

Energia de Dobramento Multi-Escala: Novas Perspectivas em Neuromorfometria

Luciano da F. Costa e Roberto M. Cesar Jr.¹

¹Grupo de Pesquisa em Visão Cibernética, IFSC-USP, CP-369, SP, 13560-970, Brasil, [luciano,pinda]@ifqsc.sc.usp.br.

Resumo. Este trabalho apresenta os resultados referentes à aplicação de um novo descritor multi-escala de formas, chamado Energia de Dobramento (ED), para problemas de neuromorfometria. O descritor é introduzido, e resultados demonstrando: (1) a capacidade de discriminação da complexidade da forma das células neurais e (2) invariância à transformações geométricas, são apresentados.

Abstract. This work presents the assessment of a shape descriptor based on the Multiscale Bending Energy technique for applications in neuromorphometry. The descriptor is presented, and results illustrating its capabilities for: (1) complexity discrimination and (2) invariance to geometric transformations, are presented.

Introdução

Esta última década do século 20 tem sido especialmente significativa em termos de avanços na compreensão da arquitetura funcional do sistema nervoso dos mamíferos. No que se refere a estudos de estruturas neurais, embora muito se tenha trabalhado em aspectos da condução de sinais neurais em relação aos canais iônicos, o estudo da morfologia das células neurais tem recebido relativamente pouca atenção dos neurocientistas. Entretanto, a grande quantidade (possivelmente centenas) de tipos de células neurais existentes no cérebro dos primatas, as quais frequentemente apresentam formas completamente diferentes, nos indica que a morfologia neural deve possuir um papel especialmente importante no processamento dos sinais neurais. Um dos primeiros passos para estudarmos a relação entre a forma e a função neural consiste no desenvolvimento e validação de medidas que exprimam

propriedades de forma de neurônios. Assim, torna-se necessário desenvolver medidas abrangentes para caracterização da morfologia. O trabalho descrito neste artigo refere-se à

introdução de uma nova medida neuromorfológica, nominalmente a energia de dobramento multi-escala ('multiscale bending energy'). O cálculo da energia de dobramento é definido na seção 2. Os resultados ilustrando a aplicação da ED em neuromorfometria são apresentados na seção 3, enquanto que os possíveis desenvolvimentos futuros são discutidos na seção 4.

Metodologia

Introduzida por Young em [1], a energia de dobramento, definida pela seguinte equação: $\hat{\Psi}(\sigma) = (L^2 / N) \Sigma k(\sigma, t)^2$, onde $k(\sigma, t)$ se refere à curvatura do contorno suavizado através da aplicação de um filtro gaussiano de largura de banda proporcional a $1/\sigma$ [2], t é o parâmetro ao longo da curva, e L é o perímetro do contorno. Ela apresenta como característica particularmente interessante a seguinte interpretação física: exprime a quantidade de energia que é necessária aplicar a um contorno para levá-lo ao seu estado de menor energia, que corresponde ao círculo perfeito.

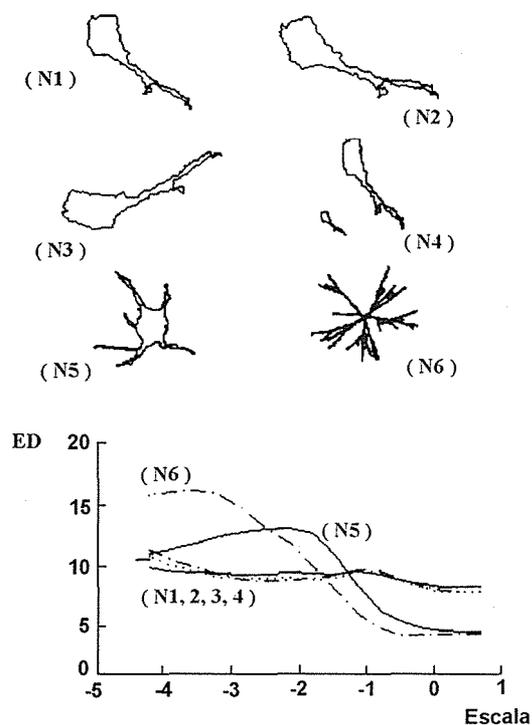


Figura 1: Neuromorfometria usando a BE.

Resultados

Como exemplo de aplicação, a ED foi obtida para 6 contornos de 3 neurônios, sendo 4 contornos correspondentes a versões geometricamente transformadas de um mesmo neurônio: rotações (Figura 1 (N1), (N2) e (N3)) e um escalonamento (N4) (nessa figura, o contorno N1, que é aproximadamente 4 vezes menor que N4, foi colocado ao seu lado para efeitos de comparação). Os outros dois neurônios são mostrados na Figura 1 (N5) e (N6), sendo que (N6) trata-se de um neurônio artificial criado usando técnicas de modelagem de formas por gramáticas formais. Como pode ser visto nessa sequência de imagens, enquanto os contornos N1, N2, N3 e N4 possuem basicamente uma quantidade menor de detalhes, o neurônio N5 apresenta uma quantidade um pouco superior e o neurônio NG é o mais rico em detalhes em pequenas escalas. O gráfico das respectivas ED em função da escala (escala logarítmica em ambos os eixos) é apresentado na Figura 1. Como pode ser

visto, a ED apresenta invariância a transformações geométricas para os contornos N1, N2, N3 e N4, e é capaz de caracterizar corretamente a complexidade entre os 3 contornos. Para pequenas escalas, a ED de NG é a maior, seguida de N5 e das versões transformadas de N1. Para grandes escalas, a ED de N6 e N5 decaem fortemente, ficando abaixo da ED de N1-4. A interpretação para esse fato é que, enquanto os contornos N5 e N6 são "espalhados" de maneira aproximadamente uniforme por todos os lados, os contornos N1-4 são mais alongados em relação a um de seus eixos principais. Isso significa que, visto de grandes escalas, os contornos N5 e N6 ficam mais próximos de uma circunferência (menor ED possível) enquanto que N1-4 se aproximam de uma elipse (ED maior que em uma circunferência).

Conclusões

Uma nova técnica para a caracterização de complexidade de formas para aplicações em neuromorfometria foi descrita. Os resultados experimentais demonstram que a ED pode ser usada efetivamente, permitindo ainda invariância à rotação e mudança de escala. Nossas pesquisas atuais estão voltadas para a realização de outros testes da aplicação da ED a imagens obtidas com diferentes resoluções, à comparação da ED com outras medidas de neuromorfometria (por exemplo, dimensão fractal), e a sua utilização em métodos de classificação automática de células neurais. É importante notar que, sendo a ED uma técnica geral de medida de complexidade de formas, ela pode ser aplicada em muitas outras situações.

Referências

- [1] Young I.T., *et al. Inf and Contr.*, 25:357, 1974.
 - [2] Cesar Jr. R.M. and Costa L. da F. *Rev. Sc. Inst.*, 1995, (submetido).
- L. da F. Costa agradece FAPESP(94/3536-6, 94/4691-5), CNPq(301422/92-3) e FINEP pela ajuda financeira, e Prof. J. Huthins (UMC), Prof. R. Linden (UFRJ), e R. C. Coelho pelo fornecimento de imagens e/ou preparados histológicos.