



HAL
open science

SYNTHESE DES CONTROLEURS OPTIMAUX POUR LES SYSTEMES A EVENEMENTS DISCRETS

Jean Marie Moanda Ndeko, Junior Bakola Mongo

► **To cite this version:**

Jean Marie Moanda Ndeko, Junior Bakola Mongo. SYNTHESE DES CONTROLEURS OPTIMAUX POUR LES SYSTEMES A EVENEMENTS DISCRETS. 2009. hal-00560782

HAL Id: hal-00560782

<https://hal.science/hal-00560782>

Preprint submitted on 1 Feb 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SYNTHESE DES CONTROLEURS OPTIMAUX POUR LES SYSTEMES A EVENEMENTS DISCRETS.

Prof. Jean Marie MOANDA et Ir. Junior BAKOLA MONGO
Département de Génie Electrique et Génie Informatique
Université de Kinshasa, Faculté Polytechnique

RESUME

Dans cet article, on introduit le problème de synthèse de contrôleurs optimaux des systèmes à événements discrets et nous proposons une procédure pour la résolution de ce problème, dans le cas où le procédé et les spécifications sont représentés par des automates à états finis et présentant une complexité croissante.

Nous allons souscrire à la méthodologie de synthèse selon la théorie de la commande par supervision initiée par Ramadge et Wonham. Par une illustration sur un exemple simple, puis sur un modèle offrant une complexité élevée.

Dans cet esprit, les langages, méthodes et outils de développement mis en œuvre pour les spécifier et les développer doivent s'élever à un niveau de qualité permettant de satisfaire les exigences exprimées. Face à cette situation, nous contribuons dans ce travail à systématiser l'emploi des méthodes formelles dans les cycles de développement des systèmes en l'outillant et l'adaptant au langage UML (Unified Modeling Language), qui est le plus exploité dans les projets industriels.

MOTS CLES : Systèmes à Evénements Discrets,
Synthèse des contrôleurs optimaux

INTRODUCTION

Depuis quelques décennies les progrès technologiques ainsi que les exigences d'une compétitivité sans cesse croissante ont présidé à l'apparition de systèmes de plus en plus complexes ainsi là où par le passé le bon sens suffisait, il est devenu de plus en plus crucial de disposer d'outils formels qui permettent d'analyser de tels systèmes c'est notamment le cas des systèmes de production dont la complexité rend parfois difficiles leur dimensionnement, leur automatisation et leur gestion.

Certains s'attachent aux aspects de sûreté de fonctionnement d'un système automatisé tel que la fiabilité, la défaillance mais vu les progrès technologiques et les concurrence qui ne cesse de croître sur le marché, un nouvel aspect d'analyse et de commande est née celui de la synthèse de contrôleur.

La méthodologie s'intéresse au fonctionnement normal et désiré du système, elle a été introduite par Ramadge et Wonham.

Notre travail sera alors porté sur l'application de la méthode de synthèse de contrôleur sur le SED, en usant des méthodes formels couplés aux techniques de génie logiciel pour ainsi déboucher sur un modèle offrant clarté et concision du point de vue analyse et conception.

PRELIMINAIRES

Nous nous situons dans le contexte de contrôle par supervision, défini par la théorie de Ramadge et Wonham. Etant donné un procédé P et une spécification de fonctionnement S_{spec} , on souhaite synthétiser un contrôleur C de façon à ce que le système en boucle fermée C/P , respecte la spécification. C'est-à-dire qu'on doit chercher le langage $L(P) \cap L(S_{spec})$.

Ce langage appelé fonctionnement désiré correspond à l'ensemble des séquences qui peuvent être générées par le procédé et qui sont tolérées par la spécification, ce langage est noté L_D .

Il n'est pas toujours possible (prise en compte d'événements incontrôlables Σ_u) de restreindre, par le contrôle, le fonctionnement d'un procédé à n'importe quel sous langage de ce fonctionnement.

L'existence d'un contrôleur C tel que $L(C/P) = L_D$ réside dans le concept de contrôlabilité [WON 87].

