



Detección automática de incidentes de tráfico en una carretera

Jorge Artemio Acha Daza

**Publicación Técnica No. 582
Sanfandila, Qro, 2020**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Detección automática de incidentes de tráfico en
una carretera**

Publicación Técnica No. 582
Sanfandila, Qro, 2019

Esta investigación fue realizada en la Coordinación de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte, por el Dr. Jorge Artemio Acha Daza.

El texto es el producto final del proyecto de investigación interna TI-16/18 “Detección automática de incidentes de tráfico en una carretera”.

Se agradecen los comentarios del Dr. Carlos Daniel Martner Peyrelongue, coordinador de Transporte Integrado y Logística del Instituto Mexicano del Transporte.

Contenido

Índice de figuras		v
Sinopsis		vii
Abstract		ix
Resumen	ejecutivo	xi
Introducción		1
	Antecedentes	1
	Alcances	2
	Objetivos del estudio	2
	Metodología	3
	Estructura del reporte	3
Capítulo 1.	Elementos de un sistema automático de detección de incidentes de tráfico en una carretera	5
	1.1 Introducción	5
	1.2 Detección	5
	1.2.1 Sensores	6
	1.2.2 Algoritmos	6
	1.3 Verificación de incidentes	8
	1.4 Criterios de evaluación de los algoritmos	8
	1.5 Conclusiones	9
Capítulo 2.	Descripción de los algoritmos considerados	11
	2.1 Introducción	11

2.2 Tipos de algoritmos	11
2.2.1 Algoritmos comparativos	11
2.2.2 Algoritmos estadísticos	12
2.2.3 Cobro de peaje mediante lectura de placas	12
2.2.4 Algoritmos de series de tiempo	13
2.2.5 Modelos teóricos	14
2.3 Conclusiones	15
Conclusiones	17
Bibliografía	19

Índice de figuras

Figura 2.1	Regleta con los parámetros de una estación típica	14
------------	---	----

Sinopsis

El uso más eficiente de una carretera implica su operación buscando ofrecer los más altos niveles de servicio. Desafortunadamente, incidentes tales como accidentes o descomposturas de los automóviles pueden provocar una disminución de la capacidad de la vía, lo cual provoca congestionamientos y retrasos para los automovilistas y sus pasajeros. Los congestionamientos pueden ser también de carácter recurrente.

En el corto plazo, la autoridad responsable de una carretera poco puede hacer para resolver los problemas de congestionamiento de tipo recurrente, ya que generalmente se requieren fuertes inversiones y un largo proceso para la ampliación de una carretera. Sin embargo, cuando ocurre un incidente de tráfico, se busca conocer lo más rápido posible que éste se está presentando para poder tomar las medidas necesarias y así reestablecer las condiciones normales de operación.

A efectos de detectar un incidente se puede confiar en los métodos tradicionales, como pueden ser las llamadas de los usuarios directamente afectados o las patrullas de auxilio vial. Afortunadamente, existen algoritmos que, basados en la información proporcionada por los detectores de tráfico, hacen posible la detección automática de los incidentes. En este reporte se describen algunos de esos algoritmos, con la intención de identificar aquellos que podrían aplicarse en nuestro país.

Abstract

The most efficient use of a road implies its operation seeking to offer the highest levels of service. Unfortunately, incidents such as car accidents or breakdowns may result in a decrease in road capacity, causing congestion and delays for motorists and their passengers. In addition to incidents, congestion may also be recurrent, resulting from insufficient road capacity.

In the short term, the authority responsible for a highway can do little to solve the problems of recurrent congestion, as it generally requires heavy investments and a long process for the expansion of a road. However, when a traffic incident happens, it is important to know as quickly as possible its occurrence, in order to be able to take the necessary measures to re-establish its normal operating conditions.

For detecting an incident, traditional methods can be used, such as calls from directly affected users or road assistance patrols. Fortunately, there are already algorithms that, based on the information provided by traffic detectors, make it possible to automatically detect incidents. This report presents some of these algorithms, seeking to identify those that could be applied in our country.

Resumen ejecutivo

Antecedentes. El principal objetivo del responsable de una carretera es mantenerla todo el tiempo en un nivel aceptable de servicio, procurando que los tiempos de traslado para los usuarios no se vean afectados por congestionamientos. Lamentablemente, las condiciones de diseño, construcción y mantenimiento de la carretera, combinadas con un exceso en la demanda de vehículos, pueden dar lugar a la recurrencia de congestionamientos. Ante éstos, el operador de la carretera poco puede hacer en el corto plazo. A efectos de ampliar la capacidad de la vía, se requieren grandes inversiones y tiempo para llevar a cabo los proyectos de ampliación. En ocasiones esos proyectos enfrentarán la falta de un mayor derecho de vía o la oposición de grupos ambientalistas.

Otra posible causa de los congestionamientos y, consecuentemente, los retrasos a los automovilistas son los llamados incidentes, que pueden ser accidentes o descomposturas en o a un lado de la carretera. En esta causa de congestionamiento es donde la autoridad responsable de la carretera ha de procurar el pronto restablecimiento de las condiciones normales de operación de la vía. El operador de la vialidad buscará detectar de la manera más rápida la ocurrencia de un incidente para así enviar a los equipos de emergencia.

