

# Detección de colisiones

[11.1] ¿Cómo estudiar este tema?

[11.2] Introducción al problema

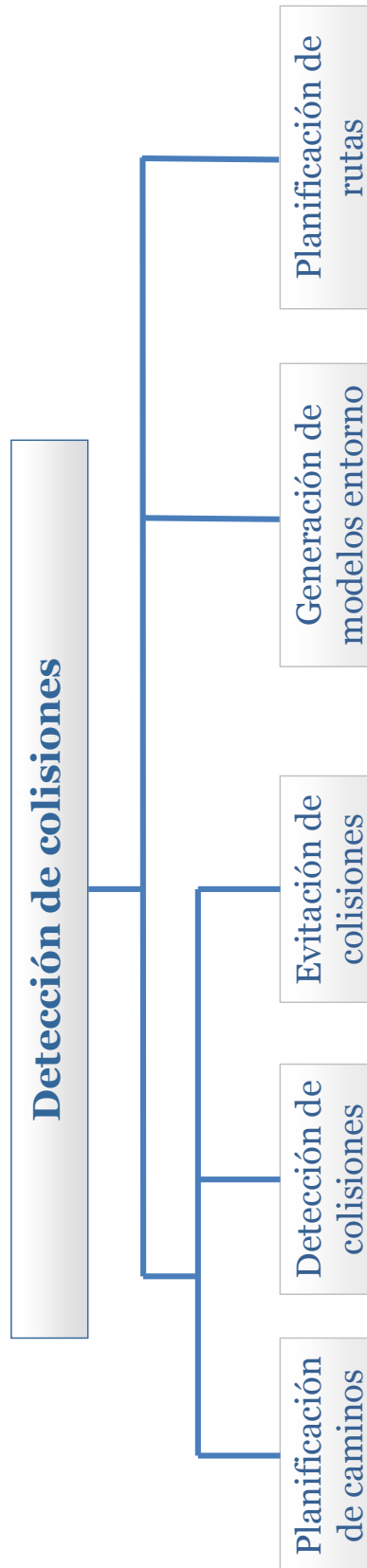
[11.3] Modelos del entorno

[11.4] Planificación de rutas

11

TEMA

# Esquema



## Ideas clave

---

### 11.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las **Ideas clave** que encontrarás a continuación.

En este tema se estudian algunas cuestiones clásicas relativas a la detección de colisiones:

- » Problemas principales en la detección de colisiones.
- » Modelos de entorno: ventajas e inconvenientes de los distintos modelos.
- » Algoritmos para la planificación de caminos.

### 11.2. Introducción al problema

Cuando hay varios objetos en un espacio y al menos uno de ellos está en movimiento es necesario anticipar los posibles choques. Este problema genérico se llama **detección de colisiones**.

Cuando dos objetos chocan en el mundo real pueden pasar varias cosas: pueden rebotar, romperse en varios trozos o deformarse por lo que su comportamiento en una simulación debería ser igual.

Por tanto, la detección de colisiones se aplica a problemas relacionados con la planificación de rutas, la simulación de movimiento de objetos, como las animaciones en tiempo real, robótica (para evitar tanto la colisión entre el robot y un objeto del entorno como la colisión entre las distintas partes del robot), realidad virtual, simuladores quirúrgicos etc.

Los principales problemas que se resuelven en esta área son (figura 11.1):

- » **Planificación de caminos:** consiste en el diseño de algoritmos que permita obtener trayectorias libres de obstáculos. Por lo general van a optimizar alguna función (longitud mínima, máxima distancia a los objetos, etc.). En este tema vamos a ver algunas técnicas clásicas.

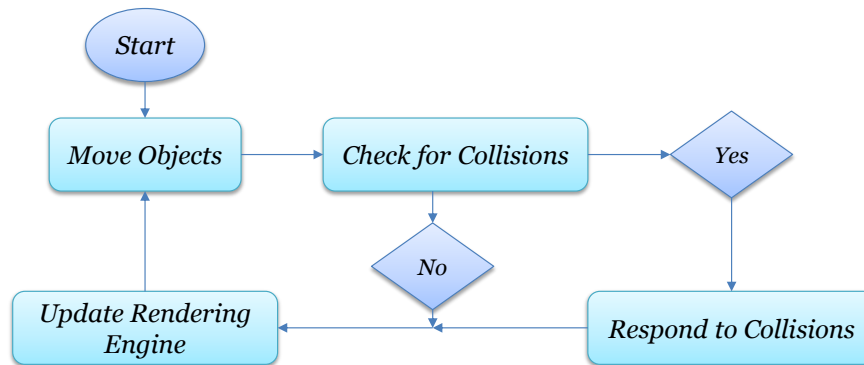


Figura 11.1. Problemas de la detección de colisiones

Fuente: Coutinho, M. G. (2013)

- » **Detección de colisiones:** se trata de prever si dos objetos pueden colisionar (por ejemplo: un robot y algún objeto del entorno) estudiando la trayectoria de los objetos, su forma y su velocidad. Se realiza mediante sensores de proximidad (como láser escáner, cámaras estereoscópicas, cámaras monoculares o cámaras de tiempo de vuelo) y se utiliza esta información para hacer mapas de entorno. A continuación se procesan estas imágenes para crear un mapa del entorno y determinar las posibles colisiones.

Las características de estos mapas van a cambiar en función de los aspectos que se quieran estudiar, del tipo de sensores utilizados, etc. En el próximo apartado se ven algunos tipos de mapas.

Existen distintos algoritmos para crear estos mapas pero cualquiera de ellos va a necesitar un tiempo para generar el mapa del entorno. Esto hace que tener cuidado para elegirlos si se quiere trabajar en tiempo real o procesar los cambios que se produzcan en entornos dinámicos.

- » **Evitación de colisiones:** son las acciones que se llevan a cabo para evitar las colisiones que se hayan detectado. Estas acciones pueden ser detención del móvil, cambio en la velocidad o planificación de rutas alternativas. Estas acciones tienen niveles de complejidad distintos.

### 11.3. Modelos del entorno

Cualquier representación de la realidad es una simplificación de la misma. Por tanto, pueden construirse distintos modelos que representen unas características dadas (como la geometría o la topología del espacio) y descarten otras. La elección se hará en función de la capacidad de cálculo de que se disponga (especialmente en trabajos en tiempo real o entornos dinámicos), del tipo de sensor, del tipo de móvil, etc.

#### Ocupación de celdas

La primera aproximación al problema pasa por discretizar el espacio: se hace un mallado y se asigna a cada celda el valor 0 si esta se corresponde con terreno completamente libre y 1 si está total o parcialmente ocupado (figura 11.2).

