Génie Logiciel Avancé
Cours 4 — Conception

Stefano Zacchiroli
zack@pps.jussieu.fr

Laboratoire PPS, Université Paris Diderot - Paris 7

24 février 2011

Sommaire

Sommaire

De la spécification à la conception

- Spécifier → c'est définir le quoi.
- Concevoir → c'est définir le comment.

There are two ways of constructing a software design : One way is to make it so simple that there are obviously no deficiencies, and the other way is to make it so complicated that there are no obvious deficiencies.

— *C.A.R. Hoare*

Les difficultés de la conception

- La conception ne se contente pas d'identifier le problème.
- Elle tente d'y apporter une solution valide.

La conception est un processus créatif et rigoureux.

Conception vs implémentation

Différences entre conception et implémentation ?

- L'implémentation est la mise en œuvre des choix issus de la conception.
- L'implémentation doit pouvoir répondre aux contraintes de réalisation sans mettre en cause les choix de conception.

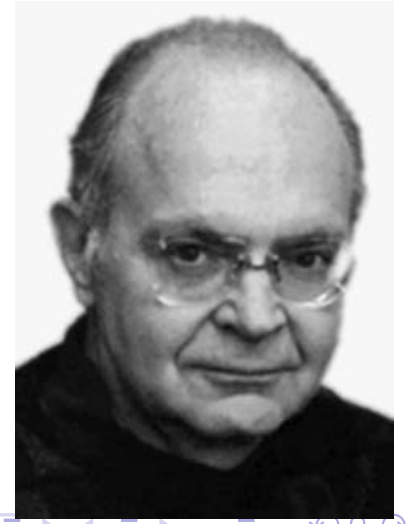
Conception vs implémentation : exemple typique

On introduit, lors de l'implémentation, une optimisation qui brise une abstraction issue de la conception.

- Ceci témoigne d'une mauvaise conception : une spécification non fonctionnelle concernant l'efficacité n'a pas été prise en compte.
- Ceci témoigne d'une mauvaise implantation : les choix de conceptions doivent toujours être respectés par l'implémentation.

Premature optimization is the root of all evil in programming.

— *Donald Knuth*



Le principes de génie logiciel récurrent

1. Pour bien concevoir un logiciel, il faut pouvoir raisonner sur ce logiciel.
2. Pour pouvoir raisonner, il faut travailler sur des objets de taille raisonnable.

⇒ La programmation structurée, introduite par Hoare, Wirth et Dijkstra.

Sommaire

Avant la programmation structurée

```
10 INPUT "What is your name: ", U$
20 PRINT "Hello "; U$
30 INPUT "How many stars do you want: ", N
40 S$ = ""
50 FOR I = 1 TO N
60 S$ = S$ + "*"
70 NEXT I
80 PRINT S$
90 INPUT "Do you want more stars? ", A$
100 IF LEN(A$) = 0 THEN GOTO 90
110 A$ = LEFT$(A$, 1)
120 IF A$ = "Y" OR A$ = "y" THEN GOTO 30
130 PRINT "Goodbye "; U$
140 END
```

Réduire la liberté pour mieux contrôler

Le langage machine offrait une liberté totale :

- Grâce aux “jump”, toute instruction était un point d’entrée potentiel.
  - Les triplets de Hoare sont plus compliqués à calculer dans ce cadre.
- On pouvait modifier le code lui-même.
  - Le raisonnement sur les programmes auto-modifiants est très complexe.

On s’est vite aperçu que tant de liberté était une épée à double tranchant :

- Certes, elle autorisait des optimisations.
- Néanmoins, la correction des programmes étaient trop difficiles à vérifier.

La programmation structurée

La programmation structurée a mis en avant les concepts suivants :

- Les structures de contrôle restreintes
- Les différents niveaux d'abstraction
- Le raffinement
- Les types abstraits de données
- L'architecture d'un logiciel

Edsger W. Dijkstra
Letters to the editor : go to statement considered harmful.
Communications of the ACM, 1968.
http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.132.875

Edsger W. Dijkstra
Notes on structure programming.
http://www.cs.utexas.edu/users/EWD/ewd02xx/EWD249.PDF

Les structures de contrôle restreintes

- À l'aide d'un goto, on peut tout faire. . . mais le flot de contrôle est alors arbitrairement complexe.
- Pour raisonner sur un programme, il y a trois grands outils (Dijkstra) :
  1. Le raisonnement par cas
  2. L'induction
  3. L'abstraction

Use recursive procedures for recursively-defined data structures.

