

Sistema de Automatización Ferroviaria

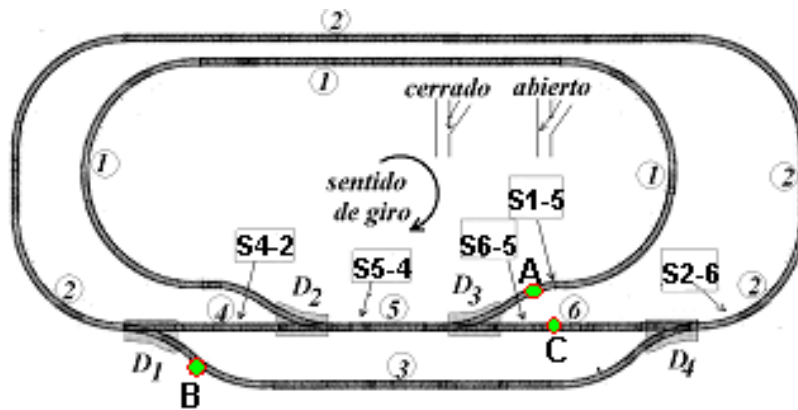
Colanero Nicolás
García Acosta Martín
Maguire Diego

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata

Introducción

En la figura se representa un diagrama del intercambiador. Cada tramo entre desvíos se identifica con un número encerrado en un círculo. Los desvíos (D1 a D4) tienen 2 estados posibles: abierto o cerrado. En las proximidades de cada desvío se ubican sensores (S2-6, S1-5, S6-5, S5-4, S4-2) de paso que se disparan al ser atravesados por una formación. Por simplicidad se supone que los trenes circulan sólo en el sentido indicado.

Puede observarse que hay tramos (como el 5) que son críticos. Cuando 2 trenes se acercan a D3 por los tramos 1 y 6, sólo uno debe acceder al tramo 5 y el restante esperar hasta que lo libere (ya que es un tramo muy corto como para que circulen ambos simultáneamente). Todos los trenes tendrán la misma velocidad. Además existen 3 semáforos (A, B, C) que se activarán junto con los desvíos.



Elementos de Trabajo y Metodología

Solución propuesta

Se desea realizar un sistema de tiempo real destinado a controlar el tránsito ferroviario sobre el esquema planteado con el fin de evitar colisiones y respetar las prioridades que sean asignadas a los distintos caminos. El control del sistema se realizará con semáforos, sensores de posición, desvíos mecánicos y una lógica que vincule todos los elementos mencionados.

El sistema de tiempo real a desarrollar según los criterios de clasificación se encuentra definido de la siguiente manera:

- Consideraciones de tiempo: Este es un sistema de tiempo real duro ya que se especifica un tiempo máximo de respuesta. Esta categoría la asignamos dado que el factor determinante para el sistema de control es evitar la colisión de los trenes. **ESPECIFICAR LOS TIEMPOS DEL SISTEMA**
- Escalas de tiempo: Este es un sistema basado en eventos debido a la relación entre las escalas de tiempo de los eventos externos y las funciones ejecutadas en la computadora.
- Integración con el entorno: Se define como sistema reactivo dado que tiene una interacción continua con el entorno y es dependiente del estado del sistema. Considerando al sistema como reactivo, ingresa en la sub-clasificación de embebido porque será implementado sobre un PIC.

Componentes

Sensores

Se utilizarán sensores pasivos dado que los elementos van a ser provistos de una tensión para iniciar su funcionamiento. Utilizando dos tipos sensores podemos definir a los binarios de contacto mecánicos y fotoeléctricos por reflexión del objeto.

Actuadores

Se utilizarán actuadores eléctricos para los cambios de vías, los semáforos y alimentación del ramal. Son motores de corriente alterna de dos fases con dos entradas: una línea de voltaje fijo para mover el motor y una línea de voltaje de control para determinar la dirección del motor.

Algoritmos de resolución encontrados

- Algoritmos para manejo de semáforos
 - Semáforos accionados por el tránsito

Un semáforo accionado por el tránsito es un sistema cuyo funcionamiento varía de acuerdo con las demandas del tránsito que registren los detectores de vehículos, los cuales suministran la información a un control local.

