

Vítor de Albuquerque Torreão

**ABORDAGENS EVOLUCIONÁRIAS PARA O PROBLEMA DA
PATRULHA MULTIAGENTE TEMPORAL**

Trabalho de Graduação



Universidade Federal Rural de Pernambuco
secretaria@preg.ufrpe.br
<http://www.ufrpe.br/br/graduacao>

RECIFE
2015



Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Estatística e Informática
Bacharelado em Ciência da Computação

Vítor de Albuquerque Torreão

**ABORDAGENS EVOLUCIONÁRIAS PARA O PROBLEMA DA
PATRULHA MULTIAGENTE TEMPORAL**

Trabalho apresentado ao Programa de Bacharelado em Ciência da Computação do Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: *Pablo Azevedo Sampaio*

RECIFE
2015

Vítor de Albuquerque Torreão

Abordagens Evolucionárias para o problema da Patrulha Multiagente Temporal/ Vítor de Albuquerque Torreão. – RECIFE, 2015-

49 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador Pablo Azevedo Sampaio

Trabalho de Graduação – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. I. Orientador. II. Universidade xxx. III. Faculdade de xxx. IV. Título

CDU 02:141:005.7

Trabalho de Conclusão de curso apresentado por **Vítor de Albuquerque Torreão** ao programa de Bacharelado em Ciência da Computação do Departamento de Estatística e Informática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, sob o título **Abordagens Evolucionárias para o problema da Patrulha Multiagente Temporal**, orientada pelo **Prof. Pablo Azevedo Sampaio** e aprovada pela banca examinadora formada pelos professores:

Prof. Pablo Azevedo Sampaio
Departamento de Estatística e Informática/UFRPE

Prof. <Nome>
Centro de Informática/UFPE

Prof. <Nome>
Departamento de Ciência da Computação/UFBA

*Dedico este trabalho a todos os meus familiares, amigos e
professores que me deram o suporte necessário para chegar
aqui.*

Agradecimentos

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

*Not everything that counts can be counted, and not everything that can be
counted counts.*

—ALBERT EINSTEIN

Resumo

A Patrulha Multiagente Temporal é uma complexa tarefa multiagente, a qual requer que um grupo de agentes coordene as ações uns dos outros a fim de obter os melhores resultados para todo o grupo. Alguns exemplos de patrulha são: patrulhar as fronteiras de um país, vigiar os corredores de um prédio, monitorar frotas marítimas e inspecionar áreas que possam ser sujeitas a vazamento de gás ou incêndio. Uma solução eficiente para a Patrulha Multiagente pode contribuir em uma variedade de domínios, tais quais, administração de redes de computadores, motores de busca da Web e fiscalização do tráfego.

Trabalhos recentes propuseram diversas soluções para a patrulha eficiente feita por um grupo de agentes. Agentes heurísticos, agentes baseados em teoria dos jogos, mecanismos de negociação, mecanismos de tomada de decisão, técnicas de aprendizado com reforço, estratégias gravitacionais, agentes baseados em colônia de formigas e abordagens evolucionárias híbridas já foram aplicados para solucionar o problema da patrulha multiagente. O presente trabalho visa contribuir para o estudo do problema da patrulha através do desenvolvimento de uma estratégia puramente evolucionária e sua comparação, através de simulação, com outras estratégias presentes na literatura.

A avaliação empírica das estratégias será realizada utilizando benchmarks propostos por outros pesquisadores em trabalhos tradicionais, software disponível de graça na internet e mantido pela comunidade de pesquisadores da área, e o simulador chamado *Simple Patrol* disponibilizado pelos pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Palavras-chave: agentes autônomos, sistemas multiagentes, coordenação e patrulha, algoritmos evolucionários

Abstract

The Multiagent Temporal Patrolling is a complex multi-agent task, which requires a group of agents to coordinate each other's actions in order to obtain optimal results for the whole group. Patrolling a country's borders, watching the corridors of a building, monitoring maritime fleets, inspecting areas that may be subject to gas leakage or fires are examples of such a patrolling task. An efficient solution to the Multiagent Patrolling can contribute in a variety of domains such as computer network administration, web search engines and traffic inspection.

Previous works have proposed many solutions to patrolling efficiently with a group of agents. Heuristic agents, game theory based agents, negotiation mechanisms, decision-making mechanisms, reinforced learning techniques, gravitational strategies, ant colony based agents and hybrid evolutionary approaches have all been applied to solve the multi agent patrolling problem. This work aims to contribute to the study of the patrolling task by developing a pure evolutionary approach and comparing it to other strategies proposed in the literature through simulations.

