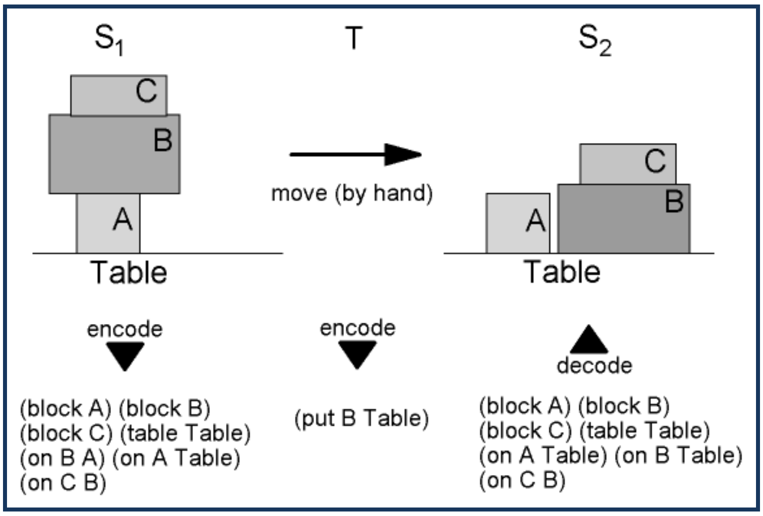
Τμήμα Μηχανολογίας

Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Το Πρόβλημα του Πλαισίου»



Βαγγέλης Περράκης

ΑΜ: 4766

Επιβλέπων: Δρ. Νίκος Παπαδάκης

Ηράκλειο 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή περιγράφει το πρόβλημα του πλαισίου της Τεχνητής Νοημοσύνης και παρουσιάζει τις βασικότερες λύσεις που έχουν δοθεί. Γίνεται προσπάθεια να δοθεί ένα γενικό πλαίσιο που να περιγράφει το πρόβλημα από τα ντετερμινιστικά κατηγορήματα ή τις συναρτήσεις τα οποία δεν επηρεάζονται, όταν κάποια ενέργεια πραγματοποιηθεί.

Στα πλαίσια κατανόησης του προβλήματος πρώτον παρουσιάζεται ο κατηγορηματικός λογισμός (με τους βασικούς ορισμούς) και μετά η πιο βασικές λύσεις για το πρόβλημα πλαισίου οι οποίες βασίζονται στον καταστατικό λογισμός (ο οποίος βασίζεται στην κατηγορηματική λογική. Θα δοθούν και οι βασικοί ορισμοί και η περιγραφή του Λογισμού Καταστάσεων (Situation Calculus) στο πρόβλημα του πλαισίου.

Θα Περιγράψουμε τρεις λύσεις του Pednault, του Hass και του Reiter και θα παρουσιάσομε μια σύγκριση για αυτές.

Τέλος, θα παρουσιάσομε πως μπορούν η λογικές προτάσεις να υλοποιηθούν στην γλώσσα C. Δεδομένου ότι όλες οι λύσεις βασίζονται στην λογική μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτήν την πρόταση για την υλοποίηση των προτάσεων.

Επιβλέπων:
Δρ. Νίκος Παπαδάκης

The Frame Problem

Vaggelis Perrakis

Final Project

Department of Mechanical Engineering
Technological Educational Institute of Crete

ABSTRACT

This paper describes the problem of the frame of Artificial Intelligence and presents the main solutions have been given. It tries to give a general framework that describes the problem of deterministic predicates or functions that are not affected when an action performed.

Their understanding of the problem first presented the categorical calculus (with key definitions) and then the most basic solutions for the problem frame based on statute calculus (which is based on predicate logic. Would give the basic definitions and the description of calculus Statements (Situation Calculus) to the problem of the frame.

We describe three solutions Pednault, the Hass and Reiter will present a comparison for them.

Finally, we will present how the reasonable proposals to implement the language C. Since all solutions based on logic we can use this proposal to implement the proposals.

Supervisor

Dr. Nikos Papadakis

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επόπτη καθηγητή μου στη Διπλωματική Εργασία μου, Δρ. Νίκο Παπαδάκη, για την καθοδήγηση πάνω στο θέμα της εργασίας και για την προθυμία του να λύσει κάθε πρόβλημα και απορία μου, στην προσπάθεια ολοκλήρωσης αυτής.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικές Έννοιες Λογικής

Μια λογική πρόταση είναι μια γλωσσική έκφραση (πρόταση) η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως αληθής ή ως ψευδής. Οι λογικές προτάσεις σχηματίζονται με τη χρήση λογικών συνδέσμων:

1. Σύζευξη (conjunction). Συμβολίζεται με το σύμβολο $\wedge$
2. Άρνηση (negation). Συμβολίζεται με το σύμβολο $\neg$
3. Διάζευξη (disjunction). Συμβολίζεται με το σύμβολο $\vee$
4. Συνεπαγωγή (implication). Συμβολίζεται με το σύμβολο $\rightarrow$
5. Ισοδυναμία (equivalence). Συμβολίζεται με το σύμβολο $\leftrightarrow$

Όσον αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων, δεδομένου ενός συνόλου προτάσεων {p1, p2, …, pn}, μπορούμε να εξάγουμε ως συμπέρασμα την πρόταση c αν η c είναι συνέπεια των p1, p2, …, pn, δηλαδή αν οι p1, p2, …, pn συνεπάγονται την c. Η εξαγωγή συμπεράσματος c από υποθέσεις p1, p2, …, pn συμβολίζεται ως p1, p2, …, pn / c.

Ο Προτασιακός Λογισμός (ΠΛ) ασχολείται με τη δομή των προτάσεων και τη χρήση τους στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Για παράδειγμα, θεωρείστε την πρόταση s: “ο αριθμός 2 είναι άρτιος και ο αριθμός 3 είναι περιττός”. Η s μπορεί να θεωρηθεί ως ερμηνεία της πρότυπης πρότασης “ο X είναι A και ο Y είναι B” ή ακόμα και της πρότασης “p και q”.

Στον προτασιακό λογισμό δεν μπορούμε να αναπαραστήσουμε προτάσεις της μορφής «κανένα Α δεν είναι Β». Είναι μια αρνητική πρόταση, αλλά δεν είναι η άρνηση της πρότασης «όλα τα Α είναι Β». Η άρνηση αυτής θα ήταν «μερικοί ακέραιοι είναι μεγαλύτεροι από το τετράγωνό τους». Άρα θα πρέπει να έχουμε τη δυνατότητα να αναπαριστούμε προτάσεις αυτής της μορφής επίσης. Οι φράσεις «ακέραιος» και «μεγαλύτερος από το τετράγωνό του» δηλώνουν ιδιότητες τις οποίες κάποια αντικείμενα μπορούν να έχουν. Η πρόταση «κανένα Α δεν είναι Β» μας λέει ότι κανένα αντικείμενο δεν μπορεί να έχει τις δύο ιδιότητες συγχρόνως, ή, διαφορετικά, ότι η κλάση των ακεραίων με την κλάση των αριθμών που είναι μεγαλύτεροι από το τετράγωνό τους δεν έχουν κοινά στοιχεία. Τα γράμματα Α και Β δηλώνουν λοιπόν ιδιότητες. Το γράμμα c είναι διαφορετικό. Το ½ δεν δηλώνει μια ιδιότητα αλλά ένα συγκεκριμένο αντικείμενο. Αντικείμενα μπορεί να έχουν ιδιότητες. Π.χ., το ½ έχει την ιδιότητα ότι είναι μεγαλύτερο από το τετράγωνό του, αλλά δεν έχει την ιδιότητα του ακέραιου. Θεωρείστε τώρα την εξαγωγή συμπεράσματος:

Ο Αριστοτέλης είναι φιλόσοφος

Ο Σοφοκλής είναι ποιητής

Ο Αριστοτέλης μένει στην ίδια πόλη με το Σοφοκλή

Κάποιος φιλόσοφος μένει στην ίδια πόλη με κάποιον ποιητή

η οποία μπορεί να γραφεί και ως:

α είναι P

β είναι Q

α είναι R με β

κάποιο P είναι R με κάποιο Q

Τα α,β είναι αντικείμενα ενώ τα P,Q είναι ιδιότητες. Το R δεν είναι ιδιότητα. Εκφράζει μια σχέση μεταξύ αντικειμένων. Μπορούμε να έχουμε και τριαδικές ή n-αδικές σχέσεις. Π.χ., μκδ(α,β,γ): το γ είναι ο μέγιστος κοινός διαιρέτης των α,β.

Χρειαζόμαστε λοιπόν μηχανισμούς αναπαράστασης και λογισμού για αντικείμενα, ιδιότητες και σχέσεις. Αυτό είναι και το αντικείμενο του Κατηγορηματικού Λογισμού.

Ο Κατηγορηματικός Λογισμός Πρώτης Τάξης είναι ένα τυπικό σύστημα με :

1. Λεξιλόγιο:
    a. ένα σύνολο C, πιθανόν κενό, από σταθερές αντικειμένων (a,b,c,d,…)
    b. ένα σύνολο F, πιθανόν κενό, από συναρτησιακά σύμβολα (f,g,h,…)
    c. ένα σύνολο P, μη κενό, από σύμβολα κατηγορημάτων (F,G,P,Q,R,…)
    d. ένα σύνολο V, μη κενό, πιθανόν μη-πεπερασμένο από μεταβλητές (u,, v, w, x, y, …)
    e. ποσοδείκτες ($\forall,\exists$)
    f. συνδετικά ($\neg,\wedge,\vee,\rightarrow$ (συναντάται και ως)$\supset$,$\leftrightarrow$)
    g. παρενθέσεις και κόμμα (,)

    Συναρτησιακά σύμβολα και σύμβολα κατηγορημάτων έχουν μια πληθικότητα (βαθμό) μεγαλύτερη του 0

2. Κανόνες Συντακτικού

a. Ένας όρος είναι μια σταθερά ή μια μεταβλητή ή $f(t_1, t_2, \ldots, t_n)$ όπου f είναι συναρτησιακό σύμβολο βαθμού n και $t_1, t_2, \ldots, t_n$ είναι όροι

b. Αν $t_1, t_2, \ldots, t_n$ είναι όροι και P είναι ένα σύμβολο κατηγορήματος βαθμού n, τότε $P(t_1, t_2, \ldots, t_n)$ είναι ένα απλό σχήμα

c. Αν A και B είναι σχήματα τότε και τα $\neg A$, $A \wedge B$, $A \vee B$, $A \rightarrow B$, $A \leftrightarrow B$ είναι σχήματα

d. Ένα μοναδιαίο σχήμα είναι ένα σχήμα μιας μεταβλητής (π.χ. P(_),Q(_) $\wedge$ R(a, _))

e. Αν Φ είναι ένα μοναδιαίο σχήμα και ξ κάποια μεταβλητή που δεν εμφανίζεται στο Φ, τότε $\forall x\Phi(x)$ και $\exists x\Phi(x)$ είναι σχήματα.

