Depuración de sistemas embebidos con osciloscopios de señal mixtas

Por Trevor Smith

Artículo cedido por Tektronix.
Traducido y adaptado por Juan Ojeda, de AFC Ingenieros S.A. (jojeda@afc-ingenieros.com)

El ingeniero de diseño embebido de hoy en día tiene que abordar la creciente complejidad de los sistemas embebidos. Un diseño embebido típico puede incorporar varias señales analógicas, comunicaciones digitales de datos serie de baja y alta velocidad, microprocesadores y buses. Los protocolos de datos en serie se utilizan con frecuencia para la comunicación chip-a-chip, pero no pueden sustituir a los buses de datos en paralelo en todas las aplicaciones.

Los microprocesadores, las FPGAs, los convertidores analógico-digitales (A/D) y los convertidores digitales-analógicos (CAD) son ejemplos de circuitos integrados (CIs) que presentan retos de medida comunes en los diseños embebidos de hoy en día. El ingeniero puede necesitar la descodificación de un bus SPI que conecta a dos CIs al mismo tiempo que tiene que observar la entrada y la salida de un convertidor A/D dentro de la misma placa del sistema. Un ejemplo de este tipo de sistema de señales mixtas se muestra en la figura 1.

La depuración de hardware que se muestra en la figura 1 es una tarea difícil para un ingeniero que sólo tiene un osciloscopio de 4 canales. Los analizadores lógicos permiten la colocación de sondas sobre muchas señales digitales, pero dicha tarea puede ser de difícil configuración y aprendizaje. Afortunadamente una nueva clase de osciloscopios capaces de trabajar con señales mixtas (MSO) puede satisfacer esas necesidades.

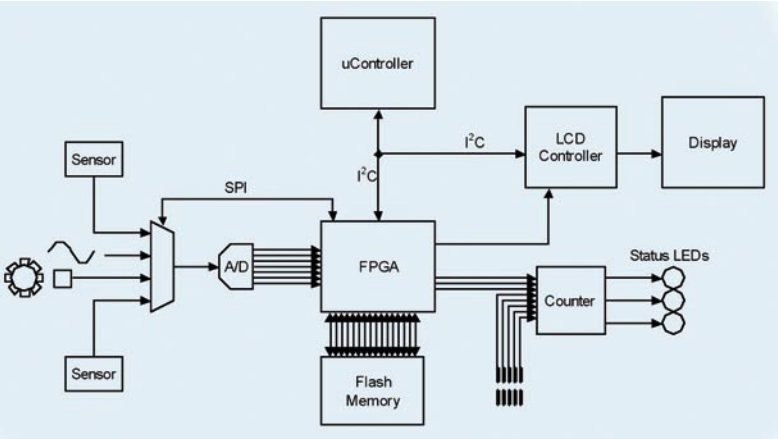

Figura 1. Adquisición simplificada/Sistema de Instrumentación.

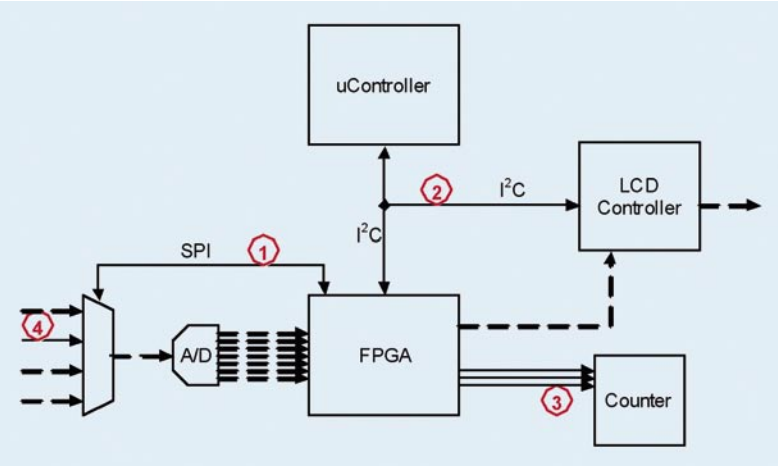

Figura 2. Subconjunto del sistema de adquisición con señalización de los puntos de prueba.

Un MSO combina la funcionalidad básica de un analizador lógico con las fiables prestaciones de un osciloscopio digital.

Utilización de un MSO para depurar a múltiples protocolos serie de forma simultánea

Los protocolos serie como I2C y SPI se utilizan a menudo para simplificar la comunicación entre los distintos bloques del sistema situados dentro de una placa de circuito. La capacidad de depuración de su implementación era complicada cuando se utilizaban osciloscopios tradicionales. Por ello, los diseñadores estaban normalmente obligados a descodificar manualmente los datos en serie. La descodificación automática de datos en serie es capaz de ahorrar muchas horas de depuración.

