

APLICAÇÃO DE MARCOS FIDUCIAIS PARA CONTROLE SERVO VISUAL 2 1/2D EM VEÍCULOS SUBMARINOS AUTÔNOMOS

DIEGO CESAR*, ANDRÉ CONCEIÇÃO†, MARCO REIS*, JAN ALBIEZ*

**Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC
Núcleo de Robótica
Salvador, Bahia, Brasil*

*†Universidade Federal da Bahia
Departamento de Engenharia Elétrica
Salvador, Bahia, Brasil*

diego.cesar@fieb.org.br, andre.gustavo@ufba.br, marcoreis@fieb.org.br,
jan.albiez@fieb.org.br

Abstract— The assets of the Oil and Gas industry need frequent inspections. Currently divers and remotely operated vehicles perform this work, however autonomous underwater vehicles have been investigated in order to replace the current methods and thus increase the periodicity and reduce the operational costs. Controlling the vehicle movements with respect to the object to be inspected increases the accuracy when compared with the global position based navigation and therefore visual servoing plays an important role on this field. This work shows the application of a visual servoing task in an autonomous underwater vehicle using the artificial fiducial markers as the visual references. The results in the simulated environment platform Gazebo are here presented in the case of calm waters and under disturbances of ocean currents. An adaptive gain approach is compared with a static gain and it shows better performance, mainly under ocean currents influences. On that cases it presents faster response and null error on the steady state.

Keywords— visual servoing, autonomous underwater vehicles, Gazebo.

Resumo— As estruturas da indústria de óleo e gás necessitam inspeções frequentes. Atualmente mergulhadores e robôs operados remotamente realizam este trabalho, contudo pesquisas em robôs submarinos autônomos tem crescido na intenção de substituir os métodos utilizados atualmente para aumentar periodicidade e reduzir os custos das operações. Controlar o movimento do veículo em relação ao objeto que deseja-se inspecionar aumenta a precisão quando comparado à navegação em relação à posição global e por esse motivo o controle servo visual mostra sua importância nesse ramo. Este trabalho mostra a aplicação de um controle servo visual em um veículo autônomo submarino utilizando marcos fiduciais. Resultados em ambiente simulado na plataforma Gazebo são apresentados para os casos em que o robô opera em águas tranquilas, mas também para casos com perturbações de correntes marítimas. Uma abordagem utilizando ganhos adaptativos é comparada com a utilização do ganho estático e mostra melhor performance principalmente nos casos com influência das correntes marítimas, onde além de apresentar uma resposta mais rápida consegue atingir erro nulo de regime.

Palavras-chave— controle servo visual, veículos autônomos submarinos, Gazebo.

1 Introdução

Ativos submarinos da indústria de Óleo e Gás necessitam de inspeções periódicas. Atualmente a maior parte deste trabalho é realizado utilizando robôs operados remotamente (ROVs) ou mergulhadores. A utilização de robôs submarinos autônomos para estes fins permitem a redução de custos operacionais e maior frequência nas inspeções, reduzindo também o risco de acidentes ambientais. (Albiez et al., 2015)

O sistema de navegação de um veículo submarino baseia-se principalmente nos seus sensores inerciais e de velocidade. Estes servem como entrada para filtros que estimam a posição do robô em relação a um referencial inercial. A covariância dessa estimativa tende a aumentar com o passar do tempo impactando em resultados cada vez menos confiáveis. Nesse contexto o controle servo visual apresenta sua importância, pois permite o controle em relação a um objeto e utiliza a câmera para realimentar a cadeia de controle. Aplicações

conhecidas de movimentação em que a navegação em relação ao objeto alvo é preferível são a docagem do robô (Lee et al., 2003) ou inspeção de tubulações (Rives and Borrelly, 1997).

Outras aplicações de controle servo visual em robôs submarinos são: auxiliar robôs para inspeção e reconstrução 3D de estruturas submarinas (Brandou et al., 2007), auxiliar pilotos de ROVs via controle assistido (Plotnik and Rock, 2006) e controle em relação a uma válvula para sua manipulação (Evans et al., 2003).