The empirical evaluation of the strategies will be made using benchmarks proposed by other researchers in traditional publications, software freely available on the internet and maintained by the community of researchers, and the patrolling simulator named Simple Patrol provided by researchers from the Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Keywords: autonomous agents, multi agent systems, coordination and patrolling, evolutionary algorithms

Lista de Figuras

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Exemplo de ambiente modelado em um grafo | 24 |
|-----|--|----|

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | Resumo dos trabalhos relacionados | 33 |
| A.1 | List of conferences on which the searches were performed. | 47 |
| A.2 | List of journals in which the searches were performed. | 48 |
| A.3 | Search string per Search Engine. | 49 |

Lista de Acrônimos

| | | |
|-------------|--|----|
| ES | Expert System | 32 |
| TMAP | Timed Multiagent Patrolling | 24 |
| TSP | Problema do Caixeiro Viajante | 30 |
| EA | Algoritmos Evolucionários | 25 |
| ACO | <i>Ant Colony Optimization</i> | 31 |
| ES | Estratégia Evolucionária | 32 |
| DE | Evolução Diferencial | 32 |
| GA | Algoritmo Genético | 32 |

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 23 |
| 1.1 | Objetivos Gerais | 25 |
| 1.2 | Objetivos Específicos | 25 |
| 2 | Trabalhos Relacionados | 27 |
| 2.1 | Considerações Iniciais | 27 |
| 2.2 | Levantamento Bibliográfico | 28 |
| 2.2.1 | Definições | 28 |
| 2.2.2 | Classificações para a Timed Multiagent Patrolling (TMAP) | 29 |
| 2.2.3 | Soluções já propostas | 30 |
| 2.3 | Considerações Finais | 31 |
| 3 | Development Chapter | 35 |
| 3.1 | Introduction | 35 |
| 3.2 | Section | 36 |
| 3.2.1 | Subsection | 36 |
| 4 | Conclusão | 39 |
| 4.1 | Introduction | 39 |
| 4.2 | Section | 40 |
| 4.2.1 | Subsection | 40 |
| | Referências | 43 |
| | Apêndice | 45 |
| A | Mapping Study's Instruments | 47 |

1

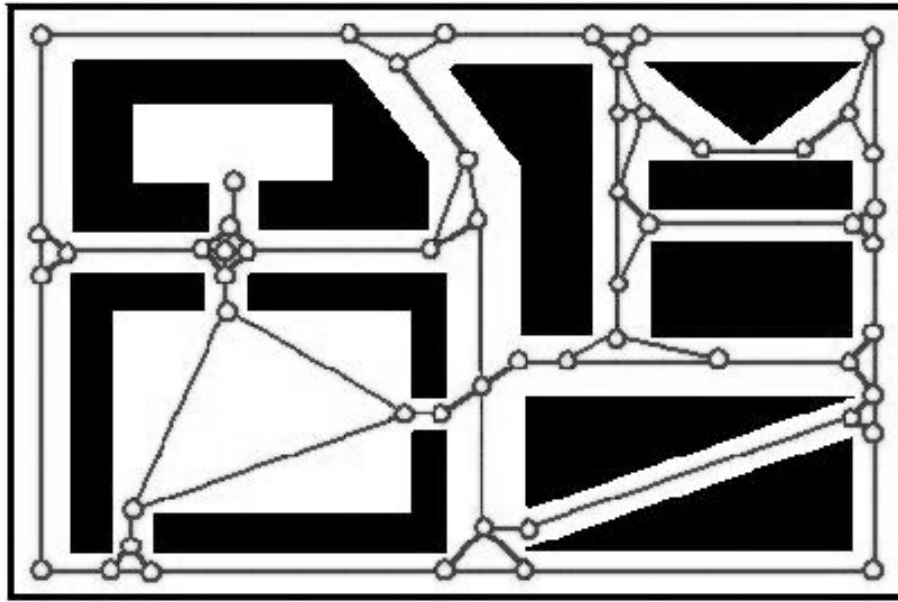
Introdução

Atividades relacionadas à vigilância, inspeção e controle, que hoje são realizadas por seres humanos, são candidatas a serem executadas por sistemas autônomos no futuro ([HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013](#)). Alguns exemplos dessas tarefas são: patrulhar fronteira de países ou muros de uma área civil, vigiar os corredores de um prédio, monitorar frotas marítimas e inspecionar áreas sujeitas a vazamentos de gás ou incêndios ([SAMPAIO, 2013](#)).

Segundo a publicação ([HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013](#)), esses sistemas de segurança quando operados por humanos são, em sua maioria, previsíveis e inflexíveis, pois sua performance pode ser influenciada por fatores como o tédio, a distração ou a fadiga. Dessa forma, os autores afirmam que é importante melhorar os elementos de segurança desses sistemas para auxiliar seres humanos e destacam a Patrulha Multiagente ([CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004](#)) como um dos sistemas que pode fazer esse papel.

A Patrulha Multiagente pode ser definida como a tarefa de um agente que deve perceber uma porção limitada do ambiente e detectar eventos ou anomalias ([ALBERTON et al., 2012](#)). Mais especificamente, pode ser definida como um problema no qual um time de indivíduos (agentes), visita tão frequentemente quanto possível, pontos de interesse contidos em uma área ([POULET; CORRUBLE; SEGHROUCHNI, 2012.a](#)). Ou ainda como um problema de vigilância, onde deve-se minimizar o tempo entre visitas dos agentes aos locais importantes de um ambiente conhecido ([PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013](#)).

