

Rastreamento de Jogadores de Futebol em Sequência de Imagens

Rodrigo D. Arnaut¹, Anna H. R. Costa²

¹Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, rdarnaut@usp.br

²Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, anna.reali@poli.usp.br

Resumo. *Este trabalho propõe um sistema de rastreamento visual de jogadores de futebol, o qual estima as trajetórias 2D em seqüências de imagens capturadas por câmeras fixas, instaladas ao redor de um campo de futebol. O rastreamento permite determinar diversos parâmetros como, por exemplo, a velocidade e a distância percorrida pelos jogadores durante uma partida, a região de maior movimentação da equipe no campo, etc. O sistema proposto segue uma abordagem probabilística, alcançando bons resultados iniciais. Os experimentos mostraram que uma implementação inicial do sistema, utilizando somente informação de variação da intensidade luminosa das imagens, já apresenta resultados eficazes e eficientes e permite vislumbrar melhorias significativas a serem desenvolvidas.*

1. Introdução

Informações estatísticas extraídas do rastreamento de jogadores de futebol, como velocidade e distância percorrida, movimentação da equipe no decorrer do jogo, entre outras, podem ser de extrema relevância para um entendimento mais acurado de uma partida de futebol, tornando-se ferramentas de grande importância para emissoras de televisão, clubes e técnicos de futebol [Borg 2007], motivando pesquisas e desenvolvimentos na área.

O objetivo deste trabalho consiste em propor e implementar um sistema de rastreamento visual de jogadores de futebol que seja eficaz e eficiente, dominando o conhecimento existente e permitindo a adoção de técnicas de rastreamento para enriquecer as análises do esporte mais popular em nosso país, o futebol. Neste trabalho utilizam-se imagens de uma câmera fixa instalada ao redor de um campo de futebol.

Ainda há muito interesse em pesquisa e desenvolvimento neste tema, pois a técnica de rastreamento de alvos é muito desejada em sistemas onde o acesso a instalação de sensores nos alvos seja difícil ou até impossível, necessitando de uma abordagem não invasiva, o qual é possibilitado por análise visual de imagens. As origens do rastreamento visual foram em aplicações militares, mas logo a técnica se espalhou para aplicações de segurança e monitoramento de pessoas, produções cinematográficas, computação gráfica e estatística [Grewal, Weill e Andrews 2007]. Recentemente, alguns estudos na área de rastreamento visual de alvos para esportes, mais especificamente para jogadores de futebol, foram implementados [Beetz et al. 2007, Borg 2007, Xu et al. 2005], mas poucos conseguiram definir claramente o melhor caminho para o emprego desta técnica, nem sempre indicando os recursos necessários de *hardware* e *software*, nem descrevendo em detalhes a técnica empregada para a obtenção dos resultados mostrados no rastreamento.

Este artigo descreve a proposta e implementação de um sistema de rastreamento visual de jogadores de futebol, o qual estima as trajetórias 2D em seqüências de

imagens capturadas por câmeras fixas, instaladas ao redor de um campo de futebol. O sistema proposto segue uma abordagem probabilística e utiliza, nesta implementação inicial, somente informação de variação da intensidade luminosa das imagens. Os experimentos mostram alguns resultados animadores e permite que se vislumbre importantes derivações, visando tornar o sistema eficaz e eficiente na aplicação desejada.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são detalhados alguns trabalhos correlatos relevantes; a proposta é apresentada na seção 3; diversos experimentos foram conduzidos e os resultados de alguns deles são descritos na seção 4. Finalmente, na seção 5 apresenta-se a conclusão e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Correlatos

Devido às diversas análises estatísticas que se consegue derivar de um rastreamento de jogadores, a área de pesquisa de rastreamento visual de alvos tem atraído o interesse de diversos pesquisadores, uma vez que a análise de seqüências de imagens permite o desenvolvimento de um sistema de rastreamento não invasivo. A maioria das propostas com resultados mais significativos adota uma abordagem probabilística de rastreamento visual automático [Beetz et al 2007, Borg 2007, Xu et al 2005]

A proposta de De Bem (2007) efetua o rastreamento de alvos com formas heterogêneas em seqüências de imagens empregando a utilização de dois filtros de Kalman [Kalman 1960, Welch e Bishop 1995] acoplados para cada alvo, um que estima a translação de pontos do contorno do alvo, chamado de pontos de controle, e outro que estima a velocidade de deslocamento e a variação de escala, sofrida pelo mesmo, em duas imagens consecutivas. O sistema possui duas etapas: inicialização e rastreamento.

