Modélisation TLM en SystemC TP n°2 : Intégration du logiciel embarqué

Consignes importantes pour tous les TPs

Rappel : le fichier TP-commun.pdf contient un ensemble de consignes importantes pour les TPs. Respectez ces consignes scrupuleusement pour ne pas perdre de points bêtement.

1 Objectifs

Ce TP s'intéresse à l'intégration du logiciel embarqué au sein d'un SoC. C'est un petit système sur puce, avec le strict minimum pour faire tourner du logiciel non-trivial avec affichage graphique (mais pas d'accélérateur matériel ou de bloc IP exotique). Le logiciel embarqué proposé est un bête affichage d'une image noir et blanc parcourue par une balle bondissante changeant pseudo-aléatoirement de direction et vitesse.

Nous allons expérimenter deux approches en simulation :

La simulation native : le logiciel embarqué sera compilé avec le même compilateur que la plate-forme, et liée comme un morceau de code en C quelconque. Les accès mémoires pertinents du point du vue des composants matériels seront routés sur le bus TLM. Le code embarqué est encapsulé dans un composant TLM appelé « wrapper natif ».

La simulation via ISS: un ISS (*Instruction Set Simulator*), va interpréter directement le code compilé pour le processeur cible (un Microblaze dans notre cas). On utilisera donc la même chaîne de compilation que pour l'intégration du logiciel sur la puce finale (en théorie, le même binaire, au bit près, peut tourner sur ISS et sur puce). Toutes les lectures/écritures faites par l'ISS seront routées sur le bus.

Il n'est pas garanti qu'un logiciel développé sur ISS continuera à tourner en simulation native. Par contre, un logiciel bien écrit et qui marche en simulation native devrait marcher sans modification sur la puce ou en simulation avec ISS (après recompilation bien entendu).

Dans les deux cas, la plateforme sera « loosely timed », c'est à dire que nous nous servons du temps pour faire une simulation raisonnable (par exemple, les timers sont timés correctement, l'ISS est modélisé avec une période qui correspond à la version FGPA), mais nous ne cherchons pas la précision. Par exemple, en simulation native, nous ignorons totalement la notion de temps pour l'exécution du logiciel, le modèle de bus que nous utilisons n'est pas timé, ...

2 Travail attendu et organisation

Pour mémoire, ce TP est, comme le précédent, noté, et doit être fait en $bin\^ome$, mais comme vous êtes 21, il faudra que l'un d'entre vous soit seul! Il compte pour $\frac{2}{3}$ des 50% de la note finale,

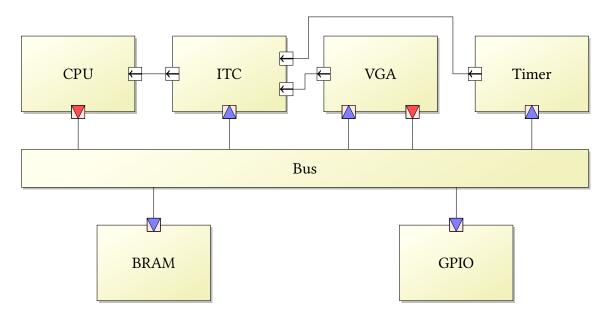


FIGURE 1 - Vue graphique de la plateforme TLM

les 50% autres venant d'un examen papier, calqué sur les précédents. Le rendu attendu est un fichier texte indiquant les membres du binôme et l'url d'un git accessible par moi contenant votre rendu. Attention, le dernier commit pris en compte sera celui de la deadline attendue, le lundi 21 janvier 2019 à 8h00, heure de Grenoble.

Le déroulement des séances que nous vous suggérons est le suivant :

- 1er TP : simulation native fonctionnelle;
- 2nd TP : simulation à l'aide de l'ISS sans les interruptions ;
- 3ème TP : simulation à l'aide de l'ISS avec les interruptions.

Si vous dérivez fortement, nous vous conseillons de travailler entre les séances.

3 La plateforme

Les détails non-pertinents au niveau TLM sont abstraits, en conséquence la plate-forme TLM équivalente est décrite dans la figure 1.

4 Point de départ

Pour ce TP, on ne réutilisera pas les composants du TP précédent. Récupérer le squelette de plate-forme dans TPs/squelette/tp2 dans votre archive Git.

