

Redes de Microcontroladores: Definición, Evaluación y Perspectivas de un Sistema Distribuido

Fernando G. Tinetti¹, Ricardo A. López

Departamento de Informática Sede Trelew, Facultad de Ingeniería - UNPSJB
III-LIDI, Facultad de Informática - UNLP

fernando@info.unlp.edu.ar, lopez.ricardo@gmail.com

RESUMEN

Este proyecto se enfoca directamente en la definición, implementación y utilización de una red de microcontroladores con fines docentes y de investigación. Los temas más básicos relacionados con las redes, sean de microcontroladores o de sistemas de cómputo en general, se orientarán hacia el contexto de docencia. En este sentido, los microcontroladores pueden considerarse una de las mejores alternativas en cuanto a costo y sencillez en el contexto del proceso de enseñanza tanto de conceptos de hardware de procesamiento como de interconexión de sistemas distribuidos. Los temas más avanzados de redes se pueden orientar a la docencia en cursos avanzados o de postgrado y también se pueden utilizar para investigar algunos detalles importantes de la implementación y utilización en las redes de microcontroladores. Un ejemplo de estos temas es el estudio al menos en términos de experimentación de la relación costo/beneficio de diferentes algoritmos de control de errores de comunicación con unidades de procesamiento tan sencillas y de bajo rendimiento y capacidad de almacenamiento como los microcontroladores. Desde una perspectiva más general, contando con una red de microcontroladores siempre es posible definir y avanzar en líneas de investigación más relacionadas con los sistemas distribuidos en general, en temas tales como la respuesta a eventos complejos con múltiples puntos de adquisición de datos, por ejemplo en un sistema de tipo SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Palabras Clave: redes de interconexión, desarrollo de software en microcontroladores, sistemas de tiempo real, sistemas de control, sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

1. INTRODUCCION

Este proyecto de investigación puede considerarse un avance y también una parte del *refinamiento* del proyecto presentado en [7]. El avance lo constituye la propia red de controladores definida e implementada sobre la que se está avanzando en la actualidad, que aún está en fase de estudio en cuanto a la versatilidad que se puede obtener con recursos limitados. Por otro lado, también se está avanzando en lo referente a la formalización de la definición en capas del modelo OSI [5] [3] de diferentes tipos de redes, algunas que pueden considerarse de bajo costo como EIA-485 (RS485) [6] y otras más estándares aunque también de mayor costo y complejidad, como las redes Ethernet [2]. Por otro lado, este proyecto específicamente relacionado con las redes de microcontroladores puede considerarse una parte del refinamiento del proyecto presentado en [7], porque como lo muestra la Fig. 1, está específicamente enfocado en la red de interconexión y en los protocolos relacionados con esta red de interconexión en el contexto del proyecto *general* o *más abarcativo*. En este sentido, el proyecto del entorno de desarrollo para sistemas del tipo SCADA provee un conjunto de

¹ Investigador Asistente, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

características, que pueden considerarse como restricciones o como parámetros que la red de microcontroladores ya tiene definidos. Por un lado estos parámetros limitan las posibilidades de definición e implementación de la red física, pero por otro lado también acotan la complejidad de análisis de alternativas del proyecto de investigación.

