ΑΓΓΕΛΟΣ ΚΟΝΤΑΛΗΣ

AM : up1095483

ΕΤΟΣ ΦΟΙΤΗΣΗΣ: 1^Ο

Τίτλος Ατομικής Εργασίας : Langton's Ant: Υλοποίηση και πειραματισμοί

Το παρακάτω φύλλο εργασίας αναφέρεται στην υλοποίηση και στους πειραματισμούς σχετικά με το Langton's Ant. Αρχικά, προσδιορίζεται το νόημα, η σημασία και η χρήση του Langton's Ant συνοπτικά. Έπειτα, γίνεται ανάλυση της μηχανής Turing για την ορθή κατανόηση του Langton's Ant. Στην συνέχεια, προσδιορίζονται οι κανόνες που ακολουθεί το μυρμήγκι στο υλοποιημένο πρόγραμμα. Επιπλέον, δίνεται έμφαση στην αξιοσημείωτη συμπεριφορά του μυρμηγκιού αλλά και στην προσοχή που έχει αποσπάσει σε πολλαπλούς κλάδους επιστημόνων. Ακόμη, παρουσιάζεται η πρακτική χρήση του Langton's Ant στην κρυπτογράφηση και στον τρόπο που αυτή πραγματοποιείτε. Επίσης, υπογραμμίζεται η ατομική πρωτοβουλία για την διαφοροποίηση του προγράμματος από την συνηθισμένη υλοποίηση. Τέλος, συνοψίζονται τα αποτελέσματα του προγράμματος ενώ παρουσιάζεται και η βιβλιογραφία που χρειάστηκε για την ολοκλήρωση της εργασίας.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Langton's Ant είναι εάν δισδιάστατο universal Turing machine που χρησιμοποιεί μια σειρά από απλούς κανόνες αλλά καταλήγει να ακολουθεί ένα προβλέψιμο επαναλαμβανόμενο μοτίβο. Εφευρέτης του συγκεκριμένου Turing machine ήταν ο Chris Langton το 1986. Αναλυτικότερα, το Langton's Ant εκτός από την σύνθεση μοτίβων που φαίνονται εντυπωσιακά για τον άνθρωπο που τα παρακολουθεί, έχει και πρακτικές εφαρμογές σε σύνθετα θέματα. Ενδεικτικά μερικά από αυτά είναι τα εξής :

- Μοντελοποίηση της δύναμης Lorentz.
- Μοντελοποίηση του photon event μέσω της εναλλαγής χρώματος των tiles.
- Κρυπτογράφηση-αποκρυπτογράφηση φωτογραφιών και μηνυμάτων.

Επίσης μέσω του Langton's Ant (και μερικών ακόμα Turing machines) αποδείχθηκε ψευδής η πεποίθηση πως μέσω περίπλοκων κανόνων καταλήγουμε στο χάος ενώ μέσω απλών κανόνων καταλήγουμε στην τάξη. Ειδικότερα, αποκαλύπτει την αδυναμία του αναγωγισμού στις επιστήμες εφόσον οι κανόνες που ακολουθεί το «μυρμήγκι» αν και είναι απλοί δεν βοηθούν ιδιαίτερα στην κατανόηση της συμπεριφοράς του. Σαφώς, είναι ξεκάθαρο πως το Langton's Ant ακολουθεί μια χαώδη συμπεριφορά μέχρι να καταλήξει στο προβλεπόμενο μοτίβο.

II. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

A. ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ TURING

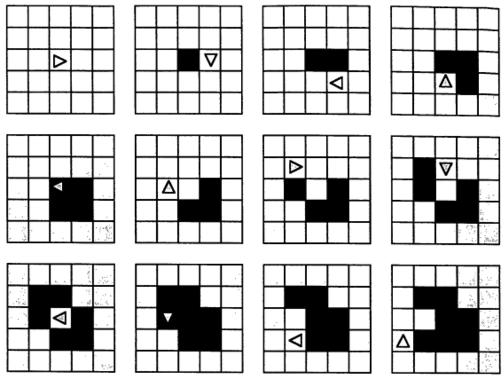
Αρχικά για την σωστή κατανόηση του Langton's Ant είναι ορθό να κατανοήσουμε τι είναι μια μηχανή Turing και το πως αυτή λειτουργεί καθώς το Langton's Ant είναι μια από αυτές. Η μηχανή Turing είναι μια υποθετική συσκευή που επεξεργάζεται σύμβολα σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων. Παρά την απλότητα μιας μηχανής Turing, μπορεί να προσαρμοστεί για να προσομοιώνει τη λογική οποιουδήποτε αλγορίθμου και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην εξήγηση της λειτουργίας της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας μέσα σε έναν υπολογιστή. Η Μηχανή Τούρινγκ εφευρέθηκε από τον Άλαν Τούρινγκ το 1936. Οι μηχανές Turing δεν προορίζονται ως τεχνολογία υπολογιστών, αλλά πρωτίστως ως μια υποθετική δομή που αντιπροσωπεύει μια μηχανή υπολογιστή. Οι μηχανές Turing βοηθούν τους επιστήμονες να κατανοήσουν τους περιορισμούς των μηχανικών υπολογιστών.

Β. ΚΑΝΟΝΕΣ

Οι γενικοί κανόνες του Langton’s Ant είναι απλοί. Αρχικά υπάρχει ένα παράθυρο που περιέχει τετράγωνά τα οποία είναι όλα χρωματισμένα λευκά. Έπειτα, ορίζουμε ένα τετράγωνο στο οποίο εμφανίζεται το «μυρμήγκι». Στην συνέχεια το «μυρμήγκι» μπορεί να κινηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (δεξιά, αριστερά, πάνω, κάτω) αλλά δεν μπορεί να κινηθεί διαγώνια. Το «μυρμήγκι» κινείται σύμφωνα με τους δυο παρακάτω κανόνες:

- Σε λευκό τετράγωνο στρίψε 90^o σύμφωνα με την φορά του ρολογιού. Άλλαξε χρώμα του τετραγώνου σε μαύρο και προχώρα ένα τετράγωνο μπροστά.
- Σε μαύρο τετράγωνο στρίψε 90^o αντίθετα από την φορά του ρολογιού. Άλλαξε χρώμα του τετραγώνου σε άσπρο και προχώρα ένα τετράγωνο μπροστά.

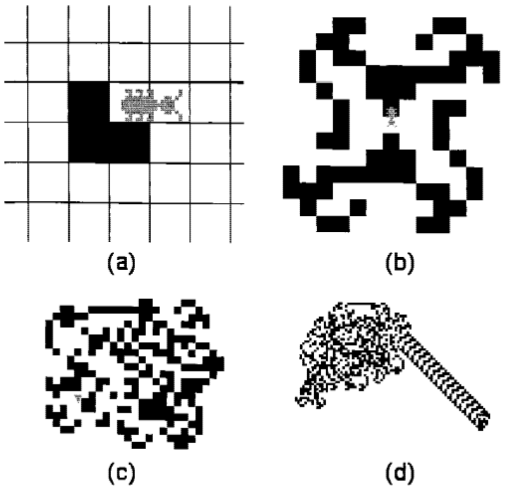
Αυτό είναι το σύνολο των κανόνων που χρειάζεται να ακολουθήσει το «μυρμήγκι» ώστε να λειτουργήσει σωστά το πρόγραμμα.



