

AGENTES AUTÓNOMOS EM AMBIENTES ARTIFICIAIS

J. Miguel Leitão^{1,2}

F. Nunes Ferreira^{1,3}

¹ INESC, Pr. Mompilher 22, Apt. 4433, 4007 Porto CODEX, Portugal

² ISEP, Rua S. Tomé, 4200 Porto, Portugal

³ FEUP, R. dos Bragas, 4099 Porto CODEX, Portugal

Sumário

Os agentes autónomos têm sido um tema importante de investigação nos últimos tempos, tanto nos ambientes virtuais como em automatismos destinados a operar no mundo real. No entanto, a maioria das aplicações a que se destinam requer, para além de um elevado grau de autonomia, a capacidade de poder dirigir os seus agentes autónomos.

Neste artigo, discute-se o problema da criação de agentes autónomos animados destinados a viver em ambientes virtuais interactivos. Apresenta-se uma estratégia de concepção destes agentes que permite que uma entidade externa dirija os agentes autónomos em diversos níveis. É ainda apresentado o desenvolvimento experimental de um condutor autónomo de veículos automóveis, destinados a um simulador realista de condução.

O condutor virtual em fase de desenvolvimento permite a simulação do tráfego ambiente num simulador de condução realista. Pode ser parametrizado de modo a modelar características como a impaciência, a agressividade, a atenção etc...

0. Introdução

A possibilidade de incluir participantes autónomos é crucialmente importante para o realismo de uma simulação visual interactiva [Sei95][Zyd94]. Uma simulação realista da condução [Bay96][Lei97][Lev95] deve portanto incluir outros veículos para além daquele que é conduzido pelo utilizador. Os veículos simulados autónomos devem poder ser programados para seguir caminhos predefinidos, para atingirem determinados objectivos, ou idealmente, para reagirem como veículos conduzidos por humanos aos acontecimentos no ambiente envolvente.

Presentemente, na generalidade dos simuladores existentes, os veículos autónomos são simulados com percurso predefinido. Em alguns simuladores mais realistas, tenta-se manter a distância dos veículos autónomos aos veículos da frente, simulando as acelerações e as travagens ideais. Em qualquer dos casos estamos longe do comportamento dos veículos conduzidos por condutores reais. Para além disso, os avanços em termos de autonomia e de aproximação ao comportamento natural, levam frequentemente a um prejuízo em termos de controlabilidade por um supervisor externo.

Os participantes autónomos virtuais estão também presentes em jogos de simulação. São comuns os que possuem alguma inteligência e o seu comportamento leva em consideração a história, missão, objectivo, caminho predefinido, correcção de rota por previsão de colisão, cooperação com outros elementos autónomos, etc.,....

Neste artigo, discute-se o problema da criação de agentes autónomos animados destinados a viver em ambientes virtuais interactivos. Apresenta-se uma estratégia de concepção destes agentes que permite que uma entidade externa dirija os agentes autónomos em diversos níveis.

É ainda apresentado o desenvolvimento experimental de um condutor autónomo de veículos automóveis, destinados a um simulador realista de condução. Estes veículos autónomos podem ser parametrizados de modo a modelar características como a impaciência, a agressividade e a atenção. Serão utilizados na simulação do tráfego ambiente autónomo, com possibilidade de pré-programar ou direccionar alguns veículos para constituir situações de tráfego definidas.

O capítulo 1. deste artigo apresenta o conceito de agente autónomo, bem como as características que devem possuir os agentes autónomos destinados a viver em ambientes virtuais e as diferenças para os destinados ao mundo real. Neste capítulo apresenta-se também uma estruturação em camadas sugerida para a implementação genérica de agentes autónomos. No capítulo 2. analisam-se alguns aspectos do comportamento de um condutor humano e referem-se as diferenças para os condutores automatizados de veículos automóveis reais.

No capítulo 3. apresenta-se a arquitectura utilizada na implementação de um veículo autónomo destinado a um Simulador de Condução. A implementação experimental de um condutor virtual destes veículos e a descrição técnica de cada um dos seus módulos é apresentada no capítulo 4.

1. Agentes Autónomos

Um agente autónomo é um elemento que possui um determinado número de objectivos a cumprir num ambiente dinâmico e complexo. Considera-se autónomo porque possui seus próprios mecanismos de percepção e de interacção com o ambiente envolvente e a capacidade para decidir quais as acções a tomar para atingir os seus objectivos [Fra96].

