

Proyecto de Simulación basada en Eventos Discretos

C411-Gilberto González Rodríguez

1. Problema: Canal Marítimo

Un canal marítimo consiste en una o más esclusas colocadas en diques consecutivos de manera que la combinación de estas permite el ascenso o descenso de los barcos, permitiendo el acceso del barco al dique siguiente. Estos canales son usados para la navegación a través de aguas turbulentas o para atravesar terrenos terrestres. Se desea conocer el tiempo de espera de los barcos para el uso de un canal con 5 diques para su funcionamiento.

La operación de un canal puede ser dividida en dos ciclos muy similares que llamaremos ciclo de subida y ciclo de bajada. El ciclo de subida comienza con la compuerta del nivel superior cerrada y la compuerta del nivel inferior abierta. Los barcos esperando en el nivel inferior entran en el dique. Cuando los barcos se acomodan dentro del dique las puertas del nivel inferior se cierran y las puertas del nivel superior se abren y el agua del nivel superior inunda el dique, haciendo la función de un elevador marítimo. Luego los barcos pasan al nivel superior, dejando el dique vacío. El ciclo de bajada consiste en el funcionamiento opuesto del ciclo descrito.

Ambos ciclos tienen las mismas 3 fases para su cumplimiento, que se pueden llamar como fase de entrada, fase de transporte y fase de salida respectivamente. La fase de entrada consiste en abrir las puertas del nivel inferior y dejar entrar a los barcos esperando hasta que estos se acomodan dentro del dique, la duración de este proceso depende del tiempo de apertura de las compuertas que distribuye de manera exponencial con $\lambda = 4$ minutos y el tiempo que se demora cada barco en entrar al dique, que distribuye de manera exponencial con $\lambda = 2$ minutos independientemente del tamaño de cada barco. Los barcos a entrar en el dique son tomados de manera secuencial de la cola de arriba de los barcos y en caso de que algún barco no quepa en el dique, el siguiente en la cola toma su lugar, en caso de que ningún barco quepa en el dique, la fase comienza sin llenar la capacidad del dique. La fase de transporte incluye cerrar la compuerta del nivel inferior, la apertura del nivel superior y el llenado del dique, esta fase tiene un tiempo de duración que distribuye de manera exponencial con $\lambda = 7$ minutos. La fase de salida se compone por la salida de los barcos del dique así como el cerrar la puerta del nivel superior, esta fase tarda un tiempo que distribuye de manera exponencial con $\lambda = 1,5$ minutos por cada barco en el dique.

El número total de barcos que pueden ser acomodados en un dique depende del tamaño físico de los barcos. Estos tienen 3 tamaños distintos: pequeño, mediano y grande y el tamaño de cada uno de estos corresponde a la mitad del anterior. Cada dique puede albergar 2 filas con espacio para el equivalente a 3 barcos medianos (1 grande y dos pequeños). El tiempo de arribo de los barcos distribuye de acuerdo con la función Normal y dependen del tamaño del barco así como de la hora del día (el canal funciona de 8 am a 8 pm), los parámetros de la función se resumen en la tabla siguiente.

Tamaño	8:00 am - 11:00 am	11:00 am - 5:00 pm	5:00 pm - 8 pm
Pequeño	$\mu = 5, \sigma^2 = 2$	$\mu = 3, \sigma^2 = 1$	$\mu = 10, \sigma^2 = 2$
Mediano	$\mu = 15, \sigma^2 = 3$	$\mu = 10, \sigma^2 = 5$	$\mu = 20, \sigma^2 = 5$
Grande	$\mu = 45, \sigma^2 = 3$	$\mu = 35, \sigma^2 = 7$	$\mu = 60, \sigma^2 = 9$

Simule el funcionamiento del canal. Estime la suma de los tiempos de espera de todos los barcos.

2. Modelo de Simulación de Eventos Discretos Desarrollado para resolver el problema

El modelo seguido es muy parecido a un **Sistema de atención con 5 servidores en series**, dado por algunas consideraciones explicadas en detalle en la siguiente sección, se toman ciertas características de este sistema de atención como la dependencia entre eventos, pero no se toman otras como determinar el próximo suceso usando solo los tiempos de arribo y salida de cada servidor, para esto se utiliza una cola con prioridad de mínimos donde los eventos se van a ubicar según el momento de la simulación donde son creados y su distribución. Dada la simplicidad de los datos se utilizan diccionarios para llevar el concepto de barco y evento. Los eventos siempre tiene una llave type que indica el tipo de evento y según este se determina qué otro evento generar y qué variables de estado cambiar. Los tipos de eventos son: Ship Arrival to Dike, Restore Default Dike State, Open Floodgate, Ship Into Dike, Transporting from Dike y Ship Departure from Channel. Cada uno será explicado en profundidad en la siguiente sección.

