

La presente Guía se ha tomado de la RTE con el fin de facilitar a los estudiantes la “escritura del artículo de su tesis de grado”. Requisito establecido en el Reglamento de Graduación de Pregrado de la ESPOL. Título 2. Del Certificado Único para Graduación. Art. 4, literal c) que concierne al CICYT.
Esta guía contiene las secciones y detalles de presentación de un artículo, normativa que el estudiante debe cumplir. “**Información Adicional**”, leer los puntos 11 y 15.

Prototipo de un Sistema Embebido Configurable para la Adquisición y Monitoreo de Datos utilizando una Tarjeta de Desarrollo Beaglebone Black de Texas Instruments Aplicado a la Agricultura

Xavier Miranda Salvatierra, Christian Ulloa López, Victor Asanza Armijos
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
xavsmira@espol.edu.ec, hlopez@fiec.espol.edu.ec, vasanza@espol.edu.ec

Resumen

El presente informe muestra el desarrollo de un Registrador de Datos utilizando una tarjeta de desarrollo BeagleBone Black con sistema operativo Debian, orientado a la agricultura. Las variables que se recogen a través del registrador son humedad relativa, temperatura del ambiente, nivel de iluminación solar, temperatura del suelo, humedad del suelo y velocidad horizontal del viento. Una vez que estos datos son recogidos en la BeagleBone Black se envían a través de puerto serial a una tarjeta XBee que se encarga de enviar la información a través de radio frecuencia a una tarjeta receptora XBee que transmite por serial los datos a una tarjeta Raspberry Pi que, a través de Ethernet, envía los datos hasta el servidor web. Aquí la información es almacenada con fecha y hora para llevar un registro. Con la información aquí, se tiene una aplicación web que muestra una gráfica de los datos almacenados de cada uno de los sensores que ya se han mencionado. Con estos datos es posible para el experto en agricultura determinar los mejores procedimientos para optimizar la producción del cultivo.

Palabras Claves: Registrador de datos, sensores, sistema embebido, beaglebone, Raspberry Pi, XBee, agricultura,

Abstract

This report shows the development of a Data Logger using a development board BEAGLEBONE Black with Debian operating system, oriented agriculture. The variables collected through the recorder are relative humidity, ambient temperature, solar lighting level, soil temperature, soil humidity and horizontal wind speed. Once these data are collected in the BEAGLEBONE Black are sent via serial port to a XBee card then sends the information via radio frequency to a receiver card XBee that transmits serial data to a Raspberry Pi board which, through Ethernet, sends the data to the web server. This information is stored with date and time to record. With the information here, you have a web application that displays a graph of the stored each of the sensors that have been mentioned data. With these data it is possible to determine the agricultural expert best practices for optimizing crop production.

Keywords: Data logger, sensors, embedded system, BEAGLEBONE, Raspberry Pi, XBee, agriculture.

1. Introducción

En el sector agrícola conocer información sobre las condiciones climáticas puede brindar una clara estimación sobre qué esperar de la calidad y cantidad de productos que será posible obtener al finalizar una cosecha. Sin embargo, problemas tales como inadecuados sistemas de riego, falta de correctas técnicas de riego y cambios en las condiciones

climáticas no previstos hacen difícil conocer el resultado final de los cultivos.

Variables como temperatura, humedad, nivel de iluminación y velocidad del viento permiten conocer los requerimientos hídricos de un cultivo y administrar de manera eficiente dichos recursos.

Como solución al problema antes expuesto, en el presente proyecto se propone un sistema para que los

agricultores a través de variables climáticas puedan conocer los requerimientos hídricos que están influyendo sobre sus cultivos, aprovechar esta información y así puedan tomar las medidas preventivas y/o correctivas para tener altos niveles de productividad.

