

Lector de tarjetas SD en microcontrolador NXP

Ing. Luis Antonini*; Ing. Jorge Osio*; Ing. Jose Rapallini

Centro de Técnicas Analógico – Digitales (CeTAD)
Calle 116 y 48 2° piso - Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de La Plata La Plata, Argentina

*Becario CIC – Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Bs. As.
luis_antonini@live.com.ar ; jorge.osio@ing.unlp.edu.ar

I. INTRODUCCIÓN

Los microcontroladores LPC2400 de NXP son ideales para todo tipo de aplicaciones en el área de comunicaciones, dado que cuentan en forma integrada con numerosos controladores con los cuales se puede implementar diversas interfaces. El microcontrolador LPC2478 [1] es el que se utiliza para esta aplicación porque es el único de esta familia que además cuenta con interfaz para display gráfico. Se utiliza el “Kit de desarrollo educativo LPC 2400” [2] para la implementación del sistema lector de tarjetas SD.

Finalizado este desarrollo, el sistema lector de tarjetas se adiciona al “Sistema Host USB para gestionar archivos entre dispositivos” [3].

El sistema host USB permite detectar y configurar diversos dispositivos pertenecientes a la clase de almacenamiento masivo. Incluye un sistema de archivos FAT 32 por medio del cual se puede realizar diferentes acciones.

El control del sistema se efectúa utilizando un teclado reducido diseñado específicamente para este sistema. La visualización de los diferentes eventos se realiza en una PC por medio de la interfaz RS-232.

II. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA INTERFAZ SD

La comunicación entre un microcontrolador y las tarjetas “Secure Digital” [4][5], SD, se realiza mediante una interfaz de nueve líneas; una línea de clock, una de comandos, tres líneas de alimentación y cuatro de datos. La tensión de alimentación utilizada es de 3.3 V.

La especificación SD define tres capacidades para las tarjetas:

- Capacidad estándar (SDSC): hasta 2 GB.
- Alta capacidad (SDHC): más de 2 GB hasta los 32 GB.
- Capacidad extendida (SDXC): más de 32 GB.

El bus de datos tiene dos modos de configuración y operación, el modo SD y el modo SPI. A su vez el primer modo puede operar con una línea de datos (1 bits) o con sus cuatro líneas de datos paralelas (4 bits).

Las tarjetas SD contienen un microprocesador, el mismo le otorga algunas características específicas propias de esta interfaz, tales como:

- Independencia del host en relación con los detalles de la forma de borrado y programación de la memoria flash.
- Sistema de corrección de errores similar al encontrado en los discos magnéticos.
- Control de la alimentación para reducción del consumo de alimentación.

El bus de las tarjetas SD está integrado por un único máster (el host) y múltiples esclavos (las tarjetas).

Al insertar una nueva tarjeta, se realiza un proceso de configuración por medio del cual se determina el tipo de tarjeta, el tamaño de bloque, el tamaño total y disponible, entre otras características. Este proceso se realiza utilizando la línea de comandos.

Para leer o escribir uno o más sectores de memoria de una tarjeta SD, el software del host simplemente debe utilizar los comandos específicos para lectura o escritura y esperar que el comando finalice de ejecutarse. De esta forma el host no interviene en la forma en que la memoria se borra, programa o lee. Esta característica es importante en relación a la compatibilidad a futuro con nuevas tarjetas.

Otra característica de estas tarjetas es el ingreso y salida del modo de ahorro de energía en forma automática. Una vez que se completa una operación, la tarjeta automáticamente entra a este modo para ahorrar energía si no se recibe otro comando en un intervalo de tiempo de 5 ms. El host no debe enviar ningún comando para que esto ocurra ni tampoco tienen que enviar un comando para que la tarjeta salga de este modo.

Existen dos formas o modos para la lectura o escritura de la memoria de una tarjeta SD:

- Modo de bloque único: en este modo el host lee o escribe un único bloque de memoria, el tamaño de cada bloque es fijo y pre establecido durante la configuración de cada tarjeta.
- Modo de bloque múltiple: es similar al modo anterior, pero en este caso el host puede leer múltiples bloques.

En el caso de operar en el modo SD con una sola línea de datos, la tasa máxima de transferencia es de 25 MBit/s y de utilizar las cuatro líneas de datos dicha tasa se incrementa hasta los 100 MBit/s.

