

Taller 2 - Espacio de Configuración

Gabriel Francisco González Estrada
David Mauricio Montealegre Rojas
Nicolás Rincón Sánchez

20 de junio de 2023

1. Punto 1

En este ejercicio se diseñó un espacio de trabajo para un robot cuyo correspondiente espacio de configuración fuese similar al espacio de trabajo.

Al realizar cambios de parámetros y objetos en el programa, se observó que cuando se tenía un robot de una sola articulación tipo flying con un obstáculo cercano, el espacio de configuración era muy similar al espacio de trabajo.

El espacio de trabajo y configuración propuestos se presentan en la figura 1. Resulta intuitivo que el espacio de configuración sea similar al de trabajo, ya que se observa que la manera en la que se podría colisionar el robot con el obstáculo presente en el espacio de trabajo, es que aumente la posición en x y y . Para lograr esto, se debe realizar un aumento en los parámetros que describen los grados de libertad del robot en el espacio de configuración.



Figura 1: Espacio de trabajo y espacio de configuración para un robot que posee 1 articulación tipo flying.

2. Punto 2

En este ejercicio se diseñó un espacio de trabajo para un robot cuyo correspondiente espacio de configuración no fuese similar al espacio de trabajo, es decir, que la transformación entre espacio no fuese intuitiva.

El espacio de trabajo y espacio de configuración propuestos se presentan en la figura 2. El robot es un pentágono convexo de color azul compuesto de 1 sola articulación. Se plantearon dos obstáculos tipo caja, de iguales dimensiones, en forma de "L". La transformación del espacio de trabajo al espacio de configuración no resulta intuitiva puesto que la geometría propia del robot y la manera en la que se organizaron los obstáculos no permite visualizar claramente cuáles movimientos son posibles para que el robot no colisione con los obstáculos propuestos. Es decir, que los movimientos no sean tan claros y que la geometría de los objetos en el espacio de trabajo sea complicada, por restricciones geométricas, vértices del robot y de los obstáculos, resulta en que el espacio de configuración presente diferencias significativas con respecto al espacio de trabajo.

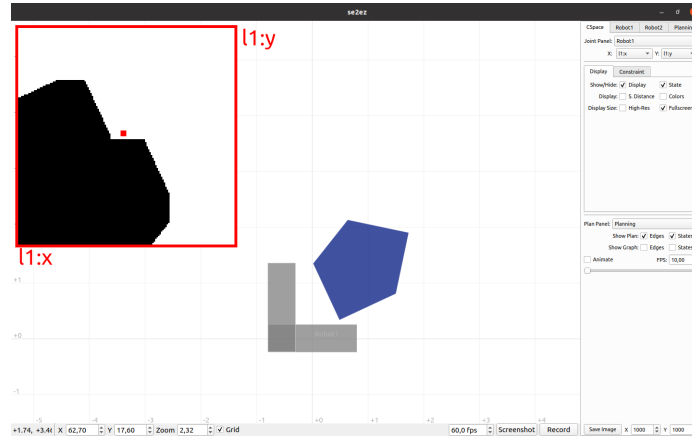


Figura 2: Espacio de trabajo y espacio de configuración para un robot en forma de pentágono convexo que posee 1 articulación tipo flying.

3. Punto 3

En este ejercicio se diseñó un robot manipulador conformado por dos articulaciones, una rotacional y una prismática, y se creó un espacio de configuración que estuvo compuesto de dos componentes desconectados correspondientes a dos obstáculos circulares en el espacio de trabajo.

En cuanto al diseño del robot, la primera articulación estuvo anclada a la base, fue de tipo rotacional en forma de caja y se caracterizó por tener dimensiones de 0,5 de longitud y 0,1 de grosor y límites de rotación entre el intervalo $[-\pi, \pi]$. Por otro lado, la segunda articulación fue de tipo prismática en forma

de caja, estuvo anclada a la primera y se caracterizó por tener las mismas dimensiones que la primera articulación y por moverse hacia adelante hasta un límite superior de 0,25 y hacia atrás con un límite inferior de $-0,25$.

