοθεί σε δύο βήματα. Αρχικά θα καθορίσουμε μια σχέση μετάβασης κατά την οποία επιλύουμε τον μη ντετερμινισμό που δυνατόν να υπάρχει, με όλους τους δυνατούς τρόπους. Η σχέση αυτή υφίσταται πριν από την εισαγωγή της προτεραιότητας δράσεων και ορίζεται με το σύμβολο $\mapsto$. Στην συνέχεια αναδιαμορφώνουμε την σχέση $\mapsto$ σε $\rightarrow$, την σχέση μετάβασης με προτεραιότητα. Η σχέση αυτή υλοποιεί την έννοια της προτεραιότητας που θέλουμε να ισχύει στο σύστημα με τρόπο με τον οποίο οι εργασίες επιλύουν τον μη ντετερμινισμό τους επιλέγοντας τις καλύτερες επιλογές από την προμήθεια που τους δίνεται και λαμβάνοντας υπόψη την ύπαρξη προτεραιότητας.

Η σχέση $\mapsto$ ορίζεται αναδρομικά ως ένα σύνολο από κανόνες της μορφής

$\frac{\text{συνθήκες μεταβάσεων}}{\text{συμπέρασμα}} \quad \text{επιμέρους συνθήκη}$

Οι κανόνες δηλώνουν πως αν ισχύουν οι συνθήκες μεταβάσεων οι οποίες έχουν την μορφή $P \xrightarrow{a} P'$ και ισχύει και η επιμέρους συνθήκη (αν υπάρχει), τότε ισχύει το συμπέρασμα, δηλαδή η ζητούμενη μετάβαση. Οποιοσδήποτε κανόνας δεν περιέχει συνθήκες θεωρείται ως αξίωμα. Να αναφέρουμε ότι σε κάθε εκτέλεση κάποιας δράσης ο χρόνος μεταβάλλεται και επίσης δεν υπάρχει καμία διεργασία στη οποία ο χρόνος δεν μεταβάλλεται. Ένα tick του ρολογιού αντιπροσωπεύει ότι πέρασε μια μονάδα χρόνου με δυνατότητα ικανοποίησης ενέργειας, που δηλώνει ότι οι διεργασίες μεταβάλλονται ομαλά.

Στον Πίνακα 4.2 δίνονται οι κανόνες οι οποίοι απαρτίζουν τη σημασιολογία της άλγεβρας διεργασιών AESC. Η διεργασία NIL αποτελεί μια καλά καθορισμένη διεργασία η οποία επιτρέπει στον χρόνο να περνά (αξίωμα (Idle)). Διεργασίες που έχουν σαν πρόθεμα μια δράση, την εκτελούν και προχωρούν στην επόμενη κατάσταση. Η εκτέλεση της δράσης γίνεται απευθείας ((SatT) και (SatS)). Μη ντετερμινιστική επιλογή μεταξύ δύο διεργασιών για εκτέλεση επιλύεται από εκτέλεση μιας εκ των επιλογών ((Sum T) και (Sum S)). Μια σταθερά συμπεριφέρεται όπως η διεργασία στην οποία έχει οριστεί ((ConT) και (ConS)). Τέλος ο κανόνας (Par) δηλώνει πως πραγματοποιείται μια παράλληλη εκτέλεση διεργασιών.

Ο ν ο μ α σ ί α	Κ α ν ό ν α ς
Idle	$\emptyset$ $NIL \mapsto NIL$
Sum T	$\sum_{i \in I} a_i : T_i \mapsto T_i \quad i \in I$
Sum S	$\sum_{j \in J} \beta_j : S_j \mapsto S_j \quad j \in J$
Con T	$\frac{T \mapsto T'}{C \mapsto T'} \quad C = T$
Con S	$\frac{S \mapsto S'}{D \mapsto S'} \quad D = S$
Par	$\frac{P_1 \mapsto P_1', P_2 \mapsto P_2'}{P_1 \parallel P_2 \mapsto P_1' \parallel P_2'} \quad a \in a_1 \circ a_2$

Π ί ν α κ α ς 4.2: Κ α ν ό ν ε ς μ ε τ ά β α σ η ς γ ι α ε ρ γ α σ ί ε ς, π ρ ο μ ή θ ε ι ε ς κ α ι σ υ σ τ ή μ α τ α

Η παράλληλη εκτέλεση διεργασιών μπορεί να πραγματοποιηθεί από τον συνδυασμό των δράσεων τους. Ορίζουμε το $a_1 \circ a_2$ ως ένα σύνολο το οποίο περιέχει όλες τις δυνατές δράσεις που μπορεί να προκύψουν ως συνδυασμοί των a_1 και a_2 . Συγκεκριμένα, έχουμε $a \in a_1 \circ a_2$ αν και μόνο αν

$$\begin{aligned}
a = & \{(r, e, pr) \in a_i \mid \neg \exists (\bar{r}, c) \in a_{3-i}\} \cup \{(\bar{r}, c) \in a_i \mid \neg \exists (r, e, pr) \in a_{3-i}\} \\
& \cup \{(\vec{r}, e_1, pr_1), \dots, (\vec{r}, e_n, pr_n) \mid \{(r, e_1, pr_1), \dots, (r, e_n, pr_n)\} = act_r(a_i), (\bar{r}, c) \in a_{3-i}, \\
& c = e_1 + \dots + e_n\} \cup \{(\vec{r}, e_1, pr_1), \dots, (\vec{r}, e_n, pr_n), (\bar{r}, e) \mid \{(r, e_1, pr_1), \dots, (r, e_n, pr_n)\} = act_r(a_i), \\
& (\bar{r}, c) \in a_{3-i}, c = e_1 + \dots + e\} \cup \{(\vec{r}, e_1, pr_1), \dots, (\vec{r}, e_n, pr_n), (r, f_n, pr_n), (r, e_{n+1}, pr_{n+1}), \dots, \\
& (r, e_m, pr_m) \mid \{(r, e_1, pr_1), \dots, (r, e_n + f_n, p_n), (r, e_{n+1}, pr_{n+1}), \dots, (r, e_m, pr_m)\} = act_r(a_i), \\
& (\bar{r}, c) \in a_{3-i}, c = e_1 + \dots + e\}
\end{aligned}$$

Το πιο πάνω σύνολο ορίζει ότι η σύνθεση 2 δράσεων περιέχει

- Το σύνολο όλων των αιτήσεων πόρων που δεν μπορεί να καλύψει η προμήθεια
- Το σύνολο όλων των χορηγήσεων πόρων που προσφέρει η προμήθεια αλλά δεν αιτούνται από τις εργασίες.
- Το σύνολο όλων των δυνατών καταναλώσεων πόρων που μπορεί να δημιουργηθούν
- Το σύνολο όλων των δυνατών καταναλώσεων που μπορεί να δημιουργηθούν καθώς και την υπόλοιπη προμήθεια που απομένει μετά την κατανάλωση αυτή
- Το σύνολο όλων των καταναλώσεων που μπορεί να δημιουργηθούν και μπορούν να καλυφθούν από μια προμήθεια, καθώς και το σύνολο όλων των αιτήσεων που στο τέλος δεν θα μπορούν να καλυφθούν από την προμήθεια

Για παράδειγμα αν $a_1 = \{(r_1, 10, 1), (r_1, 20, 2)\}, a_2 = \{(\bar{r}_1, 25)\}$ τότε:

$$a_1 \circ a_2 = \{(\vec{r}_1, 10, 1), (r_1, 20, 2), (\bar{r}_1, 15)\}, \{(r_1, 10, 1), (\vec{r}_1, 20, 2), (\bar{r}_1, 5)\}$$

Παρατηρούμε ότι η προμήθεια της δράσης a_2 δεν είναι σε θέση να ικανοποιήσει ταυτόχρονα και τις δύο αιτήσεις για ενέργεια από τον πόρο r_1 γι' αυτό και προκύπτουν οι δύο δυνατές δράσεις πιο πάνω. Επίσης παρατηρούμε ότι παρόλο που η μια δράση της a_1 ζητά τον πόρο r_1 με μεγαλύτερη προτεραιότητα από την άλλη, εντούτοις η σύνθεση $a_1 \circ a_2$ επιτρέπει και τις δύο εναλλακτικές επιλογές για χορηγία του πόρου.

Πριν προχωρήσουμε στον ορισμό της μετάβασης με προτεραιότητα της AESC, και με αφορμή την πιο πάνω παρατήρηση ας δώσουμε ένα παράδειγμα στο οποίο οι μεταβάσεις γίνονται χωρίς προτεραιότητα. Από το πιο κάτω παράδειγμα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι οι μεταβάσεις χωρίς προτεραιότητα περιλαμβάνουν κάποιες ανεπιθύμητες συμπεριφορές που δεν θα θέλαμε να υπήρχαν στο σύστημα μας.

