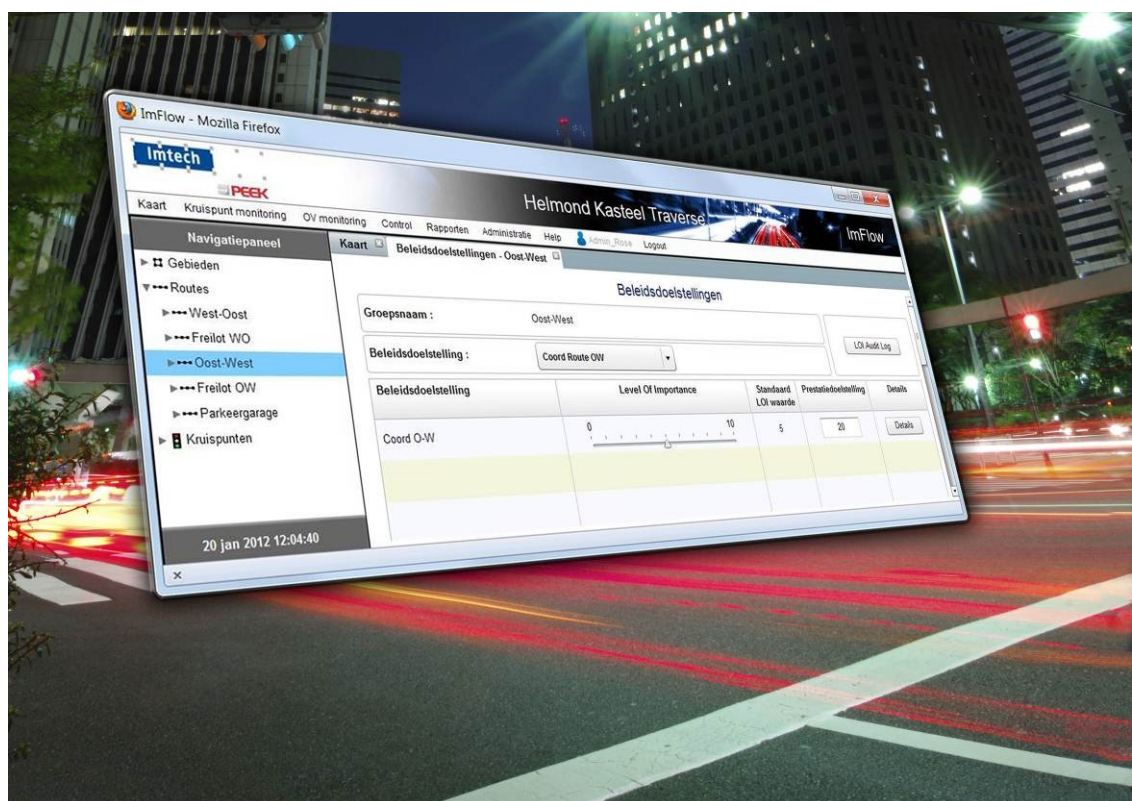


ImFlow

Opis Systemu



Spis treści

1	Wprowadzenie	5
	Konwencje.....	5
2	Sterowanie ruchem miejskim	6
	Ewolucja Systemów Sterowania Ruchem	6
	System Zarządzania Ruchem.....	8
	Przegląd funkcjonalności.....	8
	Przegląd komponentów	9
	Przegląd architektury.....	9
3	ImFlow	10
	Cele wdrażania ImFlow.....	10
	Użytkownicy ImFlow.....	11
	Zastosowania ImFlow	12
	Tryby pracy ImFlow	13
	Obszary, trasy i skrzyżowania	14
	Interfejs użytkownika	14
	Konfiguracja i symulacja	16
	Architektura systemu.....	17
	Zbieranie danych o ruchu	19
	Interfejsy do systemów ITS	19
	Diagnostyka systemu	19
	Zarządzanie zdarzeniami.....	20
	Obsługiwane sygnały.....	20
4	Sterowanie adaptacyjne	21
	Oczekiwania	21
	Algorytm adaptacyjny ImFlow	23
	Optymalizacja programu sterowania	24
	Fazy i grupy sygnalizacyjne.....	24
	Ograniczenia.....	25
	Detekcja	26
	Funkcje specjalne.....	29
5	Priorytet dla transportu publicznego	30
	Kluczowe cechy.....	30
	Oczekiwania użytkowników	30
	Śledzenie pojazdów transportu publicznego	30
	Kluczowe elementy	31

6	Aktywowany systemowo wybór planu	33
	Metody przejścia cykl - offset	33
7	Specyfikacja techniczna	34
	Rozmiary systemu	34
	Konfiguracja i symulacja	34
	Moduł ImFlow	34
	Komunikacja	34
	Serwer ImFlow	35
8	Skróty	36

Rysunki

Rysunek 1	Ewolucja Systemów Sterowania Ruchem.	6
Rysunek 2	System Zarządzania Ruchem - przegląd funkcjonalny.	8
Rysunek 3	System Zarządzania Ruchem - przegląd komponentów	9
Rysunek 4	System Zarządzania Ruchem - przegląd architektury	9
Rysunek 5	Skomplikowane izolowane skrzyżowanie	13
Rysunek 6	Tryby pracy ImFlow	14
Rysunek 7	Obszary, trasy i skrzyżowania	14
Rysunek 8	Mapa w graficznym interfejsie użytkownika ImFlow	15
Rysunek 9	Wykres kolejek oraz diagram paskowy w ImFlow	16
Rysunek 10	Graficzny interfejs konfiguratora ImFlow	17
Rysunek 11	Architektura systemu ImFlow - komponenty	18
Rysunek 12	Ogólna sekwencja sygnałów w ImFlow	20
Rysunek 13	Oczekiwania użytkownika wraz z ich wagowym poziomem ważności	22
Rysunek 14	Optymalizacja programu sterowania w ImFlow.....	24
Rysunek 15	Przykład skrzyżowania typu T.....	25
Rysunek 16	Detektory stopowe w ImFlow	28
Rysunek 17	Detektory wejściowe w ImFlow	28

1 Wprowadzenie

Niniejsza publikacja zawiera następujące rozdziały:

Rozdział 1 <i>Wprowadzenie</i>	Zawiera opis rozdziałów zawartych w tej publikacji, referencje do innych powiązanych dokumentów, a także wykaz użytych konwencji i symboli.
Rozdział 2 <i>Sterowanie ruchem miejskim</i>	Ten rozdział zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki ITS w zakresie systemów sterowania ruchem w miastach.
Rozdział 3 <i>ImFlow</i>	Ten rozdział zawiera wprowadzenie do systemu ImFlow. Opisuje cele użytkownika oraz funkcjonalność stosowaną w ImFlow dla realizacji tych celów.
Rozdział 4 <i>Algorytm adaptacyjny</i>	Ten rozdział opisuje zasadę działania algorytmu adaptacyjnego ImFlow.
Rozdział 5 <i>Priorytet dla transportu publicznego</i>	Ten rozdział opisuje możliwości ImFlow w odniesieniu do realizacji priorytetów dla transportu publicznego.
Rozdział 6 <i>SAPS</i>	Ten rozdział opisuje zasadę działania algorytmu Aktywowanego Systemowo Wyboru Planu (System Activated Plan Selection - SAPS).
Rozdział 7 <i>Specyfikacja Techniczna</i>	Ten rozdział opisuje specyfikację techniczną Systemu Sterowania Ruchem ImFlow.

Konwencje

W niniejszej publikacji stosowane są następujące konwencje, aby przekazać ważne wskazówki i informacje:

Użyte symbole



UWAGA

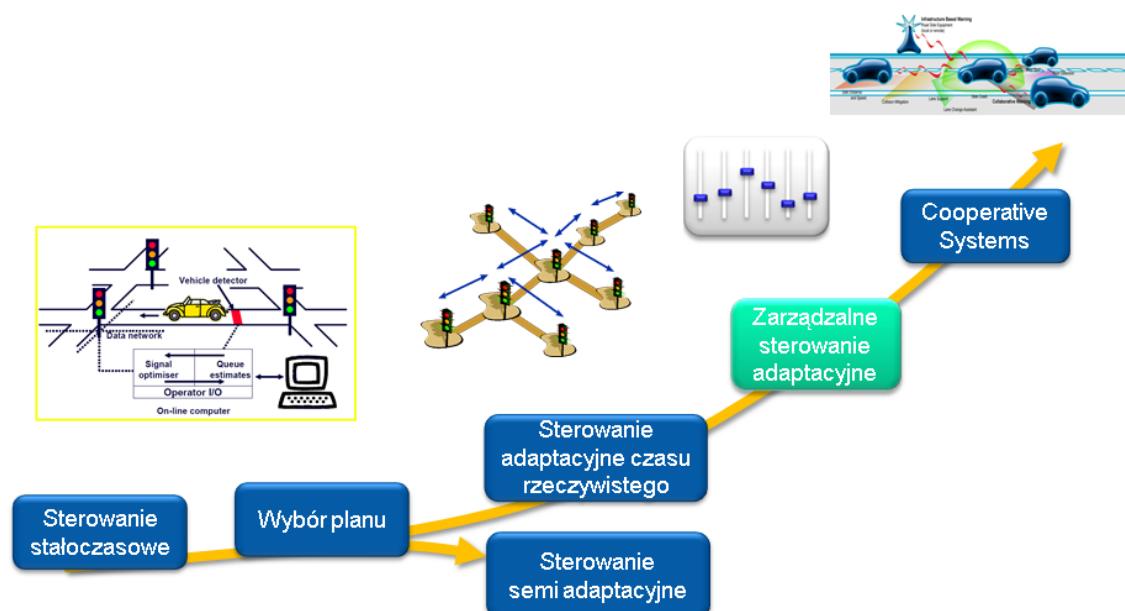
Dla pokreślenia pomocnych sugestii lub referencji do innych użytecznych materiałów niezawartych w tej publikacji.

2 Sterowanie ruchem miejskim

Ten rozdział zawiera krótkie wprowadzenie do tematyki ITS w zakresie systemów sterowania ruchem w miastach.

Ewolucja Systemów Sterowania Ruchem

Systemy Sterowania Ruchem (*Urban Traffic Control - UTC*) zostały wprowadzone w latach siedemdziesiątych, początkowo jako skoordynowane ciągi sygnalizacji stałoczasowych na głównych korytarzach w sieci transportowej miast. Ich pierwsza generacja była oparta na predefiniowanych, stałoczasowych planach, nie posiadając zdolności do reagowania na zmiany w natężeniach ruchu. Ta niedogodność została skorygowana w systemach drugiej generacji, poprzez wprowadzenie sterowania w trybie *Traffic Responsive*, nazywanego również systemowym wyborem planów (*System Activated Plan Selection - SAPS*). Systemy te mierzą natężenia ruchu pojazdów w strategicznych punktach sieci. Na podstawie tych pomiarów dokonują wyboru, zazwyczaj co 15 minut, planu sterowania, który najlepiej odpowiada zmierzonym natężeniom.



Rysunek 1 Ewolucja Systemów Sterowania Ruchem.

Kilka z dzisiejszych Systemów Sterowania Ruchem opiera się na koncepcji sterowania poprzez wybór planu. Pomimo, iż są one zdolne do reagowania na stopniowe zmiany natężeń ruchu, ich możliwości adaptacyjne nie są w stanie zadośćuczynić szybkim zmianom ruchu w sieci oraz udzielaniu priorytetu dla komunikacji zbiorowej i pojazdów specjalnych. W celu udzielenia priorytetu system drugiej generacji stosuje tzw. zasadę *pre-emption* - oznacza to, że sterownik sygnalizacji świetlnej tymczasowo przełącza się w tryb lokalny, by obsłużyć przejazd priorytetowy poza jurysdykcją systemu sterowania. Funkcjonalność tych systemów może być zwiększona poprzez zastosowanie inteligentnych sterowników ruchu. Inteligentne sterowniki potrafią, używając lokalnej detekcji, określić obecność pojazdów, pieszych czy pojazdów transportu publicznego na skrzyżowaniu. Logika sterowania akomodacyjnego w sterowniku przydziela sygnał zielony "na żądanie" oraz modyfikuje czas jego trwania (Split) w obrębie przekazanego przez system centralny ramowego, skoordynowanego planu sterowania. Komputer centralny w systemie semi adaptacyjnym zbiera dane o ruchu w czasie rzeczywistym i używa tych informacji to obliczania programu sygnalizacji dla następnego cyklu. Obliczony program sygnalizacji jest przesyłany do sterownika ruchu do realizacji.

