



Universidade de São Paulo

Biblioteca Digital da Produção Intelectual - BDPI

Departamento de Ciências de Computação - ICMC/SCC

Comunicações em Eventos - ICMC/SCC

2014-10

Análise de uma estratégia de coordenação bio-inspirada de múltiplos robôs para a tarefa de vigilância em ambientes desconhecidos

Brazilian Conference on Intelligent Systems, 3th; Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional, 11th, 2014, São Carlos.

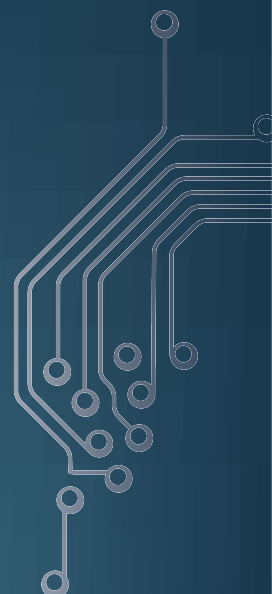
<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/48645>

Downloaded from: Biblioteca Digital da Produção Intelectual - BDPI, Universidade de São Paulo

ENIAC

Encontro Nacional de Inteligência
Artificial e Computacional

2014



19 - 23 Outubro 2014
São Carlos, São Paulo, Brasil



Preface

The joint conference Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS) – Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional (ENIAC) is the combination of the most important scientific events in the country historically related to Artificial Intelligence (AI) and Computational Intelligence (CI): the Brazilian Symposium on Artificial Intelligence (SBIA, 21 editions), the Brazilian Symposium on Neural Networks (SBRN, 12 editions) and the Encontro Nacional de Inteligência Artificial (ENIA, 10 editions).

The main goal of BRACIS is the promotion of international level research by exchanging scientific ideas among researchers, practitioners, scientists and engineers, as well as promoting original theories and novel applications dealing with the use and analysis of Artificial and Computational intelligence techniques in various related fields. ENIAC is a national forum for researchers, practitioners, educators and students to present and discuss innovations, trends, experiences, developments and work in progress in the fields of Artificial and Computational Intelligence. BRACIS ENIAC 2014 shares the same goals of its previous editions and adds the aim to stimulate the development of high-level research that crosses boundaries between Artificial and Computational Intelligence. BRACIS-ENIAC 2014 will be held in the intellectually vibrant city of São Carlos that hosts campuses of the University of São Paulo (USP) and the Federal University of São Carlos (UFSCAR).

This volume contains the papers presented at ENIAC 2014. Papers were submitted in portuguese and english and reviewed by at least 2, and on the average 3, program committee members. A total number of 97 papers will be presented in ENIAC, covering a wide range of topics in Artificial and Computational Intelligence. The papers in this proceedings are available online as a BDBComp procedigns via the site:

<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/bdbcomp/servlet/Evento?id=739>

A selected number of papers will be selected to appear in special issues of the *Progress in Artificial Intelligence Journal* and the *Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*.

We would like to express our sincere thanks to all Program Committee members and to all reviewers for their cooperation in the reviewing process. We very much appreciated their hard work, which guaranteed the high quality of the technical program. We would like to extend our thanks to the Local Chairs and the volunteers who run several aspects of the organization and exhibition of this conference. Special thanks go to our Invited Speakers and to all of you who came to São Carlos to present and share your own work. Finally, we are most grateful for the sponsorship and support of CNPq, CAPES and FAPESP, as well as of Bloomberg, IBM Research and TERADATA.

September 1, 2014

Paulo Santos (FEI)
Ricardo Prudencio (UFPE)
BRACIS ENIAC 2014.
Program Co-Chairs

Table of Contents

Ampliando o Perfil do Usuário para um Sistema de Recomendação de Nomes Próprios	1
<i>Rafael Glauber and Angelo Loula</i>	
A Trust-based -ATMS for the Future Internet	7
<i>Mondi Ravi, Yves Demazeau and Fano Ramparany</i>	
Reconhecimento de Padrões Aplicados a Comentários de Fóruns Educacionais	13
<i>Vitor Rolim, Filipe Rolim and Rafael Ferreira</i>	
Deteção Automática de Spammers em Redes Sociais	19
<i>Jhony M. Campanha, Johannes V. Lochter and Tiago A. Almeida</i>	
Abordagem Semi-supervisionada para Rotulação de Dados	25
<i>Bruno Lima, Vinicius Machado and Rodrigo Veras</i>	
Keyword Identification in Structured Reports in the Presence of Ambiguity	30
<i>Kuruwilla Joseph Abraham, Flavia Pena Nicolas, Amanda Da Rocha Reis, Ivan Torres Pisa and Evandro Eduardo Seron Ruiz</i>	
Uma abordagem para a escolha do melhor método de seleção de instâncias usando meta-aprendizagem	36
<i>Shayane Moura, Marcelo Bassani Freitas, Halisson Cardoso and George Darmiton</i>	
Normalização Textual e Indexação Semântica Aplicadas na Filtragem de SMS Spam	41
<i>Tiago P. Silva, Igor Santos, Tiago A. Almeida and José M. G. Hidalgo</i>	
Análise de Múltiplos Sentimentos em Textos Baseada em Lexicon	47
<i>Igor Barbosa, Ygor Diniz, Andy Gajadhar, Yuri Malheiros and Andrei Formiga</i>	
On the data classification using complex network entropy	53
<i>Filipe A. Neto and Liang Zhao</i>	
Uma arquitetura para combinação de classificadores otimizada por métodos de poda com aplicação em credit scoring	59
<i>Luiz Vieira E Silva Filho and George D.C. Cavalcanti</i>	
Evolução Diferencial Aplicada ao Problema de Despacho Econômico de Energia Elétrica	67
<i>Lucas Prestes, Richard Gonçalves, Josiel Kuk, Sandra Venske and Carolina Almeida</i>	

Classificação Automática de Gêneros Musicais Latinos Utilizando Sistemas Fuzzy	74
<i>João Marcelo Bernardi, Marcos Henrique de Andrade, Glaucia Bressan and Carlos Silla Júnior</i>	
Geração de Regras Fuzzy para Classificação pelo Algoritmo OGP	79
<i>Carlos Magno Valle, Adriano Soares Koshiyama, Ricardo Tanscheit and Marley Vellasco</i>	
Criminal Hot Spot Detection using Formal Concept Analysis and Clustering Algorithms	85
<i>Adriana M. G. Farias, Marcos Cintra, Angélica Félix de Castro and Danniell Cavalcante Lopes</i>	
Técnicas de agrupamento aplicadas em culturas para suporte à decisão em agricultura de precisão.	91
<i>Mariana Pereira, Kemilly Garcia, Claudio Ronchi and Murilo Naldi</i>	
Informação de Fisher no modelo de Potts definido em grafos para classificação supervisionada	98
<i>Alan Hiraga and Alexandre Levada</i>	
RCMDE-GSD: Building Global Hierarchical Classifiers Using Differential Evolution for Predicting Gene Ontology Terms	104
<i>Rafael Abud Menezes and Júlio Cesar Nievola</i>	
Problema de Alocação de Berços em Terminais de Contêineres através de Algoritmos Genéticos	110
<i>Adriane Serapiao and Larissa Cristina Moraes</i>	
Um Modelo de Suporte à Comunicação de Agentes para tratamento de informação imprecisa com ontologia: integrando aos ambientes Jason e Jade	116
<i>Fabio Aiub Sperotto and Diana Francisca Adamatti</i>	
Incorporating Object Features in Collaborative Argumentation-Based Negotiation Agents	121
<i>Pablo Pilotti, Ana Casali and Carlos Chesñevar</i>	
Avaliação de Técnicas de Regressão para Predição de Fluxo de Veículos na Cidade de Belo Horizonte	128
<i>Aline Xavier Fidêncio and Luiz Merschmann</i>	
Query Rules Study on Active Semi-Supervised Learning using Particle Competition and Cooperation	134
<i>Fabricio Breve</i>	