— *Brian W. Kernighan*
The Elements of Programming Style, 1978

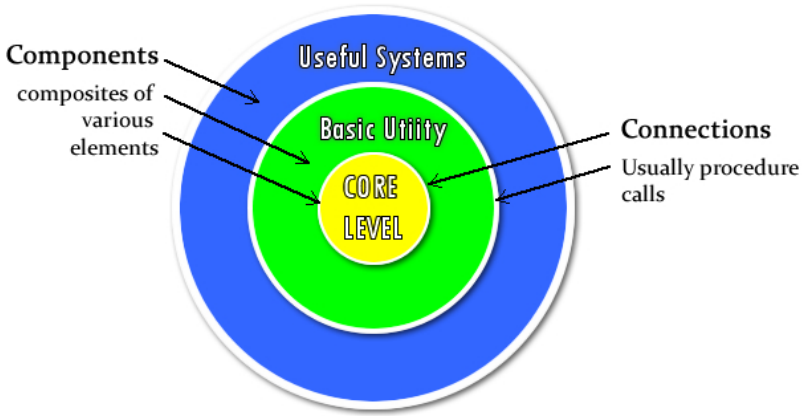
Les structures de contrôle restreintes

- À l'aide d'un goto, on peut tout faire. . . mais le flot de contrôle est alors arbitrairement complexe.
- Pour raisonner sur un programme, il y a trois grands outils (Dijkstra) :
  1. Le raisonnement par cas → *Types algébriques, Pattern matching*
  2. L'induction → *Fonctions récursives, itération*
  3. L'abstraction → *Appels de fonctions*

Use recursive procedures for recursively-defined data structures.

— *Brian W. Kernighan*
The Elements of Programming Style, 1978

Les différents niveaux d'abstraction



- L'organisation de la complexité d'un système sous la forme de couches, chacune correspondant à un niveau d'abstraction donné, telle que :
  - Une couche de haut niveau s'appuie sur les primitives fournies par la couche(s) située sous elle.
  - Une couche de bas-niveau ne peut pas accéder aux primitives des couches de niveau plus élevé qu'elle.
- L'implémentation du système débute par les couches de plus bas niveau.

Nous reviendrons plus en détails sur cette architecture...

Le raffinement

On conçoit un système par raffinements successifs.

- On raffine données et algorithmes *en parallèle*.

Comment décider *dans quel ordre* raffiner la spécification ?

- Il faut maintenir le plus longtemps possible une “notation naturelle”.
- Chaque raffinement correspond à un choix de conception.
- Si on voit l’espace de conception comme un domaine de recherche, alors les choix de conceptions peuvent être structurés comme un arbre de décision dont les nœuds les plus discriminants sont placés près de la racine.
  - en autres termes, il faut commencer par raffiner les aspects qui ont les plus importantes conséquences : on définit ainsi des familles de programmes répondant à un problème particulier.
- Cette structuration explicite de la conception facilite le raisonnement sur les programmes ainsi que leur réutilisation et leur adaptation.

Le raffinement — exemples

Pour concevoir un algorithme de tri :

1. Fait-on des hypothèses sur la distribution des entrées ?
2. Veut-on un algorithme parallèle ou séquentiel ?
3. Utilise-t-on une structure de données qui trie par insertion d'éléments ?
4. ...

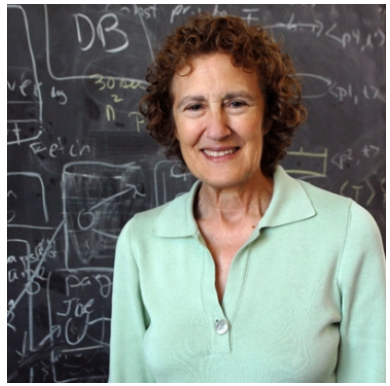
Problème des huit dames :

Niklaus Wirth
Program Development by Stepwise Refinement.
Communications of the ACM, Vol. 14, No. 4, 1971.
http://sunnyday.mit.edu/16.355/wirth-refinement.html

Types abstraits

Un type abstrait défini une classe de composants totalement caractérisés par un ensemble des opérations.