1.2 Το πρόβλημα του πλαισίου (the frame problem)

Το πρόβλημα του πλαισίου (the frame problem) ορίστηκε το 1969 από τον John McCarthy [3] και αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παραμένει στο προσκήνιο της επιστημονικής κοινότητας για περισσότερες από τέσσερις δεκαετίες. Πολλοί επιστήμονες ασχολήθηκαν με την εύρεση λύσεων ικανών να περιγράψουν ένα σύνολο του κόσμου, άλλοι με πολύ μεγάλο κόστος περιγραφής και άλλοι με λιγότερο. Το πρόβλημα του πλαισίου ξεπερνά τα όρια του κλάδου της Τεχνητής Νοημοσύνης και επεκτείνεται και στις ανθρωποφιλοσοφικές επιστήμες, από τις οποίες αντιμετωπίζεται ακόμα και ως ένα τμήμα του προβλήματος της επαγωγής (induction).

Στην παρούσα εργασία θα γίνει μια προσπάθεια να δοθεί μια περιγραφή του τι είναι το πρόβλημα του πλαισίου και τι σημαίνει. Γενικά, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια της αλλαγής του κόσμου, το πρόβλημα του πλαισίου είναι ένα πρόβλημα καθορισμού των πραγμάτων που δεν υφίστανται αλλαγή [10]. Συν τοις άλλοις, για κάποια πράγματα τα οποία μπορεί να αλλάξουν χωρίς να είναι γνωστό το πότε, όπως η θέση ενός πουλιού, το πρόβλημα του πλαισίου μπορεί να καθοριστεί ως ο,τιδήποτε έχει υποστεί αλλαγή, έχει αλλάξει μόνο επειδή θα άλλαζε ούτως ή άλλως.

Το πρόβλημα του πλαισίου τότε, περιορίζεται στην ερώτηση: Πώς χαρακτηρίζονται τα πράγματα που αλλάζουν και πώς αυτά που δεν αλλάζουν; Αυτό τότε, είναι το πρόβλημα του να περιγραφούν όλες αυτές οι αλλαγές με κανόνες, χωρίς να δίνεται εξαντλητική λίστα για κάθε αλλαγή σε κάθε πιθανή κατάσταση. Το πρόβλημα που προκύπτει, το πώς θα υπολογιστεί ποιοι από αυτούς τους κανόνες αλλάζουν και ποιοι όχι, είναι το πρόβλημα του πλαισίου.

Καλύτερα όμως το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να κατανοηθεί μέσα από ένα παράδειγμα. Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα άσπρο τραπέζι στο μπαλκόνι μας. *Κατά τη μεταφορά του* στο καθιστικό θέλουμε να συμπεράνουμε αν παραμένει άσπρο. Αυτό ακριβώς είναι το πρόβλημα του πλαισίου. Υπάρχουν αρκετά κατηγορήματα τα οποία είναι αληθή πριν από την κίνηση του τραπεζιού. Μετά την κίνηση κάποια από αυτά έχουν αλλάξει, όπως η θέση του τραπεζιού, αλλά τα περισσότερα από αυτά παρέμειναν αμετάβλητα, όπως το χρώμα του τραπεζιού, η αναμμένη λάμπα στο καθιστικό, το πλήθος των καρεκλών στο καθιστικό κ.ο.κ. Δεν μπορούμε με σαφήνεια να αποκλείσουμε κάθε πιθανή αλλαγή, λόγω του πολύ μεγάλου πλήθους των κατηγορημάτων, αλλά ταυτόχρονα δεν μπορούμε να αποκλείσουμε με σιγουριά ότι κάποια από αυτά δεν θα αλλάξουν, αφού συμβαίνουν αλλαγές τις οποίες δεν τις γνωρίζουμε και είναι πολύ πιθανό να εξαρτώνται από κάποια άλλη ενέργεια (action). Άρα το πρόβλημα του πλαισίου είναι το πρόβλημα του να είμαστε ικανοί να συμπεράνουμε ότι το άσπρο τραπέζι που μετακινήσαμε από το μπαλκόνι στο καθιστικό, παραμένει άσπρο [10].

Έτσι μπορούμε να πούμε ότι κάποια πράγματα επηρεάζονται από κάποιες ενέργειες, ενώ κάποια άλλα παραμένουν ανεπηρέαστα. Το πρόβλημα από τα ντετερμινιστικά κατηγορήματα ή τις συναρτήσεις τα οποία δεν επηρεάζονται, όταν κάποια ενέργεια πραγματοποιηθεί, ονομάζεται πρόβλημα του πλαισίου [3].

Επιπλέον, το πρόβλημα του πλαισίου μπορεί να θεωρηθεί ως η ανικανότητα της κλασικής λογικής να παράγει χρήσιμα συμπεράσματα για την επιρροή ενεργειών σε δυναμικούς τομείς, από περιγραφή ενός τομέα ο οποίος δεν περιέχει αξιώματα πλαισίου (frame axioms), δηλαδή είναι ισοδύναμο με το πρόβλημα της κρίσης της αλλαγής, χωρίς να είναι απαραίτητο να καθοριστούν τα αξιώματα του πλαισίου για ο,τιδήποτε δεν αλλάζει (π.χ. δηλώσεις για το τι δεν θα αλλάξει σε μια ενέργεια).

Η δήλωση του προβλήματος του πλαισίου ως ένα πρόβλημα αναπαράστασης στον Λογισμό Καταστάσεων (Situation Calculus) ώθησε τους ερευνητές της Τεχνητής Νοημοσύνης να το αντιμετωπίσουν ως ένα πρόβλημα λογικής της μηχανής.

Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο ορισμός που δόθηκε από τον Brown το 1987, είναι αντιπροσωπευτικός του προβλήματος: «*Το πρόβλημα του πλαισίου είναι ένα πρόβλημα περιγραφής με υπολογιστικά λογικό τρόπο, τι ιδιότητες παραμένουν σταθερές και τι ιδιότητες αλλάζουν, όταν συμβεί μια συγκεκριμένη ενέργεια*».

Σε μια περιγραφή του προβλήματος του πλαισίου θα πρέπει να σημειωθεί ότι χαρακτηρίζεται γενικά ως δύσκολο πρόβλημα, είτε γιατί υπάρχει πολύ μεγάλη ποσότητα πληροφορίας, η οποία μπορεί να αλλάξει σε κάθε χρονική στιγμή, για να μελετηθεί ("*There is too much information about change to consider at any given time*", [Nutter]), είτε γιατί δεν υπάρχει τέλος στον τρόπο με τον οποίο τα πράγματα αλλάζουν απρόσμενα ("*There is no end to the ways things might happen unexpectedly*", [Hayes]).

2. Γενικές Προσεγγίσεις και απαραίτητες γνώσεις

2.1 Το πρόβλημα του πλαισίου μέσα από τη Μονότονη Λογική

Η πιο εύκολη προσέγγιση του προβλήματος του πλαισίου προέρχεται από την μονοτονική λογική (monotonic logic). Ως μονοτονική χαρακτηρίζεται η κατηγορηματική λογική (predicate logic), δηλαδή η λογική πρώτης τάξης η οποία αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μη προσπελασιμότητας των στοιχείων των γεγονότων της προτασιακής λογικής. Η κατηγορηματική λογική η οποία επεκτείνει την προτασιακή λογική εισάγοντας όρους (terms), κατηγορήματα (predicates), και ποσοδείκτες (quantifiers), αντιστοιχίζει με τη φυσική γλώσσα, την ικανοποιητική έκφραση ποσοτικοποίησης των εννοιών με τους κατάλληλους ποσοδείκτες και την ικανότητά της να συλλάβει τη γενικότητα, αλλά δε δίνει τη δυνατότητα έκφρασης ασαφών τιμών, όπως επίσης και αναθεώρησης του συμπεράσματος που έχει προστεθεί στη γνώση, αν αποδειχθεί λανθασμένο. Δηλαδή, με απουσία συγκεκριμένων στοιχείων δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα [2].

Η μονοτονική προσέγγιση στο πρόβλημα του πλαισίου προτάθηκε αρχικά από τον John McCarthy [5], όπως αναφέρεται από τον Παπαδάκη [3], υπάρχουν ρητά δηλωμένα αξιώματα από τα οποία μπορούν να βγουν συμπεράσματα, των οποίων τα κατηγορήματα (predicates) και οι συναρτήσεις επηρεάζονται από κάθε πιθανή ενέργεια (action). Αυτά τα αξιώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Τα αξιώματα ενέργειας (action axioms), τα οποία δηλώνουν ποιες προτάσεις επηρεάζονται, όταν συμβαίνει κάποια ενέργεια.
2. Τα αξιώματα πλαισίου (frame axioms), τα οποία δηλώνουν τα πράγματα τα οποία παραμένουν ανεπηρέαστα, όταν συμβαίνει κάποια ενέργεια.