Rede de Relacionamentos Brasileira de Inteligência Artificial e Computacional	141
<i>Luciano Antonio Digiampietri, Sarajane Peres and Leandro Silva</i>	
Computational Intelligence: Trailing Mendeleyev's Footsteps.....	147
<i>Maurício Ruv Lemes, Arnaldo Dal Pino Júnior and Kallaran Cavalcante Barros</i>	
Abordagem de Classificação baseada em Comitê para Alinhamento de Ontologias	152
<i>Vinicius Lopes, Fernanda Baião and Kate Revoredo</i>	
Investigando a Utilização de Abordagens Compactas nas Estratégias de Evolução	158
<i>Anderson Sergio, Sidartha Carvalho and Marco Rego</i>	
Improving Data Mining Results by taking Advantage of the Data Warehouse Dimensions: A Case Study in Outlier Detection	164
<i>Mohammad Nozari Zarmehri and Carlos Soares</i>	
Hyperlab: A Java framework for the creation and management of hyper-heuristics and problem suites	170
<i>Kamila M. Galvani and Fernando J. Von Zuben</i>	
Identificação Automática de Gêneros das Mensagens em Fóruns de Discussões do AVA	176
<i>Fabício Guimarães and Ahmed Esmín</i>	
Modelos de Ação com Pós-Condição	182
<i>Isaque Lima and Mario Benevides</i>	
Reasoning on Ontology Version Space with Temporal Logics.....	188
<i>Iuri Fernandes Queiroz, Luis Henrique Bustamante, Ana Teresa Martins and João Alcântara</i>	
Complex networks for aiding online discussion forum evaluation.....	194
<i>Fabiano Berardo de Sousa, Elenise Maria Araújo and Jose Dutra Oliveira Neto</i>	
Viabilidade do Aprendizado Ativo em Máquinas Extremas	200
<i>Davi Santos and Andre Carvalho</i>	
A local decision making cellular automata-based path-planning	207
<i>Gina Oliveira and Giordano Ferreira</i>	
Improving Local Gaussian Process For Real-Time Online Regression.....	213
<i>Renato De P. Pereira, Paulo M. Engel, Thiago F. Rodrigues and Cassio Felipe F. De Oliveira</i>	

Multi-label Classification of Music into Genres	219
<i>Vitor Da Silva and Ana T. Winck</i>	
TweeProfiles: Detection of spatio-temporal patterns on Twitter	224
<i>Tiago Cunha, Carlos Soares and Eduarda Mendes Rodrigues</i>	
Detecting Changes in 3D Maps using Gaussian distribution	230
<i>Sidnei Silva Filho, Paulo Drews-Jr and Silvia Botelho</i>	
A Robust dual layer framework solution to the Road Sign Problem	236
<i>Cassio Oliveira and Paulo M. Engel</i>	
Bioinspired Data Mining Algorithms: An Approach for Data Clustering with Swarm Intelligence Algorithms	241
<i>Felipe Bonon Gonçalves, Guilherme Sanchez Corrêa, Adriane Beatriz Souza Serapião and Veronica Oliveira de Carvalho</i>	
Aplicação de redes neurais artificiais no estudo simulado da degradação facultativa de detergentes	249
<i>Pierre Prado, Amanda Prandini, Iolanda Duarte and Antonio Martins</i>	
On the Checking of Indirect Normative Conflicts	254
<i>Jean Zahn and Viviane Silva</i>	
A Robust and Regularized Extreme Learning Machine	260
<i>Ananda Freire and Guilherme Barreto</i>	
Probabilistic Ontologies Incremental Modeling Using UnBBayes	266
<i>Laécio L. Santos, Rommel Carvalho, Marcelo Ladeira and Li Weigang</i>	
An Agent-Based Metaheuristic Approach applied to Vehicle Routing Problem with Time-Windows	272
<i>Maria Amélia Lopes Silva, Sergio Ricardo De Souza, Sabrina Oliveira and Marcone Jamilson Freitas Souza</i>	
Sistema Nebuloso Preditivo para Manutenção de Transformadores de Potência em Sistema de Medição de Gases Dissolvidos em Óleo Mineral Isolante	278
<i>Adriane Serapião and Celso Modesto Jr.</i>	
Desenvolvimento de um Software para Detecção Automática de Tópicos em Documentos Textuais Baseada em Taxonomia	285
<i>Patrick Silva, Elvio Silva and Christian Freitas</i>	
A Novel Process Meta-model for Developing Automatic Speech Recognition Systems	293
<i>Gabriel Araujo and Hendrik Macedo</i>	

A comparison study of classifier algorithms: A submersible motor pump conditions in offshore oil exploration application	299
<i>Alexandre Rodrigues, Flavio Miguel Varejão and Marcos Pellegrini Ribeiro</i>	
Uma proposta de SLAM para veículos subaquáticos	305
<i>Felipe Guth, Silvia Botelho, Luan Silveira, Paulo Drews-Jr and Matheus Machado</i>	
Aperfeiçoamento do Mapeador de Teses e Dissertações da UFPE	311
<i>Ubiracy Dos Santos Rego Junior, Teresa Bernarda Ludermir and Renato Fernandes Correa</i>	
Semantic Web data representation in BDI Agents	318
<i>Diogo De Campos and Ricardo Azambuja Silveira</i>	
Modelos de Regressão para a Previsão de Séries Temporais por meio do Algoritmo kNN-TSP	323
<i>Carlos Andrés Ferrero, André Gustavo Maletzke and Willian Zalewski</i>	
Esquema de Alocação de Blocos de Recursos com Garantia de QoS Baseado em Lógica Fuzzy para Redes LTE	330
<i>Diego Cruz Abrahão and Flávio Henrique Teles Vieira</i>	
Metodologia para Avaliar Técnicas de Redução de Protótipos: Protótipos Gerados versus Protótipos Seleccionados	336
<i>Luciano De Santana Pereira and George D.C. Cavalcanti</i>	
Aplicação do Algoritmo ACO-HH para o problema de cobertura de conjuntos	342
<i>Alexandre S. Ferreira, Aurora T. R. Pozo and Richard Aderbal Gonçalves</i>	
Metodologia baseada em redes complexas para análise das votações de deputados brasileiros	347
<i>Fabiano Berardo de Sousa and Liang Zhao</i>	
Resolução Para o Problema n-Rainhas Utilizando ACO	353
<i>Carolina Moreira and Aurora Pozo</i>	
Um estudo sobre Otimização por Partículas aplicado ao problema de roteamento de veículos com demandas estocásticas	359
<i>Vinícius Renan de Carvalho and Aurora Pozo</i>	
Configuração automática de parâmetros: um estudo de caso	365
<i>Gian Fritsche and Aurora Pozo</i>	
New Approach to Detect the Political Opinion in Tweets	371
<i>Diala Ezzeddine, Fabien Rico and Djamel A. Zighed</i>	
Classificação de padrões robusta com redes Adaline modificadas	377
<i>César Lincoln Mattos, José Daniel Santos and Guilherme Barreto</i>	

