

Pesquisa e Desenvolvimento de Robôs Táticos para Ambientes Internos

Fernando Osório¹, Denis Wolf¹, Kalinka Castelo Branco¹, Jó Ueyama¹,
Gustavo Pessin¹, Leandro Fernandes¹, Maurício Dias¹, Leandro Couto¹,
Daniel Sales¹, Diogo Correa¹, Matheus Nin¹, Leandro Lourenço Silva¹,
Leonardo Bonetti¹, Leandro Facchinetti¹, Fabiano Hessel²

¹Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação / ICMC – LRM
Universidade de São Paulo (USP) CEP: 13566-590 - São Carlos – SP – Brazil

²PUCRS - Faculdade de Informatica - Av. Ipiranga, 6681
Caixa Postal 1429 - 90619-900 Porto Alegre - RS - Brasil

{fosorio,denis,kalinka,joueyama,peessin,lnd}@icmc.usp.br,
{macccdias,landovers,danieloliva88,matheus.hcn,leandrohlsilva}@gmail.com
{diogosoc}@icmc.usp.br, {lnrdbntt,leafac}@gmail.com
Fabiano.Hessel@pucrs.br

Abstract. *This paper describes the INCT-SEC research and development efforts in order to create a mobile robotic platform applied to inspect and to protect indoor environments. We proposed a robotic control architecture and implemented some computational software modules which are used to provide “intelligent behaviors” to the mobile robots. The robot can be remotely controlled based on a semi-autonomous approach, and also it can perform the surveillance tasks in a completely autonomous mode. The system is able to detect intruders and anomalous situations, and also, perform the patrolling task avoiding obstacles and also preserving the integrity of the robot and other environment elements (e.g. people, objects).*

Resumo. *Este artigo apresenta os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento realizados junto ao INCT-SEC voltados para aplicações de monitoramento e segurança de ambientes internos (indoor) com o uso de robôs móveis. Os trabalhos desenvolvidos visam prover os robôs móveis de uma arquitetura de software que implemente um sistema de controle inteligente. O robô móvel deve poder ser controlado em modo tele-operado (operação remota semi-autônoma) ou em modo completamente autônomo. Este sistema deve ser capaz de detectar intrusos e situações anômalas, navegar no ambiente desviando dos obstáculos, garantindo assim a integridade do robô e dos elementos presentes no ambiente.*

1. Introdução

O desenvolvimento de Sistemas Embarcados Críticos (SEC) envolve grandes desafios, principalmente se consideramos as duas direções principais que podemos tomar em relação ao aspecto “crítico” destes sistemas embarcados:

(i) **Sistema de Missão Crítica de Alto Risco**, onde o sistema deve executar uma tarefa considerada de alto risco, como é o caso do monitoramento e segurança de ambientes, onde, por exemplo, um “vigia” está colocando sua vida constantemente em risco pela própria natureza da função executada;

(ii) *Sistema de Missão Crítica com Perigo de Danos*, onde o sistema ao executar uma tarefa pode colocar em risco tanto a sua integridade quanto a dos elementos presente no ambiente ao seu redor. Um exemplo deste tipo de sistemas são os veículos terrestres e aéreos, que pelas suas características, podem causar sérios danos em caso de mal funcionamento e/ou operação.

Considerando os aspectos citados acima, os robôs móveis semi-autônomos ou totalmente autônomos, voltados para aplicações de monitoramento e segurança em ambientes internos (*indoor*), são um exemplo de tecnologia que se aplica muito bem neste contexto. Um robô de vigilância é capaz de executar uma missão crítica de alto risco, evitando expor pessoas ao contato direto com os perigos relacionados a esta atividade, e por outro lado, também executa uma missão crítica com perigo de danos, pois é importante que este possua um sistema de controle capaz de evitar danos ao próprio robô, assim como aos elementos presentes no ambiente (e.g. pessoas e objetos) em que ele está operando. Estas características “críticas” dos robôs móveis inteligentes e autônomos são os principais motivadores desta pesquisa.

