

Διπλωματική Εργασία

Προγραμματισμός Αυτοματοποιημένου Επιλυτή για το παιχνίδι του Ναρκαλιευτή

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΡΑΡΡΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΜΗΝΑΣ ΔΑΣΥΓΕΝΗΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ, ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

<https://arch.ece.uowm.gr/>

Κοζάνη, Ιούλιος 2022

Δομή Παρουσίασης

- ▶ Εισαγωγή
- ▶ Θεωρητικό Υπόβαθρο
- ▶ Ανάλυση και Σχεδίαση εφαρμογής
- ▶ Πειραματική Διαδικασία
- ▶ Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις
- ▶ Σύντομη παρουσίαση της εφαρμογής

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ορισμός του προβλήματος

- ▶ Εργαλεία και λύσεις σε κάθε πτυχή της καθημερινής ζωής μέσω υπολογιστών
- ▶ Ευρύτατη μελέτη για καινοτομία και βελτιστοποίηση μεθόδων
- ▶ Εξέταση των παιχνιδιών ως προγραμματιστική πρόκληση
- ▶ Το παιχνίδι ως ευκολονόητο και παρατηρήσιμο μέσο για την εφαρμογή μεθόδων
- ▶ Επίλυση του Ναρκαλιευτή με σύγχρονα μέσα

Μελέτη του Ναρκαλιευτή

4

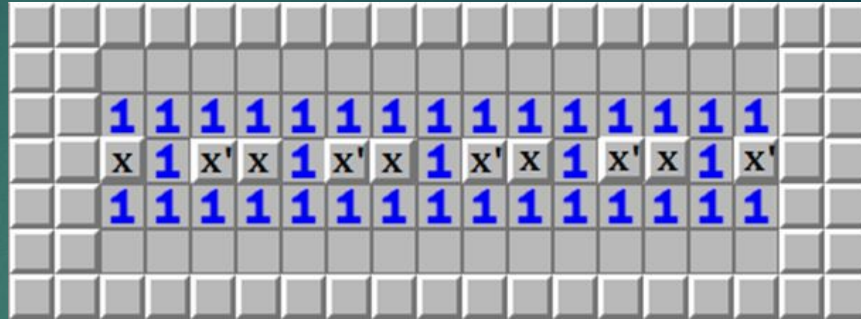
Θεωρητική Μελέτη

- ▶ Πρόβλημα Συνοχής του Ναρκαλιευτή από τον Richard Kaye (2000)
- ▶ Απόδειξη ότι ο Ναρκαλιευτής αποτελεί NP-Complete πρόβλημα
- ▶ Ανάδειξη του προβλήματος $P=NP$;

Αλγοριθμικές προσεγγίσεις

- ▶ Προγραμματισμός περιορισμών
- ▶ Ντετερμινιστικές ευριστικές μέθοδοι
- ▶ Αλγόριθμοι ενισχυτικής μάθησης

- ▶ Bayesian Δίκτυα
- ▶ Γραφικά Μοντέλα



Αναπαράσταση Καλωδίου
κατά τα πρότυπα του Kaye

Η προσέγγιση της εργασίας

- ▶ Εύρεση και αναγνώρισης του ταμπλό με μεθόδους μηχανικής όρασης
- ▶ Χρήση ντετερμινιστικών ευριστικών μεθόδων για απλές καταστάσεις
- ▶ Μοντελοποίηση των πιο απαιτητικών ως Πρόβλημα Ικανοποίησης Περιορισμών (CSP)
- ▶ Κωδικοποίηση και επίλυση ως Πρόβλημα Ικανοποίησης Boolean (SAT) από υβριδικό επιλυτή CP-SAT
- ▶ Επιλογή κινήσεων με πιθανοτική ανάλυση του ταμπλό

