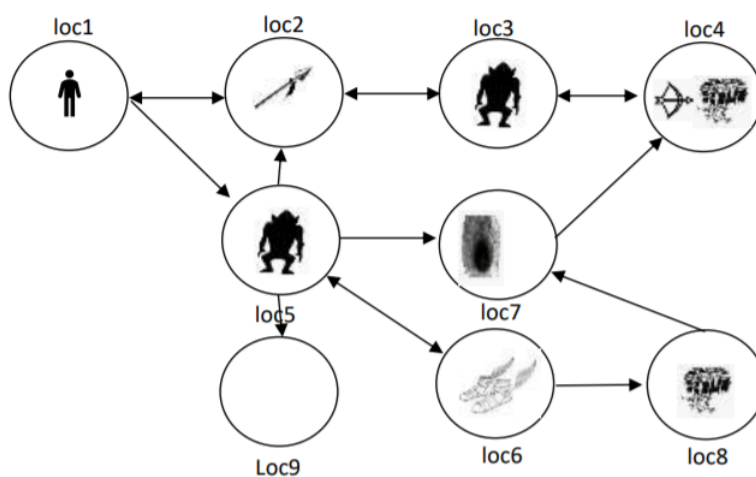


Δεύτερη Προαιρετική Εργασία - Τεχνητή Νοημοσύνη

Βασίλειος Παπαστέργιος (ΑΕΜ: 3651)

4 Μαΐου, 2021



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Πληροφορικής



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάθημα: Τεχνητή Νοημοσύνη
Εξάμηνο: 4^ο
Καθηγητές: Ιωάννης Βλαχάβας
Δημήτριος Βράκας

Contents

1	Εισαγωγή	3
2	Περιγραφή του παιχνιδιού	3
3	Ανάλυση του πεδίου του παιχνιδιού	3
3.1	Οι κλάσεις του πεδίου	4
3.2	Τα κατηγορήματα του πεδίου	4
3.2.1	Σχέσεις σύνδεσης μεταξύ σπηλιών	4
3.2.2	Σχέσεις τοποθεσίας αντικειμένων	4
3.2.3	Σχέσεις συλλογής μαγικών αντικειμένων	5
3.3	Οι κινήσεις του πεδίου	5
3.3.1	Μετακίνηση μεταξύ σπηλιών του δικτύου	5
3.3.2	Συλλογή θησαυρών και μαγικών αντικειμένων	6
3.3.3	Αντιμετώπιση τεράτων και υπερπήδηση λάακων	7
4	Επίλυση στιγμιοτύπων του πεδίου	8
4.1	Το πρόβλημα Monster1	8
4.2	Το πρόβλημα Monster2	9
4.3	Το πρόβλημα Monster3	10

1 Εισαγωγή

Το παρόν έγγραφο αποτελεί γραπτή αναφορά για τη δεύτερη προαιρετική εργασία του μαθήματος της Τεχνητής Νοημοσύνης. Παραδίδεται συμπληρωματικά με τα αρχεία πηγαίου κώδικα σε γλώσσα περιγραφής τομέων [PDDL](#), τα οποία αναπτύχθηκαν από τον γράφοντα ως λύση της εργασίας. Στις σελίδες που ακολουθούν, παρατίθεται ανάλυση του πεδίου του προβλήματος και τριών χαρακτηριστικών του στιγμιότυπων. Για κάθε ένα από τα τελευταία, μάλιστα, παρούσιάζεται το τελικό πλάνο επίλυσης σε συνδυασμό με ορισμένα χαρακτηριστικά στοιχεία του εκάστοτε πλάνου.

2 Περιγραφή του παιχνιδιού

Προτού προχωρήσουμε με την ανάλυση πεδίου, θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε με συντομία το ευρύτερο πρόβλημα που αυτό μοντελοποιεί. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία επικεντρώνεται σε ένα παιχνίδι δράσης, στο οποίο ένας ήρωας εξερευνά ένα δίκτυο σπηλιών. Σκοπός του ήρωα είναι να ανακαλύψει και να συλλέξει κρυμμένους θησαυρούς που υπάρχουν σε διάφορες σπηλιές και, κατόπιν, να εξέλθει από το δίκτυο. Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας αναζητείται τρόπος μοντελοποίησης του παιχνιδιού και των κανόνων του, ώστε να είναι δυνατή η επίλυση στιγμιότυπων του (πίστες παιχνιδιού) από έναν σχεδιαστή ενεργειών (planner).

Όσον αφορά στην δομή του παιχνιδιού, κάθε σπηλιά του δικτύου μπορεί να επικοινωνεί με άλλες σπηλιές μέσω περασμάτων. Τα περάσματα αυτά μπορούν να είναι μονής ή διπλής κατεύθυνσης. Αυτό σημαίνει πως για ορισμένες σπηλιές υπάρχει δυνατότητα άμεσης επιστροφής στην αμέσως προηγούμενη σπηλιά επίσκεψης (πέραςμα διπλής κατεύθυνσης), ενώ για άλλες όχι (πέραςμα μονής κατεύθυνσης).