3. Principales ideas seguidas para la solución

Dada la naturaleza ambigua del problema estas son las interpretaciones o convenios que se siguieron para la implementación de la solución. Se asume que antes de cada dique hay una cola con capacidad suficiente para cualquier cantidad de barcos, cada una de las líneas dentro de un dique funciona como las colas de afuera, o sea, que si hay 2 o más barcos el segundo pudiera salir primero que el que está delante y ubicarse en una posición más privilegiada en las siguientes colas. Cada barco sale del dique de forma independiente con una distribución exponencial con $\lambda = 1,5$ minutos. Solo se tiene en cuenta el tiempo que tarda en abrirse la compuerta que permite la entrada de barcos al dique, por lo que la del nivel superior o inferior en dependencia del ciclo, o sea, la segunda compuerta a abrir o cerrar para llenar o vaciar el dique, no se toma en cuenta. Dada la complejidad interna concebida en un principio para el funcionamiento del dique con varios procesos intermedios, la indecisión sobre el comportamiento correcto de los barcos dentro de un dique y otras cuestiones que hacían difícil ver el proceso simplemente como un servidor (el dique) que atendía clientes (los barcos), se toma la decisión de usar varios eventos y una cola con prioridad para organizarlos en el tiempo.

Como hilo de ejecución se sigue la siguiente lógica. Son creadas tres listas de barcos, una por cada tamaño de barco, según su distribución por horario, comenzado por las 8 am y hasta las 8 pm, se toman los valores absolutos en caso de que la Normal arroje un valor negativo. Cada elemento de una lista es una tupla tiempo-evento. Estas se mezclan y se colocan en un

heap de mínimos, cuando un barco es creado se le pone un identificador único para seguir su trayecto por el canal. En el heap por cada barco generado el evento creado es Ship Arrival to Dike, con una propiedad dike que indica el dique al que está arribando el barco, en este caso el 0, el primer dique. Mientras haya eventos en la cola de eventos la simulación sigue con un conjunto específico de cambios de estados, según el estado y evento actual.

Cuando se llega a un evento Ship Arrival to Dike pueden pasar varias cosas. Primero que todo se guarda el tiempo de arribo de dicho barco al dique. Para el primer dique, puede que no haya barcos en la cola y la compuerta esté cerrada, en cuyo caso se crea un evento Open floodgate y se encola el barco, si la compuerta está abierta y el barco cabe en el dique se entra sino se encola. Si al llegar hay más barcos simplemente este nuevo se pone al final de la cola. Si el dique no es el primero además de lo anterior se limpia el estado del dique previo y se crea el evento Restore Default Dike State, viendo el dique como un elevador se nota que si el dique 0 al principio lo que hace es bajar una vez se usa por primera vez quedará abajo, por lo que el segundo grupo de barcos que vaya a usarlo no estará en el mismo nivel y es necesario que se realice un ciclo de subida sin barcos.

Cuando se llega a un evento Open Floodgate, se toman los barcos de la respectiva cola, tiene que haber uno al menos, el que creó el evento de abrir puerta y se encoló. De estos se toman todos mientras quepan en el dique y en caso que alguno no quepa se pasa para el siguiente, y así sucesivamente hasta llenar las dos líneas del dique en cuestión. Al meter los barcos en el dique se crea además un evento Ship Into Dike para cada barco.

Tras llegar un evento Ship Into Dike, se comprueba si este es el último de los barcos que se habían contado como barcos por entrar al dique, en cuyo caso se crea el evento Transporting from Dike, en caso contrario se descuenta un barco de los pendientes a entrar al dique.

Luego de terminada una fase de transporte, tras un Transporting from Dike, se procede a la salida del dique que se acaba de usar, si no se está en el último dique se crea un evento Ship Arrival to Dike con el valor del siguiente dique. En caso que se esté en el último dique se crea un evento Ship Departure from Channel, desde el cual se cuenta el tiempo en que cada barco alcanzó dicho estado y si se trata del último barco pendiente del dique anterior se arregla el estado de este último.

Como se guardó por cada barco su tiempo de arribo a cada dique y su tiempo de partida, la diferencia entre el tiempo de partida del canal y el tiempo de arribo al primer dique da el tiempo de estancia en el canal del barco en cuestión, por lo tanto con dicho valor por cada barco se puede obtener la suma pedida en el problema.

Por mejorar queda eliminar la cola de prioridad de los eventos y tratar de obtener el orden de estos dada la comparación de los tiempos de arribo y salida de cada servidor, convergiendo así a una implementación más fidedigna de un Modelo de atención de 5 servidores en series.

4. Consideraciones obtenidas a partir de la ejecución de las simulaciones del problema

Dadas las continuas simulaciones se nota que se generan aproximadamente 250 barcos en total, aproximadamente 175 pequeños, 55 medianos y 17 grandes, siendo este último el que menos varía. Los tiempos de estancias de cada barco en el canal oscilan entre los 6 y 13 minutos, encontrándose el valor promedio de estancia por barco entre los 9 minutos. Y por último el valor que pedían calcular en el problema, la suma de los tiempos de espera de todos los barcos oscila entre los 2300 y 2400 minutos.

5. Enlace al repositorio de Github

<https://github.com/ginrod/sea-channel.git>