Όλα τα αξιώματα του πλαισίου (frame axioms) πρέπει να καθοριστούν ρητά για κάθε μία ξεχωριστή ενέργεια. Επιπλέον, κάθε κατηγόρημα πρέπει να καθοριστεί αν αλλάζει μετά από την εκτέλεση μιας ενέργειας. Τότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο αριθμός των αξιωμάτων του πλαισίου θα είναι : ε x *r*, όπου *ε* ο αριθμός των ενεργειών και *κ* ο αριθμός των κατηγορημάτων.

Προσπαθώντας να δώσουμε έναν ορισμό για την πολυπλοκότητα θα λέγαμε ότι τόσο πιο πολύπλοκο είναι ένα πρόβλημα, όσο περισσότερα γεγονότα εξετάζονται, διότι για να καθοριστεί τι παραμένει αληθές μετά την εκτέλεση μιας ενέργειας, όλα τα κατηγορήματα πρέπει να εξεταστούν ένα προς ένα. Για κάθε ενέργεια, δηλαδή, πρέπει να γραφούν πάρα πολλοί κανόνες. Επομένως, όσο μεγαλύτερο είναι το πλαίσιο το προβλήματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η πολυπλοκότητά του, με αποτέλεσμα τεράστια δυσκολία στην κωδικοποίηση του προβλήματος. Με βάση όλα τα παραπάνω συνεπάγεται ότι κάθε κατηγόρημα (ιδιότητα του κόσμου) εκφράζει με σαφήνεια ότι μια συγκεκριμένη ενέργεια δεν το επηρεάζει σε δύο συνεχόμενες καταστάσεις. Έτσι, χρειάζεται ένα σύνολο αξιωμάτων για κάθε ενέργεια. Δηλαδή, για κάθε αξίωμα το οποίο περιγράφει πώς αλλάζει ο κόσμος υπάρχει ένα άλλο σύνολο αξιωμάτων που περιγράφει πώς δεν αλλάζει.

2.2 Από τη μονοτονική στη μη-μονοτονική προσέγγιση

Όταν συμβαίνει μία ενέργεια, ένα μικρό σύνολο κατηγορημάτων-αντικειμένων επηρεάζεται, δηλαδή, το μεγαλύτερο μέρος των κατηγορημάτων παραμένουν αμετάβλητα. Η default προσέγγιση υποδεικνύει ότι είναι απαραίτητο να οριστούν αξιώματα μόνο για εκείνα τα κατηγορήματα τα οποία αλλάζουν ως αποτέλεσμα κάποιας συγκεκριμένης ενέργειας, ενώ για τα υπόλοιπα ισχύει ένα δεδομένο αξίωμα (default axiom) το οποίο δηλώνει ότι: κάθε αντικείμενο το οποίο δεν έχει δηλωθεί ότι θα *αλλάξει* μετά από μία ενέργεια, *παραμένει* το ίδιο [3].

Το δεδομένο αξίωμα (default axiom) μπορεί να έχει τη μορφή:

$$p_s : p_{do(a,\, s)} / p_{do(a,\, s)}$$

αν δηλαδή το κατηγόρημα p είναι αληθές στην κατάσταση s και μετά την εκτέλεση της ενέργειας a, τότε μπορούμε να συμπεράνουμε το p.

Η συγκεκριμένη μέθοδος πάσχει από μεγάλη πολυπλοκότητα, επειδή το δεδομένο αξίωμα (default axiom) θα αποτιμηθεί για όλα τα κατηγορήματα μετά από την εκτέλεση κάθε μίας ενέργειας, έτσι ώστε να εξακριβωθεί ποια από αυτά τα κατηγορήματα παραμένουν αληθή [3].

Όπως προαναφέρθηκε, η κατηγορηματική λογική δεν παρέχει τη δυνατότητα έκφρασης ασαφών τιμών και παραγωγής γενικών συμπερασμάτων. Δηλαδή, δεν επιτρέπει την αναθεώρηση κάποιου συμπεράσματος, το οποίο αποδεικνύεται λανθασμένο. Η λογική που επιτρέπει την αναθεώρηση συμπερασμάτων λέγεται μη-μονότονη λογική. Επιπλέον σε μια μη-μονότονη λογική προσθέτοντας νέα αξιώματα, είναι δυνατό να μειωθεί ο αριθμός των συμπερασμάτων, αφαιρώντας αυτά που αποδεικνύονται εσφαλμένα μετά την προσθήκη. Έτσι έχουμε τη μη-μονότονη λογική που είναι κατάλληλη για καταστάσεις στις οποίες η γνώση μεταβάλλεται, λόγω μεταβολών που συμβαίνουν στον κόσμο, για καταστάσεις, για τις οποίες δεν έχουμε πλήρη γνώση (incomplete knowledge) ή η γνώση δημιουργείται κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης ενεργειών, για τις οποίες δεν είμαστε βέβαιοι για την αναγκαιότητα ή την ορθότητά τους και τέλος για καταστάσεις στις οποίες το σύστημα χρησιμοποιεί υποθέσεις (assumptions) στα πλαίσια της στρατηγικής επίλυσης καταστάσεων.

Περίπτωση της μη-μονότονης συλλογιστικής είναι και η συλλογιστική εύλογων υποθέσεων (default reasoning) που περιγράφτηκε παραπάνω. Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που ένα γεγονός συνάγεται από ένα δοσμένο σύνολο γεγονότων, τουλάχιστον ενός, διότι έτσι συμβαίνει συνήθως και διότι δεν υπάρχει ένδειξη για το αντίθετο. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα κατάργησης αυτού του γεγονότος, εφόσον αποδειχθεί η μη ορθότητά του.

Θέλοντας να δώσουμε έναν ορισμό για τη μη-μονοτονικότητα θα μπορούσαμε να πούμε ότι το φαινόμενο της αναίρεσης κάποιων συμπερασμάτων, τα οποία έχουν προκύψει από προηγούμενους υπολογισμούς, λέγεται μη-μονοτονικότητα (non-monotonicity). Εάν μια δήλωση φ ακολουθείται από ένα σύνολο από premises $M \subseteq M'$, φ δεν ακολουθείται απαραίτητα από το M΄ [1].

Έτσι η default logic είναι ίσως η κατάλληλη μέθοδος για μη-μονοτονικό λογισμό (non-monotonic reasoning), λόγω της απλότητας της έννοιας της εύλογης υπόθεσης (default) [1].

2.3 Λογισμός Καταστάσεων (Situation Calculus)

Το πρόβλημα του πλαισίου εμφανίστηκε στα πλαίσια του Λογισμού Καταστάσεων (Situation Calculus), για να αναπαρασταθεί ένας κόσμος ο οποίος υφίστατο αλλαγές. Όπως αναφέρεται από τον Παπαδάκη [3], ο Λογισμός Καταστάσεων προτάθηκε από τον John McCarthy το 1969 για τη λύση του προβλήματος του πλαισίου, παρέχοντας έναν καθορισμό για τις ενέργειες και τις επιπτώσεις (έμμεσες και άμεσες).

Γνωρίζουμε ότι κάθε ενέργεια πρέπει να ορίζει με σαφήνεια ολόκληρη την κατάσταση που θα έχει ο κόσμος μετά την εκτέλεσή της. Για κάθε ενέργεια πρέπει να καθοριστούν τα αξιώματα του πλαισίου. Έτσι ο Λογισμός Καταστάσεων (Situation Calculus) είναι μια γλώσσα δεύτερης τάξης, η οποία σχεδιάστηκε για την αναπαράσταση των αλλαγών, οι οποίες συμβαίνουν στον κόσμο που μας ενδιαφέρει.

Όλες οι αλλαγές που συμβαίνουν σε έναν κόσμο είναι αποτέλεσμα εκτέλεσης κάποιων ενεργειών. Μια πιθανή εξέλιξη του κόσμου είναι μια πιθανή ακολουθία ενεργειών και αναπαρίστανται από όρους πρώτης τάξης, που καλείται κατάσταση (situation).

Στο λογισμό καταστάσεων χρησιμοποιούμε φυσικά καταστάσεις, και μάλιστα η πρώτη κατάσταση από την οποία ξεκινούν τα πάντα ονομάζεται *αρχική*. Έτσι, λοιπόν, η Αρχική Κατάσταση συμβολίζεται με S_o και θεωρείται η κατάσταση στην οποία καμιά ενέργεια δεν έχει συμβεί. Επιπλέον, ορίζεται η δυαδική συνάρτηση do, έτσι ώστε με do(a,s) δηλώνεται η κατάσταση- αποτέλεσμα, μετά την εκτέλεση της ενέργειας a στην κατάσταση s. Μια ενέργεια μπορεί να είναι on(x, y), το οποίο σημαίνει ότι το αντικείμενο x, βρίσκεται πάνω στο αντικείμενο y.

Σε ένα δυναμικό κόσμο πολλά πράγματα αλλάζουν, έτσι οι τιμές των κατηγορημάτων και των συναρτήσεων σε ένα δυναμικό κόσμο διαφέρουν από μια κατάσταση σε μια άλλη. Τα κατηγορήματα και οι συναρτήσεις των οποίων οι τιμές αλλάζουν από μια κατάσταση σε μια άλλη καλούνται αντιστοίχως κατηγορήματα με εύρος (fluent predicates) και συναρτησιακό εύρος (functional fluents). Ακολουθώντας τη σύμβαση του Παπαδάκη ως fluent θα αναφέρονται τόσο τα κατηγορήματα με εύρος, όσο και το συναρτησιακό εύρος.

Για την εκτέλεση κάποιας ενέργειας πρέπει να υπάρχουν κάποιες συνθήκες, οι οποίες καλούνται προαπαιτούμενες συνθήκες ή προϋποθέσεις (preconditions). Η δυαδική συνάρτηση Poss δηλώνει αν μια προϋπόθεση (precondition) ισχύει. Δηλαδή, αν ένα κατηγόρημα Poss(a,s) είναι αληθές, αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια a μπορεί να εκτελεσθεί στην κατάσταση s.