A tarefa de decidir qual a melhor acção a tomar é complexa devido a diversas razões:

- Devido a limitações na implementação de sensores, a percepção do ambiente envolvente pode ser incompleta, levando à tomada de decisões erradas ou não óptimas.
- A interacção entre dois ou mais objectivos concorrentes, pode facilmente levar o agente autónomo a menosprezar um dos objectivos ou alternativamente, a oscilar entre as direcções de satisfação de cada um deles.

- Por vezes um objectivo importante pode ser inatingível. Nestes casos, a sua perseguição deve ser evitada, uma vez que não conduz a um aumento de satisfação. Esta capacidade de desistência da procura de um objectivo requer considerações complexas e por vezes longínquas.

Para implementar agentes autónomos competentes, todos estes e outros problemas devem ser satisfatoriamente resolvidos. Para além disso, na maioria dos casos não se pretende apenas uma simples autonomia absoluta mas também que os agentes autónomos sejam capazes de receber e cumprir ordens de diversos níveis. Por exemplo, um cão virtual autónomo deve poder receber ordens do tipo:

- Tens fome. Trata de arranjar maneira de satisfazeres as tuas necessidades.
- Vai ter com o teu dono que está do outro lado da rua.
- Levanta a pata dianteira do lado direito.

Da mesma forma, um automóvel autónomo (virtual ou não) deve poder receber ordens que, embora diferentes, correspondem a níveis idênticos de abstracção.

- Dirige-te para casa.
- Vira à direita na próxima rua.
- Trava.

Uma estrutura de 3 camadas correspondente a uma hierarquia possível para a implementação de um agente autónomo genérico é apresentada na figura 1. Estruturas mais ou menos similares são utilizadas na maioria das abordagens conhecidas de implementação de agentes autónomos.



Fig. 1 - Estrutura em Camadas de um Agente Autónomo

A camada que implementa o modelo comportamental corresponde ao cérebro do Agente Autónomo. É a responsável por todas as decisões tomadas na procura do cumprimento dos objectivos impostos pelo exterior. As decisões tomadas são enviadas para a camada de animação. Esta, utiliza as directivas recebidas para afectar em conformidade a geometria do agente.

1.1 Trabalhos Relacionados

Existem vários trabalhos realizados com o objectivo geral de conseguir agentes autónomos baseados em comportamento. Tipicamente são orientados para a simulação de um determinado tipo de agente num determinado tipo de ambiente. Na maioria dos casos, apenas é considerado um conjunto limitado de reacções, sendo o deslocamento o objectivo mais comum.

De entre os agentes autónomos destinados à vida em ambientes virtuais [McK90][Wi196] destacam-se os que tentam simular os movimentos de figuras humanas [Bru89][Bru95] [Hod95], de animais [XTu94], ou genericamente, de criaturas com pernas [McK90][Gir85]. Alguns trabalhos no sentido de criar infra-estruturas de suporte ao desenvolvimento de agentes autónomos genéricos para ambientes virtuais têm sido realizados nos últimos anos [Blu95][Per94] [Mae95].

No campo dos simuladores de condução existem diversos trabalhos realizados com objectivo de simular os veículos autónomos que compõem o tráfego ambiente [Cre94][Bay96][Gal96].

Ainda relacionados com este trabalho estão os desenvolvimentos dos agentes autónomos destinados a evoluir no mundo real como os controladores de robots autónomos e os condutores automatizados de veículos automóveis reais [Suk97][Kol94].

2. Condutor Humano

A tarefa de condução de um veículo numa estrada pública é um batalha constante entre a perseguição dos objectivos pretendidos e as restrições impostas pelo ambiente circundante. Em cada instante, um condutor tem de decidir a manobra a realizar com base no seu conhecimento do ambiente envolvente e do muito pouco conhecimento que tem sobre as intenções dos condutores dos outros veículos. Até agora, os únicos condutores de veículos reais competentes conhecidos são humanos [Suk97].

Existem, no entanto, algumas características dos condutores humanos, que os tornam diferentes do modelo de condutor ideal que se tenta atingir quando se procura realizar um condutor automatizado para veículos reais. Um condutor automatizado de veículos automóveis reais deve tentar minimizar o risco, e não se deverá distrair ou cometer erros. Por outro lado, o condutor humano tem uma percepção do risco não exacta, tem períodos de distracção e tenta maximizar os benefícios da viagem mantendo um nível de risco fixo. Alguns dos benefícios vulgarmente seleccionados por condutores humanos são:

- Chegar cedo ao destino.
- Ir à frente do outro carro.
- Sentir a aceleração ou a velocidade.
- Ver a paisagem.