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

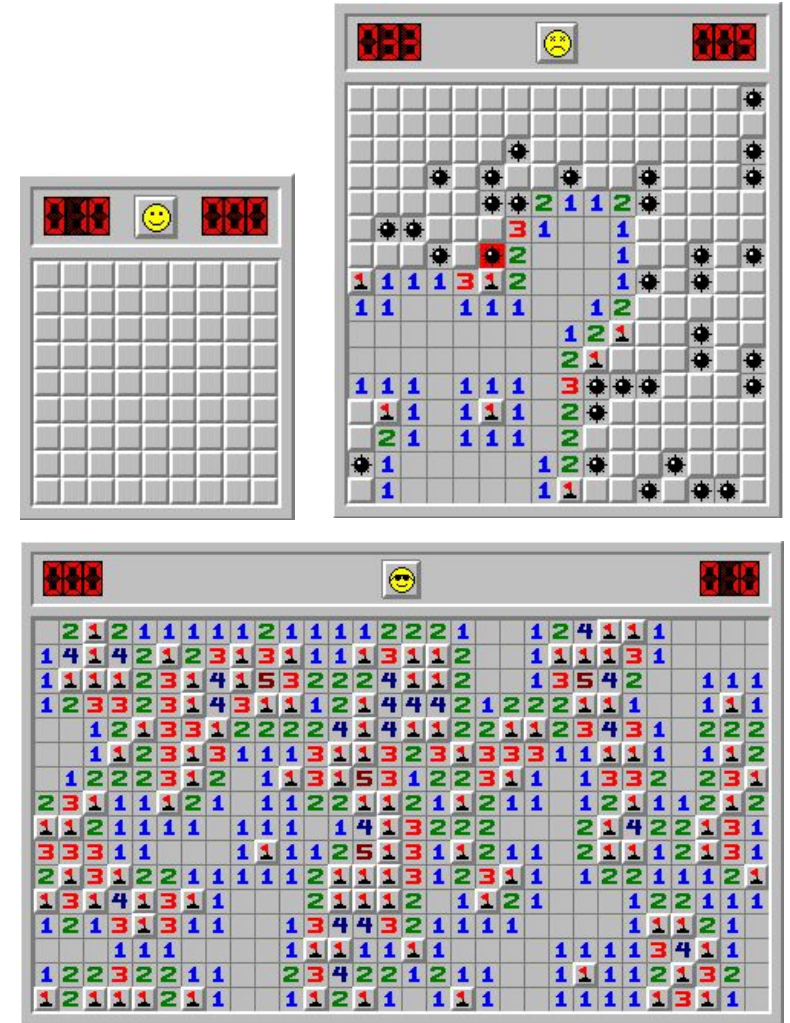
Η επίλυση του Ναρκαλιευτή

- ▶ Αποκάλυψη μπλοκ = πληροφορίες
- ▶ Αποτύπωση γειτονικών ναρκών από αριθμούς
- ▶ Σήμανση πιθανών ναρκών με σημαίες
- ▶ Κλίμακες: Beginner, Intermediate, Expert

Παράγοντας Σύγκρισης

- ▶ **Παίκτες:** Ταχύτητα
- ▶ **Επιλυτές:** Ποσοστό επιτυχίας & καινοτομία

7



Μηχανική Όραση

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

- ▶ -Μετατροπή χρωματικού μοντέλου
- ▶ -Γκαουσιανό Θόλωμα
- ▶ -Κατωφλίωση (Thresholding)
- ▶ -Διαστολή
- ▶ -Ανίχνευση Ακμών Canny



Ανάλυση Εικόνας

- ▶ -Μετασχηματισμός Γραμμών Hough
- ▶ -Εύρεση Περιγραμμάτων
- ▶ -Εξαγωγή Δεδομένων Περιγραμμάτων

