
ESTIMAÇÃO DE POSE E MOVIMENTAÇÃO DE UM ROBÔ HUMANÓIDE UTILIZANDO IMAGENS DE UMA CÂMERA MÓVEL EXTERNA

Marcelo B. Nogueira*
nogueira@dca.ufrn.br

Adelardo A. D. Medeiros*
adelardo@dca.ufrn.br

Bruno Xavier da Costa*
brunocosta@dca.ufrn.br

Pablo J. Alsina*
pablo@dca.ufrn.br

*Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Departamento de Engenharia de Computação e Automação
UFRN-CT-DCA – Campus Universitário – 59072-970 Natal-RN Brazil

ABSTRACT

This paper proposes a method to move a simple humanoid robot, without an advanced embedded electronics. To do so, we used another wheeled mobile robot which already has a locating system and is equipped with a camera. We will locate the humanoid in the environment based on images, and then take the necessary actions to move it. We will also move the robot equipped with the camera, so it will take good images of the humanoid.

KEYWORDS: multi-robot cooperation, relative positioning, humanoid, pose estimation

RESUMO

Este artigo propõe um método para realizar a movimentação de um robô humanóide simples, sem uma eletrônica embarcada avançada. Para isto nós utilizamos um outro robô móvel com rodas dotado de um sistema de localização e equipado com uma câmera. A partir de imagens, localizamos o humanóide no ambiente de trabalho e tomamos as ações necessárias para realizar a sua movimentação. Simultaneamente, movimentamos o robô que contém a câmera, de forma que este tenha uma boa visada do humanóide.

KEYWORDS: cooperação multi-robôs, posicionamento relativo, humanóide, estimação de pose

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais tarefas de um sistema de navegação de um robô móvel é a determinação da localização do robô, ou seja, determinar a sua posição e orientação no ambiente de trabalho.

Dentre os sensores de localização mais utilizados podemos

citar encoders, sonares, câmeras, bússolas, lasers, etc. Um dos métodos mais simples, baratos e populares é a odometria (Albert e Connell, 2004). Porém, no caso de robôs com pernas, utilizar odometria não é uma tarefa simples, pois estes não têm um passo de tamanho fixo, além de o deslizamento ser, normalmente, bem maior do que em robôs com rodas. Por este motivo, a localização de robôs humanóides sugere outros métodos. Alguns destes são muito caros (laser e GPS) e outros fornecem informações escassas (sonar) (Albert e Connell, 2004). Dessa forma, um sistema de navegação visual se torna atrativo devido ao seu baixo custo e ao alto poder de processamento dos computadores atuais.

Uma possibilidade seria equipar o humanóide com uma ou mais câmeras. Porém, isto acarretaria no uso de um humanóide de grande ou médio porte ou em uma eletrônica embarcada cara. Além disso, tanto a câmera como o sistema de localização teriam que ser de boa precisão, pois este seria o único responsável pela localização do robô no ambiente.

Construir (ou adquirir) um robô humanóide de grande porte (tamanho de um humano adulto) é uma tarefa difícil, demorada e cara. Por esse motivo, optamos por trabalhar com um robô de pequeno porte, sem eletrônica embarcada avançada e controlado remotamente. O robô humanóide adquirido foi o *Robosapien* (Wee, 2004), mostrado na Figura 1, da empresa *Wow Wee*. Por este motivo, resolvemos utilizar uma estratégia que combina odometria com visão.

No sistema proposto, iremos utilizar um segundo robô móvel (com rodas) equipado com uma câmera (ver Figura 2). Sua função será processar os dados captados pela câmera, calcular a posição relativa do humanóide e, com base na sua própria posição, determinar a posição absoluta



Figura 1: O humanóide Robosapien

do humanóide. A partir destas informações, pode-se tomar as decisões quanto à sua própria movimentação e quanto à movimentação do humanóide. De posse desses dados, o robô com rodas pode enviar os comandos diretamente para o robô humanóide através de infra-vermelho.

Supomos que este segundo robô móvel (o qual iremos chamar de câmera) possui um sistema de localização e que este sabe se movimentar no ambiente de trabalho (dado a posição atual, a câmera sabe que ações tomar para atingir a posição destino). Dessa forma, sabendo a posição do robô humanóide em relação a câmera, e supondo conhecida a posição da câmera em relação ao mundo, poderemos calcular a posição do robô humanóide em relação ao mundo, possibilitando assim realizar o seu controle. Para tal, iremos utilizar uma técnica heurística, detalhada na Seção 5.