Existem algumas versões do problema que estendem essa definição, variando as características dos agentes e do ambiente. Dentre elas destacam-se: problema da patrulha em ambientes dinâmicos, isto é, o ambiente onde o agente se move muda ao longo da execução do agente ([DOI, 2013](#)). Outra variação leva em consideração que os agentes podem ter velocidades diferentes ([LAURI; KOUKAM, 2014](#)). Alguns autores trabalharam com o problema da patrulha onde os agentes não tem a mesma capacidade e operam em diferentes níveis de qualidade ([PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013](#)). Outros trabalham com agentes que possuem restrições de mobilidade ([ALBERTON et al., 2012](#)). E há ainda uma variação onde a quantidade de agentes muda ao longo da execução, isto é, um determinado agente pode sair ou ser substituído por outro:

Figura 1.1: Exemplo de ambiente modelado em um grafo

Fonte: ([SAMPAIO, 2013](#))

são os chamados sistemas abertos ([POULET; CORRUBLE; SEGHROUCHNI, 2012.a](#)).

Para estudar o problema, no entanto, esta pesquisa utilizará uma definição mais formal, precisa e abrangente do problema, que auxilie o pesquisador a enxergar a patrulha multiagente do ponto de vista matemático e a implementar soluções em aplicações de software. Assim, a definição técnica empregada no decorrer deste trabalho será a proposta por Sampaio ([SAMPAIO, 2013](#)).

Segundo o autor, uma instância da Patrulha Multiagente Temporal, do inglês Timed Multiagent Patrolling (TMAP), é uma 7-tupla, $\langle E, P, S, s_0, A, I, M \rangle$. O ambiente que o agente percebe é representado por um grafo ([ROSEN, 2006](#)), E , onde os vértices representam os pontos de interesse, P , a serem visitados e as arestas representam os caminhos entre esses pontos. Na Figura 1.1, visualiza-se um exemplo de ambiente para o problema da patrulha modelado como um grafo. O modelo demanda também o conjunto de estados possíveis da sociedade de agentes, S , e um estado inicial, s_0 , tal que $s_0 \in S$. É necessário ainda um conjunto de ações possíveis, A , que alteram o estado da sociedade de agentes. Essas ações podem tanto ser individuais (realizadas por um dado agente) quanto coletivas (realizada pela sociedade inteira). Cada ação é descrita segundo uma lista de pré-condições, um custo de tempo e as alterações que são aplicadas no estado após a ação concluir. É preciso também explicitar o intervalo de medição, ou o intervalo de tempo, I , em que os agentes terão seu desempenho mensurado. E, por fim, se faz necessário um conjunto de métricas, M , para avaliar os agentes.

Existem diversas métricas que podem compor o conjunto M . Um exemplo é o intervalo máximo que é definido como o maior intervalo entre visitas de todos os pontos de interesse ([SAMPAIO, 2013](#)). Essa métrica é bastante utilizada em vários trabalhos da área ([LAURI;](#)

(KOUKAM, 2014), (PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS (2013), (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004), (DOI, 2013). Outro exemplo, utilizado na literatura (HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013), é a ociosidade média, que consiste em calcular a média das ociosidades de cada ponto de interesse e depois tirar a média temporal desses valores.

Sendo assim, é possível concluir que o problema da Patrulha Multiagente é, fundamentalmente, um problema de otimização, onde é preciso escolher as ações dos agentes com a finalidade de minimizar (ou maximizar) uma dada métrica (SAMPAIO, 2013).

A Computação Evolucionária engloba uma classe de algoritmos que realiza uma busca no espaço de soluções à procura daquela que seja ótima (LUKE, 2013). Esses algoritmos são baseados na Teoria da Evolução das Espécies proposta por Charles Darwin¹. Eles são chamados de Algoritmos Evolucionários (EA), pois buscam dentro de uma população, o indivíduo melhor adaptado. Numa analogia com a TMAP, um indivíduo seria uma sociedade de agentes que patrulha um território e as métricas de avaliação determinariam qual seria a solução melhor adaptada. Dessa forma, será mostrado no presente trabalho que EAs podem ser utilizados para resolver o problema a TMAP.

Apesar de possuir diversas soluções com diferentes abordagens para o problema (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004), (MACHADO et al., 2003), (ALMEIDA et al., 2004), (ELMALIACH; AGMON; KAMINKA, 2007), (HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013), soluções que utilizam estratégias evolucionárias (LUKE, 2013) são pouco encontradas na literatura (LAURI; KOUKAM, 2008), (LAURI; KOUKAM, 2014) e, por tanto, serão o objeto de pesquisa do presente trabalho.

1.1 Objetivos Gerais

Motivado pelos problemas descritos acima, este trabalho tem como objetivo geral a proposição e o estudo de soluções para TMAP utilizando estratégias evolucionárias. Outro objetivo é comprovar a eficácia e avaliar a relevância de abordagens evolucionárias para o problema da patrulha através de experimentos empíricos e da comparação destas soluções com as obtidas através de abordagens já propostas na literatura e tidas como tradicionais.

1.2 Objetivos Específicos

Tendo em vista tais objetivos gerais, este projeto visa atingir os seguintes objetivos específicos:

- Investigar estratégias evolucionárias e como elas podem ser aplicadas ao problema da patrulha multiagente temporal;

¹<http://en.wikipedia.org/wiki/Evolution>

- Desenvolver um(s) algoritmo(s) baseado(s) em estratégias evolucionárias para a solução da TMAP;
- Implementar os algoritmos desenvolvidos em um simulador capaz de computar diversas métricas para uma dada solução da TMAP.
- Avaliar o desempenho do algoritmo no simulador e verificar eficácia da abordagem.
- Comparar empiricamente as soluções encontradas com aquelas já publicadas na literatura.

