



Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Buenos Aires

Trabajo Práctico Nº 1:

Cinemática del robot Tanque Oruga

v 0

Materia: Robótica

Curso: R6051

Año: 2015

Docente: Ing. Hernán Giannetta

ATP: Ing. Damián Granzella, Ing. Lucas Barrera

Alumnos: Brutti Pablo
Di Iorio Fernando
Redman Agustín

Contenido

Introducción	3
Descripción del robot elegido.....	5
Cinemática inversa.....	6
Simulaciones.....	7
A_Movimiento simple de traslación	8
B_Movimiento simple de rotación.....	10
C_Movimiento compuesto de rotación + traslación.....	12
Script de Matlab	14
A_Movimiento simple de traslación	14
B_Movimiento simple de rotación.....	17
C_Movimiento compuesto de rotación + traslación.....	20
Conclusiones.....	23
A_Movimiento simple de traslación	23
B_Movimiento simple de rotación.....	23
C_Movimiento compuesto de rotación + traslación	23
Mejoras	24
Referencias y bibliografía	25

Introducción

Es evidente que el comportamiento de un vehículo diseñado para operar en condiciones exteriores y sobre terrenos no pavimentados es bastante diferente del que cabe esperar cuando se mueve en entornos estructurados y pavimentados. Las principales razones que influyen la movilidad y la controlabilidad de dicho vehículo están fuertemente relacionadas con la interacción entre el vehículo y el terreno sobre el que se desplaza. En este contexto, uno de los primeros puntos a considerar a la hora de diseñar la plataforma móvil es la estructura mecánica, en particular, el sistema de locomoción. Las alternativas más ampliamente consideradas son: ruedas, patas, u orugas.

Las ruedas constituyen la solución más popular y la más ampliamente utilizada tanto en robots móviles como en vehículos autónomos (Siegwart and Nourbakhsh, 2004). El éxito de las ruedas se debe principalmente a su simplicidad mecánica y a su alta eficiencia (energía consumida frente a distancia recorrida). Además, usando más de tres ruedas el vehículo se encuentra completamente equilibrado. Sin embargo, la buena eficiencia de las ruedas se ve disminuida a medida que el terreno es menos consistente. Este punto puede llegar a ser tal que la plataforma móvil se puede quedar estancada y, por lo tanto, la misión del robot móvil podría verse abortada. Por ejemplo, el rover Spirit permanece inmóvil en una duna en Marte desde el año 2009 y gran parte de la misión científica se ha abortado. En estos casos de terreno poco compacto, las ruedas sufren una mayor fricción mientras que las patas se ven mucho menos afectadas debido a que solo hay un punto de contacto con el suelo (Siegwart and Nourbakhsh, 2004).

Por contrario, la locomoción mediante patas requiere más grados de libertad y, por lo tanto, mayor complejidad mecánica que la locomoción mediante ruedas u orugas.

Una alternativa interesante a las ruedas y las patas para terrenos poco compactos son las orugas. Este sistema de locomoción hace uso de pistas de deslizamiento, lo que implica una mayor área de contacto con el terreno, y por tanto supone una mejor maniobrabilidad y tracción que las ruedas y una movilidad superior a la que ofrecen las patas. Además, supone un diseño mecánico menos complejo que el de las patas (se requieren solo dos actuadores para tracción) o ruedas (no se requiere sistema de suspensión). En (Wong and Huang, 2006), los autores demuestran que el empuje desarrollado por un vehículo con ruedas es generalmente más bajo que el empuje desarrollado por un vehículo con orugas comparable, especialmente en suelos cohesivos. Esto es debido a que la presión normal media bajo los neumáticos es más grande que sobre una oruga. En este sentido, en el artículo (Hornback, 1998) se acuerda que la decisión entre ruedas u orugas se debe basar en: el tipo de misión del vehículo, el perfil del terreno, y las propias características del vehículo (peso, dimensiones, etc.).

Las principales ventajas de una locomoción basada en pistas de deslizamiento u orugas son:

Es una solución muy adecuada para una plataforma versátil que opere sobre diversos tipos de terrenos e incluso en diferentes condiciones meteorológicas (barro, nieve, etc.). Las aplicaciones de búsqueda y rescate son un buen ejemplo para sistemas basados en orugas. Las orugas generan una baja presión en el suelo, incluso ante una elevada carga, lo que lleva a conservar mejor el terreno y el entorno en el que opera el vehículo. Esto motiva la elevada aplicación en agricultura y en actividades mineras.

Se previene la posibilidad de que el vehículo quede estancado en arena o nieve; por ello, los vehículos con orugas son muy utilizados en terrenos arenosos como en operaciones militares (transporte de artillería o personal).