Na inicialização são detectados os alvos de interesse para o rastreamento, utilizando técnicas padrões de processamento de imagens, e também são definidas as estimativas dos estados iniciais para cada filtro de Kalman, em cada alvo. As estimativas são feitas com base na translação dos pontos de controle, pelo deslocamento sofrido em relação ao centro de área do contorno e pela variação da medida do centro de área a um ponto do contorno do alvo, na seqüência de imagens.

Na etapa de rastreamento inicia então a execução recursiva das etapas de predição, observação e correção de cada filtro, com base nos modelos de movimento e de observação para estimar a trajetória de cada alvo. Os modelos de movimento são definidos pelas posições dos pontos de controle, pela velocidade de deslocamento e pela variação do fator de escala do contorno dos alvos (conforme descrito na etapa de inicialização), e o modelo de observação é definido por meio de linhas de medidas transversais ao contorno de cada alvo, passando sobre os pontos de controle, de forma a tornar a análise de imagem mais eficiente, uma vez que o contorno de cada alvo, em cada imagem, é processado no espaço 1D da linha, buscando variações do contraste luminoso que separa o alvo do fundo da cena. Assim, a variável de estado do sistema de De Bem é dada pelo conjunto de i pontos de controle, dados por suas coordenadas (x_i, y_i) na imagem atual, pela velocidade (v_x, v_y) do centro de área do contorno do alvo e pela alteração de escala s em duas imagens consecutivas.

Para manter a linearidade do sistema, permitindo o uso do filtro de Kalman, separou-se o sistema em dois módulos, cada um com um estimador por filtro de Kalman: um que estima os parâmetros de velocidade e escala, e outro que estima os parâmetros de posição dos pontos de controle do contorno do alvo.

O trabalho apresentado por Xu et al (2005) aplica o filtro de Kalman para o rastreamento de jogadores com câmeras fixas. O sistema é dividido em dois passos principais. No primeiro passo é feita a detecção dos alvos nas imagens utilizando técnicas de subtração de fundo, atualização dinâmica de modelo de fundo de cena e fechamento morfológico da imagem processada [Gonzalez e Woods 1993]. Como resultados são gerados, além do número total de alvos detectados, o centro de área e o retângulo envolvente de cada alvo. Na segunda etapa é executado o rastreamento dos alvos com um filtro de Kalman para cada alvo, utilizando uma representação do retângulo envolvente e o centro de área de cada jogador, como variáveis de estado x ,

$$x = [r_c \quad c_c \quad v_{rc} \quad v_{cc} \quad \Delta r_1 \quad \Delta c_1 \quad \Delta r_2 \quad \Delta c_2]^T,$$

sendo que a seguinte medida z é extraída de cada imagem

$$z = [r_c \quad c_c \quad r_1 \quad c_1 \quad r_2 \quad c_2]^T,$$

onde r_c e c_c são os centros de área do retângulo envolvente a cada jogador; v_{rc} e v_{cc} representam a velocidade de translação entre quadros do centro de área do retângulo envolvente; r_1, c_1, r_2, c_2 representam os pontos superior esquerdo e inferior direito do retângulo envolvente, respectivamente, sendo $r_1 < r_2$ e $c_1 < c_2$; $\Delta r_1, \Delta c_1, \Delta r_2$ e Δc_2 representam as posições relativas dos pontos r_1, c_1, r_2, c_2 do retângulo até o centro de área, conforme ilustra a Figura 1.

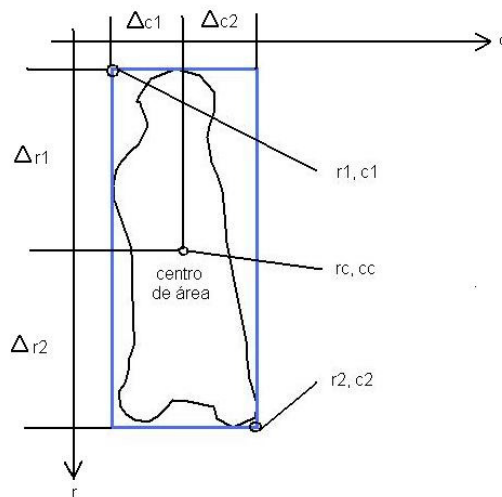


Figura 1. Centro de área e retângulo envolvente do alvo.