Adaptacyjne systemy czasu rzeczywistego w sposób ciągły optymalizują program sygnalizacji i są w stanie szybciej odpowiadać na zmiany ruchu oraz udzielać priorytetów dla transportu publicznego. SCOOT¹ jest systemem sterowania ruchem zapewniającym zcentralizowane sterowanie adaptacyjne. Zasada działania SCOOT polega na wykrywaniu pojazdów opuszczających każde skrzyżowanie i kierujących się do kolejnego skrzyżowania. Następnie modelowany jest przejazd pojazdów od detektora poprzez linię zatrzymań, co wraz z informacją o stanie grupy sygnalizacyjnej pozwala uzyskać obraz ewentualnych kolejek na skrzyżowaniu i stanowi dane wejściowe dla trzech optymalizatorów ruchu. Optymalizatory: długości trwania sygnału zielonego w każdej grupie sygnalizacyjnej (*Split*), przesunięcia w czasie pomiędzy sąsiednimi skrzyżowaniami (*Offset*) oraz całkowitej długości trwania wszystkich sygnałów na skrzyżowaniu (*Cykl*) bezustannie modyfikują te parametry dla wszystkich skrzyżowań w sterowanym obszarze, minimalizując straty czasu i redukując liczbę zatrzymań poprzez synchronizowanie właściwych grup sygnalizacyjnych. Oznacza to, że plany sygnalizacji bez przerwy ewoluują wraz ze zmianami w natężeniach ruchu, jednocześnie nie powodując zaburzeń, jakie zwykle towarzyszą nagłym zmianom planów charakterystycznym dla systemów typu *Traffic Responsive*.

ImFlow jest opartym na innowacyjnym mechanizmie zarządzania strategiami systemem sterowania nowej generacji, realizującym sterowanie adaptacyjne w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem rozproszonej inteligencji. Rozproszone sterowanie adaptacyjne jest oparte na koncepcji rozproszonego przetwarzania danych, w której każde skrzyżowanie jest wyposażone w swój własny, inteligentny moduł optymalizujący ruch na podstawie skonfigurowanej strategii. Każde skrzyżowanie funkcjonuje jako węzeł sieci, wymieniając informacje ze skrzyżowaniami sąsiednimi. Koncepcja rozproszonej inteligencji pozwala systemowi szybciej reagować na zmiany w sieci oraz lepiej udzielać priorytetu dla pojazdów komunikacji zbiorowej i pojazdów specjalnych.

Zastosowanie *cooperative technology* pozwala zrobić kolejny krok naprzód poprzez wykorzystanie komunikacji pojazd - infrastruktura i pojazd - pojazd. To pozwala systemowi sterowania ruchem na komunikację z indywidualnymi pojazdami w celu uzyskania informacji na temat celu podróży, czasów przejazdu pomiędzy węzłami sieci oraz ich uprzywilejowaniu. Taka informacja jest następnie używana do optymalizacji ruchu w bardzo szerokim ujęciu.

¹ Split Cycle Offset Optimization Technique (<http://www.scoot-utc.com>)

System Zarządzania Ruchem

System Zarządzania Ruchem zapewnia zintegrowane rozwiązanie do zarządzania i monitorowania ruchu w mieście. Typowy System Zarządzania Ruchem składa się ze współpracujących ze sobą modułów i aplikacji ITS. Podstawowymi z nich są:

- System Sterowania Ruchem (*UTC*): Optymalizacja ruchu poprzez wpływanie na programy sygnalizacji.
- Znaki zmiennej treści (*VMS*): Dostarczanie kierowcom informacji o sytuacji ruchowej w mieście.
- System monitoringu wizyjnego (*CCTV*): Podgląd wizyjny ruchu w mieście.
- System naprowadzania na parkingi (*Parking Guidance*): Dostarcza kierowcom informacje o wolnych miejscach parkingowych.
- Centrum sterowania ruchem z miejscami pracy operatorów oraz ścianą wideo.
- Interfejsy do innych systemów ITS, jak system zarządzania flotą transportu publicznego lub system zarządzania zdarzeniami.

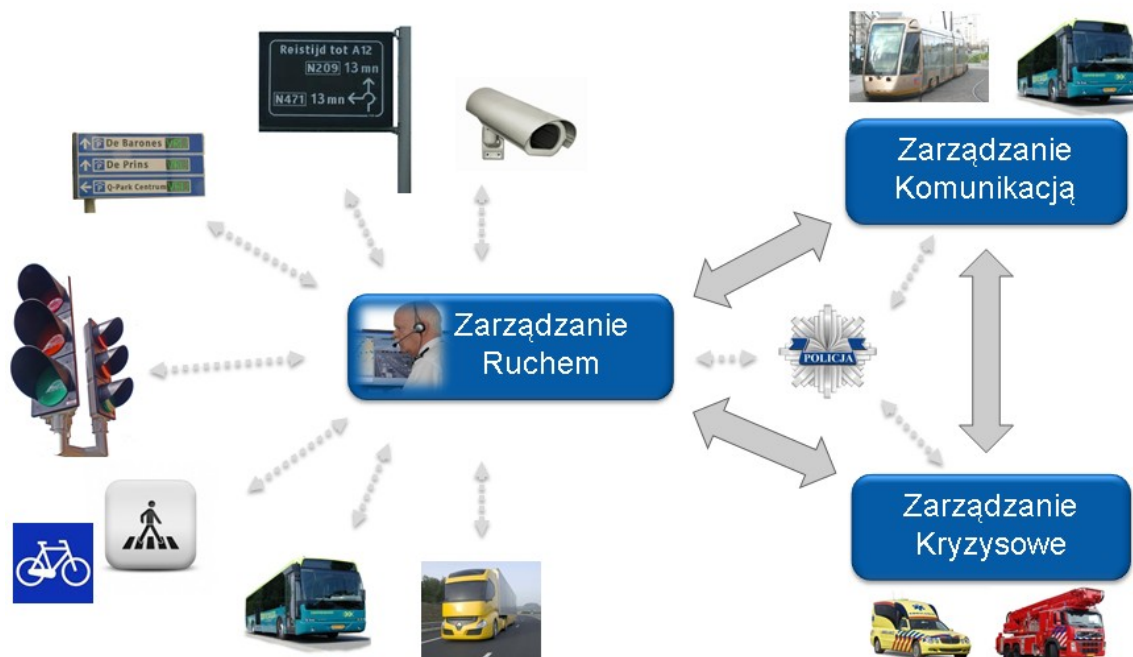


UWAGA

ImFlow jest aplikacją ITS, która może pracować jako izolowany system lub jako część Systemu Zarządzania Ruchem.

Przegląd funkcjonalności

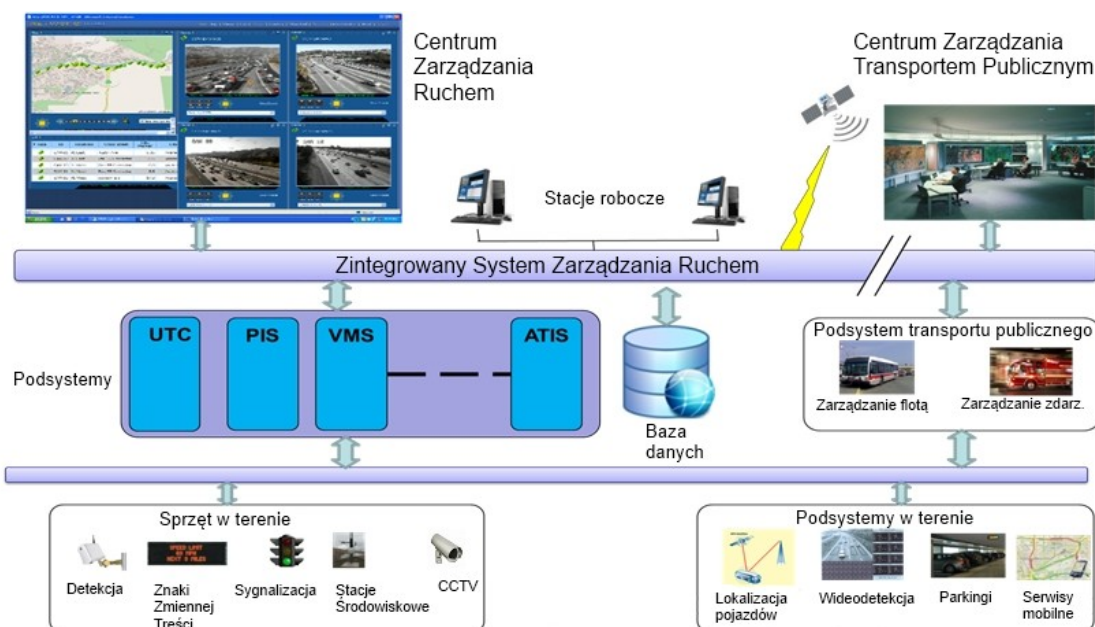
Rysunek poniżej przedstawia przegląd funkcjonalności Systemu Zarządzania Ruchem. ImFlow jest aplikacją ITS, częścią Systemu Zarządzania Ruchem, której zadaniem jest sterowanie sygnalizacją świetlną.



Rysunek 2 System Zarządzania Ruchem - przegląd funkcjonalny.

Przegląd komponentów

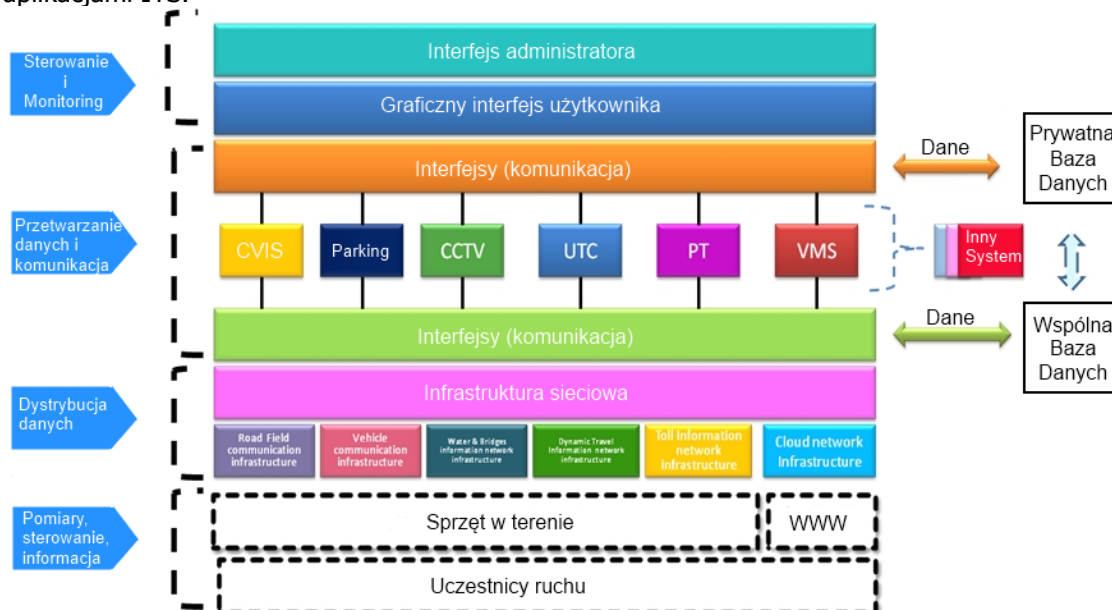
Poniższy rysunek przedstawia przegląd komponentów Systemu Zarządzania Ruchem. ImFlow jest podsystemem sterowania ruchem (UTC), który zajmuje się sterowaniem sygnalizacjami świetlnymi. Jest w pełni zintegrowany z Systemem Zarządzania Ruchem pracując na wspólnych bazach danych, stacjach roboczych, ścianach wizyjnych i sieciach komunikacyjnych.



Rysunek 3 System Zarządzania Ruchem - przegląd komponentów

Przegląd architektury

Poniższy rysunek przedstawia przegląd architektury Systemu Zarządzania Ruchem. ImFlow jest komponentem UTC, wykorzystuje infrastrukturę sieciową do komunikacji z urządzeniami lokalnymi na skrzyżowaniach oraz współdzieli graficzny interfejs użytkownika (GUI) z innymi aplikacjami ITS.



Rysunek 4 System Zarządzania Ruchem - przegląd architektury

3 ImFlow

Ten rozdział zawiera wprowadzenie do systemu ImFlow. Opisuje cele użytkownika oraz funkcjonalność stosowaną w ImFlow dla realizacji tych celów.

"Unikalność systemu ImFlow wynika z wydajnego algorytmu sterowania adaptacyjnego, który optymalizuje program sterowania ruchem na podstawie zdefiniowanych przez operatora strategii."

