

Rola symulacji pracy sygnalizacji świetlnej przy modyfikacjach algorytmów sterowania ruchem

Wojciech Mazurek



mgr inż. Wojciech Mazurek

Zarząd Dróg i Utrzymania Miasta we Wrocławiu, Centrum Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym

wojciech.mazurek@zdium.wroc.pl

W ramach projektu ITS we Wrocławiu dostarczono środowisko testowe, umożliwiające połączenie aplikacji do sterowania ruchem z narzędziem symulującym pracę sygnalizacji świetlnej, w sposób zapewniający pełne odwzorowanie wszystkich funkcjonalności systemu. Pozwala to inżynierom ruchu przeprowadzać dokładną analizę projektowanych modyfikacji w algorytmach sterowania i ich wpływu na skrzyżowania, jeszcze przed wdrożeniem zmian w terenie. Z uwagi na złożoność programów pracy sygnalizacji świetlnej, niezbędne jest wykorzystywanie symulacji do osiągnięcia pełnej samodzielności w operowaniu systemem.

Sterowanie ruchem

Sterowanie ruchem odbywa się za pośrednictwem aplikacji ITS wykorzystującej sekwencyjne diagramy sygnalizacji oraz indywidualne dla każdego obszaru i skrzyżowania tzw. kody mikroregulacji. Klasyczny diagram poziomy programu pracy sygnalizacji świetlnej przedstawia sposób nadawania sygnałów sekunda po sekundzie, natomiast stosowany we Wrocławiu, wielocykliczny, sekwencyjny diagram zawiera zmienne – w zależności od długości cyklu - przedziały czasu z wyświetlanymi sygnałami. Bibliotekę programów stanowi jeden diagram z sekwencjami o różnych czasach trwania. Zastosowanie takiego sposobu prezentacji diagramu pozwoliło wprowadzić również przedziały adaptacyjne umożliwiające skracanie bądź wydłużanie nadawanych sygnałów. W zależności od aktualnych poziomów swobody ruchu na wlotach w ramach optymalizacji dystrybucji sygnału zielonego, pomiędzy wybranymi se-

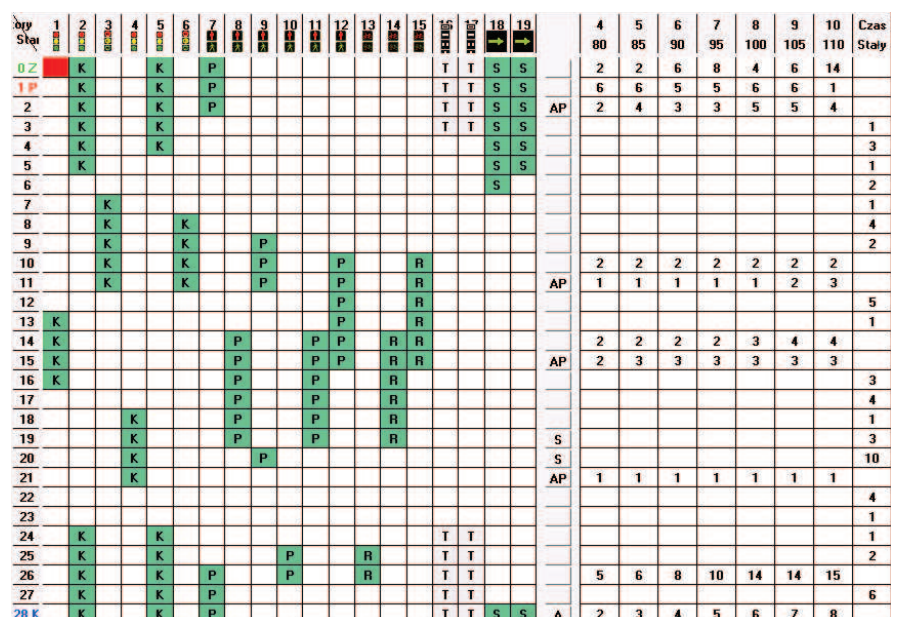
kwencjami dystrybuowany jest dostępny czas. Warunki ruchu określone są w czasie rzeczywistym, na podstawie sposobu zajętości detektorów obecności i kolejek, z kamer umieszczonych na skrzyżowaniu. Przykładowy diagram przedstawia rysunek 1.