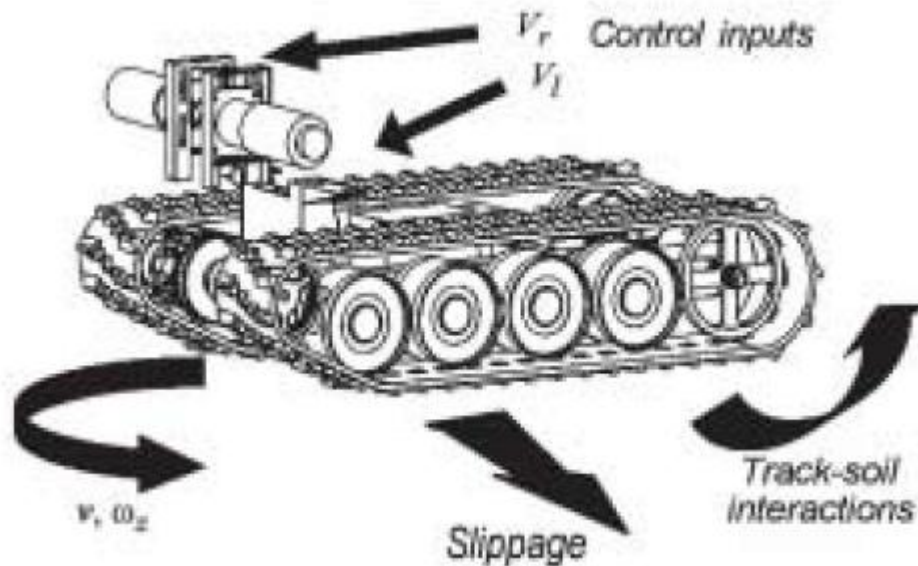
El centro de gravedad del vehículo se mantiene bajo, luego se consigue una buena estabilidad y movilidad.

Es cierto que las orugas tienen algunos puntos críticos que conviene tener en cuenta. Uno de los más destacables es que el sistema consume mucha potencia de rodadura por rozamiento durante los giros, esto es, el suelo tiende a fracturarse durante los giros excesivamente cerrados o con radio de giro cero. También es importante remarcar la elevada vibración de la plataforma cuando el terreno no es liso.

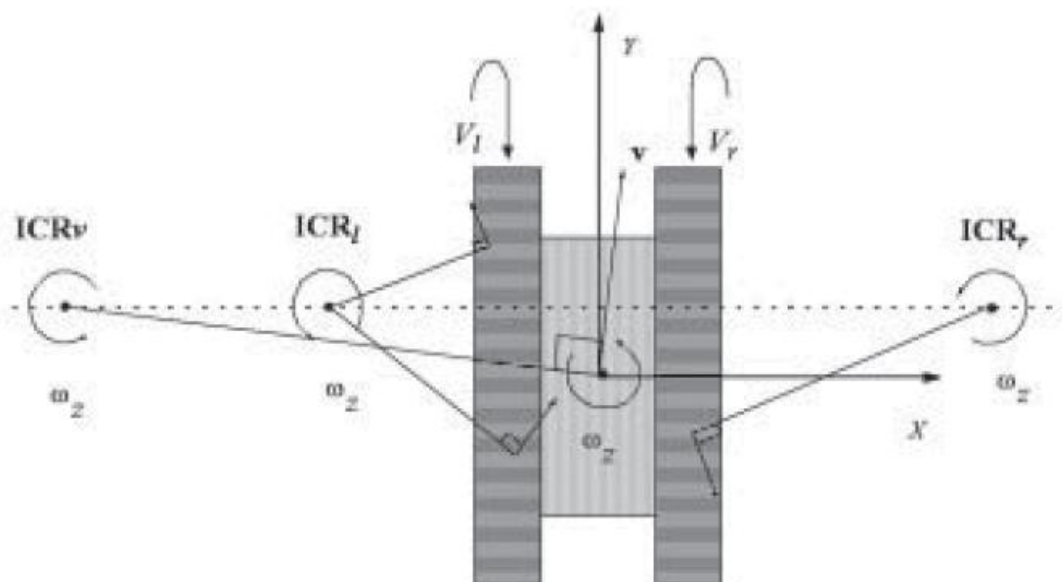
Descripción del robot elegido

Basado en la publicación de J. L. Martínez (THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ROBOTICS RESEARCH / October 2005), se selecciona el Robot Oruga para el estudio cinemático.

Descripción de los parámetros principales del movimiento del Robot:



Sistema de referencia cartesiano Móvil sobre el Robot:



Cinemática inversa

Las Ecuaciones del Sistema Cinemático inverso:

$$(V_l, V_r) = f_i(v_x, v_y, \omega_z). \quad (2)$$

Posiciones cartesianas de los Centros de Rotación Instantáneo (ICR), respecto del sistema de referencia Móvil: Vehículo, Oruga Derecha y O. Izquierda.

$$x_{ICRv} = \frac{-v_y}{\omega_z} \quad (3)$$

$$x_{ICRl} = \frac{V_l - v_y}{\omega_z} \quad (4)$$

$$x_{ICRr} = \frac{V_r - v_y}{\omega_z} \quad (5)$$

$$y_{ICRv} = y_{ICRl} = y_{ICRr} = \frac{v_x}{\omega_z}. \quad (6)$$

Velocidades de las Orugas, respecto del sistema de referencia Móvil:

$$V_l = v_y + x_{ICRl} \omega_z \quad (10)$$

$$V_r = v_y + x_{ICRr} \omega_z, \quad (11)$$

Simulaciones

Para la experimentación del Robot y ensayo del movimiento del mismo en base al sistema inverso cinemático, se proponen tres simulaciones.

Las mismas se realizaron en Matlab: una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M), para aplicación de las ecuaciones cinemáticas del Robot.