2

Trabalhos Relacionados

2.1 Considerações Iniciais

Um dos grandes obstáculos para o estudo do Problema da Patrulha Multiagente é a falta de concordância, dentre os pesquisadores, sobre nomenclatura, escopo e critérios de avaliação para as soluções propostas. Isso pode se dever ao fato do problema da patrulha estar presente em diferentes áreas como Inteligência Artificial, Sistemas Multiagentes e até Robótica ([SAMPAIO, 2013](#)).

Há, na literatura, nomes diferentes para o problema da Patrulha Multiagente. Por exemplo, alguns autores ([HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013](#)) chamam o problema de “patrulha multirobô” (ou Multi-Robot Patrolling, em inglês), outros ([POULET; CORRUBLE; SEGHHROUCHNI, 2012.a](#)) se referem ao problema pelo nome de “patrulha temporal” (tradução de timed patrolling), já alguns pesquisadores ([KOENIG; LIU, 2001](#)) utilizam o termo “cobertura de terreno” (terrain coverage, em inglês). No entanto, no decorrer do presente trabalho será utilizado o termo “Patrulha Multiagente”, pois ele é considerado mais apropriado por diversos pesquisadores ([LAURI; KOUKAM, 2014](#)), ([SAMPAIO, 2013](#)), ([HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013](#)) e ([ALBERTON et al., 2012](#)).

O escopo é outro fator que varia entre os trabalhos. ([DOI, 2013](#)), por exemplo, faz uma análise do problema da patrulha onde o ambiente é dinâmico. Isto é, o grafo onde os agentes patrulham sofre alterações ao longo da execução do agente. Em um dado momento, o grafo pode ter vértices adicionados ou removidos. Já ([LAURI; KOUKAM, 2014](#)) trabalham levando em conta que agentes podem ter velocidades diferentes. Os autores de ([PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013](#)) levam em consideração que agentes podem agir com eficiência abaixo do esperado, isto é, o agente não pode ser confiado para realizar a tarefa que lhe foi passada sem falhas. Em ([ELMALIACH; AGMON; KAMINKA, 2007](#)), os autores consideram restrições de frequência, isso significa que cada nó tem a si designado um valor de frequência com a qual o nó **deve** ser visitado. Outro exemplo seria o trabalho feito em ([POULET; CORRUBLE; SEGHHROUCHNI, 2012.a](#)) e ([POULET; CORRUBLE; EL FALLAH SEGHHROUCHNI, 2012.b](#)), onde é feita uma análise do problema em uma configuração de sistema aberto. Sistemas abertos foram definidos

em (POULET et al., 2011) como aqueles agentes podem entrar e sair a qualquer momento da execução.

Na presente pesquisa, será utilizado o escopo para a Patrulha Multiagente doravante referido como "padrão", onde os agentes possuem eficiência idêntica, são confiáveis e não são retirados nem adicionados ao longo da patrulha. Quanto ao ambiente, o objeto de estudo deste trabalho compreende apenas ambientes que permanecem estáticos durante a execução dos agentes, e os pontos que devem ser patrulhados não possuem restrições de frequência.

Existem diversas métricas que podem ser utilizadas para medir a eficiência de cada solução para a TMAP. Diferentes pesquisadores utilizam métricas distintas. Em (MACHADO et al., 2003) foram propostas as métricas mais utilizadas para a TMAP. São elas: ociosidade instantânea do nó, ociosidade instantânea do grafo, ociosidade máxima e tempo de exploração. Depois deste trabalho, (SAMPAIO, 2013) propôs uma nova família de métricas baseadas nos intervalos entre visitas. As métricas utilizadas nos trabalhos mais recentes variam: (LAURI; KOUKAM, 2014) e (PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013) utilizam o intervalo máximo, já (ELMALIACH; AGMON; KAMINKA, 2007) fazem uso da frequência mínima e (HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013) compara as frequências mínimas.

Dessa forma, esta sessão visa, através de pesquisa bibliográfica, explorar os trabalhos relacionados para construir a base de conhecimento necessária para formular uma proposta compatível com o objetivo deste projeto. Serão discutidas as soluções para o problema da patrulha presentes na literatura classificando-as por seu escopo e métricas utilizadas na avaliação dos agentes.

2.2 Levantamento Bibliográfico

2.2.1 Definições

O problema da Patrulha é tipicamente modelado por um Grafo (ROSEN, 2006). Segundo (ALMEIDA et al., 2004), isso se deve ao fato de que representar o problema por meio de um grafo faz com que o problema possa ser facilmente adaptado para um variedade de domínios desde terrenos até redes de computadores. (SAMPAIO, 2013) também considera que os grafos sejam o modelo preferencial para os ambientes da TMAP, pois são suficientemente poderosos para capturar as características do terreno mais relevantes para o problema. Essa capacidade do grafo pode ser confirmada por estudos que adotam grafos como modelo e posteriormente aplicam suas soluções em ambientes realistas contínuos (PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013).

