

Kamil BARTOSIŃSKI, Krzysztof FIRLAĞ, Tomasz KRUKOWICZ

METODY PROGRAMOWANIA ALGORYTMÓW ADAPTACYJNEGO STEROWANIA RUCHEM DROGOWYM W STEROWNIKACH SIEMENS

W artykule opisano proces implementacji algorytmów sterowania akomodacyjnego za pomocą środowiska programistycznego Sitrtraffic Office z zastosowaniem metody sterowania PDM. Sitrtraffic Office jest narzędziem przeznaczonym do programowania sterowników ruchu drogowego Siemens serii C8xx, C9xx, natomiast metoda sterowania PDM umożliwia realizację sterowania fazowego w oparciu o dowolnie programowalną logikę sterującą, która jest specyfikowana za pomocą języka Sitrtraffic TL.

Scharakteryzowano metody sterowania akomodacyjnego dla sterowników Siemens, rozumiane jako sposób specyfikowania programów akomodacyjnych oraz język Sitrtraffic TL. Omówiono metody sterowania S-L, PDM, SDM, VS – PLUS, które obecnie można zaimplementować w sterownikach serii C8xx/C9xx.

WSTĘP

Rozwój techniki komputerowej sprawił, że większość obecnie oferowanych na rynku sterowników ruchu drogowego posiada w swojej architekturze jednostki sterujące oparte na mikrokomputerze pracującym pod systemem operacyjnym Linux. Takie rozwiązanie umożliwia implementację dowolnego oprogramowania sterującego, a jednocześnie zapewnia stabilne i bezawaryjne działanie [4].

Kluczowym aspektem przy obsłudze sterownika jest jego konfiguracja. Modyfikacja kodów źródłowych oprogramowania sterującego jest operacją skomplikowaną i wymagającą wiedzy z zakresu programowania oraz budowy sterownika na poziomie deweloperów tych urządzeń. Takie podejście jest nieadekwatne do potrzeb osób zajmujących się obsługą tych urządzeń. Dostosowanie nadzoru sygnałów czy implementacja programów sygnalizacji powinny być czynnościami w miarę możliwości nieskomplikowanymi i zajmującymi niewiele czasu.

Obecnie większość producentów sterowników stosuje w tym celu odpowiednie narzędzia CAD, które pozwalają inżynierom serwisu na realizację tych czynności bez konieczności posiadania specjalistycznej wiedzy z zakresu zaawansowanego programowania. Przykładem takich narzędzi jest oprogramowanie Sitrtraffic Office firmy Siemens. Program umożliwia przeprowadzenie procesu konfiguracji sterownika w większości przy pomocy edytorów graficznych. Takie podejście pozwala na bezpośrednie przełożenie większości parametrów programu sygnalizacji z dokumentacji ruchowej. Logika sterowania adaptacyjnego może być zapisana za pomocą kilku dostępnych metod. Wybór metody zależy od poziomu skomplikowania algorytmu oraz sposobu sterowania (fazowe/grupowe).

W przypadku prostych algorytmów są stosowane metody oparte o predefiniowaną logikę sterującą, w których dokonuje się jedynie parametryzacji pewnego standardowego kodu odpowiedzialnego za proces sterowania. W przypadku złożonych algorytmów są stosowane metody oparte o swobodnie programowalną logikę sterującą. Polegają one na specyfikacji specjalnego kodu, który będzie odpowiedzialny za realizację procesu sterowania sygnalizacją. Do zapisu logiki sterowania przeznaczony jest specjalny interfejs i język Sitrtraffic TL, stworzony specjalnie na potrzeby programowania sterowników ruchu drogowego Siemens.

Artykuł ma na celu przedstawienie metody programowania algorytmów adaptacyjnego sterowania ruchem drogowym z zastosowaniem metody opartej na logice swobodnie programowalnej.

1. STRUKTURA ALGORYTMU STEROWANIA AKOMODACYJNEGO W STEROWNIKACH SIEMENS

Niezależnie od zaimplementowanej metody sterowania każdy algorytm sterowania akomodacyjnego w sterownikach Siemens składa się z dwóch oddzielnych komponentów: kodu i parametrów. Elementy te są zapisywane w oddzielnych plikach i w trakcie implementacji programu na sterownik są wrywane niezależnie [1].

1.1. Kod akomodacji

Kod akomodacji to zbiór instrukcji, które są wykonywane przez sterownik w trybie pracy akomodacyjnej. Za jego pomocą jest zapisana logika algorytmu w oparciu o który jest sterowana sygnalizacja.