- L'utilisateur du type abstrait n'a pas connaissance de la représentation concrète des données.
- Le maintien des invariants est circonscrit aux définitions des opérations.



Barbara Liskov
Programming with abstract data types.
ACM SIGPLAN symposium on Very high level languages, 1974.
http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.136.3043

“Architecturer” n’est pas “Programmer”

- Programmation
  - Fixer les détails d’implémentation.
  - Implémenter / Prouver un algorithme.
- Architecturer (i.e. modulariser)
  - Minimiser les interdépendances ;
  - Ordonner / Classifier / Organiser les composants ;
  - Rendre explicite les interactions.

Frank DeRemer, Hans Kron
Programming-in-the large versus programming-in-the-small.
ACM SIGPLAN international conference on Reliable software, 1975.
http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.92.603&rep=rep1&type=pdf

Sommaire

La conception des composants

Bien concevoir les composants d'un système est donc essentiel puisque :

- Leur interface fournit une barrière d'abstraction.
- La granularité d'un raffinement se situe généralement au niveau des modules.
  - Souvent, on a une correspondance "un module = un type abstrait".
- De plus, la modularisation rend possible le développement parallèle.

Principes de conception des composants

- Cacher les “secrets” comme :
  - la représentation des données (c.f. ADT).
  - les fonctions internes d’un composant qui ne sont pas nécessaires au client.
  - les détails d’implémentation.
- Trouver le lieu des potentielles évolutions :
  - Si deux composants peuvent évoluer de façon indépendante, ils devraient être cachés l’un à l’autre.
  - Seuls les services dont l’évolution est peu probable doivent figurer dans les interfaces.
- Les interfaces doivent être explicitées.
- Les interfaces doivent être en nombre restreint et petites.
- Un composant doit correspondre à une unité sémantique cohérente.

Qu'est-ce qu'une interface ?

Une interface correspond à tout ce qui est publié par un composant :

- **syntaxe** nom de types, de fonctions, d'événements, de sous-composant, ...
- **sémantique** pré/post-condition, invariants, ...

Intuition

les clients dépendent potentiellement de tout ce qui est publié

Haute cohésion, basse interdépendance

- On mesure la cohésion (“*cohesion*”) d’un composant aux nombres de ses sous-composants qui effectuent des tâches similaires et ont des interactions continues.
- On mesure l’interdépendance (“*coupling*”) entre deux composants A et B à la quantité de modifications à faire sur B lorsque A est modifié (et réciproquement).

Le rapport :

$$\frac{\textit{utilisation des fonctionnalités internes}}{\textit{utilisation de ce qui est publié}}$$

est un bon indicateur de la qualité de la modularisation.

haute cohésion, basse interdépendance
(“*high cohesion, low coupling*”)

Sommaire

Différents degrés de cohésion

Voici une liste de caractérisation qualitative de la cohésion d'un système : [1]

1. cohésion aléatoire ;
2. cohésion logique ;
3. cohésion temporelle ;
4. cohésion procédurale ;
5. cohésion communicationnelle ;
6. cohésion fonctionnelle ;
7. cohésion informationnelle.

1. Ce classement va de la cohésion la plus faible/la moins intéressante à la plus forte/la plus pertinente.

Cohésion aléatoire

- Rien n'est plus déroutant qu'une modularisation aléatoire.
- Ceci arrive lorsque l'on décompose le système « parce qu'il faut bien le faire »

Exemple

1. des critères inflexibles comme :
   - « Le nombre de lignes d'une fonction doit être inférieur à 30. »
   - « Le nombre de méthodes d'un objet doit être inférieur à 10. »
   - etc . . .
2. pour « compiler plus vite », on découpe un module en deux sous-modules interdépendants.
3. pas de réflexion du tout.

Cohésion logique

Les composants sont groupés parce qu'ils partagent des opérations.

