

RED DE SENSORES Y CONTROL INALÁMBRICA PARA UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR SOLAR TÉRMICO

Telmo Moya Javier Gogliano Daniel Hoyos
INENCO(Instituto Nacional de Energías No Convencionales)
CIUNSa Consejo de Investigación Universidad Nacional de Salta
Tel. 0387-4255578 – Fax 0387-4255579 e-mail: hoyosd@gmail.com

RESUMEN: En este trabajo se presenta una red de sensores y actuadores diseñada para controlar sistemas complejos como un generador de vapor utilizando concentradores fresnel. Esta red utiliza células de medición o control, según las necesidades del sistema, las cuales se comunican entre si utilizando una red zigbee y el protocolo modbus. Cada una de estas células trabaja en forma autónoma utilizando como cerebro un microcontrolador 18F4550.

Palabras clave: energía solar, instrumentación, control y microcontroladores.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de generación de vapor que utilizan concentradores solares del tipo fresnel [Gea, 2007] utilizan el concentrador para calentar el agua, la cual es enviada a un depósito que se encuentra a alta presión y temperatura, se transforma en vapor y posteriormente se envía a una turbina que mueve un generador como se muestra en la figura 1.



Figura 1: Instalación fresnel

Mantener enfocado al sistema para maximizar la radiación recibida, no siempre tiene que ver con la cantidad de vapor que se debe entregar al sistema, también se debe tener en cuenta que el agua no debe superar una determinada temperatura, ni bajar de otra, entre otros problemas que plantea el control de este tipo de sistemas.

Este sistema es muy complicado de controlar dado que se encuentra distribuido en una superficie grande, está compuesto de distintos subsistemas que tienen su propia lógica de control y que además interactúan entre sí. Existe muy poca experiencia acerca del control de este tipo de plantas, por lo tanto el control debe poder evolucionar adaptándose a las modificaciones a la misma. Los sistemas que cumplen con esta premisa se denominan sistemas de sistemas Mo Jamshidi, [2009] y representan un nuevo enfoque sobre el control tradicional. Consiste en controlar cada uno de los sistemas en forma autónoma, transfiriendo la información entre cada uno de los componentes para realizar el control total del sistema. Se requiere definir una red que conecte cada uno de los sistemas entre sí con un protocolo común. Disponer de un conjunto de pequeños ordenadores que controlen a cada uno de los sistemas.

Con el fin de optimizar el control del sistema y teniendo en cuenta la madurez de distintas tecnologías como ser los microprocesadores Ball,(2008) las redes de comunicación inalámbrica Maxstream, (2006) y los buses de campo Modbus, (2006). Se propone en este trabajo desarrollar un sistema de control basado en:

- una red de microprocesadores que realiza la medición de los distintos parámetros necesarios para el control del sistema y las acciones de control.
- Una red que vincule a cada uno de los sistemas con el control central.
- Una computadora con un programa HMI (interfase hombre maquina).

El esquema general del sistema de control sería el mostrado en la figura 2 y consiste en una PC que corre un programa para realizar la interfase hombre-maquina, una red inalámbrica de comunicación y un conjunto de ordenadores conectados a esa red inalámbrica que realizan el control entre cada uno de los sistemas.

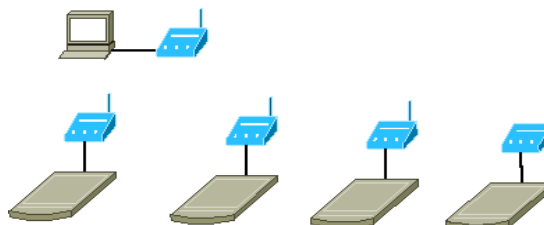


Figura 2: Diagrama General

El desarrollo de este tipo de red de microprocesadores requiere

- Seleccionar el protocolo para la transmisión de datos.
- Seleccionar el medio de transmisión de datos.
- Las microcomputadoras que se utilizarán.
- Las funcionalidades de los distintos dispositivos que se utilizarán en el control.
- La interfase hombre maquina con que se controlara el sistema.

