

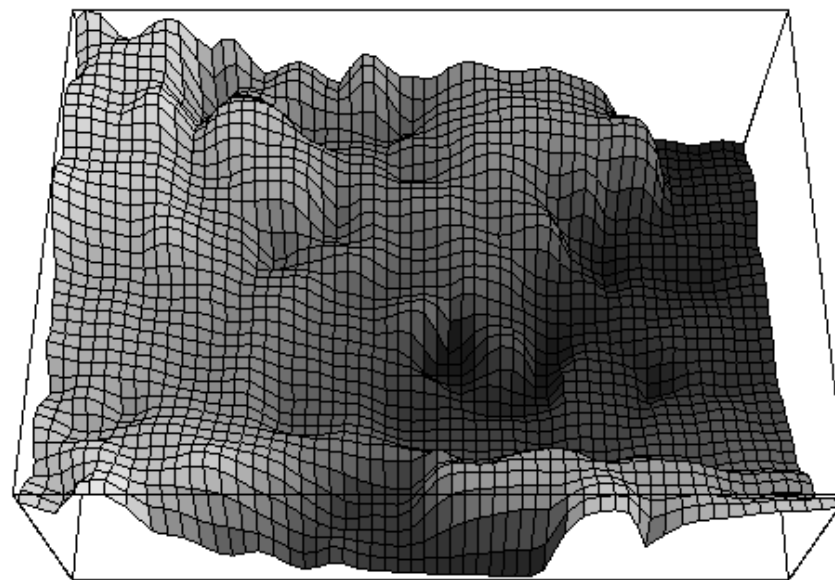
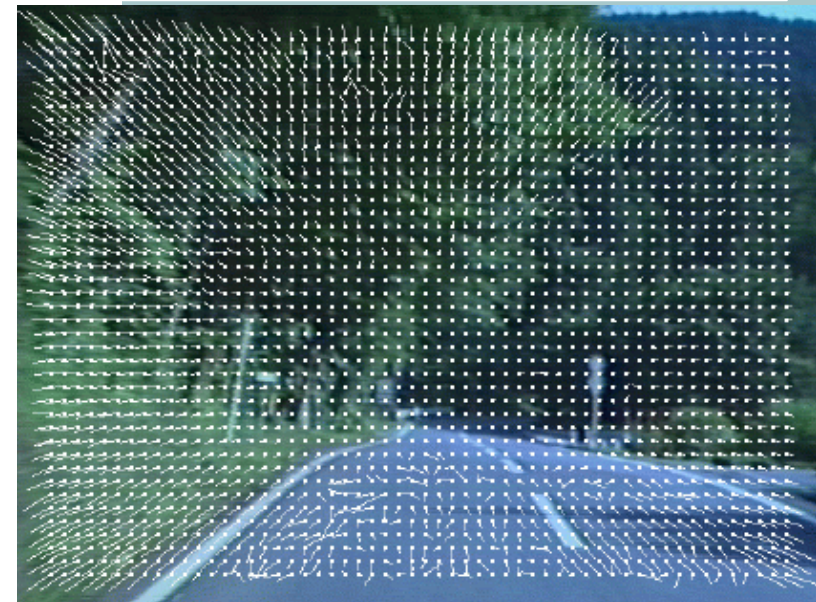
Visão Computacional