- Les paramètres expriment les variations entre les composants.

```
let dictionary_and_ranker flag data key =
  let comparison =
    if flag = true then (* Use function as a dictionary: compare keys. *)
      fun (word1, _) (word2, _) -> compare word1 word2
    else (* Use a function as a ranker: compare scores. *)
      fun (_, score1) (_, score2) -> compare score1 score2
  in
  (* This part is common. *)
  Array.sort comparison data;
  (* End of the common part. *)
  if flag = true then
    (* If function is a dictionary then look for key in the sorted array. *)
    match dicho data key with
      | None -> 0
      | Some _ -> 1
  else
    (* Otherwise, we are looking for key index in the sorted array. *)
    index_of key data
```

Cohésion logique — inconvénients

- Les composants obtenus ainsi ont une logique interne complexe.
- On introduit des interdépendances malvenues.

Cohésion temporelle

Les composants intervenant à une même étape d'un processus sont groupés.

- Elle peut conduire à des duplications de code...
- Cette décomposition suppose l'existence de phases bien délimitées.

Exemple

Dans un compilateur, on créé un module pour l'analyse syntaxique, un module pour le typage, un module pour les analyses de flots de contrôle, ...

- Où définir alors le type et les opérations de l'arbre de syntaxe abstraite ?

Cohésion procédurale

Les composants sont groupés de façon à réaliser une séquence d'opérations.

```
module DisplayMPEGMovie = struct
  let open_file filename = ...
  let decompress_data chunks = ...
  let display_each_frame data = ...
  let display filename =
    display_each_frame (decompress_data (open_file (filename)))
end
module DisplayAVIMovie = struct
  let open_file filename = ...
  let decompress_data chunks = ...
  let display_each_frame data = ...
  let display filename =
    display_each_frame (decompress_data (open_file (filename)))
end
```

- Cette décomposition peut aussi mener à des duplications de code.

Cohésion communicationnelle

Il s'agit de regrouper des composants qui réalisent une séquence d'opérations sur des données de même nature.

```
module ImageFilters = struct
  type t = image
  let noise_reducer: t -> t = ...
  let mean_convolution: t -> t = ...
  let copy: t -> t = ...
end
module SoundFilters = struct
  type t = sound
  let noise_reducer: t -> t = ...
  let mean_convolution: t -> t = ...
  let copy: t -> t = ...
end
```

Cohésion fonctionnelle

Les composants sont regroupés car ils réalisent ensemble une "fonction".

- Ici, on parle de "fonction" au sens général du terme, c'est-à-dire une association bien définie entre une entrée et une sortie.

```
(** This module translates a C program
    into a i386 program.
*)
module Compiler = struct
  let parse = ...
  let type_check = ...
  let compile: c_program -> i386_program = ...
end
```

Cohésion informationnelle

Les composants sont regroupés car ils réalisent chacun une (et une seule) action distincte sur une même donnée.

- Ceci est typique des définitions de types abstraits et de classes d'objet.

```
module Stack: sig
  type t
  val empty: t
  val push: int -> t -> t
  val pop: t -> int * t
end = struct
  ...
end
```

Sommaire

Différentes formes d'interdépendances

Il y a plusieurs formes d'interdépendances que l'on peut classer de la plus néfaste à la moins dangereuse :

1. Les interdépendances entre contenu.
2. Les interdépendances de partage de données.
3. Les interdépendances de flot de contrôle.
4. Les interdépendances de nommage.
5. Les interdépendances de flot de données.

Interdépendances de contenu

Lorsque un composant dépendant de la définition exacte du code d'un autre composant et réciproquement, on parle de dépendance de contenu.

Exemple

```
// Module A
struct A { int x; char y };

// Module B
void foo (A a) { *((unsigned char*)(&a) + 4) = 42; }
```

- L'inversion des champs "x" et "y" dans *A* serait fatal pour le module *B*.

Depuis l'ère de la programmation structurée/de haut niveau, ce type de dépendance n'existe plus(?) et heureusement !

Interdépendances par partage de données

La dépendance est créée par une variable globale partagée.