PROTOCOLO DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Los protocolos de redes de microcomputadoras en la industria, se denominan buses de campo y tienen como característica ser muy robustos e inmunes a las interferencias propias de la industria. La utilización de estos protocolos de comunicación permite utilizar dispositivos normalizados (PLC) y/o aprovechar desarrollos realizados por terceros. También permite el desarrollo en paralelo de distintas partes del sistema. Existen diversos buses de campo, en la tabla 1 se muestra algunos de ellos y sus características destacadas.

Nombre	Topología	Soporte	Máx dispositivos	Rate transm.	Distancia	Arquitectura
Profibus DP línea	estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA línea	estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	14400 /segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/slave peer to peer

Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 32.768 sistp/segm	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus par trenzado	fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
Modbus RTU	línea, estrella, arbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial bus, coaxial	estrella, malla-cadena	par trenzado fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1	100 mono c/switch Master/Slave peer to peer

Tabla 1: Resumen de características de buses de campo

Se analizaron los distintos protocolos existentes para seleccionar el más apropiado para este tipo de aplicación. Este sistema requiere una velocidad de transmisión de datos del orden de 10Kb/s dado que el ciclo completo de control se debe realizar en un plazo de al menos un segundo. El conjunto de nodos de medición o control no supera los cuarenta nodos. La configuración física (anillo, estrella, línea) debe ser lo más flexible posible. El tipo de arquitectura debe ser master/slave. La máxima extensión de la red debe ser del orden de 300 m. También es importante que el protocolo sea libre y se disponga partes en la industria local, como también programas desarrollados para microprocesadores.

Teniendo en cuenta estas condiciones se seleccionó el protocolo MODBUS (MODBUS IDA, 2006) el cual es un bus de campo desarrollado por la empresa MODICON en el año 1977 basado en la arquitectura cliente servidor. El mismo es un protocolo de nivel OSI 7, o sea la capa de aplicación. Existen diversas versiones de MODBUS: RTU, ASCII, TCP/IP. Para el sistema de control propuesto se utilizó RTU por ser la más compacta de las versiones de MODBUS.

El protocolo MODBUS tiene una arquitectura maestro/esclavo. Un Maestro que controla la red y envía las ordenes a los distintos esclavos, que reaccionan a los pedidos del maestro. Cuando el maestro envía una señal a un esclavo este debe responder transcurrido tres caracteres y medio, si así no ocurriera se interpreta como un error. Cada uno de los esclavos tiene asignado un número ID de un byte. El esclavo en MODBUS puede tener las siguientes partes:

- Bobinas: Se utiliza para abrir o cerrar llaves, el largo es de un bit
- Palabras: Se utilizan para configurar y o leer la configuración del autómata, el largo es de 16 bits
- Entradas Digitales: Se utilizan para leer señales externas por ejemplo una medida analógica, el largo es de 16 bits
- Salidas Digitales: Se utiliza para escribir una señal, por ejemplo una señal analógica de salida, el largo es de 16 bits

MODBUS tiene un conjunto de funciones que permiten que el maestro lea y/o escriba un esclavo. La trama de transmisión de datos MODBUS es muy simple y se esquematiza en la figura 3

