

A. Přílohy

A.1 MAPFsimulator – uživatelská dokumentace

Program *MAPFsimulator.exe* umožňuje grafickou vizualizaci nalezených řešení MAPF problémů. Dále jej používáme pro spouštění testů, jejichž výsledky uvádíme v kapitole 7.

A.1.1 Minimální požadavky na systém

Aplikace je vytvořena v programovacím jazyce C#. Pro spuštění a správný běh je vyžadována instalace .NET frameworku ve verzi 4.6 a vyšší. Doporučené rozlišení obrazovky je 1920×1080 pixelů nebo vyšší.

A.1.2 Hlavní okno

Po spuštění programu se zobrazí hlavní okno aplikace. To slouží k vytváření jednotlivých MAPF instancí, nastavení parametrů jejich řešení a následné vizualizaci tohoto řešení. Popis všech částí okna je zobrazen na obrázku A.1. Viditelnost některých částí okna se mění v závislosti na stavu, ve kterém se aplikace nachází a zejména po startu programu je většina z nich skryta.

Vložení grafu

Nahrání grafu do nové MAPF instance lze provést dvěma způsoby.

1. **Zadáním v okně programu:** v části *Vložení grafu* napíšeme do příslušného řádku graf ve formě textového řetězce a klikneme na tlačítko **Zobrazit graf**. Výsledek můžeme ihned vidět v části okna *Graf*.

Textový řetězec reprezentující graf zapisujeme na jeden řádek. Pro přístupné vrcholy můžeme použít znaky „.“, „G“, nebo „S“, překážky lze zapsat pomocí znaků „@“, „O“, „T“, nebo „W“. Řádky grafu oddělujeme vždy čárkou. Graf musí mít pravidelný (obdélníkový) tvar.

2. **Nahráním ze souboru:** graf vybereme z menu pomocí **Soubor** → **Načíst graf**. Program podporuje soubory s grafy ve formátu, který se používá v rámci MAPF benchmarků (viz Fil). Příklady validních grafů můžeme rovněž nalézt v elektronické příloze této práce.

Poznámka. Ačkoliv umožňujeme definovat vrcholy grafu pomocí různých znaků, rozlišujeme v simulátoru jen dva druhy vrcholů – přístupné a nepřístupné (překážky).

Vložení agentů

Nahrání startovních a cílových pozic agentů do MAPF instance s grafem lze provést dvěma způsoby.

1. **Zadáním v okně programu:** v části *Vložení agentů* napíšeme do příslušného řádku pozici agenta ve formátu sX , sY , tX , tY , kde sX , resp. sY představuje x -ovou, resp. y -ovou souřadnici startovního vrcholu a tX , resp. tY představuje x -ovou, resp. y -ovou souřadnici cílového vrcholu.

V souřadném systému číslujeme od nuly a hodnota souřadnic roste zleva doprava a shora dolů. Vrchol $(0, 0)$ se tedy nachází v levém horním rohu. Následně klikneme na tlačítko **Vložit**. Pozice přidaného agenta se ihned zobrazí v seznamu v části *Agenti v grafu*. Zaškrtneme-li zde možnost **Zobrazit agenty v grafu**, objeví se v části *Graf* tyto pozice zvýrazněné barevně.

2. **Nahráním ze souboru:** soubor s pozicemi agentů vybereme z menu pomocí **Soubor** \rightarrow **Načíst pozice agentů**. Program podporuje soubory ve formátu, které se používají v rámci MAPF benchmarků (viz Ben). Příklady souborů s definicemi pozic agentů nalezneme v elektronické příloze této práce.

Po vybrání souboru se otevře nové okno, umožňující nám specifikovat počet agentů, který chceme do instance přidat. Vzhled okna vidíme na obrázku A.2. Stiskem tlačítka **Potvrdit** se příslušný počet agentů nahraje do instance. Jejich pozice opět najdeme v části okna *Agenti v grafu*. Zaškrtnutím volby **Vybrat pořadí agentů náhodně** se ze souboru vybere požadovaný počet n agentů náhodně, v opačném případě dojde k nahrání prvních n agentů ze souboru.