W przypadku metod sterowania z predefiniowaną logiką, kod akomodacji nie podlega modyfikacji. Użytkownik nie ma możliwości zmian kodu, ponieważ jest on zapisany w formie skompilowanego pliku. Specyfikacja algorytmu sterowania akomodacyjnego polega jedynie na konfiguracji odpowiednich dla metody parametrów akomodacji.

W przypadku metod sterowania z swobodnie programowalną logiką, użytkownik jest odpowiedzialny za wyspecyfikowanie kodu akomodacji i jego zadaniem jest stworzenie od podstaw logiki algorytmu sterowania akomodacyjnego. W tym celu jest wykorzystywany specjalny interfejs programistyczny, w którym kod jest specyfikowany za pomocą języka Sitrtraffic TL.

1.2. Parametry akomodacji

Parametry akomodacji to elementy algorytmu sterowania akomodacyjnego, które nie wpływają bezpośrednio na strukturę jego logiki. Zazwyczaj są to różnego rodzaju stałe wykorzystywane w procesie sterowania. Modyfikacja tych elementów niekoniecznie wiąże się ze zmianami w kodzie logiki. Rodzaj parametrów akomodacji ściśle zależy od zaimplementowanej metody sterowania. Przykładowo dla metody PDM parametrami akomodacji są:

- fazy ruchu;

- matryca dozwolonych przejść między fazami;
- programy przejść międzyfazowych;
- plany ramowe faz ruchu.

Parametry akomodacji należy określić przed rozpoczęciem tworzenia algorytmu sterowania adaptacyjnego. W niektórych przypadkach konieczne mogą być również korekty parametrów sterowania podczas dalszych etapów prac. Określenie etapów projektowania algorytmów oraz opis zakresu prac wykonywanych podczas tych etapów opisano w [7]. Oprogramowanie wykorzystywane do programowania sterowników firmy Siemens zawiera narzędzia wspomagające projektowanie faz ruchu (zabezpiecza przed umieszczeniem w jednej fazie grup sygnałowych o niedopuszczalnym jednoczesnym zezwoleniu na ruch). Wspomagane komputerowo jest również projektowanie przejść międzyfazowych, poprzez kontrolę zachowania minimalnych czasów międzyzielonych. Oprogramowanie nie umożliwia jednak optymalizacji przejść międzyfazowych oraz sprawdzenia zachowania innych ograniczeń nakładanych na te parametry [6,8].

Oprócz parametrów zależnych od metod sterowania jest możliwe zaimplementowanie tzw. parametrów użytkownika. Są to konfigurowalne rejestry danych, które umożliwiają zadeklarowanie własnych parametrów. Za ich pomocą są zapisywane różne wartości liczbowe, do których istnieje możliwość odwołania z poziomu kodu logiki programu akomodacyjnego. Takie rozwiązanie umożliwia wydzielenie z kodu akomodacji pewnych parametrów i ich łatwe modyfikowanie.

Jednym z ważniejszych parametrów zależnych od metod sterowania są warunki czasowe funkcjonowania algorytmów sterowania ruchem. Oprogramowanie firmy Siemens nie wspomaga komputerowo wyznaczania tych parametrów, co powoduje konieczność stosowania innych metod [7,9].

2. METODY STEROWANIA AKOMODACYJNEGO W STEROWNIKACH SIEMENS

Sterowniki ruchu drogowego serii C8xx/C9xx firmy Siemens umożliwiają realizację zarówno sterowania fazowego jak i sterowania grupowego. W zależności od typu sterowania akomodacyjnego do wyboru jest kilka metod implementacji algorytmów. Metody te można podzielić na:

- metody realizujące proces sterowania w oparciu o predefiniowaną logikę sterującą;
- metody realizujące proces sterowania w oparciu o swobodnie programowalną logikę sterującą.

Ideą metod bazujących na predefiniowanej logice sterującej jest uproszczenie i przyspieszenie procesu implementacji algorytmów sterowania akomodacyjnego. W tych metodach logika realizująca proces sterowania jest ustandaryzowana i podlega jedynie parametryzacji w celu dostosowania jej do potrzeb użytkownika. Takie rozwiązanie niesie ze sobą pewne ograniczenia funkcjonalne co do złożoności implementowanych algorytmów, dlatego jest stosowane w prostych i średnio skomplikowanych przypadkach. Przykładem metod bazujących na predefiniowanej logice są metody S-L i VS-PLUS.