Estas diferenças demonstram que a concepção de condutores autónomos destinados à simulação de tráfego ambiente num simulador não pode ser uma simples adaptação dos desenvolvimentos efectuados nos controladores de veículos ou robots reais. Num simulador realista de condução automóvel, o tráfego ambiente deve reagir como o tráfego real, caracterizado por condutores humanos, cada um com as suas características individuais.

3. Veículos Autónomos

Neste capítulo vamos descrever a arquitectura base definida para a implementação de veículos autónomos destinados ao Simulador de Condução DriS [Lei97]. Este simulador integra uma estação gráfica SGI Onyx RealityEngine 2, dois PCs, um projector com um ecrã de grandes dimensões e 4 canais de som de alta-fidelidade.

Pretende-se que os veículos autónomos em desenvolvimento permitam a simulação do tráfego ambiente autónomo, com possibilidade de pré-programar ou direccionar alguns veículos para permitir a constituição de situações de tráfego definidas.

3.1 Tráfego autónomo

Para que um simulador de condução seja convincente, é necessário que forneça ao condutor a sensação de imersão num ambiente típico das vias públicas. Para isso, é fundamental incluir os veículos autónomos que compõem o tráfego ambiente. Apesar de existirem modelos macroscópicos desenvolvidos especialmente para simulação de correntes de tráfego, uma simulação de condução exige o tratamento individual de cada um dos veículos que compõem o tráfego, utilizando uma simulação microscópica. Aproximações como considerar instantânea uma mudança de via, não são apropriadas para simuladores de condução interactivos.

Estas exigências em termos de nível de simulação e o grande número de veículos que é necessário considerar vão-se reflectir, como é evidente, num elevado peso de processamento, facilmente incompatível com as exigências da simulação em tempo real. Existe portanto a preocupação constante de obter modelos satisfatórios, mas tão leves quanto possível em termos de tempo de processamento.

3.2 Veículos pré-programados

Uma das mais úteis utilizações dos simuladores de condução é o estudo da reacção de condutores humanos quando submetidos a uma determinada situação de tráfego. Para isso, além dos veículos completamente autónomos que compõem o tráfego ambiente, é fundamental dispor de veículos controláveis que permitam criar o acontecimento que se pretende estudar.

Estes veículos devem ser controlados por um programa ou guião, constituído por uma sequência de comandos. Como foi já referido, é fundamental que estes comandos possam corresponder a ordens de diversos níveis de abstracção.

3.3 Arquitectura do Veículo Autónomo

Como agente autónomo que é, o veículo autónomo virtual em desenvolvimento baseia-se numa estrutura em camadas como a que é apresentada na figura 1.

A camada de animação recebe da camada comportamental informações que utiliza para actualizar a posição e orientação do veículo respectivo. A camada comportamental foi estruturada em 4 níveis de abstracção, conforme se apresenta na figura 2. O nível inferior corresponde ao comportamento dinâmico do automóvel [Ace96]. Para a sua implementação nos veículos autónomos está a ser utilizada uma versão simplificada do modelo dinâmico já desenvolvido e implementado no âmbito do Simulador de Condução DriS [Lei97].

Os três níveis superiores dizem respeito ao comportamento do condutor e a sua implementação é apresentada no capítulo seguinte.

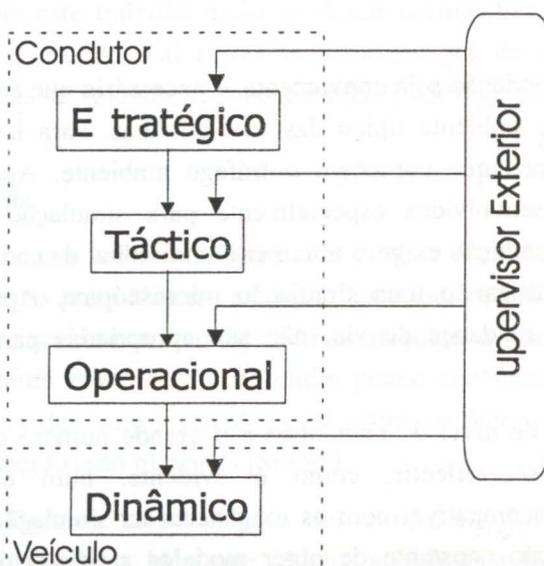


Fig. 2 - Modelo Comportamental de um Veículo Autónomo

O nível estratégico deverá tratar das decisões a médio prazo, de forma a tentar satisfazer os objectivos de longo prazo definidos superiormente. Quando ao veículo for solicitado que se desloque até um determinado local, é o nível estratégico que deverá seleccionar o percurso, e comunicar periodicamente ao nível tático qual a direcção a tomar no próximo cruzamento.

