

L'apprentissage par renforcement et la conception d'un Système tuteur adaptatif

Abdelhak BENNANE
Centre de Formation des Inspecteurs de l'Enseignement (CFIE)
Rabat, Maroc.
abennane@vub.ac.be

Résumé : L'adaptabilité d'un système est l'appropriation du système aux conditions interne et externe de l'environnement, et de permettre à ce système de durer et d'interagir efficacement avec son utilisateur ou un groupe d'utilisateurs. L'adaptabilité est une question qui occupe depuis toujours les concepteurs des logiciels pédagogiques, sachant que des différentes techniques ont été utilisées telles que les techniques déductives, inductives, réseaux bayesiens, etc. Dans notre cas, nous allons essayer les techniques de l'apprentissage par renforcement dans le but de modéliser et d'adapter un système tuteur. L'apprentissage par renforcement est une technique intéressante, utilisée pour résoudre les problèmes de l'apprentissage (interne) des systèmes.

Mots clés : Tuteur intelligent, système adaptatif, système auteur, environnement, agent, apprentissage par renforcement.

Summary : The adaptability is the system appropriation to the environment internal and external conditions, and to allow to this system to remain and to be effectively interacting with it user. The adaptability is a question that occupies since always the designers of pedagogical software, knowing that several techniques which result from machine learning such as inductive techniques, deductive, the bayesian networks, etc, were used with the aim to adapt the tutoring systems to its users. This goal, is it reached and effectively? The research field is young, thus there isn't a unique viewpoint or approach, either on tutoring system design, either on the used adaptability techniques. In our case, we called upon the reinforcement learning to model the tutoring system and with its techniques to generate a policy, which will ensure, in an objective way, the system adaptability. The reinforcement learning is an interesting technique, used to solve the learning problems.

Keywords: intelligent tutoring, adaptive system, authoring system, environment, agent, reinforcement learning.

1. Introduction

Les tuteurs intelligents sont des logiciels pédagogiques destinés à donner appui à l'enseignement-apprentissage. Ces systèmes peuvent être employés dans le processus éducatif normal, dans des cours à distance, sous forme de CDROMs, ou comme applications qui tournent sous Internet, etc. Ils présentent de nouvelles méthodes pour l'éducation, qui peuvent changer le rôle du tuteur humain, etc. L'introduction des logiciels comme outils auxiliaires dans l'apprentissage ont été développés dans le cadre de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO). Les programmes de l'EAO n'ont pas considéré la diversité des apprenants et leurs besoins. C'est pourquoi, ils ont échoué pour s'adapter aux spécificités des apprenants et à l'apprentissage individualisé [Bennet97].

En 1982, [Sleeman82] ont passé en revue la situation de l'enseignement assisté par ordinateur et ont inventé pour la première fois les « Intelligent Tutoring Systems » (ITS) pour les présenter comme des systèmes évolutifs et pour les distinguer des systèmes de l'EAO. Ils ont classifié les tuteurs intelligents en quatre types : (1) des tuteurs de résolution des problèmes, (2) des exercices, (3) des tuteurs de laboratoire (simulateurs), et (4) des conseillers.

Le passage de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO) à l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur (EIAO) peut être considéré comme une rupture avec une méthodologie de conception des logiciels pédagogiques. La nouvelle conception adoptait le tuteur humain comme base pour produire des modèles pédagogiques par application des techniques de l'intelligence artificielle (IA). Ceci a permis la naissance des tuteurs intelligents.

La principale conséquence conceptuelle de ce passage est au lieu d'avoir une représentation des décisions qui peut dériver d'un ensemble de connaissances pré-structurées, ce sont les connaissances elles-mêmes qui sont représentées explicitement et de ce fait, être directement manipulées. Ce qui a conduit à produire des modèles et les spécialiser.

L'idée fondamentale considère que chaque apprenant est unique. Ce paradigme est basé sur la création d'un modèle de l'utilisateur ou de l'apprenant [VanLehn88] qui mémorise les préférences individuelles des apprenants au cours du processus d'acquisition des savoirs et des savoirs-faire.

L'adaptabilité du système à l'utilisateur revient à évaluer son état de connaissance et son profil. Dans ces conditions, la prise de décision exige l'utilisation d'un raisonnement incertain. Depuis, des exemples de tuteurs ont vu le jour, dans lesquels on trouve des différentes approches d'établir les décisions pédagogiques en se basant sur des modèles de l'utilisateur, sachant que la même démarche a été adoptée dans le développement des systèmes experts [Russel95].