Uma das contribuições deste trabalho está na utilização de marcos fiduciais para a realização do controle visual. Os marcos fiduciais artificiais são padrões, semelhantes a um *QR code*, projetados para que sejam facilmente detectados por sistemas de visão computacional, provendo meios para o cálculo da pose da câmera em relação ao objeto. Estes possuem IDs que são codificados na imagem de acordo com protocolos pré-estabelecidos. Suas aplicações iniciaram na área da realidade aumentada (Mohamed, 2012), mas com o passar do

tempo revelou-se útil para aplicações em robótica (Feng and Kamat, 2012).

Ao longo dos anos, vários tipos de marcos foram criados. Os primeiros foram o Matrix (Rekimoto, 1998) e ARToolKit (Kato and Billinghurst, 1999), logo depois outros sistemas foram desenvolvidos, a maioria deles mantendo a forma quadrada, como ARTag (Fiala, 2005), ArUco (Garrido-Jurado et al., 2014) e AprilTags (Olson, 2011). Marcos com formato circular também foram desenvolvidos como Rune-Tag (Bergamasco et al., 2011) e outros contendo informações no domínio da frequência como Fourier Tags (Xu and Dudek, 2011).

No contexto desse trabalho, experimentos preliminares no oceano, mostraram que os marcos visuais apresentam uma alta taxa de detecção mesmo embaixo d'água, sendo capaz de fornecer poses estáveis para a câmera. A Figura 1 mostra o cenário de um marco fiducial AprilTags de ID 184 sendo identificado na Baía de Todos os Santos em Salvador.

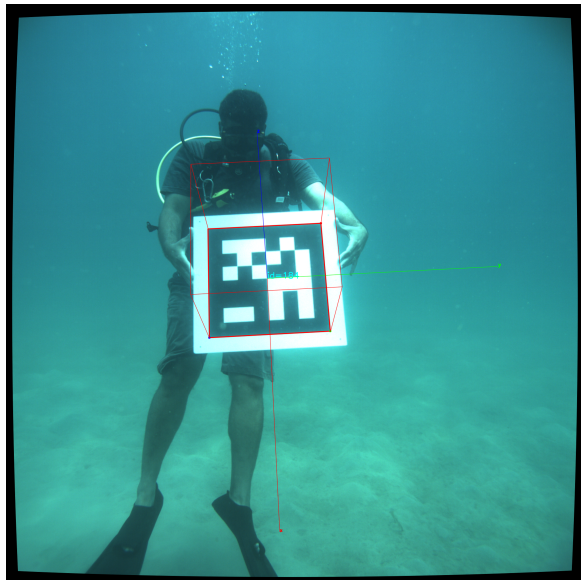


Figura 1: Detecção da AprilTags em ambiente real

Este trabalho propõe realizar o controle de um veículo submarino autônomo (AUV) utilizando marcos fiduciais artificiais captados por uma única câmera no ambiente de simulação Gazebo. Uma abordagem utilizando ganho adaptativo é estudada e comparada com a aplicação de ganho estático em ambientes com águas calmas e também sobre o efeito de perturbações de corrente marítimas.

O artigo está dividido da seguinte forma: A Seção 2 detalha a fundamentação teórica do controlador visual. A Seção 3 apresenta a metodologia aplicada. Os resultados são apresentados e discutidos na Seção 4. Por fim, as conclusões do trabalho são apresentadas na Seção 5.

2 Controlador Visual 2 1/2D

O universo do controle visual pode ser dividido em duas grandes áreas no que diz respeito a informação realimentada. A primeira é o controle visual baseado em imagem (IBVS), enquanto que o segundo é chamado de controle visual baseado em posição (PBVS). A abordagem IBVS utiliza uma câmera para extrair características relevantes da imagem e compará-las com a posição delas no plano da imagem no momento em que a câmera esteja na posição final. Isto significa que o controle IBVS realiza um controle no domínio da imagem. Por conta disto essa abordagem por vezes é chamada de 2D (Chaumette and Hutchinson, 2006).