Obteniéndose las respuestas del modelo en el sistema de referencia móvil (velocidades de las orugas), como el desplazamiento del Robot sobre el sistema de referencia fijo en un plano cartesiano.

A_Movimiento simple de traslación

Para obtener la simulación se proponen las siguientes condiciones de ensayo:

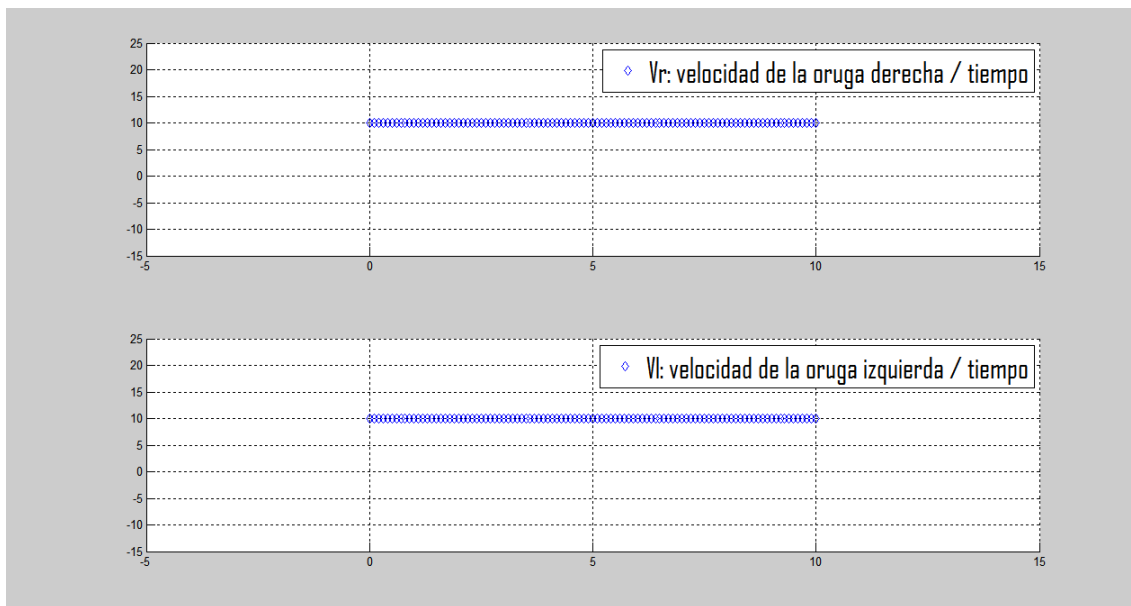
- Tiempo de movimiento del tanque: $t=10\text{seg}$.
- Posición inicial del Robot, de referencia del sistema fijo: $x_0=0\text{m}$; $y_0=0\text{m}$.
- Velocidad inicial en reposo.
- Orientación en sentido “+y”.

Se ingresan las variables al modelo:

- $v_y=10\text{m/s}$.
- $v_x=0\text{m/s}$.
- $w_z=0\text{rad/s}$.

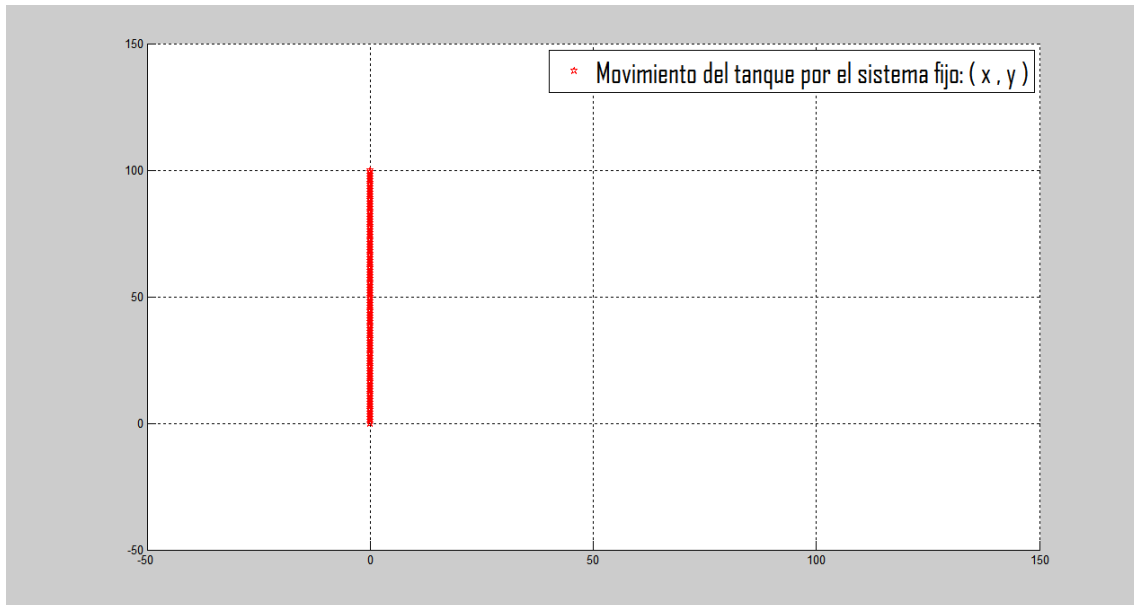
Se obtiene el resultado del modelo:

(Las orugas desarrollan ambas la misma velocidad de 10m/s)



El movimiento producido respecto de un sistema de referencia fijo cartesiano:

(El robot se traslada 100 metros en sentido “+y”)



B_Movimiento simple de rotación

Para obtener la simulación se proponen las siguientes condiciones de ensayo:

- Tiempo de movimiento del tanque: $t=10\text{seg.}$
- Posición inicial del Robot, de referencia del sistema fijo: $x_0=0\text{m}; y_0=0\text{m.}$
- Velocidad inicial en reposo.
- Orientación en sentido “+y”.

