

Canny: detecção de borda

O operador **Canny** foi desenvolvido por John F. Canny em 1986 (a partir de sua tese de doutorado, veja bibliografia do curso) e apresentado no *paper*: "*A Computational Approach to Edge Detection*". Nele se usa um algoritmo multi-passos para detectar a possibilidade de bordas. O mais importante, deste *paper* é que nele Canny apresenta também uma *teoria de detecção da borda*.

O filtro de Canny é um filtro de convolução que usa a **primeira derivada**. Ele suaviza o ruído e localiza bordas, combinando um operador diferencial com um filtro Gaussiano.

Considere uma borda de uma dimensão como mostrado na primeira imagem da figura 1. Se ela for operada por convolução com a função Gaussiana, o resultado será uma variação contínua do valor inicial ao final, com uma inclinação máxima no ponto onde existe o "degrau", como mostrado na segunda imagem da figura 1. Se esta função, agora contínua, for diferenciada em relação à x , a inclinação máxima indicará o máximo da nova função em relação à original, a última linha da Figura 1 mostra este resultado.

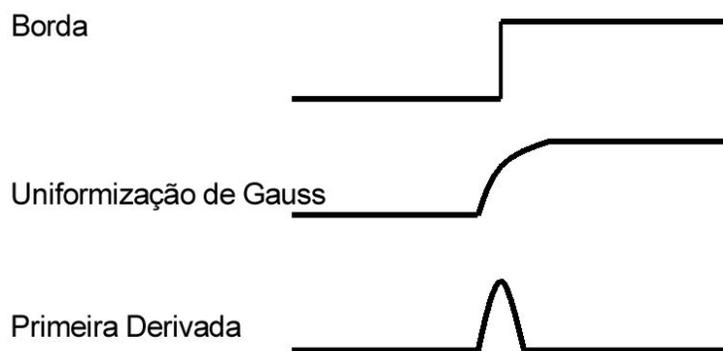


Figura 1 - Processo de detecção de bordas por Canny

Os pontos de máximos depois da convolução indicarão as bordas na imagem. Este processo pode ser realizado através do uso de uma função Gaussiana em duas dimensões, ou uma função 1D na direção de x e depois na direção y . As formas das máscaras Gaussianas dependem da escolha do desvio padrão, σ , usado, ou seja, o valor de sigma na equação da função gaussiana:

A função Gaussiana uma dimensão, é expressa por:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

De modo que sua primeira derivada é:

$$G'(x) = \frac{-x}{\sqrt{2\pi\sigma^3}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

A forma destas duas expressões, isto é a Gaussiana e sua derivada em 1D, são mostradas na figura 2, no gráfico foi usado um desvio padrão que tornasse o valor máximo 1.0, isto é foi usado $\sigma^2 = 1/(2\pi) \approx 0,1592$.