A partir des modèles accepteurs P d'un procédé et S_{spec} d'une spécification de fonctionnement, l'algorithme de KUMAR permet de vérifier la contrôlabilité du langage de spécification $L(S_{spec})$. De plus, dans le cas où le langage $L(S_{spec})$ n'est pas contrôlable, cet algorithme permet de synthétiser un modèle accepteur du langage suprême contrôlable du fonctionnement désiré, c'est-à-dire $SupC(L_D)$ [Kumar et al. 91].

PROBLEMATIQUE DU CONTROLE

Le problème de la synthèse de contrôleur peut se résumer ainsi :

Etant donné un système, qui modélise un programme ou un système réel comment forcer ce système à respecter ses spécifications, en restreignant son comportement le moins possible ?

La première question qui se pose est l'implémentation du système contrôlé.

La vision adoptée est celle du raffinement d'une spécification incomplète, afin de la rendre correcte vis-à-vis d'exigences bien définies. Il s'agit typiquement de modifier les transitions du système initial ou bien contraindre le comportement à l'aide d'un contrôleur qui a des moyens d'action et d'observations sur le système. Il s'avère en fait que les problèmes sont souvent équivalents, mais il convient de spécifier le point de vue, adopté.

CONTRIBUTION

Soit un cahier de charge, la synthèse d'un contrôleur optimal pour un tel système n'est sans doute pas difficile en recourant à la théorie **RW**. Il s'avère alors difficile si le système traité est un système complexe présentant un problème d'explosion combinatoire. Notre modeste contribution consiste alors à user d'un certains nombres des diagrammes UML, pouvant rendre le problème complexe facilement modélisable puis finalement obtenir un modèle FSM conforme au un langage formel.

Nous avons choisi pour cela le modèle en peau d'oignon qui est maintenant normalisés au sein d'UML. Ils permettent de combiner des automates à états finis suivant deux principes: le "parallélisme" (automates concurrents) et l'inclusion hiérarchique. L'inclusion signifie que chaque état peut être décomposé en un automate qui décrit le comportement avec une granularité plus fine. Les transitions sont étiquetées avec des événements déclencheurs, des actions (qui sont des événements déclenchés) et des conditions.

L'utilisation d'UML dans l'industrie recouvre principalement les diagrammes de cas d'utilisation, les diagrammes de classe, les diagrammes de séquence et les diagrammes d'activité.

Dans notre contexte, nous utilisons les diagrammes d'activités, car nous nous intéressons principalement aux comportements des systèmes modélisés. Les diagrammes d'activité permettent de modéliser des flux de contrôle : signaux, données, algorithmes ou procédures.

Les diagrammes de comportement, qui décrivent les aspects dynamiques d'un système ou processus métier. Ils comprennent principalement les diagrammes d'activité, d'états-transitions et de cas d'étude.

Nous nous proposons d'appliquer les méthodes formelles, selon deux approches complémentaires.

La première consiste à appliquer des techniques au cours de sa phase d'analyse, pendant laquelle les exigences de fonctionnement sont formalisées. Cette démarche intervient en amont de la phase de conception détaillée du système.

Il s'agit de déterminer, à partir d'un ensemble de configurations initiales du système, une stratégie permettant de maintenir son fonctionnement dans l'ensemble de ses comportements admissibles, quelle que soit l'influence de son environnement. L'objectif est d'abord de comprendre la dynamique du comportement du système à réaliser, afin d'aider l'ingénieur à concevoir ensuite un modèle précis de ce système que nous pourrions vérifier.

La deuxième approche concerne la vérification formelle de propriétés attendues sur le modèle du système, obtenu en phase de conception détaillée.

Notons que les deux approches permettent d'obtenir le diagramme d'états du contrôleur et suivant l'algorithme de KUMAR on arrive à un contrôleur optimal qui garantisse les respects des spécifications. Ce dernier permettra d'obtenir une implémentation et une simulation aisée sur l'environnement MATLAB.

IMPLEMENTATION AVEC MATLAB – SIMULINK

Simulink est un logiciel qui permet de modéliser, simuler et analyser des systèmes dynamiques (système dont les sorties et les états évoluent au cours du temps).

Dans ce paragraphe, nous allons présenter le nouveau simulateur systèmes qui va interagir avec SIMULIK.