Cele wdrażania ImFlow

Zadaniem ImFlow jest wypracowanie optymalnego sposobu sterowania ruchem, poprzez balansowanie celami użytkownika. Przegląd możliwych do realizacji za pomocą ImFlow celów jest przedstawiony poniżej:

Ograniczenie korków	ImFlow może w znacznym stopniu ograniczać korki poprzez właściwe dostosowywanie pracy sterowników ruchu drogowego do panujących warunków ruchu. Na podstawie informacji z ImFlow inne systemy ITS mogą dalej wpływać na ograniczenie korków, dostarczając kierowcom informacji o warunkach ruchu, na przykład o prognozowanych czasach przejazdu.
Poprawa warunków ruchu na trasach	Uprzywilejowanie ruchu na ręcznie lub automatycznie wyznaczonych trasach w sieci drogowej.
Ograniczenie zanieczyszczeń powietrza	ImFlow redukuje liczbę zatrzymań spowodowaną korkami, tym samym ogranicza wydzielanie spalin i hałasu, które są największe gdy pojazdy się nie poruszają oraz gdy ruszają z miejsca. Dzięki przemieszczeniu nieuniknionego zatoru do innej części sieci drogowej ImFlow umożliwia kontrolowanie miejsca występowania i dotkliwości zanieczyszczeń komunikacyjnych. Poprzez rozproszenie zanieczyszczeń ImFlow zmniejsza wpływ ruchu ulicznego na środowisko miejskie.
Ograniczenie liczby kolizji	ImFlow redukuje liczbę kolizji drogowych wynikających z nieuważnej jazdy poprzez upłynnienie ruchu. ImFlow łagodzi skutki wypadków drogowych poprzez umożliwienie służbom ratunkowym szybkiego i bezpiecznego przejazdu przez sieć drogową.
Oszczędność energii	ImFlow oszczędza energię upłynniając ruch, ograniczając liczbę zatrzymań i skracając czas niezbędny na dotarcie do celu, tym samym zmniejszając zużycie paliwa.
Poprawa funkcjonowania transportu publicznego	ImFlow poprawia funkcjonowanie transportu publicznego na dwa sposoby: - Minimalizując opóźnienia pojazdów transportu publicznego w sieci drogowej; - Asystując w utrzymaniu regularności kursowania (np. dla linii o dużej częstotliwości kursowania).
Obsługa sytuacji nagłych	ImFlow może przydzielić bezwarunkowy priorytet dla pojazdów specjalnych na wyznaczonych trasach.
Skrócenie czasu oczekiwania	Skrócenie czasu oczekiwania dla powolnych uczestników ruchu (pieszych i rowerzystów).

	Informowanie pieszych i rowerzystów o pozostałym czasie oczekiwania. Pieszy lub rowerzysta, który jest świadomy niezbędnego czasu oczekiwania jest mniej podatny na wkraczanie na przejście na czerwonym świetle (to zwiększa bezpieczeństwo).
Informacja o ruchu	ImFlow może dostarczać informacje o warunkach ruchu w sieci drogowej (czasy przejazdu i korki) do innych systemów ITS.

Użytkownicy ImFlow

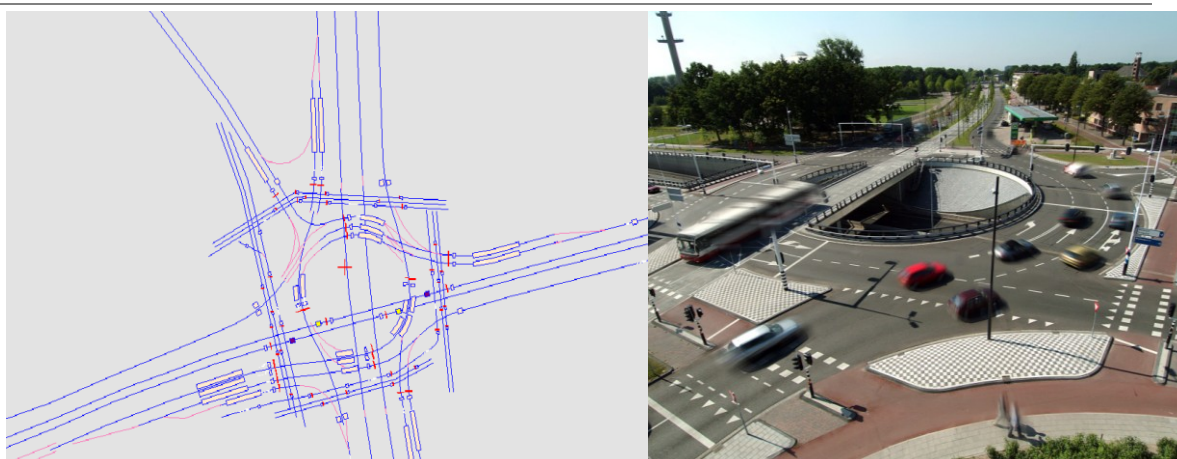
W użytkowanie ImFlow zaangażowane są różne grupy użytkowników, każda z nich ma specyficzne zadania oraz oczekiwania. Poniżej przedstawiono przegląd użytkowników ImFlow zaangażowanych w projektowanie, uzgadnianie i obsługę systemu sterowania ruchem. Dla każdej z grup podano krótki opis, w jaki sposób ImFlow może zadośćuczynić potrzebom użytkownika i w jaki sposób pomaga mu w wypełnianiu jego obowiązków.

Użytkownik drogi	Użytkownik drogi jest podstawowym beneficjentem i (pośrednim) użytkownikiem systemu ImFlow. Jako kierowca oczekuje płynnego przejazdu przez sieć drogową przy minimalnej liczbie zatrzymań i opóźnień. Jako pieszy oczekuje bezpiecznego przejścia przez drogę przy minimalnym czasie oczekiwania. System ImFlow może zadośćuczynić potrzebom użytkowników poprzez wagowe balansowanie skonfigurowanymi strategiami.
Operator	Operator jest odpowiedzialny za bieżącą obsługę systemu sterowania ruchem. Ma możliwość monitorowania i analizy wydajności systemu oraz dostrajania go z wykorzystaniem graficznego interfejsu operatora (interfejs webowy).
Inżynier ruchu	Inżynier ruchu konfiguruje system dla osiągnięcia założonych celów i jest odpowiedzialny za wydajność systemu od strony ruchowej. ▪ Projekt, konfiguracja i aktualizacje systemu (inżynieria ruchu); ▪ Zapewnienie drugiej linii wsparcia dla operatorów; ▪ W fazie projektowania systemu inżynier ruchu projektuje i testuje system wykorzystując dostępne narzędzia. Do zweryfikowania prawidłowości założeń projektowych i porównania rozwiązań wariantowych stosowane jest narzędzie do mikro symulacji.
Inżynier utrzymania	Inżynier utrzymania prowadzi regularne przeglądy zapobiegawcze oraz naprawcze i jest odpowiedzialny za techniczną wydajność systemu. ImFlow wspiera inżyniera utrzymania w szybkiej lokalizacji i identyfikacji problemów w systemie.
Inżynier systemu	Inżynier systemu jest odpowiedzialny za: ▪ Projekt, konfigurację i aktualizacje infrastruktury ITC (komputery i komunikacja); ▪ Zadania administracyjne związane z systemem, na które składają się: zarządzanie użytkownikami, tworzenie kopii zapasowych, itp.; ▪ Zapewnienie drugiej linii wsparcia technicznego.
Gość	Ta grupa zawiera osoby (ze strony klienta), które są zaangażowane w planowanie, wdrażanie i utrzymanie systemu i mogą logować się do systemu jako goście.

Zastosowania ImFlow

Unikalność ImFlow wynika także z jego wysokiej skalowalności, która czyni z niego kompleksowe i konkurencyjne rozwiązanie dla zastosowań od pojedynczego skrzyżowania do dużej miejskiej sieci drogowej.

Duża miejska sieć drogowa	ImFlow jest zaprojektowany jako niezależna aplikacja, która może być zintegrowana z innymi aplikacjami ITS w ramach Systemu Zarządzania Ruchem. Elastyczna architektura ImFlow zapewnia wiele możliwości wdrożenia systemu z dostosowaniem do specyficznych wymagań lokalnych klienta. Skrzyżowania w systemie są zazwyczaj grupowane w logiczne obszary. Dla każdego obszaru można niezależnie skonfigurować tryb pracy. ▪ Obszary zawierające trasy przejazdu komunikacji zbiorowej są zazwyczaj konfigurowane w trybie sterowania adaptacyjnego w czasie rzeczywistym. ▪ Mniej wymagające obszary mogą być skonfigurowane w trybie wyboru planu.
Sieci adaptacyjne	Potężną funkcjonalnością ImFlow jest zdolność do łatwego budowania sieci poprzez łączenie kolejnych skrzyżowań. Dołączenie skrzyżowania do istniejącej sieci wymaga wyposażenia sterownika ruchu drogowego w moduł ImFlow. Adaptacyjna sieć ImFlow jest idealnym rozwiązaniem do: ▪ Tworzenia adaptacyjnych zielonych fal na arteriach lub obwodnicach; ▪ Zapewnienia warunkowego lub bezwarunkowego priorytetu dla transportu publicznego; ▪ Zapewnienia adaptacyjnego sterowania ruchem w sieciach miejskich poprzez balansowanie oczekiwaniami użytkownika w zakresie przepustowości, bezpieczeństwa, ochrony środowiska, priorytetów dla transportu publicznego i czasów oczekiwania dla pieszych.
Izolowane skrzyżowania	Jakkolwiek ImFlow jest zaprojektowany do sterowania adaptacyjnego, to jego algorytm może być także wykorzystany jako rozwiązanie dla izolowanych skrzyżowań. Przykład skomplikowanego izolowanego skrzyżowania jest zamieszczony poniżej. Skrzyżowanie posiada 38 grup sygnalizacyjnych zebranych w 5 faz ruchu. Przez środek skrzyżowania przebiegają 2 linie transportu publicznego, wszystkie grupy piesze i rowerowe są sterowane osobno, jako grupy wydzielone.



Rysunek 5 Skomplikowane izolowane skrzyżowanie

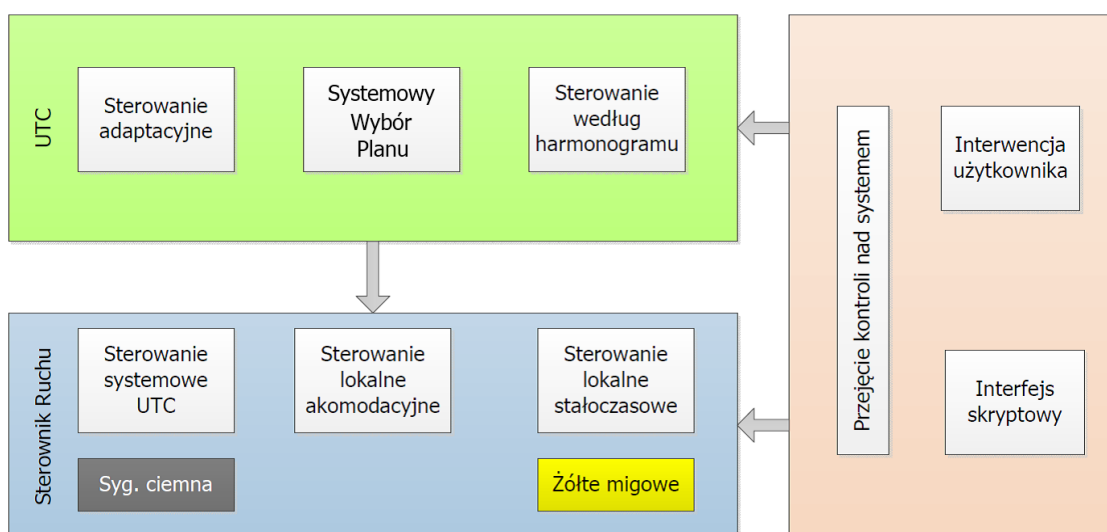
Tryby pracy ImFlow

By zadośćuczynić potrzebom użytkowników ImFlow może realizować różne metody sterowania.

Sterowanie adaptacyjne	To najbardziej zaawansowana metoda sterowania wykorzystująca algorytm adaptacyjny ImFlow do realizacji najwyższej jakości sterowania adaptacyjnego. Więcej informacji na temat algorytmu adaptacyjnego znajduje się w rozdziale 4.
Systemowy Wybór Planów (SAPS)	Algorytm SAPS (<i>System Activated Plan Selection</i>) pracujący na serwerze ImFlow wybiera, raz na 15 minut, najlepszy program sterowania ruchem, który jest następnie realizowany przez moduły ImFlow w sterownikach ruchu. Moduły ImFlow zapewniają dodatkowo lokalną akomodację realizując grupy sygnalizacyjne 'na żądanie' w ramach wybranego, skoordynowanego programu sterowania. Priorytety dla transportu publicznego i pojazdów specjalnych są realizowane na zasadzie <i>pre-emption</i> (to jest przez sterownik ruchu). Więcej informacji na temat algorytmu SAPS znajduje się w rozdziale 6.
Sterowanie według harmonogramu	W tym trybie ImFlow uruchamia predefiniowany program sygnalizacji. Program ten jest wybierany na podstawie harmonogramu lub uruchamiany ręcznie przez operatora. Moduły ImFlow zapewniają dodatkowo lokalną akomodację realizując grupy sygnalizacyjne 'na żądanie' w ramach wybranego, skoordynowanego programu sterowania. Priorytety dla transportu publicznego i pojazdów specjalnych są realizowane na zasadzie <i>pre-emption</i> (to jest przez sterownik ruchu).
Sterowanie lokalne	ImFlow może być wyłączony na żądanie pozwalając sterownikowi ruchu na sterowanie lokalne. W czasie sterowania lokalnego ImFlow kontynuuje zbieranie danych o ruchu, prowadzi aktualizacje modelu ruchu i predykcję ruchu.
Tryb migowe'/wyłączone'	ImFlow może wymusić przełączenie sterownika ruchu w tryb 'żółte migowe' lub 'lampy wyłączone' na podstawie ingerencji użytkownika lub zaplanowanego zdarzenia.