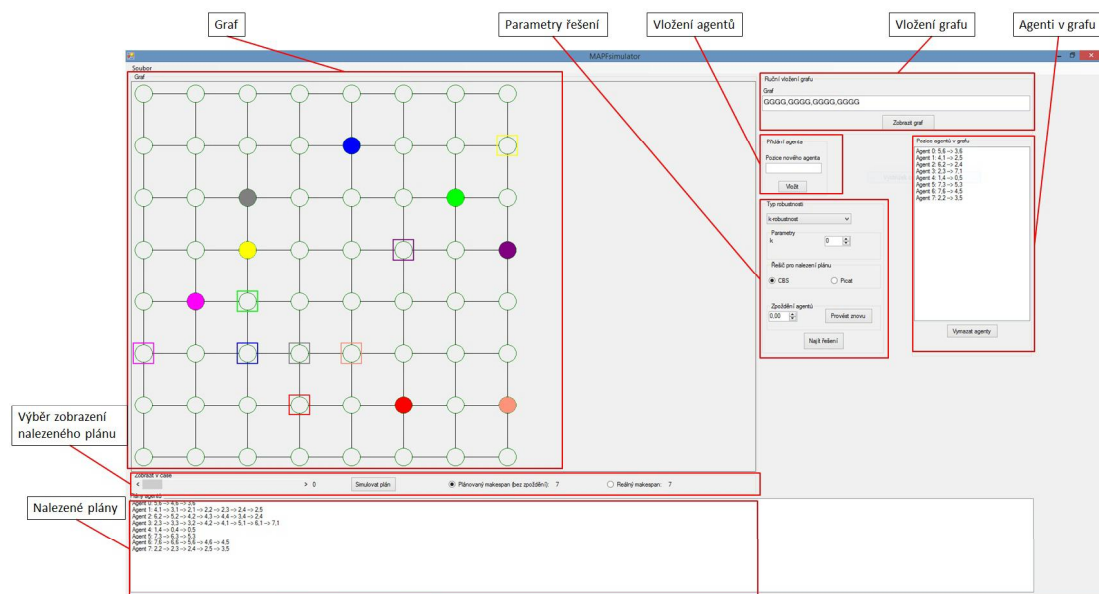
V obou případech přidání agentů do programu se u každého z nich kontroluje, zda jeho startovní nebo cílová pozice není v konfliktu s jiným agentem. Pokud tato situace nastane (MAPF instance by tím pádem neměla řešení), zobrazí se okno s příslušným upozorněním a agent do instance nebude vložen.

Parametry řešení

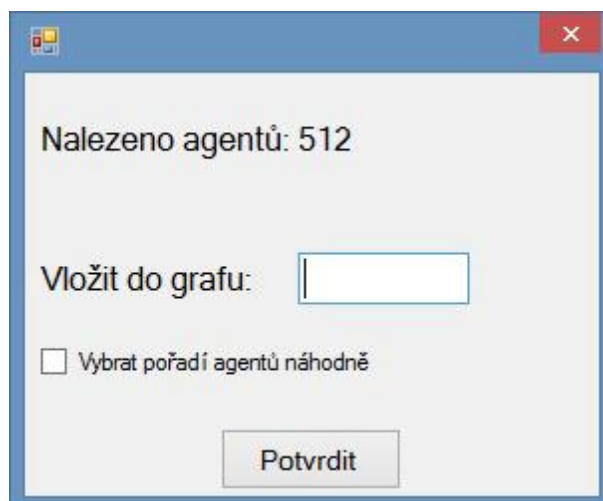
Po vložení grafu a agentů do MAPF instance lze přikročit k nastavení parametrů řešení. Nastavit můžeme:

- **Typ robustnosti** – zde vybíráme jednu z definic robustnosti, kterou bude splňovat nalezené řešení. Na základě výběru konkrétní metody dále nastavíme požadované **Parametry**.
- **Řešič pro nalezení plánu** – řešení můžeme hledat buď pomocí algoritmu CBS, nebo použít externí CSP řešič pro programovací jazyk Picat (stažení řešiče pro různé OS viz Pic). Ve druhém případě je třeba mít správně nastavenou cestu k řešiči (změnu je možné provést v **Soubor** \rightarrow **Nastavení**). Rovněž je nutné mít v adresáři se spustitelným souborem složku *PicatFiles* s definicemi modelů.
- **Zpoždění** – nastavení hodnoty pravděpodobnosti zpoždění p_z jednotlivých agentů.