Se usarán en las intersecciones donde los volúmenes de tránsito fluctúan considerablemente en forma irregular.

Los semáforos accionados por el tránsito se clasifican en tres categorías generales:

a) Semáforos totalmente accionados:

Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en todos los accesos de la intersección.

b) Semáforos parcialmente accionados:

Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos de la intersección, pero no en todos.

c) Semáforos ajustados al tránsito:

Es un tipo de semáforo en el cual las características del despliegue de señales en los controladores locales para un área, varían continuamente de acuerdo con la información sobre el flujo del tránsito suministrada a un computador maestro por detectores de muestreo ubicados en puntos de flujo típico en el área.

Para cada categoría hay diferentes sistemas de controles con distintas aplicaciones.

Algunos factores que se deben tomar en cuenta son los siguientes: Volumen vehicular, circulación transversal o tránsito cruzado, volúmenes en horas de máxima demanda, fluctuaciones del tránsito, intersecciones complicadas, sistemas progresivos de semáforos, zonas de circulación en un solo sentido.

a) Volumen vehicular

En las intersecciones donde el volumen de tránsito de vehículos no sea suficientemente intenso para justificar la instalación de semáforos pre-sincronizados, se pueden instalar semáforos accionados por el tránsito, si hay otras condiciones que justifiquen la necesidad de su instalación.

b) Circulación transversal o tránsito cruzado

Cuando el volumen de tránsito en la calle principal es tan intenso que restringe y provoca conflictos a la circulación transversal o tránsito cruzado de vehículos y de peatones, se deben instalar semáforos accionados por el tránsito para permitir el paso a la circulación secundaria.

c) Volúmenes en horas de máxima demanda

Cuando se requieran semáforos en una intersección exclusivamente durante las horas de máxima demanda, se pueden instalar semáforos accionados por el tránsito puesto que en otras horas no ocasionan demoras inconvenientes.

d) Fluctuaciones del tránsito entre las calles

En los casos en que los volúmenes relativos de tránsito en las calles entrantes o concurrentes varíen ampliamente en una intersección donde se justifiquen semáforos no accionados por el tránsito o pre-sincronizados, el semáforo totalmente accionado por el tránsito da usualmente la mayor eficiencia en la operación de la intersección.

e) Intersecciones complicadas (operación forzada-nivel de servicio elevado)

Cuando se justifique instalar semáforos en intersecciones complicadas que requieran varias fases, se debe estudiar la conveniencia de usar semáforos accionados por el tránsito. En estos casos, además de las ventajas usuales se puede eliminar una fase cuando no haya tránsito que la demande.

f) Sistemas progresivos de semáforos

Cuando los espaciamientos y otras características de una intersección dentro de un sistema de semáforos pre-sincronizados sean tales que no se pueda lograr la sincronización progresiva, puede resultar más ventajoso el empleo de semáforos accionados por el tránsito.

g) Zonas con circulación en un solo sentido

En tramos de una calle de doble circulación, en los que el tránsito sólo puede desplazarse en un sentido, en un tiempo determinado, como en puentes y túneles angostos o en tramos de vías en construcción, los semáforos accionados por el tránsito pueden emplearse eficazmente.

o **Controles para semáforos accionados por el tránsito**

Son aquellos cuya operación varía de conformidad con las demandas del tránsito que se registran en detectores de vehículos.

Los controles accionados por el tránsito se clasifican en cuatro categorías generales, que son:

- I. Controles parcialmente accionados por el tránsito
- II. Controles totalmente accionados por el tránsito
- III. Controles adaptables a la densidad del tránsito

Entre las ventajas de los semáforos de este tipo pueden mencionarse las siguientes:

- Pueden resultar más eficientes en las intersecciones en donde las fluctuaciones del tránsito no se pueden prever y programar en la forma requerida para los sistemas con controles no accionados.
- Pueden ser de mayor eficiencia en intersecciones en donde una o más circulaciones son esporádicas y de intensidad variable.
- Son generalmente más eficientes en intersecciones de calles principales con calles secundarias, debido a que interrumpen la circulación en la calle principal únicamente cuando se requiere dar paso a vehículos en la calle secundaria y restringen esas interrupciones al tiempo mínimo indispensable.
- Pueden dar la máxima eficiencia en las intersecciones desfavorablemente localizadas dentro de sistemas progresivos, en los cuales las interrupciones del tránsito en la calle principal son inconvenientes y se deben mantener al mínimo en frecuencia y duración.
- Proporcionan una operación continua sin demoras innecesarias en intersecciones aisladas.