1987, Wenger a démontré combien le domaine avait évolué depuis la synthèse de Sleeman et de Brown [Wenger87]. Il a examiné les buts implicites et explicites et concepteurs. Peut-être, le plus significatif, et qu'il a considéré que le tuteur intelligent est une partie de la « communication de connaissances » et s'est concentré sur des aspects cognitifs et d'apprentissage de ces systèmes. Il a proposé ce qui pourrait devenir, s'il ne l'est pas déjà, la base pour une discipline qui combine le travail des chercheurs de l'IA, des sciences cognitives, et de l'éducation. Les théories cognitives devront évoluer, décrire non seulement comment nous agissons avec ces systèmes, mais comment les adapter aux changements de nos processus cognitifs. Avec une compréhension améliorée de l'évolution de nos processus cognitifs, nous pourrions créer de meilleurs systèmes de communication de connaissance. Ces systèmes seront établis en se basant sur les théories cognitives, en plus des théories des sciences informatiques et de traitement de l'information [Donald91]. Se déplacer vers une compréhension cognitive des environnements productifs de communication est susceptible d'être fructueux et pour le champ de recherche sur les tuteurs intelligents et pour les chercheurs en éducation.

2. Des questions en suspens

Quelles sont les questions ouvertes relatives à la recherche en tuteurs intelligents ? En général, plusieurs de ces questions entrent dans trois catégories. La première a pour objectif de réduire la période et le coût de développement, la seconde a pour finalité d'incorporer et d'automatiser les stratégies pédagogiques, et la dernière a pour but de permettre à des étudiants de travailler en collaboration.

2.1. Durée et coût de développement

Dans le processus de développement des tuteurs intelligents, on trouve les difficultés principales qui sont la durée de développement, et le coût exigé. Les évaluations du temps de fabrication indiquent que cent heures de développement se traduisent en une heure d'enseignement-apprentissage. Clairement, il y a un besoin de techniques qui aideront à alléger ces difficultés pour le développement des tuteurs [Beck96] [Murray99]. Les stratégies courantes pour faire ceci incluent le développement des systèmes auteurs (authoring tools) et la création de systèmes suivant une approche modulaire. Contribuer à résoudre ce problème sera une énorme percée dans la recherche en ITS, puisque plus de systèmes pourraient être construits et plus de recherche sur l'efficacité de l'enseignement automatisé pourrait être effectuée ainsi, sachant que les tuteurs intelligents se sont avérés fortement efficaces dans la motivation des étudiants.

2.2. Incorporer et automatiser des stratégies d'apprentissage

Dans la conception classique de ces systèmes, nous trouvons qu'ils sont composés de quatre éléments : modèle de l'expertise du domaine, le modèle de l'étudiant, le module pédagogique, et le module de communication.

La recherche a été faite sur chacun de ces modèle/modules, mais seulement quelques uns sont bien compris. Spécifiquement, l'incorporation de multiples stratégies d'enseignement dans le module pédagogique est une grande question en suspens [Beck96]. Dans la plupart des cas, le module pédagogique est un ensemble de règles définies par l'auteur (et/ou) concepteur d'un tuteur intelligent. En définitive, le module pédagogique est prédéfini, d'où la question suivante : Y'a-t-il un moyen de générer dynamiquement le module pédagogique ? Autrement, y'a-t-il de

possibilités de remplacer la « logique » par le « numérique » dans le cadre d'une nouvelle approche qui considère les interactions entre le système tuteur avec l'apprenant sont la clé principale de toute adaptabilité du système tuteur avec ses utilisateurs [Benmame03]?

2.3. Apprentissage collaboratif: modèle de l'apprenant et décisions pédagogiques

L'apprentissage collaboratif se rapporte à des étudiants travaillant ensemble, à l'aide d'un système tuteur et par l'intermédiaire d'un réseau informatique. Ces environnements se sont avérés avantageux, cognitivement et socialement. La conception de tuteur devrait être plus facile puisque l'instruction ne doit pas être parfaite car si un étudiant devient confus, un autre étudiant peut intervenir sans compter sur l'aide du tuteur intelligent. Un aspect important des environnements collaboratifs est celui des situations en groupe, sachant que tous les apprenants n'auront pas les mêmes capacités. Ceci crée deux problèmes. Le premier, comment les modèles d'étudiants seront mis à jour ? Le crédit devrait-il être attribué seulement à la première personne qui produit la réponse correcte ou à tous les membres du groupe ? Le deuxième problème concerne la décision pédagogique sur la façon d'avancer le groupe par le système tuteur. Un étudiant devrait-il dicter le pas du groupe entier ? Et si oui, lequel ?