Π α ρ ά δ ε ι γ μ α 4.1

Έστω προμήθεια $S \stackrel{def}{=} \{(\overline{r_1}, 50), (\overline{r_2}, 100)\} : S$ η οποία προσφέρει από τον πόρο r_1 50 μονάδες ενέργειας και ταυτόχρονα από τον πόρο r_2 100 μονάδες ενέργειας και οι πιο κάτω εργασίες:

$$T_1 \stackrel{def}{=} \{(r_1, 20, 1)\} : NIL + \emptyset : \{(r_1, 20, 1)\} : NIL$$

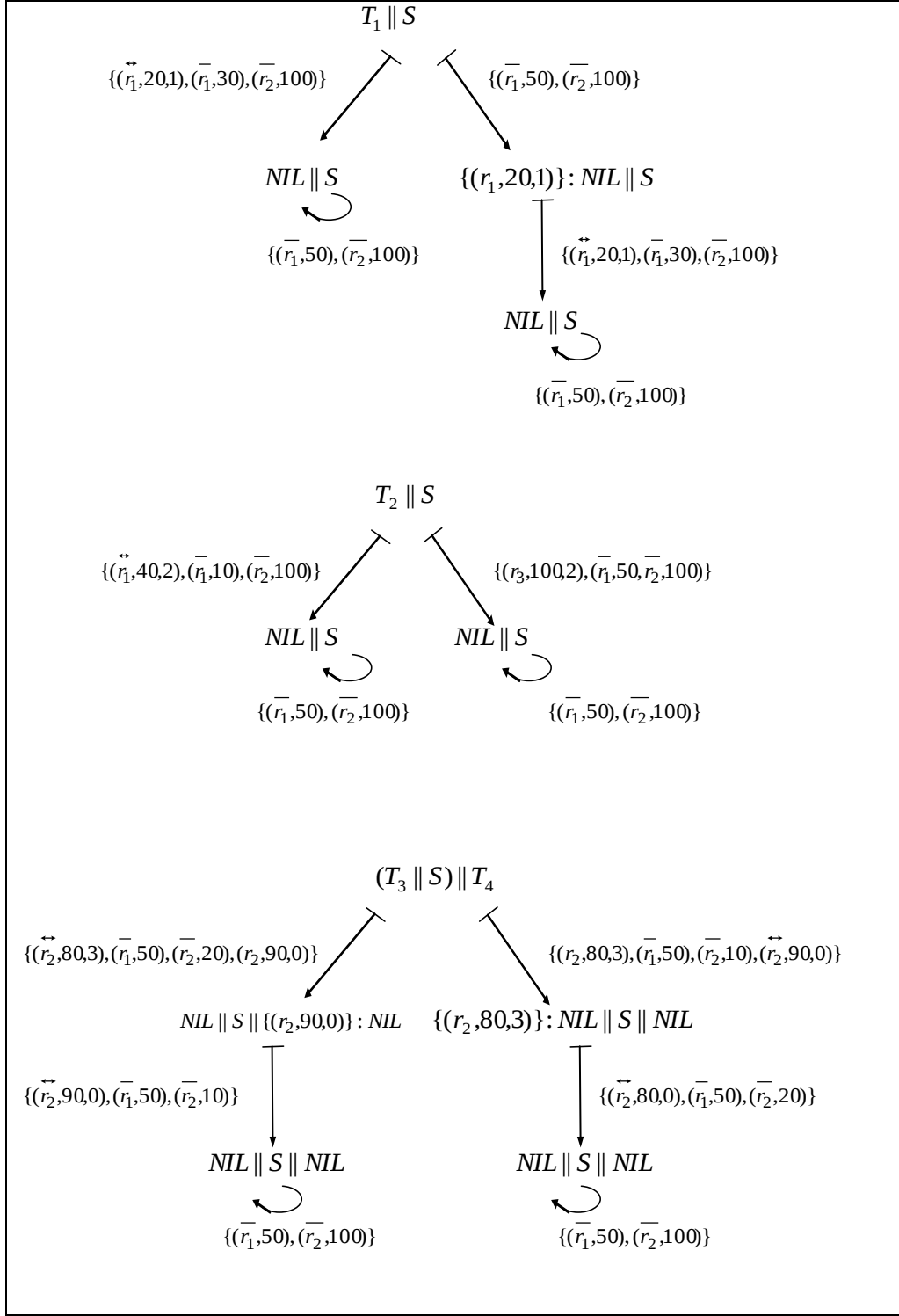
$$T_2 \stackrel{def}{=} \{(r_1, 40, 2)\} : NIL + \{(r_3, 100, 2)\} : NIL$$

$$T_3 \stackrel{def}{=} \{(r_2, 80, 3)\} : NIL$$

$$T_4 \stackrel{def}{=} \{(r_2, 90, 0)\} : NIL$$

Η εργασία T_1 ζητά 20 μονάδες από τον πόρο r_1 , με προτεραιότητα 1 είτε την πρώτη, είτε την δεύτερη μονάδα χρόνου. Η εργασία T_2 ζητά από τον πόρο r_1 , 40 μονάδες ενέργειας με προτεραιότητα 2 ή ζητά 100 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_3 με προτεραιότητα 2. Η εργασία T_3 ζητά από τον πόρο r_2 80 μονάδες ενέργειας με προτεραιότητα 3 και η εργασία T_4 ζητά από τον πόρο r_2 90 μονάδες ενέργειας με προτεραιότητα 0.

Πιο κάτω παρουσιάζουμε το σύστημα μεταβάσεων για το $T_1 || S, T_2 || S$ και $(T_3 || S) || T_4$



Σχήμα 4.1: Το σύστημα μετάβασης για το $T_1 \parallel S$, $T_2 \parallel S$ και $(T_3 \parallel S) \parallel T_4$

Προτού προχωρήσουμε με την παρουσίαση της έννοιας της προτεραιότητας, η εργασία T_1 ζητά ενέργεια από τον πόρο r_1 αμέσως αλλά αν δεν είναι διαθέσιμο κάποιο ποσό ενέργειας είναι διατεθειμένη να περιμένει για μια μονάδα χρόνου και να δοκιμάσει ξανά. Θα περιμέναμε η εργασία T_1 να έπαιρνε τον πόρο r_1 από την πρώτη χρονική στιγμή αφού είναι εφικτό. Παρατηρούμε όμως από την σημασιολογία μας ότι γίνεται επιτρεπτό από την εργασία T_1 να είναι αδρανής την πρώτη μονάδα χρόνου, έστω και αν προσφέρεται η απαιτούμενη ενέργεια από την πρώτη χρονική στιγμή, και να δεσμεύσει τον πόρο κατά την δεύτερη χρονική στιγμή κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό.

Επίσης παρατηρούμε ότι στην περίπτωση $T_2 || S$ η T_2 έχει την δυνατότητα να τερματίσει κάνοντας ζήτηση ενός πόρου που δεν είναι διαθέσιμος από την προμήθεια αντί να δεσμεύσει 40 μονάδες από τον πόρο r_1 που είναι η πρώτη της επιλογή στην μη ντετερμινιστική σύνθεση.

Τέλος όσον αφορά την περίπτωση $(T_3 || S) || T_4$ παρατηρούμε ότι δεν μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα και οι δύο εργασίες λόγω του ότι η συνολική ενέργεια που ζητούν από τον πόρο r_1 ξεπερνά την ήδη υπάρχουσα χωρητικότητα του. Επίσης παρατηρούμε ότι παρόλο που η εργασία T_3 έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από την εργασία T_4 η σημασιολογία μας επιτρέπει να αντιμετωπίζεται από το σύστημα μας με τον ίδιο τρόπο. Δηλαδή υπάρχουν ίσες πιθανότητες επιλογής χρονοπρογραμματισμού είτε της T_3 είτε της T_4 . Από τα πιο πάνω παρατηρούμε ότι προκειμένου να επιτύχουμε την επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος μας θα πρέπει να ορίσουμε κάποιες σχέσεις προτεραιότητας πάνω στις διάφορες ενέργειες προκειμένου να αποκλείσουμε ανεπιθύμητες συμπεριφορές.

Έννοια προτεραιότητας

Πριν ορίσουμε τυπικά τις σχέσεις προτεραιότητας που πρέπει να ισχύουν στο σύστημα κατανομής ενέργειας θα αναφερθούμε στα είδη των προτεραιοτήτων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Αρχικά κάθε εργασία βάσει του ορισμού της περιλαμβάνει ένα

πεδίο pr , $pr \in \mathbb{N}$ το οποίο αποτελεί την προτεραιότητα της. Ορίζουμε ως $pr_i(a)$ την προτεραιότητα που έχει ο πόρος r_i μιας δράσης a . Όσο μεγαλύτερη τιμή παίρνει το πεδίο αυτό, τόσο μεγαλύτερη είναι και η προτεραιότητα της συγκεκριμένης εργασίας για εξυπηρέτηση. Ο ορισμός του πεδίου αυτού είναι σημαντικός για την σωστή και ρεαλιστική μοντελοποίηση ενός συστήματος κατανομής ενέργειας. Αυτό γιατί και στην πραγματική ζωή κάποιες μονάδες που ζητούν ενέργεια επείγουν να εξυπηρετηθούν πιο γρήγορα από κάποιες άλλες όταν η παράλληλη εξυπηρέτηση τους δεν είναι εφικτή.

Ακολουθώντας υπάρχει η έννοια της προτεραιότητας όσον αφορά τον μη ντετερμινισμό που υπάρχει στο σύστημα. Συγκεκριμένα δοθείσας μιας προμήθειας και των διαφόρων μη ντετερμινιστικών μεταβάσεων που τυχόν να υπάρχουν επιθυμούμε μια εργασία να επιλέξει μεταξύ αυτών που ικανοποιούν την ζήτηση της άμεσα ή όσο το δυνατό περισσότερες από τις αιτήσεις της, αν κάτι τέτοιο είναι εφικτό. Για παράδειγμα από το $T_1 \parallel S$ από το Παράδειγμα 4.1 που παρουσιάσαμε πιο πάνω, θα θέλαμε η εργασία να κρατήσει μόνο την μετάβαση $\{(\vec{r}_1, 20, 1), (\bar{r}_1, 30), (\bar{r}_2, 100)\}$ κατά την οποία γίνεται και άμεση χορηγία του απαιτούμενου πόρου. Μέσω του ορισμού της σχέσης προτεραιότητας θα λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα και οι δύο έννοιες προτεραιότητας που αναφέραμε πιο πάνω.

