

Algoritmo para Análise Biomecânica Assistido por Verículo Aéreo Não Tripulado

roberto.freire@pucpr.br

Samuel Giatti da Silva Filho¹; Roberto Zanetti Freire²

1 - Engenharia de Controle e Automação

2 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) Curitiba, Brasil
s.giatti.filho@gmail.com

Leandro dos Santos Coelho^{2,3}

3 - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) Universidade Federal do Paraná (UFPR) Curitiba, Brasil
leandro.coelho@pucpr.br

Resumo - Considerando o sucesso e a disponibilidade de Drones de baixo custo, aplicações científicas e comerciais para o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm sido apresentadas de modo a resolver problemas de sistemas que, anteriormente, não eram automatizados. Este artigo aborda a automação do voo de um VANT para o uso na análise biomecânica de nadadores, utilizando técnicas de inteligência computacional. O objetivo é desenvolver um sistema capaz de seguir o atleta e realizar medições relativas à angulação dos membros do nadador. Tais medições deverão ser apresentadas, em tempo real, para o técnico e/ou especialista por meio de um aplicativo móvel para smartphones. Este artigo de pesquisa relata algumas etapas do desenvolvimento deste sistema, tratando do desenvolvimento de software associado ao projeto. Assim, apresentam-se os algoritmos computacionais e a comunicação utilizada para: *i*) detectar a referência de modo a seguir o atleta; *ii*) realizar a esqueletização do corpo do nadador; e *iii*) transmitir sinais entre o VANT e o programa computacional desenvolvido para aplicativos móveis. Os resultados apresentados mostram o potencial do sistema que já é capaz de detectar todos os membros dos nadadores em determinadas condições de nado.

Keywords - veículos aéreos não tripulados; biomecânica; natação; processamento de vídeo; detecção de referência; esqueletização.

I. INTRODUÇÃO

No esporte, a tecnologia vem sendo utilizada para o aumento do desempenho dos atletas. Isto se deve basicamente ao trabalho intensivo e dedicação a pesquisa desenvolvida em três grandes áreas: a biomecânica, o treinamento e o conjunto voltado à prevenção de lesões e a reabilitação. No que diz respeito à análise biomecânica de atletas, foco deste trabalho, muitos equipamentos e métodos para avaliação e melhoria do desempenho esportivo vem sendo desenvolvidos de modo a auxiliar treinadores e especialistas no esporte.

Alguns trabalhos utilizam recursos de inteligência computacional de modo a comparar atletas e identificar possíveis falhas na execução e simetria dos movimentos, fornecendo informações importantes para o treinador e para o atleta [1]. Na natação, uma modalidade esportiva altamente competitiva onde, em provas de curta distância, a diferença entre o primeiro e o último colocado é de menos de um segundo,

os sistemas computacionais inteligentes, capazes de relacionar grandezas físicas e de fornecer informações sobre o desempenho do atleta, já são considerados essenciais no esporte de alto desempenho [2].

Entre os estudos que envolvem o uso de recursos tecnológicos para análise biomecânica de atletas, pode-se classificar três abordagens distintas: *i*) a utilização de equipamentos com sensores capazes de medir as grandezas físicas associadas a prática esportiva, tais como força, velocidade e aceleração; *ii*) o uso de programas computacionais para simulação computacional da dinâmica dos fluidos (CFD – *Computer Fluid Dynamics*) com o objetivo de avaliar a interação do corpo humano com o meio que ele está inserido. Esta aplicação também tem por objetivo desenvolver trajes capazes de reduzir as forças de arrasto associadas ao nado; e *iii*) o uso de técnicas baseadas em processamento de imagem e vídeo. Em todas estas abordagens a inteligência computacional pode ser utilizada de modo a contribuir para análise biomecânica do desempenho dos nadadores, conforme apresentado em [3-7], onde aplicações com redes neurais e métodos de otimização monovariáveis e multivariáveis são associados para contribuir com o desempenho do atleta.

