

VISION DISAM UPM



Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e
Informática Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
Universidad Politécnica de Madrid



Control Visual. Aplicación a Robots Autónomos



*José María Sebastián
Pascual Campoy*

1

CONTROL VISUAL. APLICACIÓN A ROBOTS AUTÓNOMOS

VISION DISAM UPM

Índice

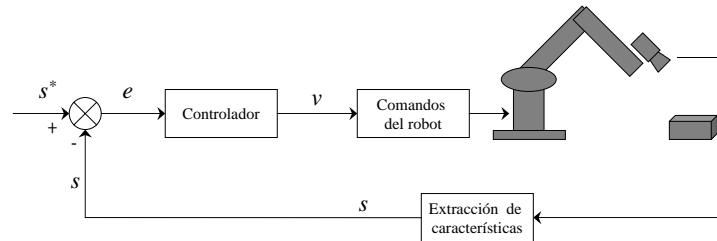
- /// Introducción. Conceptos básicos
- /// Sistema Robotenis
- /// Colibrí: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección
- /// Otras aplicaciones

1 Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 2



Introducción

/// **Control Visual: Utilización de la información visual para el control de un sistema**



Índice

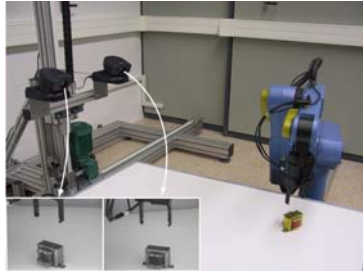
- /// Introducción. Conceptos básicos
 - /// Estrategias de adquisición de imágenes
 - /// Estrategias de interpretación de imágenes
 - /// Ley de control
 - /// Estrategias de control
- /// Sistema Robotenis
- /// Colibrí: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección
- /// Otras aplicaciones



Estrategias de adquisición de imágenes

// Cámaras (una o más) externa al robot

- /// No existe una relación mecánica entre la cámara y el robot controlado.
- /// Es conocida la relación entre los sistemas de la cámara y del robot.
- /// El sistema de visión capta información del robot y del entorno de trabajo.
- /// Necesidad de amplio campo visual
- /// Sensibilidad ante los errores de calibración.
- /// Posibilidad de oclusiones de la escena



Laboratorio AUROVA. Universidad Alicante



Estrategias de adquisición de imágenes

// Cámara en el extremo del robot

- /// La cámara se encuentra solidaria al extremo del robot.
- /// La relación entre la localización de la cámara y la del extremo del robot es conocida y constante.
- /// El sistema de visión capta información del entorno de trabajo (opcionalmente también de parte de la pinza).
- /// Sistema en bucle abierto EOL:
La cámara solo observa el objeto
- /// Sistema en bucle cerrado ECL: La cámara observa el objeto y el robot
- /// Incremento resolución
- /// Menor oclusiones
- /// Adquisición en movimiento



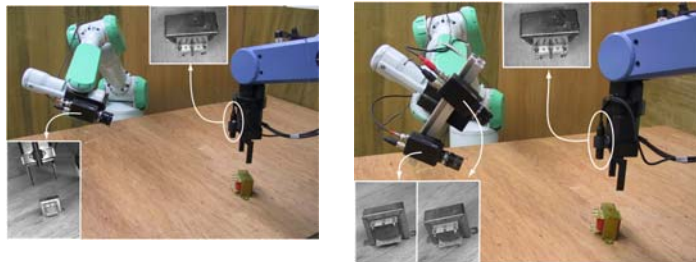
Laboratorio AUROVA. Universidad Alicante



Estrategias de adquisición de imágenes

/// Sistema mixto: Externa y en el extremo

- /// Para una mejor reconstrucción se pueden combinar las arquitecturas de cámara en el extremo del robot y cámara fija



Laboratorio AUROVA. Universidad Alicante

I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 7



Estrategias de adquisición de imágenes

/// Cámara No Calibrada

- /// No se conocen los parámetros intrínsecos
- /// Los parámetros intrínsecos varían en la ejecución de la tarea
- /// Se conoce la calibración proyectiva (matriz fundamental, restricción epipolar)

/// Calibración sistema

- /// Cinemática directa (articular \Rightarrow extremo robot)
- /// Calibración cámara (mundo \Rightarrow cámara)
- /// Calibración cinemática
 - /// Cámara extremo robot (extremo robot \Rightarrow cámara)
 - /// Cámara fija entorno (base robot \Rightarrow cámara)

I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 8



Estrategias de interpretación de imágenes

// Basados en posición (PBVS-3D).

- Los objetivos del control se definen en el espacio cartesiano: posición, orientación, velocidades de translación y rotación

// Basada en imagen (IBVS-2D)

- Los objetivo del control se definen en el espacio de la imagen: puntos, segmentos, ...

