

Redes de sensores inalámbricos (RSI)

Plataforma de software: Contiki-NG (parte 1)

Leonardo Steinfeld

Inst. de Ingeniería Eléctrica, Fac. de Ingeniería
Universidad de la República (Uruguay)



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Disclaimer: The European Commission support for the production of this website does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



FACULTAD DE
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Objetivos

- Introducir principales conceptos de OS
- Escribir procesos utilizando eventos y timers
- Familiarizarse con el proceso de compilación (muy básico)
- Comprender el funcionamiento interno de procesos
- Comprender las limitaciones de la implementación

Agenda

- Introducción OS
- Contiki-NG: características
- Protothreads
- Procesos
- Eventos
- Timers
- Post de eventos
- Implementación de procesos
- Estructura de directorios

Introducción

- Propiedades deseadas para un OS
 - Gestión de concurrencia (multi-tarea)
 - Gestión de recursos hardware
 - Gestión de los modos de bajo consumo
 - Estrategias para bajo ciclo de trabajo

Introducción

- Ventajas
 - Pila de comunicación y drivers integrados
 - Portabilidad – HAL
 - Modularidad y reuso
 - Facilita programación para aplicaciones complejas

OS para IoT



Introducción: Contiki-NG

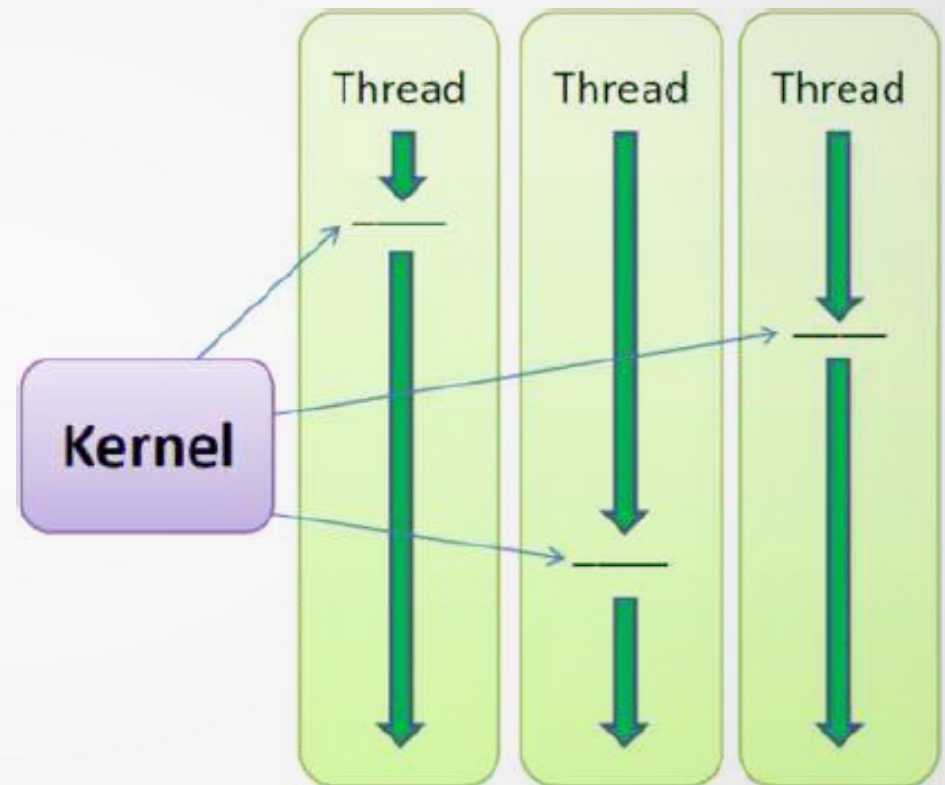
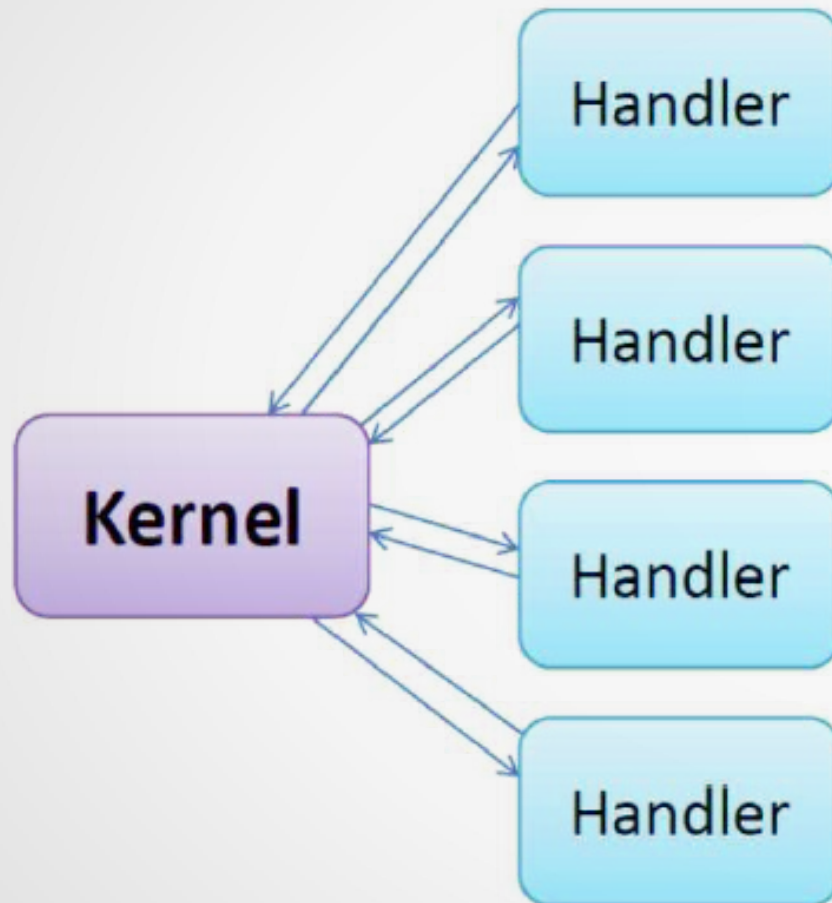
- OS para dispositivos de recursos limitados de IoT
- Pila de comunicación (6LoWPAN, RFC-compliant)
 - Ipv6 / RPL, UDP (DTLS) / TCP, CoAP/MQTT/LWM2M, entre otros.
- Plataformas
 - ARM Cortex-M3/M4 (CC1350, CC2650, nrf52840, CC2538, gecko)
 - Texas Instruments MSP430
 - nRF
- Footprint
 - código ~ 100 kB
 - memoria ~10 kB
- Open source



