

Desarrollo de un Modelo Estocástico Para el Estudio de Accidentes en Cadena

Carolina García Costa, Esteban Egea López, Joan García Haro
 Universidad Politécnica de Cartagena,
 Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones,
 Antiguo Cuartel de Antigones. Plaza del Hospital, N° 1, 30202 Cartagena (Murcia)
 Teléfono: 968338871
 E-mail: {carolina.garcia, esteban.egea, joang.haro}@upct.es

Resumen. Las aplicaciones de conducción cooperativa derivadas del desarrollo de las redes ad hoc vehiculares (VANETs) prometen mejorar enormemente la seguridad vial. Para desarrollar adecuadamente este tipo de aplicaciones es necesario conocer la influencia que tienen los diferentes parámetros de la conducción en las colisiones entre vehículos. En este trabajo presentamos un modelo estocástico que hemos desarrollado para este fin, el cual permite calcular el número medio de accidentes que se producirán en una cadena de vehículos equipados con un sistema de notificación de riesgo de colisión. Con este modelo se puede evaluar rápidamente la influencia de los diferentes parámetros (velocidades, densidad de vehículos, etc.) en el proceso de colisión, como se muestra en los ejemplos presentados.

1. Introducción

Las redes ad hoc vehiculares (VANETs) comprenden un campo de investigación que está recibiendo un creciente interés tanto por parte de la industria como en el ámbito académico [1], debido a las ventajas que proporcionaría la gran diversidad de aplicaciones que se pueden derivar de su uso. Entre ellas, las que están siendo objeto de especial atención son las relacionadas con la seguridad y los servicios de información del tráfico.

Las aplicaciones para evitar colisiones de vehículos en cadena, CCA (Chain Collision Avoidance) [2], se presentan como un método novedoso para reducir el número de accidentes en la carretera proporcionando a los vehículos capacidades de comunicación cooperativa, de tal manera que sean capaces de reaccionar ante posibles riesgos de accidente. Para evaluar un mecanismo de este tipo se ha desarrollado e implementado un modelo estocástico que calcula el porcentaje medio de vehículos accidentados en una cadena de vehículos que circulan en una carretera de una sola dirección con un solo carril. El modelo utiliza la teoría de cadenas de Markov para calcular recursivamente las probabilidades de colisión de cada vehículo según su posición en la cadena [3].

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se describe el escenario representado por el modelo, así como las variables que forman parte del mismo. El modelo se describe en la sección 3 mientras que en la sección 4 se presentan algunos ejemplos de su utilización en diversas situaciones. Por último, se finaliza el artículo con las conclusiones en la sección 5.

2. Escenario

Consideremos una carretera de una sola dirección, con un solo carril, en la que circula una cadena de $N+1$ vehículos, donde cada vehículo C_i , $i \in \{0, \dots, N\}$, circula a velocidad constante V_i . El primer vehículo, C_0 , se encuentra con una situación de emergencia e inmediatamente envía un mensaje a los vehículos que le siguen. El resto de vehículos empieza a frenar con una deceleración constante a_i cuando son conscientes del riesgo de colisión, es decir, después de un intervalo de tiempo δ_i (que normalmente será el tiempo que tarda el vehículo en recibir el mensaje de alerta más el tiempo de reacción del conductor).

Si suponemos que todos los vehículos tienen la misma longitud L y que su posición viene dada por la coordenada x de su parachoques delantero, el espacio inter-vehicular inicial es $s_i = x_i - (x_{i-1} + L)$, como se ilustra en la Fig. 1. Además, para evaluar el sistema en la peor situación posible, suponemos que los vehículos no pueden cambiar de carril ni hacer ningún tipo de maniobra (aparte de frenar) que les permita evitar el choque.

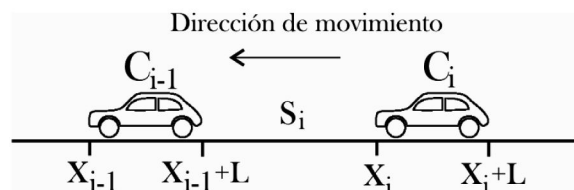


Fig. 1: Representación de la posición inicial de los vehículos de la cadena.

3. Modelo

En este escenario, lo que le suceda finalmente a un vehículo depende de lo que les suceda a los vehículos de delante. A partir de esta idea construimos el árbol de probabilidades representado en la Fig. 2.