O nível tático trata das decisões a curto prazo, de forma a cumprir os objectivos de médio prazo impostos pelo nível estratégico. Deverá tomar as decisões de ultrapassar ou não ou

veículo da frente, mudar ou não de via, etc. Estas decisões de curto prazo são comunicadas ao nível operacional.

O nível operacional toma as medidas imediatas necessárias para tentar cumprir os objectivos de curto prazo solicitados pelo nível tático. Decide em que pedal actuar, como afectar o volante, etc....

4. Implementação do Condutor Virtual

Neste capítulo apresenta-se a descrição técnica da implementação experimental de cada uma das 3 camadas que compõem o Condutor Virtual (ver figura 2).

4.1 Nível Estratégico

Ao nível estratégico, as decisões são tomadas com o objectivo de levar o veículo ao destino final, tentando minimizar o tempo de viagem. Estas decisões são habitualmente tomadas com base no conhecimento da rede global de estradas, nas previsões do estado do tráfego e na sinalização que possa existir.

Uma implementação do nível estratégico de um condutor virtual capaz de produzir as decisões estratégicas típicas de condutores humanos, pode ser fundamental para algumas simulações de análise de tráfego. No entanto, em simulações microscópicas de condução automóvel, a qualidade das decisões estratégicas passa normalmente despercebida a um simples observador / condutor. Nestas simulações a possibilidade de direccionar o tráfego com parâmetros rígidos, é normalmente mais apreciada que a "inteligência" das decisões estratégicas dos condutores autónomos.

Por estas razões, optou-se por uma implementação não inteligente do nível estratégico do condutor virtual. Nesta implementação, as decisões estratégicas são tomadas por consulta a uma tabela associada a cada veículo autónomo. Esta tabela é definida num ficheiro de texto pelo supervisor da simulação. Um exemplo possível para uma destas tabelas, supondo cruzamentos de 4 ruas, apresenta-se de seguida:

3,5:	100,0,0 ; Vira à esquerda na 3ª passagem pelo cruzamento nº 5.
4,*:	50,0,50 ; No 4º cruzamento vira à direita ou à esquerda
*,2:	0,100,0 ; Sempre que passar pelo cruzamento nº2, segue em frente
,:	0,0,100 ; Vira sempre à direita

O nível estratégico implementado limita-se a manter contadores de passagens por cada um dos cruzamentos, mais um contador global de passagens em cruzamentos. Cada vez que um cruzamento é atingido a tabela é consultada. Sempre que necessário, é sorteada uma nova direcção de acordo com as probabilidades especificadas.

4.2 Nível Tático

O nível tático trata das decisões a curto prazo, de forma a cumprir os objectivos de médio prazo impostos pelo nível estratégico. Deverá tomar as decisões de ultrapassar ou não ou veículo da frente, mudar ou não de via, etc. Estas decisões de curto prazo são comunicadas ao nível operacional.

Encontra-se em fase de desenvolvimento uma versão experimental do nível tático que utiliza um conjunto de objectos de raciocínio, organizados de forma hierárquica (ver figura 3.). A cada um destes módulos está atribuída a monitorização de uma entidade de tráfego relevante. A partir desta monitorização e de considerações internas, cada um destes módulos possui capacidade para sugerir, desaconselhar ou vetar acções. Estes objectos são independentes uns dos outros e podem ser desenvolvidos e testados de forma autónoma. A combinação das acções propostas pelos diversos módulos é efectuada por um módulo de activação independente.

Esta estruturação em módulos associados a entidades de tráfego baseia-se na arquitectura utilizada no sistema PolySapient [Suk97]. A utilização de uma hierarquia de módulos, à semelhança do que acontece noutros sistemas conceptualmente diferentes [Cre94][Ahm94], facilita a concepção, a afinação, a análise e as alterações ao conjunto.

