



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Τεχνητής Νοημοσύνης

Πτυχιακή Εργασία

# **Δημιουργία περιεχομένου για Video Games με μεθόδους Procedural Content Generation και Generative Adversarial Neural Networks.**

Ευφροσύνη Καλτιριμίδου

*Επιβλέπων:*

Νίκος Νικολαΐδης

Καθηγητής

Θεσσαλονίκη 2020



# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Procedural Content Generation</b>	<b>4</b>
1.1	Game Content . . . . .	5
1.2	Η χρησιμότητα του PCG . . . . .	6
1.3	Παιχνίδια που χρησιμοποιούν PCG . . . . .	7
1.4	Προβλήματα του PCG . . . . .	8
1.5	Επιθυμητά Χαρακτηριστικά του PCG . . . . .	9
1.5.1	Ταχύτητα - Πολυπλοκότητα . . . . .	9
1.5.2	Δημιουργικότητα - πρωτοτυπία . . . . .	9
1.5.3	Αξιοπιστία . . . . .	10
1.5.4	Παραμετροποιησιμότητα . . . . .	10
1.6	Procedural Content Generation για 2D επίπεδα . . . . .	11
1.6.1	Εισαγωγή . . . . .	12
1.6.2	Space Partitioning . . . . .	12
1.6.3	Agent-based . . . . .	14
1.6.4	Cellular Automata . . . . .	15

1.6.5	Generative Grammars . . . . .	16
-------	-------------------------------	----



# Κεφάλαιο 1

## Procedural Content Generation

Το αντικείμενο του Procedural Content Generation (PCG) όπως ορίζεται στο [1] είναι η *Δημιουργία περιεχομένου για ηλεκτρονικά παιχνίδια με την χρήση αλγορίθμων και με την παροχή ελάχιστων ή καθόλου εισόδων από τον χρήστη*. Αποτελεί μια μεγάλη κατηγορία έρευνας και ανάπτυξης τόσο στην βιομηχανία των παιχνιδιών όσο και στην επιστήμη της πληροφορικής.

Το PCG, όπως και πολλά άλλα αντικείμενα της πληροφορικής, αντιπροσωπεύεται από ιδιαίτερα προβλήματα και περιορισμούς τόσο στην πολυπλοκότητα των αλγορίθμων όσο και στην αυθεντικότητα και προτοτυπία των αποτελεσμάτων. Ως γνωστό αντικείμενο της επιστήμης της πληροφορικής, μπορεί να ταξινομηθεί κάτω από την κατηγορία της Τεχνητής Νοημοσύνης καθώς βασικός στόχος του PCG είναι η δημιουργία αλγορίθμων που μπορούν να προσομοιώσουν την ανθρώπινη δημιουργικότητα και ευφυΐα. Επιπλέον στα προβλήματα και στις προσεγγίσεις επίλυσης παρατηρούμε πολλά κοινά με άλλα πεδία της Τεχνητής Νοημοσύνης.

Όπως έχει παρατηρηθεί και σε πολλά άλλα αντικείμενα της Τεχνητής Νοημοσύνης, έτσι και το PCG είχε μικρή εξάπλωση και χρήση στην αρχή. Αυτό δεν οφείλεται στις δυνατότητες των αλγορίθμων και στην θεωρία πίσω από το αντικείμενο, αλλά κυρίως στην αδυναμία του hardware των υπολογιστών εκείνων των περιόδων να χρησιμοποιήσουν αλγόριθμους τέτοιας πολυπλοκότητας. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη των δυνατοτήτων των προσωπικών υπολογιστών και των κινητών συσκευών έχει διευρυνθεί η χρήση μεθόδων PCG για την παραγωγή διαφόρων ειδών game content όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Μαζί με την αύξηση στην χρήση μεθόδων PCG ήρθε και η αύξηση των προβλημάτων που καλείται να επιλύσει.



Σχήμα 1.1: Screenshot από το παιχνίδι No Man's Sky (2016). Οι κόσμοι που δημιουργεί είναι εξ'ολοκλήρου κατασκευασμένοι με τη χρήση ντετερμινιστικών μεθόδων Procedural Content Generation.

## 1.1 Game Content

Για να κατανοήσουμε καλύτερη το πεδίο του PCG πρέπει πρώτα να καταλάβουμε τι θεωρείται περιεχόμενο σε ένα παιχνίδι. Ο τομέας του PCG αναφέρεται και έχει χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρονικά παιχνίδια (Video Games), επιτραπέζια παιχνίδια (Board Games), παιχνίδια με κάρτες (Card Games) κ.ά. Στην συγκεκριμένη εργασία, επικεντρωθήκαμε στα Video Games.