- Tienen aplicación especialmente en intersecciones en donde la operación de semáforos solo se necesita durante períodos cortos en el día.

Control parcialmente accionado por el tránsito

Los controles parcialmente accionados por el tránsito son aplicables principalmente en las intersecciones de arterias de alto volumen y altas velocidades con calles secundarias de escasa circulación, razón por la que disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos pero no en todas las aproximaciones de la intersección. Los detectores se ubican sólo en los accesos secundarios.

Al operar estos controles se permite que en la calle principal normalmente se tenga indicación de luz verde, la cual cambia a la calle secundaria únicamente como resultado de la acción de los vehículos. En algunos casos, el intervalo de luz verde en la calle secundaria es de duración fija, lo cual no es aconsejable. En sistemas más flexibles, la duración de la indicación de luz verde en la calle secundaria es proporcional a las demandas del tránsito de la misma previéndose un límite máximo de tiempo, más allá del cual no se puede mantener la indicación de luz verde en la calle secundaria, aunque haya alta demanda de tránsito. Al término de la fase requerida, la indicación de luz verde vuelve a la calle principal y se mantiene como mínimo un intervalo previamente fijado. Al terminar el intervalo mínimo, el control vuelve a quedar libre para responder a la acción del tránsito en la calle secundaria.

Los mecanismos de control parcialmente accionados por el tránsito permiten tener verde continuo mientras no existan demandas sobre la vía secundaria. El paso sobre la calle secundaria solo es permitido en momentos en donde no se vea afectada la coordinación de acuerdo a una programación previa, teniendo en cuenta que las demás intersecciones del corredor coordinado estén interconectadas a una central de control del tránsito.

Control totalmente accionado por el tránsito

En los controles totalmente accionados por el tránsito, los detectores se instalan en todos los accesos de la intersección y el derecho de paso se le da a una calle como resultado de uno o más accionamientos en esa misma calle. Cuando no hay demandas del tránsito en ninguna de las calles, la indicación de luz verde normalmente permanecerá en aquella a la que se dio por último; pero, cuando una de las calles tenga más tránsito que las demás, podrá resultar de mayor eficacia revertir el derecho de paso a esa calle.

En el caso de accionamiento continuo en una misma calle, el derecho de paso se cederá al tránsito que espera en la calle transversal. Al terminar un lapso predeterminado, automáticamente regresará a la primera calle en la primera oportunidad, la cual no se puede presentar sino hasta después de terminado un período mínimo con la indicación de luz verde en la calle transversal.

La duración de la indicación de luz verde para cada calle, en condiciones normales de tránsito, fluctuará entre los valores máximo y mínimo prefijados, dependiendo de los

lapsos entre los accionamientos. Con el tipo más común de control totalmente accionado por el tránsito, el derecho de paso, de acuerdo con los accionamientos, será cedido inmediatamente a la calle transversal si el tiempo transcurrido entre accionamientos en la calle con indicación de luz verde excede cierto valor predeterminado y si el período mínimo para dicha calle ha expirado.

Por tanto, el derecho de paso cambiará de calle a calle según la frecuencia de los lapsos entre el paso de vehículos sucesivos que excedan los tiempos prefijados para cada una de las calles. Cuando se presente alto volumen de tránsito, esos lapsos serán poco frecuentes y los intervalos con luz verde se extenderán a los máximos, por lo que, bajo estas condiciones, la operación de controles accionados por el tránsito tiende a confundirse con las de los controles no accionados por el tránsito.