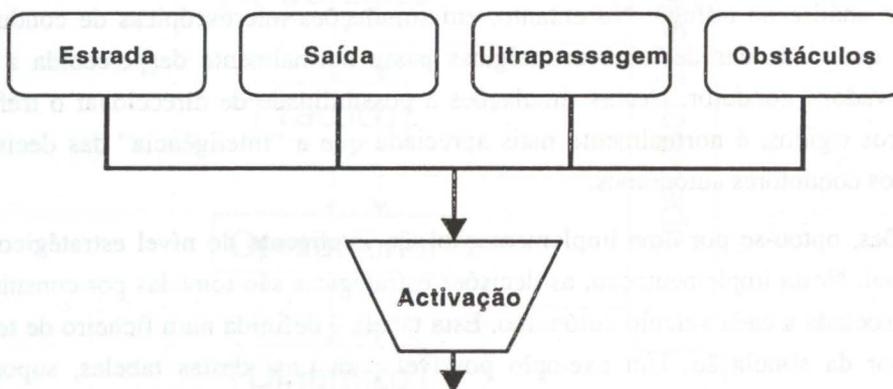


Fig. 3 - Estruturação do nível tático em Módulos

Cada um dos módulos táticos gera uma saída que é uma função de domínio bidimensional contínuo. Este domínio corresponde ao espaço de acções possíveis em termos de alteração da velocidade e da posição lateral, conforme representado na figura 4. Os limites deste espaço são os valores máximos admitidos para a velocidade a que o veículo segue. A opção por este espaço bidimensional contínuo em lugar do espaço discretizado utilizado em [Suk97], deverá permitir otimizar em termos de tempo de processamento e de resolução o módulo de activação final.

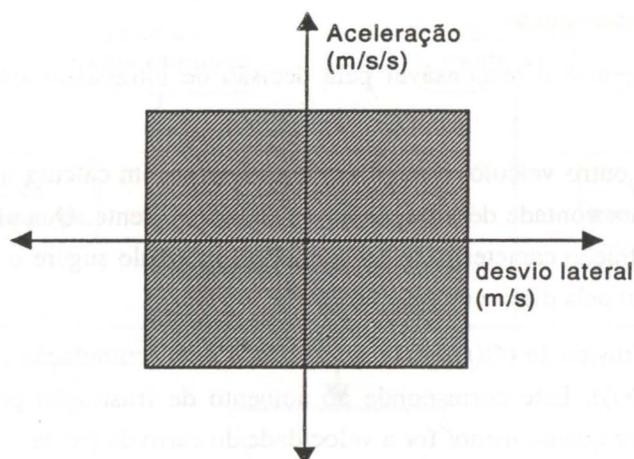


Fig. 4 - Espaço das ações possíveis

O valor da função em cada ponto do domínio corresponde ao grau de adequação da acção respectiva para o próximo intervalo de tempo (período táctico) considerado. Este deve ser sempre de ordem superior ao tempo entre duas avaliações tácticas consecutivas. Pelas experiências já realizadas espera-se obter resultados satisfatórios com taxas de avaliação tácticas entre 5 e 20 Hz e períodos tácticos entre 1 e 5 segundos.

O módulo de activação realiza uma simples soma pesada das entradas para todo o domínio. A acção seleccionada será a correspondente ao ponto do domínio onde a função de activação atinge o seu valor máximo. Na versão actual e à semelhança do que acontece na generalidade dos outros sistemas similares [Suk97], a pesquisa do valor máximo é efectuada por amostragem numa grelha rectangular fixa.

4.2.1 Módulo da Estrada

O módulo táctico associado à estrada tem como função a manutenção do veículo dentro da via. Para isso, penaliza fortemente as alterações de posição lateral que possam conduzir às bermas da estrada. Para disciplinar o condutor, as posições laterais coincidentes com os separadores de faixas são também ligeiramente penalizadas relativamente aos centros das mesmas.

4.2.2 Módulo de Saída

O módulo de Saída é o responsável pelo cumprimento da ordem estratégica de opção por uma rua ou estrada quando se aproxima um cruzamento. Para isso, favorece as alterações de posição lateral no sentido da direcção a tomar no próximo cruzamento, e propõe a diminuição da velocidade necessária para que a manobra seja realizada.

4.2.3 Módulo de Ultrapassagem

O módulo de ultrapassagem é o responsável pela decisão de ultrapassar os veículos que possam surgir à frente.

Enquanto segue atrás de outro veículo, o módulo de ultrapassagem calcula uma função de frustração que representa a vontade de ultrapassar o veículo da frente. Quando esta função excede um limite de frustração característico do condutor, o módulo sugere o início de uma manobra de ultrapassagem pela direita ou pela esquerda.