Στο παιχνίδι, βέβαια, εκτός από κρυμμένους θησαυρούς, υπάρχουν και άλλες οντότητες ή αντικείμενα που έχουν ως στόχο να διευκολύνουν ή να δυσχεράνουν τη διαδρομή του παίκτη μέσα στο δίκτυο. Ειδικότερα, σε ορισμένες σπηλιές υπάρχουν τέρατα, τα οποία σκοτώνουν τον ήρωα, σε περίπτωση που αυτός βρεθεί στην ίδια σπηλιά με αυτά. Επίσης, σε κάποιες σπηλιές υπάρχουν λάκκοι, τους οποίους ο ήρωας δεν μπορεί να προσπεράσει. Ως αποτέλεσμα, το παιχνίδι τερματίζει με ήττα, σε περίπτωση που ο παίκτης βρεθεί στην ίδια σπηλιά με έναν λάκκο.

Προκειμένου ο ήρωας να αντιμετωπίσει τα τέρατα και τους λάκκους, στη δομή του παιχνιδιού περιλαμβάνονται, επίσης, όπλα και μαγικά παπούτσια, αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει πως ο ήρωας μπορεί να σκοτώσει ένα τέρας που βρίσκεται στην ίδια σπηλιά με τον ίδιο, αν διαθέτει κάποιο όπλο, το οποίο έχει συλλέξει από κάποια σπηλιά που επισκέφθηκε νωρίτερα. Εντελώς αντίστοιχα, ο παίκτης μπορεί να υπερπηδήσει έναν λάκκο που συναντά στο δρόμο του, εάν έχει νωρίτερα συλλέξει ένα ζευγάρι μαγικά παπούτσια, από κάποια προηγούμενη σπηλιά. Τα ειδικά αυτά αντικείμενα, βέβαια, έχουν ισχύ για μία και μοναδική χρήση και παύουν να είναι διαθέσιμα για τον παίκτη σε περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για αντιμετώπιση ενός τέρατος ή λάκκου αντίστοιχα.

3 Ανάλυση του πεδίου του παιχνιδιού

Λαμβάνοντας υπόψιν τους παραπάνω κανόνες του παιχνιδιού, τα ζητούμενα της εργασίας αφορούν στη μοντελοποίηση του προβλήματος (παιχνιδιού) σε γλώσσα PDDL. Το παραδοτέο αρχείο κώδικα σε PDDL που αναπαριστά το πεδίο του προβλήματος και αναλύεται ακολουθώς είναι το αρχείο `treasureHuntDomain.pddl`.

Απώτερος στόχος αυτής της μοντελοποίησης είναι η δυνατότητα ορισμού συγκεκριμένων στιγμιότυπων του παιχνιδιού. Τα στιγμιότυπα αυτά λαμβάνουν τη μορφή γύρων (πιστών) του παιχνιδιού και χαρακτηρίζονται από έναν συγκεκριμένο αριθμό σπηλιών, τεράτων, λάκκων και μαγικών αντικειμένων. Τα στιγμιότυπα αυτά θα αποτελέσουν το αντικείμενο της αμέσως επόμενης ενότητας.

Έχοντας ορίσει το πεδίο του προβλήματος και τα επιμέρους στιγμιότυπα, θα είμαστε σε θέση να εκτελέσουμε έναν σχεδιαστή ενεργειών και να λάβουμε ένα συγκεκριμένο πλάνο, το οποίο θα παρουσιάζει σε σειρά τις κινήσεις που θα πρέπει να εκτελέσει, προκειμένου να ολοκληρώσει επιτυχώς την πίστα.

3.1 Οι κλάσεις του πεδίου

Το πρωταρχικό βήμα κατασκευής του πεδίου δεν είναι άλλο από την αναγνώριση των τύπων αντικειμένων που θα χρειαστούν για την αναπαράστασή του. Στην περίπτωση μας, οι τύποι αυτοί ταυτίζονται με τις διαφορετικές "κλάσεις" (οντότητες) που σκιαγραφούνται από τους κανόνες του παιχνιδιού. Έτσι, στο πεδίο εισάγονται οι ακόλουθοι τύποι:

- **cave**: αναπαριστά την λογική οντότητα μιας σπηλιάς του δικτύου του παιχνιδιού
- **treasure**: αναπαριστά έναν κρυμμένο θησαυρό, τον οποίο ο ήρωας θα πρέπει να συλλέξει.
- **monster**: αναπαριστά ένα τέρας που δυσχεραίνει την πορεία του ήρωα στο δίκτυο σπηλιών.
- **pit**: αναπαριστά έναν λάκκο που φράσσει το δρόμο του ήρωα.
- **weapon**: αναπαριστά τη μια εκ των δύο κατηγοριών μαγικών αντικειμένων, αυτή του όπλου. Με το όπλο αυτό ο ήρωας μπορεί να σκοτώσει ένα τέρας που θα συναντήσει.
- **boots**: αναπαριστά την λογική οντότητα ενός ζευγαριού μαγικών παπουτσιών, με τα οποία ο ήρωας μπορεί να υπερπηδήσει έναν λάκκο.