Los ingenieros necesitan a menudo la capacidad de descodificar y mostrar en la pantalla múltiples buses serie al mismo tiempo y observar su correlación temporal. Los MSOs modernos combinan la potencia del disparo sobre buses serie y la capacidad de su descodificación en un osciloscopio digital con hasta 16 canales digitales adicionales. Además, los MSOs soportan ambién el disparo y la descodificación de los buses de datos en paralelo. En el siguiente ejemplo, se utiliza un MSO para depurar un complejo error de comunicación entre varios chips en el diseño embebido que se muestra en la figura 1.

Durante la depuración inicial del sistema (mostrada en la figura 1), el sistema de vez en cuando se encuentra con una condición en la que el estado de los LED de estatus de la placa del circuito indican un fallo. El ingeniero del sistema no estaba seguro si el problema estaba relacionado con el hardware o con el software. Le resultaba sospechoso que el error pudiera provenir de una

Figura 3. El MSO4000 muestra en la pantalla el canal analógico CH1 junto con los buses I2C, SPI y el bus paralelo

Figura 4. Se utilizó Wave Inspector para hacer una ampliación y mostrar los detalles de paquetes

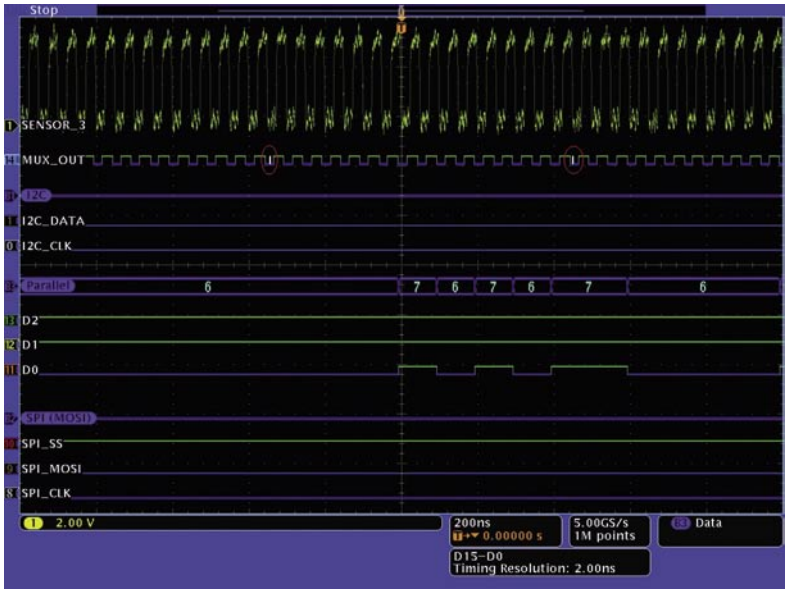

Figura 5. Los flancos blancos en la señal MUX_OUT indican que hay más detalles presentes.

fuente distinta de la entrada MUX y decidió obtener una amplia visión del sistema colocando sondas en la entrada analógica al MUX, así como en varios buses digitales. Gracias a los 4 canales analógicos y a los 16 canales digitales disponibles, conectó el MSO a las señales etiquetadas como 1, 2, 3 y 4 en la figura 2.

La figura 3 muestra una captura de pantalla del MSO cuyas sondas se han colocado en el bus SPI (1), en el bus I2C (2), en los 3 bits del bus paralelo (3) y en la entrada analógica (4). Dado que el error podía deberse a una subrutina aislada, el MSO se configuró para obtener una sola adquisición en el caso de que hubiese una cierta actividad en el bus I2C. Se ajustó la longitud de la memoria de registro a 1Mpuntos para garantizar que toda la información útil del evento en el bus I2C fuese capturada con precisión. El ingeniero ejecutó la subrutina y observó a continuación la pantalla del MSO para ver lo que había ocurrido en el sistema. La limpieza de la forma de onda analógica a la entrada del MUX mostrada en el CH1 del osciloscopio confirmó la sospecha del ingeniero de que el hardware del MUX estaba bien y por lo tanto, el error se producía en otro lugar. El MSO disparó y descodificó los datos del bus I2C que habían sido escritos desde el microprocesador. El ingeniero observó la actividad en el bus SPI y las señales que aparecían en la pantalla etiquetadas como D1 y D2 poco después de que los datos del bus I2C fueran transmitidos. La actividad de estos buses era sospechosa porque se suponía que la función ejecutada implicaba principalmente al controlador del LCD. Como el MSO había descodificado ya el valor de los datos del bus I2C, el ingeniero pudo ver que el microprocesador había escrito los datos del bus I2C en la dirección 0x77. La dirección 0x77 era la dirección de la FPGA, pero se suponía que la subrutina tenía que escribir los datos en la dirección 0x76, que era la dirección del controlador del LCD.

