System zarządzania ruchem – cz. I

Utworzono: czwartek, 03, wrzesień 2009 08:46 Mariusz Kaczmarek

Zastosowanie ITS jest jednym ze sposobów doskonalenia systemów transportowych w celu zwiększenia ich sprawności, efektywności i bezpieczeństwa. ITS dostarczają różnorodnych narzędzi, począwszy od zaawansowanych systemów sterowania ruchem za pomocą sygnalizacji świetlnej, poprzez systemy zarządzania przepływami pojazdów w sieci uliczno-drogowej, aż do systemów realizujących priorytety dla uprzywilejowanych środków transportu.

Atrakcyjność ITS wynika z tego, że stwarzają one duże możliwości w podniesieniu dostępności, mobilności i bezpieczeństwa transportu, przy równoczesnym obniżeniu kosztów budowy infrastruktury, zatłoczenia, zdarzeń drogowych, oddziaływania negatywnego na środowisko i zużycia energii. ITS dzięki zintegrowanemu charakterowi rozwiązań (np. ruch indywidualny, transport zbiorowy i transport towarów) warunkują realizację strategii zrównoważonego rozwoju.

Zastosowanie systemów wykorzystujących technologię ITS przyczynia się do:

- zmniejszenia nakładów na infrastrukturę transportową nawet o 30–35%, przy uzyskaniu tych samych efektów poprawy sprawności systemu, jak w przypadku budowy nowych odcinków dróg lub modernizacji istniejących,
- zwiększenia nawet o 20% sprawności sieci transportowych (mierzonej przepustowością) bez konieczności wykonywania inwestycji drogowych,
- znacznego zmniejszenia liczby zdarzeń i ofiar wypadków drogowych,
- oszczędności czasu podróży i liczby zatrzymań (50%),
- znaczącego zmniejszenia emisji spalin i poziomu hałasu.

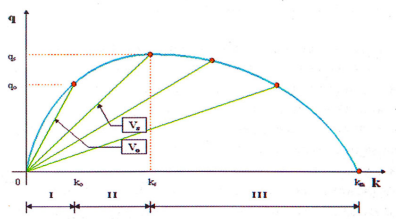
Istotną cechą systemów zarządzania ruchem ITS jest ich otwartość, umożliwiająca integrację systemów różnych producentów, w celu uzyskania efektu synergicznego,

Phoca PDF

zarówno dla skrócenia wdrażania systemów, jak i uzyskania możliwie najwyższej jakości ruchu.

Charakterystyka procesu ruchu

Proces przemieszczania ludzi i towarów w sieci ulic miasta jest szczególnie złożonym nie tylko ze względu na znaczne rozproszenie, ale przede wszystkim z powodu istotnych nieliniowości jego charakterystyk, niestacjonarności i niejednorodności. Chęć korzystania przez licznych użytkowników z tych samych fragmentów sieci ulic w tym samym czasie prowadzi do przekroczenia ich przepustowości, powstawania znacznych kolejek, zatorów, a nawet zablokowania części miasta. Skutkami zatłoczenia są obniżenie bezpieczeństwa, sprawności i efektywności podróżowania oraz negatywny wpływ na środowisko i zdrowie mieszkańców, szczególnie w centrach miast.



