

CAPÍTULO 2

Ariadne's Clew Algorithm.

La planificación de trayectorias es uno de los temas más estudiados en Robótica. Existe una gran cantidad de propuestas que tratan de encontrar una solución a este problema. Un algoritmo eficaz en esta área es el *Ariadne's Clew*.

En este capítulo haremos una descripción del *Ariadne's Clew Algorithm*, el cual está compuesto por dos subalgoritmos: *SEARCH* y *EXPLORE*. Analizaremos también un concepto nuevo: la Trayectoria Cinemática, la cual involucra dos problemas básicos, la planificación de trayectorias y la cinemática del manipulador.

2.1. Cinemática del robot.

Una herramienta fundamental en el diseño y control de los brazos del robot es sin duda, la cinemática.

Un robot manipulador típico, se caracteriza por una estructura serial (ciclo abierto) de ligaduras rígidas, denominada Cadena Cinemática Abierta (Zomaya, 1992).

Estas ligaduras están conectadas físicamente en puntos específicos denominados articulaciones, los cuales pueden tener movimientos de rotación o de traslación (Figura 2.1). Cada articulación indica un grado de libertad.

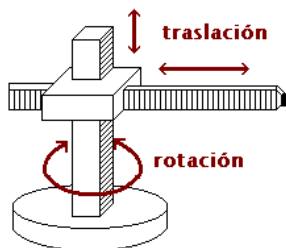


Figura 2.1 Movimientos de rotación y traslación.

En la Cadena Cinemática Abierta, uno de los extremos está sujeto a la base del robot, mientras que el otro está libre y puede ser unido a una herramienta para realizar tareas de ensamble o de manipulación de objetos(Fu, 1987). El extremo libre de la cadena se conoce con el nombre de elemento terminal del robot (Figura 2.2).

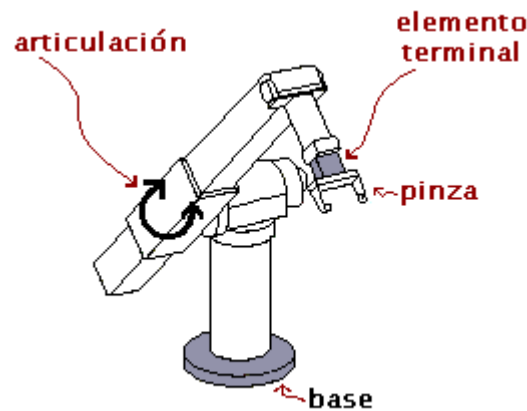


Figura 2.2 Cadena Cinemática Abierta.

En el estudio de la cinemática del robot existen dos problemas fundamentales, de gran interés tanto en la teoría como en la práctica y que son: la Cinemática Directa y la Cinemática Inversa.

2.1.1 Cinemática Directa.

El problema de la Cinemática Directa consiste, en que dado un manipulador, la posición y la orientación de su elemento terminal puede ser determinado por un conjunto de transformaciones de los valores de los ángulos de sus articulaciones con respecto a un sistema de coordenadas de referencia (Zomaya, 1992) (Figura 2.3). Es así como el problema de la Cinemática Directa se reduce a encontrar una matriz de transformación que relacione el sistema de coordenadas del elemento terminal con el sistema de coordenadas de referencia (Fu, 1987).

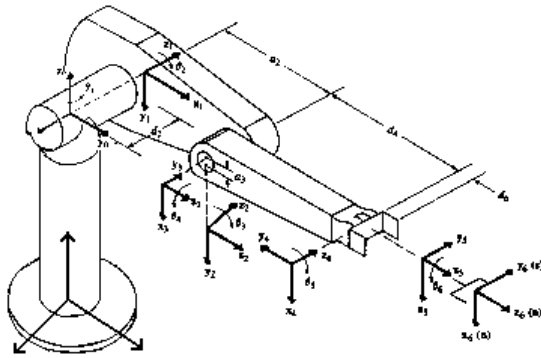
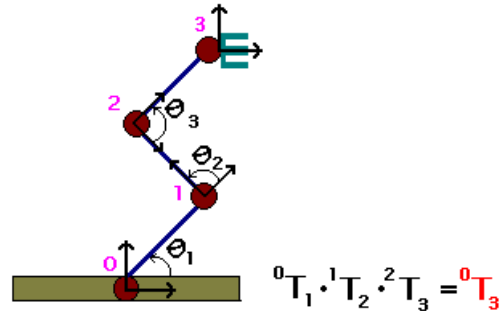


Figura 2.3 Cinemática Directa.