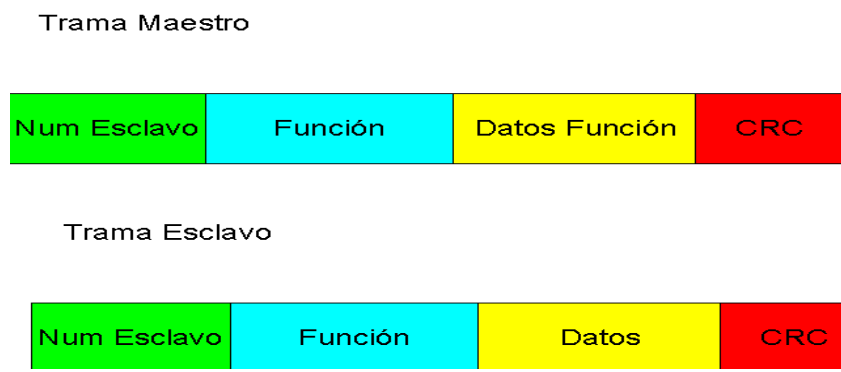


Figura 3: Trama MODBUS

Número de esclavo: sirve para identificar qué autómatas desea que se comuniquen.
 Función: representa las distintas ordenes que el maestro pide al esclavo que se ejecuten
 Datos Función: Los datos extras que requiere cada orden
 CRC: Verificación de datos

Se implementa como medio físico de transmisión un medio inalámbrico dado que así se disminuye la densidad de cableado redundando en un sistema más flexible.

MEDIO DE TRANSMISIÓN

Puesto que se decidió que el enlace de datos fuera inalámbrico se debió seleccionar una tecnología de Red Inalámbrica de Área Personal o WPAN (Wireless Personal Area Network). Los estándares más difundidos actualmente son Bluetooth y Zigbee, la tabla 2 muestra sus principales características.

Característica	ZigBee	Bluetooth
Precio	U\$s 2 - 4	U\$s 6
Nº de Nodos	65535	7
Cobertura	70m	10m
Seguridad	AES 128 bits	64, 128 bits
Duración de Batería	años	días
Complejidad	Baja	Alta
Velocidad	250 kbps	1 a 2 Mbps
Datos	texto	texto, audio, video

Tabla 2: Redes inalámbricas

Zigbee resultó ser más adecuado para esta aplicación especialmente debido a su baja complejidad (debe implementarse en un microcontrolador) y mayor número de nodos posibles. Si bien su máxima velocidad es menor que la de Bluetooth resulta ser mayor que la de MODBUS (Digi, 2009).

El stack de protocolo Zigbee (Caprile, 2009) se apoya sobre IEEE 802.15.4-2003 la norma de IEEE para la comunicación de dispositivos inalámbricos, que trabaja en la frecuencia de 2.4GHz con 16 canales espaciados 5MHz, dispone de tres tipos de nodos:

- Coordinador: Es el encargado de armar la red asignando direcciones a los demás dispositivos, también se comporta como router. Debe existir al menos uno por red.
- Router: Establece rutas de datos en de la red posibilitando la interconexión de los demás dispositivos.
- Dispositivo final: Puede comunicarse con los 2 anteriores y normalmente lleva conectados los sensores y actuadores.

Las posibles topologías de red son:

- Estrella
- Árbol
- Mesh

Las formas de ruteo de Zigbee pueden ser:

- Broadcast la información se envía a todos los componentes de la red

- Unicast (punto a punto): Utilizando sólo un Coordinador y un Dispositivo final, en muchos casos se utiliza para reemplazar una conexión serie cableada por un vínculo inalámbrico transparente.
- Multicast (punto a multipunto): Donde varios Dispositivos finales se conectan directamente al Coordinador.
- Mesh (malla): Utilizando los tres tipos de dispositivos se puede establecer una red en la que existen varias rutas posibles (manejadas por los Routers) para los datos que viajan entre el Coordinador y los Dispositivos finales.

Para implementar este protocolo se utilizó módulos Xbee (Maxstream, 2006) que ya poseen el stack Zigbee instalado, presentan una potencia de salida de 1mW y la sensibilidad del receptor es -92dBm. Los módulos se configuran manualmente mediante comandos AT vía RS232 o a través de software provisto: programa X-CTU.

Los módulos Xbee poseen dos modos de funcionamiento, AT y API. Ambos modos pueden trabajar en Unicast (punto a punto) y Broadcast (multipunto). El modo AT envía los datos en forma transparente y para configurar el módulo se debe enviar una secuencia característica (+++) que lo coloca en modo comando. En el modo API (no transparente) se deben armar las tramas con un encabezado y una suma de control.