Para monitorear los datos de temperatura, humedad, nivel lumínico y velocidad del viento se ha desarrollado una aplicación móvil que podrá mostrar los valores históricos almacenados y los valores actuales las variables de humedad del suelo, humedad del aire, temperatura del suelo, temperatura del aire, nivel de iluminación y velocidad del viento.

2. Antecedentes

Según la Organización de las Naciones Unidas para la comida y agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) la agricultura alcanza a nivel mundial el 70% de consumo de agua. En Ecuador, el regadío y la ganadería tienen un consumo de agua que está alrededor del 81%, mientras que de esto solo se considera eficiente entre el 15% y 20% [1].

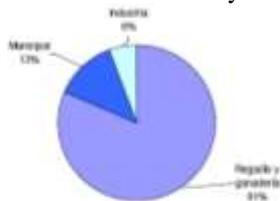


Figura 1. Extracción de agua por sector según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura[1].

Así como se desconoce que hay un enorme desperdicio de agua, es aún más difícil conocer la situación de otros factores como temperatura, nivel de iluminación y velocidad del viento que son igual de importantes para la producción del cultivo.

Sin un sistema que tome esta información directamente de los cultivos, no hay manera de conocer con precisión y confiabilidad los valores de estos parámetros meteorológicos.

3. Objetivos

Diseñar e implementar un sistema embebido configurable de adquisición de datos utilizando la tarjeta BEAGLEBONE BLACK para un ambiente agrícola que sea capaz de leer las variables de temperatura del suelo, humedad del suelo, temperatura y humedad del aire, nivel de iluminación y velocidad del viento, para su posterior envío inalámbrico de los datos hacia un servidor que permita el respectivo monitoreo del comportamiento de las mismas.

- Utilizar un sistema embebido basado en la tarjeta BEAGLEBONE BLACK que funcione como un equipo de adquisición de datos con sistema operativo Debian.
- Almacenar los datos de los sensores en una base de datos para un tratamiento posterior.
- Monitorear a través de un aplicativo web los valores históricos y en tiempo real que se almacenan en la base de datos.
- Realizar pruebas de campo para obtener datos reales y verificar la efectividad del sistema embebido diseñado.
- Utilizar módulos de comunicación inalámbrica para facilitar el envío de información desde el datalogger hasta la base de datos.

4. Sistema Embebido

Un sistema embebido es un conjunto de elementos o piezas electrónicas que al trabajar junto a un software realizan procesamiento de datos con una función específica.

Como lo define Elecia White en su obra Making Embedded Systems: “Un sistema embebido es un sistema computarizado que está construido para una aplicación”. A diferencia de un computador en que su función puede ser multipropósito y está compuesto de sistemas embebidos como la tarjeta gráfica, tarjeta de sonido y procesador [2].

5. Registrador de Datos

Un registrador de datos es un equipo electrónico diseñado con el objetivo de medir datos por grandes periodos de tiempo. Toma los valores y los almacena en tiempo real, es decir, cada valor almacenado cuenta con una fecha y una hora de registro.

5.1. Características principales de un Registrador de Datos

Para considerar un equipo como un datalogger se debe cumplir con algunas de las características que se mencionan a continuación:

- Portabilidad: Facilidad para trasladar el equipo de un lugar a otro.
- Robustez: Capacidad de cumplir sus funciones en ambientes hostiles.
- Autónomo: Capacidad de funcionar sin supervisión constante de un usuario.
- Capacidad de almacenamiento: Por la funcionalidad a la que debe responder, un datalogger debe contar con la capacidad de guardar y clasificar la información que recibe del escenario que se presente a través de los sensores.
- Bajo consumo de energía: Muchas aplicaciones de datalogger requieren largos periodos

de tiempo de muestreo. Es indispensable que sea capaz de realizar las tareas consumiendo la menor cantidad de energía posible.

- **Bajo coste:** Esta característica permite a una mayor cantidad de usuarios acceder a las diferentes aplicaciones que brinda el uso de un datalogger.

