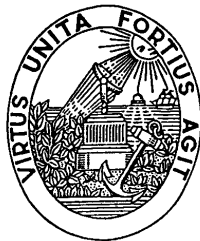


João Manuel R. S. Tavares

Comunicação Interna:

**UMA ABORDAGEM PARA A SEGMENTAÇÃO 2D DE
SEGMENTOS DE RECTA, SIMPLIFICAÇÃO
E SEGUIMENTO EM SEQUÊNCIAS
DE IMAGENS 2D**



FEUP - *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*

DEEC - *Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores*



INEB - *Instituto de Engenharia Biomédica*

Novembro de 1995

Sumário

Nesta comunicação é apresentada uma abordagem para a segmentação 2D de segmentos de recta, simplificação dos segmentos resultantes da segmentação e o seu seguimento em sequências de imagens 2D. Na segmentação é utilizado um detector de orlas de intensidade, seguimento das linhas resultantes do detector e uma aproximação poligonal das mesmas utilizando faixas dinâmicas. Para a simplificação dos segmentos de recta resultantes da segmentação são fundidos os segmentos que sejam suficientemente próximos e possuam direcções e comprimentos similares. No seguimento ao longo da sequência de imagens 2D os segmentos de recta são parametrizados pela posição do seu ponto médio, pela sua direcção e pelo seu comprimento, são utilizados três filtros de Kalman independentes e, como medida do emparelhamento, são utilizadas distâncias de Mahalanobis ou restrições geométricas.

Também serão apresentados alguns resultados experimentais obtidos utilizando-se a abordagem descrita nesta comunicação.

1 - Introdução

Em visão por computador surgem situações nas quais é necessário realizar uma segmentação dos segmentos de recta presentes numa dada imagem 2D. Tal segmentação pode ser necessária, por exemplo, quando se pretende determinar numa imagem 2D um objecto considerado como uma estrutura em arame, quando se pretende diminuir o número de entidades presentes numa dada imagem 2D, contudo, sem perder drasticamente a informação com interesse contida na mesma, etc.

Após a segmentação dos segmentos de recta presentes numa imagem 2D é, por vezes, desejável a simplificação das mesma. Tal simplificação pode ser útil na diminuição do número de entidades conseguindo-se assim, por exemplo, facilitar a tarefa do procedimento que irá considerar tais entidades, diminuir as exigências do armazenamento das entidades originais, etc. Assim, segmentos de recta que sejam suficientemente próximos e que possuam direcções e comprimentos similares deverão ser fundidos num só; de forma a que, o segmento resultante espelhe, da melhor forma possível, as características dos segmentos a simplificar.

Também em visão por computador surgem várias situações nas quais é necessário realizar o seguimento de um conjunto de segmentos de recta ao longo de uma sequência de imagens 2D. Tal seguimento pode ser necessário, por exemplo, quando se pretende obter informação 3D de uma cena considerada como constituída por segmentos de recta a partir do movimento de uma câmara, quando se pretende obter informação do movimento 3D de um objecto considerado como uma estrutura em arame, etc.

Nesta comunicação é apresentada uma abordagem para a segmentação de segmentos de recta em imagens 2D, para a simplificação dos segmentos resultantes e para o seguimento destes ao longo de sequências de imagens 2D.

Também serão apresentados alguns resultados obtidos pela abordagem descrita nesta comunicação.

Na parte final desta comunicação é apresentada uma utilização da abordagem assim como algumas perspectivas de utilização futura da mesma. Finalmente, são apresentadas algumas conclusões finais.

2 - Segmentação de segmentos de recta em imagens 2D

A segmentação de segmentos de recta em imagens 2D, utilizada nesta abordagem, consiste em sujeitar a imagem inicial a um detector de orlas de intensidade que classifique cada *pixel* em termos de amplitude e de direcção do gradiente. O detector adoptado, por razões de eficiência, afinação conseguida e tempo de execução, foi o detector de Deriche¹.

Após esta detecção é realizado um seguimento com histerese das linhas resultantes. Este seguimento é baseado em dois níveis de amplitude: um de detecção e um de agregação, e na direcção do gradiente.

Durante o seguimento das linhas de orlas é realizado, em simultâneo, uma aproximação poligonal utilizando faixas dinâmicas². Esta aproximação poligonal consiste em definir uma faixa de aproximação, de largura igual à tolerância de erro, que pode rodar em torno do seu primeiro ponto de forma a incluir cada vez mais pontos, da linha que esta a ser seguida, no seu

¹ Ver, por exemplo, [Correia, 95].