O objetivo principal é movimentar o humanóide pelo ambiente. Porém, também é necessário movimentar a câmera, para que esta acompanhe o robô humanóide pelo ambiente de trabalho e capte as imagens de forma que ele esteja sempre visível (e que a imagem seja de boa qualidade). A técnica de movimentação da câmera será discutida na Seção 6.

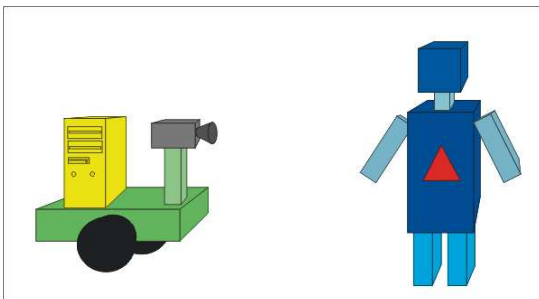


Figura 2: Sistema proposto: robô humanóide observado por câmera externa móvel

Para se obterem informações métricas a partir de uma imagem 2D se faz necessário uma calibração de câmera. Na Seção 2 este processo será detalhado. Alguns resultados experimentais e conclusões são apresentados nas seções 7 e 8

respectivamente.

2 CALIBRAÇÃO DE CÂMERA

A calibração de câmera consiste em determinar um conjunto de valores relativos à câmera que possibilite interpretar imagens obtidas por esta. A calibração de câmera pode ser dividida em duas etapas: determinação dos parâmetros intrínsecos, ou calibração interna, e determinação dos parâmetros extrínsecos, ou calibração externa.

A fase de calibração interna é realizada off-line, ou seja, numa fase anterior ao funcionamento do sistema de controle do robô. Além disso, ela é necessária apenas uma vez, visto que os parâmetros intrínsecos de uma câmera não se modificam. Por este motivo, não se faz necessário um controle rígido de tempo para tal fase da calibração. Em contrapartida, a fase de calibração externa possui uma séria restrição de tempo. Ela deve executar em tempo real, a cada amostragem da fase de controle.

Suponha $\{R\}$ o sistema de coordenadas 3D, em centímetros, do mundo, $\{C\}$ o sistema de coordenadas 3D, em centímetros, da câmera, $\{I\}$ o sistema de coordenadas 2D, em centímetros, da imagem, e $\{F\}$ o sistema de coordenadas 2D, em pixels, da imagem. Utilizando o modelo de câmera pin-hole, podemos chegar na seguinte Equação (Zhang, 2000):

$$C_z \begin{bmatrix} F_P \\ 1 \end{bmatrix} = A \cdot {}^C T_R \cdot [R_P \ 1]^T \quad (1)$$

onde $F_P = [F_x \ F_y]^T$ é um ponto no referencial $\{F\}$, $R_P = [R_x \ R_y \ R_z]^T$ é um ponto no referencial $\{R\}$, C_z é a coordenada z de um ponto no referencial $\{C\}$, ${}^C T_R$ é a matriz de transformação entre $\{C\}$ e $\{R\}$ e A é a matriz de parâmetros intrínsecos, dada por:

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma & F_{x_0} \\ 0 & \beta & F_{y_0} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

onde (F_{x_0}, F_{y_0}) são as coordenadas do centro de imagem, em pixels, α e β são respectivamente razões entre os fatores de escala nos eixos x e y da imagem e a distância focal da câmera e γ a distorção do ângulo formado pelos eixos.

2.1 Determinação dos parâmetros intrínsecos

A calibração interna da câmera consiste em determinar as propriedades intrínsecas da câmera (matriz A da Equação 1).

Existem vários métodos na literatura sobre a calibração dos parâmetros intrínsecos, utilizando desde ponto de fuga (Wang e Tsai, 1991) até mesmo a gravidade (Sturm e Quan, 2000), entre outros (Nomura et al., 1992; Gurdjos e Sturrn, 2003).

