

Caraterísticas Visuales y Control de Movimiento

C. Sagüés, G. López-Nicolás, J.J. Guerrero, A.C. Murillo

Indice

◆ Motivación

◆ Características visuales

- Puntos
- Líneas
- Invariantes a escala: SIFT/SURF

◆ Control de movimiento

- Basado en Homografía
- Basado en Epipolos

◆ Conclusiones

Motivación

◆ Percepción en humanos

- Relación/Interacción con otros : Amigos ...
- Placer/Descanso: Cine, TV ...
- Movimiento: Desplazarse ...

◆ Percepción en robots

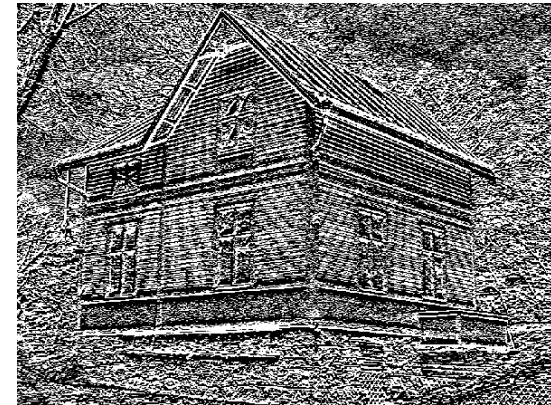
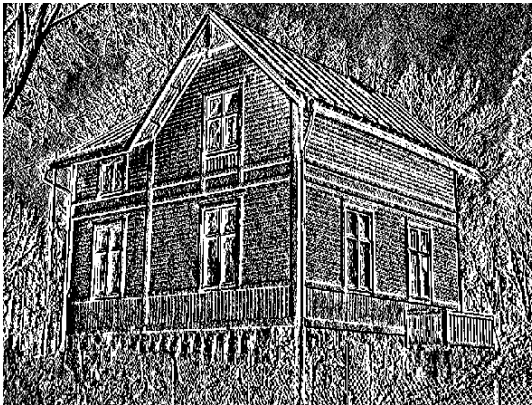
- Movimiento
 - ◆ Aplicaciones Industriales
 - ◆ Servicio
 - ◆ Rescate
- Visión como sensor para percepción
 - ◆ Varias imágenes y “matching” de características
 - ◆ Movimiento
 - Basado en posición
 - Basado en imagen

Características: Puntos

◆ Puntos: Detector de Harris [Harris-88]

- Puntos a partir de los gradientes horizontal y vertical
 - ◆ $R(x,y) = \det (C) - k \text{ traza}^2 (C)$

$$C = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_{xy} \\ I_{xy} & I_y^2 \end{bmatrix}$$



Características: Puntos

◆ Redistribución en celdas

- Filas m, Columnas n, Puntos por celda I
- Umbral para Medida de “Corner” (R)

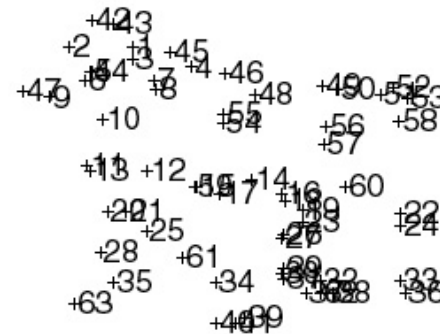
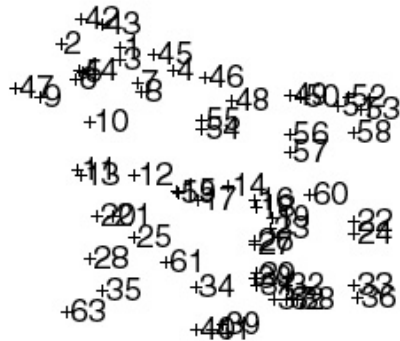


Imagen 1 - 483 Puntos



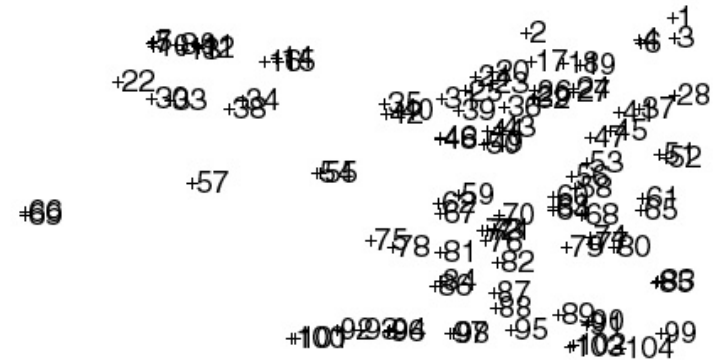
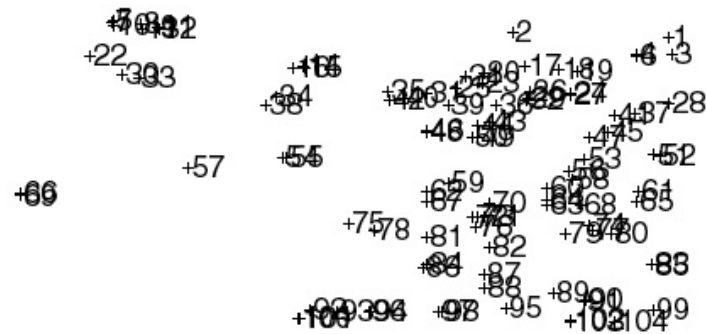
Imagen 2 - 467 Puntos

Ejemplo 1



◆ 130 Correspondencias (dos planos) - 96% buenas

Ejemplo 1



◆ 130 Correspondencias (dos planos) - 96% buenas

Ejemplo 1



◆ Correspondencias inicio 37

- 14 erróneas



◆ Correspondencias final 28

- Todas buenas como líneas
- 1 errónea como segmento

Ejemplo 2



◆ Líneas extraídas 246

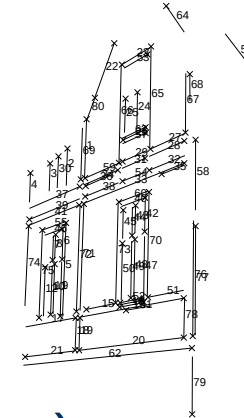
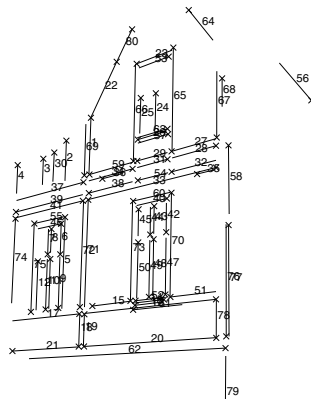
Líneas extraídas 262

