

MODELO DE ANÁLISIS DE ACELERACIÓN PARA UN SIMULADOR MICROSCÓPICO DE TRÁFICO URBANO

Jesús Racero Moreno

jrm@esi.us.es

José David Canca Ortiz

dco@esi.us.es

José Ramón Sánchez Gracia

Fernando Jiménez Canelada

canelada@esi.us.es

Dpto. de Organización y Gestión de Empresas. Escuela Superior de Ingenieros.

Universidad de Sevilla

Resumen

Este trabajo muestra la estructura de un nuevo modelo sobre el comportamiento de los conductores en cuanto a aceleración y frenada de sus vehículos. El modelo forma parte de un novedoso simulador microscópico que incorpora gestión de incidentes, y aparcamientos, así como un modelo de selección de rutas que se basa en resultados de procesos macroscópicos de asignación de tráfico.

Palabras Claves: Simulación, Tráfico, ATMS, Aceleración.

1.- Introducción.

Los modelos de aceleración describen el comportamiento de los conductores con relación a la velocidad y aceleración desarrolladas. El comportamiento de los conductores presenta diferentes características dependiendo del tipo de conductor, señales del viario, proximidad de semáforos, obstáculos, vehículos precedentes, etc que influyen en su forma de actuación.

Los modelos de aceleración se clasifican en:

- Modelos de seguimiento de vehículos. Estos modelos son empleados para mostrar el comportamiento de un conductor cuando esta influido por el vehículo que le precede.
- Modelos de aceleración General. El modelo de aceleración general es empleado para aquellos casos donde el conductor no está influido por un vehículo precedente como por ejemplo, cuando actúan en función de semáforos, obstáculos o bien se mueve con completa libertad.

Los modelos de aceleración general muestran el comportamiento del conductor en cada una de las situaciones en puede encontrarse. A cada situación se le denomina régimen y

pueden considerarse varios regímenes de acuerdo a diferentes autores. Así mismo, el modelo de seguimiento de vehículos es considerado como un régimen del modelo general.

Hasta los años 80 los investigadores habían prestado atención al estudio de los modelos de aceleración en régimen de seguimiento de vehículos y poca atención al resto de los regímenes. Fue entonces cuando fue cobrando mas importancia el estudio de los modelos de aceleración en flujo libre junto herramientas de simulación microscópica para estudiar el comportamiento del tráfico y la evaluación de diferentes herramientas de gestión.

Los modelos de aceleración general se caracterizan por diferenciar varios regímenes en los cuales se aplica una expresión para la obtención de la aceleración, que posteriormente se emplea para calcular la variación de la velocidad en cada uno de ellos.

2.- Notación.

A continuación introducimos la notación que será empleada para la descripción de los modelos de aceleración. Con este fin utilizemos el siguiente ejemplo (Figura 2.1):

Sean dos vehículos que se desplazan de izquierda a derecha por un tramo de longitud L . El vehículo $n+1$ tiene una longitud de L_{n+1} metros y el vehículo n que sigue al $n+1$ una longitud de L_n . La posición de cada vehículo en el tiempo esta caracterizada por la variable $x_{n+1}(t)$ y $x_n(t)$ que indican el número de metros recorridos con respecto al comienzo del tramo del vehículo $n+1$ y n respectivamente. La velocidad de cada uno de los vehículo en el instante t se denota mediante $v_{n+1}(t)$ y $v_n(t)$. La aceleración de ambos vehículos n y $n+1$, viene expresada como $a_n(t)$ y $a_{n+1}(t)$ respectivamente. El intervalo de tiempo que transcurre desde que el conductor observa un suceso y actúa en consecuencia se denomina tiempo de reacción y se denota por T . Es importante caracterizar dos magnitudes que serán empleadas en la obtención de la aceleración como son la distancia de separación, $x_{n+1}(t) - x_n(t) - L_{n+1}$ y la velocidad relativa $v_{n+1}(t) - v_n(t)$ entre dos vehículos.

Además de la longitud, cada vehículo presenta unas características propias que pueden coincidir o no con otros vehículos. Los conductores de cada vehículo tienen como objetivo alcanzar una velocidad de desplazamiento, velocidad deseada V_n^{des} . Cada vehículo tiene una aceleración máxima ($a_{n,max}^+$) y una deceleración máxima ($a_{n,max}^-$).

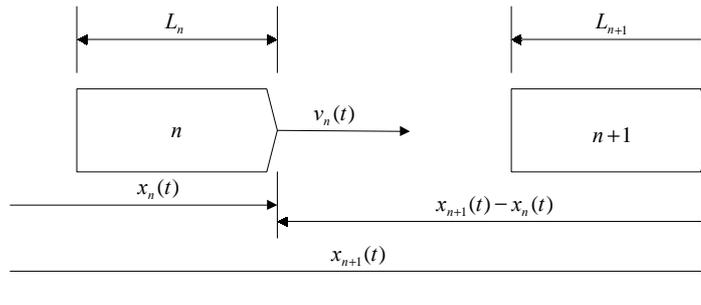


Figura 2.1. Notación. Representación Gráfica.