Poniższy rysunek przedstawia schematyczny przegląd podstawowych i awaryjnych trybów pracy systemu ImFlow. Podstawowe tryby pracy mogą być wybrane na podstawie zdefiniowanego zdarzenia (np. pora dnia), ingerencji użytkownika lub określonych warunków (zapisanych w

formie skryptu). W przypadku awarii system automatycznie przełączy się do trybu awaryjnego, który może być albo systemowym sterowaniem według harmonogramu lub sterowaniem lokalnym realizowanym przez sterownik ruchu.



Rysunek 6 Tryby pracy ImFlow

Obszary, trasy i skrzyżowania

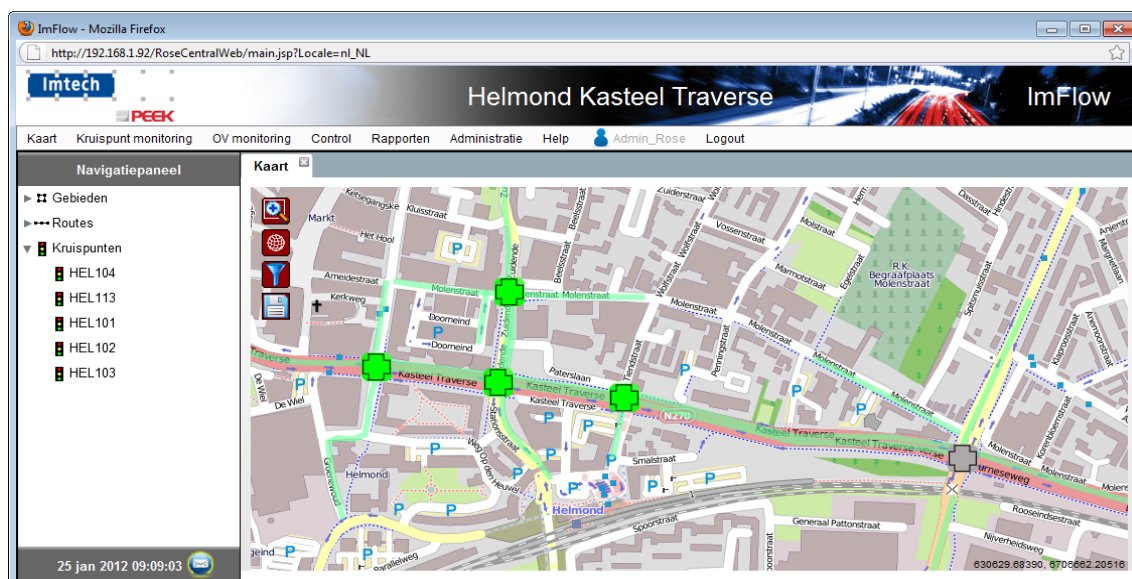
Miejska sieć drogowa zazwyczaj składa się z osygnalizowanych i nieosygnalizowanych skrzyżowań. Osygnalizowane pracują pod kontrolą systemu sterowania ruchem lub jako skrzyżowania izolowane. W ImFlow osygnalizowane skrzyżowania mogą być grupowane w obszary. Trasa w ImFlow może być zdefiniowana jako trasa, którą pokonują pojazdy prywatne w sieci drogowej, lub może być trasą transportu publicznego. Skrzyżowanie może być częścią wielu tras, gdyż trasy mogą zachodzić na siebie nawzajem. ImFlow optymalizuje ruch na poziomie skrzyżowania, trasy oraz obszaru (sieci). Poniższy rysunek przedstawia praktyczny przykład pięciu skrzyżowań w mieście Helmond w Holandii.



Rysunek 7 Obszary, trasy i skrzyżowania

Interfejs użytkownika

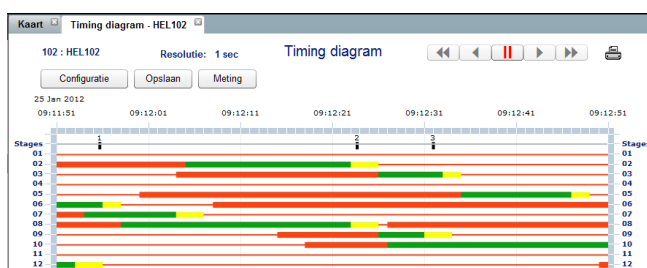
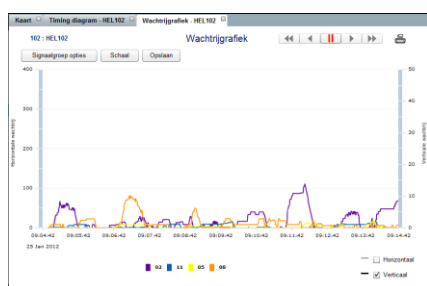
ImFlow posiada wielojęzyczny interfejs webowy pozwalający operatorom i inżynierom na zarządzanie systemem. Główny ekran przedstawia mapę sieci (np. miasta albo obszaru) zawierającą informację o statusie sytemu. Klikając na obiekty na mapie użytkownik może uzyskać dodatkową informację lub podjąć określone akcje.



Rysunek 8 Mapa w graficznym interfejsie użytkownika ImFlow

Interfejs użytkownika ImFlow jest głównym interfejsem systemu. Daje użytkownikowi dostęp do:

- Mapy sieci pokazującej status systemu;
- Systemu Zarządzania Zdarzeniami (*EMS - Event Management System*) pokazującego zdarzenia w systemie i umożliwiającego operatorowi przeglądanie, filtrowanie i akceptowanie informacji o zdarzeniach;
- Paneli monitorowania skrzyżowań zawierających wykresy kolejek, diagramy paskowe, mapy skrzyżowań, statusy skrzyżowań oraz wykresy koordynacji;
- Paneli monitorowania transportu publicznego dostarczających informacji o położeniu pojazdów w sieci;
- Bogatego zbioru standardowych raportów na temat statusu i wydajności systemu z możliwością przeglądania, drukowania i eksportowania raportów;
- Zbioru skonfigurowanych strategii z możliwością przeglądania strategii i scenariuszy strategii oraz zmian współczynników wagowych poszczególnych strategii;
- Kalendarza systemowego pozwalającego użytkownikowi na przeglądanie i modyfikowanie zaplanowanych zdarzeń i akcji;
- Panelu sterowania pozwalającego użytkownikowi na przejęcie kontroli nad systemem poprzez wydawanie poleceń;
- Panelu administracyjnego pozwalającego inżynierom na dodawanie użytkowników i zarządzanie ich prawami.



Moduł ImFlow

Moduł ImFlow znajdujący się w każdym sterowniku ruchu także posiada webowy interfejs użytkownika. Operator może skorzystać z niego klikając na link na głównym interfejsie użytkownika. Interfejs webowy modułu ImFlow dostarcza szczegółową informację o statusie oraz diagnostykę algorytmu adaptacyjnego i jest zazwyczaj używany przez inżynierów ruchu i utrzymania w celach diagnostycznych.

Sterownik ruchu drogowego EC-2

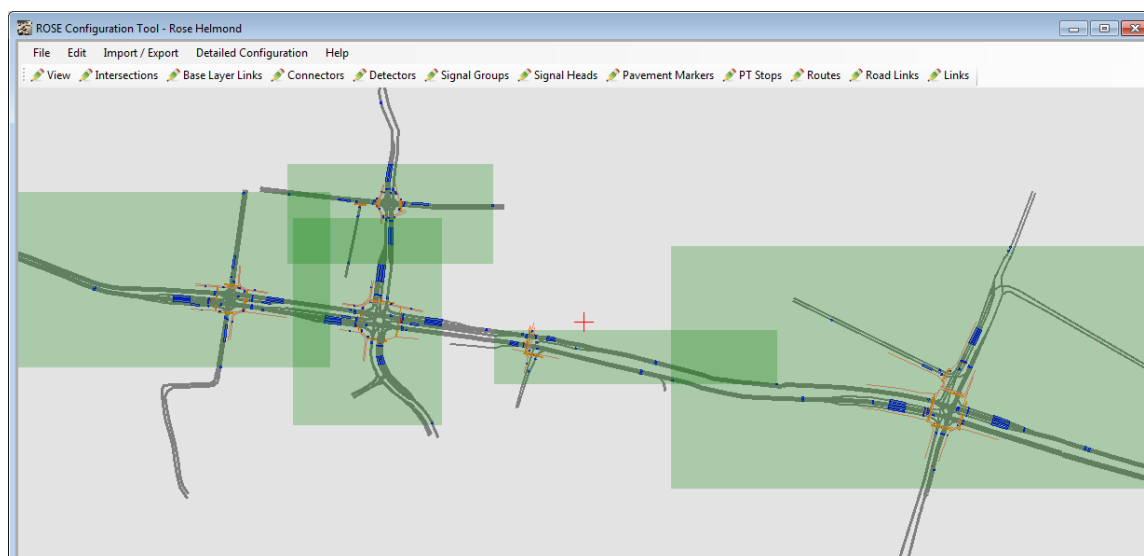
Interfejs webowy sterownika ruchu drogowego EC-2 umożliwia dostęp do sterownika. Operator może skorzystać z niego klikając na link na głównym interfejsie użytkownika zapewniającym pełną integrację różnych interfejsów.

Konfiguracja i symulacja

Aby można było efektywnie wdrożyć system sterowania ruchem ważne jest, aby był on łatwy w konfiguracji oraz by jego funkcjonowanie można było łatwo zweryfikować przed uruchomieniem na skrzyżowaniach. ImFlow spełnia te wymagania zapewniając łatwy w użyciu konfigurator oraz pełną integrację ze środowiskiem do mikro symulacji - VISSIM. Tym samym system ImFlow może być łatwo poddany ocenie instytucji zarządzającej ruchem bez konieczności prowadzenia obszernych szkoleń i zapewnić doskonałe sterowanie ruchem od pierwszego dnia po wdrożeniu.

Kluczowe cechy konfiguratora ImFlow:

- Import modelu sieci z programu VISSIM umożliwia inżynierowi ruchu łatwe skonfigurowanie sieci drogowej bez konieczności dwukrotnego wprowadzania tych samych danych;
- Graficzny interfejs pozwala użytkownikowi na dodawanie/modyfikację/usuwanie wszystkich danych modelu: drogi, pasy ruchu, łączniki, trasy, grupy sygnalizacyjne, detektory, przystanki transportu publicznego, itd.;
- Konfiguracja skrzyżowania taka jak: grupy sygnalizacyjne, detektory, fazy, tablica kolizji, czasy trwania sygnałów może być zaimportowana z pliku XML. Konfigurator sterownika EC-2 potrafi wygenerować plik XML umożliwiając inżynierowi ruchu import danych eliminując konieczność dwukrotnego wprowadzania danych.
- Obszerna weryfikacja i walidacja wprowadzonych danych dostarcza informację zwrotną na temat problemów w konfiguracji.
- Konfigurator może być użyty jako niezależne narzędzie pozwalając inżynierowi ruchu na pracę na jego komputerze (laptopie) w dowolnym miejscu i czasie. Wymiana informacji pomiędzy konfiguratorem a centralną bazą danych systemu ImFlow jest realizowana poprzez XML.



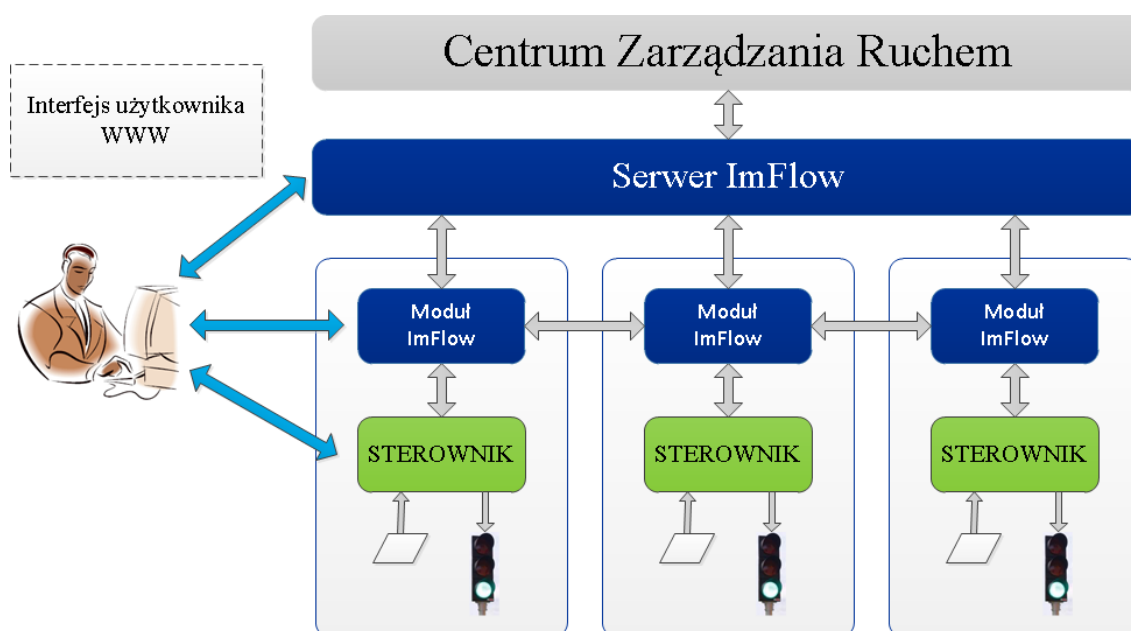
Rysunek 10 Graficzny interfejs konfiguratora ImFlow

Kluczowe cechy środowiska symulacyjnego ImFlow:

- Pełna integracja z narzędziem do mikro symulacji VISSIM z wykorzystaniem Peek SimInterface;
- Konfigurator jest w pełni zintegrowany ze środowiskiem kalibracyjnym ImFlow pozwalając inżynierowi ruchu na uruchomienie symulacji lub zestawu symulacji jednym kliknięciem.
- Pełna kontrola prędkości symulacji (np. szybciej, wolniej, pojedynczy krok, maksymalna prędkość, itd.). W szczególności wielokrotne symulacje z maksymalną prędkością uruchamiane automatycznie pozwalają inżynierowi ruchu efektywnie wykorzystywać symulacje.
- Wszystkie dane wejściowe i raporty wynikowe są automatycznie zapisywane po każdym przebiegu symulacji umożliwiając bezobsługowe korzystanie z narzędzia. Inżynier ruchu może przeanalizować wyniki po zakończeniu całej serii symulacji.
- Rozproszona symulacja pozwalająca na symulowanie dużych sieci na wielu komputerach.
- Sterownik ruchu drogowego może być zasymulowany za pomocą narzędzia TlcStub, tym samym dając możliwość symulacji całej sieci bez konieczności wcześniejszej konfiguracji sterowników ruchu.
- Pełna integracja pomiędzy ImFlow i symulatorem sterownika EC-2 zapewniająca całościową symulację systemu włączając sterowniki ruchu.

