

Control visual de sistemas robóticos remotos

Rafael Kelly
CICESE

Marco A. Arteaga
UNAM

Participantes:

Carmen Monroy	Instituto Tecnológico de la Laguna
Dann de la Torre	CICESE
Eusebio Bugarín	CICESE
Juan C. Martínez	UNAM
Eduardo Pérez	UNAM
Luis R. Sagredo	UNAM
Ricardo Pérez	Universidad del Mayab

Agradecimientos: Al M.C. Raúl Rivera del CICESE.

Visión en el guiado de sistemas robóticos

Robots manipuladores

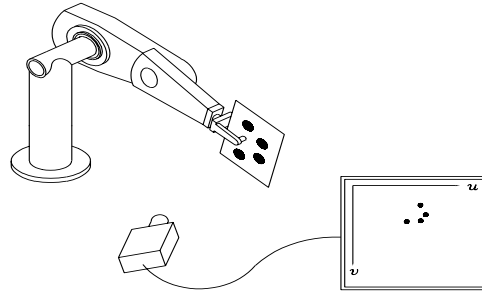


Figure 1: Cámara fija

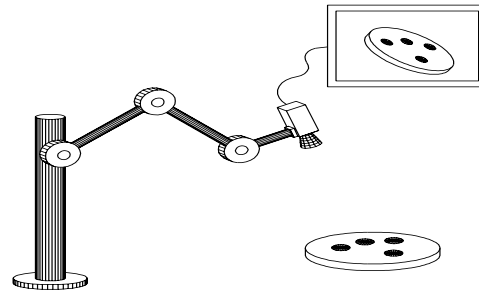


Figure 2: Cámara en mano

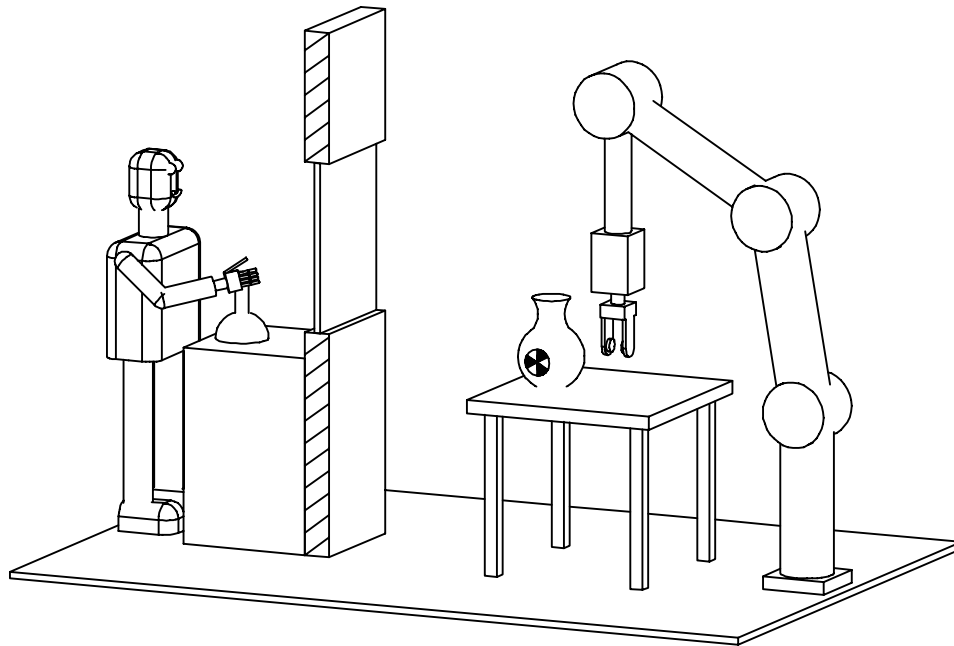
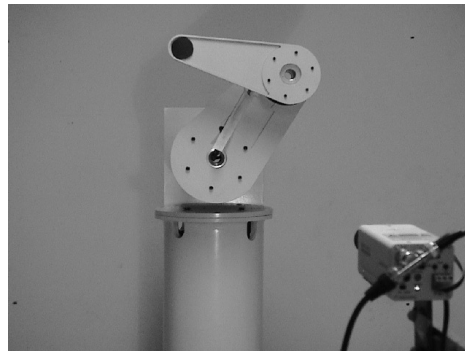
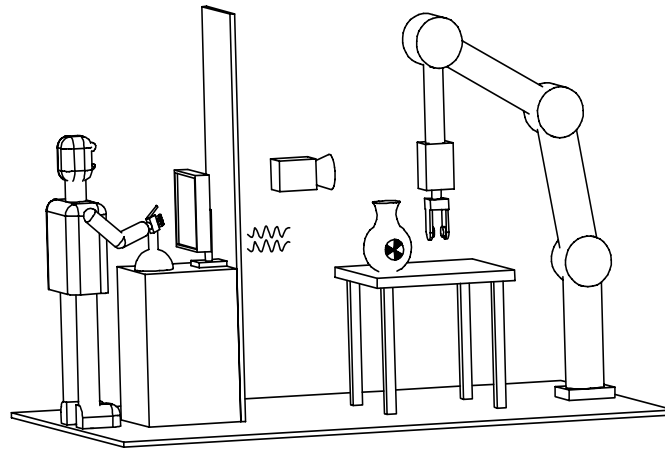