² Ver, por exemplo, [Leung, 90; Tavares, 95a].

interior sem excluir nenhum ponto que previamente tenha sido incluído. Assim uma faixa de aproximação é definida por uma linha crítica: passante pelo primeiro e pelo segundo ponto da linha a aproximar, e por duas linhas fronteira: paralelas à linha crítica e distantes desta em metade da tolerância de erro, *Figura 1a*).

Quando surge um novo ponto da linha que está a ser aproximada, este é incluído no interior da mesma caso a rotação necessária da faixa não exclua nenhum ponto previamente incluído, *Figura 1b*).

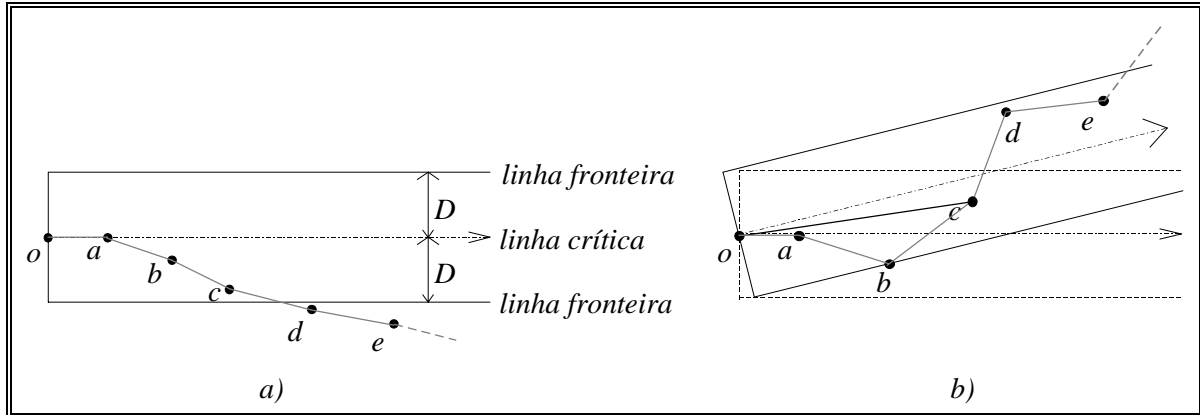


Figura 1 - a) Definição de uma faixa de aproximação. b) Rotação da faixa de aproximação (até a linha fronteira inferior ser passante pelo ponto b) de forma a incluir o ponto d.

Caso a rotação necessária da faixa de aproximação para incluir o novo ponto da linha não seja possível, é definido um segmento de recta de aproximação pelo primeiro e pelo último ponto da linha a ser aproximada que se encontrem no interior da faixa, *Figura 2a*). O processo de aproximação continua sendo definida uma nova faixa de aproximação pelo último ponto que se encontrava no interior da faixa anterior e pelo ponto que não pode ser incluído na mesma, *Figura 2b*).

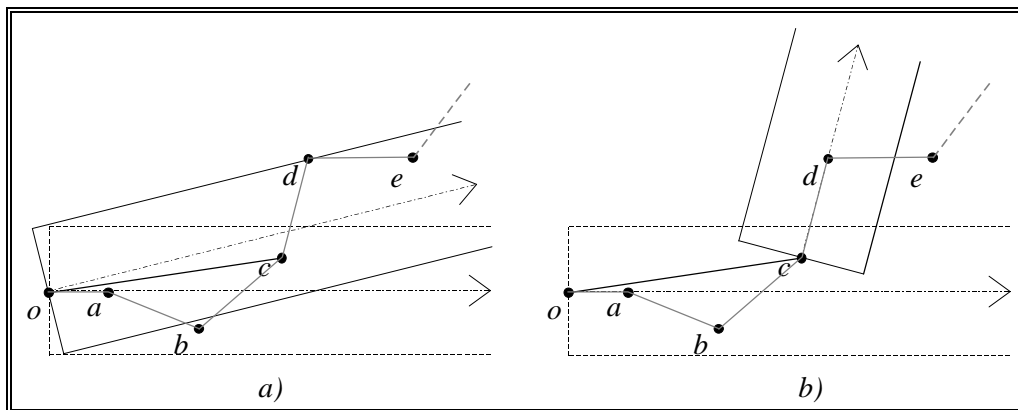


Figura 2 - a) A rotação da faixa de aproximação de forma a incluir o ponto d não é possível. b) Definição de uma nova faixa de aproximação utilizando os pontos c e d.