Con respecto al espacio de configuración se estableció la restricción de que los obstáculos estuvieran representados por dos componentes desconectados. Para esto se colocaron dos obstáculos cerca de la base del robot, uno ubicado en la parte superior y otro en la inferior. En el espacio de trabajo, el primer obstáculo consistió de un círculo de radio 0,5 ubicado en las coordenadas $(-0.1, 1.9)$, mientras que el segundo consistió de un círculo de radio 0,7 ubicado en las coordenadas $(0, -2)$. Como se puede observar en la Figura 3, esta configuración del robot y de los obstáculos generó la representación de los dos componentes desconectados, donde cada obstáculo se representó como una figura alargada con puntas redondas.

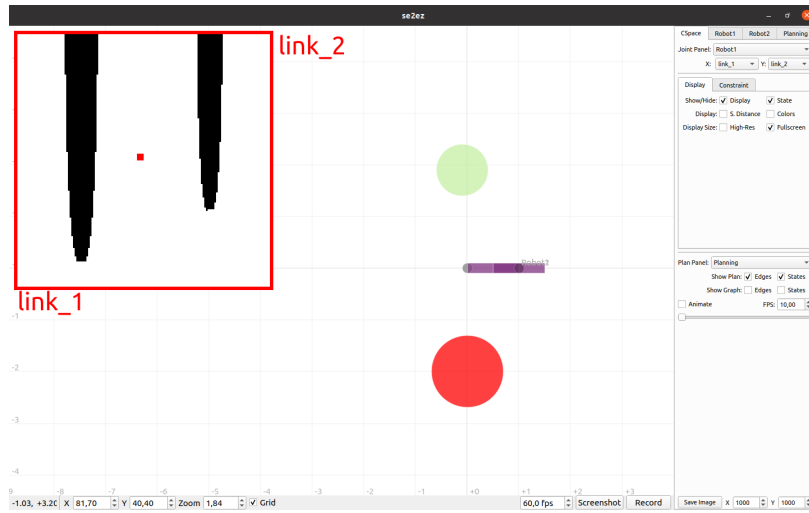


Figura 3: Espacio de trabajo y espacio de configuración para un robot manipulador de 2 grados de libertad con una articulación rotacional y otra prismática, donde el espacio de configuración consistió de 2 componentes desconectados. En esta figura, el espacio de trabajo está representado por el cuadrado encerrado en rojo.

4. Punto 4

En este punto se diseñaron dos trampas de insecto en el espacio de configuración, es decir, la forma y ubicación de los obstáculos generaron restricciones en el espacio de configuración de manera que, por el método de muestreo, existe una probabilidad cercana a 0 de encontrar una ruta para que el robot pueda escapar de la trampa. En este sentido se planteó una trampa para un robot geométrico con capacidad de trasladarse y rotar en el espacio de trabajo y otra para un

robot manipulador de 2 grados de libertad con una articulación rotacional y una prismática.

■ Trampa de insecto 1:

Para el diseño de esta trampa se construyó un robot circular de radio 0,2 ubicado en la coordenada (0.9, 0) del espacio de trabajo y un obstáculo en forma de "C" con una pequeña apertura lo suficientemente grande para que el robot fuera capaz de moverse hacia fuera de la "C" (Ver Figura 4). En el espacio de configuración se observó que la forma del obstáculo obtenida fue muy similar a la del espacio de trabajo, por lo que cumplió con las características de las trampas de insecto de tener una muy baja probabilidad de encontrar un camino de escape de un compartimento por el método de muestreo en el espacio de configuración. Así bien, también se mostró que es posible obtener espacios de configuración similares a los espacios de trabajo cuando el robot es circular.