Μοντέλα προβλημάτων

- ▶ **Προβλήματα Ικανοποίησης Περιορισμών (CSP):**

 - $X \rightarrow$ Σύνολο Μεταβλητών

 - $D \rightarrow$ Σύνολο Πεδίων Ορισμού

 - $C \rightarrow$ Σύνολο Περιορισμών

- ▶ **Προβλήματα Ικανοποίησης Boolean (SAT):**

 - $X \rightarrow$ Σύνολο Boolean Μεταβλητών

 - $D \rightarrow$ Κυριολεκτικά $\{ \}$ και $\neg \{ \}$ για κάθε X_i

 - $C \rightarrow$ Σύνολο προτάσεων ως διάζευξη (OR) κυριολεκτικών

Μηχανισμοί Διάδοσης Περιορισμών για τήρηση συνέπειας

Εργαλεία

Περιβάλλον Ανάπτυξης

- ▶ Visual Studio 2022

Γλώσσα Προγραμματισμού

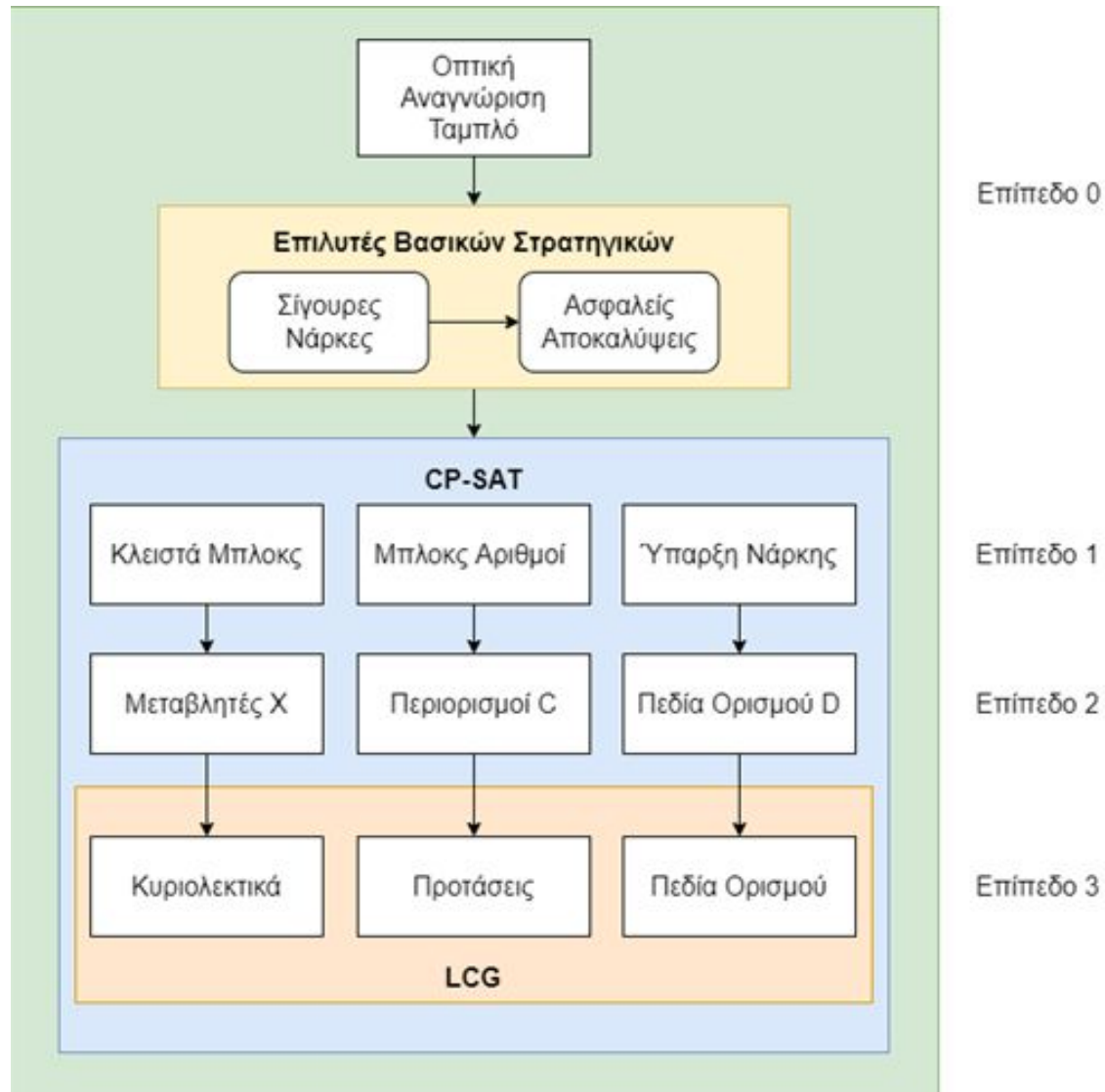
- ▶ C Sharp

Μηχανική Όραση: OpenCV

Επίλυση CSP: Google OR-Tools, CP-SAT

- ▶ Lazy Clause Generation (LCG) + Επιλυτής SAT
- ▶ Variable-State Independent Decaying Sum (VSIDS)
- ▶ No-good learning
- ▶ Προτάσεις Επεξήγησης (πχ. $[x \leq 2] \wedge [x \geq y] \rightarrow [y \leq 2]$)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ



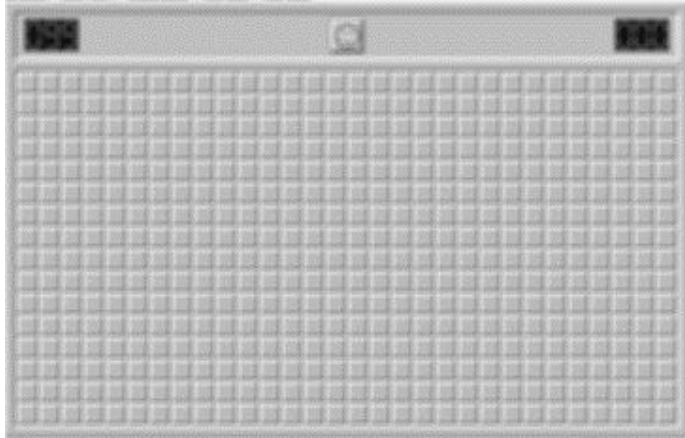
Επισκόπηση Αλγορίθμου

Είσοδος και διεπαφή χρήστη

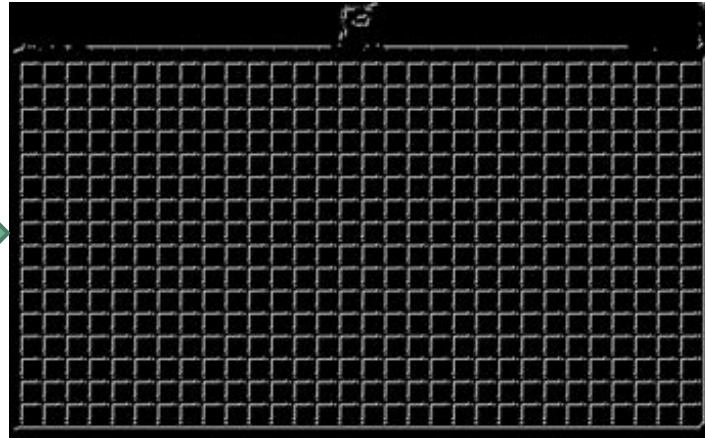
13

- ▶ Απαιτείται πρόσβαση στην έκδοση Windows XP Ναρκαλιευτή
- ▶ Αλληλεπίδραση με το γραφικό περιβάλλον