2.1.2 Cinemática Inversa.

El problema de la Cinemática Inversa consiste en que dada una posición y orientación del elemento terminal, queremos encontrar los valores de los ángulos de sus articulaciones, los cuales satisfacen tal localización.

El problema de la Cinemática Inversa es mucho más complicado en el sentido de que pueden existir múltiples soluciones para una misma posición y orientación del elemento terminal (Figura 2.4). Además, para un robot manipulador, muchas veces las soluciones pueden no existir dentro del rango de configuraciones de su elemento terminal y de la estructura de sus brazos (Figura 2.5).

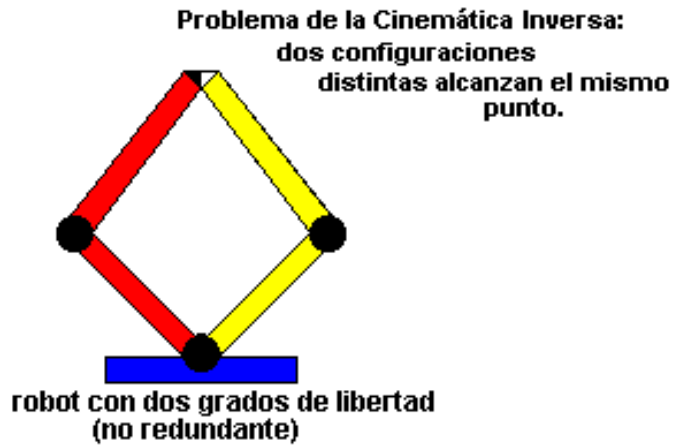


Figura 2.4 Problema de la Cinemática Inversa para un robot con dos grados de libertad.

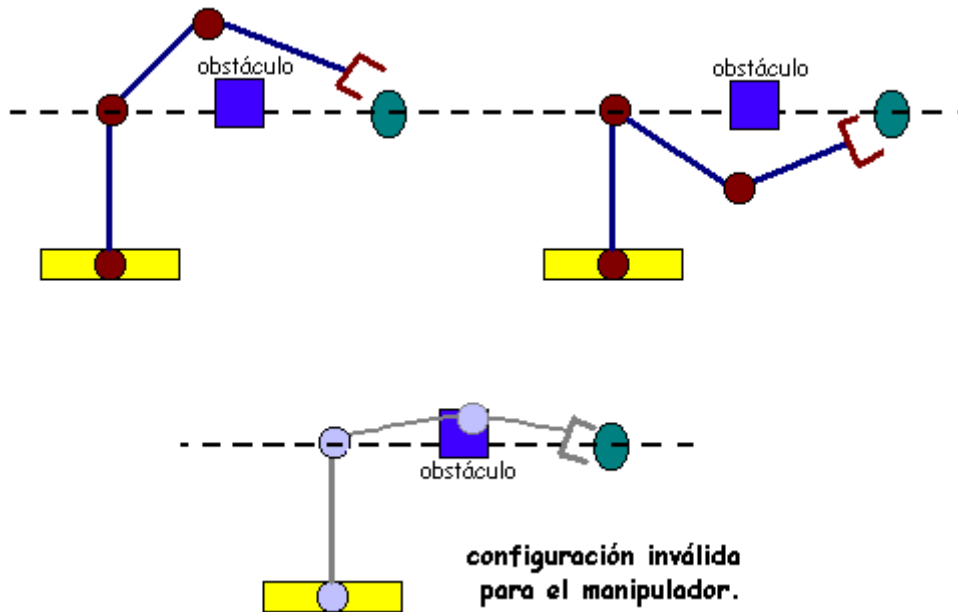


Figura 2.5 Problema de la Cinemática Inversa para un robot con tres grados de libertad.

Un brazo manipulador debe tener al menos seis grados de libertad para localizar su elemento terminal en un punto arbitrario con una orientación arbitraria en el espacio. Los brazos manipuladores con menos de seis grados de libertad no son capaces de ejecutar tal posicionamiento. No obstante, si el manipulador tiene más de seis grados de libertad hay un número infinito de soluciones para la ecuación cinemática. Un manipulador con más de seis grados de libertad es llamado manipulador redundante.

Concretamente, si especificamos una posición para el elemento terminal en K parámetros en un manipulador con N grados de libertad tenemos que:

si $N < K$ no existe solución.

si $N = K$, existen varias soluciones.

si $N > K$, existe un número infinito de soluciones.

(Zomaya, 1994).

Para Siciliano (1989), la redundancia cinemática ocurre cuando un manipulador posee más grados de libertad que el número mínimo requerido para ejecutar una tarea dada.

