

ALBERTO DÍAZ ÁLVAREZ

MODELADO DE COMPORTAMIENTO DE CONDUCTORES CON TÉCNICAS DE IA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Alberto Díaz Álvarez

Modelado de comportamiento de conductores con técnicas de IA

Tesis doctoral, 18 de julio de 2016

Revisores: Rev1, Rev2 y Rev3

Supervisores: Dr. Francisco Serradilla García y Dr. Felipe Jiménez Alonso

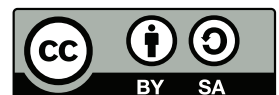
Instituto Universitario de Investigación del Automóvil

Universidad Politécnica de Madrid

Campus Sur UPM, Carretera de Valencia (A-3), km7

28031 Madrid

Este documento esta realizado bajo licencia **Creative Commons “Reconocimiento-CompartirIgual 3.0 España”** .



Índice general

Introducción 15

Estado de la cuestión 21

Conclusiones 29

Glosario

ADAS Advanced driver assistance system. [26](#)

CEP Complex Event Processing. [27](#)

IvCA Intra-vehicular Context Awareness. [27](#)

NDS Naturalistic driving study. [25](#)

TORCS The Simulated Car Racing Championship. [27](#)

Índice de figuras

1. Esta es una figura de mierda (porque no se ve lo que se quiere mostrar) pero que me demuestra que con cuatro imágenes me pongo en las 40 páginas sin pestañear. La idea es cambiarla por otra más como la figura 2 de [Michon, 1985]. Con algún que otro color bonito a poder ser. 25

Índice de cuadros

*Sí sé a quién dedicárselo. Lo que no sé es
cómo.*

Introducción

Es un hecho que la Inteligencia Artificial¹ (IA o AI del inglés *Artificial Intelligence*) como área de conocimiento ha experimentado un creciente interés en los últimos años. Esto no siempre ha sido así, ya que después de un nacimiento muy esperanzador, con mucho optimismo (1956) le siguieron unas épocas de apenas avance (incluso hay una época denominada AI Winter (explicarla mejor)). Sin embargo, en la actualidad es muy difícil encontrar un campo que no se beneficie directamente de la aplicación de técnicas pertenecientes o nacidas en dicho área.

Esto es debido a su característica multidisciplinar ya que, si bien se la define como área perteneciente al campo de la Informática, es transversal a muy diferentes campos, como pueden ser por ejemplo la biología, neurología o la psicología entre otros. [Quizá por aquí se podría hacer una referencia al russel y norvig sobre la separación en los cuatro cuadrantes, aunque quizá mejor en el related work].

Dentro del área de la inteligencia artificial es común diferenciar dos tipos de aproximaciones a la hora de hablar de cómo representar el conocimiento:

- **Inteligencia artificial clásica** o *simbólica*. Postula que el conocimiento como tal es reducible a un conjunto de símbolos junto con operadores para su manipulación. A este tipo de técnicas y soluciones, que basan su funcionamiento en modelos analíticos, se las denominan también *Hard Computing*, y no suelen tolerar factores como la imprecisión y la incertidumbre (e.g. cálculo simbólico o análisis numérico).
- **Inteligencia computacional** o *subsimbólica*. En ésta el conocimiento se alcanza por aproximación. Los esfuerzos se centran en la simulación de los elementos de bajo nivel que subyacen a los comportamientos inteligentes (e.g. redes neuronales artificiales) esperando que de éstos surja la solución de forma espontánea. A este tipo de técnicas se las conoce también como *Soft Computing*, conjunto de soluciones para trabajar sobre información incompleta, imprecisa o con ruido.

El límite entre ambos conjuntos no está perfectamente definido,

¹ A pesar de existir casi tantas definiciones como autores, podemos definir la inteligencia artificial como el *área que estudia el comportamiento inteligente exhibido en máquinas*.

máxime si tenemos en cuenta las diferentes terminologías existentes, las sinergias entre distintas técnicas dentro del área y los diferentes puntos de vista sobre éstas por parte de los autores. Sin embargo, una de las principales diferencias de ambos paradigmas es la forma de solucionar problemas. Mientras que en el primer caso es prácticamente impensable una aproximación diferente a la *top-down* (i.e. se representa la solución, se define el algoritmo y éste lleva a la solución exacta), en el segundo los problemas se resuelven utilizando el paradigma contrario, *bottom-up* (i.e. la solución “aprende” a resolverse dado el problema, sin necesidad de plantear un algoritmo y generando soluciones no necesariamente exactas pero sí lo suficientemente buenas). Revisaremos las diferencias entre conceptos de diferentes autores en el capítulo

Uno de los campos de aplicación es el de los sistemas de transporte inteligentes (ITS, del inglés *Intelligent Transport Systems*). Éstos se definen como un conjunto de aplicaciones orientadas a gestionar el transporte en todos sus aspectos y granularidades (e.g. conducción eficiente, diseño de automóviles, gestión del tráfico o señalización en redes de carreteras) para hacerlos más eficientes y seguros. El interés en tal que en el año 2010 se publicó la directiva 2010/40/UE[par, 2010] donde se estableció el marco de implantación de los ITS en la Unión Europea².

