5TC option AUD

Embedded Programming Basics

Romain Michon, Tanguy Risset

Labo CITI, INSA de Lyon, Dpt Télécom

GRAME-CNCM INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

GRAME CENTRE NATIONAL DE CRÉATION MUSICALE, LYON

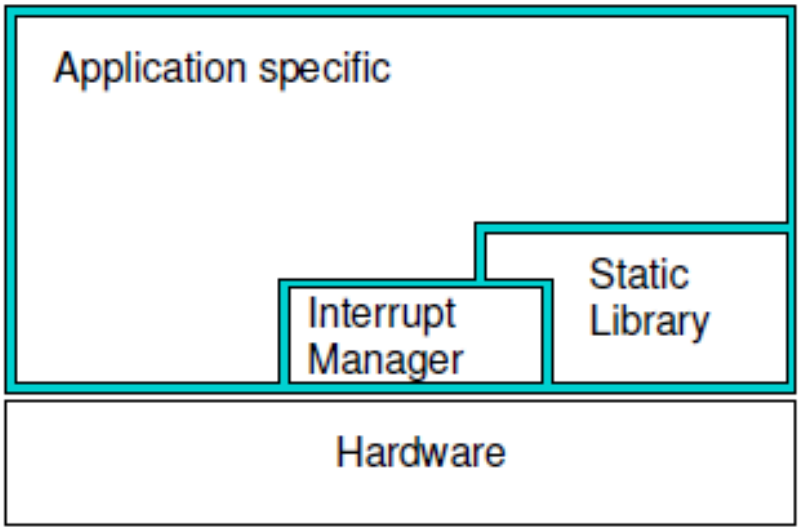
2 novembre 2023

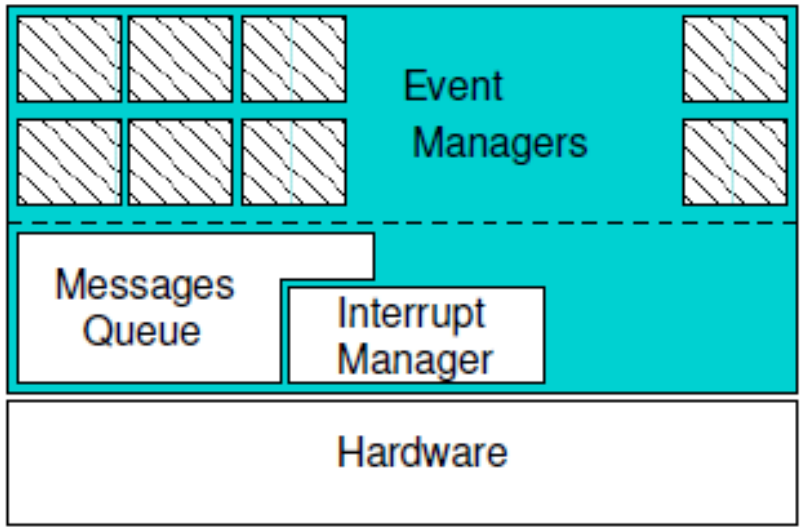
Table of Contents

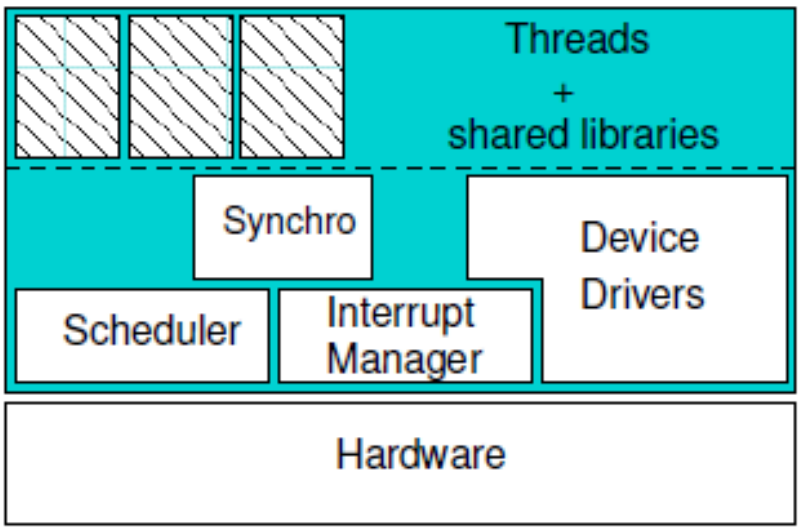
Systèmes d'exploitation légers

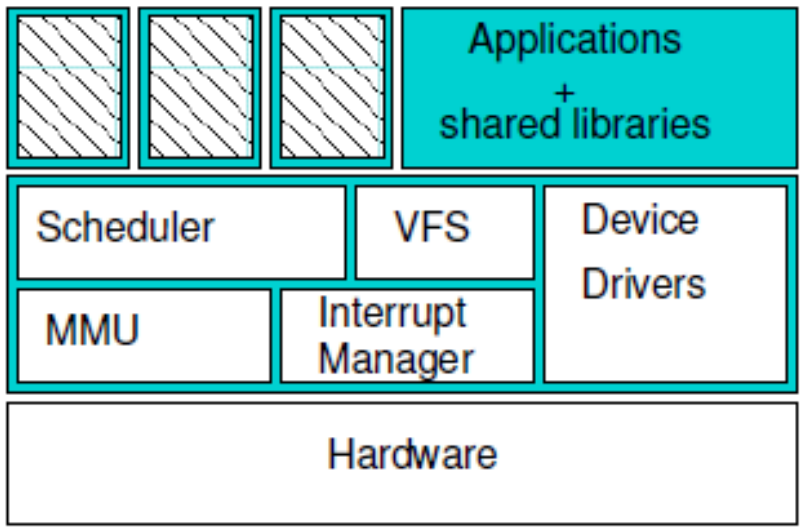
- Les systèmes d'exploitation peuvent aller d'une bibliothèque spécifique pour une application à un système générique type Unix.
- Les applications sans système d'exploitation représentent une part importante des systèmes déployés aujourd'hui.
- Il existe tout de même deux grandes catégories de système
  - modèle "Event driven" (OS événementiels)
  - modèle "Thread"

Catégories des systèmes









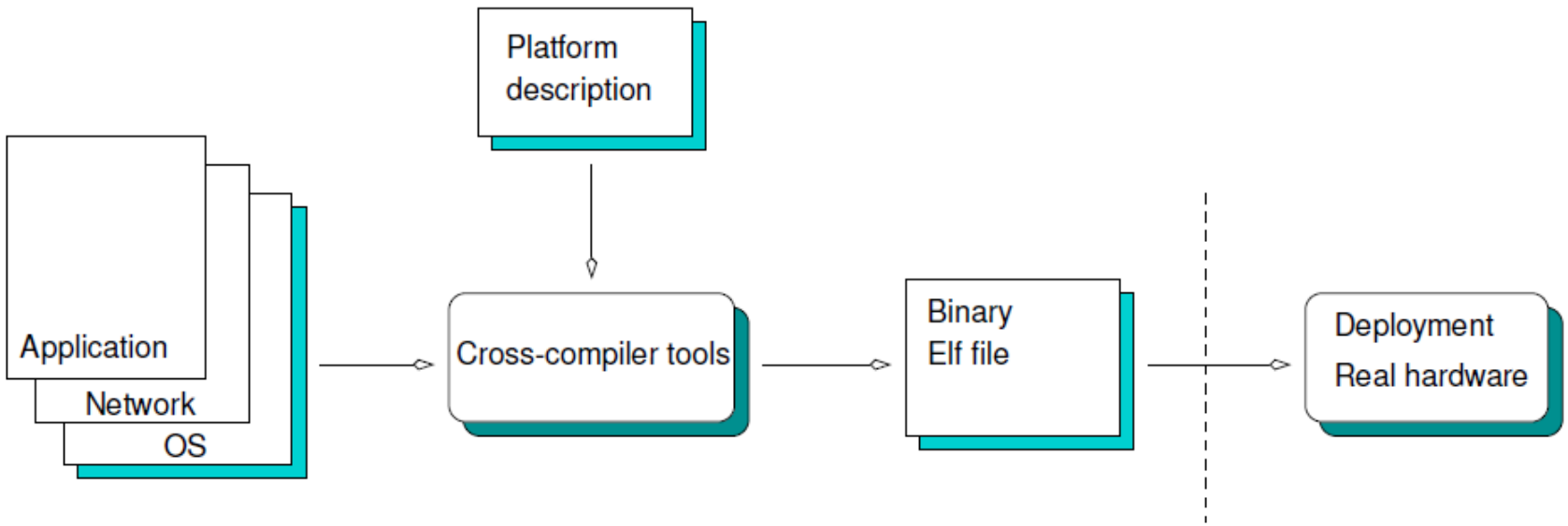
Modèles de programmation et d'exécution

- Evénements :
  - Les événements matériels démarrent des fonctions qui s'exécutent sans interruption (*run to completion*).
  - Les changements de contexte, la gestion de pile, l'ordonnancement et la gestion de priorité sont simplifiés.
  - Exemples : TinyOS 1 & 2

- File de programme / *Thread* :
  - Proche du modèle de programmation classique.
  - Mémoire partagée, piles séparées (ou pas).
  - Changement de contexte.
  - Exemples : FreeRTOS, Contiki

Environnement logiciel

Les applications sont souvent simples. Les deux modèles sont fait pour être liés statiquement au programme et embarqués dans le système.



Pourquoi utiliser un OS ?

Quels services demander à un OS ?

- Gestion de Tâches/Files = ordonnanceur
- Pilotes de périphériques = interface matériel
  - Gestionnaire d'interruption
  - Gestion du temps et des timers

- Gestion des modes de veille
- Pile réseau intégrée

- Environnement de programmation et outils

Aperçu des systèmes

3 exemples de systèmes utilisés dans les petits objets.