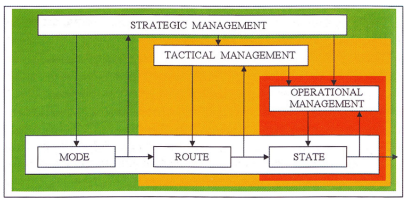
Na rys.1 przedstawiono podstawową zależność pomiędzy natężeniem ruchu **q**, jego koncentracją k oraz średnią prędkością przestrzenną **v** na jednorodnym odcinku drogi, która charakteryzuje stany ruchu, jakie mogą wystąpić w sieci ulic. Średnie prędkości przestrzenne odpowiadają tangensom nachylenia siecznych przechodzących przez początek układu współrzędnych i punkt na krzywej **q(k)**, względem osi koncentracji ruchu. Funkcja **q(k)** jest silnie nieliniowa (zbliżona, do paraboli), dlatego przedział określoności koncentracji ruchu **k** podzielimy na podprzedziały I, II i III. Przedział I, to prędkości ruchu przekraczające dopuszczalne wartości na danym odcinku drogi, czyli winna w nim być utrzymywana stała prędkość. W przedziale II wzrost natężenia ruchu okupiony jest spadaniem jego prędkości, a więc płynność ruchu kontra przepustowość. Po przekroczeniu koncentracji krytycznej (nasycenia) **ks**, wkraczamy do przedziału III, w którym ze wzrostem koncentracji następuje degradacja obu kryteriów, zarówno przepustowości jak i płynności ruchu. Stany ruchu z tego obszaru powinny być, zatem zabronione, za wyjątkiem wartości maksymalnej koncentracji w obszarze kumulacji pojazdów na wlotach sieci, oczekujących na wjazd. Stan ten odpowiada chwilowemu, niezamierzonemu parkowaniu i to w miejscu niedozwolonym. Przedziałem roboczym jest, zatem podprzedział II, w którym należy poszukiwać kompromisu pomiędzy płynnością ruchu i jego przepustowością. Natomiast powinno się unikać stanów spoza przedziału II, a jeśli już wystąpią, to możliwie szybko je przetransformować w stany z przedziału roboczego.

Utrzymywanie procesu ruchu w stanach roboczych, szybkie reagowanie na zmiany wynikające nie tylko z jego niestacjonarności i różnorodności, a także wpływanie na jego strukturę, to główne zadania systemów zarządzania ruchem.

Phoca PDF

Hierarchiczna struktura zarządzania ruchem

W procesie ruchu w mieście można wyróżnić podprocesy zachodzące w różnych horyzontach czasowych [1,15]. I tak będą to procesy stosunkowo szybkie (sek.), związane z bieżącymi decyzjami przy poruszaniu się na odcinku ulicy czy skrzyżowaniu ulic (np. wybór pasa ruchu na wlocie skrzyżowania). Wolniejsze procesy (min.) wiążą się z wyborem jednej z alternatywnych tras przejazdu do celu podróży, a także poszukiwaniem wolnych miejsc parkingowych. Najwolniejsze (godz.), to procesy wynikające z decyzji o przemieszczaniu, w tym wyboru środka transportu. Z tak zdekomponowanym procesem ruchu można skojarzyć sposoby oddziaływania na niego, które swym zasięgiem obejmują coraz szerszy horyzont czasowy. Wyodrębnimy, więc (rys.2) zarządzanie operacyjne, zarządzanie taktyczne i zarządzanie strategiczne.



Zarządzanie operacyjne

Zarządzanie operacyjne to bezpośrednie oddziaływanie na ruch (podproces szybki) w celu jego szeroko pojętej stabilizacji w przedziale roboczym koncentracji. Stabilizacja będzie polegała na zregulowaniu odchyleń ruchu od wartości pożądanych, przede wszystkim za pomocą sygnalizacji świetlnej. Działanie to dotyczy nie tylko pojazdów osobowych, ale także transportu publicznego, w przypadku odchyleń od rozkładu jazdy, oraz transportu towarowego. Poprzez kompresję ruchu (znaki zmiennej treści), w drodze obniżenia prędkości ruchu zapobiega się przesyceniom, stabilizując ruch w przedziale roboczym. Znaki zmiennej treści wykorzystywane są także do dynamicznego przydziału pasów ruchu do kierunku ruchu lub środka ruchu. Oddziaływania za pomocą sygnalizacji świetlnej dotyczą parametrów cyklu sterującego, a więc wydłużania i skracania długości cyklu (w szczególności cykle podwójne albo połówkowe), zmiany offsetów i splitów, a także sekwencji sygnałów, łącznie z podwójnym zapaleniem w cyklu.