Metody bazujące na swobodnie programowalnej logice sterującej pozwalają użytkownikowi na wyspecyfikowanie dowolnego kodu realizującego proces sterowania sygnalizacją. Przeznaczony do tego jest specjalny edytor i język Sitraffic TL, który umożliwia zapis logiki w postaci schematów blokowych lub graficznych sruktoqramów. Dzięki swobodzie programowania jest możliwa implementacja algorytmów o dowolnej złożoności, aczkolwiek jest wymagana od użytkownika znajomość języka Sitraffic TL oraz umiejętność pro-

gramowania. Do metod bazujących na swobodnie programowalnej logice można zaliczyć metody PDM, SDM.

2.1. Metoda S-L

Metoda S-L umożliwia realizację sterowania fazowego w oparciu o predefiniowaną logikę sterującą. Przeznaczona jest do implementacji prostych algorytmów sterowania ruchem. Proces specyfikacji programu akomodacyjnego sprowadza się do konfiguracji zestawu parametrów, w oparciu o które jest realizowany proces sterowania sygnalizacją [13]. W trakcie konfiguracji programu należy zdefiniować:

- fazy ruchu;
- matrycę dozwolonych przejść między fazami (schemat faz ruchu) i na jej podstawie odpowiednie programy przejść międzyfazowych;
- bloki logiczne żądań i wydłużeń;
- plany ramowe faz ruchu (tylko w przypadku koordynacji).

Następnie dla każdej fazy ruchu należy sparametryzować logikę sterowania poprzez uzupełnienie specjalnej tabeli, w której określono się:

- priorytet żądań faz kolizyjnych;
- warunki logiczne żądań faz kolizyjnych;
- warunki logiczne wydłużeń przed przejściem do faz kolizyjnych;
- minimalne i maksymalne czasy trwania fazy.

Przykładowa tabela, w której konfiguruje się logikę sterowania jest przedstawiona na rysunku 1.

		SL parameters			
Stage duration		PhaMinTime	PhaMaxTime	PhaMaxTime	DetecDisturb
Faza 1	do not stop	0			
Requested stage		Demt.Logicblock	Ext.Logicblock	MinPhasesTime	MaxPhasesTime
1	Faza 2	ZK3L	PK2	18	32
2	Faza 3	ZP3	PK2 v PK3	18	32
3	Faza 4	ZK1	PK2 v PK3	18	32
*					

Rys. 1. Tabela logiki sterowania fazy 1 [1]

Standaryzacja logiki faz ruchu w pewnym stopniu ogranicza możliwość implementacji złożonych algorytmów sterowania ruchem, co bezpośrednio wynika ze struktury jaką ta logika posiada. Metoda S-L powstała z myślą o prostych przypadkach sterowania akomodacyjnego. Pod względem czasu i nakładu pracy jest ona najkorzystniejsza w tych przypadkach, ale nie każdy algorytm może być zrealizowany z jej wykorzystaniem.

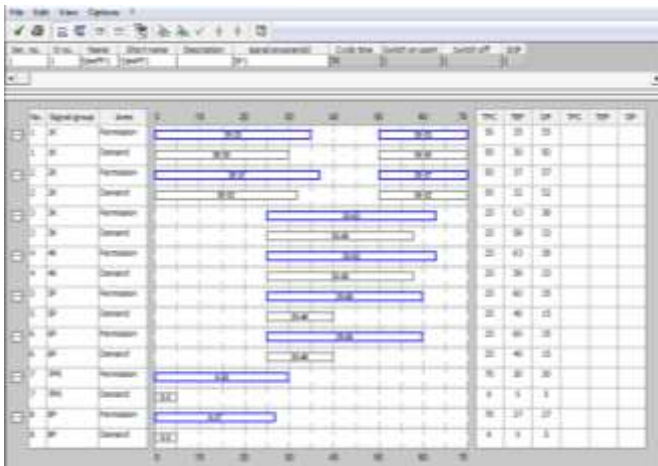
2.2. Metoda SDM

Metoda SDM umożliwia realizację sterowania grupowego na podstawie swobodnie programowalnej logiki sterującej. W tej metodzie grupy sygnałowe są sterowane w obrębie okien czasowych w cyklu sygnalizacyjnym. Dla każdej grupy sygnałowej wyróżnia się okno zezwolenia i okno żądania [11].