Por outro lado, o PBVS utiliza a câmera para realizar extração de características relevantes da imagem e a partir do prévio conhecimento do modelo e com os parâmetros de calibração da câmera, calcula a pose do objeto em relação à câmera. A pose calculada é realimentada na malha de controle e comparada com a pose desejada. Pelo fato das entradas do controle se darem no espaço Euclidiano, o controle visual PBVS também é conhecido por controle visual 3D (Chaumette and Hutchinson, 2006).

Quando comparados, o IBVS apresenta maior robustez em relação aos parâmetros de calibração da câmera, não possui necessidade do conhecimento do modelo do objeto e requer menor custo computacional. O IBVS possui um problema singularidade quando uma rotação pura em torno do eixo Z da câmera é executada. Nesse caso, o movimento do pixel no plano da imagem é interpretado como um movimento translacional em Z e o controlador identifica um erro inexistente na componente translacional, gerando movimentos indesejáveis (Chaumette and Hutchinson, 2006). O PBVS não possui esse problema, contudo apresenta dependência de uma câmera bem calibrada e conhecimento prévio do objeto identificado pelo sistema de visão computacional.

Buscando aproveitar os benefícios das duas abordagens o controle servo visual híbrido foi proposto e por unir características do controle visual 3D e do 2D, este tipo de controlador é também referenciado na literatura como controle visual 2 1/2D (Malis et al., 1999). Sua proposta principal é o desacoplamento dos movimentos translacionais e rotacionais.

Assim sendo, a Equação 1 mostra a relação a velocidade do vetor de características da imagem $\dot{\mathbf{s}}_t$ com a velocidade da câmera $\mathbf{V}_c$ através da matriz de interação $\mathbf{L}_{s_t}$.

$$\dot{\mathbf{s}}_t = \mathbf{L}_{s_t} \mathbf{V}_c \quad (1)$$

Contrariamente às abordagens IBVS e PBVS a matriz de interação é dividida em suas componentes translacionais e rotacionais. Dessa forma a

Equação 1 é reescrita, resultando na Equação 2, onde $\mathbf{v}_c$ e ω_c são as velocidades translacionais e rotacionais da câmera, respectivamente.

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{s}}_t &= [\mathbf{L}_v \ \mathbf{L}_\omega] [\mathbf{v}_c \ \omega_c]^T \\ &= \mathbf{L}_v \mathbf{v}_c + \mathbf{L}_\omega \omega_c\end{aligned}\quad (2)$$

Com o objetivo de definir uma lei de controle para o controle visual híbrido, define-se primeiramente o erro entre a posição desejada e a posição atual. Assim sendo, pode-se assumir que a variação do erro é igual à variação nas características na imagem $\dot{\mathbf{e}} = \dot{\mathbf{s}}_t$. Desejando que o erro tenha um decaimento exponencial, pode-se fazer $\dot{\mathbf{e}} = -\lambda \mathbf{e}$ e assim a equação 2 fica:

$$\dot{\mathbf{e}} = \lambda \mathbf{e} = \dot{\mathbf{s}}_t = \mathbf{L}_v \mathbf{v}_c + \mathbf{L}_\omega \omega_c \quad (3)$$

A partir da Equação 3, pode-se definir a lei de controle para velocidade translacional da câmera na Equação 4:

$$\mathbf{v}_c = -\mathbf{L}_v^+ (\lambda \mathbf{e}_t + \mathbf{L}_\omega \omega_c) \quad (4)$$

Onde ω_c vem da lei de controle PBVS e é definido na Equação 5 como um parâmetro λ que multiplica a diferença entre os ângulos atuais e desejados, na representação theta-u:

$$\omega_c = -\lambda \theta \mathbf{u} \quad (5)$$

Assim, a Equação 4 e a Equação 5 definem a lei de controle do controlador visual 2^{1/2}D, com (Chaumette and Hutchinson, 2007):

$$\begin{aligned}\mathbf{L}_v &= \frac{1}{Z\rho_z} \begin{bmatrix} -1 & 0 & x \\ 0 & -1 & y \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{L}_\omega &= \begin{bmatrix} xy & -(1+x^2) & y \\ 1+y^2 & -xy & -x \\ -y & x & 0 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

As variáveis x e y são às coordenadas do pixel no plano da imagem e $\rho_z = \frac{Z_{atual}}{Z_{desejado}}$.