**Game Content** Όπως αναφέρεται και στο όνομα, περιεχόμενο, είναι κάτι που περιέχεται σε ένα παιχνίδι. Αυτός ο ορισμός όμως είναι πολύ γενικός και ευρύς και δεν περιορίζετε μόνο στο περιεχόμενο που αντιστοιχεί στο PCG. Στην βιβλιογραφία μπορούμε να ξεχωρίσουμε συγκεκριμένα είδη περιεχομένου που φαίνετε να μπορούν να δημιουργηθούν με μεθόδους PCG. Αυτά είναι:

- Γραφικά (Textures)
- Επίπεδα (Levels) και χάρτες (Maps)
- Αντικείμενα (Items)
- Αποστολές (Quests)
- Ιστορίες (Stories)
- Μουσική (Music)

Ο παραπάνω διαχωρισμός γίνεται με βάση το είδος του κάθε περιεχομένου, για παράδειγμα η μουσική ως περιεχόμενο ενός παιχνιδιού, διαφέρει από τα αντικείμενα. Αντίστοιχα οι μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την παραγωγή μουσικής διαφέρουν από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αντικειμένων. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν υπάρχουν κοινοί αλγόριθμοι που μπορούν να εφαρμοστούν σε παραπάνω από ένα είδος με επιτυχία, αντίθετα υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι που έχουν ως βάση έναν πιο γενικό αλγόριθμο και αποτελούν ειδικές εκδόσεις του για το κάθε είδος περιεχομένου.

Ο διαχωρισμός του περιεχομένου βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση των ιδιοτήτων και των περιορισμών που εμφανίζει το κάθε είδος το οποίο οδηγεί στην δημιουργία καλύτερων μεθόδων και αλγορίθμων.

## 1.2 Η χρησιμότητα του PCG

Η πρώτη ανάγκη που παρουσιάστηκε και οδήγησε στην υιοθέτηση μεθόδων PCG αφορούσε την μείωση του αποθηκευτικού χώρου που καταλάμβανε ένα παιχνίδι. Το PCG δίνει την δυνατότητα τις δημιουργίες content μόλις παρουσιαστεί η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ή να παρουσιαστεί στον παίκτη, το οποίο σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να καταλαμβάνει χώρο στην μνήμη εάν υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας του ακριβώς την στιγμή που χρειάζεται. Με την μνήμη να αποτελεί έναν διαμοιραζόμενο πόρο μεταξύ των εφαρμογών ακόμα και σήμερα το PCG αποτελεί μια μέθοδο μείωσης του χώρου που καταλαμβάνει ένα παιχνίδι.

Το PCG έχει επίσης χρησιμότητα από τους καλλιτέχνες και σχεδιαστές διαφόρων παιχνιδιών. Η χρήση PCG για την δημιουργία περιεχομένου το οποίο αν και δεν είναι τέλειο ή αρκετά καλό για το παιχνίδι, δίνετε στους σχεδιαστές οι οποίοι το βελτιώνουν, το αλλάζουν και προσθέτουν στοιχεία ώστε προστεθεί με επιτυχία στο παιχνίδι. Με αυτόν τον τρόπο το PCG βοηθάει τους ανθρώπους με τέτοιους ρόλους στην εργασία τους, δίνοντας του έμπνευση και κάνοντας ένα κομμάτι της δουλειάς ώστε αυτοί να μπορούν να δώσουν προσοχή στις λεπτομέρειες που θα κάνουν το περιεχόμενο πραγματικά εντυπωσιακό. Σε αυτές τις υλοποιήσεις του PCG συνηθίζεται να δίνει ο σχεδιαστής μέσω διαφόρων εισόδων κάποιες παραμέτρους που ορίζουν μια γενική περιγραφή του περιεχομένου που θέλει να δημιουργήσει, για παράδειγμα το μέγεθος του χάρτη ή το είδος των πόρων που θα έχει διαθέσιμα. Στη συνέχεια το PCG δημιουργεί το περιεχόμενα με βάση τις παραμέτρους που πήρε και εμφανίζει το αποτέλεσμα στο σχεδιαστή. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές μέχρι να δημιουργεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.



Μια επίσης πολύ σημαντική ανάγκη που καλύπτει, εν μέρη, το PCG είναι η δημιουργία ενός παιχνιδιού που δεν τελειώνει ποτέ. Αντίθετα με την συνεχή παραγωγή πρωτότυπου και ποικίλου περιεχομένου, ένα παιχνίδι μπορεί να συνεχίζετε επ' άπειρον, προσφέροντας αμέτρητες ώρες gameplay στους παίκτες. Πολλά παιχνίδια έχουν επιχειρήσει να υλοποιήσουν αυτό το feature, κάποια με μεγάλη επιτυχία και κάποια με το αντίθετο αποτέλεσμα. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι υλοποιήσεις του PCG είναι η επαναληψιμότητα και η μονοτονία, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω. Είναι ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια για την επιτυχία ενός endless παιχνιδιού.

Τέλος, μια ανάγκη που έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια στον χώρο των παιχνιδιών και συνδέετε με μια ακόμα περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης στα παιχνίδια είναι η εξατομίκευση περιεχομένου, ή personalized content. Αναφέρεται στην δημιουργία περιεχομένου που είναι σχεδιασμένο για τις προτιμήσεις και τις ανάγκες του κάθε παίκτη.

