

## Desarrollo de prototipos *hardware* para una maqueta de tren con fines docentes

Vicent Lorente, Silvia Terrasa,  
Dept. de Informática de Sistemas  
y Computadores  
Universidad Politécnica de Valencia  
46022 Valencia  
e-mail: {vlorente,sterrasa}@disca.upv.es

Ana García  
Dep. Sistemas Informáticos y  
Computación  
Universidad Politécnica de Valencia  
46022 Valencia  
e-mail: [agarcia@dsic.upv.es](mailto:agarcia@dsic.upv.es)

### Resumen

El uso de elementos reales con fines docentes es cada vez mas frecuente. El presente trabajo presenta la experiencia de la puesta en marcha de una maqueta de trenes describiendo los problemas surgidos a la hora de realizar el control por computador de la misma, así como las soluciones propuestas. El trabajo se centra en la descripción de la infraestructura hardware desarrollada sobre una maqueta comercial, para permitir el control individual de los elementos móviles (trenes, cambios de vía...) mediante un ordenador.

### 1. Motivación

Con la puesta en marcha de los últimos planes de estudio y con la gran diversidad de asignaturas optativas y la limitación de recursos que tienen algunos centros (aulas, laboratorios, etc), las asignaturas optativas entran dentro del juego de "la oferta y la demanda" ya que si no mantienen un número mínimo de alumnos por curso corren el peligro de desaparecer. Para contrarrestar este efecto, los profesores no sólo deben hacer que sus optativas sean interesantes intelectualmente, sino que también deben introducir elementos que las hagan atractivas. En este marco, el departamento de sistemas informáticos y computación (DSIC) de la universidad Politécnica de Valencia adquirió el curso pasado una maqueta de trenes para ser controlada desde un computador personal (PC).

El presente artículo describe el trabajo realizado en la puesta en marcha de la maqueta y

los problemas surgidos al intentar realizar el control de la misma desde un PC.

El artículo está estructurado de la siguiente forma, en la sección 2 se describe la maqueta de trenes así como el control manual que lleva incorporado. En la sección 3 se detallan los problemas surgidos a la hora de cambiar el control manual por el control por ordenador y en la sección 4 se describen de los prototipos realizados para solventar estos problemas. Finalmente en la sección 5 se comentan una serie de conclusiones y el trabajo futuro.

### 2. Descripción de la maqueta de trenes.

Durante el pasado curso el departamento DSIC de la Universidad Politécnica de Valencia adquirió una maqueta de trenes proporcionada por MÄRKLIN, para dedicarla a aplicaciones docentes.

Como se puede apreciar en la figura 1 el montaje inicial es sencillo, no existen desniveles ni túneles, aunque si que hay cambios de vía para permitir un control más elaborado. El problema que tiene este tipo de maquetas es que se necesita un presupuesto muy elevado para montar una maqueta completa con toda clase de detalles. Debido a esto, se decidió invertir inicialmente el dinero suficiente para realizar un montaje útil, y después de analizar los resultados, complicar el diseño y ampliar la maqueta.

En la configuración inicial de la maqueta se tuvieron en cuenta tanto la dificultad que podría tener para el alumno realizar el control simultáneo

de diferentes trenes, como la dificultad relativa a la utilización de las vías (recursos compartidos a utilizar en exclusión mutua) por parte de los trenes.

También el tema económico nos condujo a implementar nosotros mismos las placas prototipo para realizar el control de los trenes desde el PC. Estas placas se han diseñado para resolver los problemas de la identificación y la ubicación de los trenes.



Figura 1 Configuración de la maqueta

Por otra parte, en la figura2, se muestra el control manual original de la maqueta. Este control manual ha sido utilizado para confirmar el buen funcionamiento de la misma antes de realizar pruebas con el PC.



Figura 2 Control manual de la maqueta MÄRKLÍN

Los trenes disponen de un microcontrolador incorporado que lleva implementado un protocolo

de comunicación con el panel de control. Este protocolo de comunicación permite actuar individualmente sobre cada tren, siendo algunos de los parámetros sobre los que se puede actuar los siguientes :

- Marcha / Paro.
- Sentido de la marcha (horario/ antihorario).
- Velocidad.
- Aceleración / Deceleración.
- Elementos decorativos (humo, luces, silbato, etc)

Adicionalmente, MÄRKLÍN ofrece un módulo que permite controlar la maqueta mediante un ordenador por medio del puerto serie. Este módulo, llamado *interface*, sustituye al control manual y realiza la adaptación de los dos protocolos, es decir por una parte envía y recibe comandos desde el PC y por otra envía y recibe comandos desde los trenes (Figura 3).

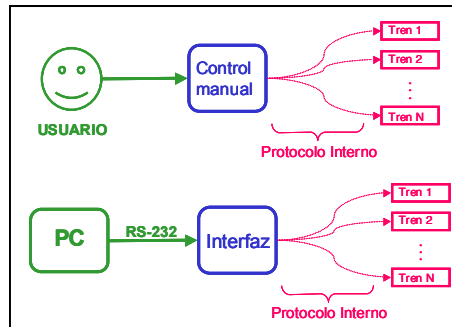


Figura 3 Posibles modos de funcionamiento.

