

NAVRHOVÁNÍ ŘÍZENÍ SVĚTELNÝCH KŘÍŽOVATEK PETRIHO SÍTĚMI

TUREK, Michal, (CZ)

Abstrakt. Příspěvek se zabývá navrhováním logiky řízení světelných křižovatek Petriho sítěmi. V první části příspěvku je uvedeno definování problému a proveden teoretický rozbor Petriho sítí. V další části příspěvku je proveden návrh logiky řízení světelné křižovatky na základě Petriho sítí. V závěrečné části je provedeno vyhodnocení.

1 Úvod

Zvyšující se zájem o individuální automobilovou dopravu ve 20. století představuje vzrůstající počty vozidel na jednoho obyvatele, což však na přetížených komunikacích a křižovatkách přináší zpomalování, resp. zastavování vozidel vedoucího ke vzniku kongescí, které jsou příčinou enormního a nadbytečného znečišťování ovzduší a souvisejících negativních vlivů. Z hlediska vzniku kongescí jsou nejkritičtějšími místy ve městech křižovatky a jejich okolí, situace může být kritická především u neřízených křižovatek. Za účelem odstraňování uvedených problémů na křižovatkách se vypracovávají návrhy úprav ve více variantách s dopravně ekonomickým posouzením vzhledem k životnosti řešení. Na základě dopravního a ekonomického posouzení je nutné vyhledat z dlouhodobého hlediska co nejpříznivější řešení.

2 Motivace

Vzhledem k tomu, že Petriho síť představují nástroj určený k modelování a analýze procesů, lze předpokládat jejich možné uplatnění i při návrhu řídicí logiky světelných křižovatek. Řídicí logika světelných křižovatek musí z důvodu zachování základního principu světelného řízení křižovatek umožnit současné jízdy pouze nekolizním, resp. podmíněně kolizním dopravním proudům, aby byla zajištěna bezpečnost a plynulost provozu.

V případě, že pro návrh řídicí logiky využijeme kromě uznávaných konvenčních přístupů [1], příp. [2], také Petriho sítí, pak můžeme použít libovolnou Petriho síť, protože veškeré Petriho sítě obsahují prvky, jimiž lze modelovat všechny rozhodující aspekty světelně řízené křižovatky (návěstidla, světelné signály, změny světelných signálů).

Z široké skupiny Petriho sítí lze pro návrh logiky řízení světelných křižovatek využít především P/T Petriho sítí, protože obsahují pouze prvky, resp. vlastnosti těchto prvků, které pro návrh řídicí logiky postačují. Další studium problematiky pak může poukázat na složitější typy Petriho sítí, kterých bude muset být využíváno. Při vytváření struktury P/T Petriho sítě se prvky sestavují tak, aby prostřednictvím pravidel pro uskutečňování přechodů byl splněn základní princip světelného řízení křižovatek, tj. zajištěno správné přepínání světelných signálů na návěstidlech světelného signalizačního zařízení a koordinace tohoto přepínání u všech světelných návěstidel pro jednotlivé směry.

Na základě výše uvedených informací bude v předloženém článku pozornost věnována popisu P/T Petriho sítí a pravidel pro uskutečňování přechodů v P/T Petriho sítích.

3 Petriho síť

Petriho sítěmi je označována široká třída diskretních matematických modelů, které umožňují popisovat specifickými prostředky řídicí toky a informační závislosti uvnitř modelovaných systémů. Více než čtyřicetiletá historie Petriho sítí je charakterizována postupným rozvojem jednotlivých Petriho sítí, při kterém byly na základě jednoduchých Petriho sítí vytvářeny složitější Petriho sítě, jenž jsou definovány jako Petriho síť vysoké úrovně.

Petriho síť vysoké úrovně umožňují zohlednění mnoha aspektů, např. zahrnutí pojmu času, resp. trvání, vytváření hierarchické struktury nebo provázání různých částí systému (např. světelných signálů na světelných signalizačních zařízeních a intenzit jednotkových vozidel) prostřednictvím různých typů tokenů, čímž bude docíleno dokonalejší úrovně modelování reálných problémů.

