

Česká akademie věd
Ústav teorie informace a automatizace

Czech Academy of Sciences
Institute of Information Theory and Automation

VÝZKUMNÁ ZPRÁVA

JITKA KRATOCHVÍLOVÁ, IVAN NAGY

Lokální řízení městské dopravy

2101

Květen 2004

ÚTIA AVČR, P.O.Box 18, 182 08 Prague,
Czech Republic

Fax: (+420)286890378, <http://utia.cas.cz>, E-mail: utia@utia.cas.cz

Lokální řízení městské dopravy - - model dopravní mikrooblasti

1 Úvod

Tato zpráva podává informaci o řešení první etapy Úlohy 1 řešení grantu

cislo Řízení dopravy v historických jádrech měst

Trvání etapy: 1.4.04 - 1.5.04 2004

Předmět etapy: A401 Vytvoření lineárního modelu dopravní mikrooblasti

V této zprávě budou shrnuty základní obecné poznatky, potřebné pro vytvoření modelu dopravní mikrooblasti, který se opírá o fyzikální, tj. dopravní, podstatu studovaného systému. Dále bude tento model popsán a vyjádřen ve stavovém tvaru. Model bude základem pro pozdější optimalizaci.

2 Obecné poznatky

Naším cílem je nalézt model použitelný pro řízení větší dopravní oblasti, která se skládá z několika samostatných křižovatek. Hovoříme-li zde o řízené křižovatce, myslíme tím řízení křižovatky pomocí automatického světelného signalizačního zařízení (dále jen SSZ, obecně pomocí semaforu). Abychom dobře porozuměli diskutované problematice, je vhodné si předem ujasnit všechny obecné vztahy a souvislosti mezi nimi. Pak by mělo být zřejmé, jaké parametry dopravní sítě jsou předem stanoveny díky dopravnímu řešení, které z nich lze považovat za konstantní nebo je lze nějakým způsobem aktuálně zjišťovat měřením v dané oblasti, apod.

2.1 Formalizace značení a jednotky

Popis křižovatky zahrnuje popis většího množství jejích součástí. Zavedeme proto nyní základní principy značení, které by měly usnadnit pozdější zobecnění celého problému:

- dopravní oblast má několik křižovatek, které budou indexovány písmenem r ,

- každá křižovatka má několik ramen - použité indexy i a j ,
- každé rameno má minimálně jeden vjezd - značen indexem k ,
- vjezd je tvořen několika řadícími pruhy - s indexy κ ,
- každé fázi f při řízení SSZ mohou náležet jen některé vjezdy ramene, pro ně pak platí stejný sled i délka světelných signálů; skupinu takovýchto vjezdů označíme $\mu_{f,i} = \{k_1, k_2, \dots, k_l\}$, kde k_ζ jsou ty vjezdy ramene i , které tvoří fázi f .

Matematické symboly \subset nebo \in pak naznačují příslušnost či logickou vazbu, např. $\kappa \subset k$ jsou všechny řadící pruhy, které vytvářejí vjezd k .

Jednotky použitých veličin:

- *Časové údaje*, jako doby zelených, cyklů, ztrátových dob, apod., jsou vždy uvažovány v sekundách [s], není-li řečeno jinak,
- *Intenzity I* se obvykle udávají ve vozidlech za hodinu [voz/hod], resp. jednotkových vozidlech za hodinu [jvoz/hod]. Zde navíc uvažujeme průměrnou hodinovou intenzitu, která byla zjištěna z detektoru v dané vzorkovací periodě. Výstupní hodnoty intenzit z detektoru jsou vždy uváděny v jednotkových vozidlech, proto také budeme v konkrétních příkladech reálných dopravních oblastí všechny veličiny vztahovat k obecnějším, jednotkovým vozidlům a dané vzorkovací periodě T_s , tj. v [jvoz/ T_s]. Princip přepočtu mezi vozidly a jednotkovými vozidly je možné nalézt v literatuře [1].
- *Saturované toky S , kapacity křižovatek K a průjezdy P* jsou obdobně jako intenzity obecně udávány ve vozidlech za hodinu [voz/hod], resp. jednotkových vozidlech za hodinu [jvoz/hod]. V konkrétních příkladech pak v [jvoz/ T_s].
- *Běžné délkové veličiny* jsou uvažovány v metrech [m], např. šířka jízdních pruhů, poloměry oblouků odbočení, atd.
- *Délka kolon* je měřena počtem jednotkových vozidel, které ji vytvářejí. Délku v [jvoz] lze snadno převést na běžné délkové míry ze znalosti délky jednotkového vozidla v [m] (viz [1]).
- *Směrové koeficienty, koeficienty odbočení a oblouku, stupně saturace* jsou obvykle bezrozměrné veličiny, příp. vyjádřené v procentech.