Obok sekwencyjnych diagramów, nieodłączną część systemowych programów sygnalizacji świetlnej stanowi kod mikroregulacji skrzyżowania, zawierający algorytm sterowania napisany w języku FORTRAN 77. Dzięki wykorzystaniu ogólnie dostępnego języka programowania, inżynier ruchu jest w stanie modyfikować algorytm w dowolnej chwili i wprowadzać dynamiczne zmiany w sposobie sterowania ruchem. Kod mikroregulacji oparty jest o stworzone wcześniej makra oraz zestawy komend pozwalające dowolnie zaprogramować działanie sygnalizacji. Funkcjonalność ta pozwala operatorowi systemu wprowadzać zmiany samodzielnie, bez udziału podmiotów zewnętrznych. Dzięki temu znacząco skróceniu uległy czas oraz koszt modyfikacji algorytmów, które przed wprowadzeniem ITS wymagały programowania sterowników oraz ich aktualizacji w terenie. Zapewnia to dynamiczną pracę Centrum Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym, które w sytuacjach kryzysowych jest w

stanie dokonywać pełnych modyfikacji sterowania ruchem, odpowiadając bieżącym potrzebom ruchowym miasta. Przykładem takich działań mogą być te, podjęte podczas ulewnych opadów deszczu, które w maju 2014 roku spowodowały kilkugodzinne zablokowanie głównej arterii wylotowej z miasta – ul. Legnickiej. Po usunięciu przeszkód przez służby porządkowe, dynamiczne zmiany w sposobie sterowania ruchem, pozwoliły wydłużyć sygnał zielony na kierunkach wylotowych z miasta i skrócić go na relacjach, na których przejazd był utrudniony lub zablokowany. Poprzez zmianę sposobu dystrybucji sygnału zielonego można było wpłynąć na rozptył pojazdów, co przyczyniło się do szybszego rozładowania powstałego zatoru. Kod mikroregulacji nie wymaga również specjalistycznej wiedzy z zakresu programowania gdyż do realizacji reguł określających działanie sygnalizacji wystarczy znajomość podstawowych instrukcji i pętli. Przykładowy element kodu, odpowiedzialny za przenoszenie czasu pomiędzy sekwencjami, przedstawiony został na rysunku 2.

Rodzaje zmian w algorytmach

Łatwość modyfikacji algorytmów umożliwia przeprowadzanie zmian w sposobie



1. Sekwencyjny diagram dla skrzyżowania Grabiszewska – Stalowa

sterowania ruchem, zarówno dynamicznych jak i długotrwałych. W przypadku zmian związanych z bieżącą obsługą ruchu, dokonywaną na podstawie obserwacji anomalii przepływu pojazdów, wykonywane są niewielkie zmiany w kodzie mikroregulacji pozwalające minimalizować skutki np. zdarzenia drogowego na jednym z pasów ruchu na wlocie. Zmiany te mają charakter krótkotrwały i powtarzalny, nie ingerują w sposób sterowania ruchem i dotyczą jedynie dystrybucji sygnału zielonego (bez zmiany układu faz) - nie wymagają więc szczegółowej analizy skutków ich wprowadzenia. Doświadczony inżynier ruchu prowadząc bieżącą obserwację skrzyżowania, znając strukturę kierunkową i rodzajową ruchu jest w stanie przewidzieć skutki zmiany długości sygnału zielonego dla poszczególnych wlotów. Dodatkowo, długość wyświetlanych sygnałów jest kontrolowana przez sterownik na skrzyżowaniu, który nie dopuszcza do nadania przez sygnalizator zbyt krótkiego sygnału zezwalającego na jazdę określoną w Rozporządzeniu [2], nawet w przypadku rozkazu nadanego przez kod mikroregulacji. Takie działania są nieodłącznym elementem operowania systemem, umożliwiając w sytuacjach awaryjnych szybkie rozładowywanie kolejek pojazdów, optymalizując przepływ w sieci. Jednak w przypadku zmian dotyczących sterowania ruchem, a więc m.in. przy zmianie sposobu udzielania priorytetu tramwajowego czy zmian organizacji ruchu i programów sygnalizacji świetlnej, wymagana jest dokładna analiza skutków wprowadzanych modyfikacji zarówno od strony programowej (algorytmu), jak i ruchowej. Związane jest to nie tylko z optymalizacją rozwiązań i minimalizacją strat czasu ale również z możliwą ingerencją w elementy mogące wpływać na bezpieczeństwo ruchu na skrzyżowaniu.

