

# Zadání prvního projektu SUI 2023/24

Karel Beneš

9. října 2023

**Changelog:** 9. října 2023 Vyjasněno testování cílových stavů u prohledávání do hloubky  
Zapovězen seznam CLOSED u prohledávání do hloubky

Cílem prvního projektu v SUI je vytvořit sadu prohledávacích algoritmů a demonstrovat jejich funkčnost na hře FreeCell. Prostředí pro vývoj a evaluaci algoritmů je k dispozici na Githubu<sup>1</sup>. Termín odevzdání je 22. října 2023 ve 23:59:59, odevzdává se ve Studisu.

V rámci projektu máte vytvořit celkem čtyři díly:

1. Prohledávání do šířky.
2. Prohledávání do hloubky, s uživatelsky kontrolovatelným limitem hloubky (`--dls-limit DEPTH`). Limit je na délku řešení, která by tak měla být nejvýše `DEPTH` akcí. Ekvivalentně, výchozí stav můžete považovat za hloubku 0.
3. Algoritmus  $A^*$ , s uživatelsky volitelnou heuristikou (`--heuristic nb_not_home | student`).
4. Vhodnou heuristiku pro hru FreeCell.

Je přípustné a vítané implementovat možná zrychlení, jako například testování cílových stavů již při jejich rozbalování – tam, kde to nevede ke ztrátě optimálnosti algoritmu. Na druhé straně se držte tradiční formulace algoritmů, takže při prohledávání do šířky uchovávejte – a testujte – již prozkoumané stavy a při prohledávání do hloubky naopak žádnou paměť již prozkoumaným stavům nevěnujte.

**Rozhraní řešení** Aby se dal pohodlně předávat a konfigurovat, je každý prohledávací algoritmus instancí třídy dědící rozhraní `SearchStrategyItf` (`search-interface.h`), očekává se tedy od něj, že bude metodou `solve(init_state)` hledat řešení z dodaného stavu. Prohledávací stav `SearchState` za tím účelem poskytuje seznam v něm proveditelných akcí (`.actions()`) a test, zda je řešením (`.isFinal()`). Prohledávací akce `SearchAction` má jedinou relevantní metodu, a sice `.execute(state)`, která vrací výsledný stav<sup>2</sup>. Řešením je potom posloupnost akcí.

Heuristiky u  $A^*$  potřebují přístup k vlastnímu stavu hry (`game.h:GameState`), který je privátní členskou proměnnou objektů `SearchState`. Přístup k ní je k dispozici prostřednictvím funkce `compute_heuristic()` (implementace je v `strategies-provided.cc`), která je přítelem `SearchState`. Instanci heuristiky dostane  $A^*$  při konstrukci (zajištěno ve vstupním souboru programu, tj. `fc-sui.cc`) a odkaz na ni předá funkci `compute_heuristic()`.

**Náležitosti řešení** Implementovat budete v jazyce C++17, odevzdávat budete jediný soubor `sui-solution.cc`, v němž budou implementovány veškeré potřebné metody a funkce. Definice očekávaných metod naleznete v hlavičkovém souboru `search-strategies.h`. Ukázka prohledávacího algoritmu a heuristiky je v souboru `strategies-provided.cc`. Je zapovězeno obcházení typového systému<sup>3</sup>, spouštění dalších vláken/procesů a práce se souborovým systémem. Není dovoleno používat jiné než standardní knihovny, cizí implementace používejte nanejvýše pro volnou inspiraci, raději vůbec. Obecně se držte rozhraní dodaného v souboru `search-interface.h`, v případě nejistoty se zeptejte.

**Paměťová omezení** Jak se v projektu sami přesvědčíte, prohledávání do šířky, ať už s heuristikou nebo bez, je paměťově velmi náročná záležitost. Prohledávací algoritmy jsou proto v tomto projektu omezeny hlídačem (`MemWatcher`), který běží v druhém vlákně. Pokud rezidentní paměť procesu přesáhne uživatelem zadanou hodnotu (`--mem-limit`

<sup>1</sup><https://github.com/ibenes/freecell>

<sup>2</sup>`SearchState` nelze kopírovat přiřazením, pouze konstrukcí nového. Lze je ale přiřazením přesouvat, což využijete právě při zachycení výsledku provedení akce.

<sup>3</sup>tj. zejm. přetypování, ať už jako `*_cast<NewType>(value)` nebo, nedej bože, `(NewType) value`

NB\_BYTES), proces bude násilně ukončen. Proto je nezbytné, aby při prohledávání jednoho problému nedocházelo k úniku paměti, dbejte na její uvolňování. Zároveň je silně doporučeno, aby si Vaše řešení hlídala spotřebu paměti (využijte funkci `memusage.h:getCurrentRSS()`) a v případě blízkého přiblížení k limitu<sup>4</sup> vzdala pokusy o řešení a odevzdala řešení neplatné, ideálně prázdné. Pokud dojde k ukončení programu kvůli překročení paměti, bude na Vaše řešení pohlíženo, jako by nevyřešilo všechny následující instance problému. Testování bude ovšem probíhat v mnoha oddělených dávkách, takže *ojedinělý* pád způsobený příliš aktivně alokujícím kontejnerem nebude mít fatální dopad na Vaše hodnocení.

### Doporučení pro řešení

- Straňte se ruční správy paměti.
- Připomeňte si standardní kontejnery dostupné v STL. Přemýšlejte o tom, jaké operace potřebujete provádět *rychle* a volte kontejnery úměrně tomu. Lineární vyhledávání není správnou volbou prakticky nikdy.
- Kde Vám nestačí standardní kontejnery, použijte chytré ukazatele. Nejspíš se Vám bude hodit `shared_ptr`.
- Při řešení postupujte v navrženém pořadí.
- Při vývoji se nebojte používat `--easy-mode N` s velmi nízkými hodnotami  $N$ . Na konzistentní řešení plně náhodných instancí `FreeCellu` byste potřebovali opravdu dobrou heuristiku, v rámci projektu to není nutné.
- Referenční řešení se s rezervou vešlo do 200 řádků. Pokud směřujete k většímu počtu, máte velmi sofistikovanou heuristiku, vertikálně upovídanejší styl formátování kódu nebo něco děláte špatně.
- Pokud nedokážete najít řešení, vraťte prázdné řešení.
- Pokud chcete testovat instance `SearchState` testovat na rovnost, máte na to deklarován přátelský operátor. Jeho implementace je na Vás, linker si ji najde. Pozn.: `std::set` se na rovnost neptá.

**Vyhodnocování řešení** Všechny čtyři části Vašeho řešení budou vyhodnocovány na různě složitých instancích hry `FreeCell`, s různými paměťovými omezeními. Při vyhodnocování budou brána v patrnost omezení daná slepotou prohledávání v BFS a DFS, resp. slabiny dodané heuristiky, a není očekáváno, že se vždy podaří vyřešit všechny instance hry. Můžete předpokládat, že dostupná paměť bude vždy alespoň 1 GB.

Přibližně polovina bodů bude udělena za to, že algoritmy fungují, a druhá polovina za to, že fungují rozumně rychle. Plný počet bodů můžete očekávat, pokud bude implementace  $A^*$  s Vaší heuristikou schopna řešit 90 % instancí `--easy-mode 140` ve 2 GB paměti a – na stroji srovnatelném s Merlinem – v čase pod 5 sekund na instanci hry.

---

<sup>4</sup>ten je prohledávacímu algoritmu poskytnut při konstrukci; 50 MB se jeví jako rozumná rezerva