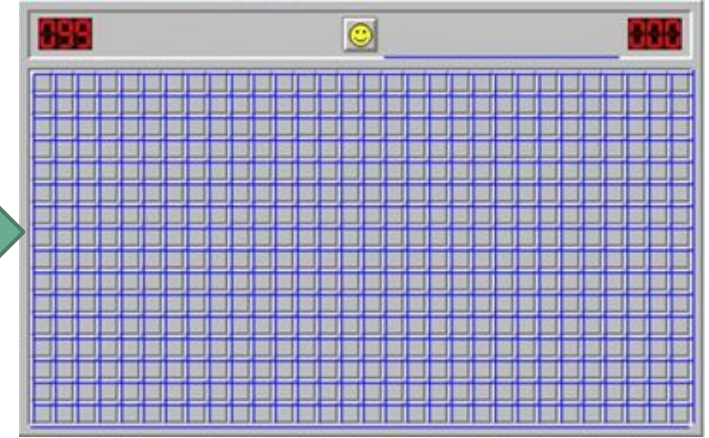




Γκαουσιανό Θόλωμα
Αλλαγή Χρωματικού Μοντέλου



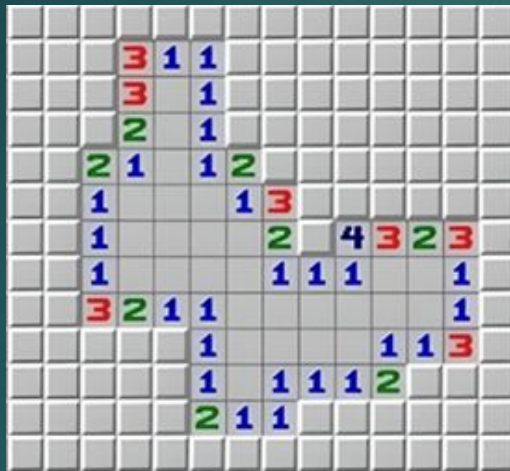
Ανίχνευση Ακμών Canny



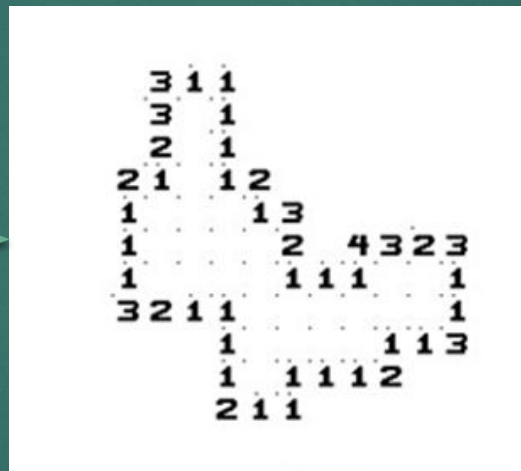
Μετασχηματισμός Γραμμών
Hough

Εύρεση του ταμπλό

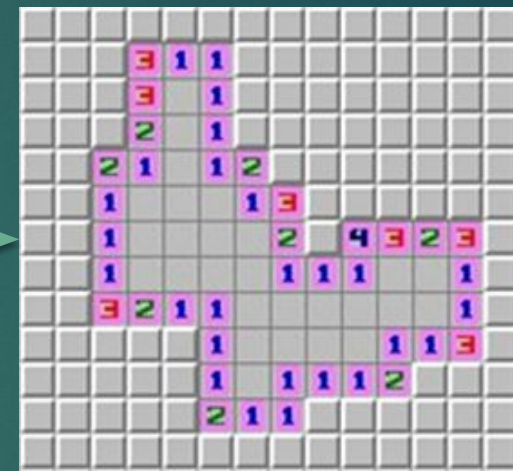
Ανάλυση Κατάστασης: Απομόνωση Αριθμών



Αρχική Κατάσταση



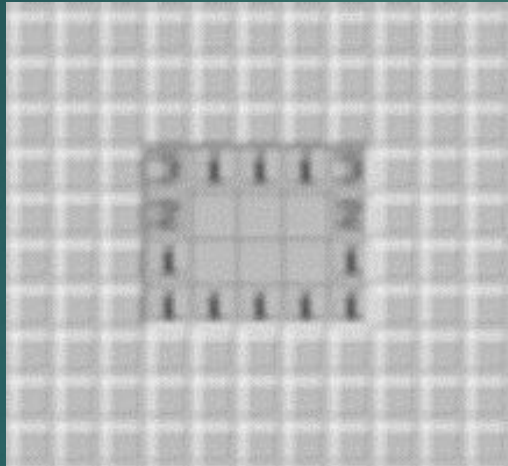
Κατωφλίωση



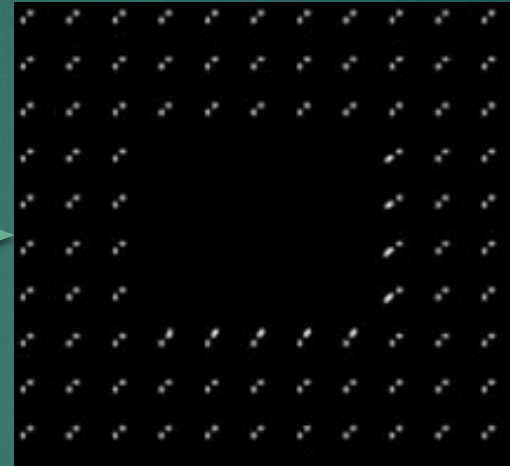
Εύρεση Περιγραμμάτων
Οριοθέτηση από Ορθογώνιο

Ανάλυση Κατάστασης: Εύρεση Κλειστών Μπλοκ

16



Διαστολή
Γκαουσιανό Θόλωμα
Αλλαγή σε κλίμακα του γκρι



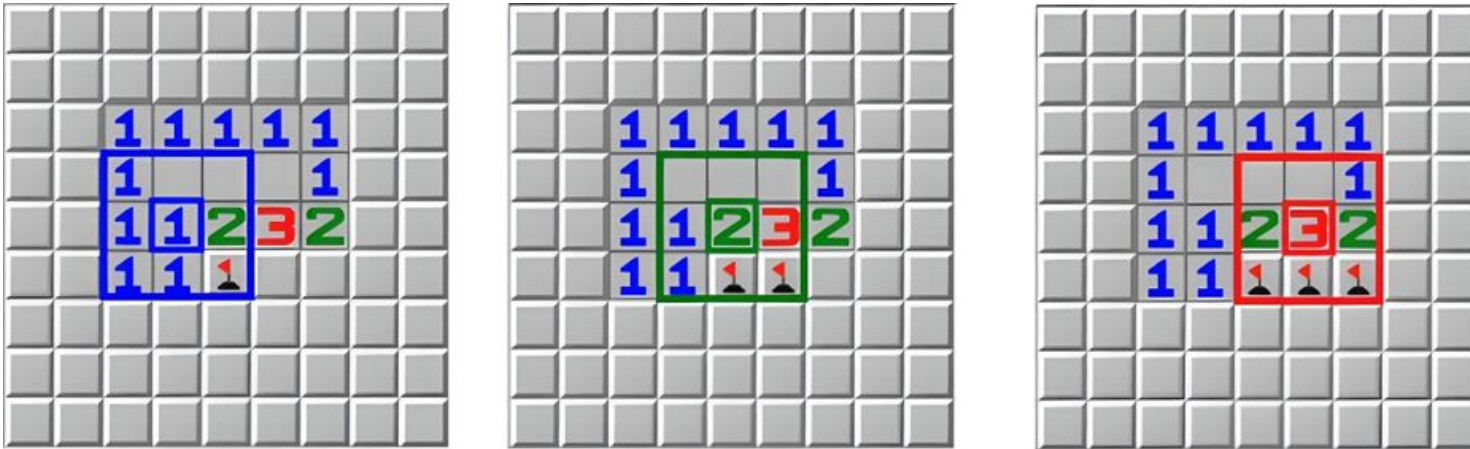
Ανίχνευση Ακμών Canny
Εύρεση Περιγραμμάτων