5.2. Tipos de Registradores de Datos

Un registrador de datos tiene una amplia variedad de aplicaciones. Depende principalmente de los tipos de sensores que sean conectados al registrador. El sensor recibe la señal del mundo externo y la transforma en un voltaje que luego se interpreta. Por ejemplo, si se está midiendo nivel de humedad. El voltaje para 0% de humedad podría ser 0 voltios y el voltaje para el 100% de humedad sería 5 voltios. Los valores intermedios de humedad serán proporcionales con un voltaje entre cero y cinco voltios.

La tabla 1 muestra algunas variables que pueden ser monitoreadas a través de un datalogger.

Tabla 1. Aplicaciones de Monitoreo con Datalogger [3].

Meteorología	Hidrología/Cualidades del agua
Temperatura	Nivel de presión
Humedad Relativa	Temperatura
Radiación Solar	pH
Presión Barométrica	Conductividad
Dirección del viento	Oxígeno disuelto
Velocidad del viento	Turbiedad

6. Sistema Operativo Linux y Programación de Tarjeta Beaglebone.

Linux es un sistema operativo de código abierto basado en el Sistema Operativo Unix. Fue creado en 1991 por Linus Torvalds [5]. De ahí en adelante este sistema operativo cuenta, a nivel mundial, con miles de desarrolladores que añaden código a Linux para dar origen a diferentes aplicaciones mediante el uso de Linux.

Linux ha tenido un crecimiento tan grande que a partir de su núcleo se han desarrollado diferentes distribuciones. Una distribución de Linux es un sistema operativo con funcionalidades específicas. Algunas de estas distribuciones son ligeras en tamaño para ser instaladas en tarjetas de desarrollo con poca capacidad de almacenamiento. Otras distribuciones cuentan con gran desarrollo gráfico. Otro grupo de ellas están orientadas a la intrusión y espionaje.

6.1. Características de Linux [4]

Software libre: Linux es uno de los más grandes ejemplos del movimiento de software libre y ésta es su principal característica. Que sea de software libre significa que no requiere un licenciamiento para funcionar y puede ser modificado por cualquier usuario.

Multitarea: A lo que se refiere esta característica es que Linux posee la capacidad de ejecutar una variedad de programas simultáneamente sin causar conflictos entre la ejecución de ellos. A esto se le conoce como multitarea preferencial, donde cada programa puede ejecutarse sin impedir la ejecución de otro de los programas. A diferencia de Windows que hace multitarea colaborativa, donde un programa se ejecuta únicamente cuando otro le da paso.

Multiusuario: Linux permite a más de un usuario utilizar las mismas aplicaciones simultáneamente. Todo el potencial que Linux ofrece puede ser aprovechado. Más de una persona puede trabajar en la misma versión de la misma aplicación o tarea con la que otra persona está trabajando y todo esto puede ocurrir de forma simultánea, desde mismas terminales o desde terminales distintas.

Colaboración: Una característica de Linux es que existen comunidades donde los usuarios se pueden apoyar para solucionar problemas con respecto a las distribuciones, programación, alcance de una distribución, novedades y actualizaciones de los sistemas operativos.

6.2. Distribuciones de Linux Eficientes para un Sistema Embebido

Un sistema embebido requiere de una distribución que sea ligera y no necesite grandes recursos de hardware para ejecutarse de forma óptima. Además, es indispensable que cuente con las librerías necesarias para la función que vaya a cumplir. En este caso que cumplirá las funciones de un datalogger, es necesario que permita recolectar los datos desde los sensores ya antes mencionados y que facilite el envío de datos hacia la nube a través de comunicación inalámbrica. En caso de que la distribución no cuente con las librerías necesarias, debe permitir que las librerías sean agregadas.

A continuación se mencionan algunas distribuciones que cumplen con las características antes mencionadas:

- Ubuntu
- Debian
- Angstrom

Para este proyecto se ha elegido a Debian como la distribución más adecuada para el proyecto.

