



**FAKULTA  
INFORMAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ČVUT V PRAZE**

## Zadání bakalářské práce

<b>Název:</b>	Evaluace frameworku SEAGE
<b>Student:</b>	David Omrai
<b>Vedoucí:</b>	Ing. Mgr. Ladislava Smítková Janků, Ph.D.
<b>Studijní program:</b>	Informatika
<b>Obor / specializace:</b>	Znalostní inženýrství
<b>Katedra:</b>	Katedra aplikované matematiky
<b>Platnost zadání:</b>	do konce letního semestru 2021/2022

### Pokyny pro vypracování

Cílem této bakalářské práce je návrh a implementace propojení evaluátoru hyper-heuristik HyFlex a optimalizačního frameworku SEAGE a zhodnocení optimalizačního frameworku SEAGE z pohledu aktuálního stavu výzkumu v oblasti hyper-heuristik.

1. Seznamte se s problematikou hyper-heuristik, zpracujte rešerši aktuálního stavu výzkumu v této oblasti.
2. Seznamte se s frameworkem SEAGE a s testovacím prostředím HyFlex.
3. Navrhněte a implementujte způsob propojení frameworku SEAGE a testovacího prostředí HyFlex.
4. Navrhněte a realizujte experimenty pro evaluaci hyper-heuristik/meta-heuristik, prezentujte výsledky experimentů.
5. Navrhněte vylepšení hyper-heuristiky, implementujte toto vylepšení a otestujte ho.
6. Zhodnoďte framework SEAGE v kontextu aktuálního stavu výzkumu v oblasti hyper-heuristik.

---

*Elektronicky schválil/a Ing. Karel Klouda, Ph.D. dne 28. ledna 2021 v Praze.*



Bakalářská práce

# **EVALUACE FRAMEWORKU SEAGE**

**David Omrai**

Fakulta informačních technologií ČVUT v Praze  
Katedra teoretické informatiky  
Vedoucí: Ing. Mgr. Ladislava Smítková Janků, Ph.D  
20. dubna 2021

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta informačních technologií

© 2020 David Omrai. Všechna práva vyhrazena.

*Tato práce vznikla jako školní díla na Českém vysokém učení technické v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bez uplatněných zákonných licencí nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení je nezbytný souhlas autora.*

Odkaz na tuto práci: David Omrai. *Evaluace frameworku SEAGE*. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2021.

## Obsah

Poděkování	vi
Prohlášení	vii
Abstrakt	viii
Shrnutí	ix
Seznam zkratek	x
<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Motivace . . . . .	1
1.2 Cíle této práce . . . . .	1
1.3 Aktuální stav výzkumu hyperheuristik . . . . .	1
<b>2 Teorie</b>	<b>3</b>
2.1 Optimalizační problémy . . . . .	3
2.1.1 Problém splnitelnosti booleovské formule . . . . .	3
2.1.2 Problém obchodního cestujícího . . . . .	3
2.2 Heuristiky . . . . .	3
2.2.1 Náhodné řešení . . . . .	3
2.2.2 Hladový algoritmus . . . . .	3
2.3 Metaheuristiky . . . . .	3
2.3.1 Klasifikace . . . . .	3
2.3.2 Genetický algoritmus . . . . .	4
2.3.3 Tabu prohledávání . . . . .	4
2.3.4 Simulované žíhání . . . . .	4
2.3.5 Mravenčí kolonie . . . . .	4
2.4 Hyperheuristiky . . . . .	4
2.4.1 Klasifikace . . . . .	4
2.4.2 EPH . . . . .	4
2.4.3 GIHH/AdapHH . . . . .	4
2.4.4 ISEA . . . . .	4
2.4.5 LeanGIHH . . . . .	4
2.4.6 PHUNTER . . . . .	4
2.5 Optimalizační frameworky . . . . .	5
2.5.1 SEAGE . . . . .	5
2.5.2 HyFlex . . . . .	5
2.6 Metriky . . . . .	5
2.6.1 Bodový systém formule 1 . . . . .	5
2.6.2 UnitMetric . . . . .	5

<b>3 Implementace</b>	<b>7</b>
3.1 Prvotní představa implementace evaluátoru k porovnání heuristik . . . . .	7
3.2 Finální implementace evaluátoru k porovnání heuristik . . . . .	7
3.2.1 Představení nového evaluátoru heuristik . . . . .	7
3.3 Evaluátor ve frameworku HyFlex . . . . .	7
3.3.1 Použité třídy . . . . .	7
3.4 Evaluátor ve frameworku SEAGE . . . . .	7
3.4.1 Použité třídy . . . . .	7
3.5 Implementace heuristiky ve frameworku SEAGE . . . . .	8
<b>4 Experimenty</b>	<b>9</b>
4.1 Experiment . . . . .	9
<b>5 Závěr</b>	<b>11</b>
<b>A Nějaká příloha</b>	<b>13</b>
<b>Obsah přiloženého média</b>	<b>17</b>

**Seznam obrázků**

**Seznam tabulek**

**Seznam výpisů kódu**

*Chtěl bych poděkovat především Ing. Mgr. Ladislavě Smítků Jánků, Ph.D za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu tvorby této bakalářské práce věnovala. Dále bych rád poděkoval Ing. Richardu Málkovi, za jeho nesčetné rady během spolupráce na vývoji frameworku SEAGE. Na závěr chci poděkovat i své rodině, která mi byla oporou během zpracovávání této práce.*



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 2373 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mojí práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (byť jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu) licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Praze dne 9. května 2021

.....

