**KAARTKLEUREN: Een snel algoritme voor edge-matching puzzels**

Casimir Boot

Universiteit van Amsterdam

emailadres@email.uva.nl

Alwin Lijdsman

Universiteit van Amsterdam

emailadres@email.uva.nl

Lonneke Lammers

Universiteit van Amsterdam

emailadres@email.uva.nl

**1. Inleiding**

*Het minimaliseren van het aantal kleuren wanneer je een kaart kleurt is een bekend probleem. In 1852 had de heer F. Guthrie het vermoeden dat elke kaart in te kleuren is met een maximum van vier kleuren, waarbij aangenzende landen niet dezelfde kleur mogen hebben. Dit wordt het Guthrie’s Problem genoemd: het probleem van de beslissing of vier kleuren voldoende zijn om elke map van een regio te kleuren. In 1878 werd hier een eerste paper over geschreven, en in 1976 werd de Four Color Theorem bewezen door Kenneth Appel en Wolfgang Haken. Het was de eerste grote stelling die bewezen werd met behulp van een computer. De stelling is later nog eens bewezen door Robertson, Sanders, Seymour en Thomas in 1997, en door Georges Gonthier in 2005.*

*In dit verslag bewijzen we de Four Color Theorem doormiddel van twee heuristieken. Allereerst zijn we met behulp van de Random Sampling naar een oplossing gaan zoeken. Vervolgens hebben we ter vergelijking Breadth-First geimplenteerd in ons programma.*

*Hier schrijf je een inleiding die in elk geval kort, bondig en compleet de hele vraagstelling bevat. Ook moet er een inschatting komen van de toestandsruimtegrootte (belangrijk, daar deden we het voor), en eventuele restricties op transities in beschreven worden, maar nog niet de methodes die je gebruikt om de toestandsruimte te doorzoeken.*

Eternity II is een edge-matching puzzle uitgegeven door Tomy in november 2012. Het doel is bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla $1.000.000 te winnen.

Fig. 1: een kleine-schaal versie van Eternity II met centrumstukken, randstukken en hoekstukken. Stukken mogen 90o geroteerd worden in beide reichtingen, en twee aangrenzende stukjes ‘passen’ als de rakende kanten hetzelfde symbool hebben. De puzzel is opgelost als alle stukjes passen.

*Figuren moeten altijd genummerd zijn, en \_eigenlijk\_ moet er ook altijd naar verwezen worden in de tekst. Een goede figuur maken is een kunst. Het kan enorm bijdragen aan de toegankelijkheid van je artikel, maar een slechte figuur doet afbreuk. Iedere figuur heeft een bijschrift (of ‘caption”). Bijschriften zijn zo kort mogelijk, maar niet korter dan dat (moeilijke nuance). Als richtlijn kun je voor een eenvoudige figuur als deze met twee tot drie korte duidelijke zinnen klaar zijn.*

Ieder stukje kan op 4 manieren geplaatst worden bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla. De bruto toestandsruimte van Eternity bevat daarom 81226 \* 1027 elementen. Stukjes 13 en 71 zijn identiek, net als bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla. De netto toestandsruimte bevat daarom 2341 \* 1023 elementen, dit aantal is te groot om met een exhaustive method binnen redelijke tijd tot een goed einde te komen.

**2. Methodes**

*In deze paragraaf beschrijf je de methodes die je hebt gebruikt, liefst in de volgorde waarin je ze hebt toegepast (in dit geval drie). Die hoeft niet per sé te kloppen met de tijdsvolgorde, echte wetenschappers proberen ook vanalles door elkaar. Wat wél moet kloppen zijn de details van de algoritmes, en de bijbehorende resultaten in de volgende paragraaf. Je moet zoveel informatie geven dat je experiment in principe herhaalbaar is, en je resultaten reproduceerbaar, ook je algoritme een stochastisch element (random-functie) bevat. Echte stoere mensen maken al hun resultaten, data en sourcecode ook online beschikbaar. Dat is nu nog niet overal gangbaar, maar gaat het wel worden (mijn inschatting)*

Er voor dit onderzoek drie verschillende algoritmes gebruikt, namelijk Iterative Deepening, A\* met lateral pruning en Bi-directional Breadth-first met heuristic benchmarks (BIDIBENCH-algoritme).

**2.1** **Depth first**

**eventueel breadth first, zo begonnen we eerst te denken, begin links boven**

**random sampling (iteratieve zoek algoritmes)**

*Gebruik meerdere subparagrafen als je dat nodig vindt. Bij meerdere methodes is dat vaak een goed idee.*

bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla, maar in onze variant geven de voorkeur aan bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla omdat bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla.

**2.2 A\* met lateral pruning**

bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla

bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla

**2.3 BIDIBENCH - algoritme**

In tegenstelling tot eerdergebruikte methodes, heeft het BIDIBENCH bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla bla

**3. Resultaten**

*Hier bespreek je heel droog je resultaten. Als je statistieken hebt: toevoegen. Als je vergelijkingen hebt met randomposities: toevoegen. Alles is woord en getal, alle details en het liefst ook het één en ander in grafieken, plaatjes of anderzins.*

Fig. 2. Aantal misfits per algoritme, gemiddeld over 5 trials. Ondanks dat alle methodes de puzzel relatief snel oplosten, is het BIDIBENCH algoritme zowel qua eindresultaat als qua algehele trajectperfomance te prefereren over beide andere methodes. *Een goede grafiek is, net als een goed plaatje, in één oogopslag duidelijk en vereist weinig arbeid van de lezer. Voorzie de assen van labels, de grafiek van een titel en kies je kleuren zo dat ze maximaal contrasteren en dus gemakkelijk leesbaar zijn. De legenda rechts van deze grafiek had rechtsbovenin het plaatje gemogen, dat had ruimte bespaard, had de grafiek iets groter kunnen zijn en dus beter leesbaar.*

**4. Conclusies**

*Hier schrijf je je conclusies, eventuele overdenkingen (hoe zou het nog beter kunnen, is het algoritme ook in andere gebieden toepasbaar).*

**5. Referenties**

*Als je literatuur hebt gebruikt, hier toevoegen. Als je eraan refereert in de tekst, zet je op die plek alleen [1], zodat mensen achterin de details kunnen vinden. Als je geen literatuur gebruikt, weglaten.*

*Wat ook nog kan is een dankwoord, bijvoorbeeld voor mensen die wel geholpen hebben maar geen auteur zijn, mensen die je een inzicht hebben gegeven, of administrators die je even hun supercomputer hebben laten gebruiken. Altijd naam en bedrijf noemen en zorgen dat de bedankte persoon zich er goed over voelt.*

*Als je zowel een dankwoord als een referentiesectie hebt: de referentiesectie is \*altijd\* het laatste onderdeel van je verslag.*

[1] Artificial Intelligence, a modern approach, Russel & Norvig,3rd Edition, Addison-Wesly, pg 287-387.

[2] “A packing problem with applications to lettering of maps” Michael Formann and Frank Wagner (1991) SCG '91 Proceedings of the seventh annual symposium on Computational geometry

*http://mathworld.wolfram.com/Four-ColorTheorem.html*

*http://mathworld.wolfram.com/GuthriesProblem.html*