Segmentação Espacial Não Uniforme Aplicada ao Reconhecimento de Gênero e Expressões Faciais	383
<i>Vagner Amaral, Gilson Giraldi and Carlos Thomaz</i>	
Who is their mother?: A classification work to get answers over registration people databases	389
<i>Gustavo C. G. Van Erven, Rommel Novaes Carvalho, Maristela Holanda, Marcelo Ladeira, Henrique Rocha and Gilson Mendes</i>	
Estudo do Impacto de um Corpus Desbalanceado na Identificação de Emoções em Textos	394
<i>Lohann Paterno Coutinho Ferreira, Mariza Miola Dosciatti and Emer- son Cabrera Paraiso</i>	
Bengala Inteligente Neural baseada em Aprendizagem por Reforço para Deficientes Visuais	401
<i>Franciele A. S. Alves, Alexandre M. M. Neumann and Maury M. Gouvêa Jr.</i>	
Alinhamento múltiplo de sequências utilizando otimização dialética.....	407
<i>Rodrigo Gomes De Souza, Antônio Luiz Vieira Da Silva Júnior, Ri- cardo Yara and Wellington Pinheiro Dos Santos</i>	
A comparison of the effect of feature selection and balancing strategies upon the sentiment classification of Portuguese News Stories.....	413
<i>Brett Drury and Alneu de Andrade Lopes</i>	
Aplicação do algoritmo sarsa à coleta de lixo - Avaliação de parâmetros..	418
<i>Darlinton Prauchner, Rogério Martins and Edson Padoin</i>	
Utilizando Reconhecimento Semânticos de Objetos na Formulação de Comportamentos Adaptativos na Navegação de Robôs Móveis	424
<i>Jurasildo Reinaldo, Rosiery Maia and Anderson Souza</i>	
Aplicando técnicas de aprendizado de máquina em planejamento probabilístico	430
<i>Jean L. Sousa and Carlos Roberto Lopes</i>	
Uma abordagem de alinhamento múltiplo de sequências utilizando evolução diferencial	436
<i>Antônio Luiz Vieira Da Silva Júnior, Rodrigo Gomes De Souza, Ri- cardo Yara and Wellington Pinheiro Dos Santos</i>	
Agente negociador baseado em técnicas fuzzy	441
<i>Miriam Mariela Morveli Espinoza, Myriam Regattieri Delgado and Ce- sar A. Tacla</i>	
Machine Learning And Adaptive Morphological Operators	447
<i>Magno Almeida Filho, Francisco Silva and Arthur Braga</i>	

ClusterOSS: a new undersampling method for imbalanced learning	453
<i>Victor H Barella, Eduardo P Costa and André C P L F Carvalho</i>	
Application of text mining techniques for classification of documents: a study of automation of complaints screening in a Brazilian Federal Agency	459
<i>Patrícia Andrade, Marcelo Ladeira, Rommel Carvalho, Henrique Rocha and Gilson Libório</i>	
Evolução Diferencial com Múltiplos Vetores Experimentais Aplicada ao Problema do Despacho Econômico de Energia Elétrica	465
<i>Erick Cesaro, Gustavo Czaikoski, Richard Goncalves, Carolina Almeida, Sandra Venske and Josiel Kuk</i>	
Inteligência de Enxames na Otimização da Densidade de Redes de Sensores Sem Fio	471
<i>Carlos Henrique Drumm, Paulo Roberto Ferreira and Lisane Brisolara</i>	
Aprendizado por reforço em lote para o problema de tomada de decisão em processos de venda	477
<i>Denis Antonio Lacerda and Leliane Nunes de Barros</i>	
Otimização multiobjetivo com sistemas imunológicos artificiais e operador de supressão	484
<i>Ricardo de Carvalho Destro and Reinaldo A. C. Bianchi</i>	
Aprendizagem por Reforço com Rede Neural no Desenvolvimento de Jogos Digitais	490
<i>Edival Assis and Maury Gowêa</i>	
Construção automática de algoritmos de indução de árvores de decisão: uma abordagem multiobjetiva	495
<i>Melis Silva, Rodrigo Barros and Márcio Basgalupp</i>	
Problema de Intervenção em Redes Gênicas Modelado como um Processo de Decisão Markoviano Fatorado	501
<i>Fabio Tisovec, Leliane de Barros, Karina Delgado and Ronaldo Hashimoto</i>	
Analysing some t-norm-based generalizations of the Choquet Integral for different fuzzy measures with an application to fuzzy rule-based classification systems	508
<i>Giancarlo Lucca, Rogério R. De Vargas, Graçaliz Dimuro, José Antonio Sanz Delgado, Humberto Bustince and Benjamin Bedregal</i>	
Solving Sokoban Optimally using Pattern Databases for Deadlock Detection	514
<i>André Grahl Pereira, Marcus Ritt and Luciana Salete Buriol</i>	

Investigação de técnicas de otimização baseada em população em conjunto com técnicas de busca local para classificação de dados	520
<i>Gustavo Custódio and Debora Medeiros</i>	
Algoritmo Fuzzy para Controle de Tráfego de Rede Baseado em Modelo Multifractal Adaptativo e Funções de Base Ortonormais	526
<i>Alisson Cardoso, Flávio Vieira and Diego Abrahão</i>	
ASDP: um processo para Análise de Sentimento em Debates Polarizados .	532
<i>Francisco Assis Ricarte Neto and Flávia Barros</i>	
Real-time Sentiment Analysis in Social Media Streams: The 2013 Confederation Cup Case	538
<i>Paulo Cavalin, Maira Gatti, Cícero Nogueira Dos Santos and Claudio Pinhanes</i>	
Um Modelo Híbrido para Previsão de Produção de Petróleo	544
<i>Francisca De Fátima Silva, Adrião Duarte Dória Neto, Paulo Sérgio Lucio and Eduardo Henrique Silveira de Araujo</i>	
Identificando o Assunto dos Documentos em Coleções Textuais Utilizando Termos Compostos	550
<i>Fabiano Fernandes Dos Santos, Veronica Oliveira de Carvalho and Solange Oliveira Rezende</i>	
Multi-objective Evolutionary Membership Functions Tuning as a Post-processing Task in the Generation of Fuzzy Classification Systems . .	558
<i>Edward Hinojosa Cardenas and Heloisa Camargo</i>	
Análise de uma Estratégia de Coordenação Bio-inspirada de Múltiplos Robôs para a Tarefa de Vigilância em Ambientes Desconhecidos	564
<i>Rodrigo Calvo, Janderson R. De Oliveira, Mauricio Figueiredo, Roseli Romero and Ademir Constantino</i>	
Uma abordagem de poda para Máquinas de Aprendizado Extremo via Algoritmos Genéticos	570
<i>Alisson S. C. Alencar and Ajalmar Rêgo Da Rocha Neto</i>	
Descoberta de Conhecimento com Auxílio da Inteligência Humana: um estudo de caso para dobramento de proteínas	576
<i>Renan Luz, Diana Francisca Adamatti and Adriano Werhli</i>	
Bi-objective Worker Assignment in the bases of StarCraft	582
<i>Caio Freitas Oliveira, Elizabeth Elizabeth Ferreira Gouvea Goldberg and Marco Cesar Goldberg</i>	