Todos os métodos de calibração envolvem a observação de uma ou mais imagens contendo objetos nos quais possamos detectar pontos notáveis. Alguns métodos não exigem que este objeto seja conhecido, além de não exigirem que o

deslocamento realizado pela câmera entre uma observação e outra seja conhecido (Faugeras et al., 1992; Longuet-Higgins, 1981). Outros, apesar de não exigirem que o deslocamento seja conhecido, supõem o conhecimento do objeto (Nomura et al., 1992). Além disso, os pontos notáveis do objeto podem ser co-planares ou não, dependendo do método. Após uma análise, foi decidido que o método que mais se adapta ao sistema proposto é o método proposto por Zhang (Zhang, 2000), devido a sua flexibilidade, robustez e baixo custo.

Neste método, é necessário que a câmera observe um padrão plano de medidas conhecidas e de no mínimo duas posições diferentes. Porém, não é necessário que se tenha conhecimento sobre o deslocamento realizado pela câmera entre uma observação e outra. O padrão plano deve ser fixado sobre uma superfície razoavelmente plana, e o sistema de coordenadas deve ser escolhido de tal forma que a coordenada Z de cada ponto no padrão seja zero. Um exemplo de padrão pode ser observado na Figura 3. Baseado neste pressuposto, localizando tais pontos notáveis em cada uma das imagens (o método de localização de tais pontos será apresentado na Seção 3), o método de Zhang nos fornece uma estimativa inicial para a matriz de parâmetros intrínsecos da câmera. Esta estimativa inicial contém um erro devido a ruídos presentes na imagem além da distorção causada pelas lentes.

A partir dessa estimativa, podemos conduzir uma otimização não linear de forma a minimizar o erro entre os pontos gerados pela Equação 1 e os pontos observados em cada imagem.

2.2 Determinação dos parâmetros extrínsecos

Os parâmetros extrínsecos indicam a posição e a orientação da câmera com relação ao sistema de coordenadas do mundo (matriz ${}^C T_R$ da Equação 1). Por isto, esta etapa também é chamada de estimação de pose.

Existem várias abordagens para este problema, utilizando a Karhunen-Loeve Transform (Quick e Capson, 2000) ou filtros de Kalman (Wilson et al., 1996). Dentre os métodos existentes, iremos discutir os métodos PnP ou Perspective- n -Point, que consistem em determinar a posição e orientação de um determinado objeto a partir de n pontos notáveis presentes tanto no objeto como em uma imagem do objeto.

O número mínimo de pontos necessário para a resolução do PnP é 3. Porém, neste caso, existirão múltiplas soluções (até 8 soluções), o que exige um processamento posterior de forma a escolher uma das respostas fornecidas (Haralick et al., 1991). Para que haja apenas uma solução são necessários no mínimo 4 pontos. Em relação a resolução, o P4P é classificado em: solução por otimização e solução analítica. Dentre os métodos P4P existentes, escolhemos o proposto por Kamata *et al* (Kamata et al., 1992).

O método P4P (*Perspective Four-Points problem*) proposto por Kamata, tem como principal vantagem possuir uma solução analítica. Esta característica é muito importante devido às restrições temporais existentes para esta fase.

O método de Kamata consiste em, a partir de quatro pontos coplanares conhecidos em relação ao referencial $\{R\}$: ${}^R P_0$ a ${}^R P_3$, e os pontos 2D correspondentes na imagem ${}^F P_0$ a ${}^F P_3$ (o método de localização de tais pontos será apresentado na Seção 4), calcular a matriz ${}^C T_R$ introduzindo alguns sistemas de coordenada intermediários.

3 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS NOTÁVEIS PARA CALIBRAÇÃO INTERNA

Para a determinação dos parâmetros intrínsecos pelo método de Zhang, devemos localizar na imagem um mínimo de 6 pontos. Porém, para minimizar o erro da calibração, é aconselhável que se utilizem mais pontos.

Para melhorar a precisão do sistema, ao invés de localizar diretamente os pontos notáveis na imagem, decidimos utilizar um esquema que localizasse retas, onde as interseções de tais retas forneceriam os pontos desejados. Para localizar as retas presentes na imagem, utilizamos o algoritmo de Hough.

A transformada de Hough é um método utilizado para detectar, em uma imagem digital, uma classe de formas geométricas conhecidas e que pode ser representada como uma curva paramétrica, como por exemplo, retas, círculos e elipses (Hough, 1962). A transformada de Hough é uma algoritmo com um alto custo computacional, porém, isto não é um problema, já que esta etapa não exige um algoritmo em tempo real.

