



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

OPTIMALIZACE TVORBY KONSTRUKČNÍCH
TÝMŮ POMOCÍ GENETICKÝCH ALGORITMŮ
OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIONAL TEAMS CREATION BY GENETIC ALGORITHMS

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE
PH.D. THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. JIŘÍ ŠPAČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. PAVEL OŠMERA, CSc.

OPONENTI
OPPONENTS

prof. RNDr. Ing. MILOŠ ŠEDA, Ph.D.
prof. Ing. IVAN ZELINKA, Ph.D.

KLÍČOVÁ SLOVA

genetický algoritmus, optimalizace, Belbinova teorie, tým, budování týmu, spolupráce

KEY WORDS

genetic algorithm, optimisation, Belbin theory, team, teambuilding, cooperation

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Oddělení pro vědu a výzkum FSI VUT v Brně

ISBN 80-214-
ISSN 1213-4198

© Ing. Jiří Špaček

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 CÍL PRÁCE.....	5
3 GENETICKÉ ALGORITMY.....	5
3.1 Postup výpočtu.....	6
4 TÝMOVÁ PRÁCE.....	7
4.1 Výhody práce v týmu.....	7
4.2 Synergický efekt.....	7
5 BELBINOVA TEORIE TÝMOVÝCH ROLÍ.....	7
5.1 Definice.....	7
5.2 Podstata teorie.....	7
5.3 Týmové role dle Belbina.....	8
6 VLASTNÍ PROGRAM.....	9
6.1 Unikátnost řešení.....	9
6.2 Popis problematiky.....	9
6.3 Základní filozofie programu.....	10
6.3.1 <i>Algoritmus optimalizačního programu</i>	10
6.3.2 <i>Inicializace populace</i>	11
6.3.3 <i>Zakódování jedinců</i>	12
6.3.4 <i>Ohodnocení jedince (pracovního týmu)</i>	13
7 KONKRÉTNÍ OPTIMALIZACE.....	16
7.1 Úvod.....	16
7.2 Zakódování.....	16
7.2.1 <i>Kódovací tabulka</i>	16
7.3 Vyhodnocení.....	17
7.3.1 <i>Numerické výsledky</i>	17
7.3.2 <i>Grafické výsledky</i>	17
8 ZÁVĚR.....	18
9 LITERATURA.....	21

1 ÚVOD

Všechny konstrukční, výrobní i jiné podniky a firmy pocítují v současnosti ze strany zákazníků velký tlak na vysokou kvalitu svých výrobků a služeb. Pro vytvoření požadované kvality v často krátkých termínech je klíčové, aby byl sestavený vhodný pracovní tým, který má daný projekt řešit. Sestavování vhodných týmů pro jednotlivé firemní projekty a zakázky je tedy pro každou firmu vyloženě existenční záležitostí. Tomu může pomoci důkladné poznání osobnostních vlastností (za pomoci ověřených psychologických metod) a odborných předpokladů jednotlivých lidí ve firmě. Vzhledem ke značnému množství výsledných variant různých týmů je vhodné pro podporu manažerského rozhodování využít moderních výpočetních metod, kterými se tato disertační práce zabývá.

2 CÍL PRÁCE

Tato práce se zaměřuje na sestavení optimálního pracovního týmu z množiny možných řešení. Předpokladem výběru je, že o každou pracovní pozici může soutěžit více jedinců, z nichž je následně vybrán takový jedinec, který se nejlépe přibližuje požadované kvalitě. Definice požadované kvality je v tomto případě multioborová, jelikož spojuje psychologické a technické aspekty. Z tohoto důvodu vznikla potřeba navrhnout ucelené řešení, které definuje způsob ohodnocení reálných vstupních parametrů a jejich následné zakódování do numerické podoby. Pro zpracování numerických kódů je dále potřeba navrhnout fitness funkci, vhodné vstupní parametry a sestavit program, který s využitím genetického algoritmu vypočítá optimální pracovní tým.

Cílem práce je navržení následujících konkrétních bodů:

- matice hodnotících kritérií,
- fitness funkce,
- vhodné vstupní parametry genetického algoritmu,
- způsob zakódování jedinců,
- způsob zadání požadavků na výsledný tým,
- váhová matice významnosti dílčích vlastností,
- vlastní algoritmus pro testování této hypotézy,
- způsob interpretace výsledků.

3 GENETICKÉ ALGORITMY

Genetické algoritmy jsou univerzálním prohledávacím nebo optimalizačním přístupem. V ohraničeném prostoru přípustných řešení daného problému je možné najít globální optimum z pohledu zvolené účelové funkce nebo se mu alespoň přiblížit. Při tom se uplatňují principy vyzorované v živé přírodě, především náhodné změny v populaci, přežití nejsilnějších, respektive nejprizpůsobivějších jedinců, nevyhnutelnost zániku nejslabších, neživotaschopných, respektive nepřizpůsobivých jedinců.

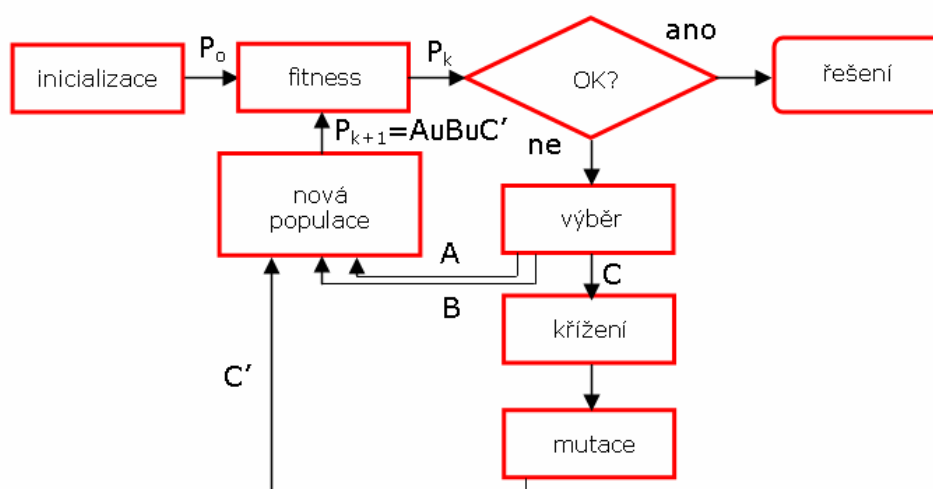
Genetický algoritmus pracuje se skupinou více potenciálních řešení daného problému – s tzv. populací. Každé potenciální řešení (nebo jedinec) je přitom reprezentované uspořádanou množinou parametrů nebo hodnot, které úplně charakterizují jeho vlastnosti a jejichž nejlepší kombinaci hledáme.

Prvky této množiny se nazývají geny a jejich typy mohou být:

- binárně-číselné,
- celo-číselné,
- reálně-číselné,
- symbolové,
- kombinované.

3.1 POSTUP VÝPOČTU

Počáteční populace řetězců (P_0) před prvním výpočtovým cyklem (výpočtovým cyklem je zde myšlena generace) se získá zpravidla náhodným vygenerováním jejich genů v rámci uvažovaných ohraničení. V každém výpočtovém cyklu se pro každý řetězec vyčíslí hodnota účelové funkce (nazývá se fitness) a to např. výpočtem, počítačovou simulací atd. Má význam míry vhodnosti nebo úspěšnosti nebo úspěšnosti daného řetězce. Potom se vytvoří tři skupiny řetězců. Skupina A obsahuje nejlepší jedince (alespoň jednoho). Skupina jedinců B, které mohou být vybrané například náhodně, se dostanou do nové populace nezměněné. Někdy se používají i jiné metody výběru, např. ruletový výběr, turnajový výběr atd.