Po specifikaci všech hodnot můžeme pokračovat stiskem tlačítka **Najdi řešení**. Program se následně pokusí najít plán se zvolenými vlastnostmi. Časový limit pro hledání lze omezit nastavením příslušné hodnoty v **Soubor** \rightarrow **Nastavení**. Je-li



Obrázek A.1: Vzhled a popis jednotlivých částí hlavního okna programu.



Obrázek A.2: Vzhled okna s přidáním agentů do grafu.

řešení nalezeno, provede se rovněž exekuce výsledného plánu s daným zpožděním. Po jejím ukončení se zobrazí okno se zprávou o výsledku. Tím je buď úspěšné provedení bez kolizí, nebo neúspěšné provedení s informací o čase a místě výskytu první nalezené kolize.

Nalezené plány

Po nalezení řešení MAPF instance se v části *Nalezené plány* zobrazí pro každého z agentů jeho cesta v grafu. Je-li v části *Výběr zobrazení nalezeného plánu* zaškrtnuta volba **Plánovaný makespan (bez zpoždění)**, zobrazí se zde cesty v podobě, jaké je našel plánovač. Zvolíme-li možnost **Reálný makespan**, dostaneme cesty, kterými agenti skutečně projeli v rámci provedení plánu (se započítaným zpožděním a bez dalších alternativních větví).

Cesta každého z agentů je vypsána jako posloupnost vrcholů, které jsou odděleny šipkami. V případě výpisu plánu s alternativami je každá alternativa cesta uvozena znakem „|“, po němž následuje v hranatých závorkách pořadové číslo vrcholu z hlavního plánu, na který se tato cesta napojuje.

Výběr zobrazení nalezeného plánu

Jak již bylo napsáno v předchozím odstavci, možnosti **Plánovaný makespan (bez zpoždění)** a **Reálný makespan** ovlivňují podobu výpisu řešení v části *Nalezené plány*. Na posuvníku **Zobraz v čase** poté vybíráme časový úsek, ve kterém chceme graficky znázornit pozice agentů v části *Graf*. Po stisku tlačítka **Simulovat plán** se pomocí animace postupně zobrazí pozice agentů od začátku až do konce.

Rychlost provádění simulace je možné nastavit v **Soubor → Nastavení**.

Graf

V části *Graf* najdeme nakreslení grafu aktuální MAPF instance a po nalezení řešení zde můžeme také sledovat pozice všech agentů v jednotlivých časových úsecích provedené exekuce. Pozice agenta v grafu je znázorněna pomocí barevného kruhu, jeho cílový vrchol je potom orámován čtvercem stejné barvy.

Stisknutím tlačítka myši v oblasti barevného kruhu zjistíme číselný identifikátor agenta, který se na tomto místě nachází. Identifikátor je shodný s číselným označením agenta v části *Plány* a v části *Agenti v grafu*.

A.1.3 Okno pro provádění testů

Po výběru položky **Soubor → Spustit benchmark** se otevře nové okno, jehož podobu vidíme na obrázku A.3. Před spuštěním konkrétního testu je třeba specifikovat vybrané parametry v levé části okna. S některými z parametrů jsme se již setkali v rámci hlavního okna programu, níže uvádíme význam dalších z nich.

Parametry

- **Graf** – po stisknutí tlačítka **Vybrat** se otevře dialogové okno umožňující nahrání souboru s grafem. Po úspěšném načtení se napravo objeví název příslušného souboru.