Architektura systemu

System ImFlow składa się z jednego serwera systemu (*in-station*) oraz modułów ImFlow na każdym skrzyżowaniu (*out-stations*). Serwer zapewnia centralną bazę danych, interfejs użytkownika oraz interfejsy do innych systemów ITS. Moduł ImFlow, w którym pracuje adaptacyjny algorytm sterowania, jest zabudowany w szafie sterownika ruchu drogowego. Przegląd architektury systemu ImFlow jest przedstawiony na poniższym rysunku.



Rysunek 11 Architektura systemu ImFlow - komponenty

**UWAGA**

Moduł ImFlow komunikuje się ze sterownikiem ruchu drogowego (TLC - Traffic Light Controller) poprzez protokół ImFlow-TLC.

Kluczowymi komponentami systemu ImFlow są:

Moduł ImFlow		Algorytm adaptacyjny ImFlow pracuje w module ImFlow znajdującym się w szafie sterownika ruchu.
System centralny ImFlow		System centralny ImFlow jest skalowalny i może być zaimplementowany z wykorzystaniem jednego lub większej liczby serwerów. Na funkcjonalność systemu składają się, między innymi: interfejs użytkownika, historyczna i statystyczna baza danych, interfejsy centrum-centrum do innych systemów ITS.
Infrastruktura ITC		ImFlow został zaprojektowany by być systemem niezależnym od infrastruktury ICT. Typowy system ImFlow składa się ze sterowników ruchu drogowego z modułami ImFlow na skrzyżowaniach oraz z jednego serwera ImFlow. Komponenty systemu są połączone ze sobą za pomocą standardowej sieci Ethernet.
Sterownik drogowego	ruchu	System ImFlow może być wdrożony na istniejących lub nowych sterownikach ruchu drogowego, włączając w to sterowniki różnych producentów.
Detekcja		Detektory są podłączone do sterownika ruchu drogowego, który dostarcza informacje do ImFlow za pomocą interfejsu ImFlow-TLC.
Sygnalizatory		Sygnalizatory są podłączone do sterownika ruchu drogowego.
Detekcja publicznego	transportu	Detektory transportu publicznego są podłączone do sterownika ruchu drogowego, który przekazuje informacje do ImFlow poprzez interfejs ImFlow-TLC. W przypadku, gdy system ImFlow pracuje ze sterownikiem ruchu, który uniemożliwia podłączenie detekcji transportu publicznego, może ona zostać podłączona bezpośrednio do modułu ImFlow. ImFlow umożliwia także przekazywanie informacji o detekcji

transportu publicznego w formie zdarzeń z systemu zarządzania transportem publicznym, poprzez interfejs centrum-centrum.

**UWAGA**

Algorytm adaptacyjny ImFlow jest zaimplementowany w module ImFlow znajdującym się w szafie sterownika ruchu drogowego na skrzyżowaniu, który może pracować niezależnie od serwera ImFlow. Dzięki temu małe systemy sterowania ruchem mogą być wdrażane bez konieczności instalacji serwera.

**UWAGA**

Aby algorytm adaptacyjny ImFlow mógł pracować prawidłowo moduły ImFlow muszą być połączone w niezawodną sieć IP, umożliwiającą komunikację sąsiadującym ze sobą modułom. Ta sieć może być zbudowana za pomocą światłowodów, kabli miedzianych lub wybranych urządzeń łączności bezprzewodowej². Router DSL Peek oferuje niezawodne rozwiązanie dla stworzenia sieci IP na istniejącej infrastrukturze kablowej.

Zbieranie danych o ruchu

ImFlow zbiera bardzo obszerne dane o stanie ruchu w sieci udostępniając użytkownikowi wartościowe informacje. Dane o ruchu są pogrupowane na trzy kategorie.

Interwał 5 minut	W celu wyznaczenia współczynnika wydajności systemu, ImFlow zbiera statystyczne dane o ruchu z interwałem 5 minut i umieszcza je w historycznej bazie danych. Wśród tych danych znajdują się, między innymi: czasy przejazdu pomiędzy węzłami sieci, procentowy rozkład ruchu w węzłach, stopnie nasycenia, udział sygnału zielonego, itp.
Rejestracja zdarzeń	W modułach ImFlow pracuje opracowane przez Peek narzędzie TDC (<i>Traffic Data Collector</i>). Jest ono używane do gromadzenia dokładnych danych o statusie i detekcji. Te dane są przechowywane w plikach w module ImFlow i mogą być pobrane i poddane analizie offline z wykorzystaniem narzędzia TD Viewer.
Informacja w czasie rzeczywistym na żądanie	W interfejsie użytkownika można monitorować na bieżąco informacje napływające w czasie rzeczywistym, takie jak aktualne sterowanie i kolejki. Te informacje są rejestrowane w bazie danych w sposób ciągły dla późniejszej analizy.

Interfejsy do systemów ITS

ImFlow ma możliwość komunikacji z innymi aplikacjami ITS poprzez specjalne adaptery. Adapter konwertuje informacje z ImFlow do formatu zgodnego ze specyfikacją interfejsu.

Diagnostyka systemu

ImFlow posiada szeroki zakres możliwości diagnostycznych dotyczących wydajności i funkcjonowania systemu, wspierających inżyniera ruchu, inżyniera utrzymania i inżyniera systemu w ich pracy. ImFlow został zaprojektowany z myślą o zdalnej diagnostyce i ograniczeniu do minimum konieczności prowadzenia diagnostyki i napraw w terenie. Szczegóły dotyczące możliwości diagnostycznych ImFlow i ich wykorzystania można znaleźć w Podręczniku Obsługi ImFlow (📖.3.).

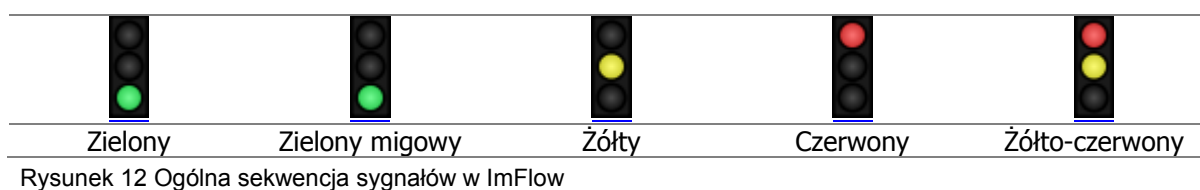
² W przypadku sieci bezprzewodowych należy zwrócić szczególną uwagę na dostępność pasma i opóźnienia w transmisji.

Zarządzanie zdarzeniami

System zarządzania zdarzeniami (*EMS - Event Management System*) jest zintegrowany z ImFlow. Zdarzenia można przeglądać bezpośrednio poprzez interfejs użytkownika. W tym celu ImFlow został wyposażony w narzędzia do grupowania i filtrowania zdarzeń, by wesprzeć użytkownika w monitorowaniu systemu. ImFlow może automatycznie przysyłać informacje o zdarzeniach poprzez SMS, email czy w formie plików (FTP).

Obsługiwane sygnały

Jakkolwiek sygnalizatory zazwyczaj wyświetlają kolor czerwony, zielony i żółty, na świecie istnieje wiele różnych sekwencji sygnałów. Aby zadośćuczynić tej różnorodności sekwencji sygnałów grupa sygnalizacyjna w ImFlow jest oparta na bardzo ogólnej sekwencji. Ta ogólna sekwencja sygnałów zapewnia możliwość obsługi standardowych trójkolorowych grup sygnalizacyjnych oraz szerokiej gamy grup sygnalizacyjnych dla różnych użytkowników ruchu: pieszych, tramwajów, ostrzegawczych, itd.



UWAGA

Najlepiej skontaktować się z Peek w celu potwierdzenia czy konkretna sekwencja sygnałów może być zrealizowana przez ImFlow.

4 Sterowanie adaptacyjne

Ten rozdział opisuje zasadę działania algorytmu adaptacyjnego ImFlow.

Zwyczajowo politycy czy urzędnicy zajmujący się tworzeniem administracyjnych założeń dla miejskich sieci transportowych używają, dla określenia swoich oczekiwań, zwrotów typu: "dać priorytet komunikacji zbiorowej", "piesi nie mogą czekać tak długo" lub "korek na wyjeździe z autostrady nie powinien blokować autostrady", podczas gdy urządzenia sterujące stosują zasady logiki do tworzenia programów sterowania ruchem. Każde skrzyżowanie charakteryzuje się zbiorem zasad, wytycznych, ale też ograniczeń, które muszą być przestrzegane przez system sterowania ruchem, by mógł zapewnić bezpieczeństwo.

ImFlow oferuje unikalną koncepcję przełożenia oczekiwań użytkownika na strategię sterowania, z uwzględnieniem istniejących ograniczeń. Koncepcja oczekiwań (zbioru celów) oraz ograniczeń jest łatwa do zrozumienia dla operatora, który wdraża i zarządza systemem ImFlow. Oczekiwania i ograniczenia mogą być bezpośrednio wprowadzone do systemu i używane przez jego algorytm sterowania adaptacyjnego do optymalizacji programów sterowania w ramach zdefiniowanych ograniczeń.

Oczekiwania

Zaletą algorytmu adaptacyjnego ImFlow jest innowacyjny system zarządzania strategiami, w którym każde oczekiwanie użytkownika posiada swój wagowy poziom ważności. To umożliwia użytkownikowi precyzowanie wielu oczekiwań i balansowanie ich wagami. Oczekiwania użytkownika mogą być zdefiniowane dla poziomu obszaru, trasy oraz skrzyżowania. Pojedyncze oczekiwania mogą być grupowane w plany, zwane scenariuszami. Scenariusze pozwalają wdrażać różne strategie (wyrażone poprzez zbiór oczekiwań) w zależności od specyficznych warunków:

- Manager zdarzeń ImFlow umożliwia wybór scenariusza w zależności od pory dnia, na przykład dla porannego i wieczornego szczytu;
- Użytkownik może ręcznie wybrać scenariusz, w celu obsługi wyjątkowej sytuacji (np. koncert lub mecz);
- Nadrzędny System Zarządzania Ruchem może wymusić określony scenariusz;
- Scenariusze mogą być zależne od warunków pogodowych czy środowiskowych, gdy odpowiednie czujniki zostaną podłączone bądź to do Systemu Zarządzania Ruchem, bądź do samego systemu ImFlow.

Koncepcja oczekiwań w systemie ImFlow jest zaprezentowana na poniższym rysunku. Suwaki reprezentują wagowy poziom ważności poszczególnych oczekiwań.



