***Análise Estática da Relação entre as coordenadas cartesianas das juntas (Joelho e Anca) e o Centro de Pressão referência usado no Controlador Jacobiano***

Como se pretende determinar a relação entre a cinemática directa das juntas e o CoPref, uma análise estática é preferível, em que para cada CoPref (passado para o microcontrolador) são medidos os ângulos dos servomotores através do seu potenciómetro:

1. Conhecendo as posições dos servomotores quando a perna se encontra na postura vertical, os ângulos são recalculados, tendo como referência esta postura;
2. Ajuste dos ângulos tendo em conta a relação das correias de transmissão;
3. A partir dos ângulos reais das juntas, calcula-se a cinemática directa do joelho e da anca, e as suas coordenadas cartesianas nas componentes x, y e z podem ser determinadas.

Frente

Atrás

y

x

z

y

θ2

θ1

θ0

Atrás

Frente

(Vista de Lado)

(Vista de Frente)

x

z

(Vista de Cima do Pé)

z

x

y

As coordenadas cartesianas (x,y,z) das juntas seguem a convenção definida na figura acima (vista de lado e de frente da perna), e as componentes (x,y) do Centro de Pressão referência (CoPref) são definidas de acordo com os eixos da vista de cima do pé.

Calculando a razão entre o deslocamento do CoPref e da cinemática directa das juntas (coordenadas cartesianas), podemos usar esta constante para efectuar deslocamentos das juntas usando o controlador de equilíbrio.

Experiência 1:

Variação do CoPref no eixo xx (eixo ortogonal ao pé): CoP=(30,0,0) => (-30,0,0)

Steps=30





Variação da cinemática directa do joelho e da anca praticamente linear relativamente ao CoPref.

Condições da Experiência 2a:

Variação do CoPref no eixo yy (eixo paralelo ao pé): CoP=(0,-30,0) => (0,40,0)

Steps=35





Variação da cinemática directa praticamente linear, excepto na zona com CoPref=[5, 15]. As figuras seguintes apresentam a mesma experiência repetida.

Condições da Experiência 2b:

Variação do CoPref no eixo yy (eixo paralelo ao pé): CoP=(0,-30,0) => (0,40,0)

Steps=35





Agora a cinemática directa apresenta-se mais linear, mas com uma ligeira diminuição da sua variação próximo do CoPref nulo.

Experiência 2c:

Variação do CoPref no eixo yy (eixo paralelo ao pé): CoP=(0,-30,0) => (0,30,0)

Steps=60





Repetindo a mesma experiência, mas agora com um maior número de passos na variação do CoPref, confirma-se que a cinemática directa não varia de forma linear, embora tal aproximação não seja problemática.

Experiência 3a:

Variação do CoPref nos eixos xy: CoP=(25,-25,0) => (-25,40,0)

Steps=50





Variando o CoPref nos dois eixos torna-se evidente a variação da cinemática directa de acordo com uma curva do tipo arco-seno.

Experiência 3b:

Variação do CoPref nos eixos xy: CoP=(-25,-25,0) => (25,40,0)

Steps=50





Nesta experiência observa-se um efeito de saturação, resultante de um dos servos ter alcançado uma posição extrema. Além disso, a cinemática directa na componente yy revela uma inflexão pronunciada, revelando o caráter não linear da variação deste parâmetro.

Experiência 3c:

Variação do CoPref nos eixos xy: CoP=(25,-25,0) => (-25,25,0)

Steps=50





Experiência 3d:

Variação do CoPref nos eixos xy: CoP=(-25,-25,0) => (25,25,0)

Steps=50





***CONCLUSÕES***

Pode-se concluir que a variação da cinemática directa das juntas (coordenadas cartesianas) não varia linearmente com o Centro de Pressão referência CoPref, observando-se sim uma relação semelhante ao tipo arco-seno. Contudo, como o rigor numérico não é fundamental é razoável fazer a aproximação de linearidade.

Um efeito a evitar é a saturação dos servomotores, ou seja, o alcance de um obstáculo físico (da própria perna ou pé) que impeça a compensação do CoP indicado. A programação interna dos microprocessadores apenas limita aos extremos especificados pelo fabricante, ou seja, os ±90⁰; contudo a presença de um obstáculo na própria perna obriga os motores a realizarem esforços elevados provocando consequentemente descalibrações ao nível das posições atribuídas à postura vertical.

Por análise da variação das coordenadas cartesianas das juntas do joelho e da anca (Δx e Δy), relativamente à variação do CoPref (ΔCoPref(x) e ΔCoPref(y)) apresenta-se a seguinte tabela (os dados foram extraídos dos gráficos indicados com um quadrado):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Experiência | ΔCoPref | Variação Cartesiana (x,y) |
| Joelho | Anca |
| ΔCoPref(x) | ΔCoPref(y) | Δx | Δy | Δx | Δy |
| 1 | 60 | 0 | 9.0 | 2.0 | 16.5 | 2.2 |
| 2a | 0 | 70 | 0.6 | 8.2 | 1.2 | 9.2 |
| 2b | 0 | 70 | 0.3 | 8.4 | 0.7 | 9.4 |
| 2c | 0 | 60 | 0.4 | 7.8 | 0.8 | 8.5 |
| 3a | 50 | 65 | 8.4 | 9.0 | 16.1 | 9.7 |
| 3b | 50 | 50 | 8.8 | 9.0 | 16.9 | 9.9 |
| 3c | 50 | 50 | 7.5 | 5.5 | 13.9 | 6.0 |
| 3d | 50 | 50 | 8.7 | 8.9 | 16.8 | 9.7 |

Nos casos das experiências 1 e 2, em que apenas se varia um eixo, mesmo assim observou-se pequenas variações da cinemática directa das juntas para os restantes eixos. Tais dados estão indicados a laranja, e não deverão ser considerados. A tabela seguinte calcula a razão entre a variação da pressão referência e a variação das coordenadas cartesianas, para cada componente x, y e z.

|  |  |
| --- | --- |
| Experiência | Variação Cartesiana (x,y) |
| Joelho | Anca |
| ΔCoPref(x)/Δx | ΔCoPref(y)/Δy | ΔCoPref(x)/Δx | ΔCoPref(y)/Δy |
| 1 | 6.7 | — | 3.6 | — |
| 2a | — | 8.5 | — | 7.6 |
| 2b | — | 8.3 | — | 7.4 |
| 2c | — | 7.7 | — | 7.1 |
| 3a | 6.0 | 7.2 | 3.1 | 6.7 |
| 3b | 5.7 | 5.6 | 3.0 | 5.1 |
| 3c | 6.7 | 9.1 | 3.6 | 8.3 |
| 3d | 5.7 | 5.6 | 3.0 | 5.2 |
| *K* (Média) | 6.2 | 8.2 | 3.3 | 7.4 |

A média destas razões (os valores a vermelho não foram considerados pela sua disparidade em relação aos restantes) pode ser considerado para converter um deslocamento cartesiano das juntas ΔL para o deslocamento a aplicar no CoPref:

$$∆CoP\_{ref}=K∙∆L$$