

# Modélisation et vérification formelle des IHM multimodales

*Nadjet KAMEL*<sup>†\*</sup>

<sup>†</sup> LRIA/USTHB

BP 32,

El Alia, Bab Ezzouar, 16111, Alger, Algerie

<sup>\*</sup> LISI/ENSMA

BP 40109

86961, Futuroscope Cedex, France

[nkamel@wissal.dz](mailto:nkamel@wissal.dz) , [kamel@ensma.fr](mailto:kamel@ensma.fr)

## RESUME

Les techniques formelles basées sur les modèles mathématiques permettent la spécification sans ambiguïté et la vérification des systèmes à un stade avancé dans le cycle de développement. Peu de travaux appliquant ces techniques dans le développement des IHM multimodales (IHM3) existent. Dans cet article nous présentons une partie des travaux de notre thèse qui consiste en la définition de modèles et démarches formels pour le développement des IHM3. Nous présentons les premiers résultats concernant la modélisation formelle de l'IHM3.

**MOTS CLES :** Interactions Multimodales, Méthodes Formelles

## ABSTRACT

Formal methods based on mathematical models allow specification and verification of systems at earlier step in the development cycle. Few works are interested to apply these techniques in the development of multimodal HCI. In this paper we present a part of our thesis work which consist of definition of models and formal approaches for developing IHM3. We present our first results concerning the formal modelisation of multimodal HCI.

**CATEGORIES AND SUBJECT DESCRIPTORS:** D.2 [Software Engineering] : Model Checking.

**GENERAL TERMS:** Verification, Experimentation

**KEYWORDS :** Multimodal Interaction, Formal Methods

## INTRODUCTION

Avec la puissance des machines et le progrès des systèmes de reconnaissance de la parole et de synthèse vocale qui ont permis d'augmenter les capacités sensorimotrices et représentationnelles des systèmes, nous assistons au développement d'applications où les moyens de communication et d'interaction sont de plus en plus variés. Contrairement aux interfaces classiques, dans les interfaces multimodales l'utilisateur peut interagir en utilisant un ou plusieurs moyens de communication, avec

l'application, tels que la parole, le geste et la manipulation directe etc. Dans ce type d'interfaces, les interactions peuvent être utilisées de manières séquentielles, parallèles, indépendantes ou bien combinées. Les IHM3 sont caractérisées également par la concurrence entre les événements et tâches. Les travaux de recherche dans ce domaine s'intéressent à plusieurs aspects. Certains s'intéressent à l'implémentation d'applications multimodales [5][7][2], d'autres à la définition de concepts relatifs à la multimodalité [8] et d'autres aux propriétés d'interfaces multimodales [4].

Les méthodes formelles, par l'utilisation de modèles et de techniques reposant sur des définitions mathématiques rigoureuses, offrent de nouvelles possibilités pour la validation des logiciels. Leur mise en application permet de garantir des propriétés fondamentales du système, avec pour résultat concret d'éliminer plus d'erreurs dès la conception. Ceci évitera les testes effectuées en fin du cycle du développement et qui provoquent en général un coût élevé de maintenance. L'utilisation des techniques formelles dans le domaine des systèmes interactifs, que représente les IHM, a intéressé plusieurs travaux de recherche, mais leur utilisation pour les IHM3 reste rare et c'est dans ce contexte que se situe notre travail. Notre objectif est la modélisation formelle de tout type d'interface multimodale, la modélisation des propriétés et l'utilisation de techniques de vérification formelle. Les modèles que nous définissons sont indépendants de toute technique formelle et de tout outil. Les premiers résultats que nous présentons dans cet article consiste en la définition d'un modèle formel générique permettant la conception d'interfaces multimodales en se basant sur les espaces de conception déjà définis par les travaux de recherches dans ce domaine. La sémantique formelle de ce modèle est donnée en termes de systèmes de transitions étiquetées. Pour la vérification formelle des propriétés, il existe principalement deux techniques formelles : la vérification sur modèle que nous avons mise en œuvre dans [11] avec SMV[8] pour vérifier des propriétés CARE [4] et la technique de preuve qui en cours d'étude en utilisant l'atelier B.

Cet article est organisé comme suit : la prochaine section présente le contexte de notre étude, où nous présentons l'espace de conception que nous avons utilisé pour définir notre modèle formel qui sera présenté dans la section 3. Dans la section 4, nous présentons les techniques formelles de vérifications que nous avons mises en œuvre pour la vérification des propriétés d'IHM3. La dernière section présente la conclusion et nos futurs travaux.