Στην εικόνα φαίνονται τα δώδεκα πρώτα βήματα του μυρμηγκιού με βάση τους κανόνες ξεκινώντας από άσπρο κελί. (Το βέλος είναι η πορεία του μυρμηγκιού και η κατεύθυνση του)

Γ. ΠΕΡΙΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ LANGTON’S ANT

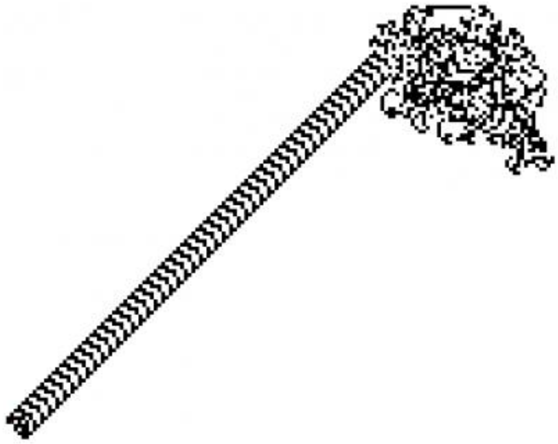
Η ενδιαφέρουσα συμπεριφορά που ακολουθεί το «μυρμήγκι» έχει κάποια κύρια χαρακτηριστικά. Αρχικά, στα πρώτα 96, 184 βήματα παρατηρούμε συμμετρία εκ περιστροφής δυο φορών σε μια περιστροφή. Έπειτα όταν φτάσουμε στο βήμα 368 παρατηρούμε συμμετρία εκ περιστροφής ξανά αλλά τώρα είναι σχεδόν τεσσάρων φορών . Από εκεί και έπειτα αν και θα περιμέναμε να επαναληφθεί κάποια συμμετρία, παρατηρούμε ότι για τα επόμενα περίπου δέκα χιλιάδες βήματα περιφέρεται στα κελιά του παραθύρου σχηματίζοντας χαώδη μοτίβα με άσπρα και μαύρα κελιά. Τελικά, αν και κάποιος θα περίμενε το συγκεκριμένο χάος να συνεχιστεί επ’ άπειρο ξαφνικά ξεκινάει να δημιουργεί έναν «αυτοκινητόδρομο». Ειδικότερα το συγκεκριμένο επαναλαμβανόμενο περιοδικό μοτίβο αποτελείτε από 104 βήματα που θα συνεχίζονταν επ’ αόριστόν εάν δεν συναντούσε κάποιο εμπόδιο. Συνεπώς ένα φαινόμενο που αποτελείται από αρχική συμμετρία, χάος και ξαφνική τάξη με επαναλαμβανόμενο μοτίβο ενώ παράλληλα οι κανόνες που ακολουθεί είναι ότι πιο απλό μπορεί να σκεφτεί κάνεις, προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον ειδικά για την επιστημονική κοινότητα.



Στην εικόνα φαίνεται η πορεία του Langton's Ant. Πιο συγκεκριμένα: (a) Αρχική πορεία του μυρμηγκιού ξεκινώντας από μαύρο κελί στο πέμπτο βήμα, (b) συμμετρία εκ περιστροφής σχεδόν τεσσάρων φορών στο βήμα 368, (c) το χάος στο βήμα 2000, (d) το επαναλαμβανόμενο περιοδικό φαινόμενο («αυτοκινητόδρομος») στο βήμα 10800.

Στην πραγματικότητα, αν και θεωρείται αναπόφευκτος ο σχηματισμός «αυτοκινητόδρομου», επιβεβαιώνεται μόνο πειραματικά. Το μοναδικό αυστηρό αποτέλεσμα μέχρι τώρα βασίζεται στην έρευνα των X.P.Kong και E.G.D.Cohen η οποία αναφέρει πως η πορεία του μυρμηγκιού είναι υποχρεωτικά απεριόριστη και δεν εντάσσεται σε οποιοδήποτε πεπερασμένη περιοχή. Δηλαδή, δεν έχει επιβεβαιωθεί θεωρητικά ότι είναι αναπόφευκτός αυτός ο σχηματισμός. Ακόμη πιο ενδιαφέρον είναι το γεγονός πως έχουν δοκιμαστεί πολλαπλές διαφοροποιήσεις στον κώδικα αλλά το μυρμήγκι καταλήγει ξανά να ακολουθεί την ίδια πορεία και να σχηματίζει το μοτίβο που προαναφέρθηκε, μερικά από αυτά είναι τα εξής:

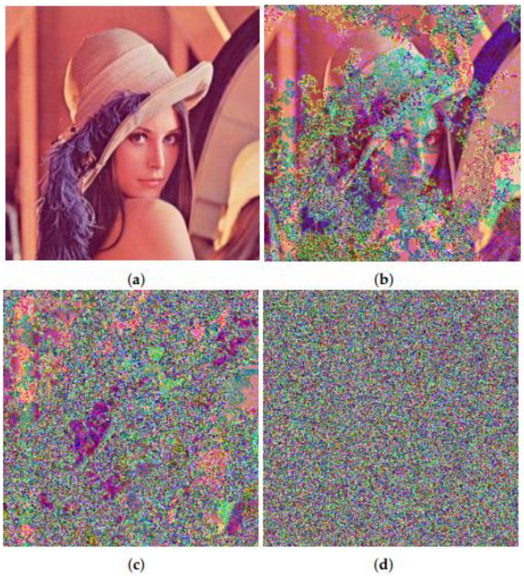
1. Το μυρμήγκι να πηγαίνει ευθεία αντί για δεξιά. Τότε σχηματίζεται ένας κατακόρυφος ή ένας οριζόντιος «αυτοκινητόδρομος» ο οποίος έχει φάρδος 2 κελιών.
2. Στο πρόγραμμα προστίθεται επιπλέον κανόνας. Πλέον ένα τρίτος τύπος κελιού ένα γκρι κελί που δεν αλλάζει χρώμα, στο οποίο όταν βρεθεί το μυρμήγκι συνεχίζει την πορεία του. Σε αυτή την περίπτωση πάλι εμφανίζεται αυτοκινητόδρομος.



Στην εικόνα φαίνεται το επαναλαμβανόμενο μοτίβο του αυτοκινητόδρομου.

Δ. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Όπως προαναφέρθηκε το Langton's Ant έχει διάφορες πρακτικές εφαρμογές. Είναι ενδιαφέρον να αναλυθεί μία από αυτές για να κατανοηθεί σε βάθος η χρησιμότητα του. Ειδικότερα θα μελετηθεί η δυνατότητα αξιοποίησης του στην κρυπτογράφηση-αποκρυπτογράφηση. Σύμφωνα με την αναφορά [1] για κρυπτογράφηση φωτογραφιών χρησιμοποιούνται οι απλοί κανόνες που ακολουθεί το «μυρμήγκι» με μία διαφορά, επειδή οι εικόνες είναι περιορισμένων διαστάσεων (σε αντίθεση με τον κώδικα) όταν το «μυρμήγκι» συναντά την άκρη εμφανίζεται από την απέναντι μεριά του grid. Πιο συγκεκριμένα τα βήματα του μυρμηγκιού είναι αντιστρέψιμα, εάν βρεθεί το σημείο που καταλήγει το περιστρέψουμε εκατό ογδόντα μοίρες και το αφήσουμε να κάνει ακριβώς τα ίδια βήματα με πριν τότε το «μυρμήγκι» θα καταλήξει εκεί που ξεκίνησε κάνοντας ξανά όλα τα κελιά άσπρα. Μετά, ορίζεται μια μέθοδος κρυπτογράφησης στην οποία το μυρμήγκι εάν βρεθεί σε ζυγό pixel τότε λειτουργεί σαν να βρίσκεται σε μαύρο κελί ενώ αντίθετα εάν βρεθεί σε μόνο pixel λειτουργεί σαν να βρίσκεται σε λευκό. Η συγκεκριμένη μέθοδος επαναλαμβάνεται κάθε φορά για κάθε κανάλι χρώματος της εικόνας (τρεις φορές στο rgb) και στο τέλος ενώνονται τα κανάλια για τον σχηματισμό της κρυπτογραφημένης εικόνας. Αντίθετα για την αποκρυπτογράφηση ακολουθείται η διαδικασία που προαναφέρθηκε (180 μοίρες περιστροφή της τελικής θέσης και ίσα βήματα) για το κάθε κανάλι ξεχωριστά και ξανά γίνεται ένωση για να έρθει το κατάλληλο αποτέλεσμα.