Através da utilização de sensores pode-se comparar e avaliar o desempenho do atleta quando ele realiza um determinado movimento. Em [1] um sistema de baixo custo para medição de velocidade foi desenvolvido juntamente com um sistema capaz de identificar o estilo do nado. Este sistema foi utilizado para comparar o desempenho de atletas de uma mesma equipe que competem em uma mesma prova, identificando pontos que podem ser melhorados quanto à técnica tomando-se como base a medição de velocidade. Em [8] apresenta-se o uso de acelerômetros e em [9] o uso de células de carga para análise de simetria entre membros associada à força dos atletas, nos dois casos sensores foram utilizados para análise biomecânica.

Pela interação entre as forças de propulsão e do arrasto gerado pelo atleta na água durante o nado, a velocidade pode ser utilizada na análise conjunta com outras grandezas relacionadas. Desta forma, diversos trabalhos que utilizam a velocidade e forças aplicadas pelas mãos dos atletas na análise biomecânica podem ser encontrados na literatura [10-15].

Em relação à simulação da mecânica dos fluidos trabalhos vêm sendo proposto desde a utilização de robôs para simulação do nado e análise dos movimentos do corpo humano no meio aquático [16,17], até a representação completa do nadador utilizando-se scanners 3D (três dimensões) associados a programas de simulação, visando uma abordagem computacional mais realista das condições do nado [18-20].

Já no que diz respeito à utilização do processamento de imagens e vídeos, diversas aplicações já foram desenvolvidas, principalmente com o intuito de mostrar ao atleta, em tempo real, quais fatores da técnica relativa ao estilo de nado devem ser corrigidos e melhorados. Estudos relacionados à partida de nadadores, com o objetivo de analisar ângulos de entrada na água, de partida do bloco, entre outras variáveis relevantes, são amplamente discutidos na área da biomecânica [21], além de equipamentos capazes de efetuar a filmagem dentro e/ou fora da água [22].

Este artigo aborda o problema da análise biomecânica focando-se no movimento dos membros dos nadadores. Para esta finalidade, geralmente utilizam-se câmeras fixada nos tetos dos ginásios onde estão situadas as piscinas, pois, desta forma, é possível analisar a variação angular de entrada dos braços e mãos na água, avaliando assim a simetria do movimento. Neste contexto, é comum encontrar, em ambientes de treinamento, todo um conjunto de equipamento, para geração de imagem é vídeo, de modo que a análise possa ser realizada em tempo real.

Neste mesmo âmbito, o objetivo final desta pesquisa é desenvolver um sistema automatizado que possa ser deslocado com facilidade de um ambiente de treinamento para outro, tendo em vista que os atletas passam grande parte da temporada de competições viajando. Assim, o sistema apresentado aqui deverá ser capaz de seguir e filmar o atleta utilizando-se de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), sem a necessidade de uma grande quantidade de equipamentos de imagem e vídeo instalados em uma única piscina, e ainda apresentar os resultados das medições em um *smartphone*, facilitando o acesso às informações pelo especialista na modalidade esportiva.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma. A próxima seção deste artigo descreve algumas aplicações associadas a este trabalho utilizando VANTs. A seção III apresenta o VANT escolhido no desenvolvimento desta pesquisa além da comunicação entre o dispositivo e o *smartphone*. Já na seção IV apresenta-se o algoritmo para detecção da referência, com base no tom de pele do atleta, utilizando o processamento de vídeo. Na seção V ilustra-se o algoritmo para esqueletização do corpo do atleta. Por fim, na seção VI apresentam-se as conclusões e as etapas futuras de desenvolvimento deste projeto.

II. AUTOMAÇÃO E APLICAÇÕES DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS

O uso de VANTs vem se destacando principalmente na indústria do entretenimento, filmagens estão sendo feitas de modo a aumentar a atratividade das transmissões, principalmente quando estas estão associadas aos esportes [23,24]. No contexto deste trabalho, onde o VANT deve ser controlado remotamente por um computador e não pelo ser

humano utilizando um controle remoto, algumas pesquisas já foram propostas com este objetivo. Em [25] apresenta-se um sistema com dois processadores acoplados ao VANT para seguir uma referência, neste caso um alvo, no contexto militar. O sistema apresentado tem o objetivo de manter o alvo no centro da cena capturada por uma câmera em tempo real. Seguindo a mesma linha desta pesquisa, em seguir uma referência (termo em inglês *tracking*), em [26] apresenta-se um sistema para seguir um objeto sempre mantendo a mesma distância com base no cálculo da área do objeto na imagem. O mesmo esquema é apresentado em [27], porém com o uso de um equipamento GPS (*Global Positioning System*) de baixo custo para melhorar o desempenho do sistema. A utilização de VANTs também pode ser associada na área de segurança, como em resgates de vítimas em regiões remotas [28].