Control adaptable a la densidad del tránsito

Los controles adaptables a la densidad del tránsito, totalmente accionados por éste, permiten que el intervalo correspondiente a los lapsos entre el paso de vehículos sucesivos que exceden los tiempos prefijados para cada una de las calles, disminuya durante cada fase, de acuerdo con ciertos factores de circulación. Por lo tanto, la posibilidad de que el intervalo de luz verde termine y se ceda el derecho de paso a la calle transversal aumenta proporcionalmente a la disminución del tránsito que circula con luz verde, al transcurso del tiempo durante el cual se tienen vehículos detenidos con la indicación de luz roja y al número de los mismos. Estos y otros factores hacen que el control totalmente accionado por el tránsito de este tipo sea más sensible a las demandas de circulación con amplias variaciones de intensidad.

Para ello, se instalan detectores estratégicos del sistema progresivo para suministrar al control maestro la información del tránsito en puntos determinados. El control maestro selecciona el ciclo y los desfases predeterminados para lograr el mejor equilibrio de acuerdo con las intensidades de circulación que se presentan en ese tiempo. Los controles locales estarán conectados al control maestro, que los manejará en un momento dado conforme al ciclo y desfase seleccionados por el control maestro. En el sistema de control adaptable a la densidad del tránsito, el cambio de una combinación de tiempos a otra se efectúa rápidamente y con interferencia mínima para el tránsito que circula durante el cambio. Si los controles locales son parcialmente accionados por el tránsito, la duración de la fase correspondiente a la calle secundaria, dentro del ciclo seleccionado, se determina por medio de accionamientos en detectores instalados en la misma. Este sistema permite una gran flexibilidad para lograr la coordinación efectiva de circulaciones tanto en una vía como en una red de calles.

- **Algoritmos para la Planificación de tareas**

La planificación de tareas surge debido a que es necesario garantizar ciertos plazos mínimos de funcionamiento. Tiene como objetivos principales:

- Proporcionar un algoritmo para ordenar el uso de los recursos del sistema.
- Predecir que ocurrirá en el peor caso posible (aplicando el algoritmo de ordenación de recursos proporcionado).

- **Modelo de Tareas**

Las aplicaciones están formadas por un conjunto fijo de tareas. Las tareas son independientes entre sí a menos que se diga lo contrario. Las operaciones del núcleo del sistema son instantáneas (por ejemplo los cambios de contexto, interrupciones, etc.).

- **Definiciones en el manejo de tareas:**

- La prioridad es un parámetro relacionado con la urgencia o la importancia de la tarea.
- Planificable por un planificador: Un conjunto de tareas se dice que es planificable por un determinado planificador si éste es capaz de garantizar que ninguna tarea perderá sus plazos de ejecución.
- Sistema síncrono: Sistema en el que todas las tareas solicitan ejecución al mismo tiempo. Representa el caso de máxima carga del procesador.
- Tareas periódicas: se repiten cada cierto período.
- Tareas aperiódicas: no tienen establecido un período de repetición (aunque pueden tener establecidas condiciones mínimas de separación entre eventos). Se activan como respuesta a un suceso externo.

- **Interacción entre Tareas**

En aplicaciones reales, generalmente se producen interacciones entre tareas debido a la existencia de recursos comunes (datos, mensajes, etc.). Cuando una tarea accede a un recurso compartido y hasta que no termina el intervalo de utilización del mismo, lo mantiene bloqueado (por ejemplo, utilizando semáforos). Cuando una tarea queda bloqueada, pasa a estado ejecutable (hasta que el recurso que la bloqueó esté disponible).

Esto puede dar lugar a que una tarea quede bloqueada esperando a obtener un recurso que otra tarea tiene bloqueado. Así, pueden darse situaciones de inversión de prioridad: una tarea de alta prioridad tiene que esperar debido a una de menor prioridad.

Existen distintas técnicas para manejar la interacción entre tareas:

- Ordenar la ejecución de las tareas: Se establece una precedencia de tareas “off-line”.
- Mediante la utilización de recursos compartidos no interrumpibles (por ninguna tarea): la utilización de los recursos tiene que ser muy breve.

–Mediante la utilización de recursos compartidos interrumpibles: los protocolos utilizados varían dinámicamente la prioridad de las tareas, modificándolas cuando éstas utilicen un recurso compartido.