Análise de uma Estratégia de Coordenação Bio-inspirada de Múltiplos Robôs para a Tarefa de Vigilância em Ambientes Desconhecidos

Rodrigo Calvo
and Ademir A. Constantino
Departamento de Informática
Universidade Estadual de Maringá
Maringá - PR, Brasil, 87020-900
Email: {rcalvo,ademir}@din.uem.br

Janderson R. de Oliveira
and Roseli A. F. Romero
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Universidade de São Paulo
São Carlos - SP, Brasil, 13566-590
Email: {jrodrigo,rafrance}@icmc.usp.br

Mauricio Figueiredo
Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - SP, Brasil, 13565-905
Email: mauricio@dc.ufscar.br

Resumo. Uma estratégia distribuída de coordenação modelada de acordo com uma versão modificada do algoritmo que simula o comportamento de formigas guia robôs móveis para região não exploradas e regiões não recentemente exploradas. Em pesquisa anterior, a aplicação da estratégia confirmou que comportamentos de exploração e vigilância emergem do comportamento individual do agente. A estratégia é capaz de adaptar o sistema proposto para situações em que o número de robôs ou a estrutura do ambiente mudam. Nesta pesquisa, uma variação paramétrica da estratégia é empregada com base nos fenômenos de evaporação e propagação do feromônio. Resultados experimentais demonstram que diferentes configurações do fenômeno afetam o comportamento de exploração e vigilância. Os resultados mostram a eficiência da estratégia para realizar tarefas cooperativas.

I. INTRODUÇÃO

Em um sistema de múltiplos agentes, a cooperação ocorre quando o resultado de uma atividade realizada individualmente fornece informação suficiente para que outro agente execute sua atividade. Se a integração das atividades resultar na solução de um dado problema, diz-se que os robôs desempenharam uma tarefa cooperativamente.

Algumas das principais razões para a utilização de sistemas de múltiplos agentes são: redução da complexidade da tarefa e redução de recursos (velocidade, força, energia) vindos de um único agente; necessidade para adaptação ao espaço ou variação temporal da demanda de serviços; e robustez [1]. Outro importante aspecto é a coordenação dos agentes que permite o sistema executar tarefas eficientemente como exploração, cobertura e vigilância de ambientes [2], os quais são o assunto de interesse desta pesquisa.

Em [3], o termo vigilância é definido como a ação de percorrer uma região, em intervalos regulares, a fim de pro-

mover proteção ou supervisão da mesma. Nesse contexto, a utilização de sistemas de múltiplos robôs para a tarefa de vigilância tem sido comumente estudada [4]. O desafio consiste em determinar as trajetórias ótimas para sensoriar e explorar todo o ambiente. Em [5], duas classes de estratégias de vigilância foram descritas e comparadas. Elas baseiam-se em técnicas de particionamento de espaço e de percurso em grafo, para segmentar o ambiente e atribuir aos agentes regiões a serem patrulhadas. [6] realizaram uma avaliação empírica de diversas heurísticas de vigilância, enfatizando o comportamento multiagente das abordagens. Considerando também uma rota de monitoramento pré-definida, em [7], agentes são movidos automaticamente para áreas amplas a fim de melhorar o desempenho de algoritmos tradicionais.

Em [8], uma formulação matemática é proposta como um problema de otimização a fim de minimizar o período entre dois sensoriamentos consecutivos de um ambiente. Mesmo sendo um problema NP-completo, um estudo computacional de complexidade e um algoritmo de aproximação são apresentados para solucioná-lo. Recentemente, os autores analisaram o mesmo problema em [9], substituindo a estrutura de grafo utilizada anteriormente por um grafo acíclico e uma árvore.

Estratégias de coordenação desenvolvidas por meio de formulação matemática cujo o modelo de agentes e ambientes são dependentes de parâmetros, sofrem degradação no desempenho devido à falha de agentes [10], [11]. Teorias bio-inspiradas fornecem fundamentos para desenvolver estratégias alternativas [12], [13]. Abordagens desse tipo são inspiradas na dinâmica social de alguns animais. Nesse contexto, formigas oferecem uma analogia adequada para a construção de sistemas de vigilância [14]. De maneira geral, em tal aplicação, os agentes navegam pelo ambiente com base em informação local e em marcações depositadas em regiões já visitadas pelos demais membros do grupo.

Utilizando princípios do comportamento coletivo de formigas, é apresentado em [15] o problema de vigilância em um ambiente representado por um grafo. Os agentes se deslocam pelas arestas do grafo depositando feromônio para estabelecer a estratégia de vigilância. Além disso, um algoritmo evolutivo é aplicado de modo que os agentes iniciam a navegação em nós distintos com o objetivo de otimizar a distância percorrida. Em [16], o ambiente é representado por uma grade em que cada célula armazena a informação correspondente à quantidade de feromônio e um valor que contabiliza o tempo desde a última visita daquela célula. A movimentação de um agente é restrita às quatro células adjacentes àquela em que se encontra. A diferença entre este trabalho e o proposto em [17] está na maneira como a evaporação do feromônio ocorre. Como resultado, os agentes são distribuídos e estabelecem ciclos estáveis de vigilância, conseqüentemente, as células da grade são visitadas a uma frequência regular. Além dos diversos modelos propostos para solucionar o problema de vigilância possuem conhecimento do ambiente representados por grafos ou grades, não há um estudo que envolva os parâmetros de evaporação e propagação de feromônio. Tais parâmetros afetam diretamente o desempenho da estratégia. Neste sentido, uma investigação paramétrica é realizada neste trabalho.

A estratégia de coordenação considerada aqui, denominada Sistema de Vigilância baseado na Modificação do Algoritmo de Colônias de Formigas (IAS-SS, sigla do inglês *Inverse Ant System-Based Surveillance*), foi desenvolvida em [18] de acordo com uma modificação do algoritmo de formiga [19]. Em pesquisa anterior, foi demonstrado que a estratégia IAS-SS pode ser aplicada em tarefas de exploração e vigilância de ambientes desconhecidos. Diferentemente de algoritmos tradicionais, o feromônio depositado por um agente possui propriedade repulsiva. A estratégia tende a guiar os agentes em direções não exploradas e regiões não recentemente exploradas. A proposta desta pesquisa é investigar a influência dos fenômenos de evaporação e de propagação de feromônio no desempenho da estratégia. Os resultados mostram que não há um único conjunto de configuração dos parâmetros que permitem a estratégia IAS-SS executar as tarefas cooperativas eficientemente.

O restante do texto é organizado como segue. A descrição da estratégia de coordenação de múltiplos agentes é apresentada na Seção II. Seção III mostra os experimentos realizados e uma discussão sobre os resultados de simulação obtidos. As principais contribuições, os aspectos relevantes da proposta e as expectativas para trabalhos futuros são destacados na Seção IV.