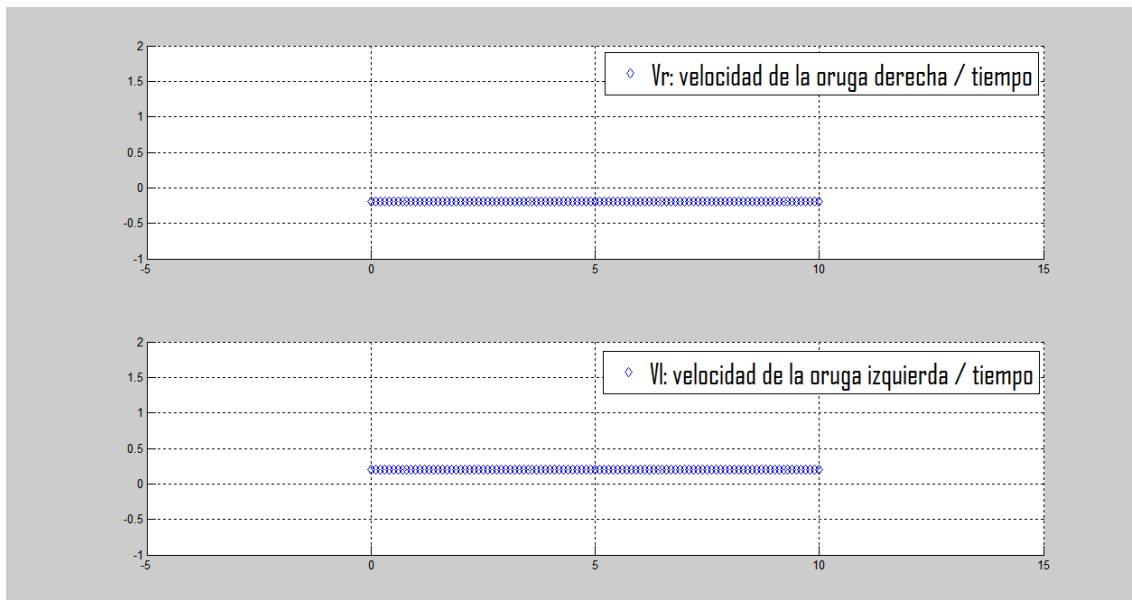
Se ingresan las variables al modelo:

- $v_y=0\text{m/s.}$
- $v_x=0\text{m/s.}$
- $w_z=-(1/4)*\pi\text{ rad/s.}$
- $L=0.5\text{m.}$

- $x_{ICRv}=-v_y/w_z\text{ m.}$
- $x_{ICRr}=L/2\text{m.}$
- $x_{ICRl}=-L/2\text{m.}$
- $y_{ICRv}=v_x/w_z\text{ m.}$
- $y_{ICRr}=v_x/w_z\text{ m.}$
- $y_{ICRl}=v_x/w_z\text{ m.}$

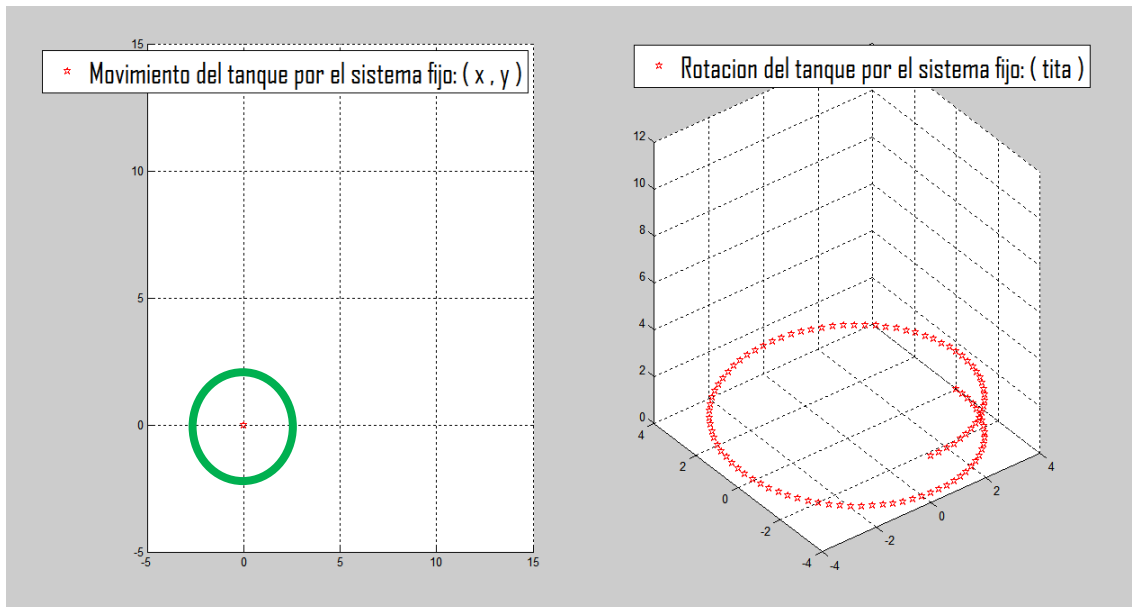
Se obtiene el resultado del modelo:

(Las orugas desarrollan ambas la misma velocidad de 10m/s)



El movimiento producido respecto de un sistema de referencia fijo cartesiano:

(El robot permanece en la coordenada (0,0) y genera una rotación en sentido horario de 1,25 vueltas. Inicialmente se encontraba en sentido “+y” y roto, luego de los 10 segundos al sentido “+x”)



C_Movimiento compuesto de rotación + traslación

Para obtener la simulación se proponen las siguientes condiciones de ensayo:

- Tiempo de movimiento del tanque: $t=10\text{seg}$.
- Posición inicial del Robot, de referencia del sistema fijo: $x_0=0\text{m}$; $y_0=0\text{m}$.
- Velocidad inicial en reposo.
- Orientación en sentido “+y”.

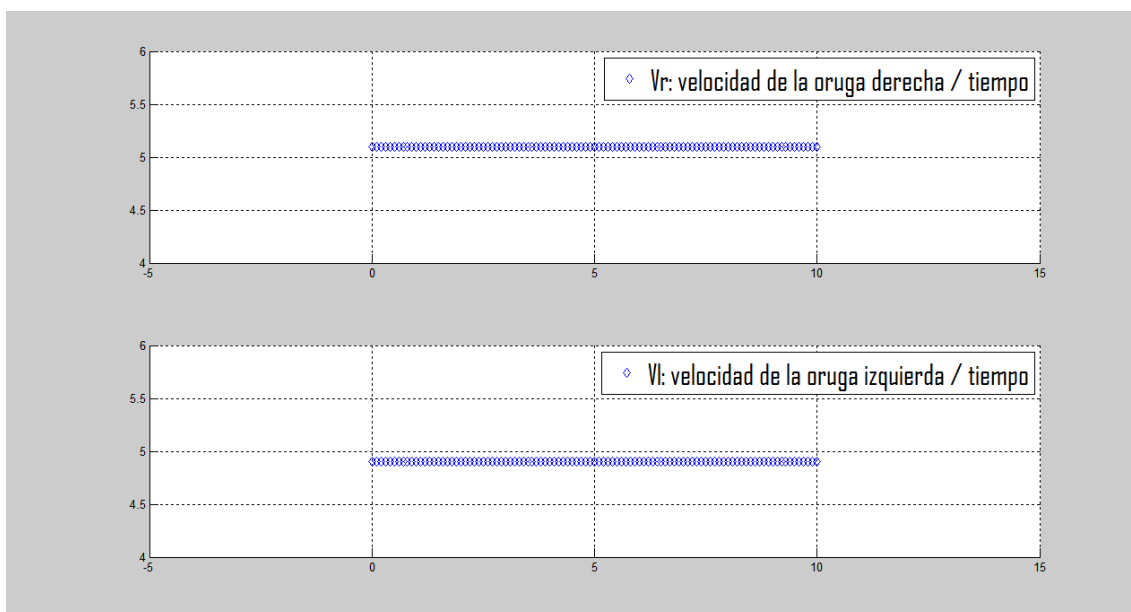
Se ingresan las variables al modelo:

- $v_y=+5\text{m/s}$.
- $v_x=-1\text{m/s}$.
- $w_z=+(1/4)*\pi\text{ rad/s}$.
- $L=0.5\text{ m}$.

- $x_{ICRl}=-0.126\text{ m}$.
- $x_{ICRr}=+0.126\text{ m}$.
- $x_{ICRv}=-6.366\text{ m}$.
- $y_{ICRl}=-1.273\text{ m}$.
- $y_{ICRr}=-1.273\text{ m}$.
- $y_{ICRv}=-1.273\text{ m}$.