III. COMUNICAÇÃO ATRAVÉS DE UM SISTEMA WIRELESS

No desenvolvimento deste projeto foi utilizado um VANT Phantom 2 Vision+ fabricado pela DJI [29]. Este modelo de VANT foi selecionado por possuir características compatíveis com a aplicação apresentada neste artigo. Entre essas características podem-se citar: o sistema de segurança para retorno automático a origem, caso o quadricóptero saia do seu raio de ação, e a câmera com resolução e taxa de aquisição de imagem de 720 pontos e 60 fps (*frames per second*), respectivamente, além do estabilizador de imagem. O VANT ainda possui tecnologia para transmitir o vídeo através de uma rede *Wifi*. A DJI disponibiliza uma API que, neste projeto, foi codificada em linguagem Objective C.

O sistema de controle da aeronave será desenvolvido conforme o fluxograma apresentado na Fig. 1, onde o sinal de referência para deslocamento do VANT, em um único eixo, será gerado pela seleção de uma região, definida por uma cor, especificamente situada no corpo do atleta. Detalhes serão apresentados na próxima seção deste trabalho.

Ao final do desenvolvimento deste projeto, pretende-se fechar a malha de controle do quadricóptero através de um microcontrolador, suportando assim um módulo *Wifi* que se conectará na rede gerada pelo VANT da DJI, e também a um módulo de rádio, que simulará o sistema de controle.

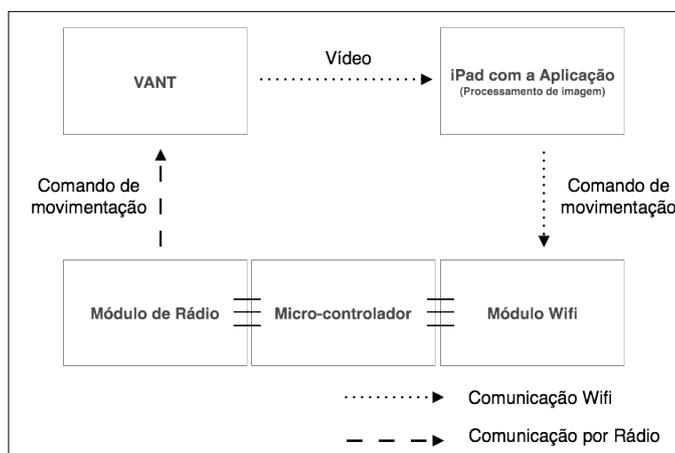


Fig. 1. Fluxograma da comunicação no sistema considerando um sistema de controle realimentado.

IV. Detecção de Referência para Definição da Trajetória do VANT

Para identificar a localização do nadador na piscina, um algoritmo de rastreamento por cor foi desenvolvido. O software utiliza uma cor previamente capturada como referência, podendo ser esta o tom de pele do nadador ou, por exemplo, a touca que este estará usando. Assim, o algoritmo é capaz de armazenar esta cor e passa a rastreá-la na imagem em tempo real.

Para capturar-se a cor desejada, um quadrado de 50x50 pixels é desenhado na tela. No momento de captura da cor, os valores de cada pixel dentro deste quadrado são somados e divididos pelo número total de pixels, obtendo-se assim a cor média que se deseja rastrear. Matematicamente, a representação da captura da cor é implementada no programa da seguinte maneira, (Onde na primeira iteração, $Mr = 0$, $Mg = 0$, $Mb = 0$):

$$Mr = \sum_{i=0}^{i_f} \sum_{j=0}^{j_f} Mr + \mathbf{Img}[i][j].vermelho \quad (1)$$

$$Mr = \frac{Mr}{n} \quad (2)$$

$$Mg = \sum_{i=0}^{i_f} \sum_{j=0}^{j_f} Mg + \mathbf{Img}[i][j].verde \quad (3)$$