Obr. 1: Blokové schéma genetického algoritmu [1]

Dále se některou z uvedených metod vybere skupina jedinců C, která je určena na inovaci. V této skupině se vytvoří náhodné páry řetězců, s kterými se uskuteční genetická operace křížení a následně se na této skupině realizuje ještě mutace. Takto zmodifikovaní jedinci (označené jako skupina C') dokončují novou populaci P_{k+1} . Ta se stane objektem stejného postupu v další generaci. Přitom je důležité, že při výběru do skupiny C, případně také do B, mají větší pravděpodobnost přežití úspěšnější jedinci, ale určitou malou šanci mají i méně úspěšní jedinci.

Pokud se uvedený postup opakuje v rámci mnoha generací (např. stokrát, tisíckrát nebo milionkrát), řešení konverguje ke globálnímu optimu. Počet potřebných generací závisí na povaze a složitosti řešeného problému. Algoritmus (běh programu) se může ukončit po dosažení požadovaného, respektive přijatelného řešení nebo nejčastěji po ukončení požadovaného počtu generací.

Uvedené schéma genetického algoritmu není jediné možné a jediné používané. Volba struktury genetického algoritmu může záviset na typu úlohy, stejně jako na zvyklostech a zkušenostech jeho autora. Podobně je to i při genetických operacích křížení, mutací a při výběrech, kde existuje více modifikací. [1, 2, 5, 6, 7, 9, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26]

4 TÝMOVÁ PRÁCE

4.1 VÝHODY PRÁCE V TÝMU

Každý člen má jisté zkušenosti, dovednosti, svůj způsob myšlení a vidění světa. Při společném řešení se zkušenosti a dovednosti jednotlivých členů kombinují, na problém je nahlíženo z různých úhlů pohledu a tím se i nabízejí širší možnosti řešení. Vzájemnou komunikací a spoluprací se zároveň rozvíjí každý člen. Omezený úhel pohledu jednotlivých lidí na určité věci se eliminuje spektrem rozmanitých pohledů všech členů týmu.

4.2 SYNERGICKÝ EFEKT

Výkon týmu převyšuje pouhý součet možností všech členů týmu. Týmová činnost zvyšuje efektivnost práce, spojuje lidi, kteří se vzájemně doplňují, obohacují a inspirují nápady svých kolegů. Tak se zvýší nejen celkový výkon skupiny, ale i výkon každého člena. [3, 4, 10, 11, 12, 13]

5 BELBINOVA TEORIE TÝMOVÝCH ROLÍ

5.1 DEFINICE

Týmová role definovaná Dr. Meredithem Belbinem je: „Tendence chovat se, přispívat a být ve vzájemném vztahu s ostatními lidmi specifickým způsobem.“

5.2 PODSTATA TEORIE

Hodnota teorie týmových rolí dle Dr. Belbina spočívá v tom, že umožňuje jednotlivci i týmu přizpůsobit se vnějším požadavkům a využít sebepoznání k úspěchu. Týmové role dle Dr. Belbina popisují vzorce chování, které ovšem nejsou neměnné a jsou ovlivněny mnoha různými faktory, kterými konkrétní osoba ve svém pracovním i osobním životě prochází.

Belbinova práce na Henley Management College identifikuje celkem devět různých typů chování, každý z nich se nazývá týmovou rolí (původní práce z roku 1981 uvažuje s využitím osmi týmových rolí a revize práce v roce 1993 zavádí ještě devátou roli – Specialista). Každá týmová role má svou vlastní kombinaci přínosů a

přípustných slabin. Je běžné, že jeden člověk v sobě zahrnuje více týmových rolí (zpravidla tři až čtyři), které střídá v závislosti na aktuální situaci. Jen velmi vzácně se najdou lidé, kteří představují pouze jedinou týmovou roli. [28]

5.3 TÝMOVÉ ROLE DLE BELBINA

Inovátor, IN (Plant, PL)

Přínosy:

- Je tvůrčí, nápaditý a neortodoxní. Dokáže řešit náročné problémy.

Přípustné slabiny:

- Ignoruje podružnosti. Je velmi zaujatý vlastními myšlenkami na úkor efektivní komunikace.

Vyhledávač zdrojů, VZ (Resource Investigator, RI)

Přínosy:

- Je nadšený a komunikativní extrovert. Objevuje příležitosti. Rozvíjí kontakty.

Přípustné slabiny:

- Je nadměrně optimistický. Může ztratit zájem po opadnutí počátečního nadšení.

Koordinátor, KO (Co-ordinator, CO)

Přínosy:

- Je vyzrálý a sebejistý. Vyjasňuje cíle. Dává lidem dohromady, aby podpořil týmovou diskuzi.

Přípustné slabiny:

- Může se zdát, že manipuluje. Usnadňuje si osobní práci.

Usměrňovač, US (Shaper, SH)

Přínosy:

- Vyzývá k výkonu, je dynamický, prospívá mu tlak. Má průbojnost a odvahu překonávat překážky.

Přípustné slabiny:

- Má sklony provokovat. Může urážet ostatní.

Monitor vyhodnocovač, MV (Monitor Evaluator, ME)

Přínosy:

- Je vážně založený, je stratég a má vysoké nároky. Vidí všechny možnosti. Má přesný úsudek.

Přípustné slabiny:

- Může mu chybět hnací síla a schopnost inspirovat ostatní.

Týmový pracovník, TP (Teamworker, TW)

Přínosy:

- Spolupracuje, je mírný, vnímavý a diplomatický. Naslouchá, buduje a odvrací třenice.

Přípustné slabiny:

- Je nerozhodný v klíčových situacích.

Realizátor, RE (Implementer, IMP)

Přínosy:

- Je disciplinovaný, spolehlivý, konzervativní v návycích. Má schopnost činit praktické kroky a akce.

Přípustné slabiny:

- Je poněkud nepružný. Může pomalu reagovat na nové možnosti.

Kompletovač finišer, KF (Completer Finisher, CF)

Přínosy:

- Je pečlivý, svědomitý, dělá si starosti. Hledá chyby a přehlédnutí. Plní termíny.

Přípustné slabiny:

- Má sklony přehnaně se strachovat. Neochotně nechává ostatní podílet se na své práci.

Specialista, SP (Specialist, SP)

Přínosy:

- Je cílevědomý, iniciativní a oddaný své profesi. Poskytuje vědomosti a dovednosti, které jsou vzácné.

Přípustné slabiny:

- Přispívá pouze v úzké oblasti. Zaobírá se osobními speciálními zájmy. [14, 15, 28, 29]

6 VLASTNÍ PROGRAM

6.1 UNIKÁTNOST ŘEŠENÍ

Na základě prostudování stávajících publikovaných řešení a dostupných informačních zdrojů jsem dospěl k závěru, že dosud nebylo publikováno žádné ucelené řešení kombinující osvědčenou sociálně-psychologickou metodu sestavování týmů a další odborně-technické znalosti a požadavky na kvalitu jedinců budoucího týmu. Tato disertační práce navrhuje spojení těchto dvou faktorů do jednoho celku.

Problémem numerického sestavování týmů se zabývá rovněž práce od O. Hlaotinnuna, E. Bonjoura, M. Dulmeta [16]. Tato práce však řeší jiné souvislosti.

6.2 POPIS PROBLEMATIKY

Pro dosažení cíle disertační práce byl vytvořen optimalizační program (v jazyku Java, vývojové prostředí NetBeans 5.0 IDE), který slouží k hledání pracovních týmů dle zadaných požadavků. Jádrem programu je genetický algoritmus (GA). V programu je možné, mimo jiné, aplikovat teoretické poznatky týkající se oblasti „personální sociologie“.