Neste trabalho, o parâmetro λ das Equações 4 e 5 será utilizado com duas abordagens diferentes, a primeira considerando-o como um ganho estático e a segunda variando-o adaptativamente em função do erro x , conforme a Equação 6:

$$\lambda(x) = a * \exp(-b * x) + c \quad (6)$$

Com a , b e c calculados em base nos ganho no erro zero $\lambda(0)$, ganho no erro infinito $\lambda(\infty)$ e a variação do ganho quando o erro é igual a zero $\dot{\lambda}(0)$, de acordo com 7:

$$a = \lambda(0) - \lambda(\infty); \quad b = \dot{\lambda}(0)/a; \quad c = \lambda(\infty) \quad (7)$$

Assim, quando o erro é grande o ganho é ajustado para um valor baixo de modo a diminuir a agressividade do controlador e quando o erro é muito pequeno esse ganho é aumentado para amplificar o sinal de controle.

3 Metodologia

Os experimentos deste trabalho foram realizados no ambiente de simulação Gazebo¹. O Gazebo é um simulador robótico de código aberto mantido pela *Open Source Robotics Foundation*[©] capaz de simular de maneira robusta e fidedigna as interações entre o robô e o ambiente físico. No presente trabalho o Gazebo é utilizado para simular o oceano levando em consideração características estáticas e dinâmicas do fluido, como densidade, viscosidade e correntes marítimas.

Além disso o Gazebo possui uma integração com o *Rock Robotics*², o *framework* de desenvolvimento do projeto FlatFish (Watanabe et al., 2015). Isso permite portabilidade quase que direta das rotinas e parâmetros de configuração entre o robô simulado e o robô real. Desse modo, o modelo do robô integrado ao Gazebo corresponde com as características do protótipo físico. Suas dimensões são de 220 cm x 105 cm x 50 cm e massa de 275 Kg. Em termos de sensores e atuadores relevantes para este trabalho, o veículo é equipado com quatro câmeras com resolução 2K (2048 x 2048) e seis propulsores que permitem atuação em cinco graus de liberdade (*surge*, *sway*, *heave*, *pitch* e *yaw*) (Albiez et al., 2015).

A Figura 2 mostra o robô FlatFish no ambiente simulado.

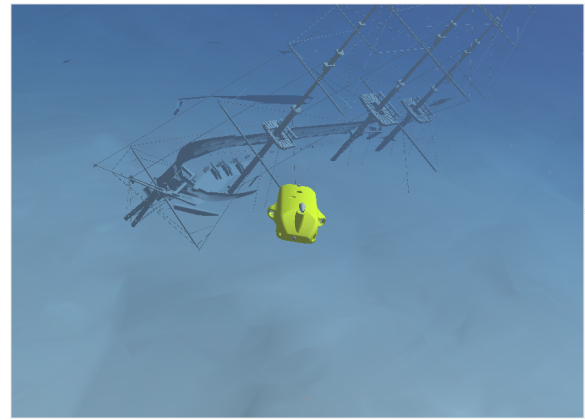


Figura 2: FlatFish realizando uma inspeção em um naufrágio no Gazebo

A câmera simulada foi configurada com resolução reduzida de 720p (1280 x 720) de forma a aumentar a velocidade de processamento na detecção dos marcos e aumentar a frequência do controlador. Como a técnica de controle visual adotada é monocular, a câmera frontal esquerda foi escolhida. Os graus de liberdades controlados pelo controlador visual são os lineares em x , y e z (*surge*, *sway* e *heave*) e o angular em relação a y (*pitch*).