Αυτό μπορούμε να το δούμε στο παρακάτω παράδειγμα. Υποθέτουμε ότι ένας σκύλος *σ* θέλει να δαγκώσει *bite* το κόκκαλό του *k*. Για να μπορέσει να συμβεί αυτό, δεν πρέπει να έχει τίποτα μέσα στο στόμα του (π.χ. φαγητό) *¬havelnMouth*, να υπάρχει ένα κόκκαλο το οποίο να μην είναι μεγάλο για *¬big(k)* για να μπορέσει να το πιάσει με το στόμα του ο σκύλος και να βρίσκεται δίπλα του *(nextTo) το* κόκκαλο. Έτσι έχουμε:

$$\text{Poss (bite}(\sigma, k), s) \supset [(\forall z)\ \neg\text{haveInMouth } (\sigma, x, z)] \wedge \neg\text{big}(k) \wedge \text{nextTo } (\sigma, k, s)$$

Παρατηρούμε ότι το κατηγόρημα *Poss* εκφράζει τους απαραίτητους κανόνες που πρέπει να ισχύουν, για να είναι δυνατή η εκτέλεση της ενέργειας του δαγκώματος *(bite).*

Αιτιολογικοί νόμοι είναι αυτοί που μας δείχνουν πώς οι ενέργειες επηρεάζονται από τις τιμές των fluents, και ονομάζονται **κανόνες** ή **αποτελέσματα**.

Στη συνέχεια θα παρατεθούν κάποια αξιώματα, έτσι ώστε να γίνει κατανοητό ότι η μικρότερη σχέση που υπάρχει μεταξύ δύο καταστάσεων είναι <= (μικρότερη ή ίση).

Ένα βασικό αξίωμα στο Λογισμό Καταστάσεων είναι το **αξίωμα της επαγωγής (axiom of induction)**, το οποίο ικανοποιεί το ότι η αρχική κατάσταση ανήκει στο σύνολο των καταστάσεων και η δυαδική συνάρτηση do(a,s) ανήκα στο σύνολο των καταστάσεων, εάν η κατάσταση s ανήκει και αυτή στο σύνολο των καταστάσεων και η ενέργεια a ανήκει στο σύνολο των ενεργειών:

$$(\forall P).P(S_o) \wedge (Va, s)\ [\ P(s) \supset P(do(a, s))] \supset (\forall s)\ P(s).$$

Επιπλέον, μπορούν να συνταχθούν οι καταστάσεις σε κάποια σειρά:

$(\forall s.s \neq S_0)\ S_o < s$ και $\neg s < S_o$

$(\forall a, s, s').s < do(a, s') = Poss(a, s') \wedge s <= s'$

όπου $s < s'$ σημαίνει ότι η κατάσταση s' είναι επόμενη κατάσταση της s.

Εφόσον το P είναι μια δυαδική σχέση μεταξύ των καταστάσεων, συμπεραίνουμε

ότι: $(\forall s, s').s < s' = (\forall P).\{[(\forall a, si).Poss(a, si) \supset P(si, do(a, si))]$

$\wedge (\forall a, si, s_2).Poss(a, s_2) \wedge P(si, s_2) \supset P(si, do(a, s_2))]\} \supset P(s, s')\cdot$

Άρα πραγματικά η σχέση που προκύπτει μεταξύ καταστάσεων είναι η «μικρότερη ή ίση» [3].

Effect Axioms

Η δυναμική του Κόσμου καθορίζεται λεπτομερώς από τα **αξιώματα επιρροής (effect axioms)**. Έτσι, καθορίζουν τα αποτελέσματα μιας δοσμένης ενέργειας σε μια αληθή τιμή ενός δοσμένου fluent. Επομένως, μπορούν να αναφερθούν και ως οι αιτιολογικοί κανόνες του κόσμου. Διακρίνονται σε θετικά (positive) και αρνητικά (negative) αξιώματα επιρροής. Ως παράδειγμα έχουμε:

Positive effect axioms

fragile(x, s) ⊃ broken (x, do (drop(r,x),s)

Negative effect axioms

¬broken (x, do(repair(r,x), s).

3. Η λύση μέσα από τα αξιώματα επιρροής (effect axioms)

Το πλήθος των αναμενόμενων αξιωμάτων του πλαισίου (frame axioms) σε συνδυασμό με την παρατήρηση αυτών ταυτόχρονα, ώθησε τον Pednault [7] το 1989 να τα συστηματοποιήσει σε μία μέθοδο, η οποία θα τα εξασφαλίζει μέσα από τα αξιώματα επιρροής (effect axioms), θετικά (positive) και αρνητικά (negative).

Έχοντας ένα σύνολο θετικών και αρνητικών αξιωμάτων του πλαισίου, ένα για κάθε ενέργεια, για κάθε fluent F(x, s) αξιωματικά έχουμε:

$(\in^{+})_F(x, y, s) \supset F(x, do(A(y), s))$

και $(\in^{-})_F(x, y, s) \supset \neg F(x, do(A(y), s))$.

Το $(\in^{+})_F(x, y, s)$ δείχνει τις προϋποθέσεις (preconditions) που πρέπει να ισχύουν, έτσι ώστε, εφόσον η ενέργεια A(y) εκτελεσθεί, το fluent F να γίνει αληθές στην επόμενη κατάσταση της ενέργειας A.

Αντίστοιχα, το $(\in^{-})_F(x, y, s)$ δείχνει τις προϋποθέσεις (preconditions) που πρέπει να ισχύουν, έτσι ώστε, εφόσον η ενέργεια A(y) εκτελεσθεί, το fluent F να γίνει ψευδές στην επόμενη κατάσταση της ενέργειας A.

Υποθέτουμε ότι ισχύει το F(x, s) και το $\neg F(x, do(A(y), s))$. Αυτό σημαίνει ότι το F είναι αληθές στην κατάσταση s και μετά την εκτέλεση της ενέργειας A γίνεται ψευδές. Ο μόνος τρόπος το F να γίνει ψευδές είναι αν και μόνο εάν το $(\in^{-})_F(x, y, s)$ ήταν αληθές. Γράφοντάς το με αξιώματα έχουμε:

$F(x, s) \land \neg F(x, do(A(y), s)) \supset (\in^{-})_F(x, y, s)$

το οποίο είναι ισοδύναμο με:

$F(x, s) \land \neg (\in^{-})_F(x, y, s) \supset F(x, do(A(y), s))$.

από παρόμοια επιχειρήματα προκύπτει το:

$\neg F(x, s) \land \neg (\in^{+})_F(x, y, s) \supset \neg F(x, do(A(y), s))$.

Οι δύο τελευταίες προτάσεις παίζουν ακριβώς το ρόλο των αξιωμάτων του πλαισίου, αφού έχουν ακριβώς τη συντακτική μορφή των θετικών και αρνητικών αξιωμάτων του πλαισίου και ακολουθούν λογική επιχειρηματολογία.

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα, έτσι ώστε να γίνει εμφανής η παραπάνω θέση του Pednault. Κάποιες σύγχρονες βρύσες με το πάτημα *(push)* ενός κουμπιού αφήνουν το νερό να τρέξει *(flowWater*) και με επανάληψη του πατήματος του κουμπιού σταματούν τη ροή του νερού. Περιγράφοντας προκύπτουν οι προτάσεις:

$$\neg flowWater\ (x, s) \supset flowWater(x, do(push(x), s))$$

και $flowWater\ (x, s) \supset \neg flowWater(x, do(push(x), s))$,

από τα οποία μπορεί να προκύψουν τα ισοδύναμα:

$$\neg flowWater\ (x, s) \wedge y = \supset flowWater\ (x, do(push(y), s))$$

και $flowWater\ (x, s) \wedge y = \chi \supset \neg flowWater\ (x, do(push(y), s))$.

Έτσι, μπορούμε να φτάσουμε στο συμπέρασμα:

$$flowWater\ (x, s) \wedge \neg flowWater\ (x, do(push(y), s)) \supset flowWater(x, s) \wedge y = x.$$

Από αυτό προκύπτει ένα θετικό αξίωμα του πλαισίου:

$$flowWater(x, s) \wedge y \neq x \supset \neg\ flowWater(x, do(push(y), s))$$

το οποίο σημαίνει ότι η ενέργεια του πατήματος του κουμπιού *(push*) δεν επηρεάζει το fluent *flowWater,* εάν το y είναι διαφορετικό του x, δηλαδή, αν πρόκειται για κουμπί κάποιας άλλης βρύσης. Αντίστοιχα μπορούμε να γράψουμε και το αρνητικό αξίωμα του πλαισίου:

$$\neg flowWater(x, s) \wedge y \neq x \supset \neg flowWater\ (x, do(push(y), s)).$$

Ολοκληρώνοντας μπορούμε από τα αξιώματα επιρροής (effect axioms) να οδηγηθούμε στα αξιώματα του πλαισίου (frame axioms) *μέσω* ενός συστηματοποιημένου τρόπου.

Αυτή η λύση του προβλήματος του πλαισίου απαιτεί τον καθορισμό 2 x A x F αξιωμάτων του πλαισίου (όπου A οι ενέργειες και F τα fluents).

Θα πρέπει επιπλέον να αναφερθεί ότι το κατηγόρημα Poss(a, s), το οποίο, όπως προαναφέρθηκε, εκφράζει τις προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν, για να είναι δυνατή η εκτέλεση της ενέργειας a στην κατάσταση s, δεν είναι μέρος αυτού του συστηματοποιουμένου τρόπου, αλλά σε πολλές περιπτώσεις θα μπορούσε να προστεθεί.