GA a jiné algoritmy tohoto druhu patří do skupiny tzv. smíšených algoritmů, využívajících statistické a deterministické metody. GA jsou součástí skupiny algoritmů nazývaných evoluční algoritmy. Ty jsou inspirovány přírodními vývojovými procesy, které již dříve popsali J. G. Mendel a Ch. Darwin.

Princip fungování a nastavení celého programu je vysvětlen na příkladu řešení firmy tak, aby bylo vše jasně a srozumitelně pochopitelné. Z uvedených tabulek je patrné, jak široce je možné pojmout ohodnocení každého člověka pro účely

optimalizace níže uvedeným genetickým algoritmem. Pro výpočty konkrétních týmů v konkrétních firmách je nutno nastavit vždy odpovídající parametry pro danou situaci. Vzhledem k tomu, že vytvořený experimentální program nedisponuje grafickým uživatelským rozhraním, je v příloze uveden i celý zdrojový kód. Uváděná čísla řádků v dalším textu odpovídají zobrazení zdrojového kódu v nezalamované formě. Reálné zadání, nastavení, ohodnocení lidí a vyhodnocení výsledků je podrobně uvedeno ve zvláštní kapitole.

Pomocí tohoto programu, jehož součástí má být GA, je možné provést optimalizaci z více hledisek, které může uživatel navíc různě upřednostňovat. Program dle zadaných parametrů GA nejprve vytvoří skupinu jedinců (tzv. populaci). Ti budou v jednotlivých cyklech programu, simulující vývojový čas, podrobeni procesům selekce a také rekombinačním změnám, tj. mutace. Křížení nebylo v programu zahrnuto. Jedinec (pracovní tým) bude kódován několika celočíselnými řetězci, oproti obvyklému jedinému řetězci, ve kterých budou uloženy informace o znalostech, schopnostech a osobních vlastnostech. Význam číslic si uživatel bude moci navolit dle potřeb konkrétního úkolu. Uživatel programu má možnost nastavit ideální parametry GA a to tak, že provede určitý počet opakovaných výpočtů (nastavitelný parametr), které následně statisticky [27] vyhodnotí (střední hodnoty fitness populace, rozptyl populace, nejlepší řešení v populaci). Po ukončení výpočtu jsou veškerá data uložena v několika souborech. Prvních šest souborů (případně jiný počet dle nastavení konkrétní úlohy) slouží k uložení kódů nejlepších jedinců v každé kategorii (včetně celé historie jejich vývoje odpovídající počtu nastavených iterací). Poslední čtyři soubory ukládají statistická data a slouží k nastavení ideálních parametrů GA.

Význam programového hledání optimálního pracovního týmu lze spatřit v následujících bodech:

- Prohledání velkého prostoru možných řešení v rozumném čase (pozn.: I při malém počtu zaměstnanců v podniku a požadavku složit tým o minimálním počtu členů, bude počet variant možných pracovních týmů velký, viz níže).
- Nalezení těch nejlepších řešení pro podnik.
- Možný finanční a časový přínos programu pro podnik apod.
- Na základě primárních zlepšení lze dosáhnout také sekundárních pozitivních efektů, např. zlepšení osobních vztahů na pracovišti apod.

6.3 ZÁKLADNÍ FILOZOFIE PROGRAMU

6.3.1 Algoritmus optimalizačního programu

Na následujícím obrázku je zobrazeno jádro optimalizačního programu v pseudokódu, kterým je genetický algoritmus (GA).

```

begin
  tv := 0;
  inicializace G(tv)
  vyhodnocení G(tv);
  while (not zastavovací_pravidlo) do
  begin
    tv := tv+1;
    selekce G(tv) z G(tv-1);
      změna G(tv);
      vyhodnocení G(tv);
  end
end

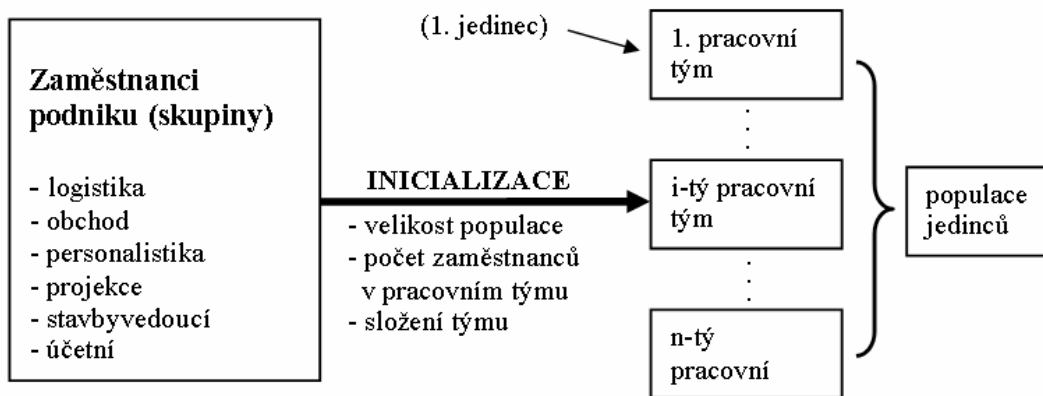
```

Obr. 2: Základní tvar evolučního (genetického) algoritmu

6.3.2 Inicializace populace

Předpokládejme ideální nastavení parametrů GA sestávající z vhodných hodnot velikosti populace, pravděpodobnosti mutace a počtu jedinců v turnaji. Dále předpokládejme, že máme v programu vytvořenou databázi zaměstnanců, že byly zadány požadavky na velikost pracovního týmu a požadované známky u jednotlivých skupin zaměstnanců tým. Po spuštění optimalizačního programu je pomocí generátoru pseudonáhodných čísel, který je implementován v programu, vytvořena počáteční populace určité velikosti, kterou lze navolit. Populace je vytvořena náhodným výběrem existujících jedinců ze zadané databáze programu. Program tedy nevytváří kódy neexistujících zaměstnanců, ale přímo využívá uživatelem naplněné databáze. Tato populace je poté uložena ve 3D polích. Počet těchto polí odpovídá počtu pracovních skupin, které jsou v programu definované a zároveň tento počet také odpovídá počtu skupin v daném podniku, pro který je program aktuálně nastaven. Způsob inicializace populace bude uveden na příkladu, na který je nyní program přizpůsoben.

V řešeném podniku je N zaměstnanců, které lze rozdělit do M skupin (logistika, obchod, personalistika, projekce, stavbyvedoucí, účetní). Z těchto M skupin zaměstnanců je náhodným způsobem vybrána skupina K zaměstnanců předem zadaného složení. Např. je třeba vytvořit pracovní tým s 10-ti zaměstnanci ($K = 10$) s určeným složením pracovního týmu: 1 logistik, 2 obchodníci, 1 personalista, 4 projektanti, 1 stavbyvedoucí a 1 účetní. Dle uvedeného příkladu je náhodným způsobem ze všech skupin vybrán požadovaný počet lidí. Konkrétně ze skupiny logistiků je vybrán 1 zaměstnanec, poté ze skupiny obchodníků jsou náhodně vybráni další 2 zaměstnanci, atd. Tímto způsobem je vytvořen 1. pracovní tým, tj. první jedinec populace (dle terminologie GA). Tento postup se n -krát opakuje, dokud nebude vytvořena celá populace jedinců (pracovních týmů) dle zadané velikosti.