Přehled Petriho sítí vysoké úrovně [5]:

- P/T Petriho síť s inhibičními hranami,
- P/T Petriho síť s prioritami,
- časované (Timed) Petriho síť,
- barevné (Coloured) Petriho síť,
- hierarchické (Hierarchical) Petriho síť
- objektové (Objected Oriented) Petriho síť.

V dalším textu budou podrobněji popsány P/T Petriho sítě, které mohou být použity pro návrh logiky řízení světelných křižovatek. Uvedený popis P/T Petriho sítí, grafické vyjádření P/T

Petriho síť a definování pravidel pro uskutečňování přechodů v P/T Petriho sítích lze v určité míře vztáhnout na libovolnou Petriho síť.

3.1 P/T Petriho síť

P/T Petriho síť tvoří místa (places), přechody (transitions), orientované hrany (arcs) a značky (tokens). Každému místu p je přiřazena kapacita k udávající maximální počet tokenů, který se v místě p může současně nacházet a každé hraně a je přiřazena násobnost w udávající maximální počet tokenů, který se po hraně a může současně přesunovat. Kapacity míst a násobnosti hran jsou představovány ohodnocením míst, resp. ohodnocením hran. Místo p bez ohodnocení je považováno za místo s neomezenou kapacitou. Hrana a bez ohodnocení je považována za jednoduchou (s násobností 1).

Počáteční stav P/T Petriho síť je dán výchozím značením, při kterém se zajišťuje splnění vstupních míst přechodů, které mají být provedeny. Uskutečněním proveditelných přechodů se přesouvají tokeny do výstupních míst uskutečněných přechodů, čímž dochází ke změně stavu P/T Petriho síť. Výstupní místa uskutečněných přechodů jsou zároveň vstupními místy přechodů, které mají být teprve uskutečněny. Uskutečněním dalších přechodů dochází opět ke změně stavu P/T Petriho síť. Uvedený princip se neustále opakuje a může být ukončen, jestliže z místa nevedou žádné orientované hrany.



Obrázek 1: Příklad změny stavu v P/T Petriho síti

Změny stavů P/T Petriho síť se uskutečňují podle následujících zásad [5]:

- stav síť je určen značením, tj. počtem tokenů v každém místě,
- místo p patří do vstupní množiny přechodu t , jestliže z místa p vede orientovaná hrana do přechodu t ,
- místo p patří do výstupní množiny přechodu t , jestliže z přechodu t vede orientovaná hrana do místa p ,
- přechod t je proveditelný, jestliže pro každé místo p vstupní množiny přechodu t platí, že obsahuje alespoň tolik tokenů, kolik činí násobnost hrany vedoucí z místa p do přechodu t ,
- přechod t je proveditelný, jestliže pro každé místo p výstupní množiny přechodu t platí, že násobnost hrany vedoucí z přechodu t do místa p nepřevyšuje kapacitu místa p ,

- při změně stavu se nejdříve počet tokenů v každém vstupním místě p přechodu t zmenší o násobnost hrany w spojující místo p s p řechodem t a následně se počet tokenů v každém výstupním místě p přechodu t zvětší o násobnost hrany w spojující přechod t s místem p .

4 Software pro sestavení Petriho sítí

Při návrhu světelného řízení byl využit pro sestavení a simulaci Petriho sítě software Snoopy a Pipe2. V následující části příspěvku bude provedeno seznámení s uvedenými software.