A la hora de encapsular MODBUS en tramas ZigBee debe tenerse en cuenta el siguiente aspecto: MODBUS RTU utiliza un silencio de 3,5 caracteres para indicar el fin de un mensaje y esto resulta ser un problema en redes como Zigbee que fraccionan los mensajes en paquetes. Esto se debe a que se crean “silencios artificiales” hasta que el destinatario arma el mensaje original compuesto de varias tramas. Para evitar la fragmentación y sus problemas asociados se limitó el tamaño de los paquetes MODBUS a 72 bytes que es la capacidad máxima del campo de datos de una trama Zigbee.

Por lo tanto el enlace utiliza Zigbee para los niveles más bajos del Modelo OSI (físico y de control de acceso al medio) y MODBUS en el nivel de aplicación.

MICROCOMPUTADORA

Se determinó que el sistema necesita para su control de los siguientes sistemas:

- Control de tracking: Permite a los espejos seguir el movimiento del sol.
- Medidor de temperatura: Verifica la temperatura de diferentes partes del sistema.
- Medidor de Presión: Verifica la presión de distintas partes del sistema
- Control PID: Controla variables analógicas
- Salida digital: Permite accionar válvulas

Se diseñó un prototipo de sistema basado en el microprocesador 18f4550 y un integrado híbrido Xbee el cual dispone de conversores AD, moduladores por ancho de pulso, entradas-salidas digitales, interfase serie asíncrona y temporizadores. Este microcontrolador además dispone de una interfase USB y permite reprogramarse en forma sencilla utilizando un pequeño sistema operativo a través del puerto USB, lo que posibilita la reprogramación del sistema in-situ. Para la conexión con la red MODBUS se utilizó el circuito integrado XBEE el cual tiene implementado una red Zigbee a la cual se puede acceder a través de una interfase RS232. Este integrado Zigbee se debe alimentar con una tensión de 3.3 V.



Figura 4: Prototipo de microcomputadora.

IMPLEMENTACIÓN EN MICROPROCESADOR MODBUS ZIGBEE

Se implementó en un microcontrolador PIC 18f4550 un dispositivo MODBUS SLAVE al que se conectan los sensores y actuadores del sistema. El firmware está escrito en C y básicamente realiza las siguientes tareas:

- Comunicación RS232 con el módulo Zigbee
- Codificación y decodificación de MODBUS RTU

- Manejo de los ADC y salidas PWM del micro para su uso con señales analógicas, según el tipo de nodo que se use
- Manejo de entradas y salidas digitales, según el tipo de nodo que se use

En cuanto al manejo del protocolo MODBUS el dispositivo individualiza las tramas (distinguiendo el silencio de 3,5 caracteres), almacena en un buffer el mensaje completo, evalúa el CRC y según el campo ID (dirección del esclavo) determina si debe dar cumplimiento o no a la función recibida.

Igualmente elabora los mensajes MODBUS de respuesta incluyendo su ID, los datos requeridos y el CRC correspondiente.

Las funciones implementadas son:

- 02 - Read input status
- 03 - Read holding registers
- 04 - Read input registers
- 05 - Write single coil
- 06 - Write single register
- 15 - Write multiple coils
- 17 - Request Slave ID

La función 17 se implementó para usarla en un mecanismo que permita relevar los dispositivos esclavos presentes mediante una solicitud MODBUS BROADCAST.

Las funciones de lectura y escritura de bits (coils) y registros pueden usarse para manejar directamente los pines del microcontrolador o bien para acceder a posiciones de memoria del microcontrolador. Como el firmware desarrollado ocupa sólo un 20% del dispositivo es posible implementar en el mismo otras funcionalidades (como por ejemplo un PID) que obtenga sus parámetros de configuración o guarde sus resultados en las mencionadas posiciones de memoria accesibles por MODBUS. También se implementó un manejo básico de errores el cual envía un reporte de error al MODBUS MASTER en caso de recibir un mensaje con una función no implementada.