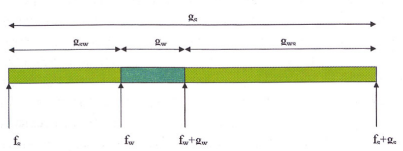
Inne, adaptacyjne podejście do sterowania ruchem [13, 25] definiuje tzw. okno czasowe, w ramach którego jest wyświetlany sygnał zielony. Okno czasowe wąskie jest obligatoryjne i przy braku zgłoszeń na detektorach realizuje się okresowo ze stałym cyklem bazowym **Cb**. Natomiast przy zapotrzebowaniu na dłuższą obsługę, niż gwarantuje okno wąskie, sygnał zielony może rozpocząć się wcześniej, w dowolnym momencie **f** pomiędzy **fs** i **fw** oraz zakończyć później, w dowolnym momencie pomiędzy **fw+gw** i **fs+gs**, czyli początek i czas trwania sygnału zielonego są zmienne. W kolejnych cyklach sterowania początki i końce sygnałów zielonych będą następowały ze zmiennym cyklem, oscylującym w dużym zakresie wokół stałej wartości **Cb**. Istotną różnicą pomiędzy oknami czasowymi, a tzw. akomodacją jest zmienność długości cyklu wokół wartości bazowej, która umożliwia

Phoca PDF

bilansowanie ruchu w horyzoncie czasowym obejmującym kilka cykli sterowania, uwzględniając naturalne wahania natężenia ruchu z cyklu na cykl (bazowy).

Istniejące podejścia do sterowania ruchem można podzielić na mikrosterowanie, makrosterowanie i sterowanie hierarchiczne [1]. Sterowanie stałoczasowe (makrosterowanie), jako szczególny przypadek sterowania w ramach okien czasowych wystąpi, gdy okna szerokie i wąskie są identyczne. Sterowanie niczym nieograniczone (mikrosterowanie) będzie miało miejsce, gdy okno wąskie będzie dopełnieniem okna szerokiego, a okno szerokie będzie dostatecznie długie (np. równe długości cyklu). Możemy wtedy mówić o ujemnej szerokości okna wąskiego, która oznacza, że moment najpóźniejszego zapalenia sygnału zielonego pokrywa się z końcem okna szerokiego, a moment najwcześniejszego zgaszenia sygnału zezwalającego na ruch pokrywa się z początkiem okna szerokiego. A więc, sterowanie w ramach okien czasowych jest sterowaniem pośrednim pomiędzy obu klasycznymi sposobami sterowania, będąc ich uogólnieniem.

System okien czasowych stanowi, więc kompromis pomiędzy całkowitą swobodą mikrosterowania, a sztywnością makrosterowania. Zapewniając stabilność sterowania, umożliwia jednocześnie jego adaptacyjność, które to cechy łącznie nazwiemy elastycznością. Elastyczna koordynacja ruchu różni się istotnie również od klasycznego podejścia hierarchicznego, gdyż nie rozdziela optymalizacji splitów od optymalizacji offsetów, a z optymalizacją bazowej długości cyklu wiąże wyznaczanie optymalnych struktur sterowania w sieci ulic.



Zarządzanie taktyczne

Zarządzanie taktyczne to bezpośrednie oddziaływanie na podproces decyzyjny wyboru trasy przejazdu, a także pośrednie oddziaływanie poprzez zarządzanie operacyjne. Bezpośrednie oddziaływanie na ruch w ramach zarządzania taktycznego odbywa się poprzez informowanie kierowców, jak również pasażerów na przystankach, za pomocą tablic zewnętrznych o zmiennej treści oraz nawigacji wewnątrz pojazdów o alternatywnych trasach dotarcia do celu podróży, a także do niezapełnionych parkingów.

Znane jest zjawisko dywersyfikacji ruchu w wyniku polepszenia efektywności sterowania na jednej z alternatywnych arterii. Szczególnego znaczenia nabiera ono w warunkach zatłoczenia, któremu trzeba zapobiegać, ograniczać względnie przemieszczać w mniej newralgiczne obszary sieci. Odbywa się poprzez równoważenie obciążenia tras alternatywnych, w celu wykorzystania przepustowości sieci ulic, jak również ograniczanie dopływów i udrażnianie odpływów z przesyconych obszarów sieci, aby ograniczyć możliwości powstania

