

EVOLUTIONARY SOLVING OF THE RUBIK'S CUBE

Radim Malíš

Master Degree Programme (2), FIT BUT

E-mail: xmalis00@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Jaroš

E-mail: jarosjir@fit.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with evolutionary solving of the Rubik's cube. It describes the basic characteristics of the puzzle and theory of evolutionary algorithms necessary for better understanding. The main goal is to describe the proposal of the problem solution.

Keywords: Rubik's Cube, evolutionary algorithms, evolution, LGP

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá evolučním způsobem řešení známého hlavolamu Rubikova kostka. Vzhledem k jeho proslulosti a náročnosti řešení se stal výzvou i pro počítačovou oblast, a to z hlediska návrhu efektivních algoritmů pro jeho řešení. Technikou, která by v sobě mohla skrývat potenciál efektivního řešení, jsou i evoluční algoritmy.

2 RUBIKOVA KOSTKA

Rubikova kostka patří mezi světově nejproslulejší hlavolamy. Hlavolam je určen pro jednoho hráče, ale existují různé verze, lišící se například tvarem, nebo počtem kostiček. Existuje celá řada organizací, které pod sebou sdružují příznivce hlavolamu z celého světa a pořádají mezinárodní soutěže o nejrychlejší vyřešení kostky (tzv. Speedcubing). Vzniklo také mnoho metod řešení kostky, které jsou různě náročné s ohledem na pokročilost řešitele.

Nejběžnější typ kostky 3x3x3 má tři vrstvy a vypadá, jakoby byla složena z 27 menších kostiček. Ve skutečnosti je složena z 26 dílů - 8 rohů (corners), 12 hran (edges) a 6 středů (centres). Ty se od sebe liší počtem barevných nálepek na nich umístěných. Na rohu jsou tři, na hraně dvě a střed má pouze jednu. Celá soustava je propojena pohyblivým mechanismem, který umožňuje libovolnou vrstvu pootočit o násobek 90°. Cílem hlavolamu je dostat kostku do takové konfigurace, kdy bude každá stěna složena z kostiček jedné barvy. [1]

3 EVOLUČNÍ ALGORITMY

Evoluční algoritmy jsou společným vyjádřením pro třídu moderních matematických postupů, které využívají modely evolučních procesů v přírodě. Všechny tyto modely mají společné rysy: Pracují s množinou možných řešení zadaného problému. Řešení se postupně vylepšují tak, že se preferují lepší, vzniklé z původních řešení jejich kombinací a mutací. [2]

3.1 GENETICKÉ ALGORITMY

Genetické algoritmy (GA) jsou nejrozšířenějším typem evolučních algoritmů. Chromozomy reprezentující kandidátní řešení úlohy jsou ohodnoceny tzv. fitness funkcí, dle své kvality. Dále se na ně aplikují operátory selekce, křížení a mutace. Výstupem reprodukčního procesu je nová množina potomků, která se stane součástí stávající populace.

3.2 LINEÁRNÍ GENETICKÉ PROGRAMOVÁNÍ

Lineární genetické programování (LGP) je varianta genetického programování, která používá lineární chromozomy jako prostředek pro zakódování řešení. Každý LGP chromozom může být sekvencí instrukcí jazyka C. Každá tato instrukce má výsledek reprezentovaný cílovou proměnnou a více zdrojových proměnných tvořících operandy. Jedna z proměnných je zpravidla vybrána, aby reprezentovala výstup celého programu. Ovšem výstupů v rámci jednoho chromozomu může být i více a tím můžeme získat více řešení. [3]

Tzv. Multi Solution Linear Genetic Programming nám umožňuje reprezentovat výstup každou cílovou proměnnou. Potenciální řešení problému může být získáváno po provedení každé dílčí instrukce. [4]

4 IMPLEMENTACE

Navržená aplikace implicitně pracuje s kostkou o 54 nálepkách. Kostka je pro účely programu reprezentována jednorozměrným polem o délce 54. Jednotlivé proměnné pole mohou nabývat předdefinovaných hodnot reprezentujících možné barvy.

Jedinec reprezentuje množinu tahů kostkou, neboli otočení. Každý gen daného chromozomu reprezentuje jeden dílčí tah kostkou.

Správnost řešení hlavolamu Rubikova kostka spočívá v dosažení takové konfigurace, kdy každá ze šesti stran obsahuje pouze nálepky jedné ze šesti barev. I když se způsob evaluace fitness může zdát v této fázi zřejmý z předešlého popisu, tak skutečnost je poněkud odlišná. Existuje zde více možností vyhodnocení, které můžeme aplikovat:

- Rohy, středy, hrany - správná pozice libovolné kostičky vzhledem ke středové
- Splnění fází jednotlivých algoritmů
- Ohodnocení dle barvy nálepky vzhledem ke středu

Volba vhodné varianty evaluace fitness má značný vliv na šanci nalezení ideálního řešení a také na časovou náročnost výpočtu.