Como, na abordagem apresentada, o seguimento de linhas e a aproximação poligonal das mesmas é realizado em simultâneo, é possível segmentar segmentos de recta presentes numa imagem 2D sem se realizar um adelgaçamento dos resultados obtidos pelo processo de seguimento. Desta forma é possível seguir e aproximar linhas de espessura não unitária.

Como no processo de seguimento são utilizados critérios de amplitude e de direcção do gradiente do detector de orlas de intensidade não surgem erros em pontos de ancoragem de várias linhas.

3 - Simplificação de segmentos de recta próximos e de direcções e comprimentos similares

Após a segmentação dos segmentos de recta presentes numa imagem 2D surge, por vezes, a necessidade de diminuir o numero de segmentos resultantes, contudo, sem diminuir a informação necessária contida no conjunto de segmentos original. Torna-se assim necessário um procedimento que realize a fusão de segmentos de recta num só de forma a que o segmento resultante reflecta as características dos segmentos a fundir. Assim o procedimento de fusão deverá originar um segmento de recta cujo comprimento, direcção e posição sejam devidamente influenciados pelas características dos segmentos a fundir e, obviamente, pela importância relativa de cada um. Além do mais, ao contrário de outros procedimentos³ já existentes, o mesmo procedimento deverá ser de utilização geral; isto é, independente da disposição relativa dos segmentos a fundir.

Nesta abordagem desenvolveu-se um novo procedimento de fusão⁴, de segmentos de recta que sejam suficientemente próximos e de direcções e comprimentos similares, que consiste em:

- 1) Definir as coordenadas do centróide do conjunto formado pelos quatro pontos extremos dos dois segmentos a fundir considerando os respectivos comprimentos como as “massas” pontuais a considerar. Por este ponto, cuja localização é influenciada pelos comprimentos dos segmentos a fundir, deverá passar o segmento de fusão resultante.
- 2) Definir a direcção do segmento de fusão resultante como a média pesada das direcções dos segmentos a fundir considerando os comprimentos destes como os respectivos pesos.
- 3) Definir um referencial centrado no centróide e com um eixo paralelo à direcção do segmento resultante da fusão.
- 4) Definir as coordenadas dos pontos extremos dos dois segmentos a fundir no referencial definido anteriormente.
- 5) As duas projecções mais afastadas, sobre o eixo do referencial paralelo à direcção do segmento resultante da fusão, dos quatro pontos extremos dos dois segmentos a fundir, definem os pontos extremos do segmento resultante da fusão.

Nas *Figura 3a)*, *Figura 3b)* e *Figura 3c)*, estão representadas as fusões resultantes pelo procedimento de fusão, nos casos de os segmentos a fundir serem não sobrepostos, parcialmente sobrepostos e totalmente sobrepostos, respectivamente.

Como é possível observar nas figuras apresentadas, o novo procedimento de fusão apresenta bons resultados quer os segmentos sejam totalmente sobrepostos, parcialmente sobrepostos ou não sobrepostos. No entanto, surge a necessidade de definir o conceito de proximidade dos dois segmentos a fundir para cada tipo de disposição relativa destes. Contudo, analisando as projecções dos quatro pontos extremos dos dois segmentos a fundir no referencial passante pelo centróide torna-se bastante simples determinar se os segmentos estão ou não suficientemente próximos de modo a ser viável a sua fusão, assim como avaliar a

³ Ver, por exemplo, [Hussien, 93; Tavares, 95a e 95c].

⁴ Ver, por exemplo, [Tavares, 95a e 95c].

disposição relativa destes. Assim verifica-se que este novo procedimento de fusão integra, de forma natural, critérios para a determinação da disposição relativa dos segmentos de recta a fundir e, para cada tipo de disposição, as condições a respeitar para proceder à fusão.