// Híbrido: Basada en posición y en imagen (2D^{1/2})

- Mezcla posición e imagen

// Particionada

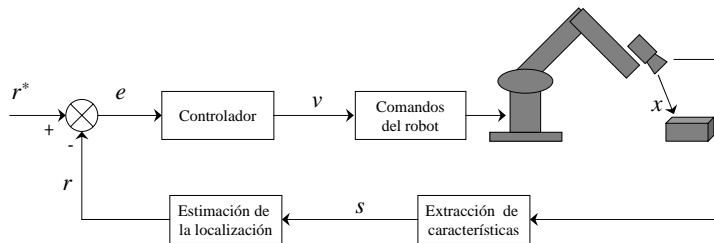
- Busca desacoplar variables

// Basada en modelos



Estrategias de interpretación de imágenes

// Basado en posición (PBVS-3D): Relaciona la velocidad con el error en la posición



Video





Estrategias de interpretación de imágenes

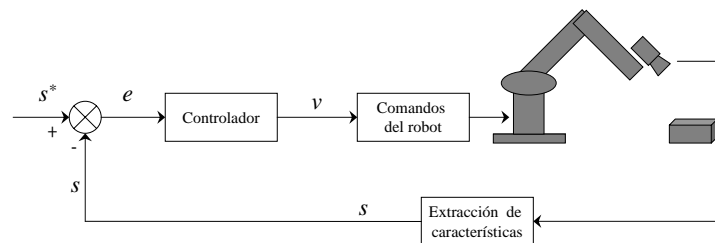
// Basados en posición (PBVS-3D)

- /// A partir de la información visual se estima la localización del objeto a alcanzar
- /// Se requiere información adicional: p.ej. modelo del espacio de trabajo, modelo geométrico del objeto
- /// Trabaja en el espacio cartesiano, referencia localización deseada
- /// Control desacoplado
- /// No se produce singularidades
- /// Se puede fijar la trayectoria de la cámara
- /// No se realiza un control en la imagen
- /// Sensible a los errores de calibración y estimación de la posición
- /// Estabilidad global asintótica



Estrategias de interpretación de imágenes

// Basado en imagen (IBVS-2D): Relaciona la velocidad con el error en las características



Video





Estrategias de interpretación de imágenes

Basados en imagen (IBVS-2D)

- /// La información visual es utilizada directamente para estimar el movimiento del robot.
- /// No requiere "interpretar" la imagen.
- /// Se necesita poco conocimiento previo
- /// Robusto a los errores de calibración y adquisición
- /// Precisión en la ejecución de la tarea (diferencia entre las características actuales y las deseadas)
- /// Diseño del controlador más complejo
- /// Posibles problemas de singularidades
- /// No estima la trayectoria de la cámara
- /// Estabilidad local asintótica



Estrategias de interpretación de imágenes

Basados en imagen (IBVS-2D)

- /// Se definen características visuales: Puntos
- /// Posición cartesiana $\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_p]^T$
- /// Posición articular $\mathbf{q} = [q_1 \ q_2 \ \dots \ q_n]^T$
- /// Jacobiano del robot (posición articular, extremo del robot) $\dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J}_{rq} \dot{\mathbf{q}}$
- /// Características de la imagen $\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_m]^T$
- /// Jacobiano de la imagen (posición articular, coordenadas de la cámara) $\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}_{sr} \dot{\mathbf{r}}$
- /// Visual-Motor Jacobiano $\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}_{sq} \dot{\mathbf{q}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial s_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_1}{\partial q_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial s_m}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial s_m}{\partial q_n} \end{bmatrix} \dot{\mathbf{q}} ; \text{ con } \mathbf{J}_{sq} = \mathbf{J}_{sr} \mathbf{J}_{rq} = \mathbf{J}$



Estrategias de interpretación de imágenes

Basados en imagen (IBVS-2D)

/// Posición cartesiana $\mathbf{r} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_p]^T = [x \ y \ z]^T$

/// Características de la imagen $\mathbf{s} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_m]^T = [u \ v]^T$

/// Movimiento de un punto en el espacio

$$\dot{\mathbf{r}}^T = [\mathbf{T} \ \mathbf{w}]^T = [T_x \ T_y \ T_z \ w_x \ w_y \ w_z]^T$$

/// Jacobiano de la imagen $\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}_{sr} \dot{\mathbf{r}}$

$$\begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/z & 0 & -u/z & -uv/f & (f^2 + u^2)/f & -v \\ 0 & f/z & -v/z & -(f^2 + u^2)/f & uv/f & u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{T} \\ \mathbf{w} \end{bmatrix}$$



Estrategias de interpretación de imágenes

Basados en imagen (IBVS-2D). Jacobianos:

- /// Puntos
- /// Segmentos
- /// Líneas
- ///
- /// Cónicas
- /// Áreas
- /// Momentos

Cálculo del Jacobiano

- /// Cálculo analítico. Implica conocer calibración cámara y cinemática
- /// Estimación del Jacobiano on-line





Estrategias de interpretación de imágenes

Basados en imagen y posición (2D½)