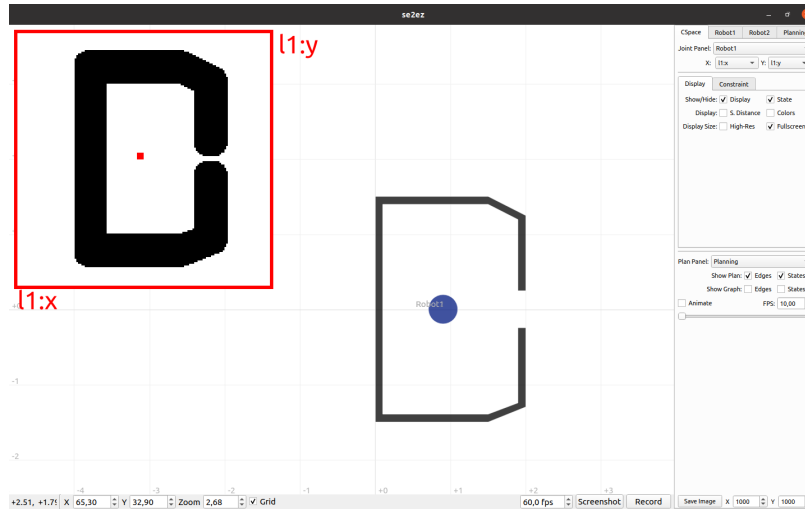


Figura 4: Representación en el espacio de trabajo y de configuración de la primera trampa de insecto. El robot corresponde al círculo azul en el espacio de trabajo y el obstáculo corresponde a la figura negra. En el espacio de configuración, que se observa en el cuadrado rojo, el robot estuvo representado por el punto rojo y se observa la trampa de insecto por la representación del obstáculo en el espacio de configuración.

■ Trampa de insecto 2:

Para el diseño de esta trampa se construyó un robot manipulador de 2 grados de libertad con una articulación prismática anclada a la base, en forma de caja de dimensiones 0,5 de longitud y 0,1 de grosor, y una articulación rotacional anclada a la primera articulación en forma de caja de

dimensiones 0,25 de longitud y 0,1 de grosor (Ver Figura 5). El movimiento de la primera articulación estuvo limitado en el intervalo de longitud $[0, 0.5]$, mientras que la segunda en el intervalo de ángulos $[-\pi, \pi]$.

Por otro lado, se utilizaron 2 obstáculos ubicados cerca de la segunda articulación. En particular, se diseñó un obstáculo rectangular de dimensiones 0,25 de longitud y 0,1 de grosor ubicado en la parte inferior del espacio de trabajo, en las coordenadas $(0.8, -0.7)$, y un obstáculo triangular ubicado en la parte superior del espacio de trabajo.

En el espacio de configuración se observó que la representación de ambos obstáculos conformó una trampa de insecto, ya que hubo un pequeño espacio por el que el robot manipulador puede salir de un compartimento en el espacio de configuración y que, por el método de muestreo, se obtiene una probabilidad cercana a 0 de obtener una secuencia de configuraciones que permitan la salida del robot del compartimento.

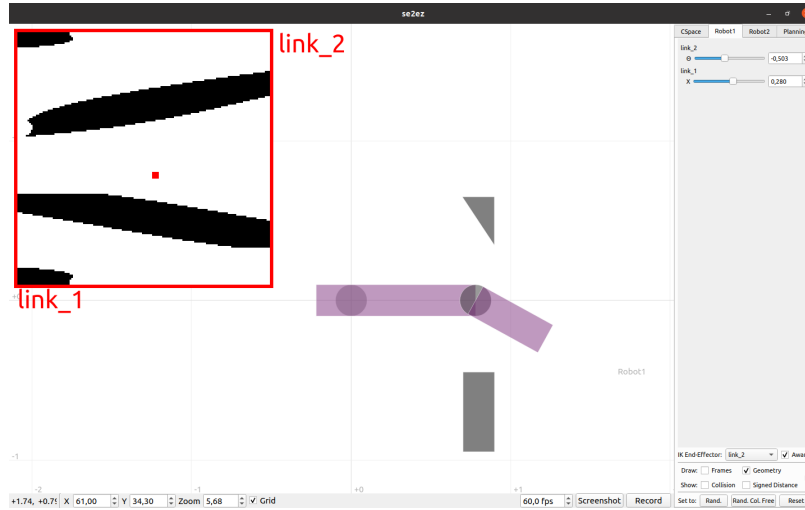


Figura 5: Representación en el espacio de trabajo y en el espacio de configuración de la segunda trampa de insecto. En el espacio de trabajo se observa un robot morado de 2 articulaciones y dos obstáculos geométricos. En el espacio de configuración representado en el cuadrado rojo se observa la trampa de insecto.