$$Mg = \frac{Mg}{n} \quad (4)$$

$$Mb = \sum_{i=0}^{i_f} \sum_{j=0}^{j_f} Mb + \mathbf{Img}[i][j].azul \quad (5)$$

$$Mb = \frac{Mb}{n} \quad (6)$$

Nas Eqs. 1, 3 e 5, \mathbf{Img} é a matriz que comporta os valores para cada pixel. Como o algoritmo trabalha no espaço de cores RGB, \mathbf{Img} possui três propriedades que referenciam cada valor de cor para um mesmo pixel. Já Mr , Mg e Mb são as médias de cores vermelha, verde e azul, respectivamente, onde n é o número total de pixels analisados. Mr , Mg e Mb representam, portanto, a cor que se deseja rastrear definida no espaço RGB.

Em seguida, a aplicação armazena esta cor como sendo a cor de referência e passa a filtrar a imagem isolando esta cor. Para a correta identificação da cor, uma quádrupla iteração convolutiva é realizada, o algoritmo varre a imagem em blocos de 3x3 pixels, calculando a cor média de cada bloco. Se a cor média em um destes blocos de 9 pixels corresponder com a cor desejada dentro de uma margem de erro, o pixel central do bloco é marcado na tela e armazenado em um vetor. O Quadro 1 descreve o algoritmo desenvolvido para detecção de referência

com base na seleção de cor do usuário do sistema. Esta seleção é feita, em tempo real, utilizando o *smartphone*.

A Fig. 2 apresenta o resultado da detecção de referência quando a seleção feita pelo usuário diz respeito à cor do corpo do atleta. O ponto verde representa o centróide geométrico detectado pelo algoritmo apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Pseudocódigo do algoritmo de detecção de referência.

| |
|--|
| 1ª Iteração: $\mathbf{iext} = 0$ ao num. de linhas na matriz, de 3 em 3 |
| 2ª Iteração: $\mathbf{jext} = 0$ ao num. de colunas na matriz, de 3 em 3 |
| 3ª Iteração: $\mathbf{iint} = \mathbf{iext}$ à $(\mathbf{iext} + 3)$, de 1 em 1 |
| 4ª Iteração: $\mathbf{jint} = \mathbf{jext}$ à $(\mathbf{jext} + 3)$, de 1 em 1 |
| Soma da quantia de vermelho dos pixels |
| Soma da quantia de verde dos pixels |
| Soma da quantia de azul dos pixels |
| Fim da 4ª Iteração |
| Fim da 3ª Iteração |
| Vermelho médio = Soma de vermelho / 9 |
| Verde médio = Soma de verde / 9 |
| Azul médio = Soma de azul / 9 |
| Chamada do método de comparação (Vermelho médio , Verde médio , Azul médio , Cor de referência); |
| Se a comparação for verdadeira: |
| Aloca-se um novo ponto ($\mathbf{iint}-1$, $\mathbf{jint}-1$) para referência e o salva em um vetor; |
| Fim da comparação |
| Fim da 2ª Iteração |
| Fim da 1ª Iteração |
| Calcule o centróide geométrico do corpo |
| Marque o centróide geométrico do corpo |

Todavia, tendo em vista que a variação de luminosidade ao longo de uma piscina olímpica de 50m pode ocorrer de forma frequente, outros testes foram realizados levando-se em conta este caso onde a luminosidade pode variar. Nos casos de pequenas variações de luminosidade no ambiente, o algoritmo acima se demonstrou eficaz na identificação de cores, onde o efeito da iteração em blocos reduz os erros provocados por pequenas flutuações na luminosidade. Para validar o algoritmo, utilizaram-se objetos de diferentes cores e, finalmente, vídeos de nadadores, comprovando assim a funcionalidade do algoritmo.

No caso do sistema desenvolvido neste projeto, como o VANT deve ser posicionado exatamente acima do atleta durante o nado, seu deslocamento será definido pela mudança da centróide referente ao centro da imagem. Assim, quando o ponto de referência deslocar-se na tela, automaticamente, gera-se uma referência para o VANT.



Fig. 2. Resultado apresentado em tempo real da detecção de referência por cor.

