11X001 – Introduction à la programmation des algorithmes

2.1. Types

François Fleuret

https://fleuret.org/francois

21 Septembre, 2020

Le contenu de ce document a été en grande partie repris du cours de Jean-Luc Falcone.

UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

FACULTY OF SCIENCE

Plan du cours

Théorie des Types

Théorie des Types

- Théorie mathématique.
- Inventée au début du 20ème siècle.
- Évite le paradoxe de Russell.
- Divise les objets en termes et types.

Termes

Les termes sont des combinaisons de symboles qui respectent des règles d'écriture.

- 3
- $3 + 2$
- $\frac{3}{2}$
- $\{1, 2, 4\}$

Types

Les types sont des collections de termes.

- $3 : \mathsf{nat}$
- $3 + 2 : \mathsf{nat}$
- $\frac{3}{2} : \mathsf{rational}$
- $\{1, 2, 4\} : \mathsf{natSet}$

Types

Les types sont des collections de termes.

- 3 : nat
- $3 + 2$: nat
- $\frac{3}{2}$: rational
- $\{1, 2, 4\}$: natSet

- $\sqrt{2}$: real
- $\sqrt{\cdot}$: real $\mapsto$ real

En informatique

Dans tous les langages:

- Toutes les données ont un type associé.
- Le type définit et restreint les opérations possibles sur les données.

Par exemple

- $2 + 1 = 3$
- $\sqrt{144} = 12$
- 'bon' + 'jour' = 'bonjour'
- 'bon' + 144 = ???
- $\sqrt{\text{'bonjour'}}$ = ???

Dans la mémoire d'un ordinateur:

- Toutes les données sont une suite de zéros et de uns (bits).
- Ce choix de représentation de l'information découle de la facilité de représenter des valeurs oui/non, présence/absence dans un objet physique.

Dans la mémoire d'un ordinateur:

- Toutes les données sont une suite de zéros et de uns (bits).
- Ce choix de représentation de l'information découle de la facilité de représenter des valeurs oui/non, présence/absence dans un objet physique.
- Ces bits sont organisés par groupes de 8 (octets, ou *bytes*).
- Un octet peut être interprété de plusieurs manières, en particulier comme une écriture en base 2 d'une valeur entière entre 0 et 255.

Dans la mémoire d'un ordinateur:

- Toutes les données sont une suite de zéros et de uns (bits).
- Ce choix de représentation de l'information découle de la facilité de représenter des valeurs oui/non, présence/absence dans un objet physique.
- Ces bits sont organisés par groupes de 8 (octets, ou *bytes*).
- Un octet peut être interprété de plusieurs manières, en particulier comme une écriture en base 2 d'une valeur entière entre 0 et 255.

00000000	0	00000001	1
00000001	1	00000010	2
00000010	2	00000011	3
00000100	4	00000100	4
00001000	8	00000101	5
00010000	16	00000110	6
00100000	32	00000111	7
01000000	64	10000001	129
10000000	128	11111111	255

- Un octet peut également être interprété comme un caractère (chiffre, lettre, symbole) selon une convention spécifique.
- Un groupe d'octets peut être interprété comme une valeur numérique entière sur une plus grande plage de valeurs, ou à virgule, ou comme une suite de caractères.
- Les types spécifient cette interprétation de plus haut niveau.

Par exemple en langage C, qui permet des manipulations de bas niveau:

```
char *s = "Hihi";
int *x = s;
printf("%d %d\n", *x, 72 + 256 * (105 + 256 * (104 + 256 * 105)));
```

```
1768450376 1768450376
```

Decimal - Binary - Octal - Hex – ASCII
Conversion Chart

Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII	Decimal	Binary	Octal	Hex	ASCII
0	00000000	000	00	NUL	32	00100000	040	20	SP	64	01000000	100	40	@	96	01100000	140	60	`
1	00000001	001	01	SOH	33	00100001	041	21	!	65	01000001	101	41	A	97	01100001	141	61	a
2	00000010	002	02	STX	34	00100010	042	22	"	66	01000010	102	42	B	98	01100010	142	62	b
3	00000011	003	03	ETX	35	00100011	043	23	#	67	01000011	103	43	C	99	01100011	143	63	c
4	00000100	004	04	EOT	36	00100100	044	24	$	68	01000100	104	44	D	100	01100100	144	64	d
5	00000101	005	05	ENQ	37	00100101	045	25	%	69	01000101	105	45	E	101	01100101	145	65	e
6	00000110	006	06	ACK	38	00100110	046	26	&	70	01000110	106	46	F	102	01100110	146	66	f
7	00000111	007	07	BEL	39	00100111	047	27	'	71	01000111	107	47	G	103	01100111	147	67	g
8	00001000	010	08	BS	40	00101000	050	28	(	72	01001000	110	48	H	104	01101000	150	68	h
9	00001001	011	09	HT	41	00101001	051	29	)	73	01001001	111	49	I	105	01101001	151	69	i
10	00001010	012	0A	LF	42	00101010	052	2A	*	74	01001010	112	4A	J	106	01101010	152	6A	j
11	00001011	013	0B	VT	43	00101011	053	2B	+	75	01001011	113	4B	K	107	01101011	153	6B	k
12	00001100	014	0C	FF	44	00101100	054	2C	,	76	01001100	114	4C	L	108	01101100	154	6C	l

Typage

Au niveau des langages on distingue:

- Typage statique vs. typage dynamique.
- Typage fort vs. typage faible.