4.1 Software Snoopy

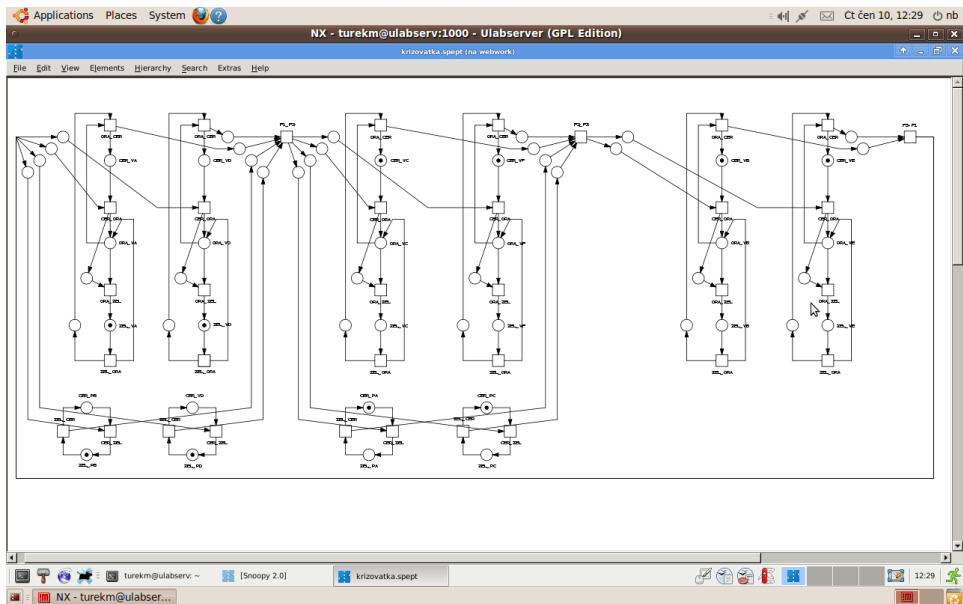
Při spuštění software se zadává v nabídce Templates (šablony) typ Petriho sítě, se kterou bude dále pracováno. Po zadání typu Petriho sítě se kromě základní obrazovky umožňující práci se souborem zobrazí také obrazovka umožňující sestavení Petriho sítě prostřednictvím přehledného menu a p racovní plochy. Výběrem příslušné položky z menu se sestavují jednotlivé prvky Petriho sítě na p racovní plochu, přičemž u každého místa je možné definovat Name (název), Marking (značení), Comment (komentář) a Graphic (grafickou podobu), u každého přechodu je možné definovat Name (název), Comment (komentář) a Graphic (grafickou podobu), pro každou hranu je možné definovat Multiplicity (násobnost), Comment (komentář) a Graphic (grafickou podobu). Po sestavení Petriho sítě se výběrem položky Start Anim-mode zadávají parametry simulace Refresh (obnovení), Duration (trvání) Stepping (posílení) a následně může dojít ke spuštění simulace. Simulace v software Snoopy je velmi přehledná, protože se tokeny přesouvají po jednotlivých hranách a jsou zvýrazněny červenou barvou.

Pro názornost bude nyní uvedeno pracovní prostředí software Snoopy (Obr. 2).