// Opción A $s = \begin{bmatrix} u \\ v \\ \log Z \\ \theta a_x \\ \theta a_y \\ \theta a_z \end{bmatrix} = \begin{matrix} \text{Coordenada de la imagen} \\ \text{Coordenada de la imagen} \\ \text{Profundidad relativa} \\ \text{Rotación} \\ \text{Rotación} \\ \text{Rotación} \end{matrix}$

// Opción B $s = \begin{bmatrix} u \\ v \\ \theta \\ t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{matrix} \text{Coordenada de la imagen} \\ \text{Coordenada de la imagen} \\ \text{Orientación} \\ \text{Traslación} \\ \text{Traslación} \\ \text{Traslación} \end{matrix} \quad o \quad \begin{bmatrix} u \\ v \\ \theta a_z \\ t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$



Estrategias de interpretación de imágenes

Basados en posición y en imagen (2D½)

- // Se estima parte de la posición y las características visuales más significativas
- // Solución intermedio. Comparte las ventajas y los inconvenientes de ambas
- // Se necesita poco conocimiento previo
- // Robusto a los errores de calibración y adquisición
- // Control en la imagen y en el espacio 3D
- // Precisión en la ejecución de la tarea
- // Calculo geométrico más complejo

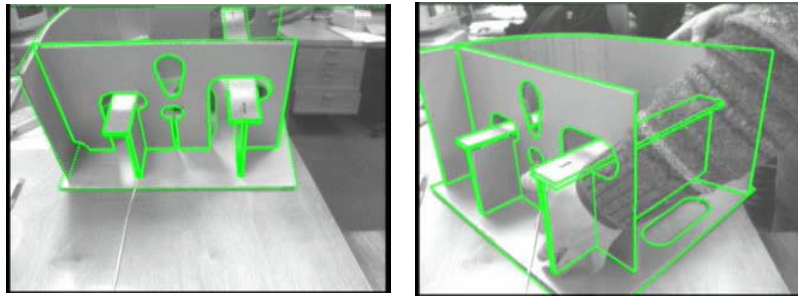


Estrategias de interpretación de imágenes

// Particionada

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{s}} &= \mathbf{J} \mathbf{V} = \mathbf{J} \begin{bmatrix} T_x & T_y & T_z & w_x & w_y & w_z \end{bmatrix}^T = \\ &= \mathbf{J}_{xy} \begin{bmatrix} T_x & T_y & w_x & w_y \end{bmatrix}^T + \mathbf{J}_z \begin{bmatrix} T_z & w_z \end{bmatrix}^T = \dot{\mathbf{s}}_{xy} + \dot{\mathbf{s}}_z \end{aligned}$$

// Basada en modelos



F. Martin and R. Horaud. INRIA Rhône-Alpes

I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 19



Ley de Control

// \mathbf{s} :

// Características visuales (IBVS-2D)

// Posición y orientación (PBVS-3D)

// **Error:** $\mathbf{e} = \mathbf{s} - \mathbf{s}^*$ con $\mathbf{s}^* = cte$

// **Jacobiano de la imagen** $\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{J}_{sr} \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J} \dot{\mathbf{r}} = \mathbf{J} \mathbf{V} = \mathbf{J} \begin{bmatrix} \mathbf{T} \\ \mathbf{w} \end{bmatrix}$

// **Se cumple:** $\dot{\mathbf{e}} = \mathbf{J} \mathbf{V}$ con $\mathbf{J} \in R^{m \times 6}$ (IBVS)

// **Para asegurar que el error decrezca** $\dot{\mathbf{e}} = -\lambda \mathbf{e}$

// **Una opción:** $\mathbf{V} = -\lambda \mathbf{J}^+ \mathbf{e}$ con $\lambda > 0$, $\mathbf{J}^+ = (\mathbf{J}^T \mathbf{J})^{-1} \mathbf{J}^T$

// **Como no se conoce exactamente el jacobiano, se estima** $\mathbf{V} = -\lambda \hat{\mathbf{J}}^+ \mathbf{e}$

I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 20



Ley de control. Estabilidad

/// **Función candidata de Lyapunov:** $\mathcal{L} = \|\mathbf{e}\|^2 / 2$

/// **Derivada** $\dot{\mathcal{L}} = \mathbf{e}^T \dot{\mathbf{e}} = -\lambda \mathbf{e}^T \mathbf{J} \hat{\mathbf{J}}^+ \mathbf{e}$

/// **La estabilidad global asintótica está asegurada si:** $\mathbf{J} \hat{\mathbf{J}}^+ > 0$

/// **IBVS:** $\mathbf{J} \in \mathbb{R}^{m \times 6} \Rightarrow \mathbf{J}^+ \in \mathbb{R}^{6 \times m}$

/// **Si $m > 6$, puede existir** $\hat{\mathbf{J}}^+ \mathbf{e} = 0 \Rightarrow$ con $\mathbf{e} \neq 0$