Para valor da função de frustração ($\Phi(t)$) pode ser utilizada uma acumulação com perdas do impulso de frustração ($\phi(t)$). Este corresponde ao aumento de frustração por unidade de tempo. Logo, é tanto maior quanto menor for a velocidade do carro da frente.

$$\Phi(t) = k \cdot \Phi(t - \Delta t) + \phi(t) \cdot \Delta t \quad (1)$$

onde:

$$\phi(t) = \max(v_d - v_b, 0)$$

k - Impaciência ($0 < k < 1$)

v_b - Velocidade do carro da frente

v_d - Velocidade desejada

4.2.4 Módulo de Obstáculos

Este módulo é o responsável por evitar colisões com outros objectos.

Possui a mesma arquitectura modular da apresentada anteriormente para o nível tático. Na versão actual apenas são considerados como obstáculos os 5 veículos próximos (3 à frente e 2 a trás), como consta da figura 5. Para considerar obstáculos de outro tipo, bastará adicionar mais módulos semelhantes.

Cada um destes submódulos monitoriza a posição do obstáculo que lhe está associado, e desaconselha as alterações de velocidade e posição lateral que possam colidir com o obstáculo.

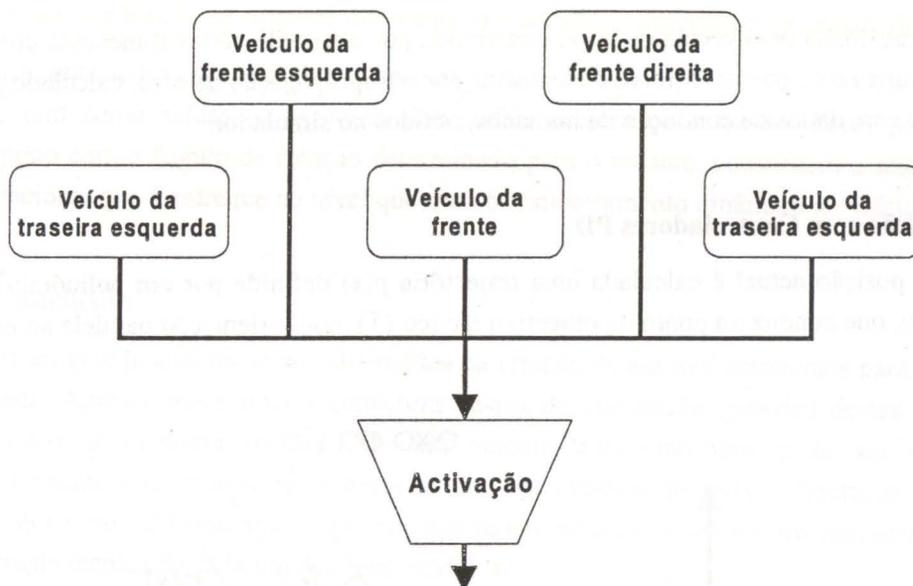


Fig. 5 - Módulo de obstáculos

O módulo de activação realiza apenas a soma dos resultados dos submódulos anteriores.

4.3 Nível Operacional

O nível operacional toma as medidas imediatas necessárias para tentar cumprir os objectivos de curto prazo solicitados pelo nível tático. Decide em que pedal actuar, como afectar o volante, etc....

Nesta altura estão em fase de teste duas versões experimentais do nível operacional. Uma versão é baseada numa rede neuronal treinada com dados de condução de um condutor humano, obtidos no simulador. A outra versão, computacionalmente mais leve é baseada em dois controladores proporcionais e derivativos (PD) independentes, um para a aceleração e outro para a direcção.

Em qualquer dos casos, é obtido o ponto R deslocando a posição actual por uma rota paralela ao eixo da via à velocidade actual durante todo o período tático (figura 6). A partir de R, é determinado o ponto de objectivo tático (T) afectando a posição lateral de acordo com a sugestão tática.

4.3.1 Versão com Rede Neuronal

São utilizadas como entradas as coordenadas do ponto objectivo tático (T), referidas ao referencial do veículo, a orientação do eixo da via no mesmo ponto, a velocidade actual e a velocidade final proposta para o ponto de objectivo tático.

Está a ser trabalhada uma versão de teste, constituída por uma rede não realimentada com 4 unidades ocultas e 46 pesos. O treino é efectuado por retropropagação do erro, calculado por comparação com dados de condução de humanos, obtidos no simulador.