Βασικές Στρατηγικές

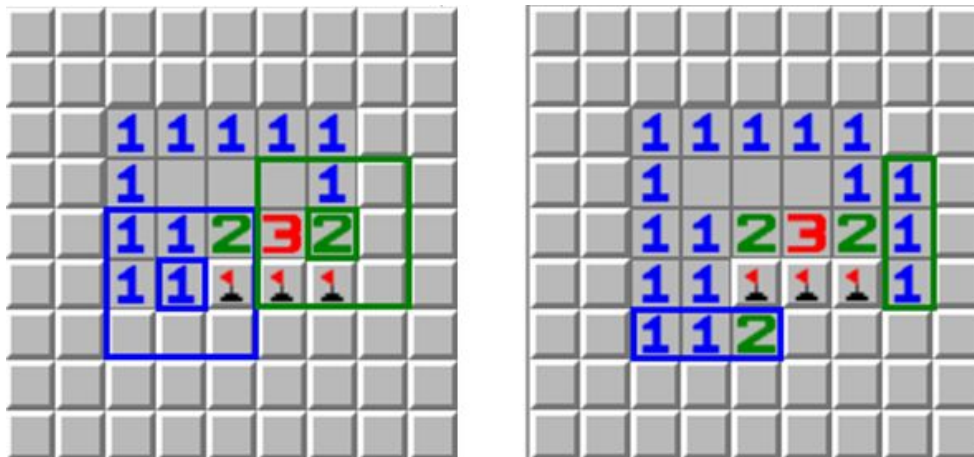
Βάση οι εσωτερικοί μετρητές ναρκών

1^η Στρατηγική: Έλεγχος αν ο αριθμός κλειστών γειτονικών μπλοκ είναι ίσος με τον εσωτερικό μετρητή

2^η Στρατηγική: Αποκάλυψη κλειστών γειτονικών μπλοκ από αριθμούς με μηδενικό μετρητή



Σήμανση Ξεκάθαρων Ναρκών



Αποκάλυψη Απόλυτα Ασφαλών Μπλοκ

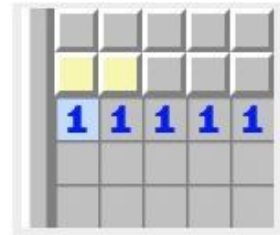
Μπλοκ Άκρης



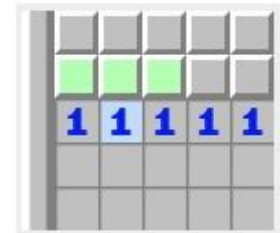
$$X = \{x_0, x_1, x_2, x_3, x_4\}$$

$$D = \{0, 1\}$$

$$C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$$



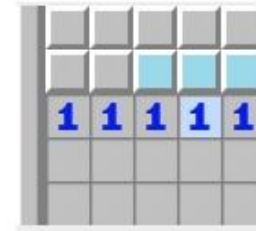
$$C_1: x_0 + x_1 = 1$$



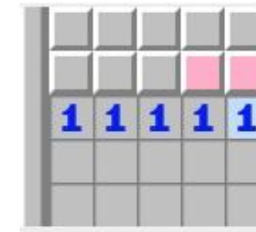
$$C_2: x_0 + x_1 + x_2 = 1$$



$$C_3: x_1 + x_2 + x_3 = 1$$



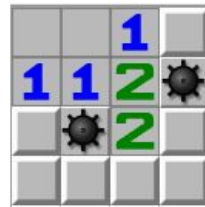
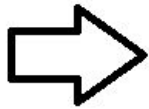
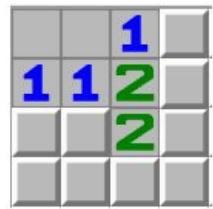
$$C_4: x_2 + x_3 + x_4 = 1$$



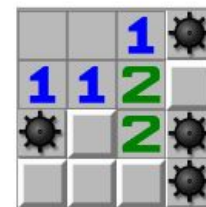
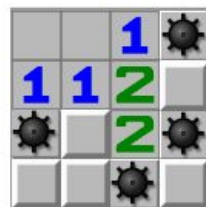
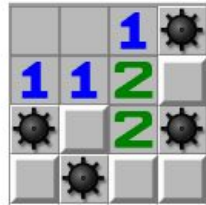
$$C_5: x_3 + x_4 + \dots = 1$$

Πρόβλημα Ικανοποίησης Περιορισμών

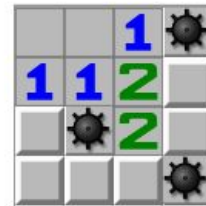
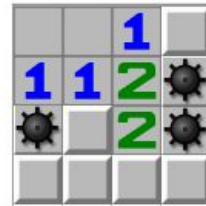
- Μεταβλητές $X \rightarrow$ μπλοκ άκρης
- Πεδία Ορισμού $D \rightarrow$ ύπαρξη (ή μη) νάρκης
- Περιορισμοί $C \rightarrow$ έκφραση κάθε αριθμού



2 Νάρκες



4 Νάρκες



3 Νάρκες

Εύρεση Λύσεων με CP-SAT

- Κωδικοποίηση του CSP ως SAT
- Διακλάδωση αναζήτησης με βάση τις επιλογές του VSIDS
- Εύρεση πλήρων και συνεπών αναθέσεων
- Αποκλειστικά για μπλοκ άκρης

