

Respostas de operadores de contraste biologicamente inspirados a cenas naturais

Pedro Gabrielle Vieira

Lab. De Neurodinâmica ó Dept. de Fisiologia e Biofísica ó ICB/UFMG

Pedro_biologia@yahoo.com.br

Resumo

O contraste é um atributo fundamental para humanos e animais segmentarem objetos relevantes de uma cena visual. Como essa segmentação ocorre em cenas naturais é uma questão ainda discutida. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo determinar os valores de contraste encontrados em cenas naturais, através de operadores de contraste biologicamente inspirados, com a finalidade de contribuir para o entendimento do processo de segmentação.

1. Introdução

A diferença relativa de luminância entre regiões do espaço visual, chamada contraste é, sem dúvida, uma fonte de informação crucial para humanos e animais segmentarem objetos relevantes de uma cena visual [11,15,22]. O estudo dos campos receptores das células ganglionares da retina mostra que essas células efetuam as primeiras operações de processamento do contraste [4,17]. Os sinais de saída da retina são transmitidos ao córtex visual primário via núcleo geniculado lateral (NGL). A partir desses sinais, neurônios corticais vão processar outros parâmetros visuais como, por exemplo, o movimento e a forma de um objeto, ocorrendo assim, os primeiros passos de uma construção perceptual mais elaborada.

Vários trabalhos mostraram que, no córtex visual e no núcleo geniculado lateral do gato e do macaco, as respostas celulares ao contraste são tipicamente não lineares, sendo geralmente melhor descritas por funções sigmoidais [1,2,3,16]. Essas repostas possuem uma faixa dinâmica relativamente limitada, e saturam a baixos valores de contraste (10-30%). Mais recentemente, Duong e Freeman, 2008 [8] demonstraram que, apesar da semelhança entre as repostas destas duas regiões, a saturação ocorre de forma menos abrupta no núcleo geniculado lateral.

O estudo destas repostas celulares foi, em grande parte, realizado através da utilização de estímulos sintéticos que simulam o contraste encontrado em

ambientes fotópicos, isto é, que apresentam altos níveis de luminância. Quando comparados a cenas naturais, esses estímulos possuem padrões simples e poucos níveis de variação de luminância, que são controlados pelo experimentador. Uma questão muito discutida é até que ponto o uso destes estímulos sintéticos é suficiente para explicar como os neurônios codificam o contraste e outros atributos visuais que são encontrados em cenas naturais [10,13].

Nesse contexto, vários grupos de pesquisa começaram a medir a distribuição do contraste em cenas naturais, através de estudos computacionais utilizando operadores de contraste, comparando-os com a forma da curva de resposta ao contraste da retina [14,18], do núcleo geniculado lateral [14] e do córtex visual [6]. A partir desses estudos, os autores puderam avaliar se a forma da curva de resposta ao contraste dos neurônios é adequada a codificar o contraste encontrado nestas cenas. Outros autores, como Balboa e Grzywacz (2003) [5], mostraram a distribuição do contraste em habitat aquáticos e terrestres. A partir desse estudo, eles demonstraram que existem diferenças de contraste nesses dois habitat e que animais aquáticos e animais terrestres apresentam circuitos retiniais diferentes para compensar essa diferença de contraste.

Estudar o contraste que animais e humanos encontram em cenas naturais pode levar à compreensão de como esses segmentam objetos relevantes nestas cenas. Portanto, o presente projeto tem como objetivo analisar a resposta dos operadores de contraste, inspirados em campos receptores de neurônios visuais do NGL, às diferenças de luminância encontradas em cenas naturais.

2. Métodos

2.1. Obtenção das Imagens

As imagens utilizadas foram obtidas na base de dados do Instituto de Matemática e Ciência da Computação da Universidade de Groningen e do Instituto de Neurociência da Holanda da Academia

Real de Artes e Ciências de Amsterdam. Essas imagens foram adquiridas através de uma câmera digital Kodak DCS420 utilizando-se a seguinte configuração: abertura de diafragma de 5.6, velocidade de obturador de 1/250 e sensibilidade ISO 200. A resolução das imagens é de 1024x1536 pixels, com sistema de cor em escala de cinza em formato 16 bits, com resolução angular de 1 minuto de arco por pixel. Cada pixel apresenta uma relação linear entre seu valor e a luminância da cena, fator fundamental para se estudar as diferenças de contraste. Para mais detalhes de calibração ver [21]. As imagens utilizadas foram de diferentes tipos de cenas (campo, mata, cidade etc.), totalizando 10 imagens.

