HAL - registers
Couches basses du noyau

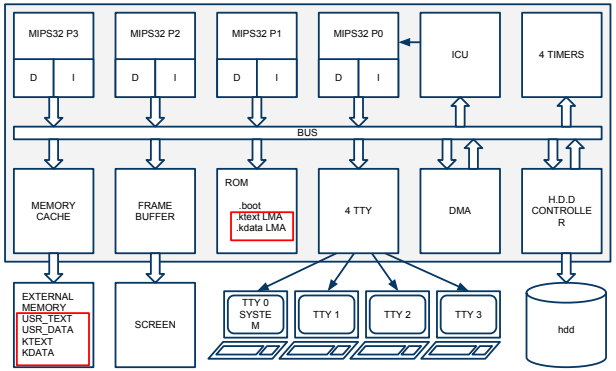
MI074 - 4

Organisation du système

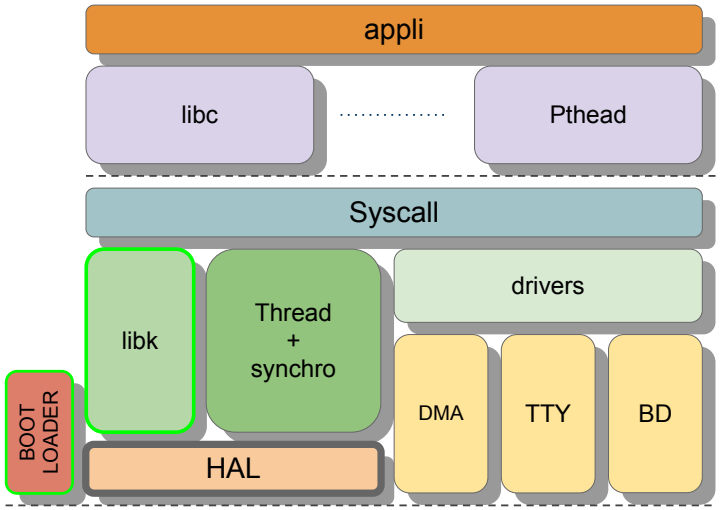
```
|-- Makefile
|-- etc
|-- include
|-- lib
|-- src_usr          --› les librairies utilisateurs
|   |-- Makefile
|   |-- build
|   |-- crt0
|   |-- libpthread
|   `-- libc
`-- src_sys          --› kernel-soclib.bin
    |-- Makefile
    |-- build
    |-- arch
    |   `-- soclib
    |-- cpu
    |   `-- mipsel
    |-- kernel
    `-- libk
```

Retour sur le bootloader

Le travail du bootloader permet d'exécuter le code du noyau dans ktext et d'avoir ses données dans kdata.



Architecture de l'OS final



HAL : Hardware Abstraction Layer

(selon wikipedia)

La couche d'abstraction matérielle (Hardware Abstraction Layer ou HAL) est une spécification et un utilitaire logiciel qui *traque* les périphériques du système informatique.

Le but du HAL est d'éviter aux développeurs d'implémenter manuellement le code spécifique à un périphérique. À la place, ils peuvent utiliser une couche connectable qui fournit des informations à propos du dit périphérique, tel que cela se passe par exemple lorsqu'un utilisateur branche ou débranche un périphérique USB.

Cette couche implémente un certain nombre de fonctions spécifiques au matériel : interfaces d'entrées-sorties, contrôleur d'interruptions, caches matériels, mécanismes de communication multiprocesseur... Elle isole ainsi le noyau du système des spécificités des plates-formes matérielles.