Cortex®-A8, de un solo núcleo con un bus de 32 bits, permite trabajar con memorias RAM actuales como DDR2 y DDR3, tiene puertos Ethernet y puertos USB [8].

Cuenta con una memoria DDR3L de 512MB, esta memoria permite una velocidad de 1.32GB/S.

El chip TP565217C recibe el voltaje de alimentación de la tarjeta BBB y lo acopla a sus demás partes como el microprocesador Sitara, los puertos y la memoria RAM [9].

11. Características Generales de la Tarjeta BleagleBone Black

La tabla mostrada en esta sección detalla especificaciones técnicas de la tarjeta BEAGLEBONE BLACK de acuerdo al documento técnico del fabricante

Tabla 2. Características de la Tarjeta BEAGLEBONE BLACK [8].

	Características	
Procesador	Sitara AM3359AZCZ100 1GHz, 2000 MIPS	
Motor gráfico	SGX530 3D, 20M Polygons/S	
Memoria SDRAM	Memoria SDRAM 512MB DDR3L 606MHZ	
Flash	2GB, 8bit Embedded MMC	
PMIC	TPS65217C PMIC regulator and one additional LDO	
Debug Support	Debug Support Optional Onboard 20-pin CTI JTAG, Serial Header	
Fuente de Poder	miniUSB or conector DC	5VDC External Via Expansion Header
PCB	3.4" x 2.1"	6 capas
Indicadores	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs	
Puerto Cliente USB 2.0	0Access to USB0, Client mode via miniUSB	
Puerto Host USB 2.0	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS	
Puerto Serial	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated	
Ethernet	10/100, RJ45	
Conector	microSD , 3.3V	

r SD/MMC	
Entrada por usuario	Reset Button, Boot Button, Power Button
Salida de video	16b HDMI, 1280x1024 (MAX) 1024x768,1280x720,1440x900 w/EDID Support
Audio	Via HDMI Interface, Stereo
Conectores de expansión	Power 5V, 3.3V , VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals McASP0, SPI1, I2C, GPIO(65), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7 AIN(1.8V MAX), 4 Timers, 3 Serial Ports, CAN0, EHRPWM(0,2),XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID (Up to 4 can be stacked)
Peso	1.4 oz (39.68 grams)

12. Pruebas y Resultados

El sistema para la adquisición de datos fue puesto en una estructura de material PVC, que permite aprovechar eficientemente los sensores.

El anemómetro HYG-FCV se encuentra a 165cm del suelo donde se encuentra expuesto a las corrientes de aire.

El sensor DHT11 que mide temperatura y humedad ambiental está ubicado en la parte superior lateral de la estructura.

El sensor TSL2561 que mide el nivel de iluminación solar está ubicado sobre el otro extremo lateral superior de la estructura.

El sensor FC-28 que mide humedad del suelo está ubicado junto al sensor de temperatura del suelo DS18B20 dentro de una barra adaptada para ser puestas en tierra.

En la parte inferior de la estructura están las baterías de 7.2 Amp/h ubicadas dentro de una caja con base de 18cm, altura de 23cm y profundida de 13cm. Estas baterías alimentan el sistema mientras está en el campo.

El datalogger ha tomado mediciones de cada sensor en intervalos de una muestra por minuto, dando un total de 720 muestras diarias. Se ha hecho el registro durante el día desde las 7h00 hasta las 19h00.

La tabla que se muestra a continuación reúne información luego de las pruebas. La tabla incluye valores de doce horas de pruebas.