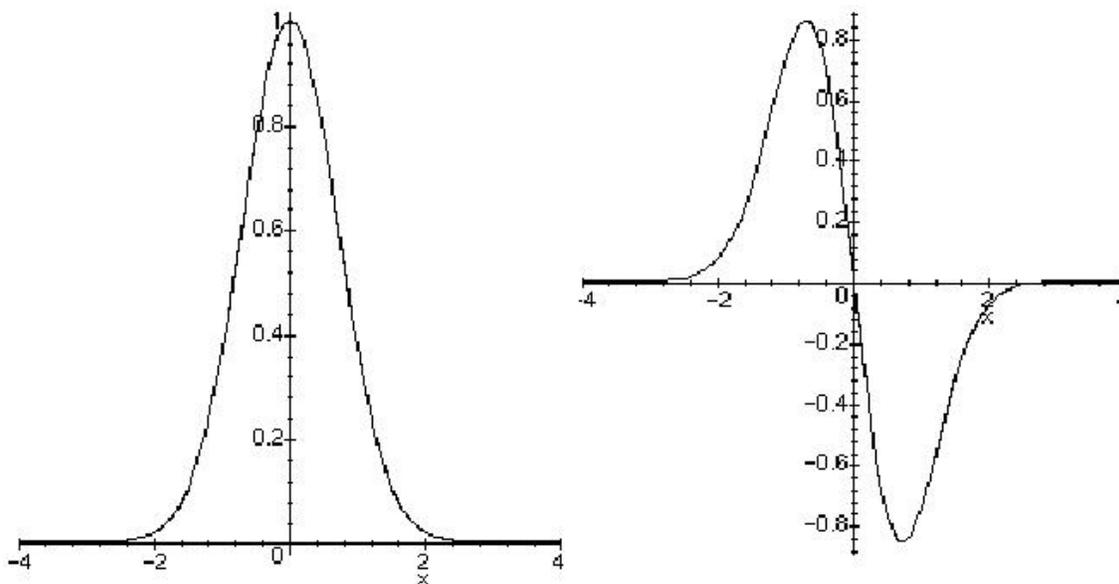


Figura 2 - Exemplo de curva Gaussiana com variância (desvio padrão)² = $1/(2\pi) \approx 0,1592$ e sua derivada ambas em 1D

A idéia do **filtro de Canny** para detecção de bordas é *usar* $G'(x)$. Fazendo a operação de convolução da imagem com $G'(x)$ obtêm-se uma imagem I que mostrará as bordas, mesmo na presença de ruído. A convolução é relativamente simples de ser computada, mas é custosa computacionalmente, especialmente se for a duas dimensões, onde é dada por:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$$

As Gaussianas 2D dependem da escolha dos desvios padrão nas duas direções, sendo geralmente usando em imagens ambos iguais σ , ou seja, o mesmo valor de sigma em x e y , $\sigma = \sigma_x = \sigma_y$, na equação da função Gaussiana:

Entretanto, uma convolução com a máscara gaussiana de duas dimensões, pode ser separada em duas convoluções com a máscara de Gauss de uma dimensão. Como mostrado nas figuras 3 e 4 abaixo, para uma aproximação da Gaussiana com desvio padrão $\sigma^2 = 2/\pi \approx 0,6366$, ou seja $\sigma \approx 0.8$.

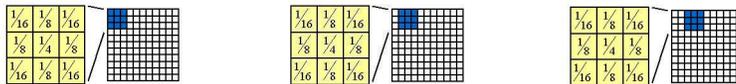


Figura 3 - Etapas da passagem do filtro Gaussiano 2D com $\sigma^2 = 2/\pi \approx 0,6366$, ou seja $\sigma \approx 0.8$.

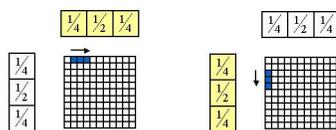


Figura 4 - Mesmas etapas, mas usando dois filtros Gaussianos em 1D com $\sigma^2 = 2/\pi \approx 0,6366$, ou seja $\sigma \approx 0.8$.

Considerando como um segmento de borda, todo valor situado acima de determinado limite superior e rejeitando todo valor situado abaixo de um limite inferior. Pontos situados entre os dois limites serão aceitos como de borda se eles estiverem relacionados fortemente com os *pixels*. O custo computacional do detector de bordas de Canny é relativamente alta, e os resultados são geralmente pós-processados para maior clareza. Entretanto, o algoritmo é bem eficiente no processamento de imagens com ruídos ou com bordas difusas. A figura.5 mostra o resultado da aplicação do método de Canny, com mascaras 1D: (0.05, 0.3, 0.5, 1, 0.5, 0.3, 0.05).