II. SISTEMA DE VIGILÂNCIA BASEADO NA VERSÃO MODIFICADA DO ALGORITMO DE COLÔNIA DE FORMIGAS

A estratégia IAS-SS (*Inverse Ant System-Based Surveillance System*), desenvolvida para lidar com tarefas de exploração e vigilância, foi projetada de acordo com as principais ideias da teoria de colônias de formigas artificiais. Essencialmente, o sistema é um grupo de agentes artificiais (por exemplo, robôs), cada um dos quais sendo capaz de se locomover independentemente e tomar decisões baseadas, exclusivamente, em estímulos do ambiente. Enquanto os robôs navegam pelo ambiente, uma substância específica é depositada em suas trajetórias, o feromônio. Os robôs processam

individualmente os estímulos obtidos a partir do feromônio encontrado ao seu redor e ajustam sua direção de navegação. O sistema de navegação do robô considera um conjunto de estímulos detectados em diferentes ângulos a uma mesma distância. A lógica de decisão no IAS-SS é oposta àquela adotada na teoria tradicional de sistemas de colônia de formigas. Quanto menor a quantidade de substância detectada em uma direção, maior é a probabilidade de esta ser selecionada por um robô.

O diagrama de blocos da Figura 1 representa a seqüência das principais ações que o sistema realiza a cada iteração. É importante mencionar que os robôs exibem a habilidade de evitar obstáculos em um mecanismo específico incorporado ao sistema de navegação. Tal comportamento de navegação emerge da estigmergia entre os agentes artificiais como uma conseqüência natural da forma como o feromônio é liberado no ambiente e dos efeitos dos estímulos gerados pelo feromônio. As ações de cada robôs são descritas a seguir.



Fig. 1. Diagrama de blocos para um único agente.

A. Modelos sensorial e do robô

O modelo sensorial adotado detecta estímulos de feromônio a uma distância específica R_D na extensão de 90° a esquerda até 90° a direita (Figura 2). Neste modelo, o robô processa a média da quantidade de feromônio depositada em cada intervalo angular. Um total de 180 ângulos divididos em intervalos angulares de mesma dimensão são analisados considerando os estímulos detectados nos diferentes ângulos A_s , $s = 1, \dots, S$.

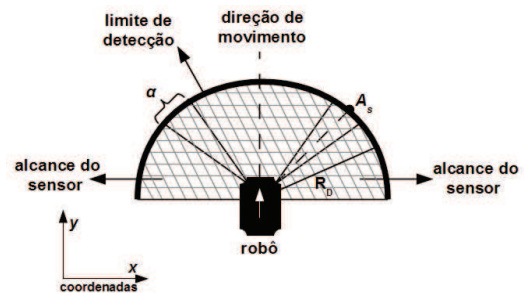


Fig. 2. Modelo sensorial de um robô.

B. Ajuste de direção

Para determinar o ângulo de direção, dois mecanismos são propostos em [18]. O primeiro deles, Amostragem Estocástica (AE), considera todos os estímulos de feromônio detectados nos limites de alcance do sensor de feromônio 2. O segundo, Amostragem Estocástica Elistista (AEE), determina o ajuste de direção baseada apenas nos estímulos associados às menores concentrações de feromônio. No entanto, o mecanismo AE não se mostra eficiente em áreas de grandes dimensões onde a concentração de feromônio depositada é semelhante em diversas regiões. Isto facilita a seleção de ângulos A_s desfavoráveis a serem seguidos devido à natureza estocástica do mecanismo. Para minimizar a área explorada em um tempo reduzido, o

mecanismo AEE é investigado. Mais detalhes dos mecanismos AE podem ser vistos em [18] e [20].

1) *Amostragem Estocástica Elitista*: Neste mecanismo, dois subconjuntos de intervalos angulares são considerados para definir a direção do robô. O primeiro subconjunto, U , é formado pelos intervalos angulares cuja concentração de feromônio é muito baixa. O segundo subconjunto, V , consiste de elementos escolhidos aleatoriamente, de acordo com uma distribuição uniforme, a partir dos ângulos A_s que não se encontram em U . A cardinalidade dos subconjuntos são, φ e ω , respectivamente, tal que $\varphi + \omega \leq (2S + 1)$. Um valor de probabilidade é atribuído a cada ângulo discreto na amplitude do alcance do sensor. A probabilidade atribuída ao ângulo A_s é inversamente proporcional à concentração de feromônio depositada no respectivo intervalo angular. Especificamente, a probabilidade $P(s)$ atribuída ao ângulo A_s é dada por:

$$\overline{P(s)} = \frac{1 - \tau_s}{\sum_{i \in \{s | A_s \in (U \cup V)\}} (1 - \tau_i)} \quad (1)$$

em que τ_s é a quantidade de feromônio correspondente ao ângulo A_s .

De acordo com o mecanismo AEE, os robôs tendem a se mover para direções que apresentam baixa concentração de feromônio. O comportamento geral observado é que os robôs se deslocam para áreas não exploradas ou para áreas pouco visitadas durante um período de tempo. O ajuste da direção é dado por:

$$\Theta_k(t) = \Theta_k(t - 1) + \gamma A_s^* \quad (2)$$

onde $\Theta_k(t)$ é a direção do movimento do robô k no instante t ; $\gamma \in [0, 1]$ é a constante de suavização para o ajuste da direção e A_s^* é a direção selecionada pela probabilidade dada na equação (1), ou seja, é o valor de uma variável aleatória a no instante t para algum $s = s^*$.

C. Liberação e evaporação de feromônio

Em sistemas baseados em colônia de formigas artificiais tradicionais, os agentes liberam feromônio apenas em suas respectivas posições, sinalizando exatamente o caminho percorrido pelas formigas [19]. Os agentes artificiais na estratégia IAS-SS, ao contrário, espalham feromônio sobre uma ampla área frontal às suas posições, correspondente à área de cobertura do sensor. A concentração de feromônio depositada em uma determinada região decresce à medida que a distância em relação à posição do robô aumenta. O modelo de liberação de feromônio é descrito a seguir. Considere que L_t^k e Q são a área de abrangência do sensor de um robô k na iteração t e o espaço completo do ambiente, respectivamente, tal que $L_t^k \subset Q \subset R^2$. A concentração de feromônio $\Delta_q^k(t)$ que o k -ésimo robô deposita na posição $q \in Q$ na iteração t é dada por:

$$\Delta_q^k(t) = (\tau_{max} - \tau_q(t - 1))\Gamma_q^k(t), \text{ e} \quad (3)$$

$$\Gamma_q^k(t) = \begin{cases} \delta e^{-\frac{(q - q_k)^2}{\lambda^2}}, & \text{se } q \in L_t^k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

onde q_k é a posição do k -ésimo robô; τ_{max} é o limite máximo de saturação para a concentração de feromônio; λ é a dispersão ou a taxa de propagação do feromônio; e $\delta \in (0, 1)$.