Obr. 3: Proces inicializace jedinců (pracovních týmů) z množiny zaměstnanců podniku

Je-li v podniku 35 zaměstnanců ve složení: 7 logistiků, 5 obchodníků, 5 personalistů, 12 projektantů, 4 stavbyvedoucí a 2 účetní, pak je možné vytvořit 1.386.000 různých pracovních týmů o 10-ti zaměstnancích v požadovaném složení: 1 logistik, 2 obchodníci, 1 personalista, 4 projektanti, 1 stavbyvedoucí a 1 účetní. K výpočtu byl použit následující vztah:

$$C_p(o) = \binom{o}{p} = \frac{o!}{p!(o-p)!}, \text{ kde } (o \geq p). \quad (1)$$

Tento vztah představuje kombinaci bez opakování, tj. kombinace p -té třídy z o -prvkové množiny. Je to každá p -prvková podmnožina o -prvkové množiny [8]. U kombinace bez opakování nepřehlídíme k uspořádání prvků a každý prvek z daných o prvků se v jedné kombinaci může vyskytnout nejvýše jednou.

$$\text{počet variant} = \binom{7}{1} \cdot \binom{5}{2} \cdot \binom{5}{1} \cdot \binom{12}{4} \cdot \binom{4}{1} \cdot \binom{2}{1} = 7 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 495 \cdot 4 \cdot 2 = 1386000. \quad (2)$$

Z velkého počtu variant pracovních týmů a z většího počtu požadovaných optimalizačních kritérií vyplývá, že jsou GA vhodným nástrojem k optimalizaci pracovního týmu.

6.3.3 Zakódování jedinců

Jak už bylo v úvodu řečeno, bude jedinec (pracovní tým) kódován celočíselnými řetězci určitých délek. Ty lze samozřejmě také změnit (viz databáze v programu). Máme-li dle příkladu vytvořit pracovní tým ve složení: 1 logistik, 2 obchodníci, 1 personalista, 4 projektanti, 1 stavbyvedoucí a 1 účetní, bude jedinec (pracovní tým) tvořen $1+2+1+4+1+1=10$ -ti celočíselnými řetězci. Je-li stanoveno, že má být vygenerována populace 500 jedinců, bude to znamenat velikost populace, která je složena z 5000 celočíselných řetězců.

V programu je možné navolit individuální délky celočíselných řetězců pro každou skupinu zaměstnanců zvlášť. Např. logistickí mohou mít celočíselný řetězec o délce

9-ti číslic, obchodníci řetězec 10-ti číslic, personalisté řetězec 8-mi číslic, projektanti řetězec 8-mi číslic, stavbyvedoucí řetězec 8-mi číslicemi a účetní řetězec 6-ti číslic (volí se podle podrobnosti požadavků na členy konkrétní skupiny). Několik posledních číslic u všech skupin zaměstnanců je vyhrazeno pro uložení informací o osobních vlastnostech. Je samozřejmé, že je možné přidávat, resp. ubírat počet pracovních skupin v programu, měnit délky kódů jednotlivých pracovních skupin a vymezit pro ně určitý počet koncových číslic, které budou charakterizovat osobní vlastnosti. Měnit lze také celočíselný rozsah, ze kterého jsou kódy jedinců vytvořeny.

Tabulku je tedy možné přizpůsobit pro konkrétní typ řešené úlohy. Celkový počet hodnocených vlastností je k , přičemž odborných vlastností je n a osobních vlastností je $k-n$. Tento celkový počet hodnocených vlastností k dává celkovou délku číselného klíče, kterým je každý zaměstnanec zakódovaný pro vstup do programu.

Tab. 1: Principiální model hodnotící tabulky

Vlastnosti	Poř. číslo	Popis	Ohodnocení	Rozsah hodnocení
Odborné	1			1-9
	2			1-9
	...			1-9
	n			1-9
Osobní	n+1			1-9
	...			1-9
	k			1-9

6.3.4 Ohodnocení jedince (pracovního týmu)

Nezbytnou částí genetického algoritmu (GA) je přiřazení ohodnocení každému jedinci (pracovnímu týmu). V optimalizačním programu je k dispozici několik dílčích fitness funkcí, kterými lze postihnout různé požadavky na pracovní tým (snaha postihnout jak znalosti, zkušenosti, osobní vlastnosti jednotlivců v týmu, tak docílit rovnoměrného rozložení činnosti mezi nimi). Tyto dílčí fitness funkce se pak skládají do společné fitness funkce. Každá dílčí fitness funkce je navíc násobená váhou o určité hodnotě před tím, než se provede vlastní skládání. Tím lze upřednostňovat určité kritérium na pracovní tým před jinými.

Na základě ohodnocení lze dle definovaných fitness funkcí (hodnotících funkcí) stanovit, jakou kvalitu má jedinec. Dle fitness funkce jsou jedinci v další fázi algoritmu selektováni.

V programu byly zavedeny 3 hodnotící funkce:

- Dílčí fitness funkce FZZ (znalosti a zkušenosti)
- Dílčí fitness funkce FSE (synergický efekt)
- Dílčí fitness funkce FOV (osobní vlastnosti)

Cílem optimalizace programu je upřednostňovat jedince s nižší, a tím lepší hodnotou fitness funkce. Celková fitness funkce pracovního týmu FT je rovna součtu fitness funkcí pracovních skupin násobených váhami:

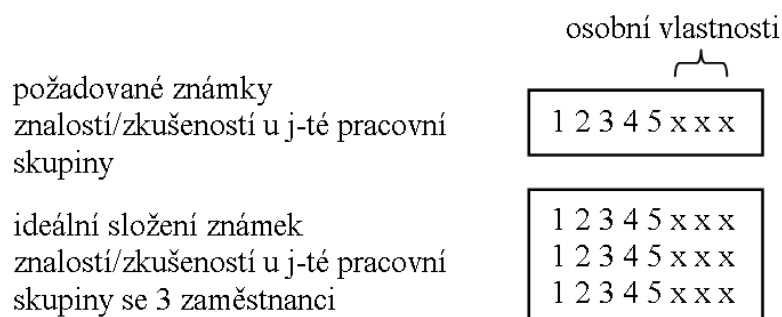
$$FT = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^m V_{1j} \cdot FZZ_j\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^m V_{2j} \cdot FSE_j\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^m V_{3j} \cdot FOV_j\right)^2} \quad (3)$$

kde: m – počet pracovních skupin zaměstnanců, V_{1j} , V_{2j} , V_{3j} – váhy dílčích fitness funkcí, FZZ_j – dílčí fitness funkce znalostí a zkušeností, FSE_j – dílčí fitness funkce synergického efektu, FOV_j – dílčí fitness funkce osobních vlastností. Váhy V_{ij} lze nastavit zvlášť pro každou pracovní skupinu, takže můžeme u jedné pracovní skupiny upřednostnit více synergický efekt a u jiné např. osobní vlastnosti apod. (kde: počet dílčích fitness $i = 1-3$). Fitness funkci FT určenou vztahem (3) si lze představit jako vektor, jehož složkami jsou dílčí fitness funkce FZZ_j , FSE_j a FOV_j násobené příslušnými váhami.

Dílčí fitness funkce znalostí a zkušeností FZZ_j bude mít pro j -tou pracovní skupinu následující podobu:

$$FZZ_j = \sum_{k=1}^{DCH_j - POV_j} abs(PZS_j \cdot PZ_{jk} - SZZZ_{jk}), \quad (4)$$

kde: PZS_j – počet zaměstnanců j -té pracovní skupiny, DCH_j – délka chromozómu j -té pracovní skupiny, POV_j – počet osobních vlastností j -té pracovní skupiny v chromozómu, PZ_{jk} – požadovaná známka k -té znalosti/zkušenosti u j -té pracovní skupiny, $SZZZ_{jk}$ – součet k -tých známek (z náhradních polí) znalostí/zkušeností zaměstnanců u j -té pracovní skupiny daného pracovního týmu. Na základě tohoto vztahu je vypočítána dílčí fitness FZZ j -té pracovní skupiny. Vztah představuje sumu rozdílů v absolutní hodnotě (vzhledem k tomu, že by dle skutečných výpočtů v programu přibyla řada dimenzí (indexů) v uvedených vztazích, bylo provedeno jisté názornější zjednodušení.