Le répertoire est organisé en plusieurs sous-répertoires :

hardware/ les modèles des composants matériels de la plateforme.

native-wrapper/ le toplevel (i.e. le fichier sc_main_XXX.cpp contenant la fonction sc_main) et les composants spécifiques au wrapper natif.

iss/ toplevel et composants spécifiques à l'ISS microblaze.

elf-loader/ le chargeur de fichier ELF et ses dépendances. Utilisé par Memory.cpp pour charger le logiciel embarqué au format ELF lorsqu'on fait une simulation avec ISS.

software/ Le logiciel embarqué. Pour nous, il sera très simple : c'est une implantation d'une balle rebondissante qui tient en un seul fichier (main.c).

software/cross/ le nécessaire pour la compilation croisée (cross-compilation) du logiciel embarqué.

software/native/ le nécessaire pour la compilation en wrapper natif.

Pour commencer, on peut essayer :

```
cd native-wrapper
make -k
cd ../iss/
make -k
```

(l'option -k de make permet de ne pas arrêter la compilation à la première erreur rencontrée)

Le premier make va échouer car vous devez définir les règles de compilation pour la version native du logiciel embarqué. Le fichier à modifier est squelette/tp2/software/native/Makefile. Le second make va échouer sur la compilation du logiciel embarqué, mais construit tout de même l'exécutable run.x pour la plateforme. Le fichier à modifier se trouve dans squelette/tp2/software/cross/Makefile. Une fois le TP terminé, les mêmes commandes créeront native-wrapper/run.x et iss/run.x, correspondant aux deux versions de la plate-forme.

La suite du TP aura donc pour objectif de reconstituer les différents points qui manquent pour la compilation et l'exécution de ces deux plate-formes.

5 Compilation pour simulation native

```
cd ../
cd software/native/
cat hal.h
make
```

Peu de choses à faire dans ce répertoire : il manque simplement la règle pour compiler le logiciel embarqué en mode natif. On compilera avec un compilateur C (gcc) et non C++ (g++).

Le fichier hal.h est complet, mais il se contente de rediriger les appels sur des fonctions qui seront implantées dans le wrapper natif (native-wrapper/native_wrapper.cpp).

6 Execution en simulation native

```
cd ../../
cd native-wrapper/
make
```

Pour la simulation native, il reste à implanter le wrapper natif. Il se trouve dans le fichier native_wrapper.cpp. Le squelette est fourni, mais le corps de la plupart des fonctions est vide, à vous d'y mettre ce qu'il faut!

- Les fonctions hal_read32, hal_write32, hal_cpu_relax et hal_wait_for_irq doivent rediriger sur les méthodes correspondantes de NativeWrapper.
- Les méthodes de NativeWrapper doivent être écrites.

Par ailleurs, en exécution native, on peut avoir des problèmes liés au fait que par défaut, SystemC ne laisse pas le temps s'écouler. Une boucle d'attente active (polling) dans le logiciel embarqué va donc figer la simulation (et il y en a une dans main.c!). L'astuce classique consiste à « casser » les boucles d'attente avec un appel à hal_cpu_relax(), qui laisse le temps s'écouler¹.

^{1.} sur la plupart des plate-formes, cette fonction hal_cpu_relax() aurait des choses intéressantes à faire en dehors du contexte de la simulation native, comme diminuer la priorité du processus courant, vider des caches, ... mais ce n'est pas le cas sur notre microblaze sans OS, sans cache, ...

7 Compilation croisée du logiciel embarqué

Le cross-compilateur est disponibles sur les machines de l'Ensimag (si vous avez sourcé le fichier setup-ensimag.sh. Si vous voulez l'installer sur votre propre machine, Xilinx maintient un git pour permettre de le produire par vous même : git clone git://git.xilinx.com/microblaze-gnu.git devrait le faire, et rendez vous sur http://xilinx.wikidot.com/mb-gnu-tools pour la procédure détaillée d'installation. Notez que nous utilisons la version big-endian du cross-compilateur dans la suite.

```
cd software/cross/
ls
make
```

Pour l'instant, le Makefile fourni n'est pas complet : il manque les règles pour compiler, assembler et lier le logiciel embarqué (qui sera le fichier a.out). On compilera le logiciel avec un compilateur C, des macros sont fournies en tête du Makefile pour les noms des commandes. Pour l'édition de liens, on utilise un « linker script », qui donne à l'éditeur de liens les adresses finales des différentes sections et de certains symboles. Le script est dans le fichier software/cross/ldscript, et l'option -T de ld sera nécessaire. Une fois ces règles ajoutées dans le Makefile, les règles make dump.dis et make sections.txt fournissent un résumé « lisible » du fichier compilé.