Exemple

```
let cache = Hashtbl.create 13
module A = struct
  let f x = ...
  let cached_f x = ... cache ... (** Look in the cache for [f x]. *)
end
module B = struct
  let g x = ...
  let cached_g x = ... cache ... (** Look in the cache for [g x]. *)
end
(** Neither cached_f nor cache_g are reliable! *)
```

- Plus de raisonnement local : il faut parcourir tout le code pour connaître les éventuels composants pouvant modifier une variable globale.
- Les dépendances induites par une variable globale sont implicites !

Interdépendances de flot de contrôle

Une dépendance de flot de contrôle est induite par un module *A* sur un module *B* si l'ordre des opérations effectuées par *B* peut être influencé par *A*.

Exemple

```
(* Module A *)
let process data = ... raise ErrorWhenProcessing ...

(* Module B *)
let rec iter data_list = ... process data ...
```

Le flot de contrôle de iter laisse à penser que tous les éléments de la liste data_list sont traités mais cela dépend en réalité du lancement de l'exception par la fonction process.

Interdépendances de nommage

Lorsque l'on fait référence à un composant par son nom dans un autre composant, on créée une dépendance de nommage.

- Si on doit renommer un composant, il faut alors renommer tous les composants qui en dépendent.

Exemple

```
let sort array =
  ... compare x y ...
  ... compare u t ...

let sort' compare array =
  ... compare x y ...
  ... compare u t ...
```

Dans les deux cas, quel est le travail à effectuer si on veut changer d'opérateur de comparaison sur les éléments du tableau ?

Interdépendances de flot de données

On crée une dépendance de flot de données quand un composant attend le résultat d'un calcul d'un autre composant, parce qu'elle lui est nécessaire pour ses propres opérations.

- C'est une dépendance minimale.
- Cependant, pas de dépendance du tout, c'est encore mieux !

Sommaire

Comment savoir si on fait “bien”?

- En dehors des grands principes de minimisation des interdépendances et d’augmentation de la cohésion, il n’y a pas de solution miracle pour évaluer la qualité d’une architecture.
- Et pourtant, une bonne architecture facilite l’obtention des aspects suivants :
  - Robustesse
  - Bonne documentation
  - Évolutivité
  - Interface bien définie
  - Maintenabilité
  - Ergonomie
  - Compréhensibilité
  - Réutilisation des composants
  - Adaptabilité
  - Développement rapide
  - Minimisation des erreurs
  - Lisibilité.
  - Portabilité.
  - Efficacité.
  - Facilité d’apprentissage, de mémorisation, d’utilisation.
  - Tolérance aux pannes.

Étudier les architectures qui ont fait leur preuve

Une solution empirique consiste à réutiliser les solutions qui ont fonctionnée dans le passé en les adaptant éventuellement au contexte du système à concevoir.

- C'est l'idée des patrons de conception (sujet du prochain cours).
- Aujourd'hui, la dernière partie du cours va porter sur une comparaison entre différentes architectures classiques.

Méthode de comparaison

Pour comparer les différentes architectures, nous allons les décrire de façon homogène, comme styles architecturales.

- Nous allons voir une architecture comme la donnée de composants et d'une description des interactions entre ces composants, que nous appellerons connecteurs.
  - Une architecture sera donc représentée comme un graphe.
- La description d'un style architectural fixera :
  - la nature des composants et des connecteurs ;
  - les contraintes sur la façon dont le graphe peut être construit.
- Les questions qui vont diriger cette étude comparée sont les suivantes :
  - Comment peut-on décrire ce style ?
  - Quel est le modèle calculatoire sous-jacent ?
  - Quels sont les invariants/propriétés maintenus par ce style ?
  - Quels sont les exemples d'utilisation de ce style ?
  - Quelles sont ses variantes ?
  - Quels sont les avantages et les inconvénients de ce style ?

Étude de cas

Nous allons essayer d'imaginer l'instanciation de chacun des styles architecturaux sur le problème suivant.

Exemple (logiciel de dessin)

Concevoir un logiciel de dessin permettant à son utilisateur de placer des formes géométriques sur un canevas et d'enregistrer le résultat dans un format graphique de son choix.

Sommaire

Architecture « de filtres et de tuyaux »

Composants Des filtres transformant des flux d'entrées en flux de sorties.

Connecteurs Des tuyaux, des conduits pour les flux.