2.2. Os operadores de contraste

Foram utilizados operadores de contraste biologicamente inspirados que descrevem o perfil dos campos receptores da retina e do núcleo geniculado lateral.

Os campos receptores dos neurônios têm uma organização antagonista formada por um centro e uma periferia. Para descrever a resposta do centro de um neurônio, utilizou-se um kernel gaussiano simétrico de 2 dimensões com um pico de amplitude de 1:

$$Centro(x, y) = \exp\left[-(x/rc)^2 - (y/rc)^2\right]$$

onde rc é o tamanho do kernel em pixel sobre a qual a sensibilidade diminui para 1/e do valor do centro. Os valores de raio do centro foram de 2, 3 e 4 pixels. Para descrever a resposta da periferia, utilizou-se um segundo kernel gaussiano, com um raio, rs , maior:

$$Periferia(x, y) = 0.85(rc/rs)^2 \exp\left[-(x/rs)^2 - (y/rs)^2\right]$$

onde o fator de escala $0.85(rc/rs)^2$ determina a área periférica como sendo 85% do centro. O valor do fator de escala é baseado nos valores documentados para neurônios da retina e do núcleo geniculado lateral de gatos e primatas (Enroth-Cugell e Robson, 1966; Derrington & Lennie, 1982; Irvin, Casagrande, & Norton, 1993). Os valores de rs foram de 4, 6 e 8 pixels.

A partir dos kernels gaussianos, foram realizadas duas convoluções com uma dada imagem (i, j) : a primeira, utilizando o kernel para o centro, através da equação:

$$Rc(x, y) = \sum_{i=x-3rc}^{x+3rc} \sum_{j=y-3rc}^{y+3rc} Centro(i-x; j-y)$$

onde a distância de $3rc$ do ponto médio do campo receptor assegura que a sensibilidade do centro tenha diminuído para zero. A segunda, utilizando o kernel para a periferia, através de uma equação similar à

$$Rp(x, y) = \sum_{i=x-3rs}^{x+3rs} \sum_{j=y-3rs}^{y+3rs} Periferia(i-x; j-y)$$

descrita acima:

O sinal de saída simulando a resposta global dos neurônios é determinado pela relação entre os dois kernels (Rc e Rp). Biologicamente, esta relação é modulada por um processo de adaptação que depende da região do campo receptor na qual a luminância média é avaliada pelo neurônio. Dado que não há evidências fisiológicas concretas sobre o mecanismo de adaptação, investiguei três esquemas biologicamente plausíveis. No primeiro, o sinal de saída foi dado pelo esquema de adaptação em que a luminância é avaliada somente pelo centro do campo receptor:

$$Resposta(x, y) = \frac{Rc(x, y) - Rp(x, y)}{Rc(x, y)}$$

No segundo, o sinal de saída foi dado pelo esquema de adaptação em que a luminância é avaliada somente pela periferia do campo:

$$Resposta(x, y) = \frac{Rc(x, y) - Rp(x, y)}{Rp(x, y)}$$

No terceiro, o sinal de saída foi dado pelo esquema de adaptação em que a luminância é avaliada pela periferia e pelo centro do campo:

$$Resposta(x, y) = \frac{Rc(x, y) - Rp(x, y)}{Rc(x, y) + Rp(x, y)}$$

Em resumo, os valores de saída, depois de aplicar os esquemas de adaptação, foram os valores de contraste locais das cenas naturais escotópicas enxergados pelos neurônios da retina e do núcleo geniculado lateral. A partir destes valores, foram gerados gráficos de distribuição de contraste em cenas naturais escotópicas. Toda a implementação foi realizada utilizando-se o programa Matlab® versão 7.0.4.