Typage statique

- Un type est associé à chaque expression du programme avant son exécution.
- Propre des programmes compilés.
- Les types doivent être déclarés ou inférés.
- Par exemple: Java, C, Swift, Pascal, Haskell, Typescript.

```
int x = 3;

size_t strlen(const char *s);
```

Typage dynamique

- Un type est associé à chaque expression du programme pendant son exécution.
- Propre des programmes interprétés.
- Pas de déclaration de types.
- Par exemple: Python, Scheme, Javascript, Bash.

```
a = "toto"
a = ma_fonction_bizarre()
```

Typage fort

- Le type d'une expression est fixé durant l'exécution et doit être explicitement modifié.
- Par exemple: Python, Haskell, Swift, OCaml.

```
>>> a = '3'
>>> b = 5
>>> a+b
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: can only concatenate str (not "int") to str
>>> a+str(b)
'35'
```

Typage faible

- Le type d'une expression peut changer implicitement durant l'exécution.
- Par exemple: Java, C, Perl, PHP.

```
public class Main {
    public static void main(String[] args) {
        int a = 3;
        String s = "4";
        System.out.println(a + s);
    }
}
```

affiche `34` (!)

Typage Statique et Fort

Plus rigide:

- force prendre les décisions avant,
- plus difficile de changer après (sauf bonne encapsulation).

Plus sûr:

- possibilité d'analyse et de raisonnement,
- vérification statique à la compilation,
- permet d'exprimer des contraintes au niveaux des types.

Au programme de ce cours:

- Types primitifs prédéfinis.
- Optionnels.
- Tableaux.
- Types dérivés définis par l'utilisateur (tuples, structures et énumérations).

En dehors du programme:

- Constructions orientées objets (classes et protocoles).
- Autres structures de données.

Types primitifs en Swift

Avertissement

- Pendant ce cours nous ne considérerons qu'un sous ensemble de la syntaxe et des fonctionnalités de Swift.
- Pour réussir l'examen, il est nécessaire de vous limiter à ce sous-ensemble.

Booléens

On représente les valeurs logiques (dites Booléennes) par le type `Bool`. % Ce type ne peut prendre que deux valeurs: %

- `true`,
- `false`.

Booléens

On représente les valeurs logiques (dites Booléennes) par le type `Bool`. % Ce type ne peut prendre que deux valeurs: %

- `true`,
- `false`.

Il est utile pour représenter:

- conditions,
- préférences utilisateur,
- validations.

et permet le raisonnement logique.

Plusieurs types représentent les nombres entiers:

Type	Nb. de val.	min	max
`Int8`	2^8	-128	127
`UInt8`	2^8	0	255
`Int16`	2^{16}	-32768	32767
`UInt16`	2^{16}	0	65535
`Int32`	2^{32}	$-2\,147\,483\,648$	$2\,147\,483\,647$
`UInt32`	2^{32}	0	$4\,294\,967\,295$
`Int64`	2^{64}	$-9\,223\,372\,036\,854\,775\,808$	$9\,223\,372\,036\,854\,775\,807$
`UInt64`	2^{64}	0	$18\,446\,744\,073\,709\,551\,615$

- Le nombre représente le nombre de bits utilisés pour coder la valeur. Par exemple: `Int32` signifie “codé sur 32 bits”.
- La présence de `U` indique que l'entier est non signé:
  - positif ou nul,
  - on dispose d'un bit de plus, non-utilisé pour coder le signe.
- On peut aussi utiliser `Int` et `UInt` dont la taille dépend de la plateforme:
  - sur une plateforme 32 bits: `Int32` et `UInt32`,
  - sur une plateforme 64 bits: `Int64` et `UInt64`.

Les nombres décimaux sont représentés par les types à virgule flottante:

- `Float`: 6 chiffres significatifs (32 bits),
- `Double`: 15 chiffres significatifs (64 bits).