Aula 17

Movimento em Imagens

Motivação

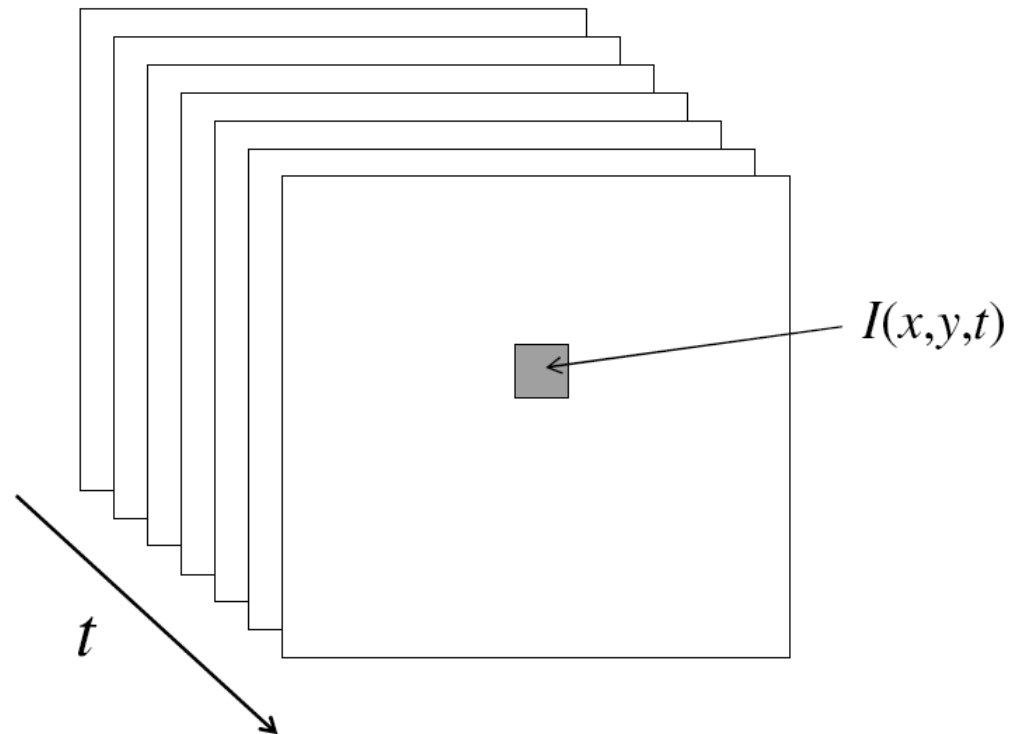
- Obter a estrutura e o movimento de uma cena observada através de uma seqüência de imagens.
- Responder as seguintes questões:
 - Quantos objetos se movem em uma cena?
 - Para que direção se movem os objetos?
 - Quão rápido se movem?
 - Estão descrevendo movimentos lineares ou rotacionais?
 - Os objetos “desaparecem” (oclusões) na cena?



<http://www.ail.cs.gunma-u.ac.jp/~ohta/3-D.html>

Seqüência de Imagens

- Por definição é um conjunto de imagens capturadas ao longo do tempo;
- A partir de agora as imagens são funções do espaço e tempo $f(x,y,t)$:





Utilização da análise de movimento

- Estimação da informação de tridimensionalidade;
- Segmentação de objetos baseado em movimento;
- Aprendizagem dinâmica de modelos;
- Reconhecimento de eventos e atividades;
- Melhoria da qualidade de vídeo
 - Estabilização de movimento

Problemas em análise de movimento

- Correspondência:
 - Qual a correspondência entre os elementos de um frame com os elementos do frame seguinte?
- Reconstrução
 - Conhecidos os elementos correspondentes e possivelmente os parâmetros intrínsecos da câmera, o que pode-se dizer sobre a estrutura e o movimento 3D da cena observada.

Diferenças entre análise de movimento e estéreo

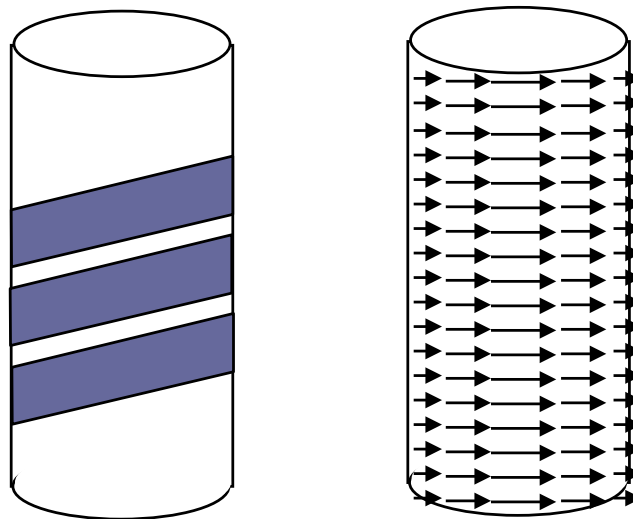
- Correspondência:
 - Sequências são produzidas com taxas de amostragem temporais bastante altas.
 - As disparidades entre frames consecutivos são em geral muito menores que entre pares estéreo.
- Reconstrução:
 - Ao contrário de estéreo, o deslocamento relativo entre a câmera e a cena não é causado necessariamente por uma simples transformação rígida.
 - Muito mais sensível a ruído que em estéreo. Causa principal: *baseline* muito pequena.