Os autores assumiram que existe pouca variação dos valores de altura e largura do retângulo envolvente do alvo entre quadros consecutivos e que a área do retângulo é observável em todos os quadros. Este fato não ocorre quando há oclusão dos alvos; entretanto, os autores propuseram uma abordagem bastante simples para tratar por uma curta seqüência de quadros de imagem, de forma aproximada, variações grandes derivadas de oclusão. Na abordagem proposta, os retângulos envolventes não são atualizados enquanto houver extração, na imagem processada, de retângulos envolventes com grandes variações de dimensões; os mesmos só são novamente atualizados quando o processamento da imagem atual extrair retângulos com dimensões compatíveis com os anteriormente processados. Este processo está ilustrado na Figura 2, onde os quadros superiores mostram os dados processados e os inferiores, os quadros originais de imagem, com superposição dos retângulos envolventes estimados e das trajetórias percorridas pelos alvos. Observe a oclusão nos quadros intermediários.

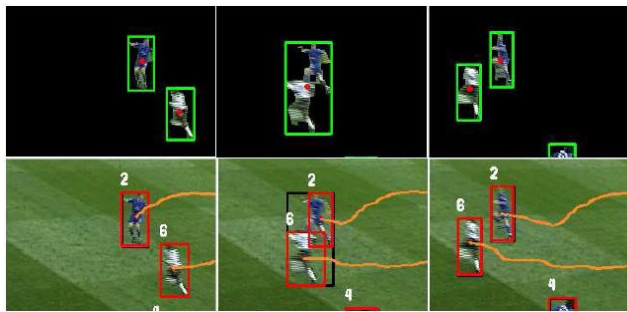


Figura 2. Detecção e Rastreamento de Jogadores, com tratamento simples de oclusão (figura extraída de [Xu et al. 2005]).

ASPOGAMO (*Automated SPort Game Analysis MOdel*) é um trabalho da universidade de Munique, Alemanha, com o objetivo de rastrear visualmente jogadores de futebol em uma partida, utilizando imagens das câmeras disponíveis de emissoras de TV, determinando a trajetória e as coordenadas da posição de cada jogador dentro de determinadas cenas [Beetz et al 2007]. As trajetórias dos alvos são determinadas no plano 3D do campo de futebol, representando as posições em cada instante de tempo de cada jogador, em coordenadas do mundo real. Três problemas foram abordados neste projeto: a estimação da direção da câmera e do fator de *zoom*, já que neste caso trata-se de câmeras de TV; a detecção e o rastreamento dos jogadores; e a identificação dos jogadores rastreados. O sistema foi testado com sucesso durante a Copa do Mundo de 2006, na Alemanha. O interesse maior do projeto ASPOGAMO em relação ao trabalho reportado no presente artigo está na etapa de detecção e rastreamento dos jogadores. Para a detecção de jogadores, ASPOGAMO emprega um método de segmentação de bordas externas, baseado no modelo de tamanho dos alvos e no modelo de cores dos uniformes da equipe, estes modelos devem estar previamente cadastrados. Os jogadores são localizados utilizando a estimação pelo centro de área. Para a etapa de rastreamento foi utilizado o MHT (*Multiple Hypothesis Tracker*) [Cox e Hungarian 1996], melhorando a eficácia do rastreamento de alvos, que normalmente é corrompido por diferentes erros de medidas, tais como: indicação invertida das categorias dos jogadores, observações de falso-positivo (ruído interpretado como detecção de algum alvo) e falso-negativo (jogadores não detectados), entre outros. As variáveis de entrada para o MHT são as posições dos jogadores e as matrizes de covariâncias de medidas. Para cada hipótese do rastreamento dos alvos é utilizado um novo filtro de Kalman no MHT, com o vetor de estado dado por $x = [x \ y \ v_x \ v_y]^T$, onde x e y são as coordenadas do contorno dos alvos e v_x e v_y suas respectivas velocidades de translação entre quadros, todas definidas em *pixels*. O vetor de medidas é $z_k = [x \ y]^T$. Somente translações são consideradas entre quadros. A principal desvantagem na implementação do MHT está na complexidade computacional da técnica, a qual utiliza múltiplas hipóteses de rastreamento para cada alvo em cada quadro analisado [Cox e Hungarian 1996].