Phoca PDF

wtórnego zatłoczenia, eliminującego praktycznie przesycone obszary ze sprawnej obsługi transportowej (kumulacja wielu niekorzystnych zjawisk). Pośrednio z poziomu zarządzania taktycznego wpływa się na wartości długości cyklu, offsetów i splitów oraz na sekwencję sygnałów świetlnych zapobiegające blokowaniu odcinków ulic i skrzyżowań, zapewniając odpowiednią koordynacje ruchu, zoptymalizowaną na tym poziomie.
W ramach projektu badawczego COSMOS [3], zrealizowanego w Londynie, Turynie i Pireusie, jako uzupełnienie istniejących systemów odpowiednio SCOOT, UTOPIA i MOTION, o moduł kierowania ruchu na trasy alternatywne za pomocą VMS, uzyskano kilkunastoprocentową dywersyfikację ruchu, zmniejszając istotnie zatłoczenie. W każdym z trzech miast nastąpiła istotna poprawa warunków ruchu. I tak w Londynie ograniczenie dopływu pojazdów do zatłoczonego odcinka pozwoliło zredukować straty czasu w szczycie porannym o 22%. W Pireusie nastąpiło skrócenie czasów podróży o około 10%, a w Turynie o 7-18%. W Londynie 13% ruchu zostało skierowane na trasy alternatywne za pomocą znaków o zmiennej treści, w Pireusie 19% kierowców zmieniła trasę przejazdu. W Turynie mierzono poziom zatłoczenia i uzyskano 10% poprawę. Ocena wzrostu przepustowości w sieci była utrudniona. W Londynie przeprowadzono ją symulacyjnie uzyskując od 2 do 20% przyrost w zależności od lokalizacji zatoru. W Pireusie nie uzyskano istotnej poprawy, a w Turynie wyznaczono jedynie ogólną korelację pomiędzy obniżeniem czasu podróży i wzrostem przepustowości. Emisja spalin i zużycie paliwa (za wyjątkiem tlenków azotu) zmniejszyła się w Londynie od 8 do 11%, w Pireusie od 2 do 14%, a w Turynie od 4 do 5%. Analiza ekonomiczna oszczędności w czasie podróży (w oparciu o koszt średniej godzina pracy) wykazała w Londynie oszczędność 714 120 euro rocznie (koszt godziny 16.40 euro), w Pireusie 237 600 euro (koszt godziny 6 euro) i w Turynie 3 139 000 dla całego sytemu (koszt godziny 6 ruro). Wyniki badań potwierdziły skuteczność procedur zarządzania zatłoczeniem za pomocą znaków o zmiennej treści, niezależnie od systemu bazowego, a więc możliwe do osiągnięcia w systemach hierarchicznych o różnym rozdziale funkcji pomiędzy poziomy sterowania.

Systemy makrosterowania ruchem ze sztywną koordynacją (np. typu „zielona fala”) pracujące w układzie otwartym i realizujące sterowanie wieloprogramowe z przełączaniem planów sygnalizacji i monitorowaniem stanów ruchu i sygnalizacji, cechuje niewielka adaptacyjność. W systemach mikrosterowania powszechnie występują problemy ze stabilnością, które w stanach podnasyconych degradują jakość sterowania poniżej poziomu uzyskiwanego w systemach makrosterowania. W klasycznych systemach hierarchicznych sztywność podziału na poziomy sterowania według charakteru zmiennych sterujących znacznie ogranicza adaptacyjność sterowania.

Zdefiniowanie zmiennych sterowanych w postaci okien czasowych, zawartych w oknach szerokich i obejmujących okna wąskie, stworzyło podstawy do sterowania obszarowego stabilnego [13,17] (z odpowiednim zapasem stabilności zawartym w oknach ograniczających) i ze znacznym stopniem adaptacyjności (niezbędnym dla utrzymania wysokiej jakości sterowania), wynikającym z różnicy pomiędzy oknem szerokim i wąskim. Obsługa ruchu głównego odbywająca się na zasadzie priorytetu

Phoca PDF

w stosunku do ruchu lokalnego, służy przede wszystkim do utrzymania koordynacji głównych grup pojazdów oraz realizacji priorytetu dla pojazdów transportu zbiorowego.

Przeprowadzono badania symulacyjne porównawcze algorytmów sterowania adaptacyjnego, stałoczasowego i acyklicznego na modelu arterii ul. Serbskiej w północnym obszarze Poznania. Całkowite starty czasu przy przejeździe przez arterię są znacznie niższe, gdy stosowane jest sterowanie adaptacyjne. Analizując kierunek na wschód są one niższe o 29%, a na kierunku przeciwnym na zachód nawet o 58% w stosunku do sterowania stałoczasowego o identycznej długości cyklu. Analogiczne porównanie algorytmów adaptacyjnego i acyklicznego lokalnego daje odpowiednio o 161% i 135% niższe straty czasu w przypadku koordynacji elastycznej.