Rysunek 13 Oczekiwania użytkownika wraz z ich wagowym poziomem ważności

Algorytm adaptacyjny ImFlow

Zaawansowane sterowanie ruchem drogowym sprowadza się właściwie do podejmowania właściwych decyzji we właściwym czasie. ImFlow osiąga to poprzez analizę wielu alternatywnych programów sterowania za okres zwany horyzontem planowania. Model ruchu stosowany przez ImFlow zawiera trzy kluczowe elementy:

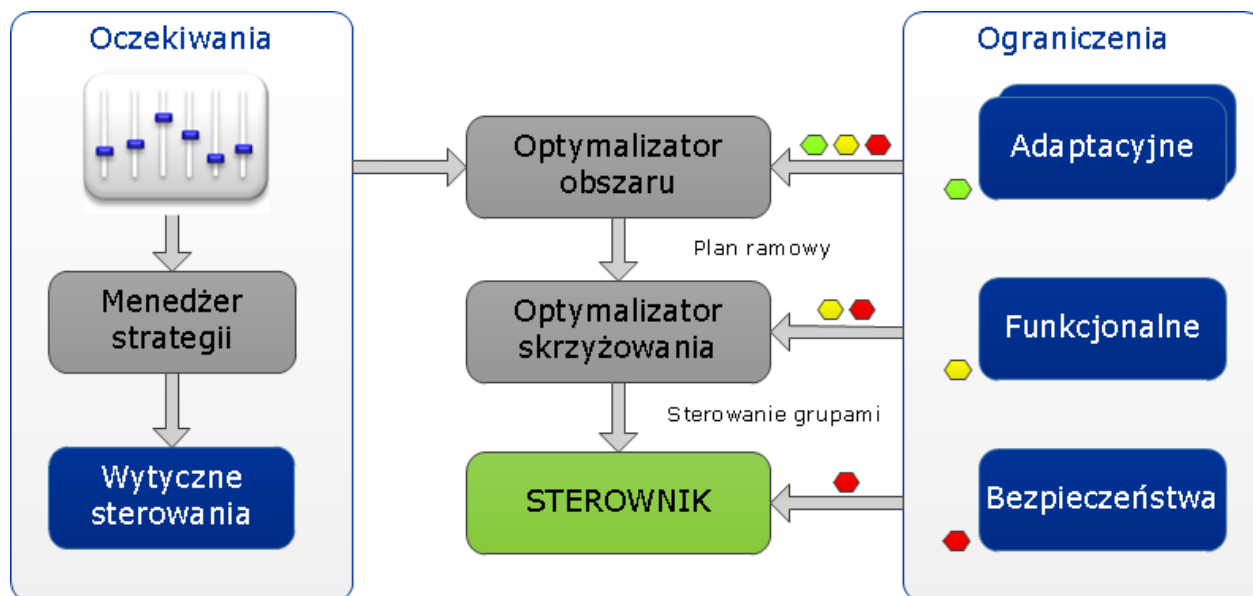
Pomiary ruchu	Pomiary i estymacja stanu ruchu (dla pojazdów indywidualnych jak również dla pomiaru potoków pojazdów)
Przewidywanie ruchu	Przewidywanie sytuacji ruchowej w przyszłości na podstawie wybranej strategii sterowania.
Optymalizacja	Generowanie, analizowanie i ocena wielu alternatywnych strategii sterowania z wykorzystaniem programowania dynamicznego.

Sercem ImFlow jest jego algorytm adaptacyjny. Celem algorytmu jest znalezienie i zrealizowanie w czasie rzeczywistym najlepszego sterowania dla narzuconej przez operatora strategii.

Pomiary	System ImFlow stosuje następujące typy detektorów: • detektory wejściowe i/lub detektory na linii zatrzymań, stosowane do modelowania napływających potoków ruchu, stopnia nasycenia oraz rozkładu kierunkowego ruchu • detektory obecności dla celów lokalnego wpływania na realizowane sterowanie • przyciski dla pieszych • selektywna detekcja dla transportu zbiorowego
Predykacja	Model stanu ruchu w systemie ImFlow jest oparty na predykcji długości kolejek, procentowego udziału pojazdów skręcających, stopni nasycenia oraz potoków pojazdów nadjeżdżających do skrzyżowania.
Manager trasy transportu zbiorowego	Manager trasy transportu zbiorowego modeluje przejazd pojazdów na trasach transportu zbiorowego w sieci drogowej. Manager trasy wymienia informacje z modułami predykcji i optymalizacji na każdym skrzyżowaniu na trasie, na temat przewidywanych czasów przyjazdu i odjazdu pojazdów z sygnalizacji świetlnej oraz przystanków. Sam manager trasy jest zaimplementowany jako rozproszona funkcja zintegrowana z logiką predykcji i optymalizacji w module ImFlow.
Optymalizator	Adaptacyjny algorytm ImFlow oferuje unikalne połączenie optymalizacji na dwóch poziomach. Optymalizator obszaru (<i>TA - Traffic Adaptive</i>) optymalizuje potoki ruchu na poziomie sieci bazując na wybranej strategii sterowania i skonfigurowanych ograniczeniach. Wynikiem pracy optymalizatora obszaru jest optymalny program sterowania ruchem na skrzyżowaniu w oparciu o bieżący i przewidywany stan ruchu w sieci. Ten optymalny z punktu widzenia obszaru program sterowania ruchem jest poddawany kolejnej optymalizacji przez optymalizator skrzyżowania (<i>VA - Vehicle Actuated</i>). Ten optymalizator, stosując lokalną logikę sterowania wypracowuje żądania włączania i wyłączania konkretnych grup sygnalizacyjnych dla sterownika ruchu na skrzyżowaniu.

Optymalizacja programu sterowania

Optymalizator obszaru optymalizuje program sterowania w oparciu o opóźnienia pojazdów w kolejkach, zatrzymania pojazdów, czas oczekiwania, opóźnienia pojazdów transportu publicznego, zatrzymania pojazdów transportu publicznego i przekroczenie zadanej długości kolejek. Koncepcja działania optymalizatora jest przedstawiona na poniższym rysunku.

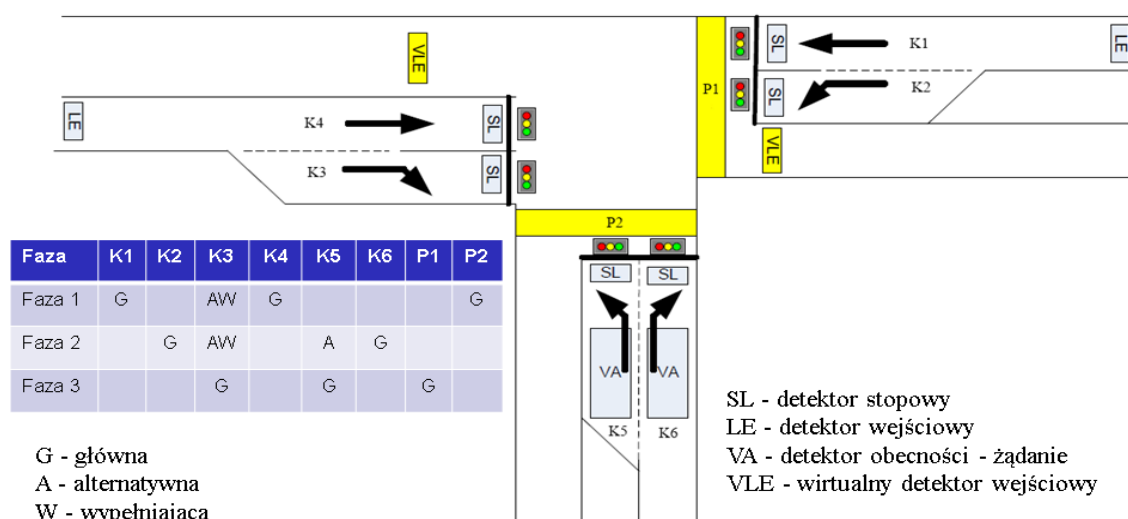


Rysunek 14 Optymalizacja programu sterowania w ImFlow

Fazy i grupy sygnalizacyjne

W systemie ImFlow grupy sygnalizacyjne są zorganizowane w fazy. Grupa sygnalizacyjna w obrębie danej fazy może być główna, alternatywna i/lub wypełniająca. Optymalizator obszaru optymalizuje sekwencje faz i czas ich trwania. Optymalizator skrzyżowania używa logiki sterowania dla określenia grup sygnalizacyjnych, które zostaną obsługane w ramach fazy, i:

- Grupy główne mają najwyższy priorytet;
- Grupy alternatywne są obsługiwane jeśli nie ma żądań na kolizyjne grupy główne;
- Grupy wypełniające są obsługiwane jeśli nie ma żądań na kolizyjne grupy główne i alternatywne.



Rysunek 15 Przykład skrzyżowania typu T

Dla przedstawienia koncepcji obsługi faz i grup sygnalizacyjnych w ImFlow użyto przykładu skrzyżowania typu T na powyższym rysunku. Skrzyżowanie jest sterowane z wykorzystaniem trzech faz ruchu.

- Każda grupa sygnalizacyjna jest grupą główną przynajmniej w jednej fazie;
- Grupa K3 jest alternatywna w fazie 1, co pozwala na obsługę jej w przypadku, gdy nie ma zapotrzebowania na grupę P2;
- Grupy K3 i K5 są alternatywne w fazie 3, co pozwala na obsługę ich w przypadku, gdy nie ma zapotrzebowania na grupę K2;
- Grupa K3 jest wypełniająca w fazach 1 i 2, co pozwala na obsługę jej w przypadku, gdy nie ma zapotrzebowania na grupy kolizyjne.

Ograniczenia

Zadane przez użytkownika oczekiwania stanowią cele dla optymalizatora, podczas gdy ograniczenia określają zasady i warunki, których optymalizator musi przestrzegać.

Ograniczenia adaptacyjne	Ograniczenia adaptacyjne mają zastosowanie do optymalnych programów sygnalizacji generowanych przez optymalizator obszaru. Są to ograniczenia dotyczące minimalnego i maksymalnego czasu trwania faz, a także uniemożliwienia realizacji określonych przejść międzyfazowych. Bez zdefiniowania tych ograniczeń optymalizator obszaru może wykonać dowolne przejście międzyfazowe, a także może utrzymywać jedną fazę ruchu przez nieskończony czas. Poprzez zdefiniowanie ograniczeń inżynier ruchu może wymusić realizację ustalonych przejść międzyfazowych i czasu trwania faz.
Ograniczenia funkcjonalne	Ograniczenia funkcjonalne dotyczą funkcjonalnych zależności pomiędzy grupami sygnalizacyjnymi. Przykładowe zależności funkcjonalne to: wspólny start, wcześniejszy start, późniejsze zakończenie, kaskadowe (lub przesunięte w czasie) przejścia dla pieszych, przejścia dla pieszych "do środka/na zewnątrz".
Ograniczenia bezpieczeństwa	Ograniczenia bezpieczeństwa dotyczą minimalnych czasów wymaganych do bezpiecznej pracy sygnalizacji i zawierają: minimalny czas trwania sygnału zielonego i czerwonego dla każdej grupy sygnalizacyjnej, czasy trwania sygnałów specjalnych (żółto-czerwony, żółty i zielony migowy) oraz minimalne

Detekcja

Detektory w systemie sterowania ruchem służą do pomiarów strumieni ruchu i jako takie wnoszą znaczny udział do całkowitego kosztu wdrożenia sterowania adaptacyjnego. By zmniejszyć ten koszt ImFlow oferuje unikalną, elastyczną i skalowalną koncepcję detekcji, w której wszystkie detektory są opcjonalne, oraz dopuszcza się zarówno detektory montowane w nawierzchni, jak i montowane ponad drogą. Poprzez zwiększenie liczby detektorów ImFlow może lepiej mierzyć i przewidywać ruch tym samym zwiększając całkowitą wydajność systemu. Typy detektorów wykorzystywanych w ImFlow są wymienione poniżej:

Typ detektora	Lokalizacja
Wejściowy	Detektor ma za zadanie zliczać pojazdy wjeżdżające na odcinek międzywęzłowy. Tego typu detektory są zazwyczaj zlokalizowane na początku odcinka międzywęzłowego, blisko poprzedniego skrzyżowania.
Międzywęzłowy	Detektor ma za zadanie zliczać pojazdy poruszające się na odcinku międzywęzłowym. Tego typu detektory są zlokalizowane pomiędzy dwoma skrzyżowaniami. Detektory międzywęzłowe są zazwyczaj używane do realizacji sterowania poprzez systemowy wybór planu (SAPS) i nie znajdują zastosowania w sterowaniu adaptacyjnym.
Stopowy	Detektor zlokalizowany przy linii zatrzymań ma za zadanie zliczać pojazdy przekraczające linię zatrzymań.
Obecności żądanie	- Detektor służy do wykrywania obecności pojazdów i pieszych (przyciski dla pieszych) oczekujących na sygnał zielony. <i>Uwaga: Sterownik ruchu może przesłać do ImFlow lokalne żądanie realizacji grupy sygnalizacyjnej. ImFlow użyje tej informacji w algorytmie optymalizacji.</i>
Obecności wydłużenie	- Detektor służy do wykrywania obecności pojazdów zbliżających się do skrzyżowania. <i>Uwaga: Sterownik ruchu może przesłać do ImFlow lokalne żądanie wydłużenia grupy sygnalizacyjnej. ImFlow użyje tej informacji w algorytmie optymalizacji.</i>
Transportu publicznego	ImFlow otrzymuje informacje o położeniu pojazdów transportu publicznego i/lub pojazdów specjalnych poprzez tak zwane zdarzenia PT. ImFlow używa tych informacji to śledzenia i przewidywania przejazdu pojazdów poprzez sieć.



UWAGA

Detektory w ImFlow są opcjonalne, tworząc ImFlow bardzo elastycznym narzędziem i pozwalając na jego wdrożenie na wielu istniejących skrzyżowaniach bez konieczności instalacji nowych detektorów.



UWAGA

Detektory wejściowy, międzywęzłowy i stopowy są używane do zliczania natężeń ruchu. Te dane są wykorzystywane przez model predykcji ImFlow do estymacji długości kolejek, procentowego udziału pojazdów skręcających, stopni nasycenia oraz potoków pojazdów nadjeżdżających do skrzyżowania.