Hipóteses utilizadas para solução do problema de análise de movimento

- Existe somente um movimento relativo rígido entre a cena e a câmera que a observa.
- Exemplo: um prédio que é observado por um observador em movimento.
- Exemplo falho: jogo de futebol.
- Como resolver o contra-exemplo: supor que a câmera não se move e determinar regiões que correspondem a diferentes objetos em movimento

Campo de movimento

Definição: campo vetorial 2D de velocidades definido sobre os pontos da imagem induzido pelo movimento relativo entre a câmera e a cena.



Estimativa do campo de movimento: fluxo óptico

Fluxo ótico

Idéia: **brilho de um objeto em movimento normalmente se mantém constante.**

Equação da estacionariedade do brilho de uma imagem:

$$\frac{dE}{dt} = 0$$

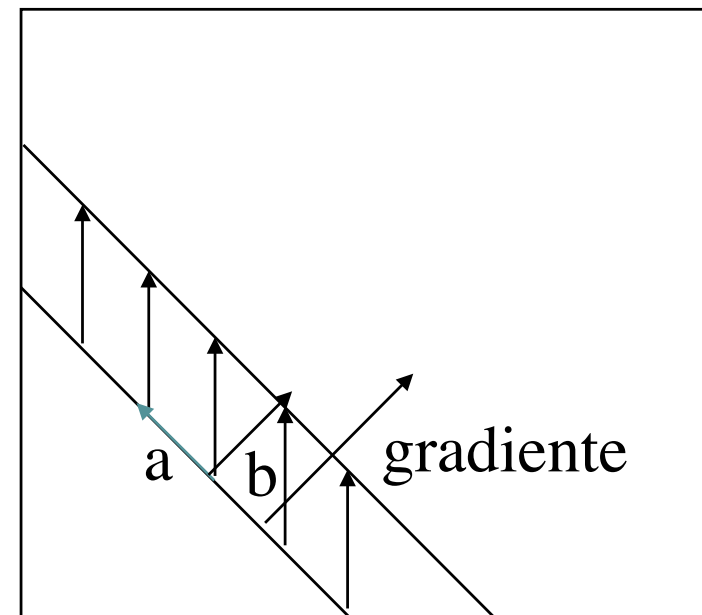
$$\frac{dE(x(t), y(t), t)}{dt} = \frac{\partial E}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial E}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial E}{\partial t}$$

$$(\nabla E)^T v + E_t = 0$$

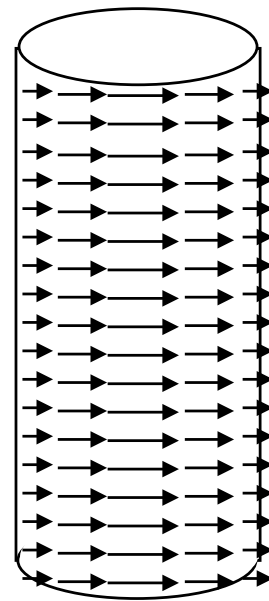
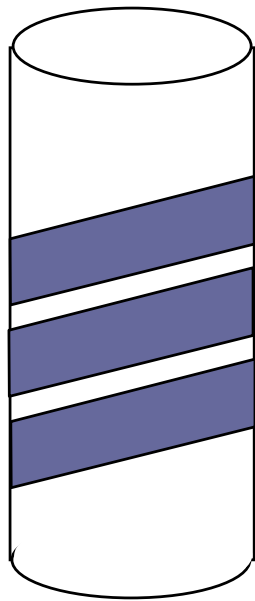
Fluxo ótico

Aperture problem: somente a componente na direção do gradiente espacial da imagem pode ser determinada pela equação da estacionariedade do brilho.

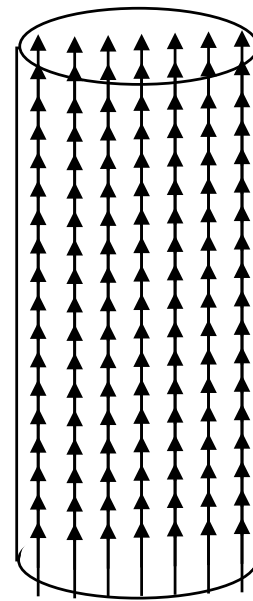
$$\frac{E_t}{\|\nabla E\|} = \frac{(\nabla E)^T v}{\|\nabla E\|} = v_n$$



Relação entre o fluxo ótico e campo de movimento



Campo de
movimento



Fluxo
ótico

Cálculo do fluxo ótico

- A restrição de estacionaridade nos fornece apenas uma equação por pixel para duas incógnitas.
- É necessário adicionar mais informação para solucionar o problema.
- Observação: o movimento em pixels adjacentes varia suavemente exceto nas regiões próximas as arestas.

