

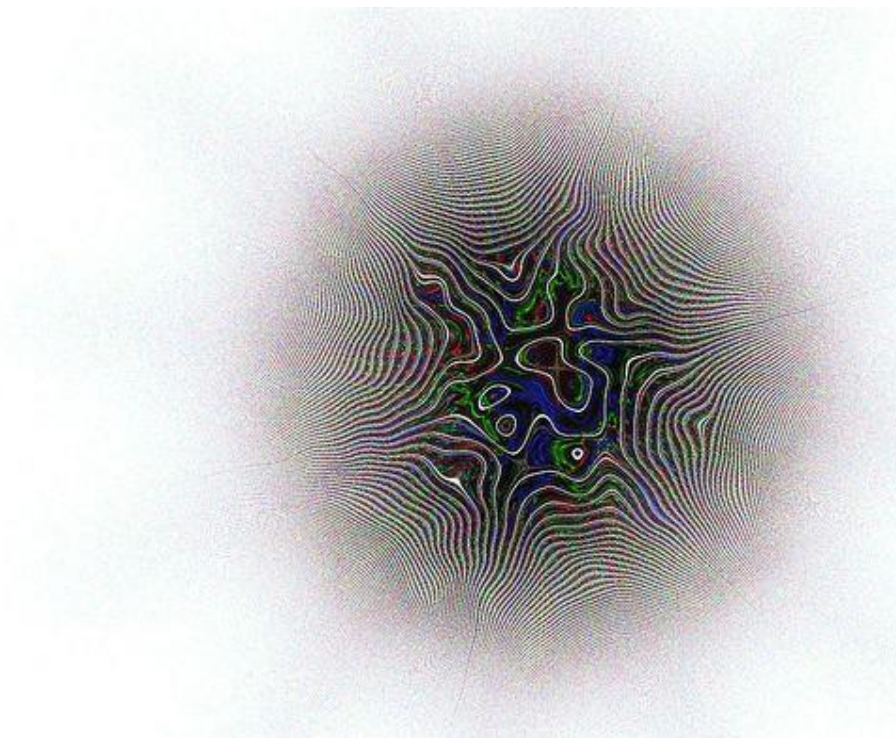


ΜΑΘΗΜΑ

Σύγχρονες Ψηφιακές Τεχνολογίες και Διαδίκτυο

“Διδακτική Παρέμβαση για τη διδασκαλία ενός αντικειμένου από την Επιστήμη των Υπολογιστών, χωρίς χρήση Υπολογιστή”

Μ. Φειδάκης, Χ. Πατρικάκης



Φωτεινάκη Χριστίνα – Μαρία

ΑΜ: 5619

1. Εισαγωγή – Πλαίσιο Εφαρμογής – Στόχος

Γνωστικό αντικείμενο: Αλγοριθμική μουσική σύνθεση και Μαρκοβιανά μοντέλα.

Πλαίσιο εφαρμογής: Η δραστηριότητα απευθύνεται σε μαθητές Λυκείου και ενήλικες.

Διάρκεια Παρέμβασης: Η διάρκεια της παρέμβασης ορίζεται σε μία (διδασκτική) ώρα.

Σκοπός: Σκοπός της παρέμβασης είναι οι συμμετέχοντες να έρθουν σε μια πρώτη επαφή με την αλγοριθμική μουσική σύνθεση. Μέσα από μια σύντομη ιστορική παρουσίαση ορισμένων εφαρμογών πιθανοκρατικών μοντέλων, από τον 18^ο αιώνα μέχρι σήμερα (με έμφαση στην τυχαιότητα) και παίζοντας ένα διαφορετικό “Φιδάκι”, να κατανοήσουν πως λειτουργεί μια Μαρκοβιανή αλυσίδα (Markov chain).

1

2. Ιστορική Αναδρομή – Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Αλγόριθμος είναι ένα σύνολο μαθηματικών οδηγιών που πρέπει να ακολουθηθούν με σταθερή σειρά (ειδικά εάν δοθούν σε έναν υπολογιστή) για τον υπολογισμό μιας απάντησης σε ένα μαθηματικό πρόβλημα. Είναι το σύνολο των κανόνων που πρέπει να τηρηθούν κατά την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος και μέσω μιας συστηματικής διαδικασίας να παραχθεί η απάντηση, σε πεπερασμένο αριθμό βημάτων (Nierhaus, 2009).