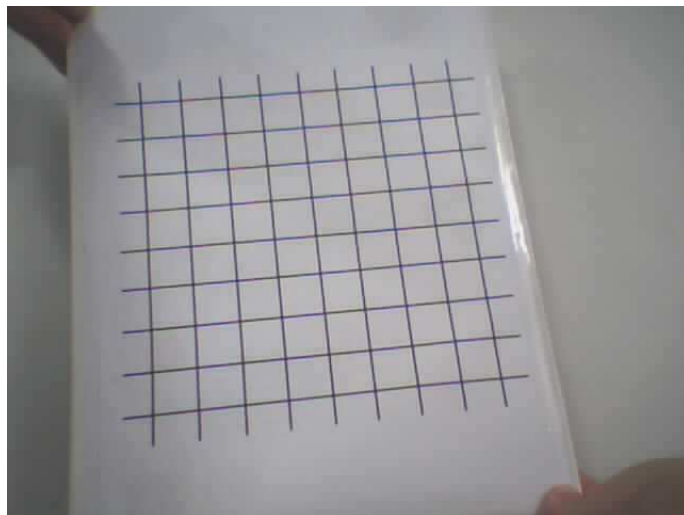


Figura 3: Padrão para calibração interna

Na Figura 3 podemos ver o padrão utilizado: um conjunto de 18 retas produzindo 81 pontos no total.

4 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS NOTÁVEIS PARA CALIBRAÇÃO EXTERNA

Assim como na determinação dos pontos para a calibração interna, utilizamos a estratégia de localizar a interseção entre retas para determinar um ponto. Para o método P4P

são necessário apenas 4 pontos, ou seja, a interseção entre quatro retas. Isto nos sugere utilizar as arestas de um quadrilátero (neste caso um losango), o qual foi afixado no robô humanóide, como mostrado na Figura 4. A interseção das retas que formam suas arestas nos fornecerão os vértices do mesmo. Poderíamos ter utilizado novamente a transformada de Hough para determinar as arestas, contudo esta se mostra inapropriada devido ao custo computacional, já que a calibração externa é executada a cada amostragem e exige rapidez. Tivemos portanto que desenvolver um sistema de detecção de arestas mais rápido.



Figura 4: Losango utilizado na calibração externa

4.1 Determinação dos vértices de um losango

Supondo que o losango possua uma cor característica, podemos determinar se um dado ponto pertence ou não a região interna do losango. Dessa maneira, é possível detectar pontos que estão sobre cada uma das arestas deste. Contudo, devido a vários fatores (iluminação, reflexão do material que compõe o losango, ruído, etc), os pontos determinados podem não estar exatamente sobre suas arestas, apresentando um erro. A idéia então é utilizar um conjunto de pontos para, a partir destes, determinar a melhor reta que representa cada aresta, minimizando assim o erro do processo.

Assim, primeiramente, a partir de um ponto pertencente ao losango (P_0), determinamos um conjunto de pontos pertencentes a suas arestas (U_i e D_i). Tal procedimento é apresentado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 5.

Determinamos então duas retas a partir dos pontos U_i : L_L^U , que vai da esquerda para o centro; e L_R^U , que vai da direita para o centro. De maneira similar, determinamos as retas L_L^D e L_R^D a partir dos pontos D_i . Tais retas são calculadas de forma a minimizar o erro quadrático ao conjunto de pontos associado a cada uma. A maneira como cada ponto é associado a uma das retas é descrito na Tabela 2. Calculando a interseção entre estas 4 retas, obtemos os vértices do losango.

Tabela 1: Detecção dos pontos pertencentes as arestas do losango

<ol style="list-style-type: none"> 1. Procure um ponto (pixel) inicial P_0 na imagem que pertença ao losango // Busca a direita 2. $k \leftarrow 0$; $M \leftarrow -1$ 3. Enquanto o pixel P_k pertencer ao losango: <ol style="list-style-type: none"> (a) A partir de P_k, busque para cima e para baixo pelo ultimo ponto pertencente ao losango (pontos U_k e D_k). (b) Se $\ U_k - D_k\ < \text{MIN_LEN}$ Pare Enquanto (c) Calcule $P_{k+1} \leftarrow \frac{U_k - D_k}{2} + [\Delta x \ 0]^T$ (d) $M \leftarrow k$; $k \leftarrow k + 1$ // Busca a esquerda 4. $k \leftarrow 0$; $N \leftarrow +1$ 5. Enquanto o pixel P_k pertencer ao losango: <ol style="list-style-type: none"> (a) A partir de P_k, busque U_k e D_k. (b) Se $\ U_k - D_k\ < \text{MIN_LEN}$ Pare Enquanto (c) Calcule $P_{k-1} \leftarrow \frac{U_k - D_k}{2} - [\Delta x \ 0]^T$ (d) $N \leftarrow k$; $k \leftarrow k - 1$
--

