

UNIVERZÁLNÍ MODEL DOPRAVNÍHO SYSTÉMU

GENERAL MODEL OF A TRANSPORTATION SYSTEM

Petr Cenek¹

Anotace: Dopravní systémy jsou zpravidla rozsáhlé, geograficky distribuované systémy. Zahrnují různé druhy dopravy (v našich podmínkách zejména silniční a železniční dopravu, kombinovanou dopravu a vnitropodnikovou resp. mezioperační dopravu). Pro všechny druhy dopravy můžeme řešit úlohy řízení a optimalizace procesů od řízení vozidel a dopravních proudů až po optimalizační úlohy plánování dopravních služeb a řízení provozu na dopravní síti. Model dopravního systému vyžaduje množství vstupních údajů, jejichž porizování je nákladné a proto je třeba získané údaje dokonale využít.

Univerzální model dopravního systému může všestranně využívat vstupní údaje a sloužit pro množství aplikací bez ohledu na zvláštnosti každého druhu dopravy, na rozdíl mezi úrovněmi podrobnosti modelu a na typu řešené úlohy řízení. Vhodným nástrojem pro tvorbu takového modelu je objektově orientované programování používající virtuální metody, polymorfismus a dědičnost objektů. V příspěvku jsou ukázány zkušenosti z budování univerzálního modelu dopravního systému a souvisejících optimalizačních metod jak z oblasti matematického programování tak z oblasti řízení dynamických procesů a simulace dopravních a logistických systémů.

Klíčová slova: Dopravní systémy, modelování, optimalizace, simulace, řízení systémů

Summary: Transportation systems are large distributed system. They may deal with various transportation modes (like road or railway transport, combined transports and transport in factories and production plants). Control and optimization problems from control of individual vehicles and transportation flows to optimization of transportation services and traffic in transportation networks are to be solved in all mentioned transportation systems. Model of the transportation system needs vast and expensive input data which should be possibly well exploited.

A universal model of the transportation system can use the input data for a variety of applications without any regard to transportation mode, to differences in the detailed model description and to type of the optimization problem. A suitable tool for creating such a model is object oriented programming using virtual methods, polymorphism and inheritance of objects. The paper presents some experience in building such universal models and corresponding optimization methods of mathematical programming as well as methods of automatic control and simulation of transportation and logistic systems. .

Key words: Transportation systems, modeling, optimization, simulation, system control

¹ prof. Ing. Petr Cenek, CSc., Žilinská univerzita, Fakulta riadenia a informatiky, Katedra dopravných sietí, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, tel.: +421 41 513 42 13, fax +421 41 56 51 015, e-mail: petr@frdsa.uniza.sk

1. ÚVOD

V různých odvětvích dopravy stejně jako v mnoha příbuzných oborech jako jsou poštovní služby, logistické služby a jiné síťově orientované systémy je třeba řešit množství optimalizačních úloh spojených s problematikou řízení takovýchto systémů. Obecně můžeme konstatovat, že vytváříme model, který nějakým způsobem reprezentuje zvolený řízený systém. Obvykle se však setkáváme se stavem, že máme jeden reálný systém a podle typu optimalizační úlohy vytváříme množství různých modelů, které svou strukturou co nejlépe vyhovují řešené úloze. Otázkou je, zda uvedený způsob tvorby modelů je efektivní a zda by nebylo vhodnější pokusit se navrhnout model pokud možno obecný, který by vyhověl většímu počtu různých aplikací. Tento problém začne být zajímavý v okamžiku, kdy se neuspokojíme s pouhým numerickým vyřešením optimalizační úlohy z matematického hlediska, ale budeme se snažit zadání i výsledky co nejlépe prezentovat uživateli. Potřebné uživatelské prostředí (často založené na grafickém zobrazení) je možné vybudovat a model naplnit vstupními údaji jen s poměrně vysokými náklady a proto je požadavek vícenásobného využití vloženého úsilí opodstatněný.

Dříve než se budeme věnovat konkrétním problémům tvorby modelu, můžeme se krátce zamyslet nad všeobecnou metodikou tvorby modelů. Model je určitou formou zobrazení systému, přičemž systém je vybranou částí (množinou prvků a vazeb mezi nimi) objektivně existující reality. Zde může vzniknout první otázka: máme-li objektivně existující systém (například železniční síť, lokomotivy, vozy, nebo silniční síť, osobní a nákladní automobily apod.) proč potřebujeme tuto objektivně existující realitu zobrazovat různými typy modelů jen proto, abychom vyhověli potřebám řešení určité úlohy. Odpověď samozřejmě existuje v potřebě zajištění efektivnosti modelu pro danou úlohu.

