

# Universidade de Brasília

## Princípios de Visão Computacional

### Projeto Final

---

## Detecção de Objetos

e

## Previsão de Colisões com Filtro de Kalman

---

10 de Dezembro de 2013

Professor: Flávio Vidal

Alunos:

Juarez A.S.F 11/0032829

Rodrigo Lima 11/0020090

### I. OBJETIVOS

Desenvolver um algoritmo para detecção de objetos e previsão de suas trajetórias e possíveis colisões utilizando para isso o conjunto de ferramentas disponíveis no OpenCV.

### II. INTRODUÇÃO TEÓRICA

Em aplicações de monitoramento de sistemas móveis estamos muitas vezes interessados na **previsão de colisão entre dois objetos**. Com essa previsão podemos tomar decisões para evitar a colisão ou, ao menos, reduzir os danos causados. Com esse objetivo, **devemos ser capazes detectar os objetos**, sua trajetória e sermos capazes de **extrapolar a trajetória e prever as posições futuras** dos objetos sobre monitoramento.

As técnicas de visão computacional são comumente utilizadas na detecção de objetos. Vários procedimentos podem ser utilizadas para esse fim: como fizemos nos trabalhos anteriores, podemos detectar objetos pelo seu contorno (através de gradientes e a transformada Canny), sua forma (círculos e retas pela transformada Hough) e pelo movimento (subtração de fundo). Nesse trabalho, no entanto, usaremos uma técnica mais simples e que é eficiente se conhecermos de antemão a cor dos objetos: **detecção por cor**.

Se as cores dos objetos envolvidos forem conhecidas e aproximadamente constantes, e essas cores forem bem distintas das cores do fundo da imagem, então basta

varremos a imagem procurando os pixels pertencentes a uma certa faixa em torno das cores de interesse e temos detectados os objetos. Uma dificuldade que surge nesse algoritmo, é que cores parecidas podem ser geradas com combinações diferentes de canais RGB. Para contornar esse problema, **torna-se útil trabalhar com a imagem em componentes HSV**. HSV é sigla para:

- *hue*: indica a cor
- *saturation*: indica o quanto essa cor está misturado com branco
- *value*: indica o quanto a cor está misturada com preto

veja que a componente de cor (*hue*) é obtida diretamente e podemos dar maior importância a essa componente na hora da busca.

Utilizando técnicas de transformação morfológicas, como cálculo de momentos da imagem, ou então usando o kmeans para agrupar dados semelhantes, podemos obter o centro dos objetos sendo detectados e, monitorando esses centros, guardarmos a trajetória dos objetos a medida que o vídeo evolui. Possuindo dados sobre a posição em diferentes instantes de tempo podemos **determinar um modelo** envolvendo velocidade e aceleração para calcular uma curva de trajetória e assim prever posições futuras para o movimento dos objetos.

Esse processo de previsão de uma trajetória pode ser feito utilizando filtragem de Kalman. **Filtro de Kalman** é um processo que junta informações de um modelo para o sistema sob análise, medições realizadas por diferentes

sensores e métodos e as incertezas sob o modelo e as medições para **estimar o real valor da variável sendo medida** e ainda a **incerteza** resultante dessa estimação.

Podemos utilizar o filtro de kalman com um modelo de equação do movimento envolvendo posição, velocidade e aceleração junto com as medidas feitas pelo detector de objetos descrito anteriormente para estimar a real posição do objeto. Mas para quê utilizarmos o filtro se a detecção por cor já é razoável? Basta implementar a detecção para ver o problema: devido a ruídos inerentes à captura de imagens, é muito provável que, mesmo que o movimento do objeto seja suave, **a detecção perceba uma vibração do centro do objeto**. Ao utilizarmos o filtro essas vibrações são eliminadas pelo modelo e pelo **conhecimento prévio de um erro gaussiano** nas medidas. Ou seja, **o filtro não acredita fielmente nas informações dos sensores, ao invés disso, utiliza o modelo para corrigir a detecção**. O quanto o filtro acredita nas medidas e no modelo é definido pelo erro associado a cada um. Esse erro é, portanto, parte da definição do filtro.