2.2 Signální plán

Při řízení křižovatek pomocí SSZ je nutné stanovit odpovídající signální plán. Tento plán (resp. jeho parametry), je stanoven na základě provedeného či navrženého stavebního uspořádání křižovatky a dopravních vztahů v oblasti a určuje optimální sled světelných dopravních signálů (viz dále).

2.2.1 Křižovatka

Celková dopravní oblast je tvořena menšími, základními jednotkami, tj. křižovatkami. Signální plán jedné křižovatky je definován těmito parametry:

Dopravní signály: jsou barevně odlišná světelná znamení mající obecně známý význam, následují vždy v tomto pořadí: zelený, žlutý, červený a červenožlutý.

Doba cyklu: T_C je perioda opakování výše uvedeného sledu signálů.

Fáze: je časový interval, ve kterém svítí zelený signál současně několika určitým, zpravidla bezkolizním dopravním proudům. Sled signálů je pro dvě různé fáze stejný, avšak časově posunutý, a to zpravidla tak, že aktuální signály (tj. ve stejném časovém okamžiku) jsou pro dvě fáze opačné (zelená vs. červená) po maximální možnou dobu. Nadále budeme fáze značit písmenem f .

Tabulka mezičasů: poskytuje přehled dob mezičasů, které se určují pro všechny navzájem kolizní proudy z různých fází a mezifází. Minimální součet rozhodujících mezičasů (tj. pouze mezi motorovými vozidly) různých sledů fází pak určuje optimální sled těchto fází. Jednotlivé mezičasy jsou počítány takto:

$$t_m = t_V - t_N + t_B \quad (1)$$

kde

t_m	doba mezičasu [s],
t_V	vyklizovací doba [s],
t_N	najížděcí doba [s],
t_B	bezpečnostní doba [s].

Pro danou křižovatku jsou tyto hodnoty mezičasů konstantami.

Počet fází: Navrhují se minimálně 2 fáze, optimálně 2 - 3. K dokonale bezkolizní situaci by vedlo zavedení tolika fází, kolik je počet ramen křižovatky. Je ovšem nutné si uvědomit, že s počtem fází rostou časové ztráty vozidel a snižuje se kapacita křižovatky.

Sled fází: Za rozhodující mezičasy se považují pouze ty doby, které nastávají mezi kolizními proudy motorových vozidel, tj. určující nemohou být mezičasy pěších. Minimální součet těchto rozhodujících mezičasů různých sledů fází určuje optimální sled uvažovaných fází. Pomocí mezičasů lze také vyjádřit jednotlivé ztrátové časy fází, jejich součet pak určuje celkový ztrátový čas v křižovatce:

$$L = \sum_f l_f = \sum_f (t_{m,f} - 1) \quad (2)$$

kde

L	celkový ztrátový čas [s],
l_f	ztrátový čas jednotlivých fází [s],
$t_{m,f}$	doba mezičasu jednotlivých fází [s].

