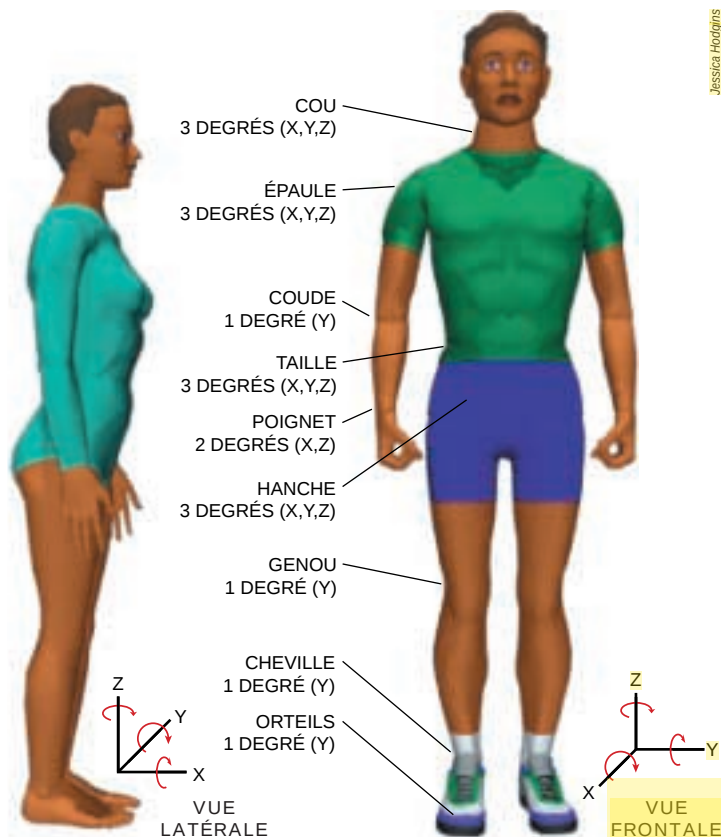


Pour simplifier l'écriture des lois de contrôle, nous utilisons souvent des synergies de plusieurs segments corporels. Ainsi les articulations de la cheville et du genou du coureur simulé coopèrent-elles dans la poussée sur le sol pendant la phase de soutien. Lorsque c'est possible, les lois de contrôle utilisent aussi les comportements passifs du corps pour obtenir l'effet désiré : nous supposons que le corps humain est une machine efficace et, par conséquent, qu'il minimise sa consommation d'énergie en se fondant le plus possible sur des comportements passifs. Par exemple, pendant la phase de soutien, le genou du coureur se comporte comme un ressort, qui stocke de l'énergie lorsqu'il est comprimé et la libère lorsqu'il se détend.

Les mouvements sont mieux décrits lorsque bougent aussi des segments qui ne travaillent pas au cours de phases particulières, pour réduire les perturbations provoquées par le déplacement des autres segments. Dans le cas de la simulation de la course, les lois de contrôle font osciller les bras de l'athlète en opposition de phase par rapport aux jambes, afin de réduire les balancements du corps.

La technique de la simulation a deux avantages par rapport à l'interpolation entre positions clés et à la captation des mouvements. D'abord, les simulations sont plus générales : les mêmes lois décrivent des mouvements légèrement différents ; par exemple, les mêmes techniques de simulation animent une course à quatre mètres par seconde et une course à cinq mètres par seconde. Avec les autres techniques d'animation, le mouvement perd de son naturel si l'on se contente d'accélérer ou de ralentir la séquence. Ensuite les simulations, en temps réel, peuvent être interactives, qualité importante pour les environnements virtuels et les jeux vidéo, où des personnages doivent réagir aux actions de per-



2. LES MODÈLES INFORMATIQUES DU CORPS humain sont composés de segments corporels rigides, reliés par des articulations auxquelles on assigne un, deux ou trois degrés de liberté selon les axes de coordonnées x , y et z .

sonnes réelles. En revanche, les animations par interpolation entre positions clés ou à partir de captation de mouvements reproduisent seulement des mouvements déjà calculés, et stockés dans la mémoire de l'ordinateur.

La simulation reste toutefois d'emploi difficile, et elle n'est exécutable que par des ordinateurs puissants. Afin de faciliter la programmation, nous avons mis au point une banque de sous-programmes qui peuvent être associés de différentes façons pour créer de nouveaux mouvements : l'ordinateur combine quatre systèmes de contrôle fondamentaux (sauter, tourner en l'air, atterrir et s'équilibrer) pour engendrer des figures plus complexes, tels les sauts périlleux ou les plongeurs.

L'adaptation de la simulation à la morphologie

Nous explorons aussi l'adaptation automatique à d'autres personnages des comportements déjà mis en équations. Les systèmes de contrôle sont adaptés aux propriétés dynamiques particulières d'un modèle donné et, en général, le système mis au point

pour un adulte ne fonctionne pas pour un enfant. Nous étudions des techniques d'optimisation et d'ajustement des systèmes de contrôle qui permettent la modification d'un comportement existant et son adaptation à un autre personnage dont les caractéristiques physiques sont différentes de celles du personnage initialement étudié. Ainsi, nous avons adapté à une femme et à un enfant de quatre ans notre système de contrôle de la course conçu pour un homme, en prenant en compte les différences des masses des segments corporels de ces trois modèles, ainsi que de nombreux autres paramètres.