1. TinyOS : modèle à événements
2. Contiki : modèle à protothread (Anciennement Co-routine)
3. FreeRTOS : modèle à thread

Événements : exemple TinyOS

- Gestion des événements
- Fréquences fixes, mode basse conso simple
- Propose des abstractions pour
  - les communications
  - les timers
  - le stockage

- Modèle d'exécution : run to completion
- **Utilisation d'une seule pile d'exécution**

- TinyOS 2.x légère amélioration du système de mise en veille

TinyOS 1.x main loop (1/2)

```
int main(void)
{
  MainM$hardwareInit();
  TOSH_sched_init();
  MainM$StdControl$init();
  MainM$StdControl$start();
  __nesc_enable_interrupt();
  for (; ; ) {
    TOSH_run_task();
  }
}
```

TinyOS 1.x main loop (2/2)

```
bool TOSH_run_task(void)
{
  void (*func)(void );
  __nesc_atomic_t fInterruptFlags = __nesc_atomic_start();
  uint8_t                    old_full = TOSH_sched_full;
  func = TOSH_queue[old_full].tp;
  if (func == NULL) {
      __nesc_atomic_sleep();
      return 0;
  }
  TOSH_queue[old_full].tp = NULL;
  TOSH_sched_full = (old_full + 1) & TOSH_TASK_BITMASK;
  __nesc_atomic_end(fInterruptFlags);
  func();
  return 1;
}
```

Coroutines / Protothread : exemple Contiki

Coroutines

- Multi-tâche coopératif.
- L'application reste maître de l'ordonnancement.

Protothread

- Modèle très proche des coroutines
- Modèle mixte, orienté événements
  - "run to completion"
  - **Changement de fil sur opération bloquante**
  - **Pile d'exécution unique**
  - Les "thread" n'ont pas d'état (variables locales)

Coroutines / Protothread : exemple Contiki

Coroutines

- Multi-tâche coopératif.
- L'application reste maître de l'ordonnancement.

Protothread

- Modèle très proche des coroutines
- Modèle mixte, orienté événements
  - "run to completion"
  - **Changement de fil sur opération bloquante**
  - **Pile d'exécution unique**
  - Les "thread" n'ont pas d'état (variables locales)

Principe des Coroutines utilisées Contiki

- Chaque *thread* va *rendre la main* à interval régulier lors de son execution, pour permettre l'execution des autres threads (on appelle ça *yield*)
- En général quand le thread se met en attente sur une condition
- Comme il n'y a qu'une pile, lors de sa reprise le thread aura probablement perdu l'état de ses variables, donc ce sont des threads sans état.
- Problème : on sait comment sortir d'une fonction à n'importe quelle ligne (`return`), mais comment *reprendre* une fonction à n'importe quelle ligne ?

Machine de Duff (1/2)

En 1984 Tom Duff travaillant pour LucasFilm cherche à accélérer le code suivant pour copier une image :

```
send(int *to, int *from, int count)
        {
                do
                        *to = *from++;
                while(--count>0);
        }
```

Machine de Duff (1bis/2)

Technique classique : dérouler la boucle

```
send(int *to, int *from, int count)
{
      register n=(count+7)/8;
      do{
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
        *to++ = *from++;
      }while(--n>0);
    }
}
```

Pb : la taille du tableau doit être un multiple de 8...

Machine de Duff (2/2) : la solution

```
send(int *to, int *from, int count)
{
    register n=(count+7)/8;
    switch(count%8){
        case 0: do{ *to++ = *from++;
        case 7:  *to++ = *from++;
        case 6:  *to++ = *from++;
        case 5:  *to++ = *from++;
        case 4:  *to++ = *from++;
        case 3:  *to++ = *from++;
        case 2:  *to++ = *from++;
        case 1:  *to++ = *from++;
                  }while(--n>0);
    }
}
```

http://www.lysator.liu.se/c/duffs-device.html

Contiki 2.x protothread example

```
#define PT_WAIT_UNTIL(pt, condition)    \
  do {                                  \
    LC_SET((pt)->lc);                   \
    if(!(condition)) {                  \
      return PT_WAITING;                \
    }                                   \
  } while(0)
static PT_THREAD(thread_periodic_send(struct pt *pt))  {
    PT_BEGIN(pt);
    while(1)  {
        TIMER_RADIO_SEND = 0;
        PT_WAIT_UNTIL(pt, node_id != NODE_ID_UNDEFINED &&
                  timer_reached( TIMER_RADIO_SEND, 1000));
        send_temperature();
    }
    PT_END(pt);
}
```

Protothread Adam Dunkel : lc-switch.h

```
#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) }
```

Protothread Adam Dunkel : pt.h

```
#include "lc.h"

typedef unsigned short lc_t;
struct pt {
  lc_t lc;
};
#define PT_INIT(pt)   LC_INIT((pt)->lc)
#define PT_THREAD(name_args) char name_args
#define PT_BEGIN(pt) { char PT_YIELD_FLAG = 1;
LC_RESUME((pt)->lc)

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

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