Os três trabalhos descritos nesta seção representam trabalhos significativos da literatura na área de rastreamento visual de jogadores de futebol, pois demonstram eficiência e eficácia na tarefa de interesse e serviram de inspiração para a proposta descrita neste artigo. A Tabela 1 sumariza as principais características de cada um, salientando suas similaridades e discrepâncias com vantagens e desvantagens.

Tabela 1. Tabela comparativa dos trabalhos correlatos.

Trabalho Correlato	Técnica de Estimação	Câmeras Fixas	Vantagem	Desvantagem
--------------------	----------------------	---------------	----------	-------------

De Bem (2007)	Dois filtros de Kalman para cada alvo	Sim	Bom desempenho, fácil detecção e livre definição de tamanho e forma do contorno dos alvos.	Difícil modificação da variável de estado devido ao acoplamento dos filtros. Representação de contorno mais complexa.
Xu et al (2005)	Um Filtro de Kalman para cada alvo	Sim	Excelente desempenho, fácil detecção do retângulo envolvente dos alvos.	Limitação na definição do contorno dos alvos; Problemas quando ocorre variação do tamanho do alvo
Beetz et al (2007)	Um MHT para cada alvo (um novo filtro de Kalman para cada hipótese, para cada alvo)	Não	Exatidão na Estimação.	Alta complexidade computacional; Baixo desempenho.

3. Proposta

Os estudos dos trabalhos correlatos de rastreamento de alvos mostram que o trabalho desenvolvido por De Bem (2007) estabelece um bom compromisso entre eficiência computacional e boa descrição do contorno dos alvos, sendo, assim, adotada como base neste trabalho. Entretanto, como a técnica não havia sido usada anteriormente para rastreamento de jogadores de futebol, objetivou-se também verificar a adequação da técnica à nova aplicação.

A proposta deste trabalho de rastreamento de jogadores de futebol está esquematizada na Figura 3, composta pelo módulo de leitura de arquivos de vídeo, seguido pelos módulos de detecção de alvos, de inicialização, de rastreamento do contorno e do movimento e, finalmente, o módulo de geração das coordenadas 2D dos alvos nas imagens.

O módulo de leitura de arquivos de vídeo nada mais faz do que tornar acessível ao sistema de rastreamento uma seqüência de quadros de imagens, que foram previamente capturados, para serem posteriormente processados. No caso, a câmera utilizada é fixa e colocada em volta do campo, sem alteração de seus parâmetros de *zoom*, *pan*, *titl* e luminância durante o processo de aquisição.

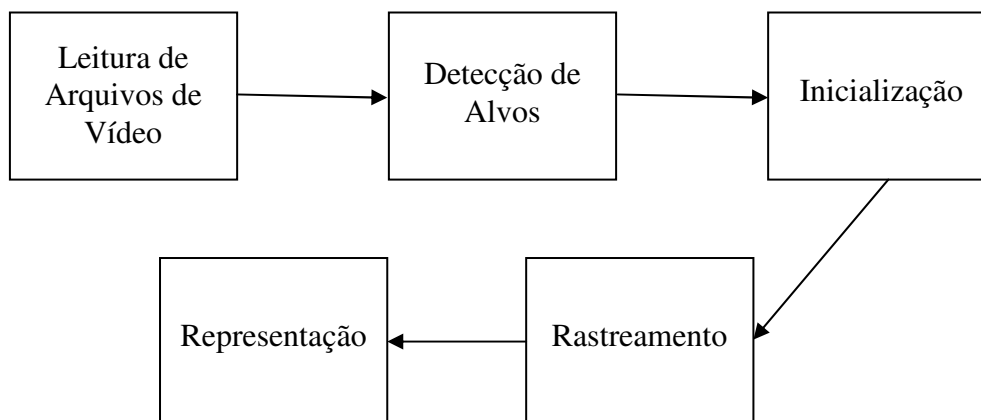


Figura 3. Módulos da proposta atual.