Além de estabilizar a detecção, o filtro de Kalman pode ser utilizado para *prever o futuro*. Isso é feito ao entrarmos no filtro os dados previstos sucessivamente. Isto é, para um conjunto de medidas realizada o filtro retorna a posição estimada para o objeto, se dissermos para o filtro que essa informação estimada é uma outra medida, ele irá processá-la normalmente e retornará a posição seguinte. Repetindo o processo, temos uma **previsão de posições futuras baseada nos dados medidos e em previsões anteriores do filtro**.

Ao fazermos isso teremos uma previsão razoável do futuro dos objetos. Falta então procurar por colisões. Para isso **supomos nossos objetos como sendo circulares**. O centro da partícula é o centro do objeto detectado e para obter o raio podemos usar transformações morfológicas e obter o menor círculo que engloba os pixels relacionados a um objeto, ou utilizar o raio do objeto detectado pelo kmeans. Para melhorar a previsão, podemos somar ao raio a informação de incerteza na posição informada pelo filtro de Kalman. Tendo as partículas circulares que englobam os objetos detectados, **basta medir a distância entre os dois centros e comparar com a soma dos raios dos objetos**. Se a distância for menor que a soma dos raios, então os objetos estarão em colisão. Para prever o tempo até a colisão dividimos a distância entre a posição atual a posição prevista de colisão pela velocidade atual do objeto.

### III. MATERIAIS

O código elaborado foi feito em C++ com as bibliotecas:

- core
- imgproc
- highgui
- background\_segm
- tracking

do **OpenCV** versão 2.4.6. Para desenvolver uma interface visual utilizou-se o Qt versão 5.1.1. e sua IDE Qt Creator para agilizar o desenvolvimento.

### IV. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

#### • Borrando a Imagem

Como é comum em muitos trabalhos de visão computacional, os infinitos detalhes e ruídos de uma imagem não são importantes para o processamento, de modo que este pode ser otimizado se começarmos por borrar a imagem de entrada. Para isso utilizamos um filtro de média dado pela função *medianBlur*. Para controlar a intensidade do filtro em tempo de execução utilizamos um *QComboBox* da biblioteca Qt.

#### • Detecção de Cor

Para a detecção de cor utilizamos a rotina *inRange*. Ela recebe a imagem de entrada, um intervalo de cores e cria uma imagem de saída do mesmo tamanho que a de entrada e com branco nos pixels equivalentes da imagem de entrada com cores no intervalo especificado e preto no resto. A rotina é chamada para cada cor que se quer detectar. Se quisermos detectar *n* objetos, devemos determinar um intervalo para as *n* cores e teremos ao final *n* imagens binárias, cada uma indicando a distribuição de uma determinada cor no frame atual.

#### • Determinando o Centro dos Objetos

Para determinar o centro dos objetos, utilizamos a classe *Moments*. Essa classe calcula os momentos de uma imagem de entrada. O momento de ordem 0 de uma imagem binária nos dá a área colorida da imagem. Ao dividirmos os momentos de primeira ordem em *x* e em *y* pelo momento 0 teremos a posição dos centro geométrico da área pintada na imagem. Se a imagem binária, aquela obtida do procedimento anterior, tiver apenas um objeto, o centro calculado será o centro do objeto sendo detectado(ou ao menos uma boa aproximação dele).

#### • Filtrando Ruídos

Para melhorar os resultados dos dois últimos procedimentos filtramos a imagem binária antes de determinar o centro dos objetos. Um filtro de erosão seguido de dilatação diminui pequenas áreas de ruído e melhorou o processamento. Além disso, pode ser que o objeto da cor desejada não esteja em cena. Para esses casos adicionamos um limiar de threshold para a detecção. Quando a área na imagem binária para uma dada cor, dada pelo momento de ordem 0, for menor que um determinado limiar indicamos que a detecção falhou e marcamos isso em array para posterior referência. Para controle desse limiar em tempo de execução, utilizou-se uma trackabr feita de um *QSlider* e uma *QLabel*, ambos classes da biblioteca Qt.