Introducción

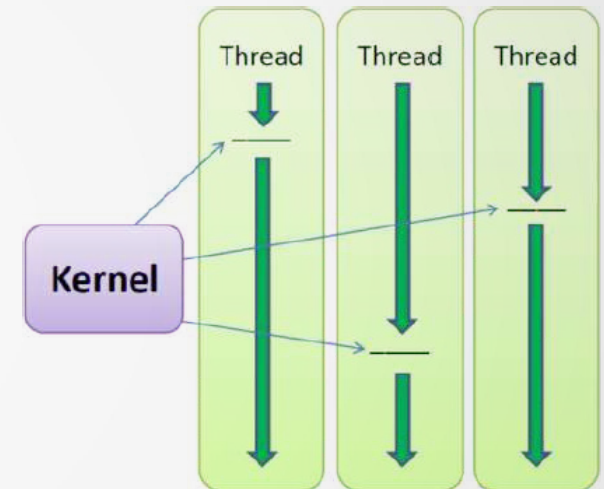
- Características: *scheduling*
 - colaborativo
 - expropiativo (preemptive scheduler)
- Arquitecturas
 - Event-driven
 - Multithreading

Comparación: event-driven & multithreading



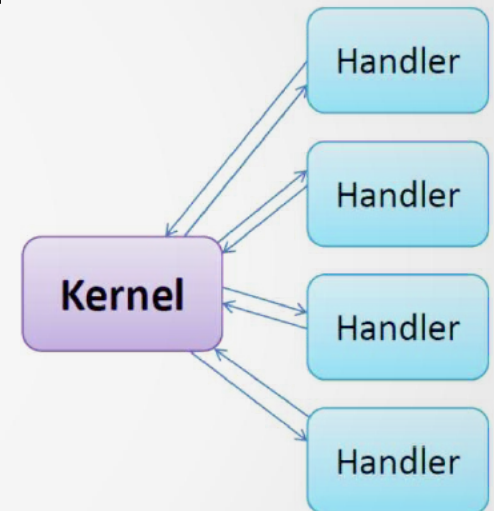
Motivación: multithreading

- ¿Cómo implementa concurrencia?
 - Procesos: implementados como hilos “concurrentes” y el procesador conmuta entre ellos.
- Pros:
 - Flujo secuencial de código.
 - Es posible expropiar el procesador
 - `wait()` es válido.
- Contras:
 - Overhead (código y tiempo ejecución)
 - Mecanismo de bloqueo: necesita código reentrante
 - Gran consumo de memoria (stack por thread)



Motivación: event-driven

- Como implementar concurrencia?
 - Procesos: implementados *handlers* de eventos que corren hasta el final (“run-to-completion”)
- Pros:
 - Uso eficiente de la memoria (stack único)
 - Overhead bajo de conmutación de contexto.
 - No necesitan mecanismo de bloqueo.
- Contra
 - No es posible expropiar el procesador
 - Programación state-driven difícil de manejar (callbacks recursivos)
 - No todos los programas son fácilmente escritos como FSM



Contiki-NG propone: protothreads

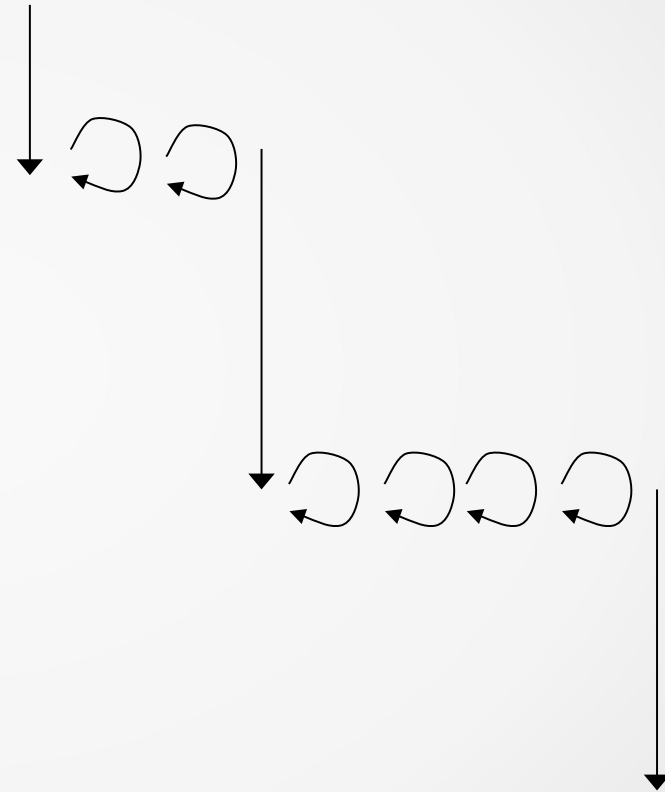
- Protothreads: una nueva abstracción de programación
 - Punto diseño intermedio entre event-driven y multithreading
 - Idea muy simple pero potente.
- Aspecto de multithreading
 - Primitiva de prog.: espera bloqueante condicional
PT_WAIT_UNTIL(condition)
 - Provee control de flujo secuencial
- Aspecto de event-driven
 - Usa un solo stack
 - Requerimientos de memoria similares

Contiki-NG: protoheads

- Real Academia Española (www.rae.es)
 - **proto-**.
(Del gr. πρωτο-, primero).
 1. elem. compos. Indica prioridad, preeminencia o superioridad. Protomártir, protomédico, prototipo.
- The American Heritage Dictionary of the English (answers.com)
 - **Proto or prot-**
 - *pref.*
 1. First in time; earliest: protolithic.
 2. First formed; primitive; original: protohuman.
 3. Proto- Being a form of a language that is the ancestor of a language or group of related languages: Proto-Germanic.
 4. Having the **least amount of a specified element** or radical: protoporphyrin.
[Greek prōto-, from prōtos.]