0	0	0	0	0	0	0	0	G
0	0	1	0	0	0	0	0	0
S	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 11.2. Modelo de entorno por ocupación de celdas

Fuente: <http://tai.czasopisma.pan.pl/>

Las **ventajas** de este método son:

- » Es posible modelar cualquier tipo de terreno.
- » Su implementación es muy sencilla.
- » Realiza una descripción del entorno muy sencilla.

Las **desventajas** son:

- » Para tener un modelo que resulte útil es necesario que el mallado sea fino.
- » Por tanto, consume muchos recursos.
- » Es poco eficiente.

Como las desventajas pesan más es un método que no se utiliza.

### Estructuras jerárquicas

Estas estructuras tienen celdas de distinto tamaño. Son muy similares al modelo anterior, simplemente se afina el mallado en las zonas en que se necesita más detalle (resolución). La figura 11.3 muestra un ejemplo.

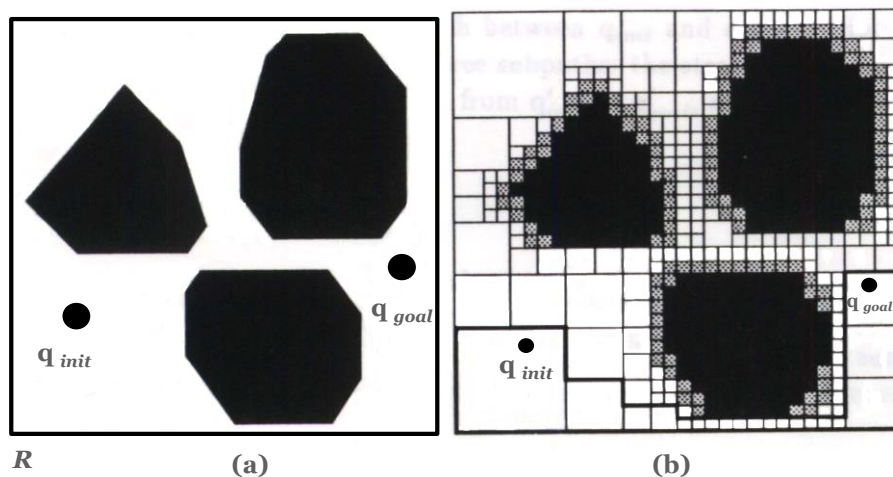


Figura 11.3. Modelo de estructura jerárquica

Fuente: <https://cs.stanford.edu/>

El algoritmo de descomposición en celdas funciona:

- » Cada celda debe pertenecer por completo o bien al espacio libre o bien a un obstáculo.
- » Se subdivide hasta alcanzar un nivel de resolución establecido.

En cuanto se alcance uno de los criterios se detiene la descomposición. El método de la figura 11.3 es el *quadtree*, aunque puede hacerse de forma análoga con *octree* para el caso tridimensional.

Las ventajas de este método son que la descripción sigue siendo sencilla pero es mucho más eficiente. Su principal desventaja es que el cálculo de rutas en este modelo es más complicado.

### Modelos de primitivas de sólidos

Se modelan los obstáculos a partir de objetos geométricos sencillos (primitivas). Esto se puede hacer en 2D (triángulos, circunferencias, rectángulos, etc.) como en 3D (esferas, cilindros, toros, paralelepípedos, etc.), tal y como se muestra en la figura 11.4.

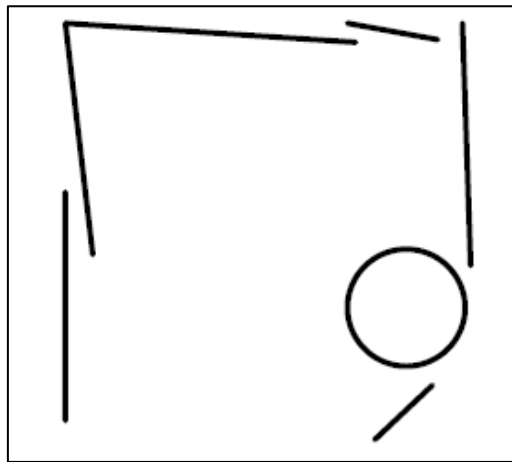


Figura 11.4. Modelo de primitivas de sólidos

Fuente: <http://www.iit.comillas.edu/>

Un objeto puede estar formado por varias primitivas y se definen las operación de unión, intersección, etc. como operaciones booleandas (figura 11.5).

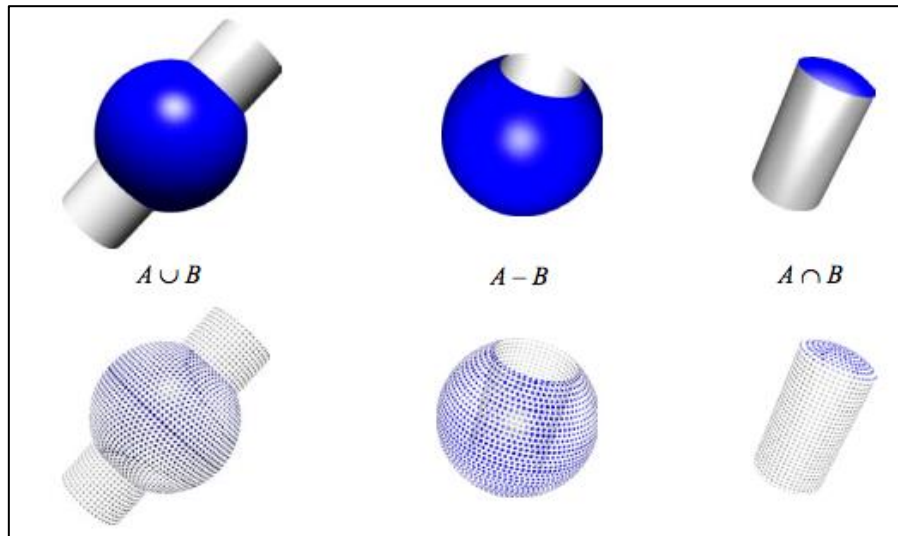


Figura 11.5. Operaciones entre primitivas

Fuente: <ftp://ftp.inf.ethz.ch/>

Las **ventajas** de este método son:

- » La descripción es eficiente y sencilla.
- » La descripción de los obstáculos ocupa poca memoria.

Las principales **desventajas** son:

- » Puede resultar difícil de modelar el entorno ya que no siempre los obstáculos se ajustan bien a las primitivas (figura 11.6). En este caso la descripción va a ser muy conservadora ya que se va a sobredimensionar el tamaño de los objetos.
- » Distintos entornos pueden modelarse con las mismas primitivas.
- » Es difícil modelar con primitivas a partir de datos obtenidos de sensores.

