TRAVOLUTION – optymalizacja całej sieci sygnalizacji ulicznej przy pomocy genetycznych algorytmów (II)

Utworzono: czwartek, 20, maj 2010 07:25 Herwig Wulffius



Do badań w terenie ustalono 6 tras na obszarze Ingolstadt. Trasy WEST i OST rozciągają się na różnych podsieciach. Celem było przedstawienie oceny stanu całej sieci dla użytkowników. Trzeba podkreślić, że na podstawie pomiarów na wymienionych trasach nie ma możliwości podania całkowitej oceny dla wszystkich uczestników ruchu, jak i dla całej sieci. Osiągnięte wyniki dotyczą wyłącznie rozpatrywanych tras.

Obszar dla badań w Ingolstadt obejmuje 46 sygnalizacji świetlnych - rysunek 4. Te trzy podsieci wyróżniono różnym kreskowaniem. Sygnalizacje świetlne tych podsieci zostały zoptymalizowane oddzielnie.

Pomiary przeprowadzono trzy razy w ciągu dwóch dni, przy czym porównano ze sobą trzy warianty sterowania (tabela 1).

Abk.	Datum	Szenario	Beschreibung
F11	Śr. 28.06.2006	Baza	Lokalne sterowanie akomodacyjne
F12	Cz. 29.06.2006		
F21	Śr. 28.05.2008	B-HC	Lokalne sterowanie akomodacyjne optymalizowane poprzez BALANCE z algorytmem Hill-Climbing
F22	Cz. 29.05.2008		
F31	Śr. 18.06.2008	B-GALOP	Lokalne sterowanie akomodacyjne optymalizowane poprzez BALANCE i GALOP
F32	Cz. 19.06.2008		

Pod pojęciem Baza rozumie się stan przed wdrożeniem adaptacyjnego sterowania sieciowego. W tych trzech przypadkach istnieją lokalne akomodacyjne sterowania,

Phoca PDF

w prawie wszystkich działa priorytet dla komunikacji miejskiej. Ponadto w obszarze testów znajdują się niektóre przejścia dla pieszych z sygnalizacjami, które reagują tylko na zgłoszenie poprzez przycisk. Oprócz istniejących detektorów dla sterowań akomodacyjnych nie zainstalowano dodatkowych detektorów.

Metodyka pomiarów

Do oceny zastosowano dwie różne metody pomiarów:

- Jazda samochodami (Floating Car Data, FCD)
- Rozpoznanie pojazdów (FWE)

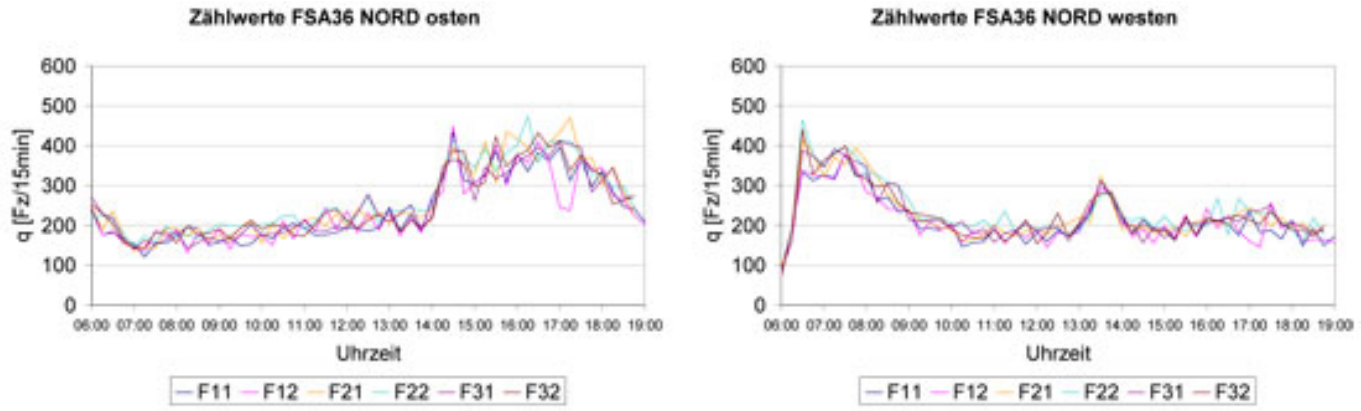
W ciągu sześciu dni przejechano trzema pojazdami sześć tras. Jazdy zostały zapisane przy pomocy współrzędnych GPS i innych równolegle generowanych danych, jak np. prędkość pojazdu, którą odczytano z magistrali CAN.