Consideramos un estado inicial en el que ningún vehículo ha colisionado. Una vez que se ha detectado el riesgo de colisión, el primer vehículo C_1 (sin contar el vehículo 0) puede colisionar o frenar exitosamente. A partir de cada uno de estos estados también se obtienen dos posibles casos, el segundo vehículo C_2 puede colisionar o frenar exitosamente. Y así sucesivamente hasta el último vehículo de la cadena C_N . En el último nivel del árbol de probabilidades hay $N+1$ estados finales, que representan el número de vehículos accidentados, es decir, E_{ij} representa el estado en el que i vehículos han colisionado y j vehículos han frenado exitosamente.

La probabilidad de transición entre los nodos del árbol es la probabilidad de colisión del correspondiente vehículo de la cadena p_i (o su complementaria). Estas probabilidades son cruciales para el modelo y se calculan recursivamente, como en [4].

Un vehículo colisionará con el vehículo que circula delante de él si la distancia que necesita para parar completamente es mayor que la distancia que recorre el vehículo de delante más la distancia que lo separa de él. Basándonos en este hecho, y tomando como aproximación la distancia media recorrida por el vehículo de delante, \overline{l}_{i-1} , para cada vehículo C_i (empezando por el primero), la probabilidad de colisión será:

$$p_i = P(d_{s,i} \geq \overline{l}_{i-1} + s_i),$$

donde $d_{s,i}$ es la distancia que necesita el vehículo C_i para parar completamente, y viene dada por:

$$d_{s,i} = \frac{V_i^2}{2a_i} + V_i \delta_i.$$

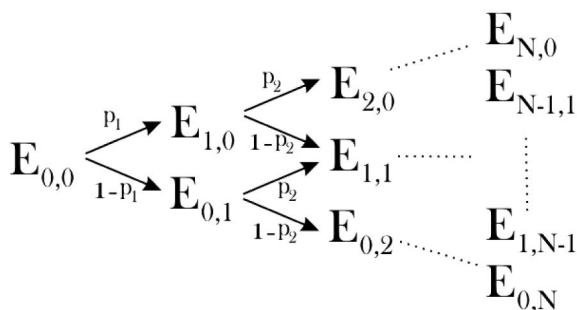


Fig. 2: Árbol de probabilidades que define el modelo. E_{ij} representa el estado en el que i vehículos han colisionado y j vehículos han frenado exitosamente.

El cálculo de \overline{l}_{i-1} no es trivial y está detallado en [3]. Sólo mencionaremos que se calcula teniendo en cuenta las diferentes formas en que se puede producir la colisión (los vehículos aún no han empezado a frenar, sólo uno de ellos está frenando, etc.), ya que cada una de ellas conduce a una distancia recorrida distinta.

Una vez calculadas las probabilidades de transición entre los nodos del árbol, utilizando la teoría de las cadenas de Markov, calculamos la probabilidad de alcanzar cada uno de los estados finales. Finalmente, si llamamos π_i a la probabilidad de alcanzar el estado con i vehículos accidentados, calculamos el número medio de accidentes mediante la suma ponderada:

$$N_{acc} = \sum_{i=0}^N i \cdot \pi_i.$$

4. Ejemplos de aplicación

En esta sección mostraremos algunos ejemplos de aplicación del modelo, poniendo de manifiesto su utilidad a la hora de evaluar diferentes aspectos de una aplicación CCA.

Consideremos un escenario en el que circulan 20 vehículos, y que s_i sigue una distribución exponencial de parámetro λ . Este parámetro representa la densidad de vehículos presentes en la carretera, definida como el número medio de vehículos por unidad de longitud en metros.

En el primer caso vamos a evaluar cómo varían las probabilidades de colisión para cada vehículo en función de la distancia media inter-vehicular. Supongamos que las velocidades de los vehículos y los tiempos de reacción de los conductores siguen distribuciones uniformes, $V_i \sim U(30,36)$ m/s y $\delta_i \sim U(0.5,1.5)$ s, mientras que la deceleración es fija para todos los vehículos, $a_i = 8$ m/s². En la Fig. 3 se observa que las probabilidades de colisión disminuyen enormemente al pasar de 10 a 20 metros de distancia inter-vehicular. A partir de ese punto, al aumentar la distancia siguen disminuyendo las probabilidades de colisión, pero cada vez la disminución es menor.