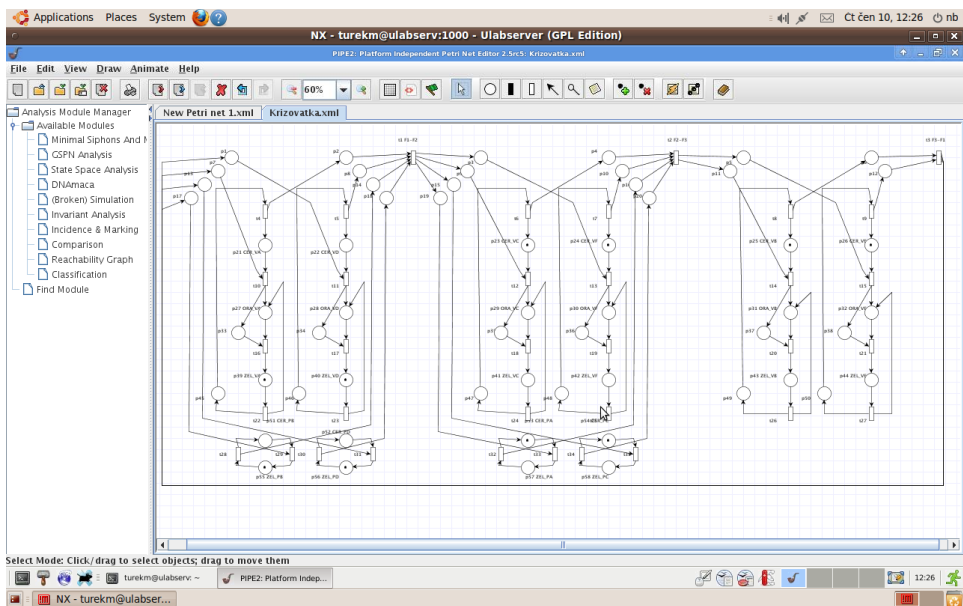
4.2 Software Pipe2

Při spuštění software se zobrazí menu a obrazovka rozdělená na dvě části, v jedné části se nachází Analysis Module Manager umožňující rozšířenou analýzu Petriho sítí a druhá část představující pracovní plochu, v níž se Petriho sítí sestavují. Výběrem příslušné položky z menu se sestavují odpovídající prvky Petriho sítě na pracovní plochu, přičemž u každého místa je možné definovat Name (název), Marking (značení), Capacity (kapacita), u každého přechodu je možné definovat Name (název), Rate (sazba) a Timing (časování), pro každou hranu je možné definovat Multiplicity (násobnost). Po sestavení Petriho sítě se definuje přechod, po němž dojde k ukončení simulace, a následně může dojít ke spuštění simulace. Při simulaci v software Pipe2 nedochází k přesunu tokenů po hranách, pouze se mění počty tokenů v jednotlivých místech, což snižuje přehlednost.

Pro názornost bude nyní uvedeno pracovní prostředí software Pipe2 (Obr. 3).



Obrázek 2: Pracovní prostředí software Snoopy



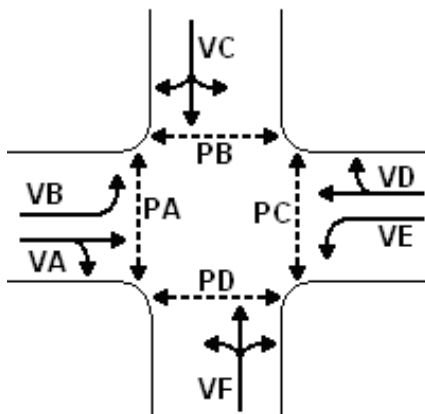
Obrázek 3: Pracovní prostředí software Pipe2

5 Návrh řízení světelné křižovatky Petriho sítěmi

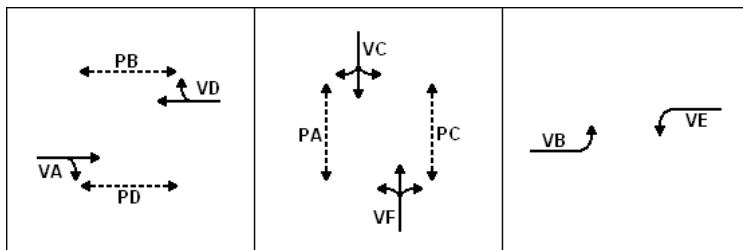
Za účelem dalšího zkoumání, kterým se budu zabývat v rámci disertační práce, byla navržena logika řízení světelné křižovatky prostřednictvím Petriho sítí. Kroky, které je nutné při návrhu logiky řízení světelných křižovatek provést, jsou popsány v následující části příspěvku.

5.1 Analýza vstupních podkladů

Pro návrh logiky řízení světelné křižovatky byly zohledněny následující vstupní podklady: schéma vzorové křižovatky (Obr. 4) a fázové schéma (Obr. 5), prostřednictvím kterého se zajišťují časové intervaly, v nichž mají současně volno určité, zpravidla nekolizní dopravní pohyby na křižovatce. Pro návrh světelného řízení je pochopitelně zapotřebí ještě celá řada údajů, ty však s návrhem řídicí logiky nesouvisí.



Obrázek 4: Schéma vzorové křižovatky



Obrázek 5: Fázové schéma vzorové křižovatky

5.2 Sestavení Petriho sítě

Před sestavením Petriho sítě byl stanoven význam prvků v zamýšlené Petriho síti. Místa v Petriho síti budou představovat světelné signály na návěstidlech SSZ, přechody v Petriho síti budou představovat okamžiky, při kterých dochází k přepínání světelných signálů, orientované hrany v Petriho síti umožňují realizovat změny stavů a aktuální poloha tokenu bude reprezentovat aktuální návěstní znak.

Při sestavování Petriho sítě se vychází z fázového schématu, v tomto případě se jednalo o fázové schéma uvedené na obrázku 5. Nejdříve byla sestavena část Petriho sítě představující první fázi, resp. světelné signály na návěstidlech pro dopravní proudy, které se v první fázi vyskytují, následně byla sestavena část Petriho sítě představující druhou fázi, resp. světelné signály na návěstidlech pro dopravní proudy, které se vyskytují ve druhé fázi a část Petriho sítě představující třetí fázi, resp. světelné signály na návěstidlech pro dopravní proudy, které se vyskytují ve třetí fázi. Na závěr byly části Petriho sítě propojeny tak, aby mohlo docházet ke střídání fází v rámci cyklu.