### 1.3 Παιχνίδια που χρησιμοποιούν PCG

Από την πρώτη στιγμή που ξεκίνησε η διάδοση των Video Games φάνηκε η ανάγκη για την αυτόματη και αυτόνομη δημιουργία σωστού περιεχομένου. Κάποια από τα παιχνίδια που εφάρμοσαν με μεγάλη επιτυχία μεθόδους PCG είναι:

**Rogue (1980)** Ένα από τα πρώτα παιχνίδια που εφάρμοσε PCG για την αυτόματη δημιουργία επιπέδων (**levels**). Το Rogue ενέπνευσε την δημιουργία πολλών παιχνιδιών με αντίστοιχες δυνατότητες και PCG μεθόδους.

**Spore (2008)** Το Spore είναι ένα life-simulation και strategy παιχνίδι που χρησιμοποιεί PCG για την δημιουργία πλασμάτων και αντικειμένων. Οι αλγόριθμοι του Spore, συνδυάζουν απλά σχήματα και αντικείμενα για να δημιουργήσουν μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα πλάσματα με βάση διάφορους κανόνες και περιορισμούς.

**No Man's Sky (2016)** Ένα από τα πιο σημαντικά παραδείγματα για τις δυνατότητες του PCG είναι το παιχνίδι no Man's Sky. Το θέμα του παιχνιδιού είναι η εξερεύνηση του διαστήματος και η επιβίωση σε ξένους πλανήτες. Το παιχνίδι δημιουργεί σχεδόν ολόκληρο τον κόσμο με PCG, δηλαδή τους πλανήτες, τα αστέρια, τα φυτά, τα ζώα και τα encounters του παίκτη με τη χρήση ντετερμινιστικών αλγορίθμων PCG. Η αποδοχή του παιχνιδιού από το κοινό ήταν μέτρια. Οι δημιουργοί είχαν υποσχεθεί έναν απέραντο κόσμο γεμάτο

περιεχόμενο και οι παίκτες παρατήρησαν ότι το τελικό αποτέλεσμα ήταν μονότονο και επαναλαμβανόμενο, κάτι που τους δημιούργησε άσχημες εντυπώσεις.

## 1.4 Προβλήματα του PCG

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το PCG δεν αποτελεί μια τέλεια και ολοκληρωμένη λύση για να τα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει. Αντίθετα οι υλοποιήσεις του PCG πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα καινούργια προβλήματα και περιορισμούς που δημιουργούνται με την χρήση PCG αλγορίθμων.

**Επαναληψιμότητα - Μονοτονία** Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα είναι η ποικιλία και μοναδικότητα του παραγόμενου περιεχομένου. Όπως αναλύθηκε και παραπάνω, σε πολλές περιπτώσεις το παραγόμενο περιεχόμενο είναι πολύ μονότονο, μοτίβα φαίνονται να επαναλαμβάνονται και κατά συνέπεια το αποτέλεσμα δίνει στον χρήστη την αντίθετη εντύπωση από την επιθυμητή. Οι λόγοι που συμβαίνει αυτό είναι πολλοί και σχετίζονται με το είδος του αλγόριθμου που χρησιμοποιείται κάθε φορά, τις παραμέτρους που δίνονται και τα βασικά assets που χρησιμοποιεί για να δημιουργήσει το περιεχόμενο.

**Ταχύτητα - πολυπλοκότητα** Πολλοί αλγόριθμοι PCG πρέπει να είναι σε θέση να λειτουργούν σε πολύ λίγο χρόνο και με περιορισμένους πόρους. Σε ένα ηλεκτρονικό παιχνίδι υπάρχουν πολλά κομμάτια που πρέπει να δουλεύουν ταυτόχρονα, όπως τα γραφικά, το UI, το σύστημα κανόνων για την προσομοίωση της φυσικής στον κόσμο του παιχνιδιού κ.ά. Συνεπώς το σύστημα του AI που περιέχει και το PCG δεν μπορεί να καταλαμβάνει πολλούς πόρους ή να αργεί να ανταποκριθεί γιατί το παιχνίδι θα φαίνεται να κολλάει ή να μην δουλεύει όπως πρέπει. Αυτό σημαίνει ότι οι αλγόριθμοι που υλοποιούν το PCG πρέπει να έχουν συγκεκριμένη χρονική και χωρική πολυπλοκότητα και να μην ξεπερνάνε.

**Playability** Μπορεί να έχουμε σχεδιάσει τον τέλειο αλγόριθμο PCG που χρησιμοποιεί ελάχιστους πόρους του συστήματος και δημιουργεί μοναδικά επίπεδα για το 2D platformer παιχνίδι μας αλλά ένα στα τρία επίπεδα να μην έχουν είσοδο. Αυτό σημαίνει ότι ο παίκτης δεν θα μπορέσει να το επισκεφτεί ποτέ, ή θα βρεθεί παγιδευμένος μέσα του χωρίς κάποιο τρόπο να προχωρήσει το παιχνίδι. Αυτό φυσικά είναι κάτι που δεν θέλουμε σε καμία περίπτωση να συμβεί. Για αυτό το λόγο πρέπει να ορίσουμε τι θεωρείται "playable" περιεχόμενο και τι "unplayable".

## 1.5 Επιθυμητά Χαρακτηριστικά του PCG

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να αναλύσουμε ένα σύνολο από επιθυμητά χαρακτηριστικά που θέλουμε να έχει κάθε σύστημα PCG ώστε να διασφαλίσουμε την σωστή και αρμονική λειτουργία του μέσα στο παιχνίδι.