Organisation du code du système

```
|-- arch          HAL architecture
|   `-- soclib      spécifique à la plateforme (p.ex. segmention.h)
|                     et les drivers des periphériques
|
|-- cpu           HAL processeur
|   `-- mipsel      spécifique au mips (p.ex. accès registres)
|
|-- kernel        code du noyau
|
`-- libk          bibliothèque C pour le noyau
                  str..., malloc, etc.
```

Notes: dans linux

arch	contient le code spécifique au CPU
drivers	contient le code de la plateforme et les drivers
mm	contient le gestionnaire de mémoire du noyau

HAL : Hardware Abstraction Layer

Une HAL est définie par un ensemble de structures de données et de fonctions qui permettent au noyau d'accéder au matériel de manière uniforme indépendamment du matériel réel.

La HAL est défini à travers plusieurs interfaces

- Interface Kernel avec le CPU
- Interface Kernel avec la plateforme
- Interface Kernel avec les périphériques

Nous allons voir d'abord l'interface CPU puis
les interfaces la plateforme et les périphérique au prochain cours

HAL : CPU et ARCH

- L'interface de la HAL est présente dans 2 .h dans le répertoire kernel.

- Puisque la plupart des services sont courts, ils sont décrits dans des fonctions inlinées, donc dans un .h et pas dans .c

- dans kernel, on a :
  hal_cpu.h et hal_arch.h
  qui inclue le fichier présent dans cpu/mipsel
  hal_cpu_code.h
  et le fichier présent dans arch/soclib
  hal_arch_code.h

- C'est dans le Makefile en fonction des paramètres CPU et ARCH que l'on indique quel hal_cpu_code.h ou hal_arch_code inclure.

HAL-ARCH

Opérations atomiques et lock
Utilise le service offert par le processeur s'il existe
ou un périphérique
ou ...

Initialisation de l'architecture
initialisation des pilotes de périphérique

Accès à la console
Pour pouvoir afficher des messages alors que le système n'est pas installé

Declaration des pilotes
Déclare tous les types de péripériques que sait gérer l'OS

HAL-CPU

Registres spéciaux
numéro de proc, timestamp, numéro thread

Irq du CPU
masquage, démasquage.

Opérations atomiques et lock
addition, trylock, lock, unlock, ...

Contexte du processeur
création, destruction, chargement, sauvegarde.

Caches
invalidation de ligne de cache data

HAL-CPU : Registres spéciaux

dans hal-cpu.h

- static inline unsigned cpu_get_id(void);
- static inline unsigned cpu_time_stamp(void);
- static inline struct thread_s * cpu_current_thread(void);
- static inline void cpu_set_current_thread(struct thread_s * thread);

dans hal-cpu-code.h

```
static inline unsigned cpu_get_id(void)
{
    register unsigned proc_id;
    asm volatile ("mfc0  %0, $0":"=r" (proc_id));
    return proc_id;
}
static inline unsigned cpu_time_stamp(void)
{
    register unsigned cycles;
    asm volatile ("mfc0  %0, $9":"=r" (cycles));
    return cycles;
}
static inline struct thread_s *cpu_current_thread(void)
{
    register void *thread;
    asm volatile ("mfc0 %0, $4, 2":"=r" (thread));
    return thread;
}
static inline void cpu_set_current_thread(struct thread_s *thread)
{
    asm volatile ("mtc0 %0, $4, 2"::"r" (thread));
}
```

HAL-CPU : IRQ

register/enable/disable/restore

dans hal-cpu.h

- static inline void cpu_disable_single_irq(unsigned irq_num, unsigned * old);
- static inline void cpu_enable_single_irq(unsigned irq_num, unsigned * old);
- static inline void cpu_disable_all_irq(unsigned * old);
- static inline void cpu_enable_all_irq(unsigned * old);
- static inline void cpu_restore_irq(unsigned old);

Notez que seules les interruptions du CPU nous interresse ici. Les interruptions qui passe par l'ICU seront abstraites dans l'architecture.

HAL-CPU : Spinlock

trylock/unlock/init

Attente actives dans hal-cpu.h

- static inline bool cpu_spin_trylock(unsigned *lock);
- static inline void cpu_spin_lock(unsigned *lock);
- static inline void cpu_spin_unlock(unsigned *lock);
- static inline void cpu_spin_init(unsigned *lock);
- static inline void cpu_spin_destroy(unsigned *lock);

Dans notre cas seule la première fonction est délicate puisqu'elle utilise du code assembleur et les instruction ll et sc.