Στην εικόνα φαίνεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας κρυπτογράφησης.

Ε. ΠΡΟΣΩΠΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Δημιούργησα μια έκδοση του Langton's Ant στην οποία προσπάθησα να διαφοροποιηθώ από τα συνηθισμένα μοντέλα. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου χρησιμοποίησα μια επιπλέον βιβλιοθήκη από αυτές που συνήθως απαιτούνται για την δημιουργία του Langton's Ant στην γλώσσα της python. Η βιβλιοθήκη αυτή είναι η random που αποτελεί βασική βιβλιοθήκη της γλώσσας. Ειδικότερα η παραπάνω βιβλιοθήκη επιτρέπει την τυχαιοποίηση ορισμένων δεδομένων τα οποία μπορούν να καταστήσουν το κώδικα αρκετά πιο ενδιαφέρον. Αρχικά, κρίνω ορθό να αναφέρω την κλασσική λειτουργία του κώδικα. Ο κώδικας βασίζεται σε μια κλάση που ονομάζεται Ant και μέσα στην κλάση βρίσκονται τα ορίσματα για το πως θα κινηθεί ανάλογα με το τι θα συναντήσει.

```python
class Ant:
    ANT_UP = 0
    ANT_RIGHT = 1
    ANT_DOWN = 2
    ANT_LEFT = 3

    def __init__(self, position, direction: int, ):
        self.position: list[int] = [int(position[0]), int(position[1])]
        self.direction = direction


    def turn_right(self):
        self.direction += 1
        self.direction %= 4

    def turn_left(self):
        self.direction -= 1
        self.direction %= 4

    def on_zero(self):
        # print("Checking square color")
        # print(not grid[self.position[1]][self.position[0]])
        return not grid[self.position[1], self.position[0]]

    def switch_color(self):
        # print("Switching color")
        grid[self.position[1], self.position[0]] = not grid[self.position[1], self.position[0]]


    def move(self):
        if self.direction == self.ANT_UP:
            self.position[1] -= 1
        elif self.direction == self.ANT_RIGHT:
            self.position[0] += 1
        elif self.direction == self.ANT_DOWN:
            self.position[1] += 1
        elif self.direction == self.ANT_LEFT:
            self.position[0] -= 1

        if self.position[0] > cols - 1:
            self.position[0] = 0
        elif self.position[0] < 0:
            self.position[0] = cols - 1

        if self.position[1] > rows - 1:
            self.position[1] = 0
        elif self.position[1] < 0:
            self.position[1] = rows - 1

    def step(self):
        if self.on_zero():
            # print("Left")
            self.turn_right()
            self.switch_color()
            self.move()
        else:
            # print("Right")
            self.turn_left()
            self.switch_color()
            self.move()
```

Έπειτα μέσω δυο συναρτήσεων δίνονται πληροφορίες για το που θα εμφανιστεί το μυρμήγκι και αρχικοποιείται το παράθυρο της εφαρμογής.

```python
def display(surface):


    x, y = 0, 0
    for row in grid:
        for col in row:
            if col:
                pygame.draw.rect(surface, color_m, (x, y, square_size, square_size))
            x += square_size
        y += square_size
        x = 0


def draw_grid():
    for x in range(0, screen_size[0], square_size):
        pygame.gfxdraw.vline(screen, x, 0, screen_size[1], (0, 0, 0))
    for y in range(0, screen_size[1], square_size):
        pygame.gfxdraw.hline(screen, 0, screen_size[0], y, (0, 0, 0))
```