3.2 Τα κατηγορήματα του πεδίου

Το επόμενο επίπεδο στη δόμηση του πεδίου έγκειται στον προσδιορισμό των κατηγορημάτων, δηλαδή των σχέσεων και των συνθηκών που συνδέουν τα αντικείμενα των διαφόρων τύπων μεταξύ τους. Οι σχέσεις αυτές είναι διαφορετικές σε κάθε στιγμιότυπο του παιχνιδιού, διαμορφώνοντας μια διαφορετική πίστα δράσης. Οι υποενότητες που ακολουθούν αναφέρονται στις διαφορετικές, ευρύτερες ομάδες κατηγορημάτων, όπως αυτές σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν στο τρέχον πεδίο.

3.2.1 Σχέσεις σύνδεσης μεταξύ σπηλιών

Μια ιδιαίτερα σημαντική σχέση στην οικονομία του παιχνιδιού είναι η σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών σπηλιών του δικτύου. Η ύπαρξη ή μη περασμάτων ανάμεσα στις σπηλιές καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδρομή του ήρωα, στην προσπάθειά του να ανακαλύψει και να συλλέξει τους κρυμμένους θησαυρούς, αποφεύγοντας παράλληλα τους λάκκους και τα τέρατα.

Σύμφωνα με την περιγραφή του παιχνιδιού, τα περάσματα μεταξύ δύο σπηλιών μπορούν να είναι είτε μονής, είτε διπλής κατεύθυνσης. Για το λόγο αυτό, στο πεδίο εισάγονται τα εξής δύο κατηγορήματα σύνδεσης μεταξύ σπηλιών:

- **(has-single-passage ?cave_start ?cave_destination)**: αναπαριστά την ύπαρξη μονού περάσματος μεταξύ δύο σπηλιών. Αυτό σημαίνει πως δεν υπάρχει τρόπος άμεσης επιστροφής στην σπηλιά έναρξης από σπηλιά προορισμού.
- **(has-round-passage ?cave_start ?cave_destination)**: αναπαριστά την ύπαρξη περάσματος διπλής κατεύθυνσης μεταξύ δύο σπηλιών. Αυτό σημαίνει πως η επιστροφή στη σπηλιά αφετηρίας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ένα βήμα.

3.2.2 Σχέσεις τοποθεσίας αντικειμένων

Μια άλλη, ευρύτερη κατηγορία κατηγορημάτων είναι εκείνη που περιγράφει τη σχέση μεταξύ στιγμιότυπων αντικειμένων του πεδίου και των διαφόρων σπηλιών του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τα κατηγορήματα που αναπαριστούν την ακριβή τοποθεσία των διαφόρων οντοτήτων του παιχνιδιού μέσα στην πίστα. Σε επίπεδο υλοποίησης, για το λόγο αυτό στο πεδίο εισάγεται ένα κατηγορήμα για κάθε μία από τις κλάσεις του παιχνιδιού. Για λόγους ομοιομορφίας, τα κατηγορήματα αυτά λαμβάνουν αντίστοιχο όνομα, το οποίο προκύπτει από την ονομασία της εκάστοτε κλάσης, ακολουθούμενο από την αγγλική πρόθεση *at*, που υποδηλώνει τοποθεσία. Αναλυτικότερα, στο πεδίο προστίθενται τα εξής κατηγορήματα:

- (player-at ?a_cave): προσδιορίζει τη σπηλιά στην οποία βρίσκεται ο παίκτης τη δεδομένη χρονική στιγμή.
- (treasure-at ?a_treasure ?a_cave): προσδιορίζει τη σπηλιά στην οποία βρίσκεται ένας κρυμμένος θησαυρός που αναζητείται από τον ήρωα.
- (monster-at ?a_monster ?a_cave): προσδιορίζει τη σπηλιά στην οποία βρίσκεται ένα τέρας της πίστας.
- (pit-at ?a_pit ?a_cave): προσδιορίζει τη σπηλιά στην οποία βρίσκεται ένας λάκκος.
- (weapon-at ?a_weapon ?a_cave): προσδιορίζει τη σπηλιά στην οποία βρίσκεται ένα όπλο.
- (boots-at ?some_boots ?a_cave): προσδιορίζει τη σπηλιά στην οποία βρίσκεται ένα ζευγάρι μαγικά παπούτσια.