- static inline bool cpu_atomic_add(unsigned *pt, int val);

```
static inline void cpu_spin_init(uint_t * lock)
{
    __asm__ volatile (
        "sync             \n" // to be sure that previous store are acheived
        "sw $0, (%0)      \n" // unlock
        "sync             \n" // to empty the write buffer
        ::"r" (lock));
}
static inline bool_t cpu_spin_trylock(uint_t * lock)
{
    register bool_t state;
    __asm__ volatile (
        ".set noreorder   \n" // do not modify the sequence
        "lw    %0, (%1)   \n" // load lock state
        "bnez  %0, 32     \n" // forgive whenever lock is busy (i.e. != 0)
        "nop              \n" // delayed slot
        "ll    %0, (%1)   \n" // load lock value in %0 and try to register in memory at %1
        "nop              \n" // delayed slot
        "bnez  %0, 16     \n" // forgive whenever lock is busy
        "ori   %0, 1      \n" // preload 1
        "sc    %0, (%1)   \n" // sc returns in %0 <- 1 if free, 0 if busy
        "nop              \n" // delayed slot
        "xori  %0, %0,  1 \n" // trylock returns 0 if free, 1 if busy
        ".set  reorder    \n" // return to normal mode
        :"=r" (state)
        :"r" (lock));
    return state;
}
static inline void cpu_spin_lock(uint_t * lock) {
    while ((cpu_spinlock_trylock(lock)));
}
static inline void cpu_spin_unlock(uint_t * lock) {
    cpu_spinlock_init(lock);
}
static inline void cpu_spin_destroy(uint_t * lock){}
```

HAL-CPU: redéfinition des types entier

http://en.wikipedia.org/wiki/C_data_types

- Tous les processeurs n'ont pas la même largeur de mot, donc la largeur des types entiers dépend du CPU (16/32/64)
  - int : mot machine
  - long : 4 octets
- La règle est que char ≤ short ≤ int ≤ long ≤ long long
- Il faut rédéfinir les types standards dans cpu/mipsel : stdint.h
  N=8 | 16 | 32 | 64
- Les types sont définis dans **stdint.h**

Type category	Signed types			Unsigned types		
	Type	Minimum value	Maximum value	Type	Minimum value	Maximum value
Exact width	intN_t	INTN_MIN	INTN_MAX	uintN_t	0	UINTN_MAX

HAL-CPU: redéfinition des types entier

```
#ifndef _STDINT_H_
#define _STDINT_H_

#ifndef NULL
#define NULL (void*)0
#endif

typedef unsigned long long uint64_t;
typedef unsigned int       uint32_t;
typedef unsigned short     uint16_t;
typedef unsigned char      uint8_t;

typedef long long          int64_t;
typedef int                int32_t;
typedef short              int16_t;
typedef char               int8_t;

typedef unsigned int       size_t;
typedef int                ssize_t;

// plutot dans stdbool.h
typedef unsigned char      bool
```

```
#undef  __SCHAR_MAX__
#define __SCHAR_MAX__    127

#undef  __SHRT_MAX__
#define __SHRT_MAX__     32767

#undef  __INT_MAX__
#define __INT_MAX__      2147483647

#undef  __LONG_MAX__
#define __LONG_MAX__     2147483647L

#undef  __LONG_LONG_MAX__
#define __LONG_LONG_MAX__ \
 9223372036854775807L

#define true 1
#define false 0

#endif
```

kentry : l'entrée du système

- On entre dans le système à la suite de 3 événements:
  1. une interruption provenant d'un périphérique.
  2. une exception détectée par le matériel
  3. une demande de service par l'utilisateur
- Pour le moment, on ne va traiter que les deux premiers
- L'entrée du système est à l'adresse kentry
  Le code est spécifique au CPU