- /// No se puede garantizar la estabilidad global
- /// Tan solo la estabilidad local, pues se puede caer en un mínimo local
- /// Dependerá de la calidad de la estimación



Ley de control. Estabilidad

/// **Función candidata de Lyapunov:** $\mathcal{L} = \|\mathbf{e}\|^2 / 2$

/// **Derivada** $\dot{\mathcal{L}} = \mathbf{e}^T \dot{\mathbf{e}} = -\lambda \mathbf{e}^T \mathbf{J} \hat{\mathbf{J}}^+ \mathbf{e}$

/// **La estabilidad global asintótica está asegurada si:** $\mathbf{J} \hat{\mathbf{J}}^+ > 0$

/// **PBVS:** $\mathbf{J} \in \mathbb{R}^{6 \times 6} \Rightarrow \mathbf{J}^+ \in \mathbb{R}^{6 \times 6}$

- /// Se puede garantizar la estabilidad global
- /// Dependerá de la calidad de la estimación





Ley de control. Seguimiento de objetos

/// **Error:** $e = s - s^*$ con $s^* \neq cte$

/// **Jacobiano de la imagen** $\dot{s} = J_{sr} \dot{r} = J \dot{r} = J V = J \begin{bmatrix} T \\ w \end{bmatrix}$

/// **Se cumple:** $\dot{e} = J V + \frac{\partial e}{\partial t}$

/// **Para asegurar que el error decrezca** $\dot{e} = -\lambda e$

/// **Una opción:** $V = -\lambda J^+ e - J^+ \frac{\partial e}{\partial t}$ con $\lambda > 0$

/// **Como no se conoce exactamente el jacobiano**

$$V = -\lambda \hat{J}^+ e - \hat{J}^+ \frac{\partial \hat{e}}{\partial t}$$

/// **Sustituyendo:** $V = -\lambda J \hat{J}^+ e - J \hat{J}^+ \frac{\partial \hat{e}}{\partial t} + \frac{\partial e}{\partial t}$

/// **Si $J \hat{J}^+ > 0$ el error decrece si $J \hat{J}^+ \frac{\partial \hat{e}}{\partial t} = \frac{\partial e}{\partial t}$**

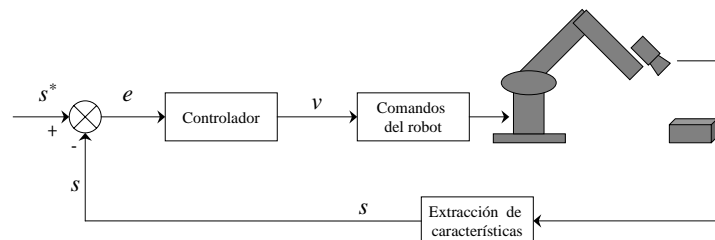


Estrategias de control

/// Control visual directo

/// Desaparición del bucle interno.

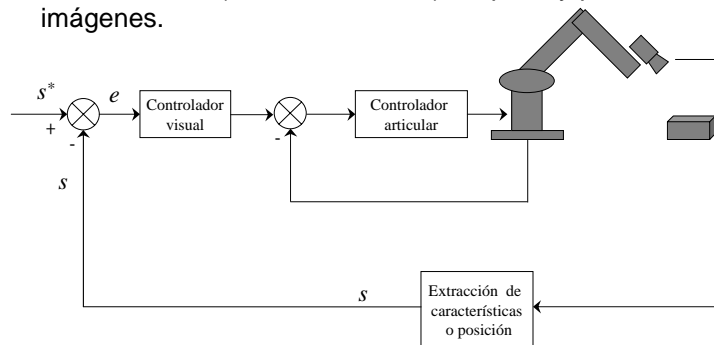
/// Se realiza el procesamiento de la imagen a frecuencia muy elevada



Estrategias de control

“Ver y mover” dinámico

- El robot puede estar en movimiento mientras se realiza la captura de imágenes. Las nuevas adquisiciones varían las consignas
- Bucle interno (frecuencia elevada): Control de los servomotores.
- Bucle externo (frecuencia menor): Captura y procesamiento de imágenes.



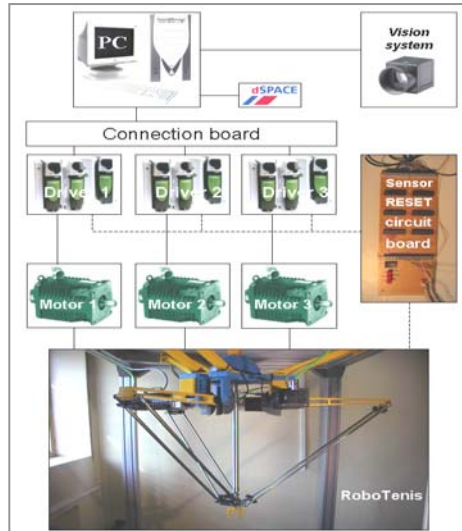
Índice

- Introducción. Conceptos básicos
- Sistema Robotenis
 - Descripción del sistema
 - Estrategia de control visual
 - Resultados
- Colibrí: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección
- Otras aplicaciones