Ejemplo 2



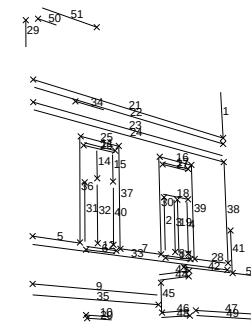
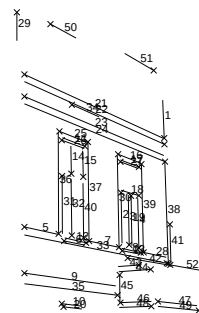
◆ 147 Correspondencias Iniciales (20% erróneas)

Ejemplo 2



◆ 115 Correspondencias finales (99% buenas)

Ejemplo 2



◆ 50 Correspondencias finales (99% buenas)

Características: SIFT-SURF

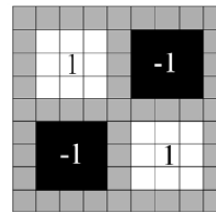
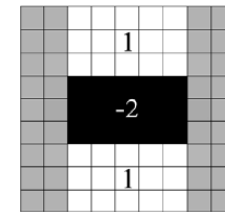
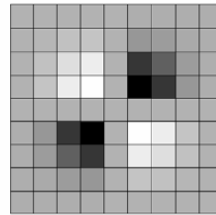
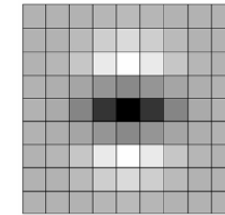
❖ SIFT: Scale Invariant Features Transform [Lowe-2004]

❖ SURF: Speed-up Robust Features [Bay-2006]

- Máximos locales del determinante del Hessiano
- Haar wavelet

$$H(\mathbf{x}, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx} & L_{xy} \\ L_{xy} & L_{yy} \end{bmatrix}$$

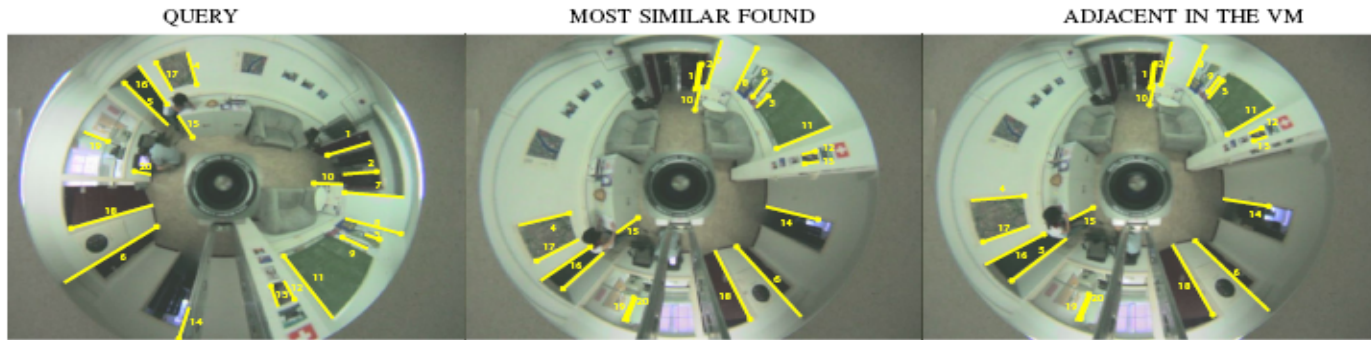
$$L_{xx}(\mathbf{x}, \sigma) = \frac{\partial}{\partial x^2} g(\sigma) * I[x, y]$$



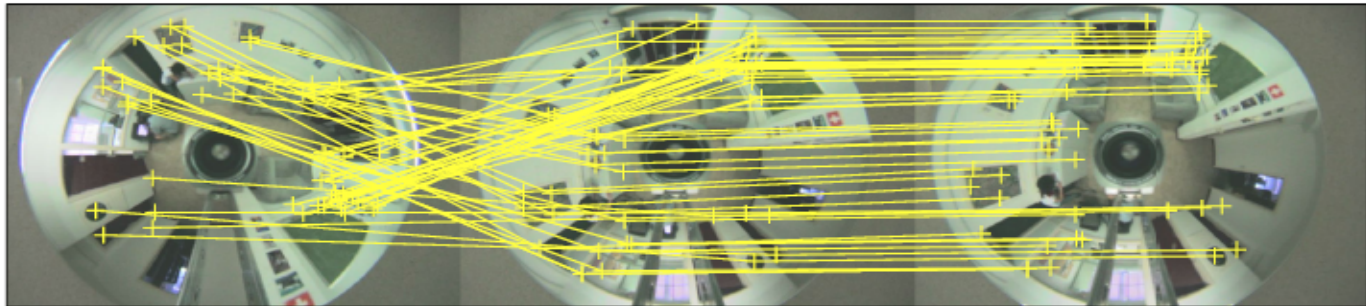
- ♦ Optimización del cálculo mediante imágenes integrales

$$I_{\Sigma}(\mathbf{x}) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(i, j).$$

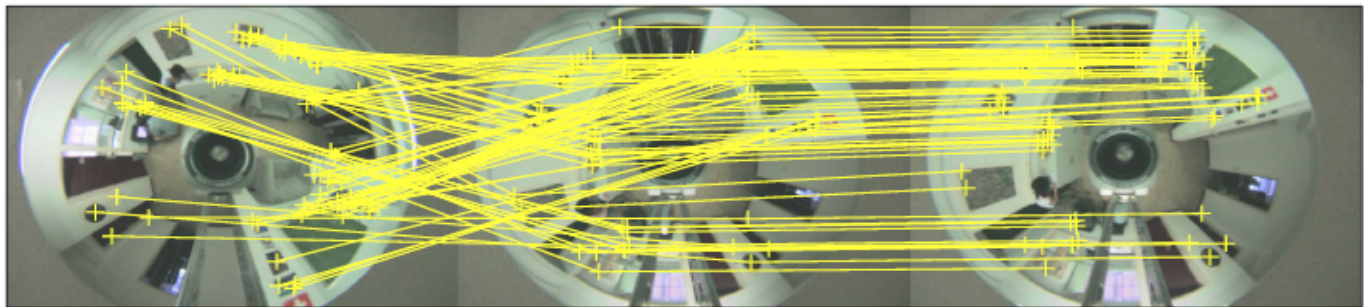
Ejemplo 1



Radial lines. 20 matches after robust estimation (2 wrong).