Okno zezwolenia określa przedział cyklu sygnalizacyjnego, w którym grupa sygnałowa ma zezwolenie na realizację. Okno żądania określa przedział cyklu sygnalizacyjnego, w którym grupa sygnałowa może być wywołana. Konfiguracja okien czasowych jest realizowana za pomocą edytora planów ramowych grup sygnałowych, który umożliwia ich graficzną wizualizację (rysunek 2).

Logika włączania i wyłączania grup sygnałowych jest specyfikowana przez użytkownika za pomocą języka Sitraffic TL.

W uproszczeniu zadanie użytkownika sprowadza się do opracowania algorytmu sterowania grupowego na podstawie stanów detektorów, matrycy czasów międzyzielonych i planów ramowych grup sygnałowych.



Rys. 2. Edytor planów ramowych grup sygnałowych – konfiguracja okien czasowych [1]

2.3. Metoda VS – PLUS

Metoda VS–PLUS umożliwia realizację sterowania grupowego w oparciu o predefiniowaną logikę sterującą. Metoda ta została opracowana przez szwajcarskie przedsiębiorstwo Verkehrs – Systeme AG i może być implementowana na sterownikach różnych producentów.

W tej metodzie grupy sygnałowe są sterowane w oparciu o okna czasowe w cyklu sygnalizacyjnym (podobnie jak w metodzie SDM) [14]. Algorytm sterowania grupami jest predefiniowany i podlega tylko parametryzacji w celu dostosowania do potrzeb skrzyżowania. Proces implementacji algorytmu sterowania akomodacyjnego sprowadza się do konfiguracji dostępnych parametrów, które są przedstawione w postaci tabelarycznej [14].

2.4. Metoda PDM

Metoda PDM umożliwia implementację sterowania fazowego w oparciu o wolno programowalną logikę sterującą. W uproszczeniu proces sterowania sygnalizacją w tej metodzie polega na wywołaniu przejść międzyfazowych, co jest realizowane na podstawie odpowiednich komend zawartych w kodzie akomodacji. W trakcie realizacji przejścia międzyfazowego następuje zmiana stanów grup sygnałowych i na tej podstawie jest określany skład następnej fazy. Normalnie stany grup sygnałowych w fazach pozostają niezmiennie, aczkolwiek istnieje możliwość ich modyfikacji poprzez odpowiednie komendy [12].

Logika użytkownika, w oparciu o którą jest realizowany proces sterowania, sprowadza się do komend uruchamiających przejścia międzyfazowe. Dla każdej fazy ruchu określa się zależności logiczne i czasowe na podstawie których są wywoływane odpowiednie przejścia międzyfazowe, a w konsekwencji kolejne fazy ruchu.

Logika użytkownika jest specyfikowana przy pomocy języka Sitrtraffic TL, który pozwala na tworzenie dowolnych funkcji. Do określania zależności logicznych w algorytmie są stosowane funkcje i zmienne standardowe zawarte w bibliotece metody PDM. Poprzez funkcje i zmienne standardowe rozumiane są komendy zwracające wartości jednych parametrów lub ustawiające wartości innych parametrów procesu sterowania [12].

Metoda PDM posiada rozbudowaną bibliotekę funkcji standardowych co przy dowolności specyfikacji logiki jaką zapewnia język Sitrtraffic TL umożliwia implementację bardzo złożonych algorytmów sterowania akomodacyjnego. Rysunek 3 przedstawia przykładowy fragment kodu logiki fazy zapisanej za pomocą języka Sitrtraffic TL.

Kod akomodacji jest w pełni specyfikowany przez użytkownika i za jego pomocą jest zapisywana logika programu akomodacyjnego, czyli algorytm w oparciu o który jest sterowana sygnalizacja.