Na trasach NORD dodatkowo zainstalowano dwie kamery na podczerwień, które służyły do rozpoznania pojazdów przy pomocy automatycznego zapisu rejestracji pojazdów. To umożliwiało pomiar czasu przejazdu między dwoma punktami. Pomiary w kierunku OST przeprowadzono w pierwszym dniu pomiarów (środa), w kierunku West, drugiego dnia pomiarów (czwartek).

Na bazie linii wahań natężeń ruchu (rysunek 5) rozpatrywano oprócz oceny średniej dnia (6:00-19:00) oddzielnie następujące przedziały czasu:

- rano: 06:30-09:00
- w ciągu dnia: 09:00-15:00
- wieczór: 15:00-19:00

Ze względu na stochastyczny charakter przebiegu ruchu drogowego, linie wahań natężeń ruchu nie mogą się dokładnie pokryć, w dniach pomiarów jednak były one ze sobą porównywalne (rysunek 5).



Dla tras NORD przedstawiono przykładowo linie wahań natężeń ruchu na przejściu dla pieszych FSA36. W kierunku zachodnim (Westen), tzn. w kierunku zakładów

Phoca PDF

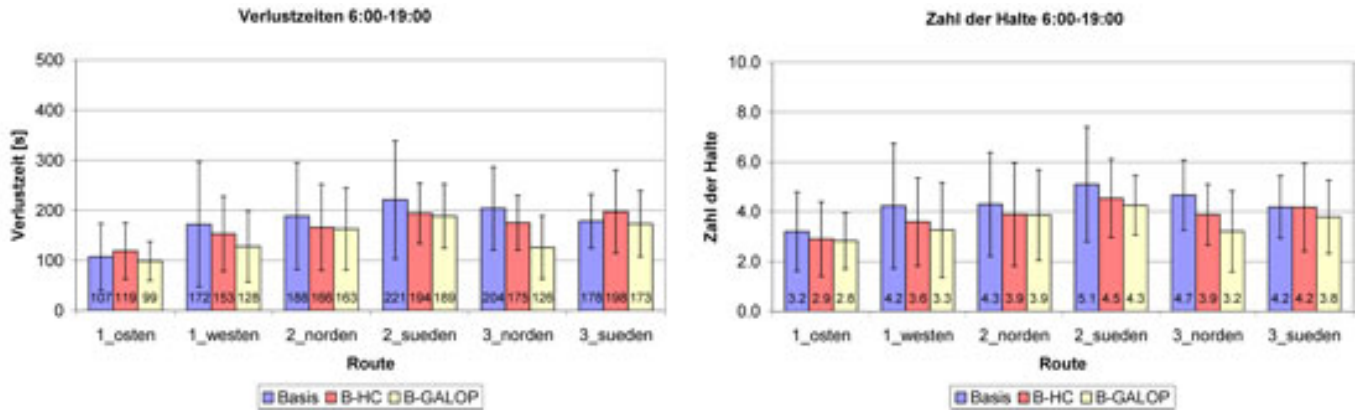
Audi, występuje od 6.30 do 9 godz. wyraźny szczyt poranny, przy czym szczyt wieczorny przebiega dość płasko (rysunek 5, po prawej stronie). Przy wczesno popołudniowej zmianie pracowniczej w zakładach Audi (w godzinach od 13 do 14), zauważa się wyraźny i krótkotrwały wzrost ruchu na drodze w kierunku do zakładów Audi. Linie wahań natężeń ruchu poszczególnych dni na FSA36 w kierunku zachodnim pokrywają się. W dniach testów F11 i F12 (Baza) występował mniejszy ruchu w czasie szczytu porannego, natomiast szczególnie w dniach F21, F22 i F32 o godzinie 6.30 mierzono większy wzrost natężenia ruchu.