SURF-64. 55 matches after robust estimation.



SIFT-128. 79 matches after robust estimation.

Control de movimiento

❖ Vehículos No-holónomos

❖ Control automático hacia el objetivo

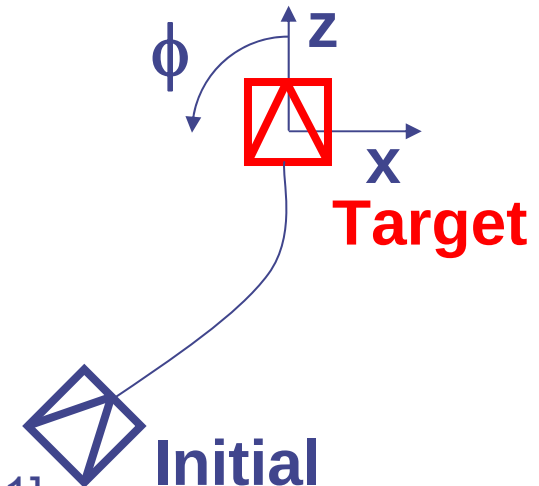
- Definido mediante una imagen en esa posición
- No hay consideraciones de evitación de obstáculos

❖ Una cámara

❖ Basado en posición / **Basado en imagen**

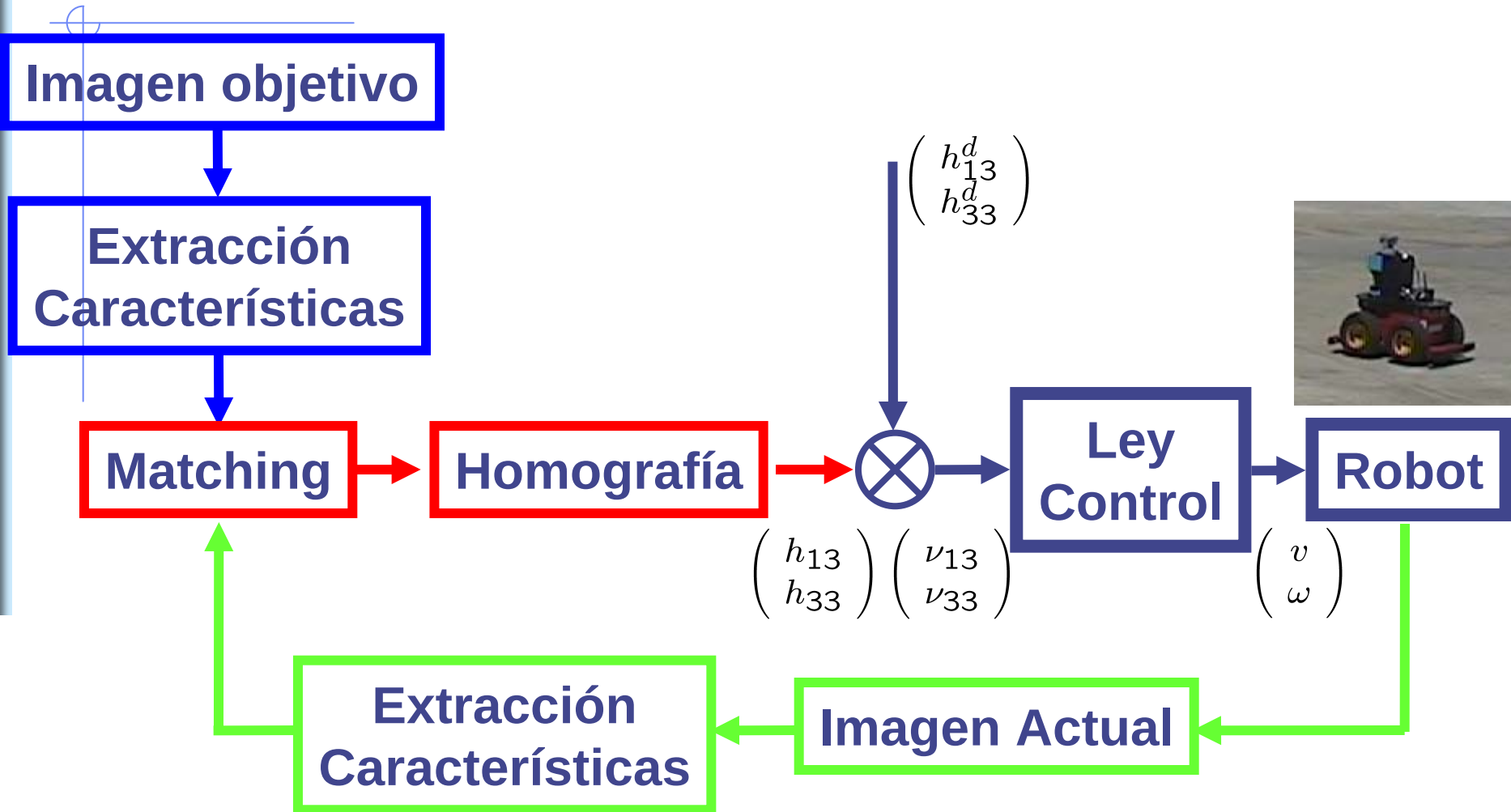
❖ Cálculo de Homografía

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \dot{\phi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -v \sin \phi \\ v \cos \phi \\ \omega \end{pmatrix}$$



[Isidori 95], [Ma 99], [Tsakiris 98], [Benhimane 05], [Corke 01]