Η μουσική σύνθεση, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι διέπεται από μια αλγοριθμική λογική, δεδομένου ότι ο συνθέτης οργανώνει και αναπτύσσει με συγκεκριμένο τρόπο τη δομή του έργου του. Πιο συγκεκριμένα όμως, ως αλγοριθμική σύνθεση εννοούμε την συνειδητή χρήση εξω-μουσικών κανόνων, κυρίως από τον χώρο των μαθηματικών, που δημιουργούν το προκαθορισμένο και οργανωμένο πλαίσιο βάσει του οποίου αναπτύσσεται μια μουσική σύνθεση. Αυτοί οι κανόνες μπορεί να έχουν τη μορφή απλών αριθμητικών πράξεων ή πιο σύνθετων δομών, όπως: στατιστικά μοντέλα, σύνολα, συναρτήσεις, γεωμετρίες κ.λπ. Γενικότερα, οποιαδήποτε διαδικασία αναπαράγει τιμές βάσει συγκεκριμένων κανόνων, μπορεί να αξιοποιηθεί για τον προσδιορισμό των δομικών παραμέτρων μιας μουσικής σύνθεσης (Λώτης, Διαμαντόπουλος, 2015).

Τα συστήματα αυτά, ανάλογα με τη φύση τους, μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τα Αιτιοκρατικά (ντετερμινιστικά) – μοντέλα των οποίων το αποτέλεσμα μπορεί να προκαθοριστεί πλήρως. (διαδικασίες με προκαθορισμένη αιτιοκρατική λογική / κατάλληλα δεδομένα)

και

- Τα Πιθανοκρατικά (στοχαστικά) – μοντέλα των οποίων το αποτέλεσμα είναι μερικώς ή ολικώς μη-προβλέψιμο (διαδικασίες που διέπονται από μικρότερο έως μεγαλύτερο βαθμό απροσδιοριστίας) (Κομηνέας, Χαρμανδάρης, 2016).

Ο Αλεατορισμός στη μουσική, που ετυμολογικά προέρχεται από το λατινικό “alea” που σημαίνει ζάρι, αφορά διαδικασίες πλήρους τυχαιότητας.

Ένα πρώτο παράδειγμα τυχαιότητας στη μουσική σύνθεση αποτέλεσε το παιχνίδι “Μουσικά Ζάρια” (musical dice game) που σχεδίασε το 1757 ο Johann Philipp Kirnberger (“Der allezeit fertige Menuetten und Polonaisencomponist” - “The ever-ready minuet and polonaise composer”), για την τυχαία σύνθεση μινουέτων και πολωνέζ. Ως δεδομένο υπήρχε ένα μουσικό κομμάτι με αριθμημένα μέτρα και ένας πίνακας με επιλογές ορισμένες από τον συνθέτη, οι οποίες οδηγούσαν στο μέτρο που θα ακολουθούσε με τη ρίψη ενός ζαριού. Έτσι ανάλογα με τους προκαθορισμένους συνδυασμούς προέκυπταν x διαφορετικές και ενδιαφέρουσες συνθέσεις. Γύρω στα 20 τέτοια παιχνίδια κυκλοφόρησαν από το 1757 έως το 1812 – όπως το πολύ γνωστό Musikalisches Würfelspiel του Mozart (1793) (Nierhaus, 2009-Loy, 2011).

Το 1840 ο μαθηματικός Charles Babbage στοχεύοντας στη μηχανοποίηση των διαδικασιών υπολογισμού, σχεδίασε τον “αναλυτικό κινητήρα” (analytical engine), τον πρώτο μηχανικό υπολογιστή ο οποίος δεχόταν διάτρητες κάρτες. Η Ada Lovelace (από την οποία πήρε το όνομά της η γλώσσα προγραμματισμού Ada) θεώρησε πως ο “αναλυτικός κινητήρας” εκτός από αριθμούς θα μπορούσε να επεξεργαστεί και τις αρμονικές σχέσεις μιας μουσικής σύνθεσης, ως εκ τούτου να δημιουργήσει περίτεχνη μουσική. (Nierhaus, 2009). Αυτό έγινε δυνατό με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή ILLIAC I το 1957. Οι Lejaren Hiller και Leonard Issacson, προγραμμάτισαν τον ILLIAC I ώστε να δημιουργήσει την πρώτη αλγοριθμική μουσική σύνθεση που ονομάστηκε “Illiac Suite for string quartet” με τη χρήση μουσικών κανόνων και στατιστικών μοντέλων τυχαιότητας όπως οι Μαρκοβιανές αλυσίδες (Markov chains). (Nierhaus, 2009-Loy, 2011).

