

Paweł SOKÓŁ, Jacek MAJCHER*

INTELIĞENTNE STEROWANIE SYGNALIZACJĄ ŚWIETLNA NA SKRZYŻOWANIACH ZA POMOCĄ MIKROKONTROLERA

Ze względu na coraz to większą liczbę aut, miasta borykają się z problemem dużego natężenia ruchu kołowego na ulicach. Sytuacja ta prowadzi do zwiększenia czasu potrzebnego do przemieszczenia się z jednego punktu miasta do drugiego, jak również rodzi frustrację wśród kierowców. Konsekwencją tego stanu rzeczy jest wydłużony czas przejazdu jak również liczne postoje w zakorkowanych ulicach co bezpośrednio przekłada się na pogorszenie jakości powietrza w miastach. Jedną z prób rozwiązania tego problemu jest odpowiednia organizacja ruchu pojazdów, a zwłaszcza miejsc niewralgicznych takich jak skrzyżowania. Coraz częściej do sterowania sygnalizacją świetlną wykorzystuje się inteligentne moduły, które dają możliwość reakcji sygnalizacji na danym skrzyżowaniu w zależności od aktualnego natężenia ruchu. W poniższym artykule przedstawiono możliwość sterowania inteligentną sygnalizacją świetlną za pomocą mikrokontrolera Atmega.

SŁOWA KLUCZOWE: mikrokontroler, sygnalizacja świetlna, inteligentne skrzyżowania.

1. WSTĘP

XX wiek to rozwój transportu drogowego, zwłaszcza końcówka tego wieku przynosi gwałtowny wzrost liczby pojazdów poruszających się po drogach. Ponieważ sieć dróg nie rozwija się proporcjonalnie do liczby pojazdów dlatego pojawiają się coraz to nowe problemy związane z ruchem kołowym. Jednym z głównych problemów jest zmniejszająca się płynność ruchu pojazdów. Taki stan rzeczy powoduje wiele negatywnych skutków. Jednym z nich jest zwiększenie czasu przejazdu z punktu A do punktu B. Z kolei ze względu na wydłużenie czasu przejazdu zwiększa się czas, w którym kołowe środki transportu pracują z włączonym silnikiem. Ta sytuacja jest szczególnie niebezpieczna zwłaszcza w miastach ze względu na produkcję dużych ilości spalin.

Jednym ze sposobów walki z korkowaniem się miast jest promocja zbiorowych środków transportu jak metro czy też komunikacja miejska. Jednak w przypadku takich rozwiązań, to pasażer musi dostosować się do rozkładu jaz-

* Politechnika Lubelska

dy, jak również trasy przejazdu danego środka komunikacji zbiorowe. Trasy te nie zawsze pokrywają się z miejscem docelowym podróży pasażera. Dlatego podróże własnymi środkami transportu są wciąż popularne mimo wprowadzania przez miasta różnego rodzaju zakazów lub też ograniczeń (choćby stref płatnego parkowania). W niektórych europejskich miastach wprowadzono bardziej drastyczne środki w postaci zakazu wjazd samochodów napędzanych silnikami wysokoprężnymi do centrów miast.

W celu zmniejszenia ilości emisji spalin, obecnie duży nacisk kładzie się na rozwój motoryzacji ekologicznej, tzn. takiej w której samochody nie emitują spalin (z napędem elektrycznym) lub emitują nie wielkie ilości spalin (hybrydy). Ze względu na niewielką liczbę stacji ładowania pojazdów te rozwiązania nie są jeszcze na tyle popularne aby mówić o przełomie w tej dziedzinie.

Wydaje się że jednym ze sposobów złagodzenia powyższych problemów mogą być tzw. „inteligentne skrzyżowania”.

W niniejszej pracy przedstawiono sposób sterowania sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu za pomocą mikrokontrolera. To rozwiązanie daje możliwość obserwacji ruchu pojazdów jak również reakcji sygnalizacji świetlnej na zaistniałe sytuacje na drodze.

2. PRZYKŁADY ORGANIZACJI RUCHU NA ULICACH

Ciąg komunikacyjny składa się nie tylko z drogi po której poruszają się pojazdy ale również z chodników po których poruszają się piesi oraz ze ścieżek rowerowych przeznaczonych dla rowerzystów. W wielu przypadkach ciągi te krzyżują się ze sobą stwarzając miejsca niewralgiczne czyli skrzyżowania. Aby wszyscy użytkownicy mogli poruszać się bezpiecznie niezbędna jest właściwa organizacja ruchu. Do głównych zadań organizacji ruchu należy zapewnienie płynności ruchu oraz bezpieczeństwo. Na właściwą organizację ruchu ma wpływ:

- oznakowania pionowe i poziome,
- geometryczne formy dróg,
- urządzenia bezpieczeństwa ruchu,
- oraz sygnalizację świetlną [6].

Pierwsze próby umiędzynarodowienia znaków drogowych miały miejsce pod koniec XIX wieku. W 1920 r. przyjęta została konwencja międzynarodowa PIARC (ang. *Permanent International Association of Road Congresses*). Obecny wygląd znaków zawdzięczany jest ONZ która dokonała standaryzacji znaków po II Wojnie Światowej. Wzorowano się na wówczas obowiązujących systemach:

- amerykańskim,
- europejskim,
- afrykański.