En el caso concreto del comportamiento al volante, es interesante la evaluación de los conductores para conocer su manera de actuar en determinados escenarios, y poder extraer información de estos que nos permiten, por ejemplo, detectar qué factores pueden afectar más o menos a determinados indicadores (e.g. el consumo estimado para una ruta en concreto). Sin embargo, la evaluación en distintos escenarios puede no ser interesante debido a limitaciones existentes, como pueden ser el tiempo, el dinero o la peligrosidad del escenario.

Los simuladores de tráfico³ son una solución para muchas de estas limitaciones, pero suelen basar su funcionamiento en conductores y vehículos (normalmente concebidos como una única entidad) basándose en modelos de conductor que responden a funciones más o menos complejas, además con pocas o ningunas opciones de personalización. Esto provoca que dichos modelos se adapten poco al modelo de un conductor en concreto.

Esta tesis pretende entrar en el tema de la generación de modelos de conductor para simuladores que respondan al comportamiento de conductores en concreto usando, para ello, técnicas pertenecientes al campo de la Inteligencia Computacional.

Concretamente pretende desarrollar un método para el análisis de la eficiencia de los conductores realizando, para ello, un modelo del perfil de conducción a partir de técnicas de la Inteligencia Computacional y aplicándolo a un entorno multiagente de simu-

² En esta directiva, los ITS se definen como aplicaciones avanzadas que, sin incluir la inteligencia como tal, proporcionan servicios innovadores en relación con los diferentes modos de transporte y la gestión del tráfico y permiten a los distintos usuarios estar mejor informados y hacer un uso más seguro, más coordinado y «más inteligente» de las redes de transporte.

³ Concretamente los *micro-simuladores*, donde los conductores y/o vehículos son modelados como agentes independientes. Existe otra categoría dentro de la simulación de tráfico, denominada *macro-simuladores*, que conciben el tráfico como un fluido. Aún así, veremos este concepto más en detalle en el capítulo [Estado de la cuestión](#).

lación. Así, una vez configurado el entorno multiagente, se podrá simular el tráfico y estudiar aspectos como el estilo de conducción o el impacto de los sistemas de asistencia.

Motivación

Los conceptos introducidos al comienzo del capítulo obedecen a una *necesidad* (eufemismo de problema) de la sociedad en la que vivimos, y que afecta tanto a nuestra generación como afectará a las venideras: la eficiencia en la conducción. Dado que es imprescindible saber que existe un problema para arreglarlo, nada mejor que introducir primero algunos hechos conocidos:

- En el año 2014, el número de vehículos a nivel mundial asciende a más de 1,200 millones[des Constructeurs d'Automobiles (OICA), 2015], con una tendencia ascendente. Reducir en un pequeño porcentaje el consumo durante la conducción evita la emisión de toneladas de gases considerados nocivos para el medio ambiente y el ser humano⁴
- Debemos abandonar los combustibles fósiles antes de que éstos nos abandonen a nosotros. Aunque existen diferentes puntos de vista acerca de cuándo se agotarán las reservas de petróleo, lo cierto es que los combustibles fósiles son recursos **finitos**. Lo más probable es que no se llegue a agotar debido a la ley de la oferta y la demanda, pero hay que recordar que el petróleo se usa como base para la producción de muchos y muy diferentes tipos de productos, como por ejemplo la vaselina, el asfalto o los plásticos.
- Independientemente del momento en el que se agoten los recursos, hay que hacer notar que la emisión de gases está correlacionada con el aumento de la temperatura del planeta. De seguir con el ritmo de consumo actual, se teme llegar a un punto de no retorno con consecuencias catastróficas para la vida en el planeta.
- Algo más cercano, y aun así íntimamente relacionado. La conducción eficiente afecta directamente a factores correlacionados con el número de accidentes de tráfico. Un factor de sobra conocido es el de la velocidad, factor relacionado no sólo con el número sino con la gravedad de los accidentes[Imprialou et al., 2016]. Otros indicadores son las aceleraciones, deceleraciones y maniobras de cambio de dirección, cuya frecuencia es inversamente proporcional a la eficiencia en la conducción y directamente proporcional a la agresividad, falta de seguridad y accidentes ([Dingus et al., 2006] y [Lerner et al., 2010]).

⁴ Uno puede argumentar que el parque automovilístico se recicla con nuevos vehículos eléctricos categorizados “de consumo o”. La triste realidad es que estos vehículos consumen la electricidad generada actualmente de una mayoría de centrales de combustibles fósiles y nucleares. Además, mientras que en países desarrollados el crecimiento ha sido en torno al 4-7%, en países subdesarrollados, donde no existe aun infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos, dicho crecimiento ha superado el 120 %.

Estos hechos son solo algunos que ponen de manifiesto la necesidad de centrarse en el problema de cómo hacer de la conducción

una actividad más eficiente y segura.

La **conducción eficiente** o *eco-driving* es definida como la aplicación de una serie de reglas de conducción con el objetivo de reducir el consumo de carburante (en el caso de coches de combustión) o de electricidad (en el caso de coches eléctricos).