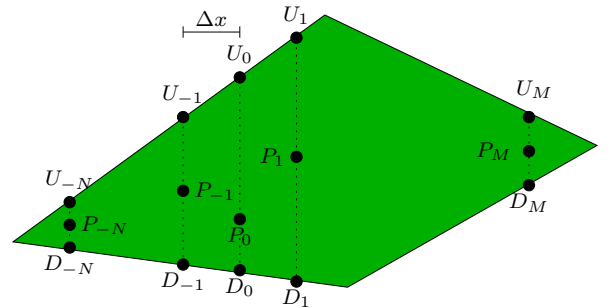


Figura 5: Detecção de pontos pertencentes as arestas do losango

5 MOVIMENTAÇÃO DO HUMANÓIDE

O humanóide é controlado por raios infra-vermelhos e possui os seguintes comandos de movimentação: andar para frente e para trás e girar para a direita e para a esquerda. Ele possui um tipo de marcha estática (Kulkarni, n.d.), ou seja, o centro de massa do robô sempre se encontra no interior do perímetro do pé de apoio deste.

Devido às restrições de movimento e a dificuldade de um controle preciso do deslocamento do humanóide, decidimos utilizar uma técnica de controle heurística.

O primeiro passo a fazer seria, dado uma posição inicial P_I e uma posição final P_F do humanóide, gerar uma trajetória paramétrica para o humanóide.

O controle do robô seguirá os seguintes passos: inicialmente vamos calcular o erro e entre a posição atual do robô e a

Tabela 2: Detecção das arestas do losango

<pre>// Parte de cima</pre> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicie a reta L_L^U determinada pelos pontos U_{-N} e $U_{-(N-1)}$, e a reta L_R^U, a partir de U_M e U_{M-1}. 2. $i \leftarrow -(N - 2)$ 3. Enquanto $i \leq M - 2$: <ol style="list-style-type: none"> (a) Calcule as distancias e_L^U e e_R^U, que são as distancias entre o ponto U_i e L_L^U e L_R^U, respectivamente. (b) Se $e_L^U < e_R^U$, recalcule L_L^U, considerando que U_i pertence a ela; senão, recalcule L_R^U. (c) $i \leftarrow i + 1$ <pre>// Parte de baixo</pre> <ol style="list-style-type: none"> 4. Realize um procedimento similar (passos 1 à 3) para determinar L_L^D e L_R^D a partir dos pontos D_i.

posição referencia P_F (distância euclidiana) e o ângulo α entre a reta definida pela posição atual do robô e a posição referencia, e o eixo z do robô (z_R) (Figura 6). Se α for maior que um certo valor k , comandamos o robô para parar e girar até que α esteja próximo de 0. Em seguida, se e for maior que um certo valor l , o robô é comandado para andar para a frente.

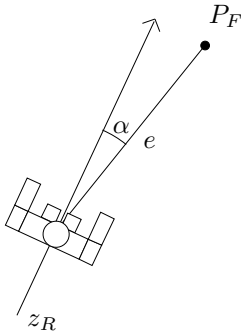


Figura 6: Movimentação do humanóide

6 MOVIMENTAÇÃO DA CÂMERA

A movimentação da câmera depende totalmente da movimentação do humanóide, pois esta deve acompanhar o humanóide garantindo sempre a obtenção de uma boa imagem do mesmo. Para tal temos que, a cada passo da amostragem, comandar a câmera para uma posição que esteja a uma distância d do humanóide, e de forma que a câmera aponte em sua direção (o centróide do losango se localize no centro da imagem). Caso o eixo x do robô (x_R) atinja um ângulo θ crítico em relação ao eixo z da câmera (z_C) (Figura 7), o que poderia causar uma má detecção dos vértices do losango, o robô é comandado para parar, e a câmera é comandada para a posição a uma distância d do robô e de forma que θ seja 90° (posição P_D na Figura 7). Isto causa uma não continuidade no movimento, porém, se a trajetória for suave o suficiente, o movimento será contínuo.