V. ESQUELETIZAÇÃO DO ATLETA

O processo de esqueletização é muito utilizado nas mais diversas aplicações de processamento de imagem e vídeo, desde análises biomecânicas para avaliação da técnica em diferentes modalidades esportivas à captura de movimentação para animação computadorizada na indústria cinematográfica. A esqueletização consiste em identificar, por meio de um algoritmo, pontos de interesse necessários para traçar um rascunho do corpo humano. No algoritmo apresentado nesta seção foram identificadas, por meio de inequações, quatro regiões do corpo humano, classificadas como: cabeça, tronco, pernas e braços.

O ponto de partida no processo de esqueletização neste trabalho é a geração da referência para o VANT no algoritmo de detecção. No processo de captura da cor desejada, (no caso o tom de pele do nadador) obtém-se o centróide do corpo e todos os pontos pertencentes ao corpo rastreado. De posse destes pontos, calcula-se a distância vertical entre o ponto mais alto e o mais baixo. Esta distância é a altura do nadador. Usando a altura do nadador e o centróide é possível traçar inequações para localizar o corpo. Estas inequações foram desenvolvidas analisando as proporções naturais que existem no ser humano. Assim cada região é regida por uma inequação que utiliza constantes que multiplicam a altura ou as coordenadas do centróide.

Depois de encontrada cada região, as centróides de cada sub-região e os pontos relevantes, como juntas dos ombros e cotovelos são identificadas por novas relações proporcionais baseadas nos cálculos feitos a priori. Estes novos pontos são então conectados com base em uma sequência de regras e o resultado é um rascunho do esqueleto. Assim, conclui-se o processo de esqueletização.

Para testar a eficiência do algoritmo, e ajustar as constantes das inequações, testes iniciais com baixo erro foram realizados. Estes testes consideraram o elevado contraste entre a cor

rastreada e a cor de fundo. Vídeos de silhuetas se movimentando foram então utilizados (Fig. 3).

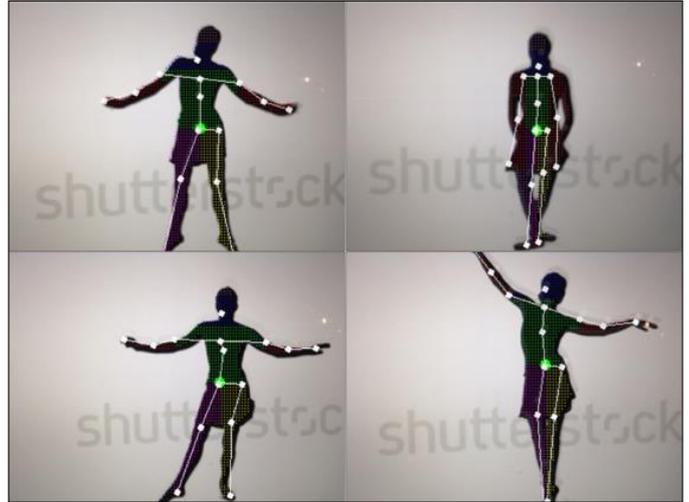


Fig. 3. Testes do algoritmo de esqueletização com alto contraste entre o corpo humano e o fundo da imagem.

Comprovado o funcionamento do algoritmo, testes com vídeos de nadadores foram então utilizados. O desempenho do método variou neste caso. Considerando vídeos de menor resolução de nadadores em estilos que produzem muita espuma e turbulência na água, o algoritmo demonstrou-se consideravelmente menos eficiente. Para contornar o problema da espuma um filtro de água foi desenvolvido. Este filtro trabalha em espaço de cores HSV (Matiz, Saturação e Valor), e funciona filtrando tons de cores próximos de azul. A Fig. 4 apresenta o *frame* do vídeo original (Fig. 4 (a)) e também do vídeo utilizando o filtro para a cor azul ((Fig. 4 (b)).

O filtro de imagem foi capaz de reduzir o ruído causado pelos tons de azul e aumentou o desempenho do algoritmo de esqueletização, de modo a eliminar parcialmente a espuma e outros ruídos presentes na imagem gerados pela turbulência da água durante o nado. Entretanto, para imagens de baixa resolução (Fig. 5), mesmo utilizando o filtro, nota-se a dificuldade do algoritmo em esqueletizar o corpo do nadador, justificando, desta forma, o uso de um VANT que possua estabilizador de imagem e também uma câmera de resolução mínima aceitável.