Contiki-NG: protothreads

```
int a_protothread(struct pt *pt) {  
    PT_BEGIN(pt);  
  
    PT_WAIT_UNTIL(pt, condition1);  
  
    if(something) {  
  
        PT_WAIT_UNTIL(pt, condition2);  
  
    }  
  
    PT_END(pt);  
}
```



ATENCIÓN:

al final vemos cómo se implementa y funciona internamente

Contiki-NG: procesos

- Procesos: asociado a un protothread
 - guardados en una lista encadenada
 - Información: nombre, estado, puntero al *thread*
 - estados: *desactivado*, *activado*, *ejecutando*

```
PROCESS(primer_proceso, "Nombre del primer proceso");  
AUTOSTART_PROCESSES(&primer_proceso);
```

```
PROCESS_THREAD(primer_proceso, ev, data){  
    PROCESS_BEGIN();  
    printf("Primer proceso, imprimo y me voy.\n");  
    PROCESS_END();  
}
```

Contiki-NG: eventos

- Evento: desencadena la ejecución de un proceso
 - guardados en una cola circular
 - generados por procesos o interrupciones
 - *scheduler* llama al proceso, recibe: ID del evento, datos

```
PROCESS(primer_proceso, "Nombre del primer proceso");  
AUTOSTART_PROCESSES(&primer_proceso);
```

```
PROCESS_THREAD(primer_proceso, ev, data){  
    PROCESS_BEGIN();  
    printf("Primer proceso, imprimo y me voy.\n");  
    PROCESS_END();  
}
```


Contiki-NG: eventos

- Tipos
 - asincrónicos
 - se encolan y después se despachan a procesos de forma *round-robin*
 - posteo a proceso específico o *broadcast*
 - función: **process_post()**
 - sincrónicos
 - se llama proceso inmediatamente (equivalente a llamar una función)
 - función: **process_post_synch()**

Contiki-NG: ejemplo proceso

```
PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data){
    static struct etimer etimer1;

    PROCESS_BEGIN();

    etimer_set(&etimer1, CLOCK_CONF_SECOND);
    for(;;){
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(ev == PROCESS_EVENT_TIMER);
        printf("Hello, world\n");
        etimer_reset(&etimer1);
    }

    PROCESS_END();
}
```

- Proceso:
 - inactivo hasta que recibe un evento
 - proceso ejecuta
 - suspende su propia ejecución (se “bloquea”) hasta nuevo evento

Contiki-NG: arranque de procesos

```
PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data){
    static struct etimer etimer1;

    PROCESS_BEGIN();

    etimer_set(&etimer1, CLOCK_CONF_SECOND);
    for(;;){
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(ev == PROCESS_EVENT_TIMER);
        printf("Hello, world\n");
        etimer_reset(&etimer1);
    }

    PROCESS_END();
}
```

- Arranque:
 - otro proceso llama
 - **process_start()**
 - se incluye
 - **AUTOSTART_PROCESS()**
- Se le envía evento
 - **PROCESS_EVENT_INIT**

Contiki-NG: finalización de procesos

```
PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data){
    static struct etimer etimer1;

    PROCESS_BEGIN();

    etimer_set(&etimer1, CLOCK_CONF_SECOND);
    for(;;){
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(ev == PROCESS_EVENT_TIMER);
        printf("Hello, world\n");
        etimer_reset(&etimer1);
    }

    PROCESS_END();
}
```