Ο ρ ισ μ ό ς 4.1

Ο ρ ί ζ ο υ μ ε τ η σ χ έ σ η π ρ ο τ ε ρ α ι ό τ η τ α ς $\prec \in Act \times Act$ έ τ σ ι ώ σ τ ε $a \prec \beta$, δηλαδή η δράση β υπερνικά την δράση a , αν ισχύει ένα από τα ακόλουθα:

$$1) \{r | \bar{r} \in a^\mu \text{ ή } \vec{r} \in a^\mu\} = \{r | \bar{r} \in \beta^\mu \text{ ή } \vec{r} \in \beta^\mu\}, a^\mu \cap R \neq \emptyset \text{ και } \beta^\mu \cap R = \emptyset$$

Δηλαδή οι δράσεις a και β είτε περιέχουν τους ίδιους πόρους όσον αφορά κατανάλωση και χορηγία, η δράση β δεν περιέχει καμία ζήτηση ενός πόρου ενώ η δράση a περιέχει επιπλέον ζητήσεις πόρων.

$$2) \rho(a) = \rho(\beta), a^\mu \cap R = \beta^\mu \cap R = \emptyset \text{ και } \{r | \vec{r} \in a^\mu\} \supset \{r | \vec{r} \in \beta^\mu\}$$

Δηλαδή οι δράσεις α και β περιέχουν τους ίδιους πόρους, καμία από αυτές δεν κάνει αιτήσεις αλλά η β καταναλώνει λιγότερους πόρους από την α .

$$3) \quad \alpha = \bigcup_{i \in I} \{(r_i, e_i, p_i)\} \bigcup_{j \in J} \{(\bar{r}_j, c_j)\} \bigcup_{k \in K} \{(\vec{r}_k, e_k, p_k)\},$$

$$\beta = \bigcup_{i \in I} \{(r_i, e_i, q_i)\} \bigcup_{j \in J} \{(\bar{r}_j, c_j)\} \bigcup_{k \in K} \{(\vec{r}_k, e_k, q_k)\} \quad \forall i \in I \quad p_i \leq q_i, \forall k \in K \quad p_k \leq q_k$$

και $\exists l \in I \cup K$ τέτοιο ώστε $p_l < q_l$

Δηλαδή οι δράσεις α και β είναι ακριβώς ίδιες όσον αφορά στους πόρους που εμπλέκουν για ζήτηση, κατανάλωση και χορηγία με την δράση β να δίνει μεγαλύτερη ή ίση προτεραιότητα για όλες τις καταναλώσεις πόρων και υπάρχει τουλάχιστο μια προτεραιότητα στις καταναλώσεις της δράσης β που να είναι αυστηρός μεγαλύτερη από την α .

$$4) \quad \alpha = \bigcup_{i \in I} \{(r_i, e_i, p_i)\} \bigcup_{j \in J} \{(\bar{r}_j, c_j)\} \bigcup_{k \in K} \{(\vec{r}_k, e_k, p_k)\},$$

$$\beta = \bigcup_{i \in I} \{(r_i, e_i, q_i)\} \bigcup_{j \in J} \{(\bar{r}_j, c_j)\} \bigcup_{k \in K} \{(\vec{r}_k, e_k, q_k)\}, \text{ και } \forall \vec{r}_i \in \alpha^\mu, \beta^\mu \quad \sum_{(r_i, e) \in \alpha} e > \sum_{(r_i, e) \in \beta} e$$

Δηλαδή οι δράσεις α και β είναι ακριβώς ίδιες όσον αφορά την προτεραιότητα και τους πόρους που εμπλέκουν για ζήτηση, κατανάλωση και χορηγία με την συνολική κατανάλωση πόρων της δράσης α να είναι μεγαλύτερη για όλους τους πόρους που αφορούν καταναλώσεις, σε σχέση με την δράση β .

Σύμφωνα με την πρόταση (1) του ορισμού, μια δράση η οποία δεν περιέχει ζητήσεις πόρων από μια διαθέσιμη προμήθεια υπερνικά μια δράση η οποία κάνει επιπλέον ζητήσεις από την ίδια προμήθεια. Δηλαδή πετυχαίνουμε η εργασία να επιλέγει δράσεις που ικανοποιούν άμεσα τις αιτήσεις της, εφόσον τέτοιες επιλογές υπάρχουν. Η πρόταση (2) του ορισμού χειρίζεται τις περιπτώσεις προτεραιότητας του συστήματος. Αν δύο δράσεις περιέχουν τους ίδιους πόρους και στην ίδια μορφή (αίτηση, χορηγία, κατανάλωση) τότε η δράση β υπερνικά την δράση α αν για κάθε κατανάλωση πόρου

έχει μεγαλύτερη ορισμένη προτεραιότητα. Η πρόταση (3) χειρίζεται τις περιπτώσεις για εξοικονομήσεις ενέργειας. Αν δύο δράσεις κάνουν κατανάλωση των ίδιων πόρων αλλά η δράση α καταναλώνει περισσότερη συνολική ενέργεια τότε υπερνικά η δράση β . Τέλος η πρόταση (4) χειρίζεται τις περιπτώσεις όπου θέλουμε η δράση μας να καλύπτει όσο το δυνατό λιγότερες αιτήσεις και με τον τρόπο αυτό πάλι να εξοικονομά ενέργεια. Έτσι μια δράση η οποία ικανοποιεί μια εργασία με τις λιγότερες αιτήσεις υπερνικά μια δράση που ικανοποιεί μια εργασία που έχει περισσότερες αιτήσεις.

Κάνοντας εισαγωγή της έννοιας της προτεραιότητας ορίζουμε ότι ενώ οι προμήθειες μπορούν να ελέγχουν τον μη ντετερμινισμό τους και να επιλέγουν να δίνουν οποιαδήποτε από τις διαθέσιμες δράσεις τους, οι εργασίες πρέπει να ανταποκρίνονται στις προμήθειες και να επιλύουν τον μη ντετερμινισμό τους, βασισμένες στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος το οποίο καθορίζεται από τις ανάγκες που απορρέουν από το περιβάλλον.

Στο σημείο αυτό, αφού έχουμε ορίσει την έννοια της προτεραιότητας μπορούμε να ορίσουμε την σχέση μετάβασης με προτεραιότητα.

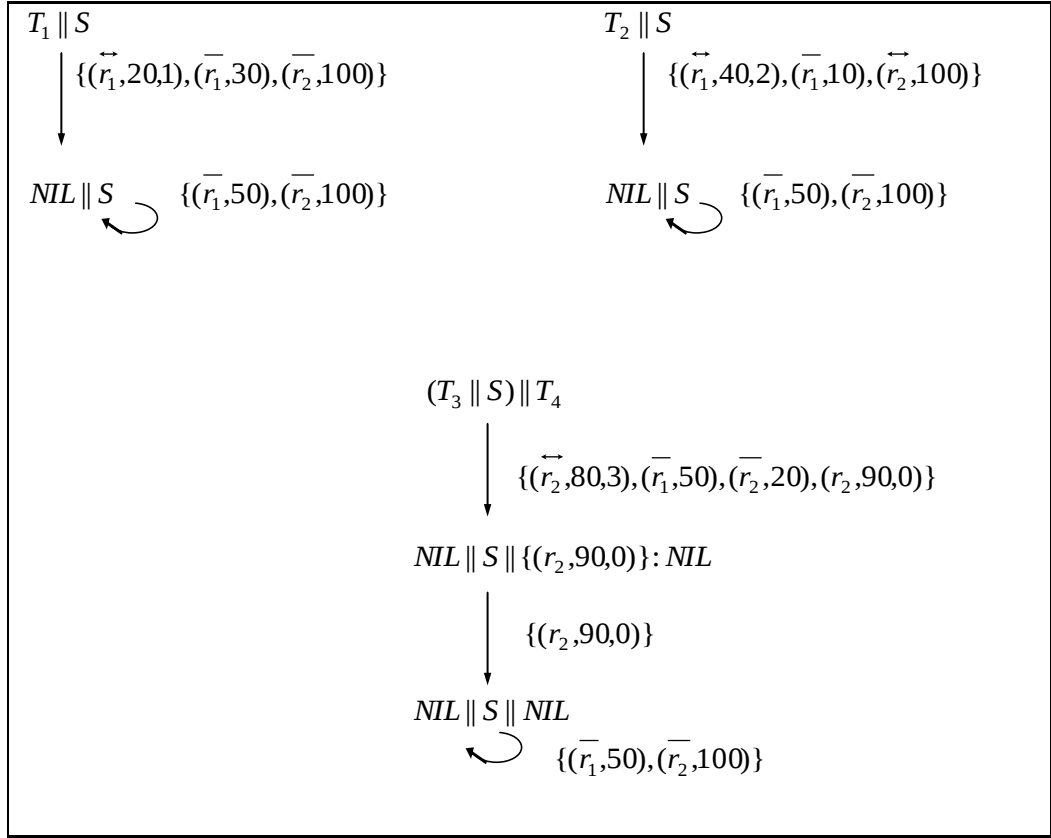
Ο ρ ισ μ ό ς 4.2

Η σχέση μετάβασης $\rightarrow$, καθορίζεται ως ακολούθως: $P \xrightarrow{a} P'$ αν και μόνο αν

α) $P \xrightarrow{a} P'$ είναι μια σχέση μετάβασης χωρίς προτεραιότητα και,

β) δεν υπάρχει σχέση μετάβασης χωρίς προτεραιότητα $P \xrightarrow{\beta} P''$ τέτοια ώστε $a \prec \beta$

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζονται τα αναθεωρημένα συστήματα μετάβασης του Σχήματος 4.1 μετά την εισαγωγή της προτεραιότητας.



Σχήμα 4.2: Το σύστημα μετάβασης με χρήση προτεραιότητας για το $T_1 \parallel S, T_2 \parallel S$,

και $(T_3 \parallel S) \parallel T_4$

Κεφάλαιο 5

Χρονοπρογραμματισμός

5.1 Περιγραφή	53
5.2 Ορισμοί Χρονοπρογραμματισμού	54
5.2.1 Διαισθητικός ορισμός	54
5.2.2 Σχέση προμήθειας	55
5.2.3 Απόδειξη ισοδυναμίας	59
5.3 Υπόλοιπο προμήθειας	60
5.4 Ταυτόχρονη εξυπηρέτηση δύο εργασιών από μια προμήθεια	64
5.5 Σημασία υπολοίπου προμήθειας	67

5.1 Περιγραφή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε μια θεωρία για την έννοια του χρονοπρογραμματισμού του συστήματος. Αρχικά θα ορίσουμε διαισθητικά πότε ένα σύνολο από εργασίες θεωρείται χρονοπρογραμματίσιμο από μια προμήθεια. Στην συνέχεια θα ορίσουμε μια σχέση προμήθειας ανάμεσα σε μια προμήθεια και μια εργασία. Η σχέση αυτή καθορίζει πότε μια εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από μια προμήθεια S . Ακολούθως θα αποδείξουμε την ισοδυναμία των δύο αυτών ορισμών. Στην συνέχεια θα εισάγουμε την έννοια του υπολοίπου μιας προμήθειας. Τέλος θα αποδείξουμε ότι αν μια προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει μια εργασία και το υπόλοιπο της προμήθειας αυτής μια άλλη εργασία, τότε η αρχική προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει και τις δύο εργασίες μαζί.