#### • Estabilização da Detecção com Filtro de Kalman

Para estabilizar a detecção utilizou-se o filtro de Kalman implementado no OpenCV na classe *Kalman*.

*Filter*. Para utilizar a classe, basta definir as matrizes do filtro e, em cada iteração, utilizar o método *predict* seguido do método *correct*, onde passamos uma nova medida para *correct*. A matriz de transição utilizada é mostrada a seguir e implementa um modelo com posição, velocidade e aceleração:

```
KF->transitionMatrix =
*(Mat_<float>(6, 6) <<
/*Sx*/ /*Sx Sy Vx Vy Ax Ay*/
/*Sx*/ 1, 0, 1, 0, 0.5, 0,
/*Sy*/ 0, 1, 0, 1, 0, 0.5,
/*Vx*/ 0, 0, 1, 0, 1, 0,
/*Vy*/ 0, 0, 0, 1, 0, 1,
/*Ax*/ 0, 0, 0, 0, 1, 0,
/*Ay*/ 0, 0, 0, 0, 0, 1
);
```

e a matriz de medidas:

```
KF->measurementMatrix =
*(Mat_<float>(2,6) <<
1, 0, 1, 0, 0.5, 0,
0, 1, 0, 1, 0, 0.5
);
```

#### • Extrapolando o Movimento com Filtro de Kalman

Para *prever o futuro* criamos um segundo filtro a partir de uma cópia do primeiro e repetidamente inserimos nesse novo filtro suas próprias previsões. Durante o processo as previsões são salvas para processamento futuro. Vale ressaltar que cada objeto a ser detectado possui seu próprio filtro de estabilização e de previsão do futuro, dessa forma temos um vetor de filtros.

#### • Determinando um Raio

A definição do raio é feita com o auxílio de uma trackbar em tempo de execução. Para a situação sendo estudada os objetos tem todos mesmos tamanhos, dessa forma, em tempo de execução imprimimos os centros das partículas e, manualmente, setamos um raio adequado para cobrir nossos objetos. O método foi escolhido por simplicidade de implementação.

#### • Detectando Colisão

Varremos os pontos gerados na etapa de previsão e procuramos em quais deles, para um mesmo instante de previsão  $n$ , tivemos duas partículas distantes menos que a soma de seus raios individuais. Quando essa situação ocorrer, marcamos um X preto na tela no ponto médio entre o centro das duas partículas.

#### • Controlando o Ambiente

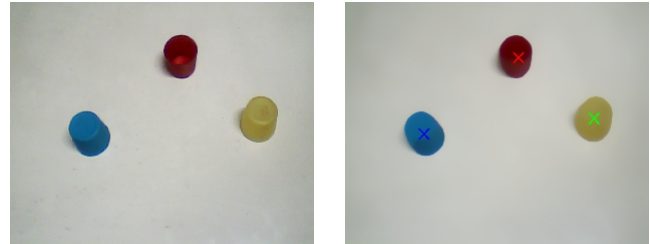
Difícilmente um algoritmo de visão computacional é robusto à iluminação e outras variações do ambiente. Tendo isso em mente, um bom sistema baseado em visão costuma ter alguns fatores controlados. Desenvolveu-se então uma 'arena' para testes. Os objetos a serem detectados possuem as cores azul, vermelho e amarelo e se locomovem sobre um quadro branco disposto no chão. A iluminação provém de

uma grande e intensa lâmpada colocada diretamente a cima do quadro branco.

## V. RESULTADOS

### A. Detectando Objetos

A imagem a seguir mostra a detecção de três objetos de cores diferentes. Marcamos com uma cruz o objeto detectado.