Modèle calculatoire Les flux sont calculés incrémentalement au fur et à mesure de la disponibilité des flux desquels ils dépendent.

Exemples Le shell UNIX, les logiciels de traitement du signal, les systèmes réactifs, les compilateurs, . . .

Variantes

- Les tuyaux peuvent être bornés ou encore typés.
- La topologie contrainte à être linéaire.
- Le rafraîchissement des données rythmé par une horloge globale.

Filtres et tuyaux — exemple

- On se donne un format textuel de description de dessins.
- Ensuite, on créé autant de petits programmes que d'opérations possibles sur ces descriptions de dessin.
- L'utilisation du logiciel est alors très simple :

```
empty-canvas | square s 10 10 50 | circle c 0 0 10 > fig
cat fig | rotate s 90 | save png fig1.png
cat fig | translate c 10 10 | save png fig2.png
```

Filtres et tuyaux — avantages

Typique de la philosophie UNIX (qui a fait ses preuves !) :

1. *Small is beautiful.*
2. *Make each program do one thing well.*
3. *Build a prototype as soon as possible.*
4. *Choose portability over efficiency.*
5. *Store data in flat text files.*
6. *Use software leverage to your advantage.*
7. *Use shell scripts to increase leverage and portability.*
8. *Avoid captive user interfaces.*
9. *Make every program a filter.*

Mike Gancarz
The UNIX Philosophy.
Digital Press, 1994.

Filtres et tuyaux — avantages (cont.)

- Chaque filtre est une unité atomique et claire de traitement
  - haute cohésion
- Chaque filtre est réutilisable
  - pas d'interdépendance
- La composition de deux filtres est la composition de leur comportement
- Le système est extensible
  - il suffit de rajouter un nouveau filtre !
- Le modèle de calcul est adapté à la concurrence

Filtres et tuyaux — inconvénients

La totale indépendance des filtres rend difficile une synchronisation des composantes du système pour obtenir un comportement global donné.

Exemple

La session suivante de notre logiciel :

```
empty-canvas | square s 10 10 50 | circle c 0 0 10 > fig
cat fig | rotate s 90 | save png fig1.png
cat fig | rotate s 90 | save png fig2.png
```

pourrait être avantageusement interprétée comme :

```
empty-canvas | square s 10 10 50 | circle c 0 0 10 > fig
cat fig | rotate s 90 | save png fig1.png
cp fig1.png fig2.png
```

mais cela suppose une communication globale inter-filtres pour se souvenir qu'une certaine opération a déjà été calculée par un autre filtre.

Sommaire

Architecture « par abstraction des données »

Composants Gestionnaire chargé de l'integrité d'une ressource

Connecteurs Appels de fonction/Envoi de messages

Modèle calculatoire Séquentiel.

Exemples ADTs, objets, contrôleur matériel, . . .

Variantes

- On peut fournir plusieurs vues différentes sur une ressource.
- Le modèle séquentiel peut être remplacé par un modèle concurrent/distribué.

Abstraction des données — exemple

Notre logiciel de dessin peut être organisé comme :

- une bibliothèque de fonctions qui travaillent sur un type `figure` abstrait.
- un ensemble de classes d'objets géométriques dont on peut intégrer les instances dans une instance d'une figure.

Abstraction des données — avantages

- L'évolutivité de l'implémentation des représentations et des fonctionnalités est facilitée.
- La modélisation d'un système comme un ensemble d'« agents qui interagissent » peut être proche de l'organisation de son environnement d'exécution.

Abstraction des données — inconvénients

- Pour interagir, les objets utilisent leurs identités respectives.
  - Le couplage est plus fort que dans le cas des filtres.
  - Ceci induit une interdépendance de nommage.

- Le flot de contrôle est implicite : lorsque l'on envoie un message à un objet B depuis un objet A, l'objet B peut lui-même interagir avec un objet C sans que l'objet A en soi conscient.
  - C'est une dépendance implicite.
- L'existence d'un état associé aux instances objets et la possibilité qu'un message modifie cet état met à mal la transparence référentielle. Envoyer deux fois le même message à un objet ne produit pas nécessairement deux résultats identiques.
  - Ces deux dernières aspects compliquent le raisonnement sur les objets.

