

Komponenta výukového serveru TI - P-úplné problémy

Component of Teaching Server for Theoretical Computer Science - Pcomplete problems

Tomáš Kirnig

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Martin Kot, Ph.D.

Ostrava, 2025

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Kirnig

Studijní program:

B0613A140014 Informatika

Téma:

Komponenta výukového serveru TI - P-úplné problémy
Component of Teaching Server for Theoretical Computer Science - P-
complete problems

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomových a bakalářských prací vzniká výukový server pro předměty teoretické informatiky. Jedná se o sadu dynamických webových stránek umožňujících studentům pochopení různých typů úloh a problémů. Na rozdíl od běžných výukových textů s pevně daným počtem ukázkových příkladů umí tyto stránky generovat libovolně mnoho ukázek na základě vstupů od uživatele. Cílem této konkrétní bakalářské práce je vytvořit komponentu pro pomoc s výukou tzv. P-úplných problémů.

Vytvořte dynamické webové stránky umožňující uživateli následující:

1. Simulovat výpočet řešení problému Monotone Circuit Value Problem (MCVP) a alespoň 2 dalších P-úplných problémů.
2. Vstupy těchto algoritmů bude moci uživatel zadávat třemi způsoby:
 - a) Vhodným, uživatelsky přívětivým, způsobem ručně.
 - b) Nechat si vstup vygenerovat zcela náhodně podle nastavených parametrů.
 - c) Vybrat z předpřipravené sady vhodně zvolených vstupů.
3. Bude možné si zobrazit převod instance problému MCVP na ty dva zvolené P-úplné problémy. Přitom:
 - a) Instanci MCVP pro převod bude možné zadat kterýmkoliv z výše uvedených způsobů.
 - b) Převod si bude moci uživatel krokovat se zobrazením slovního vysvětlení jednotlivých kroků.
 - c) Na převodem vytvořenou instanci bude opět možné použít výše požadovanou simulaci výpočtu řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Miyano, S., Shiraishi, S., Shoudai, T.: "A List of P-Complete Problems", Kyushu University, RIFIS-TR-CS-17, December 1990, dostupné z URL: https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/3123/rifis-tr-17.pdf
- [2] Sawa, Z.: "Teoretická informatika", podklady pro přednášky, VŠB - Technická univerzita Ostrava, dostupné z URL: <https://www.cs.vsb.cz/sawa/ti/slides/ti-slides-03.pdf>
- [3] Papadimitriou, C.: Computational Complexity, Addison Wesley, 1993
- [4] Arora, S., Barak, B.: Computational Complexity: A Modern Approach, Cambridge University Press, 2009

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Kot, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2024

Datum odevzdání: 30.04.2025

Garant studijního programu: doc. Mgr. Miloš Kudělka, Ph.D.

V IS EDISON zadáno: 30.10.2024 09:50:55

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem výukové webové aplikace pro demonstraci P-úplných problémů. Hlavním cílem je usnadnit studentům pochopení a procvičení takových úloh, mezi které patří například *Monotone Circuit Value Problem* (MCVP) a dvě další vybrané P-úplné úlohy. V rámci práce jsou implementovány moduly pro interaktivní zadávání vstupů uživatelem (ručně, náhodnou generací nebo výběrem z připravené sady) a simulaci výpočtu řešení. Uživatel má rovněž možnost sledovat krokový převod instance MCVP na jiné P-úplné problémy a následně i jejich samotné řešení. Výsledná aplikace demonstruje principy teoretické informatiky včetně pojmu P-úplnosti a poskytuje rozšiřitelný základ pro výukové účely.

Klíčová slova

Teoretická informatika, P-úplné problémy, Monotone Circuit Value Problem, webová aplikace, simulace, převod instancí

Abstract

This bachelor's thesis focuses on the development of a teaching-oriented web application for illustrating P-complete problems. The main goal is to facilitate students' understanding and practice of such tasks, including the *Monotone Circuit Value Problem* (MCVP) and two additional P-complete problems. The project implements modules for interactive input of problem instances (manually, via random generation, or by selecting from a pre-defined set) and provides a simulation of their solutions. Users can also observe a step-by-step reduction from an MCVP instance to other P-complete problems and subsequently explore how those are solved. The resulting application demonstrates key concepts of theoretical computer science, including the notion of P-completeness, and provides a flexible basis for educational use.

Keywords

Theoretical computer science, P-complete problems, Monotone Circuit Value Problem, web application, simulation, instance reduction

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	6
Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
1 Úvod	9
2 Technické detaily	10
2.1 Křížové odkazy	10
2.2 Jak citovat	10
2.3 Překlad	11
Literatura	12
Přílohy	12
A Dlouhý zdrojový kód	13

Seznam použitých zkratek a symbolů

MCVP	– Monotone Circuit Value Problem
PC	– P-complete
BFS	– Breadth-First Search
DFS	– Depth-First Search

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Kapitola 1

Úvod

V oblasti teoretické informatiky hrají složitostní třídy zásadní roli při porozumění tomu, jak obtížné je řešit určité problémy pomocí algoritmů. Jednou z nejdůležitějších složitostních tříd je třída P , která zahrnuje všechny problémy řešitelné v polynomiálním čase na deterministickém Turingově stroji [1]. Některé úlohy spadající do této třídy jsou však považovány za tzv. P -úplné (P -complete), což znamená, že jsou nejkompexnějšími problémy této třídy z hlediska paralelní vypočitatelnosti [2].

