

# Robotický roj

David Javorek

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické Brno  
Institut automatizace a informatiky  
Technická 2896/2, Brno 616 69, Česká republika  
209393@vutbr.cz

**Abstract:** *Tato práce se snaží čtenáři přiblížit, ve stručnosti, co znamená pojem "robotický roj". Jaké má specifika a, do kterých oblastí spadá. Je popsána klasifikace chování roje. Dále je v práci vysvětlena inteligence roje a rozdělení rojů. V závěru jsou čtenáři přiblíženy možné aplikace robotického roje a shrnutí zamýšlení se, proč se robotí roje hojně využívají/nevyžívají.*

**Klíčová slova:** *robotický roj, inteligence roje, aplikace roje, klasifikace chování, prostorová organizace, navigace, rozhodování*

## 1 Úvod "Co to je Robotický roj?"

Robotický roj je pojem, kterým je nazýván systém samoorganizujících se skupiny robotů. Ti se vyznačují vysokou redundancí a komunikační schopností mezi sebou. Nemají však přístup ke globálním informacím. Chování roje vzniká dle interakcí každého jednotlivého robota s ostatními roboty a okolím. Konstrukce roje je řízená principy inteligence roje. [8]

Rojová robotika je pak výzkumný obor umělé inteligence. Zabývá se tvořením nových mechanismů a organizací několik robotů s jednoduchou strukturou, která je inspirována organizací sociálního hmyzu. Mezi ty patří například mravenci.[6]

### 1.1 Klasifikace chování robotického roje

Ve většině algoritmů robotického roje se jedinci chovají dle lokálních pravidel a celkové chování roje vzniká organicky ze vzájemné interakce jedinců roje. Tedy, jednotliví roboti se chovají dle souboru lokálních pravidel, který může sahát od jednoduchého mapování mezi vstupy senzorů a výstupy akčních členů až po náročnější lokální algoritmy. Toto lokální chování obvykle zahrnuje interakce s fyzickým světem včetně robotů a okolního prostředí. Každá interakce se skládá ze čtení a interpretace sensorických dat, zpracování těchto dat a odpovídajícího řízení akčních členů. Tato posloupnost interakcí se definuje jako základní chování, které se provádí opakovaně, a to neomezeně dlouho, a nebo do dosažení požadovaného stavu. Základní chování robotického roje lze klasifikovat, jako na obrázku.č1. [10]

#### 1.1.1 Prostorová organizace

Tato chování umožňují pohyb robotů v roji v prostředí za účelem prostorové organizace sebe sama a nebo nějakého objektu. Toto chování lze dále rozdělit na:

- **Agregační pohyb** – nebo-li můžeme říci pohyby k shlukování, je schopnost roje, aby se jednotliví roboti shromáždili v určité oblasti daného prostředí. Takto se dokážou roboti dostat prostorově velmi blízko k sobě, pro další interakci.[10]
- **Tvorba vzorů** – je schopnost roje uspořádání robotů do určitého tvaru. Zvláštním případem je tvorba řetězce, kdy roboti tvoří linii, většinou za účelem navázání vícecestné komunikace mezi dvěma body.[10]
- **Samočinné spojování** – je schopnost spojovat roboty za účelem vytvoření struktur. Takto se roboti mohou propojit buď fyzicky, nebo virtuálně prostřednictvím komunikačního spojení. Speciální případ je morfogeneze, kdy se roj vyvíjí do předem definovaného tvaru.[10]
- **Shromažďování a sestavování objektů** – je schopnost, která umožňuje roji robotů manipulovat v prostoru s rozmístěnými objekty. Je to nezbytná schopnost robotického roje pro konstrukční procesy či úkoly. [10]



Figure 1: Taxonomie chování roje[4]

### 1.1.2 Navigace

Další po prostorové organizaci v obrázku č.1 je "navigace". Ta umožňuje koordinovaný pohyb roje robotů v prostředí. Tu dále můžeme rozdělit na tyto podkategorie:

- Kolektivní průzkum – tato schopnost roje naviguje hejno robotů kooperativně prostředím za účelem jeho prozkoumání. Může sloužit k získání situačního přehledu, vyhledávání objektů a nebo jenom k monitorování prostředí. [10]
- Koordinovaný pohyb – je pohyb rojem robotů v zadané formaci. Formace může být přesně s definovaným tvarem a nebo libovolná jakožto v případě hejna.[10]
- Kolektivní přeprava – umožňuje pomocí roje kolektivní přesun objektů, které jsou pro jednotlivé roboty příliš těžké nebo velké.[10]
- Kolektivní lokalizace – umožňuje robotům v roji zjistit jejich polohu a orientaci vůči sobě navzájem prostřednictvím vytvořeného lokálního souřadnicového systému v celém roji.[10]

### 1.1.3 Rozhodování

Následujícím schopností a chování roje je "rozhodování". Umožňuje robotům v roji přijmout společné rozhodnutí při řešení daného problému nebo situace:

- Souhlas – je schopnost, která umožňuje jednotlivým robotům v roji se dohodnout na jedné společné volbě z několika alternativ a nebo k ní konvergovat. [10]
- Přidělování úkolů – umožňuje dynamicky přidělovat vznikající úkoly jednotlivým robotům roje. Jeho cílem je maximalizovat výkon celého systému roje. Pokud mají roboti různorodé schopnosti, lze úkoly rozdělovat dle těchto preferencí. [10]
- Kolektivní detekce poruch – v rámci roje robotů umožňuje tato schopnost určování nedostatků jednotlivých robotů. Určit a označit ty roboty, které se odchylují od požadovaného chování roje, například v důsledku poruchy hardwaru. [10]
- Kolektivní vnímání – schopnost sbírání a spojování snímaných dat od všech robotů v roji a vytvoření tak celkového obrazu. Ten umožňuje roji činit kolektivní rozhodnutí. Například učít optimální řešení globálního problému. [10]
- Synchronizace – vyrovnává frekvence a fáze oscilátorů robotů v roji. Díky tomu tak roboti mají společné chápání času, které jim umožňuje provádět akce synchronně. [10]
- Regulace velikosti skupiny – umožňuje robotům v roji vytvářet skupiny s požadovanou velikostí. Pokud velikost roje překročí požadovanou velikost skupiny, rozdělí se na více skupin. [10]

#### 1.1.4 Ostatní

Tyto další schopnosti nespádají do výše sdělených kategorií, i tak stále jsou důležité pro chování roje:

- Samo-regenerace – umožňuje roji se zotavit z poruch způsobených nedostatkem jednotlivých robotů. Cílem je tedy minimalizovat dopad poruchy robota na zbytek roje a zvýšit tak jeho spolehlivost, robustnost a výkonnost. [10]
- Samo-reprodukce – umožňuje roji robotů vytvářet nové roboty, nebo replikovat vzor vytvořený z mnoha jedinců. Je cílem zvýšit autonomii roje tím, že se eliminuje potřeba lidského inženýra k vytváření nových robotů. [10]
- Interakce mezi lidmi – umožňuje lidem ovládat roboty v roji nebo od nich přijímat informace. Interakce může probíhat na dálku, prostřednictvím počítačového terminálu, nebo na blízko díky vizuálních a akustických signálů. [10]

### 1.2 Intelligence roje

Je vědní obor, který se zabývá přírodními, ale i umělými systémy složenými z mnoha jedinců. Ti se koordinují sami pomocí decentralizovaného řízení a pomocí schopnosti samoorganizace. Tento obor se však zaměřuje zejména na kolektivní chování, které je výsledkem interakcí jedinců mezi sebou a s prostředím. [7]

Příklady systémů, pak jsou například kolonie mravenců a termitů, hejna ryb a ptáků, nebo také stáda suchozemských živočichů. Typický takový systém rojové inteligence má následující vlastnosti: [7]

1) Je složen ze skupiny jedinců a tato skupina je relativně homogenní. Takzvaně jsou všichni jedinci ve skupině stejní/podobní, nebo spadají do několika stejných typologií. [7]

2) Interakce mezi jedinci jsou založeny na jednoduchých pravidlech chování, kteří využívají pouze místní informace, které si jedinci vyměňují přímo nebo prostřednictvím prostředí. [7]