Ser capaces de identificar o al menos estimar qué conductores son considerados como no eficientes es importante debido a que de esta manera se pueden identificar los hábitos recurrentes en este tipo de perfil y adecuar la formación para eliminar dichos hábitos. Más aún teniendo en cuenta la relación existente entre la peligrosidad y algunas conductas agresivas. Un ejemplo donde la identificación de perfiles no eficientes pueden tener impacto claro económico y social es el de las empresas cuya actividad se basa en el transporte de mercancías o de personas.

Sin embargo, identificar la conducta de un conductor no es fácil, dado que su comportamiento se ve condicionado por numerosos factores como el estado de la ruta, el del tráfico o el estado físico o anímico. Además, la ambigüedad de las situaciones dificulta todavía más la identificación. Por ejemplo, un conductor puede ser clasificado en un momento como agresivo o no eficiente en una situación únicamente porque su comportamiento ha sido condicionado por las malas reacciones por parte de los demás conductores.

El análisis de todos los posibles casos es una tarea prácticamente imposible. Por ello, las simulaciones pueden dar una estimación de los posibles resultados de un estudio en el mundo real. Las simulaciones con sistemas multiagente⁵ representan a los conductores como agentes permitiendo la evaluación del comportamiento tanto individual como general del sistema en base a sus individuos a través de iteraciones discretas de tiempo. Si dichos agentes son obtenidos a partir de la modelización de conductores a partir de sus datos reales, su comportamiento en la simulación podría ser considerado como fuente de datos para condiciones de tráfico y/o ruta no contempladas en el mundo real. De esta forma, se dispondría de un marco de trabajo para la comparación de diferentes conductores sin necesidad de exponerlos a todos y cada uno de los posibles eventos posibles. También sería posible evaluar sistemas de asistencia evitando los problemas de no comparabilidad de condiciones del entorno entre pruebas.

Demostrar que la evaluación de un modelo del conductor en entornos simulados es equivalente a la evaluación de conductores en entornos reales implica que es posible la comparación de dos conductores usando un criterio objetivo, es decir, sin depender del estado del resto de factores a la hora de realizar la prueba de campo. Dicho de otro modo, implicaría que es posible comparar la eficiencia de dos conductores independientemente del estado del tráfico e, incluso, sobre rutas diferentes.

⁵ Los sistemas multiagente (SMA o MAS del inglés *Multi-Agent Systems*) son aquellos sistemas compuestos por diversos elementos denominados agentes, los cuales cooperan sobre un entorno para, normalmente, llegar a una solución.

Objetivos

El objetivo de esta tesis doctoral es la de demostrar la hipótesis 1, quedando dicha demostración dentro de los límites impuestos por los supuestos y restricciones indicados más adelante.

Hipótesis 1 (H1): *La aplicación de técnicas pertenecientes al campo de la Inteligencia Computacional con datos extraídos de un entorno de micro-simulación permitirá modelar, de manera fiel a la realidad, el comportamiento de los conductores pertenecientes a los grupos más representativos.*

TODO! Joder, acabo de encontrar un paper donde se indica la diferencia de comportamiento en función de la clase social. Cuando más alta, menos ética. Lo mismo hay que indicarlo también a la hora de decir lo de “grupos más representativos”).

Por tanto, el objetivo de la tesis es el de simular el comportamiento de conductores en entornos de micro-simulación a partir de su comportamiento en entornos reales usando técnicas de Inteligencia Computacional. Para ello se consideran los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar y aplicar técnicas de la Inteligencia Computacional (e.g. sub-simbólica) sobre el área de la conducción.
- Implementar métodos de generación de modelos personalizados a partir de datos de conductores.
- Aplicar modelos de conductores a entornos de simulación multi-agente.
- Validar los modelos de conductor contra conductores reales.
- Estudiar la efectividad de sistemas de asistencia encaminados a mejorar la eficiencia y analizar el comportamiento de conductor.

Supuestos

- Se supone que el comportamiento de un conductor es el comportamiento en línea y el comportamiento de cambio de carril⁶.
- Los datos de los que extraer el comportamiento se corresponderán con lecturas realizadas durante el día, con buena visibilidad y sin lluvia.

⁶ Son conocidos en la literatura como *car-following* y *lane-changing* respectivamente. Entraremos en detalle sobre ambos conceptos en el capítulo [Estado de la cuestión](#)

Restricciones

- La resolución máxima del modelo creado es de 1Hz.
- En el caso de los modelos que hacen uso de redes neuronales artificiales, no se pueden explicar las razones del comportamiento inferido.

Resultados

Estructura de la tesis

La tesis está estructurada de la siguiente manera:

- **Estado de la cuestión.** Revisión del estado de la cuestión donde se explica en qué punto se encuentra la literatura de los temas en los que se apoya la presente tesis.

Estado de la cuestión

Se pretende desarrollar un método para el análisis de la eficiencia de los conductores, realizando para ello un modelo del perfil de conducción a partir de técnicas de Inteligencia Computacional y aplicándolo en un entorno multiagente de donde obtener el resto de parámetros. Así, una vez configurado el entorno multiagente, se podrá simular el tráfico y el comportamiento de los conductores dentro de éste cuando su marcha está condicionada por factores como el tráfico, semáforos, etcétera.