O módulo de detecção de alvos, que são os jogadores, tem como objetivo separar os objetos de interesse do restante da imagem. Utiliza-se a técnica de subtração de fundo, que consiste na subtração, *pixel* por *pixel*, de uma imagem atual da sequência por uma imagem de referência do fundo da cena. Estipulou-se um valor de limiar para detectar os *pixels* que diferem significativamente da referência do fundo de cena. Posteriormente, algoritmos são aplicados para eliminar ruídos e corrigir falha na segmentação. Em seguida, determina-se um polígono envolvente correspondente ao contorno de cada alvo segmentado e, finalmente, o polígono envolvente é representado por uma *B-spline*. Uma representação baseada em contornos mostra-se interessante, pois permite uma descrição mais precisa dos alvos, em comparação, por exemplo, com o uso de retângulos envolventes, usados nos trabalhos de Xu et al (2005) e de Beetz et al (2007). Além disso, um modelo único deste tipo de representação é capaz de adaptar-se dinamicamente a alvos com formas heterogêneas. O uso de *B-splines* é amplamente difundido na literatura de rastreamento visual [MacCormick e Blake 2000], sendo capazes de representar desde contornos triviais até formas mais complexas com a utilização de um pequeno número de parâmetros (chamados de pontos de controle), descrevendo os alvos de modo simples e efetivo, com baixo custo computacional.

Uma função B-spline $x(u)$ de ordem k (grau $k-1$) é uma soma ponderada de M funções base $B_i^k(u)$, $i = 0, \dots, M-1$, e definida como [Bartels, Beatty e Barsky 1987]:

$$x(u) = \sum_{i=0}^{M-1} x_i B_i^k(u), \quad 0 \leq u \leq M-1$$

sendo x_i denominados pontos de controle, aplicados às respectivas funções base $B_i^k(u)$. A curva $x(u)$ é gerada à medida que u é variado de 0 a $M-1$. A Figura 4-a ilustra a *B-spline* de um contorno, sendo os pontos de controle representados por estrelas. Cada alvo é representado pelo conjunto de pontos de controle que definem a *B-spline* que modela o seu contorno.

O módulo de inicialização cria os modelos de movimento do alvo, dados pelo processamento do módulo de detecção em quadros consecutivos, de forma a estimar, além do contorno do alvo nos dois quadros, qual a velocidade de translação sofrida pelo centro de área do contorno *B-spline* do primeiro quadro em relação ao segundo, dada por v_k , e calcular a transformação de escala (crescimento ou diminuição da área interna) do contorno do alvo nos dois quadros, s_k , dada pela variação da medida entre o centro de área e um ponto de controle sobre o contorno do alvo, nos dois quadros.

Desta forma, a variável de estado do rastreamento é composta pelo conjunto de pontos de controle do contorno B-spline e por v_k e s_k , para cada alvo. Devido à separação em dois e acoplamento das partes do sistema a fim de torná-lo linear, para cada alvo são utilizados dois filtros de Kalman para efetuar a estimação, um que estima a posição dos pontos de controle no próximo quadro e outro, a velocidade de deslocamento entre quadros do centro de área e a variação entre quadros na medida entre o centro de área e um específico ponto de controle, que dá a variação de escala do contorno. O módulo de inicialização também é responsável por atribuir valores iniciais aos parâmetros de ambos os filtros.

Os filtros de Kalman são executados no módulo de rastreamento e são acoplados entre si. Eles caracterizam-se pelas etapas de predição, observação e correção da

estimação. No filtro de Kalman que estima o contorno, baseada na estimativa anterior, novas posições para o contorno são previstas na próxima imagem, com base nas estimativas do filtro de Kalman que estima o fator de escala e a velocidade:

$$x_k = v_{k-1} + x_{k-1} + s_{k-1}(x_{k-1} - c_{k-1}),$$

sendo x_k a predição da posição no instante k do ponto de controle e x_{k-1} , do instante $k-1$, v_{k-1} é a estimativa da velocidade de translação do centro de área c_{k-1} , e s_{k-1} é a estimativa da escala. O acoplamento é pela predição de um filtro usar dados do outro.

Ao redor desta predição, o verdadeiro contorno é buscado na imagem na fase de observação. Com a diferença entre as posições dos pontos de controle previstas e as determinadas na imagem, a correção da estimação é realizada. O mesmo processo é feito pelo outro filtro, porém considerando que v e s se mantêm de k a $k-1$.