5. Punto 5

Para este ejercicio, se diseñó un ambiente que involucra un problema difícil de planeación para un manipulador móvil. Se diseñó el ambiente mostrado a continuación:

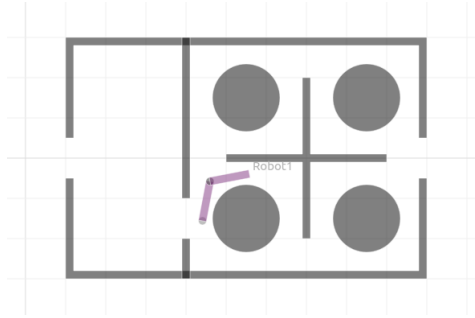


Figura 6: Ambiente desarrollado para el Ejercicio 5

Los obstáculos se crearon utilizando la geometría de tipo *Simple*, *Circle* y *Box*. De esta manera, se generó una pista compuesta por una cruz que divide un fragmento en cuatro cuadrantes, cada uno con un círculo de radio 0.85.

Por su parte, el robot creado es un manipulador de dos links. Las juntas empleadas son de tipo *Continuous* para la primera junta, de tal manera que esta es rotacional sin límites; y *Revolute* para la segunda junta, con límites de rotación en el intervalo $[-\pi, \pi]$ rad. La base se estableció como *Translate* que implica desplazamiento, haciendo del robot un manipulador móvil.

El problema de navegación planteado es el siguiente:

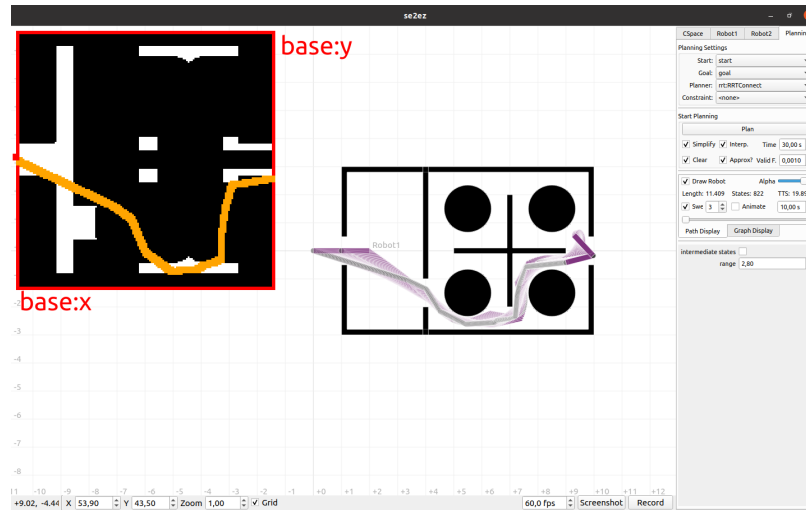


Figura 7: Problema difícil de navegación para el Ejercicio 5

Consiste en llevar el manipulador desde la apertura de la parte izquierda hasta la apertura del lado derecho y dejarlo en la posición indicada. La gráfica

mostrada es generada mediante el software S2EZ de Linux ingresando un algoritmo aproximado de planeación con timeout de 30 segundos.

La región del espacio de configuración que hace de este un problema difícil es la siguiente y ocurre cuando el manipulador se encuentra ubicado en el espacio libre entre la cruz central y uno de los círculos del laberinto:

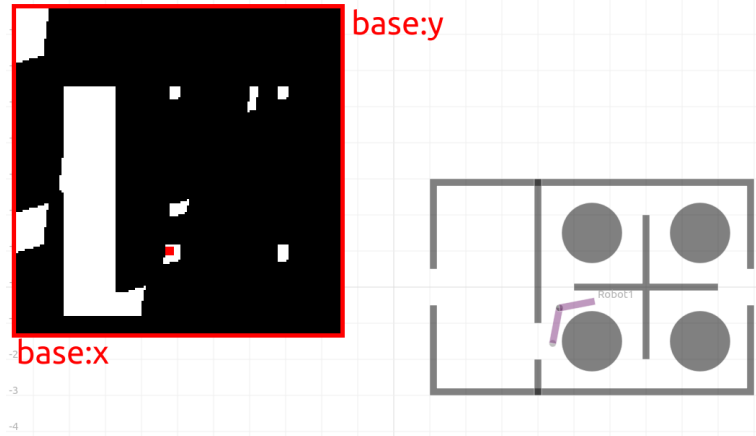


Figura 8: Espacio de configuración difícil para el Ejercicio 5

La dificultad se debe, en parte, a que en el espacio de configuración la representación puntual del robot en el espacio de trabajo, se ve completamente rodeada por un obstáculo. Esto implica que, en ese punto en particular, no es posible generar un desplazamiento significativo sin cambiar la configuración. De esta manera, el manipulador debe cambiar la orientación de sus juntas para poder abrir un camino libre en el espacio de configuración y poder continuar avanzando hacia la posición objetivo.