Em (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004), o problema é matematicamente definido da seguinte forma:

O território onde os agentes patrulham é representado por um grafo $G(V, E)$, onde V é o conjunto dos pontos de interesse que precisam ser patrulhados e E representa o conjunto

de arestas, $E \in V^2$, de G . Para toda aresta $(i, j) \in E$, onde $i, j \in V$, corresponde um peso $c_{i,j}$ representando a distância entre o vértices i e j em G .

Nesse cenário, uma solução monoagente para o problema seria uma função $\pi : \mathbb{N} \rightarrow V$, tal que $\pi(j)$, para $j \in V$, é o j -ésimo vértice visitado pelo agente. Analogamente, uma solução multiagente seria um conjunto $\Pi = \{\pi_1 \dots \pi_r\}$, onde r é o número de agentes.

Dessa forma, o problema seria encontrar o conjunto Π que obtivesse os melhores resultados de acordo com um certo critério de avaliação.

Já (SAMPAIO, 2013) contribuiu com uma definição mais abrangente da TMAP. Ele aponta que uma instância da TMAP pode ser completamente definida pela seguinte tupla:

$$\langle E, P, S, s_0, A, I, M \rangle$$

O elemento E representa o ambiente (do inglês, *environment* onde estão os pontos de interesse a serem patrulhados, preferencialmente E deve ser um grafo $G(V, E)$). E o elemento P é o conjunto dos pontos de interesse do ambiente. No caso de um grafo, $P = V$.

S é um elemento um pouco mais complexo, pois ele representa o conjunto de possíveis estados da sociedade de agentes. Cada estado dentro desse conjunto pode conter informações tais como, quantos agentes estão ativos, qual a posição atual de cada agente no ambiente E , o tempo decorrido desde o início da patrulha, orientação e energia de cada agente e características globais do conjunto de agentes. O estado inicial da sociedade é representado em s_0 , ou seja, $s_0 \in S$. Esta modelagem para o grupo de agentes permite ao modelo de (SAMPAIO, 2013) englobar diversas extensões para a TMAP, como por exemplo as citadas no Capítulo 1.

O quinto elemento da tupla, A , é o conjunto de ações que alteram o estado da sociedade, S . Essas ações podem ser individuais, de cada agente, ou coletivas, da sociedade inteira. O autor afirma que A deve conter, no mínimo, duas ações individuais definidas para cada agente: movimentação entre os pontos de P e visitação aos elementos do conjunto.

I representa o intervalo de medição, dentro do qual o desempenho dos agentes é mensurado através das métricas definidas no conjunto M , último elemento da tupla.

O problema da patrulha multiagente seria, então, definir um conjunto A de ações a serem tomadas pelos agentes, que estão inicialmente no estado s_0 , para minimizar as métricas presentes em M durante o período de patrulha, I .

2.2.2 Classificações para a TMAP

São notórios alguns trabalhos muito citados na literatura que visaram classificar as soluções para a TMAP.

Em (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004), as abordagens propostas até então foram classificadas em **cíclicas** (ou de ciclo único) e **baseadas em particionamento**. As soluções de ciclo único são aquelas onde é calculado um ciclo que cobre todos os vértices do grafo, e então, os agentes são colocados para caminhar nesse ciclo indefinidamente. As

abordagens baseadas em particionamento são aquelas onde o território a ser patrulhado é dividido em r regiões, onde r é o número de agentes. Os agentes devem, então, patrulhar dentro de suas respectivas regiões.

Já (MACHADO et al., 2003) fazem uma extensa classificação das arquiteturas de soluções para a TMAP. Eles dividem os agentes em: **reativo** ou **cognitivo**; com comunicação **permitida** ou **proibida**; com coordenação **central** ou **descentralizada**; com percepção **local** ou **global**; com tomada de decisão **aleatória** ou **orientada a objetivo**. Os agentes reativos são aqueles que agem baseados apenas na sua percepção atual do território, enquanto que os agentes cognitivos podem perseguir um determinado objetivo. Enquanto os agentes cognitivos tem uma visão do grafo completo, os reativos só podem enxergar os nós adjacentes ao que eles se encontram. A comunicação se refere a possibilidade dos agentes trocarem informações. A percepção se refere ao quanto de informação o agente pode acessar sobre o ambiente ao seu redor e sobre os outros agentes. Finalmente, no esquema de coordenação centralizado, uma entidade central escolhe nó-objetivo de cada agente, enquanto que no esquema descentralizado, a coordenação emerge da interação entre os agentes.

As abordagens propostas na presente pesquisa podem ser classificadas como estratégias **baseadas em particionamento**, com agentes **cognitivos**, de comunicação **proibida**, com coordenação **centralizada**, de percepção **global**, e com tomada de decisão **orientada a objetivo**.