3.2.3 Σχέσεις συλλογής μαγικών αντικειμένων

Η τελευταία ευρύτερη ομάδα κατηγορημάτων εστιάζει στη διαδικασία συλλογής και στη διαθεσιμότητα των στιγμιотύπων μαγικών αντικειμένων της πίστας. Με απλά λόγια, πρόκειται για τις σχέσεις που προσδιορίζουν αν κάποιο μαγικό αντικείμενο που βρίσκεται σε σπηλιά της πίστας έχει συλλεχθεί (και επομένως είναι διαθέσιμο) από τον ήρωα τη δεδομένη χρονική στιγμή. Οι συσχετίσεις αυτές, όπως γίνεται φανερό και από το όνομα της κατηγορίας, αφορούν αποκλειστικά μαγικά αντικείμενα (όπλα και παπούτσια) ή κρυμμένους θησαυρούς. Λαμβάνοντας υπόψιν αυτά, η προσθήκη στο πεδίο των ακολουθών κατηγορημάτων προκύπτει ως λογικό επακόλουθο της σκέψης μας:

- (treasure-collected ?a_treasure): μοντελοποιεί τη λογική σχέση συλλογής ενός θησαυρού από τον ήρωα. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να διευκρινιστεί πως η πράξη της συλλογής του θησαυρού έχει πραγματοποιηθεί σε χρόνο προγενέστερο της δεδομένης στιγμής. Το κατηγορήμα, επομένως, εκφράζει το αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας, δηλαδή πως ο θησαυρός έχει συλλεχθεί και είναι διαθέσιμος.
- (weapon-available ?a_weapon): μοντελοποιεί τη διαθεσιμότητα ενός όπλου για τον ήρωα, την τρέχουσα χρονική στιγμή.
- (boots-available ?some_boots): μοντελοποιεί τη διαθεσιμότητα ενός ζεύγους μαγικών παπουτσιών για τον ήρωα, τη δεδομένη χρονική στιγμή.

3.3 Οι κινήσεις του πεδίου

Έχοντας αναλύσει διεξοδικά τις διάφορες σχέσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των στιγμιотύπων των κλάσεων του πεδίου, η σύνδεση αυτών για τη δημιουργία ενεργειών που μπορεί να εκτελέσει ο παίκτης προκύπτει ως λογικό επακόλουθο της συλλογιστικής μας. Σε αυτή την υπο-ενότητα, λοιπόν, θα προσπαθήσουμε να συνθέσουμε τα κατηγορήματα του πεδίου, ώστε να δημιουργήσουμε προϋποθέσεις και αποτελέσματα κινήσεων. Ένα υποσύνολο αυτών των κινήσεων θα είναι διαθέσιμες για τον ήρωα κάθε δεδομένη στιγμή του παιχνιδιού, επιτρέποντας, τελικά, στο σχεδιαστή ενεργειών να καταστρώσει πλάνα επίλυσης για συγκεκριμένες πίστες του παιχνιδιού.

3.3.1 Μετακίνηση μεταξύ σπηλιών του δικτύου

Αρχικά, μια από τις σημαντικότερες ενέργειες για την οικονομία του παιχνιδιού είναι η μετακίνηση του ήρωα στο εσωτερικό του δικτύου σπηλιών. Επί της ουσίας, πρόκειται για την κίνηση εκείνη κατά την οποία ο ήρωας μεταβαίνει από μια σπηλιά αφετηρίας (start cave) σε μια σπηλιά προορισμού (destination cave).

Η μετακίνηση αυτή, ωστόσο, διέπεται από κάποιες προϋποθέσεις (preconditions), τις οποίες θέτουν οι κανόνες του παιχνιδιού. Πιο συγκεκριμένα, ο ήρωας μπορεί να μετακινηθεί από τη μία σπηλιά στην άλλη, μόνο εφόσον οι δύο αυτές σπηλιές συνδέονται με πέρασμα που επιτρέπει τη διέλευσή του. Για την ακρίβεια, απαιτείται να υπάρχει μονό πέρασμα από την αφετηρία στον προορισμό, είτε πέρασμα διπλής κατεύθυνσης ανάμεσα στις δύο σπηλιές.

Επιπλέον, η μετακίνηση μεταξύ των σπηλιών δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί, όταν υπάρχει κάποιο τέρας ή λάκκος, που εμποδίζει το δρόμο του ήρωα. Αυτό σημαίνει πως ο ήρωας θα πρέπει πρώτα να αντιμετωπίσει το

τέρας ή να υπερπηδήσει το λάκκο, προτού προχωρήσει στη σπηλιά προορισμού. Με μια ισοδύναμη διατύπωση, μπορούμε να ισχυριστούμε πως η μετακίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί, όταν κανένα τέρας και κανένας λάκκος δεν βρίσκεται στην σπηλιά αφετηρίας.

Λαμβάνοντας, υπόψιν, πως οι παραπάνω προϋποθέσεις πληρούνται, μπορούμε να προχωρήσουμε στον καθορισμό των αποτελεσμάτων της ενέργειας. Όπως γίνεται φανερό, με την εκτέλεση της ενέργειας προκύπτει μετακίνηση του ήρωα από την αφετηρία στον προορισμό. Εναλλακτικά, ο ήρωας παύει, πλέον, να βρίσκεται στην σπηλιά αφετηρίας και εφεξής βρίσκεται στη σπηλιά προορισμού. Μεταφέροντας όλα τα παραπάνω σε γλώσσα PDDL, προκύπτει εύκολα ο ακόλουθος κώδικας για την ενέργεια της μετακίνησης μεταξύ δύο σπηλιών.

```

1 (:action move
2   :parameters (?cave_start - cave ?cave_destination - cave)
3   :precondition (and
4     (player-at ?cave_start)
5     (or
6       (has-single-passage ?cave_start ?cave_destination)
7       (has-round-passage ?cave_start ?cave_destination)
8       (has-round-passage ?cave_destination ?cave_start)
9     )
10    (forall (?monster_in_round - monster)
11      (not (monster-at ?monster_in_round ?cave_start)))
12    )
13    (forall (?pit_in_round - pit)
14      (not (pit-at ?pit_in_round ?cave_start)))
15    )
16  )
17  :effect (and
18    (player-at ?cave_destination)
19    (not (player-at ?cave_start))
20  )
21 )