### 1.5.1 Ταχύτητα - Πολυπλοκότητα

Όπως είδαμε και στο 1.4 ένα μεγάλο θέμα για κάθε παιχνίδι είναι η διαχείριση και κατανομή των πόρων στα επιμέρους συστήματα του. Το σύστημα του AI, που περιέχει και το υποσύστημα του PCG πρέπει να περιορίσει την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων του, χρονικά και χωρικά, ώστε να ανταποκρίνονται στους διαθέσιμους πόρους. Αυτός ο περιορισμός είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την επιτυχία του παιχνιδιού καθώς η εμπειρία του παίκτη σχετίζεται άμεσα με την πόσο γρήγορα και σωστά ανταποκρίνεται το παιχνίδι.

Εάν το αλγόριθμος που δημιουργεί personalized όπλα για τον παίκτη αργήσει να ολοκληρώσει την λειτουργία του, θα φανεί στον παίκτη ότι το παιχνίδι έχει "κολλήσει" και δεν ανταποκρίνεται με συνέπεια να πάρει μια αρνητική εμπειρία από το gameplay του. Αντίθετα παιχνίδια που καταφέρνουν να ανταποκρίνονται άμεσα σε κάθε εντολή του παίκτη λαμβάνουν πολύ θετικό feedback τόσο από το κοινό όσο και από κριτικούς του χώρου.

### 1.5.2 Δημιουργικότητα - πρωτοτυπία

Το ιδανικό σύστημα PCG θα δημιουργεί περιεχόμενο αντίστοιχο με το περιεχόμενο που δημιουργεί ένας designer σε θέμα πρωτοτυπίας και δημιουργικότητας. Όπως είδαμε από τα παραδείγματα παραπάνω αυτό δεν ισχύει καθολικά ή στον βαθμό που θέλουμε πάντα. Είναι πολύ δύσκολη η καταγραφή και έκφραση της δημιουργικότητας με όρους που μπορεί να καταλάβει ένας αλγόριθμος. Αποτελεί ακόμα ένα ανοιχτό πρόβλημα στον χώρο της Τεχνητής Νοημοσύνης και επηρεάζει άμεσα τα αποτελέσματα του PCG.

Παρόλαυτα έχουν γίνει πολλές προσπάθειες και βελτιώσεις σε αυτό το χαρακτηριστικό του PCG ιδιαίτερα με την χρήση βαθιών νευρωνικών δικτύων. Επίσης το παραγόμενο περιεχόμενο θέλουμε να δίνει την εντύπωση ότι δεν δημιουργήθηκε από κάποιον αλγόριθμο, αλλά από κάποιον άνθρωπο. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί. Με την αύξηση της χρήσης του PCG στα παιχνίδια, οι

παίκτες "έμαθαν" να ξεχωρίζουν το περιεχόμενο που παράγεται από αλγορίθμους και να προσπαθούν σε πολλές περιπτώσεις να το χρησιμοποιήσουν προς όφελος τους για να "παρακάμψουν" κανόνες του παιχνιδιού.

Για παράδειγμα στο παιχνίδι Mount and Blade II Bannerlord (2020) υπάρχει η πιθανότητα το παιχνίδι να δημιουργήσει μάχες κατά την διάρκεια αποστολών για να τις κάνει πιο δύσκολες και ενδιαφέρον. Οι παίκτες γνωρίζοντας ότι το σύστημα του PCG υπολογίζει την πιθανότητα μάχης εκείνη την στιγμή, μπορούν να φορτώσουν το παιχνίδι σε κάποια προηγούμενη στιγμή και όταν φτάσουν στο σημείο της μάχης, το σύστημα να ξανα υπολογίσει την πιθανότητα, αυτή την φορά βγάζοντας αρνητική πιθανότητα μάχης.

### 1.5.3 Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία του παραγόμενου περιεχομένου συνδέεται άμεσα με μια πολύ απλή ερώτηση: Είναι playable? Μπορεί δηλαδή το περιεχόμενο που παράχθηκε να προστεθεί στο παιχνίδι και να το χρησιμοποιήσει ο παίκτης όπως πρέπει ή δημιουργεί προβλήματα, για παράδειγμα ένα laser gun χωρίς σκανδάλη ή χωρίς την λειτουργικότητα της σκανδάλης είναι άχρηστο. Εκτός από το αν είναι χρήσιμο, το περιεχόμενο θα πρέπει να μην "σπάει" το παιχνίδι. Δηλαδή να μην παγιδεύει το παίκτη σε καταστάσεις από τις οποίες δεν μπορεί να συνεχίσει την πρόοδο του ή να του δίνει πλεονεκτήματα που σπάνε τους κανόνες του παιχνιδιού.

Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας του παραγόμενου περιεχομένου υπάρχουν οι Evaluators, οι οποίοι είναι αλγόριθμοι του συστήματος PCG και "αποφασίζουν" εάν το περιεχόμενο που παράχθηκε είναι playable ή όχι. Εάν το αξιολογίσουν ως unplayable, ο PCG αλγόριθμος πρέπει να δημιουργήσει ένα καινούργιο μέχρι να περάσει την αξιολόγηση ακιοπιστίας.