○ **Algoritmos de Interacción**

- I. Envejecimiento de Prioridades
- II. Techo de prioridad
- III. Herencia de prioridad

Envejecimiento de Prioridades (aging)

El envejecimiento de prioridades es una técnica que consiste en aumentar gradualmente la prioridad de las tareas que esperan mucho tiempo. Es una solución cuando se presentan bloqueos indefinidos en las tareas de baja prioridad.

Herencia de Prioridad

Cuando una tarea T bloquea a otra tarea de mayor prioridad, T se ejecuta con la mayor de las prioridades de las tareas que está bloqueando en ese momento.

Cuando la tarea finaliza la ejecución de su sección crítica recupera su prioridad inicial.

La herencia de prioridades es transitiva, es decir si T1, T2 y T3 son tres tareas en orden descendente de prioridad, entonces si T3 bloquea a T2 y T2 bloquea a T1, T3 hereda la prioridad de T1.

Este algoritmo presenta sin embargo dos problemas:

- El tiempo de bloqueo de una tarea de alta prioridad, aunque está acotado puede ser muy largo si se produce una cadena de accesos a semáforos.
- No evita los interbloqueos

Techos de Prioridad

El protocolo de techo de prioridad soluciona los dos problemas anteriores.

- La idea de este protocolo es asegurar que cuando una tarea interrumpe una sección crítica y ejecuta otra, la prioridad a la que se ejecuta esta nueva sección crítica será mayor que la de todas las prioridades heredadas por todas las secciones críticas interrumpidas.
- Se asigna un límite de prioridad a cada recurso, que es igual a la prioridad del proceso con mayor prioridad que puede utilizar el recurso (Techo de Prioridad).

El protocolo consiste en:

– Cuando una tarea intenta ejecutar una de sus secciones críticas, ésta suspenderá a menos que su prioridad sea mayor que el techo de prioridad de todos los recursos bloqueados en ese momento.

– Si la tarea no puede acceder a la sección crítica, la tarea que tiene el recurso con mayor límite de prioridad bloqueado, hereda la prioridad de dicha tarea.

Ventajas:

- Cada tarea se puede bloquear una vez como máximo en cada ciclo
- No puede haber interbloqueos
- Se consigue la exclusión mutua sin mecanismos de protección adicionales.

• Inconvenientes:

- Complejidad
- Sobrecarga del planificador

○ **Planificador**

El planificador está compuesto por un algoritmo que determina el orden de acceso de las tareas a los recursos. Este algoritmo puede ser estático o dinámico.

Como armarlo

•Técnica 1: Utilización de un servidor en segundo plano (“background”): cuando no hay trabajo periódico que ejecutar, se sirven las tareas aperiódicas (puede utilizarse cualquier algoritmo de planificación, por ejemplo el Round-Robin). Ofrece un mal tiempo de respuesta, pero es simple de implementar.

•Técnica 2: Utilización de un servidor de reserva (“pooling”): se añade una nueva tarea periódica a las existentes. Durante el tiempo en que esta tarea está activa, se sirve el trabajo aperiódico (nuevamente, puede utilizarse cualquier algoritmo de planificación). Si no hay tareas aperiódicas que servir, el servidor espera a que las haya (mientras está activo).

Ofrece un tiempo de respuesta mejor.

•Técnica 3: Utilización de un servidor de reserva diferido (“deferrable server”): se añade una nueva tarea periódica a las existentes. Durante el tiempo en que esta tarea está activa, se sirve el trabajo aperiódico (utilizando cualquier algoritmo de planificación). Sin embargo, a diferencia de la técnica de “pooling”, si no hay tareas aperiódicas que servir, el servidor termina.

•Técnica 4: Planificación basada en eventos (Event Scheduling)

El planificador dispone de dos colas de procesos:

- Cola de ejecución, ordenada por prioridades

– Cola de tiempos, ordenada por los tiempos en los que las tareas tienen que ser despertadas

- El funcionamiento del planificador es el siguiente:
 - Cuando el planificador suspende a una tarea en la cola de tiempos, debe programar una interrupción de un timer con el menor tiempo de los procesos en la cola de tiempos.
 - Cuando la interrupción ocurre, todas las tareas en la cola de tiempos con tiempos menores o iguales al momento de la interrupción son cambiadas a la cola de ejecución.
 - El planificador programa la próxima interrupción, con el menor tiempo de los procesos de la cola de tiempos.
 - El planificador ejecuta la tarea de mayor prioridad de la cola de ejecución.

