
Visual servoing para robots móviles con ruedas

Objetivos

- Comprender cómo puede aplicarse el planteamiento de visual servoing basado en imágenes a robots móviles diferenciales con ruedas.
- Emplear MATLAB para evaluar en simulación distintos comportamientos reactivos para robots móviles, basados en visual servoing.

Antecedentes

Del planteamiento del problema de IBVS presentado en las notas de clase y en la sección 10.8 de [1], sabemos que para el caso en donde consideramos un único punto como *feature vector* $s = [\bar{u} \ \bar{v}]^T$, tenemos que

$$\dot{s} = \begin{bmatrix} \frac{f'}{\lambda} & 0 & -\frac{\bar{u}}{\lambda} \\ 0 & \frac{f'}{\lambda} & -\frac{\bar{v}}{\lambda} \end{bmatrix} {}^C \dot{\mathbf{p}},$$

en donde $f' = f/\rho_w = f/\rho_h$ y $\lambda = {}^C z$. Consideremos ahora que, en lugar de colocar la cámara en el efector final de un manipulador, se coloca la cámara sobre un robot móvil (diferencial) con ruedas como en la Figura 1.

Dado que en esta situación la cámara ya no se mueve con respecto de la base si no que es la base del robot la que se mueve con respecto del marco de referencia inercial, es necesario volver a derivar la matriz de interacción asociada al punto en el plano de imagen. Que la cámara no se mueva con respecto de la base implica que

$${}^C \dot{\mathbf{p}} = {}^C \mathbf{R}_B {}^B \dot{\mathbf{p}},$$

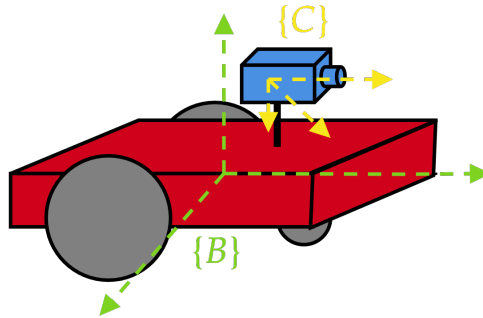


Figura 1: Cámara sobre robot móvil diferencial.

mientras que el movimiento de la base con respecto del marco inercial se representa mediante

$${}^B\dot{\mathbf{p}} = {}^B\mathbf{R}_I^I\dot{\mathbf{p}} - \mathcal{S}({}^B\boldsymbol{\omega}_{IB}) {}^B\mathbf{p} - {}^B\mathbf{R}_I^I\dot{\mathbf{o}}_B.$$

Si asumimos que el punto a rastrear no se mueve con respecto del inercial, es decir, el objeto de interés tiene coordenadas globales constantes (lo cual típicamente es el caso para obstáculos o *landmarks*), entonces ${}^I\dot{\mathbf{p}} = \mathbf{0}$ y por lo tanto

$${}^B\dot{\mathbf{p}} = -\mathcal{S}({}^B\boldsymbol{\omega}_{IB}) {}^B\mathbf{p} - {}^B\mathbf{v}_B.$$

De la derivación del modelo unicycle recordemos que ${}^B\mathbf{v}_B = [v \ 0 \ 0]^\top$ y dado que el robot es planar también sabemos que ${}^B\boldsymbol{\omega}_{IB} = [0 \ 0 \ \omega]^\top$. Estableciendo estas restricciones obtenemos

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} {}^B\dot{x} \\ {}^B\dot{y} \\ {}^B\dot{z} \end{bmatrix} &= - \begin{bmatrix} 0 & -\omega & 0 \\ \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^C x \\ {}^C y \\ {}^C z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} v \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \\ \begin{aligned} {}^B\dot{x} &= \omega {}^B y - v \\ {}^B\dot{y} &= -\omega {}^B x \\ {}^B\dot{z} &= 0 \end{aligned} &\Rightarrow {}^B\dot{\mathbf{p}} = \begin{bmatrix} -1 & {}^B y \\ 0 & -{}^B x \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Colocando todo junto finalmente obtenemos

$$\dot{\mathbf{s}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{f'}{\lambda} & 0 & -\frac{\bar{u}}{\lambda} \\ 0 & \frac{f'}{\lambda} & -\frac{\bar{v}}{\lambda} \end{bmatrix} {}^C\mathbf{R}_B}_{\mathbf{L}_p(\mathbf{s}, \lambda)} \begin{bmatrix} -1 & {}^B y \\ 0 & -{}^B x \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}.$$