## CONTEXTE D'ETUDE

L'objectif de notre travail est de définir des modèles formels pour assister le développement d'IHM3 au niveau conception et vérification de propriétés d'utilisateur. Pour cela nous nous sommes intéressés d'abord aux travaux déjà réalisés dans le domaine en terme d'espace de conception et de propriétés d'utilisateur d'IHM3. L'interaction dans les IHM3 est complexe dans le sens où elle est définie par plusieurs événements provenant de plusieurs canaux d'entrée. Plusieurs modalités peuvent participer à la réalisation d'une interaction élémentaire : un *énoncé*. Ces énoncés participent à la réalisation d'interactions utilisateurs plus complexes : *tâches*. Les énoncés et les tâches peuvent être produits d'une manière parallèle ou séquentielle. Un énoncé peut être produit par une ou plusieurs modalités de manière séquentielle ou parallèle. La combinaison de tous ces critères et autres définit les espaces de conception. Notre modélisation repose sur l'espace défini dans [1], et qui repose sur les trois critères suivants : production des énoncés (séquentiel ou parallèle), usage des modalités (exclusif ou simultané) et nombre de modalités par énoncé. La combinaison de ces critères a produit plusieurs types de multimodalité. Nous présentons ici à titre d'exemple trois types :

1. *Alternée* : plusieurs modalités peuvent être utilisées alternativement pour produire un énoncé. Les énoncés sont produits de manière séquentielle.
2. *Synergique* : les énoncés sont produits de manière séquentielle mais plusieurs médias peuvent être utilisés dans un même énoncé et de manière parallèle.
3. *Parallèle exclusive* : plusieurs énoncés indépendants peuvent être produits en parallèle. Un seul média est utilisé pour chaque énoncé et à un instant donné un seul média est actif.

Pour vérifier l'utilisabilité d'une IHM3, un ensemble de propriétés a été défini. Ce sont les propriétés CARE : Complémentarité, Assignment, Redondance, Equivalence. Elles définissent les propriétés de flexibilité et de robustesse des IHM3. Deux modalités sont équivalentes si chacune d'elle permet de réaliser la même tâche. Le choix offert par cette propriété définit la flexibilité de l'IHM3. Deux modalités sont complémentaires si elles participent toutes les deux dans la réalisation d'une tâche. L'assignment désigne la spécialisation d'une modalité pour la réalisation d'une tâche tandis que la redondance exprime l'utilisation de modalités équivalentes

pour la même tâche de manière redondante. La redondance augmente la robustesse d'un système. Une syntaxe formelle de ces propriétés a été donnée dans [4]. Elle se base sur les notions d'*états*, *but*, *modalité* et *relations temporelles*

## MODELE FORMEL POUR L'IHM3

Nous présentons, dans cette section, notre modèle formel pour la conception l'interaction multimodale en entrée. Nous définissons la syntaxe du modèle par des règles de grammaire et la sémantique dynamique par les systèmes de transitions étiquetés. Nous avons défini un ensemble d'opérateurs de composition empruntés des algèbres de processus Lotos et CCS. Le modèle est paramétré de sorte qu'il permet de définir tout type d'IHM3 selon l'espace défini dans la section 2. Dans la sous section suivante, nous définissons les notions de modalité et événement utilisés dans notre modèle.

### Modalités et événements

Nous définissons une modalité par un type d'événements. Un événement est une interaction élémentaire produite par une modalité et qui est non décomposable. Nous notons par  $A_{mi}$ , l'ensemble des événements  $ei$  produits par la modalité  $mi$ .  $A$  est l'ensemble des événements  $e$  du système. Ainsi si on dispose de  $n$  modalités,

on pose  $A = \bigcup_{i=1}^n A_{mi}$ . Enfin,  $AM$  désigne l'ensemble

des événements générés par un sous-ensemble de modalités possibles.  $AM = \bigcup_{k \in 1..n} A_{mk}$  avec  $A_{mk} \subseteq A$ .

### Syntaxe

Nous donnons ici la syntaxe des modèles de quelques types d'IHM3 sous forme de grammaire. Pour chacune des grammaires la règle T est utilisée pour générer le langage en fonction des tâches utilisateurs à un niveau élevé d'abstraction. La règle E définit les énoncés par la composition des événements élémentaires. Les énoncés sont paramétrés par les modalités utilisées pour leur réalisation. La signification informelle des opérateurs de composition utilisés dans la syntaxe des modèles est donnée comme suit :

$\delta$  est un terme qui ne fait rien (mot vide) ;

$[ ]$  est le choix non déterministe entre deux tâches ;

$\gg$  est l'opérateur de séquence entre deux tâches ;

$;$  est le préfixage ;

$\parallel$  désigne l'opérateur d'entrelacé ;

$\|$  est l'opérateur du parallélisme.