Saturovaný tok: daného vjezdu při dané fázi je maximální množství jednotkových vozidel, která projedou profilem stopčáry za hodinu zelené fáze (signálu) při ideálních stavebních a dopravních podmínkách. Počítá se jako poměrná část základního saturovaného toku tohoto vjezdu v rámci jedné fáze. Dva řadící pruhy řadíme k jednomu vjezdu v tom případě, že dovolují pouze stejné směrové manévry, tj. stejné odbočení, přímou jízdu nebo jejich kombinaci. Tvoří-li tedy jeden vjezd více řadících pruhů, dostaneme základní saturovaný tok vjezdu součtem základních saturovaných toků příslušných řadících pruhů, tvořících tento vjezd.

$$\begin{aligned} S_{i,k} &= S_{z;i,k} k_s k_o \\ S_{z;i,k} &= \sum_{w \subset k} S_{z;i,k,w} \end{aligned} \quad (3)$$

kde

$S_{i,k}$	saturovaný tok k -tého vjezdu i -tého ramene [jvoz/hod],
$S_{z;i,k}$	základní saturovaný tok k -tého vjezdu i -tého ramene [jvoz/hod],
k_s	koeficient podélného sklonu, $k_s = 1 - 0.02s$, s [%] je podélný sklon
k_o	koeficient odbočení,
w	označuje všechny řadící pruhy, které tvoří k -tý vjezd i -tého ramene.

Tyto základní saturované toky jsou z hlediska stavební úpravy křižovatky (tj. šířek řadících pruhů) konstantní:

$$S_{z(1pruh)} = \begin{cases} 1900 + 30(b - 3.5) & \text{pro čtyř a více pruhové komunikace} \\ 1800 + 100(b - 3.5) & \text{jinak} \end{cases} \quad (4)$$

kde

b	je šířka vjezdového pruhu [m]
-----	-------------------------------

Pouze koeficient odbočení je závislý na intenzitě odbočujících vozidel a celkové intenzitě pruhu:

$$k_o = \begin{cases} \frac{R_o}{R_o + 1.5f_o} & \text{pro levé nebo pravé odbočení} \\ 1 & \text{pro přímý směr} \end{cases} \quad (5)$$

kde

$$\begin{array}{ll} R_o & \text{poloměr oblouku pro odbočení [m],} \\ f_o & \text{poměr odbočujících vozidel z celkové intenzity na vjezdu.} \end{array}$$

V případě, že pro levé odbočení existuje společný řídicí pruh s přímým směrem nebo pravým odbočením a zároveň je toto levé odbočení ovlivňováno protisměrem, snižuje se kapacita tohoto odbočení zavedením tzv. fiktivních oblouků ($R_o = 1.5 m$). Obdobně se postupuje při vlivu proudu souběžně přecházejících chodců.

Optimální doba cyklu: optimální doba cyklu se určuje na základě minimalizace celkového zdržení vozidel. Tato doba se zpravidla navrhuje na celé desítky sekund, v rozmezí 30 - 120 s. Skutečný návrh cyklu se určuje v rozmezí intervalu $\langle 0.75T_C^*, 1.5T_C^* \rangle$.

$$T_C^* = \frac{1.5 * L + 5}{1 - Y} \quad (6)$$

kde

$$\begin{array}{ll} T_C^* & \text{optimální doba cyklu [s],} \\ L & \text{celkový ztrátový čas [s],} \\ Y & \text{celkový stupeň saturace.} \end{array}$$

Celkový stupeň saturace křižovatky získáme sečtením maximálních stupňů saturace jednotlivých fází. Tento maximální stupeň vybíráme ze všech stupňů saturace pro každý vjezd příslušné fáze:

$$Y = \sum_f y_f^{max} = \sum_f \max_{i,k \in f} (y_{i,k}) = \sum_f \max_{i,k} \left(\frac{I_{i,k}}{S_{i,k}} \right) \quad (7)$$

kde

$$\begin{array}{ll} y_f^{max} & \text{maximální stupeň saturace příslušné fáze,} \\ y_{i,k} & \text{stupeň saturace } k\text{-tého vjezdu na } i\text{-tém rameni, přiřazeného k ané fázi,} \\ I_{i,k} & \text{intenzita vjezdu v jednotkových vozidlech za hodinu [jvoz/hod],} \\ S_{i,k} & \text{saturovaný tok vjezdu [jvoz/hod].} \end{array}$$