3. Nos intentions

L'idée de l'adaptabilité des systèmes était toujours une question qui occupait les chercheurs. L'adaptabilité est l'appropriation d'un système aux conditions internes et externes de l'environnement, permettant à ce système de durer et d'évoluer. Pour cette fin, plusieurs techniques issues de la machine automatique ont été explorées et utilisées. La machine automatique¹ (ML) est un domaine de recherche en intelligence artificielle, qui développe une théorie sur les processus de l'apprentissage et fabrique des machines qui apprennent à connaître ou à changer de nouvelles ou d'anciennes connaissances, en exploitant l'information reçue de l'extérieur [Miche197]. C'est une technique complète pour automatiser les tâches de l'ingénierie des connaissances et l'amélioration de l'adaptabilité [Beck00]. L'un des domaines où la machine automatique a été appliquée est la conception des tuteurs intelligents, spécialement dans la construction et la maintenance du modèle de l'étudiant.

Les modèles de l'étudiant sont souvent élaborés afin de faciliter la prise des décisions pédagogiques sachant que la majorité des approches de modélisation est utilisée pour mesurer le degré d'habilité d'un étudiant dans un sujet particulier.

La plupart des tuteurs intelligents ont des règles pédagogiques prédéfinies. Leur adaptabilité et l'intelligence viennent des changements dans le modèle de l'étudiant [Beck99]. Il sera bénéfique de changer la conception afin d'avoir des systèmes plus adaptés à un étudiant ou à un groupe d'utilisateurs sachant que les règles peuvent être apprises par essai et erreur auprès d'un échantillon représentatif du public concerné. En interaction avec l'utilisateur, le système apprendra comment s'adapter à son public et évoluera car l'apprentissage est une clé de l'intelligence.

Dans le domaine de la conception des tuteurs intelligents, il n'y a pas une vue unique, soit au niveau de l'architecture du système, soit au niveau des techniques utilisées pour solutionner les problèmes de l'adaptabilité des tuteurs. L'enseignement qu'on peut tirer est la suivante, le domaine est un champ d'expériences et restera pour toutes les techniques nouvelles issues de la machine automatique.

Dans notre cas, nous essayons d'utiliser l'apprentissage par renforcement (RL)² pour concevoir, modifier et adapter un tuteur intelligent. C'est un essai parmi d'autres tels que les essais utilisant les méthodes déductives, les méthodes inductives, les réseaux bayésiens, etc.

Dans ce papier, on va essayer de répondre à la question suivante : comment concevoir, modéliser un tuteur intelligent et l'adapter avec ses utilisateurs en utilisant l'apprentissage par renforcement (RL) ?

Nous allons présenter (a) le modèle général du système tuteur, (b) la description de la solution RL-tuteur relatif à l'utilisation de RL, (c) la description d'un système tuteur (RL-Auteur), et nous terminerons ce papier par une conclusion.

4. Modèle général

4.1. A la recherche d'une solution

Dans la conception des systèmes d'information utilisant l'apprentissage par renforcement (RL), on identifie les composantes suivantes: (1) un environnement qui renferme les états du système, (2) un agent d'apprentissage qui renferme un ensemble de techniques et de données dans le but de choisir les actions qui permettent d'adapter l'environnement avec ses (3) utilisateurs.

L'apprentissage par renforcement est une technique intéressante, utilisée pour résoudre les problèmes de l'apprentissage (interne) des systèmes. Elle exige un signal de renforcement qui est le seul feedback de l'environnement vers l'agent [Lin92]. L'agent reçoit continuellement quelques entrées sensorielles appelées états. Il choisit et sélectionne les actions qui agissent sur l'environnement et après chaque action il reçoit une récompense de l'environnement.

L'objectif de l'apprentissage est de construire une règle optimale qui maximise les récompenses et les performances de l'agent. En général, ce problème d'apprentissage est utilisé pour contrôler les processus séquentiels [Miche199].

L'architecture globale d'un logiciel pédagogique peut être composée des éléments suivants : environnement, agent, communication et utilisateur. Pourquoi «utilisateur»? car l'acte pédagogique est centré sur

¹ Machine Learning (ML)

² Reinforcement Learning (RL)

l'utilisateur/consommateur du produit pédagogique !. Dans le but d'adapter l'environnement d'enseignement à ses utilisateurs, on choisit des variables qui caractérisent l'utilisateur. Dans l'interaction entre l'utilisateur et l'environnement où on trouve ces variables, tout utilisateur est unique par excellence !. L'architecture générale d'un tuteur intelligent au sens de RL, désormais RL-Tuteur, peut contenir les composantes suivantes : environnement, communication, agent d'apprentissage, et modèle de l'étudiant.