Symulacje pracy sygnalizacji

W tym celu wykorzystuje się środowisko symulacyjne, które za pomocą specjalnie przygotowanej biblioteki API, opracowanej w ramach realizacji projektu ITS, połączone jest z systemem sterowania ruchem. Wybór programu związany był z doświadczeniem Wykonawcy systemu przy współpracy z producentem oprogramowania, dysponującym sprawdzonym i przetestowanym wcześniej rozwiązaniem. Z uwagi jednak na wymóg

```

70
71 * Relacja wyjazdowa (S3, S4)
72 REP [[ SQS=2 SQR=10 ]]
73
74 * Zabieranie czasu z sekwencji adaptacyjnej grup S8, S9, S10
75 REP [[ SQS=11 SQR=10 VIR=2]]
76
77 * Stacyjna i Zachodnia (jazda na wprost, grupy S5 i S2)
78 REP [[ SQS=17 SQR=10 ]]
79
80 * Relacja wyjazdowa (S3, S4)
81 REP [[ SQS=29 SQR=10 VIR=3]]
82
83 * Stacyjna Lewoskręt (S7, S6)
84 REP [[ SQS=21 SQR=10 ]]
85

```

2. Kod mikroregulacji - przenoszenie czasu pomiędzy sekwencjami na skrzyżowaniu Legnicka – Zachodnia

otwartości systemu opisany w OPZ [1] istnieje możliwość wykorzystania innych dostępnych na rynku mikroskopowych modeli symulacyjnych. Dla odtworzenia rzeczywistej pracy systemu sterowania ruchem, stworzony został specjalny serwer symulacyjny, będący kopią serwera podstawowego. Zawiera on identyczne reguły sterowania oraz taką samą wersję oprogramowania co serwer nominalny. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzanie symulacji bez ingerencji w środowisko serwera głównego mając pewność, że testowane rozwiązania nie wpłyną w żaden sposób na bieżące sterowanie ruchem. Rozdzielenie serwera symulacyjnego i głównego związane jest również z różnicami uprawnień użytkowników, wynikającymi bezpośrednio ze względów bezpieczeństwa. Możliwość dokonywania zmian na serwerze głównym ograniczone zostało tylko do doświadczonych inżynierów ruchu i administratorów systemu.

Aplikacja symulacyjna zainstalowana jest na stacji roboczej w Centrum Zarządzania Ruchem i Transportem Publicznym, która za pomocą wspomnianej już biblioteki API komunikuje się z serwerem symulacyjnym. Do uruchomienia symulacji niezbędny jest również model skrzyżowania, który wymaga wcześniejszego zdefiniowania w programie. Z uwagi na specyfikę programów i algorytmów sterowania ruchem, kłopotliwym byłoby odwzorowanie pracy sygnalizacji w trybie systemowym przy wykorzystaniu jedynie narzędzi dostępnych w posiadanej aplikacji symulacyjnej (lub odpowiednikach). Programy sygnalizacji świetlnej w postaci sekwencyjnych diagramów wraz z kodem mikroregulacji są automatycznie pobierane z aplikacji sterowania ruchem. W środowisku symulacyjnym, inżynier ruchu przygotowuje model skrzyżowa-

nia jedynie odpowiednio parametryzując detektory oraz sygnalizatory, z których dane przesyłane są pomiędzy aplikacją a serwerem. Obecnie trwają prace nad przygotowaniem modeli wszystkich skrzyżowań i najważniejszych ciągów komunikacyjnych we Wrocławiu, by proces związany z definiowaniem modeli symulacyjnych nie wpływał na czas testowania rozwiązań przez inżynierów ruchu. Pozwoli to również w sposób globalny spojrzeć na wpływ pojedynczych zmian na ciągi skrzyżowań.