2.3. Calculando o contraste

Foram utilizados 9 condições de modelos de campo receptor (kerneis) como operadores de contraste, com as seguintes características espaciais: centro do campo receptor com tamanhos de 2, 3 e 4 pixels e, para cada tamanho de centro, periferia com 4, 6 e 8 pixels.

A análise foi realizada para cada um dos 9 operadores de contraste em 10.000 posições, escolhidas aleatoriamente, na imagem para um total de 10 imagens. As posições foram escolhidas de forma que todos os modelos estivessem sempre a uma distância de 3rs da margem da fotografia, evitando falsos valores de contraste.

3. Resultados e Discussão

3.1. Validação do Algoritmo

Antes de analisar o contraste em cenas naturais, os operadores de contraste foram utilizados em imagens sintéticas simples com parâmetros controlados a fim de testar seu correto funcionamento. Em todos os testes realizados, os resultados obtidos acordam com os valores esperados baseado nas características das imagens. Fig. 1A mostra uma imagem sintética com um mesmo valor de intensidade e luminância para todos os pixels. Nas Figs. 1B a 1D estão representados os valores de contraste para 10.000 locais aleatórios da imagem para os três esquemas de adaptação escolhidos: centro, periferia e centro mais periferia, respectivamente. O tamanho do centro do campo receptor utilizado foi de 2 pixels e a periferia de 8 pixels. Como esperado, todos os esquemas apresentam todos os valores iguais a zero, demonstrando a ausência de contraste na imagem.

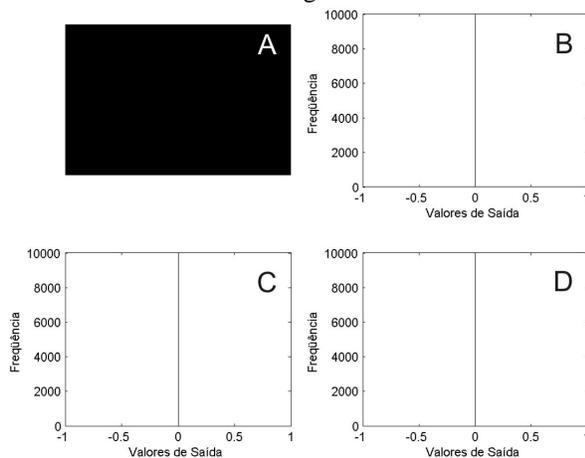


Figura 1. (A) Imagem sintética com mesmo valor de intensidade e luminância para todos os pixels. (B) Saídas do operador de contraste, calculada para

10.000 locais na imagem A, utilizando o esquema de adaptação somente centro. (C) O mesmo de B, mas utilizando-se o esquema de adaptação somente periferia. (D) O mesmo de C, mas utilizando o esquema de adaptação centro mais periferia. O operador de contraste possui um tamanho de centro de 2 pixels e de periferia de 8 pixels.

Na Fig. 2A, é apresentada uma imagem sintética com valores de intensidade e luminância distintos. As Figs. 2B a 2D, como apresentado acima, mostram valores de contraste para 10.000 locais aleatórios da imagem para os três esquemas de adaptação. O tamanho do centro e da periferia foram os mesmos utilizados na Fig. 1. Como esperado, foram localizados diferentes valores, demonstrando a presença de contraste na imagem.

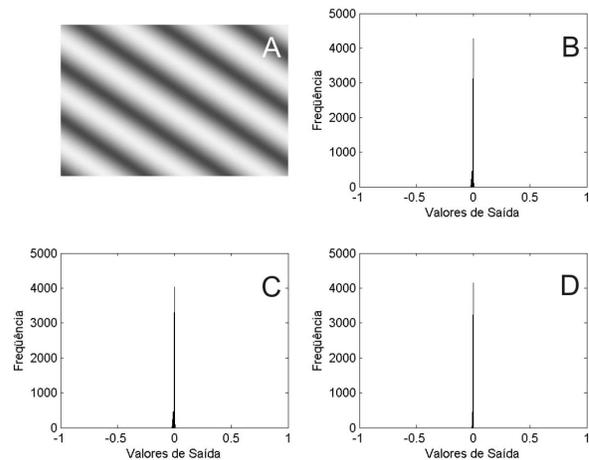


Figura 2. (A) Imagem sintética com valores de intensidade e luminância diferentes. (B, C e D) O mesmo da figura 1, respectivamente. O operador de contraste neste teste também possui um tamanho de centro de 2 pixels e de periferia de 8 pixels.