```

Listing 1: Κώδικας σε PDDL για την ενέργεια μετακίνησης του ήρωα σε άλλη σπηλιά

3.3.2 Συλλογή θησαυρών και μαγικών αντικειμένων

Εκτός από τη δυνατότητα μετακίνησης, πάντως, ο ήρωας μπορεί να συλλέξει αντικείμενα και θησαυρούς που βρίσκει σε διάφορες σπηλιές που επισκέπτεται. Πιο αναλυτικά, ο ήρωας μπορεί να συλλέξει όπλα, μαγικά παπούτσια ή και κρυμμένους θησαυρούς που βρίσκει κατά τη διάρκεια της περιπλάνησής του στο δίκτυο. Οι τελευταίοι, μάλιστα, διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στην επιτυχή ολοκλήρωση μιας πίστας, καθώς ο παίκτης θα πρέπει αν συλλέξει όλους τους κρυμμένους θησαυρούς, προτού εξέλθει από το δίκτυο.

Όπως και στην περίπτωση της μετακίνησης μεταξύ των σπηλιών, έτσι και στη συλλογή αντικειμένων, υπάρχουν συγκεκριμένες προϋποθέσεις, οι οποίες θα πρέπει να πληρούνται, προκειμένου η ενέργεια της συλλογής να μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αναλογιζόμενοι τη φυσική και νοηματική διάσταση της ενέργειας, καταλήγουμε εύκολα σε αυτές: τόσο ο ήρωας, όσο και το συλλεγόμενο αντικείμενο θα πρέπει να βρίσκονται στην ίδια σπηλιά.

Αποτέλεσμα της ενέργειας συλλογής αντικειμένου είναι πως το τελευταίο γίνεται, πλέον, διαθέσιμο για τον ήρωα. Στην περίπτωση που το αντικείμενο είναι κρυμμένος θησαυρός, τότε ο ήρωας τον αποθηκεύει για να τον μεταφέρει εκτός δικτύου, όταν έχει συλλέξει όλους του θησαυρούς της πίστας. Αντίστοιχα, σε περίπτωση που το αντικείμενο είναι όπλο ή μαγικά παπούτσια, τότε αυτά γίνονται εφεξής διαθέσιμα, προκειμένου να αντιμετωπίσει κάποιο τέρας ή να προσπεράσει κάποιο λάκκο. Τέλος, είναι προφανές πως τα αντικείμενα μετά τη συλλογή παύουν να κείτονται, πλέον, στη σπηλιά. Από αυτά, επομένως, προκύπτει ο ακόλουθος κώδικας σε PDDL.

```

1 (:action collect-treasure
2   :parameters (?a_cave - cave ?a_treasure - treasure)
3   :precondition (and
4     (player-at ?a_cave) (treasure-at ?a_treasure ?a_cave)
5   )
6   :effect (and
7     (treasure-collected ?a_treasure)
8     (not (treasure-at ?a_treasure ?a_cave))
9   )
10 )
11

```

```

12 (:action collect-weapon
13   :parameters (?a_cave - cave ?a_weapon - weapon)
14   :precondition (and
15     (player-at ?a_cave) (weapon-at ?a_weapon ?a_cave)
16   )
17   :effect (and
18     (weapon-available ?a_weapon)
19     (not (weapon-at ?a_weapon ?a_cave))
20   )
21 )
22
23 (:action collect-boots
24   :parameters (?a_cave - cave ?some_boots - boots)
25   :precondition (and
26     (player-at ?a_cave) (boots-at ?some_boots ?a_cave)
27   )
28   :effect (and
29     (boots-available ?some_boots)
30     (not (boots-at ?some_boots ?a_cave))
31   )
32 )

```

Listing 2: Κώδικας σε PDDL για τις ενέργειες συλλογής θησαυρού ή μαγικού αντικειμένου

3.3.3 Αντιμετώπιση τεράτων και υπερπήδηση λάκκων

Έχοντας περιγράψει την ενέργεια της συλλογής μαγικών αντικειμένων, προκύπτει εύλογα η σκέψη για το πώς τα αντικείμενα αυτά χρησιμοποιούνται από τον παίκτη. Σύμφωνα με τους κανονισμούς του παιχνιδιού, ο παίκτης μπορεί να σκοτώσει ένα τέρας που βρίσκεται στο δρόμο του χρησιμοποιώντας κάποιο διαθέσιμο όπλο. Αντίστοιχα, μπορεί να υπερπηδήσει ένα λάκκο που συναντά, φορώντας ένα ζευγάρι από τα διαθέσιμα μαγικά παπούτσια που έχει συλλέξει. Γίνεται ευδιάκριτο, επομένως, πως υπάρχει και μια τρίτη, τελευταία κατηγορία ενεργειών, που αφορούν στην αντιμετώπιση των εμποδίων (τεράτων και λάκκων).