4. Η λύση μέσα από καθολικά ποσοτικοποιημένες (universally quantified) ενέργειες

Η προσέγγιση του Hass [4] βασίζεται στην ίδια κεντρική ιδέα. Κάποιες ενέργειες μόνο επηρεάζουν το fluent F. Για να αλλάξει, δηλαδή, ένα fluent πρέπει κάποιες συγκεκριμένες ενέργειες να αλλάξουν, αλλιώς αν δεν συμβεί κάποια συγκεκριμένη ενέργεια, τα fluents παραμένουν αμετάβλητα. Έτσι τα αξιώματα του πλαισίου έχουν τις εξής μορφές:

$$F(x, s) \land \neg F(x, do(a, s)) \supset \alpha_F(x, a, s)$$

και $$\neg F(x, s) \land F(x, do(a, s)) \supset \beta_F(\chi, a, s).$$

όπου η ενέργεια (action) a είναι αναμφίβολα **καθολικά ποσοτικοποιημένη (universally quantified)**. Στα παραπάνω αξιώματα του πλαισίου, εάν αλλάξει η τιμή ενός fluent F, τότε τα α_F και β_F παρέχουν εξαντλητική εξήγηση γι' αυτή την αλλαγή.

Τα αξιώματα αυτά μπορούν να γραφούν ισοδύναμα ως:

$$F(x, s) \land \neg\, \alpha_F(\chi, a, s) \supset F(x, do(a, s))$$

και $$\neg\, F(x, s) \land \neg\, \beta_F(\chi, a, s) \supset \neg\, F(x, do(a, s)).$$

Οι δύο τελευταίες προτάσεις παίζουν ακριβώς το ρόλο των αξιωμάτων του πλαισίου, αφού έχουν ακριβώς τη συντακτική μορφή των θετικών και αρνητικών αξιωμάτων του πλαισίου και ακολουθούν λογική επιχειρηματολογία. Επιπλέον, η ενέργεια a είναι καθολικά ποσοτικοποιημένη (universally quantified). Οπότε ο αριθμός των αξιωμάτων που είναι αναγκαίος, ώστε να περιγραφούν όλες οι πιθανές αλλαγές στις τιμές των fluent που είναι αληθείς είναι ίσος με 2 x F.

Παρόμοια με την προσέγγιση του Hass είναι και η προσέγγιση του Schubert [9] που βασίζεται σε αυτή του Hass και έχει μια ευνοϊκότερη προσέγγιση σε ότι ονομάζεται **επεξηγηματικά κλειστά αξιώματα (explanation closure axioms)**, επειδή δίνουν μια ολοκληρωμένη εξήγηση πως αλλάζουν τα fluents, για την αναπαράσταση των γνωστών αξιωμάτων του πλαισίου.

Παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα, έτσι ώστε να γίνει εμφανής η παραπάνω θέση του Hass:

Υποθέτουμε το παράδειγμα που αναφέραμε με το σκύλο. Για να έχει το κόκκαλο στο στόμα του σε αυτή την κατάσταση και να μην το έχει στην κατάσταση που μας οδηγεί η ενέργεια a μετά την εκτέλεση της *(do(a,* s), θεωρούμε ότι ο μόνος τρόπος να συμβεί αυτό είναι ο σκύλος είτε να έχει αφήσει το κόκκαλο κάτω *(putdown*), είτε να το έχει ρίξει *(drop),* είτε να το έχει φάει *(eat).* Επομένως, εφόσον τα haveInMouth(σ, k, s) και

$\neg$ haveInMouth(σ, k, do(a,s)) είναι αληθή, έχουμε:

$$\text{haveInMouth}(\sigma, k, s) \land \neg\, \text{haveInMouth}(\sigma, k, do(a,s))$$
$$\supset a = \text{putDown}(\sigma, k)\ \square\ a = \text{drop}(\sigma, k)\ \square\ a = \text{eat}(\sigma, k)$$

Πρέπει να επισημανθεί ότι η παραπάνω πρόταση είναι καθολικά ποσοτικοποιημένη (universally quantified) πάνω στην ενέργεια a. Με λογικές ισοδυναμίες προκύπτει το παρακάτω αξίωμα πλαισίου:

$$\text{haveInMouth}(\sigma, k, s) \land a \neq \text{putDown}(\sigma, k) \land a \neq \text{drop}(\sigma, k) \land a \neq \text{eat}(\sigma, k)$$
$$\supset \text{haveInMouth}(\sigma, k, do(a,s))$$

Το παραπάνω αξίωμα μας λέει ότι το fluent *haveInMouth* επηρεάζεται μόνο από τις ενέργειες *putDown, drop* και *eat,* και από καμία άλλη. Έτσι, φτάσαμε στο αξίωμα του πλαισίου το οποίο *περιγράφει* τι δεν θα αλλάξει.

5. Η απλή λύση του Reiter

Το 1991 ο Reiter [8] πρότεινε μια απλή λύση στο πρόβλημα του πλαισίου και πολύ αποδοτική μάλιστα. Ο Reiter προσεγγίζει το πρόβλημα του πλαισίου προτείνοντας συντακτικούς μετασχηματισμούς αξιωμάτων, οι οποίοι συμπληρώνουν τη θεωρία ενεργειών (action theory) σε μια συγκεκριμένη συντακτική μορφή. Οι μετασχηματισμοί αυτοί περιγράφουν τις προϋποθέσεις και τα άμεσα αποτελέσματα για κάθε ενέργεια σε μια συγκεκριμένη περιγραφή για κάθε fluent σε κάθε κατάσταση, το οποίο προκύπτει από την εκτέλεση μιας ενέργειας. Η προσέγγισή του βασίζεται στις προσεγγίσεις των Hass [4], Pednault [7] και Schubert [9].

Έστω ότι έχουμε, για κάθε fluent F, αξιώματα της μορφής (γενική μορφή αξιωμάτων επιρροής θετική και αρνητική (general effect axioms)):

$$Poss(a, s) \land (\gamma^{+})_F(a, s) \supset F(do(a, s)) \text{ και}$$

$$Poss(a, s) \land (\gamma^{-})_F(a, s) \supset \neg F(do(a, s)).$$

Αυτά τα δύο αξιώματα μπορούν να παραχθούν για κάθε fluent F μέσω των κατάλληλων μετασχηματισμών, και για κατάλληλα ορισμένο κατηγόρημα Poss. Περιγράφουν όλες τις συνθήκες κάτω από τις οποίες η ενέργεια α μπορεί να θέσει το fluent f να είναι αληθές ή αντίστοιχα ψευδές. Με τον όρο συνθήκες εννοούνται οι προϋποθέσεις (Poss) και οι δυνατές τιμές που μπορεί να πάρει η ενέργεια a ($(\gamma^{+})_F(a, s)$), ώστε να ισχύει το fluent F. Αντίστοιχα, βέβαια, και για τις τιμές που μπορεί να πάρει η ενέργεια a, δηλαδή το ($(\gamma^{-})_F(a, s)$) να γίνει ψευδές, ώστε το fluent F να γίνει στην επόμενη κατάσταση της s ψευδές.

Έτσι, μπορούμε να καταλήξουμε συμπερασματικά, ότι για κάθε fluent F μπορούμε να έχουμε ένα αξίωμα της μορφής:

$$Poss(a, s) \supset [\, F(do(a, s)) \equiv (\gamma^{+})_F(a, s) \,\square\, F(s) \land \neg (\gamma^{-})_F(a, s)].$$

Επιπλέον, λόγω των γενικών αξιωμάτων επιρροής (general effect axioms)) μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι δεν υπάρχει περίπτωση να ισχύουν οι προϋποθέσεις για την ενέργεια a (Poss) και ταυτόχρονα να ισχύουν και οι δυνατές τιμές που θέτουν το fluent F αληθές και οι δυνατές τιμές που το θέτουν ψευδές. Δηλαδή, διασφαλίζεται ότι το $\neg\exists\, (Poss(a, s) \land (\gamma^{+})_F(a, s) \land (\gamma^{-})_F(a, s)\,)$ είναι πάντα αληθές. Επομένως είναι αδύνατο να ισχύουν ταυτόχρονα το $F(a, s)$ και το $\neg F(do(a, s))$.

Η παραπάνω προσέγγιση θα γίνει καλύτερα κατανοητή μέσα από ένα παράδειγμα, όπως παρατίθεται από τον Reiter και επεξηγείται και από τον Παπαδάκη. Θεωρούμε ότι έχουμε ένα ρομπότ *r,* το οποίο κρατά (*holding*) ένα αντικείμενο *x,* που μπορεί να είναι και εύθραυστο *(fragile*), το οποίο μπορεί να το αφήσει *(putDown*) στο πάτωμα ή να του πέσει (*drop).* Υπάρχει και ένα fluent βόμβα *(bomb),* η οποία μπορεί να εκραγεί *(explode).*

Θεωρούμε ότι το αντικείμενο *x* το οποίο το ρομπότ το κρατάει στην κατάσταση s θα σπάσει στην επόμενη κατάσταση, αν το ρομπότ το ρίξει (drop) και ότι το αντικείμενο x θα σπάσει εάν βρίσκεται δίπλα σε μια βόμβα, και στην επόμενη κατάσταση αυτή εκρήγνυται.