A continuación, se muestran las gráficas de Benchmarking para tiempo de ejecución y obtención de la solución para algoritmos de la familia RRT:

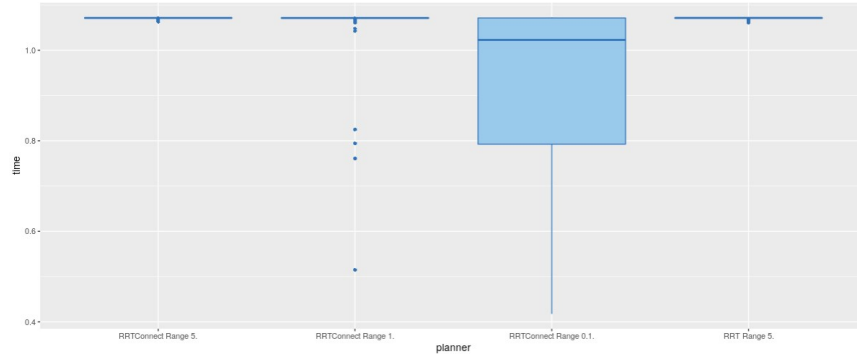


Figura 9: Benchmarking respecto al tiempo de solución para el Ejercicio 5

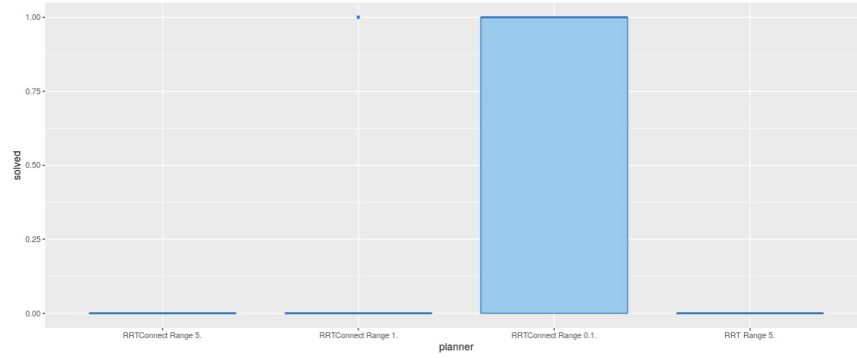


Figura 10: Benchmarking respecto a obtención de solución para el Ejercicio 5

Estas dos gráficas respaldan el argumento de dificultad de la solución en tanto que, al ejecutar 100 pruebas de máximo 1 segundo, todos los algoritmos superaron siempre dicha cantidad de tiempo con excepción de uno (el RRTConnect Range 0.1). Adicionalmente, este algoritmo es el único de los explorados que logró determinar efectivamente la solución del problema de planeación. Esto se corrobora con la gráfica de Solved, en la cual, el porcentaje de solución de los otros tres algoritmos es de cero.

Es decir, estos no fueron capaces de resolver nunca el problema en ninguno de los cien intentos. Probablemente llegaron al timeout antes de que encontraran una solución. Por otro lado, el algoritmo RRTConnect Range 0.1, que sí terminó en múltiples oportunidades, fue capaz de encontrar la solución en un rango entre 0 y 1, lo cual indica que, hubo oportunidades en las que llegó a la solución correctamente y otras en las cuales fracasó o alcanzó el timeout.

En conclusión, como tres de los cuatro algoritmos de planeación fallaron rotundamente para resolver el problema y el cuarto algoritmo también falló en

al menos una oportunidad, se puede establecer que el problema de navegación desarrollado para el ambiente de este ejercicio es un problema difícil.