DISCURSIÓN ZIGBEE

Sobre el sistema descrito se probaron diversas configuraciones de Xbee para optimizar su funcionamiento. El dispositivo experimental consiste en una PC conectada a través de USB a un módulo y dos microcomputadoras descritas en el punto anterior. Sobre las mismas se encuentra implementado el protocolo modbus, una salida analógica, una entrada digital y un conjunto de salidas digitales. Sobre la PC se utilizó un software denominado ModbusPoll el cual es una implementación ModBUS master sobre la PC.

Se probó el dispositivo en modo AT y broadcast, enviando una orden modbus de escritura para una salida digital y la señal fue enviada durante 10 minutos. Esto implica que un modulo coordinador envía datos para que lo reciban todos los módulos.

Figura 5: Tasa de error en la comunicación en función del retardo

Este dispositivo experimental funciona pero entre paquetes que se envían es necesario un retardo de al menos un segundo. Este retardo implica que si se utilizan varios módulos el retardo total es muy grande. El modo broadcast no es recomendable para su utilización dado que al aumentar el número de nodos los retardos de la comunicación son demasiados elevados.

Se probó el modo AT Unicast con la misma orden MODBUS el resultado fue que el retardo que implica una tasa de error de mas de 95% es de 20 mseg entre paquetes. Sobre este sistema se midió la tasa de error en función de la distancia entre módulos.

Figura 6: Tasa de error en función de la distancia

El siguiente ensayo que se realizó sobre el sistema fue medir la tasa de error cuando un módulo se encuentra a una distancia mayor que los 30 metros, interponiendo un tercer módulo mientras los módulos estén separados del orden de 15 m la tasa de error se mantiene en el 10 %.

El modo API implica agregar a la trama modbus un conjunto de caracteres al comienzo y al final de la misma. Lo que permite que el sistema trabaje a 20 mseg por paquetes. Adicionalmente el microprocesador debería realizar el mapeo de las direcciones de los esclavos modbus (ID) en las direcciones físicas de los módulos Zigbee.

CONCLUSIONES

Se desarrolló una microcomputadora que se puede conectar a una red zigbee a través de un módulo Xbee. Se desarrollaron dos implementaciones distintas de MODBUS Slave, sobre esa microcomputadora funcionando ambas aceptablemente. Se probó una red de microcontroladores conectada a una PC utilizando Zigbee y MODBUS demostrándose que es factible de utilizar siempre y cuando se trabaje en modo unicast (punto a punto), el modo broadcast no se puede utilizar si se requiere una velocidad del orden de las 20 mseg. Utilizar el modo API requiere agregar a la trama MODBUS existente los componentes de la trama zigbee api, se puede realizar lo que implica el desarrollo de un conversor que encapsule la información MODBUS en la trama Zigbee.

REFERENCIAS

- Mo Jamshidi . (2009). System of System Engineering 1ª edición, John Wiley & Sons
Stuart R. BaII (2008) Embedded Microprocessor Systems Real World Design Third Edition Newnes
Dogan Ibrahim (2008) Advanced PIC Microcontroller Projects in C Newnes
MaxStream, Inc. (2006) 9 XBee™/XBee-PRO™ OEM RF Modules X Maxstream
Modbus IDA (2006) MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION Modbus IDA
Caprile Sergio (2009) EQUISBÍ GAE
Digi(2009) Modbus Serial Over Mesh Digi

ABSTRACT

In this paper, we proposed a network of sensors and actuators designed to control complex systems, as a steam generator using fresnel concentrators. This network measures or controls cells, according to the needs of the system, that communicate with each other using a zigbee network and modbus protocol. Each of these cells works autonomously using as brain a 18F4550 microcontroller.

Keywords: solar energy, instrumentation, control, microcontrollers.