- **Pozice agentů** – po stisknutí tlačítka **Vybrat** se otevře dialogové okno umožňující nahrání souboru s pozicemi agentů. Po úspěšném načtení se napravo objeví název příslušného souboru s počtem agentů, které program rozpoznal.
- **Počáteční počet agentů** – specifikuje, s kolika agenty v grafu se začne testovat. Minimální počet je 1.
- **Konečný počet agentů** – v průběhu testu je dále možné přidávat do grafu další agenty. Tento parametr určuje horní mez. Hodnota parametru musí být v rozmezí od počátečního počtu agentů do počtu nalezených agentů v rámci scénáře.
- **Krok** – určuje, po kolika agentech se bude přidávat. Začneme-li s n agenty, pak po iteraci se jich v grafu bude nacházet $n + \text{Krok}$.
- **Časový limit (ms)** – umožňuje nastavit hranici v milisekundách, po jejímž uplynutí se provádění testů zastaví. Tento parametr nám slouží pro měření rychlosti jednotlivých technik, kdy zkoumáme, kolik instancí dokážeme vyřešit v daném časovém intervalu.

Ve výchozím nastavení (hodnota 0) není parametr aktivní.

- **Počet opakování se stejným počtem agentů** – kolik se v rámci testu provede instancí se stejným počtem agentů. V každé z instancí budou pozice agentů vybrány náhodně.

Minimální hodnota je 1.

- **Počet exekucí jednoho plánu** – počet provedených exekucí s nalezeným plánem v dané instanci. V každé z exekucí budou počáteční i koncové pozice agentů stejné, ale změní se místa výskytu zpoždění.

Minimální hodnota je 1.

- **Počet opakování testu** – kolikrát má být zopakován celý test. Při každém dalším opakování je resetován generátor pro vybírání náhodných instancí na novou hodnotu, takže při n opakováních bude vybráno n náhodných sad instancí.

Spuštění testu zahájíme stiskem tlačítka **Spustit test**. Chceme-li testování ukončit v jeho průběhu, lze tak učinit pomocí tlačítka **Zastavit**. Po jeho stisku dojde k zastavení běhu programu po dokončení právě řešené instance. Průběh testování je možné sledovat v části *Vyřešeno*.

Po skončení testu se naměřené hodnoty zobrazí v části *Výsledky* a automaticky se vloží do schránky ke kopírování. Všechny výsledky v rámci celého běhu programu se pak nacházejí v části *Log*. Tuto část lze skrýt zaškrtnutím položky **Skrýt log**.

Výsledky

V části *Výsledky* se zobrazují hodnoty makespanu, podílu bezkolizních exekucí a počtu vyřešených instancí. Data uvádíme pro každý test jako průměr přes všechny instance a exekuce v rámci daného počtu agentů.

V případě kliknutí na daný řádek se v části *Instance* objeví výpis všech instancí, které byly v testu pro tento počet agentů provedeny.

Instance

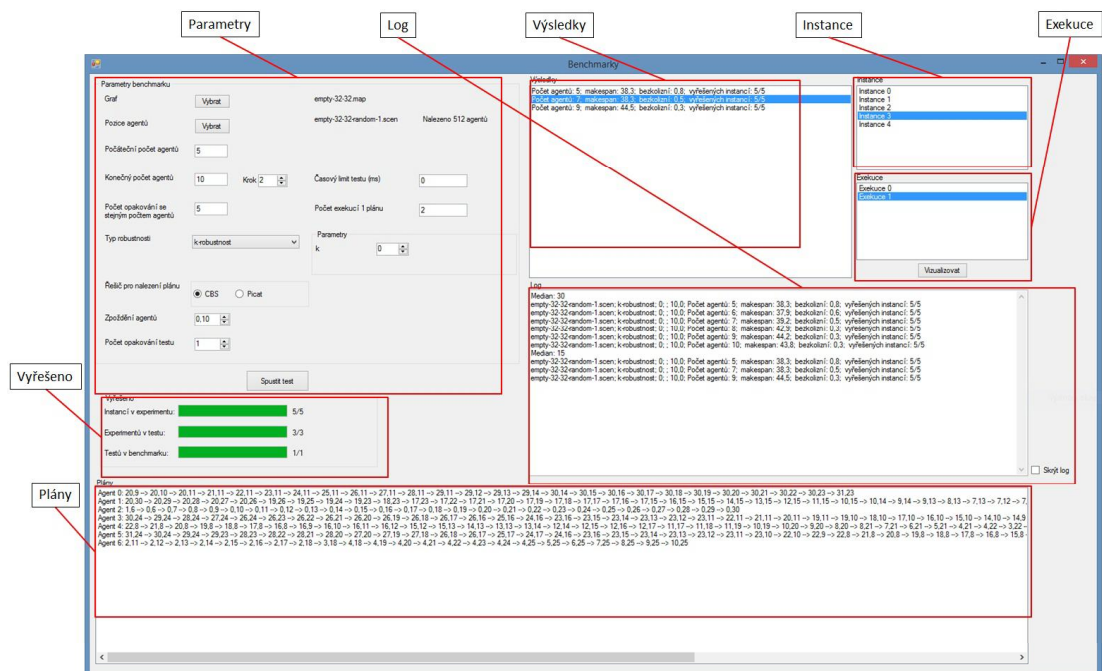
V případě kliknutí na konkrétní položku v seznamu se v části *Exekuce* objeví seznam všech provedených exekucí v rámci instance.