Um caso especial que deve ser observado é quando a posição destino calculada para a câmera causa uma colisão desta com um objeto do ambiente. Neste caso devemos sacrificar temporariamente a visibilidade do humanóide e posicionar a câmera o mais próxima possível da posição destino sem causar colisão. O humanóide deve ser reposicionado de forma a eliminar o problema.

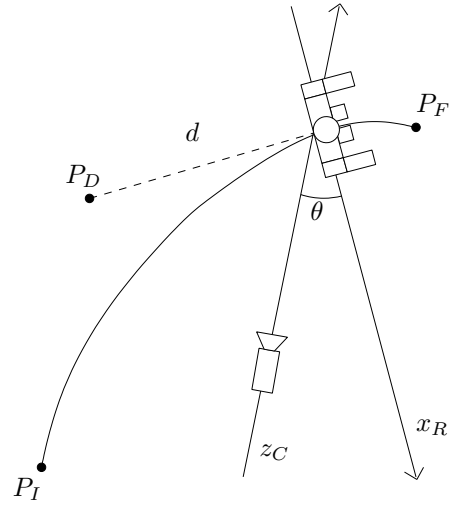


Figura 7: Situação de ângulo crítico na movimentação da câmera

7 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

A Figura 8 mostra o resultado do sistema de detecção dos pontos notáveis para a calibração interna aplicado à Figura 3. As retas em vermelho são as retas detectadas pelo algoritmo de Hough. O sistema obteve um erro médio de 0.37 pixel.

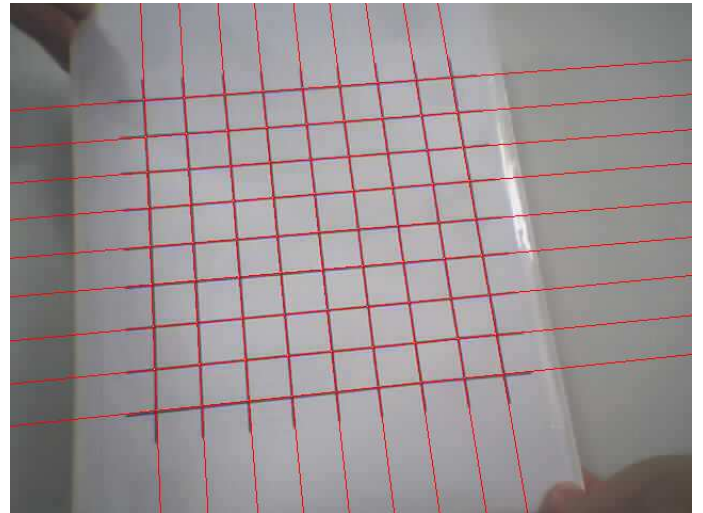


Figura 8: Detecção dos pontos notáveis para a fase de calibração interna

Na Figura 9 é apresentado o resultado da detecção de pontos notáveis para a calibração externa aplicado à Figura 4. O erro médio obtido foi de 1,5 pixel.

Na fase de calibração interna para um conjunto de 4 imagens similares a imagem 3, a matriz de parâmetros in-

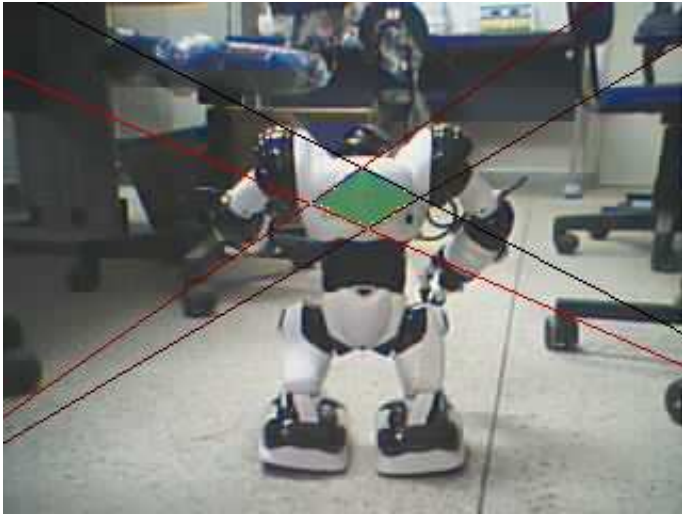


Figura 9: Detecção dos vértices do losango

trínsecos A obtida após otimização é mostrada na Equação 2.

$$A = \begin{bmatrix} 757,25 & 2,06 & 389,67 \\ 0 & 754,24 & 260,5 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