Zapis logiki użytkownika za pomocą języka Sitrtraffic TL w oparciu o bibliotekę metody PDM i sterownika pozwala na dostęp do wielu parametrów procesu sterowania jak i ich modyfikację, co umożliwiłoby tworzenie bardzo zaawansowanych algorytmów sterowania.

```

L_11F10P_WW_ODER_L_11F10P_WW
SWL := SWL + 20
SWL := 0
SWL := 0
PHA_INF_01(STARTEN_PFL_3,0,0)
FUNCTION END

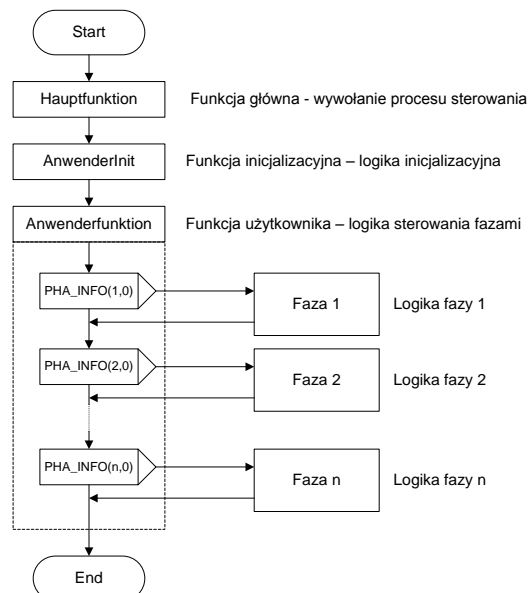
L_11F10P_WW_ODER_L_11F10P_WW
SWL := SWL + 20
SWL := 0
SWL := 0
PHA_INF_02(STARTEN_PFL_3,0,0)
FUNCTION END

L_11F10P_WW_ODER_L_11F10P_WW
SWL := SWL + 20
SWL := 0
SWL := 0
PHA_INF_03(STARTEN_PFL_3,0,0)
FUNCTION END

L_11F10P_WW_ODER_L_11F10P_WW
SWL := SWL + 20
SWL := 0
SWL := 0
PHA_INF_04(STARTEN_PFL_3,0,0)
FUNCTION END
    
```

Rys. 3. Fragment kodu logiki fazy nr 1 zapisanej w języku Sitrtraffic TL [1]

Dla metody PDM proces sterowania jest realizowany w oparciu o pewne funkcje podstawowe zgodnie z diagramem przedstawionym na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat przebiegu procesu sterowania metody PDM [1]

Metoda sterowania PDM umożliwia deklarację [12]:

- 31 faz ruchu;
- 224 przejść międzyfazowych;
- 16 planów ramowych faz ruchu;

- 32 PT directions (tzw. odcinków priorytetu dla transport publicznego) każdy z 5 punktami meldunkowymi i rejestracją do 5 pojazdów na odcinku;
- 4 zestawów parametrów funkcji żądań, wydłużeń i PT direction;
- 4 skrzyżowań częściowych sterowanych niezależnie;
- awaryjnego programu cyklicznego dla każdego programu akomodacyjnego.

W trakcie pracy sterownika wywołanie kodu akomodacji następuje w pewnych interwałach czasowych. Standardowo interwał wywołania kodu akomodacji jest ustawiony na 1000 ms, co oznacza, że sprawdzenie wszystkich funkcji zawartych w kodzie jest realizowane co 1 sekundę.

3. JĘZYK SITRAFFIC TL

Język Sitraffic TL został stworzony przez inżynierów Siemensu wyłącznie na potrzeby programowania algorytmów adaptacyjnego sterowania ruchem w sterownikach Sitraffic C8xx/C9xx. Jedynym narzędziem, które umożliwia wykorzystanie danego języka jest edytor User logic oprogramowania Sitraffic Office.

W przeciwieństwie do większości języków programowania język Sitraffic TL nie posiada pisemnej specyfikacji swojej składni. Zapisywanie kodu jest realizowane przy pomocy graficznych edytorów i tabel. Tak jak w przypadku języka C, program w języku Sitraffic TL jest zbudowany z funkcji i zmiennych. Funkcje zawierają instrukcje określające, jakie operacje procesu obliczeniowego należy wykonać, zmienne zaś przechowują wartości używane podczas tego procesu [5].

Struktura programu w języku Sitraffic TL składa się z:

- dyrektyw preprocesora, inaczej deklaracji funkcji bibliotecznych;
- deklaracji typów zmiennych;
- deklaracji funkcji (prototyp funkcji);
- definicji funkcji.

Każdy program napisany w języku Sitraffic TL rozpoczyna działanie od pierwszej instrukcji funkcji Hauptfunktion, która jest odpowiedzialnikiem funkcji main w języku C. Język Sitraffic TL jest językiem, który wykorzystuje programowanie strukturalne jako paradygmat.

W przypadku programowania strukturalnego program jest dzielony na mniejsze fragmenty i zapisywany w postaci podprogramów – procedur bądź funkcji [15]. Następnie za pomocą tych podprogramów i podstawowych struktur sterujących jest tworzony hierarchiczny kod, w którym instrukcje są sprawdzane sekwencyjnie od góry do dołu. Funkcje i procedury mogą być wielokrotnie wykorzystywane w różnych miejscach programu i operować na różnych zmiennych.