Προκειμένου να συμβεί αυτό, ο ήρωας θα πρέπει όχι μόνο να βρίσκεται στην ίδια σπηλιά με το τέρας ή το λάκκο, αλλά και να έχει στη διάθεσή του (τουλάχιστον) ένα κατάλληλο μαγικό αντικείμενο, σύμφωνα με τα παραπάνω. Σε όρους της γλώσσας PDDL, αυτές είναι και οι προϋποθέσεις για την εκτέλεση της ενέργειας.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα της ενέργειας, προκύπτει ότι το εκάστοτε εμπόδιο αντιμετωπίζεται επιτυχώς. Αυτό σημαίνει πως το τέρας σκοτώνεται και παύει να υφίσταται ως εμπόδιο εφεξής, ενώ ο λάκκος προσπερνάται από τον ήρωα, ο οποίος μπορεί να συνεχίσει την πορεία του στο δίκτυο. Τα μαγικά αντικείμενα, βέβαια, έχουν ισχύ για μία και μοναδική χρήση. Συνεπώς, η ενέργεια έχει ως αποτέλεσμα το γεγονός πως τα χρησιμοποιούμενα αντικείμενα παύουν πλέον να είναι διαθέσιμα για τον παίκτη. Ο ακόλουθος κώδικας σε PDDL περιγράφει ακριβώς αυτή την ενέργεια.

```

1 (:action kill-monster
2   :parameters (?a_cave - cave ?a_monster - monster ?a_weapon - weapon)
3   :precondition (and
4     (player-at ?a_cave) (monster-at ?a_monster ?a_cave)
5     (weapon-available ?a_weapon)
6   )
7   :effect (and
8     (not (monster-at ?a_monster ?a_cave)) (not (weapon-available ?a_weapon))
9   )
10 )
11
12 (:action jump-over-pit
13   :parameters (?a_cave - cave ?a_pit - pit ?some_boots - boots)
14   :precondition (and
15     (player-at ?a_cave) (pit-at ?a_pit ?a_cave)
16     (boots-available ?some_boots)
17   )
18   :effect (and
19     (not (pit-at ?a_pit ?a_cave)) (not (boots-available ?some_boots))
20   )
21 )

```

Listing 3: Κώδικας σε PDDL για τις ενέργειες αντιμετώπισης τέρατος και υπερπήδησης λάκκου

4 Επίλυση στιγμιοτύπων του πεδίου

Στο σημείο αυτό η ανάλυση του πεδίου του παιχνιδιού έχει ολοκληρωθεί. Έχοντας παρουσιάσει τους τύπους, τα κατηγορήματα αλλά και τις ενέργειες που περιλαμβάνονται σε αυτό, είμαστε, πλέον, σε θέση να αξιοποιήσουμε το πεδίο, επιλύοντας συγκεκριμένα στιγμιότυπά του. Τα στιγμιότυπα αυτά αποτελούν, επί της ουσίας, πίστες του παιχνιδιού, στις οποίες υπάρχουν συγκεκριμένα αντικείμενα του κάθε τύπου. Τα αντικείμενα αυτά συνδέονται με καθορισμένες σχέσεις μεταξύ τους. Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιάσουμε τρία προβλήματα (πίστες) σε αύξουσα σειρά πολυπλοκότητας.

Για την επίλυσή τους θα χρησιμοποιήσουμε έναν διαδικτυακό σχεδιαστή ενεργειών (solver), ο οποίος βρίσκεται διαθέσιμος στον ιστότοπο <https://solver.planning.domains>. Για κάθε μία από τις πίστες, μάλιστα, θα επισημάνουμε και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στοιχεία της διαδικασίας επίλυσης, όπως το ευρισκόμενο πλάνο, το πλήθος των βημάτων του, καθώς και το πλήθος των καταστάσεων που εξετάστηκαν από το σχεδιαστή μέχρι την εύρεση της λύσης. Οι υπο-ενότητες που ακολουθούν είναι αφιερωμένες σε αυτό το σκοπό.

4.1 Το πρόβλημα Monster1

Το πρώτο και απλούστερο πρόβλημα (πίστα) τιτλοφορείται ως "Monster1". Από τα παραδοτέα αρχεία σε PDDL, το πρόβλημα υλοποιείται στο αρχείο `MonsterProblem1.pddl`. Η ακόλουθη εικόνα παρουσιάζει σχεδιαστικά τη δομή της πίστας.