Έτσι προκύπτουν τα παρακάτω δύο θετικά αξιώματα το πλαισίου:

$$fragile(x, s) \supset broken(x, do(drop(r, x), s)$$

$$nextTo(b, \chi, s) \supset broken(x, explode(b), s)$$

Γράφοντάς τα σε μία πρόταση, έτσι ώστε οι ενέργειες *drop* και *explode* να έχουν ως αποτέλεσμα το fluent *broken,* προκύπτει:

$$[(\exists r, x)\ \{a = drop(r, x) \land fragile(x, s)\}$$

$$\Box\ (\exists b)\ \{a= explode(b) \land nextTo(b, x, s)\}]$$

$$\supset broken(x, do(a, s)).$$

Έτσι περιγράψαμε ότι αν υπάρχει ρομπότ και ρίξει το αντικείμενο x και είναι εύθραυστο, ή υπάρχει μια βόμβα η οποία εκραγεί και βρίσκεται δίπλα στο αντικείμενο *x,* τότε θα σπάσει το αντικείμενο *x.*

Φυσικά, για να είναι δυνατή η εκτέλεση της ενέργειας a στην κατάσταση s, *πρέπει* να ισχύει το κατηγόρημα Poss(a, s), δηλαδή, να ισχύουν οι προϋποθέσεις για την εκτέλεση της ενέργειας a στην παρούσα κατάσταση s. Επομένως έχουμε:

$$Poss(a, s) \land [(\exists r, x)\ \{a = drop(r, x) \land fragile(x, s)\}$$

$$\Box\ (\exists b)\{a= explode(b) \land nextTo(b, x, s)\}]$$

$$\supset broken(x, do(a,s)).$$

Αυτό και στην ουσία είναι το θετικό *αξίωμα του πλαισίου, το* οποίο σε μια πιο συμπυκνωμένη και γενική μορφή θα μπορούσε να γραφτεί:

$$Poss(a, s) \land (y^{+})_{broken}(a, s) \supset broken(x, do(a,s))$$

Αντίστοιχα, μπορεί να παραχθεί το αρνητικό αξίωμα του πλαισίου:

$$Poss(a, s) \wedge [(\exists r, x) \{a = repair(x, s)\}] \supset \neg broken(x, do(a,s)).$$

Και η γενική μορφή:

$$Poss(a, s) \wedge (\gamma\text{-})_{broken} (a, s)_3 \supset \neg broken(x, do(a,s))$$

Οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε ότι:

$$Poss(a, s) \supset [broken(do(a, s)) \equiv (\gamma^{+})_{broken}(a, s) \;\square\; broken(s) \wedge \neg (\gamma\text{-})_{broken}(a, s)].$$

Η συνέπεια και η διαύγεια της παραπάνω προσέγγισης έγκειται στην ποσοτικοποίηση των ενεργειών διαμέσου μετασχηματισμών και στη γενική μορφή της πληρότητας της υπόθεσης (Generalized Completeness Assumption), δηλαδή, στην περιγραφή όλων των συνθηκών κάτω από τις οποίες η ενέργεια a οδηγεί σε αληθές fluent στην επόμενη κατάσταση.

6. Σύγκριση των λύσεων

Μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί ότι από τις λύσεις που παρουσιάστηκαν η λύση του Reiter στο πρόβλημα του πλαισίου απαιτεί τα λιγότερα αξιώματα για να περιγραφεί ένα πρόβλημα. Αυτά ανέρχονται στον αριθμό των A+F αξιωμάτων σε αντίθεση με το πλήθος των αξιωμάτων που απαιτούνται από τον Hass και είναι ίσα με 2 x F και του Pednault που ανέρχονται σε 2 x A χ F.

Αυτό αυτόματα κάνει και την προσέγγιση του Reiter πιο απλή. Η πολυπλοκότητα που προκύπτει από την περιγραφή ενός προβλήματος λόγω του πλήθους των αξιωμάτων του πλαισίου είναι αρκετά μεγαλύτερη στις προσεγγίσεις των Pednault και Hass.

Ο Pednault για τον συστηματικό καθορισμό των αξιωμάτων του πλαισίου (frame axioms), για όλα τα ζεύγη fluent-ενέργεια από αξιώματα επιρροής (effect axioms), πρέπει να μετρηθεί το σύνολο των αξιωμάτων επιρροής (efect axioms), συμπεριλαμβανομένων και των ανενεργών.

Συγκεκριμένα θα πρέπει να μετρηθούν όλα εκείνα τα ζεύγη fluent-ενεργειών τα οποία δεν επηρεάζουν την τιμή αυτών των fluents, τα οποία είναι αληθή. Με άλλα λόγια θα πρέπει να απαριθμηθούν όλα τα αξιώματα του πλαισίου (frame axioms).

Επιπροσθέτως, ο αριθμός των αξιωμάτων του πλαισίου που πρέπει να καθοριστούν ανέρχεται σε 2 x A χ F, όπου A ο αριθμός των ενεργειών και F ο αριθμός των fluents. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι πολλά από αυτά παραμένουν ανενεργά, και έτσι αντιμετωπίζουμε πάλι τη δυσκολία του Προβλήματος του πλαισίου, ότι χρειάζονται, δηλαδή, πάρα πολλά αξιώματα του πλαισίου, για να μπορέσει να γίνει η περιγραφή.

Ο Pednault που χρησιμοποίησε την πληρότητα της υπόθεσης (completeneess assumption), για να αποδείξει τους συλλογισμούς του, αφήνει μια σημαντική απορία που είναι εάν μπορεί να αποτύχει η πληρότητα της υπόθεσης (completeneess assumption). Η απάντηση είναι σχεδόν αυτονόητη, μπορεί να συμβεί οποτεδήποτε υπάρχει ελλιπής γνώση για αυτό που επηρεάζει μια ενέργεια σε ένα fluent. Αυτό φαίνεται από ένα παράδειγμα που αναφέρει ο Reiter στο κεφάλαιο που περιγράφει την προσέγγιση του Pednault στο Πρόβλημα του Πλαισίου. Αν προσπαθήσουμε να σκεφτούμε τα αποτελέσματα του να τραβήξουμε την σκανδάλη από ένα πιθανώς γεμάτο (loaded) όπλο πάνω στο fluent *loaded,* μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι είναι ακαθόριστο αν το όπλο θα είναι γεμισμένο μετά την ενέργεια του να τραβήξουμε τη σκανδάλη *(pulltrigger*). Πράγμα που καθιστά ανενεργά τα θετικά (positive) και αρνητικά (negative) αξιώματα επιρροής (effect axioms).

Δηλαδή αντίστοιχα έχουμε:

$$\text{false} \supset \text{loaded}(\text{do}(\text{pulltrigger},s))$$

και $$\text{false} \supset \neg\text{loaded}(\text{do}(\text{pulltrigger},s))$$

Έτσι, σύμφωνα με την πληρότητα της υπόθεσης (completeneess assumption) προκύπτουν τα αντίστοιχα αξιώματα του πλαισίου, από τα οποία το πρώτο διαισθητικά και μόνο είναι λανθασμένο. Έτσι έχουμε:

$$\text{loaded}(s) \supset \text{loaded}(\text{do}(\text{pulltrigger},s))$$

και $$\neg\ \text{loaded}(s) \supset \neg\ \text{loaded}(\text{do}(\text{pulltrigger},s)).$$

Αν θέλαμε να διορθώσουμε τα δύο αξιώματα αποτελέσματος για αυτή τη συγκεκριμένη περίπτωση, έτσι ώστε να καθοριστούν το τράβηγμα της σκανδάλης *(pulltrigerj* και το γέμισμα του όπλου *(loaded),* θα πρέπει να εισάγουμε και τον αριθμό σφαιρών (που περιέχονται) στο όπλο *(containbullets(n,s): n σφαίρες περιέχονται στην κατάσταση s*), άλλα αυτός ο τρόπος διόρθωσης του προβλήματος είναι ξεκάθαρο ότι δεν μπορεί να λύσει γενικά όλες τις περιπτώσεις ασαφών ζευγών fluents-ενεργειών.

Έτσι γι' αυτή την περίπτωση έχουμε την εξής λύση:

$$\text{containbullets}(n, s) \land n \geq 2 \supset \text{loaded}(\text{do}(\text{pulltrigger}, s))$$

και $$\geq \text{containbullets}(n, s) \land n < 2 \quad \subset\neg\text{loaded}(\text{do}(\text{pulltrigger}, s)).$$

Όπου n θετικό ή μηδέν.

Στην Προσέγγιση του Hass παρατηρούμε ότι ο αριθμός αξιωμάτων που χρησιμοποιούνται για τη λύση του προβλήματος του πλαισίου είναι 2 x F, όπου F ο αριθμός των fluent. Αυτό είναι εφικτό λόγω των καθολικών ποσοδεικτών που χρησιμοποιεί. Σε σύγκριση με τη λύση του Pednault μπορούμε να πούμε ότι ακολουθούν την ίδια βασική ιδέα. Η αλλαγή ενός fluent έγκειται στην αλλαγή κάποιων (λίγων) συγκεκριμένων ενεργειών. Αν δεν αλλάξουν αυτές, δεν συμβαίνει καμία αλλαγή στα fluents. Η πολυπλοκότητά του είναι αυξημένη, αλλά όχι τόσο μεγάλη, όσο του Pednault.

Η Morgenstern [6] παρατηρεί κάποια αρνητικά στην προσέγγιση του Reiter και γράφει χαρακτηριστικά ότι η προσέγγιση του Reiter έχει ένα λογικό αριθμό απαιτούμενων αξιωμάτων και επιτρέπει να συμβούν "παράλληλα" γεγονότα. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και μειονεκτήματα. Αφού επιτρέπει να συμβούν παράλληλες ενέργειες, εφόσον αυτές είναι γνωστές, δεν μπορεί να διευθετήσει συστήματα τα οποία περιέχουν άγνωστες ενέργειες που δρουν παράλληλα. Στην προσέγγιση του Reiter σύμφωνα με την Morgenstern [6] υπάρχει η υπόθεση ότι τίποτε στον κόσμο δεν μπορεί να κριθεί σωστά, όταν δεν είναι όλα γνωστά. Έτσι, η γνώση του συστήματος για τα γεγονότα πρέπει να είναι ολοκληρωμένη. Επιπλέον, υποστηρίζει ότι δεν είναι απαραίτητη μια τυπική της πλειοψηφούσας γνώμης λογική. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι ότι χρειάζεται να προστεθούν πολύ ισχυρές υποθέσεις, για να γίνει μια ακριβή εξαγωγή συμπεράσματος [6]. Φυσικά, αυτή η άποψη επεκτείνεται εύκολα και στις προσεγγίσεις του Hass και του Pednault.

Δεν πρέπει όμως να ξεχνάμε ότι η προσέγγιση του Reiter απαιτεί μόνο F + A αξιώματα, όπου F fluents και A actions. Απαιτεί, δηλαδή, ένα αξίωμα για κάθε fluent και ένα για κάθε ενέργεια (action). Επιπλέον, θεωρείται μια απλή λύση, διότι η πολυπλοκότητα που απαιτείται για την περιγραφή κάθε αξιώματος πλαισίου έχει μειωθεί δραστικά.