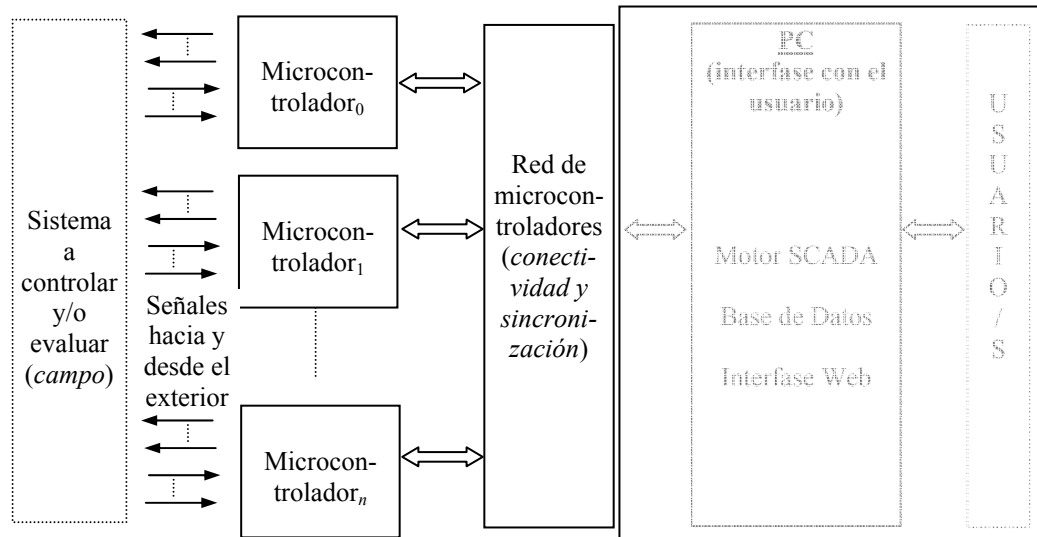


Figura 1: Red de Microcontroladores en el Contexto de un Proyecto Más Amplio.

Entre las características definidas para la red de microcontroladores que se han tenido en cuenta para este proyecto se pueden mencionar:

1. Si bien siempre es bueno que la red tenga la mayor capacidad de transmisión, será en principio más importante el bajo costo que el rendimiento. En este punto de desarrollo del proyecto se considera más importante conocer los límites en cuanto a capacidad que tener un rango muy grande de posibilidades en cuanto a aplicaciones posibles. Por otro lado, dado que en parte los resultados del proyecto se utilizarán en el entorno académico, siempre será mejor mantener el costo lo más bajo posible.
2. La cantidad de microcontroladores directamente conectados con el sistema a evaluar/controlar (Microcontrolador₀, ..., Microcontrolador_n de la Fig. 1) puede llegar a ser del orden de las decenas. Esto tiene algunas implicaciones interesantes sobre el proyecto en general y sobre la red que los interconecta en particular:
 - Los microcontroladores a utilizar deberían ser a lo sumo de la gama media de capacidad. La idea en este sentido es mantener el costo de los microcontroladores lo más bajo posible, dado que pueden llegar a ser varias decenas. Es bastante usual clasificar los microcontroladores por su capacidad y costo en dos o tres clases (*bajo*, *medio* y *alto* rendimiento, por ejemplo, que tiene su contraparte en costo y consumo) y a lo sumo alguna clase más si está orientado a algún tipo de aplicación en particular (como la de procesamiento de señales, por ejemplo, en el caso de los microcontroladores de la empresa Microchip [4]). Casi de forma inmediata, esto implica que los protocolos a definir e implementar no deberían ser excesivamente complejos, básicamente debido a la baja capacidad de procesamiento y almacenamiento de los microcontroladores de menor costo.
 - Sería muy importante que se puedan *virtualizar* los microcontroladores desde el punto de vista del software que utilizará los datos recogidos del sistema a evaluar/controlar. En principio, esto significaría *independizar* al software de más alto nivel de los detalles de la red de interconexión, de la cantidad de microcontroladores y, en cierta forma, de los propios microcontroladores. Lo que es importante para el software de más alto nivel son

los datos de las señales hacia/desde el exterior, más que los dispositivos que están en contacto directo con estas señales.

3. Como mínimo, debería ser posible mantener una secuencia de eventos relacionados con las señales del exterior (de entrada del sistema). Esto significa que se debe ser capaz de generar una secuencia (ordenamiento temporal) de eventos, y dado que habría varios microcontroladores, éstos deberían estar sincronizados.

2. LINEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

Teniendo en cuenta las características del proyecto, y para evitar un tiempo de análisis demasiado prolongado previo a la definición e implementación de un prototipo, se establecieron algunas pautas *iniciales* para la red física de interconexión:

1. Maestro/Esclavo (Master/Slave), o red con maestro único. Por un lado, las redes con un único maestro simplifican notablemente la administración del acceso al medio (en las capas más cercanas al hardware de la red) y por otro lado, también tiende a la *virtualización* de los microcontroladores con la utilización de otro microcontrolador maestro que actúe como si fuera un *representante* de los microcontroladores $\text{Microcontrolador}_0, \dots, \text{Microcontrolador}_n$ (Fig. 1).
2. Capacidad de *broadcast* desde el maestro. Si bien no se especifica como un *requerimiento* de la aplicación, sí simplifica lo relativo a la sincronización de los microcontroladores. En este sentido, el maestro puede establecer (*ordenar la asignación*) la hora de todos esclavos a la vez con un único mensaje en la red: el *broadcast*.