Con el objetivo de lograr una oportuna detección de los incidentes en una carretera, el responsable de la misma puede valerse de métodos tradicionales, como pueden ser las llamadas de auxilio de los usuarios directamente afectados o de las patrullas de vigilancia o auxilio vial que se desplacen en la ruta afectada. Sin embargo, existen algoritmos que, basados en la información de diversos tipos de detectores de tráfico, ayudan a la detección automática de los incidentes. Un elemento muy importante de estos algoritmos es que deben distinguir correctamente entre un congestionamiento recurrente y aquel provocado por un incidente.

Capítulo 1. La duración total de un incidente de tráfico puede dividirse en tres partes: detección del incidente, respuesta y restablecimiento de las condiciones normales de operación de la carretera. De las tres partes mencionadas, los sistemas de detección automática buscan minimizar el tiempo de detección.

La forma más rápida de detectar un incidente en una vialidad puede ser la vigilancia permanente del tramo en cuestión mediante un sistema de cámaras de video. Sin embargo, esto implica un alto costo ya que se requiere de personal permanentemente atento a las pantallas y que las cámaras efectivamente cubran toda la carretera. Es por tanto más conveniente tratar de contar con un sistema que detecte los incidentes de manera automática.

La mayoría de los algoritmos para la detección automática de incidentes no requiere de imágenes. Éstos solo utilizan información de las variables de tráfico como pueden ser el volumen, la velocidad y la ocupación en una sección de la carretera. Esa información puede obtenerse mediante el uso de sensores como los descritos en Acha Daza (2015).

Un elemento crucial de los algoritmos utilizados en la detección automática de incidentes es la identificación de cambios bruscos en las condiciones de operación del tráfico. Al ocurrir un incidente se produce un congestionamiento antes del punto del incidente y una muy baja concentración de vehículos después del mismo. Cuando se detecta un cambio brusco entre dos detectores adyacentes se declara un incidente. Hay algunos algoritmos que solo utilizan la información de un detector y la comparan con patrones históricos de comportamiento normal para ese tramo de la carretera.

El tiempo de detección y la precisión dependerán de la resolución y agregación de la información de los detectores considerada. La mayoría de los algoritmos utilizan información con intervalos de 20 a 30 segundos.

En general, los algoritmos presentan mejores resultados en flujos bajos o medios.

Para lograr una detección de incidentes más precisa, completa y eficiente, lo mejor es combinar la información disponible de distintas fuentes. También es conveniente combinar diferentes algoritmos, ya que esto no incrementa significativamente el costo o el tiempo de la detección.

Es muy importante reducir, mediante un buen sistema de verificación de incidentes, el número de falsas alarmas.

Los criterios comúnmente utilizados para evaluar la calidad de los algoritmos de detección automática de incidentes son la tasa de detección, la tasa de falsas alarmas y el tiempo promedio de detección.

Los algoritmos para la detección de incidentes en una carretera se clasifican en: comparativos, estadísticos, de series de tiempo y modelos teóricos.

De alguna forma, todos los algoritmos para la detección de incidentes en una carretera son de tipo comparativo. Los algoritmos estadísticos están diseñados para identificar diferencias significativas entre la información de los detectores y las características del tráfico esperadas, con base en información histórica. Los de series de tiempo consideran el comportamiento reciente de una de las variables de tráfico de interés y estiman cuál debería ser el comportamiento de esa variable en el corto plazo. Los modelos teóricos pueden basarse, por ejemplo, en un análisis bidimensional de la información de tráfico, como el algoritmo McMaster.

Conclusiones. Existen ya algoritmos para detección automática de incidentes en una carretera, sin olvidar que no están exentos de fallas.

Cualquiera de los algoritmos para la detección automática de incidentes podría utilizarse en las carreteras mexicanas. Sin embargo, es muy importante remarcar que la implantación de un sistema avanzado de gestión de tráfico en una carretera requiere de la infraestructura necesaria para la detección de las condiciones de operación y la vigilancia de esa vialidad. La instalación y operación de un centro de control puede representar un alto costo para el operador. En las condiciones económicas actuales, tal vez solo sea posible ofrecer este tipo de servicio en una autopista de cuota.

Introducción

Antecedentes

Todo operador de una carretera desea mantener en condiciones óptimas el flujo de automóviles que por ella circula, ofreciendo los más altos niveles de servicio posibles. Lamentablemente, esto no siempre ocurre así: el flujo en una carretera puede verse afectado, entre otras razones, por su diseño geométrico, el número de carriles, el estado de la superficie de rodamiento o el número de vehículos que la utilizan, pero también por la ocurrencia de congestionamientos recurrentes, reflejo de un exceso de demanda, o por incidentes a lo largo de la vialidad. Incidentes como accidentes o descomposturas de los automotores son una de las razones principales de los congestionamientos en carreteras. La Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos de América (EUA) estima que los incidentes en carreteras son causa de aproximadamente el 60 por ciento de las horas perdidas en carreteras debidas a los congestionamientos (Grenzeback y Woodle, 1992).

Además de la ansiedad y frustración para los conductores, los congestionamientos tienen un costo económico muy alto. Una encuesta realizada en 2005 por el Texas Transportation Institute, en 437 áreas urbanas de EUA, determinó que los congestionamientos de tráfico provocaban 2.9 miles de millones de galones de combustible desperdiciado y 4.2 miles de millones de horas de tiempo perdido en el tráfico. El costo de los retrasos y el combustible desperdiciado se estimó en 78 mil millones de dólares para ese año (FHWA, 2008).