Dalším problémem při budování modelu je abstrakce a s ní související úroveň podrobnosti popisu. Při abstrakci vybíráme jen vlastnosti systému, které jsou relevantní pro danou úlohu a nevýznamné vlastnosti zanedbáváme. Při řízení provozu v systému železniční dopravy můžeme například na úrovni optimalizace v oblasti plánování brát do úvahy jen intenzity dopravních proudů (počet vlaků za jednotku času) zatímco při modelování dynamiky jízdy vlaku se musíme věnovat i hmotnosti hnacích vozidel a vozů, výkonům motoru a brzd, profilu trati apod. Otázkou opět zůstává, zda je potřebné vytvářet specializované modely pro každou aplikaci anebo se můžeme spokojit s jedním modelem za cenu větších paměťových nároků a nižší efektivnosti.

Odpověď na uvedené otázky zřejmě není jednoznačná a ve velké míře musí respektovat všechny požadavky kladené na použití takového modelu. Ve výuce samozřejmě chceme model co nejnázornější a rychle použitelný i za cenu určité nižší efektivnosti řešení úloh, které jsou pro demonstraci školních případů obvykle malé a na efektivnosti jejich řešení prakticky nezáleží. Pro profesionální řešení prakticky významných úloh je hledisko názornosti zřejmě i nadále platné, musíme však brát zřetel i na efektivnost modelu z pohledu řešení zadaných úloh. Zřeknutí se názornosti a vytvoření nového specializovaného modelu vhodného právě pro řešenou úlohu zřejmě není cílem, kterého bychom chtěli dosáhnout, ale spíše hledání cest jak zachovat určitou obecnost modelu při dosažení dostatečné efektivnosti při jeho využití.

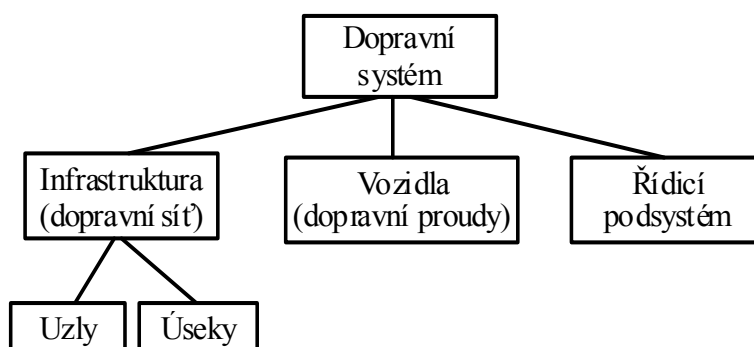
Takové možnosti jsou k dispozici při použití objektově orientovaného programovacího prostředí a využití principu virtuálních metod, dědičnosti a polymorfizmu objektů.

2. DOPRAVNÍ SYSTÉM

Máme-li se zabývat možnostmi modelování dopravního systému, bude potřebné rozebrat i jeho strukturu a zamyslet se nad jednotlivými objekty a jejich vlastnostmi (atributy). Dopravní systém se skládá ze tří základních částí:

- dopravní síť, která představuje pevnou část dopravního systému,
- vozidel resp. dopravních proudů, které jsou pohyblivou částí systému,
- řídicího podsystemu, který řídí bezkonfliktní provoz systému.

Dopravní síť může být dále dělena na uzly a úseky sítě. Vozidla anebo dopravní proudy se pohybují po úsecích sítě a dopravní síť (infrastruktura) je proto nutnou částí každého modelu dopravního systému.



Zdroj: Autor

Obr. 1 – Hrubé schéma dopravního systému

Řídicím podsystemem dopravního systému je často operátor (lidský činitel), který může používat podporu počítače anebo může být počítačem nahrazen při řešení některých rozhodovacích úloh (metodami matematického programování, teorie grafů, umělé inteligence, simulacemi anebo interaktivní práci s počítačem).

Podrobnější popis dopravního systému je ukázán na obr.2, kde jsou také ukázány možné typy atributů jednotlivých objektů dopravního systému v závislosti na typu modelu.