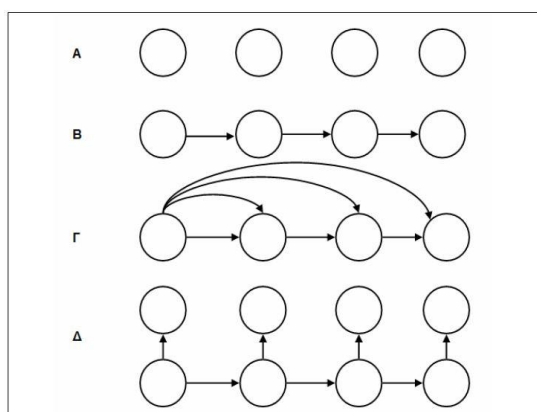
Και ενώ οι Hiller και Issacson χρησιμοποίησαν τον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την εξ'ολοκλήρου σύνθεση μουσικής από αυτόν, ο Iannis Xenakis είχε μια διαφορετική προσέγγιση. Και εκείνος -πρωτοπόρος της στοχαστικής μουσικής, όπως πολλοί συνθέτες μετά το 1950, συμπεριέλαβε στο έργο του στοχαστικά μοντέλα, θεωρούσε όμως πως ο υπολογιστής θα πρέπει να αποτελεί εργαλείο στα χέρια του συνθέτη. Έτσι στο έργο του “Analogique A” (1958) χρησιμοποίησε Μαρκοβιανά μοντέλα για τη δημιουργία του μουσικού υλικού, φτιάχνοντας πίνακες πιθανοτήτων που αφορούσαν την μετάβαση από μια κατάσταση σε μια άλλη για τη σχέση μεταξύ τόνων-δυναμικών. (Nierhaus, 2009)

- Τι είναι όμως αυτές οι αλυσίδες/μοντέλα;

Η Μαρκοβιανή αλυσίδα ή Μαρκοβιανό μοντέλο (Markov Model - MM) ονομάζουμε μια σειρά τυχαίων μεταβλητών, για την οποία η πιθανότητα μετάβασης σε μια νέα κατάσταση εξαρτάται μόνο από τη δεδομένη κατάσταση της σειράς. Στην περίπτωση της μουσικής σύνθεσης χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των συστατικών της π.χ. τέμπο, τονικό εύρος, ρυθμικές αξίες, νότες, βαθμίδες, δυναμικές κ.λπ. (Ramanato, Maulidevi, 2016), με σκοπό να μιμηθούν συγκεκριμένα μουσικά στυλ (τα οποία έχουν ήδη δοθεί στο σύστημα). Ωστόσο επειδή οι μεταβλητές στη μουσική είναι πολλές και λειτουργούν ταυτόχρονα, οι αλγόριθμοι των λογισμικών για δημιουργία μουσικής

χρησιμοποιούν κρυμμένα Μαρκοβιανά μοντέλα (Hidden Markov Models - HMM). Τα HMM αποτελούνται από ένα σύνολο κρυφών καταστάσεων, ένα σύνολο παρατηρούμενων συμβόλων και δυο σύνολα πιθανοτήτων, τις πιθανότητες μετάβασης και τις πιθανότητες εκπομπής ή εμφάνισης συμβόλων. Η σημαντική διαφορά μεταξύ του HMM από το απλό MM είναι το ότι δεν υπάρχει μια προς μια αντιστοίχιση ανάμεσα στα σύμβολα και στις καταστάσεις του μοντέλου. Δηλαδή βλέποντας ένα σύμβολο, δεν μπορούμε να πούμε από ποια κατάσταση έχει διέλθει το μοντέλο για να δώσει το αποτέλεσμα αυτό (Μπάγκος, 2015).

Γραφική αναπαράσταση των πιθανοθεωρητικών μοντέλων.