Fig. 4. (a) Sem utilização do filtro para reduzir o ruído causado pela espuma. (b) Utilizando o filtro no espaço de cores HSV.

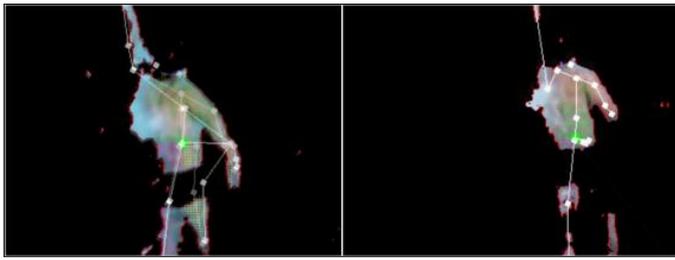


Fig. 5. Esqueletização do corpo do atleta utilizando o filtro em imagens de baixa resolução.

As Figs. 6 e 7 apresentam o resultado do algoritmo de esqueletização quando este foi aplicado para vídeos de melhor resolução e com menor poluição visual (geralmente provocada por um nado turbulento). Neste caso, algoritmo volta a apresentar um desempenho superior. Em vídeos de alto contraste de cores entre o nadador e a piscina, a esqueletização final apresentou resultados promissores.

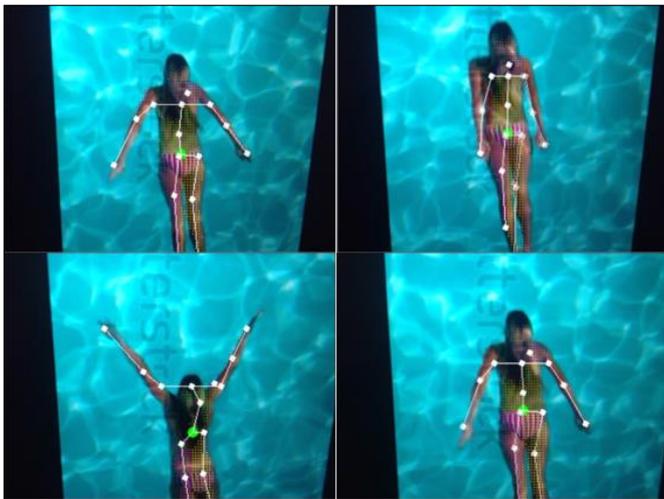


Fig. 6. Esqueletização do corpo humano durante o nado submerso utilizando vídeo de alta resolução.

É válido lembrar que as imagens apresentadas até o momento foram adquiridas pela câmera do próprio dispositivo, apontada para vídeos apresentados na tela do computador e o processamento feito em tempo real. Isto se deve ao fato de que a parte do projeto referente ao controle de voo do VANT ainda será desenvolvida na continuidade deste projeto. Mais detalhes sobre o algoritmo de esqueletização não serão divulgados neste trabalho em virtude de um pedido de patente do mesmo.



Fig. 7. Detalhes do processo de esqueletização.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abordou o problema de análise biomecânica de atletas de natação utilizando-se de um VANT. Foram apresentados dois algoritmos, o primeiro para detecção da referência que será utilizada para o VANT seguir o atleta, e o segundo para esqueletização do corpo do atleta com o objetivo de detectar as angulações formadas pelas articulações. Desta forma, pode-se analisar a simetria do movimento em ambos os lados do corpo, bem como se a técnica do nado está ou não sendo feita de forma correta.

Os algoritmos desenvolvidos são exemplos de que é possível realizar esqueletização por processamento de imagem com apenas uma câmera utilizando equipamentos de fácil acesso. O algoritmo possui potencial e precisão suficiente de modo a gerar dados precisos a ponto de auxiliar técnicos e nadadores na análise biomecânica de cada estilo e fase do nado. O projeto ainda apresenta o potencial de aplicação em outros esportes e áreas que envolvem a filmagem para seguir uma referência. Em relação a continuidade deste trabalho, será utilizada um sistema Fuzzy para realizar a segmentação da imagem de forma a detectar as diferentes partes do corpo dos nadadores. Assim, deseja-se fazer uma comparação quanto ao desempenho do algoritmo apresentado neste trabalho com o sistema Fuzzy.