Exemple de valeurs:

- `12.5`
- `-0.02`
- `1.23e12`
- `0.145e-2`

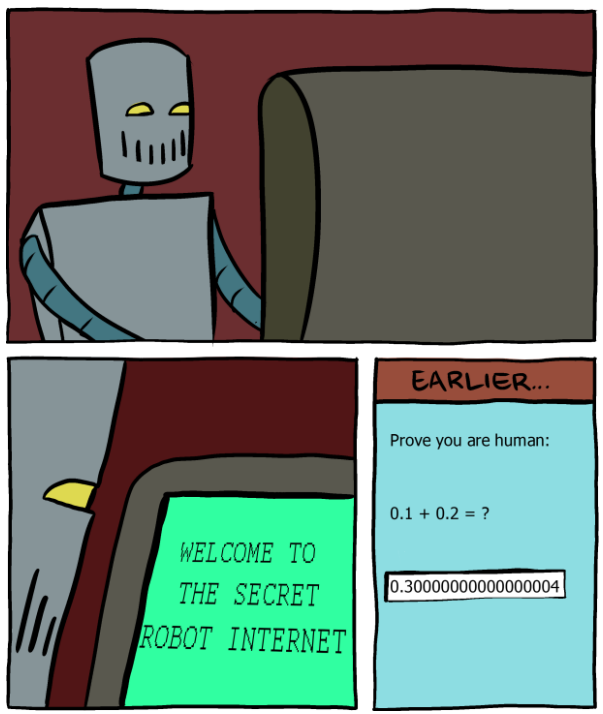
On peut imaginer de nombreuses manière de représenter un nombre à virgule. Swift suit la norme IEEE 754.

Attention: il ne s'agit pas de nombres réels!

```
  1> 0.5 - (0.25 + 0.25)
$R0: Double = 0
  2> 0.3 - (0.1 + 0.2)
$R1: Double = -5.5511151231257827E-17
  3> 0.3 - 0.1 - 0.2
$R2: Double = -2.7755575615628914E-17
```

Attention: il ne s'agit pas de nombres réels!

```
  1> 0.5 - (0.25 + 0.25)
$R0: Double = 0
  2> 0.3 - (0.1 + 0.2)
$R1: Double = -5.5511151231257827E-17
  3> 0.3 - 0.1 - 0.2
$R2: Double = -2.7755575615628914E-17
```



Chaînes de caractères

Le type `String` représente du texte arbitraire %

- Pas de limitation de taille (mémoire)
- Tous les caractéres unicodes: Chiffres, alphabet latin, cyrillique, idéogramme chinois, emojis, ...

% Le type `Character` représente un caractère dans une `String`, sa taille en bits dépend du caractère

Attention: Ne jamais utiliser ce type pour autre chose que du texte !

Question !

Quel type devrait-on utiliser pour représenter le montant d'un transfert d'argent de compte à compte ?

Types dérivés en Swift

Tableaux

- Un tableau représente une liste de valeurs du même type
- Sa longueur est arbitraire
- Un tableau peut être vide

- On note le type d'un tableau: `[T]` où `T` est le type des éléments.
- Par exemple:
  - `[Double]`: Tableau de nombres à virgule flottantes
  - `[Bool]`: Tableau de valeurs logiques

Questions !

Que représente le type `[[Int]]` ?

Questions !

Que représente le type `[[Int]]` ?

On veut représenter un point dans l'espace par le type `[Double]`. Quel est le problème potentiel ?

Questions !

Que représente le type `[[Int]]` ?

On veut représenter un point dans l'espace par le type `[Double]`. Quel est le problème potentiel ?

On veut représenter les prénoms de personnes par le type `[String]`. Quel est le problème potentiel ?

Optionnels

On peut représenter des valeurs optionnelles par `T?` où `T` est le type de la valeur qui peut être absente.

- Par exemple:
  - Réponse à un sondage (Oui, Non, Sans avis): `Bool?`
  - L'utilisateur peut choisir de donner son adresse email: `String?`
  - On recherche le montant à partir d'un numéro de compte: `Int?`

On peut définir de nouveaux types en aggrégeant plusieurs types existants.

Par exemple: couleur

- Modèle additif RGB: Intensité rouge, intensité verte, intensité bleue.

On peut définir de nouveaux types en aggrégeant plusieurs types existants.

Par exemple: couleur

- Modèle additif RGB: Intensité rouge, intensité verte, intensité bleue.
- L'intensité est codée de 0 à 255: `UInt8`.

On peut définir de nouveaux types en aggrégeant plusieurs types existants.

Par exemple: couleur

- Modèle additif RGB: Intensité rouge, intensité verte, intensité bleue.
- L'intensité est codée de 0 à 255: `UInt8`.
- On pourrait donc représenter une couleur par trois `UInt8`.

On peut définir de nouveaux types en aggrégeant plusieurs types existants.

Par exemple: couleur

- Modèle additif RGB: Intensité rouge, intensité verte, intensité bleue.
- L'intensité est codée de 0 à 255: `UInt8`.
- On pourrait donc représenter une couleur par trois `UInt8`.