Figure 3: Telemanipulación

Operación remota



Operación remota: Robot manipulador

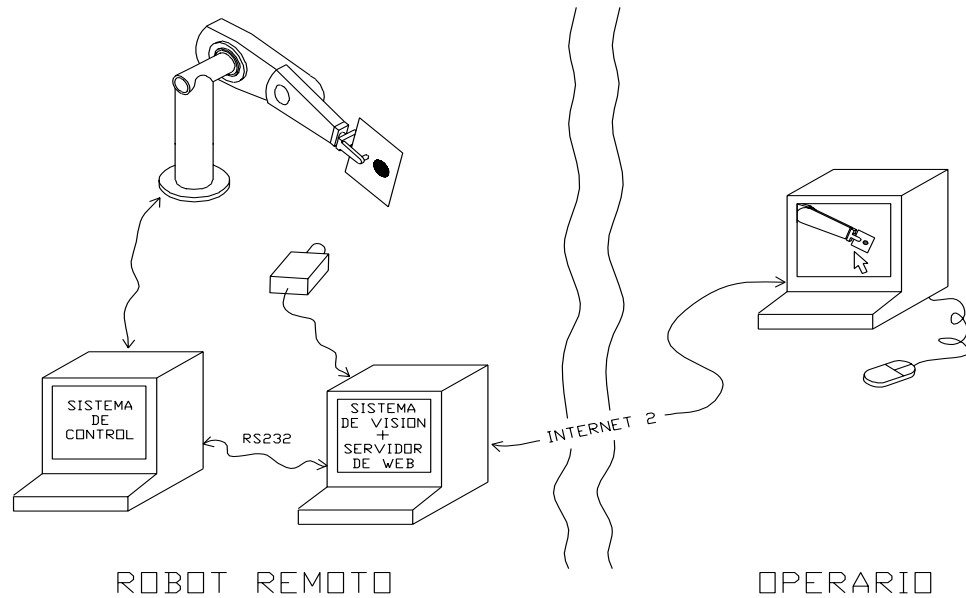


Figure 4: Operación remota: Robot manipulador

Operación remota: Robot manipulador

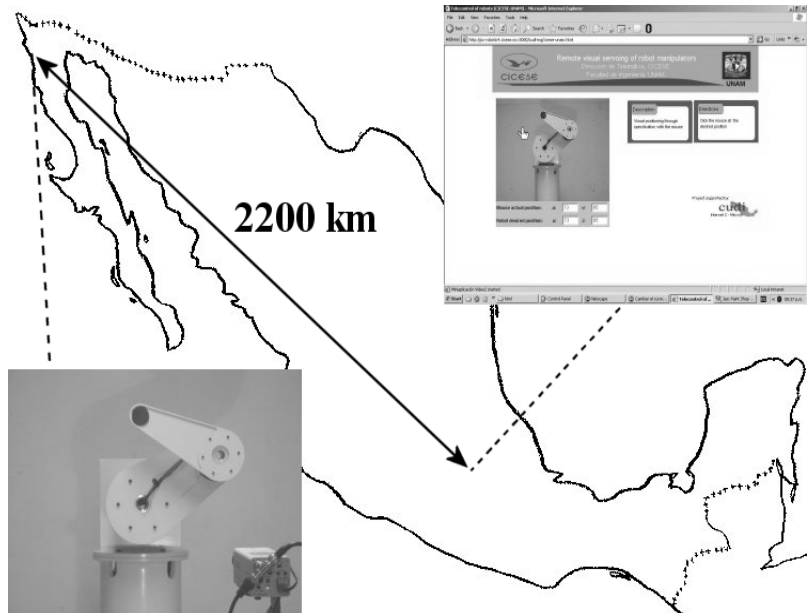


Figure 5: Control visual remoto

Arquitectura del sistema

- Sistema de visión
- Sistema de Control
- Sistema servidor

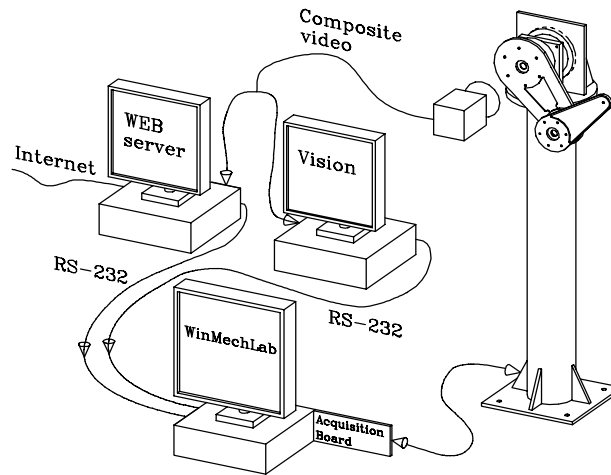
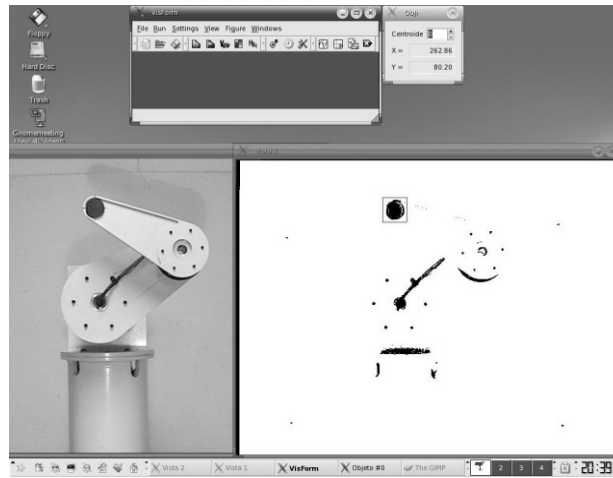


Figure 6: Arquitectura del sistema de control visual remoto

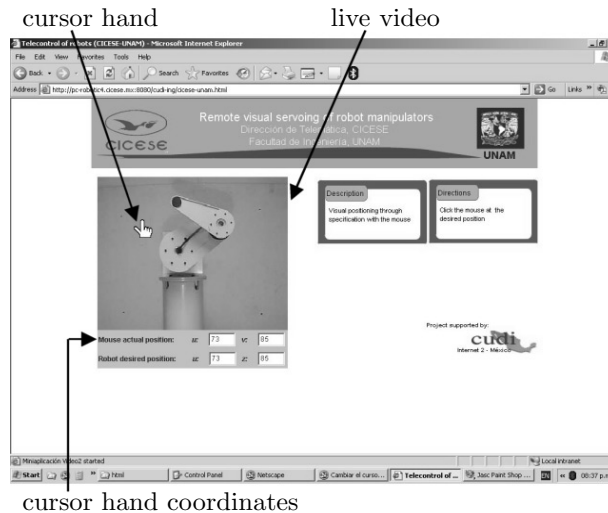
Sistema de visión