Com relação ao marco fiducial, dentre as di-

¹www.gazebo.org

²www.rock-robotics.org

versas bibliotecas citadas na seção 1 o padrão de marcos *AprilTags* (Olson, 2011) foi escolhido pois estudos anteriores mostraram que este apresenta melhores resultados em ambientes aquáticos em termos de taxa de detecção, taxas de falsos negativos e falsos positivos (Cesar et al., 2015). Assim, nos experimentos, uma *AprilTag* com $ID = 1$ de tamanho $0.40m \times 0.40m$ foi adicionada ao Gazebo.

O ambiente foi simulado em duas condições: águas tranquilas, onde não há presença de correntes marítimas; e sob efeito de uma corrente marítima constante que simula as condições da Baía Aratu em Camaçari-BA, local de testes do Flat-Fish. Neste ponto as correntes são em média $0.4 m/s$ (CODEBA, n.d.), que no âmbito deste trabalho foram representadas como componentes nos eixos X e Y do robô com magnitude de $0.283 m/s$ cada.

Para cada cenário, duas variações do controlador servo visual 2 $1/2D$ foram avaliadas. Dada a lei de controle definida na Equação 4 a primeira estratégia utiliza λ como um ganho constante, já a segunda variação seleciona o λ adaptativamente em função do erro x , conforme Equação 6, onde x é $\|s - s^*\|_2$.

O controlador visual foi desenvolvido utilizando a biblioteca VISP (*Visual Servoing Platform*)³ e os cenários considerados para o controlador com ganho proporcional $\lambda = 0.1$ e o ganho adaptativo $\lambda(0) = 0.5, \lambda(\infty) = 0.08, \dot{\lambda}(0) = 0.5$.

Todos os testes foram realizados com o robô partindo da posição inicial $X = -1.0, Y = 0.6, Z = 3.0$ e 30° de rotação em relação a Y com posição objetivo de $x = 0.0, y = 0.0, z = 1.0$ e 0° de rotação em relação a Y . Considerando o eixo óptico, onde Z aponta para frente o eixo Y para baixo e o X para a direita. A Figura 3 mostra a posição do veículo no mundo e dos marcos no plano da imagem para as posições iniciais e desejadas.

4 Resultados e Discussões

Os resultados da simulação para o cenário sem corrente marítima são apresentados nas Figuras 4 e 5. A Figura 4 apresenta a posição do veículo nos quatro graus de liberdade controlados. Para este caso, pode-se observar que o controlador com ajuste de ganho proporcional apresenta um tempo de acomodação de cerca de 55 segundos. A mudança da estratégia de controle para utilização do ganho adaptativo apresenta uma melhora de 63%, uma vez que o tempo de acomodação cai para cerca de 20 segundos.

A Figura 5 mostra que a trajetória de ambos controladores são praticamente as mesmas e que a posição final é alcançada por ambos controladores.

³<https://visp.inria.fr/>

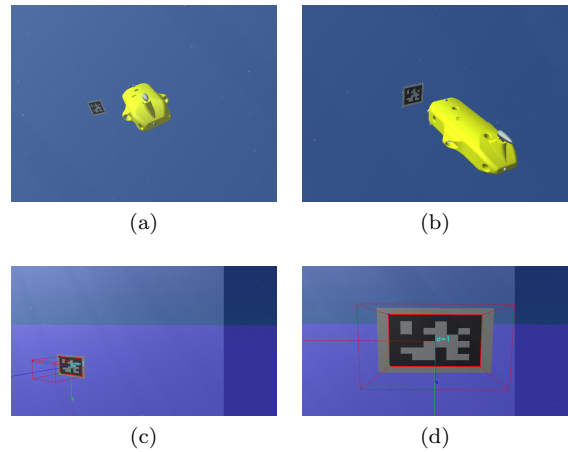


Figura 3: Posição inicial e final do veículo no mundo [(a) e (b)] e no plano da imagem [(c) e (d)]