Método propuesto

- **Planificación de Tareas.**

De acuerdo a los métodos presentados vamos a implementar el procesamiento de tareas por interrupciones o eventos aperiódicos. Las tareas se tratan inmediatamente en cuanto se reconoce la interrupción asociada. Es el método obvio para reducir los tiempos de respuestas de las tareas aperiódicas. Se va a utilizar la asignación de prioridades para las interrupciones, con modificación en el tiempo. Cuando una tarea se este ejecutando, no podrá ser quitada del núcleo de procesamiento, los eventos posteriores deberán ser ordenados en una cola de prioridades con envejecimiento sin expropiación.

La solución consistiría en retrasar la ejecución de las tareas con mayor prioridad sólo hasta donde sea posible.

El algoritmo de resolución que se implementará tendrá las siguientes características:

- Tareas aperiódicas: consideraremos una tarea como el conjunto de acciones a ejecutar cuando se activa un sensor del sistema, por ejemplo, si se activa el sensor x se debe verificar el estado de todos los sensores, semáforos y desvíos que interactúan con el sensor x y ejecutar las acciones programadas (mover desvío, cambiar semáforo, etc.). De ésta manera las tareas ocurren a intervalos de tiempo variables e impredecibles ya que dependen de la circulación de los trenes.
- Asignación de prioridades a las tareas: según lo especificado anteriormente habrá tareas que deberán ejecutarse antes que otras según el trayecto que se esté evaluando (los trayectos críticos se encuentran detallados en el diagrama del circuito). Según la ubicación de los sensores con respecto a los tramos críticos se asignarán las prioridades a las tareas que éstos sensores activan.

- Planificador basado en eventos: las señales de los sensores se puede modelar como eventos que llegan al planificador. De acuerdo a los sensores activados el planificador encola las tareas a ejecutar teniendo en cuenta las prioridades y el tiempo de espera de tareas anteriores que se encontraban en la cola de ejecución. El planificador actualiza un vector que indica el estado de cada componente del sistema.
- Sistema síncrono: dependiendo la cantidad de trenes en circulación se pueden recibir eventos provenientes de todos los sensores. Las tareas se ejecutarán de a una por vez según lo disponga el planificador.
- Recursos compartidos no interrumpibles: cuando el planificador asigne una tarea para que se ejecute, ésta completará todas sus acciones sin depender de que haya tareas con mayor prioridad en la cola de ejecución. La tarea en ejecución dispone en forma completa de los recursos compartidos (desvíos, semáforos, modificación del vector de estado, etc.).
- Envejecimiento de prioridades (aging): El planificador aplicará ésta técnica para evitar el uso indefinido de un recurso por tareas de alta prioridad, que trae como consecuencia el bloqueo de las tareas con baja prioridad. Con éste método, se tratará de evitar la circulación de trenes por un tramo único con mayor prioridad paralizando el resto del circuito ferroviario de menor prioridad. Las tareas de menor prioridad aumentarán de acuerdo a la cantidad de veces que el planificador no les haya asignado recursos por el uso repetitivo de una tarea de mayor prioridad.
- **Algoritmo de Semáforos**

Según los algoritmos especificados en el punto **3.1**, los semáforos del sistema se clasificarán de la siguiente manera:

- Los semáforos A y C serán Totalmente Accionados por el Tránsito
- El semáforo B será Parcialmente Accionado por el Tránsito

Simulación

Red de Petri. (Ver Anexo I)

Conclusiones

A partir del problema inicial, pudimos realizar un sistema de gestión de vías, el cual involucra los cambios de vías, semáforos y control de los trenes.

En cuanto a los resultados obtenidos, pudimos afianzar la seguridad en el recorrido de los trenes y abaratar los costos, a mediano plazo, del mismo.

El sistema nos brinda mayor capacidad de respuesta al poder incrementar el número de trenes, sin necesidad de cambiar el soft propuesto.

Anexo I