- Linux y tarjeta para adquisición de video compuesto
- Cámara Samsung: señal de video en el formato NTSC.
- Módulo de configuración
- Módulo de procesamiento de imágenes
- Video de 640×480 pixels a una cadencia de 30 Hz
- Cálculo del centroide a 30 Hz

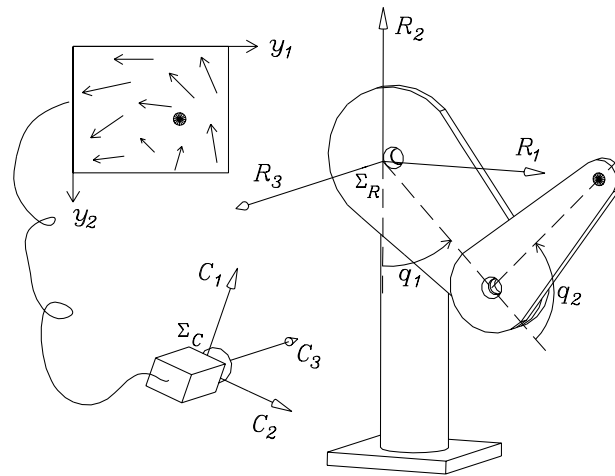


Sistema servidor

- Windows XP
- Servidor WEB basado en *Tomcat Apache*
- Servidor de aplicación de video (*Java Media Framework*)
- Tarjeta de adquisición del video compuesto (estandar de televisión NTSC)
- Transmisión de *streaming video* mediante el protocolo UDP