Es para ello necesario un análisis previo del estado de la cuestión en torno a varios conceptos y su relación: la inteligencia computacional y sus técnicas, agentes y sistemas multiagente y por último, modelos de conductor y simuladores de tráfico. Esta sección se encarga de recoger el resultado de la revisión de la literatura en estos temas y sirve de base para el desarrollo de la tesis.

Simulación de tráfico

El tráfico es un sistema cuyo funcionamiento depende de multitud de factores con una organización caótica. Debido a esto, obtener modelos exactos es una tarea prácticamente imposible y es por ello que la mayoría del trabajo cuyo objetivo es la predicción se realice en base a simuladores.

Hoy en día la oferta de simuladores de tráfico existente es amplia. NO SÉ QUÉ COJONES PONER AQUÍ DE QUE SE OFERTAN CON DIFERENTES LICENCIAS, TANTO ABIERTAS COMO CERRADAS.

A lo mejor aquí hay que especificar que hablando de simuladores de tráfico, sólo vamos a centrarnos en temas de simulación de vehículos utilitarios (coches o como cojones se llamen), sin entrar en detalles de simulación de otro tipo de vehículos o de peatones.

Dentro de simulación de tráfico que no es directamente simulación de coches, se puede hablar (para nombrar y hacer un par de párrafos con referencias) de la simulación para la evaluación de sistemas de señalización inteligentes[Jin et al., 2016], estimación de emisiones[Quassdorff et al., 2016]

He encontrado un smiulador que es relativamente reciente y que puede merecer la pena mencionar (más párrafos, yuhu!). es el X10, y cero que tiene que ver con algo de IBM, y algo también de inteligencia porque hablan de preferencias para el conductor en temas deruta, evlocidad y no se qué hostias. Dejo aquí los enlaces: <http://x10.sourceforge.net/documentation/presentations/X10DayTokyo2015/x10daytokyo15-mizuta.pdf>, http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6365068&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6365068, <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos148.pdf>, https://www.researchgate.net/profile/Tsuyoshi_Ide2/publication/236173272_X10-based_massive_parallel_large-scale_traffic_flow_simulation/links/00b4951b89905784a7000000.pdf

AQUÍ ESTARÍA MUY BIEN UNA IMAGEN COMO LA QUE APARECE EN [Krajzewicz et al., 2002] SOBRE LOS DIFERENTES SIMULADORES.

Microsimulación vs. macrosimulación

Los dos puntos de vista principales a la hora de abordar un modelo de flujo de tráfico son los micromodelos y los macromodelos. Cuando se trabaja con simulaciones, dependiendo de con qué modelo se trabaje hablamos entonces de microsimulaciones y macrosimulaciones, o simplemente simulaciones *micro* y *macro* respectivamente. Sus características son las siguientes:

- **Micromodelos.** Su objetivo es estudiar desde un punto de vista de granularidad fina (e.g. vehículos o peatones) las micropropiedades del flujo de tráfico (e.g. cambio de carril, aproximaciones a vehículos delanteros o adelantamientos) para evaluar su comportamiento. Tiene dos principales ventajas, la posibilidad de estudiar el tráfico como un todo a partir de sus elementos más simples (ofreciendo una representación más fiel de este) y la posibilidad de estudiar cada elemento por separado. Sin embargo, la principal desventaja de este tipo de modelos es que cada elemento de la simulación requiere de cómputo y por tanto simulaciones con alto contenido de elementos pueden llegar a ser inviables.
- **Macromodelos.** Este tipo de modelos centran su esfuerzo en estudiar el flujo de tráfico como un todo, explorando sus macropropiedades (e.g. evolución del tráfico, efectos onda, velocidad media o flujo en vías). Su ventaja principal es que a nivel macroscópico permiten estudiar propiedades que a nivel microscópico requeriría una cantidad ingente de recursos. Sin embargo, es imposible obtener información precisa de un elemento en particular del tráfico.

Aunque esta es la categorización típica de modelos, en la literatura aparecen otros tipos de modelo con granularidades que pueden considerarse no pertenecientes a ninguno de estos dos conjuntos.

Por ejemplo, los **sub-micromodelos** (**TODO!** buscar referencia) donde la granularidad baja hasta el punto que los elementos tóxicos del modelo son las propias partes del vehículo o los conductores.

Otro ejemplo son los **mesomodelos**[Munoz et al., 2001][Casas et al., 2011] donde se trata de amortiguar los problemas interentes a la complejidad en los micromodelos y a la falta de resolución en los macromodelos (**TODO!** añadir una figura para el modelo citado en [Munoz et al., 2001], donde se hace uso de ventanas en al vía para analizar el comportamiento micro, dejando el modelo fuera de esa ventana en la granularidad macro).

Simulación discreta vs. continua

La discretización aquí se refiere tanto a tiempo como a espacio.

Si hablamos de tiempo, en general las simulaciones de tiempo continuo trabajan sobre macrosimulación, por lo que es de menor interés para nosotros que los simuladores discretos de tiempo, donde se cuantifica el tiempo de la simulación, generalmente a una frecuencia de 1Hz.