3.2. O contraste em cenas naturais fotópicas

3.3.1. Avaliação dos três esquemas de adaptação.

A fig. 3 mostra a faixa de saída dos operadores de contraste quando aplicada em uma cena urbana (Fig. 3A). O operador de contraste utilizado possui um campo receptor com centro de 2 pixels e uma periferia de 8 pixels. A saída deste operador foi calculada para 10.000 locais na imagem. Os três histogramas (B, C e D) mostram a frequência de contraste encontrada na imagem para os três esquemas de adaptação: somente centro (Fig. 3B), somente periferia (Fig. 3C) e centro + periferia (Fig. 3D). Claramente, os três histogramas não são idênticos, mesmo sendo aplicados para os mesmos 10.000 locais

na imagem. Essas diferenças são observadas na forma da distribuição do contraste calculado. A distribuição mostra ainda, pequenas assimetrias na frequência de contrastes positivos e negativos sugerindo uma pequena diferença na frequência de características claras e escuras nas fotografias.

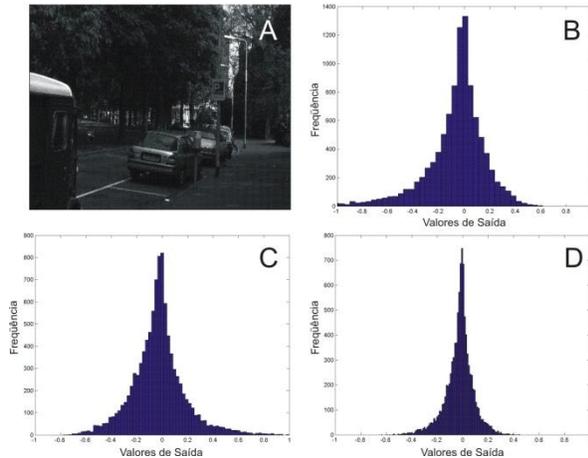


Figura 3. (A) Imagem urbana. (B) Saídas do operador de contraste, calculada para 10.000 locais na imagem A, utilizando-se o esquema de adaptação somente centro. (C) O mesmo de B, mas utilizando-se o esquema de adaptação somente periferia. (D) O mesmo de C mas utilizando-se o esquema de adaptação centro mais periferia. O operador de contraste possui um tamanho de centro de 2 pixels e de periferia de 8 pixels.

3.3.2. Diferenças entre condições. Para demonstrar que a distribuição do contraste não depende somente do esquema de adaptação utilizado, foi investigada a influência da variação de outros parâmetros do modelo e da figura. A distribuição do contraste foi demonstrada na forma de frequência cumulativa pra facilitar a comparação entre diferentes condições.

A Fig. 4D mostra a distribuição do contraste resultante da aplicação de três configurações diferentes dos operadores de contraste em uma imagem rural (Fig 4A). Essas configurações se diferem no tamanho do centro do campo receptor (rc), que varia entre 2 (linha contínua), 3 (linha pontilhada) e 4 (linha tracejada) pixels, enquanto o tamanho da periferia (rs) em 8 pixels. A saída de cada operador foi calculada para 10.000 locais na imagem utilizando-se apenas o esquema de adaptação centro+periferia. As similaridades entre três respostas demonstram que a variação do tamanho do centro do campo receptor tem pouca influencia na estimativa do contraste encontrado em cenas naturais.

Na Fig. 4E, também foram utilizados três operadores de contraste na mesma imagem (Fig. 4A), mantendo-se constante o tamanho do centro do campo receptor em 2 pixels e variando o tamanho da periferia do campo receptor em 4 (linha contínua), 6 (linha pontilhada), 8 (linha tracejada) pixels. A diferença entre as três respostas mostram que a distribuição do contraste é afetada pela variação do tamanho da periferia do campo receptor, sendo que o operador com o menor tamanho de periferia possui uma curva mais inclinada (linha contínua), mostrando que este mede valores de contrastes mais baixos na imagem do que os outros dois operadores.