En años recientes, los robots cinemáticamente redundantes han encontrado una creciente aplicación dentro de la comunidad de investigación robótica. La razón principal es que agregarle grados de libertad a un robot puede llegar a evitar singularidades y colisiones además de que optimiza los criterios de ejecución. Sin embargo, con el incremento de grados de libertad se incrementa también la complejidad computacional de la cinemática inversa, la planificación de trayectorias y la detección de colisiones. (Ahuactzin y Gupta, 1999).

En resumen y de forma gráfica, los problemas de Cinemática Directa y Cinemática Inversa se pueden sintetizar en la siguiente gráfica (Figura 2.6):

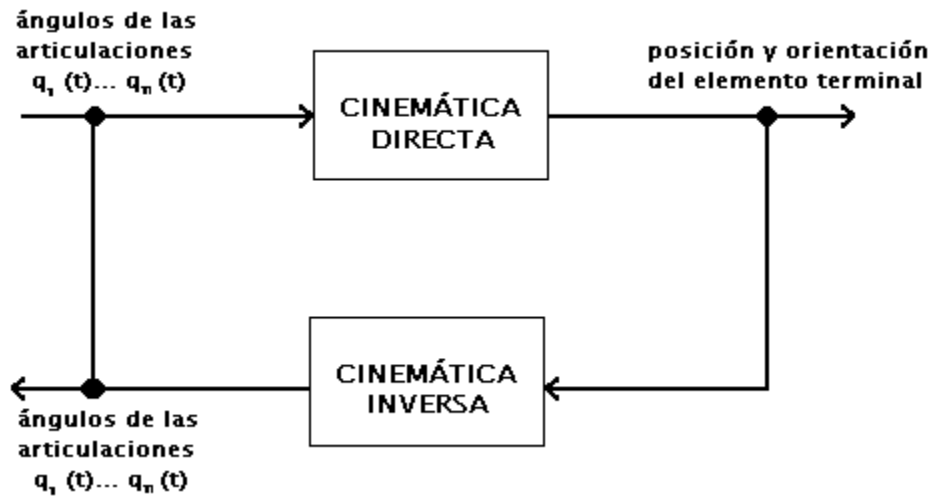


Figura 2.6 Cinemática del robot.

2.2. Planificación de trayectorias.

Robótica es la conexión inteligente entre la percepción y la acción. Dicha conexión está establecida básicamente en tres puntos: la programación, la planificación y el aprendizaje de los robots (Khatib, et al., 1992). Tal vez, esta es la razón por la cual, la planificación de trayectorias es uno de los temas con mayor estudio dentro del campo de la robótica.

El objetivo de la planificación es la construcción de sistemas que puedan crear altos niveles de soluciones dentro de una secuencia de comandos necesarios para la realización de tareas, por ejemplo: la especificación de un mecanismo de ensamble para un brazo robótico o la localización de una área libre para un robot móvil, (Khatib, et al., 1992).

De la forma más sencilla, la planificación de movimientos se refiere a la manera de encontrar una trayectoria libre de colisiones entre una posición inicial y una posición final dentro de un espacio que puede o no tener obstáculos (Figura 2.7) (Schmidh y Neubaver, 1993).