Cálculo do fluxo ótico

- Idéia: minimizar o funcional que mede o quanto o fluxo calculado desvia-se da suavidade ideal

$$S = \iint_{\text{imagem}} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 dx dy$$

sujeito à restrição

$$(\nabla E)^T v + E_t = 0$$

Cálculo do fluxo ótico

- Problema difícil de resolver.
- Resolver o problema relaxado: encontrar uma solução para u e v tal que minimize

$$S + \lambda C$$

onde
$$S = \iint_{\text{imagem}} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 dx dy$$

e
$$C = \iint_{\text{imagem}} \left(\frac{\partial E}{\partial x} u + \frac{\partial E}{\partial y} v + \frac{\partial E}{\partial t} \right)^2 dx dy$$

Cálculo do fluxo ótico

- Utilizamos λ grande quando as medida de intensidades são precisas.
- Quando os dados são ruidosos optamos por um lambda pequeno.
- Um ajuste iterativo normalmente é necessário para encontrar o melhor valor de λ

Cálculo do fluxo ótico

- A minimização da integral resultante em $S+\lambda C$ envolve a solução de um problema variacional que nos retorna as seguintes equações:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \lambda \left(\frac{\partial E}{\partial x} u + \frac{\partial E}{\partial y} v + \frac{\partial E}{\partial t} \right) \frac{\partial E}{\partial x}$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \lambda \left(\frac{\partial E}{\partial x} u + \frac{\partial E}{\partial y} v + \frac{\partial E}{\partial t} \right) \frac{\partial E}{\partial y}$$

- u e v podem ser obtidos solucionando-se as equações diferenciais através de métodos iterativos.

Estimando o fluxo ótico

- Método de Trucco e Verri
 - Hipóteses:
 - A equação de estacionariedade fornece uma boa aproximação para a componente normal do campo de movimento.
 - O campo de movimento pode ser bem aproximado por um campo vetorial constante em uma pequena região da imagem.

Estimando o fluxo ótico

- Idéia: calcular o fluxo ótico em um ponto \mathbf{p} de uma imagem I através da minimização do funcional:

$$\Psi[v] = \sum_{p_i \in Q} \left[(\nabla E)^T v + E_t \right]^2$$

- Cada p_i é um pixel no interior de uma janela Q de tamanho $n \times n$ em torno de \mathbf{p} .

Estimando o fluxo ótico

- Solução: mínimos quadrados

$$A^T A v = A^T b$$

onde $A = \begin{bmatrix} \nabla E(p_1) \\ \nabla E(p_1) \\ \vdots \\ \nabla E(p_{N \times N}) \end{bmatrix}$ e $b = -[E_t(p_1), \dots, E_t(p_{N \times N})]^T$

Algoritmo CONSTANT_FLOW

- Entrada: sequência de imagens E_1, \dots, E_n .
 1. Filtre cada imagem da sequência através de um filtro gaussiano com desvio padrão σ_s ao longo da dimensão espacial.
 2. Filtre cada imagem da sequência através de um filtro gaussiano com desvio padrão σ_t ao longo da dimensão temporal.
 3. Para cada pixel de cada imagem da sequência:
 - Calcule a matriz A e o vetor b como descrito anteriormente.
 - Calcule o fluxo ótico através da solução dada pelas equações normais.
 4. Retorne o fluxo ótico calculado no último passo.

Melhorando o algoritmo CONSTANT_FLOW

- O erro cometido ao aproximar o campo vetorial em um ponto p através da estimativa no centro de um patch Q aumenta à medida em que p se distancia do centro.
- Usar mínimos quadrados ponderados.