- Finalización:
 - otro proceso llama
 - **process_exit()**
 - cuando se llega a
 - **PROCESS_END()**
 - Se envía a demás procesos
 - **PROCESS_EVENT_EXITED**

Ejercicio: compilación primera aplicación

1. Crear carpeta **rsi** en **contiki-ng/examples**
2. Crear **hola.c**
3. Crear **Makefile**
4. Compilar
\$make
5. Ejecutar
\$./hola.native

```
# archivo: Makefile
CONTIKI_PROJECT = hola
all: $(CONTIKI_PROJECT)
```

```
CONTIKI = /home/leo/work/contiki-ng/
include $(CONTIKI)/Makefile.include
```

```
// archivo: hola.c
#include "contiki.h"
#include <stdio.h>
```


```
PROCESS(primer_proceso, "Nombre del primer proceso");
AUTOSTART_PROCESSES(&primer_proceso);
```

```
PROCESS_THREAD(primer_proceso, ev, data){
    PROCESS_BEGIN();
    printf("Primer proceso, imprimo y me voy.\n");
    PROCESS_END();
}
```

Contiki-NG: timers

- Bibliotecas timers: **5 tipos**
 - utilizadas por OS y aplicaciones (usuarios)
 - funcionalidad común:
 - chequear si transcurrió un cierto período de tiempo.
 - construidas a partir de modulo **clock**
- funciones comunes (x= __, s, e, c, r)
 - setting: void **x**timer_set(struct timer *t, clock_time_t interval)
 - resetting: void **x**timer_reset(struct timer *t)
 - restarting: void **x**timer_restart(struct timer *t)
 - checking: int **x**timer_expired(struct timer *t)

Contiki-NG: timers

- timer:
 - simple, no se notifica el usuario consulta
- stimer:
 - igual a timer, pero en segundos (tiempos mayores)
- etimer: 
 - genera un evento `PROCESS_EVENT_TIMER` cuando expira
- ctimer:
 - llama a una función cuando expira
- rtimer
 - ejecución tareas de tiempo real (ahora usado por TSCH)

Contiki-NG: etimers

- Módulo para manejo de tiempos
 - Estructura etimers
 - tiempo inicial
 - Intervalo
 - puntero al proceso a despertar
 - Guardada como lista encadenada de etimers
 - Modulo implementado como proceso
 - Despertado desde una interrupción
 - Recorre lista de etimers en busca de alguno que haya expirado

Contiki-NG: etimers

- Funciones
 - `void etimer_set(struct etimer *t, clock_time_t interval)`
 - `void etimer_reset(struct etimer *t)`
 - `void etimer_restart(struct etimer *t)`
 - `void etimer_stop(struct etimer *t)`
 - `int etimer_expired(struct etimer *t)`
 - `int etimer_pending()`
 - `clock_time_t etimer_next_expiration_time()`
 - `void etimer_request_poll()` setting
- Variable de usuario:
 - `static struct etimer etempo;`

Contiki-NG: ejemplo etimers

```
#include "sys/etimer.h"

PROCESS_THREAD(example_process, ev, data)
{
    static struct etimer et;
    PROCESS_BEGIN();

    /* Delay 1 second */
    etimer_set(&et, CLOCK_SECOND);

    while(1) {
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(etimer_expired(&et));
        /* Reset the etimer to trig again in 1 second */
        etimer_reset(&et);
        ...
    }
    PROCESS_END();
}
```