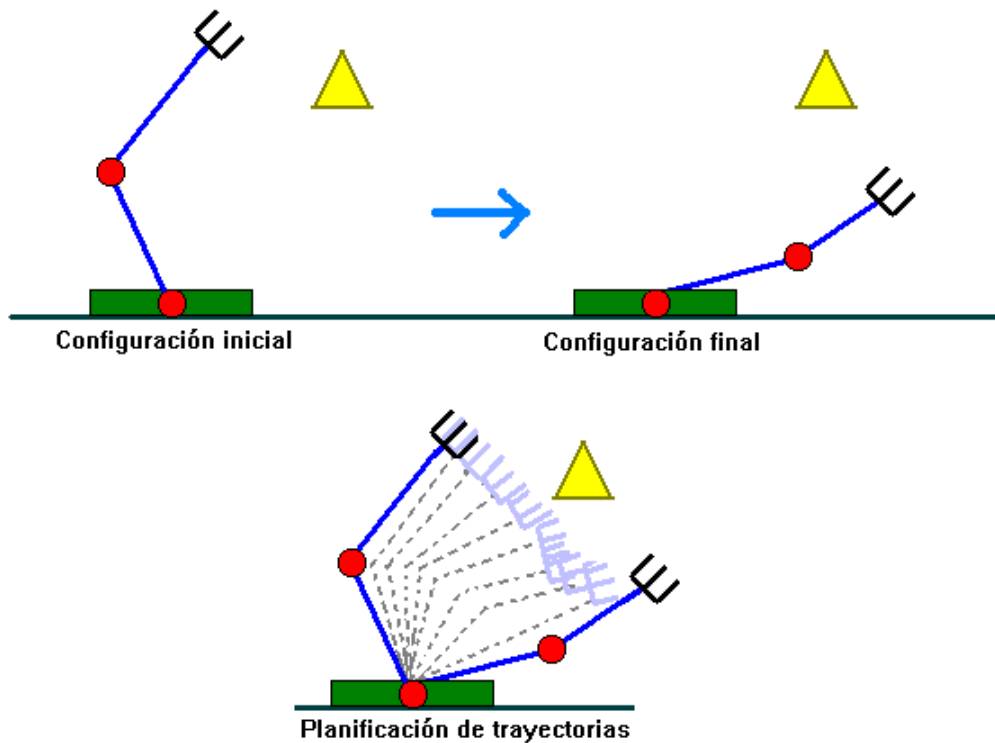


Figura 2.7 Planificación de trayectorias.

Los objetos situados dentro del espacio del robot pueden ser de dos tipos: estáticos o dinámicos. Según Khatib, et al. (1992), cuando los obstáculos son estacionarios, la solución para la planificación de trayectorias es un camino geométrico descrito como una curva continua de longitud finita en el espacio de configuraciones del robot. En este proyecto se considera el primer problema donde los obstáculos permanecen fijos en el espacio.

Para Mediavilla et al. (1998), los algoritmos de planificación de trayectorias pueden clasificarse de la siguiente forma: *roadmaps*, descomposición de células, campos potenciales y métodos de programación matemática. A continuación se definen brevemente dichos algoritmos:

- ✚ En la solución de problemas clásicos de planificación de trayectorias, se conoce con el nombre de *roadmap* a un paradigma que consiste en capturar la conectividad del espacio libre de configuraciones usando un conjunto finito de nodos o *landmarks* (Ahuactzin y Gupta, 1999).

- ✚ La descomposición de células se basa en la fragmentación del espacio de configuración del robot dentro de células de alguna forma simple predefinida. Las células se clasifican en vacías o llenas dependiendo de los objetos que contienen (Latombe en Khatib, et al., 1992).

- ✚ Los campos potenciales pertenecen a la categoría de analogías físicas empleadas para la planificación de trayectorias (Schmidt y Neubauer, 1992).

- ✚ Los métodos de programación matemática, consideran la planificación de trayectorias como un problema de optimización, donde ciertas variables como el consumo de energía o el tiempo deben ser minimizadas y las constantes físicas del robot deben ser satisfechas (Mediavilla et al. 1998).

Existen áreas diversas de planificación de trayectorias. En años recientes, las que más atención han recibido son: *Gross motion (path) planning*, *Fine motion planning*, *Grasping*, *Action sequence planning*. Las tres primeras están centradas en problemas que incluyen el modelado detallado de geometrías y mecanismos de interacción entre el robot y la tarea.

En nuestro trabajo es necesaria la utilización de un algoritmo de planificación de trayectorias. Dado que tenemos un conjunto de puntos que deseamos alcanzar con el elemento terminal del robot, en primer lugar, debemos resolver el problema de la Cinemática Inversa para cada punto y si suponiendo que conocemos el orden de recorrido, la planificación de trayectorias nos asegura desplazamiento libre de colisiones de la configuración de un punto a otro.

El algoritmo de planificación de trayectorias que vamos a utilizar es el Ariadne's Clew debido a su eficiencia en la solución, a su fácil adaptación al problema y a su claridad conceptual.

2.3. Descripción del *Ariadne's Clew Algorithm* (ACA).

El *Ariadne's Clew* es un algoritmo eficiente de planificación de trayectorias. Uno de los puntos que hace este algoritmo es optimizar la función de distancia entre una configuración inicial y una configuración final.