Sestavená Petriho síť, do které byla doplněna světelná signalizace příslušných světelných signálů v jednotlivých fázích prostřednictvím tokenů (počáteční značení), je uvedena na obrázku 6.

Návrh řídicí logiky spočívá ve dvou etapách:

1. návrh správných posloupností jednotlivých světelných signálů na návěstidle,
2. návrh správných posloupností jednotlivých světelných signálů u jednotlivých návěstidel zajišťující správné přechody mezi fázemi.

V první etapě bylo zajištěno, že po světelném signálu zeleného světla bude zařazen světelný signál oranžového světla a světelný signál červeného světla. Dále bylo zajištěno, že po světelném signálu červeného světla bude zařazen světelný signál oranžového světla a světelný signál zeleného světla. Na obrázcích 7. a 8. je uvedeno, jak pomocí P/T Petriho sítě navrhnout správnou aktivaci návěstních znaků na návěstidle.

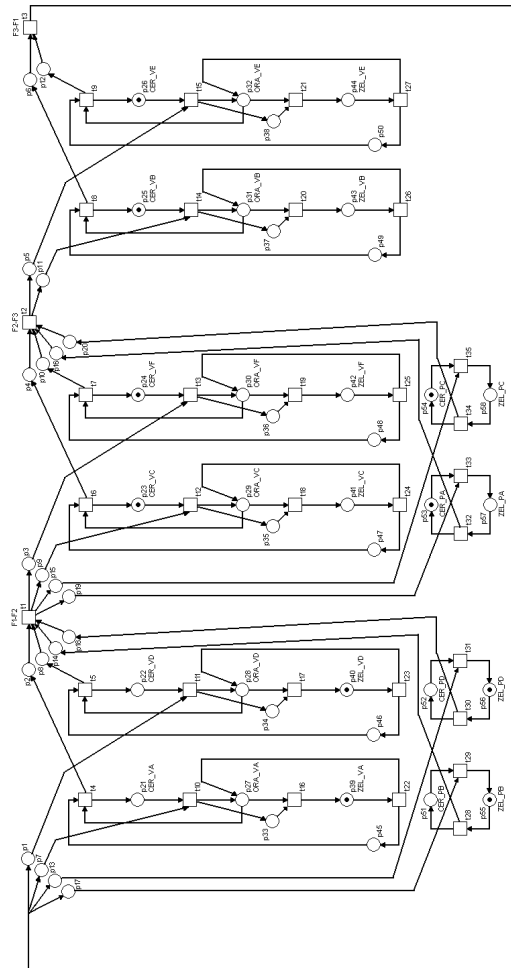
Komentář k principu uvedeném na obrázku 7

Po světelném signálu zeleného světla p_{39} se prostřednictvím přechodu t_{22} přesouvá token do místa představujícího světelný signál oranžového světla p_{27} a doplňujícího místa p_{45} , následně může dojít pouze k přechodu t_4 , při kterém se token přesouvá do místa představujícího světelný signál červeného světla p_{21} .

Komentář k principu uvedeném na obrázku 8

Po světelném signálu červeného světla p_{21} se prostřednictvím přechodu t_{10} přesouvá token do místa představujícího světelný signál oranžového světla p_{27} a doplňujícího místa p_{33} , následně může dojít k přechodu t_{16} , při kterém se token přesouvá do místa představujícího světelný signál zeleného světla p_{39} .