4.3.2 Versão com Controladores PD

A partir da posição actual é calculada uma trajectória $p(x)$ definida por um polinómio do terceiro grau, que conduz ao ponto de objectivo táctico (T), com orientação paralela ao eixo da via.

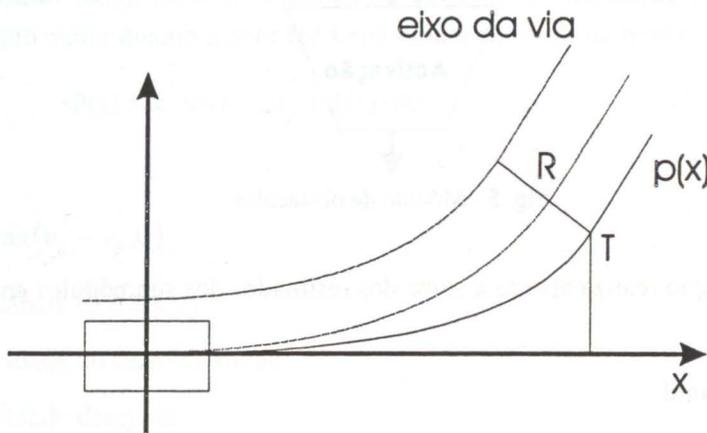


Fig. 6 - Trajectória seleccionada

$$p(x) = a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 \quad (2)$$

$$a_2 = \frac{3}{x_t^2} \cdot y_t - \frac{1}{x_t} \cdot y_t' \quad (3)$$

$$a_3 = \frac{2}{x_t^3} \cdot y_t - \frac{1}{x_t^2} \cdot 2 \cdot y_t' \quad (4)$$

onde x_t e y_t representam as coordenadas do ponto de objectivo táctico T, referidas ao referencial alinhado com o veículo e y_t' o valor da tangente do ângulo de orientação do eixo da via no ponto mais próximo de T.

Para cumprir a trajectória, o ângulo de rotação inicial a atribuir ao volante (r) será:

$$r = G^{-1}(2 \cdot a_2) = G^{-1}\left(\frac{6}{x_t^2} \cdot y_t - \frac{2}{x_t} \cdot y_t'\right) \quad (5)$$

onde $G(r)$ é a função de resposta do volante, característica do modelo dinâmico do veículo.

Outro controlador independente do mesmo tipo é utilizado para o controlo da aceleração. Este tem como saídas as posições dos pedais acelerador e travão. Estas posições em conjunto com o ângulo de rotação determinado para o volante, constituem a saída do nível operacional que é entregue ao nível que trata o comportamento dinâmico do veículo.

5. Conclusão

Neste artigo equacionou-se a problemática da criação de agentes autónomos para ambientes virtuais. Apresentou-se uma arquitectura básica de concepção genérica destes agentes, e definiu-se a estrutura modular de um veículo autónomo que pode ser controlado externamente com ordens de diversos níveis. Foi também incluída a descrição técnica do condutor virtual de veículos autónomos que se encontra em desenvolvimento, assim como a descrição técnica de cada um dos seus módulos.

Pelos testes parciais já realizados, acredita-se que a estrutura modular apresentada permita a obtenção de bons resultados na implementação em curso, com vantagens relativamente a outras arquitecturas conhecidas, demonstrando assim o seu potencial de utilização em agentes autónomos de outro tipo.

Agradecimentos

Agradece-se a todos os investigadores que com o seu envolvimento no desenvolvimento do Simulador de Condução DriS tornaram este trabalho possível e, em especial, ao Professor Doutor A. Augusto Sousa a valiosa ajuda na revisão deste texto, as sugestões durante a realização do trabalho e a disponibilidade sempre demonstrada.

Agradece-se também ao Professor Doutor Jorge Almeida Santos pela colaboração e pelos seus importantes comentários na implementação

Agradece-se ainda ao programa Ciência, ao Praxis XXI, ao Prodep e ao Fundo de Apoio à Investigação do IPP o apoio a este projecto.