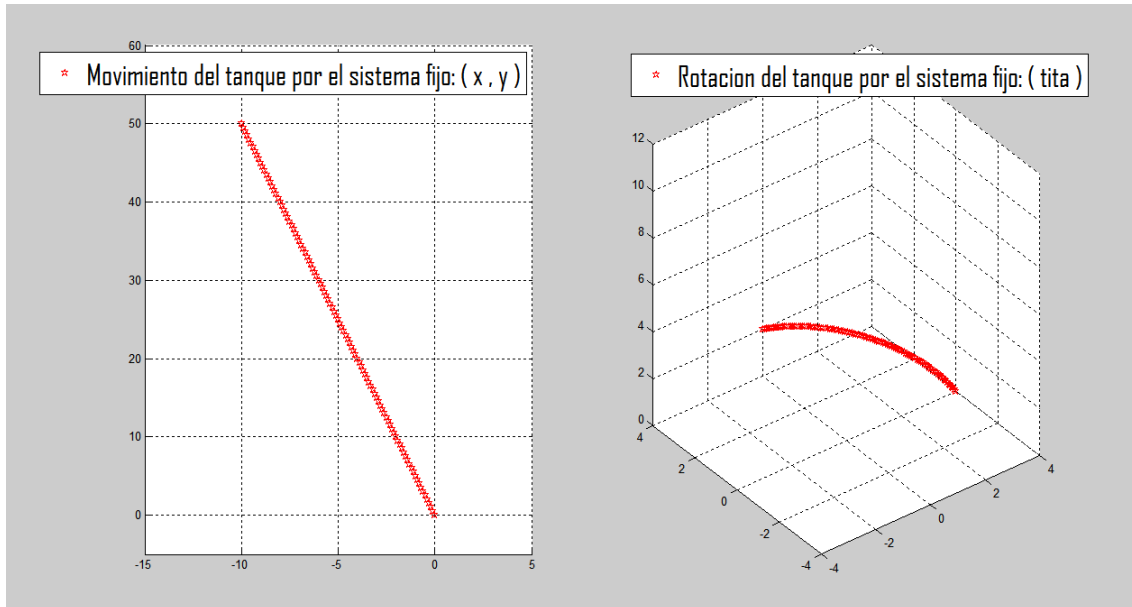
Se obtiene el resultado del modelo:

(Las orugas desarrollan ambas velocidades en sentido de avance (positivas), con un diferencial sobre la oruga derecha, traccionando hacia el lado izquierdo del Robot, para alcanzar la rotacion)



El movimiento producido respecto de un sistema de referencia fijo cartesiano:

(El robot realiza una traslacion hacia el 2º cuadrante, desde la coordenada (0,0) y genera una rotacion en sentido antihorario de 1/4 vuelta. Inicialmente se encontraba en sentido “+y” y roto, luego de los 10 segundos al sentido “-x”)



Script de Matlab

A_Movimiento simple de traslación

```
clear; clc;

% ** Analisis del funcionamiento del tanque. Funciones INVERSAS.***
% (Vl, Vr) = fi(vx, vy, ?z).

% Variables de entrada:
% vy: velocidad de traslacion del sistema referencia-tanque. (sistema
% movil).
% vx:
% wz: rotacion sobre el eje del tanque. (sistema movil).

% Funciones de salida:
% Vl: velocidad de la oruga izquierda.
% Vr: velocidad de la oruga derecha.
% Vl = vy + xICRl*wz
% Vr = vy + xICRr*wz

% (xICR, yICR): Centros instantaneos de rotacion. [m]
% ICRl,r,v: izquierdo, derecho, vehiculo.

% Sistema de referencia fijo: Predio de recorrido.
% uy, ux: velocidades de traslacion. [m/s]
% y, x: posicion. [m]
% x0, y0: posicion inicial.
% xs, ys: vector Sentido de avance del tanque.
% t: tiempo de movimiento del tanque. [s]
% L: Distancia entre las orugas. [m]

% Rotacion_1 del tanque:

% variables de entrada del tanque.

% nos ponemos de acuerdo... (ver el paper! -> xICRv: del vehiculo).
% hacia la izquierda wz>0;vx<0.
% hacia la derecha wz<0;vx>0.

L=0.5;
vy=5;
vx=-1;
wz=(1/4)*pi; %en 10 seg gira 0,25 vuelta y queda mirando hacia la
% derecha.

% solo para el caso de que rota sobre si mismo. ICRl=-ICRr.
xICRv=-vy/wz;

% armado de la velocidad aproximada de las orugas:
% se le suma y resta un diferencial a cada oruga en funcion de la vx:
% ese aporte diferencial arriba y abajo de vy dividido wz determina la
% magnitud de la distancia del ICR. Aproximacion.

% la idea es obtener los xICR en funcion de: wz, vy y vx; y no de:
```

```

% Vl y Vr;
% como deja sin resolver el paper y comenta la aproximacion de estos.
% Vl-vy ó Vr-vy son deltas de velocidad con signos que corresponden al
% sistema de referencia movil en funcion hacia donde esta doblando.

Vd = ( ((sqrt(vx^2+vy^2))-vy) * vx )/(sqrt(vx^2)) ;

Vdr=(-1)*Vd;
Vdl=Vd;

xICRr=Vdr/wz;
xICRl=Vdl/wz;

yICRv=vx/wz;
yICRr=vx/wz;
yICRl=vx/wz;

% ploteo de las variables de salida.
subplot(2,1,1);
axis ([-5 15 4 6]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
Vr = vy + xICRr*wz;
plot(t, Vr, 'd')
end;
legend('Vr: velocidad de la oruga derecha / tiempo');

subplot(2,1,2);
axis ([-5 15 4 6]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
Vl = vy + xICRl*wz;
plot (t, Vl, 'd')
end;
legend('Vl: velocidad de la oruga izquierda / tiempo');

% Posicion inicial del tanque del sistema de referencia fijo.
x0=0;
y0=0;

% Proceso del movimiento del tanque: movil -> fijo:
uy=vy;
ux=vx;

% Ploteo del movimiento del tanque respecto del sistema de referencia
% fijo:
figure;

subplot(1,2,1);
axis ([-15 5 -5 60]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
x = ux * t + x0;