Jedním z klasických příkladů P -úplných problémů je *Monotone Circuit Value Problem* (MCVP), který se zaměřuje na hodnocení logických obvodů složených z monotonních hradel typu AND a OR [3]. Tento problém je často využíván při studiu složitosti algoritmů a při analýze logických struktur, protože reprezentuje základní typ úlohy vyhodnocující hodnotu výrazu na základě vstupních dat.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a implementovat interaktivní výukovou komponentu, která studentům umožní lépe pochopit vlastnosti P -úplných problémů prostřednictvím simulace jejich řešení. V rámci této komponenty budou implementovány simulace řešení problému MCVP a také dvou dalších P -úplných problémů: problému určení vítěze v kombinatorické hře dvou hráčů a problému prázdnosti jazyka generovaného bezkontextovou gramatikou [4]. Uživatelé budou moci zadávat vstupy ručně, generovat je náhodně podle zadaných parametrů nebo vybírat z předem připravených sad.

Další klíčovou funkcí této výukové aplikace bude možnost zobrazit převod instance problému MCVP na jiné P -úplné problémy. Tento převod bude možné provádět krok po kroku, přičemž každý krok bude doprovázen slovním vysvětlením a vizualizací změn [2]. Cílem této funkce je pomoci studentům pochopit principy redukce složitostních problémů a propojení mezi jednotlivými úlohami.

Výsledná aplikace bude navržena jako dynamická webová stránka s uživatelsky přívětivým rozhraním a interaktivní vizualizací. Tato práce by měla přispět k usnadnění výuky teoretické informatiky, konkrétně oblasti složitostní teorie, a zároveň poskytnout flexibilní nástroj pro pochopení náročných konceptů spojených s P -úplnými problémy.

Kapitola 2

Technické detaily

2.1 Křížové odkazy

Odborné texty, mezi které lze počítat i bakalářské, diplomové a disertační práce, obvykle obsahují množství křížových odkazů odkazujících na nejrůznější části textu:

kapitoly – například odkaz na kapitolu ???. Pokud odkazujeme na kapitolu, která je značně vzdálená od současné stránky, bývá dobrým zvykem k odkazu na číslo kapitoly přidat ještě i odpovídající číslo stránky, jako například pokud odkazujeme na kapitolu 1 na straně 9.

obrázky – například odkaz na obrázky ??, ?? a ??. Menší, vzájemně související obrázky můžeme sdružit do jednoho obrázku a odkazovat se buď na menší obrázky, například ?? a ??, nebo na celkový obrázek, spíše řekneme, ilustraci ??.

tabulky – například odkaz na tabulky ?? a ??. Podobně jako u obrázků můžeme menší tabulky ?? a ?? sdružit do jedné společné a odkazovat se na obě menší tabulky jednotně, jako například na tabulku ??.

rovnice – odkazy na rovnice se obvykle uzavírají do kulatých závorek, jako například v odkazech na rovnice (??), (??) nebo (??).

výpisy zdrojového kódu – například odkaz na výpis ??. Výpis ?? je ukázkou výpisu v jiném programovacím jazyce, v tomto případě v jazyce Python, než je výchozí jazyk C++. Samozřejmě se lze odkazovat i na velmi dlouhé výpisy, jako například výpis ?? na straně ?? v příloze ??, který je načítán z externího souboru.

2.2 Jak citovat

Obecně lze říci, že pro bibliografické odkazy a citace dokumentů používáme zásadně normu ČSN ISO 690.

2.2.1 Odkaz v textu

Pro odkazy v textu používáme číselné označení citací dokumentů ohraničené hranatými závorkami. Takže například můžeme citovat časopisecké *články* [herrmann, bertram, moore, yoon, sigfridsson, baez/article], *knihy* [wilde, nietzsche:ksa1, averroes/bland, hammond, cotton, knuth:ct:a, gerhardt, gonzalez, companion], *periodika* [jcg], *bakalářské, diplomové či disertční práce* [geer], *patenty* [kowalik, almendro, sorace, laufenberg], *online zdroje* [ctan, wassenberg, itzhaki, markey, baez/online] či *manuály* [cms].

2.2.2 Seznam citací

Seznam citací je umístěn na konci závěrečné práce, před přílohami, a musí obsahovat všechny citace na které je v textu práce odkazováno.

2.3 Překlad

Pro kompilaci této ukázkové práce úplně od počátku¹ je nutné provést několik spuštění pdfL^AT_EXu a programu Biber v následujícím pořadí:

```
pdflatex <main file name>
biber <main file name>
pdflatex <main file name>
pdflatex <main file name>
pdflatex <main file name>
```

¹Anglicky build from scratch

Literatura

1. PAPADIMITRIOU, Christos H. *Computational Complexity*. Addison-Wesley, 1993. ISBN 978-0201530827.
2. ARORA, Sanjeev; BARAK, Boaz. *Computational Complexity: A Modern Approach*. Cambridge University Press, 2009. ISBN 978-0521424264.
3. MIYANO, S.; SHIRAISHI, S.; SHOUDAI, T. *A List of P-Complete Problems*. 1990. Tech. zpr., RIFIS-TR-CS-17. Kyushu University. Dostupné také z: https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/3123/rifis-tr-17.pdf.
4. SAWA, Zbyněk. *Teoretická informatika – Podklady pro přednášky* [Online]. 2024. Dostupné také z: <https://www.cs.vsb.cz/sawa/ti/slides/ti-slides-03.pdf>.

Příloha A

Dlouhý zdrojový kód