Este artigo visa apresentar os avanços realizados nas pesquisas e desenvolvimentos junto ao GT1 (Grupo de Trabalho 1 – “Desenvolvimento de Robôs Táticos para Ambientes Internos”) do INCT-SEC. Os trabalhos desenvolvidos têm como objetivo o desenvolvimento de robôs móveis (semi ou totalmente) autônomos aplicados para o monitoramento e segurança de ambientes internos. O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 apresentaremos uma discussão sobre a operação remota de robôs e o seu impacto sobre a arquitetura de controle, bem como questões relativas a segurança; na seção 3 apresentaremos os trabalhos sobre navegação autônoma, que estão relacionados com a localização, uso de mapas topológicos e navegação segura no ambiente; na seção 4 serão apresentados os desenvolvimentos relativos a detecção de intrusos e de situações anômalas; na seção 5 serão descritos os andamentos das pesquisas relativos a fusão de sensores; e por fim na seção 6 apresentaremos as conclusões e perspectivas dos trabalhos em andamento.

2. Tele-Operação Segura

As tarefas de monitoramento de um ambiente podem ser realizadas de forma remota, sendo controladas por um ser humano, e executadas fisicamente por um robô móvel dotado de sensores e atuadores, e principalmente, de uma câmera para inspeção remota do ambiente. Um dos problemas da operação remota é o de que o operador pode enviar comandos inadequados, que levem o robô móvel a causar colisões e danos no próprio robô ou nos elementos presentes no ambiente. Além disto, também é possível que ocorram tentativas de *hackear* o robô, seja quando alguém busca ter acesso indevido as informações passadas por ele para o posto de comando remoto, ou seja, através de tentativas de “seqüestro” do mesmo (envio indevido de comandos por um intruso).

A fim de evitar este tipo de problemas (colisões, seqüestro, acesso indevido) foi definida uma arquitetura de controle que buscamos adotar em nossos experimentos (Figura 1). Inicialmente foi adotada uma ferramenta de controle de robôs móveis de código aberto denominada Player-Stage [Geckey et al. 2003], que provê uma arquitetura do tipo servidor-cliente, onde neste caso o robô é o servidor (oferece serviços de leitura de sensores e de recebimento externo de comandos), e o operador remoto é o cliente.

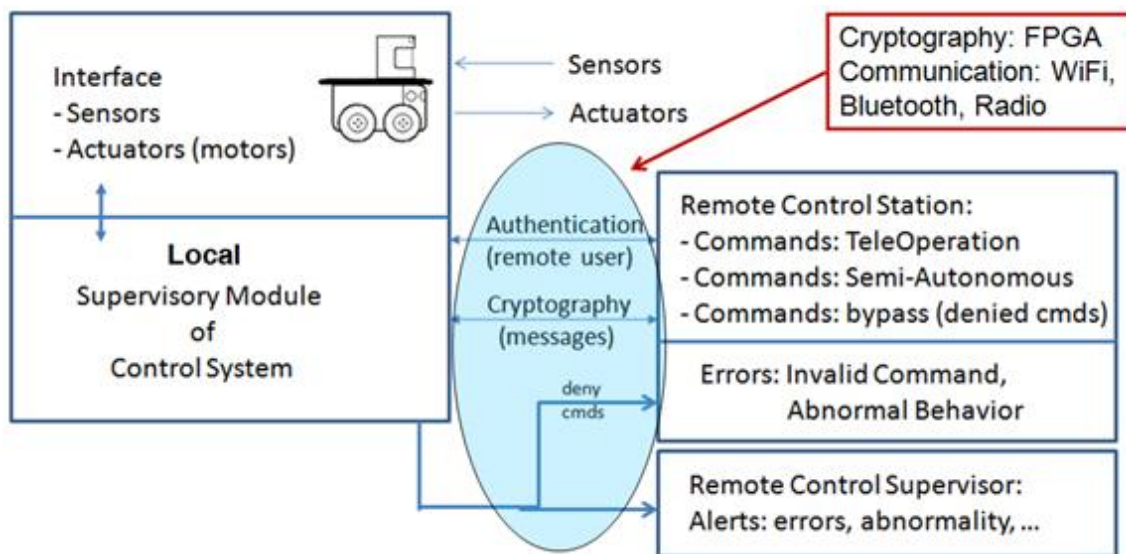


Figura 1. Arquitetura de Controle de Robôs Móveis Tele-Operados Semi-Supervisionados [Osório 2010a]

O robô móvel deve ter uma camada de serviços de segurança de rede implementada de modo a garantir a autenticação e criptografia. Estes serviços usualmente não são oferecidos pela ferramenta Player-Stage, que pode ser adaptada a fim de incluí-los. O software de controle do robô também implementa, usando o Player-Stage, dois níveis de controle: (i) um controle remoto, onde o usuário recebe pela rede dados dos sensores, podendo visualizar o cenário em que se encontra o robô e enviar comandos para ele; (ii) um controle local, onde um supervisor recebe os comandos remotos do usuário e processa eles a fim de verificar se são seguros, antes de encaminhar para a execução pelo robô. Esta arquitetura provê níveis de segurança mais rígidos e robustos, compatíveis com o que se espera de um sistema crítico.