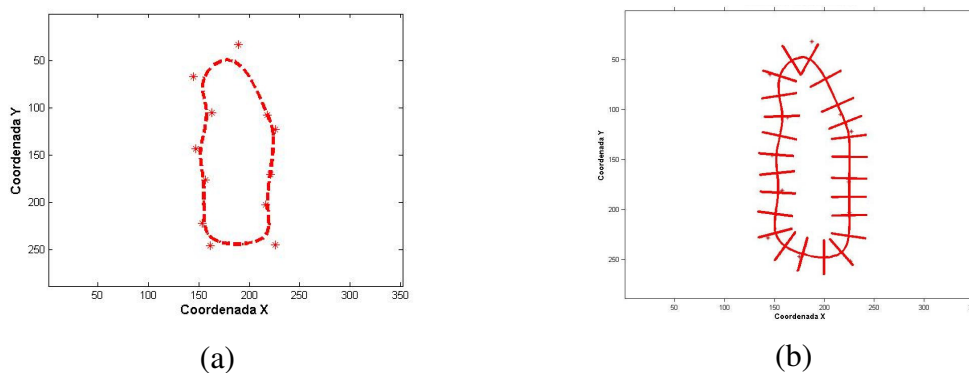


Figura 4. (a) Exemplo de uma B-spline e seus pontos de controle. (b) Exemplo de uma B-spline com 24 linhas de medida.

Para que o contorno no próximo quadro seja determinado, no presente trabalho optou-se pela utilização de linhas de medida no modelo de observação dos objetos devido ao baixo custo computacional associado, à flexibilidade desta abordagem e à boa adequação ao modelo de representação baseado em contornos construídos com *B-splines*. Estas linhas são normais aos contornos, distribuídas uniformemente e fixas por seu ponto central ao longo do contorno gerado com a *B-spline*. No processamento do sistema, há necessidade de buscar somente sobre as linhas de medida, as variações de luminosidade na imagem, de forma a definir o contorno de cada alvo. A Figura 4-b mostra um contorno descrito por *B-spline* com 24 linhas de medida.

4. Resultados Experimentais

O sistema descrito na seção anterior foi testado em alguns experimentos. As seqüências de imagens foram capturadas com câmeras fixas, instaladas ao redor de um campo de futebol real. Foram executados testes de detecção e rastreamento de alvos, aplicados a seqüência de imagens de uma partida de futebol. O emprego de câmeras fixas neste tipo de aplicação permite, em trabalhos futuros, a combinação de até 16 câmeras para adquirir imagens de todo o campo de visão, permitindo executar o rastreamento de todos os jogadores no espaço tridimensional.

Os principais problemas do rastreamento de alvos, que causavam muitas vezes a divergência dos filtros e que foram detectados em testes preliminares são: a alteração brusca na forma e na velocidade de deslocamento dos alvos, a movimentação dos alvos rastreados por regiões que ultrapassam os limites da imagem, a oclusão parcial dos

alvos, o tratamento simultâneo de múltiplos alvos que estão presentes na mesma seqüência de imagens e a alteração na iluminação do fundo da cena ao longo do tempo.

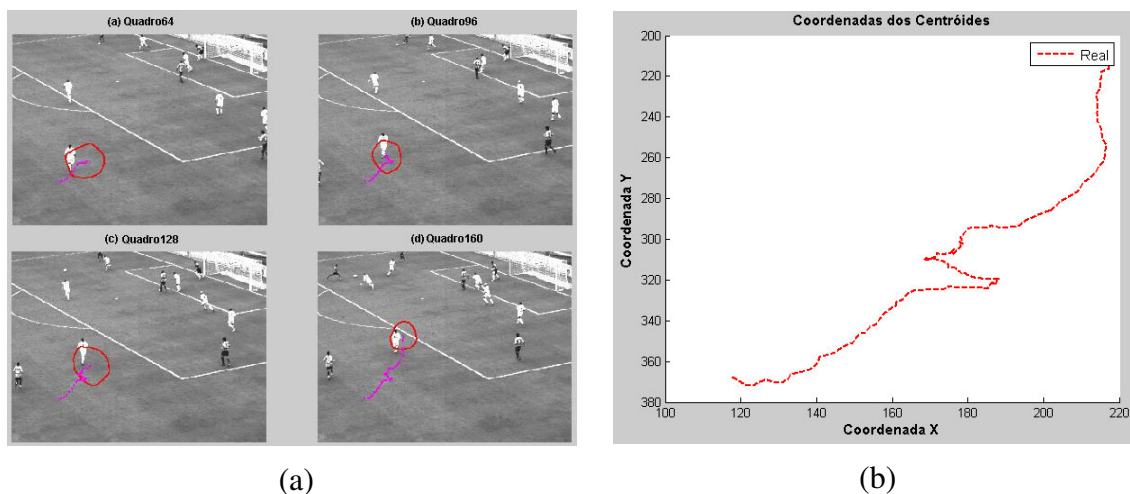


Figura 5. Resultados do teste de rastreamento. (a) Amostra da seqüência de imagens com 160 quadros e o resultado do rastreamento. (b) Trajetória estimada do alvo na imagem.