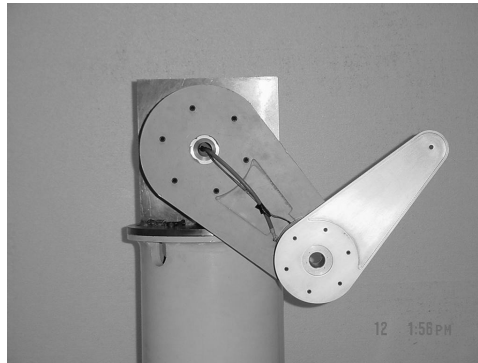


Análisis: Operación remota del robot manipulador

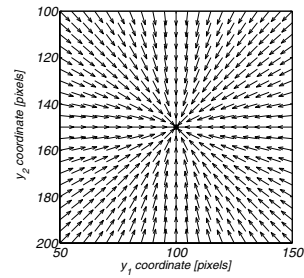


- Modelo dinámico: $M(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{g}(\mathbf{q}) = \boldsymbol{\tau}$
- Cinemática directa: $\mathbf{x}_R(\mathbf{q}) : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$

$$\mathbf{x}_R(\mathbf{q}) = \begin{bmatrix} 0.26 \sin(q_1) + 0.26 \sin(q_1 + q_2) \\ -0.26 \cos(q_1) - 0.26 \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix}.$$



Campo de velocidad deseado



- Cinemática perceptual:

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \frac{\alpha\lambda}{O_{R3}^C - \lambda} R(\phi) \left[\mathbf{x}_R(\mathbf{q}) - \begin{bmatrix} O_{R1}^C \\ O_{R2}^C \end{bmatrix} \right] + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad ; R(\phi) = \begin{bmatrix} \cos(\phi) & \sin(\phi) \\ \sin(\phi) & -\cos(\phi) \end{bmatrix}$$

donde

- λ es la distancia focal
- α es el factor de conversión de metros a pixeles
- $\mathbf{O}_R^C = [O_{R1}^C \ O_{R2}^C \ O_{R3}^C]^T$ es la posición del origen de la cámara
- $[u_0 \ v_0]^T$ es un sesgo

- Cinemática perceptual diferencial:

$$\dot{\mathbf{y}} = \frac{\alpha\lambda}{O_{R3}^C - \lambda} R(\phi) J_A(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}} = J(\mathbf{q}) \dot{\mathbf{q}}$$

donde

- $J_A(\mathbf{q}) = \partial \mathbf{x}_R(\mathbf{q}) / \partial \mathbf{q}$ es la matriz jacobiana analítica
- $J(\mathbf{q}) = \frac{\alpha\lambda}{O_{R3}^C - \lambda} R(\phi) J_A(\mathbf{q})$ es el jacobiano perceptual (supuesto de rango completo y acotado)

Sistema de control

Subsistema de velocidad articular

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\tau} &= M(\mathbf{q})\dot{\boldsymbol{\omega}}_d + C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\boldsymbol{\omega}_d + \mathbf{g}(\mathbf{q}) + K_v\tilde{\boldsymbol{\omega}} + K_i\boldsymbol{\xi} \\ \dot{\boldsymbol{\xi}} &= \tilde{\boldsymbol{\omega}}\end{aligned}$$

dende

- K_v and K_i son matrices simétricas definidas positivas
- $\tilde{\boldsymbol{\omega}} = \boldsymbol{\omega}_d - \dot{\mathbf{q}}$ es el vector de error de velocidad articular
- $\boldsymbol{\omega}_d$ es la velocidad articular deseada

Subsistema cinemático

$$\begin{aligned}\dot{\boldsymbol{\rho}} &= \mathbf{e}, \\ \boldsymbol{\omega}_d &= J(\mathbf{q})^{-1}[\mathbf{v}(\mathbf{y}) + K\boldsymbol{\rho}],\end{aligned}$$

donde K es una matriz simétrica y definida positiva.