kentry : comportement

Dans les cas 1. et 2. l'entrée est imprévisible,
Dans le cas 3. il est prévu

kentry:
test de la cause d'appel
si c'est un **appel système alors**
on change de pile et on appelle la fonction **__do_syscall**
sinon si c'est une **interruption alors**
si on est en mode user **alors** on change de pile **fsi**
on sauve les registres "temporaires" et on appelle la fonction **__do_interrupt**
sinon
on sauve tous les registres et on appelle **__do_exception**
fsi

```
#include <mips_regs.h>
#-----------------------------------------------------------------------------
---
# Kernel entry point (Exception/Interrupt/System call) for MIPS32 ISA
compliant
# processors. The base address of the segment containing this code
#-----------------------------------------------------------------------------
---
     .section   .kentry,"ax",@progbits
     .extern    __do_interrupt
     .extern    __do_exception
     .ent       kentry
     .set       noat
     .set       noreorder
     .org       0x180

#number of arguments of called functions
#define NBA         2

# Kernel Entry point
#-----------------------------------------------------------------------------
---
kentry:
    # alloc memory in stack to be able to save all registers
    addiu   $29,    $29,    -(SAVE_REG_NB+NBA)*4  # max registers to save +
args

    # just save temporary registers
    sw      $1,     (NBA+AT)*4($29)
    sw      $2,     (NBA+V0)*4($29)
    sw      $3,     (NBA+V1)*4($29)
    sw      $4,     (NBA+A0)*4($29)
    sw      $5,     (NBA+A1)*4($29)
    sw      $6,     (NBA+A2)*4($29)
    sw      $7,     (NBA+A3)*4($29)
    sw      $8,     (NBA+T0)*4($29)
    sw      $9,     (NBA+T1)*4($29)
    sw      $10,    (NBA+T2)*4($29)
    sw      $11,    (NBA+T3)*4($29)
    sw      $12,    (NBA+T4)*4($29)
    sw      $13,    (NBA+T5)*4($29)
    sw      $14,    (NBA+T6)*4($29)
    sw      $15,    (NBA+T7)*4($29)
    sw      $24,    (NBA+T8)*4($29)
    sw      $25,    (NBA+T9)*4($29)
    sw      $28,    (NBA+GP)*4($29)
    sw      $31,    (NBA+RA)*4($29)
    mflo    $1
    mfhi    $2
    mfc0    $3,     $14                 # Read EPC
    mfc0    $5,     $13                 # read CR (used later)
    sw      $1,     (NBA+LO)*4($29)
    sw      $2,     (NBA+HI)*4($29)
    sw      $3,     (NBA+EPC)*4($29)    # Save EPC

    # test cause register jump to cause int if it is an interrupt

# Exception
# ---------------------------------------------

    # since this is an exception, save all the remaining registers
    mfc0    $1,     $12                 # Read current SR (used later)
    addiu   $2,     $29,    (SAVE_REG_NB+NBA)*4
    sw      $1,     (NBA+SR)*4($29)     # Save SR
    sw      $2,     (NBA+SP)*4($29)
    sw      $5,     (NBA+CR)*4($29)
    sw      $16,    (NBA+S0)*4($29)
    sw      $17,    (NBA+S1)*4($29)
    sw      $18,    (NBA+S2)*4($29)