3.- Diseño de un modelo de aceleración.

A continuación se exponen un nuevo modelo de aceleración el cual ha sido diseñado, desarrollado e implementado en la herramienta TRAMOS (Traffic Analysis Modeling and Optimization System).

El modelo de aceleración está basado en un conjunto de regímenes. Cada régimen describe un conjunto de condiciones que influyen sobre el comportamiento del vehículo. Así, según sea éste la obtención de la aceleración se rige por una expresión concreta. A continuación se presentan los regímenes considerados:

- Influencia vehículo. Esta situación se corresponde con la existencia de un vehículo delante del vehículo cuya aceleración se desea calcular.
- Influencia Señal-Intersección. Cuando el vehículo se aproxima a una intersección y no existe ninguna otra entidad delante de él.
- Influencia por Incidencia. Las incidencias son eventos que suceden en el viario provocando el bloqueo de uno o varios carriles.
- Influencia por Aparcamiento. El vehículo puede estar influido por la necesidad de aparcar, por lo que debe adaptar su aceleración, velocidad y posición a la búsqueda del aparcamiento.
- Flujo libre. El vehículo no se encuentra influido por ninguna entidad, o bien la distancia entre el vehículo y la entidad es tan elevada que no le influye.
- Emergencia. El vehículo se encuentra en un estado donde la colisión es inminente. El vehículo debe frenar para evitar una colisión.

3.1- Distancia de seguridad y distancia de influencia.

La **distancia de seguridad** mide el espacio mínimo que debe existir entre el vehículo y cualquier entidad precedente, de modo que, si fuera necesario la parada total del vehículo, no ocasionaría ningún tipo de incidente (colisión con el vehículo precedente).

$$D_n^{seg}(t) = \frac{v_n(t)}{2a_{n,max}^-}$$

El concepto anterior de distancia de seguridad se emplea cuando el conductor está influido por un objeto estático. La distancia de seguridad entre dos vehículos que se desplazan por el mismo carril de un tramo se puede expresar como:

$$D_n^{seg}(t) = \left| \frac{v_{n+1}(t)}{2a_{n+1,max}^-} - \frac{v_n(t)}{2a_{n,max}^-} \right|$$

La **distancia de influencia** es considerado como el espacio precedente al vehículo en el que cualquier estímulo producido afecta a la respuesta del conductor. La distancia de influencia varía proporcionalmente con la velocidad del vehículo, es decir, cuanto mayor sea la velocidad mayor será la distancia de influencia, y debe ser superior a la distancia de seguridad. La expresión empleada para calcularla es:

$$D_n^{inf}(t) = D_n^{seg}(t) + v_n(t) \times T + \frac{a_n(t) + a_{n,max}^+}{2} \times T^2$$

Es decir la distancia de influencia es la distancia de seguridad aumentada por el espacio recorrido por el vehículo si aplicara una aceleración máxima, en relación a la velocidad actual.

3.2.- Modelo de aceleración en flujo libre.

Es la situación en que el vehículo no se encuentra influido por ninguna otra entidad, o bien la distancia entre el vehículo y la entidad que lo influye es superior a la distancia de influencia. El comportamiento de los conductores en esta etapa es acelerar hasta obtener la velocidad deseada o bien la velocidad máxima permitida.

La mayoría de los modelos observados aplican una aceleración constante (Aceleración en flujo libre) hasta alcanzar o superar la velocidad deseada. En el modelo propuesto no ocurre lo mismo. El conductor actualiza la aceleración del vehículo en la medida que la velocidad se aproxima a la velocidad deseada, es decir la aceleración del vehículo desciende gradualmente cuanto más próximo se encuentre de la velocidad deseada. La gráfica 3.2.1 muestra la variación de la aceleración con respecto a la velocidad del vehículo. Se aplica una mayor aceleración a velocidades bajas y se disminuye a medida que la velocidad se aproxima a la velocidad deseada.

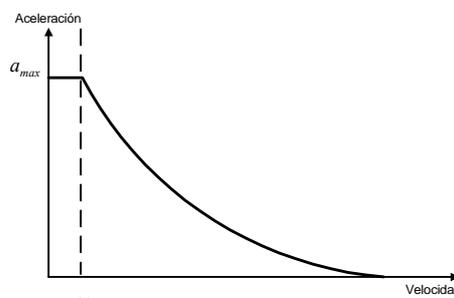


Figura 3.2.1. Gráfica de aceleración en flujo libre.