Descripción del sistema Robotenis

- ▶ **Objetivo:** Construir un robot paralelo abierto, apto para el desarrollo de estrategias de control visual en entornos dinámicos. Seguir y golpear una pelota.
- ▶ **Elementos:**
 - ▶ Estructura mecánica
 - ▶ Motores y drivers
 - ▶ Sistema de visión
 - ▶ Hardware de control (dSPACE)



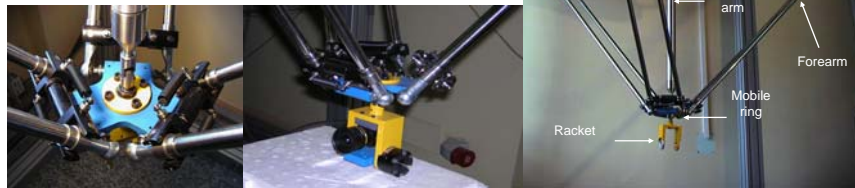
I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 27



Descripción del sistema Robotenis

Estructura mecánica

- ▶ Robot paralelo
- ▶ Dos plataformas (una fija y una móvil)
- ▶ Tres cadenas cinemáticas cerradas y eje de rotación
- ▶ Motores sobre la plataforma fija
- ▶ Raqueta y sistema de visión sobre la plataforma móvil



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 28



Descripción del sistema Robotenis

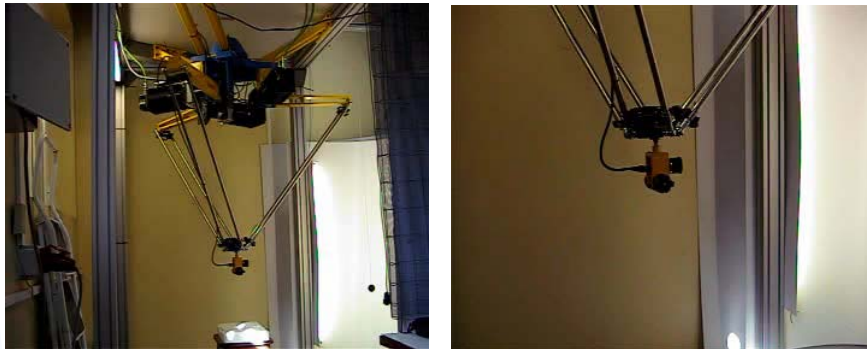
Sistema de visión

- ▲ 1 cámara sobre el efector final
- ▲ Modelo: XC HR50 (Sony). Alta velocidad (60/120/240 fps – 16/8/4 ms) y escaneado progresivo. Peso: 50 gr.
- ▲ Modo BINING (120 fps)
- ▲ METEOR 2 MC/4 (Matrox), con doble buffering.
- ▲ Determinación del centro de gravedad y del diámetro de la pelota
- ▲ Estimación de la posición y de la velocidad mediante el filtro de Kalman



Descripción del sistema Robotenis

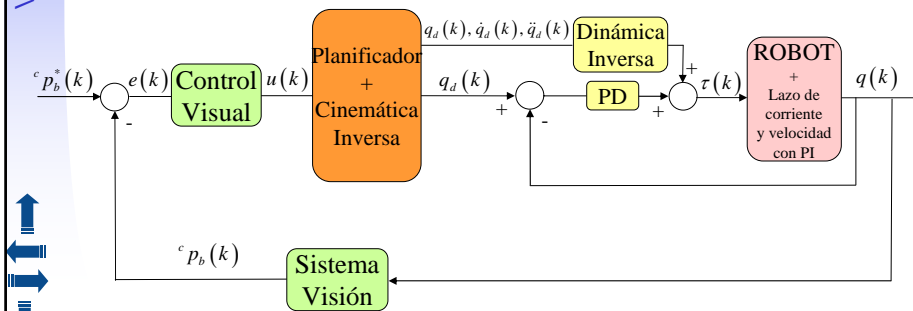
Demostración del movimiento



2700 mm/s

Estrategia de control visual

- ▲ Sistema robótico abierto con cámara en el extremo del robot
- ▲ Control visual Mirar y mover dinámico basado en posición
 - ▲ Bucle interno articular, 0.5 milisegundos
 - ▲ Bucle externo visual, 8.33 milisegundos



Estrategia de control visual

Seguimiento tridimensional de la pelota

- ◆ Función objetivo: Mantener la posición relativa de la pelota con respecto a la cámara en un valor constante
- ◆ Sistema de visión encuentra la posición espacial de la pelota