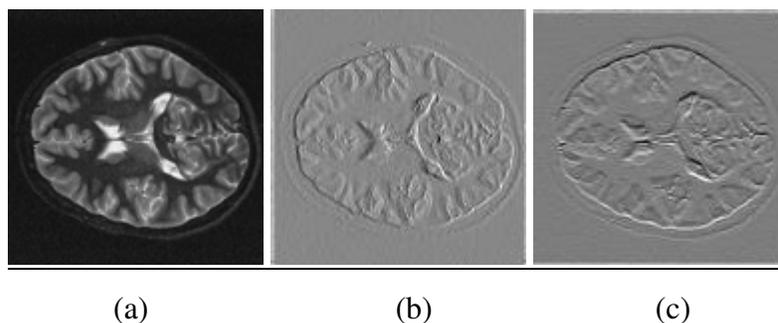


Figura 5 – Imagem **Brain** original e resultados de aplicação do filtro Canny na horizontal e vertical

O algoritmo Canny

O alvo do algoritmo de Canny é obter um método de detecção ótima da borda. Uma detecção ótima da borda significa que:

- 1 - o algoritmo deve marcar tantas bordas quanto possível;
- 2 - as bordas marcadas devem estar tão perto quanto possível da borda real; e
- 3 - cada borda na imagem deve ser marcada uma vez, e o ruído da imagem não deve criar bordas falsas.

No texto do seu *paper* isto é descrito como os 3 passos que seguem:

- *“First of all, it is important that edges occurring in images should not be missed and that there **be no responses** to non-edges.*
- *The second criterion is that the edge points be well localized. In other words, the distance between the edge pixels as found by the detector and the actual edge is to be at a minimum.*
- *A third criterion is to have only one response to a single edge. This was implemented because the first 2 were not substantial enough to completely eliminate the possibility of multiple responses to an edge.”*

Para satisfazer a estes critérios Canny usou [cálculo variacional](#) para encontrar a [função](#) que satisfizesse melhor a um [funcional](#) dado. O detector ótimo é descrito pela soma de quatro termos [exponenciais](#), mas aproximado pela primeira [derivada de uma Gaussiana](#).

Etapas do algoritmo Canny

- 1- **Redução de ruído** - Começa-se convoluindo a imagem uma máscara Gaussiana. A saída do primeiro passo é uma versão ligeiramente mais desfocada da original. Isto conseqüentemente reduz o efeito de pixels ruidosos na imagem .
- 2- Cálculo dos **gradientes** da intensidade da imagem - uma borda em uma imagem pode estar em vários sentidos. Assim 4 máscaras são usadas para detectar bordas horizontais, verticais e diagonais (45 e 135 graus).
- 3- Os resultados da convolução da imagem original com cada uma destas máscaras são armazenados. Para cada pixel, marca-se então o maior resultado do gradiente nesse pixel, e o sentido da máscara que produziu essa borda. Da imagem original, cria-se **dois mapas** de gradientes da intensidade em cada ponto na imagem, e o do sentido do gradiente no ponto.
- 4- **Detecção das bordas** da imagem - os gradientes de intensidade mais elevada são mais prováveis de serem bordas. Mas não há um valor absoluto pré-definido de quanto uma dada intensidade passa a ser uma borda. A idéia de Canny é usar 2 limiares para isto (thresholds): um superior outro inferior.

A idéia é chamada de **thresholding com histerese** requer dois limiares iniciais um superior outro inferior. Supondo que as bordas devem ser linhas contínuas, linhas mesmo de pouca intensidade são investigadas, mas evita-se identificar pixels que não constituem uma linha. Assim aplica-se primeiro o limiar elevado (high threshold.). Isto marca as bordas que possivelmente podem ser genuínas. Partindo destas, usa-se a informação direcional para identificar as bordas da imagem. Ao seguir uma linha, usa-se o limiar inferior (lower threshold), permitindo seguir mesmo fracas possibilidades de bordas a partir de um ponto inicial.

Uma vez que este processo está completo tem-se uma imagem binária onde cada pixel é marcado como um pixel da borda ou de não-borda.