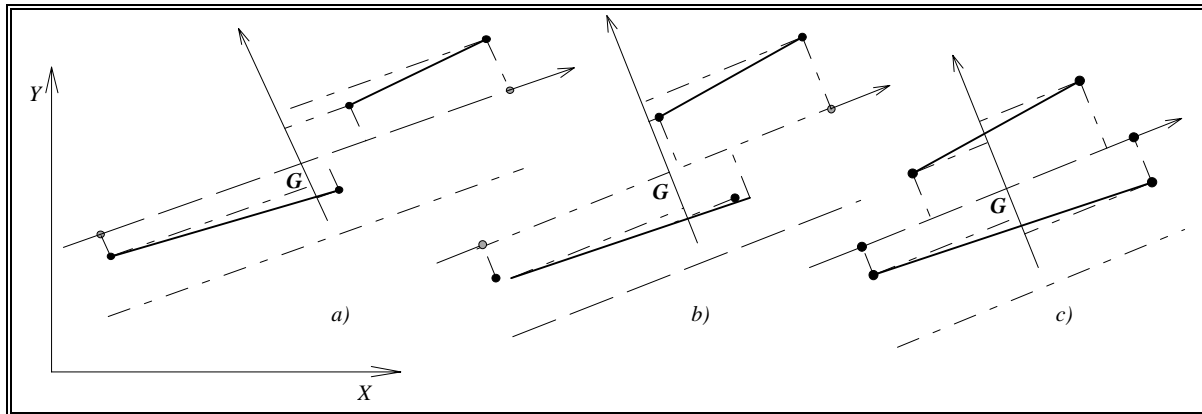


Figura 3 - Fusão resultante (a traço interrompido) de dois segmentos de recta (a traço cheio) pelo procedimento utilizado nesta abordagem: a) segmentos não sobrepostos, b) segmentos parcialmente sobrepostos e c) totalmente sobrepostos. (G representa o centróide do sistema de “massas”, a traço-ponto está representada a direcção do segmento resultante da fusão.)

Deve-se referir que, como facilmente é demonstrado, os resultados obtidos por este procedimento de fusão são equivalentes aos obtidos realizando a regressão linear de todos os pontos dos segmentos de recta a fundir e, portanto, minimizando o erro quadrático da aproximação.

4 - Seguimento de segmentos de recta em sequências de imagens 2D

Em várias aplicações da visão por computador é necessário realizar um seguimento de segmentos de recta em sequências de imagens 2D. Nesta abordagem foi desenvolvido um procedimento⁵ para tal tarefa que considera que as entidades em causa estão previamente segmentadas e, por ventura, simplificadas.

Do procedimento desenvolvido, para o seguimento de segmentos de recta em sequências de imagens 2D, destacam-se as seguintes características:

- As entidades consideradas (segmentos de recta) são parametrizadas pela posição do ponto médio, pelo comprimento e pela direcção. Este tipo de parametrização tem, relativamente a outras parametrizações possíveis (por exemplo, os pontos extremos ou a direcção, o comprimento, a distância da origem ao segmento de recta e a distância do pé da perpendicular ao segmento de recta que passa pela origem ao ponto médio do mesmo), a vantagem de os parâmetros não serem correlacionados o que permite a utilização de filtros de Kalman independentes e, conseqüentemente, de menor dimensão, nem os parâmetros dependerem da posição da respectiva entidade na imagem.

- Para o seguimento são utilizados três filtros de Kalman⁶ independentes; um para a posição

⁵ Ver, por exemplo, [Tavares, 95a e 95d].

⁶ Ver, por exemplo, [Maybeck, 1979; Tavares, 95a].

do ponto médio, outro para a direcção e um último para o comprimento.

- Para cada filtro inclui-se na modelação ruído Gaussiano de média nula de modo a evitar que estes convirjam em demasia.

- O modelo cinemático associado a cada filtro é um modelo de aceleração constante localmente, sendo a aceleração considerada como um processo Gauss-Markov de primeira ordem e igual a uma fracção da aceleração anterior. A utilização de um modelo cinemático deste tipo torna o procedimento mais flexível e adaptável a diferentes tipos de aplicação.

- Não é necessário proceder-se à medição das derivadas das características de parametrização consideradas, pois um aspecto interessante do filtro de Kalman é a possibilidade de estimar recursivamente as derivadas das características usando apenas a medição destas. Além do mais, devido a estas estimativas serem desenvolvidas por integração, elas são mais imunes ao ruído do que as derivadas instantâneas calculadas por simples diferença [Crowley, 1992].

- Como medida do emparelhamento são utilizadas distâncias normalizadas de Mahalanobis⁷ ou, quando desta forma o emparelhamento não é conseguido com êxito, restrições geométricas⁸: a diferença entre direcções, diferença entre comprimentos e a distância entre pontos médios.

- É utilizado um modelo 2D de entidades; assim, sempre que uma nova entidade se torna visível, ela é inserida neste com um factor de confiança de valor médio; sempre que uma entidade é novamente visível na imagem seguinte, este factor é aumentado de uma unidade até ao valor máximo admissível; se, pelo contrário, não é visível na imagem seguinte (isto é, não é possível o seu emparelhamento), este factor é diminuído de uma unidade até ao valor mínimo admissível, após o que é removida do modelo 2D. Desta forma, dispõe-se de um modelo 2D cujos elementos estão continuamente actualizados.

Na *Figura 4* está representada a filosofia utilizada no procedimento para o seguimento das entidades em imagens sucessivas.