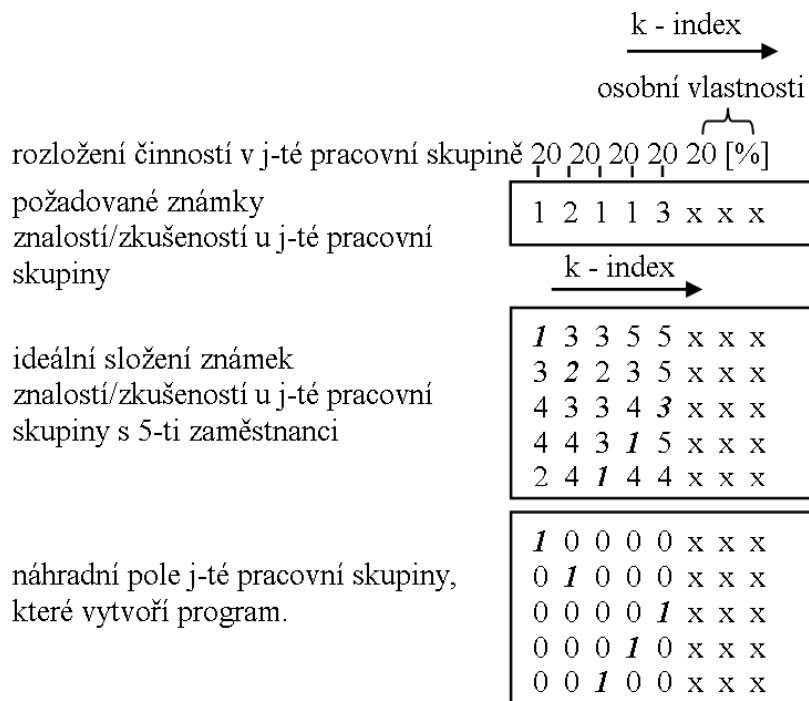


Obr. 4: Ideální příklad složení j -té pracovní skupiny dle dílčí fitness funkce FZZ_j

Před stanovením **dílčí fitness funkce synergického efektu FSE_j** vytvoří program z 3D polí populace pomocná 3D pole. V těchto pomocných 3D polích budou některé pozice v chromozómech zaměstnanců nahrazeny nulami podle určitého klíče (bude-li známka zaměstnance lepší nebo rovna požadavku, v pomocném poli bude nahrazena hodnotou 1, bude-li známka horší než požadavek, v pomocném poli se objeví 0). Máme zadáno, jaké známky u j-té pracovní skupiny požadujeme. Dále je zadáno (to se provede před výpočtem) procentuální rozložení činností v j-té pracovní skupině (např. u projektantů je 60% práce v CAD systému, 10% psaní ve Wordu, 5% čtení technických norem atd. Součet procent jednotlivých činností v i-té pracovní skupině musí být roven 100%). Program dle počtu zaměstnanců v pracovní skupině vypočítá, kolik z těchto zaměstnanců musí být použito na danou činnost při požadované hodnotě známky. Tento počet je označen ve vztahu (5) jako PPZ_{ij}. Program dále zjistí, kolik zaměstnanců v j-té pracovní skupině má k-tou známku v požadované kvalitě, to je ve vztahu (5) označeno jako SPPZ_{jk}. Dílčí fitness funkce synergického efektu bude mít následující podobu:

$$FSE_j = V_1 \cdot \sum_{k=1}^{DCH_j - POV_j} [abs(PPZ_{jk} - SPPZ_{jk})] + V_2 \cdot \sum_{k=1}^{DCH_j - POV_j} \sum_{l=1}^{PZS_j} [abs(SR_{jl} - SH_{jk})] \quad (5)$$

V₁ a V₂ jsou váhy, SH_{jk} – střední hodnota známky v pomocném poli j-té pracovní skupiny u k-té znalosti. SR_{jl} – součet známek v pomocném poli j-té pracovní skupiny na l-tém řádku (řádek odpovídá danému zaměstnanci).



Obr. 5: Ideální př. složení j-té prac. sk. dle dílčí fitness funkce FZZ_j se zobr. k-indexů

Dílčí fitness funkce osobních vlastností FOV_j je určena tak, že se v j-té pracovní skupině stanoví průměrná hodnota j-té osobní vlastnosti ze všech zaměstnanců a porovná se s požadovanou hodnotou. Vztah má následující podobu:

$$FOV_j = \sum_{j=DCH_j-POV_j+1}^{DCH_j} abs[PRZ_{jk} - PZ_{jk}], \quad (6)$$

kde: PRZ_{jk} – průměrná k-tá známka osobní vlastnosti u j-té pracovní skupiny. PZ_{jk} – požadovaná k-tá známka osobní vlastnosti u j-té pracovní skupiny. Výpočet je dle vztahu (6) jednoduchý, takže není zapotřebí uvádět příklad.

7 KONKRÉTNÍ OPTIMALIZACE

7.1 ÚVOD

Výběr vhodného pracovního týmu byl proveden ve stavební firmě, která plánovala sestavit tým osob pro realizaci nového projektu výstavby obytných domů. Bylo požadováno sestavit tým osob v následujícím složení:

Tab. 2: Požadavek na tým z hlediska počtu lidí ve skupinách

Název organizační skupiny	Počet osob ve skupině
Logistika	2
Obchod	2
Personalistika	1
Projekce	4
Stavbyvedoucí	4
Účetní	1
CELKEM	14

7.2 ZAKÓDOVÁNÍ

7.2.1 Kódovací tabulka

Pro účely numerického zpracování řešené úlohy byla sestavena kódovací tabulka s číselným ohodnocením všech sledovaných vlastností. Tato tabulka předepisuje pořadí jednotlivých hodnocených vlastností a současně obsahuje kódovací klíč, který slovní vyjádření každého možného stavu jednotlivých vlastností převádí na jednoznačnou číselnou interpretaci. Dále byla sestavena tabulka s určením procentuální váhy jednotlivých sledovaných parametrů

7.3 VYHODNOCENÍ

7.3.1 Numerické výsledky

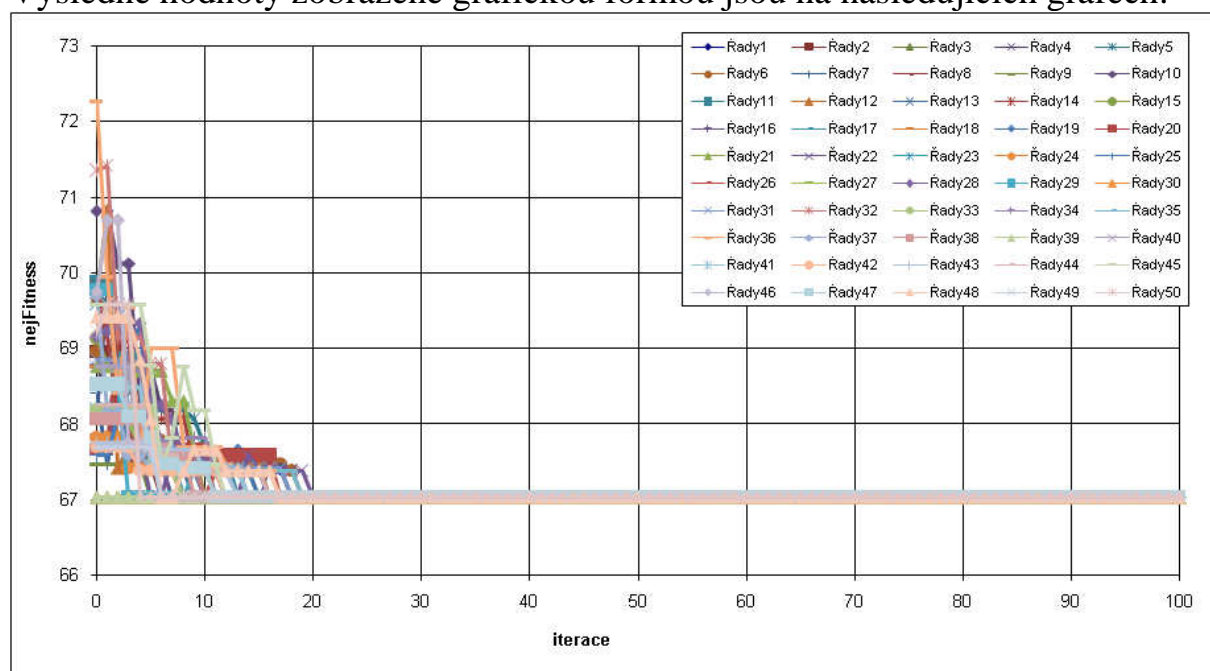
Návrh skutečného týmu pro ověření v praxi se realizoval na základě předchozího zkoumání vhodných vstupních hodnot. Veškeré výpočty byly kvůli statistickému porovnání provedeny 50x.. Konkrétné se jednalo o tyto vstupní hodnoty:

- velikost populace $N = 500$
- selekce $tT = 2$
- pravděpodobnost mutace $P_m = 1/30$
- počet iterací $p_c = 100$.

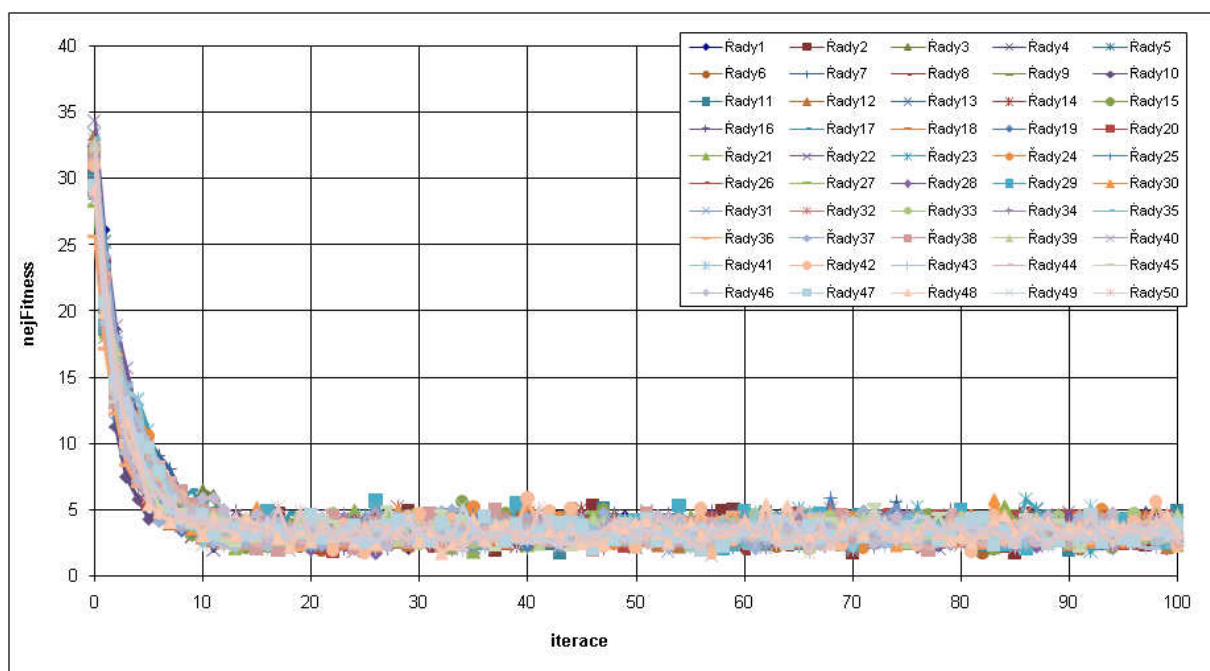
Výsledky byly zpracovány v tabulkovém procesoru MS Excel a byly na ně aplikovány barevné škály z důvodu optického vyhodnocení. Z důvodu omezeného prostoru nejsou v těchto tezích tyto rozsáhlé tabulky publikovány. Dále byly zpracovány grafy.

7.3.2 Grafické výsledky

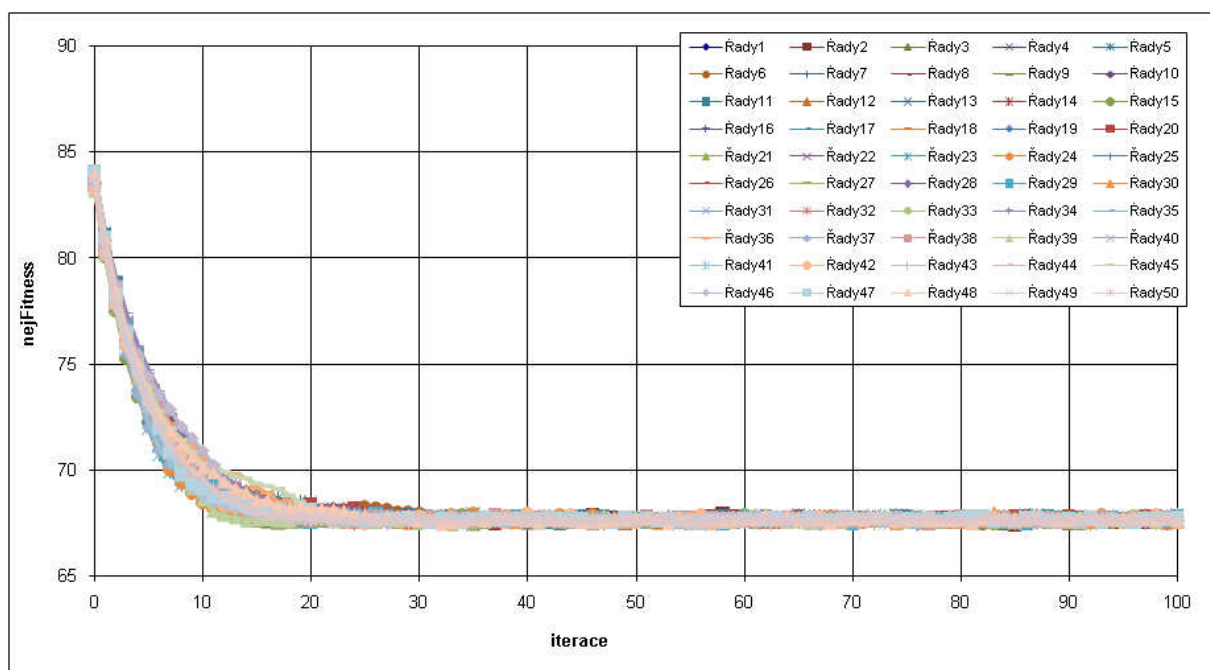
Výsledné hodnoty zobrazené grafickou formou jsou na následujících grafech:



Graf 1: Průběh nejlepší fitness funkce z 50-ti výpočtů



Graf 2: Průběh rozptylu fitness funkce z 50-ti výpočtů



Graf 3: Průběh průměrné fitness funkce z 50-ti výpočtů

8 ZÁVĚR

Navržený způsob optimalizace tvorby týmů pomocí genetických algoritmů prokázal schopnost efektivně a rychle řešit zadaný problém. Vypočítané sestavy osob, které spolu mají vytvořit tým, se v praxi ukázaly jako fungující a takto sestavené týmy skutečně úspěšně plnily své úkoly. Jelikož se řešená problematika nachází v oblasti jednorázových, objektivně neopakovatelných projektů, považuje se za úspěšný takový tým, který dle očekávání vedoucích pracovníků splní zadané

úkoly kvalitně a v termínu. Není dost dobře možné vrátit se v reálném životě zpět a vyzkoušet, jak by danou zakázku (projekt či úkol) splnil jiný tým v tom stejném čase, prostředí a okolních vlivech. Je tudíž vhodné vycházet i ze zkušeností a porovnat genetickým algoritmem navržený tým s představou vedoucího pracovníka.