Si hablamos de espacio, nos interesan más los simuladores continuos, ya que los discretos pierden demasiado detalle, y nos interesa más el comportamiento en cada instante t que la colocación relativa aproximada de los vehículos en cada instante t (cuantificado o no)

Comparativa de simuladores

En este apartado se facilita la comparativa realizada para la elección de simulador sobre el que basar los escenarios a plantear en las simulaciones de los modelos de conductor.

Quizá se pudea hablar del “SMARTTEST” project: <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/smartest/>

Simuladores de pago:

Quadstone paramics (microscopic) VISSUM (macroscopic) VIS-SIM (microscopic) AIMSUN

Simuladores gratuitos:

Matsim SUMO (microscopic) Repast MAINSIM Synchro

Ni puta idea:

CUBE SATURN PARAMICS TRANSIMS

En definitiva, el simulador que más se adapta a nuestras necesidades y el que se usará como simulador base en el desarrollo de esta tesis será SUMO⁷ (*Simulation of Urban MObility*). Funciona como simulación de tiempo discreto variable (siendo el mínimo 1ms.) en un escenario espacial continuo.

⁷ Para más información acerca de su funcionamiento, los artículos [Krajzewicz et al., 2002], [Behrisch et al., 2011] y [Krajzewicz et al., 2012] ofrecen suficiente información sobre su arquitectura, su funcionamiento y sus últimas actualizaciones, aunque el proyecto ha evolucionado bastante desde la última publicación.

Sistemas multiagente

Inteligencia computacional

Qué es la inteligencia artificial. Diferencias entre inteligencia artificial clásica e inteligencia computacional. Diferentes puntos de vista (soft computing, machine learning, ...) Técnicas de entrenamiento de modelos: supervisado, no supervisado, semisupervisado, refuerzo, ... Técnicas de funcionamiento: online y offline Técnicas de la inteligencia computacional usadas en esta tesis (redes neuronales artificiales (perceptrón multicapa, recurrentes y lstm), lógica difusa y computación evolutiva) ¿Qué técnicas se usan actualmente y sobre qué problemas? Detección de patrones de eficiencia y agresividad de subyacen en los comportamientos de éstos? Estudio de la efectividad de los sistemas de asistencia para mejorar la eficiencia de conducción Estudio de los sistemas de asistencia para analizar el comportamiento del conductor.

Recolección de datos

Modelos de comportamiento

¿A qué nos referimos cuando hablamos del comportamiento? Según el diccionario de la real academia, “comportamiento” se define como *manera de comportarse*, siendo “comportar” *actual de una manera determinada*. Sin embargo, no queda claro qué factores constituyen el comportamiento al volante.

Atendiendo a la literatura, **TODO!** un par de párrafos para hablar de comportamiento

¿Cómo se define el comportamiento de un conductor?

En [Michon, 1985] describen la conducción como una tarea separada en 3 niveles jerárquicos, el de estrategia, el de maniobra y el de control. En la figura 1. se ve mejor.

SUMO usa (al menos así lo indican en el paper del 2002) el modelo Gipps [Krajzewicz et al., 2002]. No sé si ellos han hecho una extensión del modelo o están referenciando la extensión y ellos

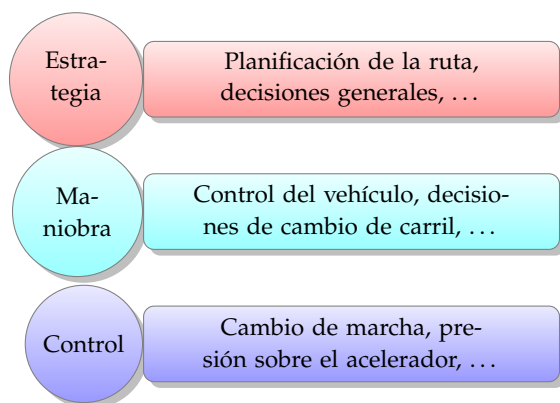


Figura 1: Esta es una figura de mierda (porque no se ve lo que se quiere mostrar) pero que me demuestra que con cuatro imágenes me pongo en las 40 páginas sin pestañear. La idea es cambiarla por otra más como la figura 2 de [Michon, 1985]. Con algún que otro color bonito a poder ser.

sólo la implementan. En el paper del 2012 citan que el modelo car-following que usan por defecto es el desarrollado por Stefan Krauß[Jin et al., 2016], debido a su simplicidad y su velocidad de ejecución.

El modelo ha probado ser válido, pero tiene algunos defectos, por lo que existe un API para implementar otros modelos. En la actualidad están incluidos en el sistema los modelos IDM[Treiber et al., 2000] (*Intelligent Driver Model*), el modelo de tres fases de Kerner[Kerner et al., 2008] y el modelo de Wiedemann[Wiedemann, 1974].

La práctica totalidad de modelos para el comportamiento de conductores en tráfico se basan en una estructura jerárquica de control[Michon, 1985]. Por lo que veo este paper es de 1985, así que afirmar eso 30 años después es una barrabasada. Hay que buscar algo más para apoyar eso o para indicarlo como una anécdota.

En el paper [Al-Shihabi and Mourant, 2001] describen un framework para la modelización de comportamiento de conductores dentro de simuladores.