## Abstrakt

Tato práce je zaměřena na zhodnocení optimalizačního frameworku SEAGE z pohledu aktuálního stavu výzkumu v oblasti hyperheuristik. Pro toto zhodnocení práce představuje novou metriku, která algoritmy ohodnocuje objektivně dle kvality jejich řešení instancí problémů.

Porovnání je provedeno mezi již implementovanými heuristikami, nově představenou hyperheuristikou v frameworku SEAGE a hyperheuristikami účastníků mezinárodní výzvy CHeSC2011. V rámci této výzvy měli účastníci za úkol implementaci hyperheuristik ve frameworku HyFlex. Ten je využit především k získání řešení těchto účastníků nad různými instancemi problémů. Získaná data se společně s těmi z frameworku SEAGE ohodnotili novou metrikou a v této práci vyvodily závěry.

Hlavním cílem této práce je návrh a implementace propojení nově představeného evaluátoru algoritmů s heuristikami z frameworků SEAGE a HyFlex. Demonstrace tvorby hyperheuristik a kritické zhodnocení optimalizačního frameworku SEAGE z pohledu aktuálnosti stavu výzkumu hyperheuristik.

**Klíčová slova** SAT, TSP, metaheuristika, hyperheuristika, implementace hyperheuristiky, ohodnocení výsledků heuristik, interpretace řešení, SEAGE, HyFlex, CHeSC2011, ISEA, AdapHH, EPH, PHUNTER

## Abstract

This work

**Keywords** metaheuristic, hyperheuristic, SAT, TSP, CHeSC2011, ACO, GA, ISEA, AdapHH, EPH, SEAGE, HyFlex

## Shrnutí

### Motivace

dopsat motivaci

### Cíl práce

dopsat cíle práce

### Postup

dopsat postup

### Výsledky práce

dopsat výsledky

### Závěr

dopsat závěr

## Seznam zkratek

SEAGE	A hyper-heuristic framework for collaboration of metaheuristic algorithms
HyFlex	A Benchmark Framework for Cross-domain Heuristic Search
CHeSC2011	Cross-Domain Heuristic Search Challenge 2011
TSP	Travelling Salesman Problem
SAT	Boolean satisfiability problem
GA	Genetic Algorithm
ACO	Ant Colony Optimization
PHUNTER	Pearl Hunter
ISEA	Iterated Search Driven by Evolutionary Algorithm
AdapHH	An adaptive hyper-heuristic
EPH	Evolutionary Programming Hyper-heuristic

# Úvod

## 1.1 Motivace

Každý z nás je vybaven komplexním herutistickým strojem, který je využit pro řešení obrovského množství optimalizačních problémů. I přesto je však výzkum heuristik poměrně novým vědním oborem. Který od představení prvních formálních studií heuristik, mezi lety 1940 – 1980, urazil dalekou cestu.[3]

Po dlouhou dobu mělo studium heuristik obtíže být bráno vážně. Převládal názor, že oproti algoritmům postrádají jakousi analytickou čistotu, zaslouženou akademickým výzkumem. Nicméně se dá těžko argumentovat proti jejich přínosu u řešení optimalizačních problémů.[4] Kterým potvrzují svou aktuálnost a užitečnost pro další zkoumání.

## 1.2 Cíle této práce

Hlavním cílem této práce je zhodnocení optimalizačního frameworku SEAGE z pohledu aktuálního stavu výzkumu v oblasti hyperheuristik.

Toho je v této práci dosaženo využitím nejlepších hyperheuristik účastníků mezinárodní výzvy CHeSC2011 a heuristikami ve frameworku SEAGE.

Aby však bylo možné vyvozovat nějaké závěry, je zapotřebí dat. Především takových, u kterých je možná ověřitelnost jejich reprodukovatelností. Tím je v tomto kontextu myšlena množina řešení optimalizačních problémů, získaných vybranými heuristikami.

Reprodukovatelnost je zajištěna využitím frameworkem HyFlex, který byl právě v rámci CHeSC2011 využit. Stránky výzvy nabízejí referenční řešení jednotlivých účastníků nad množinou použitých instancí problémů (SAT, TSP). V rámci této práce tyto data reprodukuji na svém systému a porovnáním s referenčními ověřuji jejich pravdivost.

Data se ale nedají sama o sobě využít k vyvozování závěrů. Je je třeba určitým způsobem ohodnotit. Zajistit objektivní zhodnocení informace obsažené v nich a na základě ní i porovnání s ostatními.