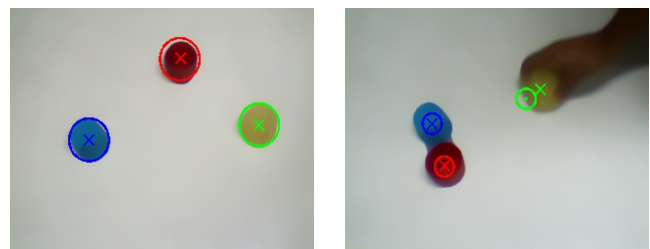
(a) entrada

(b) saída

Figura 1: detecção de objetos por cor

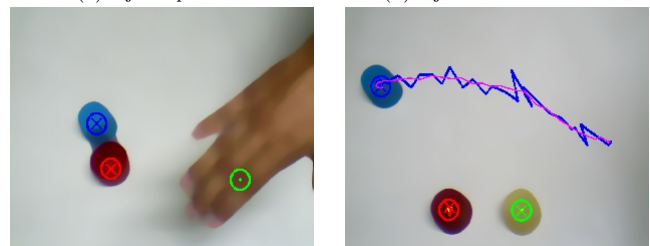
### B. Kalman para Estabilização

Nas imagens a seguir vemos o funcionamento do filtro de kalman. Em 1(a) marcamos a detecção por cores com um x e a detecção com kalman com um círculo. Vemos que com objetos parados os dois coincidem. Em 1(b) notamos que o círculo não acompanha fielmente a cruz: quando o objeto está em movimento o círculo está logo atrás do objeto, enquanto a cruz continua marcando exatamente. No entanto, quando tampamos o objeto em 1(c), a cruz se perde, enquanto o círculo continua marcando sua posição. Em 1(d) vemos o filtro estabilizar a detecção. Marcamos em azul a trajetória do objeto azul como detectado pelo algoritmo baseado em cores e em rosa pela algoritmo de Kalman. Vemos que apesar da trajetória do objeto ter sido oscilante, a trajetória de Kalman é bem suave.



(a) objetos parados

(b) objeto em movimento



(c) objeto escondido

(d) estabilização da detecção

Figura 2: funcionamento do filtro de Kalman

### C. Kalman para Previsão de Colisões

Na figure 3 vemos o filtro de Kalman prevendo a trajetória futura e prevendo uma colisão. Em 3(a) marcamos com pontos verdes as previsões do filtro e em 3(b) marcamos com um X preto o local da futura colisão previsto pelo filtro.

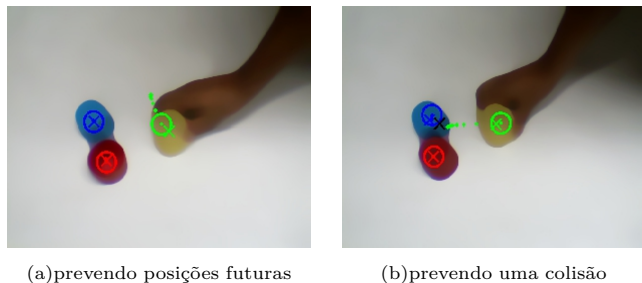


Figura 3: Filtro de Kalman para prever colisões

## VI. DISCUSSÃO

Observamos que, como previsto, o filtro sofre um retardo em acompanhar o objeto em movimento. Isso se deve a própria natureza do filtro: o filtro não acredita fielmente nas medidas, de modo que ele demora a se convencer de que o objeto está realmente em movimento. Esse ponto negativo, o retardo, é contrabalanceado pela estabilização do rastreamento em situações onde o sensor possui resposta oscilante ou até mesmo falha em detectar. O trabalho mostra como o filtro de Kalman pode ser utilizado na melhora do processamento de sinais de forma geral, uma vez que a mesma ideia poderia ser aplicada para diferentes tipos de sensores, bastando achar um modelo adequado.

A previsão de colisões também foi obtida, apesar de não com a mesma antecedência que se esperava inicialmente. A ideia inicial era que o filtro fosse capaz de prever colisões com uma grande distância das mesmas, mas nosso código só é capaz marcar o ponto de interseção das trajetórias quando os objetos estão a poucos centímetros do impacto. Apesar de nosso 'oráculo' não ser tão eficiente quanto gostaríamos, em muitos sistemas a distância de alguns centímetros pode ser suficiente para a tomada de decisões: no controle do movimento de robôs móveis, por exemplo, uma câmera com visão superior do cenário poderia ser usada para evitar que os mesmos colidissem.