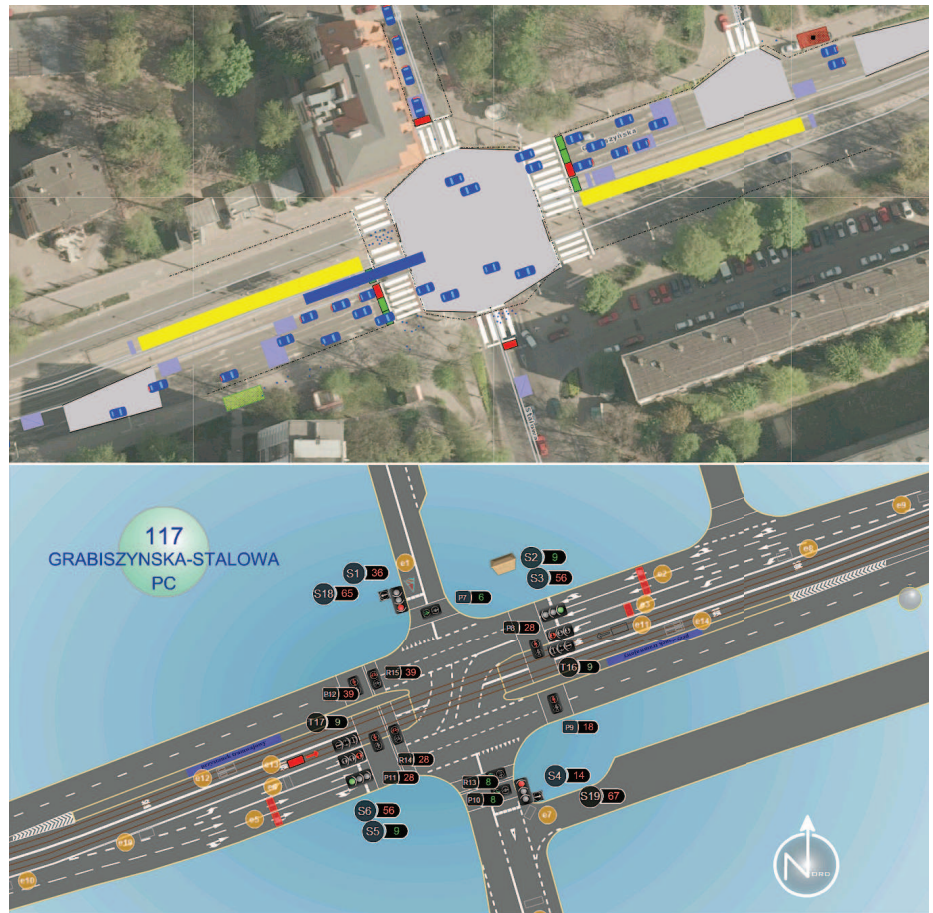
Podczas symulacji sterowanie ruchem odbywa się w aplikacji ITS, na podstawie zgłoszeń z detektorów wzbudzanych przez symulowane pojazdy. Efekt działań symulacji przedstawiany jest w ten sam sposób w jaki prezentowana jest bieżąca praca sygnalizacji, dzięki czemu otrzymuje się dokładnie taki sam rezultat działania kodu mikroregulacji i programu sygnalizacji jak w przypadku jego implementacji na serwerze głównym. Przeprowadzający symulację może na bieżąco obserwować pracę sygnalizacji na mapie skrzyżowania w aplikacji ITS, długość nadawanych sygnałów oraz zgłoszenia detektorów. Dla każdej symulacji generowany jest zapis pracy sygnalizacji - sekwencje nadawanych sygnałów oraz sposób zajętości detektorów. W przypadku przejazdu pojazdów szynowych tworzony jest oddzielny tzw. raport Priorytetowej Obsługi Transportu Publicznego, w którym zarejestrowane są wszystkie działania wykonane w ramach realizacji otwarć tramwajowych, zarówno stałych w cyklu jak i priorytetowych. Pozwala on również inżynierom ruchu przeanalizować czasy detekcji każdego tramwaju, od zgłoszenia nominalnego do przyjazdu na peron przystankowy. W przypadku analizy pracy programów sygnalizacji na ciągach skoordynowanych dostępne narzędzia pozwalają na tworze-

nie wykresów koordynacji dla dowolnie wybranych relacji i ewentualne korekty offsetów.