W kierunku wschodnim przy FSA36 występuje inna sytuacja (rysunek 5, po lewej stronie). W godzinach porannych nie stwierdzono tu wyjątkowo dużych natężeń ruchu. Między godziną 14 i 15 widać krótki wzrost jako skutek zmian pracowniczych w zakładach Audi. Od godziny 15 zaczyna się dłuższy szczyt wieczorny. Linie wahań natężeń ruchu w tym przypadku w kierunku wschodnim pokrywają się dosyć dokładnie. Przy szczycie wieczornym w dniach testów F21 i F22 (B-HC) zaobserwowano niewiele więcej wyższe natężenie ruchu. O godzinie 17 na F12 (Baza) stwierdzono większy spadek mierzonego natężenia ruchu, przyczyna nie jest znana.

Wyniki

Przedstawione na rysunku 4 sześć tras przejechano trzema pojazdami. Jazdy, które według sporządzonych protokołów nie były reprezentatywne, bo np. wydarzył się wypadek, nie były analizowane.

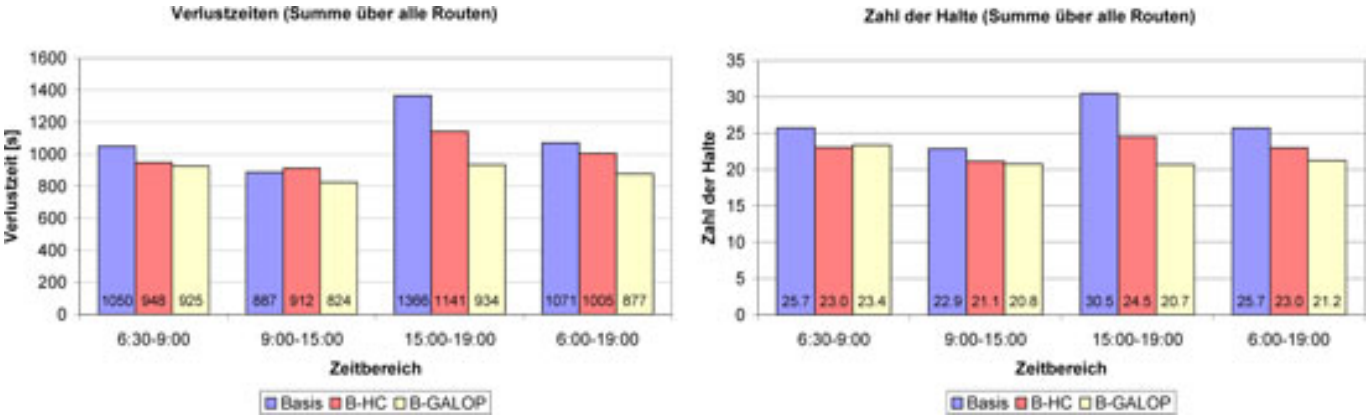
Średnie czasy strat i średnia ilość zatrzymań dla wszystkich jazd na sześciu trasach przedstawiono na rysunku 6. Dodatkowo naniesiono odchylenia standardowe.



Na wszystkich sześciu trasach BALANCE i GALOP wykazuje w średniej dobowej najmniejsze straty czasu. Różnica średnich wartości czasów strat jest według t-testu znacząca na 10%-poziomie na trasach: NORD w kierunku wschodnim między B-HC (119 s) i B-GALOP (99 s), NORD w kierunku zachodnim między B-GALOP (128 s) i bazą (172 s), WEST w kierunku północnym między B-GALOP (163 s) i bazą (188 s) oraz między GALOP i HC (166 s).

Phoca PDF

Przy ilościach zatrzymań różnice są znaczące (poziom 10%) między: B-GALOP i bazą na trasie NORD w kierunku zachodnim, na trasie WEST w kierunku popołudniowym i na trasie OST w kierunku północnym. Ponadto na trasie OST w kierunku północnym występują różnice, które są znaczące: między B-HC i bazą, jak i między GALOP i HC. Suma wszystkich czasów strat i ilości zatrzymań na wszystkich trasach daje całkowity obraz dla poszczególnych przedziałów czasu (rysunek 7).