Doby zelených: určují se pro každou fázi či mezifázi. Doby zelených u kritických vjezdů se navrhují zhruba na délku z^{opt} (zaokrouhlení na celé sekundy), na ostatních pruzích se vhodně doplní dle tabulky mezičasů. Pro dobu zelené každého kritického vjezdu pro danou fázi musí platit:

$$z_f^{opt} = \frac{y_f^{max}(T_C - L)}{Y} - 1 \quad (8)$$

Dále pro daný cyklus a všechny jeho fáze musí nutně platit:

$$T_C = \sum_f t_{m,f} + \sum_f z_f \quad (9)$$

2.2.2 Posouzení návrhu SSZ pro jednu křižovatku

Pro vyhovující návrh SSZ musí platit následující:

- okrajové podmínky:
 1. minimální doba zelené je 5 s,
 2. minimální žlutá (mezi zelenou a červenou) je 3 s,
 3. červenožlutá (mezi červenou a zelenou) je 2 s,
 4. minimální doporučené hodnoty zelené: pro hlavní směr 15 s, pro vedlejší směr a pro směrový signál doleva 10 s, pro vyklizovací šipku 7 s,
 5. doporučený mezičas mezi koncem zelené pro vozidla a začátkem zelené pro křižující chodce je 4 s,
- minimální zelené: pro všechny zelené signály dopravních proudů musí platit

$$z_f \geq z_f^{min} = \frac{I_{i,k} T_C}{S_{i,k}} - 1 \quad (10)$$

Pozn.: z_f je doba zelené pro tu fázi, do které náleží vjezd k na i -tém rameni.

- kapacita vjezdu

$$K_{i,k} = \frac{S_{i,k}(z_f + 1)}{T_C}, \quad (11)$$

kde

- $K_{i,k}$ kapacita vjezdu k z ramene i [jvoz/hod]; tento vjezd musí příslušet dané fázi,
 $S_{i,k}$ saturovaný tok vjezdu [jvoz/hod].

Pro všechny vjezdy musí platit $K_{i,k} > I_{i,k}$

- rezerva kapacity

$$R_{i,k} = \left(1 - \frac{I_{i,k}}{K_{i,k}}\right) 100\% \quad (12)$$

Pro všechny vjezdy musí platit $R > 0$, doporučená rezerva je minimálně 10%.

- posouzení potřebné délky řadících pruhů na vjezdu

$$l_{i,\kappa} = \frac{7M_{i,\kappa}(T_C - z_f)}{3600} \quad (13)$$

kde

- $l_{i,\kappa}$ je délka řadícího pruhu κ na i -tém rameni [m]
 $M_{i,\kappa}$ je množství jednotkových vozidel na řadícím pruhu κ za 1 hodinu, $\kappa \subset k \wedge k \in f$.

Pro odpovídající vjezd je volena jednotná délka všech jeho řadících pruhů, a to ta maximální z jednotlivých potřebných délek.

2.2.3 Síť

Z hlediska koordinace celé dopravní sítě, resp. její části jsou podstatné především tyto parametry signálního plánu:

- doba cyklu T_C
- koordinační offset $t_{r,r+1}$

Dobu cyklu uvažujeme jednotnou pro všechny křižovatky v uvažované mikrooblasti, musí tedy platit:

$$T_C = T_{C,r} = konst, \quad (14)$$

kde

- $r = 1, 2, \dots, rr$ označuje danou křižovatku v mikrooblasti,
 $T_{C,r}$ doba cyklu r -té křižovatky [s].

