

“...

*Caminante, son tus huellas  
el camino y nada más;  
caminante, no hay camino,  
se hace camino al andar.  
Al andar se hace camino  
y al volver la vista atrás  
se ve la senda que nunca  
se ha de volver a pisar*

*Caminante no hay camino  
sino estelas en la mar...*

...”

Antonio Machado

## **Fusión de datos para obtención de tiempos de viaje en carretera**

**David Abejón, Francesc Soriguera y Leif Thorson**

### **Resumen**

Este documento aporta una visión general sobre la fusión de datos aplicada al transporte. Para ello se estructura el texto en cuatro capítulos principales. La primera parte consiste en un análisis sobre los sensores de obtención de datos del tráfico, pasándose en el segundo apartado a un análisis de la fusión de datos como ciencia, para finalizar el documento con el desarrollo y aplicación de un algoritmo de fusión de datos para el cálculo de tiempos de viaje en carretera.

En el análisis de las fuentes de datos para la obtención de tiempos de viaje y otras variables fundamentales del tráfico, se realiza un análisis de los métodos utilizados para la toma de datos (valorando su inmediatez, exhaustividad e intrusión) así como de las distintas clases de tiempos de viaje que se pueden obtener (instantáneo (TVI), reconstruido (TVR) y previsto (TVP)) para posteriormente analizar los sensores más utilizados por los diversos operadores de infraestructuras en la gestión del tráfico.

Dichos sensores son evaluados según los datos que pueden obtener (tiempo de viaje, velocidad, flujo y clasificación de vehículos, ocupación de la vía), la precisión y fiabilidad que presentan dichos datos en diferentes situaciones del tráfico y ambientales, su complejidad de instalación, calibrado y mantenimiento así como su coste. Para finalmente realizar unas tablas de valoración.

La investigación bibliográfica realizada acerca de la fusión de datos de múltiples fuentes como ciencia, permite proceder a una definición de la misma como un compendio de técnicas multidisciplinares para después clasificar en 5 niveles su grado de complejidad. Posteriormente se realiza una descripción de las técnicas de fusión, clasificando éstas según su comportamiento (indulgente, prudente, severo), su constancia y dependencia del contexto, así como por la lógica utilizada (evidencial, probabilística y difusa).

Tras ello se profundiza en las técnicas de fusión más utilizadas como Bayes, Dempster-Shafer y Conjuntos difusos.

Por otra parte se valora su utilidad describiendo las ventajas y las limitaciones que conlleva la utilización de la fusión de datos, procediendo a la descripción de algunos ejemplos de uso de esta ciencia en la ingeniería del transporte.

A partir de todo este análisis previo se procede al diseño de un sistema de fusión de datos de múltiples fuentes para la obtención de tiempos de viaje en carretera. Se analiza entonces su estructura, que parte de dos tiempos de viaje instantáneo, que son fusionados en primera instancia en función del error asociado a cada uno ellos según el estado del tráfico (congestión o circulación libre), y uno reconstruido que será fusionado posteriormente al resultado del primer proceso utilizando la lógica bayesiana. Siendo el resultado del proceso un tiempo de viaje previsto único. También se valoran los algoritmos utilizados y los errores que estos llevan asociados, así como los datos necesarios y los parámetros que serán utilizados para la calibración del sistema.

Además se realiza una breve descripción del proceso de programación del algoritmo desarrollado, adjuntando para su mejor comprensión el programa ejecutable con código abierto para su posible modificación.

Finalmente se procede a la validación del programa realizado, mediante la aplicación del sistema de fusión a un caso real. De dicha aplicación se obtiene de forma experimental las mejoras que ofrece el algoritmo desarrollado en relación a su fiabilidad, precisión y cobertura.

### **Palabras clave**

Fusión de datos; Tiempo de viaje; Sensores de obtención de datos del tráfico.

## **Data fusion for the calculation of road travel time**

**David Abejón, Francesc Soriguera and Leif Thorson**

### **Abstract**

This document gives a general vision of data fusion applied to transport engineering. With this goal, the text is structured in four principal chapters. The first part consists of an analysis on the transit data obtaining sensors; the second part is an analysis of data fusion as science, the document ends with the development and application of an algorithm of data fusion for the calculation of road travel times.

By analysing the data sources for the obtaining of travel times and other fundamental variables of transit, there is realized an analysis of the methods used for the capture of information (valuing its immediacy, exhaustivity and intrusion) as well as of the different classes of travel times that can be obtained (instantaneous (ITT), reconstructed (RTT) and predicted (PTT)) to analyze later the most used sensors by the diverse infrastructure operators in the management of transit.

The above mentioned sensors are evaluated according to the information that they can obtain (travel time, speed, flow and classification of vehicles, occupation of the road), the precision and reliability that the above mentioned information presents in different traffic and environmental situations, its complexity of installation, calibration and maintenance as well as its cost. Finally a few evaluation tables are constructed.

The realized bibliographical research over data fusion of multiple sources as science brings over a definition of it as a compendium of multidisciplinary techniques, later it is classified under 5 levels depending on its complexity degree. Later there is realized a description of the data fusion techniques, classifying these according to its behaviour (indulgent, prudent, severe), its witness and context dependence, as well as for the used logic (evidential, probabilistic and fuzzy).

After, the most used techniques as Bayes, Dempster-Shafer and Fuzzy Sets, are described.

On the other hand its utility is valued describing the advantages and the limitations that carry the utilization of data fusion, and proceeding to the description of some examples of use of this science in the transport engineering.

After this previous analysis one proceeds to the design of a data fusion system for multiple sources for the obtaining of road travel times. Its structure is analyzed, which departs from two instantaneous travel times, which are fused in the first instance depending on its associated error according to each transit condition, and one reconstructed travel time that will be fused later to the result of the first process using Bayesian logic. The result of the process is a unique predicted travel time. There are also valued the used algorithms and their associated errors, as well as the necessary information and the parameters that will be used for the calibration of the system.

In addition there is realized a brief description of the programming process of the developed algorithm, attaching for its better comprehension the feasible program with opened code for its possible modification.

Finally one proceeds to the validation of the constructed program, by means of the application of the data fusion system to a real case. Of the above mentioned application there are obtained in an experimental form the improvements that the developed algorithm offers characterizing its reliability, precision and coverage.

### **Key Words**

Data Fusion; Travel time estimation; Traffic data, Surveillance equipment