Zazwyczaj funkcje mają tylko jedno wejście i w zależności od przypadku mogą mieć wiele wyjść. Oznacza to, że sprawdzanie funkcji rozpoczyna się od pierwszej zadeklarowanej instrukcji, natomiast wyjście z funkcji jest możliwe w dowolnym miejscu przy pomocy odpowiednich instrukcji przerywania. Język Sitraffic TL nie posiada instrukcji skoku przez co jest typowym językiem strukturalnym.

3.1. Funkcje

Funkcja jest podstawowym obiektem programu w języku Sitraffic TL, który definiuje operacje jakie mają być wykonane w czasie jej wywołania. Nazwy funkcji nie mogą zaczynać się od cyfr i nie mogą posiadać przerw i polskich znaków. Dodatkowo wielkość liter ma znaczenie przy deklarowaniu funkcji i ich późniejszym wywołaniu w programie.

Wartości jakie zwraca funkcja mogą być określone dziewięcioma typami [11]:

- EMPTY – funkcja nie zwraca żadnych wartości;

- BYTE – wartości typu integer z zakresu 0...255;
- WORD – wartości typu integer z zakresu 0...65535;
- LWORD – wartości typu integer z zakresu 0...4292967295;
- VBYTE – wartości typu integer z zakresu -128...127;
- VWORD – wartości typu integer z zakresu -32768...32767;
- VLWORD – wartości typu integer z zakresu -2147483648...2147483647;

Funkcja może posiadać argumenty, za pomocą których jest możliwe sparametryzowanie jej logiki. Dzięki takiemu zabiegowi można wyspecyfikować jedną funkcję, która będzie zwracać różne wartości w zależności od przyjętych argumentów. Instrukcje sterujące dostępne w funkcji to:

- blok decyzji;
- blok pętli o zadeklarowanej liczbie iteracji;
- blok pętli warunkowej;
- blok case;
- blok case (dla nowego warunku);
- blok operacji;
- blok FUNCTION END;
- blok komentarza.

Operatory dostępne w języku Sitraffic TL:

- logiczne: UND – operator logiczny „i”; ODER – operator logiczny „lub”; NICHT – operator logiczny „nie”;
- arytmetyczne: „+” – dodawanie; „-” – odejmowanie; „*” – mnożenie; „/” – dzielenie; MOD – reszta z dzielenia;
- porównania: „=” – równe; „>” – większe – równe; „>” – większe; „<=” – mniejsze – równe; „<” – mniejsze; „<>” – różne;
- przypisania: „:=” – przypisanie wartości do zmiennej.

3.2. Stałe

Stałe pozwalają na definiowanie różnych parametrów o stałych wartościach liczbowych. Zazwyczaj za ich pomocą definiuje się detektory, grupy sygnałowe, przejścia międzyfazowe itp. Pozwala to na operowanie nazwami tych obiektów w odniesieniu do różnych funkcji i procedur, które bazują tylko i wyłącznie na ich numerach porządkowych. Taki zapis kodu jest bardziej zrozumiały, ponieważ nie wymaga znajomości numerów porządkowych obiektów.

3.3. Zmienne

Każda zmienna musi mieć zadeklarowaną nazwę i typ liczbowy. Nazwy zmiennych nie mogą zaczynać się od cyfr oraz nie mogą posiadać przerw i polskich znaków. Dodatkowo wielkość liter ma znaczenie przy definiowaniu zmiennych i ich późniejszej deklaracji w kodzie. Zmienne mogą posiadać wymiary, dzięki którym można tworzyć szeregi lub tablice.

PODSUMOWANIE

Programowanie algorytmów adaptacyjnego sterowania ruchem drogowym jest jednym z trudniejszych elementów implementacji programu sygnalizacji. Wynika to z faktu, że wymaga ono zaimplementowania w sterowniku pewnego procesu, który będzie odpowiedzialny za sterowanie sygnalizacją w trybie akomodacyjnym. Jako że dzisiejsze sterowniki ruchu drogowego są oparte na układach mikroprocesorowych, zaimplementowanie dowolnego procesu sterującego nie powinno stanowić problemu. Należy jednak zwrócić uwagę na sposób specyfikacji tych procesów. Podejście producentów sterowników w tej kwestii jest bardzo różne. Jedni umożliwiają modyfikację kodów źródłowych oprogramowania sterującego sterownika w celu zaimplementowania procesu sterowania adaptacyjnego. Inni natomiast dostarczają jedynie narzędzia do konfiguracji sterowników, w którym proces sterowania adaptacyjnego został wstępnie zdefiniowany i podlega jedynie parametryzacji przez użytkownika.