UWAGA

Istnieje bardzo wiele różnych konfiguracji detektorów możliwych do realizacji w ImFlow. Najlepiej skontaktować się z Peek w celu konsultacji na temat konkretnego układu detekcji. Inżynierowie ruchu Peek będą w stanie określić czy dany układ detekcji jest odpowiedni dla ImFlow oraz doradzić zmiany w celu zwiększenia

wydajności systemu.

Prędkość i klasyfikacja pojazdów

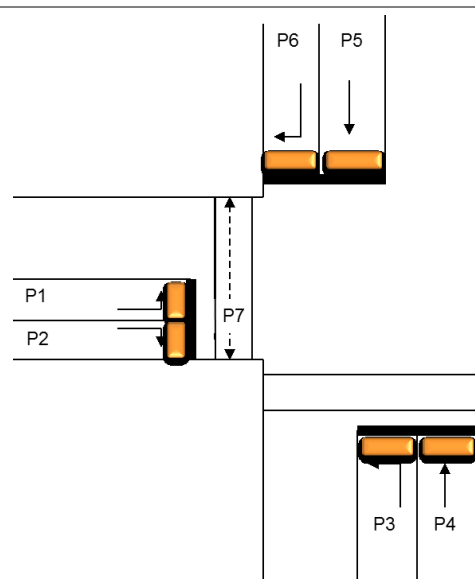
ImFlow estymuje prędkość międzywęzłową na podstawie detektorów wejściowych oraz międzywęzłowych. Prędkość jest używana do dostrojenia czasu przejazdu pojazdów zbliżających się do skrzyżowania. Wśród tych pojazdów ImFlow rozróżnia pojazdy osobowe od ciężarowych. Wolno poruszające się ciężarówki mają znaczny wpływ na ogólną wydajność sieci drogowej. Dodatkowo zatrzymanie ciężarówki ma dużo większy negatywny skutek dla środowiska naturalnego niż zatrzymanie pojazdu osobowego.

ImFlow stosuje dwie metody dla określenia prędkości i typu zbliżających się pojazdów:

- Informacja z pojedynczej pętli indukcyjnej jest przekazywana przez sterownik ruchu drogowego do ImFlow. Algorytm pomiaru prędkości i klasyfikacji w ImFlow wykorzystuje tę informację do estymacji prędkości pojazdu i do zaklasyfikowania go jako pojazd osobowy lub jako ciężarówkę.
- Sterownik ruchu drogowego EC-2 wyposażony w kartę detekcji ED316 potrafi dostarczyć do ImFlow dokładną wartość długości i prędkości pojazdów za pomocą pary pętli indukcyjnych.

Typowa konfiguracja z wykorzystaniem detektorów stopowych

Typowe skrzyżowanie posiada detektory przed liniami zatrzymań przeznaczone do wykrywania oczekujących pojazdów tak, jak to jest pokazane na rysunku poniżej.



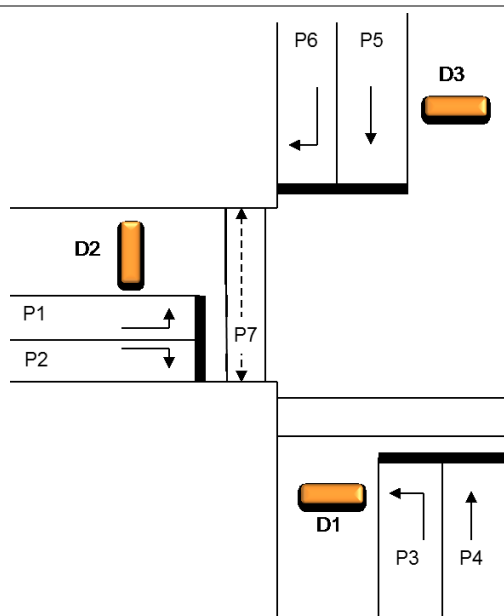
ImFlow używa informacji z detektorów stopowych aby wyestymować:

- Kolejkę oczekującą przed linią zatrzymań
- Przyjazd pojazdów na następne skrzyżowanie
- Procentowy udział pojazdów skręcających
- Stopnie nasycenia
- Określić obecność pojazdów na liniach zatrzymań (lokalne żądanie)

Rysunek 16 Detektory stopowe w ImFlow

Typowa konfiguracja z wykorzystaniem detektorów wejściowych

Jeśli skrzyżowanie nie posiada w ogóle detekcji to, jako minimum dla sterowania adaptacyjnego, należy zastosować detektory wejściowe do zliczania ruchu wjeżdżającego na odcinki międzywęzłowe.



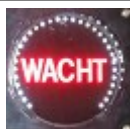
ImFlow używa informacji z detektorów wejściowych aby wyestymować:

- Kolejkę oczekującą przed linią zatrzymań
- Przyjazd pojazdów na następne skrzyżowanie
- Procentowy udział pojazdów skręcających
- Stopnie nasycenia
-

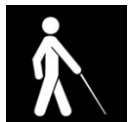
Rysunek 17 Detektory wejściowe w ImFlow

Funkcje specjalne

Poniżej wymienione zostały niektóre ze specjalnych funkcji algorytmu adaptacyjnego ImFlow.



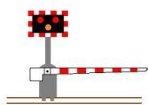
Wskaźnik czasu oczekiwania Optymalizator bez przerwy optymalizuje program pracy sygnalizacji poprzez planowanie kolejności i czasu wyświetlania poszczególnych grup sygnalizacyjnych. Wynik tego planowania jest przekazywany do sterownika ruchu (np. pozostały czas sygnału zielonego, pozostały czas sygnału czerwonego) i może być wykorzystany przez sterownik do obsługi wskaźników czasu oczekiwania dla pieszych i rowerzystów.



Sygnalizatory akustyczne mogą być podłączone do sterownika ruchu. Jeśli zastosowany zostanie specjalny przycisk dla niewidomych pieszych ImFlow może przydzielić więcej sygnału zielonego, by umożliwić bezpieczne przejście.



Rysunek przedstawia znak drogowy oznaczający **magiczne zielone dla ciężarówek**. Znak jest zazwyczaj zlokalizowany 250m przed linią zatrzymań. 300m przed linią zatrzymań dokonywany jest pomiar prędkości i długości pojazdu za pomocą pary pętli indukcyjnych. Jeśli wykryta zostanie ciężarówka znak jest zapalany w przypadku, gdy ciężarówka może przejechać skrzyżowanie w czasie nadawania sygnału zielonego. W efekcie kierowca nie musi hamować, co wpływa pozytywnie na środowisko naturalne i upłynnia ruch.



Skrzyżowanie znajdujące się w bezpośredniej bliskości **przejazdu kolejowego** wymaga podjęcia szczególnych środków zwiększających bezpieczeństwo. Kiedy zbliża się pociąg grupy sygnalizacyjne znajdujące się za przejazdem powinny nadać sygnał zielony, aby ewakuować pojazdy z przejazdu kolejowego. Gdy szlabany są opuszczone grupy sygnalizacyjne kolizyjne z przejazdem kolejowym powinny pozostawać w stanie czerwonym. Po przejeździe pociągu skrzyżowanie musi wrócić do normalnej pracy. ImFlow realizuje koncepcję częściowego *pre-emption*, w której sterownik ruchu utrzymuje część grup sygnalizacyjnych w stanie czerwonym, podczas gdy ImFlow kontynuuje optymalizację pozostałych grup w czasie przejazdu pociągu.



ImFlow realizuje koncepcję częściowego *pre-emption*, w której sterownik ruchu utrzymuje część grup sygnalizacyjnych w stanie czerwonym, podczas gdy ImFlow kontynuuje optymalizację pozostałych grup w czasie, gdy **most** jest uniesiony.



Na arteriach, gdzie ImFlow jest użyty do stworzenia "zielonej fali", jego predykcja może zostać wykorzystana do przekazywania kierowcom informacji o **zalecanej prędkości** jazdy.

Przez dodanie do sterownika ruchu urządzeń do komunikacji pojazd - infrastruktura (*cooperative technology*) informacja o zalecanej prędkości jazdy może być także dostępna w pojazdach.

5 Priorytet dla transportu publicznego

Ten rozdział opisuje możliwości ImFlow w odniesieniu do realizacji priorytetów dla transportu publicznego.



UWAGA

Właściwości systemu i jego funkcje związane z obsługą priorytetów dla transportu publicznego opisane w tym rozdziale dotyczą algorytmu adaptacyjnego ImFlow. Te funkcje nie są dostępne gdy ImFlow pracuje w trybie SAPS lub według harmonogramu.

Kluczowe cechy

Podstawowe funkcje systemu priorytetów w ImFlow to:

- Łatwe do zrozumienia narzędzia do zarządzania trasą komunikacji zbiorowej oparte na oczekiwaniach użytkownika i wskaźnikach jakości obsługi pojazdów;
- Modelowanie zachowania pojazdu komunikacji zbiorowej na trasie;
- Predykcja czasów przyjazdu i odjazdu na sygnalizowanych skrzyżowaniach i przystankach;
- Optymalizacja na poziomie skrzyżowania z wykorzystaniem punktów meldunkowych lub detektorów na linii zatrzymań;
- Pełna rejestracja przejazdu pojazdu komunikacji zbiorowej na trasie (*PT recorder*)
- Elastyczne podejście do detekcji pojazdów komunikacji zbiorowej oparte na zgłoszeniach z detektorów klasycznych, wirtualnych oraz zdalnych (np. poprzez interfejsy centrum - centrum)

Oczekiwania użytkowników

ImFlow posiada możliwość zadośćuczynienia następującym oczekiwaniom użytkowników:

- Minimalizacja opóźnień pojazdów komunikacji zbiorowej
- Minimalizacja ilości zatrzymań pojazdów komunikacji zbiorowej
- Wspomaganie punktualności kursowania
- Wspomaganie regularności kursowania

Śledzenie pojazdów transportu publicznego

ImFlow w trybie pracy adaptacyjnej śledzi wszystkie pojazdy transportu publicznego w sieci i modeluje ich przejazd na trasie. W oparciu o model ImFlow przewiduje czasy przyjazdów i odjazdów pojazdów na osygnalizowanych skrzyżowaniach i na przystankach. Model jest zasilany danymi z detektorów transportu publicznego rozmieszczonych na trasie.

Lokalna detekcja transportu publicznego	W tym przypadku ImFlow otrzymuje informacje z detektorów transportu publicznego podłączonych do sterownika ruchu. Typowe detektory to:
	▪ pętle VECOM/VETAG (Pojazd transportu publicznego musi być wyposażony w transponder); ▪ radio krótkiego zasięgu VDV R09 lub KAR (Pojazd transportu publicznego nadaje informacje o swoim położeniu, kiedy znajduje

się w 'wirtualnym' punkcie detekcji);

- czytnik PRIOTAG (Pojazd transportu publicznego jest wyposażony w unikalny tag RFID);

Detekcja zdalna

Pojazd transportu publicznego regularnie wysyła informację o swoim położeniu GPS do centralnego systemu zarządzania (np. systemu zarządzania flotą). Informacja ta jest następnie przekazywana do ImFlow z wykorzystaniem interfejsu centrum-centrum.



UWAGA

Używając lokalnej detekcji (jak VECOM czy PRIOTAG) ImFlow może dokładnie śledzić pojazdy transportu publicznego w czasie ich przejazdu przez sieć i precyzyjnie przydzielać sygnał zielony, minimalizując efekty negatywnego wpływu priorytetu na pozostałe strumienie ruchu.



UWAGA

W przypadku detekcji zdalnej wymagany jest interfejs pomiędzy ImFlow, a systemem zarządzania transportem publicznym. Jakość przydzielanych priorytetów będzie w tym przypadku zależna od jakości dostarczanej do ImFlow informacji (np. mogą wystąpić opóźnienia lub luki w przesyłanych danych).



UWAGA

W niektórych przypadkach pas ruchu lub zatoka wydzielona dla pojazdów transportu publicznego jest używana przez pojazdy różnych linii. Załóżmy, że linia 1 jedzie na wprost, linia 2 skręca w lewo, a linia 3 skręca w prawo. W takim przypadku pas ruchu może być sterowany przez:

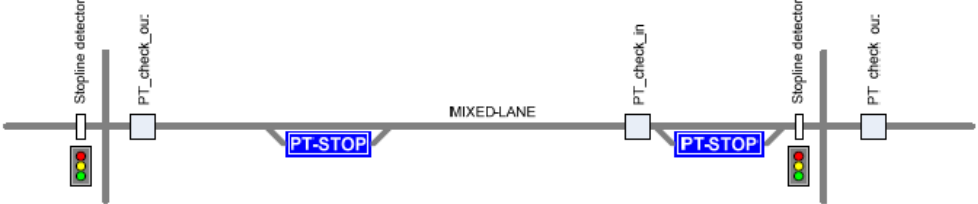
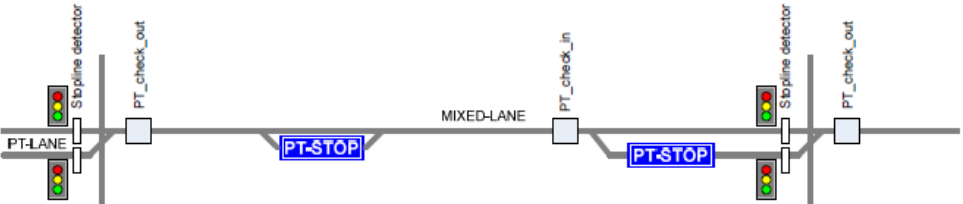
- Jedną grupę sygnalizacyjną zezwalającą na ruch we wszystkich kierunkach, lub
- Trzy grupy sygnalizacyjne, każda zezwalająca na ruch tylko w jednym kierunku.