Finalmente la maqueta tiene una serie de sensores de posición que indican la presencia o no de un tren en un punto del recorrido (por ejemplo, es interesante saber cuando hay un tren en un final de vía).

El proceso del montaje de la maqueta con estas características tuvo una duración de 1 mes aproximadamente ya que primero se tuvo que preparar una mesa con las condiciones adecuadas para permitir que toda la parte electrónica estuviese por debajo de la maqueta.

### 3. Control de la maqueta desde el PC.

Una vez finalizado el montaje de la maqueta, se abordó realizar el control de los trenes desde un PC. La maqueta se adquirió con objeto de realizar trabajos prácticos de asignaturas optativas de primer y segundo ciclo, así como proyectos fin de carrera y asignaturas de doctorado. En la fase de evaluación inicial, ha sido utilizada para realizar trabajos de asignaturas de tercer ciclo relacionadas con inteligencia artificial y con sistemas de tiempo real. La temática de las asignaturas nos da la oportunidad de plantear un control a dos niveles, por una parte la planificación de tiempo real intenta resolver el control a bajo nivel, evitando situaciones de peligro y actuando sobre los trenes directamente, mientras que la inteligencia artificial define un control de alto nivel donde se puede trabajar sobre optimización de trayectorias, planes de recorridos, etc. Este control a dos niveles nos proporciona una visión muy global del control de la maqueta que permite explotar toda su utilidad.

Para poder realizar el control de la maqueta en los dos niveles es necesario:

- Establecer un protocolo de comunicación entre el PC y los trenes.
- Localización de cada tren.
- Control sobre los cambios de vía.

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior los trenes disponen de un microcontrolador que lleva implementado el protocolo de comunicación. En principio la información que se puede intercambiar con los trenes mediante ese protocolo es suficiente para realizar el control de los mismos.

Respecto a la localización de los trenes, la maqueta dispone de una serie de sensores que son capaces de detectar la presencia de un tren en un determinado punto de la maqueta. Sin embargo, estos sensores son incapaces de identificar el tren que están detectando. Lógicamente esta es una limitación que hace muy difícil el control de bajo nivel, e imposible el control de alto nivel, si no podemos identificar los trenes ¿cómo podemos planificar sus trayectorias? Para solucionar este problema se diseñaron unos prototipos que

realizan tanto la función de localizar como la de identificar y que se explicarán en la próxima sección.

Finalmente, aunque se puede conseguir un módulo de MÄRKLÍN para realizar el cambio de vía a través del estándar RS-232, el hecho de utilizar para la comunicación el estándar RS-232 ralentiza excesivamente el conjunto. Por ello, se decidió construir otra placa prototipo para realizar el cambio de vía. El siguiente apartado está destinado a explicar el funcionamiento básico de estas placas prototipo.

### 4. Prototipos desarrollados.

En esta sección se describe el funcionamiento básico de las placas prototipo desarrolladas para hacer posible el control de la maqueta desde un PC. Primero se describe la placa que realiza el cambio de vía y en segundo lugar las placas que solucionan el problema de la identificación de los trenes.

#### 4.1. Control de los cambios de vía

Tal y como hemos explicado en el apartado anterior, aunque inicialmente el cambio de vía estaba solucionado por MÄRKLÍN, el hecho de que utilizara el estándar RS-232 para comunicarse con el PC, hacía que el conjunto de la maqueta se comportara de manera lenta.

Por ello se optó por realizar un diseño de una placa que realizara la misma función pero que se pudiera controlar desde una tarjeta de adquisición de datos. En la figura 4 se muestra la placa que realiza esta función.

Este circuito tiene una entrada digital procedente de la tarjeta de adquisición y una salida analógica que actúa directamente sobre los cambios de vía. En función del valor de la entrada (0/1), el cambio de vía estará en una posición o otra (abierto/cerrado).

Este circuito también dispone de dos leds que indican en que posición está el cambio de vía. De esta forma es muy fácil identificar visualmente si el cambio está en la posición deseada.



Figura 4.- Placa prototipo para el cambio de vía

#### 4.2. Identificación de los trenes

Para solucionar el problema de la identificación de los trenes también se desarrollaron placas prototipo. Estas placas solucionan por completo tanto el problema de la localización como el de la identificación de cada tren en la maqueta.

El sistema de identificación consta de dos placas (Figura 5), una placa emisora que se coloca en la parte superior de los trenes y otra receptora ubicada en puntos estratégicos del recorrido. A continuación se pasan a describir más detalladamente ambas placas.