Referências

- [Ace96] MARIO ACEVEDO, *Real-Time Multibody Formulation for Driving Simulators*, Symposium on the Design and Validation of Driving Simulators, Valencia, 1996
- [Bay96] SALVADOR BAYARRI; FERNANDEZ M.; MARTINEZ M., *Virtual Reality For Driving Simulation*, Communication of the ACM, May 1996

- [Blu95] BRUCE M. BLUMBERG; TINSLEY A. GALYEAN; *Multi-Level Direction of Autonomous Creatures for Real-Time Virtual Environments*; Computer Graphics (Siggraph'95 Proceedings), 30(3), pp. 97-101, 1995
- [Per94] KEN PERLIN; ATHOMAS GOLDBERG; *Improv: A System for Scripting Interactive Actors in Virtual Worlds*; Media Research Laboratory, Department of Computer Science, New York University
- [Mae95] P. MAES; T. DARRELL; B. BLUMBERG; *The Alive System: Full Body Interaction with Autonomous Agents*; Proceedings of Computer Animation'95 Conference, Switzerland, April 1995, IEEE Press, pp. 11-18.
- [Bru95] ARMIN BRUDERLIN; LANCE WILLIAMS; *Motion Signal Processing*; Computer Graphics (Siggraph'95 Proceedings), 30(3), pp. 97-101, 1995
- [XTu94] XIAOYUAN TU; DEMETRI TERZOPOULOS; *Artificial Fishes: Physics, Locomotion, Perception, Behavior*; Computer Graphics (Siggraph'94 Proceedings), pp. 43-50, 1994
- [Hod95] J. HODGINS; W. WOOTEN; D. BROGAN; A. O'Brien, *Animating Human Athletics*; Computer Graphics (Siggraph'95 Proceedings), 30(3), pp. 71-78, 1995
- [Bru89] ARMIN BRUDERLIN; THOMAS W. CALVERT; *Dynamic Animation of Human Walking*; Computer Graphics (Siggraph'89 Proceedings), 23(3), pp. 233-242, 1989
- [McK90] MYCHAEL MCKENNA; DAVID ZELTZER; *Dynamic Simulation of Autonomous Legged Locomotion*. Computer Graphics (Siggraph'90 Proceedings), 24(4), pp. 29-38, 1990
- [Cre94] JAMES CREMER; JOSEPH KEARNEY; PETER WILLEMSSEN; *A Directable Vehicle Behavior Model for Virtual Driving Environments*; University of Iowa
- [Suk97] RAHUL SUKTHANKER; *Situation Awareness for Tactical Driving*; Ph.D. Thesis, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1997
- [Wil96] A. MARTIN WILDBERGER; *Introduction & Overview of "Artificial Live" – Evolving Intelligent Agents for Modeling & Simulation*; Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, 1996
- [Fra96] STAN FRANKLIN; ART GRAESSER; *Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents*; Institute for Intelligent Systems, University of Memphis, 1996
- [Ahm94] OMAR AHMAD; J. CREMER; J. KEARNEY; P. WILLEMSSEN; S. Hansen; *Hierarchical, Concurrent State Machines for Behavior Modeling and Scenario Control*; University of Iowa

- [Lei97] J. MIGUEL LEITÃO; A. COELHO; F. N. FERREIRA; *DrIS – A Virtual Driving Simulator*; Proceedings of the Second International Seminar on Human Factors in Road Traffic, Braga, 1997
- [Gir85] M. GIRARD; A. MACIEJWSKI; *Computational Modeling for the Computer – Animation of Legged Figures*; Computer Graphics (Siggraph'85 Proceedings), 20(3), pp. 263-270, 1985
- [Sei95] ANDREW F. SEILA; *Introduction to Simulation*; Proceeding of the 1995 Winter Simulation Conference, 1995[Sei95]
- [Kol94] DIETER KOLLER; TUAN LUONG; JITENDRA MALIK; *Binocular Stereopsis and Lane Marker Flow for Vehicle Navigation: Lateral and Longitudinal Control*; Report No. UCB/CSD 94-804, University of California, CS division, Berkeley, 1994
- [Lev95] OREN H. LEVINE; RONALD R. MOURANT; *A Driving Simulator Based on Virtual Environments Technology*; 74th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1995
- [Zyd94] MICHAEL J. ZYDA; D. R. PRATT; J. S. FALBY; C. LOMBARDO; K. KELLEHER; *The Software Required for the Computer Generation of Virtual Environments*; Presence, Vol. 2, No. 2, 1994
- [Bay96] SALVADOR BAYARRI; M. FERNÁNDEZ, *Design & Validation of Traffic Models in Driving Simulation*, Symposium on the Design and Validation of Driving Simulators, Valencia, 1996
- [Gal96] STEPHEN GALLIMORE, *Adding Behaviour to Graphical Elements in the Leeds Driving Simulator, an Object Based Approach*, Symposium on the Design and Validation of Driving Simulators, Valencia, 1996