Foram realizados experimentos de operação remota de um robô móvel, onde foi utilizado um robô Pioneer 3-DX localizado na USP em São Carlos e que foi controlado remotamente da PUC-RS em Porto Alegre. O experimento demonstrou a viabilidade da adoção da arquitetura baseada em cliente-servidor com o uso da ferramenta Player-Stage. Por fim, este mesmo experimento demonstrou a necessidade da inclusão dos módulos de autenticação, criptografia e do supervisor, além de também ter demonstrado a necessidade da implementação de mecanismos de rede (e.g. *handover*, *mobile IP*), que permitam uma maior mobilidade de conexão entre o robô e os pontos de acesso *wireless*. A Fig. 2 apresenta cenas capturadas do experimento realizado com a PUC-RS.



Figura 2. Tele-Operação do Robô Móvel Pioneer com o robô em São Carlos e o controle em Porto Alegre, onde a esquerda é apresentada a visão remota do sensor laser usada na navegação

3. Navegação Autônoma Segura

O desenvolvimento de um sistema de controle e de navegação autônoma para robôs móveis oferece uma série de desafios a serem enfrentados. Em primeiro lugar é necessário desenvolver um sistema de localização para que seja possível determinar a posição do robô no ambiente e assim controlar seu deslocamento em direção a uma posição-alvo. Além da localização, usualmente é necessário o uso de mapas que representem o ambiente e que são usados para identificar a posição-atual e posição-alvo do robô. Entretanto, o deslocamento do robô visando seguir uma trajetória previamente definida está sujeito a imprevistos, ou seja, o robô pode encontrar em seu caminho objetos que não estejam mapeados (e.g. cadeiras, lixeiras, pessoas), devendo identificar estes obstáculos e reagir adequadamente a sua presença. Portanto, a tarefa de navegação realizada para a patrulha do ambiente irá requerer a implementação de soluções para tratar da auto-localização, uso de mapas do ambiente, deslocamento do robô a fim de seguir uma trajetória e desvio de obstáculos não mapeados.

3.1. Auto-Localização

A determinação da pose (posição e orientação) do robô pode ser essencial para a implementação de um sistema de navegação para robôs móveis autônomos. Foram realizados diversos estudos e propostas de diferentes soluções para este problema da localização. As soluções que vem sendo estudadas e adotadas são:

- Uso de algoritmos de localização baseados em partículas do tipo MCL (Monte-Carlos Localization), bem conhecidos da literatura desta área [Thrun et al. 2006];

- Proposta de novos algoritmos baseados em redes sem fio, onde através das características do sinal dos pontos de acesso Wireless é estimada a localização dos robôs [Pessin 2011, 2011a];

- Proposta do uso de Redes Neurais Artificiais para o reconhecimento de *landmarks* e de pontos-chave do ambiente, através do uso conjunto deste método de localização com uma representação de um mapa topológico do ambiente [Sales 2010, 2011];

- Proposta do uso de métodos de geração de mapas sensoriais baseados em imagens, onde o robô determina sua localização global baseada em memórias de imagens de locais conhecidos, e localmente usa também as imagens para corrigir a sua posição local [Dias 2011, 2011a][Facchinetti 2010]. Nestes trabalhos foram desenvolvidos algoritmos baseados em Correlação Cruzada Normalizada, baseados em Correlação de Histogramas, e baseados em transformadas SIFT e SURF.

Os métodos de localização baseada em partículas (MCL) e de navegação baseada em imagens (localização por imagens) foram apresentados e discutidos em [Osório 2010][Wolf 2009]. Os métodos baseados em uso de redes sem-fio para localização estão detalhados em [Pessin 2011, 2011a]. Estes métodos tem sido adotados e vêm demonstrando bons resultados no que diz respeito a sua aplicação em tarefas de monitoramento de ambientes internos por robôs móveis autônomos.

