Systèmes Embarqués Auto-Adaptables

Bertrand Granado
Enseignant-Chercheur

Equipes du Traitement de l'Information et des Systèmes
ENSEA - 6, avenue du Ponceau
95014 Cergy Cdx
Mel : Bertrand.Granado@ensea.fr

Hiver 2009

Contenu du cours

Adaptabilité

- Définition : n.f. (1932 ; de adaptable). Etat de ce qui est adaptable. Adaptabilité d'une espèce au milieu. Adaptabilité d'un matériau à des usages variés. (Le Petit Robert, 1991).
- Pour être adaptable, un système doit avoir été construit de telle manière qu'il permette des modifications a posteriori, avant (exemple des matériaux) ou pendant (exemple de l'espèce) son fonctionnement.
- Beaucoup de mécanismes ont été développés pour permettre l'adaptabilité des applications : des simples crochets (“ hooks ”) aux cadres d'applications à spécialiser (“ frameworks ”).

Adaptabilité

Moments de l'adaptation

- Lors de la conception : par exemple, adaptation de cadres d'application pré-existant au cas particulier de l'application à développer.
- Lors de la compilation : par exemple, spécialisation de parties réutilisables du logiciel en tenant compte de constantes connues statiquement dans d'autres parties du logiciel (évaluation partielle).
- Lors du déploiement : par configuration en tenant compte des matériels physiques et des logiciels utilisables sur les plates-formes.
- Moments d'adaptation statiques, c'est-à-dire préalables à l'exécution.

Adaptabilité

Adaptabilité dynamique

- Formes d'adaptabilité qui se manifestent au cours de l'exécution des programmes.
- Pour permettre de prendre en compte à la fois des particularités d'une exécution donnée (paramètres et données traitées) de même que de l'évolution de la charge et de la disponibilité des ressources, de leur qualité de service instantanée.
- Peut se faire :
  - par connexion avec des bibliothèques dynamiquement chargeables et en tenant compte des ressources disponibles
  - par modification du code exécutable : ajouts, optimisations particulières tenant compte des ressources disponibles ou de l'utilisation particulière qui en est faite.

Moment pour l'adaptabilité dynamique

- lors du lancement-chargement.
- lors de la compilation juste à temps.
- lors de la création d'objets.
- lors de l'appel de procédures/fonctions/méthodes,
- lors de de la sérialisation/désérialisation des paramètres pour l'appel à distance via le réseau,
- lors de la connexion entre composants distants,
- lors de l'appel d'un service (architectures orientées services), etc.

Chaque type de langages et chaque langage exhibent des moments spécifiques qui correspondent au paradigme de programmation sur lequel ils se basent (fonctionnelle, objets, concurrente, etc.)

Adaptabilité Dynamique

- Formes d'adaptabilité dynamique où le programme réalise lui-même sa propre adaptation.
- Suppose que le programme possède :
  - une connaissance de lui-même, de sa forme, de son contenu, etc;
  - une connaissance de son contexte d'exécution, à tous les niveaux, y compris les données de l'exécution en cours ;
  - le moyen de se modifier lui-même, c'est-à-dire de changer son propre code à différents niveaux de granularité (instruction, fonction/méthode, classe, module, composant, bibliothèque, ...) ;
  - la capacité à décider quand et comment il doit s'adapter par rapport à son état courant.

Adaptabilité

A tous les niveaux

- Matériel : FPGA, nouveaux périphériques, connexions réseaux, etc.
- Système : intégration de périphériques à chaud, nouveaux services système/réseau, etc.
- Intergiciel : adaptation des machines virtuelles, des connecticiels, etc.
- Langage de programmation : modification de la syntaxe/sémantique du langage, mécanismes comme la réflexion ou les aspects.

Historique

Stanislas Ulam

- Années 40
- Espace bidimensionnel divisé en cellules
- Une cellule est soit allumée soit éteinte
- La valeur d'une cellule est déterminée en fonction de règles de voisinage
- Génération de figures complexes et esthétiques
- Parfois auto-réplication

Question

Est ce que ces mécanismes récursifs peuvent expliquer la compléxité du réel ?

John von Neumann

- Travaille sur la théorie des automates auto-réplicateurs
- Conçoit une machine auto-réplicatrice : “ Le Kinématon”.
- 200 000 cellules à 29 états
- Création du terme automate cellulaire

2001 Odyssée de l’espace

- A.C. Clarke a rendu célèbre les automates de Von Neumann
- Pour transformer Jupiter en étoile, un premier monolithe se reproduit, puis les descendants font de même et ainsi de suite pour obtenir une croissance exponentielle de la population permettant de réaliser la tâche.

Le jeu de la vie

- John Conway 1970
  - Une cellule inactive entourée de 3 cellules devient active, elle naît
  - Une cellule active entourée de 2 ou 3 cellules actives reste active
  - Dans tous les autres cas, la cellule meurt (elle devient inactive) ou reste inactive
- Interprétation : les cellules ne survivent ni à l'isolement, ni à l'étouffement.

