Électronique numérique

J.-M Friedt

FEMTO-ST/département temps-fréquence

jmfriedt@femto-st.fr

transparents à `jmfriedt.free.fr`

26 janvier 2018

Plan des interventions :

6 cours/TD :

1. Électronique numérique et conception du circuit
   aspects analogiques, consommation électrique, lecture de datasheet
   Survol des divers périphériques qui seront abordés (RS232, SPI, timer, ADC)
   représentation des données (tailles/encodage), masques, architecture
2. Rappel des bases du C :
   Présentation du compilateur gcc, pointeurs, étapes de compilation
3. Fonctionnement du compilateur (optimisations)
4. Compilation séparée, passages de paramètres, bus de communication série, synchrone/asynchrone
5. bibliothèques
   libopencm3, newlib & stubs, ressources requises par les bibliothèques

---

6. méthodes de développement séparant algorithmique et bas niveau
   timer, gestion des horloges du STM32, ADC
   portabilité et test du code sur PC, arithmétique sur systèmes embarqués

4 TP :

1. commandes de base sous unix & compilateur C
2. prise en main du microcontrôleur STM32 : horloges, UART, SPI
3. timer, conversion analogique numérique et exploitation des données
4. caractérisation du microsystème

Compiler son compilateur

Une chaîne de compilation nécessite

1. le compilateur (`gcc`)
2. les outils pour convertir les divers formats de fichiers (`binutils`)
3. les **bibliothèques** (`newlib`)

+ debugger (`gdb`) + outils de programmation du microcontrôleur (`avrdude`, `stm32flash`, `dfu-programmer` ...)

```
configure --target=arm-none-eabi --prefix=${HOME}/sat
```

Automatiser ce processus dans un script pour générer un ensemble "cohérent" d'outils [1] :
`https://github.com/jmfriedt/summon-arm-toolchain.git`

1. explication de son utilisation à `http://jmfriedt.free.fr/summon_arm.pdf`

newlib

Implication de la bibliothèque de **calculs flottants** :

toujours en thumb :	sans stdio, avec une division flottante	12950
	sans stdio, avec atan sur flottant	17090
	avec stdio, avec une division flottante	80397
	avec stdio, avec atan sur flottant	80397

Thumb est un sous-ensemble d'instructions pour processeur ARM codé sur 16 bits au lieu de 32 bits [2]

Diverses implémentations libres des bibliothèques standard du C :

- glibc (`http://www.gnu.org/software/libc/`, utilisée par le noyau Linux) ...
- ... et eglibc (*embedded* glibc, `http://www.eglibc.org/home`) ont fusionné,
- uClibc (`http://www.uclibc.org/`, utilisée par uClinux),

2. J.-M Friedt, É. Carry, *Développement sur processeur à base de cœur ARM7 sous GNU/Linux*, GNU/Linux Magazine France **117** (Juin 2009), pp.40-59

Le problème ...

Dans un programme en C, l'appel à `malloc()` se traduit par une erreur à l'édition de liens

```
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-sbrkr.o): In function ‘_sbrk_r’:
newlib/libc/reent/sbrkr.c:58: undefined reference to ‘_sbrk’
```

Idem pour `printf()`

```
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-sbrkr.o): In function ‘_sbrk_r’:
newlib/libc/reent/sbrkr.c:58: undefined reference to ‘_sbrk’
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-writer.o): In function ‘_write_r’:
newlib/libc/reent/writer.c:58: undefined reference to ‘_write’
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-closer.o): In function ‘_close_r’:
newlib/libc/reent/closer.c:53: undefined reference to ‘_close’
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-fstatr.o): In function ‘_fstat_r’:
newlib/libc/reent/fstatr.c:62: undefined reference to ‘_fstat’
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-isattyr.o): In function ‘_isatty_r’
newlib/libc/reent/isattyr.c:58: undefined reference to ‘_isatty’
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-lseekr.o): In function ‘_lseek_r’:
newlib/libc/reent/lseekr.c:58: undefined reference to ‘_lseek’
arm-none-eabi/lib/thumb/cortex-m3/libc.a(lib_a-readr.o): In function ‘_read_r’:
newlib/libc/reent/readr.c:58: undefined reference to ‘_read’
```

Exploitation d'une bibliothèque – `newlib`

`https://sourceware.org/newlib/libc.html#Stubs` : 17 stubs, colle entre `newlib` et nos programmes[3].