A partir da matriz A obtida, podemos realizar os testes da fase de calibração externa. Estando o referencial do humanóide $\{H\}$ no centro do losango, o valor da matriz de transformação ${}^C T_H$ obtida para a Figura 9 é dada na Equação 3.

$${}^C T_H = \begin{bmatrix} 0,689 & -0,037 & 0,039 & -3,3 \\ -0,035 & 0,495 & 0,963 & -4,9 \\ 0,022 & 0,999 & -0,338 & 50,4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

No exemplo da foto 9, supondo que o referencial do mundo coincide com o referencial da câmera no momento em que esta captou a imagem, e que a distância que a câmera deve guardar para o humanóide seja $d = 40$ cm, a câmera foi comandada para a posição $P_D = [0 \ 0 \ 10,5]$, mantendo orientação atual, já que o centróide do losango já se encontra próximo ao centro da imagem.

Neste mesmo exemplo, supondo que a posição referencia do humanóide seja $P_F = [-3 \ 0 \ 60]$, o robô foi comandado para andar para a frente.

Na Figura 10 podemos ver uma situação onde foi detectado ângulo crítico. A matriz de transformação ${}^C T_H$ obtida neste caso é mostrada na Equação 4.

$${}^C T_H = \begin{bmatrix} 0,253 & -0,220 & -0,099 & -3,2 \\ 0,061 & 0,064 & 0,251 & -3,4 \\ -0,332 & 0,999 & -0,030 & 20,6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

onde podemos calcular $\theta = 11,1^\circ$. Supondo novamente que o referencial do mundo coincide com o referencial da câmera

no momento em que esta captou a imagem, e que $d = 40$ cm, a posição para a qual a câmera foi comandada nesse caso foi $P_D = [-11 \ 0 \ -19]$ com a mesma orientação do humanóide.

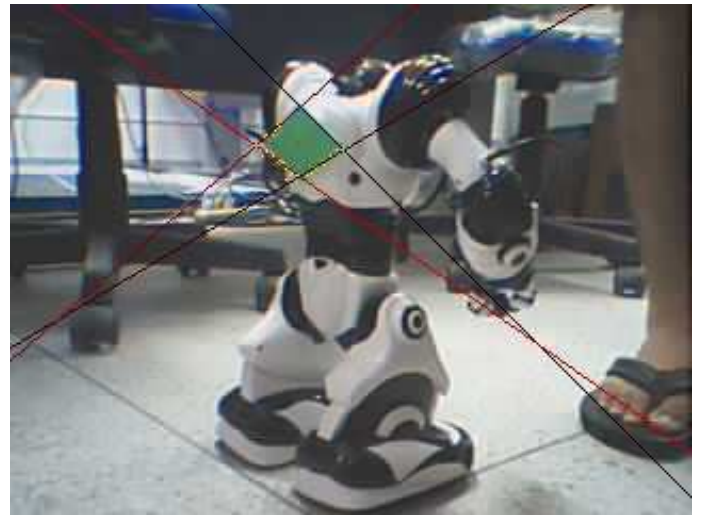


Figura 10: Situação de ângulo crítico

8 CONCLUSÕES

O método de calibração interna de Zhang se mostrou apropriado ao problema, garantindo uma calibração flexível, rápida e robusta. Além disso, o algoritmo de Hough se mostrou muito preciso na detecção das retas do padrão de calibração interna, fornecendo assim pontos suficientemente precisos para realizar tal fase de forma satisfatória.

Por possuir uma solução analítica, o método P4P nos garante uma resposta em tempo constante, sendo ideal para aplicações em tempo real. A detecção dos vértices do losango também se mostrou rápida e precisa. Observando a Figura 11, que é uma ampliação da região do losango na Figura 9, podemos comprovar a robustez do método. Os pixels em amarelo são os pontos que foram classificados como pertencentes as arestas do losango, e em azul claro aparecem os pontos classificados como vértices.

O sistema apresentado se mostrou eficaz mesmo com a utilização de uma câmera *web* de baixa qualidade. Este permite fazer o controle de um robô humanóide de movimentos limitados e que não apresenta nenhum sensor interno. A aplicação desse sistema se da em situações onde, além do humanóide, está disponível um outro robô móvel equipado com uma câmera e um sistema de localização preciso.