    sw      $19,    (NBA+S3)*4($29)
    sw      $20,    (NBA+S4)*4($29)
    sw      $21,    (NBA+S5)*4($29)
    sw      $22,    (NBA+S6)*4($29)
    sw      $23,    (NBA+S7)*4($29)
    sw      $30,    (NBA+S8)*4($29)

    # call function __do_exception( cpu_id, regs_table)
    la      $27,    __do_exception
    or      $5,     $0,     $29     # regs_tbl, 2th arg
    jr      $27
    addiu   $5,     $5,     NBA*4

# Interrupt
# ---------------------------------------------
cause_int:

    # call function __do_interrupt(cpu_id, irq_state)
    la      $27,    __do_interrupt
    srl     $5,     $5,     10      # extract irq state
    jal     $27
    andi    $5,     $5,     0x3F    # 6 HW IRQ LINES, 2th arg is
irq_state
```

```
#ifndef _MIPS_REGS_H_
#define _MIPS_REGS_H_

#define     AT          0
#define     V0          1
#define     V1          2
#define     A0          3
#define     A1          4
#define     A2          5
#define     A3          6
#define     T0          7
#define     T1          8
#define     T2          9
#define     T3          10
#define     T4          11
#define     T5          12
#define     T6          13
#define     T7          14
#define     T8          15
#define     LO          16
#define     T9          17
#define     SR          18
#define     HI          19
#define     RA          20
#define     EPC         21
#define     GP          22
#define     S0          23
#define     S1          24
#define     S2          25
#define     S3          26
#define     S4          27
#define     S5          28
#define     S6          29
#define     S7          30
#define     CR          31
#define     SP          32
#define     S8          33
#define     SAVE_REG_NB 34

#endif
```

```
# Kentry exit
# ---------------------------------------------

    # only restore temporary register
    lw      $1,     (NBA+LO)*4($29)
    lw      $2,     (NBA+HI)*4($29)
    lw      $3,     (NBA+EPC)*4($29)
    mtlo    $1
    mthi    $2
    mtc0    $3,     $14
    lw      $1,     (NBA+AT)*4($29)
    lw      $2,     (NBA+V0)*4($29)
    lw      $3,     (NBA+V1)*4($29)
    lw      $4,     (NBA+A0)*4($29)
    lw      $5,     (NBA+A1)*4($29)
    lw      $6,     (NBA+A2)*4($29)
    lw      $7,     (NBA+A3)*4($29)
    lw      $8,     (NBA+T0)*4($29)
    lw      $9,     (NBA+T1)*4($29)
    lw      $10,    (NBA+T2)*4($29)
    lw      $11,    (NBA+T3)*4($29)
    lw      $12,    (NBA+T4)*4($29)
    lw      $13,    (NBA+T5)*4($29)
    lw      $14,    (NBA+T6)*4($29)
    lw      $15,    (NBA+T7)*4($29)
    lw      $24,    (NBA+T8)*4($29)
    lw      $25,    (NBA+T9)*4($29)
    lw      $30,    (NBA+GP)*4($29)
    lw      $31,    (NBA+RA)*4($29)

    addiu   $29,    $29,    (SAVE_REG_NB+NBA)  # max registers to save +
args
    eret

    .set reorder
    .set at
    .end kentry
#-----------------------------------------------------------------------------
---
```