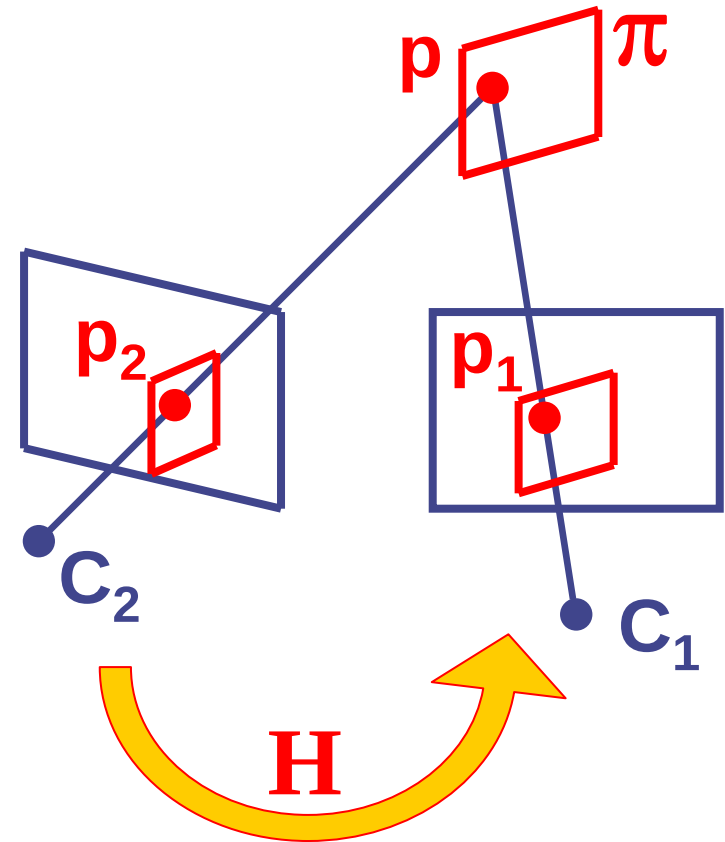
Control de movimiento



Control de movimiento

Homografía

- Dos imágenes relacionadas mediante una homografía
- Homografía viene generada por un plano de la escena
- Calculo a partir de la correspondencia de puntos, líneas, SIFT, SURF.
- Objetivo: $\mathbf{H} = \mathbf{I}$



$$\mathbf{p}_2 = \mathbf{H} \mathbf{p}_1$$

Control de movimiento

◆ Ley de Control

- La homografía está relacionada con el movimiento relativo entre las cámaras

$$\mathbf{H} = \mathbf{K} \left(\mathbf{R} - \mathbf{t} \frac{\mathbf{n}^T}{d} \right) \mathbf{K}^{-1}$$

- Movimiento plano

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ 0 & 1 & 0 \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} h_{11} = \cos \phi + (x \cos \phi + z \sin \phi) \frac{n_x}{d} \\ h_{12} = \frac{\alpha_x}{\alpha_y} (x \cos \phi + z \sin \phi) \frac{n_y}{d} \\ h_{13} = \alpha_x \left(\sin \phi + (x \cos \phi + z \sin \phi) \frac{n_z}{d} \right) \\ h_{31} = \frac{1}{\alpha_x} \left(-\sin \phi + (-x \sin \phi + z \cos \phi) \frac{n_x}{d} \right) \\ h_{32} = \frac{1}{\alpha_y} (-x \sin \phi + z \cos \phi) \frac{n_y}{d} \\ h_{33} = \cos \phi + (-x \sin \phi + z \cos \phi) \frac{n_z}{d} \end{cases}$$

- Relación no lineal de $\mathbf{H}$ con el estado del sistema

$$(x, z, \phi)^T \longleftrightarrow h_{ij}$$

[Benhimane 06], [Malis 00], [Fang 05]

Control de movimiento

Linealización Entrada-Salida

- 2 gdl → Dos elementos de la homografía son suficientes para definir el control
- Modelo en espacio de estado

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \\ \mathbf{y} = h(\mathbf{x}) \end{cases} \quad \text{With: } \begin{cases} \text{State vector: } \mathbf{x} = (x, z, \phi)^T \\ \text{Input vector: } \mathbf{u} = (v, \omega)^T \\ \text{Output vector: } \mathbf{y} = (h_{13}, h_{33})^T \end{cases}$$

- Derivadas de las funciones de salida:

$$\begin{cases} \dot{h}_{13} = \alpha_x h_{33} \omega \\ \dot{h}_{33} = \frac{n_z}{d} v - \frac{h_{13}}{\alpha_x} \omega \end{cases}$$

Control de movimiento

Linealización Entrada-Salida

- Relación lineal del control con la nueva salida

$$\begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} = \mathbf{L}^{-1} \begin{pmatrix} \nu_{13} \\ \nu_{33} \end{pmatrix} \quad \text{With: } \mathbf{L} = \begin{bmatrix} 0 & \alpha_x h_{33} \\ \frac{n_z}{d} & -\frac{h_{13}}{\alpha_x} \end{bmatrix}$$

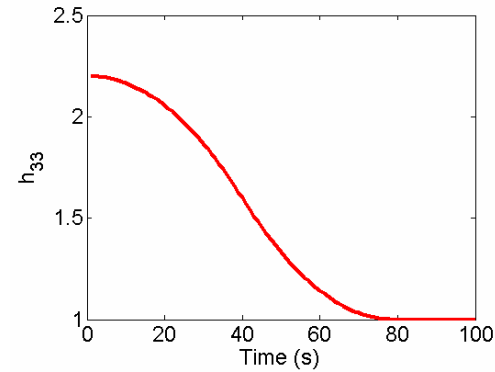
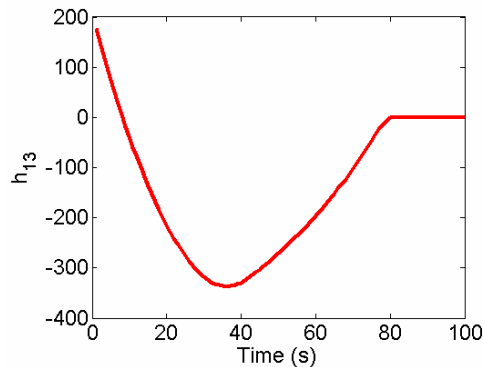
- Seguimiento de las trayectorias deseadas
 - ◆ Dinámica del error exponencialmente estable

$$\begin{pmatrix} \nu_{13} \\ \nu_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{h}_{13}^d - k_{13}(h_{13} - h_{13}^d) \\ \dot{h}_{33}^d - k_{33}(h_{33} - h_{33}^d) \end{pmatrix}$$