Consideraciones previas

- ▲ Elevados requisitos temporales
 - ▲ Robot: alta velocidad
 - ▲ Sistema de visión: Adquirir y procesar información en poco tiempo
 - ▲ Control: permitir el seguimiento eficiente de la pelota
- ▲ Alta incertidumbre en los datos suministrados por el sistema de visión
 - ▲ Un bajo periodo de muestreo magnifica los errores en la estimación de la velocidad de la pelota
 - ▲ Error estimación de 0.25 píxeles (8 mm en profundidad) → Variación en la velocidad de 1000 mm/s → Variación en la aceleración de 12g
- ▲ Continuidad de la velocidad del robot
- ▲ Retrasos y saturaciones

Estrategia de control visual

Ley de control implementada:

- ▲ Predictiva

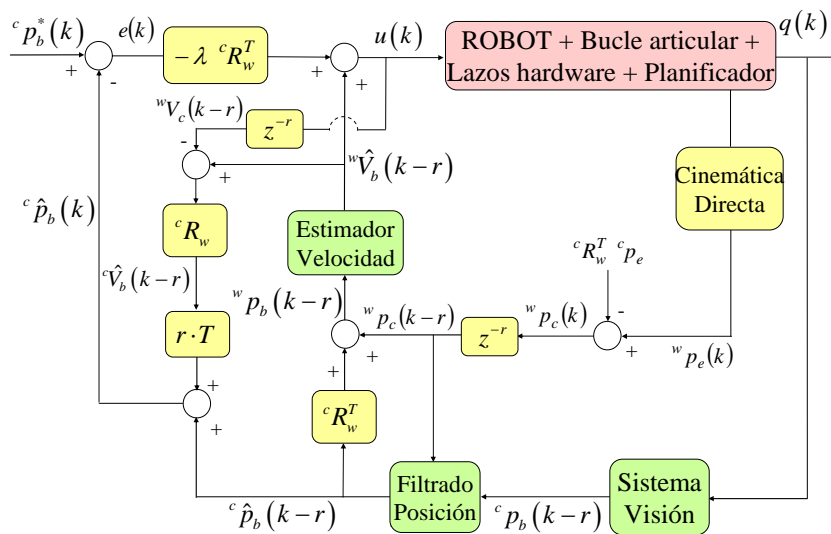
$$u(k) = {}^w\hat{v}_b(k) - \lambda {}^cR_w^T [{}^c p_b^* - {}^c\hat{p}_b(k)]$$

- ▲ Ajuste del parámetro λ

$$\lambda = \frac{1}{Tn} \quad \text{con } n \text{ número de muestras para lograr objetivo}$$

- ▲ Sistema multivariable

Estrategia de control visual





Resultados

- /// Seguimiento pelota en el extremo de una varilla
- /// Velocidad 1000 mm/sg
- /// Objetivo: Mantener a 600 mm de la pinza del robot



Índice

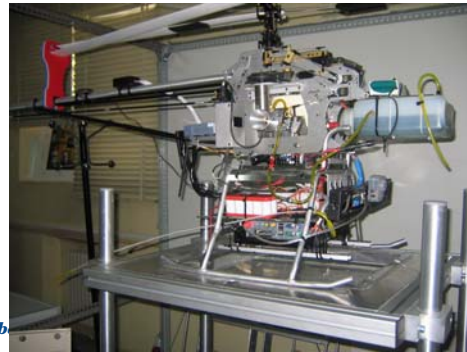
- /// Introducción. Conceptos básicos
- /// Sistema Robotenis
- /// Colibrí: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección
- /// Otras aplicaciones



COLIBRÍ:

Sistema aéreo para la seguridad y la inspección

- Eleva, Colibrí I, Colibrí II, Colibrí III
- Aplicaciones de vuelo autónomo:
 - Inspección de estructuras hechas por el hombre
 - Seguridad y rescate
 - Agricultura
- Control visual para la navegación (2D+GPS)
- Sistema de visión para la inspección



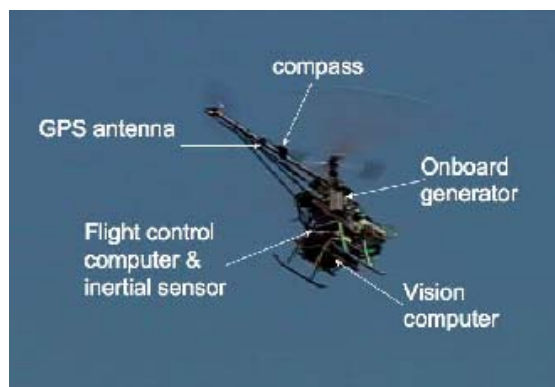
I Workshop Español de Rob



COLIBRÍ: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección

Componentes

- GPS
- Compass
- Medidas inerciales
- Giróscopo
- Dos CPUs (PC104+)
- Dos cámaras
- Servo posicionadores para las cámaras