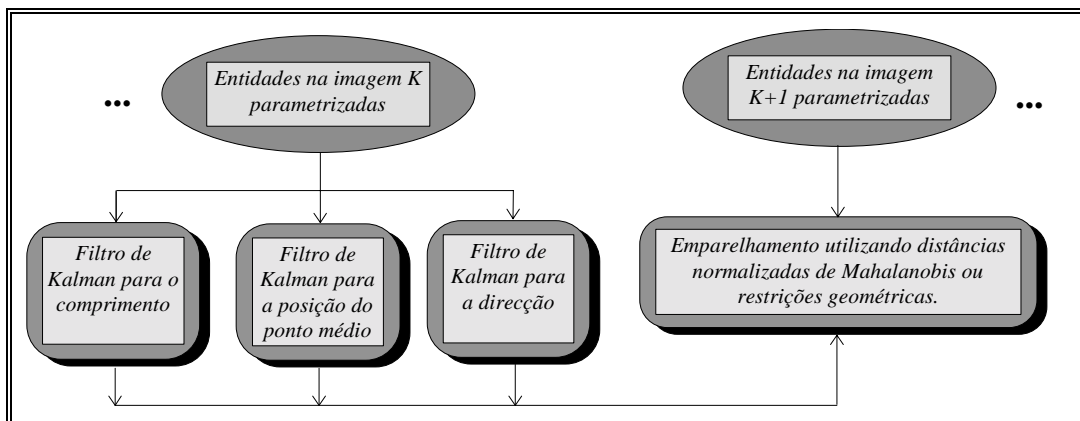


Figura 4 - Filosofia para o seguimento de entidades em imagens sucessivas.

A utilização de restrições geométricas origina que: quando os filtros utilizados começam a

⁷ Ver, por exemplo, [Maybeck, 1979; Tavares, 95a e 95d].

⁸ Ver, por exemplo, [Tavares, 95a e 95d].

divergir ou a convergir em demasia, os filtros se autoajustem de forma mais rápida, e mantenham emparelhamentos com êxito ao longo do processo de seguimento; a fase de inicialização das entidades consideradas torna-se mais fácil e flexível.

A introdução de ruído na modelação do sistema resolve o problema dos filtros poderem convergir em demasia: as respectivas elipses de emparelhamento não podem assumir dimensões demasiado reduzidas e o emparelhamento é facilitado continuamente.

5 - Alguns resultados experimentais

Para experimentar⁹ a abordagem apresentada nesta comunicação foi obtida uma sequência¹⁰ de 16 imagens¹¹ de um cubo a partir do movimento de translação pura de uma câmara. Na *Figura 5*, está representada a segunda imagem da referida sequência; na *Figura 6*, está representada a imagem obtida após segmentação dos segmentos de recta existentes na mesma imagem; na *Figura 7*, está representada a imagem obtida após simplificação dos segmentos de recta visíveis na imagem anterior; na *Figura 8*, é visível o movimento total das entidades consideradas ao longo de toda a sequência de imagens 2D.

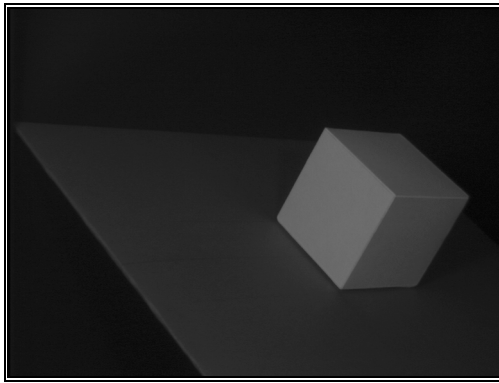


Figura 5 - 2ª Imagem da sequência.

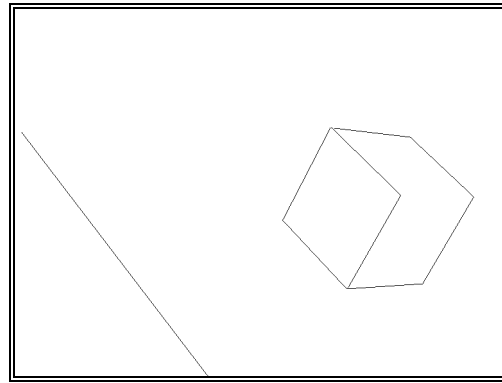


Figura 6 - Segmentos de recta obtidos na 2ª imagem da sequência.

Nas *Figura 5*, *Figura 6* e *Figura 7*, é possível observar que a segmentação e a simplificação utilizadas na abordagem descrita nesta comunicação obtêm bons resultados quer, na determinação das entidades quer, na diminuição do número das mesmas.