Na atual etapa de desenvolvimento deste projeto trabalha-se na mudança no método de aquisição de imagem. Até o momento, com o intuito de validar o algoritmo de processamento de imagem, utilizou-se a câmera do próprio *tablet*. Visa-se aplicar este mesmo algoritmo no vídeo adquirido pela câmera do VANT em tempo real, através da malha de comunicação apresentada na terceira sessão deste artigo.

Não obstante, para que a comunicação *smartphone*-VANT esteja completa, falta concluir o acesso aos pixels para o processamento da imagem. Esta etapa ainda está em andamento, visto o difícil acesso a arquitetura fechada de um produto comercial. Pretende-se ainda fechar a malha de controle utilizando como referência a posição do nadador que já é conhecida pelo aplicativo. O aplicativo enviará para um micro-controlador comandos, possivelmente em ASCII pela rede TCP/IP, e o microcontrolador os converterá por meio de um módulo em rádio frequência, funcionando como o controle do VANT.

REFERÊNCIAS

1. L.F. da Cruz, R.Z. Freire and L.S. Coelho. "Low-cost prototype development and swim velocity profile identification using neural network associated to generalised extremal optimization". Anais do XII Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2014), Camberra, Austrália, p. 566-572, 2014.
2. L. Costa, V.R. Mantha, A.J. Silva, R.J. Fernandes, D.A. Marinho, J.P. Vilas-Boas, L. Machado, A. Rouboa. Computational fluid dynamics vs. inverse dynamics methods to determine passive drag in two breaststroke glide positions. Journal of Biomechanics (Aceito para publicação), disponível online em 9 de maio de 2015.
3. K. Lobenius. "The employment of regression analysis and neural networks in the prognosis of competitive swimming performance". Anais do IX Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2003), Saint-Etienne, France, p. 545-550, 2003.
4. A.J. Silva, A.M. Costa, P.M. Oliveira, V.M. Reis, J. Saavedra, J. Perl, A. Rouboa, D.A. Marinho, "The use of neural network technology to model