En [Tang et al., 2014] los autores proponen un modelo de car following teniendo en cuenta comunicación entre vehículos.

TODO! Hoy he descubierto que hay una cosa que se llama naturalistic traffic study o naturalistic traffic observation (**Naturalistic driving study (NDS)**) que es un estudio naturalístico, es decir, observar en el mundo real con detalle y extraer datos de ello. A lo mejor hablando así queda como más profesional :D.

Los **NDS** basan su funcionamiento en la captura masiva de datos de conducción, normalmente involucrando una gran cantidad de sensores, para analizar el comportamiento del conductor, las características del vehículo, la vía, etcétera. La cantidad de sensores y la velocidad de captura hacen que la tarea de analizar y extraer conclusiones sea una tarea prácticamente imposible para un humano, por lo que es necesario el uso de técnicas de análisis de datos que suelen recaer en los campos de la estadística y del aprendizaje automático.

En [Sekizawa et al., 2007] describen modelos supervisados offline para capturar el comportamiento del conductor basados en auto-regresión a trozos. Más adelante lo extienden en [Terada et al., 2010], aunque los datos de entrenamiento son extraídos directamente de simulaciones, no del “mundo realTM”.

En [Bando et al., 2013] describen otro modelo no supervisado offline basado en un modelo bayesiano no paramétrico para la clusterización, combinado con un LDA (Latent Dirichlet Allocation, sea lo que sea esto) para la clusterización a más alto nivel. (TODO! ¿este método usa datos reales?)

Estos trabajos ([Sekizawa et al., 2007], [Terada et al., 2010] y [Bando et al., 2013]) tienen la desventaja de ser computacionalmente muy costosos y con poca precisión en el caso de variar mucho los escenarios de entrenamiento y de test.

En [Maye et al., 2011] se presenta un modelo online donde se infiere el comportamiento del conductor haciendo uso de una IMU (Intertial Measurement Unit) y una cámara. Primero de la IMU se sacan datos que se separan en fragmentos para luego relacionarlos con las imágenes obtenidas de la cámara. (TODO! ¿Hacia dónde mira la cámara?). Los modelos propuestos en [Johnson and Trivedi, 2011] y [Van Ly et al., 2013] también se apoyan en el funcionamiento de clasificar las segmentaciones de una IMU, pero con técnicas distintas y sin cámara (TODO! Que digo yo, ¿qué clasifican exactamente? es más, dependiendo de qué clasifican, para qué vale la camarita del [Maye et al., 2011]?). Además hacen uso de señales externas y umbrales de activación para hacer más efectiva la clasificación (TODO! corroborar).

En el artículo [Bender et al., 2015] se usa también un modelo no supervisado online con una aproximación bayesiana para identificar los puntos de cambio sin depender de parámetros externos (e.g. umbrales o señales). Se basa también en (1) segmentar los datos de conducción y (2) asignar estos datos a clases que se corresponde n con comportamientos de conducción. Tiene la ventaja de ser más eficiente y rubusto que los anteriores.

La idea de estos métodos desde el [Sekizawa et al., 2007] hasta el [Bender et al., 2015] creo que es el de un sistema que traduzca datos en crudo a datos de más alto nivel. Esto es debido a que la cantidad de datos que se pueden generar en un sólo coche (no digamos ya una flota de ellos) es tan grande que para determinados sistemas disponer de información de más alto nivel haría más sencillo su desempeño (por ejemplo, *Advanced driver assistance system (ADAS)* que funcionasen con datos de “adelantando” que sus valores de giro, aceleración en una ventana temporal).

En [Satzoda et al., 2013], haciendo uso de la información combinada de bus CAN, cámaras, GPS e información digitalizada el mapa donde se circula se determina una amplio abanico de infor-

mación crítica en diferentes condiciones de la carretera. La información que sacan es: número de cambios de carril a la derecha, a la izquierda, tiempo en autopista y carretera urbana, distancia recorrida, velocidades medias en autopista y urbano, paradas, giros a la derecha, a la izquierda, incorporaciones y salidas de autopista, tiempo gastado en un sólo carril, curvas a la izquierda, curvas a la derecha y distancia media al carril central

En [Al-Shihabi and Mourant, 2001] describen un framework para la modelización de comportamiento de conductores dentro de simuladores. Se basa en cuatro unidades de funcionamiento interconectadas, la de percepción (percibe el entorno en términos locales y globales), la de emoción (cómo responde emocionalmente al entorno), la de decision-making (investiga posibles acciones que podrían servir a las necesidades del módulo emocional) y la de decision-implementation (intenta implementar las decisiones cuando emergen condiciones de tráfico lo suficientemente seguras para llevarlas a cabo). Tengo que volver a leerlo después de hacer una primera introducción en el tema de agentes, porque me parece poner nombres a un tipo de agente que funciona de esa misma manera, pero lo mismo no.

En [Terroso-Sáenz et al., 2015] analizan lo que ellos denominan el concepto del *Intra-vehicular Context Awareness (IvCA)*, lo que viene a ser el contexto definido **dentro** del vehículo, llegando a intentar predecir no sólo el número de ocupantes (ese es un problema sobradamente superado) sino la tipología o clase de ocupante (e.g. niños, adultos, ... **TODO!** buscar cuáles son las tipologías). Para ello hacen uso de un *Complex Event Processing (CEP)*⁸ para procesar los datos de los diferentes sensores del vehículo y así detectar y analizar patrones característicos.