Control de movimiento

Linealización Entrada-Salida

➤ Trayectorias deseadas

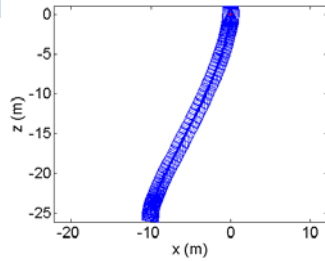


$$0 \leq t \leq T_1 \begin{cases} h_{13}^d(t) = (h_{13}(0) - g_t) \left(\frac{t^2}{T_1^2} - 2\frac{t}{T_1} + 1 \right) + g_t \\ h_{33}^d(t) = \left(\frac{1-h_{33}(0)}{2} \right) \left(\frac{t^2}{T_1^2} + 1 \right) + (3h_{33}(0) - 1)/2 \end{cases}$$

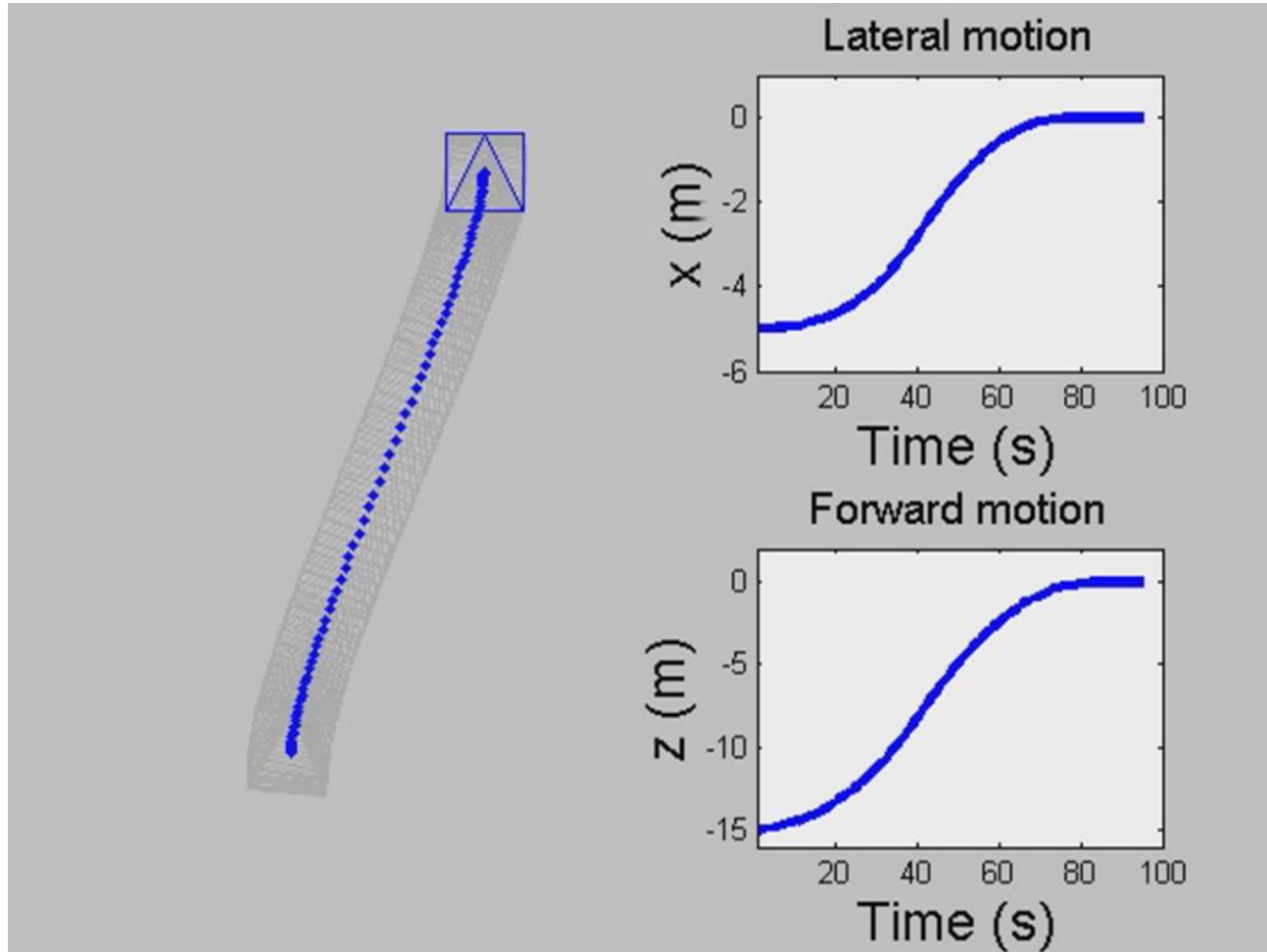
$$T_1 < t \leq T_2 \begin{cases} h_{13}^d(t) = h_{13}(T_1) \frac{\phi_t(t)}{\phi_t(T_1)} \\ h_{33}^d(t) = \left(\frac{h_{33}(0)-1}{2} \right) \left(\frac{(t-T_1)^2}{(T_2-T_1)^2} - 2\frac{t-T_1}{T_2-T_1} + 1 \right) + 1 \end{cases}$$