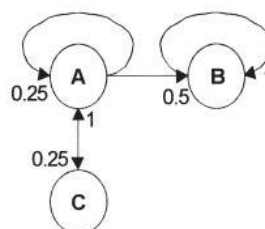
- A. Βασικό μοντέλο της ανεξαρτησίας.
- B. Μαρκοβιανό μοντέλο 1ης τάξης¹.
- Γ. Μαρκοβιανό μοντέλο 3ης τάξης².
- Δ. Κρυμμένο Μαρκοβιανό μοντέλο

Στα μοντέλα Α-Γ, οι καταστάσεις αντιστοιχούν σε παρατηρήσιμα σύμβολα. Στο Δ οι καταστάσεις (στην κάτω γραμμή) ακολουθούν μια Μαρκοβιανή αλυσίδα 1ης τάξης, κάθε κατάσταση της οποίας «παράγει» με διαφορετική πιθανότητα τα παρατηρήσιμα σύμβολα. (Μπάγκος, 2015)

Μια Μαρκοβιανή αλυσίδα χαρακτηρίζεται από τον πίνακα των “πιθανοτήτων μετάβασης”, ο οποίος πιο απλά λέγεται πίνακας μεταβάσεων (transition matrix).

Παράδειγμα 1ης τάξης πίνακα μετάβασης και γράφημα:

| | | | |
|---|------|-----|------|
| | A | B | C |
| A | 0.25 | 0.5 | 0.25 |
| B | 0 | 1 | 0 |
| C | 1 | 0 | 0 |



(Εικ. McAlpine et al, 1999)

Στην περίπτωση της δημιουργίας μουσικής αυτοί οι πίνακες μετάβασης μπορεί να λάβουν υπόψη τους και τις προηγούμενες καταστάσεις ώστε να ομαδοποιούνται μεταξύ τους οι νότες. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούν ολόκληρα μοτίβα (σε μεγαλύτερες τάξεις Μαρκοβιανών αλυσίδων) και τελικά έχουν αποτέλεσμα μουσικών φράσεων και όχι τόσο τυχαίων μεταβάσεων από νότα σε νότα (όσο στις 1ης τάξης). Συνήθως όμως μετά από την 4ης τάξης Μαρκοβιανή αλυσίδα επέρχεται η επανάληψη, γι' αυτό χρησιμοποιούνται πιο περίπλοκα σχήματα (Roads, 1996).

| 1st-order matrix | | | | 2nd-order matrix | | | |
|------------------|------|------|-----|------------------|------|------|------|
| Note | A | C# | E♭ | Notes | A | D | G |
| A | 0.1 | 0.6 | 0.3 | AA | 0.18 | 0.6 | 0.22 |
| C# | 0.25 | 0.05 | 0.7 | AD | 0.5 | 0.5 | 0 |
| E♭ | 0.7 | 0.3 | 0 | AG | 0.15 | 0.75 | 0.1 |
| | | | | DD | 0 | 0 | 1 |
| | | | | DA | 0.25 | 0 | 0.75 |
| | | | | DG | 0.9 | 0.1 | 0 |
| | | | | GG | 0.4 | 0.4 | 0.2 |
| | | | | GA | 0.5 | 0.25 | 0.25 |
| | | | | GD | 1 | 0 | 0 |

¹ Μια αλυσίδα Μαρκοβ 1ης τάξης ορίζεται ως μια στοχαστική ανέλιξη διακριτών καταστάσεων σε διακριτό χρόνο.

² Συμπεριλαμβάνει την εξάρτηση των 3 προηγούμενων παρατηρήσεων.

Κι ενώ η προσέγγιση των προηγούμενων δεκαετιών ήθελε συστήματα που βασίζονταν αποκλειστικά σε κανόνες (rule-based) και με τους απαραίτητους αλγόριθμους να παράγεται ένα μουσικό αποτέλεσμα σε δεύτερο χρόνο, μέσω της μηχανικής μάθησης (machine learning) -και πιο συγκεκριμένα με τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks), οι έρευνες έχουν στραφεί στη δημιουργία συστημάτων που έχουν ως σκοπό τη συν-δημιουργία (co-creative AI) σε πραγματικό χρόνο.

Ένα πρώιμο παράδειγμα αποτελεί το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης (AI) με το όνομα “Continuator” που ανέπτυξε ο Francois Racet το 2002. Είναι βασισμένο σε επαυξημένες Μαρκοβιανές αλυσίδες και έτσι μπορεί να “μαθαίνει” από το παίξιμο και το στυλ του μουσικού και διαδραστικά με εκείνον να ανταποκρίνεται (real time), συμβάλλοντας έτσι στο μουσικό αποτέλεσμα (Herremans, Chuan, Chew, 2017).