Con todo, el operador de una carretera poco puede hacer respecto a la mayoría de los puntos señalados arriba. En el caso de incidentes de tráfico que afecten el flujo vehicular, se busca detectar de la manera más rápida posible la ocurrencia de un incidente a fin de tomar las medidas necesarias que permitan el pronto restablecimiento de las condiciones normales de operación de la vialidad.

Para lograr la más rápida detección de los incidentes, el responsable de la carretera puede confiar en métodos como son el reporte de los usuarios directamente afectados o en patrullas de vigilancia o auxilio vial. Sin embargo, como parte de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS, por sus siglas en inglés) existen algoritmos, dentro de los Sistemas Avanzados de Gestión del Tráfico que, basados en la información de diversos tipos de detectores de tráfico, ayudan a la detección automática de los incidentes.

Ya que las distintas técnicas utilizadas para la detección de incidentes se basan en la detección de los congestionamientos, un componente importante de las mismas es la distinción entre la congestión recurrente causada por falta de capacidad de la vía y aquella provocada por un incidente.

Se considera que conocer y analizar los distintos algoritmos para la detección automática de incidentes y determinar aquellos que pudieran ser de utilidad en México reviste suma importancia para implementar su uso en el país.

Por lo anterior, se identificó la necesidad de llevar a cabo un proyecto de investigación en el que se buscaría ampliar el conocimiento respecto a las técnicas para la detección automática de incidentes de tráfico y su posible aplicación en las carreteras mexicanas.

Este proyecto se alinea a la Estrategia 4.9.1 del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018: modernizar, ampliar y conservar la infraestructura de los diferentes modos de transporte, así como mejorar su conectividad bajo criterios estratégicos y de eficiencia.

En relación con el Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2013-2018, el trabajo está alineado con los siguientes objetivos sectoriales: 1) *Desarrollar una infraestructura de transporte y logística multimodal que genere costos competitivos, mejore la seguridad e impulse el desarrollo económico y social.* 2) *Contar con servicios logísticos de transporte oportunos, eficientes y seguros que incrementen la competitividad y productividad de las actividades económicas.* 3) *Generar condiciones para una movilidad de personas integral, ágil, segura, sustentable e incluyente, que incremente la calidad de vida,* y 6) *Desarrollar integralmente y a largo plazo al sector con la creación y adaptación de tecnología y la generación de capacidades nacionales.*

Alcances

Para lograr el objetivo principal de este estudio, se revisaron fuentes de información documental que describen los algoritmos para la detección automática de incidentes de tráfico en carreteras.

Objetivos

El objetivo principal del estudio aquí presentado es identificar y analizar distintos algoritmos para la detección automática de incidentes de tráfico en carreteras.

Metodología

La metodología a utilizar comprendió la revisión y el análisis de las fuentes de información documental en la detección automática de incidentes de tráfico en carreteras. A partir de ese análisis, se identificó la información de utilidad para el objetivo principal de este proyecto. Finalmente se elaboró este reporte de investigación final.

Estructura del reporte

Este reporte está organizado de la siguiente forma:

Este primer capítulo presenta la introducción al estudio. Se justifica, de manera general, la necesidad de contar con un conocimiento más amplio de los algoritmos para la detección automática de incidentes de tráfico en una carretera. En este mismo capítulo, se describen el alcance, los objetivos y la metodología del proyecto.

El segundo capítulo describe los elementos que forman parte de un sistema de detección automática de incidentes.

En el tercer capítulo se describe una serie de algoritmos utilizados para la detección automática de incidentes en una carretera.

El cuarto capítulo presenta las conclusiones de este trabajo.

1 Elementos de un sistema automático de detección de incidentes de tráfico en una carretera

En este capítulo se describen las diferentes partes que conforman un sistema automático de detección de incidentes de tráfico en una carretera.

1.1 Introducción

A efectos de comprender qué es un sistema automático de detección de incidentes de tráfico en una carretera es necesario conocer los elementos que forman este tipo de sistemas. En las secciones siguientes se presentan dichos elementos, empezando por la parte de detección, en donde se describen los sensores empleados para llevarla a cabo, así como algunos de los algoritmos utilizados para lograr la identificación automática de los incidentes. Se describen enseguida algunos procedimientos para verificar la ocurrencia de algún incidente. Se presentan también algunos criterios para evaluar los algoritmos utilizados para detectar los incidentes. Finalmente, se presentan las conclusiones de este capítulo.

1.2 Detección

Los incidentes de tráfico en una carretera provocan congestionamientos y, en consecuencia, retrasos a los vehículos que circulan por ella. El tamaño de esos retrasos depende de dos factores principales: primero, la magnitud del efecto que el incidente tiene en la capacidad de la carretera, y segundo, la duración total del incidente. La duración total del incidente puede dividirse en tres partes: detección del incidente, respuesta y restablecimiento de las condiciones normales de operación de la carretera. De esas tres partes, los sistemas de detección automática de incidentes buscan minimizar el tiempo de detección (Mahmassani *et al.*, 1999).