- **_exit** : quitter un programme sans fermer les fichiers ouverts
- environ :
- execve :
- fork :
- fstat :
- getpid :
- isatty :
- kill :
- link :
- lseek :
- open :
- **read** : lire depuis un fichier
- sbrk : *utilisé par* `malloc`
- stat :
- times :
- unlink :
- wait :
- **write** : écrire dans un fichier, incluant stdout

3. `http://wiki.osdev.org/Porting_Newlib`

Exploitation d'une bibliothèque – newlib

Exemple d'implémentation (envoyer stdio sur port série)

```
_ssize_t _read_r(struct _reent *r, int file, void *ptr, size_t len)
{char c; int  i; unsigned char *p;
 p = (unsigned char*)ptr;
 for (i = 0; i < len; i++)
   {while ( global_index == 0) {} //  !uart0_kbhit() ) ;
    c = global_tab[0]; global_index=0; // (char) uart0_getc();
    if (c == 0x0D) {*p='\0'; break;}
    *p++ = c; jmf_putchar(c,NULL,0,0);
   }
 return len - i;
}

_ssize_t _write_r ( struct _reent *r, int file, const void *ptr, size_t len)
{int i; const unsigned char *p;
 p = (const unsigned char*) ptr;
 for (i = 0; i < len; i++)
    {if (*p == '\n' ) jmf_putchar('\r',NULL,0,0);
     jmf_putchar(*p++,NULL,0,0);
    }
 return len;
}

void jmf_putchar (int a,char *chaine, int* chaine_index,int USARTx)
{ if (chaine != NULL) {chaine[*chaine_index]=a;*chaine_index=*chaine_index+1;}
  else {if (usart_port==1)
         {USART_SendData (USART1, a);
          while(USART_GetFlagStatus(USART1, USART_FLAG_TC) == RESET) { ; }
         }
        else
         {USART_SendData (USART2, a);
          while(USART_GetFlagStatus(USART2, USART_FLAG_TC) == RESET) { ; }
         }
    }
}
```

Démonstration

```
#ifdef use_stdio
  for (tempe=1;tempe<10;tempe++) {mf=mf*lf;}
  printf("\n+mf=%d\n",(int)mf);

  t=(char*)malloc(200); // malloc requiert _sbrk
  printf("^%x\n^%x\n",(int)t[0],t[199]);
  memset(t,0x55,200);
  printf("^%x\n^%x\n",(int)t[0],t[199]);
#endif

  while (1)
  {
#ifndef use_stdio
   put_chars(welcome);
#else
   printf("%s",welcome);
#endif
   if (i<10) put_char(USART1,i+'0');
        else put_char(USART1,i+'A'-10);
   i++;if (i==16) i=0;
...
```

Démonstration

Compromis entre temps de développement, fonctionnalités et occupation de ressources

```
3240  main.bin
31824 main_stdio.bin
```

Ici, affichage par `printf()`, allocation de mémoire par `malloc()`, calculs flottants

Un émulateur pour tester ses programmes en l'absence du matériel :
`https://github.com/beckus/qemu_stm32`

```
qemu-system-arm -M stm32-p103 -serial stdio -serial stdio -kernel main.bin
```

suppose néanmoins une implémentation "correcte" des périphériques.