Πλέον υπάρχουν πολλά projects που ασχολούνται με την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης. Η πρόκληση ωστόσο που αντιμετωπίζουν αφορά τη δημιουργία μακροπρόθεσμων δομών (long term structures) και κυρίως η δημιουργία συγκίνησης (emotion) που μπορεί να προκαλέσει η (αυτοματοποιημένη) μουσική ώστε να μπορεί να χρησιμοποιείται βάσει αφήγησης π.χ. στα παιχνίδια, βίντεο κλπ.

3. Παρέμβαση: Σχεδιασμός

Η παρέμβαση βασίζεται στον συμπεριφορισμό και στην παιγνιώδη μάθηση. Αρχικά παρουσιάζεται η πληροφορία και έπειτα οι μαθητές καλούνται να παίξουν ώστε να κατανοήσουν τις έννοιες που έμαθαν³. Ακολουθεί συζήτηση.

Βήμα 1: (17') Παρουσίαση της πληροφορίας και επεξηγήσεις σχετικά με την Αλγοριθμική Μουσική και τα εργαλεία.

Βήμα 2: (29') Παιχνίδι “Ρυθμικό Φιδάκι”

- Κανόνες και εκτέλεση: παιχνίδι σε ομάδες και παράλληλη καταγραφή της ρυθμικής σύνθεσης που προέκυψε ώστε να γίνει κατανοητή η τυχαιότητα.
- Αποτυπώνεται το αποτέλεσμα με παλαμάκια από την κάθε ομάδα.
- Μελέτη πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης (transition matrix) – παρουσίαση γραφικής αναπαράστασης.
- Συζήτηση
- Αξιολόγηση μέσω της παρατήρησης καθ' όλη τη διάρκεια της εφαρμογής και παράλληλη αξιολόγηση μέσω ερωτήσεων.

4. Αναστοχασμός

Η παρέμβαση μπορεί να γίνει και σε μικρότερες τάξεις σε απλούστερη μορφή στα πλαίσια της μουσικής, εφόσον έχουν διδαχθεί οι μουσικές αξίες και είναι εφικτό να παιχτεί η ρυθμική σύνθεση.

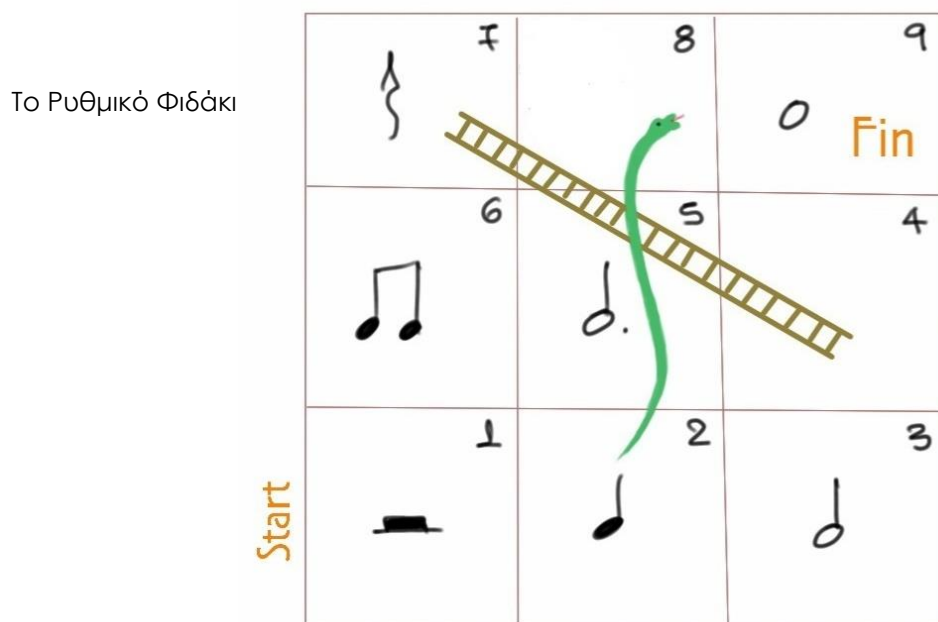
³ Αναλυτικές οδηγίες στο παράρτημα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Cheteyan, L.A., Hengeveld, S., Jones, M. A. (2011) *Chutes and Ladders for the Impatient*. College Mathematics Journal
- Curtis Roads (1996). *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press.
- Herremans D., Chuan C.H., Chew E. (2017) - *A functional taxonomy of Music Generation Systems*, CM Computing Surveys.
- Kenneth McAlpine, Eduardo Miranda, Stuart Hoggart (1999). *Making Music with Algorithms: A Case-Study System*. Computer Music Journal.
- Loy Gareth (2011). *Musimathics: The Mathematical Foundations of Music, Volume 1*, The MIT Press.
- Nierhaus, Gerald (2009). *Algorithmic Composition: Paradigms of Automated Music Generation*. Springer Science & Business Media Verlag.
- Ramanto A., Maulidevi N., (2016) *Markov Chain Based Procedural Music Generator with User Chosen Mood Compatibility*, International Journal of Asia Digital Art & Design.
- Κομηνέας, Σ., Χαρμανδάρης, Ε. (2016). Στοχαστικά Συστήματα – Μέθοδοι Monte Carlo. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. *Μαθηματική Μοντελοποίηση*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 7.
- Λώτης, Θ., Διαμαντόπουλος, Τ. (2015). *Μουσική πληροφορική και μουσική με υπολογιστές - Αλγοριθμική Σύνθεση*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 8.
- Μπάγκος, Π. (2015). *Μαρκοβιανά μοντέλα*. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. *Βιοπληροφορική*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 8.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Η εφαρμογή γίνεται με το γνωστό παιχνίδι “Φιδάκι” το οποίο βασίζεται σε ένα είδος Μαρκοβιανής αλυσίδας που ονομάζεται απορροφητική (absorbing Markov chain) γιατί υπάρχει μια κατάσταση από την οποία δεν μπορούμε να φύγουμε (Cheteyan, Hengeveld, Jones, 2011). Στην περίπτωση μας είναι η θέση 9 (κατάσταση απορρόφησης), όπου και τελειώνει το παιχνίδι. Η θέση 0 θεωρείται θέση εκκίνησης.