Sommaire

Architecture « à événements implicites »

Composants Des composants abstraits exposants des procédures et des événements

Connecteurs Des liaisons entre des procédures et des événements. Un composant annonce un événement et tous les composants qui se sont enregistrés comme observateurs de cet événement sont prévenus.

Modèle calculatoire Une sorte de “soupe” d’interaction (≈ mélange chimique)

Exemples Les bibliothèques de composants graphiques QT et GTK+, Eclipse, Ajax, Erlang, JoCaml, . . .

Variantes

- On peut autoriser tout de même les appels explicites de procédure.

Événements implicites — exemple

- Pour définir une interface utilisateur, on se dote de composants graphiques.
- Le système traite les entrées de l'utilisateur comme les clics de souris.
- Un composant graphique peut être notifié d'un clic sur sa portion de fenêtre en s'inscrivant à l'événement `OnClick`.
- De même, la figure associée à un composant graphique avec un champ nom *''C''* peut s'inscrire à un événement `OnAction("C", A)` qui est annoncé lorsqu'une action utilisateur *A* est appliquée sur *C*.
- Une figure avec un champ nom valant *''A''* attachée virtuellement à une figure *''B''* peut s'inscrire à un événement `OnRotate("A", B)` pour tourner elle-aussi.
  - Si un composant graphique n'est pas affiché, il peut être détruit sans mettre à mal la cohérence des figures du dessin.

Événements implicites — avantages

- La dépendance entre les composants est nulle.
- Seule compte la convention de nommage des événements.

Événements implicites — inconvénients

- Réfléchir sur ces systèmes est complexe par leur haut degré de concurrence.
- Associer des données aux événements pose des problèmes de performances.

Sommaire

Architecture « stratifiée »

Composants Un ensemble d'opérations ayant une visibilité restreinte

Connecteurs Les protocoles qui définissent une visibilité hiérarchisée en couches.

Modèle calculatoire Séquentiels.

Exemples Systèmes d'exploitation, base de données, modèle OSI de protocoles réseaux.

Variantes

- Le modèle calculatoire peut être concurrent ou distribué.
- Les couches peuvent autoriser certaines communications bidirectionnelles.

Stratification — exemple

1. Moteur géométrique
   - Est auto-contenu.
   - Responsable des calculs vectoriels, des transformations, de l'intégrité de la figure, ...
   - Fournit un type abstrait permettant d'accéder à une description (en lecture seule) de la figure ainsi qu'un ensemble minimal de primitives qui changeant la figure, en préservent sa intégrité.
2. Bibliothèques des figures
   - Utilise exclusivement le moteur géométrique.
   - Fournit des figures complexes construites uniquement à l'aide des primitives.
3. Bibliothèques de format de fichier
   - Utilise exclusivement le moteur géométrique.
   - Fournit des fonctions d'entrées/sorties des figures.
4. Bibliothèque d'entrées/sorties
   - Utilise exclusivement les bibliothèques de format de fichier.
   - Donne une vision abstraite de la notion d'enregistrement d'une figure.
5. Interaction de l'utilisateur
   - Utilise uniquement 2 et 4. (Pourquoi ?)
   - Contrôle les interactions entre l'utilisateur et la figure.
6. Interface utilisateur
   - Utilise uniquement 5. (Pourquoi ?)
   - Fournit une interface graphique de dessin (avec menus, visualisation, ...)

Stratification — avantages

- Réalise le principe de séparation des problèmes en sous-problèmes : chaque couche est une vision plus ou moins abstraite du problème.
- Les interdépendances sont limitées par construction : on peut changer l'implémentation d'une couche de façon indépendante.
- Architecture très populaire → beaucoup d'expérience.

Stratification — inconvénients

- Traverser plusieurs couches peut induire des problèmes de performances.
  - Problème à mettre en perspective avec la loi de Moore.

Sommaire

Architecture « à repository »

Composants Un composant central détenant les données et des processus indépendants.

Connecteurs Des transactions.

Modèle calculatoire L'exécution des processus est dirigé par le composant central.

Exemples Base de données, MapReduce, système de reconnaissance de formes, . . .

