Machines Virtuelles
Cours 3 : La machine virtuelle Java

Pierre Letouzey [1]
pierre.letouzey@inria.fr

PPS - Université Denis Diderot – Paris 7

janvier 2012

1. Merci à Y. Régis-Gianas pour les transparents

Vue d'ensemble de la JVM

Présentation

- La JVM a été initialement spécifiée par Sun MicroSystem pour exécuter le code-octet produit par les compilateurs Java.
- Sa spécification est publique :

  `http://java.sun.com/docs/books/vmspec/2nd-edition/html/VMSpecTOC.doc.html`

  et il en existe de (très) nombreuses implémentations :

  Azul VM - CEE-J - Excelsior JET - **J9 (IBM)** - JBed - JamaicaVM - JBlend - JRockit - Mac OS Runtime for Java (MRJ) - MicroJvm - Microsoft Java Virtual Machine - OJVM - PERC - Blackdown Java - C virtual machine - Gemstone - Golden Code Development - Intent - Novell - NSIcom CrE-ME - HP ChaiVM MicrochaiVM - **HotSpot** - AegisVM - Apache Harmony - CACAO - Dalvik - IcedTea - IKVM.NET - Jamiga - JamVM - Jaos - JC - Jelatine JVM - JESSICA - Jikes RVM - JNode - JOP - Juice - Jupiter - JX - Kaffe - leJOS - Maxine - Mika VM - Mysaifu - NanoVM - SableVM - Squawk virtual machine - SuperWaba - TinyVM - VMkit - Wonka VM - Xam
- La spécification laisse une importante liberté d'implémentation.