### 1.3 Aktuální stav výzkumu hyperheuristik

dopsat aktuální stav výzkumu hyperheuristik [2]





## Kapitola 2

# Teorie

### 2.1 Optimalizační problémy

napsat druhy a typy optimalizačních problémů, o co jde

#### 2.1.1 Problém splnitelnosti booleovské formule

přiblížit čím se zabývá

#### 2.1.2 Problém obchodního cestujícího

přiblížit čím se zabývá

### 2.2 Heuristiky

neco o nich

#### 2.2.1 Náhodné řešení

neco o náhodném řešení

#### 2.2.2 Hladový algoritmus

neco o náhodném hladovém algoritmu

### 2.3 Metaheuristiky

neco o metaheuristikách kde se dají využít atd..

#### 2.3.1 Klasifikace

lokalní a globalní prohledávání

### 2.3.2 Genetický algoritmus

neco o genetice  
dopsat teorii o metahuristice

### 2.3.3 Tabu prohledávání

neco o tabu prohledávání

### 2.3.4 Simulované žihání

neco o zihani

### 2.3.5 Mravenčí kolonie

neco o mravensi kolonii

## 2.4 Hyperheuristiky

dopsat teorii o hyperheuristice

### 2.4.1 Klasifikace

lokalni a globalni vyhledavani

### 2.4.2 EPH

neco o eph

### 2.4.3 GIHH/AdapHH

neco o GIHH

### 2.4.4 ISEA

neco o ISEA

### 2.4.5 LeanGIHH

neco o leangihh[1]

### 2.4.6 PHUNTER

neco o pearl hunter



## 2.5. Optimalizační frameworky

### 2.5 Optimalizační frameworky

#### 2.5.1 SEAGE

neco o seage

#### 2.5.2 HyFlex

neco o hyflexu

### 2.6 Metriky

neco o metrice

#### 2.6.1 Bodový systém formule 1

neco o bodovem systemu pouzitem v hyflexu

#### 2.6.2 UnitMetric

neco o nove metrice



## Kapitola 3

# Implementace

### 3.1 Prvotní představa implementace evaluátoru k porovnání heuristik

napsat o tom, jak se chtěla využít metrika f1 a její problémy co bylo prvne zamysleno, ukazat představovane napojeni metriku a proc to nemohlo fungovat, protoze maji schovane zdrojove kody a jak poskytuji heuristikam pristup k reseni  
ze není sance mít instanci problemu, ze hh neví o problemu atd..

### 3.2 Finální implementace evaluátoru k porovnání heuristik

co se muselo udelat a s cim se skoncilovy srozumitelny zpusob srovnani

#### 3.2.1 Představení nového evaluátoru heuristik

co se muselo udelat a s cim se skoncilovy

### 3.3 Evaluátor ve frameworku HyFlex

co se muselo udelat a s cim se skoncilovy nejenom nova metrika, ale rekonstrukce souteze, reprodukce vysledku, prepsani trid a upraveni ukladani dat

#### 3.3.1 Použité třídy


### 3.4 Evaluátor ve frameworku SEAGE

co se implementovalo

#### 3.4.1 Použité třídy

## **3.5** Implementace heuristiky ve frameworku SEAGE

ukazat jak jsem vyuzil pripravenou metriku, co z toho vypadlo



## Kapitola 4

# Experimenty

### 4.1 Experiment

doplňit experimenty





## Kapitola 5

# Závěr

nejaka omacka na konec







# Kapitola A

## Nějaká příloha

Sem přijde to, co nepatří do hlavní části.



# Literatura

- [1] Steven Adriaensen and Ann Now'e. Case study: An analysis of accidental complexity in a state-of-the-art hyper-heuristic for hyflex. In *Evolutionary Computation (CEC), 2016 IEEE Congress on*. IEEE, 2016. URL: <https://github.com/Steven-Adriaensen/Lean-GIHH>.
- [2] John H. Drake, Ahmed Kheiri, Ender Özcan, and Edmund K. Burke. Recent advances in selection hyper-heuristics. *European Journal of Operational Research*, 285(2):405–428, 2020. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221719306526>, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.07.073>.
- [3] Kenneth Sörensen, Marc Sevaux, and Fred Glover. A history of metaheuristics. *Handbook of Heuristics*, to appear:1–6, 01 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/315811561\\_A\\_History\\_of\\_Metaheuristics](https://www.researchgate.net/publication/315811561_A_History_of_Metaheuristics).
- [4] Kenneth Sörensen, Marc Sevaux, and Fred Glover. A history of metaheuristics. *Handbook of Heuristics*, to appear:19–20, 01 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/315811561\\_A\\_History\\_of\\_Metaheuristics](https://www.researchgate.net/publication/315811561_A_History_of_Metaheuristics).



# Obsah přiloženého média

	readme.txt.....	stručný popis obsahu média
	exe.....	adresář se spustitelnou formou implementace
	src	
	impl.....	zdrojové kódy implementace
	thesis.....	zdrojová forma práce ve formátu L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X
	text.....	text práce
	thesis.pdf.....	text práce ve formátu PDF