Na *Tabela 1*, estão apresentados os resultados obtidos pelo procedimento utilizado para o seguimento de quatro entidades ao longo da sequência de imagens 2D e também o modo como decorreu todo este processo. Como se pode depreender de uma análise cuidadosa dos referidos resultados, o procedimento obteve resultados de boa qualidade. Desses resultados, verifica-se também que a utilização de restrições geométricas como medida do emparelhamento, quando este não é previamente obtido utilizando as distâncias de Mahalanobis, tem como grande vantagem o contínuo êxito do emparelhamento e,

⁹ Não houve nenhum cuidado na afinação dos vários procedimentos envolvidos na obtenção dos melhores resultados possíveis. Assim, deverá ser possível obter-se resultados de melhor qualidade se os vários procedimentos forem devidamente “afinados” para esta sequência de imagens.

¹⁰ Em [Tavares, 95a, 95c e 95d] são apresentados outros resultados experimentais obtidos por esta abordagem. Em [Tavares, 95b] são descritas todas as implementações desenvolvidas para cada etapa desta abordagem.

¹¹ As imagens apresentadas foram reduzidas em 50% no seu tamanho original.

consequentemente, o respectivo seguimento.

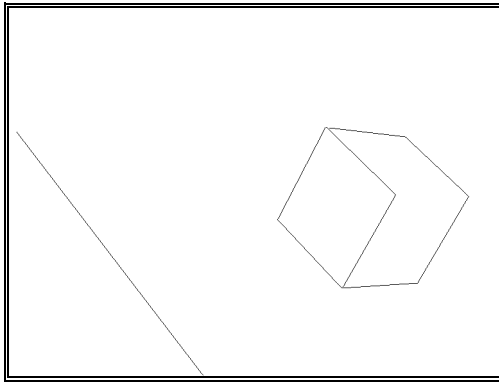


Figura 7 - Simplificação dos segmentos de recta obtidos na 2ª imagem da sequência.

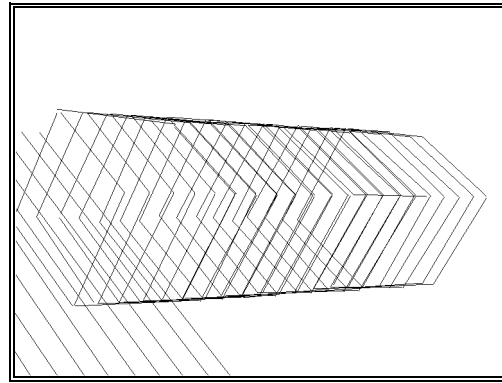


Figura 8 - Movimento total das entidades no plano imagem 2D.

| Imagem: | | | | | | | | |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Ref. | 1ª | 2ª | 3ª | 4ª | 5ª | 6ª | 7ª | 8ª |
| 1 | I | KM | KM | KM | KM | KM | KM | KM |
| 2 | I | KM | KM | KM | KM | KM | KM | KRG |
| 3 | I | KM | KM | KRG | KRG | KRG | KRG | KRG |
| 4 | I | KM | KRG | KM | KM | KRG | KRG | KM |
| Imagem: | | | | | | | | |
| Ref. | 9ª | 10ª | 11ª | 12ª | 13ª | 14ª | 15ª | 16ª |
| 1 | KM | KM | KM | KM | KM | KM | KM | KRG |
| 2 | KM | KRG | KM | KM | KM | KM | KM | KRG |
| 3 | KM | KRG | KM | KM | KM | KM | KM | KM |
| 4 | KRG | KM | KM | KM | KM | KM | KM | KM |

Legenda:
Ref. - Referência da entidade, **I** - Inicialização da entidade, Emparelhamento utilizando: **KM** - Filtros de Kalman e distâncias de Mahalanobis e **KRG** - Filtros de Kalman e restrições geométricas.

Tabela 1 - Decurso do processo de seguimento, para quatro entidades, ao longo da sequência de imagens.

6 - Uma utilização da abordagem apresentada e algumas perspectivas de utilização futura

A abordagem apresentada nesta comunicação foi utilizada numa aplicação de visão por computador¹² na qual se pretendia obter informação tridimensional a partir do movimento conhecido de uma câmara. Esta aplicação consistia em: numa primeira fase, calibração da câmara e do *hardware* envolvido; após esta calibração, segmentação das entidades (segmentos de recta) presentes em cada imagem da sequência; a seguir à segmentação, simplificação das entidades segmentadas em cada imagem; depois da simplificação das entidades presentes em cada imagem, seguimento das várias entidades ao longo da sequência; numa quinta, e última fase, obtenção de informação tridimensional, *Figura 9*. Esta comunicação apresenta, resumidamente, a abordagem global utilizada na segunda, terceira e quarta fase da referida aplicação.