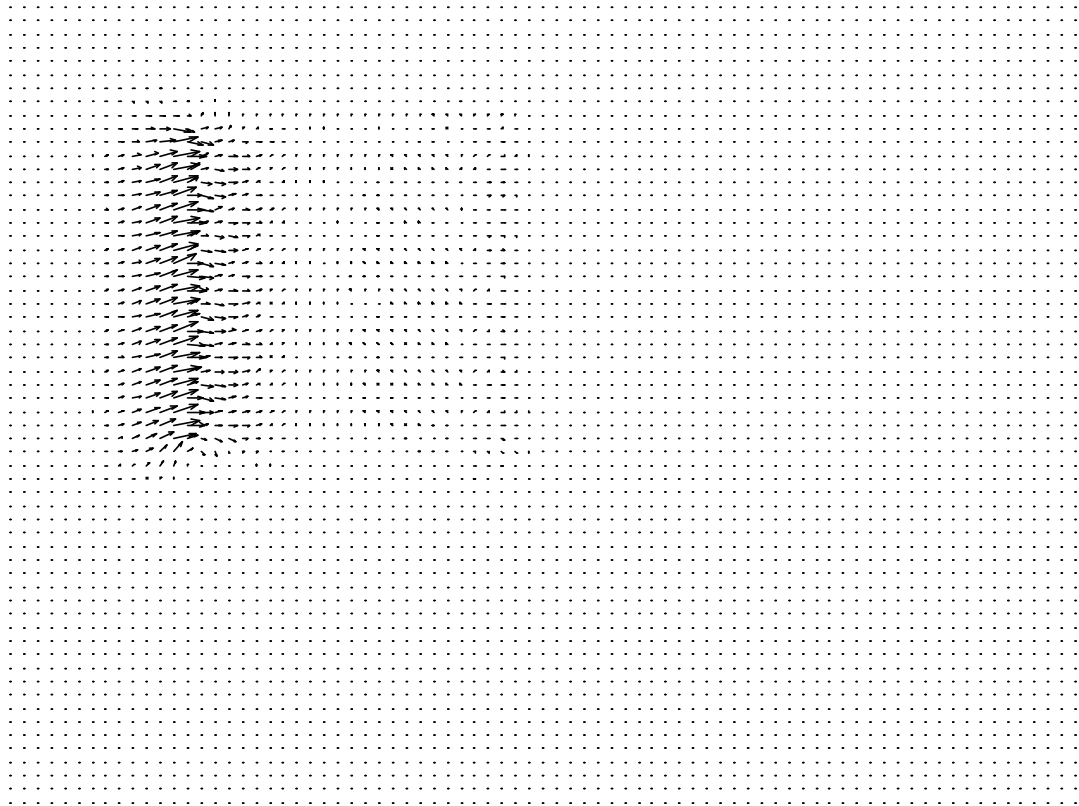
$$\bar{v}_w = (A^T W^2 A)^{-1} A^T b$$

Exemplos de Movimentos

- Translação Simples
- Rotação Simples
- Variação de Profundidade (Mudança de escalas)