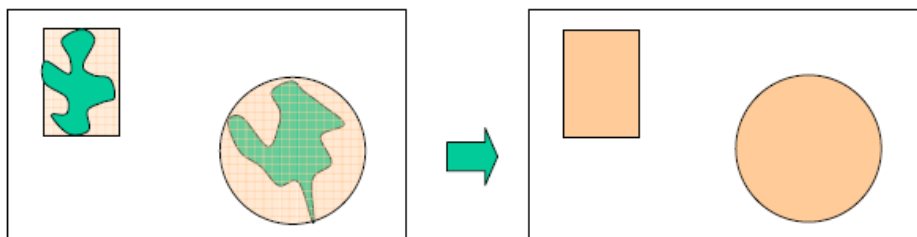


Figura 11.6. Modelización de objetos del entorno

Fuente: <http://www.esi2.us.es/>



## Modelado topológico

El modelado topológico realiza una descripción cualitativa del entorno teniendo en cuenta la relación entre los distintos obstáculos. Un ejemplo de modelado topológico se ve en los planos de metro de las ciudades: por lo general estos mapas no están hechos a escala (y, por tanto, no contienen información geométrica) pero aun así cumplen su cometido. La razón es que lo más relevante para los usuarios de metro no es la distancia entre las estaciones sino en qué orden están las estaciones, a qué línea pertenecen y, por tanto, en qué estaciones se puede hacer transbordo.

Un mapa topológico es un grafo en el que los obstáculos (o lugares en general) del entorno son los nodos y las relaciones entre ellos con los arcos. Un plano de metro es un ejemplo, otro ejemplo puede verse en la figura 11.7. Este modelado es muy intuitivo ya que las personas también nos hacemos una representación topológica de los espacios.

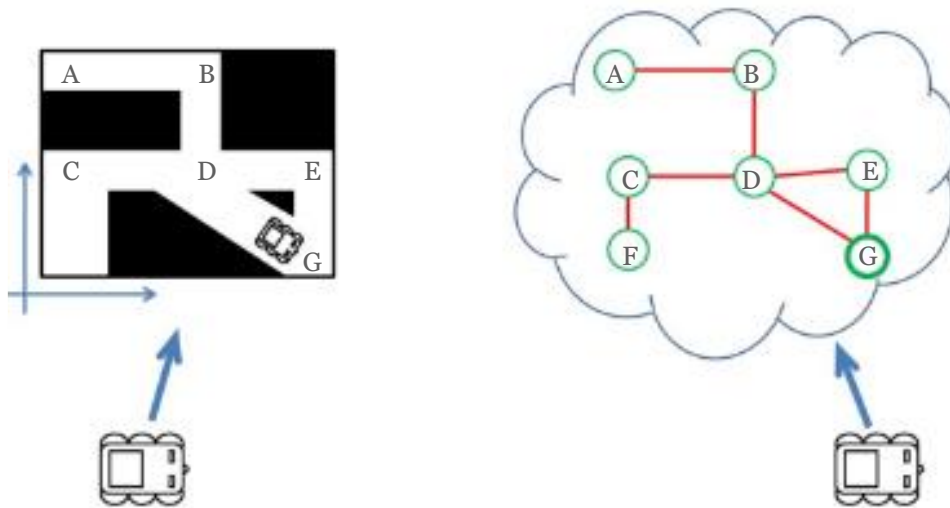


Figura 11.7. Modelización topológica de entorno

Fuente: <http://www.ini.uzh.ch/>

### Modelo de expansión de obstáculos

Si se representaran en un mapa los obstáculos sobredimensionados, el móvil que circula por el espacio libre resultante se aseguraría de que todas las rutas estuvieran libres de obstáculos (figura 11.8). Es muy habitual aproximar el móvil por una circunferencia y tratarlo como un objeto puntual.

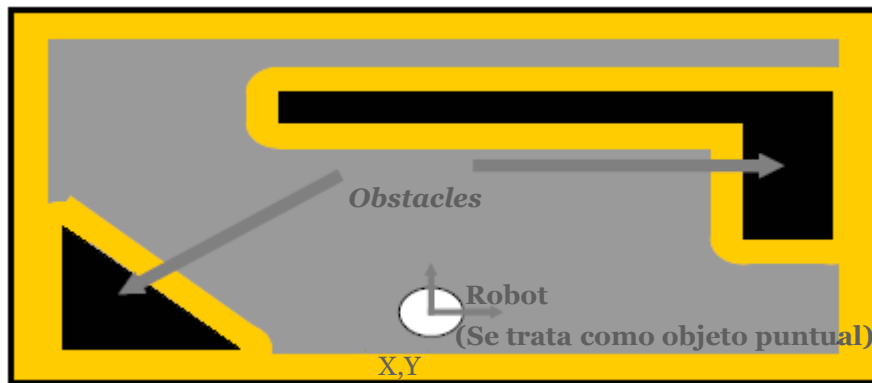


Figura 11.8. Modelo de expansión de obstáculos

Fuente: <http://www.esi2.us.es/>

El primer problema es determinar cuánto deben expandirse los objetos, es decir, calcular el llamado factor de expansión del entorno.

La primera aproximación sería puramente geométrica: se toma como factor de expansión el radio,  $r$ , de la circunferencia con que se aproxime al robot. El problema es que la posición del robot no se suele conocer de forma muy precisa y a esto hay que sumarle una cantidad que refleje la incertidumbre en la posición.

Si se observa la figura 11.8 puede verse que, mientras que los obstáculos se expanden, el polígono límite que marca el espacio considerado se contrae. Por tanto, para implementar este modelado hay que seguir los siguientes pasos:

- » Expandir los obstáculos y contraer el polígono límite (figura 11.9):

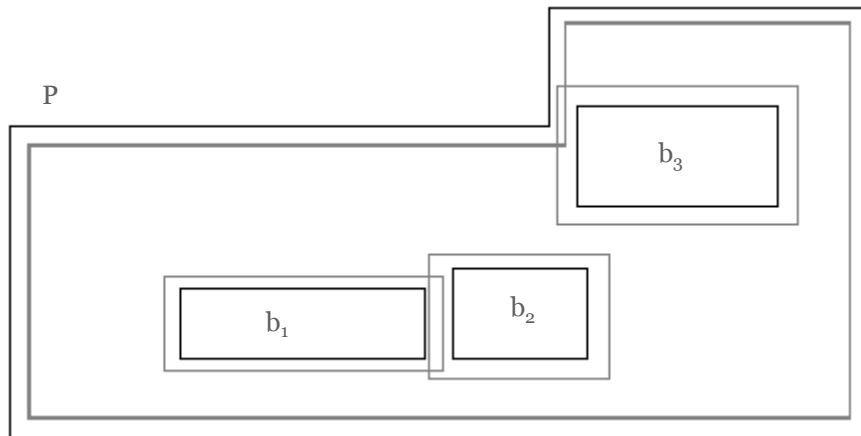


Figura 11.9.