$$t > T_2 \begin{cases} h_{13}^d(t) = 0 \\ h_{33}^d(t) = 1 \end{cases}$$

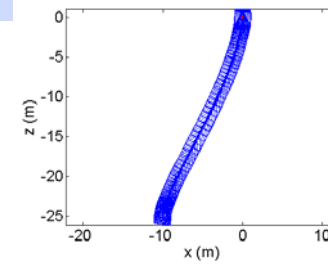
Control de movimiento



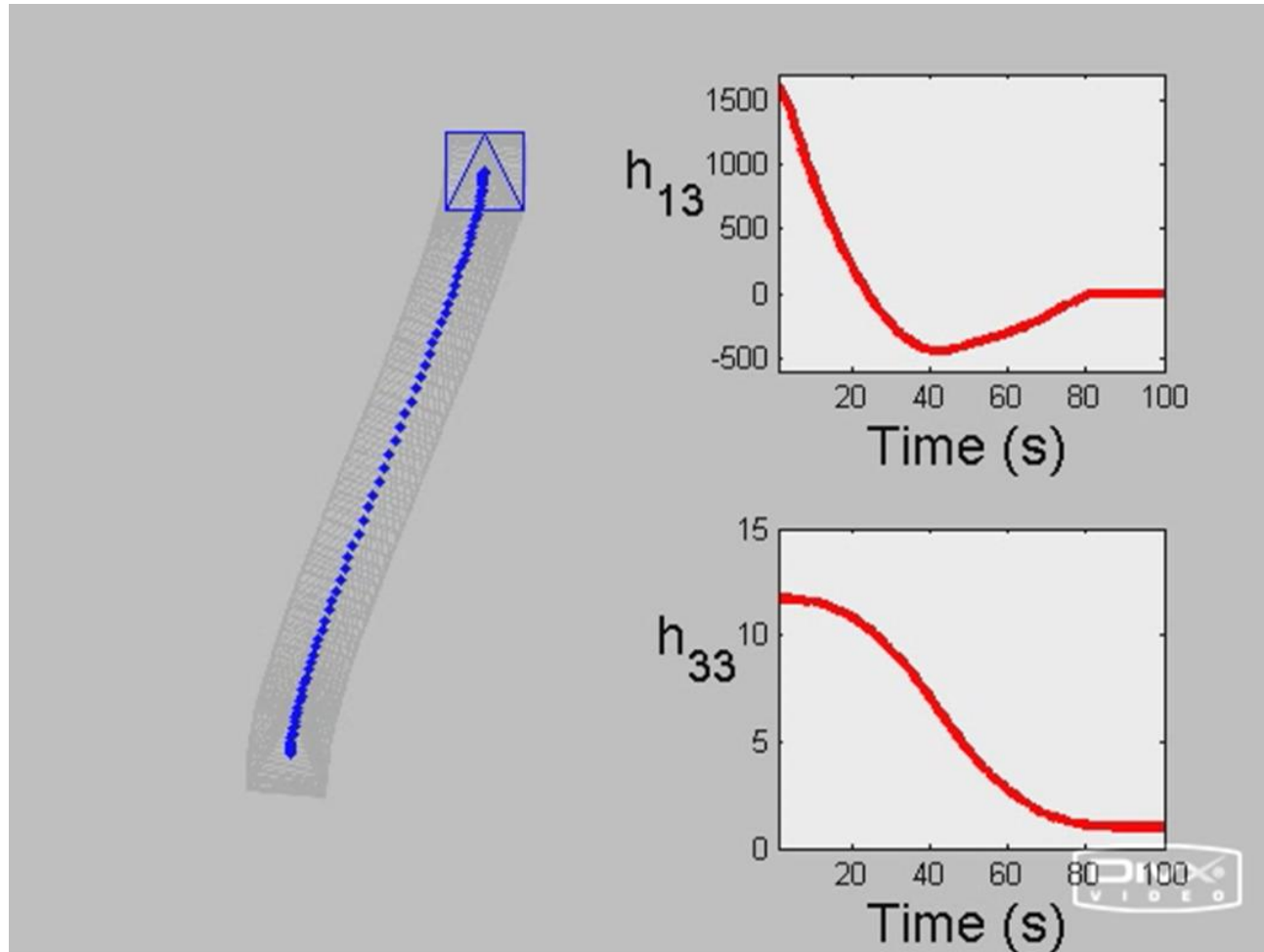
Simulaciones



Control de movimiento

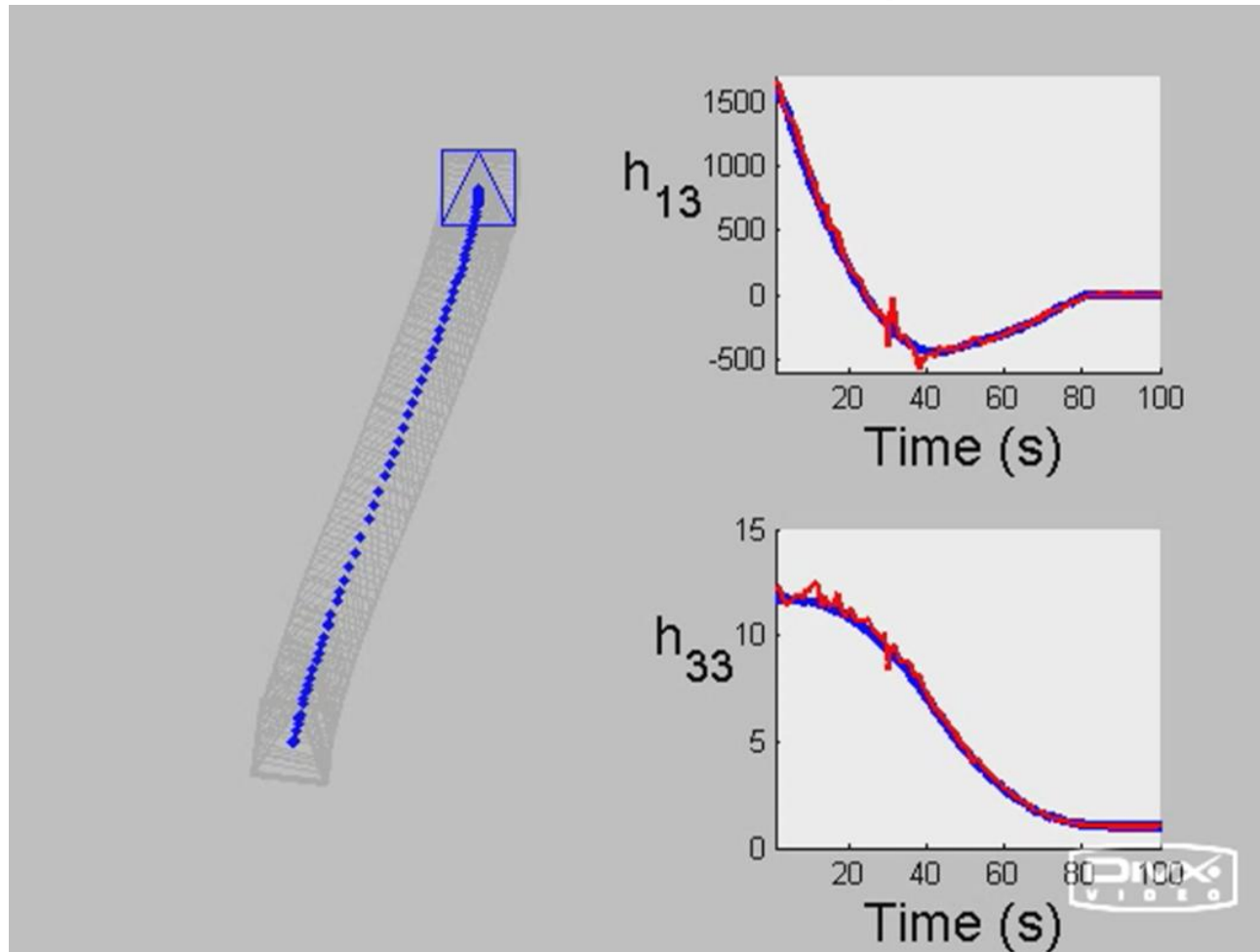


Simulaciones



Control de movimiento