Πιθανοτική Ανάλυση

Υπολογισμός πιθανοτήτων για μπλοκ άκρης

- ▶ Υπολογισμός τοπικών συνδυασμών
- ▶ Προσθήκη στους καθολικούς συνδυασμούς
- ▶ Διάρθρωση τοπικών συνδυασμών προς καθολικούς

Υπολογισμός πιθανοτήτων για εκτός άκρης

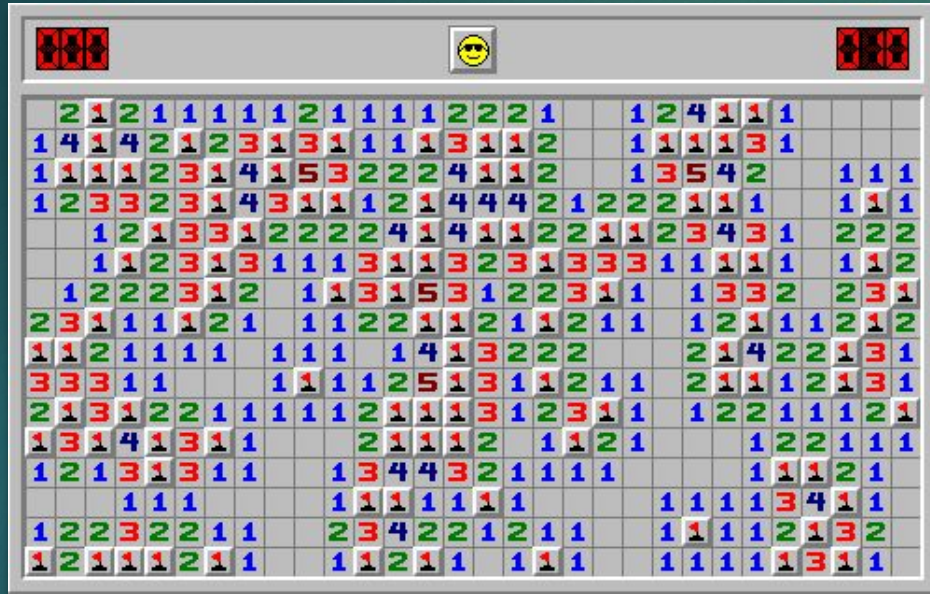
- ▶ Διάρθρωση εναπομενουσών ναρκών προς τα κλειστά μπλοκ
- ▶ Κίνηση με βάση πιθανότητα να υπάρχει νάρκη

0	0	0	0	0	0	0,5	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	-1	-1	0	0	0,5	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,27	0,27	0,27	0,27
0	-1	-1	0,67	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	-1	0,18	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	0	0,18	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
-1	0	-1	0,64	0,36	0,17	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
-1	0	-1	0	0	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
-1	0	0	0	0	0,62	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
-1	0	0	0	0	0,17	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	0	0	0	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
-1	0	-1	0	0	0,62	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	0	0	0	0,17	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	-1	0	-1	0,21	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	0	-1	0	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
0	0	0	-1	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