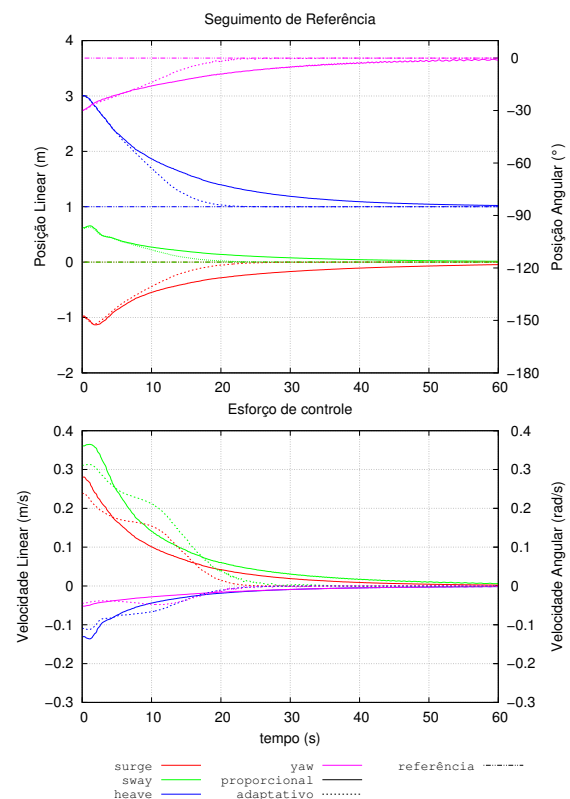


Figura 4: Seguimento de referência para o caso sem corrente marítima

Para o caso onde é adicionada uma perturbação constante de correntes marítimas, o desempenho do controlador é mostrado nas Figuras 7 e 6. Observa-se da Figura 6 que o controlador proporcional apresenta um erro de regime permanente enquanto que a estratégia que utiliza o ganho adaptativo apresenta erro nulo de regime e um tempo de acomodação levemente superior.

A diferença do erro em regime é observada mais claramente na Figura 7, onde a linha contínua que representa a posição dos pixels no plano