```

```

y = uy * t + y0;

plot (x, y, 'pr')
end;
legend('Movimiento del tanque por el sistema fijo: ( x , y )');

% Ploteo del giro del tanque respecto del sistema de referencia fijo:

subplot(1,2,2);
axis ([-4 4 -4 4 0 12]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10

plot3 (4*cos(wz*(t/5)),4*sin(wz*(t/5)), t/5, 'pr')
end;
legend('Rotacion del tanque por el sistema fijo: ( tita )');

```


B_Movimiento simple de rotación

```
clear; clc;

% ** Analisis del funcionamiento del tanque. Funciones INVERSAS. ****
% (Vl, Vr) = fi(vx, vy, wz).

% Variables de entrada:
% vy: velocidad de traslacion del sistema referencia-tanque. (sistema
% movil).
% vx:
% wz: rotacion sobre el eje del tanque. (sistema movil).

% Funciones de salida:
% Vl: velocidad de la oruga izquierda.
% Vr: velocidad de la oruga derecha.
% Vl = vy + xICRl*wz
% Vr = vy + xICRr*wz

% (xICR, yICR): Centros instantaneos de rotacion. [m]
% ICRl,r,v: izquierdo, derecho, vehiculo.

% Sistema de referencia fijo: Predio de recorrido.
% uy, ux: velocidades de traslacion. [m/s]
% y, x: posicion. [m]
% x0, y0: posicion inicial.
% xs, ys: vector Sentido de avance del tanque.
% t: tiempo de movimiento del tanque. [s]
% L: Distancia entre las orugas. [m]

% Rotacion_1 del tanque:

% variables de entrada del tanque.

L=0.5;
vy=0;
vx=0;
wz=-(1/4)*pi; %en 10 seg gira 1,25 vuelta y queda mirando hacia la
% derecha.

% solo para el caso de que rota sobre si mismo. ICRl=-ICRr.
xICRv=-vy/wz;
xICRr=L/2;
xICRl=-L/2;
yICRv=vx/wz;
yICRr=vx/wz;
yICRl=vx/wz;

% ploteo de las variables de salida.
subplot(2,1,1);
```

```

axis ([-5 15 -1 2]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
Vr = vy + xICRr*wz;
plot(t, Vr, 'd')
end;
legend('Vr: velocidad de la oruga derecha / tiempo');

subplot(2,1,2);
axis ([-5 15 -1 2]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
Vl = vy + xICRl*wz;
plot (t, Vl, 'd')
end;
legend('Vl: velocidad de la oruga izquierda / tiempo');

% Posicion inicial del tanque del sistema de referencia fijo.
x0=0;
y0=0;

% Proceso del movimiento del tanque: movil -> fijo:
uy=vy;
ux=vx;

% Ploteo del movimiento del tanque respecto del sistema de referencia
% fijo:
figure;

subplot(1,2,1);
axis ([-5 15 -5 15]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
x = ux * t + x0;
y = uy * t + y0;

plot (x, y, 'pr')
end;
legend('Movimiento del tanque por el sistema fijo: ( x , y )');

% Ploteo del giro del tanque respecto del sistema de referencia fijo:

subplot(1,2,2);
axis ([-4 4 -4 4 0 12]);
grid on;

```

```
hold on;  
  
for t=0:0.1:10  
  
plot3 (4*cos(wz*t),4*sin(wz*t), t/5, 'pr')  
end;  
legend('Rotacion del tanque por el sistema fijo: ( tita )');
```

C_Movimiento compuesto de rotación + traslación

```
clear; clc;

% **Análisis del funcionamiento del tanque. Funciones INVERSAS. **
% (Vl, Vr) = fi(vx, vy, ?z).

% Variables de entrada:
% vy: velocidad de traslación del sistema referencia-tanque.
% (sistema móvil).
% vx:
% wz: rotación sobre el eje del tanque. (sistema móvil).

% Funciones de salida:
% Vl: velocidad de la oruga izquierda.
% Vr: velocidad de la oruga derecha.
% Vl = vy + xICRl*wz
% Vr = vy + xICRr*wz

% (xICR, yICR): Centros instantáneos de rotación. [m]
% ICRl,r,v: izquierdo, derecho, vehículo.

% Sistema de referencia fijo: Predio de recorrido.
% uy, ux: velocidades de traslación. [m/s]
% y, x: posición. [m]
% x0, y0: posición inicial.
% xs, ys: vector Sentido de avance del tanque.
% t: tiempo de movimiento del tanque. [s]
% L: Distancia entre las orugas. [m]

% Rotacion_1 del tanque:

% variables de entrada del tanque.

% nos ponemos de acuerdo... (ver el paper! -> xICRv: del vehículo).
% hacia la izquierda wz>0;vx<0.
% hacia la derecha wz<0;vx>0.

L=0.5;
vy=5;
vx=-1;
wz=(1/4)*pi; %en 10 seg gira 0,25 vuelta y queda mirando hacia la
% derecha.

% solo para el caso de que rota sobre si mismo. ICRl=-ICRr.
xICRv=-vy/wz;

% armado de la velocidad aproximada de las orugas:
% se le suma y resta un diferencial a cada oruga en función de la vx:
% ese aporte diferencial arriba y abajo de vy dividido wz determina la
% magnitud de la distancia del ICR. Aproximación.

% la idea es obtener los xICR en función de: wz, vy y vx; y no de:
% Vl y Vr;
% como deja sin resolver el paper y comenta la aproximación de estos.
% Vl-vy ó Vr-vy son deltas de velocidad con signos que corresponden al
% sistema de referencia móvil en función hacia donde está doblando.
```

```

Vd = ( ((sqrt(vx^2+vy^2))-vy) * vx )/(sqrt(vx^2)) ;

Vdr=(-1)*Vd;
Vdl=Vd;

xICRr=Vdr/wz;
xICRl=Vdl/wz;

yICRv=vx/wz;
yICRr=vx/wz;
yICRl=vx/wz;

% ploteo de las variables de salida.
subplot(2,1,1);
axis ([-5 15 -5 25]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
Vr = vy + xICRr*wz;
plot(t, Vr, 'd')
end;
legend('Vr: velocidad de la oruga derecha / tiempo');

subplot(2,1,2);
axis ([-5 15 -5 25]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
Vl = vy + xICRl*wz;
plot (t, Vl, 'd')
end;
legend('Vl: velocidad de la oruga izquierda / tiempo');

% Posicion inicial del tanque del sistema de referencia fijo.
x0=0;
y0=0;

% Proceso del movimiento del tanque: movil -> fijo:
uy=vy;
ux=vx;

% Ploteo del movimiento del tanque respecto del sistema de referencia
% fijo:
figure;

subplot(1,2,1);
axis ([-5 15 -5 15]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10
x = ux * t + x0;
y = uy * t + y0;

plot (x, y, 'pr')