I. Το ιδιόρρυθμο αυτό “Ρυθμικό Φιδάκι” 3x3, σε κάθε θέση (τετράγωνο) έχει μια μουσική αξία. Οι παίκτες παίζουν σε ομάδες και με τη ρίψη ενός νομίσματος προχωράνε στην επόμενη κατάσταση, συνεπώς υπάρχουν μόνο δύο πιθανότητες 50% έκαστη για κάθε ρίψη.

Οι ομάδες παίζουν εναλλάξ και καθεμία καταγράφει τη μουσική αξία στην οποία την οδήγησε το αποτέλεσμα της ρίψης (στο τετράγωνο που πήγε). Τα βήματα είναι:

Κορώνα = 1 βήμα
Γράμματα = 2 βήματα

II. Έτσι αφού όλες οι ομάδες τερματίσουν δημιουργούνται τυχαίες ρυθμικές συνθέσεις. Κάθε ομάδα προετοιμάζει τη δικιά της με παλαμάκια και την παρουσιάζει στις υπόλοιπες.

III. Έπειτα παρατηρούμε τον πίνακα των πιθανοτήτων μετάβασης (transition matrix) και τη γραφική απεικόνιση της αλυσίδας, ώστε να γίνει συζήτηση.

IV. Η αξιολόγηση πραγματοποιείται παράλληλα και καθ' όλη τη διάρκεια του παιχνιδιού, με την παρατήρηση των κινήσεων στο φιδάκι και από τις απαντήσεις που θα δοθούν σε ερωτήσεις σχετικά με τον πίνακα πιθανοτήτων.

Πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης για κάθε θέση.

| | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 9 |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0.5 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0.5 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0.5 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0.5 | 0 |
| 7 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.5 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Γραφική αναπαράσταση της αλυσίδας.

- Σχόλια -

Οι καταστάσεις 0,4,8,9 έχουν τις εξής ιδιαιτερότητες:

- 0:** Μόνο φεύγουν βέλη
γι' αυτό έχει πιθανότητα 0.
- 4 και 8:** δεν αποτελούν κατά-
στάσεις γι' αυτό δεν έχουν
κανένα βέλος από ή προς.
- 9:** Κατάσταση απορρόφησης.
Τα βέλη μόνο πηγαίνουν και
είναι το σημείο τερματισμού.