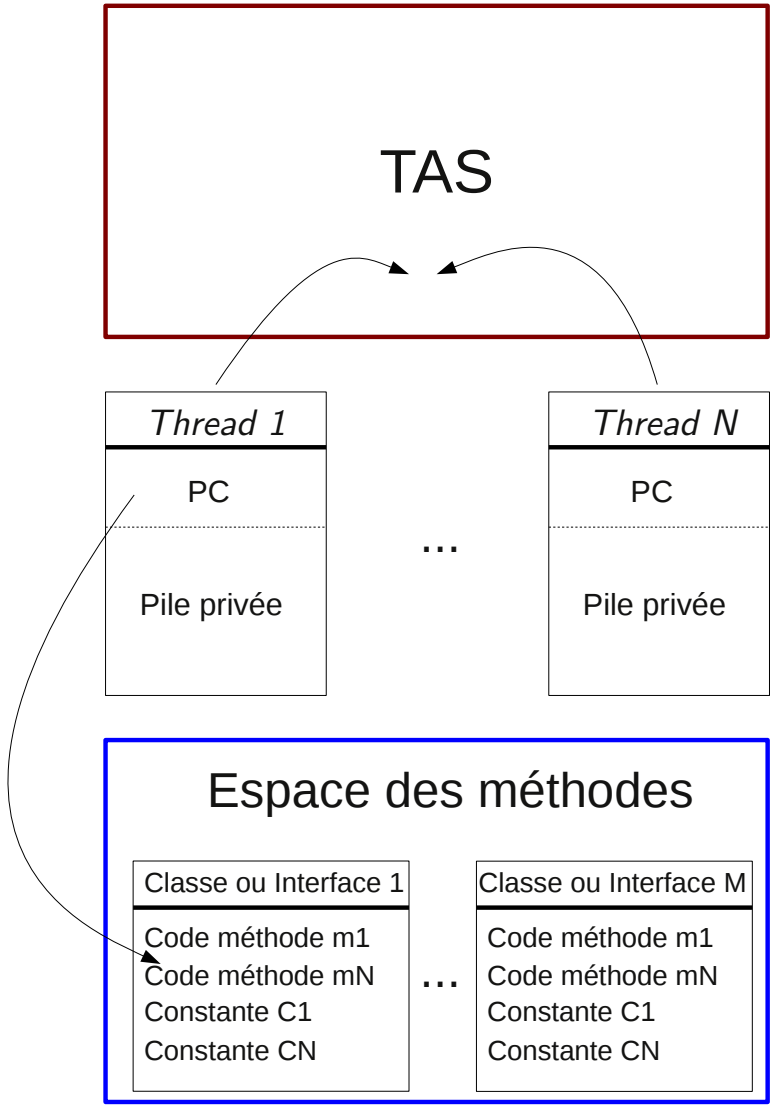
Modèle de calcul

- Comme la machine d'OCaml, La JVM est une machine à pile.
- Elle a été pensée pour la programmation objet, concurrente et "mobile" :
  - Appels de méthodes.
  - Fils d'exécution (*threads*) avec mémoire locale et mémoire partagée.
  - Chargement dynamique de code et vérification de code-octets.
- Ce modèle de calcul est adapté à la compilation d'autres langages. On trouve des compilateurs produisant du code-octet Java pour les langages : Ada, Awk, C, Common Lisp, Forth, Ruby, Lua et même OCaml !
- Un gros défaut cependant : pas de traitement des appels terminaux.

  (instructions présentes dans .Net et dans OCaml)

Composantes de la JVM

- Le tas est partagé entre les *threads*.
- Le code est partagé entre les *threads*.
- Chaque *thread* a ses propres PC et pile.
- Le contenu de toutes ses composantes évolue durant l'exécution.
- Les données au format `Class` permettent de peupler l'espace des méthodes.



Les valeurs de la JVM

Deux grandes familles de données

- La JVM manipule deux grandes familles de données :
  - les données de types primitifs :
    - les valeurs numériques : entières ou à virgule flottante ;
    - les booléens ;
    - les adresses de code.
  - Les références qui sont des pointeurs vers des données allouées dans le tas (des instances de classe ou des tableaux).
- Contrairement à OCaml, il n'y a pas de bit réservé pour différencier les types primitifs et les références.
- Le typage du code-octet garantit qu'à tout instant, le type des données est celui attendu.
- Le ramasse-miette (GC) utilise une information de typage pour déterminer si une donnée dans le tas est un pointeur ou une constante.

Les types entiers

`byte`	8	bits signé
`short`	16	bits signé
`int`	32	bits signé
`long`	64	bits signé
`char`	16	bits non signé

Les types flottants

`float`	32	bits simple-précision
`double`	64	bits double-précision

- *Standard for Binary Floating-Point Arithmetic*, ANSI/IEEE Std. 754-1985.
- En passant, une lecture très recommandée :

  What Every Computer Scientist Should Know About Floating Point Arithmetic

  David Goldberg (1991)

Le type booléen

- La spécification de la JVM définit un type booléen.
- Les valeurs de type booléen sont représentées par des entiers (1 pour `true` et 0 pour `false`).

Les adresses de code

- Les adresses de code ne sont pas modifiables par le programme.

Les types de références

- Il y a trois types de références. Les références vers :
  - les instances de classes ;
  - les implémentations d'interface ;
  - les tableaux.
- La référence spéciale `null` ne fait référence à rien et a ces trois types.

Les espaces de données

Des espaces privés et des espaces globaux

- Lors de son lancement, la JVM initialise les espaces de données nécessaires à l'exécution du programme. Ils sont détruits lorsque la machine est stoppée.
- Le tas et l'espace des méthodes sont des espaces globaux.
- Chaque *thread* possède une pile privée et un registre PC. Ces deux espaces données sont initialisés à la création du *thread* et détruits à la fin de son exécution.

Le registre PC

- À chaque instant, un *thread* est lié à une méthode courante.
- Le PC est une position à l'intérieur du code de cette méthode.

La pile privée

- La pile privée sert à stocker des blocs d'activation.
- Ce sont des espaces mémoires temporaires pour les variables locales et les résultats temporaires.
- La pile privée est aussi utilisée pour passer l'adresse de retour d'une méthode ainsi que ses arguments effectifs.
- On accède à un seul bloc d'activation à la fois.