2.2.3 Soluções já propostas

(CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004) propuseram uma solução para a TMAP baseada no Problema do Caixeiro Viajante (TSP). Segundo os autores, a solução mais simples seria encontrar um ciclo que percorresse todos os pontos de interesse do terreno (de preferência sem repetição de pontos dentro do ciclo) e então fazer o agente percorrer esse ciclo indefinidamente. Esta estratégia corresponde a encontrar um ciclo que percorre todos os nós do grafo sem repeti-los, um Ciclo Hamiltoniano. O trabalho demonstra que para um único agente a solução ótima, para a métrica da ociosidade máxima, é esta estratégia cíclica baseada no TSP. No entanto, o TSP é conhecidamente um problema NP-Completo. Dessa forma, os autores propõem uma solução utilizando o algoritmo de Christofides (CHRISTOFIDES, 1976) para obter uma aproximação do TSP em tempo polinomial. A pesquisa ainda aponta que, para o caso multiagente, a solução seria calcular o ciclo, posicionar os agentes com um certo intervalo entre um e outro e colocá-los para percorrer o ciclo indefinidamente. Os autores, no entanto, não estudam a aplicação dessa solução ao problema com outras métricas que não a da ociosidade máxima.

Posteriormente, (ALMEIDA et al., 2004) realizam um estudo comparativo entre estratégias centralizadas e descentralizadas. Eles concluem que a solução proposta por (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004) é a mais eficiente dentre as estudadas por eles. Os autores também chegam à conclusão de que as estratégias centralizadas estudadas, apesar de terem obtido resulta-

dos melhores nos experimentos, devem sofrer mais com problemas de escalabilidade a medida que o grafo cresce.

A partir das conclusões tiradas nesses estudos, (ELMALIACH; AGMON; KAMINKA, 2007) propõem uma solução centralizada e cíclica, onde ao invés de utilizar o algoritmo de Christofides, se utiliza o método *Spanning Tree Coverage*, introduzido em (GABRIELY; RIMON, 2001), para gerar um Ciclo Hamiltoniano em um grafo com formato de *grid*. Assim como a solução de (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004), após o ciclo ser calculado, os vários agentes são posicionados no grafo e colocados para percorrer o ciclo indefinidamente.

Além dessas soluções de ciclo único, também foram propostas, na literatura, soluções baseadas em particionamento. Os autores (PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013) propõem uma solução, onde, na inicialização, os nós do grafo são particionados entre os agentes e esses calculam um ciclo fechado (*closed cycle*) dentro da respectiva partição. Uma entidade de monitoramento central fica responsável por verificar, ao longo da execução, a performance dos agentes para a métrica de intervalo máximo entre visitas e identificar agentes que estejam com baixo desempenho. Então, alguns nós do agente de baixo rendimento são oferecidos aos outros agentes e redesignados através de um protocolo baseado em leilão.

Visando a escalabilidade apontada por (ALMEIDA et al., 2004), foram propostas diversas soluções descentralizadas. Dentre elas, destacam-se as baseadas em colônias de formigas (KOENIG; LIU, 2001), (ELOR; BRUCKSTEIN, 2010), (DOI, 2013). Nessas soluções, os agentes não possuem uma visão completa do grafo, mas apenas das suas vizinhanças. A coordenação dos agentes é emergente (MACHADO et al., 2003), pois cada agente pode deixar marcações em nós do grafo que podem ser sentidas pelos outros agentes. Ao comparar as soluções centralizadas com as descentralizadas, (ALMEIDA et al., 2004) encontra resultados melhores nas centralizadas.

Apesar de serem amplamente utilizados na literatura para resolver problemas de otimização, os Algoritmos Evolucionários (LUKE, 2013) foram pouco utilizados no problema da Patrulha. (LAURI; KOUKAM, 2008) propõe uma solução híbrida composta de dois passos: no primeiro, um algoritmo genético para posicionar os agentes o mais distante possível dentro do território, e então, utiliza *Ant Colony Optimization* (ACO) para calcular partições no grafo por onde os agentes irão patrulhar durante a execução. Dessa forma, pode-se constatar que o algoritmo evolucionário não está sendo usado para resolver o problema da patrulha em si, mas para encontrar os r nós mais distantes uns dos outros dentro do grafo, onde r é o número de agentes.

2.3 Considerações Finais

Uma vez apresentados, neste capítulo, os conceitos básicos dos trabalhos relacionados, é possível fazer algumas observações sobre tendências dentre as publicações. Há uma predileção pela Simulação como método de comparação e de demonstração de soluções. É possível também

perceber que muitos trabalhos utilizam as métricas propostas por ([MACHADO et al., 2003](#)) e ([SAMPAIO, 2013](#)).

Percebe-se que falta à literatura um trabalho que investigue uma solução para a TMAP utilizando algoritmos evolucionários, tais como a Estratégia Evolucionária (ES), o Algoritmo Genético (GA) e Evolução Diferencial (DE).

A Tabela 2.1 resume as soluções apresentadas nesta sessão de acordo com o escopo do problema, o método de demonstração das soluções e as métricas utilizadas.