En el segundo caso vamos a evaluar cómo varía el porcentaje medio de accidentes en función de la distancia media inter-vehicular y de las variaciones de diferentes parámetros. En la Fig. 4 se observa que en todos los casos, como es lógico, el porcentaje medio de accidentes disminuye con la distancia. Lo más significativo que se puede observar en esta figura es la enorme reducción en el porcentaje de accidentes que se produce cuando todas las variables se mantienen constantes. Por otra parte, también resulta interesante el cruce de las curvas marcadas con círculos y cuadrados. Se puede observar que incluso

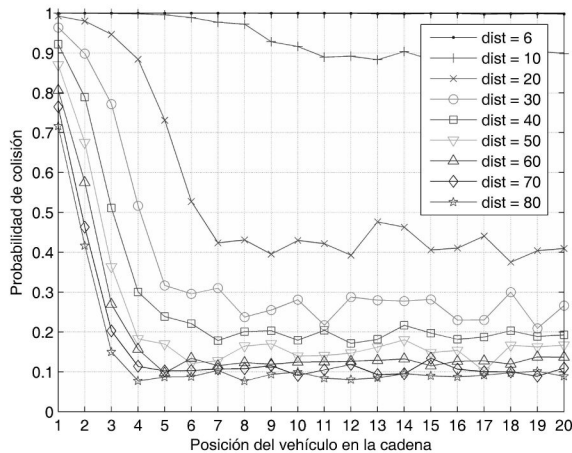


Fig. 3: Variación de las probabilidades de colisión para cada vehículo en función de la distancia media inter-vehicular.

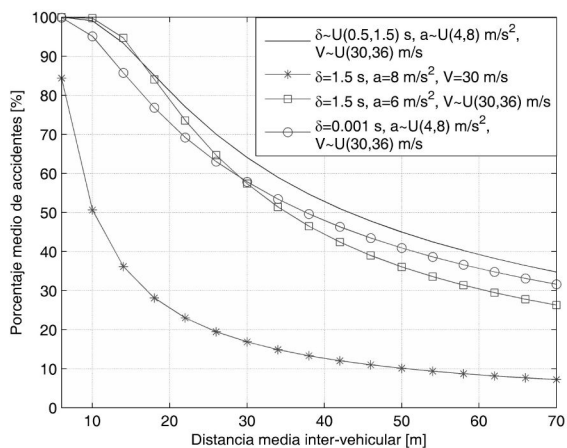


Fig. 4: Variación del porcentaje medio de accidentes en función de la distancia media inter-vehicular y de las variaciones de diferentes parámetros.

reduciendo prácticamente a 0 el tiempo de reacción de los conductores, si la deceleración no es fija, a partir de una cierta distancia inter-vehicular (cerca de 30 metros) se producen más accidentes que si el tiempo de reacción es de 1.5 segundos pero la deceleración es fija.

5. Conclusiones

En este trabajo hemos presentado un modelo estocástico que permite calcular el porcentaje medio de accidentes que pueden ocurrir en una cadena de vehículos cuando el primero de ellos se encuentra súbitamente con una situación de emergencia. Además, el modelo también permite observar cómo se comportan las probabilidades de colisión para cada vehículo de la cadena, como se muestra en la sección anterior.

Es importante mencionar que el hecho de suponer que los vehículos disponen de mecanismos de comunicación que les permitan enviar y recibir mensajes de emergencia es imprescindible para el desarrollo del modelo, ya que sin esta suposición se deberían tener en cuenta muchos otros factores de la

conducción que complicarían demasiado los cálculos realizados en este trabajo. De este modo, una aplicación directa del modelo es la evaluación de este tipo de mecanismos de emergencia, ya que permite evaluar numéricamente la influencia de cada uno de los parámetros que pueden ser controlados por una aplicación de este tipo.

Como trabajo futuro se pretende llevar a cabo una evaluación detallada de distintos escenarios reales, utilizando otras distribuciones de probabilidad para los diferentes parámetros.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado bajo el marco de los proyectos FORMA (Fundación Séneca 00002/CS/08), MICINN/FEDER TEC2010-21405-C02-02 y “Programa de Ayudas a Grupos de Excelencia de la Región de Murcia, de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la RM”. Carolina García Costa agradece a la Fundación Séneca por la beca 12347/FPI/09.

Referencias

- [1] Hartenstein, H., Laberteaux, K.P., “VANET. Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies”. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.
- [2] Biswas, S., Tatchikou, R., Dion, F., “Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 1, pp. 74–82, Jan. 2006.
- [3] Garcia-Costa, C., Egea-Lopez, E., Tomas-Gabarron, J.B., Garcia-Haro, J., Haas, Z.J., “A stochastic model for chain collisions of vehicles equipped with vehicular communications,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, in press. DOI: 10.1109/TITS.2011.2171336.
- [4] Taleb, T., Benslimane, A., Letaief, K.B., “Toward an effective risk-conscious and collaborative vehicular collision avoidance system,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 3, pp. 1474–1486, Mar. 2010.