### 1.5.4 Παραμετροποιησιμότητα

Σε όλους τους αλγόριθμους PCG δίνονται κάποιοι παράμετροι ως είσοδος. Από αυτές τις παράμετρους εξαρτώνται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που θα έχει το παραγόμενο αποτέλεσμα. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ σημαντικό για τα συστήματα PCG που χτίζονται ως βοηθητικά συστήματα για τους designers του παιχνιδιού. Επίσης καθορίζουν πόσο ντετερμινιστικό είναι το σύστημα PCG.

Για παράδειγμα το παιχνίδι Oxygen Not Included (2019), ένα παιχνίδι προσομοίωσης και επιβίωσης, δημιουργεί το επίπεδο στο οποίο ο παίκτης θα πρέπει να χτίσει την βάση του, παίρνοντας ως είσοδο ένα hash. Αυτό το hash μπορεί να παραχθεί τυχαία από το παιχνίδι ή να το δώσει ο παίκτης, με αποτέλεσμα παίκτες να μπορούν να βρουν και να ανταλλάξουν hash για επίπεδα που τους φάνηκαν πολύ ευνοικά ή πολύ δύσκολα. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό φάνηκε να βελτιώνει την εμπειρία των παικτών με το παιχνίδι καθώς δημιουργήθηκε ένα community που μοιραζόταν hash από επίπεδα και σύγκριναν τις εμπειρίες και τα score τους.

## 1.6 Procedural Content Generation για 2D επίπεδα

Ένας τομέας με εκτενείς εφαρμογές του PCG είναι τα 2D παιχνίδια και η δημιουργία επιπέδων (levels) ή dungeon για αυτά. Ένα τέτοιο επίπεδο μπορεί να οριστεί ως ένας 2D χώρος, ο οποίος περιέχει δωμάτια ή χώρους, χωρισμένα με διαχωριστικά ή άλλα εμπόδια. Ο παίκτης μπορεί να περιηγηθεί στο επίπεδο με βάση τους κανόνες του κάθε παιχνιδιού, είτε μέσα από πόρτες και ανοίγματα ή ανοίγοντας τρύπες στα διαχωριστικά. Καθώς εξερευνεί μπορεί να συναντήσει αντικείμενα, τέρατα, κρυφά περάσματα κ.ά.

Σε αυτή την εργασία αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι και μοντέλα για την δημιουργία τέτοιων επιπέδων οπότε είναι σημαντικό να αναλυθούν οι διάφοροι περιορισμοί και ιδιαιτερότητες αυτού του τομέα, καθώς και άλλες γνωστές μέθοδοι και τα χαρακτηριστικά τους.

Η μελέτη και επιλογή αυτού του τομέα είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην επιστημονική κοινότητα του PCG καθώς προσφέρει μια ένα χώρο αναζήτησης που μπορεί εύκολα να αναπαρασταθεί και να αποθηκευτεί σε διάφορες μορφές. Επίσης είναι εύκολο το evaluating και το testing τέτοιου περιεχομένου όπως θα

αναλυθεί και παρακάτω.

### 1.6.1 Εισαγωγή

Όπως περιγράφετε και στο Procedural Content Generation in Games, το PCG για την δημιουργία τέτοιων επιπέδων περιέχει την δημιουργία της τοπολογίας, της γεωμετρίας και των αντικειμένων του επιπέδου. Επίσης το παραπάνω βιβλίο αναλύει την διαδικασία του PCG για επίπεδα σε τρία βασικά στοιχεία:

- **Μοντέλο αναπαράστασης** Αποτελεί μια απλοποιημένη και γενική αναπαράσταση ενός επιπέδου.
- **Μέθοδο δημιουργίας του μοντέλου αναπαράστασης** Αποτελεί τον αλγόριθμο που δημιουργεί καινούργια επίπεδα ως το μοντέλο αναπαράστασης που έχει οριστεί για αυτά.
- **Μέθοδο δημιουργίας του επιπέδου από το μοντέλο αναπαράστασης** Αυτή η μέθοδος αναλαμβάνει να δημιουργήσει το επίπεδο στον χώρο του παιχνιδιού με βάση το μοντέλο αναπαράστασης που δημιούργησε η μέθοδος δημιουργίας. Αυτό είναι το αποτέλεσμα που θα δει ο χρήστης.

Θα αναλυθούν μερικές οικογένειες αλγορίθμων PCG για 2D επίπεδα. Αυτές είναι οι πιο γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι για αυτόν τον τομέα του PCG. Με μια σύντομη περιγραφή είναι:

- **Διαχωρισμός χώρου (Space Partitioning)**
- **Με την χρήση πρακτόρων (Agent-based)**
- **Cellular Automata**
- **Με τη χρήση γραμματικών (Generative Grammars)**

### 1.6.2 Space Partitioning

Αυτή η ομάδα αλγορίθμων χρησιμοποιείται και σε άλλες περιοχές του game development όπως τα γραφικά, οπότε οι μεθοδολογίες και οι δομές δεδομένων είναι γνωστά στους σχεδιαστές και προγραμματιστές παιχνιδιών. Όπως περιγράφει

και το όνομα της, εκτελεί έναν διαχωρισμό του χώρου σε υποχώρους. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο PCG για την δημιουργία δωματίων και διαδρόμων μέσα σε ένα συγκεκριμένο χώρο.

Ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται πολύ σε υλοποιήσεις space partitioning (BSP) είναι ο binary space partitioning και παραλλαγές του όπως quadtree space partitioning και octree space partitioning. Θα αναλύσουμε τον βασικό αλγόριθμο του BSP, περιγραφές για τους quadtree και octree μπορούν να βρεθούν εδώ.

- **Binary Space Partitioning (BSP)** Ο αλγόριθμος είναι αναδρομικός και χτίζει το επίπεδο ιεραρχικά χρησιμοποιώντας ως δομή δεδομένων ένα binary tree. Στο root node του tree περιέχεται "ολόκληρο" επίπεδο. Στην πρώτη αναδρομή, το επιλεγμένο node, το root σε αυτή την περίπτωση χωρίζεται σε δύο τμήματα με κάποιον ορισμένο διαχωρισμό, για παράδειγμα κάθετα. Αυτά τα δύο κομμάτια προστίθενται ως child nodes στο root και στη συνέχεια ο αλγόριθμος καλείται για κάθε ένα από τα παιδιά.

Ο αλγόριθμος σταματάει όταν φτάσει σε κάποια ορισμένη τερματική συνθήκη, για παράδειγμα βάθος δέντρου  $n$  ή μόλις τελειώσουν τα nodes που υπάρχουν για να partitioning. Για να προστεθεί τυχαιότητα στον αλγόριθμο, άρα κατα συνέπεια και διαφοροποίηση στα παραγόμενα επίπεδα σε κάθε εκτέλεση, μπορεί να αποδοθεί μια πιθανότητα διαχωρισμού σε κάθε node. Εάν η πιθανότητα είναι κάτω από ένα κατώφλι να μην γίνεται διαχωρισμός αυτού του επιπέδου. Επιπλέον το κατώφλι μπορεί να διαμορφώνετε ανάλογα με το μέγεθος του παραγόμενου επιπέδου ή το βάθος που βρίσκεται αυτή τη στιγμή ο αλγόριθμος.

Η εισαγωγή και δοκιμή τέτοιων παραμέτρων είναι ένα μεγάλο κομμάτι της υλοποίησης, και παίζει καθοριστικό ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα. Επίσης τέτοιου είδους παράμετροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους σχεδιαστές για να παράγουν διάφορων ειδών επίπεδα.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της οικογένειας αλγορίθμων, είναι ότι δημιουργεί επίπεδα με δωμάτια τα οποία δεν υπερκαλύπτουν άλλα δωμάτια. Αυτό συμβαίνει προφανώς επειδή ένα δωμάτιο προέρχεται από τον διαχωρισμό ενός μεγαλύτερου δωματίου σε συγκεκριμένα τμήματα, το κάθε ένα ξεχωριστό από το άλλο.

### 1.6.3 Agent-based

Όπως αναφέρει και το όνομα αυτής της οικογένειας, η δημιουργία του επιπέδου γίνεται μέσω ενός πράκτορα. Οι πράκτορες αντίστοιχα με το space partitioning είναι συχνά χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι και από άλλα κομμάτια του παιχνιδιού, όπως για παράδειγμα για την συμπεριφορά χαρακτήρων που δεν ελέγχει ο παίκτης (NPCs).

Σε αντίθεση με το Space Partitioning, οι Agent-Based προσεγγίσεις δεν βλέπουν ολόκληρο τον χώρο καθώς εκτελούνται, αλλά μόνο ένα συγκεκριμένο πεδίο γύρω από τον πράκτορα ανάλογα με τις δυνατότητες που του έχουμε δώσει. Αυτή η διαφορά, κάνει τα αποτελέσματα του Agent-Based PCG να είναι πιο χαοτικά και τυχαία από τα οργανωμένα επίπεδα που αναλύσαμε πριν.

Για την δημιουργία ενός τέτοιου αλγόριθμου πρέπει να οριστεί μια συμπεριφορά για τον πράκτορα και στη συνέχεια να τον "ελευθερώσουμε" στο επίπεδο που θέλουμε να δημιουργήσει. Ο πράκτορας θα "περιπλανιέται" στον χώρο και με βάση παραμέτρους της συμπεριφορά του θα το αλλάζει με σκοπό να δημιουργήσει έναν χώρο που να είναι αποδεκτός ως επίπεδο στο παιχνίδι μας.

Για παράδειγμα μπορούμε να ορίσουμε ένα State Machine ως την συμπεριφορά του πράκτορα μας το οποίο αποτελείται από τα ακόλουθα States:

- **Περιπλάνηση (Wandering)** Όταν ο πράκτορας βρίσκεται σε αυτό το State, περιπλανιέται στο χώρο σε μια ευθεία. Με μια αυξανόμενη πιθανότητα μετά από κάθε κίνηση σε αυτό το State ο πράκτορας μπορεί να μεταβεί στο State Turn ή στο State Room Placement.
- **Στροφή (Turn)** Μόλις βρεθεί σε αυτό το State, ο πράκτορας επιλέγει μια καινούργια κατεύθυνση και ξεκινάει να κινείται προς αυτήν επιστρέφοντας στο State του Wandering.
- **Τοποθέτηση δωματίου (Room placement)** Σε αυτό το State, ο πράκτορας επιλέγει ένα δωμάτιο τυχαίων διαστάσεων και το τοποθετεί μπροστά του. Στη συνέχεια επιστρέφει στο State Wandering.