Jeśli dwa różne pojazdy zmierzają do tego skrzyżowania i drugi pojazd ma wyższy priorytet niż pojazd pierwszy, ImFlow bierze pod uwagę, że pojazd o wyższym priorytecie może być obsługiwany tylko i wyłącznie po uprzedniej obsłudze pojazdu o niższym priorytecie.

Kluczowe elementy

Kluczowe elementy modelu uprzywilejowania pojazdów komunikacji zbiorowej w systemie ImFlow są wymienione poniżej, by umożliwić zrozumienie obszernych możliwości ImFlow w tym zakresie.

Pojazd	Pojazd komunikacji publicznej to tramwaj lub autobus. Pojazd komunikacji publicznej porusza się po trasie z punktu A do punktu B Pojazd komunikacji publicznej może wyprzedzić inny pojazd komunikacji publicznej znajdujący się na tej samej trasie.
Linia	Linia komunikacji publicznej to linia tramwajowa lub linia autobusowa. Linia komunikacji publicznej jest z reguły oznaczana numerem, jak: 1, 2 lub 127. Na linii komunikacji publicznej znajduje się wiele przystanków do wymiany pasażerów. Na liniach o niskiej częstotliwości kursowania występuje jeden pojazd na 30 minut, lub na godzinę. W tym przypadku niezwykle ważna jest punktualność. Czasy odjazdów z przystanków są ściśle określone i opublikowane w rozkładach jazdy. Na liniach o wysokiej częstotliwości kursowania pojazdy kursują co 8 lub 10 minut. W tym przypadku niezwykle ważna jest regularność kursowania w celu zachowania właściwych odstępów pomiędzy pojazdami.

Kurs	Kurs jest przejazdem pojazdu komunikacji publicznej na linii. Kurs jest określony przez numer linii oraz numer przejazdu. Numery przejazdu rozpoczynają się od 1 - pierwszy poranny przejazd na linii. Kurs może być realizowany przez dwa pojazdy (np. z tymi samymi numerami linii i przejazdu). W przypadku linii dwukierunkowej (A -> B, B -> A) kurs jest zazwyczaj określany jako kurs z punktu A do A przez punkt B (w takim przypadku numer przejazdu jest inkrementowany tylko w punkcie A)
Przystanek	Z punktu widzenia sterowania ruchem zdecydowanie lepsze rezultaty można osiągnąć, gdy przystanek znajduje się za skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną, niż wtedy gdy jest on zlokalizowany bezpośrednio przed skrzyżowaniem. Możliwe jest zastosowanie dodatkowego detektora na przystanku, umożliwiając kierowcy wysyłanie komendy "gotowy do odjazdu" do sterownika sygnalizacji świetlnej. Odjazdy z przystanków mogą być oparte na: ▪ Punktualności: Oczekiwany jest odjazd pojazdu zgodnie z rozkładem jazdy (wyświetlanym na przystanku); ▪ Regularności: Oczekiwany jest odjazd pojazdu co ustalone 'x' minut;
Wydzielony pas ruchu	Pas ruchu jest używany tylko przez pojazdy komunikacji publicznej (zazwyczaj taksówki także mogą z niego korzystać). Na skrzyżowaniu z sygnalizacją świetlną wydzielony pas ruchu dla komunikacji publicznej jest zazwyczaj sterowany osobną grupą sygnalizacyjną. Możliwe jest zastosowanie detektora na linii zatrzymań dla zagwarantowania, że pojazd nie zostanie zablokowany na skrzyżowaniu (np. na skutek awarii systemu selektywnej detekcji) 
Współdzielony pas ruchu	Współdzielony pas ruchu to zwykły pas, na którym pojazdy komunikacji publicznej miesza się z innymi uczestnikami ruchu. W celu przewidzenia czasu przyjazdu pojazdu komunikacji publicznej na skrzyżowanie ImFlow modeluje przejazd biorąc pod uwagę prędkość pojazdów oraz zatrzymaną kolejkę. 
Pas ruchu z zatoką (queue jumper)	Ostatni odcinek przed linią zatrzymań pojazd komunikacji publicznej pokonuje zatoką (queue jumper) przez zatokę w celu ominięcia ewentualnej kolejki na skrzyżowaniu. 
Detektor	ImFlow wykorzystuje detektory transportu publicznego do wykrywania pojazdów na trasie w sieci drogowej.

6 Aktywowany systemowo wybór planu

ImFlow umożliwia sterowanie w trybie *traffic responsive*, inaczej zwanym aktywowaną systemowo selekcją planów (SAPS) za pomocą algorytmu SAPS pracującego na serwerze ImFlow. SAPS może być włączony/wyłączony per obszar na podstawie harmonogramu, poprzez skrypt lub polecenie użytkownika.

Algorytm i metodologia SAPS są opisane poniżej.

- Inżynier ruchu używając narzędzi do projektowania tworzy ramowe programy sterowania ruchem i umieszcza je w bazie danych ImFlow.
- Każdy detektor strategiczny w systemie zbiera z interwałem 5 minut dane na temat natężenia ruchu i czasu zajętości.
- Moduły ImFlow przekazują dane o ruchu z detektorów strategicznych do historycznej bazy danych na serwerze ImFlow
- Algorytm sterowania SAPS regularnie porównuje zmierzone natężenia ruchu z idealnymi wartościami określonymi dla każdego zaprojektowanego programu.
- W celu zminimalizowania niepożądanych zakłóceń w ruchu, które mogą powstać przy częstej zmianie programów, algorytm SAPS implementuje kolejne plany nie częściej niż raz na 15 minut.
- Moduł ImFlow implementuje wybrany ramowy program sterowania ruchem uwzględniając przejście cykl-offset przy przełączaniu pomiędzy dwoma programami.
- Optymalizator skrzyżowania w module ImFlow stosuje lokalną logikę sterowania do zapewnienia lokalnej akomodacji w obrębie wybranego programu ramowego.
- Zapewniona jest podstawowa obsługa priorytetów dla komunikacji zbiorowej poprzez wykorzystanie *pre-emption* (lokalny sterownik ruchu drogowego przejmuje kontrolę nad skrzyżowaniem w celu obsłużenia pojazdu komunikacji zbiorowej) lub poprzez lokalne żądanie realizacji grupy sygnalizacyjnej w obrębie planu ramowego.

Metody przejścia cykl - offset

Przejście cykl - offset to metoda synchronizacji cyklu skrzyżowania do cyklu referencyjnego, przy zachowaniu długości cyklu i sekwencji sygnałów (splitu) w programie, ale przy zmiennym offsecie. W praktyce mogą wystąpić dwie różne sytuacje, w których skrzyżowanie jest rozsynchronizowane:

- Cykl skrzyżowania "wyprzedza" cykl referencyjny
- Cykl skrzyżowania "spóźnia się" względem cyklu referencyjnego

W inżynierii ruchu można znaleźć rekomendacje dwóch metod implementacji przejść cykl - offset - obie metody są obsługiwane przez ImFlow.

- Metoda **dodawania** polega na tymczasowym wydłużeniu poszczególnych sygnałów w cyklu tak, aby początek cyklu zsynchronizował się z wymaganym offsetem. Biorąc pod uwagę początkową różnicę czasu pomiędzy offsetem bieżącym a docelowym, ta metoda jest wydajna tylko wtedy, gdy bieżący cykl "wyprzedza" cykl docelowy.
- Metoda **krótka** polega na wydłużaniu lub skracaniu poszczególnych sygnałów w cyklu tak, aby początek cyklu zsynchronizował się z wymaganym offsetem. Ta metoda oblicza potrzebną do osiągnięcia synchronizacji liczbę kroków wydłużenia lub skrócenia. Mniejsza liczba kroków decyduje o tym, czy cykl będzie wydłużany czy skracany. Zazwyczaj cykl jest skracany w przypadku, gdy bieżący cykl "spóźnia się" względem cyklu docelowego.

7 Specyfikacja techniczna

Rozmiary systemu

Skrzyżowania	1000 skrzyżowań 100 skrzyżowań na obszar sterowany adaptacyjnie ³ 50 skrzyżowań na obszar sterowany SAPS
Transport publiczny	500 Tras transportu publicznego
Grupy sygnalizacyjne	56 grup sygnalizacyjnych na skrzyżowanie
Fazy	12 faz na skrzyżowanie
Detektory	256 detektorów na skrzyżowanie
Wloty	7 wlotów na skrzyżowanie
Strumienie ruchu	5 strumieni ruchu na wlot i 5 pasów ruchu na strumień

Konfiguracja i symulacja

System operacyjny	Konfigurację i symulację systemu ImFlow można wykonywać w systemach operacyjnych Windows XP, Windows Vista i Windows 7.
Licencja	Oprogramowanie ImFlow jest dostarczane z licencją zależną od ilości skrzyżowań.
Mikro symulacja	Dla celów symulacji stosowane jest narzędzie VISSIM dostarczane przez firmę PTV (www.ptvag.com). Interfejs pomiędzy ImFlow a VISSIM jest zrealizowany poprzez bibliotekę Peek SimInterface.
Import modelu sieci	ImFlow może zaimportować model sieci drogowej stworzony za pomocą narzędzia VISSIM.
Import skrzyżowania	ImFlow może zaimportować konfigurację skrzyżowania z pliku XML.
Prędkość symulacji	Środowisko symulacyjne ImFlow (z wykorzystaniem VISSIM) daje użytkownikowi pełną kontrolę nad prędkością symulacji, oraz dając funkcje takie jak: pauza, pojedynczy krok i maksymalna prędkość. Prędkość symulacji jest kontrolowana poprzez interfejs użytkownika VISSIM.

Moduł ImFlow

Algorytm adaptacyjny ImFlow jest dostępny dla środowisk Linux i Windows. Wersja dla systemu Windows jest używana w środowisku symulacyjnym. Wersja dla systemu Linux jest używana w modułach ImFlow zlokalizowanych w szafach sterowników ruchu. Oprogramowanie ImFlow może pracować na następujących modułach sprzętowych: Peek MDSL router (wersja 64MB) , Peek SHDSL router oraz karta Peek ARM9 CPU.

Komunikacja

Komunikacja w obrębie systemu ImFlow oraz pomiędzy nim, a zewnętrznymi systemami jest w pełni oparta na technologii Internetowej (TCP/IP) z możliwością wykorzystania sieci przewodowych jak i bezprzewodowych. ImFlow komunikuje się ze sterownikami ruchu z wykorzystaniem protokołu ImFlow - TLC. Protokół ten jest dostępny dla producentów sterowników, umożliwiając podłączenie ich sterowników do ImFlow.

³ Większe sieci mogą być skonfigurowane jako niezależne obszary.

Serwer ImFlow

System operacyjny	Centralny serwer systemu ImFlow pracuje w systemie Windows 2008 R2 (64 bitowy).
Baza danych	PostgreSQL (www.postgresql.org) z rozszerzeniem PostGIS.

8 Skróty

Peek	Peek Traffic Sp. z o.o. Kraków, Polska
12NC	Kod produktu (Unikalny kod identyfikacyjny składający się z 12 cyfr)
CCTV	Closed Circuit TV
DSL	Digital Subscriber Line
EC-2	Sterownik ruchu drogowego Peek EuroController EC-2 [®]
ED316	Szesnasto kanałowa karta detektorów używana w sterowniku EC-2
EMS	Event Management System
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System.
GUI	Graphical User Interface
ICT	Information and Communication Technology
IP	Internet Protocol
ITS	Intelligent Transportation System
KAR	System nadawania priorytetu poprzez radio krótkiego zasięgu
PRIOTAG	System nadawania priorytetu poprzez tagi RFID
PT	Public Transport
RFID	Radio Frequency IDentification
ImFlow	Adaptacyjny system sterowania ruchem czasu rzeczywistego Peek
SAPS	System Activated Plan Selection
SMS	Short Message Service
TA	Traffic Adaptive
TDC	Traffic Data Collector, stosowany w produktach Peek do zbierania danych
TD Viewer	Narzędzie do przeglądania i analizy danych zebranych przez TDC
TLC	Traffic Light Controller
TOC	Table Of Contents
TlcStub	Komponent ImFlow używany do symulowania sterownika ruchu drogowego.
UTC	Urban Traffic Control
UTMS	Urban Traffic Management System
VA	Vehicle Actuated
VDV R09	System nadawania priorytetu poprzez radio krótkiego zasięgu zgodnie ze specyfikacją VDV
VECOM/VETAG	System nadawania priorytetu Peek działający poprzez pętle indukcyjne
XML	Extensible Markup Language