La Fig. 2 avanza en el nivel de detalle de la Fig. 1 mostrando específicamente un esquema de la red de interconexión de microcontroladores. A partir de las dos pautas o requerimientos iniciales, se podría afirmar que el microcontrolador maestro es, justamente, el *representante* de la red completa de microcontroladores. Por lo tanto, el software y el hardware de mayor nivel de abstracción o más cercano al usuario podría ser manejar o contactar la red *completa* de microcontroladores utilizando solamente el microcontrolador maestro de la red. Una de las primeras líneas de investigación consiste, justamente, en identificar las redes físicas disponibles de bajo costo de este tipo.

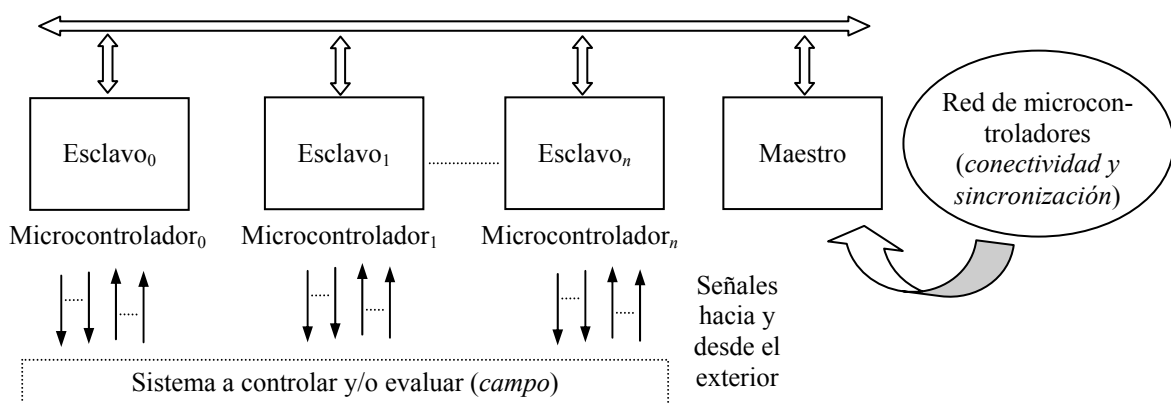


Figura 2: Red de Microcontroladores: Maestro/Esclavo y con Capacidad de Broadcast.

Una vez definidas las características de la capa física (capa 1 del modelo OSI), justamente el paso siguiente es definir la capa de enlace de datos (capa 2 del modelo OSI). En este contexto, es importante recordar que la definición de las *tramas* (usualmente la unidad de transferencia de información en esta capa) debe tener en cuenta la posiblemente baja capacidad de procesamiento y de almacenamiento de los microcontroladores esclavos, que evidentemente deben ser capaces de

manejarlas. Por otro lado, la simplificación resultante de la definición de la red física con un único maestro evidentemente es por un lado una restricción en cuanto a los parámetros a tener en cuenta para la definición de la capa 2, pero también es apropiada teniendo en cuenta la posiblemente baja capacidad de procesamiento y de almacenamiento de los microcontroladores esclavos.

Es de esperar que la capa de red (capa 3 del modelo OSI) no sea necesaria, al menos inicialmente, dado que en principio *todos* los dispositivos tendrán conexión directa por la red y no será necesario el *ruteo* de la información (tarea fundamental de la capa de red). Sin embargo, queda una línea de investigación muy interesante en cuanto a la discriminación de cuáles de las capas superiores son necesarias (capas 4 a 7: transporte, sesión, presentación y aplicación, respectivamente) y la propia definición de la o las capas que se consideren necesarias. Esto evidentemente no es independiente del proyecto general, pero pertenece directamente a un entorno de investigación como el que se presenta en este caso: redes de microcontroladores.

3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

Como se detalla sobre el principio de la sección anterior, una de las ideas subyacentes en el desarrollo de este proyecto es obtener un prototipo lo antes posible sobre el cual verificar algunas de las decisiones que se tomen y además ser usado como plataforma de experimentación en el desarrollo de las tareas de investigación. Es por esta razón que ya se cuenta con una definición e implementación que podría considerarse *definitiva* (o al menos probada) de una de las alternativas de capa 1: EIA-485 (RS485). Para esta implementación en particular, se tienen microcontroladores PIC de 8 bits (que están entre los de menor capacidad de procesamiento y almacenamiento de los provistos por Microchip [8]). La Fig. 3 muestra esquemáticamente la utilización de un PIC 16F873 como el master de la red, PICs 16F627A/628A/648A como los esclavos, y los dispositivos de Texas SN65176B para manejar las señales de la propia red EIA-485 de interconexión y hacer la interfase con las puertas serie de los microcontroladores.