El artículo [Muñoz et al., 2010] es muy interesante ya que para la competición *2010 Simulated Car Racing Championship* desarrollaron un controlador no para minimizar el tiempo en realizar las carreras, sino para hacerlo lo más parecido posible a cómo se comporta un humano. Para ello hicieron uso de redes neuronales para calcular trayectorias y de un proceso de aprendizaje a partir de información extraída de un conductor real en el simulador *The Simulated Car Racing Championship (TORCS)*.

Aunque *TORCS* es usado como entorno de simulación en diversos concursos e investigaciones, se trata de un juego, y es que los juegos son un sandbox perfecto como entorno de simulación, ya que presentan una abstracción del dominio sobre el que trabajar. Otros trabajos en esta línea (entrenamiento de redes neuronales en este simulador) son los de [Munoz et al., 2009] y [Van Hoorn et al., 2009], el primero entrenando perceptrones multicapa (**TODO!** verificar) con un backpropagation haciendo uso de un dataset proporcionado por un bot y otro haciendo uso de un algoritmo evolutivo multiobjetivo para optimizar la red de acuerdo

⁸ Un *CEP* es un método por el cual se lee un flujo de información compuesta de flujos de distintas fuentes (de ahí el *complex*) para detectar eventos o patrones que pueden indicar la presencia de situaciones a analizar lo más rápido posible.

a un conjunto de datos proporcionado por un conductor real. Sin embargo, este tipo de modelos se encuentran más cercanos al nivel de control que al nivel de maniobra descritos en la figura 1.

En [Van Ly et al., 2013] hacen uso de los sensores de inercia de un coche (a saber qué coche tienen) para construir un perfil de conductor. Concluyen que frenar y girar caracterizan mejor a los conductores frente a acelerar.

Conclusiones

¿Pierde rendimiento el sistema cuando se aplican los modelos a escenarios significativamente diferentes de los escenarios de test?
Si sí, un trabajo futuro y algo para escribir en conclusiones sería hablar de este defecto y de cómo subsanarlo.

Aportaciones

Futuras líneas de investigación

¿A lo mejor se podría tirar por el campo de las V2X desde esta tesis?

¿Entrar en el tema de la mesosimulación?

Bibliografía

- [par, 2010] (2010). Directive 2010/40/eu of the european parliament and of the council of 7 july 2010 on the framework for the deployment of intelligent transport systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport text with eea relevance. *Official Journal of the European Union*, 50:207.
- [Al-Shihabi and Mourant, 2001] Al-Shihabi, T. and Mourant, R. R. (2001). A framework for modeling human-like driving behaviors for autonomous vehicles in driving simulators. In *Proceedings of the fifth international conference on Autonomous agents*, pages 286–291. ACM.
- [Bando et al., 2013] Bando, T., Takenaka, K., Nagasaka, S., and Taniguchi, T. (2013). Unsupervised drive topic finding from driving behavioral data. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*, pages 177–182. IEEE.
- [Behrisch et al., 2011] Behrisch, M., Bieker, L., Erdmann, J., and Krajzewicz, D. (2011). Sumo—simulation of urban mobility: an overview. In *Proceedings of SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation*. ThinkMind.
- [Bender et al., 2015] Bender, A., Agamennoni, G., Ward, J. R., Worrall, S., and Nebot, E. M. (2015). An unsupervised approach for inferring driver behavior from naturalistic driving data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(6):3325–3336.
- [Casas et al., 2011] Casas, J., Perarnau, J., and Torday, A. (2011). The need to combine different traffic modelling levels for effectively tackling large-scale projects adding a hybrid meso/micro approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20:251–262.
- [des Constructeurs d’Automobiles (OICA), 2015] des Constructeurs d’Automobiles (OICA), O. I. (2015). Motorization rate 2014 – worldwide.
- [Dingus et al., 2006] Dingus, T. A., Klauer, S. G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S., Sudweeks, J., Perez, M., Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., et al. (2006). The 100-car naturalistic driving study, phase ii-results of the 100-car field experiment. Technical report.