5.2 Ο ρ ι σ μ ο ί Χ ρ ο ν ο π ρ ο γ ρ α μ μ α τ ι σ μ ο ύ

Πιο κάτω παρουσιάζουμε δύο εναλλακτικούς ορισμούς για τον χρονοπρογραμματισμό εργασιών οι οποίοι εκφράζουν πότε ένα σύνολο από εργασίες ικανοποιούνται από μια προμήθεια η οποία παρέχει ενέργεια.

5.2.1 Δ ι α ι σ θ η τ ι κ ό ς ο ρ ι σ μ ό ς

Ο ρ ι σ μ ό ς 5.1

Μια εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από μια προμήθεια S αν όποτε $T \parallel S \Rightarrow P$ τότε για όλα τα $P \xrightarrow{a}$ έχουμε $a^\mu \cap R = \emptyset$

Σύμφωνα με τον πιο πάνω ορισμό μια εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από μια προμήθεια S αν σε κάθε δράση του συστήματος δεν μένει καμία ανικανοποίητη αίτηση για ενέργεια.

Π α ρ ά δ ε ι γ μ α 5.1

Έστω οι ακόλουθες εργασίες και προμήθειες:

$$\begin{aligned} T_1 &\stackrel{def}{=} \{(r_1, 50, 1)\} : NIL & S_1 &\stackrel{def}{=} \{(\overline{r_1}, 100)\} : NIL + \{(\overline{r_2}, 50)\} : NIL \\ T_2 &\stackrel{def}{=} \{(r_1, 20, 1), (r_2, 30, 2)\} : NIL & S_2 &\stackrel{def}{=} \{(\overline{r_2}, 100, 2)\} : NIL \\ T_3 &\stackrel{def}{=} \{(r_2, 200, 2)\} : NIL \end{aligned}$$

Ας ξεκινήσουμε με την εργασία T_1 η οποία ζητά 50 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_1 με προτεραιότητα 1. Παρατηρούμε ότι η προμήθεια S_1 είναι σε θέση να εξυπηρετήσει την εργασία T_1 . Αυτό γιατί αν ο μη ντετερμινισμός επιλυθεί ως προς την πρώτη της επιλογή, τότε θα είχαμε ότι $T_1 \parallel S \xrightarrow{\{(\overline{r_1}, 50, 1), (\overline{r_1}, 50)\}} NIL \parallel NIL$ που ικανοποιεί τον Ορισμό

5.1. Αν ο μη ντετερμινισμός επιλυθεί ως προς την δεύτερη επιλογή τότε θα είχαμε $T_1 \parallel S \xrightarrow{\{(r_1,50,1),(\bar{r}_2,50)\}} NIL \parallel NIL$. Παρατηρώντας όμως τον Ορισμό 4.1, περίπτωση 1, βλέπουμε ότι $\{(r_1,50,1),(\bar{r}_1,100)\} \prec \{(\vec{r}_1,50,1),(\bar{r}_1,50)\}$ και επομένως η μόνη δυνατή μετάβαση της $T_1 \parallel S$ είναι η πρώτη. Η εργασία T_1 όμως δεν χρονοπρογραμματίζεται από την προμήθεια S_2 αφού $T_1 \parallel S_2 \xrightarrow{\{(r_1,50,1),(\bar{r}_2,100,2)\}}$. Αυτό προφανώς συμβαίνει λόγω του ότι η προμήθεια S_2 δεν προσφέρει τον πόρο r_1 . Προχωρώντας με την εργασία T_2 , παρατηρούμε ότι δεν χρονοπρογραμματίζεται ούτε από την προμήθεια S_1 , ούτε και από την προμήθεια S_2 . Αυτό γιατί η εργασία T_2 ζητά ταυτόχρονα ενέργεια τόσο από τον πόρο r_1 όσο και από τον πόρο r_2 . Η προμήθεια S_1 προσφέρει και τους 2 πόρους αλλά σε ξεχωριστές δράσεις ενώ η προμήθεια S_2 δεν προσφέρει καθόλου τον πόρο r_1 . Τέλος ούτε και η εργασία T_3 μπορεί να χρονοπρογραμματιστεί από τις διαθέσιμες προμήθειες. Αυτό γιατί παρόλο που οι προμήθειες S_1 και S_2 προσφέρουν τον πόρο r_2 , η ζητούμενη ενέργεια του πόρου r_2 που αιτείται η εργασία T_3 ξεπερνά την προσφερόμενη ενέργεια των προμηθειών για τον πόρο αυτό.

5.2.2 Σχέση προμήθειας

Τώρα που έχουμε ορίσει την διαισθητική έννοια του χρονοπρογραμματισμού μπορούμε να συνεχίσουμε με τον ορισμό της σχέσης προμήθειας. Η έννοια της σχέσης προμήθειας δίνει έμφαση στις συνθήκες κάτω από τις οποίες μια εργασία είναι χρονοπρογραμματίσιμη και μας δίνει μια πιο τυπική διατύπωση της έννοιας η οποία και επιτρέπει την πιο εύκολη διατύπωση των αποδείξεων που ακολουθούν. Αρχικά όμως θα εισάγουμε μερικούς χρήσιμους ορισμούς και λήμματα που θα χρησιμοποιήσουμε στην συνέχεια.

Ο ρ ι σ μ ό ς 5.2

Έστω $a, \beta \in Act$ όπου Act το σύνολο όλων των δυνατών ενεργειών του συστήματος.

Γράφουμε $sat(\beta, a)_{\text{αν}} \rho(\beta) \subseteq \rho(a)$ και επίσης $\forall (r_i, e, pr) \in \beta, (\bar{r}_i, c) \in \alpha \text{ cap}(r_i, \beta) \leq c$

Ο ορισμός αυτός χρησιμοποιείται για να δείξει ότι μια δράση αιτήματος β ικανοποιείται από μια δράση προσφοράς a . Αυτό συμβαίνει αν κάθε πόρος της δράσης β ανήκει και στην δράση a και επίσης η προσφερόμενη ενέργεια κάθε πόρου της δράσης a μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της δράσης β .

Έστω ένα σύστημα P και δράσεις a και β . Τότε, γράφουμε $\beta \leq_P a$, αν $sat(\beta, a)$ και δεν υπάρχει κάποια άλλη δράση γ η οποία $P \xrightarrow{\gamma} P'$, $sat(\gamma, a)$ και $\rho(\beta) \subseteq \rho(\gamma)$ ή $\rho(\beta) = \rho(\gamma)$ και $\beta \prec \gamma$. Αν ισχύει ότι $\beta \leq_P a$ τότε λέμε ότι η δράση β είναι η μέγιστη ανταπόκριση του P σε σχέση με την δράση a .

Λ ή μ μ α 5.1

Έστω $a_1, a_2 \in Act$ και $sat(a_1, a_2)$ ή $(a_1 \circ a_2)^\mu \cap R = \emptyset$ τότε $|a_1 \circ a_2| = 1$

Α π ό δ ε ι ξ η

Η απόδειξη βασίζεται στον ορισμό της σύνθεσης δύο δράσεων $a_1 \circ a_2$. Παρατηρούμε λοιπόν ότι αν $sat(a_1, a_2)$ αυτό σημαίνει ότι $\rho(a_2) \subseteq \rho(a_1)$ και επίσης $\forall (r_i, e, pr) \in a_2, (\bar{r}_i, c) \in a_1, \text{ cap}(r_i, a_2) \leq c$. Επομένως παρατηρούμε ότι βάσει του ορισμού σύνθεσης αποκλείονται οι περιπτώσεις οι οποίες μιλούν για δημιουργία διαφορετικών συνόλων που ικανοποιούν όλους τους δυνατούς συνδυασμούς καταναλώσεων όταν η προμήθεια δεν μπορεί να ικανοποιήσει απευθείας όλες τις αιτήσεις. Αντίθετα αφού η προμήθεια είναι σε θέση να ικανοποιήσει όλες τις αιτήσεις απευθείας αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η σύνθεση των δράσεων a_1, a_2 θα επιστρέψει μόνο ένα σύνολο, δηλαδή $|a_1 \circ a_2| = 1$. Με παρόμοιο τρόπο μπορούμε να

πούμε ότι αν $a_2^\mu \cap R = \emptyset$ τότε στην σύνθεση των δύο δράσεων δεν υπάρχουν ανικανοποίητες αιτήσεις που αυτό σημαίνει ότι και πάλι $\rho(a_2) \subseteq \rho(a_1)$ και επίσης $\forall (r_i, e, pr) \in a_2, (\bar{r}_i, c) \in a_1, \text{cap}(r_i, a_2) \leq c$. Άρα φτάνουμε πάλι στο συμπέρασμα ότι $|a_1 \circ a_2| = 1$ $\square$

Από τώρα και στο εξής σε τέτοιες περιπτώσεις αναφερόμαστε στην ενέργεια $\mathbf{a}$, όπου $\{\mathbf{a}\} = a_1 \circ a_2$ ως $a_1 \circ a_2$.

Λήμμα 5.2

Για κάθε εργασία T και προμήθεια S ,

- 1) $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$ με $a^\mu \cap R = \emptyset$ αν και μόνο αν $T \xrightarrow{a_1} T', S \xrightarrow{a_2} S'$, $a \in a_1 \circ a_2$ και $a_1 \trianglelefteq_T a_2$.
- 2) Έστω $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$, όπου $T \xrightarrow{a_1} T', S \xrightarrow{a_2} S', a \in a_1 \circ a_2$ και υπάρχει δράση $\beta, \text{sat}(\beta, a_2) \mu \varepsilon T \xrightarrow{\beta} T''$. Τότε ισχύει ότι $a_1 \trianglelefteq_T a_2$.