Question: Pourquoi pas un tableau ?

En Swift, on peut utiliser les types `struct`, `tuple` ou `class`.

Nous ne verrons et n'utiliserons dans ce cours que les deux premiers.

Par exemple: couleur

```
struct Color {
  let red: UInt8
  let green: UInt8
  let blue: UInt8
}
```

Déclaration `struct`

Déclaration de structure: `struct Nom { }`

- `struct` est un mot réservé.
- Le nom de la structure est un `identifiant`.
- Les identifiants sont arbitraires, mais:
  - ne peuvent pas commencer par un chiffre,
  - ne peuvent pas contenir de ponctuation sauf underscore,
  - ne peuvent pas contenir d'espace,
  - débute par convention par une majuscule,
  - doit être unique,
  - la casse compte: `Hello` $\neq$ `hello`.

Propriétés (alias membres ou champs)

- La structure peut contenir des propriétés (aussi connues comme champs ou membres).
- Les membres peuvent être de n'importe quel type (non récursif).
- Une propriété se déclare entre les accolades.
- Forme: `let nom: T`
  - `let` est un mot réservé
  - `nom` est un identifiant, par convention commence par une minuscule
  - `T` est le type de la propriété

Exemple

```
struct Color {
  let red: UInt8
  let green: UInt8
  let blue: UInt8
}

struct Style {
  let foreground: Color
  let background: Color
}
```

Exercice: Rectangle

- Représenter un rectangle dans le plan
- Considérer les éléments suivant:
  - Hauteur et largeur, nombre à virgule.
  - Couleur de remplissage, peut-être absente.

Solution: Rectangle

```
struct Rectangle {
  let height: Double
  let width: Double
  let fillColor: Color?
}
```

Exercice: Utilisateur

- Représenter un utilisateur défini par:
  - nom d'utilisateur,
  - mot de passe,
  - adresse email, facultative.
- L'adresse email peut avoir été vérifiée ou non

Solution médiocre: Utilisateur

```
struct User {
  let username: String
  let password: String
  let email: String?
  let verifiedEmail: Bool
}
```

Quel est le problème avec cette solution ?

Meilleure solution: Utilisateur

```
struct Email {
  let address: String
  let verified: Boolean
}

struct User {
  let username: String
  let password: String
  let email: Email?
}
```

Tuples

Les tuples sont des “structures anonymes”.

Ils sont définis uniquement par l'ordre des types qui les composent:

```
(UInt8, UInt8, UInt8)
(String, Boolean)
(Int)
(Int, (Double, Double))
()
```

Question: Feu de circulation

Comment représenter l'état d'un feu de circulation ? (vert, orange, rouge)

Énumerations

Un type ayant un nombre fini de valeurs peut être défini avec une **énumération**:

```
enum TrafficLight {
  case green
  case yellow
  case red
}
```

Énumerations: Déclaration

Déclaration d'une énumération: `enum Nom { }`

- `enum` est un mot réservé
- Le nom de l'énumeration est un identifiant

Une/des valeur(s) de l'énumération: `case nom` %

- `case` est un mot réservé.
- `nom` est un identifiant.
- On peut mettre plusieurs valeurs dans une seule déclaration `case`.

Énumerations: Exemples

```
enum Suit {
  case hearts, diammonds, spades, clubs
}

enum Door {
  case open
  case closed
}

enum Language {
  case german, french, italian, other
}
```

Énumerations: Valeurs associées

On peut associer un Tuple à une ou plusieurs valeurs de l'énumération:

```
enum Language {
  case german, french, italian
  case other(String)
}

enum Host {
  case ipv4(UInt8, UInt8, UInt8, UInt8)
  case ipv6(UInt16, UInt16, UInt16, UInt16, UInt16, UInt16, UInt16, UInt16)
  case name(String)
}
```

Exemple final: Uniform resources indirection (URI)

Spécifications (les crochets désignent un élément optionnel):

```
URI = scheme:[//authority]path[?query][#fragment]
authority = [userinfo@]host[:port]
```

Par exemple:

- `https://www.unige.ch/sciences/fr/`
- `file:///tmp/downloads/machin.txt`
- `mailto:machin.chose@truc.org`
- `http://127.0.0.1:8080/`

Exemple final: URI (Solution 1)

```
URI = scheme:[//authority]path[?query][#fragment]
authority = [userinfo@]host[:port]

enum Scheme {
  case http, https, ftp, file, mailto, irc, ssh
}

struct Authority {
  let userinfo: String?
  let host: Host
  let port: UInt16?
}
```

Exemple final: Uniform resources indirectio (URI)

```
URI = scheme:[//authority]path[?query][#fragment]
authority = [userinfo@]host[:port]

struct URI {
  let scheme: Scheme
  let authority: Authority?
  let path: String
  let query: String?
  let fragment: String?
}
```

FIN