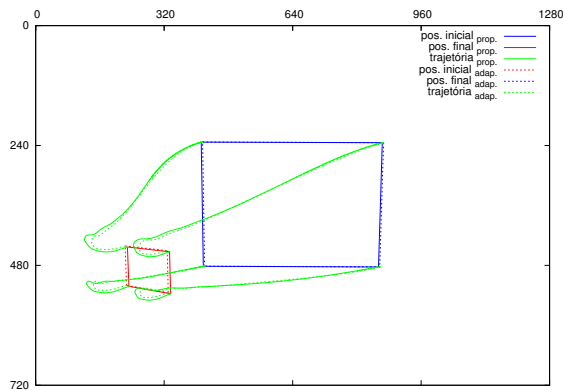


Figura 5: Trajetória dos pixels no plano da imagem - sem correntes marítima

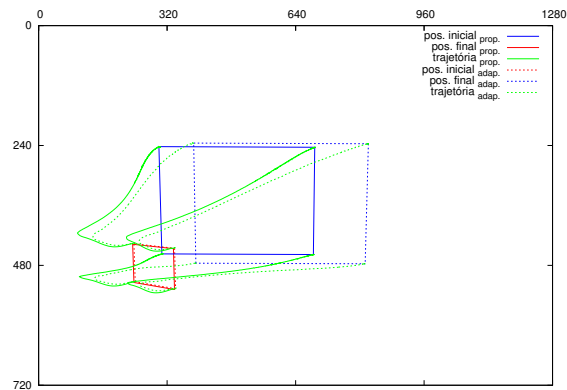


Figura 7: Trajetória dos pixels no plano da imagem - com correntes marítima

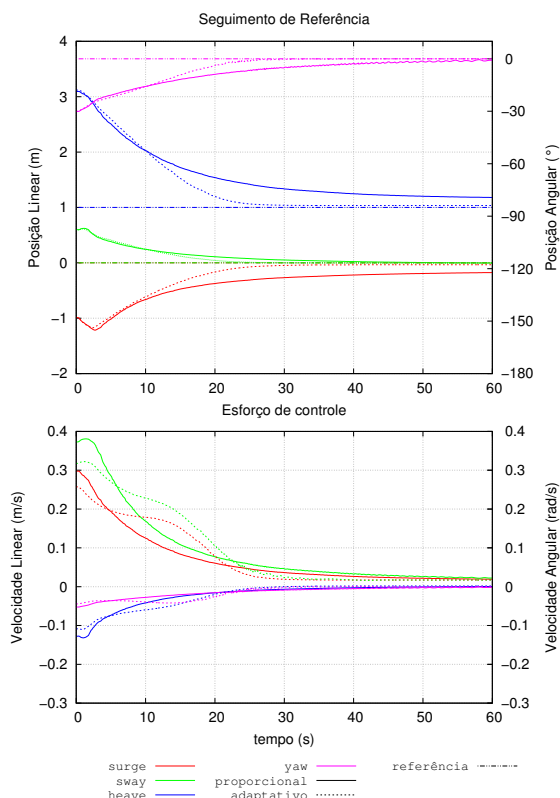


Figura 6: Seguimento de referência para a perturbação de corrente marítima

da imagem para o caso do controlador proporcional não alcança a posição final desejada. Com a utilização do ganho proporcional, a medida que o erro diminui o sinal de controle é diminuído proporcionalmente. No caso em que há presença de correntes marítimas, o sinal de controle é pequeno e não consegue vencer a ação da força de perturbação externa. O mesmo comportamento não é observado no controlador adaptativo, uma vez que seu comportamento tende a aumentar o sinal de controle para situações em que o erro é pequeno. Desse modo as correntes são vencidas e a posição desejada é alcançada.

A escolha dos valores para o ganho proporcional é limitada pelo começo da missão, pois ganhos elevados aumentam a agressividade do controlador o que pode ocasionar a perda do objeto do campo de visão da câmera. No caso específico deste trabalho o marco tem sua posição inicial próxima às bordas da imagem, local onde é possível sintonizar o controlador de uma maneira mais conservadora. Para valores maiores que $\lambda = 0.1$ o robô perdia a visibilidade do marco.

5 Conclusões

Neste trabalho foi apresentada uma breve revisão bibliográfica de controladores visuais em robôs submarinos autônomos. Foi mostrada a gama de marcos fiduciais e o desenvolvimento de um controlador servo visual 2 1/2D.

Foi observado que, no controlador visual, o parâmetro de ajuste proporcional não consegue rejeitar completamente a perturbação constante da corrente marítima, apresentando *offset* no seguimento de referência em regime permanente. A adoção de uma estratégia de ganho adaptativo não só consegue rejeitar a perturbação como apresenta menor tempo de acomodação em relação ao ganho proporcional.

Em trabalhos futuros o controlador aqui apresentado será embarcado no protótipo físico e submetido a condições submarinas reais. Além disso abordagens que garantem a visibilidade do marco em toda a duração da tarefa serão investigadas.

Agradecimentos

O projeto FlatFish é parte de um programa em desenvolvimento da BG Brasil. Os autores gostariam de agradecer, portanto, à BG Brasil, à Agência Nacional de Petróleo (ANP), à Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) e à Faculdade de Tecnologia SENAI CIMA-TEC pelo apoio econômico.