V popsaných principech se vyskytují doplňující místa p_{33} a p_{45} , která slouží k tomu, aby v daném časovém okamžiku mohly nastat pouze očekávané přechody, resp. očekávané

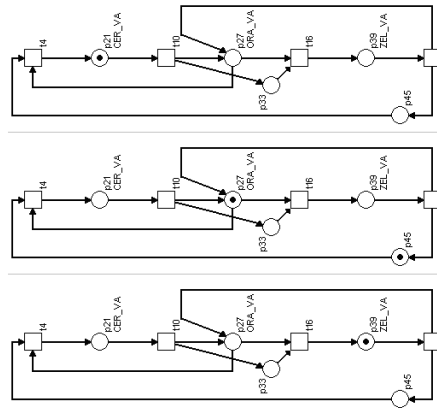


Obrázek 6: Návrh řídicí logiky světelné křižovatky v P/T Petriho síti

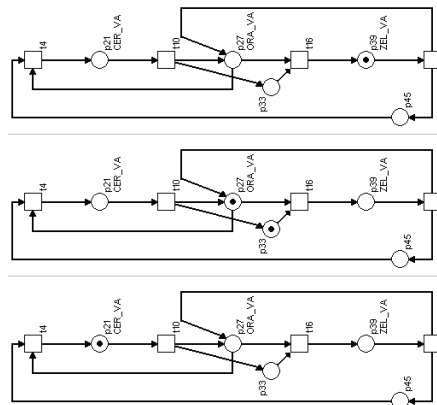
změny světelných signálů. Nemůže tedy dojít k situaci, že po světelném signálu zeleného světla bude zařazen světelný signál oranžového světla a světelný signál zeleného světla, namísto červeného, resp. k situaci, že po světelném signálu červeného světla bude zařazen světelný signál oranžového světla a světelný signál červeného světla, namísto zeleného.

Kromě částí Petriho sítě zajišťujících správnou řídicí logiku týkající se jednotlivých návěstidel v první, druhé a třetí fázi, se v sestavené Petriho síti nacházejí doplňující místa, jež zajišťují správnou funkci logiky řízení světelné křižovatky při přechodech mezi jednotlivými fázemi.

Ve druhé etapě bude zajištěno, aby signály zeleného světla v následující fázi mohly



Obrázek 7: Změna světelného signálu zeleného světla

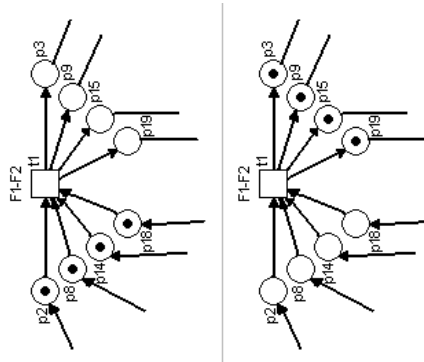


Obrázek 8: Změna světelného signálu červeného světla

nastat až poté, co v předchozí fázi nastaly signály červeného světla, prostřednictvím principu uvedeného na obrázku 9.

Komentář k principu uvedeném na obrázku 9

Současně s umístěním tokenů do míst představujících světelný signál červeného světla pro dopravní proudy, které vyskytují v předchozí fázi, se přesouvají tokeny také do doplňkových míst p_2, p_8, p_{14}, p_{18} , jež představují vstupní místa přechodu t_1 . Uskutečněním přechodu t_1 je následně realizována změna fází. Po změně fází se nacházejí tokeny v doplňkových místech p_3, p_9, p_{15}, p_{19} , jež představují výstupní místa přechodu t_1 a mohou tak nastat světelné signály zeleného světla pro dopravní proudy, které se vyskytují v následující fázi.



Obrázek 9: Změna fází

V popsaném principu se vyskytují doplňující místa p_2, p_8, p_{14}, p_{18} a p_3, p_9, p_{15}, p_{19} , která slouží k tomu, aby v daném časovém okamžiku mohly nastat pouze očekávané přechody, resp. očekávané změny světelných signálů při přechodu mezi jednotlivými fázemi.

Závěr

Pro návrh logiky řízení světelných křižovatek splňující základní princip světelného řízení křižovatek a zajišťující správné přepínání světelných signálů na návštěvnicích světelného signalizačního zařízení byla sestavena P/T Petriho síť v software Snoopy a Pipe2, následně byla spuštěna simulace sestavené P/T Petriho sítě.