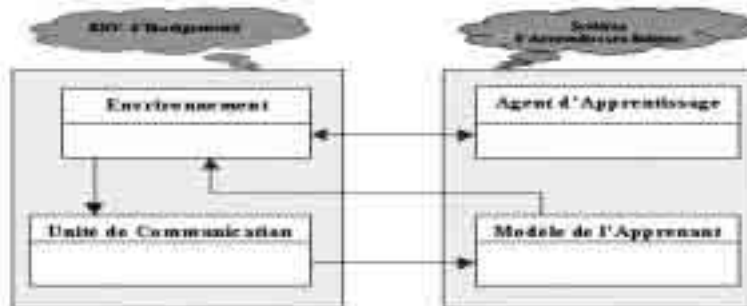


Fig. 1 : Modèle général

4.2. Processus d'enseignement et échange d'informations

En utilisant l'approche RL, comment se déroule le processus d'enseignement ? Quelles sont les informations qui passent d'une composante du système à l'autre ?

L'étude et l'analyse d'un module d'enseignement et ses composantes dans une optique pragmatique et pratique, nous permettent de préciser qu'un module est une suite de séquences pédagogiques et une séquence est une suite de situations qui de leur part contiennent de petits de sous-situations qui encapsulent toutes, et les différents niveaux des étudiants, et les différentes progressions envisagées relatives à la complexité du domaine.

Pour une séquence donnée - qui est une succession d'états (situations) - du processus d'enseignement, l'environnement envoie un état (situation d'apprentissage) à l'agent d'apprentissage dans le but de sélectionner une action qui permet d'adapter la situation d'apprentissage à l'apprenant. Comment ? L'association de l'état de l'environnement et de l'action de l'agent donne comme résultat une sous-situation qui hérite toutes les propriétés de la situation en cours, en plus, elle tient compte le niveau de l'apprenant. La sous-situation est envoyée à l'unité de communication qui la présente à l'apprenant. Ce dernier agit sur la sous-situation. Le résultat de son apprentissage (succès ou échec) est envoyé au modèle de l'apprenant qui de sa part, l'envoie à l'environnement. L'environnement envoie une récompense à l'agent d'apprentissage en se basant sur le résultat de l'apprentissage de l'apprenant. Si l'apprentissage est accompli par succès, alors une récompense positive est envoyée à l'agent, sinon une récompense négative. Suite à cette opération, l'agent d'apprentissage met à jour ses données afin de prendre les bonnes décisions dans le futur. Ce processus continue jusqu'à la fin de la séquence d'apprentissage.

5. Description de RL-Tuteur

Dans cette section, nous allons présenter une description des composantes du RL-Tuteur relatif à la conception d'un tuteur intelligent en utilisant l'apprentissage par renforcement (modèle et technique).

Au premier lieu, nous exposons le modèle de l'environnement d'enseignement, au second lieu le modèle du système d'apprentissage interne.

5.1. Environnement d'enseignement

Comme nous avons signalé dans la section précédente, l'environnement est l'équivalent du domaine expert dans l'architecture classique des tuteurs intelligents. Elle contient les ressources quantitatives et qualitatives du sujet objet du tuteur. Alors que l'unité de communication facilite l'interaction entre l'apprenant et l'environnement.

5.1.1. Environnement

L'environnement se compose de deux éléments :

Une base de connaissances qui contient les ressources quantitatives et qualitatives relatives aux états (situations d'apprentissage) de l'environnement d'enseignement. Nous croyons qu'une situation d'apprentissage est la composante élémentaire d'un contenu [Vive93] d'enseignement - apprentissage. Une situation contient une partie statique (ressources quantitatives disponibles), et une autre dynamique qui correspond à la fois aux activités de l'étudiant et aux différents modes de contrôle de ces activités, nous rappelons que nous avons adopté la structuration modulaire de la matière à communiquer. Cette approche nous permet de diviser chaque module d'enseignement en séquences, et chaque séquence en situations [Bentane98]. Les champs de chaque unité peuvent être résumés dans les lignes suivantes :

- Module (titre, population visée, compétence, nombre de séquences) ;
- Séquence (lds, titre, compétence, nombre de situations) ;
- Situation (lds, donnée texte, donnée image, donnée son, rôle) ;
- Question (lds, type de question, question, nombre de réponses attendues) ;
- Contrôle (lds, réponse attendu, feedback, véracité).

Une situation est un paquet de sous-situations. La conception et la construction de ces dernières doivent répondre aux besoins des différents niveaux d'apprenants. Rappelons que le rôle de l'agent d'apprentissage est de trouver les connexions (associations) entre les situations de chaque séquence d'une part, et entre les sous-situations de chaque situation [Demme01].