3) Celkové chování systému je výsledkem všech interakcí jedinců mezi sebou a s prostředím. Tedy skupina má schopnost se samo-organizovat bez vlivu koordinátora. [7]

Protože takové rojové chování lze pozorovat i v různých oblastech a nejen mezi živočichy. Lze výzkum klasifikovat na přirozenou a umělou rojovou inteligenci, kde patří intelligence robotického roje. A dle cílů výzkumu lze rozdělit na vědeckou, kde cílem je pochopit a modelovat systémy rojové inteligence. A na inženýrskou, která se snaží z poznatků z vědecké části vytvořit tyto systémy tak, aby byly schopny řešit praktické problémy [7]

A dle výše uvedených vlastností lze pak vytvořit roj, který je škálovatelný, paralelní a odolný proti chybám.

#### 1.2.1 Škálovatelný Roj

Škálovatelnost znamená, že se systém může zachovat svou funkci i při zvětšování své velikosti, tedy počtu jedinců v roji, aniž by bylo nutné změnit způsob interakce jeho částí. Vzhledem k tomu, že se v systému roje interakce týkají pouze sousedních jedinců, počet interakcí nemá tendenci růst s srůstajícím celkovým počtem jedinců v roji. V umělých systémech je zajímavé, že výkon takového systému lze zvýšit pouhým zvětšením jeho velikosti, aniž by bylo potřebné systém přeprogramovat. [7]

#### 1.2.2 Paralelní Roj

Paralelní roj je roj, který je schopen paralelních akcí. Tedy jednotlivci tvořící roj, mohou provádět různé akce na různých místech ve stejnou dobu. V umělých systémech jsou paralelní akce žádoucí, protože přispívají k flexibilitě systému. Neboť v jeden okamžik se tak v samo-organizovaných týmech, docílují současně k splnění různých aspektů složitého úkolu. [7]

#### 1.2.3 Roj odolný proti chybám

Odolnost vůči poruchám je přirozenou vlastností systémů s rojovou inteligencí. Neboť se systém skládá z mnoha vzájemně zaměnitelných jedinců, a přitom žádný nemá na starosti řízení celkového chování systému, lze pak selhávajícího jedince snadno vyřadit a nahradit jiným plně funkčním. [7]

## 2 Aplikace robotího roje

Díky svým vlastnostem jsou systémy robotického roje atraktivní v několika potenciálních oblastech využití. Výborným použitím roje robotů je tak například v řešení různých nebezpečných úkolů, neboť ta mohou být pro lidi riskantní. Taktéž tyto úkoly jsou rizikem a možnou ztrátou robota v roji. Ale při schopnosti roje sebe-regenerace se tato doména nebezpečných úkolů stává ideální využití pro robotické roje. Dalšími potenciálními úkoly jsou ty, kde je obtížné odhadnout zdroje pro splnění úkolu. Například zvládnutí úniku ropy, kdy díky robotickému roji, který je škálovatelný a flexibilní, lze pohotově přidáním a nebo ubráním robotů, se vzhledem k danému problému, přizpůsobit.[8] V této kapitole se budeme o takovýchto podobných možných aplikacích bavit. [6]

### 2.1 Průzkum, prohlídka, mapování

Použitím robotického roje pro průzkum a mapování oblasti umožňuje detailní pokrytí velkého území v krátkém čase. Pomocí robotického roje by pomohlo zlepšit přesnost map tím, že by oblastí pokryly vícekrát. Malé robotické roje se mohou pohybovat mezi budovami a koordinovaně mapovat vnitřní i vnější stěny a další překážky. [2] Jednou z nejoblíbenějších aplikací robotického roje jsou bezpilotní letadla, lidově nazývaná "drony", které mohou být využity v těchto problémech mapování a průzkumu.[5]

### 2.2 Zemědělství a potravinářství

Roje by se mohly používat ke sběru plodin, k pasení zvířat nebo k vyhledávání a těžbě mořských zdrojů potravy.[2] Mezi aplikace roje robotů v této oblasti také patří setí, sklizeň obilovin nebo péče o rostliny a pletí.[6] Mezi jeden takový návrh implementace roje pro kontrolu a detekci plevelů na poli patří Albani a spol.[1] Ti navrhli využití bezpilotních letounů a počítačového vidění ke sledování a identifikaci plevelů v zemědělském prostředí a dle testů jejich testů se ukázala jejich proveditelnost.[6]