Με αυτά τα τρία πολύ απλά States, και τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις μεταβάσεις και το μέγεθος των δωματίων έχουμε ορίσει έναν πράκτορα που μπορεί να δημιουργήσει επίπεδα με τυχαία διασκορπισμένα δωμάτια. Αντίστοιχα με το Space Partitioning, αυτές οι παράμετροι που καθορίζουν τις μεταβάσεις των States μπορούν να χρησιμοποιηθούν από designers για να δημιουργούν επίπεδα με τις παραμέτρους που τους βολεύουν.



Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των Agent-based αλγορίθμων είναι ότι είναι παραλληλοποιήσιμοι. Δηλαδή μπορούμε να αρχικοποιήσουμε ένα επίπεδο με τέσσερις πράκτορες αντί για έναν ώστε να έχουμε πιο γρήγορη δημιουργία και διαφορετικό αποτέλεσμα καθώς η εκτέλεση τεσσάρων πρακτόρων θα δημιουργήσει πολύ διαφορετικό περιεχόμενο απότι ο ένας πράκτορας. Αυτή η προσέγγιση συνοδεύεται από επιπλέον λογική στη συμπεριφορά των πρακτόρων για την συνεργασία ή αποφυγή της επικάλυψης του έργου ενός πράκτορα από έναν άλλον.

#### 1.6.4 Cellular Automata

Τα Cellular Automata (ενικός Cellular Automaton) έχουν χρησιμοποιηθεί πέρα από την επιστήμη της Πληροφορικής, από την Φυσική και την Βιολογία για να προσομειώσουν μοντέλα ανάπτυξης και φυσικά φαινόμενα. Στον τομέα του Procedural Content Level Generation έχουν χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία για την δημιουργία δωματίων με πολύ φυσική σπηλαιώδης διάταξη.

Το περιβάλλον δημιουργίας του επιπέδου αποτελεί ένα  $N \times M$  grid, ένα σύνολο κανόνων μετάβασης και ένα σύνολο καταστάσεων. Αυτά τα τρία στοιχεία είναι αρκετά για να οριστεί μια υλοποίηση με Cellular Automata.

Ο αλγόριθμος των Cellular Automata εκτελείται σε επαναλήψεις, κάνοντας κάθε φορά αλλαγές μέχρι να φτάσει στο τελικό αποτέλεσμα του επιπέδου. Αυτό γίνεται μόλις φτάσει σε κάποια τερματική συνθήκη ή μόλις σταματήσει να καταγράφει αρκετές μεταβολές στις καταστάσεις των cells.

- **Grid** Το  $N \times M$  grid αντιπροσωπεί το επίπεδο που θέλουμε να υλοποιήσουμε όπου το κάθε στοιχείο του ονομάζεται cell. Αρχικά για να μπορέσει να λειτουργήσει ο αλγόριθμος πρέπει τα cells του grid να λάβουν αρχικές τιμές από τις διαθέσιμες καταστάσεις. Αυτό συνήθως γίνεται με τυχαία ανάθεση τιμών η οποία μπορεί να ακολουθεί κάποια κατανομή που θέλουμε να έχουν τα cells στο επίπεδο.
- **Κανόνες μετάβασης (Transition Rules)** Αυτοί οι κανόνες εφαρμόζονται σε κάθε επανάληψη σειριακά σε όλα τα cells του grid. Με βάση αυτούς τους κανόνες, σε συνδυασμό με την "γειτονιά" του cell αποφασίζετε αν θα αλλάξει η κατάσταση του και σε ποιά κατάσταση θα μεταβεί.
- **Σύνολο καταστάσεων (Set of States)** Περιλαμβάνει όλες τις δυνατές καταστάσεις που μπορεί να έχει ένα cell ανά πάσα στιγμή. Μόνο μία κατάσταση μπορεί να ανατεθεί στο cell κάθε φορά.

Πολύ σημαντική παράμετρος για τα αποτελέσματα του αλγορίθμου είναι η "γειτονιά" του cell. Ως γειτονιά ορίζεται το σύνολο των cells που είναι κοντά στο cell που εξετάζουμε και επηρεάζουν την κατάσταση στην οποία θα μεταβεί. Για ένα μονοδιάστατο cell, γειτονιά ορίζετε ως τα cells που βρίσκονται δεξιά και αριστερά του σε Χ απόσταση. Εάν το  $X = 1$  τότε παίρνουμε μόνο τα cells που είναι ακριβώς δίπλα του. Σε δυσδιάστατα cells υπάρχουν δύο γειτονιές ορισγμένες στην βιβλιογραφία.

- **Moore Neighborhood** Η Moore Neighborhood μοιάζει με σταυρό, περιλαμβάνει τα cells που είναι πάνω, κάτω, δεξιά και αριστερά του cell που εξετάζουμε.
- **Von Neumann Neighborhood** Αυτή η γειτονιά περιλαμβάνει όλα τα cells που έχει και η Moore Neighborhood και τα cells που βρίσκονται διαγωνίως του cell που εξετάζουμε.