Parâmetros ajustáveis

Os algoritmos Canny contem parâmetros, que podem afetar o tempo de computação e a eficácia do algoritmo, estes são:

- O tamanho do filtro Gaussiano usado afeta diretamente os resultados do algoritmo de Canny. Os filtros menores causam menos *blur*, e permitem a detecção de linhas pequenas e bem nitidas. Um filtro maior causa mais *blur*, o que é mais útil para detectar bordas maiores, mais suaves. Quanto maior a mascara Gaussiana usada, menor a sensibilidade do filtro a ruídos. Assim a mascara da figura 6 é bem menos sensível a ridas que as 3x3 anteriores da figura 4.

	2	4	5	4	2
	4	9	12	9	4
$\frac{1}{115}$	5	12	15	12	5
	4	9	12	9	4
	2	4	5	4	2

Figura 6 - Mascara Gaussiana 2D para desvio padrão 1.4

- Os limiares (Thresholds) : o uso de dois limiares dá mais flexibilidade do que um único, mas os problemas usuais thresholding ainda ocorrem: se demasiado elevados informações podem ser perdidas, se demasiado baixos identificações falsa serão

consideradas como importante. É difícil definir limiares bons para qualquer tipo de imagens.

- Para experimentar com os parâmetros do algoritmo Canny on-line visite:
<http://matlabserver.cs.rug.nl.ou>
- <http://www.cee.hw.ac.uk/hipr/html/canny.html>

Conclusão

O algoritmo Canny é adaptável a vários casos. Seus parâmetros permitem que seja adequado ao reconhecimento das bordas dependendo das exigências particulares de uma dada aplicação. No paper de 1988, Canny faz a derivação do filtro produzindo um **filtro resposta de impulso finito**, que pode ser lento para calcular no domínio espacial se a quantidade de suavização requerida for importante (pois o filtro tem grande suporte espacial nesse caso). Por esta razão, sugere-se frequentemente para usar a forma do filtro Canny com resposta impulsiva infinita de [Rachid Deriche](#), que é recursiva, e que pode ser computado em uma quantidade mais reduzida de tempo, e apropriada para real-time. Nesta forma, entretanto, a execução recursiva do operador não tem simetria a rotação e tem tendência para bordas horizontais e verticais.

Referências

- Canny, J., *uma aproximação computacional para afiar a detecção*, transporte de IEEE. Análise do teste padrão e inteligência da máquina, 8:679 - 714, 1986.
- R. Deriche, *usando critérios Canny derivar um detetor optimal da borda executado recursivamente*, interno. J. Visão de computador, Vol. 2, pp. 15-20, abril 1987.
- [Lindeberg, da "detecção Tony borda e detecção do cume com seleção automática da escala", jornal internacional da visão de computador, 30, 2, pp 117--154, 1998. \(Inclui a aproximação diferencial à supressão do non-máximo.\)](#)

[\[editar\]](#) ver também

- [Visão de computador](#)
- [Processar de imagem de Digital](#)
- [Extração da característica](#)
- [Detecção da borda](#)
- [Espaço da escala](#)
- [Detecção do cume](#)

[\[editar\]](#) as ligações externas

- [Home Page Canny de John](#)
- [Detetor Canny em linha da borda](#)

Referencias:

Canny, J., *A Computational Approach to Edge Detection*, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8:679-714, 1986.

R. Deriche, *Using Canny's criteria to derive an optimal edge detector recursively implemented*, Int. J. Computer Vision, Vol. 2, pp. 15-20, April 1987.

[Lindeberg, Tony "Edge detection and ridge detection with automatic scale selection", International Journal of Computer Vision, 30, 2, pp 117--154, 1998. \(Includes the differential approach to non-maximum suppression.\)](#)

Um ótima dica de sistema on-line para testar todos os parâmetros é experimentar o site: <http://matlabserver.cs.rug.nl/cgi-bin/matweb.exe>

Home Page de John Canny no campus de Berkeley.:<http://www.cs.berkeley.edu/~jfc>