3.2. Navegação Visual

A navegação visual é uma forma de navegação que considera como dispositivo sensor principal o uso de câmeras de vídeo. Através do uso das imagens é possível identificar a localização do robô, bem como realizar o desvio de obstáculos, onde ambas estas técnicas vêm sendo pesquisadas para sua aplicação junto aos robôs de segurança.

Uma das técnicas mais conhecidas de navegação visual é a criação de uma “memória do caminho” a ser percorrido, o denominado “*View Sequenced Route Representation*” [Matsumoto et al., 1996]. O robô é capaz de determinar sua localização, comparando a imagem adquirida pela sua câmera com as imagens armazenadas na sua memória, determinando assim a sua localização. Além disto o robô também pode determinar o quanto está deslocado em relação a imagem original gravada em sua memória e que representa o caminho a ser seguido. As técnicas adotadas para relacionar as imagens (memória do caminho e cena atual) são baseadas em algoritmos de correlação cruzada [Dias 2011, 2011a], em correlação de histogramas [Facchinetti 2010], e em atributos locais robustos extraídos da imagem através de transformadas SIFT e SURF [Couto 2010].

Outra técnica de navegação baseada em imagens consiste da identificação de zonas da imagem consideradas navegáveis e de zonas não navegáveis, fazendo com que o robô se desloque apenas pelas zonas navegáveis, evitando a colisão com objetos que são considerados as zonas não navegáveis. Esta técnica usa classificadores baseados em Redes Neurais Artificiais, e vem sendo aperfeiçoada junto ao Laboratório de Robótica Móvel (LRM do ICMC/USP). Ela tem sido aplicada em problemas navegação *outdoor* (detecção da zona pavimentada das ruas) [Souza 2011][Shinzato 2010], e também foi adaptada para uso com robôs indoor, conforme apresentado em [Sales 2010]. Com o uso deste tipo de algoritmo é possível realizar uma navegação que busque identificar a “zona segura” de navegação, ao mesmo tempo que busca desviar de obstáculos presentes em seu caminho (vídeos disponível no canal do LRM no YouTube¹).

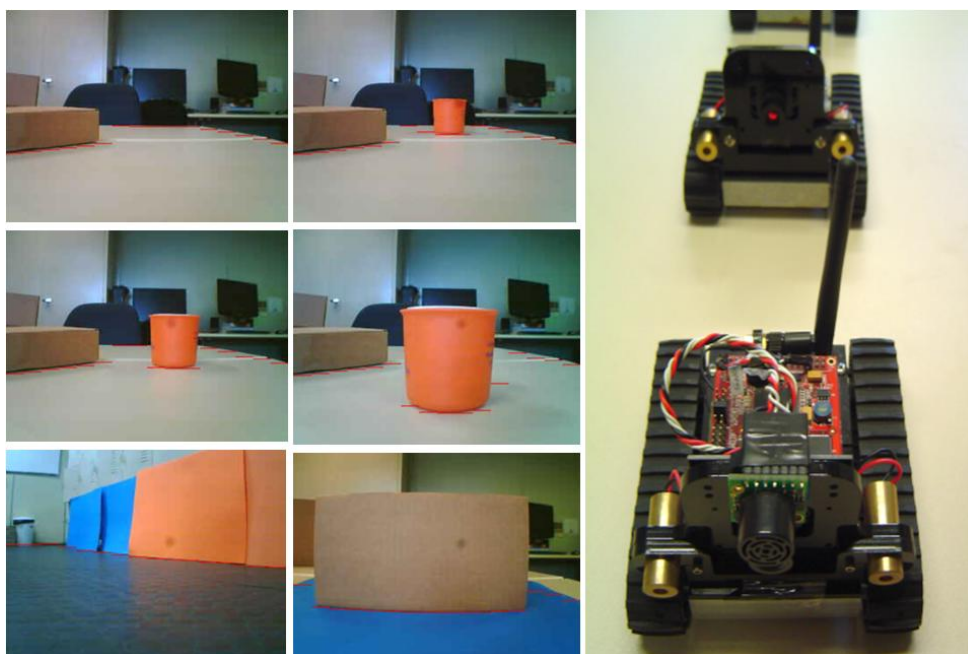


Figura 3. Navegação baseada em Imagens usando o Robô SRV-1: uma linha vermelha na imagem indica a presença de um obstáculo