Suma średnich czasów strat wszystkich jazd, na wszystkich trasach (całkowita długość 22,7 km), wynosi dla scenariusza bazowego 1 071 s, dla BALANCE z HC 1 005 s i dla BALANCE i GALOP 877 s. To odpowiada redukcji czasu strat poprzez B-GALOP o średnio 18% w stosunku do scenariusza bazowego i o 13% w porównaniu do B-HC. Średnią ilość zatrzymań udało się poprzez B-GALOP zmniejszyć w stosunku do scenariusza bazowego w sumie o 17% (z 25,7 na 21,2).

Przy interpretacji wyników jazd trzeba zawsze uwzględnić, że zapisane jazdy stanowią tylko próbę losową. Jazdy podlegają w mniejszym lub większym stopniu zdarzeniom losowym, jak np. zgłoszeniom na przejściu dla pieszych i priorytetom komunikacji miejskiej. Z tego powodu czasy jazdy, które uzyskano na podstawie rejestrowania pojazdów, uważa się zasadniczo jako bardziej wiarygodne (porównaj BRAUN et al. 2008). Jeżeli zastąpi się uzyskane czasy strat poprzez jazdy na trasie NORD uzyskiwanymi czasami przy pomocy rejestracji pojazdów, otrzymamy procentowe różnice przedstawione w tabeli 2.

	B-HC / Baza		B-GALOP / Baza		B-GALOP / B-HC	
	VZ	ZH	VZ	ZH	VZ	ZH
06:30-09:00	-12%	-10%	-19%	-9%	-8%	+1%
09:00-15:00	-5%	-8%	-9%	-9%	-4%	-2%
15:00-19:00	-21%	-20%	-32%	-32%	-15%	-16%
06:00-19:00	**-12%**	**-11%**	**-21%**	**-17%**	**-10%**	**-8%**

Rano, między godziną 6.30 i 9 zmniejszono czasy strat przy pomocy B-GALOP o 19% w porównaniu ze scenariuszem bazowym. Różnica pomiędzy GALOP i HC wynosi średnio, dla tego przedziału czasowego, dla wszystkich tras, 8%.

Phoca PDF

W ciągu dnia mierzono redukcję czasu strat poprzez GALOP, w porównaniu do HC wyniosła ona 4%, ilość zatrzymań zmniejszyła się o 2%.

Największe polepszenia uzyskano dla przedziału czasowego od godziny 15 do 19. W tym przypadku przy pomocy BALANCE i GALOP, w porównaniu ze scenariuszem bazowym, zmniejszono średni czas strat o 32%. GALOP w stosunku do HC uzyskał zmniejszenie o 15%. Różnica ilości zatrzymań pomiędzy scenariuszem bazowym a BALANCE i GALOP wynosi ogólnie 32%, GALOP był skuteczniejszy w stosunku do HC o 16%.

W średniej dobowej GALOP pomniejszył czasy strat w stosunku do HC o 10%, ilość zatrzymań zmniejszyła się o 8%.

Na podstawie tych liczb można bezpośrednio obliczyć korzyści dla sytuacji środowiska naturalnego[3]. Całkowite zużycie paliwa w sieci, spowodowane przez czasy czekania i rozruszania pojazdów przy sygnalizacjach świetlnych, zmniejszono o 19%. Z tego wynika oszczędność rzędu 700.000 litrów paliwa w skali roku albo 1.600 ton CO_2.

Mimo tego, że wyniki mogą stanowić tylko próbę losową, nadają się one do podstawowej oceny jakości tych różnych metod optymalizacji. Wyniki badań potwierdzają, że polepszony przebieg ruchu drogowego przy pomocy adaptacyjnego sterowania sieciowego na bazie algorytmu Hill-Climbing został jeszcze bardziej zoptymalizowany poprzez wprowadzenie genetycznego algorytmu.

Podsumowanie i perspektywa rozwoju

Celem projektu badawczego było polepszenie przebiegu ruchu drogowego w mieście Ingolstadt. Przeprowadzono dwa różne działania: online-optymalizacja całej sieci sygnalizacji ulicznej przy pomocy genetycznych algorytmów i komunikacja pomiędzy sygnalizacją świetlną i pojazdem dla indywidualnej informacji kierowcy.