**Type Alterné.** Les énoncés sont composés séquentiellement et produits par des événements issus de différentes modalités entrelacées.

$$T ::= T [ ] T \mid T \gg T \mid E_{AM}$$

$$E_{AM} ::= e ; E_{AM} \mid e \parallel E_{AM} \mid \delta \text{ avec } e \in AM$$

**Type Synergique.** Les énoncés sont composés de manière séquentielle et peuvent être produits par plusieurs modalités en parallèle ou entrelacées.

$$T ::= T [] T \mid T \gg T \mid E_{AM}$$

$$E_{AM} ::= e ; E_{AM} \mid e \parallel E_{AM} \mid e \parallel\parallel E_{AM} \mid \delta$$

avec  $e \in AM$

**Type Parallèle Exclusif.** Chaque énoncé est composé d'évènements issus d'une seule modalité.

$$T ::= T [] T \mid T \gg T \mid T \parallel\parallel T \mid E_{Amk}$$

avec  $A_{mk} \subseteq AM$

$$E_{Ami} ::= ei ; E_{Ami} \mid \delta \text{ avec } ei \in A_{mi}$$

### Sémantique

**Sémantique statique.** La sémantique statique définit des attributs aux éléments syntaxiques afin de pouvoir exprimer certaines propriétés statiques de l'IHM3. Ces attributs peuvent être codés dans la technique formelle utilisée pour implémenter le modèle. Ces attributs peuvent caractériser le type d'évènement, sa durée etc.

**Sémantique dynamique.** La sémantique dynamique ou opérationnelle définit le comportement des différents opérateurs de composition pendant l'exécution du système. Elle est donnée par des règles de transition définissant le système de transitions sous-jacent. Soient  $P, Q$  des termes de la grammaire,  $e, e_1$  et  $e_2$  des évènements de  $A$ . La transition  $P \xrightarrow{e} Q$  décrit le passage d'un état caractérisé par  $P$  à un état caractérisé par  $Q$ , lorsque l'évènement  $e$  est déclenché. La sémantique des opérateurs est donnée par les relations de transitions décrites selon le style de G.Plotkin [10] au moyen de règles de la forme  $\frac{\text{prémisses}}{\text{conclusion}}$ . Elles sont définies par deux axiomes et neuf règles.

$$\delta : \quad \delta \not\rightarrow \quad \text{axiome}$$

$$; : \quad e ; P \xrightarrow{e} P \quad \text{axiome}$$

$$[] : \quad \frac{P \xrightarrow{e} P'}{P [] Q \xrightarrow{e} P'} \quad \frac{Q \xrightarrow{e} Q'}{P [] Q \xrightarrow{e} Q'}$$

$$\gg : \quad \frac{P \xrightarrow{e} P' \text{ et } P' \neq \delta}{P \gg Q \xrightarrow{e} P' \gg Q}$$

$$\quad \frac{P \xrightarrow{e} P' \text{ et } P' = \delta}{P \gg Q \xrightarrow{e} Q}$$

$$\parallel\parallel : \quad \frac{P \xrightarrow{e} P'}{P \parallel\parallel Q \xrightarrow{e} P' \parallel\parallel Q} \quad \frac{Q \xrightarrow{e} Q'}{P \parallel\parallel Q \xrightarrow{e} P \parallel\parallel Q'}$$

$$\parallel : \quad \frac{P \xrightarrow{e} P'}{P \parallel Q \xrightarrow{e} P' \parallel Q} \quad \frac{Q \xrightarrow{e} Q'}{P \parallel Q \xrightarrow{e} P \parallel Q'}$$

$$\frac{P \xrightarrow{e_1} P' \text{ et } Q \xrightarrow{e_2} Q' \text{ avec } e_1 \in A_{mi}, e_2 \in A_{mj} \text{ et } A_{mi} \neq A_{mj}}{P \parallel Q \xrightarrow{(e_1, e_2)} P' \parallel Q'}$$

Le système de transitions d'un terme (mot) du langage généré par la grammaire est obtenu par induction structurelle à partir des règles précédentes. C'est sur ce système de transitions que seront vérifiées les propriétés dynamiques du système.