Koordinální offset $t_{r,r+1}$ určuje odstupy mezi začátky cyklů dvou následných křižovatek r a $r + 1$. Tato hodnota je, kromě jiného, závislá na délce meziúseku mezi těmito křižovatkami. Pro doby začátků zelených na dvou navazujících křižovatkách musí pro vytvoření tzv. zelené vlny tedy platit následující:

$$t_{z_{r+1}} = t_{z_r} + t_{r,r+1}, \quad (15)$$

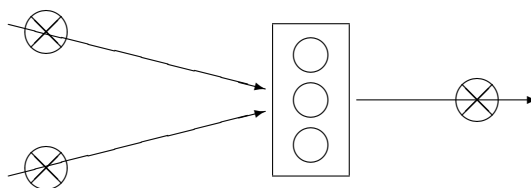
kde

- z_r, z_{r+1} jsou doby zelených dvou následných křižovatek [s],
- $t_{z_r}, t_{z_{r+1}}$ doby začátku jednotlivých zelených v průběhu cyklu [s],
- $t_{r,r+1}$ je offset mezi těmito křižovatkami [s].

Pozn.: Stanovení optimální hodnoty koordinačního offsetu za účelem vytvoření zelené vlny umožňuje vozidlům průjezd takovouto sérií křižovatek bez nutnosti zastavovat a čekat v kolonách.

3 Mikrooblast

- Mikrooblastí máme na mysli jednu nebo více křižovatek s měřením dat a SSZ. Dále budeme pod pojmem mikrooblast pracovně uvažovat jednu křižovátku se dvěma vstupy a jedním výstupem. Toto pracovní pojetí mikrooblasti bude později rozšířeno pro několik křižovatek.



Obrázek 1: Schéma křižovatky

Zde

- semafor značí řízenou křižovátku,
- kroužky na vstupech značí vstupní detektory umístěné tak, aby do nich kolony nezasahovaly (měří intenzitu I a obsazenost O),
- kroužek na výstupu značí výstupní detektor umístěný ihned za křižovatkou (měří I).

Horní vstupní rameno označíme indexem 1 a dolní 2, tedy vstupní měřená data budou $I_{1;t}, O_{1;t}, I_{2;t}, O_{2;t}$. Výstupní veličinu (intenzitu) označíme y_t , kde t jsou indexy $1, 2, 3, \dots$, označující okamžiky vzorkování s periodou asi 5 min.

- Ve vstupních ramenech křižovatky uvažujeme kolony, které se vytváří na SSZ. Délky kolon (v počtu jed. vozidel) označíme K_1 a K_2 . Pro tyto kolony platí **základní vztah**:

Délka kolony v čase $t+1$ je rovna délce kolony v minulém čase t plus to, co od t do $t+1$ přijelo, minus to, co odjelo.

Na tomto principu je postaven stavový model mikrooblasti, kde základem pro stav jsou právě délky kolon.

- Jako kritérium optimality provozu volíme vážený součet délek kolon, kde váhy jsou určeny z dopravního hlediska. Toto kritérium bezprostředně souvisí s celkovou dobou zdržení v mikrooblasti, která se v literatuře k tomuto účelu nejčastěji používá.

4 Model pro odhad délek kolon v mikrooblasti

4.1 Základ stavového modelu křižovatky

Při odvození budeme postupovat podle základního vztahu, který budeme aplikovat na křižovatku podle obr.1, avšak jen s jedním vstupním ramenem (bude bez indexu). Tedy

I_t, O_t vstupní data (intenzity a obsazenosti),

y_t výstupní data (intenzity),

K_t délka kolony ve vstupním rameni (v j.voz.),

S_t saturovaný tok - tj. počet j.voz., která křižovatkou projedou ze vstupního ramene za 1 hod. zelené,

u_t poměr zelené na vjezdu do křižovatky - tj. délka zelené/délka cyklu.

Křižovatka se z hlediska výjezdu přes stopčáru může vyskytovat ve dvou základních stavech

- **Kolona není** – potom platí, že výjezdová intenzita se rovná vjezdové I_t .

- **Kolona je** – potom výjezdová intenzita se rovná saturovanému toku, násobenému poměrem zelené $S_t u_t$.