Στην συνέχεια στην main μέσω ενός While True loop το μυρμήγκι κάνει ένα-ένα τα βήματα του πάνω στα κελιά. Όσο αναφορά την πρωτοτυπία μου επάνω στο θέμα, προσπάθησα να δημιουργήσω ενδιαφέροντα μοτίβα. Πιο συγκεκριμένα αρχικά δημιούργησα μια random μεταβλητή χρώματος η οποία κάθε φορά που τρέχει το πρόγραμμα αλλάζει. Δηλαδή, δημιουργείτε τυχαία ένας αριθμός στο δεκαεξάδικό και στην συνέχεια μετατρέπεται σε δεκαδικό και εισάγεται στην συνάρτηση display. Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται το χρώμα του μυρμηγκιού (στην ουσία που αντικαθιστά το μυρμήγκι κάθε φορά).

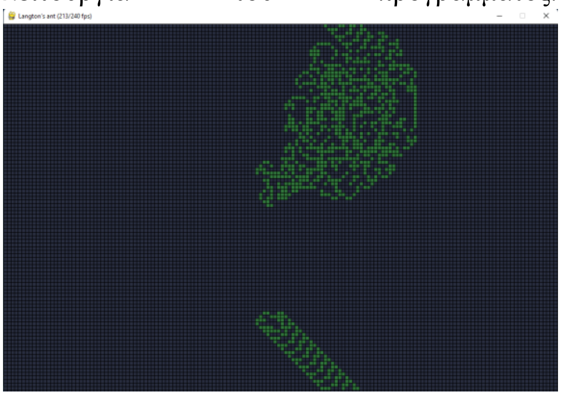
```python
rnd_color = ["0x"+''.join([random.choice('ABCDEF0123456789') for i in range(6)])]
color_m = int(rnd_color[0],16)
```

Στην συνέχεια, έκανα τυχαίο το πόσα μυρμήγκια θα εμφανιστούν την κάθε φορά που τρέχει το πρόγραμμα. Ειδικότερα, χρησιμοποίησα την random για να μου δίνει ένα τυχαίο ακέραιο αριθμό από το μηδέν έως το τρία και στην συνέχεια μέσω ενός if loop στην main όρισα το πόσα μυρμήγκια θα εμφανίζονται.

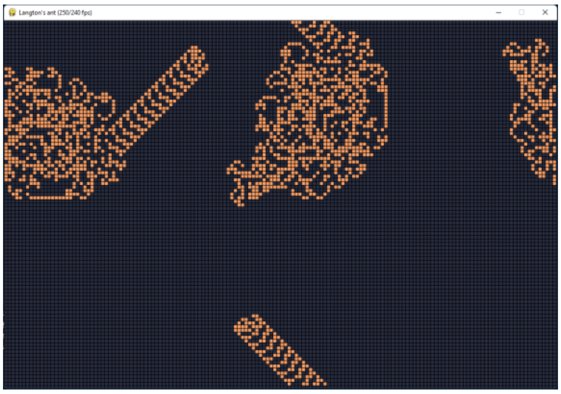
```
while True:
    clock.tick(fps)

    if (popo==0):
        ant.step()
    elif (popo==1):
        ant.step()
        ant1.step()
    elif (popo==2):
        ant.step()
        ant1.step()
        ant2.step()
    elif (popo==3):
        ant.step()
        ant1.step()
        ant2.step()
        ant3.step()
```