La placa emisora es muy sencilla. Su sencillez viene determinada por las restricciones de espacio, ya que, como se ha mencionado anteriormente, estará situada encima de los trenes. Su función es emitir constantemente un tren de pulsos a una determinada frecuencia. Con este esquema, la identificación se resuelve fácilmente si asignamos un valor frecuencia predeterminado a cada uno de los trenes. Una de las características de este circuito es que ha sido sintonizado para que el alcance del emisor de infrarrojos no sobrepase los 10 cm. Con esto se pretenden reducir posibles errores debidos a la recepción de una frecuencia emitida por los trenes que circulen por vías paralelas a la deseada. También por este mismo motivo, se han elegido unos emisores de infrarrojos con poca apertura angular ( $20^\circ$

aproximadamente) en lugar de utilizar los emisores infrarrojos más comunes ( $80^\circ$ ).

En cuanto a la placa receptora, como se ha mencionado anteriormente, se ubica a lo largo del recorrido de los trenes en la maqueta y se conecta al PC a través de la tarjeta de adquisición de datos. Se encarga de detectar la frecuencia del tren que pasa por delante de ella. Esta placa es un poco más compleja que la anterior, y en ella se pueden distinguir dos etapas: etapa de recepción (del tren de pulsos) y etapa de identificación (de la frecuencia).

La primera etapa, recepción del tren de pulsos, tiene como entrada un tren de pulsos en el espectro infrarrojo y como salida el mismo tren de pulsos pero ahora como señal eléctrica. Está compuesta únicamente por un fototransistor, que es el encargado de hacer esta transformación.

La segunda etapa tiene como entrada el tren de pulsos (salida de la etapa anterior) y como salida tiene un valor digital (1 bit) indicando si se está detectando la frecuencia (1) o no (0). De esta forma, esta segunda etapa puede repetirse tantas veces como frecuencias queramos detectar. Para poder realizar correctamente la identificación, cada una de estas etapas de identificación, tendrá que ser sintonizada para que identifique una de las frecuencias predeterminadas y así poder identificar uno de los trenes.

Al igual que en la placa de cambio de vía, cada etapa de identificación dispone de un led que indica cuando se está detectando la frecuencia a la que ha sido sintonizada. De esta forma es fácil identificar visualmente si se está detectando el tren deseado o no.

En la figura 4 aparecen las dos placas prototipo, en este caso la placa receptora está hecha para soportar no más de cuatro trenes simultáneamente.

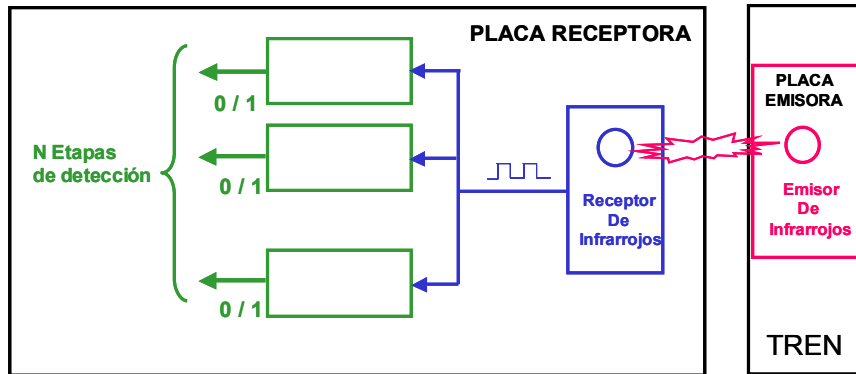


Figura 5.- Diagrama de bloques del sistema de identificación .

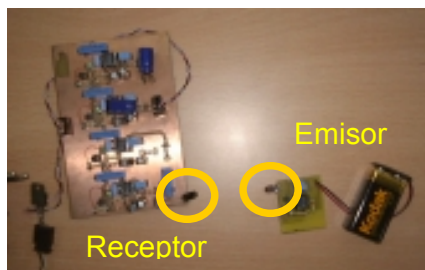


Figura 6.- Placas prototipo para la identificación de los trenes.

## 5. Conclusiones y trabajo futuro

Como conclusiones destacar que la puesta en marcha una maqueta de estas características es una labor totalmente artesanal. Por otra parte, aunque los fabricantes ofrecen soluciones para casi todos los problemas que surgen cuando se quiere realizar un control desde un PC, éstas no siempre se ajustan a las necesidades del usuario, siendo en la mayoría de las ocasiones soluciones demasiado caras.

Por estas razones el presente artículo presenta una serie de placas prototipo que realizan

exactamente la función deseada y resultan mucho más económicas. Finalmente, la realización de prototipos propios hace que la maqueta resultante sea totalmente *ad hoc* a la aplicación desarrollada.

Respecto al trabajo futuro se está pensando en incorporar a la maqueta un brazo robot que interactúe con los trenes, simulando la carga y descarga de mercancías en los distintos trenes. Otra de las posibilidades interesantes es poner semáforos en la maqueta, los cuales añadirán un poco más de complejidad al control. Por último, y con vistas a ampliar el rango de asignaturas que puedan hacer uso de la maqueta, también se está pensando ubicar una cámara cenital que permita la aplicación de algoritmos de visión por computador para poder identificar la posición de los trenes en cada momento.

## Referencias

- [1] MÄRKLÍN <http://www.marklin.com> (USA)