Stateflow est un outil graphique puissant de conception, de développement et pour la modélisation de systèmes de contrôle complexe. Il nous offre la possibilité de modéliser et simuler le comportement de systèmes fondés sur le principe des automates à états finis. Cette particularité de Stateflow va nous permettre de combiner plusieurs éléments d'un système en une simulation de boucle fermée (« closed-loop simulation »).

La combinaison de Stateflow et de Simulink nous offre donc une méthode de simulation à la fois précise et complexe. Stateflow fait partie de Simulink, il permet d'y ajouter des blocs contenant des graphes à nombre d'états fini, avec des étapes, des actions, des transitions, mais également avec des événements. La simulation du schéma- bloc utilise Visual C++, c'est à dire que les modèles une fois définis sont traduits en C++ et compilés, ce qui donne l'exécutable utilisé pour la simulation. La particularité de deux approches présentées ci-haut est qu'elles nous offrent directement un diagramme d'états du procédé contrôlé facile (c'est-à-dire le produit synchrone des automates du système ascenseur pris individuellement et l'application de l'algorithme de KUMAR est intégré dans le modèle proposé) à construire sous stateflow (états, transitions et événements).

IMPLEMENTATION DU PROCEDURE-CONTROLE

Les objectifs du contrôle en boucle fermée sont de maintenir le procédé à respecter les spécifications en agissant sur l'occurrence des événements contrôlables.

Nous allons utilisé une autre approche visant à concevoir un système entraîné par les événements qui alors modélise le comportement du système à étudier, qui se trouve être décrit en termes de transitions d'état. La déclaration des états active est basée sur l'occurrence des événements sous certaines conditions.

Le procédé contrôlé est implémenté de façon modulaire tel que chaque contrôleur ascenseur est programmé graphiquement ensuite les deux supervisé par un contrôleur global qui gère les conflits.

Identification des associations entre objets

Source des messages	Destination des messages	Message
bouton d'appel	contrôleur	demande d'ascenseur
contrôleur	ascenseur	demande de status
contrôleur	ascenseur	ajout de la destination
ascenseur	contrôleur	accord
ascenseur	Indicateur d'arrivée d'ascenseur	signal d'arrivée
capteur de palier	ascenseur	localisation
capteur de tension de câble	bloqueurs	engager
station de contrôle	bloqueurs	relâcher
capteur de tension de câble	station de contrôle	alarme
ascenseur	station de contrôle	status
bouton de demande d'étage	ascenseur	ajout de la destination
interrupteur marche/arrêt	ascenseur	marche/arrêt
interrupteur marche/arrêt	station de contrôle	marche/arrêt
bouton d'alarme	station de contrôle	alarme
ascenseur	porte	ouvrir/fermer