Tabela 2.1: Resumo dos trabalhos relacionados

| Trabalho | Escopo | Método | Métrica(s) |
|--|---|--|---|
| (MACHADO et al., 2003) | Patrulha Multiagente "Padrão" | Simulação | Ociosidade instantânea do nó, ociosidade instantânea do grafo, ociosidade do grafo, ociosidade máxima e tempo de exploração |
| (CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004) | Patrulha Multiagente "Padrão" | Análise Matemática | Pior ociosidade (<i>worst idleness</i>) |
| (ALMEIDA et al., 2004) | Patrulha Multiagente "Padrão" | Simulação | Ociosidade do grafo, Ociosidade média normalizada e Desvio padrão da ociosidade média |
| (ELMALIACH; AGMON; KAMINKA, 2007) | Patrulha Multiagente com restrição de frequência | Análise Matemática | Frequência máxima uniforme |
| (LAURI; KOUKAM, 2008) | Patrulha Multiagente "Padrão" | Simulação | Ociosidade Máxima |
| (POULET; CORRUBLE; SEGHRUCHNI, 2012.a) | Patrulha Multiagente como um sistema aberto | Simulação | Intervalo médio entre visitas, Intervalo quadrático médio, tempo de estabilização e amplitude das variações |
| (PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013) | Patrulha Multiagente com agentes que possuem performances distintas | Simulação e Experimentação com robôs reais | Intervalo Máximo entre visitas |
| (DOI, 2013) | Patrulha Multiagente em ambientes dinâmicos | Simulação | Intervalo Máximo entre visitas |
| (HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013) | Patrulha Multiagente "Padrão" | Simulação | Ociosidade total |

Fonte: O autor

3

Development Chapter

3.1 Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea

dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

3.2 Section

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

3.2.1 Subsection

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat

a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

4

Conclusão

4.1 Introduction

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea

dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

4.2 Section

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

4.2.1 Subsection

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat

a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Referências

- ALBERTON, R. et al. Multi-agent perimeter patrolling subject to mobility constraints. **American Control Conference (ACC), 2012**, Montreal, QC, CAN, p.4498–4503, June 2012.
- ALMEIDA, A. et al. Recent Advances on Multi-agent Patrolling. **Advances in Artificial Intelligence – SBIA 2004**, [S.l.], v.3171, p.474–483, 2004.
- CHEVALEYRE, Y.; SEMPE, F.; RAMALHO, G. A Theoretical Analysis of Multi-Agent Patrolling Strategies. **Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 3**, Washington, DC, USA, p.1524–1525, 2004.
- CHRISTOFIDES, N. **Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem**. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie-Mellon University, 1976.
- DOI, S. Proposal and evaluation of a pheromone-based algorithm for the patrolling problem in dynamic environments. **Swarm Intelligence (SIS), 2013 IEEE Symposium on**, Singapore, p.48–55, April 2013.
- ELMALIACH, Y.; AGMON, N.; KAMINKA, G. Multi-Robot Area Patrol under Frequency Constraints. **Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on**, [S.l.], p.385–390, April 2007.
- ELOR, Y.; BRUCKSTEIN, A. M. Autonomous Multi-agent Cycle Based Patrolling. **Proceedings of the 7th International Conference on Swarm Intelligence**, Berlin, Heidelberg, p.119–130, 2010.
- GABRIELY, Y.; RIMON, E. Spanning-tree based coverage of continuous areas by a mobile robot. **Annals of Mathematics and Artificial Intelligence**, [S.l.], v.31, n.1-4, p.77–98, 2001.
- HERNÁNDEZ, E.; CERRO, J. d.; BARRIENTOS, A. Game theory models for multi-robot patrolling of infrastructures. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, [S.l.], v.10, p.181–189, March 2013.
- KOENIG, S.; LIU, Y. Terrain Coverage with Ant Robots: a simulation study. **Proceedings of the Fifth International Conference on Autonomous Agents**, New York, NY, USA, p.600–607, 2001.
- LAURI, F.; KOUKAM, A. A two-step evolutionary and ACO approach for solving the multi-agent patrolling problem. **Evolutionary Computation, 2008. CEC 2008. (IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE Congress on**, [S.l.], p.861–868, June 2008.
- LAURI, F.; KOUKAM, A. Hybrid ACO/EA algorithms applied to the multi-agent patrolling problem. **Evolutionary Computation (CEC), 2014 IEEE Congress on**, Beijing, China, p.250–257, July 2014.
- LUKE, S. **Essentials of Metaheuristics**. second.ed. [S.l.]: Lulu, 2013. Available for free at <http://cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/>.

MACHADO, A. et al. Multi-agent Patrolling: an empirical analysis of alternative architectures. **Proceedings of the 3rd International Conference on Multi-agent-based Simulation II**, Berlin, Heidelberg, p.155–170, 2003.

PIPPIN, C.; CHRISTENSEN, H.; WEISS, L. Performance Based Task Assignment in Multi-robot Patrolling. **Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing**, New York, NY, USA, p.70–76, 2013.

POULET, C.; CORRUBLE, V.; EL FALLAH SEGHROUCHNI, A. Auction-Based Strategies for the Open-System Patrolling Task. **PRIMA 2012: Principles and Practice of Multi-Agent Systems**, [S.l.], v.7455, p.92–106, 2012.b.

POULET, C.; CORRUBLE, V.; SEGHROUCHNI, A. Working as a Team: using social criteria in the timed patrolling problem. **Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2012 IEEE 24th International Conference on**, [S.l.], v.1, p.933–938, Nov 2012.a.

POULET, C. et al. The Open System Setting in Timed Multiagent Patrolling. **Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2011 IEEE/WIC/ACM International Conference on**, [S.l.], v.2, p.373–376, Aug 2011.

ROSEN, K. H. **Discrete Mathematics and Its Applications**. 6th.ed. [S.l.]: McGraw-Hill Higher Education, 2006.