La vigilancia permanente de la carretera por medio de un sistema de cámaras de video a lo largo de la misma puede ser la forma más rápida para detectar un incidente, siempre y cuando cada tramo de esa carretera pueda observarse en las cámaras y los operadores del sistema de video estén permanentemente atentos. Sin embargo, debido al alto costo que puede implicar la instalación y mantenimiento de un sistema de videocámaras, además de los costos asociados al personal dedicado a vigilar las pantallas en un centro de control, no siempre es

posible contar con una cobertura total y permanente de una carretera. Algunos de los operadores deben atender más de una sección de una carretera y no les es posible estar atentos todo el tiempo. Es en estos casos en los que el uso de técnicas de detección automática de incidentes resulta de utilidad. Las técnicas de detección automática de incidentes utilizan la información de sensores a lo largo de la carretera para monitorear constantemente el estado de operación de la misma y algoritmos que permiten identificar patrones asociados a la ocurrencia de incidentes (Mahmassani *et al.*, 1999).

1.2.1 Sensores

Mientras que los operadores de un sistema de cámaras de video pueden observar directamente en sus pantallas cuando ha ocurrido un accidente o que un vehículo está detenido a la orilla de la carretera, muchos de los algoritmos de detección automática de incidentes no requieren contar con una imagen del tráfico en una carretera. Dichos algoritmos se basan en información de variables del tráfico como son el volumen, la velocidad y la ocupación en una sección de la carretera. Esa información puede obtenerse a partir del uso de distintos tipos de sensores.

En un reciente reporte de investigación, Acha Daza (2015) presenta algunas de las tecnologías comúnmente utilizadas para la recolección de información de tráfico, describiendo además sus ventajas y desventajas. Las tecnologías usadas pueden ser: circuitos inductivos, detectores activos infrarrojos, detectores pasivos infrarrojos y detectores de microondas, siendo los circuitos inductivos embebidos en el pavimento, por sus ventajas de costo, instalación y mantenimiento, los más comúnmente usados. El mismo autor describe las llamadas nuevas tecnologías para lograr el mismo fin, entre las cuales se incluyen la identificación mediante dispositivos de radiofrecuencia (RFID), los dispositivos Bluetooth, los dispositivos WiFi, los sistemas de posicionamiento global (GPS), el uso de drones y la combinación de esas nuevas tecnologías.

1.2.2 Algoritmos

El solo uso de los distintos sistemas de detección de la información del tráfico no es suficiente. Se requiere también contar con algoritmos para procesar la información captada por los sensores.

Una característica compartida por los algoritmos comúnmente utilizados para la detección de incidentes en una carretera es que todos dependen de la identificación de cambios súbitos en las condiciones de operación del tráfico. La magnitud de esos cambios dependerá de las condiciones prevalecientes en el momento de la ocurrencia del incidente, como pueden ser el flujo, la velocidad, la severidad del incidente y su ubicación. El uso de los distintos algoritmos ha sido clasificado en los dos subgrupos descritos a continuación.

1.2.1.1 Algoritmos individuales

Cuando ocurre un incidente, el cuello de botella formado produce un congestionamiento antes de ese punto y concentraciones de vehículos muy bajas después del mismo. Para detectar un incidente, algunos algoritmos utilizan las diferencias en velocidad, flujos o concentración entre los detectores instalados a lo largo de una carretera. Al observar un cambio brusco entre dos detectores, se podrá identificar el tramo donde ha ocurrido un incidente. Hay que tener claro que la precisión de la ubicación del incidente, así como el tiempo de detección, dependerán de la densidad de detectores con que cuente la carretera: a mayor número de detectores, la detección será más rápida y precisa. Otros algoritmos solo consideran la información de un detector, comparándolo con patrones de comportamiento histórico normal para el detector instalado en esa ubicación. Hay que considerar que cada algoritmo necesitará contar con un flujo permanente de información dada por los detectores. Su salida señalará la ocurrencia o no ocurrencia de un incidente.

El tiempo de detección de un incidente y su precisión también dependerán de la resolución y agregación de los datos utilizados. Algoritmos muy sensibles usan información generada en intervalos muy pequeños, como puede ser un segundo, pero debido a la alta variabilidad de la información de tráfico en tan corto tiempo, este tipo de algoritmos puede confundir situaciones de una congestión recurrente con incidentes y tener un alto número de falsas alarmas. Por el contrario, los algoritmos que utilizan información promedio, cada 5 o 10 minutos, tomarán mayor tiempo para detectar un incidente. Por las razones mencionadas, la mayoría de los algoritmos operan con intervalos de 20 a 30 segundos para la información de los detectores.

1.2.1.2 Combinación de algoritmos

Se ha observado que los distintos algoritmos utilizados para la detección de incidentes en una carretera pueden tener un mejor o peor desempeño en función de las características del tránsito. La mayoría muestra mejores resultados cuando el tráfico es de ligero a medio, pero algunos han sido diseñados específicamente para grandes volúmenes de tráfico.

La combinación de la información obtenida de todas las fuentes disponibles es un método que puede ayudar a contar con una detección de los incidentes más precisa, completa y eficiente. La combinación de algoritmos es un enfoque que busca utilizar distintos algoritmos para la detección de incidentes a fin de aprovechar las ventajas que cada uno de ellos ofrece. Se ha visto que la combinación de algoritmos mejora la precisión de la detección y no eleva demasiado el costo de la detección, ya que no se requiere información adicional para combinar los algoritmos, y el tiempo para hacer esa combinación no es mayor.