La figura 4 muestra la misma adquisición haciendo zoom sobre los detalles del bus SPI y del bus paralelo. Los datos del bus SPI se decodificaron en la pantalla como una escritura desde el maestro (FPGA) al esclavo (MUX), con un valor de datos de

0x15. Este comando SPI daba instrucciones al MUX de entrada para cambiar la entrada de la señal. Este cambio inesperado en la señal de entrada provocaba que la FPGA enviase un código de error a los LEDs de estatus sobre el bus paralelo. En la figura 4 se puede observar también la actividad de la señal D2 indicando el código de error y la descodificación del bus paralelo.

El ingeniero de diseño de sistemas embebidos fue capaz de determinar rápidamente que un error del software había causado el mal funcionamiento del sistema gracias a que el MSO había sido capaz de ver y descodificar todas las señales de interés de manera simultánea. El programador del software había escrito erróneamente los datos del I2C desde microcontrolador a la FPGA cuando el paquete estaba destinado al controlador del LCD.

La visualización de formas de onda digitales de la siguiente generación revela el problema

Después de modificar el software del sistema para corregir el error de direccionamiento descrito en la sección anterior, el ingeniero de diseño embebido continuó probando otras funcionalidades del sistema. Al hacer esto, se dio cuenta que aparecían errores ocasionales en los LEDs de estatus. A diferencia del error descrito en la sección anterior, el ingeniero no estaba seguro de cómo recrear los errores que estaba viendo. Los errores aparecían al azar y no se podían aislar acotando el area de error a una subrutina o a una función del sistema.

El ingeniero de diseño del sistema embebido no estaba seguro de por dónde empezar a buscar la fuente del fallo. Una opción era utilizar el osciloscopio colocando la sonda al azar en diversos puntos del sistema con la esperanza de capturar el evento aleatorio. Aunque el ingeniero había utilizado este método en el pasado, sabía que con un MSO configurado correctamente y conectado a todas las señales de interés podría encontrar el error en mucho menos tiempo. El MSO estaba todavía conectado a la mayoría de los puntos de prueba de la sección anterior. La sonda del CH1 se desplazó a la entrada activa del MUX, que era una señal digital del sensor 3. Además de estos 4 puntos de prueba, se utilizó un canal digital para analizar la salida del MUX.

La FPGA transmitía el valor 0x7 sobre el bus paralelo de 3 bits para indicar que se había producido un error. Con el fin de aislar el problema, el MSO se configuró para capturar una sola adquisición ajustando el evento del disparo al valor 0x7 del bus paralelo. La figura 5 muestra el resultado de la adquisición. En este caso, el disparo y la descodificación del bus paralelo ahorraron tiempo y confusión porque la condición de error fue fácilmente aislada. La longitud de la memoria de registro de 1M utilizada durante esta adquisición permitió al ingeniero observar los detalles de las señales antes y después del evento de disparo.

A primera vista, parecía que las señales mostradas en la figura 5 se estaban comportado bien, pero el ingeniero del sistema identificó dos flancos en la señal MUX_OUT que parecían uno solo. El transiciones en blanco de la señal MUX_OUT mostradas en la figura 5 eran una indicación para el usuario de la existencia de más información dentro de esas porciones de la señal. La capacidad de detección de transiciones múltiples del MSO pone de relieve aquellas áreas de la forma de onda que pue-

Figura 6. Wave Inspector revela la existencia de un espurio en la señal MUX_OUT.