Es posible considerar es la aplicación de una aceleración máxima al principio hasta que el vehículo alcanza una velocidad inicial, a partir de la cual el conductor aplica una

aceleración decreciente hasta alcanzar la aceleración final. La expresión que determina la forma de la aceleración cuando la velocidad es superior a la velocidad inicial es obtenida mediante funciones exponenciales y queda definida con la expresión:

$$a = a_{max} \times \left(\frac{1 - e^{(v_{des} - v)}}{1 - e^{v_{des}}} \right)$$

con a , la aceleración que deseamos calcular, a_{max} aceleración máxima que puede desarrollar el vehículo y v_{des} la velocidad que el conductor quiere imprimir al vehículo. Si consideramos que la forma de la curva no varía sino que las variaciones se producen en la curvatura de la misma se introduce un factor de corrección, γ :

$$a = a_{max} \times \left(\frac{1 - e^{(v_{des} - v)}}{1 - e^{v_{des}}} \right)^\gamma$$

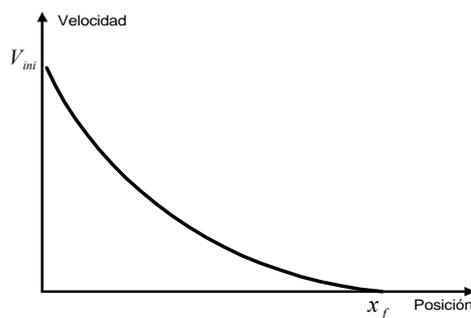
Donde γ representa las características del conductor, estableciendo una mayor o menor curvatura. La expresión general de la aceleración en flujo libre se expresa:

$$a = \begin{cases} a_{max} & \text{si } v > v_{ini} \\ a_{max} \times \left(\frac{1 - e^{(v_{des} - v)}}{1 - e^{v_{des}}} \right)^\gamma & \text{si } v < v_{ini} \end{cases}$$

donde v_{ini} representa el margen de velocidad a partir del cual el conductor no aplica una aceleración máxima.

3.3.- Modelo de aceleración influencia señal-intersección.

Esta situación se produce cuando el vehículo se aproxima a una intersección y la distancia entre éste y la línea de detención de la intersección es inferior a la distancia de influencia. En este régimen se diferencian dos casos, dependiendo de las características de la intersección. El primer caso constituye la aplicación de una función de deceleración para aquellas intersecciones donde existe un semáforo que obliga al conductor a detenerse completamente. El segundo caso corresponde a aquellas intersecciones donde no existen semáforos y el conductor tiene que aminorar la velocidad para evitar posibles colisiones con algún vehículo del interior de la intersección. El modelo de disminución de aceleración que se aplica en este estado viene determinado por la siguiente gráfica que es descrita mediante la expresión:



$$v_i = v_{i-1} \times \left(\frac{1 - e^{x_f - x}}{1 - e^{x_f - x_i}} \right)$$

Figura 3.3.1. Gráfica de disminución de la aceleración.

donde, v_i es la velocidad del vehículo en el instante i , v_{i-1} : velocidad del vehículo en el instante $i-1$, x_f : longitud del tramo por donde se desplaza el vehículo, x_i : distancia de influencia del vehículo y x : posición actual del vehículo.

Si consideramos que la forma de la curva de velocidad puede variar entre diferentes vehículos la expresión quedaría:

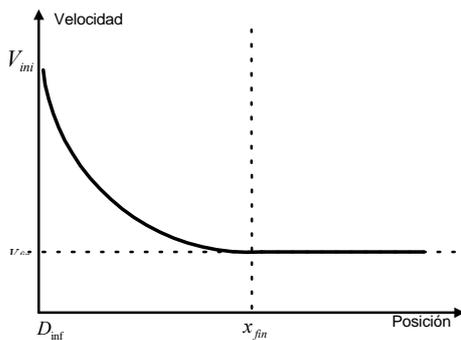
$$v_i = v_{i-1} \times \left(\frac{1 - e^{x_f - x}}{1 - e^{x_f - x_i}} \right)^\gamma$$

Por tanto, la expresión general del proceso de disminución de aceleración para la detención total del vehículo en la intersección se expresa:

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \quad v_i = \begin{cases} v_{i-1} + a_{max}^- \cdot \Delta t & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} < a_{max}^- \\ v_{i-1} \times \left(\frac{1 - e^{x_f - x}}{1 - e^{x_f - x_i}} \right)^\gamma & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \geq a_{max}^- \end{cases}$$

La segunda expresión permite representar cómo evoluciona la velocidad de un vehículo con respecto a su aproximación al final del tramo. La primera expresión es empleada cuando el conductor debe aplicar una disminución de aceleración superior a la disminución de aceleración máxima, lo cual no se permite, y aplica la máxima posible.