1.3 Verificación de incidentes

Al ser la más rápida y correcta detección de la ocurrencia de un incidente uno de los objetivos principales de un sistema de gestión de incidentes, es de primordial importancia reducir el número de falsas alarmas, por lo que es necesario utilizar un método que ayude a comprobar que efectivamente el incidente está ocurriendo una vez que se detecta. Para verificar la existencia del incidente pueden utilizarse las cámaras de videovigilancia, cuando se cuenta con ellas; otros métodos pueden ser las llamadas que los usuarios de la carretera afectada por el incidente hagan a los centros de control o las patrullas de la policía de caminos. Existen también programas de cómputo que automáticamente activan las cámaras de video cercanas a la zona en la que se ha detectado el incidente vía los algoritmos utilizados y, manualmente, es posible enfocar la zona en donde se sospecha ha ocurrido el incidente.

Una vez comprobada la ocurrencia del incidente por el centro de control, deberán tomarse las medidas necesarias para despachar los equipos de emergencia necesarios, como las patrullas de caminos, ambulancias y grúas. También deberá establecerse el plan de control del tráfico en la zona afectada por el incidente e informar a los conductores a fin de que tomen las medidas necesarias, procurando que se vean afectados lo menos posible. El tráfico podrá desviarse a caminos alternos, en caso de existir éstos, buscando que los efectos del incidente duren el menor tiempo posible.

1.4 Criterios de evaluación de los algoritmos

Algunos de los criterios aplicados para evaluar la calidad de los algoritmos utilizados para la detección de incidentes de tráfico en una carretera y su definición son los siguientes:

1.4.1 Tasa de detección

La tasa de detección (TD) de un algoritmo es el porcentaje de incidentes ocurridos y correctamente detectados por el algoritmo utilizado durante un periodo determinado de tiempo. Entre mayor sea este porcentaje, mejor será el algoritmo.

1.4.2 Tasa de falsas alarmas

La tasa de falsas alarmas (TFA) es el porcentaje de falsas alarmas que un algoritmo detectó durante un periodo, es decir, son aquellos incidentes detectados por el algoritmo, pero que nunca ocurrieron. Una baja TFA será siempre deseable.

1.4.3 Tiempo promedio de detección

El tiempo promedio de detección (TPD) es el tiempo promedio que un algoritmo necesita para detectar un incidente. Se mide como el tiempo promedio entre la ocurrencia aparente de un incidente y su detección, promediado para todos los incidentes ocurridos en un cierto periodo.

Todo algoritmo utilizado para la detección automática de incidentes presenta una relación directa entre la TD y la TFA. Si se decide incrementar la sensibilidad del algoritmo, reduciendo el tamaño de la diferencia entre los valores de las variables de tráfico que definirán la posible ocurrencia de un incidente, el número de falsas alarmas se incrementará al detectar cambios no necesariamente asociados a la ocurrencia de un incidente. De la misma forma, si la sensibilidad del algoritmo se reduce, es muy posible que el algoritmo no detecte cambios en el patrón de comportamiento del tráfico debidos a la ocurrencia de incidentes, lo cual reduce su tasa de detección.

1.5 Conclusiones

En este capítulo se describen los elementos que forman un sistema de detección automática de incidentes en una carretera. En la parte de detección se describen, de manera general, tanto los sensores como los algoritmos utilizados para la detección de incidentes, destacando la conveniencia de utilizar una combinación de algoritmos para lograr una mejor detección. Enseguida, se justifica la necesidad de contar con elementos que ayuden a verificar la existencia de los incidentes, a fin de enviar los equipos de emergencia solo cuando sea necesario. Finalmente, se describen una serie de criterios utilizados para medir la calidad de los algoritmos aplicados.

2 Descripción y clasificación de algoritmos para la detección de incidentes de tráfico en una carretera

2.1 Introducción

En este capítulo se revisa una serie de algoritmos que, a lo largo de la historia, se han utilizado para la detección automática de incidentes de tráfico en una carretera.

2.2 Tipos de algoritmos

Los distintos algoritmos desarrollados para la detección de incidentes en una carretera pueden agruparse en las siguientes clases: comparativos, estadísticos, de series de tiempo, modelos teóricos y otros mecanismos de detección (Mahmassani *et al.*, 1999).

2.2.1 Algoritmos comparativos

Se puede considerar que, de algún modo, todos los algoritmos para la detección de incidentes en una carretera son algoritmos comparativos. Esto es debido a que, para la detección de un incidente, los algoritmos comparan la condición actual del tráfico con una alguna condición considerada como normal y basan la decisión de declarar un incidente en la diferencia preestablecida entre esas condiciones. Los algoritmos puramente comparativos son aquellos que hacen una comparación directa entre las condiciones actuales del flujo de tráfico y algún valor determinado sin filtrar, suavizar o procesar la información de los detectores antes de aplicar el algoritmo. Este tipo de algoritmo se basa en el principio de que es altamente probable que un incidente provoque un incremento significativo en la ocupación aguas arriba del incidente y al mismo tiempo se reduzca la ocupación aguas abajo del incidente.