Ejercicio: timers

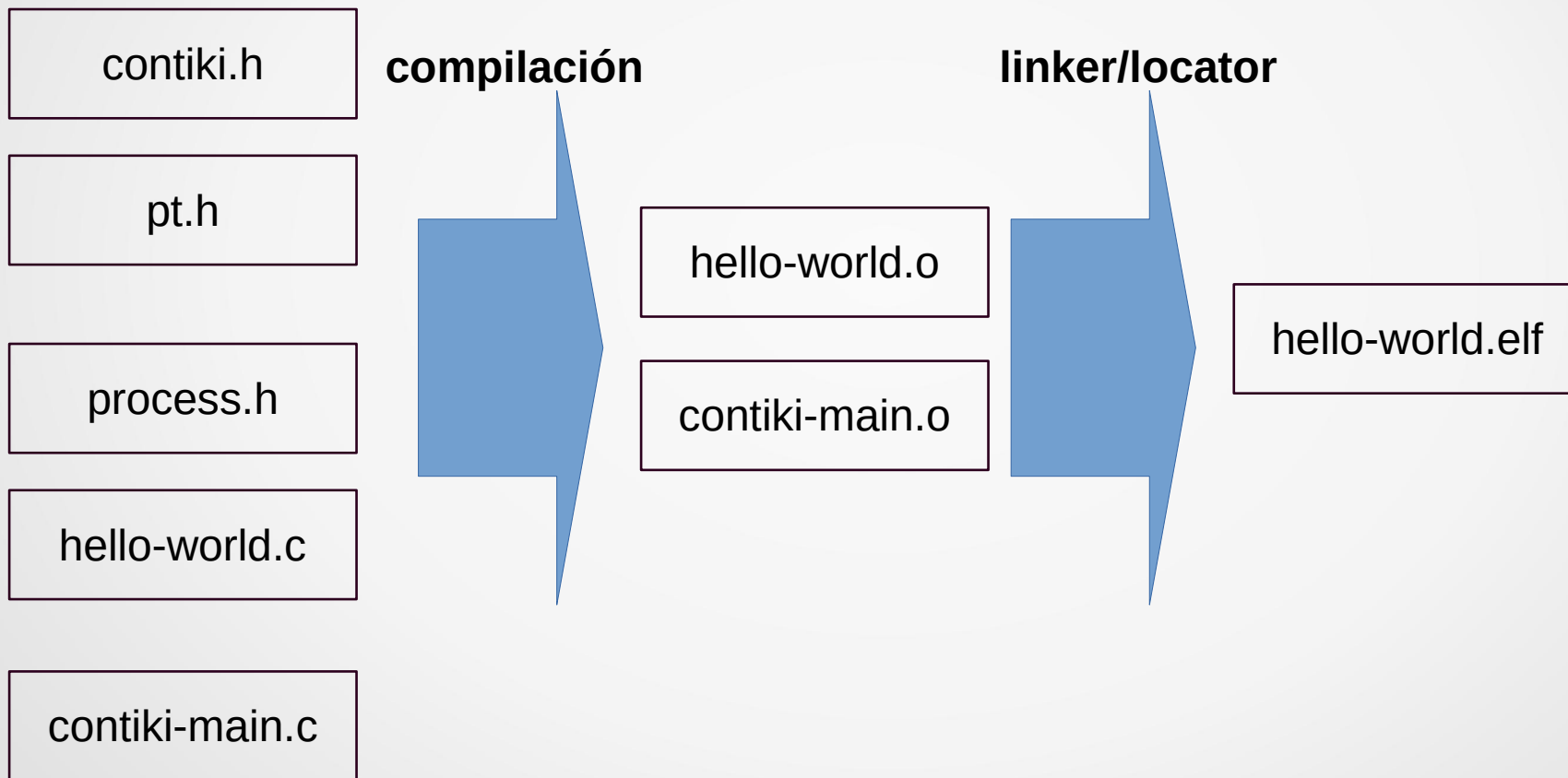
- Para los dos ejercicios partir del examples/hello-world
 1. Modificar hello-world.c para que
 - el timer cuente 2 seg.
 - imprima los segundos y la cantidad de veces que
 2. En lugar de usar **etimer** implementar la misma funcionalidad con un **ctimer**.
- Preguntas:
 - ¿Qué pasa si la variable del tiempo no es estática?
 - ¿Qué pasa si inicializo el timer antes de la declaración de `PROCESS_BEGIN()`?