III. DESCRIPCIÓN DEL MICROCONTROLADOR LPC2478

Este microcontrolador tiene un núcleo con arquitectura ARM7TDMI-S, diseñado con un alto nivel de integración. Tiene integrado memoria flash de 512 kB de alta velocidad para el programa de aplicación, esta memoria incluye una interfaz especial de 128 bit lo que permite al CPU ejecutar instrucciones secuenciales desde la memoria flash a una velocidad máxima de 72 MHz.

El programa de aplicación fue realizado utilizando el lenguaje de programación C y la aplicación Keil uVision4 y programado mediante el sistema ISP (In Circuit Serial Programming).

El bloque controlador SD [6, pp.551-563] adhiere a la especificación "MultiMedia Card Specification V2.11" y a la especificación "Secure Digital Memory Card Physical Layer Specification v0.96". El mismo permite acceder a una única tarjeta SD utilizando el modo SD de uno o cuatro bits. Su diagrama en bloques se muestra en la figura 1.

El sistema de archivos FAT 32 requiere un reloj de tiempo real para establecer la fecha y hora de creación o modificación de un archivo. Este microcontrolador cuenta con un bloque específico llamado RTC ("Real Time Clock"), el cual va a ser utilizado en esta implementación para cumplir con este requerimiento.

El bloque controlador de Host USB [3, pp.389-393] se encuentra conformado por una interfaz de registros que cumple con la especificación OHCI ("Open Host Controller Interface"), una interfaz serie y un controlador DMA. Permitiendo implementar dos puertos USB.

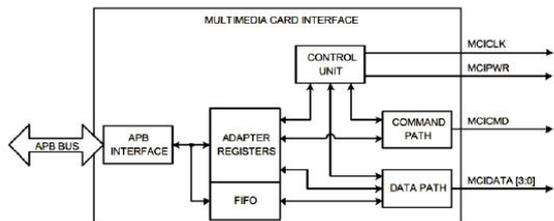


Figura 1. Diagrama en Bloques del controlador SD.

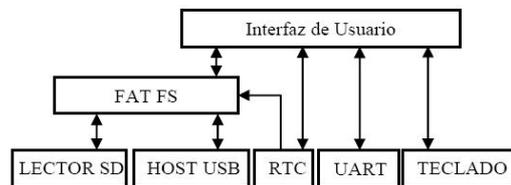


Figura 2. Diagrama en Bloques del sistema integrado.

IV. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO

El sistema lector de tarjetas SD en conjunto con el sistema host USB conforman un módulo que permite detectar, configurar y transferir archivos con dispositivos USB pertenecientes a la clase de almacenamiento masivo o "Mass Storage" y diferentes tarjetas SD del tipo SDSC o SDHC. La memoria de estos dispositivos debe utilizar el formato de archivo del tipo FAT 12, 16 o 32.

Dicha implementación en software se divide en siete bloques principales los cuales realizan una función específica dentro del sistema, los mismos se muestran en la figura 2.

Descripción de los bloques:

- El bloque Lector SD configura el controlador SD del microcontrolador, conjuntamente se agrupan las funciones para detectar, configurar y establecer una comunicación con una única tarjeta SD.
- En el bloque Host USB se configura el controlador USB del microcontrolador y se desarrollan las funciones necesarias para detectar y configurar dispositivos, así como también enviar y recibir datos.

- En el bloque RTC se implementa el sistema de reloj en tiempo real.
- En el bloque UART se configura el controlador RS232 del microcontrolador para comunicarse con un PC.
- En el bloque TECLADO se implementa las funciones específicas para controlar el sistema.
- En el bloque FAT FS se implementan las funciones para operar con el sistema de archivos Fat 12, 16 y 32.
- Finalmente, en el bloque de interfaz de usuario, se implementan las funciones necesarias para poder controlar el sistema.

A. El módulo Lector SD

La configuración del módulo SD incluido en el microcontrolador se realiza en este bloque. Se lo configura para operar en el modo SD de 4 bits con una frecuencia de reloj, en modo de transferencia, de 16,5 MHz.

El conector de tarjetas incluye dos contactos mecánicos por medio de los cuales se puede detectar cuándo una tarjeta se encuentra presente en el conector y si la misma se encuentra protegida contra escritura.

Al insertar una tarjeta SD, por medio de uno de los contactos mencionados, se detecta este evento, se alimenta la tarjeta y, posteriormente, se la configura.