8 Simulation avec ISS

```
cd ../../
cd iss
make
./run.x
```

La plateforme devrait maintenant compiler et être capable de charger le logiciel embarqué. Parmi les choses qui ont été faites pour vous :

- le composant Memory expose directement son tableau de stockage (champ storage);
- la fonction sc_main() charge directement le logiciel embarqué dans ce tableau, en utilisant le chargeur ELF;
- un ISS microblaze fait partie de la plateforme, il est écrit en C++ (sans SystemC, ni TLM);
- un wrapper pour cet ISS (un composant SystemC, avec interface ensitlm in un port sc_in pour les IRQ, qui fait appel aux méthodes C++ de l'ISS) est partiellement disponible.

Il manque cependant plusieurs choses, que nous allons devoir développer dans les sections suivantes.

8.1 Gestion de la mémoire

- la couche d'abstraction (software/cross/hal.h) n'est pas écrite. Tous les accès mémoires via cette API stopperont la simulation brutalement sur un abort () (dans un premier temps, vous pouvez ignorer la fonction printf());
- l'ISS interprètre toutes les instructions, mais le wrapper permettant d'en faire usage doit être écrit; Lorsque l'ISS demande une lecture ou une écriture, c'est au wrapper de faire l'accès effectif au bus. Il y a 3 types d'accès à implanter : le fetch instruction, les « load » et les « store ». Ils sont identifiés comme tels dans mb_wrapper.cpp. Attention, l'ISS gère en interne les données en big endian, et la plateforme d'exécution est une machine Intel en little-endian, donc le reste de la plateforme s'attend à recevoir des entiers en little-endian. Les macros uint32_machine_to_be et uint32_be_to_machine peuvent aider;

la pile est positionnée, mais pas à une adresse raisonnable. Il faut positionner correctement
 la valeur de _stack_top dans software/cross/ldscript.

8.2 Affichage avec printf

Notre plate-forme a une capacité de debug limitée (on peut activer des traces via des macros au début des fichiers mb_wrapper.cpp et microblaze.cpp, mais elles sont en général soit trop soit pas assez verbeuses ...). Pour travailler plus confortablement, il est souhaitable de pouvoir utiliser la fonction printf pour afficher du texte sur la sortie standard du programme SystemC. Ce n'est pas aussi simple qu'on aurait pu le croire, vu que le code exécutable est interprété par l'ISS, on ne peut pas appeler directement la fonction printf de notre libc (hôte) depuis le code embarqué. La solution retenue est d'avoir un composant UART, qui va recevoir des caractères depuis le bus ensitlm, et les afficher via cout en C++ (le composant physique aurait envoyé les caractères sur un lien série). Le composant UART vous est fourni, il vous reste :

- à instancier et connecter correctement le composant au bus dans sc_main;
- à écrire le corps de la fonction printf dans hal.h. On ne s'intéresse qu'au cas de printf à un seul argument, et sans caractères spéciaux (i.e. on affiche la chaîne passée en argument sans traitement particulier). Il suffit d'afficher les caractères un par un jusqu'au caractère '\0';
- l'exécution de la fonction ci-dessus va probablement faire un accès en lecture sur un seul caractère sur le bus par l'intermédiaire de READ_BYTE dans mb_wrapper.cpp. Pour mémoire, le bus ensitlm ne supporte que des transferts de mots, il faut donc trouver la « bonne » adresse mot correspondant à l'adresse octet, puis extraire le bon octet du mot.
 Par exemple pour lire un caractère à l'adresse oxolfore il faut faire un accès à l'adresse.
 - Par exemple, pour lire un caractère à l'adresse 0×016 af, il faut faire un accès à l'adresse 0×016 ac (i.e. le multiple de 4 immédiatement inférieur), qui va donner 4 octets, puis extraire l'octet correspondant via un décalage de 3 octets et un masque de bit :

```
((*(uint32_t *)0x016ac) >> (3 * 8)) & 0xF.
```

Vérifier que les instructions printf présente dans main.c sont bien prises en compte (l'exécution peut être lente, mais un message doit être affiché au début de la fonction main).

8.3 Gestion des interruptions

La gestion des interruptions est totalement absente du wrapper. Il faudra ajouter un processus SystemC sensible aux fronts sur le port irq, et qui utilise la fonction m_iss.setIrq(true) pour signaler à l'ISS qu'une interruption a été reçue. Une fois l'interruption traitée par l'ISS, il faut appeler m_iss.setIrq(false). Pour que l'ISS ait vu l'interruption, il faut que la fonction m_iss.step() ait été appelée plusieurs (par exemple, 5) fois. Il faudra donc ajouter un compteur qui remet l'interruption à faux après 5 cycles.