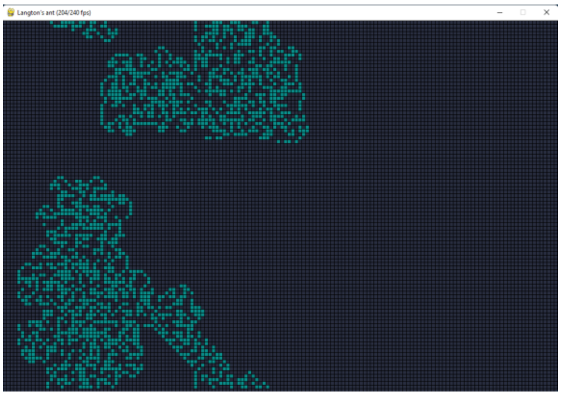
Με αυτόν τον τρόπο κατάφερα κάθε φορά που τρέχει το πρόγραμμα να κάνει τυχαία σχέδια που διαφέρουν από τα προηγούμενα σε χρώμα και αριθμό μυρμηγκιών και έδειξα με παραδείγματα την διαφορετική συμπεριφορά των μυρμηγκιών όταν είναι παραπάνω από ένα λόγω των εμποδίων που συναντούν. Παρακάτω ακολουθούν μερικά παραδείγματα από την λειτουργία του προγράμματος.



Στην φωτογραφία φαίνεται η λειτουργία της εφαρμογής με ένα μυρμήγκι



Στην φωτογραφία φαίνεται η λειτουργία της εφαρμογής με δύο μυρμήγκια



Στην φωτογραφία φαίνεται η λειτουργία της εφαρμογής με τέσσερα μυρμήγκια.

III. ΣΥΝΟΨΗ

Συνοψίζοντας το Langton's Ant εντάσσεται στην κατηγορία των δισδιάστατων Turing Machine και έχει μια πολύ ενδιαφέρουσα συμπεριφορά. Ενώ οι κανόνες που ακολουθεί είναι πολύ απλοί καταφέρνει να ξεκινήσει αρχικά με συμμετρίες, στην συνέχεια με χαώδη βήματα και να καταλήξει σε ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο. Συνεπώς λόγω αυτής της συμπεριφοράς έχει μελετηθεί σε βάθος. Επιπλέον στον προσωπικό μου αυτοσχεδιασμό γίνεται ξεκάθαρη η προσέγγιση του κώδικα για την δημιουργία μοτίβων και την γενικότερη εμφάνιση του. Μερικά από τα συμπεράσματα που έχουν αντληθεί:

- Διαψεύδεται το γεγονός ότι απλοί κανόνες οδηγούν στην τάξη και περίπλοκοι κανόνες στο χάος.
- Το μυρμήγκι βοηθά σε πρακτικές διαδικασίες όπως η κρυπτογράφηση εικόνων, στην θερμοδυναμική κ.α.

- Χαρακτηρίζεται από υπολογιστική καθολικότητα καθώς μπορεί να υπολογίσει κάθε συνάρτηση που υπολογίζεται από την ίδια τάξη με αυτό.
- Τέλος μπορεί να φανεί χρήσιμο για την δημιουργία χαωδών σχημάτων και μοτίβων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] D. Gale, The Mathematical Recreations, Scientific American 88-91, July 1994.

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Langton%27s_ant

[3] https://mathworld.wolfram.com/LangtonsAnt.html

[4] DIRGOVÁ LUPTÁKOVÁ I. AND J. POSPÍCHAL, How Random Is Spatiotemporal Chaos of Langton's Ant?, 2015.

[5] Professor Ian Stewart MA, Travels with my Ant, 29 October 1997.

[6] Gajardo, A.; Moreira, A.; Goles, E. , Dynamical behavior and Complexity of Langton's ant, 3 May 2001.

[7] Andrés Romero-Arellano , Ernesto Moya-Albor , Jorge Brieva , Ivan Cruz-Aceves , Juan Gabriel Avina-Cervantes, Martha Alicia Hernandez-Gonzalez and Luis Miguel Lopez-Montero, Image Encryption and Decryption System through a Hybrid Approach Using the Jigsaw Transform and Langton’s Ant Applied to Retinal Fundus Images, 7 September 2021.

[8] Christopher G. Langton and Katsunori Shimohara, Artificial Life V: Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems, MIT Press 1997.

[9] https://en.wikipedia.org/wiki/Turing_completeness