V rámci testování programu byly rovněž zpětně vytvořeny modely již existujících týmů ve více firmách. V rámci konzultací s vedoucími pracovníky potom byly diskutovány rozdíly mezi modely a skutečností a tím byly rovněž validovány výsledky výpočtů, jelikož vymodelované týmy byly z pohledu těchto vedoucích pracovníků životaschopné..

Zhodnocení splnění cílů práce:

- matice hodnotících kritérií – byla navržena obecně použitelná matice pro zaznamenání vstupních osobních i technických parametrů jednotlivých osob. Rozměr matice je možné měnit dle konkrétní řešené úlohy a to včetně individuálního zvolení počtu osobních i technických parametrů.
- fitness funkce – byla navržena fitness funkce (FT), která v sobě zahrnuje tři dílčí fitness funkce osobních vlastností (FOV), synergického efektu (FSE) a znalostí a zkušeností (FZZ). Pomocí vah je možné upřednostnit či potlačit kteroukoliv z těchto dílčích funkcí dle požadavků konkrétní řešené úlohy.
- vhodné vstupní parametry genetického algoritmu – testováním citlivosti navrženého programu na různé hodnoty vstupních parametrů genetického algoritmu byly nalezeny následující hodnoty, při kterých lze získat optimální výsledky v reálném čase: velikost populace $N = 500$, selekce $tT = 2$, pravděpodobnost mutace $Pm = 1/30$ a počet iterací $pc = 100$.
- způsob zakódování jedinců – z matic hodnotících kritérií, které byly vyplněny pro všechny uvažované osoby, byly sestaveny číselné kódy pro každého člověka, pod kterým daný člověk vstupuje do optimalizačního programu.
- způsob zadání požadavků na výsledný tým – realizováno pomocí matice požadovaných kvalit (značek) ve výsledném týmu pro každou profesní skupinu zvlášť.
- váhová matice významnosti dílčích vlastností – v rámci definice požadavků na výsledný tým je možné váhovým způsobem upřednostnit či potlačit kteroukoliv konkrétní vlastnost pro každou profesní skupinu zvlášť dle požadavků řešené úlohy.
- vlastní algoritmus pro testování této hypotézy – byl vytvořen optimalizační program v jazyku Java (vývojové prostředí NetBeans 5.0 IDE). Výsledné matice byly dále zpracovány v tabulkovém procesoru MS Excel za účelem vytvoření grafů a tabulek v barevných škálách z důvodů snadné optické kontroly výsledků výpočtů.
- způsob interpretace výsledků – matice číselných kódů, která vykazovala nejlepší (nejnižší) hodnotu fitness funkce, byla podle kódovací tabulky zpětně převedena na jména konkrétních osob, kterým dané číselné kódy patřily a vyhodnocena. Tímto byl získán optimální výsledný tým.

Vytvořený optimalizační program je experimentálního charakteru (pro účely disertační práce). K rutinnímu využití v podnikové praxi by bylo zapotřebí vytvořit verzi programu s grafickým uživatelským rozhraním a umožnit uživateli snadněji měnit nastavení různých parametrů. Nicméně je možné optimalizační program plnohodnotně používat i ve stávající formě, kde je k dispozici méně komfortní uživatelské rozhraní v textové podobě. Navržené řešení je detailně popsáno (včetně celého algoritmu a nastavení) a stává se tak východiskem pro další vědecko-výzkumnou činnost.

9 LITERATURA

- [1] SEKAJ, I. Riešenie problémov pomocou genetických algoritmov. *Automatizace*, září 2004, roč. 47, č. 9, s. 552-555. ISSN 0005-125X.
- [2] SLÁMA, L. *Genetický algoritmus a jeho využití pro řešení identifikačních a optimalizačních úloh inženýrské mechaniky*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 2000. 31 s. ISBN 80-214-1773-0.
- [3] HUBER, A. *Emocionální inteligence*. 1. vyd. Praha: ZEMS, 2005. 90 s. ISBN 80-903305-6-8.
- [4] DAWKINS, R. *Sobecký gen*. 2. vyd. Praha: Mladá fronta, 1998. 320 s. ISBN 80-204-0730-8.
- [5] SEKAJ, I. Genetické algoritmy pri návrhu regulátorov a pri statickej optimalizácii procesov. *Automatizace*, září 2004, roč. 47, č. 10, s. 617-620. ISSN 0005-125X.
- [6] MAŘÍK, V. - ŠTĚPÁNKOVÁ, O. - LAŽANSKÝ, J. a kol. *Umělá inteligence (3)*. Praha: Academia, 2001. 328 s. ISBN 80-200-0472-6.
- [7] ZELINKA, I. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. Praha: Ben, 2002. 192 s. ISBN 80-7300-069-5.
- [8] BARTSCH, H. J. *Matematické vzorce*. Praha: Mladá Fronta, 1996. 831 s. ISBN 80-204-0607-7.
- [9] OŠMERA, P. *Genetické algoritmy a jejich aplikace*. [Habilitationní práce]. Brno. Vysoké učení technické v Brně, 2001. 108 s.
- [10] HAYES, N. *Psychologie týmové práce – strategie efektivního vedení týmu*. 1. vyd. Praha: Portál, s.r.o., 2005. 189 s. ISBN 80-7178-983-6.
- [11] KOLAJOVÁ, L. *Týmová spolupráce*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing a.s., 2006. 105 s. ISBN 80-24717-64-6.
- [12] BAY, R. *Účinné vedení týmů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 2000. 152 s. ISBN 80-247-9068-8.
- [13] KLAPKA, J., PIŇOS, P. Decision support system for multicriterial R&D and information systems projects selection. *European Journal of Operational Research* 140, 2002, p. 434-446.
- [14] BELBIN, M. *Management Teams*. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 2004. 201 p. ISBN 0-7506-5910-6.
- [15] BELBIN, M. *Team Roles at Work*. 1st ed. Oxford: Elsevier, 2003. 141 p. ISBN 0-7506-2675-5.
- [16] HLAOITTINUN, O., BONJOUR, E., DULMET, M. A multidisciplinary team building method based on competency modelling in design project management. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2008, Vol. 3, No. 3, p 163-175. ISSN 1750-9653.