Durante el proceso de configuración sólo se reconocen tarjetas del tipo SDSC o SDHC con un tamaño de bloque de

512 bytes. En caso que la tarjeta insertada no corresponda a

uno de estos tipos se detiene el proceso invalidando el uso de la misma hasta tanto sea retirada.

En este bloque se especifican las funciones de lectura y escritura utilizando el modo de lectura de bloques múltiples, reduciendo el tiempo de transferencia.

Por medio de estas funciones el bloque superior accede a dicha memoria especificando el número de bloque donde empezar a leer o escribir y a cuantos bloques se pretende acceder.

B. El módulo Host USB

Este bloque se encarga de configurar el controlador OHCI USB del microcontrolador e implementar las funciones para detectar, configurar y administrar las comunicaciones con distintos dispositivos USB conectados al bus. Conjuntamente se implementan las funciones específicas de la clase de almacenamiento masivo.

Cuando se conecta un dispositivo USB al bus, este evento se detecta automáticamente, dando inicio al proceso de enumeración. Durante este proceso se corrobora la clase de dispositivo conectado al bus y en caso de no pertenecer a esta clase se inactiva.

El bloque superior accede a la memoria de cada dispositivo, especificando el puerto USB a acceder, el bloque donde empezar a leer o escribir y la cantidad de bloques a acceder.

Los detalles de la implementación del módulo Host fueron presentados en [3], es por esto que aquí solo se hace una breve mención del mismo.

C. Sistema de archivos FAT

El sistema de archivos se implementa en el bloque denominado "FAT FS". Para tal fin se utiliza el módulo genérico FAT FS disponible sin restricciones de uso.

Dicho módulo implementa todas las funciones necesarias para acceder a unidades de memoria con un sistema de archivo FAT 12, 16 ó 32. Este módulo es independiente del protocolo de comunicación utilizado para acceder a la memoria. Para su utilización simplemente hay que desarrollar las funciones necesarias para comunicarse con el tipo de interfaz utilizada.

Para tal fin se escribieron cinco funciones, cuatro de ellas se relacionan con el lector de tarjetas y con el host USB. La función restante, se relaciona con el bloque RTC. Las cuatro primeras funciones inicializan las distintas unidades, determinan su estado y finalmente leen o escriben en su memoria.

La función destinada al bloque RTC obtiene la fecha y la hora en el formato que requiere el sistema FAT FS. El módulo FAT FS brinda al bloque superior una serie de funciones para acceder a los archivos y carpetas existentes en la unidad.

D. La interfaz RS232

Esta interfaz se implementa en el bloque denominado UART, se utiliza para visualizar el sistema desde una PC.

Esta interfaz se configura seleccionando adecuadamente el divisor del clock para generar el baud rate apropiado (9600 para esta aplicación). Luego para enviar un carácter sólo es necesario escribir un registro específico. La interfaz automáticamente envía cada carácter.

Utilizando esos registros se implementan en este bloque las funciones necesarias para otorgarle al bloque superior la capacidad de transmitir a un PC una cadena de caracteres.

En la PC se recibe los caracteres utilizando la aplicación Hyper Terminal o cualquiera similar que pueda acceder al puerto serie.

E. El teclado

Su diseño es específico para el sistema, se halla conformado por cuatro pulsadores. Cada uno de los pulsadores se conecta a un pin GPIO del microcontrolador utilizando su resistencia de pull-up interna.

Al presionar un pulsador, la línea cambia su estado a un nivel bajo generando una interrupción. Al detectar este evento, se chequea cuál pin es la fuente de la interrupción y, posteriormente, se actualiza dos variables; una indica el suceso y la otra el pulsador presionado. La interfaz de usuario, cuando requiera el ingreso de un comando, debe chequear estas variables.

Cada pulsador tiene una función específica asignada, una para la acción retroceder o cancelar, una para aceptar y, lo dos restantes, para seleccionar arriba o abajo.

F. La interfaz de usuario

Este bloque es el encargado de controlar el sistema, el usuario selecciona el comando a ejecutar y los parámetros necesarios utilizando el teclado y visualiza el resultado obtenido en la PC.

Cuando el usuario conecta un dispositivo USB de la clase de almacenamiento masivo o inserta una tarjeta SD, el sistema detecta automáticamente su conexión y lo configura, quedando la unidad lista para acceder a sus archivos o carpetas.