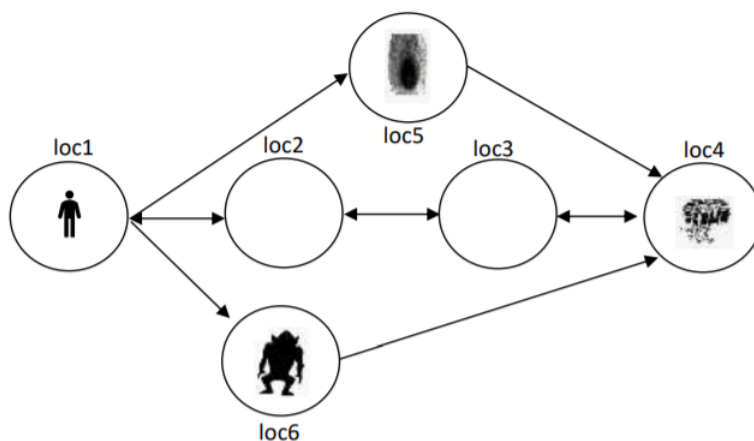


Figure 1: Σχεδιαστική απεικόνιση της πίστας Monster1

Παρατηρούμε πως υπάρχουν έξι (6) σπηλιές στο δίκτυο, εκ των οποίων η πρώτη θεωρείται ως το σημείο αφετηρίας του ήρωα. Υπάρχει μόνο ένας κρυμμένος θησαυρός, ο οποίος βρίσκεται στη σπηλιά με αύξων αριθμό τέσσερα (loc4). Επιπλέον, στο δίκτυο υπάρχει ένας λάκκος (loc5) και ένα τέρας (loc6). Ωστόσο, για το ανθρώπινο μάτι είναι προφανές πως υπάρχει διαδρομή που επιτρέπει στον παίκτη να ολοκληρώσει με επιτυχία την πίστα, χωρίς να χρειαστεί να έρθει αντιμέτωπος με κανένα από τα δύο αυτά εμπόδια. Η οπτική αυτή επίλυση επιβεβαιώνεται και από τον σχεδιαστή ενεργειών. Ακολουθώντας παρατίθεται το τελικό πλάνο που επιστρέφει ο σχεδιαστής, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της διαδικασίας επίλυσης. Σημειώνεται πως το πλάνο είναι βέλτιστο.

```
move loc1 loc2
move loc2 loc3
move loc3 loc4
collect-treasure loc4 golden_necklace
move loc4 loc3
move loc3 loc2
move loc2 loc1
```

Πλήθος κινήσεων (κόστος) πλάνου:	7
Καταστάσεις που δημιουργήθηκαν:	18
Καταστάσεις που ελέγχθηκαν:	11

4.2 Το πρόβλημα Monster2

Το δεύτερο πρόβλημα της σειράς παρουσιάζεται στην εκφώνηση της εργασίας ως πρόβλημα "Monster2". Από τα παραδοτέα αρχεία σε PDDL, το πρόβλημα αυτό υλοποιείται στο αρχείο `MonsterProblem2.pddl`. Η ακόλουθη εικόνα παρουσιάζει σχεδιαγραμματικά τη δομή της πίστας.

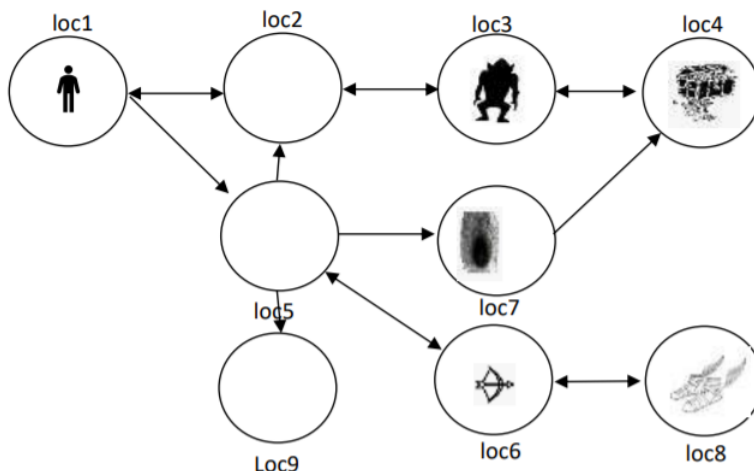


Figure 2: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση της πίστας Monster2

Σε αυτή την πίστα οι σπηλιές ανέρχονται σε εννέα (9), με τον ήρωα να εκκινεί και πάλι από την σπηλιά με το μικρότερο αύξων αριθμό. Υπάρχει και πάλι μονάχα ένας κρυμμένος θησαυρός (loc4). Αυτή τη φορά, ωστόσο, η δομή της πίστας είναι περισσότερο σύνθετη. Το τέρας (loc3) και ο λάκκος (loc7) φράσσουν και τα δύο περάσματα που οδηγούν στη σπηλιά του θησαυρού. Αυτό σημαίνει πως ο ήρωας θα χρειαστεί τη βοήθεια ενός, τουλάχιστον, μαγικού αντικειμένου.