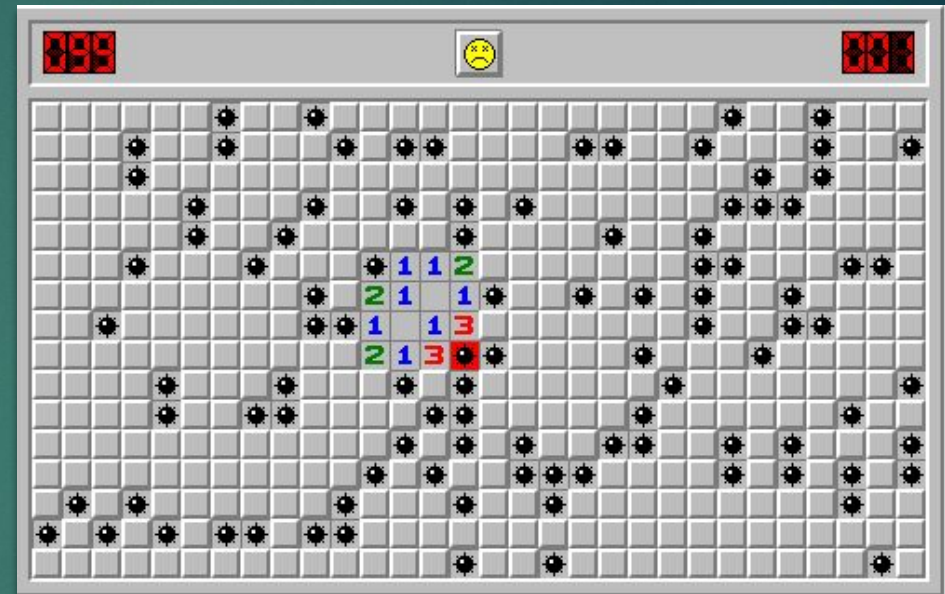
Πιθανοτική Ανάλυση
Τυχαίας Κατάστασης

$$C(n, r) = \binom{n}{r} = \frac{n!}{(r!(n-r)!)}$$

Συνθήκες Τερματισμού



Εύρεση Σημειών για τερματισμό ως Νίκη



Εύρεση κόκκινου πλαισίου
αποκαλυμμένης νάρκης για 'Ηττα

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Πειραματική Διαδικασία

23

1° Στάδιο: Επαλήθευση ορθής λειτουργίας

2° Στάδιο: Συλλογή Στατιστικών

3° Στάδιο: Διαμόρφωση Συμπερασμάτων

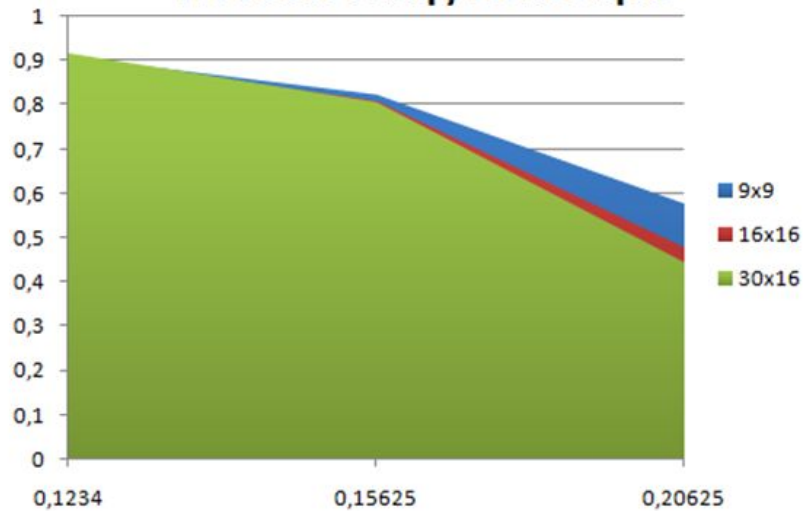
- Μέθοδος που επέκτεινε η εργασία έχει ~130ms ανά αναγνώριση ταμπλό
- Βελτίωση ταχύτητας της τάξης 85% κατά μέσο όρο για όλες τις κλίμακες
- 4.44% μεγαλύτερο ποσοστό επιτυχίας από κάθε υλοποίηση που μελετήθηκε

	Χρόνος/Ταμπλό	Εύρεση Ταμπλό	Ποσοστό Επιτυχίας	Χρόνος Επίλυσης
9x9, 81 μπλοκς	16.01 ms	116.82 ms	90.9%	400 ms
16x16, 256 μπλοκς	17.99 ms	121.41 ms	81.1%	1071 ms
30x16, 480 μπλοκς	24.17 ms	131.56 ms	44.5%	4134 ms