El usuario puede listar y acceder a todos los archivos y carpetas existentes en el directorio raíz o dentro de las carpetas del dispositivo seleccionado. Tiene la posibilidad de crear carpetas o eliminarlas. También puede eliminar archivos.

Otra posibilidad es copiar un archivo, ya sea de una carpeta a otra en un mismo dispositivo o entre dos dispositivos distintos, sea el dispositivo una tarjeta SD o USB.

Los archivos en el sistema FAT tienen ciertos atributos, como la fecha de creación, el tipo de archivo, si es un archivo oculto, solo lectura, etc. El usuario puede acceder a estas características con solo seleccionar el nombre de archivo o carpeta. También, puede obtener el espacio total y el espacio disponible de la unidad.



Figura 3. Imagen de la placa de desarrollo con una tarjeta SD y pen drives conectados.

```
Tera Term Web 3.1 - COM1 VT
File Edit Setup Web Control Window Help
Bienvenido al sistema Host USB con lector de tarjetas SD
Miércoles 23 de Mayo de 2012 19:25:22
Seleccione comando:
-> Ajustar Fecha

Se ha conectado un nuevo dispositivo al puerto SD
La unidad 0: se encuentra lista para ser utilizada
Espacio total del dispositivo: 3859 Kb Espacio disponible: 3842 Kb
Sistema de archivo: FAT 32
Seleccione comando:
-> Reloj
```

Figura 4. Mensajes obtenidos en la pantalla del Hyper Terminal.

Se incorporan funciones que permiten retirar en forma segura una tarjeta SD o un dispositivo USB. Al seleccionar esta función luego de especificar el dispositivo a retirar, el sistema retira su alimentación. De esta forma el dispositivo puede ser retirado sin sufrir daños. Adicionalmente, el usuario puede acceder a la hora y fecha actual y si lo desea puede modificarla o ajustarla.

V. RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 3 se muestra el sistema en funcionamiento implementado en el kit de desarrollo antes citado. Se han conectado en sus dos interfaces USB diferentes pen drives. En el lector SD se ha insertado una tarjeta SDHC de 4 Gb de capacidad.

Al encender la placa de desarrollo, en la ventana del software Tera Term, se visualiza un mensaje de bienvenida con la hora y fecha actual. Se indica al usuario que seleccione un comando, esta acción se realiza utilizando los pulsadores “flecha arriba” o “flecha abajo” y el pulsador “aceptar” del teclado. Si en vez de seleccionar un comando, el usuario, inserta un dispositivo, el sistema automáticamente lo detecta y configura.

Una vez finalizada la configuración, de ser exitosa, se muestra en pantalla el espacio disponible, el espacio total de la unidad y su sistema de archivos. Se indica, además, que la unidad está lista para utilizarse. De ocurrir algún tipo de error se muestra en pantalla la eventualidad y se le solicita al usuario que retire el dispositivo.

En la figura 4 se pueden ver los mensajes obtenidos durante el inicio y configuración de un dispositivo SD mediante el software de interfaz serial “tera term”.

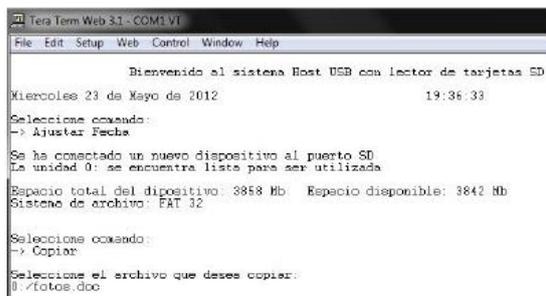


Figura 5. Proceso de selección de un archivo.

TABLA I. TRANSFERENCIAS REALIZADAS

Tiempo (segundos)	Tipo de Transferencia		
	Tamaño de Paquete	desde	hacia
60	29.366 MBytes	USB 16 USB 2	SD
58	29.366 MBytes	SD	USB 16 USB 2
50	29.366 MBytes	SD	SD
93	29.366 MBytes	USB 1	USB 2
92	29.366 MBytes	USB 2	USB 1

Seleccionado un comando, (de necesitar un parámetro adicional), se muestran las distintas opciones al usuario de forma tal que pueda seleccionarlas utilizando el teclado en forma clara y simple.