El siguiente modelo es aplicado cuando el conductor debe reducir su velocidad hasta un umbral que le permita detenerse completamente en caso de ser necesario para evitar una colisión. La curva que representa el comportamiento es:



$$v_i = v_{fin} + (v_{i-1} - v_{fin}) \times \left(\frac{1 - e^{x_f - x}}{1 - e^{x_f - x_i}} \right)^\gamma$$

Figura 3.3.2. Gráfica de disminución de la aceleración parcial.

En conclusión, la expresión general del modelo de aceleración en este régimen queda:

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \quad v_i = \begin{cases} v_{i-1} + a_{max}^- \cdot \Delta t & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} < a_{max}^- \\ v_{fin} + (v_{i-1} - v_{fin}) \times \left(\frac{1 - e^{x_f - x}}{1 - e^{x_f - x_i}} \right)^\gamma & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \geq a_{max}^- \end{cases}$$

donde .

v_{fin} : velocidad que máxima que debe tener el vehículo al final del tramo.

3.4.- Modelo de aceleración en régimen de seguimiento de vehículos.

Este modelo de aceleración es empleado cuando delante del vehículo existe otro vehículo a una distancia de separación inferior a la distancia de influencia. Los modelos de aceleración en seguimiento de vehículos han sido ampliamente estudiados, TRAMOS utiliza el modelo básico de seguimiento proporcionado por Adolph May (conocido por el modelo de General Motors- GM), que será empleado en este régimen. Su expresión general es la siguiente:

$$a_{n+1}(t+T) = \lambda[v_n(t) - v_{n+1}(t)] = \frac{\alpha_{l,m} v_{n+1}^m(t+T)}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [v_n(t) - v_{n+1}(t)]$$

con $m \in [-2, 2]$ y $l \in [-1, 4]$.

3.5.- Modelo de aceleración régimen de Emergencia.

Es posible que la distancia entre el vehículo y la entidad que le influye sea inferior a la distancia de seguridad, en cuyo caso se aplica la disminución de aceleración de emergencia, que viene determinada por la deceleración máxima que puede aplicar el vehículo.

3.6.- Modelo de aceleración bajo influencia de incidencias.

Se emplea este modelo de aceleración cuando el vehículo está precedido por algún tipo de obstáculo el cual se encuentra a una distancia inferior a la distancia de influencia. El proceso de aceleración es idéntico al ya estudiado anteriormente cuando el vehículo se aproxima a una intersección regulada por semáforos. Las variaciones que sufre la expresión de aceleración son:

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \quad v_i = \begin{cases} v_{i-1} + a_{max}^- \cdot \Delta t & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} < a_{max}^- \\ v_{i-1} \times \left(\frac{1 - e^{x_o - x}}{1 - e^{x_o - x_i}} \right)^\gamma & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \geq a_{max}^- \end{cases}$$

donde x_o es la distancia desde el comienzo del tramo hasta la situación del obstáculo.

3.7.- Modelo de aceleración bajo influencia de aparcamiento.

Cuando un vehículo desea aparcar disminuye su velocidad hasta alcanzar un cierto valor. La velocidad final se logra de forma gradual, no bruscamente. El modelo de aceleración con búsqueda de aparcamiento es similar al modelo de aceleración de aproximación a una intersección no regulada por semáforos. El modelo de aceleración en este caso es:

$$a = \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \quad v_i = \begin{cases} v_{i-1} + a_{max}^- \cdot \Delta t & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} < a_{max}^- \\ v_{fin} + (v_{i-1} - v_{fin}) \times \left(\frac{1 - e^{x_p - x}}{1 - e^{x_p - x_i}} \right)^\gamma & \text{si } \frac{v_i - v_{i-1}}{\Delta t} \geq a_{max}^- \end{cases}$$

donde, x_p es la distancia desde la posición del vehículo hasta la situación del aparcamiento.

4.- Bibliografía.

Gipps[1990]. A behavioural car following model for computer simulation. Transportation research. Vol 158, pp 105-111.

A. May and H. E. Keller. Non-integer car-following models. Highway Research Board, (199):19-32, 1967.

Yang[1996] A microscopic traffic simulation for evaluation of dynamic traffic management system. Yang Q, H. N. Koutsopoulos. Transportation research. Technical report, Vol 4, pp 113-129.

Aycin[1998] A linear Acceleration car following. Model development and Validation. M.F. Aycin, R.F Benekodal. Transportation Research. Vol 98, pp 10-19.

Gazis[1959]. Car following theory of steady state flow. D. C Gazis, R. Herman and R. B. Potts. Operational research Vol 7, N° 4 pp 499-505.

Benekohal[1998]. Carsim: Car following model for simulation of traffic in normal, stop and go conditions. R. F. Benekodal. Transportation research, record 1194 pp 99-111.