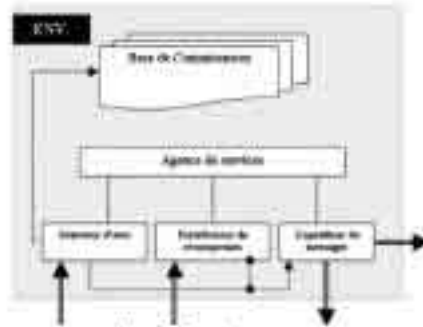


Fig. 2 : Environnement

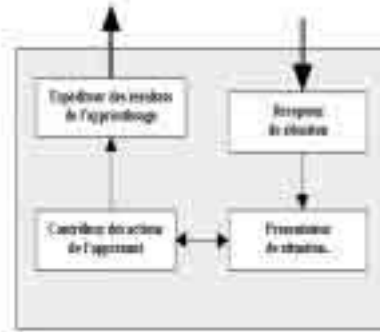


Fig. 3 : Unité de communication

Une agence de services qui se compose des agents suivants :

Agent sélecteur d'état qui permet de sélectionner une situation d'apprentissage d'une séquence donnée à partir de la base de connaissances sous condition de recevoir les informations requises relatives à la séquence, la situation et l'action de l'agent. Le sélecteur met la situation et la sous-situation associée à l'action de l'agent d'apprentissage à la disposition du service d'expédition.

Agent distributeur de récompenses qui permet d'attribuer une récompense à une action de l'agent d'apprentissage sous condition de recevoir le résultat de l'apprenant (succès ou échec) suite à son apprentissage sachant que la sous-situation apprise par l'apprenant est associée à l'action de l'agent d'apprentissage. La récompense est mise à la disposition du service d'expédition.

Agent expéditeur de messages permet d'envoyer des messages :

- à l'agent d'apprentissage : soit un état (situation), soit une récompense (scalaire) ;
- au modèle de l'apprenant : soit le résultat de l'enseignement de l'apprenant suite à son apprentissage d'une sous-situation, soit le triplet (situation, action, résultats) ;
- à l'unité de communication : une sous-situation d'apprentissage.

5.1.2. Unité de communication

L'unité de communication se compose de plusieurs agents :

Un **agent récepteur de situation** qui reçoit une sous-situation de l'environnement et la met à la disposition de l'agent présentateur ;

Un **agent présentateur de sous-situation** permet de présenter une sous-situation à l'apprenant et interactivement. Suite à l'action de l'apprenant, l'agent présentateur échange de l'information avec l'agent contrôleur et exécute ses instructions.

Un **agent contrôleur des actions** de l'apprenant permet d'évaluer les actions de l'apprenant en se référant aux données de la sous-situation. Il lui permet de refaire sa réponse suite à une question, d'avoir de l'aide s'il est disponible, etc. Ses permissions sont envoyées comme instructions à l'agent de présentation.

Un **agent expéditeur de résultats** permet d'envoyer les résultats de l'apprentissage de l'apprenant au modèle de l'apprenant, ainsi que la référence de la situation et de l'action de l'agent d'apprentissage.

5.2. Système d'apprentissage interne

Le système d'Apprentissage Interne (SAI) se compose de deux éléments, d'une part l'agent d'apprentissage qui est le cœur de SAI, de l'autre le modèle de l'apprenant qui détient les variables qui caractérisent l'utilisateur.

Agent d'apprentissage : C'est un agent qui permet d'adapter l'environnement d'enseignement avec les apprenants en tenant compte de leurs succès et de leurs échecs. Nous pouvons dire que c'est un peu plus qu'un module pédagogique. Rappelons que le module pédagogique est le chef d'orchestre de l'acte éducatif. Il permet les transitions entre les situations à présenter à l'étudiant suivant les actions de ce dernier. Dans la plupart des cas, le module pédagogique est un ensemble de règles qui sont définies à l'avance (prédéfinies) par l'auteur (et/ou) le concepteur d'un système tuteur. Dans notre cas, l'agent d'apprentissage va nous éviter de rédiger et de compiler des règles dans le but d'automatiser le module pédagogique. La stratégie pédagogique se forme au fur et à mesure, suivant l'interaction utilisateur - environnement. Adopter cette approche signifie qu'on peut simplifier le module pédagogique de l'architecture classique des tuteurs intelligents.