Fuente: <http://www.webpersonal.uma.es/>

- » Calcular el polígono límite resultante (figura 11.10):

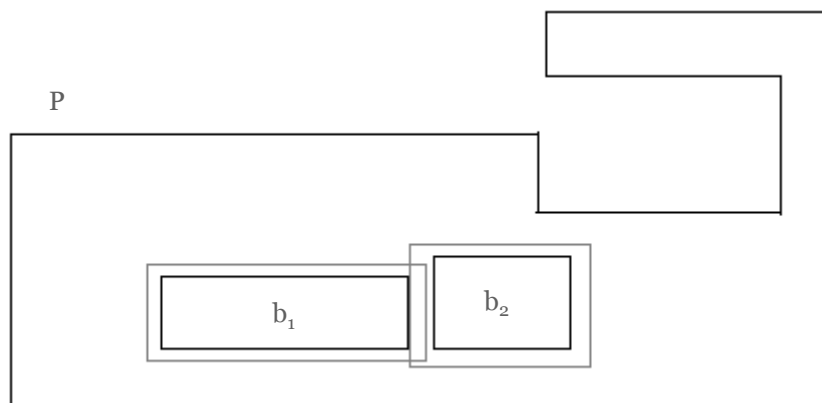


Figura 11.10.

Fuente: <http://www.webpersonal.uma.es/>

- » Calcular el nuevo conjunto de obstáculos (figura 11.11):

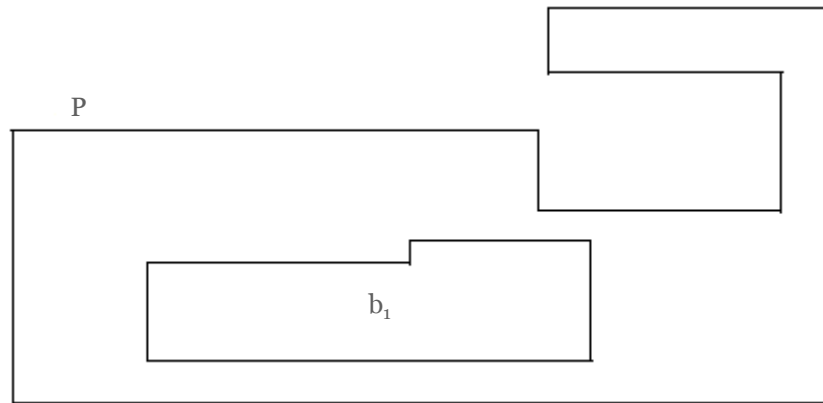


Figura 11.11.

Fuente: <http://www.webpersonal.uma.es/>

La aproximación del robot por una esfera es muy sencilla computacionalmente pero en ocasiones puede tener el inconveniente de descartar rutas válidas al ofrecer un modelo excesivamente conservador (figura 11.12).

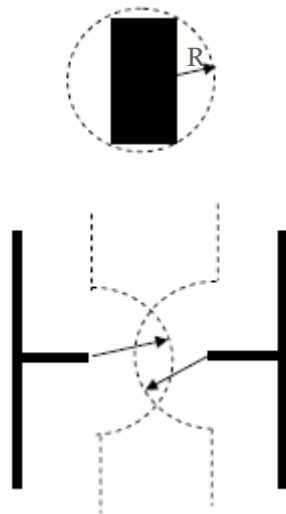


Figura 11.12.

Fuente: <http://www.esi2.us.es/>

## 11.4. Planificación de rutas

Una vez creado el mapa de entorno es posible planificar una ruta libre de obstáculos. A continuación vamos a ver algunos de los métodos clásicos más empleados.

## Grafos de visibilidad

Se dice que un punto es visible desde otro si el segmento que une ambos puntos no atraviesa ningún obstáculo. Que sea tangente a él no se considera atravesarlo. Lo que hace este algoritmo es construir un grafo en el que todas sus aristas se corresponden con tramos que se recorren en el espacio libre de obstáculos.

Por tanto el problema de encontrar una ruta libre de obstáculos quedará reducido a un problema de optimización (mínima distancia, mínimo tiempo de recorrido, etc.) sobre el grafo.

Para construir el grafo de visibilidad: en primer lugar se consideran todos los segmentos entre el punto de origen y todos los vértices de los objetos que sean visibles desde él (figura 11.13).

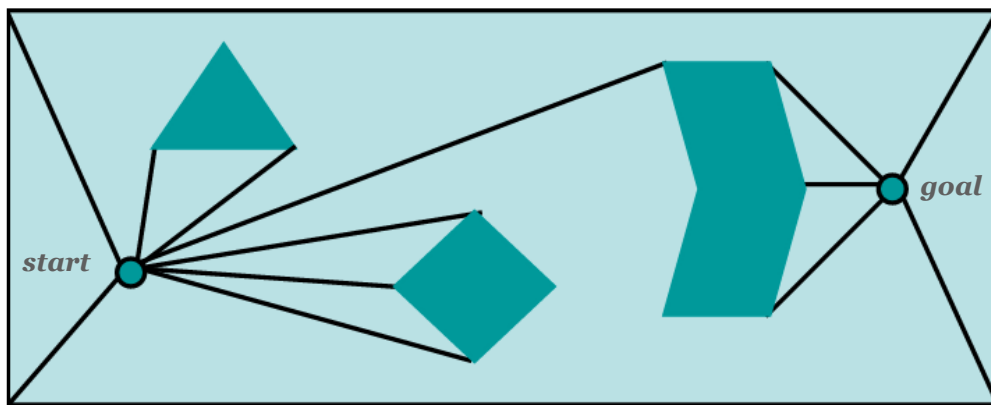


Figura 11.13.

Fuente: <http://www.slideplayer.com/>

A continuación se van considerando todos los segmentos entre todos los vértices de los obstáculos, siempre que sean visibles entre sí (figura 11.14).

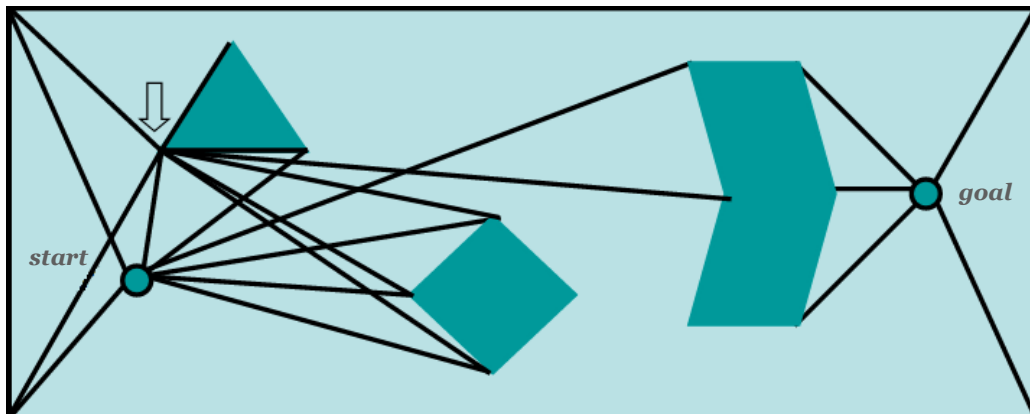


Figura 11.14.