Por ejemplo, en caso de tener que seleccionar un archivo, el sistema muestra las unidades disponibles. Seleccionada una unidad, se muestran los archivos y carpetas que esta contiene, al seleccionar un archivo se da por finalizado el proceso, en caso de seleccionar una carpeta, se abre la misma y se muestra su contenido. De esta forma se selecciona un archivo rápidamente y sin la necesidad de utilizar un teclado alfanumérico. En la figura 5 se muestra el proceso de selección de un archivo que se pretende copiar.

En la Tabla 1 se muestran los tiempos de transferencia entre un dispositivo USB y la SD; dos dispositivos USB y desde la SD a sí misma. Mediante dicha Tabla se puede evaluar el tiempo necesario para la transferencia de archivos de diferentes tamaños entre los distintos dispositivos, esto permite determinar si hay algún factor en cada tipo de transferencia que hace que el tiempo requerido no sea directamente proporcional al tamaño de archivo.

VI. CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del lector de tarjetas SD y la posterior integración al sistema host USB se realizaron diferentes pruebas con el objetivo de chequear su funcionamiento y performance. El funcionamiento de cada uno de los comandos implementados en el bloque de interfaz de usuario fueron probados con anterioridad en el sistema host USB, no obstante cada uno se probó con distintas tarjetas SD de diferentes tamaños.

Se pudo copiar, crear carpetas o eliminar archivos y carpetas satisfactoriamente en un intervalo de tiempo similar al empleado por la interfaz USB. Los archivos con que se trabajó en estas pruebas no superaron en tamaño al orden de los Kbytes.

Corroborado el correcto funcionamiento de cada comando, se realizaron distintas pruebas con la finalidad de determinar el tiempo necesario para copiar un archivo entre una tarjeta SD y un dispositivo USB. Para estas pruebas se utilizó un archivo de texto con un tamaño total de 29.3 MBytes.

El tiempo requerido para copiar un archivo, desde la tarjeta SD hacia un dispositivo USB o hacia una ubicación perteneciente a la misma tarjeta, es de aproximadamente un minuto. El tiempo requerido para copiar el mismo archivo de un dispositivo USB a otro es aproximadamente dos minutos.

El resultado obtenido supera las expectativas, obteniendo mejor tiempo de transferencia en el lector SD que en el sistema host USB.

De la misma forma que en el sistema host USB, el microcontrolador seleccionado superó las expectativas, la única dificultad de su utilización se encontró en el manual de usuario. El mismo detalla sintéticamente el controlador SD y todos sus registros.

Otra dificultad encontrada recurrentemente durante el desarrollo del sistema lector SD fue la escasa información sobre el proceso de configuración de las tarjetas. Las notas de aplicación encontradas, sólo configuraban tarjetas SDSC por lo cual fue necesario valerse de una minuciosa lectura de la especificación SD.

VII. TRABAJO A FUTURO

Como trabajo a futuro, se pretende incluir un display al sistema de manera tal de poder visualizar los distintos eventos sin la necesidad de interactuar con una PC.

Esta implementación se pretende realizar en dos etapas. En la primera se va a utilizar un display LCD alfanumérico de 2x20 caracteres. Si bien este display es pequeño para la información que se necesita mostrar, se pretende probar que es posible utilizar correctamente el sistema, estando destinado a aplicaciones donde se requiera un dispositivo pequeño de bajo consumo.

En la segunda etapa se va a implementar un display gráfico del tipo TFT o similares, utilizando el controlador de display integrado al microcontrolador.

Una vez concluidas cada una de estas etapas el sistema será totalmente portable y podrá utilizarse en distintas aplicaciones, requieran estas un dispositivo pequeño o no.

REFERENCIAS

- [1] "Data sheet del producto LPC2478", http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC2478.pdf,29 de septiembre de 2010.
- [2] L. A. Antonini, J. R. Osio, J. Rapallini, "Kit de desarrollo educativo LPC2400", II Congreso Microelectrónica Aplicada, La Plata, Argentina, 2011.
- [3] L. A. Antonini, J. R. Osio, J. Rapallini, "Sistema Host USB para gestionar archivos entre dispositivos", II Congreso Microelectronica Aplicada, La Plata, Argentina, 2011.
- [4] "Complete Specification SD Card v1.9", SanDisk, 2003.
- [5] "Advanced Security SD Extension Simplified Specification", SD Card Association, 2010.
- [6] "UM10237 LPC24XX User Manual", http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10237.pdf,26 de agosto de 2009.