Modèle de l'apprenant : C'est une composante qui permet de caractériser les différents types d'apprenants suivant des variables. Nous savons que chacun des apprenants est unique. En ce qui nous concerne, nous adoptons une vue réaliste inspirée de la vie courante des enseignants et des enseignés (tes), relative à l'enseignement-apprentissage. Deux variables importantes peuvent caractériser les apprenants, d'une part le **niveau de l'apprenant** relatif à un sujet donné, de l'autre, pour une situation donnée et en interaction avec l'environnement d'enseignement, une variable qui permet de **mesurer le succès ou l'échec** de l'apprenant. La première variable permet de guider le concepteur pédagogique afin d'avoir un environnement d'enseignement qui tient compte des différents niveaux.

d'apprentissage dans une optique réaliste. La seconde variable permet d'orienter l'agent d'apprentissage dans le but de sélectionner des situations d'apprentissage adaptées à l'apprenant.

5.2.1. Agent d'apprentissage

Un problème RL est défini par un ensemble d'états dont un état de départ et un autre d'arrivée, un ensemble d'actions, une fonction de transition et une fonction de récompense. L'objectif est de déterminer une politique qui permet de maximiser les récompenses de l'agent d'apprentissage à long terme. Afin d'atteindre cet objectif, on fait appel à une fonction d'évaluation. Cette dernière utilise l'un des algorithmes, tel que Q-learning [Sutton98] par exemple.

Faisant la connexion avec notre problème, une séquence d'enseignement est définie comme un graphe orienté, chaque des sous-situations est un nœud (état); les transitions entre les nœuds représentent les actions et leurs récompenses associées; et chaque séquence admet une situation de départ et une situation arrivée (objectif).

L'agent d'apprentissage se compose de

Unité de transition : permet d'associer les transitions entre les états suivants les deux variables, action de l'agent et récompense de l'environnement.

Unité de récompense : permet d'initialiser la table des récompenses, la mise à jour des récompenses cumulées pour chaque couple (état, action). C'est quoi une récompense cumulée et pourquoi ? Pour satisfaire un objectif, on doit faire des choix. Le critère « récompense cumulée » est un choix que nous faisons, car il va nous assurer le stockage d'une information quantitative, pertinente relatif à l'interaction entre les apprenants et l'environnement d'enseignement. La récompense cumulée est une récompense qui cumule les récompenses de chaque couple (état, action) le long de l'expérience de l'agent. Deux phases caractérisent la vie d'un agent d'apprentissage, l'exploration et l'exploitation. L'exploration est une phase importante dans laquelle l'agent essaie l'ensemble de ses actions pour l'ensemble des états présentés par l'environnement dans le but de maximiser les récompenses. L'objectif de l'exploration est la collecte des données qui seront exploitées dans la phase d'exploitation. La collecte se réalise au cours de l'interaction entre l'environnement et l'agent. L'exploitation est une phase butoir dans laquelle on utilise les données collectées dans la phase de l'exploration. La différence est que dans la phase de l'exploitation, les q-values ne seront pas initialisées aléatoirement comme dans la phase de l'exploration, mais calculées suivant les valeurs des récompenses cumulées. Les q-values seront dépendants des valeurs des récompenses cumulées.



Fig. 4 : Agent d'apprentissage

Unité politique : permet d'initialiser la table de valeur (q-value par exemple) et de calculer les nouvelles valeurs en fonction des variables (état, action) en utilisant l'un des algorithmes (tel que Q-learning par exemple).

Unité de sélection : une fois l'agent reçoit un état donné, l'unité de sélection permet de sélectionner une action en se basant sur les valeurs (q-value par exemple) qui maximisent le parcours de l'apprenant suivant l'état actuel des choses car des valeurs changent au bout de chaque itération, d'où la dynamique du système.

5.2.2. Modèle de l'apprenant

Pour adapter l'environnement d'enseignement à l'apprenant, on a besoin de variables qui caractérisent l'utilisateur au cours de son interaction avec l'environnement. Ces variables sont une partie intégrante du système d'apprentissage interne. Dans le cas présent, quelles sont ces variables ?

Dans l'apprentissage d'une situation donnée, on peut choisir deux variables : le temps que l'apprenant investisse pour accomplir l'objectif de la situation ; et le résultat de l'apprentissage, c'est-à-dire, l'apprentissage d'une situation donnée est accompli par succès ou par échec. Les deux variables peuvent caractériser le niveau de l'apprenant. Notons que la deuxième variable est nécessaire et décisive, alors que la première ne peut mesurer que le niveau de performance de l'apprenant.

Le modèle de l'apprenant va se composer deux éléments :

Variables d'adaptabilité : un ensemble de variables qui caractérisent l'apprenant (situation courante, action, qualité de l'apprentissage (succès/échec), situation suivies, pourcentage de réussite).