Το πιο πάνω λήμμα αναφέρει ότι μόνο οι μέγιστες ανταποκρίσεις μιας εργασίας T είναι σχετικές ανταποκρίσεις για την προμήθεια S . Αυτό γιατί στην παράλληλη σύνθεση $T \parallel S$ όλες οι μη μέγιστες ανταποκρίσεις θα φύγουν από την σχέση προτεραιότητας και επομένως μπορούν να αγνοηθούν.

Απόδειξη

Για την απόδειξη της πρώτης πρότασης του Λήμματος έστω ότι $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$ με $a^\mu \cap R = \emptyset$. Τότε αφού οι δύο διεργασίες κινούνται παράλληλα αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν επίσης δράσεις a_1, a_2 τέτοιες ώστε $T \xrightarrow{a_1} T', S \xrightarrow{a_2} S'$ με $a = a_1 \circ a_2$ (σύμφωνα με τον κανόνα της παράλληλης σύνθεσης). Αφού μέσω της δράσης $\mathbf{a}$ δεν μένει κάποια ανικανοποίητη αίτηση της εργασίας, $a^\mu \cap R = \emptyset$, σημαίνει ότι η προμήθεια S περιείχε όλους τους πόρους που ζητούσε η εργασία, καθώς και την απαραίτητη ποσότητα ενέργειας. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ισχύει

$sat(a_1, a_2)$. Έστω τώρα ότι υπάρχει κάποια δράση γ τέτοια ώστε $sat(\gamma, a_2)$ και επίσης $\rho(a_1) \subset \rho(\gamma)$ ή $\rho(a_1) = \rho(\gamma)$ και $a_1 \prec \gamma$. Αν ισχύει κάτι τέτοιο τότε βλέπουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις ισχύει επίσης ότι $a \prec \gamma$. Κάτι τέτοιο όμως έρχεται σε αντίφαση με την ύπαρξη της μετάβασης $T \parallel S \xrightarrow{a}$. Επομένως φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η δράση a είναι και η μέγιστη ανταπόκριση του T σε σχέση με την δράση a_2 . Επομένως ισχύει ότι $a_1 \trianglelefteq_T a_2$. Για την άλλη κατεύθυνση της πρότασης έστω ότι $T \xrightarrow{a_1} T', S \xrightarrow{a_2} S'$. Τότε σύμφωνα με τον κανόνα (Par) από την παράλληλη σύνθεση των δύο αυτών διεργασιών προκύπτει ότι $T_1 \parallel T_2 \xrightarrow{a} T' \parallel S'$. Αφού ισχύει ότι $a_1 \trianglelefteq_T a_2$ και σύμφωνα με τον ορισμό του $sat(\beta, a)$ δεν υπάρχει στην δράση a καμία ανικανοποίητη αίτηση και επομένως $a^\mu \cap R = \emptyset$ που είναι και το ζητούμενο.

Για την απόδειξη της δεύτερης πρότασης του Λήμματος έστω ότι $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$, με $T \xrightarrow{a_1} T', S \xrightarrow{a_2} S'$ και $a \in a_1 \circ a_2$. Επιπλέον έστω δράση β τέτοια ώστε $sat(\beta, a_2)$ με $T \xrightarrow{\beta} T''$. Ας υποθέσουμε επίσης ότι $a^\mu \cap R \neq \emptyset$. Παρατηρούμε ότι αφού οι πόροι της δράσης a_2 ικανοποιούν τις αιτήσεις της δράσης β , τότε ισχύει ότι $(\beta \circ a_2)^\mu \cap R = \emptyset$. Αυτό τότε σημαίνει ότι $a \prec \beta$ (Ορισμός 4.1, περίπτωση 1), κάτι που οδηγεί σε αντίφαση για την ύπαρξη της μετάβασης $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$. Επομένως αυτό σημαίνει ότι $a^\mu \cap R = \emptyset$ και από το πρώτο κομμάτι του Λήμματος ισχύει ότι $a_1 \trianglelefteq_T a_2$

□

Ο ρ ι σ μ ό ς 5.5

Ο ρ ί ζ ο υ μ ε μ ι α σ χ έ σ η $S \subseteq S \times T$ ω ς σ χ έ σ η π ρ ο μ ή θ ε ι α ς α ν γ ι α κ ά θ ε $(T, S) \in S$, $S \xrightarrow{a}$, και αν $S \xrightarrow{a} S'$ τότε:

- 1) Υ π ά ρ χ ε ι $T \xrightarrow{\beta} T'$ μ ε $sat(\beta, a)$ και $(T', S') \in S$
- 2) Γ ι α κ ά θ ε $T \xrightarrow{\beta} T'$ μ ε $\beta \trianglelefteq_T a$, τ ό τ ε $(T', S') \in S$

Αν υπάρχει μια σχέση προμήθειας μεταξύ T και S τότε γράφουμε ότι $S \models T$

Εξήγηση

Ο πιο πάνω ορισμός αναφέρει ότι μια εργασία T , και μια προμήθεια S συνδέονται με μια σχέση προμήθειας αν

- Η προμήθεια S είναι σε θέση να προσφέρει πόρους στην εργασία T , ($S \longrightarrow$)
- Αν μια προμήθεια S προσφέρει πόρους στην εργασία T τότε η εργασία θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην προσφορά αυτή με μια δράση η οποία ικανοποιείται από την προμήθεια και με τρόπο με τον οποίο παραμένει χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια που απομένει (πρόταση 1)
- Δοθέντος ενός συνόλου από πόρους που προσφέρει η προμήθεια S , οποιαδήποτε μέγιστη ανταπόκριση με την οποία η εργασία T μπορεί να χρησιμοποιήσει την προσφερόμενη προμήθεια θα έχει ως αποτέλεσμα η προκύπτουσα κατάσταση να παραμένει χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια που απομένει (πρόταση 2)

Μετά από τους πιο πάνω ορισμούς και λήμματα μπορούμε τώρα να αποδείξουμε ότι οι δύο εναλλακτικοί ορισμοί για την έννοια του χρονοπρογραμματισμού είναι ισοδύναμοι

5.2.3 Απόδειξη ισοδυναμίας

Λήμμα 5.2

Μια εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από μια προμήθεια S αν και μόνο αν $S \models T$

Απόδειξη

Έστω ότι υπάρχει μια σχέση προμήθειας S μεταξύ εργασίας T και προμήθειας S . Θα δείξουμε ότι αν $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$ τότε 1) $a \cap R = \emptyset$ (όπως ορίζεται από τον ορισμό του

χρονοπρογραμματισμού) και επίσης 2) $(T', S') \in S$ (στο σύστημα παραμένει η σχέση προμήθειας μετά την εκτέλεση της δράσης a , δηλαδή παραμένει χρονοπρογραμματισμός). Έστω ότι $T \parallel S \xrightarrow{a} T' \parallel S'$. Άρα $T \xrightarrow{a_1} T', S \xrightarrow{a_2} S'$ και $a \in a_1 \circ a_2$. Από τον Ορισμό 5.5(1) γνωρίζουμε ότι για κάποια ενέργεια β , $T \xrightarrow{\beta} T''$ και $\text{sat}(\beta, a_2)$. Από το Λήμμα 5.2(2) αυτό σημαίνει ότι $a_1 \trianglelefteq_T a_2$. Επομένως βάσει του Ορισμού 5.5(2) αυτό σημαίνει ότι $(T', S') \in S$. Επιπλέον από το Λήμμα 5.2(1) έχουμε ότι $a'' \cap R = \emptyset$. Επομένως με επαγωγή στο μέγεθος της μετάβασης $T \parallel S \Rightarrow P$ μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια S με βάση τον Ορισμό 5.1.

Για την αντίθετη πλευρά της πρότασης έστω τώρα η εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια S και R μια σχέση προμήθειας μεταξύ T και S . Θα δείξουμε ότι

$$R = \{(T, S) \mid T \text{ χρονοπρογραμματίσιμη από την } S\}$$

είναι μια σχέση προμήθειας. Έστω ότι $S \xrightarrow{a} S'$ και αφού η εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια S σημαίνει ότι υπάρχει δράση β τέτοια ώστε $T \xrightarrow{\beta} T'$ και $\text{sat}(\beta, a)$. Αν όχι τότε για κάθε $T \xrightarrow{\beta} T''$ $\rho(\beta) - \rho(a) \neq \emptyset$. Επομένως θα ισχυε ότι $T \parallel S \xrightarrow{\gamma}$, $\gamma'' \cap R = \emptyset$ το οποίο έρχεται σε αντίφαση με την υπόθεση ότι η εργασία T είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια S . Έστω τώρα $T \xrightarrow{\beta} T'$ και $\beta \trianglelefteq_T a$. Από το Λήμμα 5.2(1) $T \parallel S \xrightarrow{a \circ \beta} T' \parallel S'$, όπου η T' είναι χρονοπρογραμματίσιμη από την S' , το οποίο και υπονοεί ότι $(T', S') \in R$ που είναι και το ζητούμενο. $\square$

5.3 Υπόλοιπο προμήθειας

Έστω προμήθεια S και εργασία T όπου $S| = T$. Ορίζουμε ως υπόλοιπο προμήθειας τους πόρους που απομένουν στην προμήθεια S μετά την ικανοποίηση των αιτήσεων της εργασίας T .