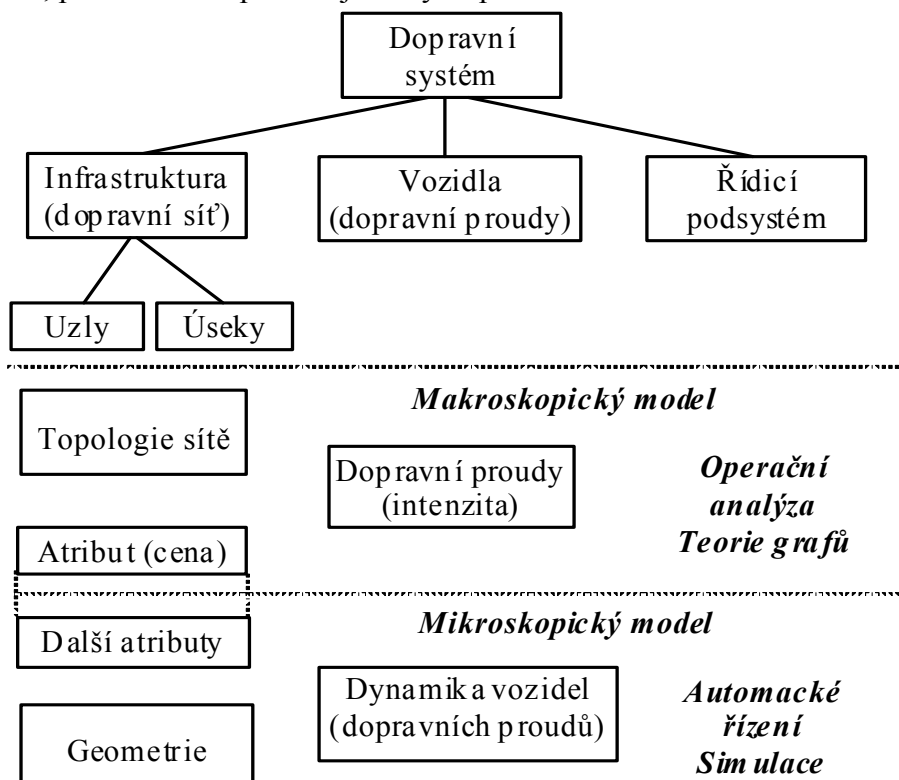
Makroskopický model v horní části obrázku ukazuje základní (povinné) části modelu, kterými jsou

- topologie dopravní sítě (informace o úsecích sítě) a obvykle alespoň jeden atribut úseků;
- údaje o intenzitě dopravních proudů.

Jak dopravní síť tak i dopravní proudy jsou tedy popisovány velmi zjednodušeně, což snižuje paměťové nároky modelu.

Mikroskopický model vyžaduje daleko více atributů pro jednotlivé prvky systému, například sklonové poměry komunikace, kinematické a dynamické vlastnosti dopravního proudu resp. vozidel, grafické atributy popisující tvar komunikace (směrové vedení) anebo tvar vozidla apod. Všechny doplňující atributy mikroskopického modelu jsou přebytné

z pohledu makroskopického modelu, zvětšují jeho paměťové nároky, ale nejsou významné z hlediska efektivity modelu při vyhledávání údajů. Podrobnější model tedy můžeme používat obecně, pokud nám nepřekáží jeho vyšší paměťová náročnost.



Zdroj: Autor

Obr. 2 – Mikroskopický a makroskopický model dopravního systému

2.1. Dopravní síť

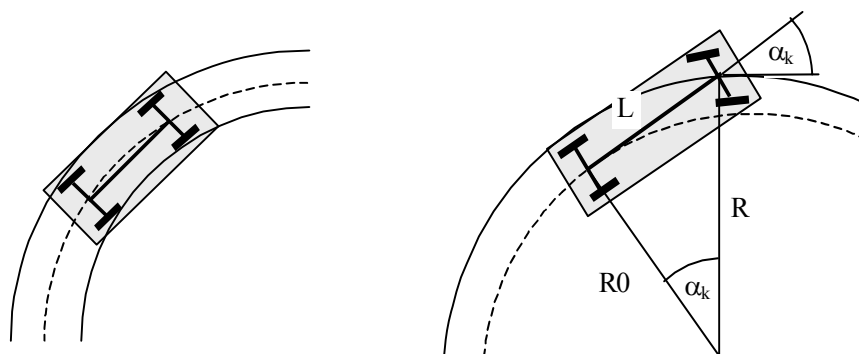
Dopravní síť je povinnou částí modelu. Kromě popisu topologie sítě může obsahovat libovolný počet atributů jednotlivých prvků sítě podle potřeb konkrétní aplikace. Všechny tyto atributy budou uloženy v databázovém systému a mohou být obsaženy i ve vnitřním modelu sítě v počítači, pokud to nevyvolá problémy z hlediska paměťových nároků. V opačném případě je možné vytvoření vnitřního modelu vázat na potřeby určité úlohy a vybrat z databáze jen údaje (atributy) potřebné pro řešení této úlohy. Toho můžeme dosáhnout parametrizací procedury pro vytvoření vnitřního modelu aniž bychom měnili základní strukturu vytvářeného modelu sítě. Všechny přístupové metody k prvkům sítě (výběr úseků sítě a jejich atributů) proto mohou být zachovány ve standardně definovaném tvaru.