Και οι δύο γειτονιές, αντίστοιχα με τη μονοδιάστατη γειτονιά μπορούν να εκτείνονται κατά Χ cells μακριά από το cell που εξετάζουμε. Δεν είναι κανόνας αλλά συνηθίζετε στις υλοποιήσεις το Χ να είναι 1.

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι Cellular Automata σε συνδυασμό με το Space Partitioning όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια.

### 1.6.5 Generative Grammars

Οι γραμματικές όπως ορίζονται στον τομέα του Game Development και γενικότερα στην επιστήμη της Πληροφορικής, αποτελούνται από μεταβλητές και κανόνες. Οι μεταβλητές αντιπροσωπεύονται από μικρά λατινικά γράμματα και οι κανόνες από κεφαλαία. Οι κανόνες αποτελούν κανόνες μετατροπής ενός ή περισσότερων κεφαλαίων συμβόλων σε μια ακολουθία από μικρά και κεφαλαία σύμβολα αντίστοιχα.

Για παράδειγμα μπορούμε να ορίσουμε μια γραμματική με μεταβλητές το σύνολο  $a, b$  και κανόνες το σύνολο  $A \rightarrow a, B \rightarrow Ab$ . Συνεπώς αν η αρχική μας κατάσταση είναι η  $AB$  μόλις εφαρμόσουμε τους κανόνες μετατροπής θα έχουμε την κατάσταση  $AB \rightarrow aAb$ . Αντίστοιχα μπορούμε να συνεχίσουμε να εφαρμόζουμε τους κανόνες μέχρι να ικανοποιήσουμε κάποια τερματική συνθήκη ή να έχουμε μετατρέψει όλα τα κεφαλαία σύμβολα σε μικρά.

Αυτού του είδους οι γραμματικές είναι πολύ αποτελεσματικές στην δημιουργία φυτών, όπως δέντρα, θάμνους κ.ά. Συνεπώς η χρήση τους είναι ιδιαίτερα γνωστή στον κόσμο του game development αντίστοιχα με τους προηγούμενους αλγόριθμους.

Γενικά παρατηρούμε ότι πολλοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμογή σε περισσότερους από έναν τομείς.

Για την δημιουργία ενός επιπέδου με την χρήση γραμματικών η διαδικασία είναι λίγο διαφορετική από αυτές που έχουμε δει ως τώρα. Μια ακόμα χρήση των Generative Grammars είναι η δημιουργία αποστολών (Quests). Επειδή υπάρχει μια λογική ακολουθία στην εξέλιξη μιας αποστολής, για παράδειγμα: Νίκησε τον εχθρό στο δωμάτιο 1 -> Πάρε το κλειδί που κουβαλούσε -> Ξεκλείδωσε το δωμάτιο 2

Η χρήση γραμματικών για την δημιουργία γράφων που αντιπροσωπεύουν αποστολές σε ένα παιχνίδι είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται. Κατά συνέπεια, εφόσον έχουμε τον συνδεδεμένο γράφο της αποστολής μπορούμε να υλοποιήσουμε έναν αντίστοιχο γράφο που να αντιπροσωπεύει το επίπεδο που θα εκτελεστεί αυτή η αποστολή. Μπορούμε να βάλουμε επιπλέον δωμάτια και διαδρόμους ώστε να φαίνετε πιο "γεμάτο" το επίπεδο αλλά πρέπει να είμαστε προσεκτικοί και να ακολουθήσουμε ακριβώς την ιεραρχία του γράφου της αποστολής ώστε να μην καταλήξουμε με κάποιο επίπεδο που δεν μπορεί να εκτελεστεί η αποστολή. Ένα τέτοιο παράδειγμα επιπέδου θα ήταν εάν στο παραπάνω σενάριο, το δωμάτιο 1 ήταν μετά το δωμάτιο 2 και δεν υπήρχε τρόπος για τον χρήστη να τον φτάσει παρά μόνο μέσω του δωματίου 2.

Βλέπουμε εδώ μια πιο γενική και αφηρημένη αναπαράσταση ενός επιπέδου, το οποίο έχει διάφορα πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα δίνει μια μεγαλύτερη ελευθερία για τυχαιότητα αλλά επειδή υπάρχει μια συγκεκριμένη ιεραρχία κάποιων δωματίων δεν φαίνετε εντελώς τυχαίο στον παίκτη. Αντίθετα μπορεί να υποθέσει ότι κάποιος άνθρωπος το σχεδίασε ώστε να έχει μια λογική συνοχή.

Επιπλέον επειδή οι αναπαραστάσεις δεν είναι στενά συνδεδεμένες με το παιχνίδι και τη δομή του μπορούν να μεταφερθούν αυτούσιες σε κάποιο άλλο παιχνίδι αντίστοιχου τύπου και να αναπαρασταθούν σε αυτό. Προσφέρει δηλαδή μια πιο γενική και επαναχρησιμοποιούμενη αναπαράσταση από τις προηγούμενες μεθόδους.