Vybrané software mají z hlediska ovládání obdobné vlastnosti. Významný rozdíl mezi software se nachází v případě modelovacích schopností, protože software Pipe2 umožňuje stanovení kapacity jednotlivých míst a časování jednotlivých přechodů, což může být přínosné především při vytváření složitějších návrhů. Při simulaci vykazuje větší přehlednost a lepší názornost software Snoopy, protože se po hranách přesunují červeně označené tokeny. V případě software Pipe2 se mění pouze počet tokenů v jednotlivých místech Petriho sítě a nedochází k přesunu tokenů po hranách Petriho sítě.

Postupným prohlubováním a obohacováním návrhu logiky řízení světelných křižovatek prostřednictvím Petriho sítí, ve kterých bude zohledněna širší množina vstupních podkladů (např. intenzity jednotkových vozidel, trvání světelných signálů), bude možné docílit vytváření signálních plánů v software Pipe2. Petriho sítě tedy mohou nabízet další alternativní způsob, pomocí kterého je možné navrhovat světelné řízení křižovatek.

Literatura

- [1] ČERNÝ, J. – KLUVÁNEK, P.: Základy matematickej teorie dopravy. Bratislava: VEDA, 1990. ISBN 80-224-0099-8
- [2] ČERNÝ, J. – ČERNÁ, A.: Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech. Pardubice: Institut J. Pernera, 2004. ISBN 80-86530-15-9
- [3] TUREK, M.: Návrh světelného řízení křižovatky Dolní–Kralická v Prostějově. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009. (Diplomová práce)
- [4] VONDRÁK, I.: Metody byznys modelování. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2004
- [5] MARKL, J.: Petriho síť I. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009.
- [6] KOCHANÍČKOVÁ, M.: Petriho síť. Olomouc: Univerzita Palackého, 2008.
- [7] Snoopy. Oficiální stránka. Dostupné na internetu: <http://www-dssz.informatik.tu-cottbus.de/index.html?software/snoopy.html>
- [8] Pipe2. Oficiální stránka. Dostupné na internetu: <http://pipe2.sourceforge.net>

Kontaktná adresa

Michal TUREK (Ing.),
Institut dopravy FS VŠB-TU Ostrava,
17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba,
michal.turek@atlas.cz

Otvorený softvér vo vzdelávaní, výskume a v IT riešeniach

1.–4. júla 2010, Žilina, Slovensko

Organizátori: Miloš Šrámek, Spoločnosť pre otvorené informačné technológie
Tatiana Šrámková, Katedra fyziky, FEI STU Bratislava
Michal Kaukič, Aleš Kozubík, Tomáš Majer, Žilinská univerzita
Lýdia Gábrisová, Ľubica Micháľková, Žilinská univerzita
Juraj Bednár, Digmia, Slovensko
Miloslav Ofúkaný, GeoCommunity, Slovensko
Peter Mráz, Kremnica
Slavko Fedorik, SOŠ elektrotechnická, Poprad
Peter Štrba, Spojená škola/Gymnázium M. Galandu, Turčianske Teplice
Ladislav Ševčovič, FEI, Technická univerzita v Košiciach

Editori: Michal Kaukič
Miloš Šrámek
Slavko Fedorik
Ladislav Ševčovič

Recenzenti: Mgr. Juraj Bednár
Mgr. Rudolf Blaško, PhD.
RNDr. Ján Buša, CSc.
Ing. Slavko Fedorik
Ing. Karol Grondžák, PhD.
Mgr. Michal Kaukič, CSc.
Ing. Tomáš Kliment
RNDr. Aleš Kozubík, PhD.
Mgr. Juraj Michálek
doc. RNDr. Štefan Peško, CSc.
Ing. Pavel Stříž, PhD.
RNDr. Ladislav Ševčovič
Ing. Michal Žarnay, PhD.

Vydavateľ: Spoločnosť pre otvorené informačné technológie – SOIT, Bratislava

ISBN 978-80-970457-0-8

Sadzba programom pdfT_EX Ladislav Ševčovič

Copyright © 2010 autori príspevkov. Príspevky neprešli redakčnou ani jazykovou úpravou.

Ktokoľvek má dovolenie vyhotoviť alebo distribuovať doslovný opis tohoto dokumentu alebo jeho časti akýmkoľvek médiom za predpokladu, že bude zachované oznámenie o copyrighte a o tom, že distribútor príjemcovi poskytuje povolenie na ďalšie šírenie, a to v rovnakej podobe, akú má toto oznámenie.