### 2.3 Kontrola mořského prostředí

Robotické roje zlepšují automatizované monitorování životního prostředí v mořském prostředí, jako je kontrola znečištění ropou a průzkum.[6] Například využitím algoritmu inteligence roje "Modified Glowworm Swarm Optimization" dohromady s rojem robotů dokáží zjišťovat původy ropných náplavů.[9]

### 2.4 Vesmírný výzkum

Vesmír a úlohy prozkoumávání vesmíru je pro člověka obtížné a nebezpečné. Proto se lidé musí spoléhat na roboty. Mezi vesmírné aplikace robotických rojů jsou vhodné od průzkumu až po montáž konstrukcí na oběžné dráze. V této oblasti existuje také mnoho studií a výzkumů jako například práce Ayre a spol. ve své práci [3], kde navrhují schéma řízení rojů kosmických lodí. Jejich práce obsahuje matematické modelování dynamického systému roje, čímž zajišťují předvídatelnost kolektivního chování.[6]

## 3 Závěr

Robotické roje je systém skupiny robotů, který se rozhoduje a chová s inteligencí roje. Takový ideální robotický roj je pak schopen plnit různorodé úkoly, zvětšovat a zmenšovat svůj počet, sebe-regenerace a rozhodovat se jako jeden. Takový robotický roj má mnoho využití jak už z hlediska průzkumu nebo skenování a konstrukce. V závěru je však robotický roj stále ve formách výzkumů a studií, ale i přesto, že se robotické roje moc nevyužívají, jsou jejich možnosti a funkce velmi atraktivní. Ačkoli civilizace ještě nedosáhla v oblasti robotických rojů většího rozvoje, ať už z hlediska nynější nedokonalosti robotických rojů a jednostrannosti. Nebo se ještě nenalezly hodnotné využití pro robotí roje, jako například v oblasti vesmírného průzkumu. V budoucnosti robotické roje mohou sehrát důležitou roli.

## References

- [1] ALBANI, D., IJSSELMUIDEN, J., HAKEN, R., AND TRIANNI, V. Monitoring and mapping with robot swarms for agricultural applications. 1–6.
- [2] ARNOLD, R., CAREY, K., ABRUZZO, B., AND KORPELA, C. What is a robot swarm: A definition for swarming robotics. 0074–0081.
- [3] AYRE, M., IZZO, D., AND PETTAZZI, L. Self assembly in space using behaviour based intelligent components. *TAROS, Towards Autonomous Robotic Systems* (2005).
- [4] BRAMBILLA, M., FERRANTE, E., BIRATTARI, M., AND DORIGO, M. Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intelligence* 7 (2013), 1–41.
- [5] DIAS, P. G. F., SILVA, M. C., ROCHA FILHO, G. P., VARGAS, P. A., COTA, L. P., AND PESSIN, G. Swarm robotics: A perspective on the latest reviewed concepts and applications. *Sensors* 21, 6 (2021).
- [6] DIAS, P. G. F. E. A. Swarm robotics: A perspective on the latest reviewed concepts and applications. *Sensors (Basel, Switzerland)* vol. 21,6 2062. (15 Mar. 2021, doi:10.3390/s21062062).
- [7] DORIGO, M., AND BIRATTARI, M. Swarm intelligence. *Scholarpedia* 2, 9 (2007), 1462. revision #138640.
- [8] DORIGO, M., BIRATTARI, M., AND BRAMBILLA, M. Swarm robotics. *Scholarpedia* 9, 1 (2014), 1463. revision #138643.
- [9] GUPTA, R., AND BAYAL, R. Source detection of oil spill using modified glowworm swarm optimization. 1–6.
- [10] SCHRANZ, M., UMLAUFT, M., SENDE, M., AND ELMENREICH, W. Swarm robotic behaviors and current applications. *Frontiers in Robotics and AI* 7 (2020).