El *Ariadne's Clew Algorithm* (ACA), está compuesto de dos sub-algoritmos. *EXPLORE*, que "explora" el espacio de configuración que puede ser alcanzado por el robot desde una configuración inicial y *SEARCH*, que intenta alcanzar la configuración final desde una nueva configuración determinada por *EXPLORE* (Ahuactzin y Gupta, 1999). Podemos esquematizar el *Ariadne's Clew Algorithm* en la siguiente gráfica (Figura 2.8):

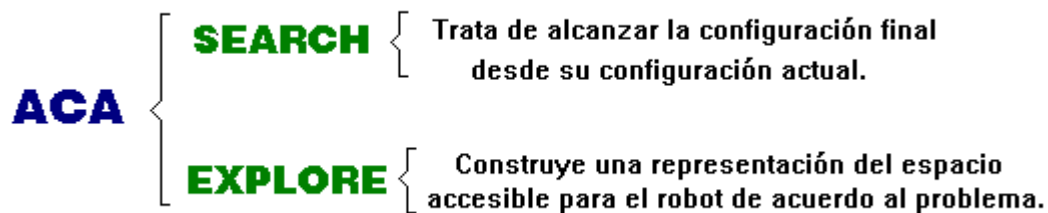


Figura 2.8 *Ariadne's Clew Algorithm*

2.4. El *Ariadne's Clew Algorithm* y la Cinemática Inversa.

Como ya se mencionó, el problema de la Cinemática Inversa se ha estudiado ampliamente dentro del campo de la Robótica y ha sido formulado en distintas formas.

Para resolver el problema de la Cinemática Inversa podemos hacer uso de los algoritmos de planificación de trayectorias. La planificación de trayectorias da con la existencia de un camino factible, dadas dos configuraciones una inicial y una final, a la vez que resuelve el problema de la redundancia al seleccionar una simple configuración entre un conjunto de muchas posibilidades (Ahuactzin y Gupta, 1999).

2.4.1 Algoritmos locales y globales.

En su mayoría, los algoritmos de Cinemática Inversa tienen su enfoque en algoritmos locales con el fin de resolver la redundancia. Su solución está dirigida al dominio de la velocidad, asumen que la solución es cerrada a la configuración inicial y son limitados. Por otro lado, los algoritmos globales buscan trayectorias óptimas en el espacio de configuraciones para encontrar la localización deseada del elemento terminal del robot, estas pueden resolver algunos problemas con límites en sus valores.

En realidad, estos algoritmos no son globales, lo son en el sentido de que optimizan la función de costo a lo largo de una trayectoria pero el conjunto de caminos sigue siendo local. La aproximación completamente global no existe aún (Ahuactzin y Gupta, 1999).

Otro punto que hay que tomar en consideración es, que en planificación de trayectorias no hay garantía de integridad y fácilmente se puede caer en un mínimo local (Ahuactzin y Gupta, 1999).

2.4.2 La Trayectoria Cinemática.

Ahuactzin y Gupta (1999) plantean una aproximación global para resolver el problema de la Cinemática Inversa punto a punto en robots altamente redundantes. Su propuesta se fundamenta en el paradigma *roadmap*. La captura de la conectividad del espacio de configuración libre con límites en la movilidad de los brazos del manipulador y evitando colisiones con obstáculos y consigo mismo, es lo que llaman Trayectoria Cinemática.

En dicha trayectoria, la estructura cinemática del robot no cambia y una vez construida, es una estructura de datos general y práctica que puede ser usada para encontrar rápidamente una solución para el problema de la Cinemática Inversa. El énfasis de esta propuesta está en aspectos de planificación de trayectorias.

Ahuactzin y Gupta (1999), formularon el problema de la Cinemática Inversa como un problema de optimización sobre el espacio de configuración accesible para el robot, sin embargo la función objetivo utiliza una métrica distinta entre la configuración inicial y la localización deseada del elemento terminal. El problema de optimización se resuelve con una analogía del *Ariadne's Clew Algorithm* utilizando los subalgoritmos: *EXPLORE* y *SEARCH*.

EXPLORE rastrea el espacio de configuración accesible desde una configuración inicial colocando *lanmarks* dentro de él. Los *landmarks* son colocados para trazar una trayectoria de la configuración inicial a un *landmark* conocido. El conjunto de *landmarks* con los caminos asociados a él es una Trayectoria Cinemática que representa la conectividad del espacio de configuración accesible en presencia de límites cinemáticos. *SEARCH* es un planificador local que intenta alcanzar la configuración final desde un nuevo *landmark*. *SEARCH* explota la estructura serial cinemática del manipulador, y

resuelve el problema de optimización secuencialmente en forma cerrada (Ahuactzin y Gupta, 1999).

2.5 Características generales del Ariadne's Clew.

Por último, haremos un recuento de las principales características del *Ariadne's Clew Algorithm*:

- ✚ Se adapta a la dificultad del problema, es decir, coloca muchos *landmarks* en problemas difíciles y pocos en problemas fáciles.
- ✚ Es completo para una resolución dada (si tenemos una resolución r , busca la solución hasta r , si no la encuentra quiere decir que para esta resolución no hay solución).
- ✚ No hay cálculo del espacio de configuraciones.
- ✚ Es un método general de optimización.