Parcours de l'apprenant : C'est une mémoire qui enregistre et met à jour le parcours d'un apprenant.



Fig. 5 : Modèle de l'apprenant

6. Système auteur (RL-Auteur)

6.1. Introduction

Un système auteur est une base de connaissance vive, un mécanisme d'inférence et une interface de conception, il est employé pour accélérer le processus de développement de nouvelles applications et à coût de développement raisonnable sachant que l'ensemble de toutes les pièces indépendantes du domaine expert de connaissance du système a pu former ce qu'on appelle «shell» [Fleming96] [Murray99].

La majorité des systèmes auteurs tombent pareillement dans deux larges catégories : l'une, orienté - pédagogie et l'autre, orienté - performance [Murray97]. La catégorie des systèmes orientés-pédagogies est centrée sur le comment découper et enseigner un contenu. Alors que la catégorie des systèmes orientés-performances est

focalisée sur des environnements d'enseignement relativement riches dans lesquels les apprenants peuvent apprendre des qualifications en les pratiquant et en recevant des feedbacks. Dans les dernières années, il y a eu un progrès significatif dans le développement des systèmes auteurs et dans la compréhension des questions clés impliquées. Les efforts de développement représentent beaucoup d'approches diverses, et il est toujours trop tôt de juger et de dire lequel des approches s'avère le plus utile. En général, les systèmes auteurs véhiculent des recherches qui ont démontré leur succès significatif dans des cas limités [Murray99]. Le développement des systèmes auteurs est une alternative qui peut répondre aux exigences de la conception des tuteurs intelligents et au besoin des utilisateurs avec un coût raisonnable.

6.2. Pourquoi un RL-Auteur

L'objectif de cette étude est double, d'une part, d'essayer la modélisation et les techniques de l'apprentissage par renforcement dans le tutorat dans le but d'avoir une architecture simple du tuteur et une autonomie dans le raisonnement pédagogique, de l'autre, d'élaborer un système auteur et l'offrir à ceux qui souhaitent produire un logiciel pédagogique sans connaissance informatique possédée parmi les enseignants, les formateurs et autres. Nous signalons que cette technologie est restée réservée, dans la plus part des cas, à des cercles fermés, parmi les communautés des chercheurs et des technologues. Rappelons que l'étendu des résultats et produits dans ce champs sont demeurés restreints [Anderson97]. Si nous poursuivons la ligne évolutive de la conception des logiciels pédagogiques, nous trouvons que de proche en proche on tend vers des environnements complexes, plus interactifs, plus adaptés.

Un système auteur est par sa nature admet une triple fonction : (1) l'édition des situations d'apprentissage et leurs caractéristiques, (2) la simulation des séquences éditées afin de faire les ajustements nécessaires (aspect formatif) et (3) la génération de la base de données qui sera exploitée en utilisant le moteur du système tuteur.

6.3. Architecture du système Auteur

Elle se compose des éléments suivants :

Une base de données : dans laquelle, on stocke toutes les informations du module à automatiser relatives au contenu qui est en rapport avec l'environnement d'enseignement, et au raisonnement pédagogique qui en rapport avec le système d'apprentissage interne.

Portail : est une unité qui permet de créer la base de données (BD) du module à automatiser ; d'ouvrir la BD ; de fermer la BD ; et de quitter RL-Auteur.



Fig. 6 : Portail

Caractéristique : est une unité qui permet d'introduire les caractéristiques du module (objectif général du module ; nombre de séquences, auteurs) ; des séquences (objectif de la séquence, nombre de situations) ; des situations (nombre de sous-situation) et la génération du module ayant les caractéristiques mentionnées, mais vide.



Fig. 7 : Caractéristique - Éditeur situation

Éditeur : est une unité qui permet d'introduire le contenu de chaque situation d'apprentissage relative à une séquence donnée, de la visualiser dans le but d'une évaluation formative interne et immédiate.

RL-Tuteur : est une unité qui permet de dérouler le module de formation automatisée. L'objectif est de permettre à l'auteur du module de mesurer une évaluation formative interne du produit qu'il va distribuer dans le but d'introduire les ajustements nécessaires.

RL-Auteur est un ensemble d'outils (tools) qui permet aux auteurs de développer un module de formation automatisée multimédia, sachant que, les auteurs vont suivre les consignes du concepteur et à la rencontre des deux volontés (concepteur, auteur) un logiciel pédagogique de qualité peut voir le jour. Tout produit de RL-Auteur sera une base de données d'un module de formation automatisée, qui sera exploitée en utilisant RL-Tuteur.