Elektronické zdroje informací

- [17] ČERNÝ, T. *Demonstrační program GATSP.exe* [online]. Bakalářská práce. Brno: Masarykova Univerzita, 2004. [cit. 2006-05-03]. Dostupné z <<http://www.cba.muni.cz>>.
- [18] Hestley a.s. *Co umožňuje technologie genetických algoritmů* [online], 2005. [cit. 2006-04-21]. Dostupné z <<http://www.hestley.com>>.
- [19] ŽIŽKA, J: *Evoluční výpočty – Genetické algoritmy* [online], 2005. [cit. 2006-05-03]. Dostupné z <<http://www.cba.muni.cz>>.
- [20] Computer Science Department at Boston University. *Parallel Genetic Algorithms* [online], 2005. [cit. 2006-02-16]. Dostupné z <<http://cs-pub.bu.edu>>.
- [21] The Genetic Programming Notebook. *The Genetic Programming Tutorial* [online], 2005. [cit. 2006-01-25]. Dostupné z <<http://www.geneticprogramming.com>>.
- [22] OŠMERA, P. *Neuronové sítě* [online], Brno: VUT v Brně, FSI, ÚAI, 2004. [cit. 2004-10-11]. Dostupné z <<http://www.fme.vutbr.cz>>.
- [23] JOHNO. *Minimalizácia CSS genetickým algoritmom* [online], 2004. [cit. 2005-08-20]. Dostupné z <<http://johno.jsmf.net>>.
- [24] Hestley a.s. *Analýza pracovníků metodou genetických algoritmů* [online], 2005. [cit. 2006-04-21]. Dostupné z <<http://www.analyzy.cz>>.
- [25] Hestley a.s. *Moderní a tradiční matematické metody analýzy dat* [online], 2005. [cit. 2006-04-21]. Dostupné z <<http://www.analyzy.cz>>.
- [26] MAREŠ, M. *Design pro formuli 1 vyvíjí i genetický algoritmus* [online], 2004. [cit. 2005-12-07]. Dostupné z <<http://ihned.cz>>.
- [27] WIKIPEDIA. *Hlavní strana – Rozptyl (statistika) – Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. [citováno 7. 10. 2006]. Dostupné z URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl_%28statistika%29>
- [28] BELBIN – týmové role. *Popis týmových rolí* [online], 2008. [cit. 2008-03-05]. Dostupné z <<http://www.belbin.cz>>.
- [29] TEAM.CZ, s.r.o. *Belbin Team Roles* [online], 2004. [cit. 2007-11-10]. Dostupné z <<http://www.teamtech.cz>>.
- [30] Týmové role. *Týmové role* [online], 1999. [cit. 2007-04-08]. Dostupné z <<http://lukov.brontosaurus.cz>>.

CV AUTORA

OSOBNÍ ÚDAJE

Jméno a příjmení: Jiří Špaček
Datum narození: 3. června 1980
Trvalé bydliště: Kachlíkova 7, 635 00 Brno
Mobilní telefon: +420 777 004 819
E-mail: jiri.spacek@centrum.cz

VZDĚLÁNÍ

2004 – 2007 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, magisterské studium, obor Řízení a ekonomika podniku, ukončeno SZZ, titul Ing.

2003 – dosud Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, doktorské studium, obor Konstrukční a procesní inženýrství, zaměření Concurrent Engineering
SZZ 2006, plánované ukončení obhajobou práce v roce 2010

2001 – 2004 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, bakalářské studium, obor Strojírenství, zaměření Aplikovaná informatika a řízení
ukončeno SZZ, titul Bc.

1998 – 2003 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, magisterské studium, obor Pozemní stavitelství, zaměření Technická zařízení budov
ukončeno SZZ, titul Ing.
Uděleno ocenění děkana za výbornou diplomovou práci

1994 – 1998 Střední průmyslová škola strojnická a Vyšší odborná škola technická, Sokolská 1, 602 00 Brno
ukončeno maturitou s vyznamenáním

PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

1999– dosud SW-UNIVERSITY, s.r.o., COMPUTER AGENCY, o.p.s., NICOM, a.s., ApS Brno, s.r.o., MARLIN, s.r.o.
certifikovaný lektor firem Autodesk a Microsoft

2009 – dosud ECM System Solutions s.r.o.
Specialista pro oblast PDM, konzultant IT a CAD

2005 – dosud Autodesk, s.r.o., webový portál www.autodeskclub.cz
externí redaktor pro oblast CAD technologií

- 2003 – dosud COMPUTER PRESS, a.s.
Externí redaktor pro oblast CAD technologií, autor odborných knih z oblasti CAD systémů
- 2003 – dosud SOVA SYSTEMS Č.R., spol. s r.o.
Specialista pro oblast PDM, konzultant IT a CAD
- 2003 – 2006 CP-ONLINE, a.s., webový portál www.24hdesign.cz
Externí redaktor pro oblast CAD a GIS technologií
- 2003 – dosud Rektorát Vysokého učení technického v Brně
lektor přípravných kurzů informatiky a počítačové grafiky, vedení přípravy na kurzy ECDL (European Computer Driving Licence) a MOS (Microsoft Office Specialist)

CERTIFIKÁTY

Mezinárodní certifikace od společnosti Microsoft – Microsoft Office Specialist
Mezinárodní certifikace od společnosti Autodesk – Product Support Certificate, Autodesk Approved Instructor

OSTATNÍ

- Jazyky: anglický jazyk: středně pokročilá znalost
- SW znalosti: MS Windows, MS Office, několik CAD produktů (AutoCAD, Autodesk Inventor, VariCAD, Mechsoft, Autodesk Map, Autodesk Architectural Desktop, DesignCAD), HTML, programy pro práci s audio a video signálem atd.
- Řidičský průkaz: sk. A, B
- Vlastnosti: samostatnost, cílevědomost, komunikativnost, flexibilita, organizační schopnosti

ZÁLIBY

cykloturistika, vysokohorská turistika, letecké modelářství, elektrotechnika

ABSTRAKT

Disertační práce se zabývá optimalizací tvorby pracovních týmů ve firmách. Základem je práce Dr. Meredith Belbina z Henley Management College, který je autorem tzv. Belbinovy teorie týmových rolí. Tato teorie definuje základní role v týmu včetně popisu vzorců jejich chování, přičemž pro správné fungování libovolného týmu je důležité, aby v něm byly zastoupeny všechny role.

V praxi je však potřeba, aby konkrétní lidé splňovali nejen osobnostní a psychologické předpoklady, ale také odborné znalosti či jiné požadavky. Doplněním těchto parametrů konkrétním lidem však vzniká obrovské množství možných variant výsledného týmu, které není možné tradičními metodami snadno a v reálném čase vyhodnotit. Z toho důvodu byly zvoleny k vyhodnocení tzv. genetické algoritmy, které jsou inspirované přírodními vývojovými procesy popsány již dříve J. G. Mendelem a Ch. Darwinem. Genetické algoritmy se vyznačují poskytnutím dobrých výsledků řešené úlohy ve velmi krátkém čase, přičemž úloha nemusí mít exaktní zadání a správných řešení proto může být více.

V rámci disertační práce byl sestaven program v jazyce Java, jehož jádrem je genetický algoritmus a v kterém bylo uskutečněno modelování konkrétních týmů. Následovalo ověření výsledků programu sestavením týmů pro realizaci nových úkolů a sledováním jejich činnosti v praxi. Rovněž byla provedena modelová verifikace týmů sestavených již dříve pouze na základě zkušeností vedoucích pracovníků a byly porovnány výsledky.

ABSTRACT

The thesis pertains to optimisation of workgroups in companies. It is based on the work of Dr. Meredith Belbin from the Henley Management College, who is the author of the so-called Belbin's team role theory. The theory defines fundamental roles within a team including specifications of the behavioural patterns while stipulating that in order to ensure proper functionality of a team, it is essential for all the roles to be represented in it.

However, in practice it is necessary for specific people to comply not only with certain personal and psychological requirements but also professional expertise and other requirements. Nevertheless, by the means of adding these parameters to specific people, an enormous number of possible alternatives of the resulting team, which may not be evaluated (easily and in the real time) using traditional methods, proves to come to existence. Therefore, the so-called genetic algorithms inspired by natural development processes originally described by J. G. Mendel and Ch. Darwin were selected for evaluation purposes. The genetic algorithms feature good solutions to the task to be resolved in a very short time while the task does not have to be based on exact specifications and therefore several solutions might exist.

A Java application was created within the scope of the thesis; its core comprises a genetic algorithm and it was used for the purpose of modelling of specific teams. The results provided by the application were subsequently verified by the means of

creation of teams used for completion of new tasks and monitoring their activities in practice. Furthermore, the model verification of teams previously created solely on the basis of experience of executives was performed and the respective results were compared.