2.2. Vozidla a dopravní proudy

Dopravní síť přináší zejména informace o topologii a o attributech prvků sítě a model této části dopravního systému může být zcela obecný, nezávislý na druhu dopravy resp. na úrovni podrobnosti modelu. Zcela jiná je situace pro pohyblivou část dopravního systému, u které jak podrobnost modelu tak druh dopravy mohou hrát významnou roli a podstatně ovlivnit budovaný model. Jak už bylo ukázáno v úvodní části, v makroskopickém modelu se

spokojujeme s pouhou intenzitou dopravního proudu jako se statickou skalární veličinou a intenzitu proto můžeme používat jednotně nezávisle na konkrétním druhu dopravy.

Jiná situace je při budování mikroskopického modelu. Na obrázku 3 je ukázáno rozdílné chování vozidel silničních a železničních.



Zdroj: Autor

Obr. 3 – Kinematika pohybu železničního a silničního vozidla

Zatímco pohyb železničního vozidla je poměrně jednoduše popsán směřováním trati (obě nápravy sledují zadaný tvar trati), u silničních vozidel bude pouze přední řízená náprava sledovat zadanou trajektorii a zadní náprava bude vlečena, tzn. bude sledovat přední nápravu a pohybovat se ve směru okamžité polohy podélné osy vozidla.

Máme tedy dva odlišné typy vozidel, které zdánlivě vyžadují zcela odlišné modely pro popis jejich chování, tj. pro modelování jejich

- kinematiky,
- dynamiky,
- konfliktů.

Tato potřeba je však alespoň zčásti jen zdánlivá, protože některé rozdíly je možné respektovat použitím virtuálních metod objektů a pomocí nich vhodně modelovat pohyb železničních a silničních vozidel. Model dynamiky pohybu může být nezávislý na druhu dopravy, pokud se omezíme na řešení základní pohybové rovnice a na stanovení ujeté dráhy, rychlosti a případně zrychlení na čase. Jiným problémem zůstává zobrazení vozidla ve vypočtené poloze a v tomto případě je třeba pomocí virtuálních metod správně namodelovat kinematiku vozidla.

Řešení konfliktů je poslední částí modelu vozidla a i v tomto případě bude třeba respektovat rozdíly odpovídající reálnému stavu provozu pro daný druh dopravy. V železniční dopravě je provoz řízen signalizačním a zabezpečovacím zařízením a model takového řídicího systému a reakcí vozidla na jeho příkazy bude tedy použit v železniční dopravě. V silniční dopravě je situace o mnoho složitější. Vozidla se mohou předjíždět, musí respektovat dopravní předpisy případně respektovat řízení křižovatek světly anebo dopravním značením. Každé vozidlo je autonomní jednotka řízená řidičem a spolupracující s ostatním vozidly při řešení vznikajících konfliktů. Namodelování takového chování vozidla se řidičem je asi nejnáročnější částí modelu vozidla. I pro vozidla však můžeme navrhnout určité zevšeobecnění, kdy dynamika vozidla (nezávislá na druhu vozidla) může být řízena zadáním rychlostního profilu, který určuje maximální rychlost vozidla v závislosti na ujeté vzdálenosti,

přičemž se může dynamicky měnit podle okamžitého stavu provozu. Nastavení rychlostního profilu zabezpečuje virtuální metoda naprogramovaná v soulase s pravidly provozu daného druhu dopravy.