Podczas symulacji, możliwe jest również wprowadzanie dynamicznych zmian w kodzie mikroregulacji i obserwacja ich wpływu na sterowanie ruchem. Pozwala to niedoświadczonym operatorom systemu zdobywać biegłość w posługiwaniu się zmiennymi systemowymi oraz poznawać sposób ich działania. Stanowi to również doskonałe narzędzie dla doświadczonych użytkowników, analizujących pracę całego systemu i zastosowanych w nim rozwiązań. Obecnie posiadana licencja w ramach projektu ITS, pozwala na jednocześnie symulowanie do 20 skrzyżowań przy łącznej długości sieci 40km, co pozwala na analizę największych ulic we Wrocławiu. Dzięki mikrosymulacjom możliwe jest tworzenie różnych scenariuszy i analizowanie działania algorytmu, w każdych warunkach ruchowych i przy każdej konfiguracji wzbudzonych detektorów.

Priorytet tramwajowy na ul. Grabiszyńskiej

Środowisko testowe zostało wykorzystane m.in. do przygotowania kodu mikroregulacji dla skrzyżowania ulic Grabiszyńskiej i Stalowej w związku z włączeniem tam częściowego priorytetu tramwajowego. Rysunek 3 przedstawia przykładową wizualizację tego skrzyżowania z programu symulacyjnego (górna część) i widok z aplikacji sterowania ruchem (dolna część). Dotychczas na skrzyżowaniach realizowany był priorytet bezwarunkowy, tj. bez względu na stan diagramu kolizyjnego kierunki były wstrzymywane, a otwarcie udzielane było pojazdom szynowym. Z uwagi na geometrię tego skrzyżowania i układ faz taki sposób realizacji otwarcia priorytetowych, powodowałby zaburzenie koordynacji kołowej na głównym ciągu – ul. Grabiszyńskiej. Związane było to z długością przejścia oraz regułami chroniącymi pieszych, dla których sygnał zielony musiał być przyznawany co cykl. Mając na uwadze powyższe, zdecydowano o udzielaniu priorytetu tylko kosztem lewoskrętów w ulicę Stalową. Należało tak zmodyfikować dotychczasowy algorytm, by w przypadku detekcji pojazdu szynowego udzielić mu otwarcia priorytetowego tylko w wybranym miejscu w diagramie. Z uwagi na torowisko za-



3. Skrzyżowanie Grabiszyńska - Stalowa w programie symulacyjnym i w aplikacji sterowania ruchem

budowane, z którego korzystają również autobusy, niezbędnym było rozróżnienie rodzaju pojazdu. Określono sekwencje, w których ewentualna detekcja tramwaju powodowałaby rozpoczęcie realizacji priorytetu i zmodyfikowano istniejące reguły sterowania. Symulacje pozwoliły testować modyfikowany algorytm zapisany w kodzie mikroregulacji i optymalizować jego działanie. Wykorzystując środowisko testowe, samodzielnie opracowano rozwiązanie, które z powodzeniem może być również wykorzystywane na innych skrzyżowaniach.

Podsumowanie

Posiadanie narzędzia pozwalającego nie tylko sprawdzić zaawansowane rozwiązania, ale również zoptymalizować ich działanie jeszcze przed docelowym wdrożeniem ich na skrzyżowaniu, stało się ważnym elementem w procesie wprowadzania zmian i pozwoliło wyeliminować błędy pojawiające się na początku wdrażania projektu ITS. Od początku roku 2015 każda duża inwestycja lub modyfikacja programów sygnalizacji, będąca realizowana w obszarze objętym ITS i mogąca wpłynąć na ruch jest analizowana przy

użyciu powyżej opisanych narzędzi. Dotyczy to zwłaszcza realizacji reguł udzielania priorytetu pojazdom szynowym, na co w ostatnich miesiącach Miasto kładzie szczególny nacisk w związku z prowadzoną polityką mobilności [3]. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Zarząd Dróg i Utrzymania Miasta, „Inteligentny System Transportu we Wrocławiu - Opis Przedmiotu Zamówienia”, Wrocław 2010, str. 209-213
- [2] „Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach”, Dz. U. z dnia 23 grudnia 2003 r. (z późn. zm.)
- [3] Uchwała NR XLVIII/1169/13 Rady Miejskiej Wrocławia z dnia 19 września 2013 r. w sprawie Wrocławskiej polityki mobilności