

Vítor de Albuquerque Torreão

**EVOLUTIONARY APPROACHES TO MULTI AGENT TIMED
PATROLLING**

B.Sc. Dissertation



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

RECIFE
2015



Federal Rural University of Pernambuco
Department of Statistics and Informatics
BsC in Computer Science

Vítor de Albuquerque Torreão

**EVOLUTIONARY APPROACHES TO MULTI AGENT TIMED
PATROLLING**

A B.Sc. Dissertation presented to the Department of Statistics and Informatics of Federal Rural University of Pernambuco in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor in Computer Science.

Advisor: Pablo Azevedo Sampaio

RECIFE
2015

Vítor de Albuquerque Torreão
Evolutionary Approaches to Multi Agent Timed Patrolling/ Vítor de Albuquerque
Torreão. – RECIFE, 2015-
43 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Advisor Pablo Azevedo Sampaio

B.Sc. Dissertation – 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 **Evolutionary Approaches to Multi Agent Timed Patrolling**, 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

*I dedicate this work to all my family, friends and professors
who gave me the necessary support to get here.*

Acknowledgements

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

List of Figures

List of Tables

A.1	List of conferences on which the searches were performed.	41
A.2	List of journals in which the searches were performed.	42
A.3	Search string per Search Engine.	43

List of Acronyms

Contents

1	Introduction	23
2	Background Chapter	25
2.1	Introduction	25
2.2	Section	26
2.2.1	Subsection	26
3	Development Chapter	29
3.1	Introduction	29
3.2	Section	30
3.2.1	Subsection	30
4	Conclusion	33
4.1	Introduction	33
4.2	Section	34
4.2.1	Subsection	34
	References	37
	Appendix	39
A	Mapping Study's Instruments	41

1

Introduction

Many activities related to vigilance, inspection and control, which are currently accomplished by humans, will possibly be executed by autonomous systems in the future ([HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013](#)). Some examples of such tasks are patrolling a country's borders or walls of a civil area, watching a building's corridors, monitoring maritime fleets and inspecting areas subject to gas leakage or fires ([SAMPAIO, 2013](#)).

According to ([HERNÁNDEZ; CERRO; BARRIENTOS, 2013](#)), these security systems, when operated by human beings, are, in their majority, predictable and inflexible, because the operator's performance can be influenced by factors such as fatigue, boredom and distraction. Therefore, the authors state that it is important to improve the elements of security in such systems to help the human operators. A multiagent patrol system is a prominent candidate to play that role ([CHEVALEYRE; SEMPE; RAMALHO, 2004](#)).

The multiagent patrol can be defined as the task where a group of agents must perceive a limited portion of the environment and detect events or anomalies ([ALBERTON et al., 2012](#)). More specifically, it is defined as the problem where a team of individuals (agents) visits as frequently as possible points of interest contained in an area ([POULET; CORRUBLE; SEGHRUCHNI, 2012](#)). Or it can also be defined as a vigilance problem, where the agents must minimize the time between visits on important locations inside a known environment ([PIPPIN; CHRISTENSEN; WEISS, 2013](#)).

2

Background Chapter

2.1 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.

2.2 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.

2.2.1 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.

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

Conclusion

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.

References

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

Appendix



Mapping Study's Instruments

Table 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

Table 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

Table 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, "software")
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)