Po poklepání na konkrétní položku v seznamu se v části *Plány* zobrazí výpis cest jednotlivých agentů tak, jak je našel plánovač (tedy bez vlivu zpoždění). Odpovídá volbě *Plánovaný makespan (bez zpoždění)* v hlavním okně programu.

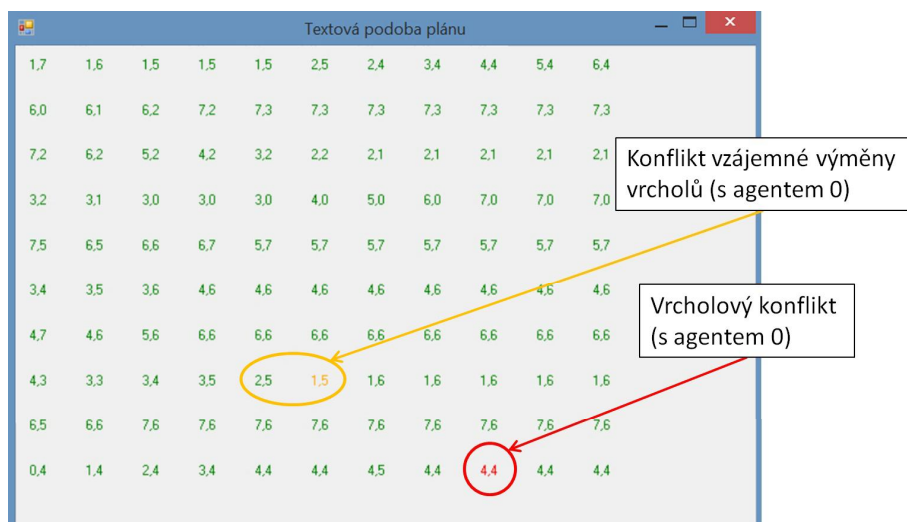
Exekuce

Po kliknutí na konkrétní položku v seznamu se v části *Exekuce* zpřístupní tlačítko *Vizualizovat*. Po jeho stisknutí dojde k přesunu této instance s příslušnou exekucí do hlavního okna programu s možností její grafické vizualizace.

Po poklepání na konkrétní položku v seznamu se otevře nové okno s posloupností vrcholů, které agenti během této exekuce skutečně projeli. Vzhled okna je uveden na obrázku A.4. Cesta v i -tém řádku odpovídá cestě i -tého agenta a j -tý vrchol v řádku odpovídá pozici v j -tém časovém úseku. Vrcholy v tomto okně jsou označeny barevně, zelená barva znamená normální stav, oranžová barva symbolizuje výskyt konfliktu vzájemné výměny vrcholů a červená barva značí vrcholový konflikt agenta v tomto vrcholu.



Obrázek A.3: Vzhled a popis jednotlivých částí okna pro provádění testů.



Obrázek A.4: Vzhled okna s textovou podobou plánu exekuce.