Un incidente se declara cuando las siguientes cantidades exceden el límite preestablecido con variables que pueden ser:

1. la diferencia absoluta entre la ocupación aguas arriba y aguas abajo entre un par de detectores;
2. la diferencia absoluta con respecto a la ocupación aguas arriba, y

3. la diferencia en ocupación aguas abajo cuando se ha mantenido por dos periodos consecutivos.

2.2.2 Algoritmos estadísticos

Este tipo de algoritmos se llaman así porque están diseñados para detectar diferencias significativas entre la información de los detectores y características del tráfico esperadas de acuerdo con información histórica.

El algoritmo propuesto por Teng *et al.* (1997) presupone que las variables de tráfico se distribuyen independiente e idénticamente de acuerdo con una distribución normal. Este algoritmo calcula la verosimilitud de las condiciones normales y de un incidente basada en mediciones de la velocidad, el volumen y la ocupación.

El algoritmo de desviación de la normal estándar, propuesto por Dudek y Messer (1974), calcula la media y la desviación estándar de la ocupación para los últimos tres a cinco minutos y declara un incidente cuando el valor calculado difiere significativamente del valor promedio en unidades de desviación estándar.

De manera similar, el algoritmo de Stephanedes y Chassiakos usa la desviación de la normal estándar de una variable que llama ocupación y energía, siendo ésta última una combinación de la velocidad y el volumen (Stephanedes, 1993).

2.2.3 Algoritmos de series de tiempo

Los algoritmos de series de tiempo toman en cuenta el comportamiento reciente de una variable de tráfico y hacen un pronóstico de cuál debería ser el comportamiento de esa variable en el corto plazo. Cuando se observan diferencias significativas entre lo observado y lo predicho, se declara un incidente.

El algoritmo HIOCC, desarrollado por Collins *et al.* (1979), usa información de la ocupación detectada cada segundo. El algoritmo busca varios segundos consecutivos de valores altos de la ocupación para detectar la presencia de vehículos estacionados o que se mueven lentamente sobre detectores individuales. La ventaja principal de este algoritmo es que puede detectar objetos detenidos donde se encuentren los detectores. Por el contrario, su desventaja principal es que no puede distinguir incidentes de otras condiciones del tráfico que produzcan ocupaciones altas en los detectores.

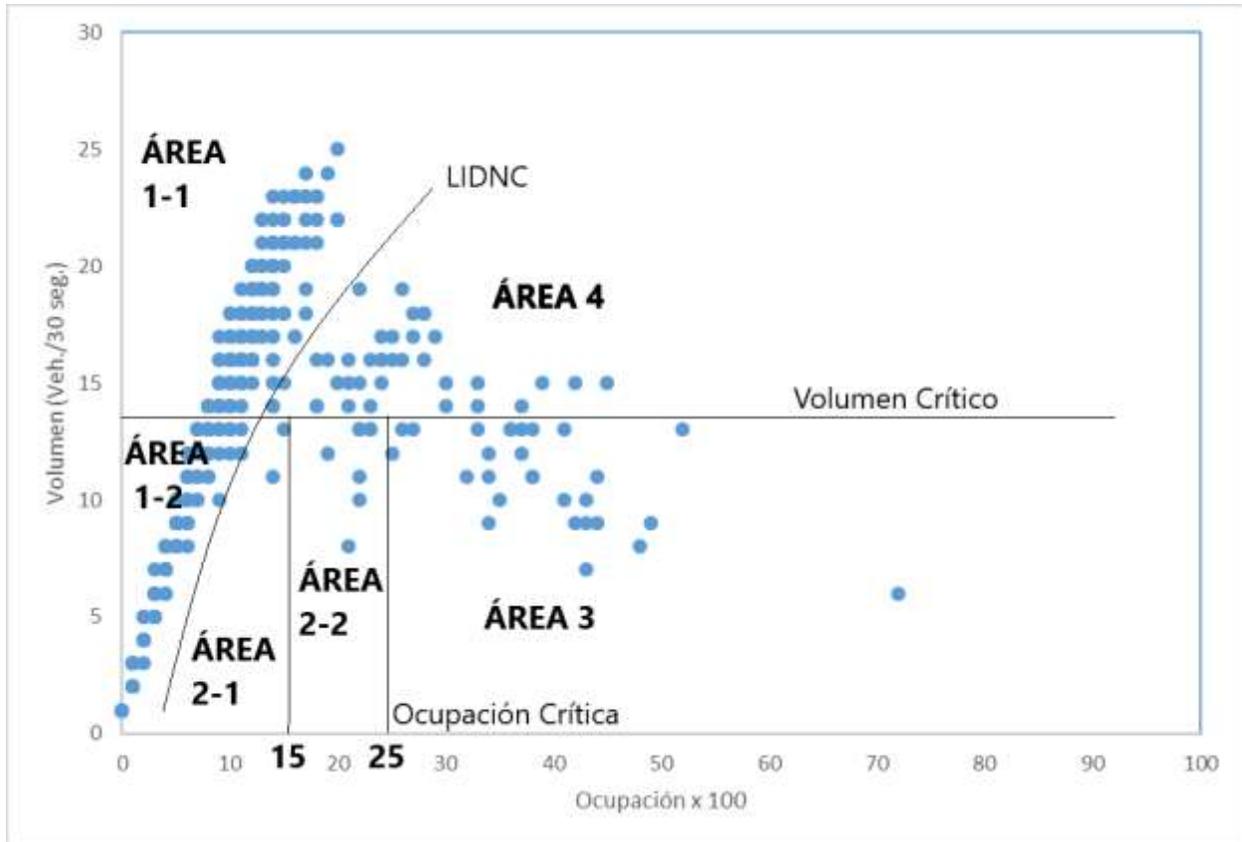
El algoritmo doble exponencial de Cook y Cleveland (1974) hace una atenuación doble exponencial de la ocupación para predecir la ocupación y declara como incidentes aquellos casos en los que las mediciones de los detectores se desvían de las predicciones del algoritmo. La misma idea caracteriza al algoritmo de modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA, por sus siglas en inglés), en el que el modelo genera pronósticos de corto plazo de la ocupación del