- swimming performance,” *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, (1), pp. 117-125, 2007.
5. M. Rejman e B. Ochmann, “Functional model of monofin swimming technique based on the construction of neural networks”. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, (2), pp. 193-203, 2007.
 6. E.H. Chi, G. Borriello, N. Davis, G. Hunt. “Guest editors' introduction: Pervasive computing in sports technologies”. *IEEE Pervasive Computing*, 4, (3), pp. 22-25, 2005.
 7. M. Bächlin, G. Tröster. “Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors”. *Pervasive and Mobile Computing*, 8, (1), pp. 68-81, 2012.
 8. R.B. Grebogi, L.S. Coelho, R.Z. Freire, L.F. Cruz. “Tethered swimmers propulsive force modeling based on Takagi-Sugeno fuzzy approach”. *Anais do XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2014)*, Canberra, Australia, p. 143-144, 2014.
 9. H.V.H. Ayala, L.F. Cruz, L.S. Coelho, R.Z. Freire. “Swim velocity profile identification through a dynamic self-adaptive multiobjective harmonic search and RBF neural networks”. *Anais do 22nd European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*, Bruges, Bélgica, p. 637-642, 2014.
 10. H.M. Toussaint. “Biomechanics of propulsion and drag in front crawl swimming”. *Anais do XX International Symposium on Biomechanics in Sports (ISBS2002)*, Cáceres, Espanha, p. 13-22, 2002.
 11. R. Havriluk. “Hand force and swimming velocity”. *Anais do XV Federation Internationale de Natation - World Congress*, Indianapolis, EUA, 2004.
 12. Wakayoshi, K.; Shiraki, T.; Ogita, F. and Kitajima, M. (2010). Determination and validity of critical velocity in front crawl, arm stroke and leg kick as an index of endurance performance in competitive swimmers. *Anais do XI Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2010)*, Oslo, Noruega, 2010.
 13. R. Arellano, R. Domínguez-Castells, E. Perez-Infantes, E. Sánchez. “Effect of stroke drills on intra-cycle hip velocity in front crawl”. *Anais do XI Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2010)*, Oslo, Noruega, 2010.
 14. A. Stamm, D.V. Thiel, B. Burkett, D.A. James. “Towards determining absolute velocity of freestyle swimming using 3-axis accelerometers”, *Procedia Engineering*, 13, pp. 120-125, 2011.
 15. L.S. Coelho, L.F. Cruz, R.Z. Freire, “Swim velocity profile identification by using a modified differential evolution method associated with RBF neural network”, *Anais do Third International Conference on Innovative Computing Technology (INTECH2013)*, Londres, Reino Unido, 2013.
 16. H. Takagi, M. Nakashima, T. Ozaki, K. Matsuuchi. “Unsteady hydrodynamic forces acting on a robotic hand and its flow field”. *Journal of Biomechanics*, 46, pp. 1825-1832, 2013.
 17. M. Nakashima and A. Takahashi. “Clarification of unsteady fluid forces acting on limbs in swimming using an underwater robot arm”. *Journal of Fluid Science and Technology*, 7, pp. 100-113, 2012.
 18. R.C.Z. Cohen, P.W. Cleary, S.M. Harrison, B.R. Mason, D.L. Pease. “Computational fluid dynamics as a tool for improving stroke technique”. *Anais do XII Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2014)*, Canberra, Austrália, p. 14-20, 2014.
 19. D. Chollet, F. Puel, D. Marinho, R. Ramos, P.M. Lepretre, B. Louvet, J. Komar, F. Chavallard, J. Vantorre, C. Morio, L. Seifert, J.P. Vilas-Boas. “Evaluation of competitive jammers in expert male crawl swimmers”. *Anais do XII Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS2014)*, Canberra, Austrália, p. 95-100, 2014.
 20. L. Bramall. “Simulating swimwear for increased speed”. *ANSYS Advantage*, vol. II, (2), pp. 4-6, 2008.
 21. B. Blanksby, L. Nicholson e B. Elliott “Biomechanical analysis of the grab, track and handle swimming starts: an intervention study”. *Sports Biomechanics*, 1, pp. 11-24, 2002.
 22. A.B. Craig, B. Termin e D.R. Pendergast. “Simultaneous recordings of velocity and video during swimming”. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6, (2), pp. 32-35, 2006.
 23. N. Kelley. “Drones buzz Sochi: UAVs are changing the way we watch sports”. *Outside Online* (11 de Fev., 2014), Disponível em: [http://www.outsideonline.com/news-fromthe-field/Drones-Buzz-Sochi.html]. Acesso em: 14 de maio de 2015.
 24. R. Feltman. “The future of sports photography: drones”. *The Atlantic* (18 de Fev., 2014), Disponível em: [http://www.theatlantic.com/technology/archive/2014/02/the-future-of-sports-photography-drones/283896/]. Acesso em: 01 de abril de 2015.
 25. R. Canals, A. Roussel, J.-L. Famechon, S. Treuillet. “A Biprocessor-Oriented Vision-Based Target Tracking System”. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 49, (2), pp. 500-506, 2002.
 26. J. Kim, Y.S. Lee, S.S. Han, S.H. Kim, G.H. Lee, H.J. Ji, H.J. Choi, K.N. Choi. “Autonomous flight system using marker recognition on drone”. *21st Korea-Japan Joint Workshop on Frontiers of Computer Vision (FCV)*, p. 1-4, 2015.
 27. J. Pestana, J.L. Sanchez-Lopez, S. Saripalli, P. Campoy. “Computer vision based general object following for GPS-denied multirotor unmanned vehicles”. *Anais da American Control Conference (ACC2014)*, Portland, Oregon, EUA, p. 1886-1891, 2014.
 28. A. Rahman. “Enabling drone communications with WiMAX technology”. *Anais do The 5th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, (IISA2014)*, Chania, Grécia, p. 323-328, 2014.
 29. DJI, The future of possible. “Phantom 2 Vision+: your flying camera” Disponível em: [https://www.dji.com/product/phantom-2-vision-plus]. Acesso em: 09 de agosto de 2014.