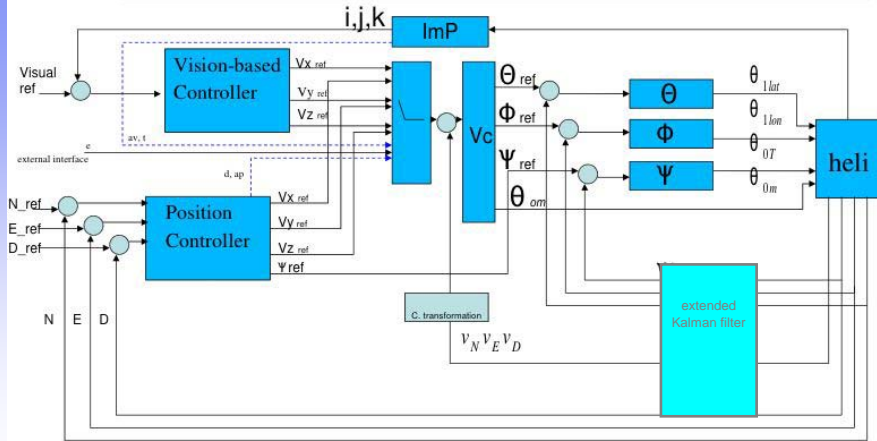


I Workshop Espa

septiembre, Zaragoza 38



COLIBRÍ: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección



- PID independientes
- Estimación mediante el filtro de Kalman estendido
- Switch Posición / Visión



COLIBRÍ: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección

- /// Seguimiento visual de una ventana del edificio. Intenta mantenerlo en el centro de la imagen
- /// Basado en características (Lucas-Kanade)
- /// Control 2D



Cámara a bordo

Vista general



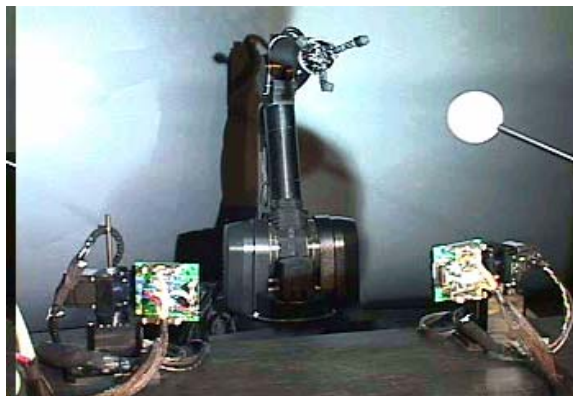
Índice

- /// Introducción. Conceptos básicos
- /// Sistema Robotenis
- /// Colibrí: Sistema aéreo para la seguridad y la inspección
- /// Otras aplicaciones
 - /// Tokyo University. Ishikawa Namiki Laboratory
 - /// University Bremen. Institute of Robotics and Mechatronics
 - /// Robonaut (NASA, DARPA)
 - /// KHR-2: Korea Advanced Institute of Science and Technology (South Korea)
 - /// HRP-2
 - /// Kambara: Australian National University. Robot Systems Laboratory
 - /// Aerospace Control Laboratory (MIT)



Tokyo University. Ishikawa Namiki Laboratory

- /// Agarre de objetos a alta velocidad (2001.2003)



- Sistema CPV I, Dos cámaras, Tres dedos, 1msg



Tokyo University. Ishikawa Namiki Laboratory

/// Agarre de objetos a alta velocidad (2003)



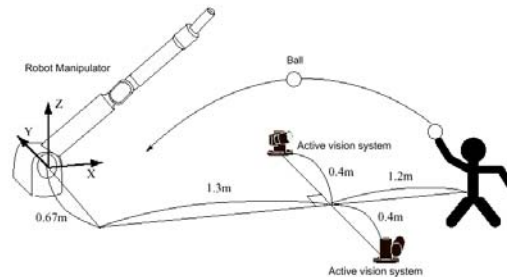
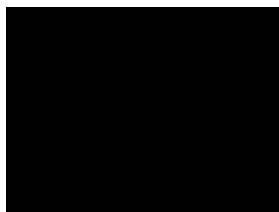
- Sistema CPV II , Una cámara, Cuatro dedos, 1msg



Tokyo University. Ishikawa Namiki Laboratory

/// Seguimiento e impacto de objetos a alta velocidad

- Manipulador 4 ejes (Barret Technology Inc.)
- Velocidad y aceleración del extremo: 6 m/s , 58 m/s²
- Sistemas CPV II con dos cámaras. Tiempo 1 msg
- Velocidad objeto 6 8m/s





Tokyo University. Ishikawa Namiki Laboratory

- /// Seguimiento e impacto de objetos a alta velocidad



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 45



**University Bremen
Institute of Robotics and Mechatronics (Alemania)**

- /// Robot cogiendo una pelota
- /// Imágenes capturadas por cada cámara

Video

Video

I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 46



Robonaut NASA, DARPA

Sistema de visión:

- Par estéreo
- Laplaciana Gaussiana
- Correlación de zonas



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 47



Korea Advanced Institute of Science and Technology (South Korea)