Tableau 3. Identification et association entre objets

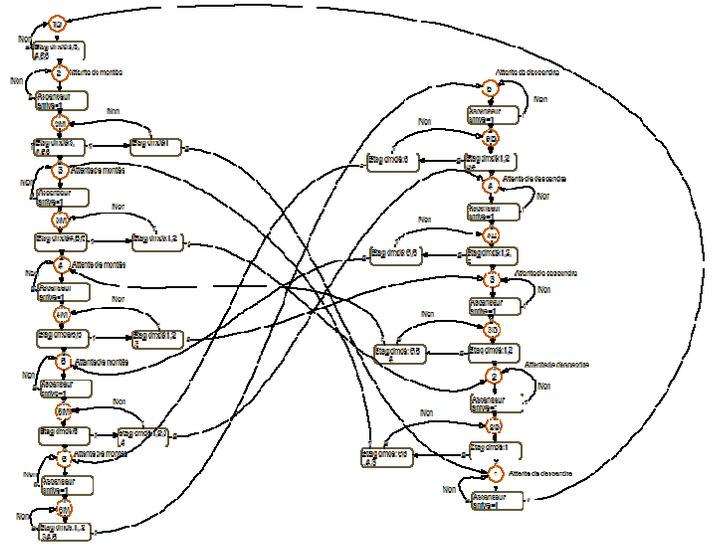


Figure 3 : Automate d'un contrôleur local optimisé du modèle ascenseur

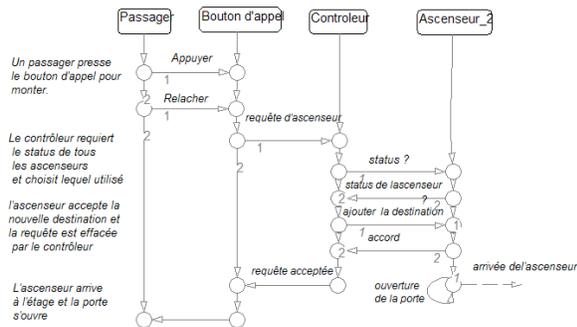


Figure 4 : contrôleur d'un scénario provenant du cas

La phase de conception détaillée.

Une fois l'analyse est bien finie nous procédons à la conception d'un contrôleur.

Ce diagramme permet de visualiser des automates d'états finis de l'ascenseur, du point de vue des états et des transitions voir figure 4.

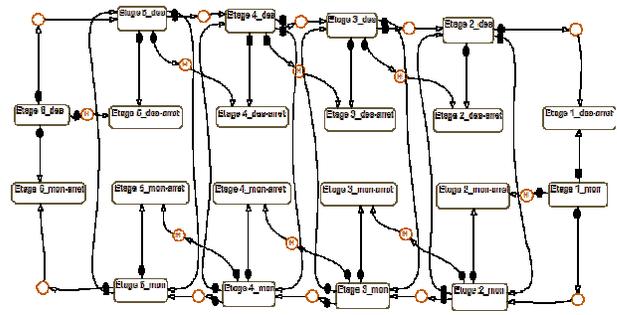


Figure 5 : Automate à état fini de l'ascenseur

Implémentation sous MATLAB

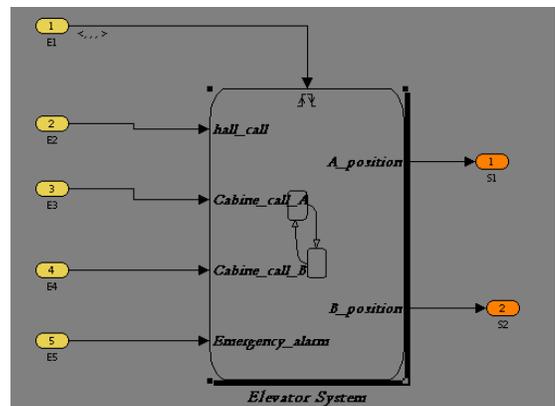


Figure 6 : (Modèle stateflow du contrôleur)

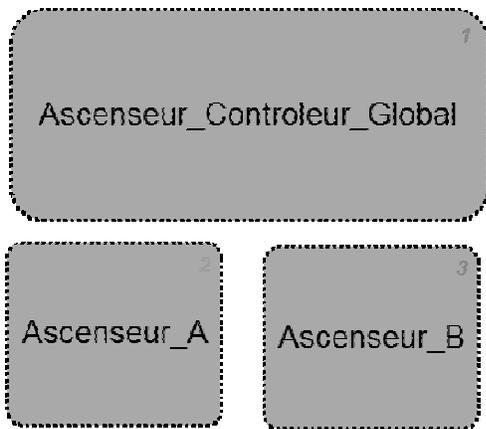


Figure 7 : (Structure modulaire du concept contrôleur sous Stateflow)