Por fim, um terceiro método de navegação baseado em imagens, busca identificar também caminhos livres e obstáculos no caminho do robô. Este tipo de

¹ Canal do LRM-ICMC no YouTube: <http://www.youtube.com/lrmicmc>

técnica tem sido estudado e desenvolvido com o auxílio do uso dos robôs *Surveyor SRV-1* disponíveis no LRM-ICMC/USP. Um exemplo das imagens capturadas pelo robô e com a identificação de obstáculos presentes em seu caminho é apresentado na Figura 3.

3.3. Navegação usando Mapas Topológicos e Redes Neurais Artificiais

A fim de realizar de modo autônomo a sua tarefa de navegação, o robô deve ser capaz de determinar sua posição atual aproximada (origem), de se deslocar no ambiente evitando colisões contra obstáculos (fixos, móveis, previamente mapeados ou não), e de buscar atingir uma determinada posição-alvo (destino). O robô deve, portanto, seguir uma rota especificada junto a um mapa do ambiente, navegando através de uma seqüência de posições-chave que descrevem de modo aproximado sua trajetória. O mapa e a trajetória devem poder ser rápida e facilmente especificados.

A proposta deste trabalho se baseou na idéia de que o robô deve ser capaz de identificar sua situação atual (estado, contexto atual, localização), e conforme a situação em que se encontra no momento deverá executar uma determinada ação (comportamento). A medida que o robô identifica através da leitura de seus sensores uma mudança na situação atual em que se encontra (mudança de estado), ele deve ser capaz de adotar novos comportamentos adequados para esta nova situação (estado/contexto). O processo de controle e navegação do robô é portanto baseado em um autômato, que irá controlar a seqüência e passagem de um estado a outro, bem como a execução das ações e comportamentos, associados a cada estado. Uma vez que o robô utiliza diferentes sensores (e.g. câmeras de vídeo, laser LIDAR), cujas informações são bastante ricas e complexas de serem tratadas, fazemos uso de uma Rede Neural Artificial para identificar cada situação em que o robô se encontra. As Redes Neurais Artificiais são uma importante ferramenta devido a sua robustez em relação a ruídos e em relação a inexatidão nas leituras dos dados fornecidos pelos sensores.

Este tipo de navegação se baseia em mapas topológicos (grafos de conectividade), que são estruturas "simples", que descrevem os pontos-chaves do ambiente e suas ligações. Estes pontos-chaves é que devem ser reconhecidos pelo robô, com o auxílio da Rede Neural Artificial, a fim de determinar sua posição aproximada e controlar o seu avanço de um ponto ao outro dentro desta seqüência de pontos-chave descritos pelo mapa topológico. Portanto, o robô irá possuir (ou gerar automaticamente) uma descrição composta de uma seqüência de posições (estados e pontos-chave) e ações (comportamentos e deslocamentos) que permitem que este possa executar uma determinada tarefa de navegação. Esta seqüência é implementada por um autômato finito descrevendo os estados, as ações associadas a cada estado, e as transições de um estado a outro, onde a rede neural é responsável por aprender a reconhecer a condição que faz esta transição de um estado a outro e de um comportamento a outro.

O sistema de controle e navegação proposto permite que sejam definidas de modo rápido, prático e eficiente, rotas de patrulha para robôs de monitoramento de ambientes fechados, bem como, também é possível estabelecer rotas para veículos autônomos. Um exemplo de rota seria: siga em frente até o cruzamento, dobrando a esquerda e depois avançando até o final da rua. Esta abordagem foi implementada e vem sendo exaustivamente testada em diferentes tipos de configurações de robôs e ambientes [Sales 2010, 2011].

3.4. Navegação baseada em Sensor RGB-D

O Kinect (Microsoft Xbox / Prime Sense) é um dispositivo de captura de imagens do tipo RGB-D, ou seja, ele captura imagens normais do tipo RGB (*Red-Green-Blue – Color Images*) e além disto obtém imagens onde para cada pixel desta é indicada a profundidade (D - *Depth*) dos objetos presentes na cena. O Kinect é um sensor RGB-D para uso em ambientes internos (*indoor*) pois sofre uma forte interferência quando exposto diretamente a luz solar. Este dispositivo é capaz de gerar mapas de profundidade com um alcance que varia de 0,5 metros até cerca de 10 metros. Qualquer objeto presente nesta faixa de distância será representado na imagem com uma precisão suficiente para diferenciar elementos com uns poucos centímetros de diferença entre si.