Tabla 3. Promedio de muestras tomadas en un día

Hora	Humedad del suelo (%)	Temperatura del suelo (°C)	Humedad del ambiente (%)	Temperatura ambiente (°C)	Nivel iluminación	Velocidad del viento (m/s)
7:00	53	23	77%	26	490	1,67
7:30	53	23	77%	26	490	1,67
8:00	53	23	76%	26	490	1,67
8:30	52	24	75%	27	500	1,67
9:00	52	24	75%	27	500	1,67
9:30	52	24	75%	27	520	1,67
10:00	51	25	74%	28	520	1,67
10:30	51	25	71%	28	560	1,94
11:00	51	25	71%	28	600	1,94
11:30	51	25	71%	28	640	1,67
12:00	51	26	70%	30	640	1,67
12:30	51	26	70%	30	710	1,67
13:00	51	27	70%	30	710	1,67
13:30	51	27	70%	31	790	1,67
14:00	51	28	70%	31	800	1,67
14:30	50	28	74%	31	830	1,67
15:00	50	28	74%	31	900	1,94
15:30	48	28	72%	31	850	1,94
16:00	48	29	73%	31	790	1,94
16:30	50	28	73%	30	770	1,94
17:00	50	28	73%	30	690	2,22
17:30	50	28	73%	30	610	2,22
18:00	51	27	74%	29	550	2,78
18:30	51	26	74%	29	500	2,78
19:00	51	26	74%	28	500	2,78

- Temperatura ambiente: 2.95
- Nivel de Iluminación:175.78
- Velocidad de viento:0.13

12. Conclusiones

1. Se ha utilizado y probado la efectividad del sistema embebido BEAGLEBONE BLACK como equipo de adquisición y monitoreo de datos. Se probó que, con un intervalo de muestreo de un minuto es posible tener valores de utilidad para el campo de la agricultura.

2. Se encontró que fue de alta utilidad utilizar el mismo lenguaje de programación para el envío de datos que para la recepción en la base de datos, permitiendo de esa manera una fácil integración de la información desde la tarjeta BBB hasta la base de datos.

3. El sistema embebido diseñado es eficiente durante las pruebas de campo pero cuenta con limitantes. La transmisión hacia una segunda tarjeta que realice el envío de datos al servidor crea una mayor latencia en la adquisición de datos.

13. Recomendaciones

1. Se recomienda no utilizar frecuencias menores a 30 segundos para no tener pérdida de datos o saturar el canal de comunicación.

2. Se debe notar que para subir los datos al servidor es preferible la conexión via Ethernet en lugar de inalámbrica para evitar la pérdida de datos.

3. Para posteriores trabajos se recomienda agregar variables a la tarjeta BEAGLEBONE BLACK que permitan tener una estimación más precisa de las cualidades atmosféricas que influyen sobre los cultivos.

Promedio

- Humedad del suelo: 51%
- Temperatura del suelo: 26.04
- Humedad del ambiente: 73%
- Temperatura ambiente: 28.92
- Nivel de Iluminación: 638
- Velocidad de viento: 1.91

Varianza

- Humedad del suelo: 0.001
- Temperatura del suelo: 3.31
- Humedad del ambiente: 0.0004

14. Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, aquastat, Ecuador, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ecu, Último acceso abril 2015.
- [2] White, E., Making Embedded Systems, <http://goo.gl/eLiuMD>, Último acceso: marzo 2015.
- [3] Geo scientific ltd., Data Logger Fundamentals for Environmental Monitoring Applications, <http://goo.gl/erbuIX>, Último acceso: marzo 2015.
- [6] Instituto de Energías Renovables IER, Características de los sistemas Linux, <http://goo.gl/Jh2HLB>, Último acceso: abril 2015.
- [11] van Rossum, G., El tutorial de Python, <http://goo.gl/IbSR7R>, Último acceso: marzo 2015.
- [13] CodEval, Most Popular Coding Languages of 2015, <http://goo.gl/V209p0>, Último acceso: mayo 2015.
- [14] Coley, G. BeagleBone Black System, Reference Manual, <http://goo.gl/OxXJd1>, Último acceso: mayo 2015.
- [20] Digi-key Electronics, Microprocesador Sitara AM3358AZCZ, <http://goo.gl/QhKtkL>. Último acceso: mayo 2015.