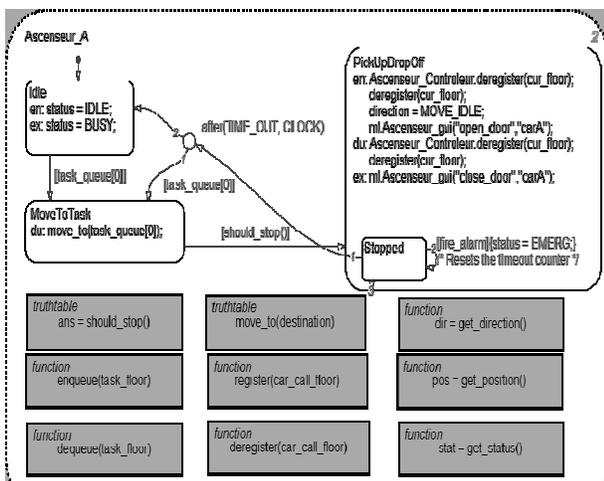


Figure 8 : Le modèle FSM du contrôleur local A d'ascenseur

Condition Table:					
	Description	Condition	D1	D2	
1	Move up	move_up: destination - position > ERR_TOR	T	F	
2	Move down	move_down: position - destination > ERR_TOR	F	T	
	Actions: Specify a row from the Action Table			1	2

Action Table:		
#	Description	Action
1	Move up	position = position + VELOCITY; direction = MOVE_UP; ml.elevator_gui("move_car", "carA", position);
2	Move down	position = position - VELOCITY; direction = MOVE_DOWN; ml.elevator_gui("move_car", "carA", position);

Figure 9 : la table de processus du contrôleur local A

Ce point se concentre sur la logique de contrôle du système qui est mis en application dans Stateflow, mais les points suivants sont cruciaux à l'interaction entre Simulink et Stateflow :

- ✓ La logique de contrôle surveille les lectures des capteurs comme entrées de données dans Stateflow.
- ✓ La logique déterminée à partir de ces lectures produit une phrase booléenne d'état.

Le diagramme Stateflow ci-dessous met en application la logique de contrôle de chaque contrôleur pris individuellement puis celle du contrôleur global pris en entiereté.

Le groupe de figures ci-dessus décrit la logique de contrôle illustrée par la machine à état fini du contrôleur d'ascenseur en ne considérant qu'un ascenseur pris isolement, cette logique est donc implémentée dans une machine stateflow sous une programmation graphique traduisant le comportement réel d'un contrôleur d'ascenseur dans un environnement dynamique.

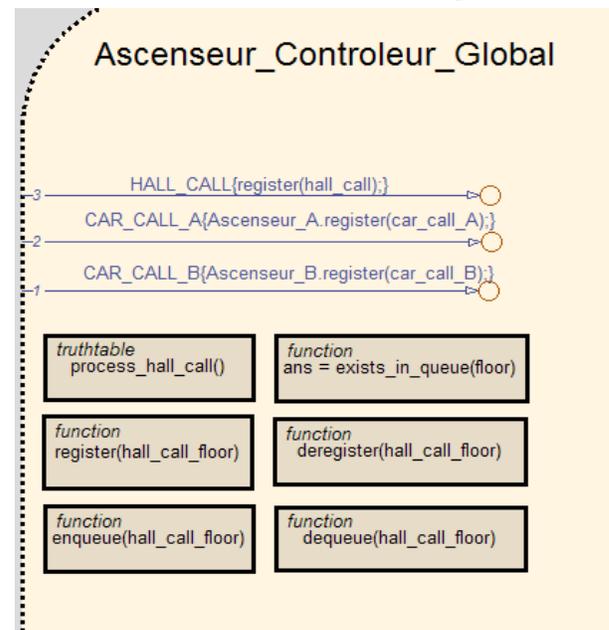


Figure 10 : Logique de commande du contrôleur global du système

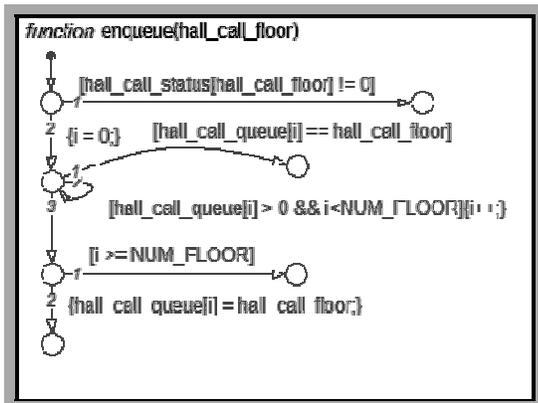


Figure 11 : Le modèle Stateflow d'un FSM de la file d'attente

Si aucun ascenseur n'est disponible, la requête est mise en queue jusqu'à ce qu'un des ascenseurs satisfasse la requête émise. Une fois pressé, le bouton d'appel s'éclaire pour indiquer qu'une requête est en attente. Presser un des boutons d'appel alors qu'une requête pour la même direction est en attente n'aura aucun effet.