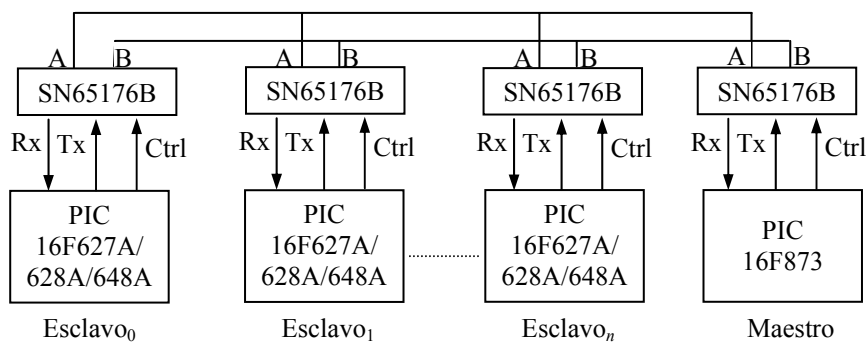


Figura 3: Red Física EIA-485 Implementada.

Es importante notar que los únicos requerimientos impuestos sobre los microcontroladores para la implementación de esta red son: utilización de un puerto serie de E/S (*pin*s Rx y Tx) y un *pin* más de salida utilizado para el control del SN65176B. De hecho, podría considerarse que la red física es, justamente, la construida a partir del dispositivo SN65176B y, por lo tanto, es independiente de los microcontroladores que se utilicen. De hecho, la gran mayoría de los microcontroladores tiene al menos una puerta serie y varios *pin*s de E/S configurables por software [1]. Esto implica que la definición de la red física con EIA-485 es independiente de esta implementación en particular. Desde esta misma perspectiva de la red física, se están estudiando actualmente otras alternativas como la de utilizar Ethernet. Más específicamente, se están estudiando los requerimientos del

hardware necesario en los microcontroladores y de los dispositivos de control (*conceptualmente similares* al SN65176B de la Fig. 3) de la red física.

Avanzando en el nivel de red OSI, se definió y se está analizando un *protocolo preliminar* de capa 2 o, más específicamente, las definiciones de las tramas a transferir sobre la red EIA-485 y las posibilidades de *broadcast* más el control maestro/esclavo. Entre los detalles más importantes se pueden mencionar:

- Toda comunicación debe ser iniciada por el maestro, que envía una trama.
- Existen dos tipos de tramas:
 - Hacia un esclavo, con la dirección de un esclavo.
 - Hacia todos los esclavos, la una dirección de *broadcast*.
- Cada trama consta de: un byte de inicio, un byte de dirección, un bytes de cantidad de datos, una cantidad acotada de datos y, finalmente, dos bytes de control de errores.
- Toda trama del master con la dirección de un esclavo será *respondida* por otra trama desde el esclavo.
- Toda trama del master con la dirección de *broadcast* no será respondida.

Uno de los puntos actuales de análisis es el tipo de control de errores, donde deben ser tenidos en cuenta varios detalles importantes, como el tipo de errores de comunicación posibles, la capacidad de procesamiento de los microprocesadores y la velocidad de comunicaciones. También es posible a partir de este punto comenzar a estudiar el resto de las capas de red, las alternativas posibles y la influencia de las aplicaciones sobre las decisiones a tomar.

4. BIBLIOGRAFIA

[1] F. M. Cady, Microcontrollers and Microcomputers: Principles of Software and Hardware Engineering, Oxford University Press, 1997, ISBN: 0195110080.

[2] Institute of Electrical and Electronics Engineers, Local Area Network - CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications ANSI/IEEE 802.3 - IEEE Computer Society, 1985.

[3] J. Kurose, K. Ross, Redes de Computadores: Un enfoque descendente basado en Internet, Pearson Addison Wesley, 2003, ISBN 84782900613

[4] Microchip Technology Inc., Microchip Technology New Product Information, http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2551

[5] A. S. Tanenbaum, Computer Networks, 4th Edition, Prentice Hall Ptr, ISBN 0130661023, 2002.

[6] Telecommunications Industry Association, "Application Guidelines for TIA/EIA-485-A", TIA/EIA Telecommunications Systems Bulletin, 1998.

[7] F. G. Tinetti, R. A. López , "Ambiente de Desarrollo y Puesta en Marcha de Sistemas Basados en Microcontroladores", IX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, Universidad Nacional de La Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Trelew, Chubut, Argentina, Mayo 3-4 de 2007.

[8] Microchip Technology Inc., <http://www.microchip.com>