Actualmente os autores estão empenhados na utilização desta abordagem na segmentação,

¹² Descrita em [Tavares, 95a].

simplificação e no seguimento de segmentos de recta que constituem corpos não rígidos para futura obtenção do movimento e das deformações dos mesmos.

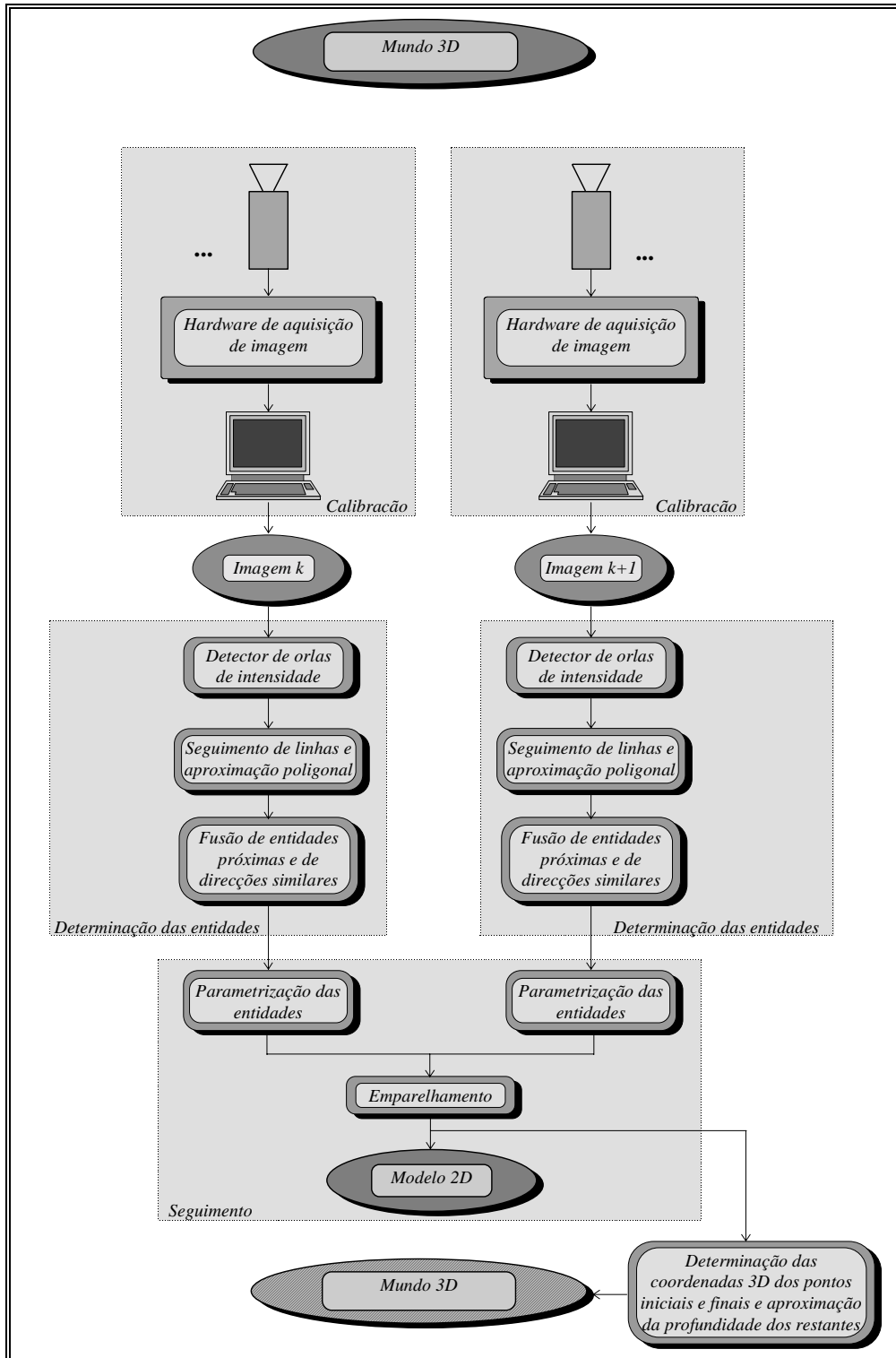


Figura 9 - Diagrama representativo da uma utilização da abordagem apresentada nesta comunicação.