### Vérification formelle des propriétés

Les propriétés d'utilisabilité CARE peuvent être spécifiées formellement dans une logique pour être vérifiées sur le modèle du système. Il existe deux techniques formelles pour la vérification et la validation des systèmes : La vérification sur modèle et la preuve. La vérification sur modèle est une technique basée sur la construction d'un modèle fini du système et la vérification des propriétés sur ce modèle. La vérification est effectuée par énumération exhaustive de l'espace d'états. Une approche de cette technique a été développée par Clarke et Emerson [3] et Quille et Sifakis [9]. Elle consiste à exprimer les propriétés dans une logique temporelle [5] et modéliser le système par un système de transitions fini. Un algorithme est utilisé pour vérifier si le système de transitions est un modèle pour la spécification. Dans [11] nous avons utilisée cette technique pour vérifier des propriétés CARE à l'aide du vérificateur sur modèle SMV[6]. Les propriétés ont été spécifiées dans la logique temporelle CTL et le système de l'IHM3 a été modélisé par notre modèle présenté dans la section précédente. Le système de transitions est décrit dans le langage d'entrée de SMV. La technique de preuve permet de vérifier des propriétés exprimées dans la logique de premier ordre sous forme d'invariants à l'aide d'un système d'inférence. Une implémentation avec cette technique est en cours d'étude en utilisant le B évènementiel pour décrire le système de transitions du modèle du système, les invariants pour décrire les propriétés et l'atelier B pour la preuve.

### CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté notre contribution pour la conception et la vérification des IHM3. Notre démarche est générique est indépendante de tout outil. Nous avons défini un modèle formel pour la conception de l'IHM3 selon un espace de conception défini par les chercheurs de ce domaine. Nous avons présenté également les deux démarches de vérification des propriétés d'utilisabilité d'une IHM3 que nous avons mise en oeuvre.

Les travaux en cours concernent la modélisation formelle des propriétés CARE ainsi qu'à l'utilisation de l'approche descendante avec un développement par décomposition en utilisant le raffinement et la technique de preuve pour la vérification des propriétés en utilisant l'atelier B et le B évènementiel.

Les travaux futurs s'intéressent à la proposition d'une approche globale combinant les deux techniques de conception et de vérification afin d'exploiter les avantages de chacune dans un même processus de développement.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. Bellik Yacine « Interfaces multimodales : concepts, modèles et architectures » thèse de doctorat d'université 1995.
2. Bier, E., Stone, M. Pier, K. Buxton, W. & DeRose, T. "Toolglass and Magic Lenses: the See-Through Interface", Proceedings of ACM SIGGRAPH'93, ACM Press, pp.73-80, 1993.
3. Clarke, E.M. & Emerson, E. A. "Synthesis of synchronization skeletons for branching time temporal logic". In logics of programs : workshop, volume 131, York-town Heights, New York, 1981. Springer-Verlag.
4. Coutaz, J., Nigay, L., Salber, D., Blandford, A., May, J. and Young, R.M. « Four easy pieces for assessing the usability of multimodal interaction: the CARE properties ». In K. Nordby, P.H. Helmersen, D.J. Gilmore and S.A. Arnesen (eds) *Human Computer Interaction: Interact '95*. Chapman and Hall: London. pp. 115-120, 1995.
5. Z.Manna & A.Pnueli. « *the temporal logic of reactive and concurrency systems : specification* ». Springer-verlag, 1992.
6. McMillan, K. L., "The SMV system", Technical report, Carnegie Mellon University, 1992.
7. L. Nigay & J. Coutaz. « A Generic Platform for Addressing the Multimodal Challenge », Proceedings of ACM CHI 1995, pp. 98-105.
8. L. Nigay, J. Coutaz, « *Espaces conceptuels pour l'interaction multimédia et multimodale* », TSI, spéciale Multimédia et collectif, AFCET & HERMES Publ, Vol 15(9), 1996, p. 1195-1225
9. J. Queille & J. Sifakis. « *Specification and verification of concurrent systems in Caesar* ». In 5<sup>th</sup> international symp. On programming, Lecture Notes in Computer Science, pages 337-351. Springer Verlag, 1981.
10. D. Plotkin. "A structural approach to operational semantics". Rapport de recherche DAIMI FN-19 Université d'Arhus Computer Science departement Arhus Danemark 1981.
11. N. Kamel. « utilisation de SMV pour la vérification de propriétés d'IHM multimodales ». 16eme conférence francophone sur l'Interaction Homme Machine. Namur 2004, pp 219-222. ACM Press.