Na fig. 4F, é mostrada a distribuição do contraste em três imagens diferentes: rural (linha contínua), mata (linha pontilhada) e urbana (linha tracejada). O operador de contraste utilizado foi o mesmo para as três imagens, possuindo centro com tamanho de 2 pixels e periferia com tamanho de 8 pixels. Como pode ser visto, a distribuição do contraste varia de imagem para imagem.

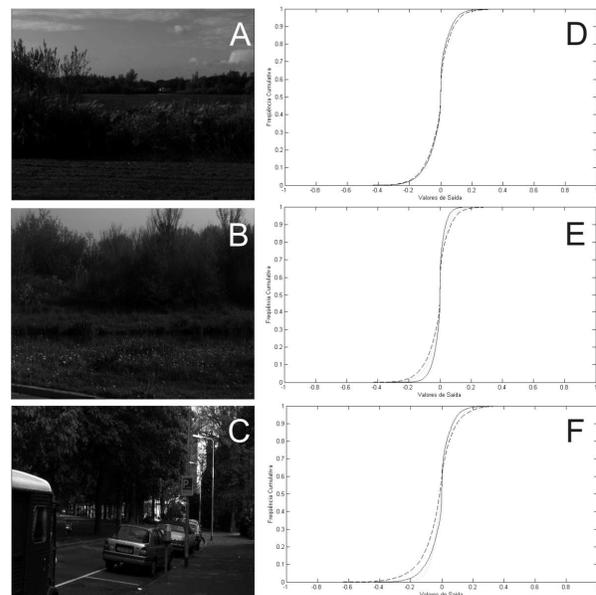


Figura 4. (A) Cena natural rural. (B) O mesmo de A. (C) Cena urbana. (D) Distribuição por frequência cumulativa dos valores de contraste para a imagem A é mostrado alterando-se o tamanho do centro do campo receptor entre 2 (linha contínua), 3 (linha pontilhada) e 4 (linha tracejada) pixels, enquanto o tamanho da periferia é mantido constante em 8 pixels. (E) O efeito da alteração do tamanho da periferia entre 4 (linha contínua), 6 (linha pontilhada) e 8 (linha tracejada) pixels, enquanto se mantém constante o tamanho do centro em 2 pixels. (F) O comportamento de um operador de contraste com centro de 2 pixels e periferia de 8

pixels a três diferente imagens naturais: A (linha contínua), B (linha pontilhada) e C (linha tracejada).

5. Conclusão

A partir dos resultados obtidos, podemos inferir, primeiramente, que a frequência de valor de contraste mais encontrada é zero ou próximo de zero. O modelo computacional, portanto, mostra que a grande maioria do contraste encontrado em cenas naturais pelos neurônios da retina e do núcleo geniculado lateral é baixo, sendo infrequente a presença de altos valores; segundo, a distribuição do contraste é influenciada pelo tamanho da periferia do campo receptor e pelas diferentes imagens, não apresentando diferenças quando alterado o tamanho do centro do campo; terceiro, mesmo com esses baixos níveis de contraste encontrado, os neurônios da retina e do núcleo geniculado lateral conseguem codificá-lo, porque sua faixa dinâmica de resposta ao contraste é grande para baixos valores de contraste (dados não mostrados).

Este estudo é uma etapa importante para se entender como o contraste é codificado pelos neurônios e pode ter uma grande influência na área da robótica e visão computacional, já que a luz é um fator essencial para estudos nessas duas áreas.

6. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, primeiramente, será aumentar o número de imagens utilizadas; segundo, será avaliada a distribuição do contraste em cenas naturais escotópicas, isto é, com baixos níveis de luminância, sendo comparado aos resultados obtidos neste artigo; terceiro, será acrescentada ao modelo computacional uma rotina que simulará o efeito do controle de ganho pelo contraste, processo pelo qual o neurônio modifica sua sensibilidade à luminância da cena.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Albrecht,D.G. & Hamilton,D.B. (1982) Striate cortex of monkey and cat: contrast response function. *J. Neurophysiol.* **48**, 217-237.
- [2] Albrecht,D.G., Geisler,W.S., Frazor,R.A. & Crane,A.M. (2002) Visual cortex neurons of monkeys and cats: temporal dynamics of the contrast response function. *J. Neurophysiol.* **88**, 888-913.
- [3] Albrecht,D.G *et al.* (2004) Nonlinear properties of visual cortex neurons: temporal dynamics, stimulus selectivity, neural performance. In:*The Visual Neuroscience*. Vol **1**, 774-764.
- [4] Baccus,S.A. & Meister,M. (2002) Fast and slow contrast adaptation in retinal circuitry. *Neuron* **36**, 909-919.
- [5] Balboa,R.M. & Grzywacz,N.M. (2003) Power spectra and distribution of contrasts of natural images from different habitats. *Vision Res.* **43**, 2527-2537
- [6] Clatworthy, P.L., Chirimuuta, M., Lauritzen, J.S. & Tolhurst,D.J. (2003) Coding of the contrasts in natural images by populations of neurons in primary visual cortex (V1). *Vision Res.* **43**, 1983-2001.
- [7] Derrington, A. M., & Lennie, P. (1982). The influence of temporal frequency and adaptation level on receptive field organisation of retinal ganglion cells in cat. *Journal of Physiology*, **333**, 3436366.
- [8] Duong,T. & Freeman,R.D. (2008) Contrast sensitivity is enhanced by expansive nonlinear processing in the lateral geniculate nucleus. *J. Neurophysiol.* **99**, 367-372.
- [9] Enroth-Cugell, C., & Robson, J. G. (1966). The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. *Journal of Physiology*, **187**, 517-552.
- [10] Felsen,G. & Dan,Y. (2005) A natural approach to studying vision. *Nat. Neurosci.* **8**, 1643-1646.
- [11] Ghim,M.M. & Hodos,W. (2006) Spatial contrast sensitivity of birds. *J. Comp Physiol A Neuroethol. Sens. Neural Behav. Physiol* **192**, 523-534.
- [12] Irvin, G. E., Casagrande, V. A., & Norton, T. T. (1993). Center surround relationships of magnocellular, parvocellular, and koniocellular relay cells in primate lateral geniculate nucleus. *Visual Neuroscience*, **10**, 3636373.
- [13] Olshausen,B.A. & Field,D.J. (2005). How close are we to understanding v1? *Neural Comput.* **17**, 1665 1699
- [14] Ruderman,D.L. (1994) The statistics of natural images. *Computation in Neural System* **5**, 517-548.
- [15] Santos,N.A. & Simas,L.M.B. (2001) Função de sensibilidade ao contraste: indicador da percepção

visual da forma e da resolução espacial. *Psicologia: Reflexão e Crítica*, **14(3)**, 589-597.

[16] Sclar,G., Maunsell,J.H. & Lennie,P. Coding of image contrast in central visual pathways of the macaque monkey. *Vision Res.* **30**, 1-10 (1990).

[17] Smirnakis,S.M., Berry,M.J., Warland,D.K., Bialek,W. & Meister,M. (1997) Adaptation of retinal processing to image contrast and spatial scale. *Nature* **386**, 69-73.

[18] Tadmor,Y. & Tolhurst,D.J. (2000) Calculating the contrasts that retinal ganglion cells and LGN neurones encounter in natural scenes. *Vision Res.* **40**, 3145-3157.

[19] Tolhurst,D.J., Tadmor,Y., & Tang Chao (1992) The amplitude spectra of natural images. *Ophthalmic and Physiological Optics.* **12**, 229-232.

[20] Troy,J.B. & Enroth-Cugell,C. X and Y ganglion cells inform the cat's brain about contrast in the retinal image. *Exp. Brain Res.* **93**, 383-390 (1993).

[21] van Hateren, J.H., van der Schaaf, A. (1998) Independent component filters of natural images compared with simple cells in primary visual cortex. *Proc.R.Soc.Lond. B* 265:359-366.

[22] Wandell,B.A. (1995) Foundations of vision. Sinauer Associates, Sunderland.

8. Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Prof.: Jerome Baron pela idéias e dicas para a realização do presente estudo e ao Lucas M. Pinto pela ajuda na implementação do modelo computacional.