7. Conclusion

Modéliser un système tuteur au sens de l'apprentissage par renforcement nous a donné l'occasion de faire rupture avec les modèles de l'enseignement assisté par ordinateur et de travailler sur des nouveaux concepts liés étroitement à l'adaptabilité des systèmes. Comme on peut le remarquer, RL-Tuteur est constitué de deux parties ; d'une part, l'environnement et l'unité de communication qui constituent l'environnement d'enseignement ; de l'autre, l'agent d'apprentissage et le modèle de l'étudiant qui constituent le système d'apprentissage interne. Le système d'apprentissage interne est le moteur de l'adaptabilité du système tuteur grâce à son autonomie de raisonnement pédagogique. Alors que le système RL-auteur est composé d'éléments qui permettent de créer un module, d'introduire ses caractéristiques et le contenu de ses situations, de le maintenir, et d'entreprendre une évaluation formative interne.

Bibliographie

- [Anderson97]. Anderson J. R., Corbett A. T., Koodinger K. R.: Intelligent tutoring systems, Handbook of human-computer interaction, Second completely revised Edition, ELSEVIER, 1997.
- [Beck96]. Beck J., Stern M., Haugsjaa E.: Applications of AI in education ; In Proceeding of the third International Conference On Intelligent Tutoring Systems, 1996. <http://www.acm.org/certres/mnbs/eds3-1/aied.html>
- [Beck99]. Beck J., Stern M.: Bringing Back the AI to AI & ED. In the Proceedings of the 9th World Conference of the AIED Society, 1999.
- [Beck00]. Beck J., Beverly P.W & Beul C.R.: ADVISOR: A machine learning architecture for intelligent tutor construction. AAAI2000.
- [Bennane98]. Bennane A., Théories d'apprentissage et de formation et l'élaboration d'un système d'information orienté vers la formation (SIOF) : une question de modèle : Colloque Euroméditerranéen (Vers la maîtrise de la technologie); Mars 1998-Casablanca Maroc.
- [Bennane01]. Bennane A. ; Maderick B. & D'hondt T.: Generation of Training Situations and Adaptive Systems. ICCE2001, Korea. <http://www.icce2001.org/pdf/p409/01F002.pdf>
- [Bennane03]. Bennane A. & D'hondt T.: Tutoring and Adaptability: Case Study, In Proceedings of the International Conference on Machine Learning: Models, Technologies and Applications. MEMTA 2003, USA, p186-191.
- [Bennett97]. Bennett, F.: 1997. Computer as tutors: Solving the Crisis in Education <http://www.finnmooda.dk/issnes/issocn/intro/>.
- [Donald91]. Donald, M. (1991). *Origins of the modern mind: three stages in the evolution of culture and cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [Fleming96]. Fleming J. L., and Horwitz, C.: 1996. Applications of the rapid Intelligent Tutoring Systems development shell (RIDES). In ITS'96 Workshop on Architectures and methods for designing Cost-Effective and Reusable ITSs.
- [Lin92]. Lin L.: Self-improving reactive agents based on reinforcement learning, planning and teaching. *Machine learning*, 8, 297-321 (1992).
- [Mitchel97]. Mitchell T. : *Machine Learning*; McGraw-Hill, 1997.
- [Murray97]. Murray T. (1997). Expanding the Knowledge Acquisition Bottleneck for Intelligent Tutoring Systems. *Int. J. of AI and Education*, Vol. 8, No. 3. <http://helios.hampshire.edu/~ajmCCS/cy.html#publications>
- [Murray99]. Murray, T.: 1999. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An analysis of the state of the art. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. <http://helios.hampshire.edu/~ajmCCS/papers/ATSummary/AnthTools.html>
- [Russel95]. Russel, S. and Norvig, P., 1995. *Artificial Intelligence: a modern approach*. Prentice Hall.
- [Sloeman82]. Sloeman, D., & Brown, J. S. (1982). Introduction: Intelligent Tutoring Systems. In D. Sloeman & J. S. Brown (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems* (pp. 1-11). New York: Academic Press.
- [Sutton98]. Sutton R. & Barto A. G.: *Reinforcement Learning. A Introduction*; A Bradford Book, 1998
- [VanLehn88]. VanLehn, K.: 1988. Student modeling. In Plouffe and Richardson, *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. Lawrence Erlbaum Associates.
- [Vivet93]. Vivet M. & Bruillard C.: *Problèmes de conception en ELAD. Approche méthodologique basée sur le concept de situation*. Laboratoire informatique de l'université du Maine-France. Design 93.
- [Wenger87]. Wenger, E. (1987). *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publishers, Inc.