`simavr` pour Atmega32U**2**

Conception de logiciels

1. Séparer le code lié au matériel (initialisation et accès aux ressources matérielles) de l'algorithmique
2. Compilation séparée : choisir une implémentation du matériel ou une émulation logicielle (gcc supporte une multitude de plateformes)
3. Permet de tester son code sur PC avant de le porter au microcontrôleur (simulation de diverses conditions matérielles) – test automatique, en particulier de cas pathologiques
4. Exploitation d'un simulateur pour connaître l'état interne de la machine qui séquence le code
5. qemu pour un grand nombre de plateformes, `simavr` pour Atmega32U**2**

```
unsigned short interroge (unsigned short puissance, unsigned int freq,unsig
{ unsigned int v12;
  FTW0[1] = (freq & 0xFF000000) >> 24;
  FTW0[2] = (freq & 0xFF0000) >> 16;
  FTW0[3] = (freq & 0xFF00) >> 8;
  FTW0[4] = (freq & 0xFF);
[...]
  v12 = readADC12 ();
  readerF2_CLR;                          // coupe reception
  TIM_ITConfig (TIM3, TIM_IT_Update, ENABLE);
  return (v&0x03F);
```

Conception de logiciels

1. Séparer le code lié au matériel (initialisation et accès aux ressources matérielles) de l'algorithmique
2. Compilation séparée : choisir une implémentation du matériel ou une émulation logicielle (gcc supporte une multitude de plateformes)
3. Permet de tester son code sur PC avant de le porter au microcontrôleur (simulation de diverses conditions matérielles) – test automatique, en particulier de cas pathologiques
4. Exploitation d'un simulateur pour connaître l'état interne de la machine qui séquence le code
5. qemu pour un grand nombre de plateformes, `simavr` pour Atmega32U**2**

```
unsigned short interroge(unsigned short puissance,unsigned int freq, \
  __attribute__((unused))unsigned int offset,__attribute__((unused))unsigne
{float reponse;
 reponse =exp(-(((float)freq-f01)/df)*(((float)freq-f01)/df))*3100.;
 reponse+=exp(-(((float)freq-f02)/df)*(((float)freq-f02)/df))*3100.;
 reponse+=(float)((rand()-RAND_MAX/2)/bruit); // ajout du bruit;
 if (reponse<0.) reponse=0.;
 if (reponse>4095.) reponse=4095.;
 usleep(60);
 return((unsigned short)reponse);
}
```

Cas des interruptions

Version PC

```
void handle_alarm(int xxx)
{ //  printf("RTC : %d %d %d\n",seconde,→
      ↪minute,heure);
  tim0+=10;
  seconde+=10;
  if (seconde>600){minute++;seconde=0;}
  if (minute>60) {heure++;minute=0;}
  alarm(1);
}

void handle_io(int xxx)
{ // io_happened=1;
  global_tab[global_index] = getchar ();
  if (global_index < (NB_CHARS - 1))
     global_index++;
}

int main() {
  signal(SIGALRM, handle_alarm);

  io_happened=0;
  struct termios buf;
  tcgetattr(0, &buf);
  buf.c_lflag &= ~(ECHO | ICANON);
  buf.c_cc[VMIN]=1;
  buf.c_cc[VTIME]=0;
  tcsetattr(0, TCSAFLUSH, &buf);
  signal(SIGIO, handle_io);
    int savedflags=fcntl(0, F_GETFL, 0);
  fcntl(0, F_SETFL, savedflags | O_ASYNC | →
       ↪O_NONBLOCK );
  fcntl(0, F_SETOWN, getpid());
  alarm(1);  // si on veut simuler le timeout
}
```

Version microcontroleur

```
void tim3_isr(void)  // VERSION LIBOPENCM3
{
 if (TIM_GetITStatus(TIM3,TIM_IT_Update)!=→
      ↪RESET)
  {TIM_ClearITPendingBit(TIM3,TIM_IT_Update);
   tim0++;
   seconde++;          // seconde en 1/10 →
        ↪seconde
   if (seconde > 600)
     {seconde = 0;minute++;}
  if (minute > 60)
     {minute = 0;heure++;}
  if (heure > 24)
     {heure = 0;}
  }
}

void usart1_isr(void)
{
  if( USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE→
       ↪))
    {USART_ClearITPendingBit(USART1,→
         ↪USART_IT_RXNE);
     USART_ClearFlag(USART1,USART_IT_RXNE);
     {
      global_tab[global_index]=→
           ↪USART_ReceiveData(USART1);
      if (global_index<(NB_CHARS-1)) →
           ↪global_index++;
     }
    }
}
```

Profiter des outils d'analyse de code

`valgrind` pour étudier les fuites de mémoire

```
int main()
{int i[3],k;
 for (k=0;k<10;k++) {i[k]=k;printf("%d ",i[k]);}
}
```

qui s'exécute pour donner `Segmentation fault` ...