SAMPAIO, P. A. **Patrulha Temporal Taxonomia, Métricas e Novas Soluções**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil.

Apêndice



Mapping Study's Instruments

Tabela A.1: List of conferences on which the searches were performed.

| Acronym | Conference |
|---------|--|
| APSEC | Asia Pacific Software Engineering Conference |
| ASE | IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering |
| CSMR | European Conference on Software Maintenance and Reengineering |
| ESEC | European Software Engineering Conference |
| ESEM | International Symposium on Empirical Software Management and Measurement |
| ICSE | International Conference on Software Engineering |
| ICSM | International Conference on Software Maintenance |
| ICST | International Conference on Software Testing |
| InfoVis | IEEE Information Visualization Conference |
| KDD | ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining |
| MSR | Working Conference on Mining Software Repositories |
| OOPSLA | Object-Oriented Programming, Systems, Languages and Applications |
| QSIC | International Conference On Quality Software |
| SAC | ACM Symposium on Applied Computing |
| SEAA | EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications |
| SEDE | 19th International Conference on Software Engineering and Data Engineering |
| SEKE | International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering |

Tabela A.2: List of journals in which the searches were performed.

| Journal title |
|---|
| ACM Transactions on Software Engineering and Methodology |
| Automated Software Engineering |
| Elsevier Information and Software Technology |
| Elsevier Journal of Systems and Software |
| Empirical Software Engineering |
| IEEE Software |
| IEEE Computer |
| IEEE Transactions on Software Engineering |
| International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering |
| Journal of Software: Evolution and Process |
| Software Quality Journal |
| Journal of Software |
| Software Practice and Experience Journal |

Tabela A.3: Search string per Search Engine.

| Search Engine | Search String |
|----------------------|--|
| Google Scholar | bug report OR track OR triage “change request” issue track OR request OR software OR “modification request” OR “defect track” OR “software issue” repositories maintenance evolution |
| ACM Portal | Abstract: "bug report"or Abstract:"change request"or Abstract:"bug track"or Abstract:"issue track"or Abstract:"defect track"or Abstract:"bug triage"or Abstract: "software issue"or Abstract: "issue request"or Abstract: "modification request") and (Abstract:software or Abstract:maintenance or Abstract:repositories or Abstract:repository |
| IEEEExplorer (1) | ((((((((((Abstract": "bug report") OR "Abstract": "change request") OR "Abstract": "bug track") OR "Abstract": "software issue") OR "Abstract": "issue request") OR "Abstract": "modification request") OR "Abstract": "issue track") OR "Abstract": "defect track") OR "Abstract": "bug triage") AND "Abstract": software) |
| IEEEExplorer (2) | ((((((((((Abstract": "bug report") OR "Abstract": "change request") OR "Abstract": "bug track") OR "Abstract": "software issue") OR "Abstract": "issue request") OR "Abstract": "modification request") OR "Abstract": "issue track") OR "Abstract": "defect track") OR "Abstract": "bug triage") AND "Abstract": maintenance) |
| IEEEExplorer (3) | ((((((((((Abstract": "bug report") OR "Abstract": "change request") OR "Abstract": "bug track") OR "Abstract": "software issue") OR "Abstract": "issue request") OR "Abstract": "modification request") OR "Abstract": "issue track") OR "Abstract": "defect track") OR "Abstract": "bug triage") AND "Abstract": repositories) |
| IEEEExplorer | ((((((((((Abstract": "bug report") OR "Abstract": "change request") OR "Abstract": "bug track") OR "Abstract": "software issue") OR "Abstract": "issue request") OR "Abstract": "modification request") OR "Abstract": "issue track") OR "Abstract": "defect track") OR "Abstract": "bug triage") AND "Abstract": repository) |
| Citeseer Library | (abstract: "bug report"OR abstract:"change request"OR abstract:"bug track"OR abstract:"issue track"OR abstract:"defect track"OR abstract:"bug triage"OR abstract: "software issue"OR abstract: "issue request"OR abstract: "modification request") AND (abstract:software OR abstract:maintenance OR abstract:repositories OR abstract:repository) |
| Elsevier | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "software issue"OR "issue request"OR "modification request") AND (software OR maintenance OR repositories OR repository) |
| Scirus | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "software issue"OR "issue request"OR "modification request") AND (software maintenance OR repositories OR repository) ANDNOT (medical OR aerospace) |
| ScienceDirect | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "issue request"OR "modification request") AND LIMIT-TO(topics, "soft ware") |
| Scopus | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "software issue"OR "issue request"OR "modification request") AND (software maintenance OR repositories OR repository) |
| Wiley | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "software issue"OR "issue request"OR "modification request") AND (software maintenance OR repositories OR repository) |
| ISI Web of Knowledge | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "software issue"OR "issue request"OR "modification request") AND (software maintenance OR repositories OR repository) ANDNOT (medical OR aerospace) |
| SpringerLink | ("bug report"OR "change request"OR "bug track"OR "issue track"OR "defect track"OR "bug triage"OR "software issue"OR "issue request"OR "modification request") AND (software maintenance OR repositories OR repository) ANDNOT (medical OR aerospace) |