Os resultados de alguns testes, para ilustrar a execução do sistema, são mostrados nas Figuras 5 e 6.

Na Figura 5-a observa-se que o contorno do alvo está próximo de um contorno razoável, pois o contorno (em vermelho) envolveu o jogador alvo dentro de seus limites, mesmo com a baixa quantidade de *pixels* apresentada pelas imagens do jogador (pois a câmera estava muito distante do alvo). Outro resultado interessante de observar é a suavidade apresentada pela trajetória estimada do alvo rastreado, dada pela posição do centro de área do contorno envolvente ao alvo, ilustrada no gráfico da Figura 5-b.

A figura 6 ilustra as dificuldades do sistema em lidar com oclusão, já que esta capacidade ainda não foi tratada na implementação atual. O tratamento de oclusões não é um problema fácil de ser solucionado e exige maiores estudos para ser bem resolvido, uma vez que o mesmo é relevante e ocorre com bastante freqüência nas imagens. O uso de um maior número de câmeras com superposição de ângulo de visada poderia reduzir o impacto negativo no rastreamento causado pela oclusão e é uma possibilidade a ser testada, apesar de ser uma solução com maior custo de implantação.

Do quadro inicial ao quadro 40, que corresponde à curva traçada da posição (210,38) à (315,84) no gráfico da Figura 6-b, nota-se certa suavidade e continuidade da trajetória do alvo. Entretanto, após a oclusão, nota-se uma descontinuidade na curva descrita pela trajetória, o que corresponde ao fato do sistema de rastreamento ter perdido o alvo.

