

Examen du cours “Machines virtuelles”

Licence 3 – Université Paris Diderot Paris 7 – mai 2012

Durée: 3 heures

Documents autorisés

Le soin apporté à la rédaction et à la présentation ainsi que la rigueur des réponses seront pris en compte dans la notation. Pour faciliter la correction, des commentaires informatifs pourront avantageusement être intégrés à votre code-octet. Le sujet est décomposé en deux parties. La première est une application directe du cours, de durée indicative environ 1h. La seconde est un problème consacré à l'implantation d'une machine à pile et à la vérification de son code-octet.

1 Code-octet OCaml et Java

Exercice 1 Traduire en code-octet les phrases OCAML suivantes :

1. $2 \times 32 / 6$;;
2. `let x = ref 5 in fun y → !x + 1`
3. `let z = ref (1, 2) in for i = 0 to 3 do z := (snd !z, fst !z) done`;;

□

Exercice 2 Soit le code-octet OCAML suivant :

```
branch L2
L1:
  acc 0
  branchifnot L3
  acc 0
  getfield 1
  push
  acc 0
  branchifnot L4
  acc 0
  push
  offsetclosure 0
  apply 1
  push
  const 1
  addint
  return 2
L4:
  const 1
  return 2
L3:
  const 0
  return 1
L2:
  claturerec 1, 0
```

1. Exécutez le code-octet suivant dans une machine virtuelle dont l'accumulateur contient la fermeture produit par l'évaluation du code-octet OCAML précédent.

```
const [0: 1 [0: 2 [0: 3 0a]]]
push
acc 1
apply 1
```

2. Proposez une phrase OCAML pour laquelle le code-octet de la question 1 pourrait être le code compilé.

Exercice 3 Traduire en code-octet les expressions JAVA suivantes sachant que "y" est la variable locale d'indice 0 et "x" est la variable locale d'indice 1.

1. $y = 31 + 2 * (x / 5);$

2. $y = 1; \text{for } (x = 0; x < 10; x++) y *= x;$

2 Problème : Implantation d'une machine virtuelle à pile

Dans ce problème, vous devez décrire l'implantation de deux modules d'une machine virtuelle :

- l'interprète de code-octet dont le rôle est d'exécuter le code-octet.
- le vérificateur de code-octet dont le rôle est de vérifier, préalablement à son exécution, qu'un code octet ne peut pas mener à des opérations invalides sur la pile.

Dans la suite, pour décrire ces implantations, vous pourrez utiliser le JAVA, le C ou le CAML.

On introduit une machine virtuelle à pile dont les composantes sont :

- le programme P (une suite de code-octets).
- un pointeur de code PC valant initialement 0, indice du premier code octet.
- une pile S d'entiers 32-bits signés.

Les instructions de la machine virtuelle sont :

- **jump** : dépile un entier x et déplace le pointeur de code en x .
- **jumpif** : dépile un entier x puis un entier y et déplace le pointeur de code en x si et seulement si y est différent de 0.
- **pushi** N : pousse l'entier $N \in [0..2^{28}[$ au sommet de la pile.
- **pop** : dépile un élément.
- **dup** : duplique l'élément en haut de la pile.
- **swap** : permute les deux éléments en haut de la pile.
- **add**, **mul**, **sub**, **div** : dépile un entier y puis un entier x et empile $x \delta y$ où $\delta \in \{+, *, -, /\}$.
- **exit** : dépile un entier x et arrête le programme avec x comme code de retour.

Dans la suite, on supposera l'existence d'étiquettes, notées ℓ_1, \dots, ℓ_n , qui permettent de représenter symboliquement une position dans le code. On définit alors le sucre **pushlbl** ℓ remplacé par **pushi** N où N est la position de l'instruction correspondant à l'étiquette ℓ .