/// KHR-2. Robot bípedo (2005)

- 120 cm de altura y 54 Kg. de peso
- 1.0 Km./h.
- 41 articulaciones. 6 en la cabeza, 8 en el cuerpo, 14 en los brazos, 1 en el cuerpo, 12 en las piernas.
- 2 cámaras, a 15fps
- Movimiento pan y tilt, tanto en las cámaras como en el cuello



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 48



Korea Advanced Institute of Science and Technology (South Korea)

/// KHR-2. Robot bípedo (2005)



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 49



Carnegie Mellon University (Pittsburgh) Digital Human Research Center (Tokyo)

/// HRP-2. Robot bípedo (2006)

- /// Cabeza: Par estéreo.
- /// Prueba con una sola cámara: homografía suelo-cámara. Segmentación color YUV
- /// Movimiento: Entorno 8 cámaras a 240Hz
- /// SEM Swiss Ranger SR-2 (tiempo de vuelo), CMOS 124x160)

Using Real-Time Motion Capture for Humanoid Planning and Algorithm Visualization

Joel Chestnutt, Philipp Michel, Koichi Nishiwaki,
Mike Stilman, Satoshi Kagami, James Kuffner



I Worksho

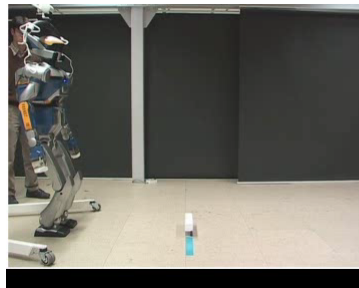
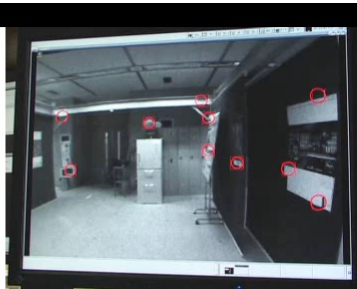


- **JRL, AIST-CNRS, ISRI, Tsukuba, Japon**
- **University of Bruxelles, Bélgica**
- **Imperial College of London, Inglaterra**
- **IRISA-INRIA, Franc**
- **JRL, CNRS-AIST, LAAS, Francia**

- /// HRP-2. Robot bípedo (2007)
 - /// Par estéreo.
 - /// Control Visual. Dos bucles: Interno a 200 Hz, visión a 30Hz.
 - /// SLAM



Integrating vision and walking to increase humanoid autonomy



O. Stasse ⁽¹⁾ B. Verrelst ⁽²⁾
 A. Davison ⁽³⁾ N. Mansard ⁽⁴⁾
 C. Esteves ⁽¹⁾ F. Sardi ⁽¹⁾
 B. Vanderborght ⁽²⁾
 K. Yokoi ⁽¹⁾

1 - JRL, CNRS-AIST, Tsukuba, Japan & Toulouse France
 2 - University of Bruxelles, Belgium
 3 - Imperial College of London, United Kingdom
 4 - IRISA, INRIA, Rennes France

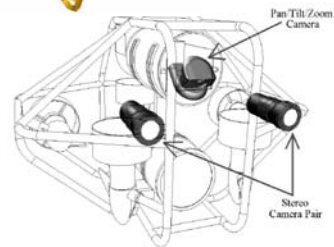


KAMBARA *Australian National University.
Roboty Systems Laboratory*

Robot para inspeccionar el fondo marino

Equipo de visión:

- Par estéreo TMC 7M de Pulnix. 2.8 mm y 86 grados que se transforma debajo del mar en 3.9 mm y 75 grados
- EV 20, zoom, pan, tilt
- PXC200 Imagenation



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2



KAMBARA *Australian National University.
Roboty Systems Laboratory*

Movimiento alrededor de un objeto fijo, ante perturbación

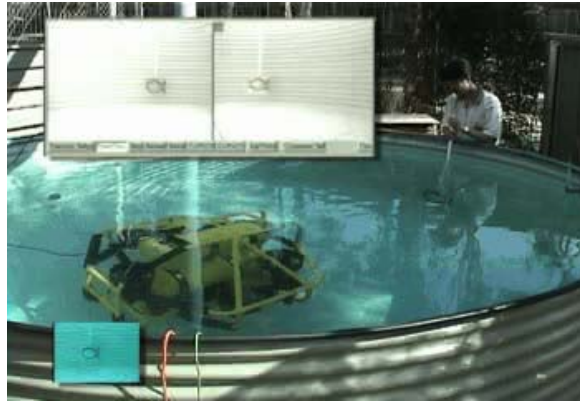


I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 54



KAMBARA *Australian National University.
Robot Systems Laboratory*

Control Visual de un Objeto Movil



I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 55



Aerospace Control Laboratory (MIT)

Video

I Workshop Español de Robótica, ROBOT 2007, 12-14 septiembre, Zaragoza 56