... est analysé par `valgrind -q ./mon_programme` et donne

```
==7410==  Access not within mapped region at address 0x2
==7410==    at 0x8048448: main (demo_valgrind.c:5)
```

(noter la différence de comportement en ajoutant `fflush(stdout)` ou `\n` !)

Profiter des outils d'analyse de code

`gprof` pour étudier le temps d'exécution de chaque fonction

```
void fonction1s() {volatile int k;for (k=0;k<0x1000000;k++) {};}
void fonction2s() {volatile int k;for (k=0;k<0x2000000;k++) {};}
void fonction3s() {volatile int k;for (k=0;k<0x3000000;k++) {};}

int main()
{fonction1s();
 fonction2s();
 fonction3s();
}
```

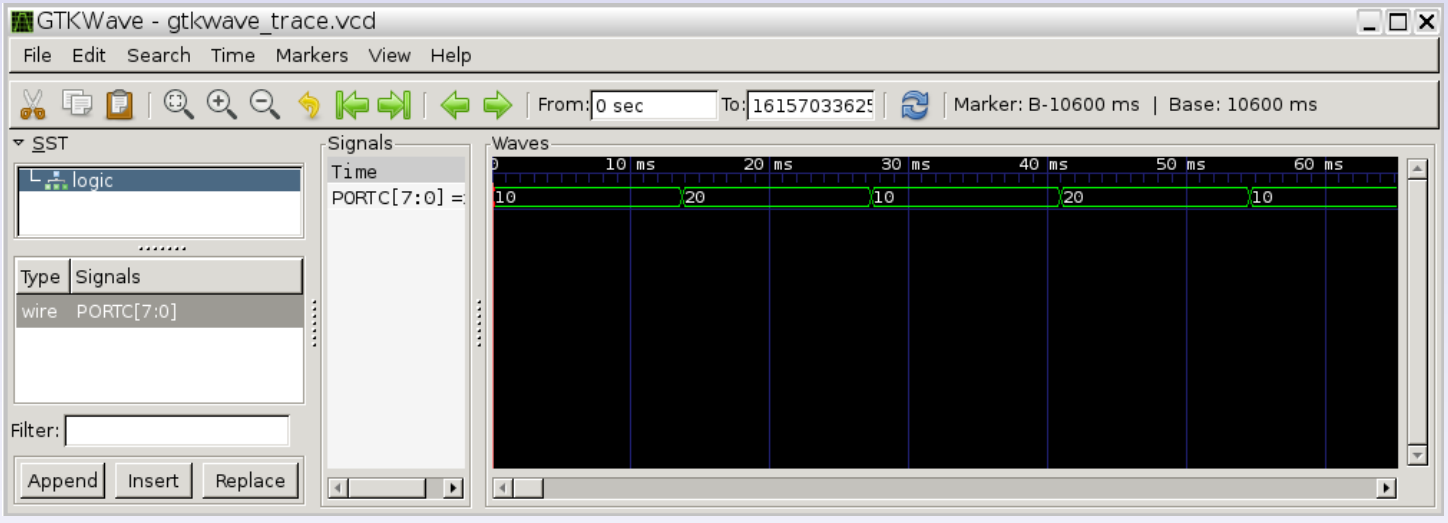
qui se compile avec l'option `-pg` pour générer à l'exécution `gmon.out` ...

... qui s'analyse par `gprof -bp ./mon_programme` et donne

% time	cumulative seconds	self seconds	calls	self ms/call	total ms/call	name
55.56	0.10	0.10	1	100.00	100.00	fonction3s
33.33	0.16	0.06	1	60.00	60.00	fonction2s
11.11	0.18	0.02	1	20.00	20.00	fonction1s

Simulateur

1. Exploitation d'un simulateur pour connaître l'état interne de la machine qui séquence le code
2. `qemu` pour un grand nombre de plateformes, `simavr` pour Atmega32U**2**



Capture d'écran de `gtkwave` utilisé pour afficher l'évolution du port C.