Atualmente o Kinect é um dos dispositivos mais usados em robôs que operam em ambientes *indoor*, onde atualmente estão sendo desenvolvidos no LRM-ICMC uma série de algoritmos para a navegação baseada neste tipo de sensor. Uma vez que é possível identificar facilmente os obstáculos e caminhos livres, o Kinect permite que sejam implementados algoritmos para a detecção e desvio de obstáculos. Alguns exemplos de aplicações do Kinect podem ser encontrados no canal de vídeos¹ do LRM.

3.5. Pesquisa em Navegação Autônoma

Conforme pode ser constatado nas seções anteriores, existem diversos algoritmos e métodos de navegação autônoma sendo desenvolvidos e testados. Uma das dificuldades maiores do desenvolvimento destes algoritmos, e de sua validação, é a complexidade e o tempo gasto em experimentos com robôs reais. Para acelerar as pesquisas nesta área, tem sido feito o uso de ferramentas de simulação virtual, onde destaca-se o uso de simuladores virtuais 3D capazes de reproduzir de forma muito satisfatória os diversos elementos de um ambiente real [Osorio 2010][Wolf 2009]. Os simuladores permitem reproduzir diversas características do ambiente, do robô, e da interação entre ambos. Os trabalhos em desenvolvimento tem feito uso da ferramenta Player-Stage [Gerkey et al. 2003] e de simuladores próprios desenvolvidos “sob medida” para as nossas pesquisas [Bonetti & Osório 2010].

4. Detecção de Intrusos

A detecção de intrusos é um dos componentes mais importantes do sistema de monitoramento de ambientes internos. Uma vez que o objetivo principal da aplicação é a detecção de intrusos, foi necessário desenvolver técnicas capazes de identificar a presença de pessoas no ambiente, e assim, gerar uma notificação aos responsáveis pelo monitoramento e segurança do ambiente. A principal dificuldade imposta era a de diferenciar as pessoas dos demais objetos presentes (e não mapeados) no ambiente.

A fim de implementar a detecção de pessoas, foi feito o uso de uma câmera térmica de relativo baixo custo, uma câmera termal modelo FLIR *PathFindIR*. A câmera termal permite que se tenha um registro do calor emitido no ambiente, e assim, é relativamente fácil identificar a presença de seres humanos (ou animais de sangue quente) junto ao ambiente. Além disto, a câmera também permite que se “enxergue” no escuro e que sejam identificadas anomalias, notadamente pontos de calor excessivo no ambiente. Em testes realizados foi possível detectar aparelhos elétricos que foram esquecidos ligados, e que eram fontes de risco de um acidente mais grave (cafeteira elétrica que ficou esquecida ligada durante a noite em uma sala).

Os experimentos realizados até o presente têm permitido identificar a presença de intrusos com o uso da câmera termal, onde basicamente o algoritmo empregado verifica a variação de calor da cena e identifica a presença de um volume anormal de calor. O elemento quente é então segmentado da imagem (destacado) e assim podemos identificar se o mesmo se trata de uma pessoa, considerando o seu tamanho, forma e quantidade de calor emitido [Nin 2011, 2011a]. Atualmente também estão sendo feitos estudos que permitem criar “mapas de calor”, e assim, podemos levar em consideração a localização (pose) do robô a fim de identificar se a fonte de calor observada é normal e conhecida (não oferece riscos) ou se a mesma se trata de alguma anomalia (intruso, foco de calor desconhecido). A Figura 4 apresenta um exemplo do sistema de detecção automática de intrusos através do uso da câmera térmica.