7 - Algumas conclusões finais

Nesta comunicação foi apresentada uma abordagem para a segmentação de segmentos de recta

em imagens 2D. Tal segmentação é constituída pela utilização de um detector de orlas de intensidade, por seguimento baseado em dois níveis de amplitude e na direcção do gradiente do detector e a realização de aproximação poligonal, utilizando faixas dinâmicas, das linhas que estão a ser seguidas.

Na mesma abordagem é realizada uma simplificação dos segmentos de recta que sejam suficientemente próximos e tenham direcções e comprimentos similares. Com esta simplificação obtém-se segmentos de recta de características mais fortes que reflectem as características e a importância relativa dos segmentos a simplificar.

Um procedimento para o seguimento de segmentos de recta ao longo de sequências de imagens 2D é também incluída na abordagem apresentada nesta comunicação. No referido seguimento são utilizados filtros de Kalman, distâncias normalizadas de Mahalanobis e restrições geométricas.

Alguns resultados experimentais obtidos por esta abordagem foram apresentados. Dos mesmos pode-se concluir que a referida abordagem constitui uma solução global, eficaz e de utilização simples, para problemas em visão por computador nos quais é necessário realizar segmentação de segmentos de recta existentes em imagens 2D, simplificação dos mesmos e seu seguimento ao longo de sequências de imagens.

Agradecimentos

O trabalho descrito nesta comunicação foi realizado, na primeira fase, com uma bolsa de Mestrado e, na fase actual, com uma bolsa de Doutoramento do primeiro autor; o mesmo agradece à JNICT - Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica - as referidas bolsas: BM/3258/92-RM e PRAXIS XXI/BD/3243/94.

Bibliografia

[**Maybeck, 79**] - *P. S. Maybeck*

STOCHASTIC MODELS, ESTIMATION, AND CONTROL

VOL. I, MATHEMATICS IN SCIENCE AND ENGINEERING - VOLUME 141, ACADEMIC PRESS, 1979.

[**Checa, 93**] - *B. Giau-Checa, R. Deriche, Th. Viéille, O. Faugeras*

SUIVI DE SEGMENTS DANS UNE SÉQUENCE D'IMAGES MONOCULAIRE

RAPPORT DE RECHERCHE N° 2113, INRIA, DÉCEMBRE 1993.

[**Correia, 95**] - *Miguel F. P. Velhote Correia*

ANÁLISE DE MOVIMENTO EM SEQUÊNCIAS DE IMAGENS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, DEEC/FEUP, 1995.

[**Crowley, 92**] - *J. L. Crowley, P. Stelmaszyk, T. Skordas, P. Puget*

MEASUREMENT AND INTEGRATION OF 3-D STRUCTURES BY TRACKING EDGE LINES

INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER VISION, 8:1, 29-52, 1992.

[**Deriche, 90**] - *R. Deriche, O. Faugeras*

TRACKING LINE SEGMENTS

IMAGE AND VISION COMPUTING - VOL. 8, NO. 4, NOVEMBER 1990.

[Hussien, 93] - *B. Hussien, B. Sridhar*

A ROBUST LINE EXTRACTION AND MATCHING ALGORITHM

SPIE VOL. 2055 INTELLIGENT ROBOTS AND COMPUTER VISION XII (1993) - 369/380.

[Leung, 90] - *Maylor K. Leung, Yee-Hong Yang*

DYNAMIC STRIP ALGORITHM IN CURVE FITTING

COMPUTER VISION, GRAPHICS, AND IMAGE PROCESSING 51 146 (1990) - 146/165.

[Tavares, 95a] - *J. M. Tavares*

OBTENÇÃO DE ESTRUTURA TRIDIMENSIONAL A PARTIR DE MOVIMENTO DE CÂMARA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, DEEC/FEUP, 1995.

[Tavares, 95b] - *J. M. Tavares*

ALGUMAS FERRAMENTAS PARA VISÃO TRIDIMENSIONAL POR COMPUTADOR

PUBLICAÇÃO INTERNA, DEEC/FEUP, 1995.

[Tavares, 95c] - *J. M. Tavares, A. J. Padilha*

A NEW APPROACH FOR MERGING EDGE LINE SEGMENTS

RECPAD 95, AVEIRO, MARÇO 23-24, 1995.

[Tavares, 95d] - *J. M. Tavares, A. J. Padilha*

MATCHING LINES IN IMAGE SEQUENCES USING GEOMETRIC CONSTRAINTS

RECPAD 95, AVEIRO, MARÇO 23-24, 1995.