Préfixer son programme des déclarations de simulations :

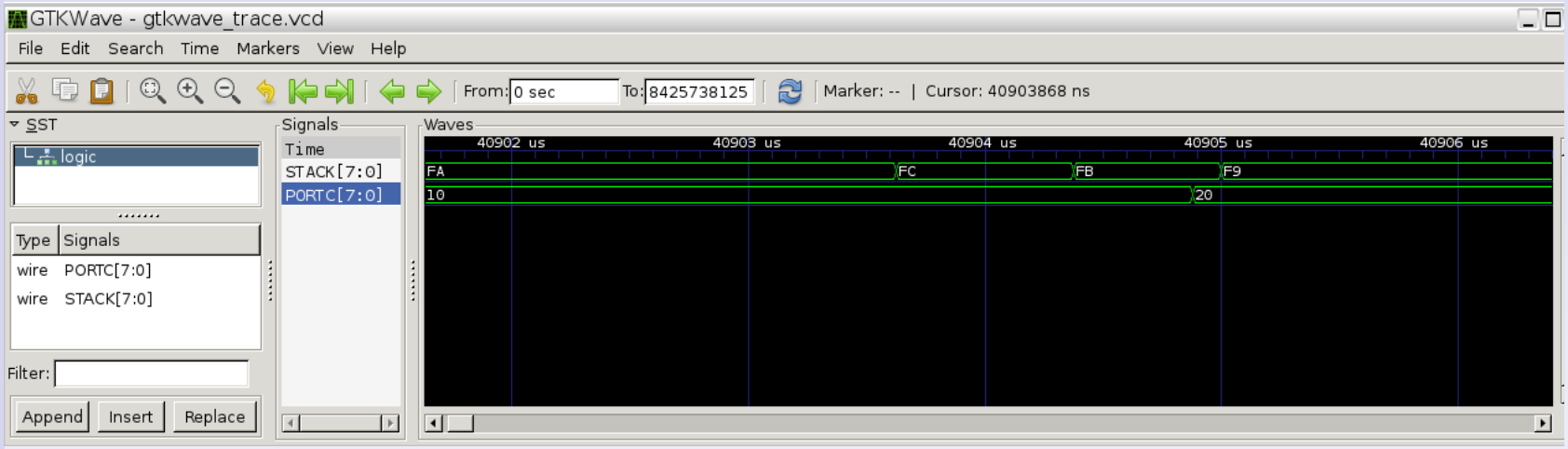
```
#include "avr_mcu_section.h"
AVR_MCU(F_CPU, "atmega32");

const struct avr_mmcu_vcd_trace_t _mytrace[]  _MMCU_ = {
                { AVR_MCU_VCD_SYMBOL("PORTB"), .what = (void*)&PORTB, },
        };

int main {DDRB |=1<<PORTB5; while (1){PORTB^=1<<PORTB5; _delay_ms(1000);}}
```

Simulateur

1. Exploitation d'un simulateur pour connaître l'état interne de la machine qui séquence le code
2. qemu pour un grand nombre de plateformes, `simavr` pour Atmega32U**2**



Capture d'écran de `gtkwave` utilisé pour afficher l'évolution de la pile.

Préfixer son programme des déclarations de simulations :

```
#include "avr_mcu_section.h"
AVR_MCU(F_CPU, "atmega32");

const struct avr_mmcu_vcd_trace_t _mytrace[]  _MMCU_ = {
                { AVR_MCU_VCD_SYMBOL("PORTC"), .what = (void*)(0x28), }, // &PORTC
                { AVR_MCU_VCD_SYMBOL("STACKL"), .what = (void*)(0x5D), }, // stack=0x3{DE}+0→
                    ↪ x20
                { AVR_MCU_VCD_SYMBOL("STACKH"), .what = (void*)(0x5E), }, // stack=0x3{DE}+0→
                    ↪ x20
        };
```

Conclusion

Cette séparation permet

- les outils de profilage et d'analyse de code (`lint`, `valgrind` ...)
- les outils de test unitaire (`cunit`)