2.3. Řídicí podsystém

Pokud se jedná o makroskopický model, bude řídicí podsystém představovat vhodná optimalizační metoda, příslušná pro řešení zadané úlohy jako jsou například:

- hledání nejkratších cest,
- dopravní úloha,
- trasování vozidel (prostorové plány),
- jízdní řády (časové plány),
- umíst'ování středisek,
- návrh sítí.

V mikroskopickém modelu řídicí podsystém řídí pohyb jednotlivých vozidel. K jeho úkolům patří:

- vyhledávání cesty v síti,
- nastavování rychlostního profilu vozidla,
- řešení konfliktů s ostatními účastníky na základě pravidel provozu na síti.

3. ZÁVĚR

V příspěvku byla ukázána možnost budování obecného modelu dopravního systému založená na využití možností objektivě orientovaného programovacího prostředí. I když mnoho modelovaných vlastností je závislých na druhu dopravy a na podrobnosti modelu, většinu těchto rozdílů je možné postihnout využitím virtuálních metod, dědičnosti a polymorfizmu objektů modelu. Výsledkem je model, který může být využíván v řadě aplikací bez nutnosti dodatečných úprav, čímž se dosáhne značná úspora času a nákladů při vývoji nových aplikací. Současně nabízí systém profesionální uživatelské prostředí s možností přehledného a srozumitelného zobrazení zkoumaného dopravního systému i výsledků řešení optimalizačních úloh.

Nevýhodou navrhovaného řešení je zpravidla větší paměťová náročnost modelu, která pramení z potřeby ukládat množství atributů nepotřebných v konkrétní aplikaci. Tento nedostatek je možné alespoň částečně eliminovat výběrem jen některých atributů podle zadaného předpisu tak, aby odpovídaly potřebám aktuální aplikace.

Na druhé straně efektivnost práce s modelem zejména vyhledávání informací nemusí být obecností modelu významně zhoršena a je závislá především na struktuře vnitřního modelu dopravní sítě v počítači. Údajová struktura pro obecný model může být navržena bez ohledu na její náročnost a může být dokonale implementována a odzkoušena a je tedy naděje na spíše vyšší efektivnost oproti ad hoc budovaným modelům, kdy obvykle nezůstává dostatek času na její návrh a často chybějí i potřebné znalosti a zkušenosti z oblasti údajových struktur a budování modelů.

*Tento příspěvek byl připravený s podporou výzkumného grantu Slovenské grantové agentury
VEGA 1/3375/06*

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CENEK, P. Vehicle Kinematics and Micro-simulation Models. *Journal of Information, Control and Management Systems*, Vol.1, No.1, FRI-ŽU, Žilina, 2003, pp. 7-14.
- [2] CENEK, P. The Simulation of Transportation Processes in Logistics. In *Proceedings of IFAC MCPL 2000 Conference*, Grenoble, 2000.
- [3] JANÁČEK, J. Analysis and Structure Design of Distribution Systems. In *Proceedings of the International Conference „Strategic Management and its Support by Information Systems“*, 1999, pp. 120-124.
- [4] JÁNOŠÍKOVÁ, Ľ., SADLOŇ, Ľ., CENEK, J. Model of Intelligent Transportation Infrastructure. *Journal of Information, Control and Management Systems*, Vol.1, No.1, FRI-ŽU, Žilina, 2003, pp. 47-56.
- [5] KAVIČKA, A., JÁNOŠÍKOVÁ, Ľ. Models of a Trackage Layout and Estimation of a Shortest Path. *Komunikácie, Scientific Letters of the University of Žilina*, No. 2, Žilina, 1999, pp. 9-21.
- [6] KINDLER, E., CHOCHOL, S., PROKOP, K. Systems of Material Flow. *International Journal of General Systems*, Vol. 9, 1983, No. 2, pp. 217-224.
- [7] KLINGMAN, D., SCHNEIDER, R. S. Microcomputer Based Algorithms for Large Scale Shortest Path Problems. *Discrete applied mathematics and combinatorial operations research*. Vol.13, No.2, 3, 1986.
- [8] MAGNANTI, T. L., WONG, R. T. Network and Transportation Planning: Models and algorithms. *Transportation Science*, 1984, pp.1-55.
- [9] Die Traktrix, eine nicht algebraische Kurve.
- [10] <http://www.fh-lueneburg/u1/gym03/expo/jonatur/wisen/mahte/kurven/taktrix.htm>.

Recenzent: prof. Ing. Vlastislav Mojžíš, CSc.
Univerzita Pardubice, DFJP, Katedra technologie a řízení dopravy