6. Punto 6

Para este ejercicio, se diseñó un ambiente que involucra un problema difícil de planeación para un manipulador con más de dos grados de libertad. Se diseñó el ambiente mostrado a continuación:

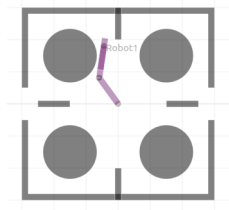


Figura 11: Ambiente desarrollado para el Ejercicio 6

Los obstáculos se crearon utilizando la geometría de tipo *Simple* y *Circle*. De esta manera, se generó una pista compuesta por una cruz que divide un fragmento en cuatro cuadrantes, cada uno con un círculo de radio 0.85.

Por su parte, el robot creado es un manipulador de tres articulaciones. Las juntas empleadas son de tipo *Continuous* para la primera junta, de tal manera que esta es rotacional sin límites; y *Revolute* para la segunda junta, con límites de rotación en el intervalo $[-\pi, \pi]$ rad. La base se estableció como *Fixed* que no implica desplazamiento, haciendo del robot un manipulador estático. Para la tercera junta, se utilizó *Prismatic*, de forma que esta se puede desplazar hacia adelante y hacia atrás respecto a su punto de contacto con la junta anterior.

El problema de navegación planteado consiste en llevar el manipulador desde la posición mostrada en la Figura 11 hasta el cuadrante inferior izquierdo con la articulación prismática extendida.

La región del espacio de configuración que hace de este un problema difícil es la siguiente y ocurre cuando el manipulador se encuentra ubicado en el espacio libre entre la cruz central y uno de los círculos del laberinto:

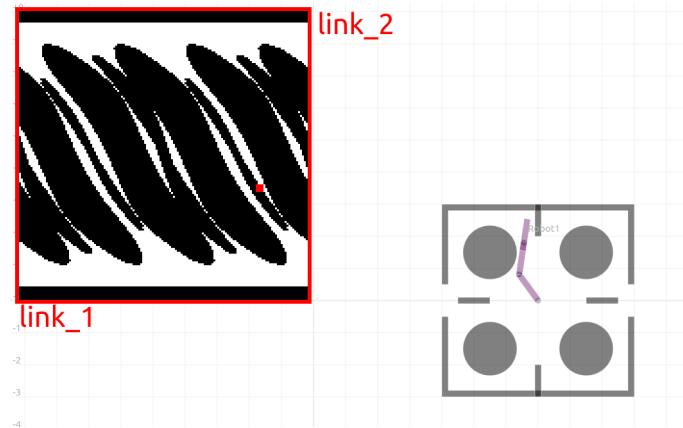


Figura 12: Espacio de configuración difícil para el Ejercicio 6

La dificultad se debe a que en el espacio de configuración la representación puntual del robot en el espacio de trabajo, se ve rodeada por un obstáculo que la cerca de manera próxima, de manera similar a como ocurre con una trampa de insecto. Esto implica que, en ese punto en particular, no es posible generar un desplazamiento significativo sin cambiar la configuración. De esta manera, el manipulador debe contraer su articulación prismática primero para poder desplazarse por el espacio libre. Ya luego puede girar de diferente manera para llegar a la posición deseada.

A continuación, se muestran las gráficas de Benchmarking para tiempo de ejecución y obtención de la solución para algoritmos de solución de la familia RRT, KSpice y PRM, expresados como diagrama de caja:

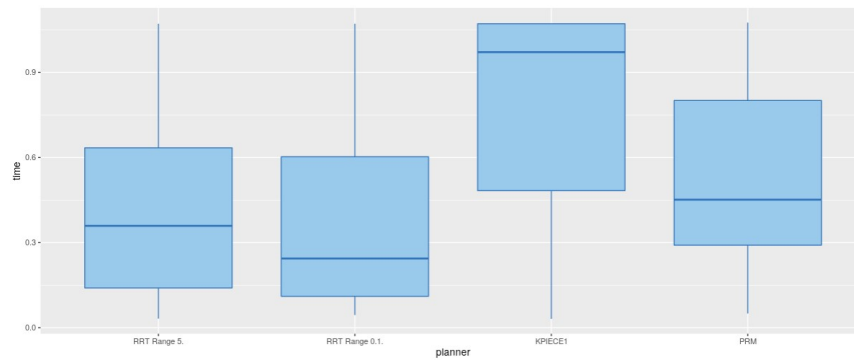


Figura 13: Benchmarking respecto al tiempo de solución para el Ejercicio 6

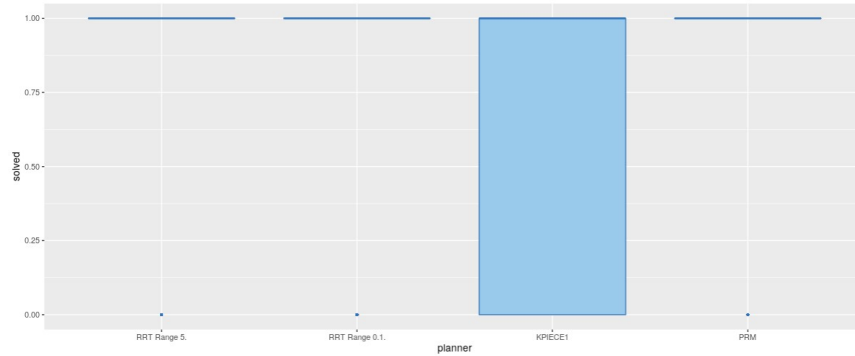


Figura 14: Benchmarking respecto a obtención de solución para el Ejercicio 6

Estas dos gráficas respaldan el argumento de dificultad de la solución en tanto que, al ejecutar 100 pruebas de máximo 1 segundo, uno de los algoritmos (KSpice) superará dicho timeout en un caso extremo. Adicionalmente, este algoritmo es el único de los explorados que falló en al menos una oportunidad a la hora de determinar la solución correcta del problema. Esto se corrobora con la gráfica de Solved, en la cual, el porcentaje de solución de los otros tres algoritmos es de uno.

Es decir, si bien no es un problema tan difícil como el del Ejercicio 5, sí clasificaría como tal debido a que un algoritmo no es capaz de determinar la solución en pruebas repetitivas. Por otro lado, a partir de la gráfica del tiempo se pueden clasificar los algoritmos en términos de su eficiencia promedio de manera descendente: RRT Range 0.1, RRT Range 5, PRM, KSpice. Es decir, en ese orden respectivo, se demoraron mayor cantidad de tiempo en ejecutar el procedimiento para encontrar la solución.

Adicionalmente, vale la pena considerar la gráfica de estado de solución (que indica si la solución encontrada es estrictamente correcta y precisa o si es una solución aproximada):

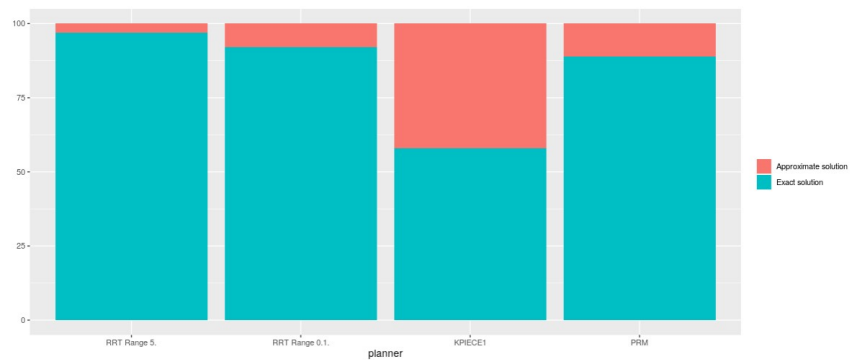


Figura 15: Benchmarking respecto a estado de solución para el Ejercicio 6

En este caso, se puede ver que ninguno de los algoritmos es capaz de generar soluciones correctas y precisas en todas las oportunidades. En cambio, existe un porcentaje de soluciones aproximadas en cada uno de los algoritmos. En particular, el algoritmo KSpice es el menos preciso de los cuatro, con un porcentaje de 40-45 % de soluciones aproximadas.

En conclusión, como uno de los cuatro algoritmos de planeación falló para resolver el problema y en todos los casos los algoritmos encontraron un porcentaje considerable de soluciones aproximadas en vez de exactas, se puede establecer que el problema de navegación desarrollado para el ambiente de este ejercicio es un problema difícil.