REFERÊNCIAS

- Albert, M. E. e Connell, J. (2004). Visual rotation detection and estimation for mobile robot navigation, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*.
- Faugeras, O. D., Luong, Q.-T. e Maybank, S. (1992). Camera self-calibration: Theory and experiments, *European Conference on Computer Vision*, pp. 321–334.
- Gurdjos, P. e Sturrrn, P. (2003). Methods and geometry for plane-based self-calibration, *CVPR - IEEE Conference*

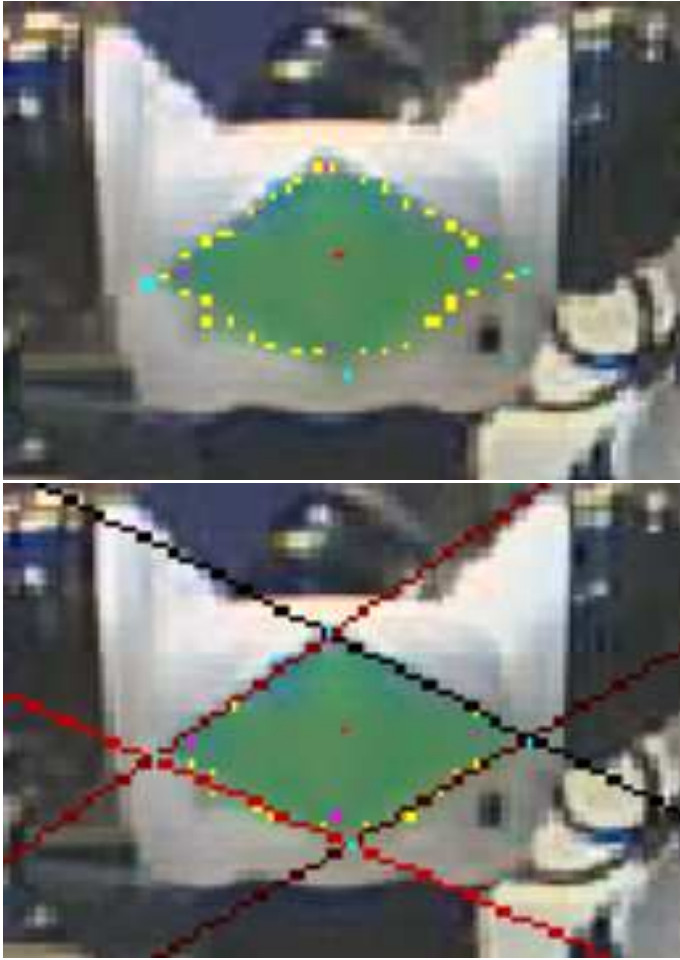


Figura 11: Ampliação da região do losango

on *Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 1, Madison, WI, USA, pp. 491–496.

Haralick, R. M., Lee, C.-N., Ottenberg, K. e Nölle, M. (1991). Analysis and solutions of the three point perspective pose estimation problem, *CVPR - IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Maui, HA, USA.

Hough, P. V. C. (1962). Methods and means for recognizing complex patterns.

Kamata, S.-i., Eason, R. O., Tsuji, M. e Kawaguchi, E. (1992). A camera calibration using 4 point-targets, *11th IAPR - International Conference on Pattern Recognition*, Hague, Netherlands.

Kulkarni, P. (n.d.). Humanoid robot: Design, control and trajectory planning, Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Thechnology, Kanpur.

Longuet-Higgins, H., C. (1981). A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections, *Nature* pp. 133–135.

Nomura, Y., Sagara, M., Naruse, H. e Ide, A. (1992). Simple calibration algorithm for high-distortion-lens camera, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **14**(11): 1095–1099.

Quick, P. e Capson, D. (2000). Analysis of determining camera position via karhunen-loeve transform, *Image Analysis and Interpretation*, pp. 88–92.

Sturm, P. e Quan, L. (2000). Camera calibration and relative pose estimation from gravity, *International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 1, pp. 72–75.

Wang, L. e Tsai, W. (1991). Camera calibration by vanishing lines for 3-d coputer vision, *IEEE Transaction on Patters Analysis and Machine Intelligence* **13**(4).

Wee, W. (2004). www.robosapienonline.com.

Wilson, W., Williams Hulls, C. e Bell, G. (1996). Relative end-effector control using cartesian position based visual servoing, *IEEE Transactions on Robotics and Automation* **12**: 684–696.

Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **22**: 1330–1334.