Contiki-NG: post de eventos

- Proceso origen: post de un evento a otro proceso
 1. Declarar el evento: `process_event_t gran_evento;`
 2. Asignar memoria para el evento mediante la función:
`gran_evento = process_alloc_event();`
 3. Postear el proceso pasando un puntero a datos:
`process_post(&proceso_destino, gran_evento, &var);`
- Proceso destino: recibe el evento y dato como parámetros
 - `ev = event_boton.`
 - variable `var` se debe castear al tipo de datos correcto.
 - Ejemplo: `var` es un entero de 16 bits:
`uint16_t num = *(uint16_t*)var;`

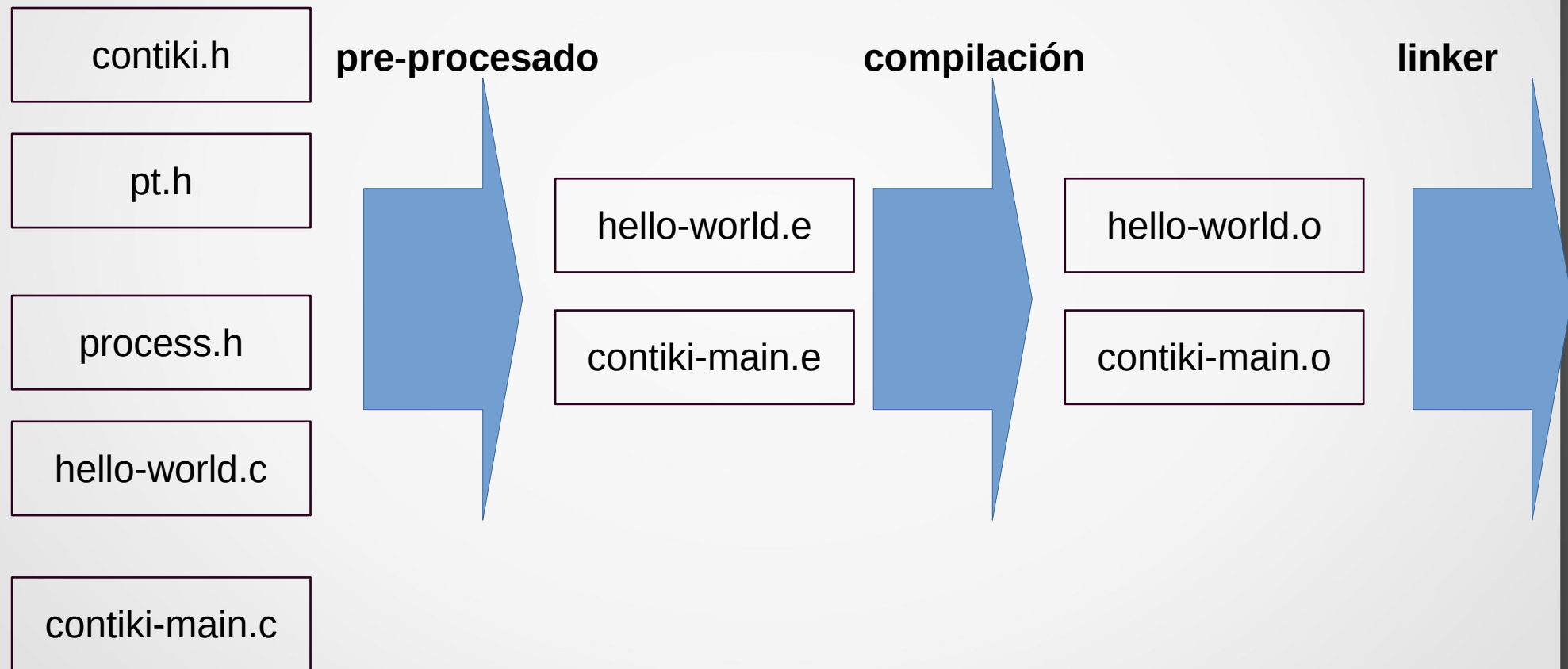
Contiki-NG: implementación protothreads

- Explicación simplificada



Contiki-NG: implementación protothreads

- Explicación simplificada



Contiki-NG: finalización de procesos

```
PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data){
    static struct etimer etimer1;

    PROCESS_BEGIN();

    etimer_set(&etimer1, CLOCK_CONF_SECOND);
    for(;;){
        PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(ev == PROCESS_EVENT_TIMER);
        printf("Hello, world\n");
        etimer_reset(&etimer1);
    }

    PROCESS_END();
}
```