Variantes

- Si c'est l'état du composant central qui provoque l'exécution des processus, on parle d'architecture à tableau noir ("*blackboard architecture*").
- Si ce sont les modifications apportées au composant central qui provoque l'exécution des processus, il s'agit d'une base de données classique.

Repository — exemple

Scénario 1

- Supposons que l'on veuille autoriser l'édition d'une figure *via* la collaboration (concurrente) de plusieurs utilisateurs.
- La figure peut alors être stockée dans une base de donnée pour autoriser la résolution des modifications concurrentes conflictuelles.
- L'utilisation d'une architecture de tableau noir peut servir pour alerter les utilisateurs lorsqu'une contrainte voulue sur le dessin n'est plus vérifiée.

Repository — exemple (cont.)

Scénario 2

- Supposons que la figure soit gigantesque (disons une figure représentant une carte de l'ensemble de la planète).
- Grâce à une base de donnée, on se donne la possibilité de faire des recherches concurrentes d'une information en lançant plusieurs processus indépendants qui stockent leur résultat dans un tableau noir (par exemple : existe-t-il une rue "Alphonse Daudet" sur la Terre ?).
- Lorsque la réponse désirée est obtenue l'état du tableau passe à "résolu" ce qui implique l'exécution des processus d'arrêt de la recherche.

Repository — avantages

- Tolérance aux pannes (des clients).
- Faible interdépendance, fondamentalement une dépendance aux données.
- Adapté à la concurrence (des clients).
- Évolutif (même sans arrêter le système !)

Repository — inconvénients

- Le raisonnement sur ces systèmes est très complexe !
- Rien n'empêche les problèmes d'interblocages, de famine, ...
- Il y a une forte pression sur la base de données.
  - Les bases de données distribuées sont peut-être une solution.

Sommaire

Architecture « par interprétation »

Composants
- un moteur d'interprétation d'un langage ;
- une mémoire ;
- une représentation de l'état ;
- une représentation du contrôle.

Connecteurs La sémantique du langage.

Modèle calculatoire Le modèle calculatoire est celui du langage interprété.

Exemples
- La machine virtuelle Java, Javascript, OCaml, .Net, ...
- Les systèmes de transitions (automate, machine à pile, ...).

Variantes
- On peut faire varier le modèle calculatoire ainsi que les composants...

Interprétation — exemple

Scénario 1

- Supposons que l'on veuille rajouter un mécanisme de définition de macros dans le logiciel de dessin. La machine virtuelle correspondante a pour état la figure et devra interpréter un langage formé (au moins) des primitives de dessin.
- On facilite en passant l'intégration d'un mécanisme de *plugins* téléchargeables.

Interprétation — exemple (cont.)

Scénario 2

- Les interactions entre l'utilisateur et la figure peuvent être complexe et nécessitent plusieurs actions successives de la part de l'utilisateur pour caractériser une certaine fonction du système.
- On peut modéliser ce langage des traces d'interaction à l'aide d'un automate, vérifier sa complétude automatique et l'implémenter directement à l'aide de tables interprétées.
- On peut faire davantage confiance à cette implémentation de l'automate plutôt qu'à une autre qui serait une traduction manuelle de l'automate sous la forme de code.

Interprétation — avantages

- Les interprètes favorisent la portabilité. “*Write once. Run everywhere.*”
- La restriction du modèle calculatoire facilite le raisonnement
  - C’est particulièrement vrai dans le cas des automates.
- On peut choisir un langage dans lequel le problème se formule bien.
  - Exemple : SAT, PROLOG, Flash, . . .

Interprétation — inconvénients

- La conception d'un langage n'est pas toujours aisé.
- En particulier, trouver le bon rapport entre l'expressivité du langage et les propriétés obtenues grâce aux restrictions par rapport à un langage généraliste.

Sommaire

Synthèse

- L'architecture des logiciels est une activité créative, sans réponse toute faite.
- Il y a cependant deux critères d'évaluation essentiels : la cohésion et les interdépendances.
- Pour le reste, il faut étudier les solutions existantes et se les approprier.
  - C'est de ces solutions issues d'une recherche empirique—les patrons de conception—dont nous parlerons lors du prochain cours.

Références


Shaw Garlan
Software Architecture : Perspective of an Emerging Discipline.
Prentice Hall, 1996.