Múltiplos robôs depositam feromônio no ambiente simultaneamente, de forma que a quantidade total de feromônio em uma posição depende da contribuição de cada robô. Além disso, o feromônio não é uma substância estável, ou seja, este evapora a uma taxa específica. A quantidade total de feromônio que evapora, $\varepsilon(t)$, na posição q no instante t é modelada como segue:

$$\varepsilon_q(t) = \phi \tau_q(t) \quad (5)$$

onde ε , $0 \leq \varepsilon \leq 1$, é a taxa de evaporação e $\tau_q(t)$ é a quantidade total de feromônio na posição q no instante t .

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Simulações experimentais são realizadas para avaliar como a variação paramétrica da estratégia de navegação afeta o desempenho do IAS-SS. Em particular, os parâmetros investigados são a taxa de evaporação e de propagação de feromônio, indicados por ϕ e λ nas equações (5) e (4), respectivamente. Em ambientes desconhecidos, estabelecer valores ideais para tais parâmetros é uma tarefa complexa.

A plataforma *Player/Stage* é utilizada para executar os experimentos e o modelo adotado para os robôs é o Pioneer 2DX equipado com o sensor laser SICK LMS 200.

O mecanismo de ajuste de direção utilizado nos experimentos é o AEE (ver Seção II-B) devido à sua maior eficiência quando comparado com os demais mecanismos descritos em [18]. A evaporação de feromônio permite que uma região explorada seja visitada novamente após um período de tempo, o que viabiliza a execução da tarefa de vigilância. A taxa de propagação define como a intensidade de feromônio decai em uma certa região (dentro da área de abrangência do sensor) à medida que esta se distancia da posição do robô.

A tarefa de exploração é executada se o ambiente é completamente coberto. Contudo, quanto mais rápido a estratégia completar esta tarefa, melhor é o seu desempenho. A tarefa de vigilância é realizada se não houver um instante T^* tal que, depois deste instante, exista alguma região no ambiente que não e mais visitada. Apesar desta definição ser precisa, esta não é adequada, uma vez que encontrar T^* pode ser impossível. Portanto, para fins práticos, é importante que a estratégia conclua a tarefa continuamente. Assim, quanto menor o tempo entre duas etapas de sensoriamento consecutivas, melhor é o desempenho da estratégia.

O ambiente no qual são realizados os experimentos é dividido em pequenas regiões conectadas, denominadas aqui como *salas* (Figura 3). O período em que todo o ambiente é sensoriado, ou seja, em que os robôs visitam todas as salas cooperativamente pelo menos uma vez, é denotado como Ciclo de Vigilância (CV). Os experimentos são avaliados por meio

do número de ciclos CV obtidos e a média de itareções necessárias para que sejam realizados.

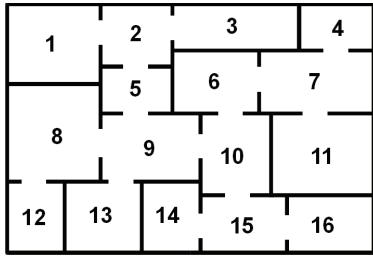


Fig. 3. Modelo do ambiente.

Os parâmetros utilizados nos experimentos pela estratégia IAS-SS com o mecanismo AEE são: $R_D = 8$ metros (raio do semicírculo onde o feromônio é depositado); $\gamma = 0.5$ (constante de suavização do ajuste de direção); velocidade dos robôs é constante e definida como 0.5 metros por segundo; $\tau_q(0) = 0.5$ (quantidade de feromônio na iteração $t = 0$ para todo $q \in Q$); $S = 360$ (número de intervalos angulares); φ e ω correspondem à 30% e 10% do número de elementos do conjunto S (cardinalidade dos conjuntos U e V , respectivamente). Os valores atribuídos aos parâmetros correspondem àqueles para os quais a estratégia IAS-SS atinge desempenho satisfatório em experimentos anteriores [18], [20].

Para mostrar o impacto da variação paramétrica no desempenho de IAS-SS, diferentes valores para as taxas de evaporação e de propagação são definidos em dois conjuntos, $\lambda' = \{10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1\}$ e $\Lambda = \{0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1\}$, respectivamente. É importante lembrar que o feromônio é disperso na área correspondente à área de abrangência do sensor (Figura 2). Assim, os valores da taxa de propagação de feromônio equivalem ao percentual de alcance máximo. Por exemplo, quando $\lambda = 0.6$ então, o feromônio é disperso a uma distância de 60% do alcance do sensor. As tarefas de exploração e vigilância são executadas no ambiente da Figura 3 com dimensões 30 metros \times 20 metros (ambiente reduzido) e 60 metros \times e 40 metros (ambiente ampliado) por sete robôs k , $k \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ posicionados na sala 1. O número máximo de iterações é 1000 e 2000 para os ambientes reduzido e ampliado, respectivamente. O símbolos ϕ^* denota a taxa de evaporação e λ^* denota a taxa de propagação que apresentam melhor desempenho para a estratégia IAS-SS.

Primeiramente, a influência dos parâmetros de evaporação e de propagação são analisados quando o ambiente reduzido é considerado. A Tabela I sumariza os dados dos experimentos (para melhor compreensão, a sigla n. CV significa número de Ciclos de Vigilância e a sigla m. It indica a média de iterações por ciclo). É possível identificar que a estratégia IAS-SS alcança melhor desempenho quando $\phi^* = 10^{-3}$ e $\lambda^* = 0.2$. Com esta configuração (referenciada aqui como configuração ideal), os robôs concluem a tarefa de vigilância (ciclo CV) 5 vezes com uma média de 195,2 iterações por ciclo. Embora a estratégia com outros valores para as taxas de evaporação e dispersão conclui a tarefa de vigilância, o número de ciclos completados é inferior.

Configurações distantes à configuração ideal, apresentam desempenhos discrepantes em relação à configuração ideal.

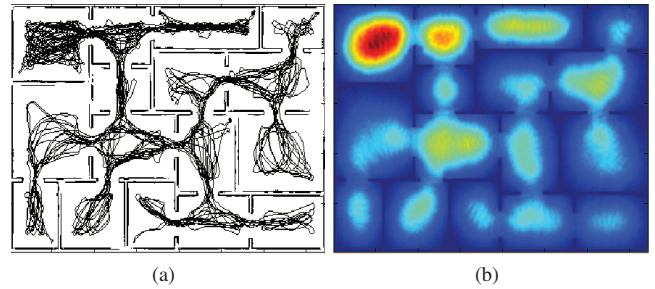


Fig. 4. Desempenho da estratégia IAS-SS no ambiente reduzido com $\phi^* = 10^{-3}$ e $\lambda^* = 0.2$ a) Média de feromônio; b) Trajetória dos robôs.

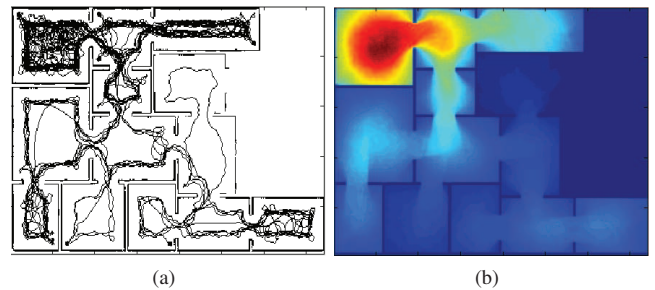


Fig. 5. Desempenho da estratégia IAS-SS no ambiente reduzido com $\phi = 10^{-6}$ e $\lambda = 0.0$ a) Média de feromônio; b) Trajetória dos robôs.