Ο ρ ι σ μ ό ς 5.6

Δ ο θ ε ί σ α ς π ρ ο μ ή θ ε ι α ς S και ε ρ γ α σ ί α ς T ο ρ ί ζ ο υ μ ε $rem(S, T)$ ω ς

$$rem(S, T) = \begin{cases} S & \alpha \vee T = NIL \\ NIL & \alpha \vee S = NIL \\ rem(S, T') & \alpha \vee T = C, C \stackrel{def}{=} T' \\ rem(S', T) & \alpha \vee S = D, D \stackrel{def}{=} S' \\ \sum_{j \in J} (\beta - a_j) rem(S', T_j) & \alpha \vee S = \beta : S', T = \sum_{i \in I} a_i : T_i \\ \sum_{i \in I} rem(\beta_i : S_i, T) & \begin{array}{l} \text{όπου } J = \{j \in I \mid \gamma \text{ ι α κ ά θ ε } i \in I, \neg(\beta \circ a_j \prec \beta \circ a_i)\} \\ \alpha \vee S = \sum_{i \in I} \beta_i : S_i \end{array} \end{cases}$$

ό π ο υ $\beta - a = \{(\bar{r}, c) \in \beta \circ a\}$

Ο υ π ο λ ο γ ι σ μ ό ς τ ο υ υ π ό λ ο ι π ο υ μ ι α ς π ρ ο μ ή θ ε ι α ς γ ί ν ε τ α ι μ ε τ η ν χ ρ ή σ η τ η ς δ ι α δ ι κ α σ ί α ς $rem(S, T)$. Υ π ά ρ χ ο υ ν ο ι ε ξ ή ς π ε ρ ι π τ ώ σ ε ι ς :

- 1) Α ν $T = NIL$ τ ό τ ε τ ο υ π ό λ ο ι π ο ο ρ ί ζ ε τ α ι ν α ε ί ν α ι ί σ ο μ ε τ η ν π ρ ο μ ή θ ε ι α S
- 2) Α ν $T = C$ και $C \stackrel{def}{=} T'$ τ ό τ ε τ ο υ π ό λ ο ι π ο ε ί ν α ι ί σ ο μ ε τ ο ν υ π ο λ ο γ ι σ μ ό τ ο υ $rem(S, T')$
- 3) Α ν $S = D$ και $D \stackrel{def}{=} S'$ τ ό τ ε τ ο υ π ό λ ο ι π ο ε ί ν α ι ί σ ο μ ε τ ο ν υ π ο λ ο γ ι σ μ ό τ ο υ $rem(S', T)$
- 4) Α ν $S = NIL$ τ ό τ ε τ ο υ π ό λ ο ι π ο ε ί ν α ι ί σ ο μ ε NIL
- 5) Α ν $S = \beta : S'$ και $T = \sum_{i \in I} a_i : T_i$ τ ό τ ε τ ο υ π ό λ ο ι π ο ε ί ν α ι ί σ ο μ ε τ ο ά θ ρ ο ι σ μ α

ό λ ω ν τ ω ν δ υ ν α τ ώ ν υ π ο λ ο ι π ω ν π ο υ π ρ ο κ ύ π τ ο υ ν α π ό τ ι ς μ η ν τ ε τ ε ρ μ ι ν ι σ τ ι κ έ ς δ ρ ά σ ε ι ς τ η ς ε ρ γ α σ ί α ς T (σ ε π ε ρ ί π τ ω σ η π ο υ $i=1$ τ ό τ ε η ε ρ γ α σ ί α T έ χ ε ι μ ό ν ο μ ι α δ ρ ά σ η). Ο υ π ο λ ο γ ι σ μ ό ς κ ά θ ε υ π ό λ ο ι π ο υ ξ ε χ ω ρ ι ς τ ά γ ί ν ε τ α ι α π ό τ η ν δ ι α φ ο ρ ά τ η ς δ ρ ά σ η ς π ρ ο μ ή θ ε ι α ς μ ε τ η ν δ ρ ά σ η τ η ς ζ ή τ η σ η ς $(\beta - a_j)$, και τ ο ν α ν α δ ρ ο μ ι κ ό

- υπολογισμό $rem(S', T_i)$. Αξιίζει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι με βάση τον περιορισμό στις τιμές του δείκτη j γίνεται υπολογισμός μόνο όλων των πιθανών υπολοίπων ενέργειας που μπορεί να υπάρξουν αποκλείοντας δράσεις που δεν μπορούν να υπάρξουν λόγω προτεραιοτήτων
- 6) Αν $S = \sum_{i \in I} \beta_i : S_i$ τότε το υπόλοιπο είναι ίσο με το άθροισμα όλων των διαφορετικών υπολοίπων που προκύπτουν από τις μη ντετερμινιστικές επιλογές της προμήθειας S (σε περίπτωση που $i=1$ τότε η προμήθεια S έχει μόνο μια δράση). Ο υπολογισμός κάθε υπόλοιπου ξεχωριστά γίνεται από τον αναδρομικό υπολογισμό κάθε επιλογής δράσης της προμήθειας σε σχέση με την εργασία T μέσω του $rem(\beta_i : S_i, T)$

Πιο κάτω παρουσιάζουμε δύο παραδείγματα στα οποία εφαρμόζουμε τον υπολογισμό του υπολοίπου προμήθειας όπως προκύπτει από τον ορισμό.

Π α ρ ά δ ε ι γ μ α 5.1

Έστω προμήθεια $S \stackrel{def}{=} \{(r_1, 30)\} : \{(r_3, 20)\} : NIL$ η οποία προσφέρει την πρώτη χρονική στιγμή 30 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_1 και κατά την δεύτερη χρονική στιγμή 20 μονάδες ενέργεια από τον πόρο r_3 . Έστω επίσης εργασία $T_1 \stackrel{def}{=} \{(r_1, 10, 1)\} : NIL$ η οποία ζητά 10 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_1 και στην συνέχεια τερματίζει. Επομένως σύμφωνα με τον ορισμό του υπολοίπου έχουμε ότι

$$remainder(S, T_1) \stackrel{def}{=} \{(r_1, 20)\} : \{(r_3, 20)\} : NIL$$

Π α ρ ά δ ε ι γ μ α 5.2

Έστω προμήθεια $S \stackrel{def}{=} \{(r_1, 30), (r_2, 40)\} : NIL$ η οποία προσφέρει κατά την πρώτη χρονική στιγμή 30 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_1 και 40 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_2 . Έστω επίσης εργασία $T_1 \stackrel{def}{=} \{(r_1, 20, 2)\} : NIL + \{(r_2, 20, 0)\} : NIL$ η οποία ζητά

κατά είτε 20 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_1 με προτεραιότητα 2, είτε 20 μονάδες ενέργειας από τον πόρο r_2 με προτεραιότητα 1. Επομένως σύμφωνα με τον ορισμό του υπολοίπου έχουμε ότι

$$remainder(S, T_1) \stackrel{def}{=} \{(\overline{r_1}, 10), (\overline{r_2}, 40)\} : NIL$$

Στη συνέχεια θα αποδείξουμε ένα αποτέλεσμα το οποίο θα μας βοηθήσει στη μετέπειτα ανάλυση μας. Το Λήμμα αυτό χαρακτηρίζει τις δυνατές δράσεις και διεργασίες $remainder(S, T)$

Λήμμα 5.3

$$rem(S, T) \xrightarrow{a'} R \text{ αν και μόνο αν } S \xrightarrow{\beta} S', T \xrightarrow{a} T', S \parallel T \xrightarrow{\beta \circ a} S' \parallel T' \text{ και } a' = \beta - a, R = rem(S', T')$$

Απόδειξη

Η απόδειξη του πιο πάνω Λήμματος βασίζεται στον ορισμό του υπολοίπου προμήθειας και θα γίνει με επαγωγή στη δομή των διεργασιών S και T .

- Περίπτωση $S = NIL$:

Τότε, $rem(S, T) = NIL \xrightarrow{\emptyset} NIL, S \xrightarrow{\emptyset} NIL$ και για κάθε δράση $T \xrightarrow{a} T'$, $\emptyset = \emptyset - a$, $R = rem(NIL, T')$, που είναι και το ζητούμενο.

- Περίπτωση $S = D, D \stackrel{def}{=} S'$:

Τότε $rem(S, T) = rem(S', T)$ και ο ισχυρισμός ακολουθεί την επαγωγική υπόθεση.

- Περίπτωση $S = \beta : S'$. Υπάρχουν 4 υποπεριπτώσεις:

- $T = NIL$:

Τότε $rem(S, T) = S$, και επομένως $rem(S, T) \xrightarrow{a'} R$ αν και μόνο αν

$$S \xrightarrow{\beta} S', T \xrightarrow{NIL} T' \text{ και } a' = \beta - \emptyset, R = rem(S', NIL).$$

◦ $T = C, C \stackrel{def}{=} T'$:

Τότε $rem(S, T) = rem(S, T')$ και ο ισχυρισμός ακολουθεί την επαγωγική υπόθεση.

◦ $T = a : T'$:

Τότε $rem(S, T) = (\beta - a)rem(S', T')$ και επομένως $rem(S, T) \xrightarrow{a'} R$ αν και μόνο αν $S \xrightarrow{\beta} S', T \xrightarrow{a} T'$ και $a' = \beta - a, R = rem(S', T')$.

◦ $T = \sum_{i \in I} a_i : T_i$:

Τότε $rem(S, T) = \sum_{j \in J} (\beta - a_j)rem(S', T_j)$ όπου $J = \{j \in I \mid \text{για κάθε } i \in I, -(\beta \circ a_j \prec \beta \circ a_i)\}$. Έχουμε ότι $rem(S, T) \xrightarrow{a'} R$ αν και μόνο αν $a' = \beta - a_i, R = rem(S', T_i)$ για κάποιο i , όπου για κανένα $j \in I, \beta \circ a_i \prec \beta \circ a_j$, αν και μόνο αν $S \xrightarrow{\beta} S', T \xrightarrow{a_i} T_i'$ $S \parallel T \xrightarrow{\beta \circ a_i} S' \parallel T'$ και $a' = \beta - a_i, R = rem(S', T_i)$ που είναι και το ζητούμενο.

• Περίπτωση $S = \sum_{i \in I} \beta_i : S_i$:

Τότε $rem(S, T) = \sum_{i \in I} rem(\beta_i : S_i, T)$. Επιπλέον $rem(S, T) \xrightarrow{a'} R$ αν και μόνο αν για κάποιο $i \in I, rem(\beta_i : S_i, T) \xrightarrow{a'} R$. Από την επαγωγική υπόθεση αυτό συμβαίνει αν και μόνο αν $T \xrightarrow{a} T'$ και $a' = \beta_i - a, R = rem(S_i, T')$.