Zarządzanie strategiczne

Zarządzanie strategiczne jest realizowane jako bezpośrednie oddziaływanie na podproces decyzyjny dotyczący przemieszczania oraz rodzaju środka transportu za pomocą informacji transportowej poprzez media. Pośrednio zarządzanie strategiczne oddziaływa poprzez poziom taktyczny wyznaczając odpowiednie kryteria i ograniczenia dla optymalizacji koordynacji ruchu, preferujące środki transportu publicznego, jak również poprzez poziom zarządzania operacyjnego, wpływając na parametry sygnałów sterujących w celu osiągnięcia określonego priorytetu. Podniesienie stopnia wykorzystania transportu publicznego skutkuje zwykle zmniejszeniem zatłoczenia sieci, gdyż jest on wielokrotnie mniej powierzchnio chłonny w stosunku do pojazdów indywidualnych, a więc obniża koncentrację ruchu. Badania w ramach projektu INCOME [4] realizowanego zarówno w części Londynu sterowanej systemem zależnym od ruchu SCOOT (PROMPT), jak i innej sterowanej stałoczasowo planami optymalizowanymi TRANSYT-em (SPRINT) zyskano 2-4 sekundową redukcję start czasu na skrzyżowanie średnio dla każdego autobusu, bez istotnego pogorszenia warunku ruchu innym użytkownikom.

Przeprowadzona analiza symulacyjna [18] możliwości upłynnienia ruchu w korytarzach transportowych Warszawy w szczycie porannym (Al. Jerozolimskich, Al. Solidarności, ul. Towarowej i ul. Marszałkowskiej) wykazała potencjalnie znaczne polepszenie płynności ruchu tramwajów, a także rezerwy przepustowości dla strumieni pojazdów indywidualnych. W 4-rech analizowanych korytarzach, z ruchem tramwajowym o dużym natężeniu (od 52 do 98 składów na godz. w obu kierunkach) i samochodowym podnasyconym, istnieje możliwość skoordynowania ruchu tramwajów tak, aby w obrębie korytarzy zatrzymywały się jedynie na przystankach. Rozrzut czasu obsługi pasażerów na przystankach może prowadzić do kilkusekundowych strat czasu na niektórych odcinkach korytarza, jednak nie prowadzi do przesunięcia obsługi tramwaju na wlocie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną do kolejnego cyklu sterowania, z którą to sytuacją wiązałyby się zatrzymanie i znaczne straty czasu (40s do 60s). Praktycznie bezstratna koordynacja ruchu tramwajów w istniejącym stanie obciążenia korytarzy ruchem pojazdów, w trzech z analizowanych korytarzy, nie powoduje zasadniczego obniżenia prędkości podróży pojazdów (ok. 4 km/h). Możliwa jest zatem łączna

Phoca PDF

koordynacja ruchu tramwajów i pojazdów indywidualnych [7], przy czym tych ostatnich stratna, ale z bardzo umiarkowanymi stratami.

W korytarzu Al. Jerozolimskich warunki ruchu w stanie istniejącym są znacznie trudniejsze. Bezstratna koordynacja tramwajów pociąga za sobą dość znaczne straty ponoszone przez pojazdy indywidualne (spadek prędkości podróży do 32 km/h). W stanach docelowych (prognozowanych) przyjęto 12 do 15 procentowy wzrost natężeń ruchu. Utrzymanie praktycznie bezstratnej koordynacji dla tramwajów okupione jest tu znacznym pogorszeniem ruchu pojazdów indywidualnych, przy czym średnie prędkości w korytarzach nie spadają poniżej prędkości krytycznych, odpowiadających natężeniu nasycenia, czyli nie dochodzi do wtórnego pogorszenia warunków ruchu. Szczególnie trudna sytuacja występuje w korytarzu Al. Jerozolimskich, w którym średnie prędkości podróży pojazdów indywidualnych są o przeszło 10 km/h niższe niż w pozostałych korytarzach.

dr inż. Mariusz Kaczmarek
Zakład Badań Operacyjnych i Sztucznej Inteligencji Instytutu Informatyki Politechniki Poznańskiej

Phoca PDF