Figura 7. El canal CH2 muestra más detalles de MUX_OUT

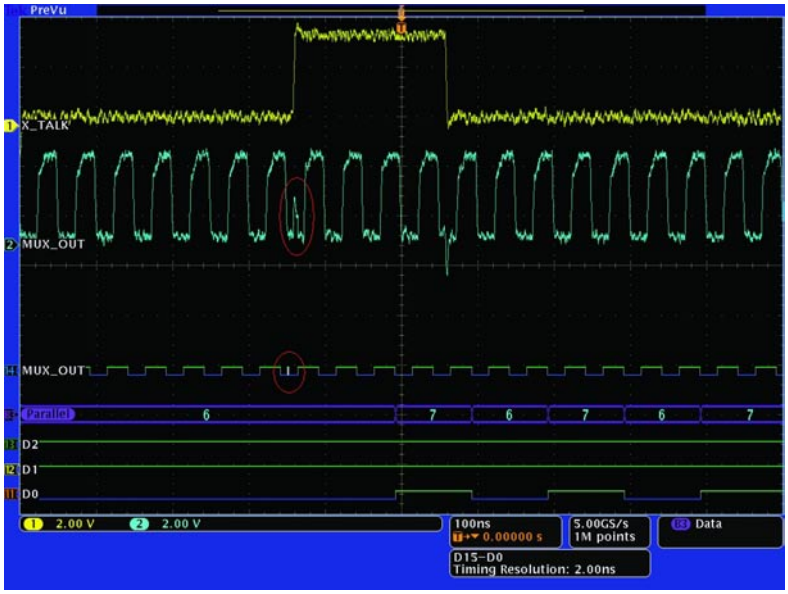

Figura 8. El canal CH1 muestra la fuente de diafonía en la señal MUX_OUT

Figura 9. La modificación de las pistas en la placa de circuito impreso elimina la diafonía

den dejar al descubierto, al hacer uso del zoom, los pulsos digitales de alta frecuencia. La figura 6 revela los detalles que se esconden detrás de la primera transición de color blanco. La porción de la señal que aparecía como una transición de color blanco en la figura 5 era realmente un espurio en la señal MUX_OUT.

La figura 6 muestra la correlación temporal entre los canales analógicos y digitales del MSO. La entrada al MUX se muestra en el canal CH1 (SENSOR_3), mientras que la salida del MUX se observa en el canal digital D14 (MUX_OUT). El ingeniero observó que aunque la salida del MUX tenía un espurio, la entrada al MUX parecía libre de espurios. Después de identificar el espurio con el canal digital, el ingeniero decidió echar un vistazo más de cerca mediante la conexión del canal CH2 a la salida del MUX. La figura 7 muestra el resultado de la adquisición con el MSO configurado todavía para disparar sobre el valor 0x7 en el bus paralelo. Las formas de onda para los buses SPI y I2C aparecen desactivadas en la figura 7 para centrar la atención sobre las principales señales de interés. La utilización de las sondas analógicas sobre la entrada y salida del MUX reveló que había espurios en la salida que no estaban presentes en la señal de entrada. La figura 7 muestra como aparecía un fallo en la señal MUX_OUT poco tiempo antes de que la FPGA enviara el código de error. La relación temporal entre estas dos señales indicaba que el espurio podría ser el problema que el ingeniero había observado.

Después de estudiar las capturas de pantalla del MSO, el ingeniero diseño del sistema embebido sospechó que la diafonía podría ser el origen del fallo en la señal MUX_OUT. Ninguna de las señales monitorizadas en la figura 5 había sido identificada como fuente de diafonía. Al examinar el diseño de la placa de circuito impreso con más detalle, el ingeniero encontró una pista que estaba ubicada cerca de la pista de MUX_OUT en la placa de circuito impreso (PCB). El ingeniero colocó una sonda en la pista y la conectó al CH1 y esperó por otro disparo del bus paralelo. La captura de pantalla resultante se muestra en la figura 8. La figura 8 muestra como una transición de bajo a alto de la señal capturada en CH1 se correlaciona directamente en el tiempo con un espurio positivo de la señal MUX_OUT. De la misma manera, la transición de alto a bajo se relaciona directamente con un espurio negativo en la señal MUX_OUT.

Después de trazar una nueva pista en la placa de circuito impreso para la señal problemática, el ingeniero configuró el MSO para disparar sobre el canal CH1. La figura 9 muestra como el MSO disparó sobre la transición del CH1, pero no mostró el espurio en la señal MUX_OUT. Puesto que la señal MUX_OUT no tenía presente el espurio, el bus paralelo no producía una condición de error. La modificación de la placa del circuito eliminó la diafonía y permitió al ingeniero de diseño embebido completar la evaluación del sistema.

Resumen

Los osciloscopios de señales mixtas son unas herramientas extremadamente potentes para los ingenieros que desarrollan y depuran diseños embebidos. Un MSO es capaz de combinar canales digitales correlacionados en el tiempo con el rendimiento fiable y la intuitiva interfaz de un osciloscopio. En lugar de utilizar múltiples osciloscopios o de aprender a manejar un analizador lógico, los ingenieros pueden ahora utilizar un MSO.