Fuente: <http://www.slideplayer.com/>

Hasta que se completa (figura 11.15):

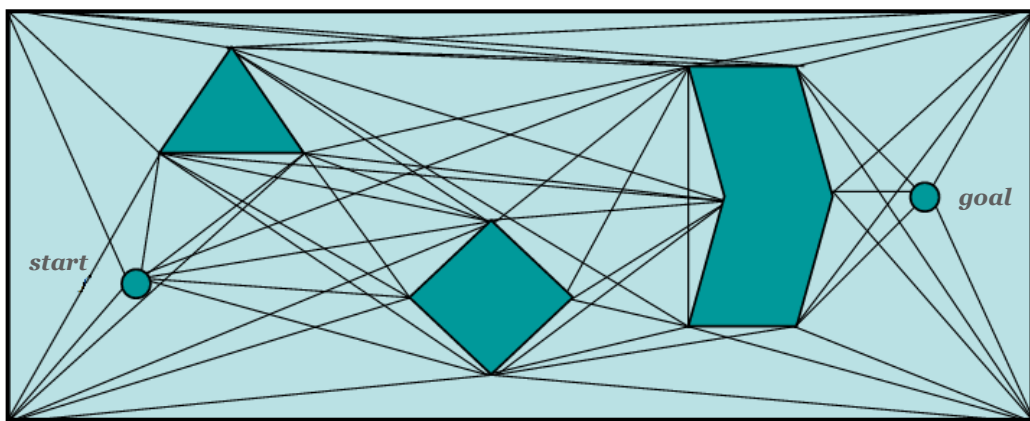


Figura 11.15.

Fuente: <http://www.slideplayer.com/>

Este método es muy utilizado porque puede resolverse con algoritmos de bajo coste computacional. No obstante deben hacerse cálculos adicionales: un móvil no es un punto sin dimensión, por lo que debe alejarse de los obstáculos. Por esta razón muchos autores se refieren a esta solución como una ruta semilibre de obstáculos.

## Diagramas de Voronio

Los diagramas de Voronoi, al contrario que los grafos de conectividad, buscan la ruta que maximice la distancia a todos los obstáculos. Así se realiza una teselación del plano de forma que las líneas sean equidistantes a los obstáculos más próximos a ellas.

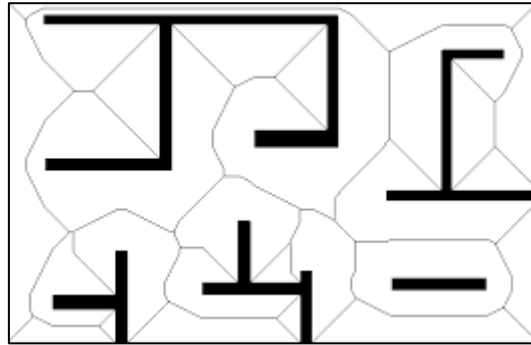


Figura 11.16.

Fuente: <http://www.utuconstruccion.blogspot.com.es/>

En función de la geometría de los obstáculos, estos pueden aproximarse por un punto o una poligonal. Como se tiene que:

- » El lugar geométrico de los puntos que equidistan de **dos puntos** es una recta (figura 11.17)

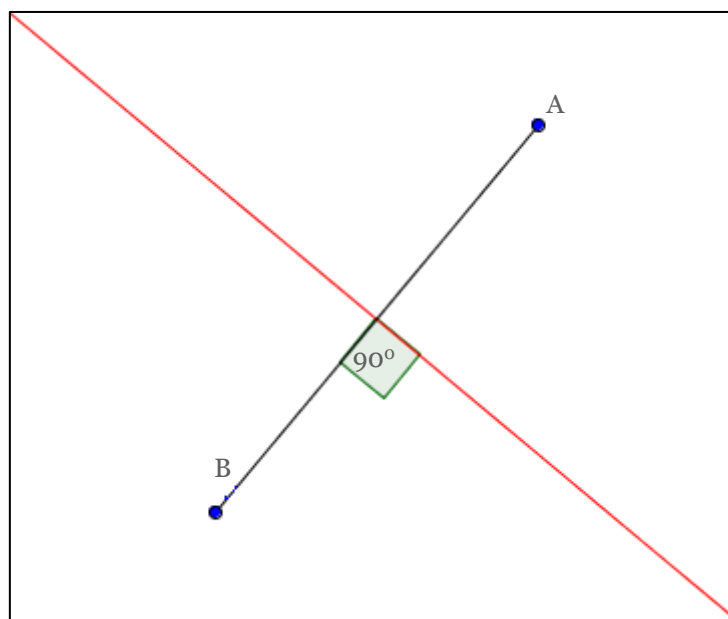


Figura 11.17.

Fuente: <http://www.utuconstruccion.blogspot.com.es/>

- » El lugar geométrico de los puntos que equidistan de **dos rectas** es una recta (figura 11.18)

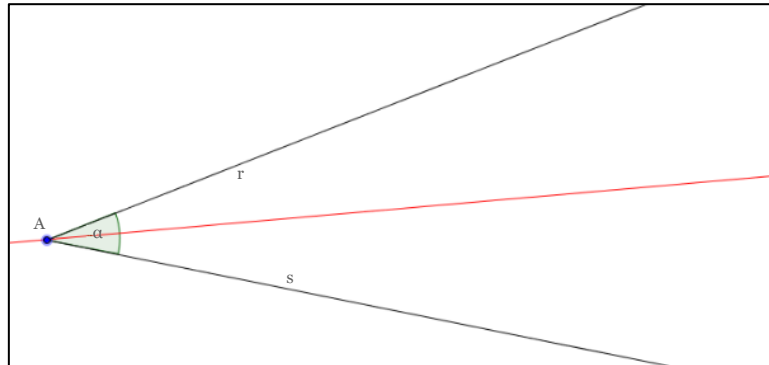


Figura 11.18.

Fuente: <http://www.utuconstruccion.blogspot.com.es/>

- » El lugar geométrico de los puntos que equidistan **de un punto y una recta** es una parábola (figura 11.19):

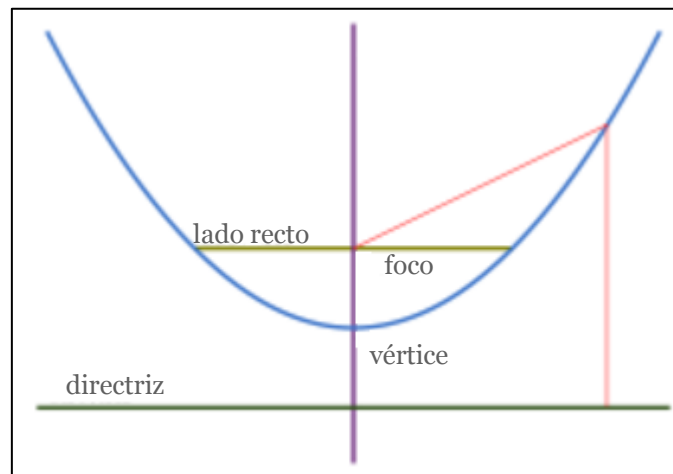


Figura 11.19.