Propriétés fondamentales

1. **Le parallélisme** : un système est dit parallèle si ses constituant évoluent simultanément et de manière indépendante
2. **La localité** : le nouvel état d'une cellule ne dépend que de son état actuel et de l'état du voisinage immédiat
3. **L'homogénéité** : les lois sont universelles, c'est-à-dire communes à l'ensemble des l'espace de l'automate

Définition

- Un automate cellulaire est un terme mathématique qui fait référence à :
  - un réseau de cellules i dans un espace à D dimensions
  - Un ensemble d'états s_i pour chaque cellule. On a habituellement le même nombre k d'états possibles pour toutes les cellules du réseau; k est un nombre entier supérieur ou égal à 2.
  - Une règle F déterminant l'état d'une cellule à l'instant $t+1$ en fonction de l'état de la même cellule et de son voisinage à l'instant t :

    $$S_i(t+1) = F(Sj(t))$$

    où $j \in v_i$ et v_i est un ensemble qui comprend la cellule elle-même et son voisinage.

Exemple : Automate UniDimensionnel

- Si le réseau est unidimensionnel et la fonction F est définie sur le voisinage le plus proche :
  - l'état de la cellule i dépend de l'état des cellules $i-1, i, i+1$ à l'étape précédente (au temps t)
  - c'est à dire : $F(s_{i-1}, s_i, s_{i+1}) \longrightarrow s_i$, où $s_i \in 0; 1$

Différents Types d'Automates

- Les **automates cellulaires probabilistes** : on introduit une variable aléatoire dans la fonction F. Dans le cas où la fonction F ne fait pas intervenir le hasard l'automate est appelé déterministe.
- Les **automates cellulaires non uniformes** : ils ne sont pas homogènes. Les cellules ne sont pas toutes soumises aux mêmes règles.
- Les **automates cellulaires asynchrones** : toutes les cellules ne sont pas traitées au cours d'un cycle unique.

Différents Types d'Automates

- Les **automates cellulaires à valeurs réelles** (ang. continuous) : espace d'états infini (k = 1). Les valeurs stockées dans les cellules ne sont plus des nombres naturels, mais des nombres réels. Elles peuvent être placées dans un intervalle, par exemple $[0; 1]$.
- **Automates réversibles** : la fonction F prend en argument, en plus de l'état du voisinage de la cellule à l'instant $t-1$, l'état de la cellule elle-même à l'instant $t-2$. Cette démarche rend la fonction F réversible.
- **Architectures non uniformes** : les connexions entre les cellules peuvent être plus compliquées que les simples règles de voisinage d'automate cellulaire classique. Le voisinage de Margolus, souvent utilisé pour simuler le comportement d'un gaz, en est un exemple

Notation par famille

- Notation par famille : (k, r)
- Couple d'entiers (k, r) où k est le nombre d'états possibles d'une cellule, autrement dit le cardinal de l'ensemble d'états, et r est le rayon de l'environnement de la cellule.
- Pas d'indication ni sur la dimension du réseau $(D = 1, 2 ou 3)$, ni sur la topologie du réseau.
- La famille des 256 automates élémentaires correspond à l'ensemble des automates cellulaires :
  - à deux états de cellule $0, 1$, $(k = 2)$
  - en une dimension $(D = 1)$,
  - dont le voisinage est constitué des deux cellules les plus proches
    - une à gauche
    - l'autre à droite,
  - le rayon de l'environnement est donc égal à 1 .
  - On note cette famille comme ceci : $(2, 1)$

Notation par famille

- . L'automate "le jeu de la vie" appartient à une famille notée aussi $(2, 1)$, mais c'est un automate en 2D :
  - les cellules prennent deux états $(k = 2)$
  - la fonction F est définie sur le voisinage constitué des cellules les plus proches, le rayon d'un tel voisinage est toujours 1 d'où $(r = 1)$.

Notation par dimension

- Il existe une notation d'automates (2,1) bidimensionnels qui indique
  - le nombre de cellules prises en compte dans le voisinage
  - l'appartenance de la cellule du centre au voisinage
  - le nombre global de cellules mises à 1 qui engendrera l'état 1 dans l'étape suivante.
- Le nombre de cellules prises en compte (sans compter la cellule du centre) est signalé par les premières lettres des adjectifs numéraux cardinaux $H = 8, Q = 4, T = 3$.
- La présence de la cellule du centre dans le voisinage par la lettre C.
- Ensuite on indique toutes les sommes de cellules vivantes pour lesquels la fonction F retourne la valeur 1.