Stav **kolona** definujeme jako stav, kdy na konci zelené je nulová délka kolony (tj. kdy za zelenou stačí projet kolona, která se utvoří na červené, a všechna auta, která během zelené ještě přijedou). Tyto stavy budeme označovat indikátorem δ_t , pro který platí

$$\delta_t = \begin{cases} 0 & \text{pro stav "kolona není",} \\ 1 & \text{pro stav "kolona je".} \end{cases} \quad (16)$$

Potom podle základního vztahu platí

$$K_{t+1} = K_t + \underbrace{I_t}_{\text{co přijelo}} - \underbrace{(1 - \delta_t)I_t}_{\text{co odjelo bez kolony}} - \underbrace{\delta_t S_t u_t}_{\text{co odjelo s kolonou}} .$$

Tento vztah lze upravit na stavový model

$$K_{t+1} = K_t + \delta_t(I_t - S_t u_t) \quad (17)$$

a interpretovat takto: Kolona se nezmění (bude nulová) ve stavu **"bez kolony"** a její změna ve stavu, kdy **kolona je** bude: nárůst je dán tím, co přijede, a úbytek je dán tím, co projede na zelené během poslední periody vzorkování.

Poznámka:

Jedná se o model se známými, ale proměnnými koeficienty. Tato známá proměnnost nevádí ani odhadu stavu pomocí Kalmanova filtru, ani optimalizaci pomocí lineárního programování.

4.2 Výstupní rovnice a modifikace stavové

Výstupní intenzita y_t představuje výjezd z křižovatky. Ten lze vyjádřit ze stavové rovnice, která říká:

$$\text{změna kolony je vjezd minus výjezd, tj. } K_{t+1} - K_t = I_t - \underbrace{y_t}_{\text{výjezd}}$$

a tedy

$$y_{t+1} = -K_{t+1} + K_t + I_t. \quad (18)$$

Z této rovnice je patrné, že y_t nezávisí jen na délce kolony, ale na rozdílu dvou po sobě jdoucích délek kolon. Proto je třeba stavovou rovnici ještě upravit.

Nový stav σ_{t+1} definujeme takto

$$\sigma_{t+1} = [K_{t+1}, K_t]'$$

a stavový model i s výstupní rovnicí bude

$$\sigma_{t+1} = \begin{bmatrix} K_{t+1} \\ K_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_t \\ K_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_t S_t \\ 0 \end{bmatrix} u_t + \begin{bmatrix} \delta_t I_t \\ 0 \end{bmatrix} = \bar{P}\sigma_t + \bar{Q}u_t + \bar{R} \quad (19)$$

$$y_{t+1} = [-1, 1] \begin{bmatrix} K_{t+1} \\ K_t \end{bmatrix} + I_t = \bar{F}\sigma_{t+1} + \bar{G} \quad (20)$$

Poznámka:

Tento model nemá vlastnost pozorovatelnosti.

4.3 Model křižovatky pro odhad stavu

Nyní se vrátíme ke křižovatce podle obr.1, kde budeme ještě navíc uvažovat poruchovou intenzitu I_3 , vstupující za křižovatkou do výstupního ramene. (Kvalitativně stejnou situaci dostaneme při uvažování poruchy před křižovatkou.)

Do tohoto modelu zahrneme

1. vliv první kolony na výstupní intenzitu,
2. vliv druhé kolony na výstupní intenzitu,
3. vliv neměřené poruchy na výstupní intenzitu,
4. vliv vstupní intenzity a obsazenosti na délku kolony v prvním vjezdu
5. vliv vstupní intenzity a obsazenosti na délku kolony v druhém vjezdu

Poslední dva body předchozího výčtu nelze modelovat fyzikálně. Předpokládáme vztahy ve formě

$$I_t = \lambda_I I_{t-1} + \lambda_K K_t \quad (21)$$

$$O_t = \kappa_O O_{t-1} + \kappa_K K_t \quad (22)$$

a koeficienty λ a κ je třeba odhadovat z měřených dat. Jedná se o nelineární odhad, neboť odhadované veličiny K , λ a κ existují v součinu. Počítá se s tím, že tento odhad bude probíhat off-line.