Τα μαγικά αντικείμενα της πίστας είναι ένα τόξο (loc6) και ένα ζευγάρι φτερωτά σανδάλια (loc8). Σε αυτή την πίστα η χρησιμότητα του σχεδιαστή γίνεται, πλέον, φανερή, μιας και η λύση δεν είναι τόσο προφανής με γυμνό μάτι. Ακολουθώς παρατίθεται το τελικό πλάνο που βρίσκει ο σχεδιαστής, καθώς και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της διαδικασίας επίλυσης. Σημειώνεται πως και σε αυτή την περίπτωση το πλάνο είναι βέλτιστο, ως προς το κόστος.

```

■ move loc1 loc5
■ move loc5 loc6
■ collect-weapon loc6 bow_of_peril
■ move loc6 loc5
■ move loc5 loc2
■ move loc2 loc3
■ kill-monster loc3 black_goblin bow_of_peril
■ move loc3 loc4
■ collect-treasure loc4 golden_necklace
■ move loc4 loc3
■ move loc3 loc2
■ move loc2 loc1

```

Πλήθος κινήσεων (κόστος) πλάνου: 12
Καταστάσεις που δημιουργήθηκαν: 43
Καταστάσεις που ελέγχθηκαν: 35

4.3 Το πρόβλημα Monster3

Το τρίτο και πλέον σύνθετο πρόβλημα από όσα έχουν μελετηθεί έως τώρα, είναι το πρόβλημα "Monster3". Από τα παραδοτέα αρχεία σε PDDL, το πρόβλημα υλοποιείται στο αρχείο MonsterProblem3.pddl. Η ακόλουθη εικόνα παρουσιάζει σχεδιαγραμματικά τη δομή της πίστας.

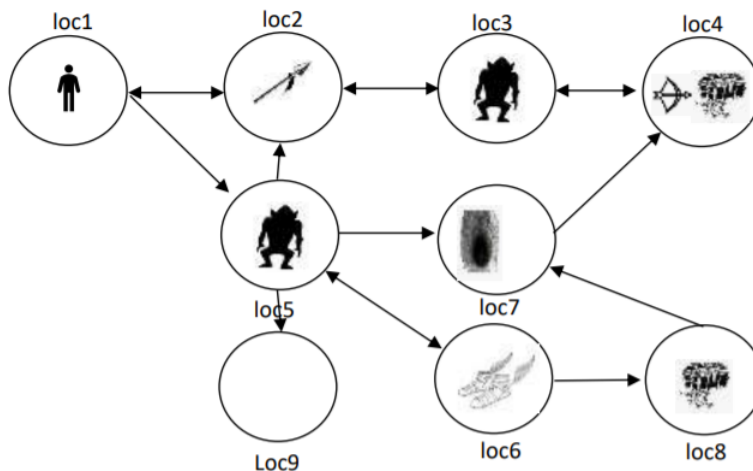


Figure 3: Σχεδιαγραμματική απεικόνιση της πίστας Monster3

Παρατηρούμε ότι η πίστα, πλέον, γίνεται αρκετά πιο σύνθετη από τις προηγούμενες δύο. Οι εννέα (9) σπηλιές του δικτύου έχουν μια περίπλοκη διάρθρωση μονών και διπλών περασμάτων μεταξύ τους. Επιπροσθέτως, οι κρυμμένοι θησαυροί γίνονται, πλέον, δύο, ευρισκόμενοι στις σπηλιές loc4 & loc8.

Διπλασιάζονται, όμως, και τα τέρατα, τα οποία καταλαμβάνουν τις σπηλιές loc3 και loc5. Αντίστοιχος με αυτά είναι ο αριθμός των όπλων, μια ξιφολόγχη και ένα τόξο, ευρισκόμενα στις σπηλιές loc2 και loc4, αντίστοιχα. Τα εμπόδια της πίστας ολοκληρώνονται με την παρουσία ενός λάκκου στη σπηλιά loc7, η οποία μπορεί, δυνητικά, να αντιμετωπιστεί από τον ήρωα με τα μαγικά φτερωτά σανδάλια που κείτονται στη σπηλιά loc6. Ακολούθως παρατίθεται το τελικό, βέλτιστο ως προς το πλήθος ενεργειών, πλάνο που επιστρέφει ο σχεδιαστής, σε συνδυασμό με τα στατιστικά επίλυσης.

```

■ move loc1 loc2
■ collect-weapon loc2 spear_of_leonidas
■ move loc2 loc3
■ kill-monster loc3 black_goblin1 spear_of_leonidas
■ move loc3 loc4
■ collect-treasure loc4 golden_necklace1
■ collect-weapon loc4 bow_of_peril
■ move loc4 loc3
■ move loc3 loc2
■ move loc2 loc1
■ move loc1 loc5
■ kill-monster loc5 black_goblin2 bow_of_peril
■ move loc5 loc6
■ collect-boots loc6 talaria_sandals
■ move loc6 loc8
■ collect-treasure loc8 golden_necklace2
■ move loc8 loc7
■ jump-over-pit loc7 moving_sand talaria_sandals
■ move loc7 loc4
■ move loc4 loc3
■ move loc3 loc2
■ move loc2 loc1

```

Πλήθος κινήσεων (κόστος) πλάνου: 22
 Καταστάσεις που δημιουργήθηκαν: 62
 Καταστάσεις που ελέγχθηκαν: 51