```

```

end;
legend('Movimiento del tanque por el sistema fijo: ( x , y )');

% Ploteo del giro del tanque respecto del sistema de referencia fijo:

subplot(1,2,2);
axis ([-4 4 -4 4 0 12]);
grid on;
hold on;

for t=0:0.1:10

plot3 (4*cos(wz*t),4*sin(wz*t), t/5, 'pr')
end;
legend('Rotacion del tanque por el sistema fijo: ( tita )');

```

Conclusiones

De las simulaciones realizadas al modelo cinemático inverso, se obtuvieron las respuestas sobre las correspondientes velocidades desarrolladas por cada oruga según el caso:

A_Movimiento simple de traslación

Ambas orugas desarrollan la misma velocidad, en función del parámetro requerido en " v_y ", como era de esperarse.

B_Movimiento simple de rotación

Ante la evaluación del movimiento con velocidad de " $w_z \rightarrow$ negativa" y nulas las velocidades de traslación " v_y, v_x "; se obtuvo la reacción del Robot con

La oruga derecha desarrollo una velocidad de sentido de giro "negativo"; y la oruga izquierda desarrollo una velocidad "positiva".

Ambas orugas de igual intensidad de velocidad, pero en sentidos opuestos.

Se obtuvo una rotación en sentido horario; que mantiene la posición " x, y " del vehículo constante.

C_Movimiento compuesto de rotación + traslación

De la experimentación del Robot con un movimiento compuesto por traslación + rotación con sentidos de traslación: " $+Y$ " y " $-X$ "; y correlativamente, una componente de rotación " $w_z \rightarrow$ positiva".

En principio, se obtuvo las componentes de los ICR correspondientes:

ICR_v \rightarrow " del lado del semieje X negativo "

ICR_r \rightarrow " del lado del semieje X positivo "

ICR_I \rightarrow " del lado del semieje X negativo "

Las orugas desarrollaron un diferencial de velocidad respecto del valor de traslación " v_y ":

La oruga derecha con un incremento superior a " v_y ".

La oruga izquierda con un incremento inferior a " v_y ".

Como se puede observar en las graficas.

Finalmente se obtuvo la composición de movimiento por medio del modelo.

Mejoras

- Se podría mejorar el alcance del estudio del modelo cinemático inverso de este trabajo práctico, con algún ensayo más de movimiento sobre un escenario con variaciones de planos, el sobrepaso de objetos y escalones.

- Mejorar el sistema de representación del movimiento del Robot, respecto del sistema de referencia fijo.
En la figura de rotación + traslación no se aprecia sobre el plano “x,y” una trayectoria curvilínea.

- Un mayor estudio del sistema de aproximación sobre los Centros de Rotación Instantáneos: ICR, como se encuentra desarrollado, por ejemplo, en el manual:
 - Theory of Machines and mechanisms, de Joseph Edward Shigley y John Joseph Uicker, Jr.; de editorial Mc Graw Hill.

Referencias y bibliografía

- ❖ Approximating Kinematics for Tracked Mobile Robots.
J. L. Martínez. A. Mandow, J. Morales, S. Pedraza, A. García-Cerezo.
Dept. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Málaga.
Plaza El Ejido s/n, 29013-Málaga, Spain.
jlmartinez@uma.es

- ❖ Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial 12 (2015) 3–12.
Robots Móviles con Orugas Historia, Modelado, Localización y Control.
Ramón González, Francisco Rodríguez, José Luis Guzmán.
Departamento de Informática. Universidad de Almería, Ctra. Sacramento s/n, 04120,
Almería, España.

- ❖ L. E. Solaque, M. A. Molina, E. L. Rodríguez.
“Seguimiento de trayectorias con un robot móvil de configuración diferencial”.
Ing. USBMed, Vol. 5, No. 1, pp. 26-34. ISSN: 2027-5846. Enero-Junio, 2014.