Każde z przedstawionych rozwiązań ma swoje wady i zalety. W pierwszym przypadku istnieje możliwość zaprogramowania dowolnego algorytmu sterowania adaptacyjnego jednak wymaga to wiedzy i doświadczenia z zakresu zaawansowanego programowania. W drugim przypadku, pomimo prostoty konfiguracji jaką zapewniają narzędzia dostarczane przez producenta, występują pewne ograniczenia co do złożoności implementowanych programów.

Oprogramowanie Sitraffic Office firmy Siemens łączy zalety obu wyżej wymienionych rozwiązań. Przede wszystkim oprogramowanie to nie jest dedykowane pod żaden konkretny sterownik czy też metodę sterowania rozumianą jako sposób implementacji programu adaptacyjnego. Użytkownik sam konfiguruje interfejs programu poprzez deklarację odpowiednich komponentów (rodzaj sterownika i metody sterowania adaptacyjnego) i na tej podstawie aktywowane są konkretne edytory programu. Takie rozwiązanie pozwala na rozwijanie nowych sterowników i metod sterowania bez konieczności ciągłego modyfikowania oprogramowania Sitraffic Office. W przypadku opracowania wyżej wymienionych elementów wystarczy jedynie aktualizacja bibliotek komponentów programu.

Język Sitraffic TL stosowany do specyfikacji procesów sterowania adaptacyjnego jest prostym językiem programowania wykorzystującym jako paradygmat programowanie strukturalne. Dzięki hierarchicznej strukturze kodu, niewielkiej liczbie typów obiektów i bloków funkcyjnych język ten jest łatwy w nauce. Sama składnia języka jest przedstawiona w postaci graficznej za pomocą struktogramów lub schematów blokowych. Taka forma zapisu kodu jest poniekąd uciążliwa, ponieważ nie jest wystarczająco zwięzła i łatwa w modyfikacji (zwłaszcza w formie schematów blokowych). Możliwość zapisu kodu za pomocą edytora tekstowego byłaby wskazana. Język Sitraffic TL w żadnym stopniu nie ogranicza możliwości funkcjonalnych implementowanych procesów sterowania. Właściwie poziom złożoności programowanych algorytmów sterowania adaptacyjnego głównie zależy od przyjętej metody sterowania, która ogólnie definiuje sposób realizacji procesu sterowania i możliwości jego manipulowania.

Metoda sterowania PDM, dzięki rozbudowanej bibliotece funkcji, pozwala na specyfikowanie bardzo złożonych algorytmów sterowania fazowego. W praktyce jednak ta funkcjonalność nie jest wykorzystywana, ponieważ w większości przypadków zadaniem programisty jest zaprogramowanie sterownika zgodnie z dostarczonym projektem ruchowym sygnalizacji świetlnej, w którym algorytm sterowania adaptacyjnego sprowadza się do sprawdzenia kilku prostych zależności logiczno – czasowych i komend uruchamiających przejścia fazowe.

Problem projektowania i programowania w sterownikach skomplikowanych algorytmów sterowania ruchem jest problemem aktualnym. Do złożonych algorytmów sterowania ruchem drogowym można zaliczyć algorytmy, które zawierają elementy priorytetów dla transportu publicznego. Mogą to być rozwiązania stosowane na skrzyżowaniach [10], jak również sterowanie w obiektach zawierających rozwiązania specyficzne dla transportu publicznego jak: przystanki tramwajowe bez peronów [2,3] czy śluzy autobusowe [3]. Rozwiązania te usprawniają ruch pojazdów transportu publicznego ograniczając ich straty czasu. Ze względu na potrzebę efektywnego sterowania oraz jak najmniejszego pogorszenia warunków ruchu innych jego uczestników, konieczne jest opracowywanie złożonych algorytmów. Z zasad realizowanej w większości miast polityki transportowej wynika zwiększenie się liczby obiektów, w których stosowane są priorytety dla transportu publicznego. Dodatkowo z obserwacji projektów realizowanych w praktyce wynika, że poziom skomplikowania algorytmów sterowania ruchem wciąż rośnie.

Podsumowując, metoda programowania algorytmów sterowania adaptacyjnego zastosowana w przypadku oprogramowania

Sitraffic Office jest rozwiązaniem pośrednim między wyżej przytoczonymi podejściami producentów do problemu. Prostota rozwiązania polega na zastosowaniu prostego i intuicyjnego języka programowania, natomiast możliwości funkcjonalne implementowanych procesów są zależne od metod sterowania i ich bibliotek funkcji, a te w miarę potrzeb mogą być zmodyfikowane przez producenta. Niemniej jednak sprawne operowanie narzędziem Sitraffic Office wymaga od użytkownika znajomości bibliotek funkcji metod sterowania oraz podstawowej umiejętności programowania.