tráfico y el límite de confianza asociado al 95% (Ahmed y Cook, 1982). Se declara un incidente cuando los valores observados de la ocupación están fuera del intervalo de confianza.

2.2.4 Modelos teóricos

Los algoritmos típicos para la detección de incidentes en una carretera solo utilizan la información de detectores sencillos o dobles. Otros algoritmos toman ventaja de lo aprendido en la investigación de los modelos de flujo de tráfico. Willsky *et al.* (1980) proponen el uso de modelos macroscópicos de tráfico para describir la evolución de las variables de tráfico (velocidad, flujo y densidad). De esa forma, esos autores pudieron considerar aspectos dinámicos del flujo de tráfico a fin de eliminar falsas alarmas en la detección de incidentes.

De forma diferente a aquellos algoritmos que solo usan datos de la ocupación, el algoritmo McMaster se basa en un análisis bidimensional de la información de tráfico (Persaud *et al.* 1990). Este algoritmo propone separar el diagrama de flujo-ocupación en cuatro áreas, que corresponden a diferentes condiciones de operación del tráfico. Los incidentes se declaran después de observar cambios específicos en las condiciones del tráfico en un periodo muy corto. La representación gráfica del modelo se muestra en figura 3.1, donde se ilustra la clase de regleta que deberá calibrarse para cada estación de detección. Las áreas 1-1 y 1-2 representan tráfico no congestionado, el cual se define como aquella operación que está por encima del límite inferior de los datos no congestionados (LIDNC). Mientras la operación de la carretera permanezca en esta área, no habrá congestionamiento. El área 4 representa congestión normal y se define como el área a la derecha de LIDNC y por encima del volumen crítico. Este último parámetro es muy importante, pero su valor depende del intervalo de tiempo utilizado para la captura de la información, así como de las características geométricas de la estación de detección. El volumen crítico es el límite inferior para los flujos a capacidad, como se observan en los intervalos de tiempo usados para el procesamiento de la información. En la figura 3.1 se muestran datos de intervalos de 30 segundos. Si los datos caen abajo de cualquier clase de congestionamiento se ubican en el área 4 o en la 1 por encima del volumen crítico, entonces el congestionamiento se considera como recurrente porque se están teniendo flujos a capacidad. De otra manera, si los flujos están por debajo del volumen crítico, entonces claramente está ocurriendo una reducción de la capacidad, a la cual es necesario responder con la declaración de un incidente. El área 2 representa otra posibilidad de la operación cuando ocurre un incidente. Los datos en el área 3 son probablemente aguas arriba de un incidente.



Fuente: elaboración propia con información del Missasauga Traffic Control Center.

Figura 2.1 Regleta con los parámetros de una estación típica

2.2.5 Otros mecanismos para la detección de incidentes en una carretera

Más que algoritmos, es común utilizar otros mecanismos para la detección de incidentes en una carretera. Estos mecanismos establecen protocolos para la verificación de la ocurrencia de un incidente y su posterior atención. Entre estos mecanismos se pueden considerar el patrullaje de las policías de caminos y los servicios para la atención de emergencias como son los Ángeles Verdes de la Secretaría de Turismo del gobierno federal mexicano. De acuerdo con cifras de esa dependencia, los Ángeles Verdes patrullan alrededor de 60,000 km diarios y brindan apoyo a los viajeros que transitan por las rutas carreteras del país de las 08:00 a las 18:00 h, los 365 días del año. Su servicio puede ser solicitado marcando el 078 (Secretaría de Turismo, 2019). Cuando se detecta un incidente en algún punto de una carretera, éste se verifica de manera inmediata y se solicita la atención que se considera necesaria para la atención de los afectados por el incidente. El tiempo de detección en este caso depende del personal y equipo disponibles para los recorridos. En la actualidad, es común que las llamadas a los

números de emergencia vía teléfono celular de otros conductores sea un mecanismo de detección de incidentes más rápido y efectivo que el patrullaje de las policías o de los servicios de emergencia.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, el uso de sistemas de cámaras de video es otro mecanismo utilizado para la detección de incidentes con sus ventajas y desventajas subrayadas.

2.3 Conclusión

En este capítulo se ha descrito una serie, en nada exhaustiva, de los distintos algoritmos comúnmente utilizados para la detección de incidentes en una carretera. Es importante señalar que existen otros algoritmos, pero varios de ellos se han probado solo a nivel experimental y su uso queda limitado por la complejidad de su aplicación, la necesidad de una gran cantidad de información o la lentitud de su respuesta.