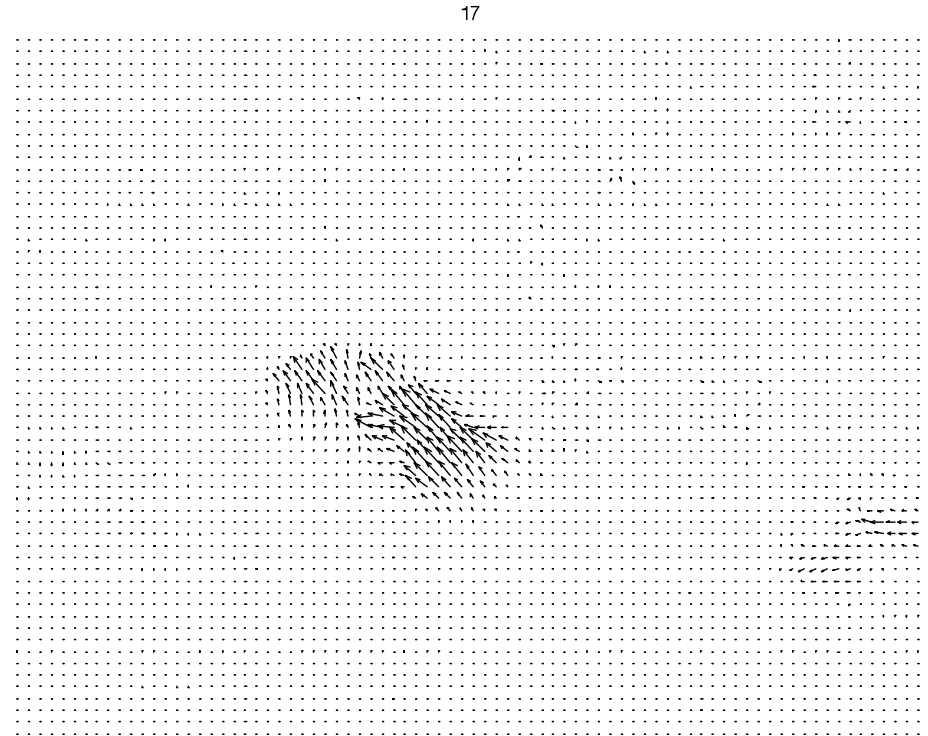
Exemplo

- Translação Simples



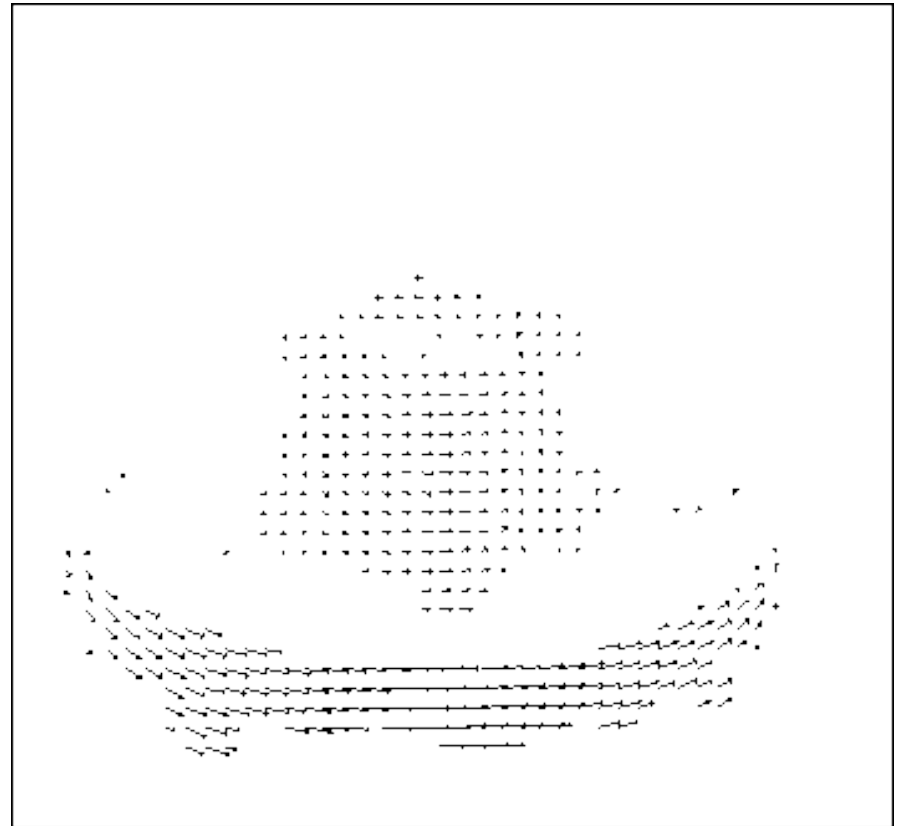
Exemplo

- Exemplos Reais (1)



Exemplo

- Exemplos Reais (2)



Método baseado em features

- O resultado é um campo de movimento esparsos.
- Caso simples: restrito a dois quadros consecutivos.
 - Pode-se usar neste caso as mesmas técnicas utilizadas em estéreo.

Algoritmo: entrada e notações

- Entrada: duas imagens I_1 e I_2 de uma sequência e um conjunto de feições correspondentes nos dois quadros.
- Sejam Q_1 , Q_2 e Q' três $N \times N$ regiões e t um threshold fixo. Seja ainda \mathbf{d} a disparidade desconhecida de uma feição \mathbf{p} no qual Q_1 está centrado.

Algoritmo

- Para cada feição **p**:
 - Faça $d = 0$ e centre Q_1 em p .
 - Estime o deslocamento d_o de p , centrado em Q_1 de modo análogo ao algoritmo `CONSTANT_FLOW`.
 - Faça $d = d + d_o$.
 - Seja Q' a região resultante da distorção de Q_1 segundo d_o .
 - Calcule a soma dos quadrados das diferenças S entre Q' e a região Q_2 correspondente em I_2 .
 - Se $S > t$, faça $Q_1 = Q'$ e retorne ao primeiro passo, senão pare.

Extensão para vários frames

- Idéia: otimizar a correspondência entre feições pertencentes a quadros consecutivos.
- Efetuar previsões sobre o movimento dos pontos da imagem com base em trajetórias anteriores.
- Tracking através de Filtro de Kalman (Aulas posteriores!).

Informação tridimensional a partir do fluxo ótico

- Como recuperar informação 3D a partir do fluxo ótico???
- Dica: Paralaxe do movimento.
- Necessário estudar as relações entre o campo de movimento e o movimento 3D dos objetos na cena observada.

Próxima aula...

- Fluxo Óptico Horn-Schunck