MANUAL DE ESTUDIO · SISTEMAS ROBÓTICOS

Tipos de robots y terminología del brazo robótico

Capítulo 01 · En el video: **minuto 0:51** · Duración 14:58

Objetivo. Clasificar un robot, contar sus grados de libertad y verificar que una herramienta no sobrecarga la muñeca.

Ideas clave

Familias de robots

ISO 8373 define el robot industrial como un manipulador multipropósito, reprogramable, con tres o más ejes. En planta conviven el robot industrial en celda cerrada, el robot colaborativo (cobot) con sensado de par, el robot paralelo delta para recoger y colocar a alta velocidad y el robot móvil autónomo (AMR).

Serie frente a paralelo

Un manipulador serie es una cadena abierta: cada eslabón carga con los siguientes y los errores se suman, pero el espacio de trabajo es grande. Un robot paralelo cierra la cadena con varias patas que sostienen la plataforma: es rígido y liviano en movimiento, con un espacio de trabajo pequeño.

De AGV a AMR

El AGV sigue una guía fija (cinta magnética o línea); el AMR se localiza con LiDAR y mapeo simultáneo (SLAM) y planifica su ruta, por lo que esquiva obstáculos y se reprograma sin obras.

Articulaciones y grados de libertad

Los pares inferiores más usados son el rotacional (R) y el prismático (P), con un grado de libertad cada uno. La movilidad se calcula con Grübler–Kutzbach: $M = 6(n - 1 - j) + \Sigma f_i$. Para ubicar y orientar una herramienta en el espacio se necesitan seis.



Cadena cinemática abierta de un robot 6R.

Muñeca, brida y TCP

En la muñeca esférica los tres últimos ejes se cortan en un punto, lo que separa el problema de posición del de orientación. La herramienta se monta en la brida normalizada ISO 9409 y el punto de trabajo que se programa es el TCP (tool center point).

Espacio de trabajo y carga útil

El espacio alcanzable reúne los puntos que el TCP puede tocar; el espacio diestro, los que alcanza con cualquier orientación. La carga útil nominal se da con su centro de gravedad: lo que limita la muñeca es el momento

$M = m \cdot g \cdot d$, no solo la masa.

Fórmulas y relaciones

Relación	Expresión	Cómo leerla
Movilidad espacial	$M = 6(n - 1 - j) + \Sigma f_i$	n eslabones con la base, j juntas.
Movilidad plana	$M = 3(n - 1 - j) + \Sigma f_i$	Cuadrilátero articulado: M = 1.
Momento en la brida	$M = \Sigma\, m_k \cdot g \cdot d_k$	d: distancia del centro de gravedad a la brida.
Alcance de un brazo 2R	$A = \pi[(l_1+l_2)^2 - (l_1-l_2)^2]$	Corona entre el radio mínimo y el máximo.

Ejemplo resuelto: momento estático en la muñeca

1. Pieza de 8 kg con el centro de gravedad a 120 mm de la brida y garra de 2 kg a 60 mm.
2. $M = 9{,}81 \cdot (8 \cdot 0{,}120 + 2 \cdot 0{,}060) = 10{,}59\ \text{N·m}$.
3. El catálogo admite 12 N·m en la muñeca: se usa el 88 %.
4. Distancia máxima del centro de gravedad de la pieza: $(12 - 2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}06)/(8 \cdot 9{,}81) = 0{,}138\ \text{m}$.

La herramienta cumple con poco margen: una pieza más larga obligaría a acortar la garra o a elegir un robot mayor (movilidad_y_carga.py).

Familias de robots

	Industrial	Colaborativo	Delta	AMR
Estructura	Serie 6R	Serie 6R/7R con sensores de par	Paralela	Base móvil
Fuerte en	Carga, velocidad, alcance	Trabajo junto a personas	Recoger y colocar muy rápido	Logística flexible
Seguridad	Celda con resguardos	Limitación de potencia y fuerza	Celda cerrada	Escáneres láser

Código del capítulo

Los archivos completos vienen en el paquete ZIP del capítulo (carpeta `codigo/`).

movilidad_y_carga.py — movilidad de cinco mecanismos, momento en la muñeca y alcance de un brazo plano.

```
"""
movilidad_y_carga.py — Capítulo 01: grados de libertad, carga en la muñeca y alcance.

1) Criterio de Grübler-Kutzbach para varios mecanismos.
2) Momento estático en la brida de la muñeca frente al límite del catálogo.
3) Área del espacio alcanzable de un brazo plano de dos eslabones.
"""
import math

G = 9.81  # m/s²
```

```python
def grubler(eslabones, juntas, libertades, espacial=True):
    """Movilidad M = λ(n − 1 − j) + Σ f_i  (λ = 6 en el espacio, 3 en el plano)."""
    lam = 6 if espacial else 3
    return lam * (eslabones - 1 - juntas) + sum(libertades)


MECANISMOS = [
    # nombre, eslabones (con la base), juntas, libertades por junta, espacial
    ('Brazo articulado 6R', 7, 6, [1] * 6, True),
    ('SCARA RRPR', 5, 4, [1] * 4, True),
    ('Cuadrilátero articulado plano', 4, 4, [1] * 4, False),
    ('Cinco barras plano (2 motores)', 5, 5, [1] * 5, False),
    ('Pórtico cartesiano PPP', 4, 3, [1] * 3, True),
]


def momento_muneca(cargas):
    """cargas: lista de (masa kg, distancia del centro de gravedad a la brida en m)."""
    return sum(m * G * d for m, d in cargas)


def area_alcance_2r(l1, l2):
    """Corona circular entre |l1 − l2| y l1 + l2 (giro completo de ambas juntas)."""
    return math.pi * ((l1 + l2) ** 2 - (l1 - l2) ** 2)


if __name__ == '__main__':
    print('Movilidad (Grübler-Kutzbach)')
    for nombre, n, j, f, esp in MECANISMOS:
        print(f'  {nombre:<34s} M = {grubler(n, j, f, esp)}')

    cargas = [(8.0, 0.120), (2.0, 0.060)]   # pieza y garra
    m = momento_muneca(cargas)
    limite = 12.0                           # N·m admisibles en la muñeca (catálogo)
    print(f'\nMomento en la brida: {m:.2f} N·m  (límite {limite:.1f} N·m)'
          f' -> uso {100 * m / limite:.0f} %  {"OK" if m <= limite else "EXCEDE"}')
    # Distancia máxima del CG de la pieza para no superar el límite
    d_max = (limite - 2.0 * G * 0.060) / (8.0 * G)
    print(f'Distancia máxima del CG de la pieza de 8 kg: {1000 * d_max:.0f} mm')

    l1, l2 = 0.40, 0.30
    print(f'\nBrazo plano {l1:.2f} m + {l2:.2f} m: radio de {abs(l1 - l2):.2f} a {l1 + l2:.2f} m,'
          f' área alcanzable {area_alcance_2r(l1, l2):.3f} m²')
```

Errores frecuentes

- Mirar solo la masa de la carga y olvidar la distancia de su centro de gravedad.
- Contar mal los eslabones en Grübler (la base cuenta como eslabón).
- Confundir espacio alcanzable con espacio diestro.

Autoevaluación

1. ¿Cuántos grados de libertad hacen falta para ubicar y orientar una herramienta?
2. ¿Qué ventaja da la muñeca esférica?
3. ¿Qué movilidad tiene un cuadrilátero articulado plano?

Respuestas. 1. Seis. **2.** Separa la posición (J1–J3) de la orientación (J4–J6). **3.** M = 1.