Αυτό ολοκληρώνει την απόδειξη. □

5.4 Ταυτόχρονη εξυπηρέτηση δύο εργασιών από μια προμήθεια

Στο σημείο αυτό ερχόμαστε να αποδείξουμε ότι αν μια προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει μια εργασία και το υπόλοιπο της προμήθειας αυτής μια άλλη

εργασία, τότε η αρχική προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει και τις δύο εργασίες ταυτόχρονα. Κάτι τέτοιο είναι πολύ χρήσιμο αφού θα αποτελέσει μια μέθοδο ανάλυσης στην οποία θα γίνεται έλεγχος κατά πόσο ένα σύνολο από εργασίες μπορεί να χρονοπρογραμματιστεί παράλληλα με βάση τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος, καθώς και τη δυνατότητα για ένα δυναμικό αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού συστημάτων.

Θέωρημα 5.1

Έστω $S|T_1, \text{rem}(S, T_1)|T_2$, τότε $S|T_1 \parallel T_2$

Το πιο πάνω Θέωρημα δηλώνει ότι αν η προμήθεια S χρονοπρογραμματίζει την εργασία T_1 και το υπόλοιπο της προμήθειας αυτής, μετά την εξυπηρέτηση της εργασίας T_1 , χρονοπρογραμματίζει την εργασία T_2 , τότε η προμήθεια S μπορεί να χρονοπρογραμματίσει παράλληλα την εργασία T_1 και T_2 .

Απόδειξη

Η απόδειξη αποτελείται από το να δείξουμε ότι η σχέση

$$R = \{ (T_1 \parallel T_2, S) \mid \text{υπάρχουν σχέσεις προμήθειας } S_1, S_2, \text{ όπου } (T_1, S) \in S_1, (T_2, \text{remainder}(S, T_1)) \in S_2 \}$$

είναι μια σχέση προμήθειας όπου η προμήθεια S ικανοποιεί παράλληλα τις διεργασίες T_1 και T_2 . Συγκεκριμένα θα δείξουμε ότι αν $(T, S) \in S$ και $S \xrightarrow{a} S'$ τότε

- 1) Υπάρχει $T_1 \parallel T_2 \xrightarrow{\beta} T_1' \parallel T_2'$, $\text{sat}(\beta, a)$ και $(T_1' \parallel T_2', S') \in R$, και
- 2) Κάθε φορά που $T_1 \parallel T_2 \xrightarrow{\beta} T'$ και $\beta \preceq_{T_1 \parallel T_2} a$, τότε $(T_1' \parallel T_2', S') \in R$,

Απόδειξη

Έστω ότι $(T' \parallel S', S) \in S$ και υπάρχουν σχέσεις προμήθειας S_1 και S_2 όπου $(T_1, S) \in S_1$ και $(T_2, \text{rem}(S, T_1)) \in S_2$. Επιπλέον έστω ότι $S \xrightarrow{a} S'$. Τότε μπορούμε να δείξουμε τα ακόλουθα:

1. Αφού $(T_1, S) \in S_1$ τότε πρέπει για κάποια δράση β , $\text{sat}(\beta, a)$, $T_1 \xrightarrow{\beta} T_1'$ και $(T_1, S') \in S_1$. Τότε από το Λήμμα 5.3 πρέπει να ισχύει ότι $\text{rem}(S, T_1) \xrightarrow{\beta-a} \text{rem}(S', T_1')$ και αφού $(T_2, \text{rem}(S, T_1)) \in S_2$, $T_2 \xrightarrow{\gamma} T_2'$, όπου $\text{sat}(\gamma, \beta-a)$ και $(T_2', \text{rem}(S', T_1')) \in S_2$. Επομένως $T_1 \parallel T_2 \xrightarrow{\beta \circ \gamma} T_1' \parallel T_2'$ και $(T_1', S') \in S_1$, $\text{sat}(\beta \circ \gamma, a)$ και $(T_2', \text{rem}(S', T_1')) \in S_2$ που είναι και το ζητούμενο.

2. Για το δεύτερο μέρος της απόδειξης έστω ότι $T_1 \parallel T_2 \xrightarrow{\beta} T_1' \parallel T_2'$ όπου $\beta \trianglelefteq_{T_1 \parallel T_2} a$. Επιπλέον ας υποθέσουμε ότι $T' = T_1' \parallel T_2'$ όπου $T_1 \xrightarrow{\beta_1} T_1'$, $T_2 \xrightarrow{\beta_2} T_2'$ και $\beta = \beta_1 \circ \beta_2$. Έστω ότι $T_1 \xrightarrow{\beta_1} T_1'$ και $\beta_1 \trianglelefteq_{T_1} a$. Διαφορετικά υπάρχει μια ενέργεια γ τέτοια ώστε $T_1 \xrightarrow{\gamma} T_1''$ και $\text{sat}(\gamma, a)$ και είτε $\rho(\gamma) \subset \rho(\beta_1)$ είτε $\rho(\beta_1) = \rho(\gamma)$ και $\beta_1 \prec \gamma$. Αν ισχύει ότι $\rho(\gamma) \subset \rho(\beta_1)$ τότε σημαίνει ότι $\beta \prec \gamma \circ \beta_2$ (Ορισμός 4.1, περίπτωση 2). Κάτι τέτοιο όμως έρχεται σε αντίφαση με την αρχική μας υπόθεση που λέει ότι $\beta \trianglelefteq_{T_1 \parallel T_2} a$. Παρόμοια αν ισχύει ότι $\rho(\beta_1) = \rho(\gamma)$ και $\beta_1 \prec \gamma$ τότε σημαίνει και πάλι ότι $\beta \prec \gamma \circ \beta_2$ (Ορισμός 4.1, περίπτωση 3). Κάτι τέτοιο όμως έρχεται σε αντίφαση με την αρχική μας υπόθεση που λέει ότι $\beta \trianglelefteq_{T_1 \parallel T_2} a$. Επομένως φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι $\beta_1 \trianglelefteq_{T_1} a$ και από τον Ορισμό 5.5(2) μπορούμε να συμπεράνουμε ότι $(T_1', S') \in S_1$. Παρόμοια πρέπει να ισχύει ότι $\beta_2 \trianglelefteq_{T_2} a - \beta_1$. Επομένως έχουμε ότι $(T_2', \text{rem}(T_1', S')) \in S_2$ που υπονοεί ότι $(T_1' \parallel T_2', S') \in R$, που είναι και το ζητούμενο.

Αυτό ολοκληρώνει και την απόδειξη. □

5.5 Σημασία υπολοίπου προμήθειας

Ο υπολογισμός του υπολοίπου μιας προμήθειας είναι πολύ σημαντικός σε ένα σύστημα κατανομής ενέργειας. Υπολογίζοντας το υπόλοιπο ένα σύστημα είναι σε θέση να κάνει χρήση της υπολειπόμενης ενέργειας με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Θα είναι σε θέση να γνωρίζει κατά πόσο μπορεί να ικανοποιήσει ένα νέο αίτημα για ενέργεια σε πραγματικό χρόνο, ή αν τα αιτήματα είναι ταυτόχρονα θα μπορεί να υπολογίζει κατά πόσο μπορεί να τα ικανοποιήσει παράλληλα όπως αποδείξαμε στο Θεώρημα 5.1.

Η παράλληλη ικανοποίηση όσο το δυνατό περισσότερων αιτήσεων αποτελεί ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά ενός συστήματος κατανομής ενέργειας. Αυτό γιατί στόχος είναι να προμηθεύουμε την ενέργεια σε όσους πιο πολλούς οργανισμούς είναι δυνατό ταυτόχρονα.

Επομένως ο υπολογισμός του υπολοίπου μπορεί να μας δώσει ένα δυναμικό αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού συστημάτων ο οποίος θα διαμορφώνεται κάθε φορά με βάση την υπολειπόμενη ενέργεια μετά από κάθε εξυπηρέτηση αιτήσεων και θα προσφέρει την καλύτερη εξυπηρέτηση των οργανισμών.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

6.1 Γενικά συμπεράσματα	68
6.2 Μελλοντική εργασία	70

6.1 Γενικά συμπεράσματα

Η αλόγιστη χρήση ενέργειας στις μέρες μας αυξάνεται δραματικά με την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας να αναμένεται να αυξηθεί κατά 36 τοις εκατό ως το 2035. Η αυξανόμενη ζήτηση τροφοδοτείται από έναν πληθυσμό που αναμένεται να αυξηθεί κατά 25 τοις εκατό στα επόμενα 20 χρόνια. Σήμερα περισσότερο από ποτέ πρέπει να βρούμε τρόπους να διαχειριζόμαστε σωστά την παραγόμενη ενέργεια προκειμένου να συμβαδίσει με τις καθημερινές ανάγκες του παγκόσμιου πληθυσμού.

Η επιστήμη της Πληροφορικής καλείται να δώσει λύσεις σε τέτοια προβλήματα δημιουργώντας συστήματα τα οποία είναι σε θέση να χειριστούν θέματα διαχείρισης ενέργειας με τον πιο αποδοτικό τρόπο. Ένα τρόπο μοντελοποίησης και ανάλυσης τέτοιων συστημάτων πραγματικού χρόνου αποτελούν και οι άλγεβρες διεργασιών.