Figura 4. Detecção de Intrusos através do uso da Câmera Termal FLIR PathFindIR

5. Conclusão e Perspectivas

O objetivo deste artigo era apresentar as diferentes iniciativas e pesquisas que vêm sendo desenvolvidas junto ao INCT-SEC, relativas ao Grupo de Trabalho (GT1) de Desenvolvimento de Robôs Táticos para Ambientes Internos. Foram apresentados diversos trabalhos de pesquisa realizados e em andamento, sempre apresentando referências que complementam e ampliam a descrição dos mesmos, permitindo assim que sejam buscadas informações complementares sobre os algoritmos propostos e sobre os resultados obtidos até o presente. Espera-se com isto que este artigo sirva para apresentar um panorama atual das pesquisas que vem sendo realizadas principalmente junto ao LRM-ICMC/USP, mas que contam também com a colaboração de diversos outros grupos de pesquisa da USP e de outras instituições.

Como trabalhos futuros, uma das principais direções a serem trabalhadas é em relação a fusão de sensores, onde podemos considerar a fusão de sensores como o laser (LIDAR) e a câmera termal, que permitem ao mesmo tempo detectar a presença de um humano e estimar também a sua distância em relação ao robô móvel. Um outro trabalho a ser desenvolvido também está considerando a possibilidade de fundir as imagens da câmera termal com a imagem do sensor RGB-D, o que também permitiria um melhor monitoramento do ambiente. Além destes trabalhos existem ainda diversas outras frentes de pesquisa em aberto, sobre os temas principais abordados neste artigo, notadamente sobre localização, navegação robusta, tolerância a falhas, segurança em redes, interação homem-robô, engenharia de software para sistemas críticos, e arquiteturas de controle robótico, distribuídas e/ou orientadas a serviços.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro da FAPESP (ID 2008/05346-4) e CNPq (ID 483699/2009-8). Agradecemos também o apoio financeiro do CNPq e FAPESP ao INCT-SEC (Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos) processos 573963/2008-8 e 08/57870-9, e gostaríamos de agradecer a CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro por meio de bolsas de estudos. Por fim, gostaríamos de agradecer pela colaboração e contribuições resultantes de interações e discussões junto aos profs. Valter Camargo e Regina Borges de Araújo da UFSCar, bem como pelas contribuições dos alunos de pós-graduação do LabES - CCMC / USP, Daniel Feitosa e Lucas Bueno R. de Oliveira.

Referencias

- BONETTI, Leonardo; OSÓRIO, F. S. Virtual-Robot Pesquisa e Desenvolvimento de um Simulador de Robôs Móveis Tele-Operados e Autônomos. In: WICT - Workshop de Iniciação Científica e Tecnológica de Computação - 13o. SEMCOMP, WICT. São Carlos: ICMC - USP, 2010. p.1-2.
- COUTO, Leandro. Sistema para Navegação Robótica de Veículos Autônomos baseado em Visão Computacional por Pontos de Referência. Exame de Qualificação do Mestrado – CCMC / ICMC. Orientador: Fernando Osório. USP São Carlos, 2010.
- DIAS, Maurício Acconcia ; OSÓRIO, Fernando S. . Hardware/Software Co-design for Image Cross-Correlation. In: INTECH 2011 - International Conference on Integrated Computer Technology, 2011, São Carlos, SP. Proceedings of INTECH 2011. Berlin / Heidelberg : Springer Verlag, 2011. v. 165. p. 161-175.
- DIAS, Maurício Acconcia. Co-Projeto de hardware/software para correlação de imagens (aplicado a robótica). Dissertação de Mestrado do CCMC – ICMC/USP. Orientador: Fernando Osório. ICMC – USP, 2011.
- NIN, Maheus H. C.; OSORIO, Fernando S. Navegação de Robôs Móveis Autônomos e Detecção de Humanos Baseada em Sensor Laser e Câmera Térmica (Resumo de IC – Categoria Ensino Superior). MNR – Mostra Nacional de Robótica. São João Del Rei, MG. Set. 2011.
- NIN, Maheus H. C. Integração de câmera térmica e sensor laser para detecção de pessoas. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Ciência da Computação – Orientador: Fernando Osório. ICMC – USP. São Carlos, 2011.
- FACCHINETTI, Leandro ; OSÓRIO, Fernando S. . Navegação Visual de Robôs Móveis Autônomos Baseada em Métodos de Correlação de Imagens. In: WCI: Workshop on Computational Intelligence 2010 - Joint Conference SBIA-SBRN-LARS, 2010, São Bernardo do Campo : SBC - FEI, 2010. v. 1. p. 518-523.
- GERKEY, B.; VAUGHAN, R.T; HOWARD, A. The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems. In: Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Robotics (ICAR 2003), pages 317-323, Coimbra, Portugal, June 2003.
- MATSUMOTO, Y. INABA, M. INOUE, H. Visual navigation using view-sequenced route representation. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1996. Pages 83 – 88.