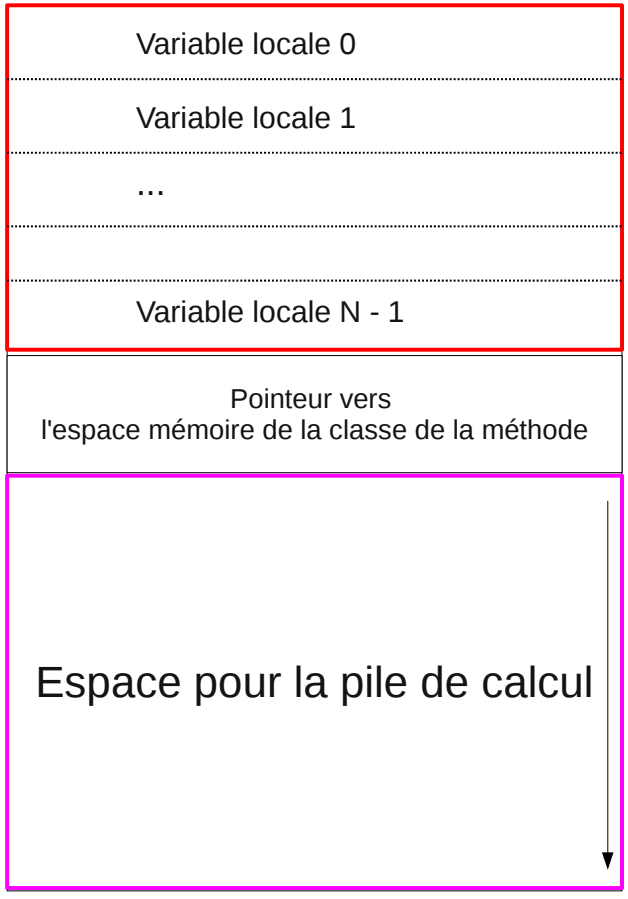
L'espace des méthodes

- Pour chaque classe, l'espace des méthodes contient :
  - un ensemble de constantes ;
  - des champs de classes partagés (les champs notés **static**) ;
  - des données liées aux méthodes ;
  - le code des méthodes et des constructeurs ;
  - le code de méthodes spéciales pour l'initialisation des instances de classes et de type d'interface.

L'exécution du code

L'appel de méthode

- À chaque fois qu'une méthode est invoquée, un bloc d'activation est empilé.
- Quand l'exécution de la méthode est terminée, ce bloc est dépilé.



Organisation d'un bloc d'activation.

Calcul du bloc d'activation

- Le calcul des tailles des différentes composantes du bloc d'activation est effectué par le compilateur.
- Une variable locale a une taille de 32 bits.
- Les données de type `long` ou `double` utilisent deux variables locales.
- On accède aux variables locales *via* leur position dans le bloc d'activation.
- Ces indices débutent à 0.
- Les variables locales sont utilisées pour stocker les arguments effectifs des appels de méthode. Par convention, le premier argument (d'indice 0) contient toujours la référence vers `this`, c'est-à-dire l'instance de l'objet dont on exécute la méthode.
- La taille maximale de pile nécessaire à l'exécution d'un code donné est calculable. (C'est d'ailleurs un bon exercice pour le cours de compilation !)

Le jeu d'instructions

Résumé des instructions

- Les instructions de la JVM sont typées.
- Le nom de chaque opération est préfixée par une lettre indiquant le type des données qu'elle manipule :
  - 'i' : `int`
  - 'l' : `long`
  - 's' : `short`
  - 'b' : `byte`
  - 'c' : `char`
  - 'f' : `float`
  - 'd' : `double`
  - 'a' : `reference`
- Par ailleurs, les *opcodes* sont stockés sur un octet.
- Référence :