Para baixas taxas de evaporação, o feromônio é acumulado no ambiente. Desde que a quantidade de feromônio não excede 1, então a quantidade de feromônio em diferentes regiões tendem a serem semelhantes. Assim, o nível de aleatoriedade do mecanismo AEE cresce. Similarmente, a quantidade de feromônio decresce quando ϕ assume valores altos. Neste caso, a quantidade de feromônio para qualquer região do ambiente é quase nula. Este fator, por sua vez, também aumenta o nível de aleatoriedade do mecanismo AEE. Desempenho insatisfatório da estratégia IAS-SS é observado na Tabela I para os limites inferior e superior de ϕ .

Analogamente à análise da taxa de evaporação, o desempenho da estratégia IAS-SS tende a crescer quando o valor de λ se aproxima de λ^* . A estratégia com $\lambda = 0$ apresenta desempenho insatisfatório, pois sem a propagação de feromônio, os robôs depositam a substância somente em suas exatas posições. Deste modo, a cobertura de um ambiente se torna uma tarefa custosa uma vez que os robôs devem visitar todas as posições do ambiente para explorá-lo.

Uma maneira de analisar o desempenho da estratégia IAS-SS é visualizar a distribuição da tarefa de vigilância pelos robôs. Assim, a Figura 4 mostra a média de feromônio depositado durante a simulação e a trajetória percorrida pelos robôs quando a configuração ideal é adotada. Já a Figura 5 está associada à uma das configurações em que não houve nenhum ciclo CV completado. Nota-se, neste caso, locais com quantidade nula de feromônio, o que indica que nenhum robô esteve nesses locais durante a simulação. Para os mapas que ilustram a média de feromônio depositado, a cor vermelha representa maior concentração da substância enquanto a cor azul representa a menor concentração.

Os próximos experimentos consideram a estrutura do

TABLE I. PERÍODO DOS INTERVALOS DE SEGURANÇA PARA A TAXA DE FEROMÔNIO NO AMBIENTE REDUZIDO

λ	0.0		0.2		0.4		0.6		0.8		1	
	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It
10^{-6}	2	480,5	1	607	—	—	2	407	—	—	—	—
10^{-5}	—	—	3	311,44	3	301,61	—	—	—	—	—	—
10^{-4}	1	701	3	309,67	4	236,75	—	—	1	679	2	409,5
10^{-3}	—	—	5	195,2	4	200	1	544	2	498	1	709
10^{-2}	—	—	3	316,67	1	948	1	820	1	768	1	746
10^{-1}	—	—	—	—	2	484	1	798	1	653	3	315
10^0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	995

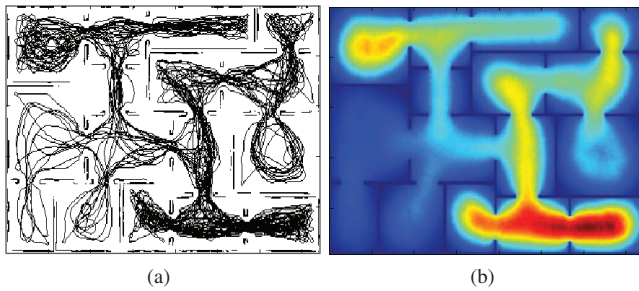


Fig. 6. Desempenho da estratégia IAS-SS no ambiente ampliado com $\phi^* = 10^{-5}$ e $\lambda^* = 0.4$ a) Média de feromônio; b) Trajetória dos robôs.

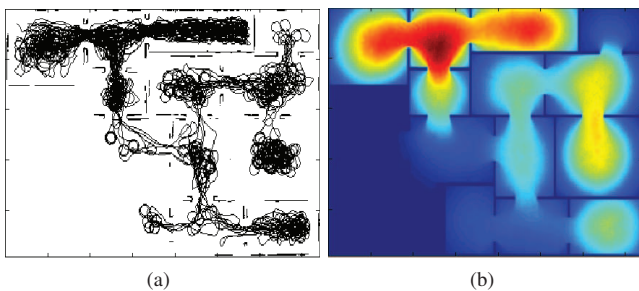


Fig. 7. Desempenho da estratégia IAS-SS no ambiente ampliado com $\phi = 10^{-6}$ e $\lambda = 0.2$ a) Média de feromônio; b) Trajetória dos robôs.

ambiente da Figura 3, porém com sua dimensão ampliada. Enquanto, para ambientes reduzidos, os robôs se deslocam por curtas distâncias para atingir os limites de uma sala (bordas do ambiente), em ambientes amplos, os robôs devem se deslocar longas distâncias para assegurar o monitoramento de uma sala. As tarefas de exploração e de vigilância em ambientes amplos requerem mais esforço dos robôs e tempo para serem executadas. Neste sentido, a aplicação da estratégia IAS-SS para a análise dos parâmetros de evaporação e dispersão de feromônio é executada durante 2000 iterações. A Tabela II agrupa o resultado obtido.

Nota-se que a estratégia IAS-SS tem seu melhor desempenho com a configuração na qual $\phi^* = 10^{-5}$ e $\lambda^* = 0.4$, em que os robôs concluem o ciclo CV 6 vezes com uma média de 300,67 iterações por ciclo. O mesmo comportamento observado nos experimentos anteriores é notado para o ambiente amplo. Para valores de ϕ e λ na vizinhança de ϕ^* e λ^* , a estratégia IAS-SS alcança desempenhos similares.

As Figuras 6 e 7 ilustram o desempenho para a configuração ideal e uma configuração em que não houve ciclos CV concluídos, respectivamente.

É esperado que a configuração ideal em um ambiente amplo possua um valor para a taxa de evaporação menor que em um ambiente reduzido. Isto se justifica pelo fato de que em ambientes amplos, o feromônio deve evaporar mais lentamente permitindo que os robôs alcancem outras regiões do ambiente. Caso a taxa de evaporação seja baixa, os robôs tendem a alternar a visitação de regiões próximas de sua posição inicial deixando o restante do ambiente sem visitas. Esta análise é confirmada nos experimentos, em que a taxa de evaporação para a configuração ideal no ambiente amplo é 10^{-5} enquanto que no ambiente reduzido é 10^{-3} .

Em relação à taxa de propagação, além deste parâmetro estar associado ao alcance em que o feromônio é depositado, outro fator importante que este parâmetro influencia é a diferença da quantidade de feromônio depositado entre as áreas próximas à posição dos robôs e áreas próximas ao alcance máximo do sensor. Quanto maior para a taxa de propagação menor será a diferença da quantidade de feromônio nas áreas próximas e distantes da posição dos robôs no instante em que estes liberam a substância. Neste caso, a quantidade de feromônio em toda a área de abrangência do sensor é praticamente a mesma. Esta característica aumenta a aleatoriedade da estratégia de vigilância, degradando seu desempenho.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho realiza uma investigação paramétrica de uma estratégia bio-inspirada e distribuída de coordenação, denominada IAS-SS, para múltiplos agentes aplicado a tarefas de exploração e vigilância de ambiente. A estratégia é baseada na teoria de população, especificamente, a teoria de colônia de formigas. Como é observado na natureza, a comunicação entre os agentes é indireta, porém a reação causada pelo feromônio é distinta. A estratégia IAS-SS define mecanismos de ajuste de direção de maneira que os agentes são guiados para regiões com baixa quantidade de feromônio.