A limitação da utilização do filtro para previsões do futuro se deve ao fato dele não possuir energia: se pararmos de alimentar o filtro com dados novos, o valor estimado converge para um patamar fixo, não sendo possível extrapolar indefinidamente a trajetória. Apesar disso, a utilização de kalman utilizando as definições do OpenCV é simples e direta e pode-se obter resultados relativamente bons com baixo custo de desenvolvimento.

Notamos também que a detecção por cores se mostra eficiente para as condições dadas e possui certa tolerância à iluminação e distância dos objetos. Uma limitação do método utilizado para detecção dos centros, é que ele é extremamente dependente do controle do ambiente. Se o

ambiente possuir cores semelhantes aquelas detectadas, o método dos momentos nos dará o ponto médio entre o objeto e o ruído, o que na maioria dos casos destrói a detecção. Para melhorar a detecção do centro poderíamos utilizar o kmeans com dimensões de espaço e de cor, dessa forma não só o centro geométrico de uma cor seria levado em conta, mas também a distribuição e aglomeração desta.

## VII. TRABALHOS FUTUROS

Uma ideia a ser trabalhado para melhorar o campo de visão do futuro é a utilização do filtro para estabilização do movimento junto com métodos numéricos para integrar a equação do movimento. O filtro poderia ser usado, por exemplo, para estabilizar a detecção e estimar valores de posição e velocidade dos objetos sendo monitorados. Com esses valores e técnicas numéricas, a equação do movimento pode ser integrada e pode-se obter uma extrapolação arbitrária da trajetória. Poderíamos então utilizar a informação de erro do filtro de Kalman para determinar a confiabilidade da nossa extrapolação, uma vez que os erros também seriam integrados e acumulados. Dessa forma, se o erro de Kalman for pequeno, podemos confiar e integrar o movimento até um certo ponto, e se o erro for grande, paramos a extrapolação mais cedo.

## VIII. CONCLUSÃO

O trabalho utilizou técnicas de segmentação de cores, transformações morfológicas e filtragem de kalman para desenvolver um aplicativo capaz de prever a colisão entre objetos coloridos a distâncias da ordem de centímetros. As limitações do método são evidentes, mas para os casos de teste sob ambiente controlado a previsão foi obtida eficientemente. O trabalho mostra a diversidade de aplicações do filtro de Kalman: desde estabilização de detecção até previsão do futuro, o filtro funciona adequadamente desde que seja definido por um modelo apropriado.

## REFERÊNCIAS

- [1] Forsyth, D.A. , *Computer Vision: a Modern Approach*, 1ªed.
- [2] Documentação do OpenCV Disponível em: <http://docs.opencv.org> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.
- [3] Shil, Roy *Simple Kalman filter for tracking using OpenCV2.2.* Disponível em: <http://www.morehantechical.com/2011/06/17/simple-kalman-filter-for-tracking-using-opencv-2-2-w-code/> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.
- [4] *Opencv kalman filter prediction without new obseration.* Disponível em: <http://stackoverflow.com/questions/18403918/opencv-kalman-filter-prediction-without-new-obseration> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.
- [5] Sinha,Utkarsh. *Tracking colored objects in OpenCV.* Disponível em: <http://www.aishack.in/2010/07/tracking-colored-objects-in-opencv/> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.
- [6] Fernando, Shermal. *Color Detection & Object Tracking.* Disponível em : <http://opencv-srf.blogspot.com.br/2010/09/object-detection-using-color-seperation.html> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.
- [7] *Documentação do Qt.* Disponível em: <http://qt-project.org/doc/qt-5.1/qt5doc/reference-overview.html> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.
- [8] Bucky Roberts. *C++ GUI with Qt Tutorial* . Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=6KtOzh0StTc&list=SP2D1942A4688E9D> Acesso em 10 de Dezembro de 2013.