Referências

- Albiez, J., Joyeux, S., Gaudig, C., Hilljegerdes, J., Kroffke, S., Schoo, C., Arnold, S., Mimoso, G., Alcantara, P., Saback, R., Britto, J., Cesar, D., Neves, G., Watanabe, T., Paranhos, P. M., Reis, M. and Kirchnery, F. (2015). Flatfish - a compact subsea-resident inspection auv, *OCEANS 2015 - MTS/IEEE Washington*, pp. 1–8.
- Bergamasco, F., Albarelli, A., Rodola, E. and Torsello, A. (2011). Rune-tag: A high accuracy fiducial marker with strong occlusion resilience, *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on*, pp. 113–120.
- Brandou, V., Allais, A.-G., Perrier, M., Malis, E., Rives, P., Sarrazin, J. and Sarradin, P.-M. (2007). 3d reconstruction of natural underwater scenes using the stereovision system iris, *Oceans 2007-Europe, Vols 1-3* pp. 674–679.
- Cesar, D., Gaudig, C., Fritsche, M., dos Reis, M. A. and Kirchner, F. (2015). An evaluation of artificial fiducial markers in underwater environments, *OCEANS 2015 - Genova*, pp. 1–6.
- Chaumette, F. and Hutchinson, S. (2006). Visual servo control. i. basic approaches, *IEEE Robotics Automation Magazine* **13**(4): 82–90.
- Chaumette, F. and Hutchinson, S. (2007). Visual servo control. ii. advanced approaches [tutorial], *IEEE Robotics Automation Magazine* **14**(1): 109–118.
- CODEBA (n.d.). Companhia das docas do estado da bahia, goo.gl/nWRLsW. Acessado em 11-04-2016.
- Evans, J., Redmond, P., Plakas, C., Hamilton, K. and Lane, D. (2003). Autonomous docking for intervention-auvs using sonar and video-based real-time 3d pose estimation, *OCEANS 2003. Proceedings*, Vol. 4, pp. 2201–2210 Vol.4.
- Feng, C. and Kamat, V. R. (2012). Augmented reality markers as spatial indices for indoor mobile aecfm applications, *Proceedings of 12th international conference on construction applications of virtual reality (CONVR 2012)*, pp. 235–24.
- Fiala, M. (2005). Artag, a fiducial marker system using digital techniques, *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on*, Vol. 2, pp. 590–596 vol. 2.
- Garrido-Jurado, S., Munoz-Salinas, R. and Madrid-Cuevas, F. (2014). Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion, *Pattern Recognition* **47**(6): 2280 – 2292.
- Kato, H. and Billinghurst, M. (1999). Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system, *Augmented Reality, 1999. (IWAR'99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on*, IEEE, pp. 85–94.
- Lee, P.-M., Jeon, B.-H. and Kim, S.-M. (2003). Visual servoing for underwater docking of an autonomous underwater vehicle with one camera, *OCEANS 2003. Proceedings*, Vol. 2, pp. 677–682 Vol.2.
- Malis, E., Chaumette, F. and Boudet, S. (1999). 2 frac12;d visual servoing, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* **15**(2): 238–250.
- Mohamed, B. (2012). Proposition of a 3d pattern for e-learning augmented reality applications based on artoolkit library, *Education and e-Learning Innovations (ICEELI), 2012 International Conference on*, IEEE, pp. 1–4.
- Olson, E. (2011). AprilTag: A robust and flexible visual fiducial system, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, IEEE, pp. 3400–3407.
- Plotnik, A. M. and Rock, S. M. (2006). Visual servoing of an rof for servicing of tethered ocean moorings, *OCEANS 2006*, pp. 1–6.
- Rekimoto, J. (1998). Matrix: a realtime object identification and registration method for augmented reality, *Computer Human Interaction, 1998. Proceedings. 3rd Asia Pacific*, pp. 63–68.
- Rives, P. and Borrelly, J. J. (1997). Underwater pipe inspection task using visual servoing techniques, *Intelligent Robots and Systems, 1997. IROS '97., Proceedings of the 1997 IEEE/RSJ International Conference on*, Vol. 1, pp. 63–68 vol.1.
- Watanabe, T., Neves, G., Cerqueira, R., Trocoli, T., Reis, M., Joyeux, S. and Albiez, J. (2015). The rock-gazebo integration and a real-time auv simulation, *2015 12th Latin American Robotics Symposium and 2015 3rd Brazilian Symposium on Robotics (LARS-SBR)*, pp. 132–138.
- Xu, A. and Dudek, G. (2011). Fourier tag: a smoothly degradable fiducial marker system with configurable payload capacity, *Computer and Robot Vision (CRV), 2011 Canadian Conference on*, IEEE, pp. 40–47.