Fuente: <http://www.geometriaparabolaepoem97.blogspot.com.es/>



- » Un diagrama de Voronoi está compuesto por **segmentos de recta y de parábola** (figura 11.20):

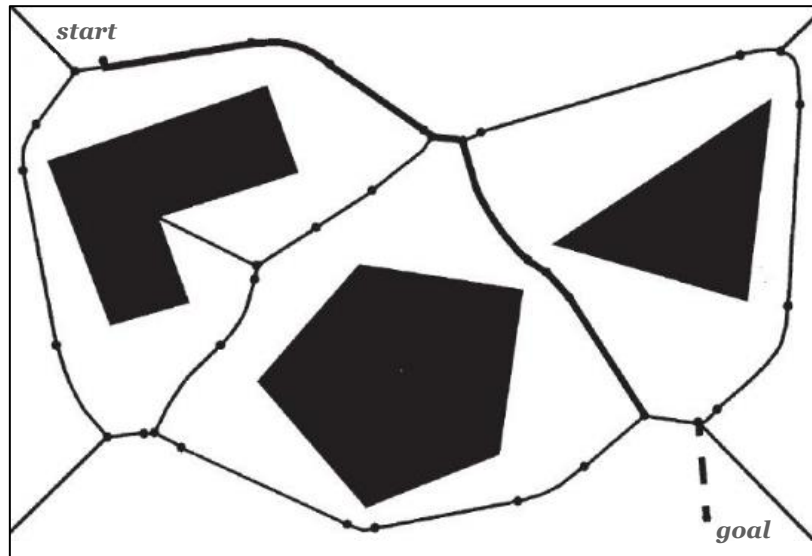


Figura 11.20.

Fuente: <http://www.ayorho.wordpress.com/>

También se pueden calcular diagramas de Voronoi en casos en que los obstáculos sean curvos pero en este caso el cálculo será más costoso y no sabemos a priori cuál será el lugar geométrico resultante.

Nótese que en este caso se está aproximando el móvil por un punto. Este tipo de rutas son muy adecuadas en entornos con pasos estrechos entre obstáculos. Si, por el contrario, hubiera mucho espacio libre la planificación con diagramas de Voronoi podría dar lugar a rutas muy poco eficientes que dieran grandes rodeos.

### Descomposición trapezoidal

En este método, en primer lugar se aproximan los obstáculos por poligonales. A continuación se consideran las líneas verticales desde los vértices de los obstáculos. Así se definen segmentos verticales desde cada vértice que darán lugar a unas celdas que tendrán forma trapezoidal o triangular. Cada celda está contenida en el espacio libre. Por último se determina un camino libre de obstáculos.

Este método pertenece a la familia de los métodos de descomposición exacta, ya que la unión de las celdas es igual al espacio libre de obstáculos. Las figuras 12.21 y 12.22 muestran gráficamente cómo se comporta el algoritmo.

» Aproximación de los obstáculos por poligonales:

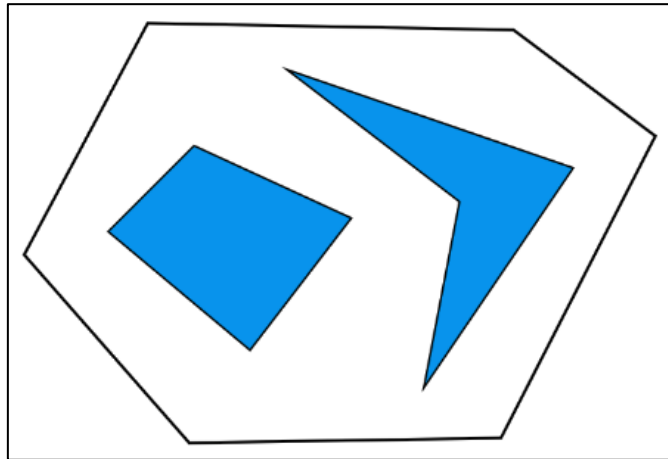


Figura 11.21.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

» Determinación de los vértices de los obstáculos:

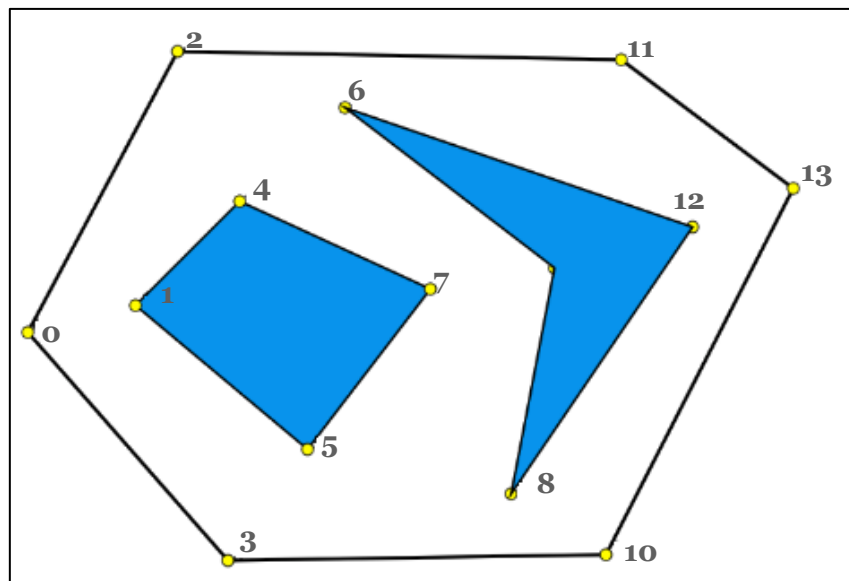


Figura 11.22.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

» Creación de las celdas:

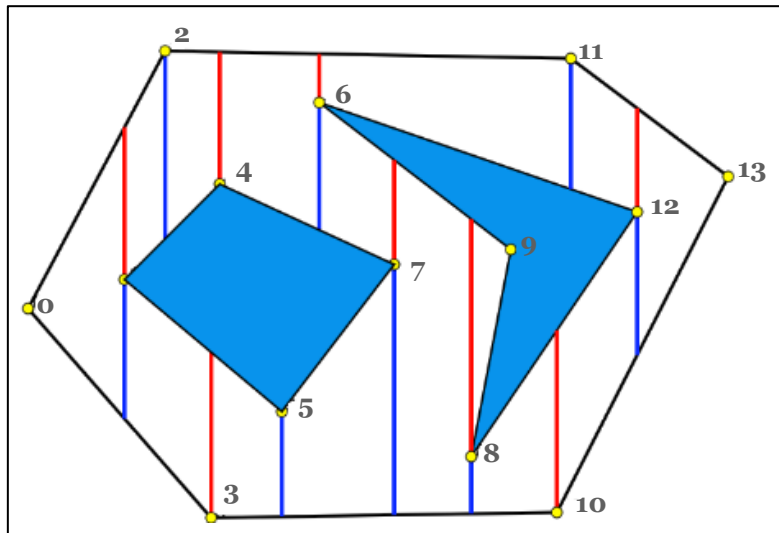


Figura 11.23.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

» Determinación del camino. Hay dos formas clásicas de hacerlo. La primera es considerar el centroide de cada trapecio (figura 12.24) y construir un grafo de adyacencia (figura 12.25): los nodos sean los centroides y dos nodos estarán unidos por una arista si las celdas correspondientes son adyacentes. A partir de este grafo se busca un camino que minimice algún criterio (tiempo, distancia, recursos consumidos, etc.).

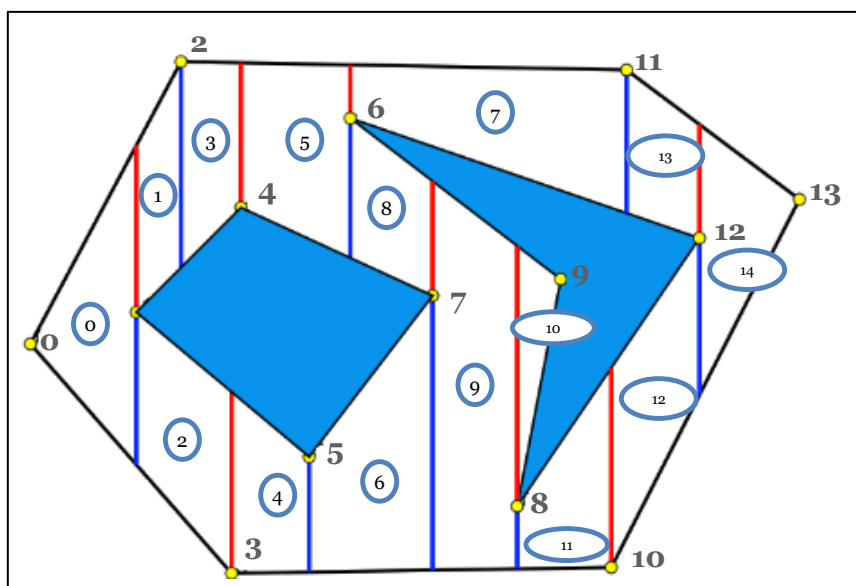


Figura 11.24.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

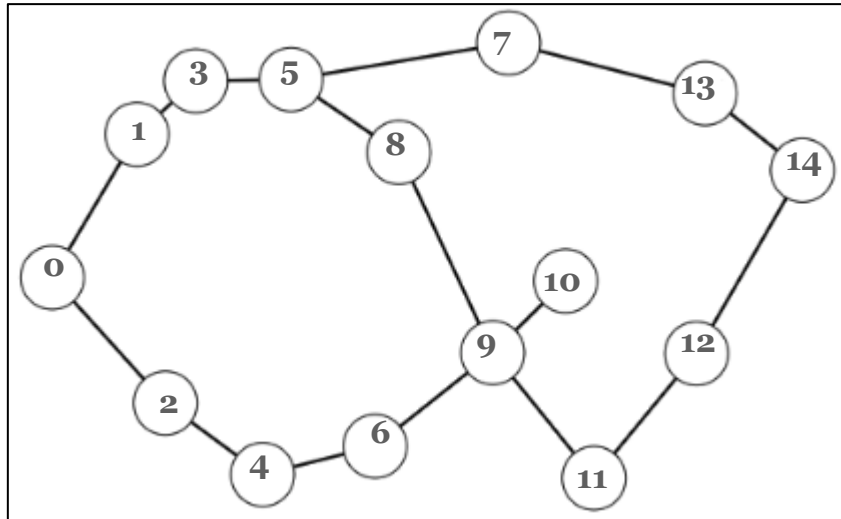


Figura 11.25.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

Se supone que los caminos determinados por este grafo están libres de obstáculos pero en la figura 12.26 puede verse que esto no es necesariamente así.

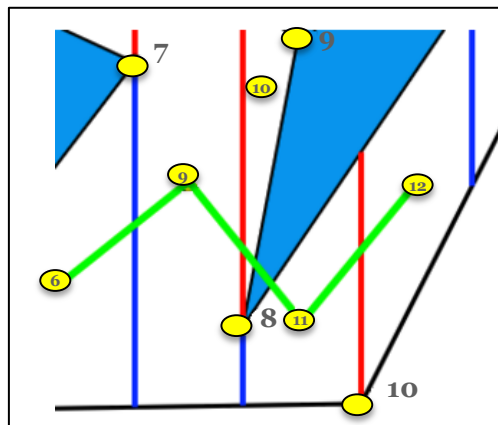


Figura 11.26.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

Por tanto, es más conveniente utilizar el segundo método: considerar el punto medio de cada segmento vertical (figura 12.27) y considerar de forma análoga su grafo de adyacencia (figura 12.28).

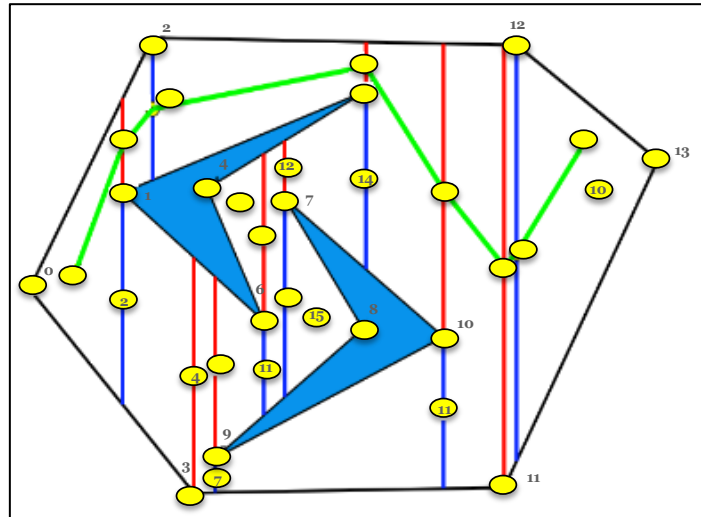


Figura 11.27.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

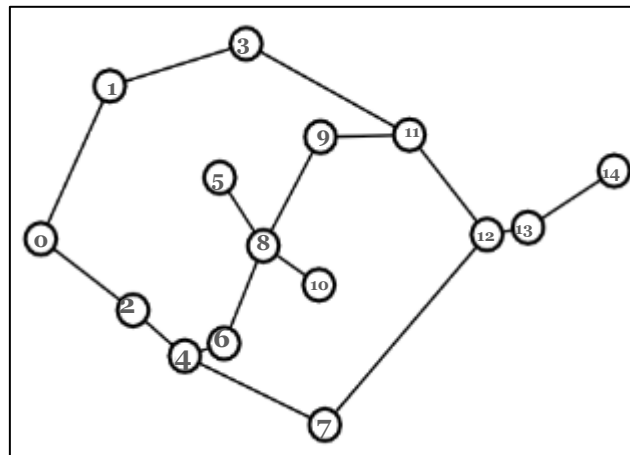


Figura 11.28.

Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

En la figura 11.29 puede verse que este algoritmo evita la colisión que el algoritmo del centroide no evitaba.

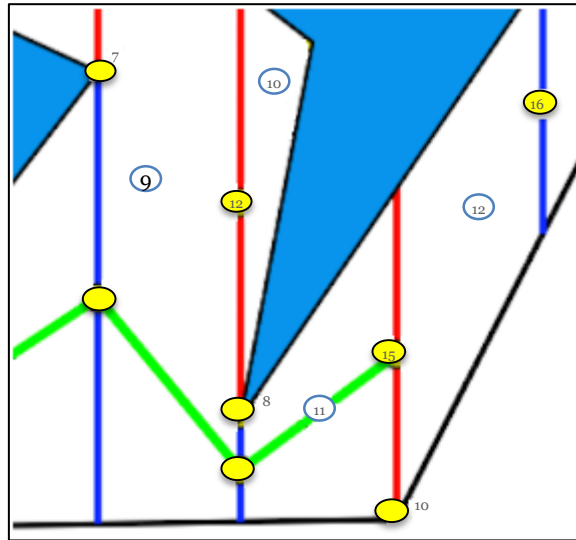


Figura 11.29.

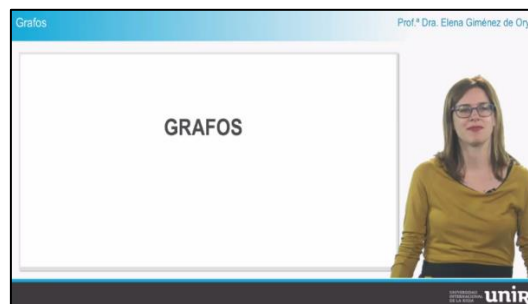
Fuente: <http://www.user.ceng.metu.edu.tr/>

## Lo + recomendado

### Lecciones magistrales

#### **Grafos**

En esta lección magistral vamos a hacer una introducción mínima a la Teoría de Grafos.



La lección magistral está disponible en el aula virtual

No dejes de leer...

#### **Diagramas de Vornoi**

En este enlace se explica qué es un diagrama de Voronoi y qué otras aplicaciones tiene, además de la robótica.



Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:

<http://naukas.com/2011/12/23/cada-uno-en-su-region-y-voronoi-en-la-de-todos/>

## Grafos de visibilidad

En este enlace se explican en detalle los grafos de visibilidad.

### Visibility Graphs

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:

<http://cs.smith.edu/~streinu/Teaching/Courses/274/Spring98/Projects/Philip/fp/visibility.htm>

## Estructuras jerárquicas

En este documento se explican en detalle las estructuras jerárquicas.

### The Quadtree and Related Hierarchical Data Structures

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:

<http://www.umiacs.umd.edu/~ramani/cmssc878R/p187-samet.pdf>



## + Información

---

A fondo

### Planificación de rutas con diagramas de Voronoi

En este enlace se muestra un ejemplo de planificación de trayectorias con diagramas de Voronoi.

**Robot Path Planning Using Generalized Voronoi Diagrams**

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:

[http://www.cs.columbia.edu/~pblaer/projects/path\\_planner/](http://www.cs.columbia.edu/~pblaer/projects/path_planner/)

### Algoritmo para el cálculo de un grafo de visibilidad

En este enlace se explica cómo construir un grafo de visibilidad en un tiempo  $O(n^2 \log n)$ .

**An  $O(n^2 \log n)$  Algorithm for Computing Visibility Graphs**

Accede al artículo desde el aula virtual o a través de la siguiente dirección web:

[http://cs.smith.edu/~streinu/Teaching/Courses/274/Spring98/Projects/Philip/fp/alg\\_Visibility.htm](http://cs.smith.edu/~streinu/Teaching/Courses/274/Spring98/Projects/Philip/fp/alg_Visibility.htm)

## Test

---

1. Para la detección de colisiones:
  - A. Siempre se emplea el mismo tipo de mapa.
  - B. Siempre se emplean los mismos sensores de proximidad.
  - C. A y B son falsas.
  
2. La ocupación de celdas:
  - A. Solo puede llevarse a cabo en tipo de terreno específico.
  - B. Es compleja de implementar.
  - C. Es poco eficiente.
  
3. En el modelo de estructura jerárquica:
  - A. Una celda puede estar ocupada parcialmente.
  - B. Se subdivide hasta alcanzar la resolución requerida.
  - C. Es un modelo menos eficiente que el de ocupación de celdas.
  
4. Los mapas modelados a partir de objetos geométricos sencillos se llaman:
  - A. De primitivas de sólidos.
  - B. Topológicos.
  - C. De expansión de obstáculos.
  
5. Los mapas de metro de la mayoría de ciudades del mundo son:
  - A. De primitivas de sólidos.
  - B. Topológicos.
  - C. De expansión de obstáculos.
  
6. En el modelo de expansión de objetos:
  - A. Se contraen los obstáculos y se expande el polígono límite.
  - B. Se expanden los obstáculos y se contrae el polígono límite.
  - C. A y B son falsas
  
7. En la planificación de rutas por grafo de visibilidad:
  - A. El móvil pasa a distancia máxima de los objetos.
  - B. Es costoso calcular la ruta.
  - C. Se considera un móvil sin dimensión.

- 8.** Para maximizar la distancia a los objetos en planificación de rutas se emplea:
- A. Un grafo de visibilidad.
  - B. Un diagrama de Voronoi.
  - C. Descomposición trapezoidal.
- 9.** La planificación de rutas con el método de Voronoi:
- A. Está especialmente indicada si hay pasos estrechos.
  - B. Puede dar lugar a rutas ineficientes.
  - C. A y B son correctas.
- 10.** En la planificación de rutas por descomposición trapezoidal:
- A. Se aproximan los obstáculos por poligonales.
  - B. Hay más de una forma de construir el grafo correspondiente.
  - C. A y B son correctas.