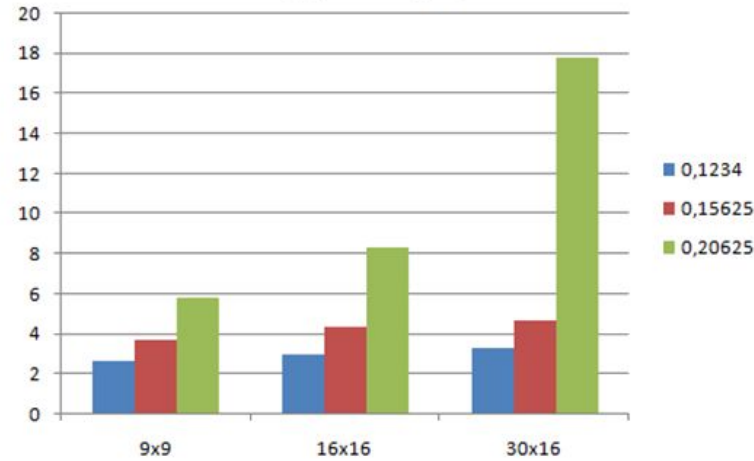
Επιπτώσεις Πυκνότητας

24

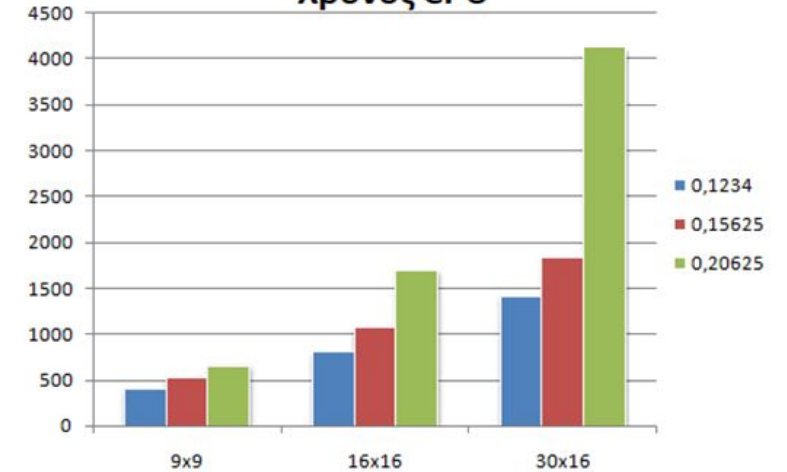
Ποσοστό Νίκης-Πυκνότητα



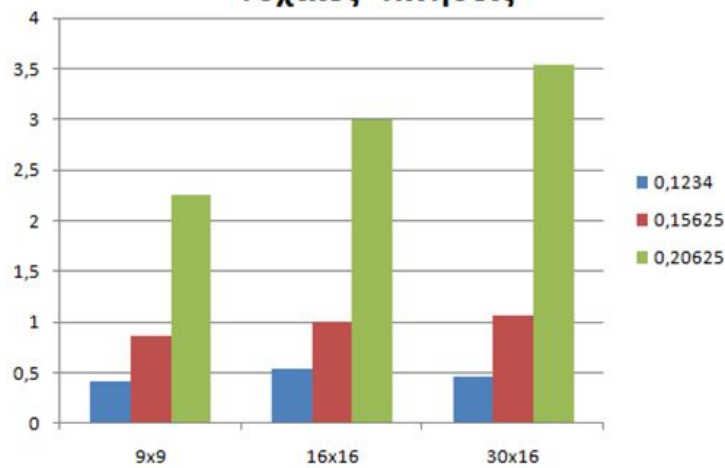
Ενεργοποίηση CSP



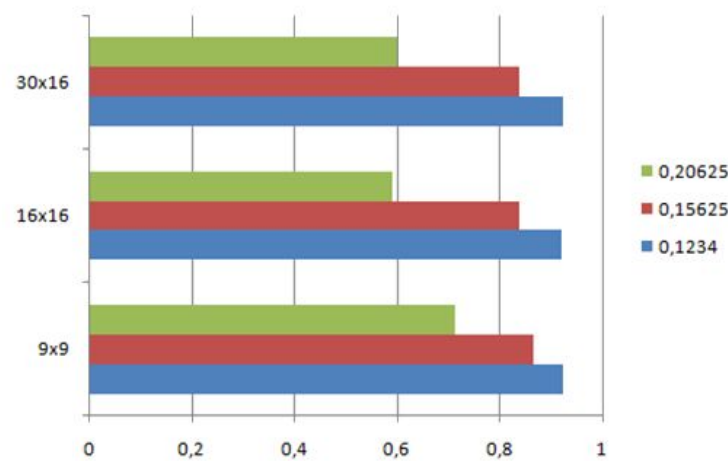
Χρόνος CPU



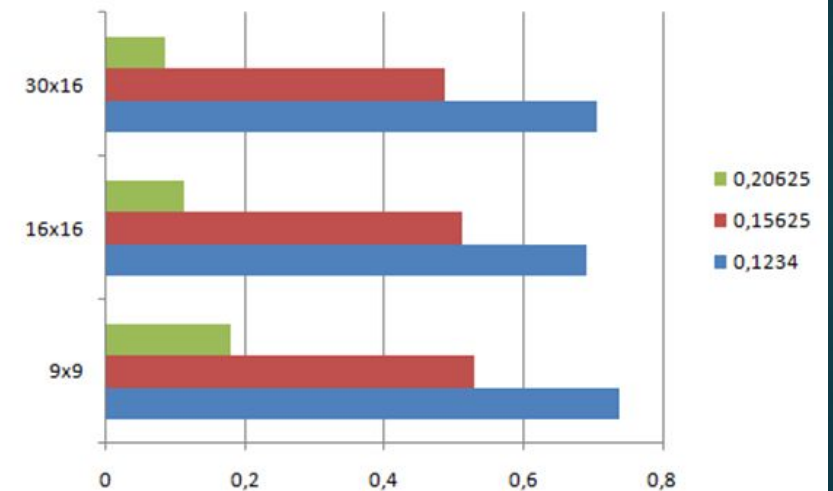
"Τυχαίες" Κινήσεις



Εκπλήρωση Στόχου



Παρτίδες χωρίς ρίσκο



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεράσματα

26

Προτερήματα

- ▶ Μοναδική και ευέλικτη προσέγγιση της εύρεσης και αναγνώρισης
- ▶ Αισθητά βελτιωμένος χρόνος αναγνώρισης
- ▶ Υψηλό ποσοστό επιτυχίας σε αποδεκτό χρόνο εκτέλεσης

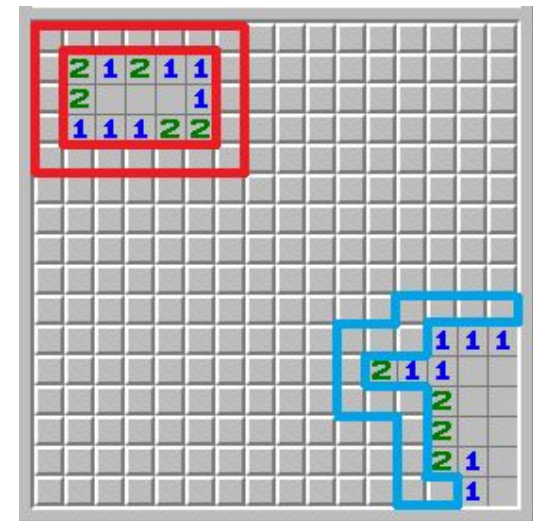
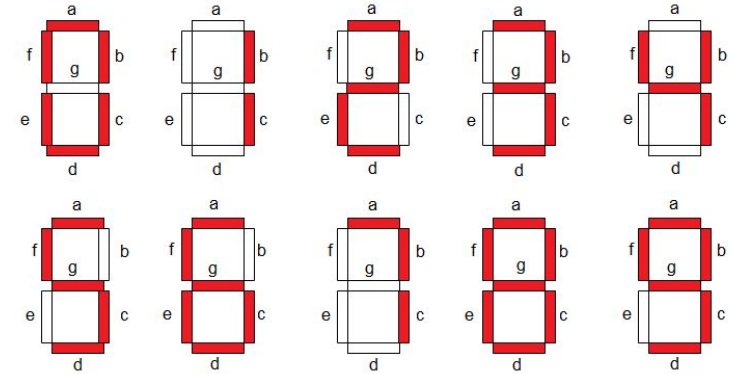
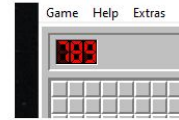
Περιορισμοί

- ▶ Εύρος υποστηριζόμενων ρυθμίσεων και εκδόσεων Ναρκαλιευτή
- ▶ Αυξανόμενος χρόνος εκτέλεσης σε μεγαλύτερα ταμπλό και πυκνότητες

Μελλοντικές Επεκτάσεις

- ▶ Εκτεταμένα μοντέλα αναγνώρισης
- ▶ Ανάλυση παρτίδας σε εκτέλεση
- ▶ Αναγνώριση επταμερούς ένδειξης ναρκών
- ▶ Βελτίωση απόδοσης

27



Ευχαριστώ για την προσοχή σας!
Ερωτήσεις;