

## Cooperative Ramp Metering for Urban Motorways based on Machine Learning

### Kooperativno upravljanje priljevnim tokovima na urbanim autocestama zasnovno na strojnom učenju

#### Abstract

To cope with today's urban motorway congestion and the inability to increase motorway capacity in urban environments requires the implementation of advanced control methods. These methods are an integral part of Intelligent Transportation Systems (ITS). An ITS essentially integrates information and communication technology to solve the congestion problems. Ramp metering (RM) and variable speed limit control (VSLC) are some of the most widely used urban motorway traffic control methods. RM provide direct influence over the on-ramp flows by using specialized traffic lights, while the VSLC control speed of mainstream flow by using variable messaging signs.

A dedicated algorithm for RM or VSLC uses sensory data from an urban motorway to compute actions that will have a positive impact on both types of traffic flow. This study will focus on the cooperation of RM and VSLC systems, and the integration of several different RM algorithms into a single algorithm called INTEGRA. The algorithm is created by using the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) as an instance of machine learning techniques. Furthermore, INTEGRA is expanded in order to integrate its original functionality with a recurrent neural network for traffic demand prediction. As the final step, this doctoral thesis will provide evaluation of different criteria for learning dataset functional setup, based on which ANFIS neural network of INTEGRA will be learned. Results of all mentioned approaches will be compared and discussed in relation with other commonly used urban motorway control methods.

#### Sažetak

U svrhu ostvarenja većeg stupanja uslužnosti na urbanim autocestama primjenjuje se niz metoda upravljanja prometom. Najkorištenije upravljačke metode na urbanim autocestama su upravljanje priljevnim tokovima (engl. Ramp metering) i promjenjivo ograničenje brzine vozila (engl. Variable speed limit control). Istraživanje ovog doktorskog rada primarno će se odnositi na upravljanje priljevnim tokovima s posebnim naglaskom na kooperativni pristup u izradi spomenute metode upravljanja prometom. Omogućena je kooperacija između upravljanja priljevnim tokovima i promjenjivog ograničenja brzine vozila, kao dvjema različitim metodama upravljanja prometom na autocestama. Također, na konceptualnoj razini razmatra se kooperacija između promjenjivog ograničenja brzina vozila i upravljanja priljevnim tokovima sa vozilima koja su opremljena posebnim upravljačkim uređajima.

Razvijen je INTEGRA algoritam zasnovan na ANFIS (engl. Adaptive neuro-fuzzy inference system) arhitekturi koji omogućuje integraciju različitih strategija upravljanja priljevnim tokovima u jedinstveni upravljački sustav. U nastavku istraživanja INTEGRA algoritam proširen je na način da u svoju konačnu upravljačku odluku uzima u obzir i predviđenu prometnu potražnju. CTMSIM makro-simulacijski alat korišten je u simulaciji odabranih metoda upravljanja prometom na urbanim autocestama, te je u tu svrhu nadograđen kako bi podržavao kooperativno upravljanje priljevnim tokovima, kao i sustav za promjenjivo ograničenje brzina vozila. Zagrebačka obilaznica korištena je za simuliranje testnih scenarija korištenih za evaluaciju odabranih sustava upravljanja prometom na urbanim autocestama. Rezultati svih metoda upravljanja prometom na urbanim autocestama prezentiranih u

doktorskom radu biti će međusobno uspoređeni, te komentirani s obzirom na njihov utjecaj na stupanj uslužnosti urbane autoceste.