Poznámka: Pro udržení linearity je vhodné tyto vztahy uvažovat v odchylkové formě, tj. pro odchylky o typických denních průběhů.

Neměřenou intenzitu modelujeme jako slabě integrační člen se šumem

$$I_{3;t} = \omega I_{3;t-1} + e_t, \quad (23)$$

kde ω je dosti malé, pevné (nebo odhadované).

Pro konstrukci stavového modelu definujeme nový stav

$$x_{t+1} = [K_{1;t+1}, K_{1;t}, I_{1;t}, O_{1;t}, K_{2;t+1}, K_{2;t}, I_{2;t}, O_{2;t}, I_{3;t}]' \quad (24)$$

a výstup

$$y_t = [I_{1;t}, O_{1;t}, I_{2;t}, O_{2;t}, y_t]' \quad (25)$$

Výsledný model bude

$$\begin{aligned} x_{t+1} &= Px_t + Qu_t + R + w_t \\ y_t &= Fx_t + G + v_t \end{aligned} \quad (26)$$

kde matice P, Q, R, F, G obdržíme po dosazení jednotlivých vztahů a w, v jsou poruchové signály.

V tomto modelu

1. odhadneme neznámé koeficienty λ, κ (off-line z apriorních dat - možno průběžně zpřesňovat, nebo odhadovat odděleně pro různé typy dní).
2. odhadujeme stav (průběžně, pomocí Kalmanova filtru).

Potud využití modelu pro průběžný odhad stavu.

5 Závěr

V předložené zprávě je popsán základní přístup k modelování dopravní mikrooblasti. Pro popis byla vybrána nejjednodušší možná mikrooblast, reprezentovaná jedinou trojramennou křižovatkou. Rozšíření pro složitější křižovátku je přímočaré, stejně jako popis mikrooblasti s více křižovatkami. V tomto případě některé z výstupních veličin (intenzity dopravního proudu) budou zároveň vstupy pro sousední křižovatky. Pro popis složitějších mikrooblasti je připravován matematický aparát, umožňující "skládání křižovatek" do mikrooblasti. Tento aparát je založen na maticovém počtu a využití výsledků teorie grafů. Tento přístup bude prezentován v další zprávě.

Pro popis mikrooblasti byl odvozen stavový model, který zachovává lineární vztahy mezi sledovanými veličinami. To je důležité vzhledem k zamýšlenému využití lineárního programování pro optimalizaci řízení. Vlastnosti konečné formy odvozeného stavového modelu jsou pro naše účely velmi vhodné. Úpravy základního stavového modelu (jehož vlastnosti nebyly postačující) vede na automatické odhadování některých parametrů modelu. Toto odhadování bylo prozatím testováno se standardními procedurami Identifikačního toolboxu systému MATLAB, a to s výbornými výsledky. Pro další práci počítáme s využitím vlastních odhadovacích procedur, na jejichž ladění, vzhledem k tomuto konkrétnímu využití, se již pracuje.

Reference

- [1] P. Jirava a P. Slabý, *Pozemní komunikace 10 - Dopravní inženýrství*, Vydavatelství ČVUT Praha, 1997.
- [2] V. Peterka, “Bayesian approach to system identification”, in *Trends and Progress in System Identification*, P. Eykhoff, Ed., pp. 239–304. Pergamon Press, Oxford, 1981.
- [3] Ch. Diakaki, V. Dinopoulou, K. Aboudolas, and M. Papageorgiou, “Deliverable 9: Final system development report, ist-2000-28090”, in *Signal Management in Real Time for urban traffic NETWORKS*. Technical University of Crete, 2002.
- [4] P. Příbyl a R. Mach, *Řídicí systémy silniční dopravy*, Vydavatelství ČVUT Praha, 2003.
- [5] P. Příbyl a M. Svítek, *Inteligentní dopravní systémy*, BEN - technická literatura, Praha, 2001.