Scénario

- Après le boot tous les processeurs démarrent __do_init().
- *Un processeur va être chargé de demander l'initialisation de l'architecture avec la fonction arch_init() puis d'initialiser les structures du noyau et de créer les threads de départ.*
- Nous allons nous intéresser à ce processeur de démarrage. Les autres vont rester en attente.
- Pour le TME à venir nous allons donc
  - organiser le code dans les répertoires
  - changer le Makefile en conséquence
  - compléter la HAL incomplete
  - compléter le kentry
  - traiter la première interruption

Makefile encore temporaire

```
KERNEL      = kernel-soclib.bin
ARCH        = soclib
CPU         = mipsel

SYS_DIR     = src_sys
SRC_SUBDIR  = cpu/$(CPU) arch/$(ARCH) kernel libk drivers
BUILD_DIR   ?= build
SIM_DIR     ?= ../../bin

#-------------------------------------------------------------------------------
SRC_DIR     = $(addprefix $(SYS_DIR)/,$(SRC_SUBDIR))
INCLUDE     = $(foreach d,$(SRC_DIR),$(wildcard $(d)/*.h))
SRC_C       = $(foreach d,$(SRC_DIR),$(wildcard $(d)/*.c))
SRC_S       = $(foreach d,$(SRC_DIR),$(wildcard $(d)/*.S))

I_INC       = $(addprefix -I,$(SRC_DIR))
KOBJ_C      = $(addprefix $(BUILD_DIR)/,$(notdir $(SRC_C:%.c=%.o)))
KOBJ_S      = $(addprefix $(BUILD_DIR)/,$(notdir $(SRC_S:%.S=%.o)))

#-------------------------------------------------------------------------------
CCTOOLS     ?=
CC          = $(CCTOOLS)/bin/$(CPU)-unknown-elf-gcc
LD          = $(CCTOOLS)/bin/$(CPU)-unknown-elf-ld
OD          = $(CCTOOLS)/bin/$(CPU)-unknown-elf-objdump
RM          = /bin/rm
SIMUL       = $(SIM_DIR)/simulation_trace.x
SIMUL       = $(SIM_DIR)/simulation.x

CFLAGS      = $(I_INC) -fno-builtin -fomit-frame-pointer -O3 -G0 -Wall -Werror -mips32r2
CFLAGS      += -std=c99
LDFLAGS     =
TRASH       = /dev/null||true
```

```
#-------------------------------------------------------------------------------
.PHONY      : clean realclean simul pdf depend

all     : depend $(SIM_DIR)/$(KERNEL)

$(SIM_DIR)/$(KERNEL)   : $(KOBJ_S) $(KOBJ_C) $(BUILD_DIR)/kldscript
    echo [LD] $@;\
    $(LD) -o $@ $(KOBJ_S) $(KOBJ_C) $(LDFLAGS) -T$(BUILD_DIR)/kldscript;\
    $(OD) $@ -D > $@.dump

$(BUILD_DIR)/kldscript : $(SYS_DIR)/arch/$(ARCH)/kldscript.h $(SYS_DIR)/arch/$(ARCH)
/segmentation.h
    echo [CP] `basename $@`;\
    cpp $< | egrep -v "#|//" | grep . > $@

clean:
    $(RM) vcitty* *.bak $(BUILD_DIR)/* *.pdf \
          .DS_Store */.DS_Store */*/.DS_Store */*/*/.DS_Store \
          *~ */*~ */*/*~ */*/*/*~ *.dump tags
          #2> $(TRASH)

realclean: clean
    $(RM) $(KERNEL)

simul: $(KERNEL)
    $(SIMUL)

pdf:
    echo [LP] `basename $$PWD`.pdf;\
    a2ps -1 --medium=A4 --file-align=fill -o - -l100 \
       Makefile $(INCLUDE) $(SRC_S) $(SRC_C) |\
    ps2pdf -sPAPERSIZE=a4 - `basename $$PWD`.pdf
```

```
#-------------------------------------------------------------------------------
$(BUILD_DIR)/%.o: */*/*/%.c     ; echo [CC] $*.o;$(CC) $(CFLAGS) -c $< -o $@
$(BUILD_DIR)/%.o: */*/%.c  ; echo [CC] $*.o;$(CC) $(CFLAGS) -c $< -o $@
$(BUILD_DIR)/%.o: */*/*/%.S     ; echo [CC] $*.o;$(CC) $(CFLAGS) -c $< -o $@

depend:
    ctags -w $(INCLUDE) $(SRC_C) $(SRC_S)                                          ;\
    awk '(NR==1),/^\t*# .* AUTOMATIC DEPENDANCIES/' Makefile                       |\
    grep -v "^[ \t]*# .* AUTOMATIC DEPENDANCIES"                    > Makefile.new ;\
    echo "# DO NOT DELETE THIS LINE : AUTOMATIC DEPENDANCIES"       >> Makefile.new ;\
    gcc -MM $(I_INC) $(SRC_C) $(SRC_S)|sed 's/^\([^ ]\)/$$(BUILD_DIR)\/\1/' >> Makefile.new ;\
    mv Makefile.new Makefile
# DO NOT DELETE THIS LINE : AUTOMATIC DEPENDANCIES
```