Sistema en malla cerrada

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\rho} \\ \boldsymbol{\xi} \\ \tilde{\boldsymbol{\omega}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -K\boldsymbol{\rho} + J(\mathbf{q})\tilde{\boldsymbol{\omega}} \\ \tilde{\boldsymbol{\omega}} \\ -M(\mathbf{q})^{-1} [C(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\tilde{\boldsymbol{\omega}} + K_v\tilde{\boldsymbol{\omega}} + K_i\boldsymbol{\xi}] \end{bmatrix}$$

Función de Lyapunov

$$V(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\xi}, \tilde{\boldsymbol{\omega}}) = \frac{\beta}{2} \boldsymbol{\rho}^T \boldsymbol{\rho} + \frac{1}{2} \tilde{\boldsymbol{\omega}}^T M(\mathbf{q}) \tilde{\boldsymbol{\omega}} + \frac{1}{2} \boldsymbol{\xi}^T K_i \boldsymbol{\xi},$$

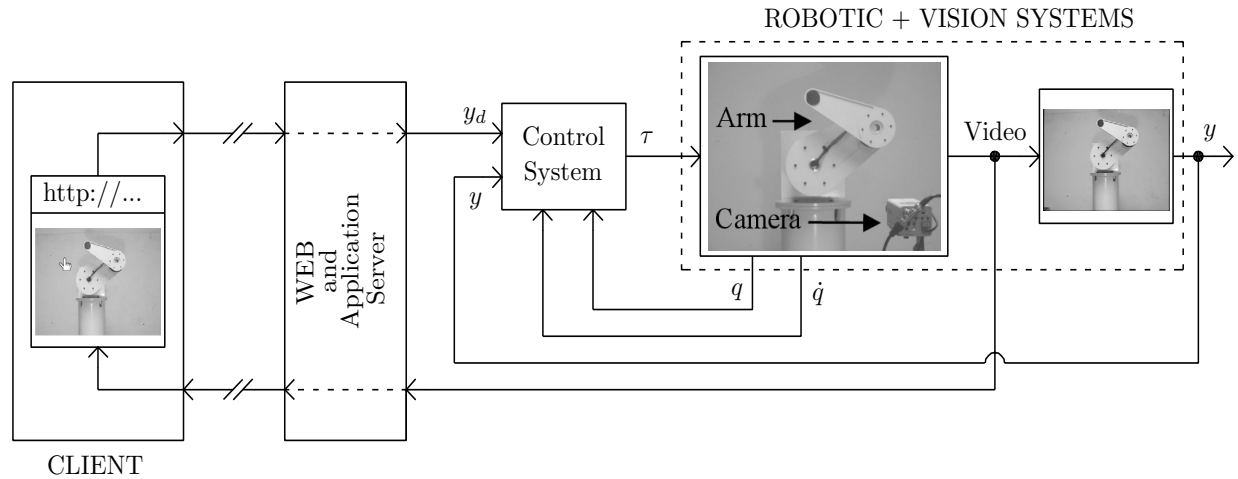
donde β es una constante satisfaciendo

$$0 < \beta < \frac{2\lambda_m\{K_v\}\lambda_m\{K\}}{k_J^2}, \quad (1)$$

Derivada temporal

$$\begin{aligned} \dot{V}(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\xi}, \tilde{\boldsymbol{\omega}}) &= -\beta \boldsymbol{\rho}^T K \boldsymbol{\rho} + \beta \boldsymbol{\rho}^T J(\mathbf{q}) \tilde{\boldsymbol{\omega}} - \tilde{\boldsymbol{\omega}}^T K_v \tilde{\boldsymbol{\omega}}, \\ \dot{V}(\boldsymbol{\rho}, \boldsymbol{\xi}, \tilde{\boldsymbol{\omega}}) &\leq - \begin{bmatrix} \|\boldsymbol{\rho}\| \\ \|\tilde{\boldsymbol{\omega}}\| \end{bmatrix}^T \underbrace{\begin{bmatrix} \beta\lambda_m\{K\} & -\frac{1}{2}\beta k_J \\ -\frac{1}{2}\beta k_J & \lambda_m\{K_v\} \end{bmatrix}}_Q \begin{bmatrix} \|\boldsymbol{\rho}\| \\ \|\tilde{\boldsymbol{\omega}}\| \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Diagrama de bloques



Videos: infraestructura y experimentos

- Infraestructura: presentacion_CUDI_01.mpg
- Experimentos: presentacion_CUDI_02_a.mpg
- Experimentos: usuario_remoto_CICESE_bueno.mpg
- Experimentos: control_remoto_cicese_unam.mpg

Trabajo futuro

- Análisis de tiempos y variaciones de la transmisión del video
- Adaptación del sistema para su uso desde PDA
- Generalización a tareas más complejas: trazas deseadas en lugar de puntos deseados
- Extensión a navegación visual de robots móviles