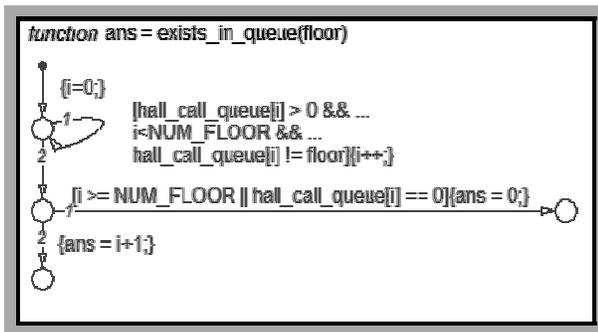


Figure 12 : Le modèle stateflow d'un FSM de statut

Une fois pressé, le bouton d'appel s'éclaire pour indiquer qu'une requête est émise, le contrôleur prend directement en charge la requête et demande le statut d'ascenseur une fois que le statut lui est donné, le système répondra à une requête d'ascenseur en envoyant l'ascenseur le plus proche et qui est inactif ou qui se déplace dans la direction demandée. Si aucun ascenseur n'est disponible, la requête est mise en queue.

PERSPECTIVES

Comme perspectives nous aurions voulu faire de la synthèse d'appel optimale sur un modèle d'ascenseur (c'est-à-dire : dans le modèle traité, les passagers empruntent la première cabine disponible, quelque soit l'étage auquel ils se rendent, de nombreux arrêts sont nécessaires pour libérer la cabine tandis que avec le contrôle d'appel de destination, les passagers sont regroupés avant de pénétrer dans l'ascenseur. Ceux qui se rendent au même étage parviennent directement à destination, sans arrêt intermédiaire. Les étapes étant moins nombreuses, la cabine est plus rapidement disponible).

CONCLUSION

La conception d'un contrôleur pour un cas complexe difficilement concevable avec les méthodes classiques développées par INRIA et R&W. Là on a pu recourir à des méthodes développées en génie logiciel enfin d'obtenir un automate du contrôleur optimal et faisant face aux problèmes liés à la compilation de modèle de taille importante nous avons déterminée le modèle du contrôleur qui reflète directement les spécifications choisies.

Ensuite nous nous sommes focalisés sur la conception d'un simulateur pour notre système logiciel intégrant la logique synthétisée dans la seconde partie. La procédure de synthèse présente beaucoup d'avantage car elle nous offre directement le FSM adapté pour être implémenté dans l'environnement utilisé pour concevoir le simulateur. Nous pouvons dire que la formulation de la technique de synthèse génère des contrôleurs corrects, optimaux et offre la possibilité de faire des contrôles différents sur un même modèle (Contrôleurs locaux et global).

BIBLIOGRAPHIE

[BAL 92] S. Balemi, Control of Discrete Event Systems: Theory and Application Mai 1992.

[BRA 94] B. A. Brandin and W. M. Wonham. Supervisory control of Timed Discrete Event Systems.

[CAS 99] C. Cassandras. Introduction to Discrete Event Systems. Kluwer Publishing Company 1999.

[Alla et al. 01] A. Alla, R. David, M. Di Mascolo, J.-L. Ferrier. Analyse et commande des systèmes à événements discrets. Hermès Ed., 2000.

[Kumar et al. 91] R. Kumar, V. Garg, S.I. Marcus. "On controllability and normality of discrete event dynamical systems". Systems and Control Letters, vol. 17, p. 157-168, 1991.

[Mathworks R2009] The MathWorks Inc « Simulink: Dynamic System Simulation for MATLAB », Using Simulink,

[Harel 87] Harel, David, "Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems," *Science of Computer Programming* 8, 1987, pages 231-274.

[Kyamakya 05] Cours Génie logiciel, Kyamakya faculté Polytechnique de Kinshasa

[Robert 03] Cours Génie logiciel, Jean-Marc Robert Ecole de technologie supérieure Québec.