Conclusiones

Del desarrollo de este trabajo se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Existen ya algoritmos con los que se podría lograr la detección automática de incidentes en una carretera. Sin embargo, estos algoritmos no están exentos de fallas y pueden tener una muy variada calidad.

Puede decirse que cualquiera de los algoritmos para la detección automática de incidentes podría utilizarse en las carreteras mexicanas y la elección dependería de las condiciones particulares de cada vialidad. Habría que tener muy en cuenta la calidad del algoritmo seleccionado, ya que características tales como su tasa de detección, la tasa de falsas alarmas y el tiempo de detección son de suma importancia.

Sin embargo, es muy importante remarcar que la implantación de un sistema avanzado de manejo de tráfico en una carretera requiere de la infraestructura necesaria para la detección de las condiciones de operación y la vigilancia de esa vialidad. La instalación y operación de un centro de control puede representar un alto costo para el operador. En las condiciones económicas actuales, tal vez solo sea posible ofrecer este tipo de servicio en autopistas de cuota.

Bibliografía

ABDEL, A., R. KITAMURA, y P. JOVANIS. "Using stated preference data for studying the effect of advanced traffic information on drivers' route choice." *Transportation Research C*, vol. 5, pp. 39-50, 1997.

ACHA DAZA, Jorge A. *Nuevas tecnologías para la obtención de información de tráfico*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica No. 468, San Fandila, Qro., 2015.

AHMED, S. R. y A. R. COOK. "Application of time-series analysis techniques to freeway incident detection." *Transportation Res. Rec.*, núm. 841, pp. 19-21, 1982.

CASSIDY M. J. 1, S. B. ANANI y J. M. HAIGWOOD. "Study of freeway traffic near an off-ramp." *Transportation Research; Part A: Policy and Practice*, vol. 36, núm. 6, pp. 563-572(10), 2002.

COLLINS J. F., HOPKINS C. M., y MARTIN J. A. *Automatic incident detection: TRRL algorithms HIOCC and PATREG*. Informe técnico, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, 1979.

COOK A. R. y CLEVELAND D. E. "Detection of freeway capacity reducing incidents by traffic stream measurements." *Transportation Research Record*, núm. 495, pp. 1-11, 1974.

DUDEK C. L. y MESSER C. J. "Incident detection on urban freeways." *Transportation Research Record*, núm. 495, pp. 12-24, 1974.

FHWA. *Congestion Pricing — A Primer: Overview*. USDOT, <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08039/fhwahop08039.pdf>, 2008.

GALL, A. I. y HALL, F. L. "Distinguishing between incident congestion and recurrent congestion: a proposed logic." *Transportation Research Record*, núm. 1232, pp. 1-8. Transportation Research Board, 1989.

GRENZEBACK L. R. y C. E. WOODLE. "The True Costs of Highway Congestion." *ITE Journal*. Marzo de 1992.

HALL, F. L.; SHI, Y. y ATALA, G. "On-line testing of the McMaster incident detection algorithm under recurrent congestion." *Transportation Research Record*, núm. 1394, pp. 1-7. Transportation Research Board, 1993.

LI, C.; R. YANG, y F. JIN. "Data-fusion prediction of traffic information based on artificial neural network." *Systems Engineering*, vol. 22, núm. 3, pp. 80-83, 2004.

MAHMASSANI, H. S.; HASS, C.; ZHOU, S., y PETERMAN, J. *Evaluation of Incident detection methodologies*. Federal Highway Administration Rep. FHWA/TX-00/1795-1, 1999.

PAYNE, H. J.; E. D. HELFENBEIN, y H. C. KNOBEL. "Development and testing of incident detection algorithms." Federal Highway Administration Rep. FHWA-RD-76-20, *Research Methodology and Results*, núm. 2, 1976.

PERSAUD, B. N.; HALL, F. L. y HALL, L. M. "Congestion identification aspects of the McMaster incident detection algorithm." *Transportation Research Record*, núm. 1287, pp. 167-175. Transportation Research Board, 1990.

PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2013-2018. *Diario Oficial de la Federación* del lunes 20 de mayo de 2013.

PROGRAMA SECTORIAL DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES 2013-2018. *Diario Oficial de la Federación* del viernes 13 de diciembre de 2013.

SECRETARÍA DE TURISMO DEL GOBIERNO FEDERAL. "Ángeles Verdes." <http://www.sectur.gob.mx/programas/angeles-verdes/>, 2019.

STEPHANEDES, Y. J. "Smoothing algorithms for incident detection." *Transportation Research Record*, núm. 1394, pp. 8-16. TRB, National Research Council, Washington D.C., 1993.

TENG H. L. y MADANAT S. "The CUSUM algorithm for freeway incident detection." Submitted to *Transportation Research - Part B*, 1997.

WILLSKY, A. S.; E. Y. CHOW, S. B. GERSHWIN, C. S. GREENE, P. K. HOUP, y A. L. KURKJIAN. "Dynamic model-based techniques for the detection of incidents on freeways." *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 25, pp. 347-360, 1980.

YUH-HORNG Wen; TSU-TIAN Lee y HSUN-JUNG Cho. "Hybrid models toward traffic detector data treatment and data fusion." *Proc. of IEEE Conf. on Networking, Sensing and Control*, pp. 525-530, 2005.



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado-Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila
Mpio. Pedro Escobedo, Querétaro, México
CP 76703
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 2610
Fax +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>