BIBLIOGRAFIA

1. Bartosiński K., *Programowanie algorytmów adaptacyjnego sterowania ruchem drogowym w języku Sitraffic TL z zastosowaniem metody sterowania PDM*, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska, Warszawa 2016.
2. Buda M., Chrobot P., Polak R., *Ocena efektywności sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu z zastosowaną służą tramwajową*, Prace naukowe, Transport, z. 62, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
3. Buda M., Folwarski T., Krukowicz T., *Warunki techniczne elementów infrastruktury drogowej stosowanych w organizacji ruchu na drogach (umowa nr DTD/KF/BDG-VIII-32018-U-103/14) Tom II Szczegółowe warunki techniczne dotyczące znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunki umieszczania ich na drogach Część III Warunki techniczne dotyczące sygnałów drogowych i warunki stosowania ich na drogach*, MIR, Warszawa 2015.
4. Firląg K., Kawalec P., *Realizacja algorytmów sterowania ruchem drogowym w specjalizowanych sterownikach sprzętowych*, Pomiar Automatyka Kontrola nr 7'2010, Agenda Wydawnicza Stowarzyszenia SIMP, Warszawa 2010, str. 721 - 723.
5. Kernighan B. W., Ritchie D.: *Język ANSI C*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
6. Krukowicz T., *Poprawa efektywności sterowania adaptacyjnego poprzez optymalizację przejść międzyfazowych*, Prace naukowe Transport 72, WPW, Warszawa 2010.
7. Krukowicz T., Kawalec P., *Wybrane problemy projektowania adaptacyjnej sygnalizacji świetlnej*, Zeszyty Naukowe. Transport / Politechnika Śląska nr 80, Katowice 2013.
8. Krukowicz T., *Wyznaczanie programów przejść międzyfazowych przy wykorzystaniu różnych funkcji celu*, Logistyka 4/2010, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2010.
9. Krukowicz T., *Wyznaczanie warunków czasowych funkcjonowania algorytmów sterowania adaptacyjnego*, Logistyka 6/2011, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2011.
10. Kusiakowski K., Krukowicz T., Kunisz T., *Dokumentacja wprowadzająca aktywny priorytet dla tramwajów wraz z kalibracją programów sygnalizacji świetlnej Etap I: Rondo Waszyngtona – Kijowska Projekt ruchowy sygnalizacji świetlnej Odcinek Aleja Zieleniecka – Kijowska*, CTD S. C., Warszawa 2013.
11. SIEMENS AG, *Sitraffic Office. Operating Instructions V 4.6.8*. SIEMENS AG, 2010.
12. SIEMENS AG, *Sitraffic PDM. Description and Library V3.1*. SIEMENS AG, 2010.
13. SIEMENS AG, *Sitraffic S-Le. Description and Library V3.1*. SIEMENS AG, 2010.
14. Verkehrs – Systeme AG, *The VS-PLUS Control Ideas*. Verkehrs – Systeme AG, 2010 [dostęp: 15-07-2016]. Dostępny w Internecie: <http://www.vs-plus.com/documents/VS-PLUSControllIdeas.pdf>.

15. Wojtuszkiewicz K., *Programowanie strukturalne i obiektowe. Tom 1.* Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2009.

Methods of adaptive traffic control algorithms programming in Siemens traffic controllers

The paper describes implementation process of traffic actuated programs using Sitraffic Office programming tool and PDM control method. The aim of Sitraffic Office tool is to program Siemens traffic lights controllers. With PDM control method it is possible to implement stage oriented control process based on freely programmable user logic, which is specified with Sitraffic TL programming language.

The user logic programming interface and Sitraffic TL programming language are described.

Autorzy:

mgr inż. **Kamil Bartosiński** – Siemens sp. z o.o., Dział MO CS MM, kamil.bartosinski.ext@siemens.com

dr inż. **Krzysztof Firląg** – Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Zakład Sterowania Ruchem, Zespół Sterowania Ruchem Drogowym, kfr@wt.pw.edu.pl

mgr inż. **Tomasz Krukowicz** – Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Zakład Sterowania Ruchem, Zespół Sterowania Ruchem Drogowym, tkr@wt.pw.edu.pl