Contiki-NG: “magia”

```
// Fragmentos de los siguientes archivos:  
//  pt.h  
//  process.h  
//  lc-switch
```

```
typedef unsigned short lc_t;  
#define LC_INIT(s) s = 0;  
#define LC_RESUME(s) switch(s) { case 0:  
#define LC_SET(s) s = __LINE__; case __LINE__:  
#define LC_END(s) }
```

```
struct pt {  
|  lc_t lc;  
};
```

```
#define PROCESS_BEGIN() { char PT_YIELD_FLAG = 1; if (PT_YIELD_FLAG) {;} LC_RESUME((pt)->lc)
```

```
#define PT_WAIT_UNTIL(pt, condition) \  
do { \  
    LC_SET((pt)->lc); \  
    if(!(condition)) { \  
        return PT_WAITING; \  
    } \  
} while(0)
```

```
#define PROCESS_END() LC_END((pt)->lc); PT_YIELD_FLAG = 0; \  
| | | | | PT_INIT(pt); return PT_ENDED; }
```


Contiki-NG: proceso pre-procesado

```
static char process_thread_hello_world_process(  
    struct pt *process_pt, process_event_t ev, process_data_t data){  
  
static struct etimer etimer1;  
{  
    char PT_YIELD_FLAG = 1;  
    switch((process_pt)->lc) {  
    case 0:;  
        etimer_set(&etimer1, 128);  
        for(;;){  
            do {  
                PT_YIELD_FLAG = 0;  
                (process_pt)->lc = 28;  
            case 28:;  
                if((PT_YIELD_FLAG == 0) || !(ev == 0x88 {  
                    return 1;  
                }  
                } while(0);  
                printf("Hello, world\n");  
                etimer_reset(&etimer1);  
            }  
        };  
        PT_YIELD_FLAG = 0;  
        (process_pt)->lc = 0;  
        return 3  
    }
```

Contiki-NG: fragmento loop principal

```
int main(){  
  
    // Mucho código  
  
    for(;;){  
        do {  
            // Devuelve cantidad de eventos pendientes  
            r = process_run();  
        } while(r > 0);  
        // Enter in Low Power Mode  
        __bis_SR_register(LPM3_bits);  
    }  
    // Sigue más código  
  
}
```

Contiki-NG: estructura de directorios

- OS
 - primitivas del sistema (procesos y timers), pila de comunicación, etc.
- arch
 - dependiente de hardware (incluye CPU, drivers de plataformas)
- examples
 - proyectos listos para usar (empezar basándose en un ejemplo)
- tools
 - no incluidos en el firmware de dispositivos, sino para PC
- tests
 - para integración continua (se ejecuta con cada pull request / merge)

Contiki-NG: estructura de directorios

- os
 - sys
 - protothreads, procesos, timers, logs, etc.
 - dev
 - drivers generales (restantes en arch).
 - lib
 - bibliotecas: listas, colas, etc.
 - net
 - implementación de los protocolos de cada capa
 - services
 - módulos con procesos, usados por Conitiki-NG o usuarios
 - storage
 - sistema de archivos coffee

Referencias

- Programming Contiki-NG
 - Processes and events
 - Repository structure
 - Timers
- Tutoriales
 - Hello, World!
 - Timers and events

Planificación clases

- 1) Introducción RSI
- 2) Plataformas de hardware
- 3) Arquitectura 6LoWPAN (IPv6)
- 4) Plataforma de software: Contiki-NG (parte 1)**
- 5) Plataforma de software: Contiki-NG (parte 2)
- 6) Capa de aplicación: CoAP / MQTT
- 7) Capa de red: RPL
- 8) MAC
- 9) IEEE 802.15.4 / 6lowpan
- 10) Capa Física & antenas
- 11) IoT y las RSI



¿más preguntas?