Όλα αυτά ίσως μπορούν να γίνουν πιο κατανοητά, αν περιγράψουμε το ίδιο παράδειγμα και με τις τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις που παρουσιάστηκαν.

Υποθέτουμε ότι ένας άνθρωπος έχει την δυνατότητα να τραφεί, οι οποία περιγράφεται με το fluent *eat*, εφόσον παραγγείλει το φαγητό του (*food*), που περιγράφεται με την ενέργεια (action) *order* ή εφόσον αγοράσει το φαγητό του, το οποίο περιγράφεται με την ενέργεια (action) *buy*. Ο άνθρωπος παύει να τρέφεται, εφόσον το φαγητό χαλάσει, που περιγράφεται με την ενέργεια *stale*.

Η προσέγγιση του Pednault περιγράφει αυτό το τμήμα του κόσμου με *2xAxF* αξιώματα του πλαισίου. Έχουμε 3 ενέργειες (Actions) και ένα fluent, επομένως περιγράφεται με 2x3x1 = 6 αξιώματα του πλαισίου.

Οπότε έχουμε το θετικό αξίωμα του πλαισίου:

$$\text{eat}(\text{ food, s }) \land y \neq \text{food} \supset \text{eat}(\text{ food, do (order}(y), s\text{) }), \qquad (1)$$

το οποίο σημαίνει ότι η ενέργεια του να παραγγελθεί το ν το οποίο είναι διαφορετικό του *food*, *order(y)*, δεν επηρεάζει το fluent *eat(food, s)*, όταν το y είναι διαφορετικό από το food. Αντίστοιχα, το αρνητικό αξίωμα του πλαισίου μας λέει ότι εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα να τραφεί κάποιος με *food*, θα συνεχίσει να μην υπάρχει η δυνατότητα να τραφεί με *food*, εφόσον παραγγελθεί το *y* το οποίο είναι διαφορετικό του *food*. Σε αξιωματική μορφή, η παραπάνω πρόταση γράφεται:

$$\neg\text{eat}(\text{ food, s }) \land y \neq \text{food} \supset \neg\text{eat}(\text{ food, do(order}(y), s\text{)}) \qquad (2)$$

Αντίστοιχα, για κάθε ενέργεια (action), λοιπόν έχουμε το θετικό και το αρνητικό αξίωμα του πλαισίου. Για την ενέργεια *buy,σε* σχέση με το fluent *eat,* έχουμε:

$$eat(\ food, s\ ) \wedge y \neq food \supset eat(\ food, do(\ buy(y), s\ )\ ) \qquad (3)$$

και $$\neg eat(\ food, s\ ) \wedge y \neq food \supset \neg eat(\ food, do(\ buy(y), s\ )\ ). \qquad (4)$$

Και για την ενέργεια stale, σε σχέση με το fluent eat έχουμε:

$$eat(\ food, s\ ) \wedge y \neq food \supset eat(\ food, do(\ stale(y), s\ )) \qquad (5)$$

και $$\neg eat(\ food, s\ ) \wedge y \neq food \supset \neg eat(\ food, do(\ stale(y), s\ )) \qquad (6)$$

Επομένως, έχουμε 3 θετικά *αξιώματα* του πλαισίου (possitive frame axioms) ((1), (3), (5)) και 3 αρνητικά αξιώματα του πλαισίου (negative frame axioms) ((2), (4), (6)), τα οποία μας λένε ότι το fluent *eat* ή το *¬eat* παραμένει αμετάβλητο, εφόσον εκτελεστεί κάποια από τις ενέργειες πάνω στο *y το* οποίο είναι διαφορετικό του *food.*

Η προσέγγιση του Hass χρησιμοποιεί *2xF* αξιώματα του πλαισίου, αφού χρησιμοποιεί καθολικά ποσοτικοποιημένες (universally quantified) ενέργειες. Οπότε για την περιγραφή του παραπάνω παραδείγματος απαιτούνται 2x1 = 2 αξιώματα πλαισίου, αλλά και ο ορισμός των καθολικά ποσοτικοποιημένων ενεργειών.

Οπότε έχουμε το θετικό αξίωμα του πλαισίου, το οποίο μας περιγράφει ότι η δυνατότητα τροφής με *food* στην κατάσταση *s* και η μη δυνατότητα τροφής στην επόμενη κατάσταση θα είναι αληθείς, εφόσον και όταν εκτελεσθεί η ενέργεια του να χαλάσει(stale) η τροφή *(food),* δηλαδή αξιωματικά:

$$Eat\ (food, s\ ) \wedge \neg eat(\ food, do(a, s)\ ) \supset a = stale(\ food\ ) \qquad (1)$$

ή αλλιώς μπορεί να γραφτεί:

$$eat(\ food, s\ ) \wedge \neg eat(\ food, do(a, s)\ ) \supset \alpha_F(\ food, a, s)$$

όπου a_F (food, a, s) είναι η εξήγηση του γιατί και του πότε θα αλλάξει το fluent *eat,* δηλαδή το fluent *eat* αλλάζει όταν και γιατί θα εκτελεσθεί η ενέργεια του να χαλάσει το τρόφιμο *(stale).*

Αντίστοιχα, το αρνητικό αξίωμα του πλαισίου, μας περιγράφει ότι η μη δυνατότητα τροφής **¬***eat*, η οποία είναι αληθής τώρα, θα *αλλάξει* εφόσον εκτελεσθούν οι ενέργειες *order(food)* ή *buy (food)*, δηλαδή θα είναι αληθής και το fluent *eat(food, do(a,s))*, όταν εκτελεσθεί η ενέργεια *α*. Αξιωματικά περιγράφεται:

$$\neg eat(\, food, s\,) \wedge eat(\, food, do(a, s)\,)$$
$$\supset b = order(\, food\,) \;\Box\; b = buy(\, food\,) \quad (2)$$

ή με τη χρήση καθολικού ποσοδείκτη:

$$\neg\, eat(\, food, s\,) \wedge eat(\, food, do(a, s)\,) \supset \beta_F(\, food, a, s\,)$$

όπου $\beta_F(food, a, s)$ είναι η εξήγηση του γιατί και του πότε θα αλλάξει το fluent **¬***eat*, δηλαδή το fluent **¬***eat* θα γίνει *eat* όταν και γιατί εκτελέσθηκε είτε η ενέργεια *order*, είτε η ενέργεια *buy*.

Επομένως, έχουμε 2 αξιώματα πλαισίου, αλλά θεωρούμε ότι οι καθολικοί ποσοδείκτες θεωρούνται γνωστοί.

Η τελευταία προσέγγιση του Reiter χρειάζεται *A +F* αξιώματα για να περιγραφεί. Ένα αξίωμα για κάθε fluent και ένα για κάθε ενέργεια. Δηλαδή, στο παράδειγμα μας χρειαζόμαστε 4 αξιώματα για να περιγράψουμε αυτόν τον κόσμο. Το fluent *eat* θα περιγραφεί γενικά ως:

$$Poss(a, s) \supset [\, eat(\, do(\, a, s)) \equiv (\gamma^{+})_{eat}(\, a, s\,) \vee eat(s) \wedge \neg(\gamma^{-}\,)eat(\, a, s\,)]\ (1)$$

Δηλαδή,

$$Poss(a, s) \supset [eat(\, do(\, a, s\,)) \equiv [(\exists food)\ a = stale(food)] \;\Box\; eat(s) \wedge$$
$$[(\exists food)\ \{a = order(food) \;\Box\; a = buy(food)\}]\,],\ (1)$$

το οποίο σημαίνει ότι το fluent *eat* θα ισχύει, δηλαδή θα είναι αληθής, μόνο εάν η προϋπόθεση $(\gamma^{-})_{eat}(\, a, s\,)$ είναι αληθής, δηλαδή μόνο αν εκτελεσθεί είτε η ενέργεια order, είτε η ενέργεια buy, αλλιώς, αν εκτελεσθεί η ενέργεια stale, δηλαδή αν προϋπόθεση (γ-)eat (a,s,) γίνει αληθής από ψευδής στην επόμενη κατάσταση, το fluent eat δεν θα ισχύει.

Επιπλέον, πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις ενέργειας:

$$Have\ (telephone), s) \supset Poss\ (order, s) \qquad (2)$$

$$Have\ (money, s) \supset Poss\ (buy, s) \qquad (3)$$

και bad (condtions, s) $\supset$ Poss (stale, s), (4)

οι οποίες αντίστοιχα σημαίνουν, πως για να γίνει παραγγελία, θα πρέπει να υπάρχει τηλέφωνο, για να γίνει η εκτέλεση της αγοράς θα πρέπει να υπάρχουν χρήματα, και για να χαλάσει (το φαγητό) θα πρέπει να υπάρχουν κακές συνθήκες διατήρησης.

Επομένως με ένα αξίωμα για το fluent και τρία αξιώματα για τις προϋποθέσεις εκτέλεσης των ενεργειών, περιγράφηκε αυτό το κομμάτι του κόσμου που υποθέσαμε ότι έχουμε. Χαρακτηρίζεται ως απλή λύση, διότι είναι αρκετά εύκολο να περιγραφούν τα αξιώματα για τις προϋποθέσεις εκτέλεσης ενεργειών και χρειάζεται μόνο ένα αξίωμα για το fluent, έτσι ώστε να περιγραφεί η κατάσταση που θέλουμε.

Ολοκληρώνοντας, σωστό θα ήταν να αναφερθεί ότι το πρόβλημα του πλαισίου που ζητά λύσεις τις τελευταίες δεκαετίες θα συνεχίσει να ταλανίζει και να απασχολεί την επιστημονική κοινότητα.