Exercice 4 (Généralités)

1. Écrivez un programme pour cette machine virtuelle, qui, à partir d'une pile dont le sommet est un entier N , produit une pile dont le sommet vaut $\sum_{k=1}^N k^2$.
2. Décrivez une façon systématique de programmer dans cette machine virtuelle des calculs de la forme $\sum_{k=1}^N e$ où e est une expression arithmétique dépendante de k .
3. Montrer que l'instruction **jump** pourrait être remplacée par une suite de trois autres instructions que l'on précisera.

□

Exercice 5 (Interprète de code-octet)

1. Proposer une manière de représenter les instructions de notre machine virtuelle par des entiers 32-bits, et expliquer comment décoder ces entiers en tant qu'instructions.
2. Pour chaque composante de la machine virtuelle décrite plus haut, spécifiez le type de données qui pourrait la représenter dans une implantation ainsi que les opérations que vous supposez données sur ces types de données.
3. Rappelez les différentes étapes de l'interprétation d'un programme écrit en code-octets.
4. En utilisant les opérations décrites dans la réponse à la question 1, écrivez une fonction d'interprétation pour cette machine virtuelle. Attention à factoriser votre code!

□

Exercice 6 (Vérification de code-octet) Avant d'exécuter du code-octet provenant d'une source inconnue (c'est le cas d'un code-octet qui a été téléchargé par exemple), la JVM fait un certain nombre de vérifications pour s'assurer que le programme s'évalue sans erreur. Dans cette partie, vous allez implémenter un (modeste) vérificateur de code-octet pour la machine virtuelle à pile décrite plus haut en vous focalisant sur l'utilisation correcte de la pile. On supposera ici que tout **jump** ou **jumpif** se fait à une adresse issue d'un **pushlbl**.

1. Quelles opérations de la machine virtuelle peuvent échouer ? Pour chacune d'elles, exprimez les conditions sur la forme de la pile qui sont nécessaires à son bon fonctionnement.
2. On exécute les 4 programmes suivants en partant d'une pile contenant initialement un unique entier positif N . Lesquels font engendrer une erreur de pile lors de l'exécution ? Pourquoi ?

```

pushlbl L1
jump
pushi 1
L1:
sub
pushlbl L1
jumpif
exit

```

```

L1:
pushi 1
sub
dup
pushlbl L1
jumpif
exit

```

```

L0:
dup
pushlbl L2
jumpif
pop
pushi 4
L1:
pushi 4
sub
pushlbl L1
jumpif
pop
pushi 42
exit
L2:
pushi 1
sub
pushlbl L0
jump

```

```

L0:
dup
pushi 1
sub
dup
pushlbl L0
jumpif
L1:
pushi 0
add
dup
pushlbl L1
jumpif
exit

```

On s'intéresse maintenant aux programmes qui vérifient le critère suivant :

- (a) Il est possible d'associer une taille N_ℓ à toute étiquette ℓ de sorte qu'à chaque fois que l'interprète passe par cette étiquette ℓ , la taille de la pile doit être N_ℓ .
3. On considère une pile initiale d'une certaine taille d . Montrer que si un programme vérifie le critère (a), il est alors possible de calculer la taille de la pile en tout point du programme lors de son exécution, et de déterminer si une erreur de pile est exclue ou non.
 4. Proposez un algorithme qui considère un programme P et la taille d d'une pile initiale, et garantit ou non la sûreté de l'exécution de P avec cette pile. Pour cela l'algorithme vérifiera que P satisfait le critère (a) et qu'il y a assez de pile à tous les points du programme.
 5. Parmi les 4 programmes précédents, quels sont ceux qui sont acceptés par votre algorithme, toujours avec une pile initiale de taille 1 ?
 6. Est-ce que tous les programmes rejetés par votre algorithme provoquent réellement une erreur de manipulation de pile lors de leur exécution ?
 7. Modifier votre algorithme pour qu'il travaille à partir du programme P seulement, sans connaître la taille de la pile initiale. Cet algorithme devra renvoyer la taille minimale de pile initiale nécessaire pour la bonne exécution de P , ou échouer si P ne satisfait pas le critère (a). Donner la réponse de cet algorithme sur les 4 programmes précédents.

□