Típicamente se selecciona

$${}^B\mathbf{R}_C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix},$$

es decir, se hace coincidir el eje z_C (el cual es perpendicular al plano de imagen) con la dirección de movimiento descrita por el eje x_B . Si este es el caso entonces ${}^B x = \lambda$ y ${}^B y = -{}^C x = -\lambda\bar{u}/f'$ y la matriz de interacción toma la forma

$$\mathbf{L}_p(\mathbf{s}, \lambda) = \begin{bmatrix} \frac{\bar{u}}{\lambda} & \frac{f'^2 + \bar{u}^2}{\frac{f'}{\bar{u}\bar{v}}} \\ \frac{\bar{v}}{\lambda} & \frac{f'}{f''} \end{bmatrix},$$

la cual es claramente invertible siempre y cuando $\bar{u} \neq 0$ y $\bar{v} \neq 0$.

Procedimiento

En la práctica de esta semana usted empleará MATLAB para implementar, visualizar y validar una serie de *comportamientos reactivos* (se hace la distinción de controlador ya que la idea es construir al mismo mediante la combinación de comportamientos) que le permitirán a un robot móvil como el de la Figura 1 reaccionar de forma adecuada a situaciones específicas, empleando la cámara $\{C\}$ como sensor de visión. Para lograr esto, realice lo siguiente:

1. Descargue de Canvas el script base `mt3006lab5.m` y ábralo en MATLAB. Este script contiene una simulación del robot móvil (asumiendo un modelo unicycle) junto con la cámara que podrá emplear para verificar la respuesta de cada uno de los comportamientos, al igual que podrá modificar la condición inicial del robot y la ubicación del objeto con el que deberá interactuar el robot. Ponga atención a los comentarios dentro del código ya que le indicarán en dónde podrá realizar modificaciones.
2. Establezca una velocidad lineal constante de 0.1 y una velocidad angular constante de -0.2 y observe el comportamiento tanto del robot como del objeto observado en el plano de imagen. Puede modificar la ubicación del objeto de interés, la condición inicial del robot y las magnitudes de las velocidades para comprender de mejor manera la forma en que la cámara captura el objeto de interés. Se le recomienda revisar también el código provisto para comprender la proyección que realiza la cámara sobre el objeto.
3. Regrese a los valores por defecto para el punto de interés y la condición inicial. Desarrolle e implemente los siguientes comportamientos:
 - **Voltear para encarar un objeto:** este se realizará como ejemplo durante el laboratorio y deberá emplearse como guía para desarrollar los restantes.
 - **Mantener una distancia fija hacia un objeto:** asumiendo que el eje de la cámara está alineado con el objeto de interés (puede modificar la condición inicial y el punto de interés durante sus pruebas para que este sea el caso), el robot debe acercarse (o alejarse) al objeto hasta que haya una distancia de 100 píxeles entre el objeto y el centro de la cámara.
 - **Combinación de los dos anteriores:** el robot debe encarar al objeto y luego acercarse a él hasta garantizar la distancia de 100 píxeles. Emplee la condición inicial y la posición del punto por defecto para este caso.
 - **Colocar al objeto en una posición deseada:** el robot debe moverse hasta que el objeto aparezca en una posición deseada (\bar{u}_d, \bar{v}_d) en el plano de imagen. Para su validación puede emplear la posición deseada $(-100, -100)$.
4. Presente al catedrático del laboratorio el correcto funcionamiento de los comportamientos reactivos, al igual que el razonamiento que empleó para desarrollarlos. Recuerde que entregas tardías representan una penalización del 25 % por semana.

Referencias

- [1] B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani y G. Oriolo, *Robotics: modelling, planning and control*. Springer Science & Business Media, 2010.