Simulaciones (Ruido en la imagen 1 pixel)

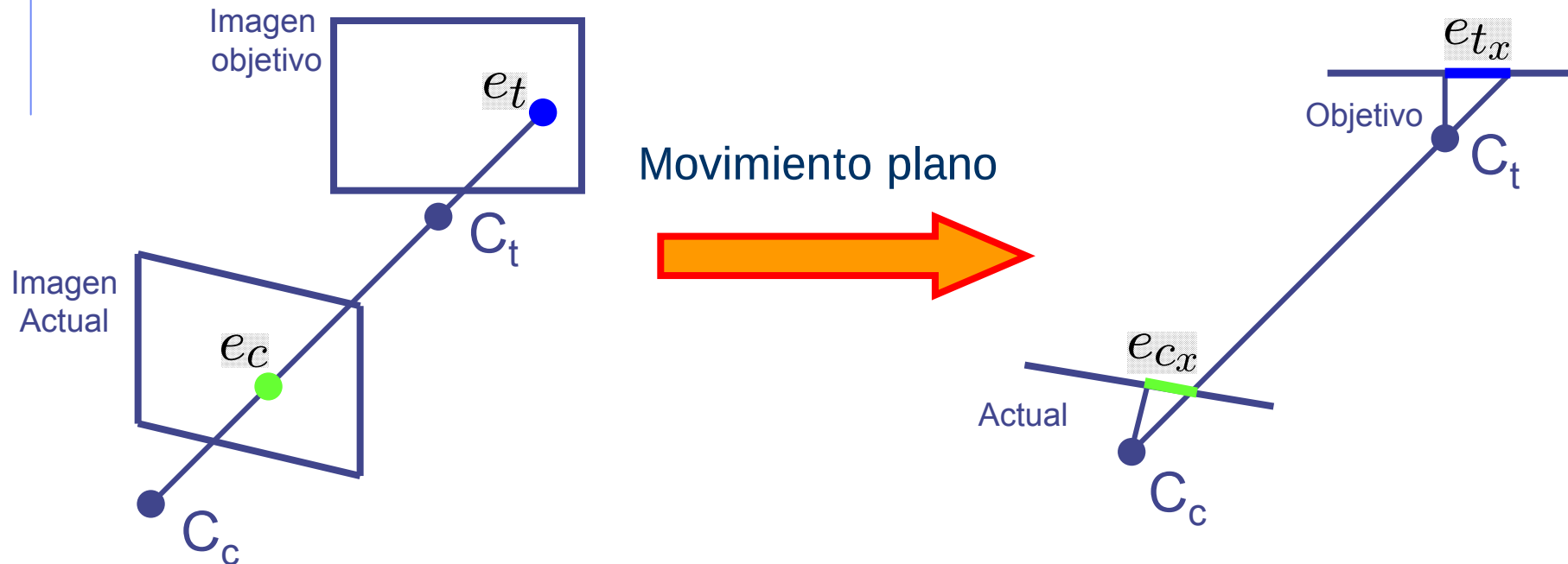


Control de movimiento

Limitaciones de la Homografía

- Escena Plana
- Pequeña “baseline”

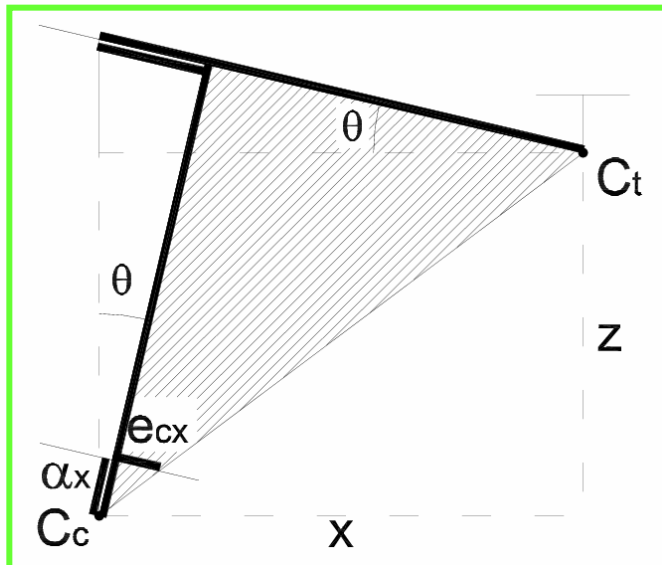
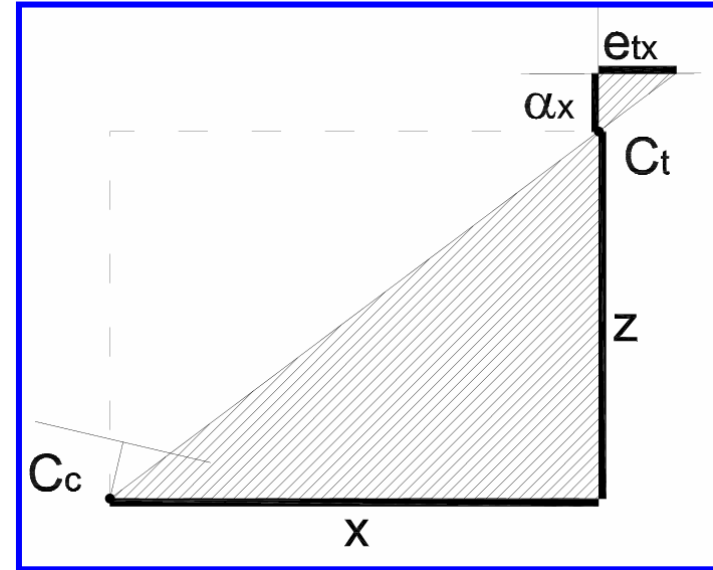
Alternativamente: Epipolos