Notation par dimension

- L'automate $Q1$ par exemple est un automate défini sur le voisinage de Von Neuman sans la cellule du centre dont la fonction F retourne 1 uniquement dans le cas où il n'y a qu'une cellule vivante dans le voisinage

1D

- La topologie des cellules d'automates unidimensionnels n'a pas d'importance
- Ces automates sont des rangées de cellules en une dimension.
- La rangée des cellules peut être représentée par
  - des points
  - des segments de droite
  - des rectangles
  - des hexagones
  - des triangles
  - ou bien des nombres

1D

Les automates unidimensionnels sont toujours représentés en deux dimensions, la deuxième dimension étant une extension temporelle

2D

- Comme la représentation bidimensionnelle de l'évolution temporelle d'un automate cellulaire 1D ne change en rien son comportement, le choix de la grille n'affecte pas le comportement de l'automate 2D.
- On peut représenter le même automate aussi bien sur les trois grilles
- on observera seulement quelques déformations.
- Il existe des automates cellulaires hexagonaux et triangulaires
- La différence est faite par le choix du voisinage

2D

Les automates 2D peuvent aussi être représentés sur une grille 3D. Le temps est une extension dimensionnelle. Les formes tridimensionnelles obtenues sont impressionnantes mais on se retrouve en face d'une grande difficulté pour montrer toutes les

3D

Les automates en 3D sont d'habitude représentés sur le système cubique. Cependant il existe d'autres pavages de l'espace où la cellule aura un nombre stable de voisines, tels que par exemple un pavage rhomboédrique (Rhomboèdre : Parallélipipède dont les faces sont des losanges)

Configuration Initiale

- C'est l'état initial du réseau et il détermine l'évolution de l'automate.
- Les conditions initiales les plus souvent utilisées sont
  - une configuration aléatoire
  - le cas particulier d'une cellule germe, seule cellule non nulle parmi des cellules vides
- Cette deuxième configuration ne peut pas être employée pour tous les automates. Par exemple le "jeu de vie" ne peut pas évoluer à partir d'une seule cellule. Elle est morte à l'instant $t+1$, puis il ne se passe plus rien.

Le plus proche $r = 1$

Le voisinage 2D complet (voisinage de Moore) sur la grille rectangulaire est le voisinage de base. Tous les autres voisinages sont incomplets et constituent des sous-ensembles du voisinage complet. Par conséquent les automates cellulaires basés sur un voisinage incomplet constituent un sous-ensemble d'une famille (k, r).

Voisinage

Plus lointain $r > 1$

Il existe une manière simple d'obtenir les versions de tous les voisinages incomplets étendus. On part d'un voisinage incomplet le plus proche (par exemple hexagonal simple). Autour de chaque cellule de ce voisinage on dessine un voisinage précédemment choisi. On répète cette opération $r - 1$ fois

Voisinage

- **Von Neumann** : on ne considère que les voisins Nord, Sud, Est et Ouest
- **Moore** : on ajoute à Von Neuman les diagonales (Jeu de la vie)
- **Moore étendu** : extension de la distance au-delà de 1
- **Margolus** : on considère des ensembles de 2x2, éventuellement alternés.

Définition F

- Dans le cas d'automates des familles $(2, r)$,
- Le plus souvent la fonction F utilisation d'un code
- Lu comme un nombre binaire et converti en décimal
- Il constitue le numéro de l'automate.

$$\begin{array}{c|lcc}
7 & F(1,1,1) & = & 1 \\
6 & F(1,1,0) & = & 0 \\
5 & F(1,0,1) & = & 0 \\
4 & F(1,0,0) & = & 1 \\
3 & F(0,1,1) & = & 0 \\
2 & F(0,1,0) & = & 1 \\
1 & F(0,0,1) & = & 1 \\
0 & F(0,0,0) & = & 0
\end{array}$$

- Automate 150 (10010110 en binaire)

Définition de F

Automate Sommatifs

- La fonction F est définit pour toutes les sommes d'états de cellules de voisinage.
- On ne prend plus en compte la position des cellules

$$
\begin{aligned}
Fs(3) &= \text{A} \\
Fs(2) &= \text{B} \\
Fs(1) &= \text{C} \\
Fs(0) &= \text{D}
\end{aligned}
$$

Définition de F

7	$F(1,1,1)$	=	Fs(1 + 1 + 1)	=	$Fs(3)$	=	A
6	$F(1,1,0)$	=	Fs(1 + 1 + 0)	=	$Fs(2)$	=	B
5	$F(1,0,1)$	=	Fs(1 + 0 + 1)	=	$Fs(2)$	=	B
4	$F(1,0,0)$	=	Fs(1 + 0 + 0)	=	$Fs(1)$	=	C
3	$F(0,1,1)$	=	Fs(0 + 1 + 1)	=	$Fs(2)$	=	B
2	$F(0,1,0)$	=	Fs(0 + 1 + 0)	=	$Fs(1)$	=	C
1	$F(0,0,1)$	=	Fs(0 + 0 + 1)	=	$Fs(1)$	=	C
0	$F(0,0,0)$	=	Fs(0 + 0 + 0)	=	$Fs(0)$	=	D

.

Classement de Wolfram

- Classe 1 : Les automates cellulaires qui évoluent vers des états fixes et homogènes ;
- Classe 2 : Les automates cellulaires qui aboutissent à des structures périodiques simples ;
- Classe 3 : Les automates cellulaires qui évoluent vers des comportements chaotiques, caractérisés par des “ attracteurs étranges ”' et des structures apériodiques ;
- Classe 4 : Les automates cellulaires doù émergent des “ motifs ” globaux complexes.

Automate de Fredklin

- Voisinage de Moore
- Basé sur la parité du voisinage
- Automate Sommatif
- Il n'y a reproduction que si la valeur du voisinage est impaire
- Reproduit en 9 exemplaires toute configuration de base