Dois parâmetros, taxas de evaporação e de propagação afetam as capacidades da estratégia. Conjunto de valores para associar a esses parâmetros são definidos e comparados. É possível concluir que não há uma regra geral que define um conjunto de parâmetros para qualquer ambiente. Os parâmetros são ajustados de acordo com a estrutura do ambiente.

Como trabalhos futuros, pretende-se investigar a influência dos parâmetros aqui considerados em ambientes com maiores dimensões. Ainda, experimentos serão realizados com número distintos de robôs possibilitando o uso de uma mesma configuração em um ambiente amplo e em um ambiente reduzido mas com menor número de robôs. Outro ponto consiste em integrar um método de localização para a aplicação

TABLE II. PERÍODO DOS INTERVALOS DE SEGURANÇA PARA A TAXA DE FEROMÔNIO NO AMBIENTE AMPLIADO

λ	0.0		0.2		0.4		0.6		0.8		1	
	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It	n. CV	m. It
10^{-6}	1	1503	—	—	—	—	2	925	—	—	—	—
10^{-5}	—	—	3	610	6	300,67	1	603	—	—	2	960
10^{-4}	1	1599	2	835,5	4	448,23	2	712,67	1	1223	1	1360
10^{-3}	2	855,5	3	557,87	4	486	3	651,33	1	1454	1	1712
10^{-2}	—	—	2	980	2	861,5	1	950	2	822	1	1225
10^{-1}	—	—	1	1105	1	1363	2	854	—	—	—	—
10^0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

da estratégia IAS-SS em robôs reais. Neste caso, será utilizado o conceito de feromônio virtual, em que a informação que indica a quantidade de feromônio será armazenada na mesma estrutura de dados que representa do ambiente, em particular, uma grade de ocupação. Dessa forma, à medida que um robô mapeia o ambiente, a informação de feromônio é inserida no mapa para que seja acessada pelos demais robôs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro da FAPESP, CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

[1] G. Binetti, D. Naso, B. Turchiano, "Decentralized task allocation for surveillance systems with critical tasks", *Robot. Auton. Syst.* vol. 61, n. 12, pp. 1653-1664, 2013, doi:10.1016/j.robot.2013.06.007 <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2013.06.007>.

[2] C. E. Pippin, H. Christensen, L. Lora Weiss, "Dynamic, cooperative multi-robot patrolling with a team of UAVs", *Proceedings of the SPIE 8741, Unmanned Systems Technology XV*, 874103, 2013, doi:10.1117/12.2014978; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2014978>.

[3] Y. Elmaliach, N. Agmon, G. A. Kaminka, "Multi-robot area patrol under frequency constraints", *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, v. 57, n. 3-4, p. 293-320, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10472-010-9193-y>

[4] D. Portugal, R. P. Rocha, "Multi-robot patrolling algorithms: examining performance and scalability", *Advanced Robotics*, v. 27, n. 5, p. 325-336, 2013. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01691864.2013.763722>

[5] Y. Chevaleyre, "Theoretical analysis of the multi-agent patrolling problem", in: *Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology*, p. 302-308, 2004.

[6] A. Machado, G. Ramalho, J.-D. Zucker, A. Drogoul, "Multi-agent patrolling: An empirical analysis of alternative architectures", in: *Sichman, J. S.; Bousquet, F.; Davidsson, P., eds. MABS, Springer*, p. 155-170 (Lecture Notes in Computer Science, v.2581), 2002. Disponível em: <http://dblp.uni-trier.de/db/conf/mabs/mabs2002.htmlMachadoRZD02>

[7] H.-T. Lee, W.-C. Lin, C.-H. Huang, Y.-J. Huang, "Wireless indoor surveillance robot", in: *SICE Annual Conference (SICE)*, 2011 Proceedings of the SICE Annual Conference, p. 2164-2169, 2011.

[8] F. Pasqualetti, A. Franchi, F. Bullo, "On optimal cooperative patrolling", in: *CDC*, p. 7153-7158, 2010.

[9] F. Pasqualetti, A. Franchi, F. Bullo, "On cooperative patrolling: Optimal trajectories, complexity analysis, and approximation algorithms", *Robotics, IEEE Transactions on*, v. 28, n. 3, p. 592-606, 2012.

[10] G. Coppin, F. Legras, "Autonomy Spectrum and Performance Perception Issues in Swarm Supervisory Control," *Proceedings of the IEEE*, vol.100, no.3, pp.590-603, 2012, doi: 10.1109/JPROC.2011.2174103.

[11] G. Qiao, G. Song, Y. Wang, J. Zhang, W. Wang, "Autonomous network repairing of a home security system using modular self-reconfigurable robots," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol.59, no.3, pp.562-570, 2013, doi: 10.1109/TCE.2013.6626239.

[12] B. Englot, F. Hover, "Multi-goal feasible path planning using ant colony optimization," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, vol., no., pp.2255-2260, 2011, doi: 10.1109/ICRA.2011.5980555.

[13] C.-H. Hsu, C.-F. Juang, "Evolutionary Robot Wall-Following Control Using Type-2 Fuzzy Controller With Species-DE-Activated Continuous ACO," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol.21, no.1, pp.100-112, 2013, doi: 10.1109/TFUZZ.2012.2202665.

[14] M. Masar, "A biologically inspired swarm robot coordination algorithm for exploration and surveillance," *IEEE 17th International Conference on Intelligent Engineering Systems*, vol., no., pp.271-275, 2013, doi: 10.1109/INES.2013.6632825.

[15] F. Lauri, A. Koukam, "A two-step evolutionary and ACO approach for solving the multi-agent patrolling problem," *IEEE Congress on Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Intelligence*. pp.861-868, 2008, doi: 10.1109/CEC.2008.4630897.

[16] I. Wagner, M. Lindenbaum, A. Bruckstein, "Distributed covering by ant-robots using evaporating traces", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, v. 15, p. 918-933, 1999.

[17] A. Glad, O. Simonin, O. Buffet, F. Charpillet, "Theoretical Study of Ant-based Algorithms for Multi-Agent Patrolling", In *Proceedings of the 2008 conference on ECAI, 18th European Conference on Artificial Intelligence*, Malik Ghallab, Constantine D. Spyropoulos, Nikos Fakotakis, and Nikos Avouris (Eds.). IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, p. 626-630, 2008.

[18] R. Calvo, J. R. de Oliveira, M. Figueiredo and R. A. F. Romero, "A Distributed, Bio-Inspired Coordination Strategy for Multiple Agent Systems Applied to Surveillance Tasks in Unknown Environments". In: *International Joint Conference on Neural Networks*. p. 3248-3255, 2011.

[19] M. Dorigo, "Optimization, learning and natural algorithms". PhD thesis, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, 1992.

[20] R. Calvo, J. de Oliveira, M. Figueiredo, and R. A. Romero, "A bioinspired coordination strategy for controlling of multiple robots in surveillance tasks", in *International Journal on Advances in Software*, vol. 5, p. 146-165, 2012.