Σε αυτή την διπλωματική εργασία περιγράψαμε μια χρονική άλγεβρα διεργασιών, την A E S C , που είχε σαν σκοπό την μοντελοποίηση της ζήτησης και προμήθειας ενέργειας. Η άλγεβρα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τις αιτήσεις ενέργειας που γίνονται από διάφορους οργανισμούς καθώς και την διαδικασία προμήθειας που περιγράφει την συμπεριφορά ενός συστήματος διανομής ενέργειας. Μέσω της άλγεβρας A E S C μελετήσαμε την συμπεριφορά συστημάτων διαχείρισης ενέργειας και πως αυτά μπορούν να χειριστούν τις αιτήσεις για ενέργεια. Συγκεκριμένα ορίσαμε την έννοια του χρονοπρογραμματισμού, δηλαδή πότε μια διεργασία μπορεί να χρονοπρογραμματιστεί

από μια διαδικασία προμήθειας δίνοντας δύο διαφορετικούς ορισμούς που στην συνέχεια αποδείξαμε την ισοδυναμία τους. Ακολούθως ασχοληθήκαμε με την έννοια του υπολοίπου προμήθειας, η οποία συλλαμβάνει την διαθέσιμη προμήθεια που απομένει στο σύστημα μετά από την ικανοποίηση των αιτήσεων μιας ομάδας διεργασιών. Τέλος αποδείξαμε ότι αν μια προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει μια εργασία και το υπόλοιπο της προμήθειας αυτής μια άλλη εργασία, τότε η αρχική προμήθεια μπορεί να χρονοπρογραμματίσει και τις δύο εργασίες ταυτόχρονα. Κάτι τέτοιο είναι πολύ χρήσιμο αφού θα αποτελέσει μια μέθοδο ανάλυσης στην οποία θα γίνεται έλεγχος κατά πόσο ένα σύνολο από εργασίες μπορεί να χρονοπρογραμματιστεί παράλληλα με βάση τους διαθέσιμους πόρους του συστήματος, καθώς και τη δυνατότητα για ένα δυναμικό αλγόριθμο χρονοπρογραμματισμού συστημάτων.

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος διαχείρισης πόρων μέσω της A E S C ήταν αρκετά απλή και οδηγήθηκε μέσα από τα χαρακτηριστικά και τις ανάγκες ενός πραγματικού συστήματος διαχείρισης πόρων και των μονάδων που αιτούνται ενέργεια από αυτό.

Όσον αφορά την μοντελοποίηση το μόνο μέρος στο οποίο δυσκολευτήκαμε ήταν η προσπάθεια εισαγωγής του χρόνου για τον οποίο οι μονάδες αιτούνται την ενέργεια σε κάθε δράση, κάτι το οποίο και δυσκόλεψε την μετέπειτα ανάλυση του συστήματος. Επομένως καταλήξαμε στην πιο απλοποιημένη μορφή του συστήματος όπου μια δράση παίρνει μια μονάδα χρόνου και αφήσαμε την επέκταση αυτή ως μελλοντική εργασία.

Το δυσκολότερο κομμάτι της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η ανάλυση του συστήματος και συγκεκριμένα η απόδειξη της ταυτόχρονης εξυπηρέτησης εργασιών. Εκεί ισχυριστήκαμε ότι αν μια προμήθεια χρονοπρογραμματίζει μια εργασία, και το υπόλοιπο της μια άλλη εργασία τότε η αρχική προμήθεια είναι σε θέση να χρονοπρογραμματίσει και τις δύο εργασίες παράλληλα. Επομένως έπρεπε να βεβαιωθούμε και να αποδείξουμε ότι η συμπεριφορά κάθε εργασίας ξεχωριστά σε σχέση με την προμήθεια ή το υπόλοιπο της δεν θα άλλαζε όταν θα τις εξυπηρετούσαμε παράλληλα με την αρχική προμήθεια. Δηλαδή έπρεπε να αποδείξουμε ότι κάθε εργασία θα δέσμευε πάντα τους ίδιους πόρους όταν της δινόταν ολόκληρη η προμήθεια ή το υπόλοιπο της με τρόπο ώστε να παραμένει χρονοπρογραμματίσιμη από την προμήθεια.

Μπορούμε να δούμε ότι εκτός από την χρήση για μοντελοποίηση συστημάτων διαχείρισης ηλεκτρικής ενέργειας η AESC θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την ανάλυση και άλλων συστημάτων στα οποία γίνεται δέσμευση ενέργειας από προσφερόμενους πόρους. Για παράδειγμα η AESC θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την μοντελοποίηση και ανάλυση ενός επεξεργαστή ο οποίος διαμοιράζει ενέργεια από τους πόρους ενός συστήματος σε διεργασίες ή ακόμη και για την μοντελοποίηση της διαμοίρασης ποσότητας μνήμης του συστήματος σε διεργασίες.

6.2 Μελλοντική εργασία

Υπάρχουν αρκετές κατευθύνσεις στις οποίες η παρούσα δουλειά θα μπορούσε να επεκταθεί. Αρχικά θα ήταν χρήσιμο να μελετηθεί κατά πόσο θα μπορούσαμε να εντάξουμε στην άλγεβρα διεργασιών την έννοια του συνεχούς χρόνου. Κάτι τέτοιο θα μοντελοποιούσε την εμφάνιση αιτήσεων για πόρους σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και με την δυνατότητα η διαφορά στους χρόνους των εμφανίσεων να είναι αυθαίρετα μικρή. Με τον τρόπο αυτό θα έχουμε καλύτερη μοντελοποίηση της πραγματικότητας αφού οι αιτήσεις για ενέργεια δεν είναι απόλυτα προβλέψιμες.

Επίσης όσον αφορά τον χρόνο θα μπορούσαμε να εισαγάγουμε νέους τελεστές που να χειρίζονται καλύτερα την χρονική διάρκεια των δράσεων. Μέχρι στιγμής μοντελοποιήσαμε κάθε δράση να συνδέεται με μια μονάδα χρόνου και για να ορίσουμε διάρκεια επαναλαμβάνουμε τις δράσεις.

Όσον αφορά την μοντελοποίηση της προμήθειας θα μπορούσε να επεκταθεί με την εισαγωγή της έννοιας διατήρησης της ενέργειας. Δηλαδή αν μετά από μια δράση ικανοποίησης αιτήσεων παραμείνει κάποιο ποσό ενέργειας, τότε να μην χάνεται αλλά να προστίθεται στην προμήθεια της επόμενης χρονικής στιγμής. Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε στην ικανοποίηση περισσότερων αιτήσεων. Αξίζει να αναφέρουμε ότι η διατήρηση της ενέργειας όμως διαφοροποιεί λίγο το αρχικό πρόβλημα αφού δεν αναφέρθηκε η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας και είναι κάτι που δεν συμβαίνει ούτε στα πραγματικά συστήματα παραγωγής και διακίνησης ενέργειας.

Τέλος θα είχε ενδιαφέρον η δημιουργία ενός εργαλείου το οποίο με βάση την άλγεβρα διεργασιών να υλοποιούσε την ζήτηση και κατανομή ενέργειας. Με το εργαλείο αυτό θα μπορούμε να αναλύουμε μεγάλα και περίπλοκα συστήματα πραγματικού χρόνου διαχείρισης ενέργειας και να βρίσκουμε τον βέλτιστο τρόπο ικανοποίησης όσο το δυνατό περισσότερων αιτήσεων.

Βιβλιογραφία

- [1] L. Aceto, K. G. Larsen, and A. Ing'Olfsd'Ottir, "An introduction to Milner's CCS," unpublished.
- [2] J. C. M. Baeten, "A Brief History of Process Algebra". *Theoretical Computer Science*, vol. 335, no. 2-3, pp. 131-146, May 2005.
- [3] D. Connolly. (N.D.). "H₂RES". [Online]. Available:
<http://www.dconnolly.net/research/planning/tools/h2res.html>
- [4] W. Fokkink, "Introduction," in *Introduction to Process Algebra*, W. Brauer, G. Rozenberg, and A. Salomaa, Ed. Berlin: Springer-Verlag, 2000, pp. 1-6.
- [5] H. Hermanns and H. Wiechmann, "Future Design Challenges for Electric Energy Supply," in *Proceedings of the IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 2009, pp. 1-8.
- [6] J. Kanter, "Renewable Sources Could Provide 77% of World's Energy by 2050, Report Says," *The New York Times*. [Online]. Available:
<http://www.nytimes.com/2011/05/10/business/energy-environment/10energy.html>
- [7] I. Lee, P. Brémont-Gregoire, and R. Gerber. "A Process Algebraic Approach to the Specification and Analysis of Resource-Bound Real-Time Systems," in *Proceedings of the IEEE*, 1994, pp. 158-171.

[8] I. Lee, A. Philippou, and O. Sokolsky, "A General Resource Framework for Real-Time Systems," in *Proceedings of the Workshop on Radical Innovations of Software and Systems Engineering in the Future*, 2002, pp. 234-248.

[9] H. Lund, N. Duić, G. Krajačić, and M. G. Carvalho, "Two energy system analysis models: A comparison of methodologies and results," *Energy*, vol. 32, no. 6, pp. 948-954, June 2007.

[10] H. Lund and E. Münster, "Modeling of energy systems with a high percentage of CHP and wind power," *Renewable Energy*, vol. 28, no. 14, pp. 2179-2193, March 2003.

[11] M. Nemzer. (N.D.). "Geothermal Energy Facts". Geothermal Education Office, CA. [Online]. Available:

<http://www.geothermal.marlin.org/geoenergy.html>

[12] A. Philippou, I. Lee, and O. Sokolsky, "PADS: An approach to modeling resource demand and supply for the formal analysis of hierarchical scheduling," *Theoretical Computer Science*, vol. 413, no. 1, pp. 2-20, Jan. 2011.

[13] A. Philippou and O. Sokolsky, "Process-Algebraic Analysis of Timing and Schedulability Properties," in *Handbook of Real-Time and Embedded Systems*, I. Lee, J. Leung, and S. Son, Ed. Florida: Chapman and Hall, 2007, pp. 31-1 – 31-20.

[14] R. A. Rogowsky and K. L. Cummings. (2009, June). "Wind Turbines". Office of Industries, DC. [Online]. Available:

<http://www.usitc.gov/publications/332/ITS-2.pdf>

[15] O. Sokolsky, A. Philippou, I. Lee, and K. Christou, “Modeling and Analysis of Power-Aware Systems,” in *Proceedings of TACAS '03*, 2003, pp. 410-423.

[16] “La Rance Barrage,” *Wyre Tidal Energy*. [Online]. Available:

<http://www.wyretidalenergy.com/tidal-barrage/la-rance-barrage>

[17] “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,” *Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής*. [Online]. Available:

<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=285&language=el-GR>

[18] “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας,” *Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας*. [Online]. Available:

http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf

http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_ydrogono.htm

[19] Α. Φιλίππου, “Ανάλυση και Επαλήθευση Συστημάτων,” σημειώσεις μαθήματος ΕΠΛ 664, Τμήμα Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Γεν. 16, 2012.