Pierwszym punktem wyjściowym było wynalezienie genetycznego algorytmu (GA) do optymalizacji całej sieci sygnalizacji ulicznej, który został zaimplementowany do adaptacyjnego sieciowego sterowania ruchem BALANCE, jako alternatywa do istniejącego algorytmu Hill-Climbing.

Znaczną część sieci głównych ulic miasta Ingolstadt podłączono do systemu adaptacyjnego sterowania. Istniejący BALANCE z optymalizacją Hill-Climbing był skuteczniejszy od sterowania bazowego o 12%. Poprzez BALANCE i GALOP czasy oczekiwania zmniejszyły się o dodatkowe 10%. Czasy strat na sygnalizacjach świetlnych w okresach szczytu popołudniowego, między godziną 15 i 19 zmniejszono o 32%. Ilość zatrzymań zmniejszyła się w ciągu dnia o 17%.

Dla środowiska oznacza to, że poprzez wprowadzenie adaptacyjnego sterowania sieciowego BALANCE, zużycie paliwa, które jest spowodowane poprzez czasy oczekiwania i rozruszania pojazdów przy sygnalizacjach świetlnych w sieci,

Phoca PDF

zmniejszono o 19%. Przeliczając to na skalę roku jest to oszczędność rzędu 700.000 litrów paliwa albo 1.600 ton CO_2.

Drugi temat w projekcie TRAVOLUTION pokazuje techniczną możliwość komunikacji między pojazdem i sygnalizacją świetlną. Na trzech wysoko obciążonych węzłach wyposażono sygnalizację świetlną tak, żeby przybliżające się pojazdy otrzymały informacje o stanie sygnalizacji w najbliższym czasie.

Te dwa realizowane projekty, „Informacja o pozostałym czasie czerwonym i dynamiczna fala zielona”, wymagają, jako warunek konieczny, niezawodnej prognozy schematów świateł. Prognoza dla innych niż stało czasowo sterowanych sygnalizacji jest zagadnieniem bardzo złożonym. Prawdopodobieństwo pojawienia się zielonego światła oblicza się co sekundę i poprzez moduł komunikacyjny w sygnalizacji świetlnej przekazuje się tę informację do pojazdu, zostaje ona tam przetwarzana i poprzez system informacji dla kierowcy wyświetlana. Wymienione metody obliczeń zalecanej prędkości, uwzględniające zatory albo samochody jadące przed pojazdem z wbudowanym systemem o pozostałym czasie czerwonym, wymagają dalszych badań.

Czy wprowadzenie takiego systemu będzie sensowne, zależy nie tylko od zagadnień technicznych i komunikacyjnych, ale również od ekonomicznych i politycznych. Możliwe scenariusze wprowadzenia komunikacji infrastruktura-pojazd ukazały się w publikacjach (porównaj MENIG, WISCHHOF et al., 2008), jednak trzeba je dostosować do komunikacji sygnalizacji świetlnej z pojazdem.

Sukces projektu badawczego komunikacja sygnalizacji świetlnej z pojazdem i adaptacyjne sterowanie siecią pozwolił na jego rozbudowę na następnych sygnalizacjach świetlnych. Wynalezione technologie znajdą ponadto swoje zastosowanie w już rozpoczętym projekcie badawczym SIM-TD (Sichere Intelligente Mobilität – Testfeld Deutschland / bezpieczna inteligentna mobilność – obszar testów Niemcy). Technologia będzie implementowana w systemach sterowania ruchem innych producentów i dalej rozwijana.

Herwig Wulffius

Przypis:
[3]Dane kluczowe do obliczeń: natężenia ruchu drogowego według pomiarów ruchu na rozpatrywanych trasach, 20ml zużycia paliwa na jedno rozruszenie pojazdu, 1,8l zużycie paliwa na jedną godzinę czekania (dane pochodzą z Audi-Motorentechnik jak i z Schnabel/Lohse, Grundlagen der Straßenverkehrstechnik, Verlag für Bauwesen, Berlin 1997)

Literatura (PDF)