  `http://java.sun.com/docs/books/jvms/second_edition/html/Instructions.doc.html`

Lecture et écriture des variables locales

- iload, iload_<n>, lload, lload_<n>, fload, fload_<n>, dload, dload_<n>,aload, aload_<n>
  Charge une variable locale au sommet de la pile de calcul.
- istore, istore_<n>, lstore, lstore_<n>, fstore, fstore_<n>, dstore, dstore_<n>,astore, astore_<n>
  Écrit le contenu du sommet de la pile dans une variable locale.
- bipush, sipush, ldc, ldc_w, ldc2_w, aconst_null, iconst_m1, iconst_<i>, fconst_<f>, dconst_<d>
  Empile une constante au sommet de la pile.
- wide :
  Modifie le sens de l'instruction suivante : la prochaine instruction devra attendre un indice de variable locale codé sur 2 octets et non 1 seul.

Opérations arithmétiques

- Addition : iadd, ladd, fadd, dadd.
- Soustraction : isub, lsub, fsub, dsub.
- Multiplication : imul, lmul, fmul, dmul.
- Division : idiv, ldiv, fdiv, ddiv.
- Reste de la division : irem, lrem, frem, drem.
- Négation : ineg, lneg, fneg, dneg.
- Décalage : ishl, ishr, iushr, ishl, lshl, lshr, lushr.
- “Ou” sur la représentation binaire : ior, lor.
- “Et” sur la représentation binaire : iand, land.
- “Ou exclusif” sur la représentation binaire : ixor, lxor.
- Incrémentation d’une variable locale : iincr.
- Comparaison : dcmpg, dcmpl, fcmpg, fcmpl, lcmp.

Conversion des types de données

- Conversions d'élargissement : i2l, i2f,i2d, l2f, l2d,f2d.
- Conversions par projection : i2b,i2c, i2s, l2i, f2i, d2i, d2f.

  (Se reporter à la spécification pour les détails.)

Opérations sur la pile

- Dépiler : pop, pop2.
- Dupliquer le sommet de la pile : dup, dup2, dup_x1, dup2_x1, dup_x2, dup2_x2, swap.

Opérateur de flot de contrôle

- Branchement conditionnel : ifeq, iflt, ifle, ifne, ifgt, ifnull, ifnonnull, if_icmpeq, if_icmpne, if_icmplt, if_icmpgt, if_icmple, if_icmpge, if_acmpne.
- Table de saut : tableswitch, lookupswitch.
- Branchement inconditionnel : goto, goto_w, jsr, jsr_w, ret.

Manipulation d'objets et de tableaux

- Création d'une nouvelle instance de classe : new.
- Création d'un nouveau tableau : newarray, anewarray, multianewarray.
- Accès aux champs d'une classe : getfield, setfield, getstatic, putstatic.
- Chargement d'un tableau sur la pile de calcul : baload, caload, saload, iaload, laload, faload, daload, aaload.
- Affectation d'une case d'un tableau : bastore, castore, sastore, iastore, lastore, fastore, dastore, aastore.
- Empile la taille d'un tableau : arraylength.
- Vérification dynamique : instanceof, checkcast.

Invocation de méthode

- Invoquer une méthode avec liaison tardive (*i.e.* en prenant en compte le type exact de l'instance considérée) : invokevirtual.
- Invoquer une méthode d'une interface dans une instance qui l'implémente : invokeinterface.
- Invoquer une initialisation d'instance, une méthode privée ou une méthode d'une classe mère : invokespecial.
- Invoquer une méthode de classse statique : invokestatic.

Les outils utiles

Hexedit

- Pour observer le contenu d'un fichier au format CLASS, on peut toujours utiliser `hexedit`.
- Mieux : `javap -c -verbose`

Jasmin

- `jasmin` produit du code-octet JAVA.
- Le langage d'entrée est un langage assembleur qui est plus facile à utiliser que le langage de sortie de `javap`.

Synthèse

Synthèse

- L'architecture de la JVM et ses principales instructions.
- Mis sous le tapis : les exceptions.
- La prochaine séance, en TD, nous écrirons du code à l'aide de `jasmin`.