Control de movimiento

Epipolo Objetivo:

$$e_{tx} = \alpha_x \frac{x}{z}$$



Epipolo Actual:

$$e_{cx} = \alpha_x \frac{x \cos \theta - z \sin \theta}{z \cos \theta + x \sin \theta}$$

Control de movimiento

Linealización de Entrada-Salida

$$\dot{e}_{cx} = -\frac{\alpha_x \cos(\theta + \psi)}{d \sin^2(\theta + \psi)} v - \frac{\alpha_x}{\sin^2(\theta + \psi)} \omega$$

$$\dot{e}_{tx} = -\frac{\alpha_x \cos(\theta + \psi)}{d \sin^2(\psi)} v$$

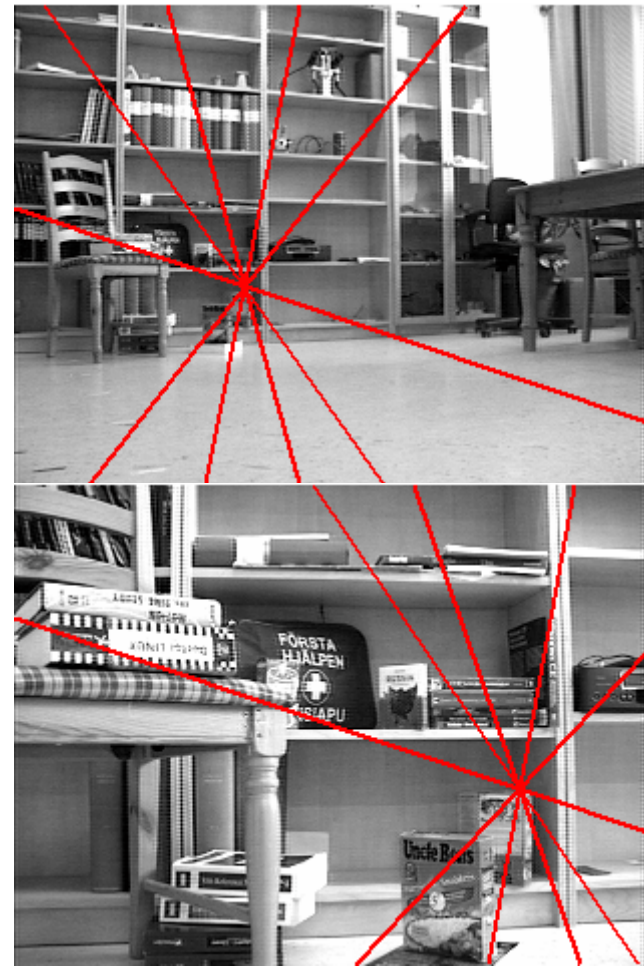
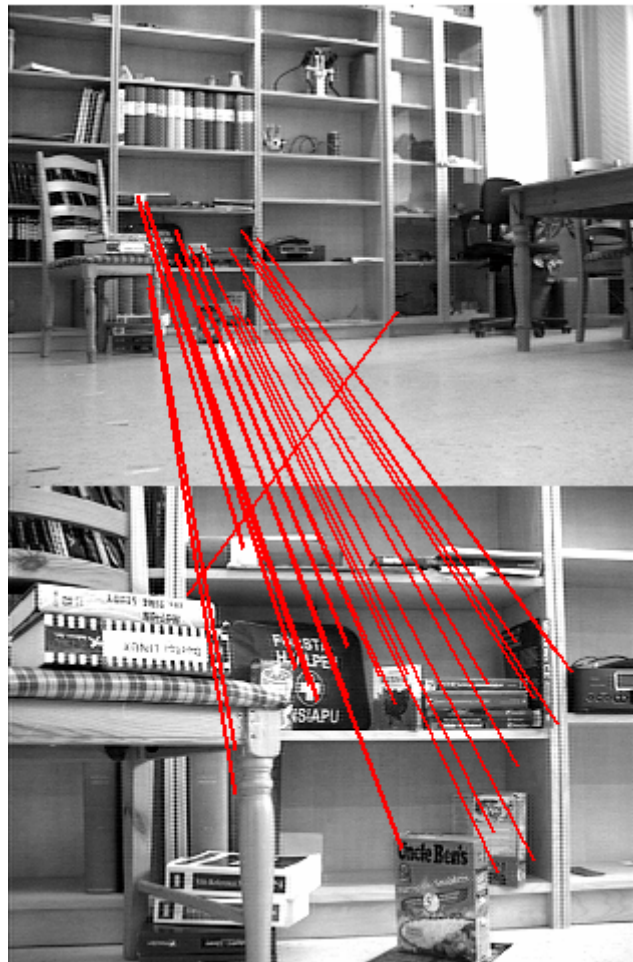
◆ Ley de control: relación lineal del control con las nuevas salidas

$$\begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} = L^{-1} \begin{pmatrix} \nu_c \\ \nu_t \end{pmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} -\frac{\alpha_x \cos(\theta + \psi)}{d \sin^2(\theta + \psi)} & -\frac{\alpha_x}{\sin^2(\theta + \psi)} \\ -\frac{\alpha_x \cos(\theta + \psi)}{d \sin^2(\psi)} & 0 \end{bmatrix}$$

[Mariottini 04]

Control de movimiento

◆ Epipolos - Ejemplo 1



Conclusiones

- ◆ Control de movimiento a partir de características visuales
- ◆ Ley de control basada en los elementos de la Homografía
- ◆ Limitaciones para escenas no planas
- ◆ Epipolos a partir de la Matriz Fundamental
- ◆ Trabajo Futuro
 - Posición inicial cualquiera. Incorporación de maniobras
 - Incorporación de restricciones de campo de vista
 - Obtención de trayectorias óptimas