Ces dernières années, des informaticiens ont cherché des méthodes, fondées sur la simulation, qui engendrent des mouvements sans l'élaboration préalable d'un système de contrôle. La synthèse de mouvements peut, par exemple, être traitée comme un problème d'optimisation de trajectoires : on traite alors les équations du mouvement et certaines caractéristiques importantes de l'action désirée comme des contraintes, et l'on recherche le mouvement qui satisfait ces contraintes en dépensant l'énergie minimale. Ainsi, dans une simulation de saut, les contraintes seraient que le personnage parte du sol, qu'il soit ensuite en l'air et qu'il revienne au sol. Le logiciel d'optimisation déterminerait alors automatiquement que le personnage plie les genoux avant de sauter pour obtenir la hauteur maximale en dépensant le minimum d'énergie.

D'autres équipes confient à l'ordinateur la recherche du système de contrôle parmi toutes les possibilités. Dans le cas le plus général, cette technique doit déterminer comment un personnage pourrait bouger de tout état initial possible à tout état final possible. Comme cette méthode résout un problème plus général que celui de l'identification d'une trajectoire optimale unique d'un point de départ donné

vers un point d'arrivée, elle est particulièrement efficace pour les simulations simples et pour des problèmes qui ont de nombreuses solutions, car la probabilité que l'ordinateur en trouvera une est grande. Les techniques

entièrement automatiques sont naturellement préférables à celles qui nécessitent une conception manuelle, mais les informaticiens n'ont pas encore trouvé de méthodes automatiques capables de simuler les comportements

de systèmes aussi complexes que l'être humain, sans fournir au préalable des connaissances précises sur les mouvements à effectuer.

Bien que la mise au point des systèmes de contrôle soit difficile, leur

Copie conforme

Comment synthétiser les mouvements et les expressions d'un visage, qui traduisent l'humeur, les sentiments et la personnalité ? La Société *Lamb & Company* a animé un «jumeau» numérique d'Alan Alda, acteur qui a tourné en particulier avec Woody Allen.

La Société *Lamb & Company* a construit un modèle numérique de la tête d'A. Alda à partir de mesures prises par balayage laser de l'acteur réel : les ingénieurs ont utilisé une «grille» de

12 000 polygones pour représenter la géométrie tridimensionnelle de la tête de l'acteur ; chaque polygone était associé à une carte de texture contenant des informations telles que la coloration et la régularité de la peau.

Les balayages laser ont été faits pour quatre poses : une vue de base, où A. Alda n'affichait aucune émotion, et des vues statiques de l'acteur souriant largement, grimaçant et souriant à demi. L'ordinateur a ensuite créé d'autres expressions par combinaison des quatre poses de base. Les animateurs ont aussi construit des vues statiques de l'acteur virtuel prononçant différents phonèmes (unités de base du langage tel le son «r» dans «rat»). Ce travail a surtout été réalisé à la main, bien que les outils d'assistance par ordinateur aient fourni une aide rudimentaire dans la modification des modèles informatiques. Au total, les animateurs ont créé une banque d'une soixantaine de vues, qu'ils peuvent à nouveau combiner pour produire de nouvelles variations.

Pour apporter mouvement et «vie» au modèle numérique, les animateurs ont travaillé avec des textes prononcés par l'acteur qu'un laboratoire japonais avait synthétisés, en séparant et en réassociant les phonèmes d'un véritable enregistrement de la voix d'A. Alda. La synchronisation des mouvements des lèvres de synthèse avec cette simulation audio a été très laborieuse.

Ce travail a nécessité l'analyse minutieuse de cassettes vidéo montrant l'acteur en action. L'équipe a observé comment il bouge la bouche lorsqu'il produit des sons 'oh' ou 'ooh', par exemple. Les animateurs ont aussi prononcé certains mots devant un miroir pour étudier les mouvements de leur propre visage.

La création de chaque image, dans la séquence synthétisée, aurait pris un temps considérable sans l'aide de l'interpolation entre positions clés, technique où un animateur ne spécifie que certaines positions d'un objet et où un ordinateur crée les images intermédiaires par interpolation. Ainsi, la synthèse d'un personnage prononçant le mot «sel» sera fondée sur des photographies de la personne disant «sss», «eh» et «ell», l'ordinateur créant automatiquement les images intermédiaires. Cette technique a aussi été utilisée pour d'autres mouvements du visage, tels les clignements de paupières. Grâce à l'interpolation, 20 pour cent seulement des images ont été créées à la main.

Enfin, pour que le visage virtuel bouge naturellement, les ingénieurs ont effectué des semaines d'ajustements manuels : il y a

tant d'irrégularités dans les mouvements du visage et dans ceux associés à la prononciation du langage chez les êtres humains, qu'il faut près de dix fois plus de travail pour le réglage fin que pour produire le mouvement de base.

Le résultat est un film de deux minutes, composé d'environ 2 500 images. Il a coûté une fortune... mais le personnage créé n'est pas encore naturel au point qu'on le prenne pour un personnage réel.