- [Imprialou et al., 2016] Imprialou, M.-I. M., Quddus, M., Pitfield, D. E., and Lord, D. (2016). Re-visiting crash-speed relationships: A new perspective in crash modelling. *Accident Analysis & Prevention*, 86:173–185.
- [Jin et al., 2016] Jin, J., Ma, X., Koskinen, K., Rychlik, M., and Kosonen, I. (2016). Evaluation of fuzzy intelligent traffic signal control (fits) system using traffic simulation. In *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*, number 16-4359.
- [Johnson and Trivedi, 2011] Johnson, D. A. and Trivedi, M. M. (2011). Driving style recognition using a smartphone as a sensor platform. In *2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, pages 1609–1615. IEEE.
- [Kerner et al., 2008] Kerner, B., Klenov, S., and Brakemeier, A. (2008). Testbed for wireless vehicle communication: A simulation approach based on three-phase traffic theory. In *Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE*, pages 180–185. IEEE.
- [Krajzewicz et al., 2012] Krajzewicz, D., Erdmann, J., Behrisch, M., and Bieker, L. (2012). Recent development and applications of sumo—simulation of urban mobility. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, 5(3&4).
- [Krajzewicz et al., 2002] Krajzewicz, D., Hertkorn, G., Rössel, C., and Wagner, P. (2002). Sumo (simulation of urban mobility)-an open-source traffic simulation. In *Proceedings of the 4th Middle East Symposium on Simulation and Modelling (MESM2002)*, pages 183–187.
- [Lerner et al., 2010] Lerner, N., Jenness, J., Singer, J., Klauer, S., Lee, S., Donath, M., Manser, M., and Ward, N. (2010). An exploration of vehicle-based monitoring of novice teen drivers. *Final Report. NHTSA, Report No. DOT HS, 811:333*.
- [Maye et al., 2011] Maye, J., Triebel, R., Spinello, L., and Siegwart, R. (2011). Bayesian on-line learning of driving behaviors. In *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on*, pages 4341–4346. IEEE.
- [Michon, 1985] Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In *Human behavior and traffic safety*, pages 485–524. Springer.
- [Munoz et al., 2009] Munoz, J., Gutierrez, G., and Sanchis, A. (2009). Controller for torcs created by imitation. In *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games*, pages 271–278. IEEE.
- [Muñoz et al., 2010] Muñoz, J., Gutierrez, G., and Sanchis, A. (2010). A human-like torcs controller for the simulated car racing championship. In *Proceedings of the 2010 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, pages 473–480. IEEE.

- [Munoz et al., 2001] Munoz, L., Gomes, G., Yi, J., Toy, C., Horowitz, R., and Alvarez, L. (2001). Integrated meso-microscale traffic simulation of hierarchical ahs control architectures. In *Intelligent Transportation Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE*, pages 82–87. IEEE.
- [Quaassdorff et al., 2016] Quaassdorff, C., Borge, R., Pérez, J., Lumbreras, J., de la Paz, D., and de Andrés, J. M. (2016). Microscale traffic simulation and emission estimation in a heavily trafficked roundabout in madrid (spain). *Science of The Total Environment*, 566:416–427.
- [Satzoda et al., 2013] Satzoda, R., Martin, S., Van Ly, M., Gunaratne, P., and Trivedi, M. M. (2013). Towards automated drive analysis: A multimodal synergistic approach. In *16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013)*, pages 1912–1916. IEEE.
- [Sekizawa et al., 2007] Sekizawa, S., Inagaki, S., Suzuki, T., Hayakawa, S., Tsuchida, N., Tsuda, T., and Fujinami, H. (2007). Modeling and recognition of driving behavior based on stochastic switched arx model. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 8(4):593–606.
- [Tang et al., 2014] Tang, T., Shi, W., Shang, H., and Wang, Y. (2014). A new car-following model with consideration of inter-vehicle communication. *Nonlinear dynamics*, 76(4):2017–2023.
- [Terada et al., 2010] Terada, R., Okuda, H., Suzuki, T., Isaji, K., and Tsuru, N. (2010). Multi-scale driving behavior modeling using hierarchical pwarx model. In *Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2010 13th International IEEE Conference on*, pages 1638–1644. IEEE.
- [Terroso-Sáenz et al., 2015] Terroso-Sáenz, F., Valdés-Vela, M., Campuzano, F., Botia, J. A., and Skarmeta-Gómez, A. F. (2015). A complex event processing approach to perceive the vehicular context. *Information Fusion*, 21:187–209.
- [Treiber et al., 2000] Treiber, M., Hennecke, A., and Helbing, D. (2000). Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations. *Physical review E*, 62(2):1805.
- [Van Hoorn et al., 2009] Van Hoorn, N., Togelius, J., Wierstra, D., and Schmidhuber, J. (2009). Robust player imitation using multiobjective evolution. In *2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, pages 652–659. IEEE.
- [Van Ly et al., 2013] Van Ly, M., Martin, S., and Trivedi, M. M. (2013). Driver classification and driving style recognition using inertial sensors. In *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*, pages 1040–1045. IEEE.

[Wiedemann, 1974] Wiedemann, R. (1974). Simulation des strassenverkehrsflusses.

Acerca del código fuente

La presente tesis lleva consigo numerosas horas de programación, lo que implica varios miles de líneas de código. Sin embargo, esta nota existiría aún con sólo unas pocas decenas. Se ha decidido no proveer de forma impresa el código fuente y en su lugar distribuirlo en formato electrónico, una forma más manejable para su consulta y a la vez respetuosa con el medio ambiente. No obstante sí es posible que existan pequeños fragmentos de código para apoyar explicaciones. En caso de necesitar los fuentes y no ser capaces de conseguirlos, se puede contactar directamente conmigo, el autor, en .

Cómo citar esta tesis

Si deseas citar esta tesis, lo primero gracias. Me alegro de que te sirva para tu investigación. Si lo deseas, incluye el siguiente código en bibtex:

TODO A ver cómo coño meto en el paquete listings caracteres acentuados...