7. Υλοποίηση Λογικών προτάσεων σε C

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε πως μπορούμε να μετατρέψουμε λογικές προτάσεις σε γλώσσα υψηλού προγραμματισμού. Για να το επιτύχουμε αυτό θα χρειαστεί να ορίσουμε μια θεωρητική περιγραφή αλγορίθμου. Δηλαδή θα πρέπει να βρούμε έναν τρόπο να παίρνουμε το κάθε τμήμα της λογική πρότασης και με βάση τα βήματα του αλγορίθμου να μετατρέπουμε την λογική πρόταση σε γλώσσα υψηλού προγραμματισμού. Η γλώσσα υψηλού προγραμματισμού που θα χρησιμοποιήσουμε για να κάνουμε να αυτές τις μετατροπές είναι η C. Επίσης θα προσπαθήσουμε να δείξουμε ότι η παραπάνω μετατροπή που θέλουμε να πετύχουμε, μέσω της θεωρητικής περιγραφής αλγορίθμου, λειτουργεί. Γι αυτό τον λόγο θα παρουσιάσουμε και μια διαισθητική απόδειξη με παραδείγματα που επιδεικνύει τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου μας. Αλγόριθμος Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε όσο γίνεται καλύτερα τον αλγόριθμο της μετατροπής θα πρέπει να τον εξετάσουμε βήμα-βήμα.

Πρώτο βήμα:

Τα μέρη της λογικής πρότασης ή τις ενέργειες μιας λογικής πρότασης τις μετατρέπουμε σε ακέραιους(δηλ. int) που μπορούνε να πάρουνε τιμές 0 ή 1.

Για να είμαστε πιο ακριβείς θα δώσουμε ένα παράδειγμα. Έχουμε λοιπόν ένα κύκλωμα με δύο διακόπτες σε σειρά, έτσι όταν και οι δύο διακόπτες είναι πατημένοι τότε ο λαμπτήρας του κυκλώματος είναι αναμμένος. Αλλιώς ένα ένας από τους διακόπτες είναι σηκωμένος τότε ο λαμπτήρας μας είναι σβηστός. Έστω s1 ο πρώτος διακόπτης, s2 ο δεύτερος διακόπτης και lamp ο λαμπτήρας του κυκλώματος. Έχω την λογική πρόταση:

up(s1) /\ up(s2) →lamp .

Τα μέρη της λογικής πρότασης είναι αυτά που είπαμε προηγουμένως δηλαδή ο διακόπτης s1, ο διακόπτης s2 και ο λαμπτήρας lamp. Άρα σύμφωνα με το πρώτο βήμα του αλγορίθμου μας θα έχουμε:

int s1;

int s2;

int lamp;

Το 1 αντιστοιχεί στην τιμή αληθείας και το 0 στην τιμή ψευδής.

Δεύτερο βήμα:

Όλα τα ^ τα μετατρέπουμε σε && (το και στην C) και όλα τα ᵛ τα μετατρέπουμε σε ||(το ή στην C).

Τρίτο βήμα:

Όταν θέλουμε να μετατρέψουμε τα →, ← →(ισοδυναμίας)θα πρέπει απλά να

προσέξουμε να μήν παραβιάζεται αυτό που δηλώνουν.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Ας δούμε κάποια παραδείγματα για το δεύτερο και το τρίτο βήμα. Έστω ότι έχω την λογική πρόταση: up(s1) ^ up(s2) → lamp. Τότε σύμφωνα με το δεύτερο και το τρίτο βήμα του αλγορίθμου θα έχουμε:

if(s1==1 && s2==1){

lamp=1;

}

Έστω ότι έχω την λογική πρόταση: ¬up(s1)∨¬up(s2) →¬ light. Τότε σύμφωνα με το δεύτερο και το τρίτο βήμα του αλγορίθμου θα έχουμε:

if(s1==0 || s2==0){

lamp=0;

}

Έστω ότι έχω την λογική πρόταση: up(s1) ^ up(s2)← → light. Τότε σύμφωνα με το δεύτερο και το τρίτο βήμα του αλγορίθμου θα έχουμε:

if(s1==1 && s2==1){

lamp=1;

}

if(lamp==1){

s1=1;

s2=1;

}

Δηλαδή η ισοδυναμία θα υλοποιηθεί ως δύο προτάσεις up(s1) ^ up(s2) → lamp και lamp →up (s1) ^ up(s2)

Τέταρτο βήμα:

Τις ενέργειες(αυτές που αλλάζουν την κατάσταση αληθείας ενός κατηγορήματος) τις μετατρέπουμε σε συναρτήσεις που μπορούνε να πάρουνε σαν ορίσματα άλλες ένεργειες ή μέρη της λογικής πρότασης. Οι συναρτήσεις αυτές επιστρέφουνε 0 ή 1.

Για να καταλάβουμε καλύτερα αυτό το τέταρτο βήμα ας δούμε ένα παράδειγμα. Έχουμε την ενέργεια gurisma_diakopth η οκαι ανίστροφα

Έχω την λογική πρόταση:

gurisma_diakopth(s)→up(s), if ¬up(s)

gurisma_diakopth(s)→¬up(s), if up(s)

γίνεται η συνάρτηση

```
int gurisma_diakopth(int  *s){
if  *s==0
   {*s=1;
      return  1;
     }
else {*s=0;
         return 0;
}
```

Το όρισμα η συνάρτηση το παίρνει πάντα ως δείκτη έτσι ώστε να μπορεί να το αλλάξει. Το όρισμα της συνάρτησης αντιστοιχεί στην μεταβλητή που αναπαριστά το κατηγόρημα.

Βιβλιογραφία

1. Γ. Αντωνίου, Tutorial on Default Reasoning, Griffith University, Australia, Lecture Note.
2. Ι. Βλαχάβας, Π. Κεφαλάς, Ν. Βασιλειάδης, Ι. Ρεφανίδης, Φ. Κόκκορας, Η. Σακελλαρίου. Τεχνητή Νοημοσύνη, εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 2002.
3. Ν. Παπαδάκης, Action Theories in Temporal Databases, Doctoral Thesis, University of Crete, Heraklion, March 2004.
4. Hass. The Case for Domain-Specific Frame Axioms. In F. Brown, editor. The frame problem in artificial intelligence. Proceeeding of the 1987 workshop, pages 343-348, Los Altos, California.
5. J. McCarthy and P.J. Hayes. Some philosophical problems from the standpont of Artificial Intelligence. In B. Meltzer and D. Mitshiee, editors, Machine Intelligent 4, pages 463-502. American Elsevier, New York, 1969.
6. L. Morgenstern, The Frame Problem with Solution to the Frame problem, In K. Ford and Z. Pylyshyn (Eds.), pp. 99-133 , 1996.
7. E. Pednault. ADL: Exploring the Middle Grouund between STRIPS and the Situation Calculus. In R.J. Brachman, H. Levesque, and R. Reiter, editors, Proceeding of the First International Conference on Principles of Knowledge Represebtation and Reasoning (KR'89), pages 324-332. Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Mateo, California, 1989.
8. Ray Reiter. The frame problem in the situation calculus: A simple solution (sometimes) and a complteness result for goal regression. In Vladimir Lifschitz, editor, Artificial Intelligence and Mathematical Theory on Computation: Paper in Honor of John McCarthy, pages 359-380. Academic Press, San Diego, CA, 1991.
9. L.K. Schubert. Monotonic Solution of the Frame Problem in the Situation Calculus: An Efficient Method for Worlds with Fully Specified Actions. In II.E. Kyberg, R.P. Loui, and G.N. Carlson, editors, Knowledge Representation and

Defeasible Reasoning, pages 23-67. Kluwer Academic Press, Boston, Mass., 1990

10. L.A. Stein, An ateemporal Frame Problem, International Journal of Expert Systems 3(4), pages 371-381, 1990.
11. J. B. Amsterdam. Temporal reasoning and narrative conventions. In J. F. Allen, R. Fikes, and E. Sandewall, editors, Proceedings of International Conference on Principles of Khowledgwe Representation and Reasoning(KR), pages 15-21, Cambridge, MA 1991.
12. Andrew B. Baker. Nonmonotonic reasoning in the frameworke of situation calculus. Artificial Intelliegence, 49:5-23, 1991.
13. Alessandro Artale and Enrico Franconi.A computational account for a description logic of time and action. 4th International Conference on Knowledge Representation and Reasoning (KR'94), Morgan Kaufmann, San Mateo CA, May 1994.
14. Alessandro Artale and Enrico Franconi. Hierarchical Plans in a Description Logic of Time and Action. 1995 International Workshop on Description Logics (DL'95), Rome, Italy, June 1995. Also IJCAI'95 workshop on The Next Generation Of Plan Recognition Systems, August 1995.
15. Alessandro Artale and Enrico Franconi (1998). A Temporal Description Logic for Reasoning about Actions and Plans. Journal of Artificial Intelligence Research (JAIR) Vol. 9, pages 463-506, December 1998.
16. Alessandro Artale and Enrico Franconi (1999). Representing a Robotic Domain using Temporal Description Logics. Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing (AIEDAM), special Issue on Temporal Logic in Engineering, Vol. 13, No.2, April 1999.
17. Andrew B. Baker. Nonmonotonic reasoning in the framework of situation calculus. Artificial Intelligence Journal, 49:5-23,1991.
18. Chitta Baral and Michael Gelfond. Representing concurrent actions in extended logic programming. In R. Bajcsy, editor, Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pages 866-871, Chambery, France, August 1993. Morgan Kaufmann.

19. Chitta Baral and Jorge Lobo. Defeasible specifications in actions theories. In M. E. Pollack, editor, Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pages 1441-1446, Nagoya, Japan, August 1997. Morgan Kaufmann.
20. Chitta Baral and Michael Gelfond and Alessandro Provetti. Representing actions. Laws, observations and hypothesis. Journal of Logic Programming, 31(1-3):201-243, 1997.
21. Daniel G. Bobrow, editor. Artificial Intelligence 13. Special Issue on NonMonotonic Reasoning. 1980.