4.1 POUŽITÍ LGP

Vzhledem ke komplikacím s klamnými problémy a neoptimální konvergence, bylo třeba proces evoluce vylepšit. Pro tyto účely bylo využito tzv. Lineární Genetické Programování (LGP), které je blíže popisováno v dřívější kapitole. Pokud využijeme jeho variantu MS-LGP, budeme schopni přecházet vývoj fitness funkce daného chromozomu po využití jednotlivých genů (tahů) a na základě analýzy tohoto vývoje můžeme následně provést úpravu chromozomu. Od těchto úprav si můžeme slibovat zvyšování pravděpodobnosti výskytu slibných schémat v následujících populacích. V této fázi je rovněž možná inspirace metodami lokálního prohledávání, například metodou Simulované žhání. [5]

4.2 SIMULÁTOR

Pro realizaci uvedených nástrojů LGP byla vytvořena vlastní funkce pod označením Simulátor. Tato je zaregistrována jako funkce vracející fitness ohodnocení jednotlivých chromozomů. Ve skutečnosti provádí rovněž jejich fyzické úpravy. Simulátor ve svém těle volá klasické fitness funkce, pomocí kterých vyhodnotí kvalitu předloženého jedince. Tyto evaluace jsou realizovány nikoli na výsledné

konfiguraci kostky, ale na konfiguracích získaných po realizaci každého tahu obsaženého v chromozomu. Získáme tedy pro každý chromozom posloupnost evaluací a můžeme si udělat přehled, k jakým změnám fitness docházelo po provedení jednotlivých tahů v chromozomu. Na základě této analýzy může simulátor přejít do druhé fáze a provést fyzickou úpravu na chromozomu. Tato může nabývat několika podob:

- Umístění tahu, vedoucímu k nejlepší evaluaci na místo nejhoršího - Můžeme si najít například maximální hodnotu a minimální hodnotu evaluace a přenést tah vedoucí k maximálnímu ohodnocení do oblasti, která jinde vedla k minimálnímu ohodnocení.
- Záměna skupin tahů, vedoucích k největší a nejmenší evaluaci
- Odseknutí za nejlepším prvkem a doplnění NOPy - Běžnou situací je dosažení určité slibné úrovně fitness, která je ovšem poškozena dalšími tahy, které v chromozomu následují. Velice užitečná by mohla být schopnost extrakce slibných řešení z chromozomu. Nabízí se možnost useknouti po dosažení maximální evaluace. Tímto způsobem bychom mohli disponovat chromozomy proměnné délky. Chromozomy proměnné délky ovšem přináší nemalé komplikace z hlediska implementace. Aby byla udržena jistá úroveň komfortu z tohoto hlediska, jeví se jako velice pohodlné jednoduše doplňovat chromozomy tahy s označením NOP (No Operation), které vyjadřují zachování stavu.
- Useknutí za nejlepším prvkem a doplnění předchozím
- Hledání či vkládání charakteristických vzorů tahů - Simulátor by rovněž mohl být navržen tak, aby pracoval na bázi určité standardní metody řešení Rubikovy kostky - např. Po vrstvách. Každá metoda obsahuje sekvence tahů (nazývané také jako algoritmy), pomocí kterých je dosaženo dílčích kroků zhotovení kostky - např. složení první vrstvy. Simulátor by vyhledával řetězce tahů, které odpovídají algoritmům metod a tyto řetězce by v chromozomech množil. Další a zřejmě efektivnější možností by bylo tyto řetězce nevyhledávat, ale přímo je do chromozomů injektovat. A to buď na místa, které budou vybrány na základě určité dílčí fitness funkce, nebo pouze formou určitého "zasévání", kdy budeme očekávat, že se tyto algoritmy v dalších populacích rozmnoží a budou příležitostí pro splnění jednoho dílčího kroku metody, což by se projevilo v evaluaci.

5 ZÁVĚR

Práce popisuje návrh evolučního řešení Rubikovy kostky. Veškeré zde popsané varianty řešení jsou konkrétně implementovány a nyní probíhají práce na jejich testování. Jako nejlépe konvergující se momentálně jeví metoda množení vzorů tahů, vedoucích k nejlepšímu ohodnocení.

REFERENCE

- [1] Kolektiv autorů: The Cube: The Ultimate Guide to the World's Bestselling Puzzle - Secrets, Stories, Solutions, Leventhal Publishers, 2009, 157912805X
- [2] Schwarz, J., Sekanina, L.: Aplikované evoluční algoritmy EVO - Studijní opora, 2006
- [3] Brameier, M., Banzhaf, W.: Linear Genetic Programming, Springer, 2007, 0-387-31029-0
- [4] Oltean, M., Grosan, C., Oltean, M.: Encoding Multiple Solutions in a Linear Genetic Programming Chromosome, Springer-Verlag, 2004, 3-540-22116-6
- [5] Zbořil, F., sr., Zbořil, F., jr.: Základy umělé inteligence IZU - Studijní opora, 2006