- OSÓRIO, Fernando S. ; WOLF, Denis F. ; BRANCO, Kalinka R. L. J. Castelo . Mobile Robots and Autonomous Vehicles: Development of Intelligent Robots and the Challenges for Artificial Intelligence Research. In: XXXVIth CLEI - Latin American Informatics Conference, 2010, Asuncion, Paraguay. Tutorials: CLEI - Centro Latinoamericano de Estudios en Informática, v. 1. p. 1-15.
- OSÓRIO, Fernando S. ; WOLF, Denis F. ; CASTELO BRANCO, Kalinka R.L.J. ; PESSIN, Gustavo . Mobile Robots Design and Implementation: From Virtual Simulation to Real Robots. In: Virtual Concept 2010, 2010, Bordeaux, France. Proceedings of IDMM - Virtual Concept 2010. Berlin : Springer Verlag, 2010. v. 1. p. 1-6.
- PESSIN, Gustavo ; OSÓRIO, Fernando S. ; UEYAMA, Jó ; SOUZA, Jefferson R. ; WOLF, Denis F. ; BRAUN, Torsten ; VARGAS, Patrícia . Evaluating the Impact of the Number of Access Points in Mobile Robots Localization Using Artificial Neural Networks. In: COMSWARE 2011 - International Conference on Communication System Software and Middleware, 2011, Verona - Italia: ICST, 2011. v. 1. p. 1-10.
- PESSIN, Gustavo ; OSÓRIO, Fernando S. ; UEYAMA, Jó ; WOLF, Denis F. ; BRAUN, Torsten . Mobile Robot Indoor Localization Using Artificial Neural Networks and Wireless Networks. In: CBSEC - Conferência Brasileira de Sistemas Embarcados Críticos, 2011, São Carlos. São Paulo : EPUSP, 2011. v. 1. p. 89-94.
- SALES, Daniel Oliva ; OSÓRIO, Fernando S. ; WOLF, Denis F. . Topological Autonomous Navigation for Mobile Robots in Indoor Environments using ANN and FSM. In: CBSEC - Conferência Brasileira de Sistemas Embarcados Críticos, 2011, São Carlos. São Paulo : EPUSP, 2011. v. 1. p. 14-19.
- SALES, Daniel Oliva ; SHINZATO, Patrick ; PESSIN, Gustavo ; OSÓRIO, Fernando S. ; WOLF, Denis F. . Vision-Based Autonomous Navigation System Using ANN and FSM Control. In: IEEE LARS/EnRI 2010, 2010, São Bernardo do Campo, SP. Los Alamitos : IEEE Press, 2010. v. 1. p. 85-90.
- SOUZA, Jefferson R.; SALES, Daniel Oliva; SHINZATO, Patrick; OSÓRIO, Fernando S.; WOLF, Denis F. Template-based autonomous navigation in urban environments. In: ACM Symposium on Applied Computing 2011, 2011, Taichung, Taiwan. Proc. of the ACM SAC 2011. Stoughton : ACM, 2011. v. 1. p. 1381-1386.
- SHINZATO, Patrick Y.; FERNANDES, Leandro C.; OSÓRIO, Fernando S.; WOLF, Denis F. Path Recognition for Outdoor Navigation Using Artificial Neural Networks: Case Study. IEEE-ICIT 2010 International Conference on Industrial Technology, Viña del Mar, Chile, IEEE IES Press. 2010.
- THRUN, Sebastian; WOLFRAM Burgard; DIETER Fox. Probabilistic robotics. Cambridge, Mass. : MIT Press, 2006.
- WOLF, Denis; OSÓRIO, F. S.; Simões, Eduardo; Trindade Jr., Onofre . Robótica Inteligente: Da Simulação às Aplicações no Mundo Real. In: André Ponce de Leon F. de Carvalho; Tomasz Kowaltowski. (Org.). JAI: Jornada de Atualização em Informática da SBC. Rio de Janeiro: SBC - Editora da PUC (ISBN 9788587926548) Rio, 2009, v. 1, p. 279-330. Web: <http://osorio.wait4.org/palestras/jai2009.html>.