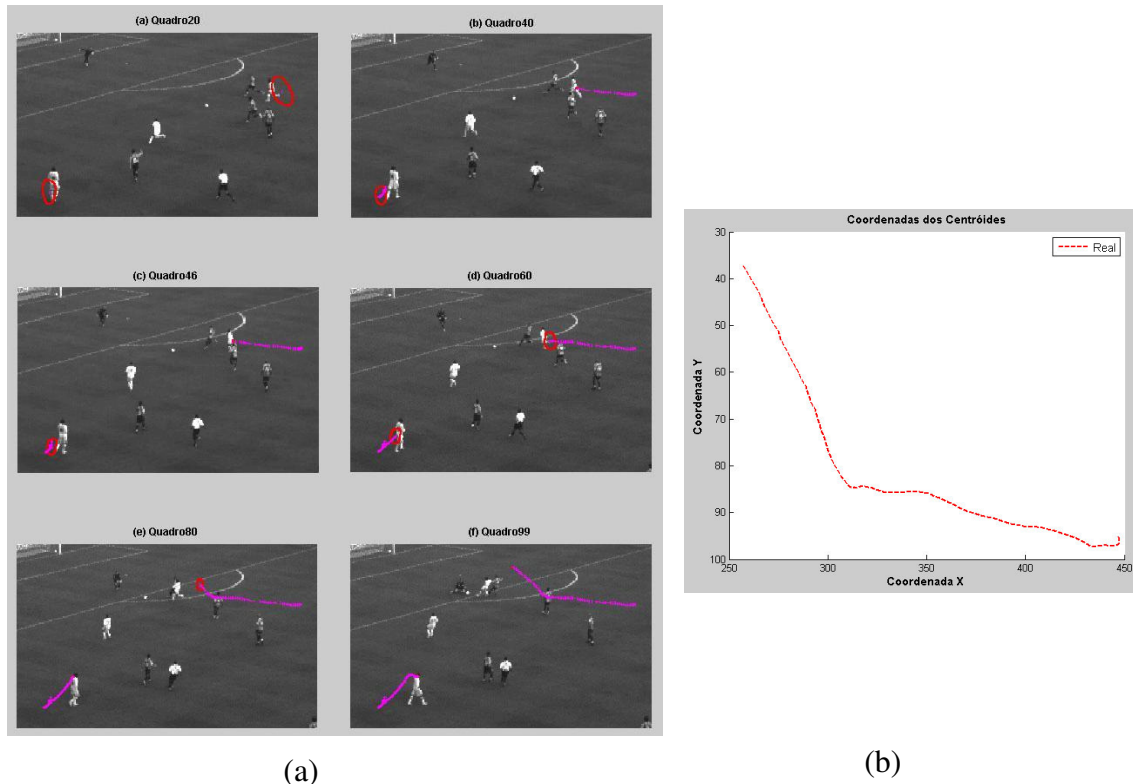


Figura 6. (a) Quadros 20, 40, 46, 60, 80 e 99 ilustrando uma seqüência de imagens que apresenta oclusão parcial de um alvo entre os quadros 30 e 50 (jogador na parte superior), provocando a divergência do sistema de rastreamento. (b) Trajetória real estimada do centro de área do contorno do alvo (jogador na parte superior) em coordenadas x e y determinadas em *pixels*.

5. Conclusão

Este artigo propôs um sistema de rastreamento eficiente, que utiliza dois filtros de Kalman acoplados para a estimação da forma e do movimento de cada alvo, em imagens com múltiplos alvos a serem rastreados. O sistema proposto rastreia contornos de alvos descritos por *B-splines*, o que possibilita seu uso para o rastreamento de diversos alvos, com diferentes formas. O uso de dois filtros acoplados elimina a necessidade de uso de um filtro de Kalman estendido, já que a separação da estimação em duas partes (forma e movimento) torna o sistema linear, garantindo eficiência de resposta. Os principais problemas a serem resolvidos, identificados nos testes preliminares são: executar ajustes nos parâmetros visando melhorar a eficácia do sistema, melhorando o contorno do alvo no rastreamento; introduzir um processo eficaz para tratar oclusão parcial entre alvos.

A maior contribuição deste trabalho está na proposta de uma solução para o rastreamento de jogadores, utilizando câmeras fixas e com baixo custo computacional. Entretanto, o sistema proposto ainda precisa ser mais bem ajustado para seu emprego efetivo em sistemas comerciais. Em trabalhos futuros será necessário remodelar as variáveis de estado do modelo de movimento e observação. Elas precisam ser simples, para aplicações em tempo real, mas que garantam uma boa precisão do rastreamento.

Referências Bibliográficas

- Bartels, R., Beatty, J. e Barsky, B. (1987) *An Introduction to Splines for use in Computer Graphics and Geometric Modeling*, Morgan Kaufmann, Los Altos, USA.
- De Bem, R. A. (2007). “Uma abordagem livre de modelo para rastreamento de objetos em seqüência de imagens”. 84 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Beetz M., Gedikli S., Bandouch J., Kirchlechner B., Hoyningen-Huene N. V., Perzylo A. (2007) “Visually Tracking Football Games Based on TV Broadcasts”. In: Proc. XX Int. Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI 2007, v.1, p. 2066-2071.
- Borg, J. (2007) “*Detecting and Tracking Players in Football Using Stereo Vision*”. Thesis (Master), Department of Electrical Engineering, Linköping University, SE.
- Cox, I. J., Hingorani, S.L. (1996) “An efficient implementation of Reid’s multiple hypothesis tracking algorithm and its evaluation for the purpose of visual tracking”. In: *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(2), 138-150.
- Grewal, M.S., Weill, L.R. e Andrews, A.P. (2007) *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. Wiley-IEEE Press, 2nd Edition, 552 p.
- Gonzalez, R. C., Woods R. E. (1993) “*Digital Image Processing*”. EUA: Ed Addison Wesley, 716 p.
- Kalman, R. E. (1960) “A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems”. In: *Transaction of the ASME Journal of Basic Engineering*, 82 (Series D), 35-45.
- MacCormick, J., Blake, A. (2000) “Probabilistic Exclusion Principle for Tracking Multiple Objects”, *Int. Journal of Computer Vision*, 1(39), 57-71.
- Welch, G., Bishop, G. (1995) “*An Introduction to the Kalman Filter*”. Tec. Report: TR95-041, University of North Carolina at Chapel Hill, NC, EUA.
- Xu, M., Orwell, J., Lowey, L., Thirde, D. (2005) “Architecture and algorithms for tracking football players with multiple cameras”. *IEE Proc. Vision, Image and Signal Processing*, 152(2), 232-241.