Jako standard światowy przyjęto rozwiązania europejskie [4].

Sygnalizacja świetlna mająca za zadanie uporządkowanie ruchu na skrzyżowaniach została zastosowana w 1868 r. w Londynie. Natomiast pierwsza elektryczna sygnalizacja została zainstalowana w Cleveland w Stanach Zjednoczonych w 1914 r. Natomiast system trójkolorowy został wprowadzony 4 lata później w 1918 r. w Nowym Jorku [7].

Sygnalizację świetlną można podzielić ze względu na różnego rodzaju kryteria. Podstawowym podziałem jest podział ze względu na realizację programu i powtarzalność sygnalizacji:

- cykliczne,
 - stałoczasowe – stosowane w miejscach gdzie występują stałe wahania ruchu w ciągu doby,
 - zmiennoczasowe (akomodacyjne) – charakteryzuje się sekwencją faz, których jest uzależniona od charakterystyki ruchu w danym momencie,
- acykliczne – cechują się zmienną sekwencją faz, reaguje na natężenie ruchu,
- wzbudzana – cykl zależy od wymuszenia np. przez pojazd znajdujący się nad pętlą indukcyjną.

Innym istotnym podziałem jest podział ze względu na współdziałanie z innymi skrzyżowaniami. Pod tym względem skrzyżowania można podzielić na:

- odosobnione – działanie samodzielnie,
- sprzężone – sterowanie na sąsiednich skrzyżowaniach odbywa się za pomocą jednego sterownika [5, 11].

3. INTELIGENTNE SKRZYŻOWANIA

Gwałtownemu wzrostowi liczby uczestników ruchu nie towarzyszy proporcjonalny wzrost liczby dróg. Ta dysproporcja zmusza władze miast do zwiększania liczby skrzyżowań których ruch sterowany jest za pomocą sygnalizatorów świetlnych. W wyniku tego zostaje zachwiana płynność w ruchu, która w konsekwencji prowadzi do pośpiechu i sytuacji stresowych które mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo [6]. Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu może być wprowadzenie tzw. „inteligentnych skrzyżowań”.

Zasada działania inteligentnych skrzyżowań polega na „samoczynnym” dostosowaniu się sygnalizacji świetlnej do sytuacji na drodze tj.: natężeniu ruchu pojazdów czy pieszych oraz stanu nawierzchni. Jeżeli w systemie inteligentnego zarządzania ruchem znajduje się więcej skrzyżowań, tym efektywniej można zarządzać ruchem, przez co czas przejazdu przez obszar objęty tym systemem skraca się, przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa. W inteligentnych skrzyżowaniach oprócz standardowej sygnalizacji świetlnej stosowane są różnego rodzaju czynniki. Zadaniem czujników jest dostarczenie informacji do sterownika o aktualnej sytuacji na danym skrzyżowaniu, dzięki czemu dostosowuje

on czasu trwania poszczególnych cykli zależnie od bieżących potrzeb. Jeśli kilka skrzyżowań połączonych jest w jeden system, to sterownik tak dobiera cykle świateł aby możliwy był przejazd przez jak największą liczbę skrzyżowań. Ta funkcja nosi nazwę zielonej fali.

Wśród czujników które dostarczają informacji do systemu o aktualnie panujących warunkach na drodze są m.in.:

- pętle indukcyjne – pętle te umieszczone są w jezdni tuż przed skrzyżowaniem, ich zadaniem jest wykrywanie pojazdów, które oczekują na zmianę świateł, jeśli pojazd nie zostanie wykryty to światło zielone dla danego kierunku zapala się z większym opóźnieniem,
- czujniki warunków atmosferycznych – ich zadaniem jest dostarczanie informacji do systemu o warunkach pogodowych, ta informacja pozwala przewidzieć średnią prędkość pojazdów, a co za tym idzie wydłużyć czas potrzebny na przejechanie danego odcinka drogi.

W przypadku połączenia wielu skrzyżowań w jeden system istnieje możliwość włączania światła zielonego dla kierunków jazdy w których poruszają się pojazdy służb ratowniczych. To rozwiązanie pozwala znacząco skrócić czas dojazdu tych służb do miejsca zdarzenia.

Jak wynika z badań przeprowadzonych przez Winiarskiego oraz Chrzana przedstawionych w tabeli 1, czas potrzebny na przejechanie przez skrzyżowanie na zielonym świetle pojazdu uprzywilejowanego jest o około 20% krótszy niż przejazd na tym samym skrzyżowaniu ale dla światła czerwonego [12].

Tabela 1. Czasy przejazdu pojazdu uprzywilejowanego przez skrzyżowanie w zależności od cyklu świateł [12].

Data	11.03.15	09.04.15	05.05.15	09.06.15
	czas przejazdu w sekundach			
światło czerwone	20	22	19	21
światło zielone	17	18	16	17

W niektórych miejscach, inteligentne skrzyżowania mają dodatkową funkcję. Na rysunku 1 przedstawiona jest tablica świetlna która wyświetla aktualną prędkość pojazdu oraz jego nr rejestracyjny. Jeśli kierowca przekracza dopuszczalną prędkość to na najbliższym skrzyżowaniu zostanie wyświetlone w jego kierunku jazdy światło czerwone.



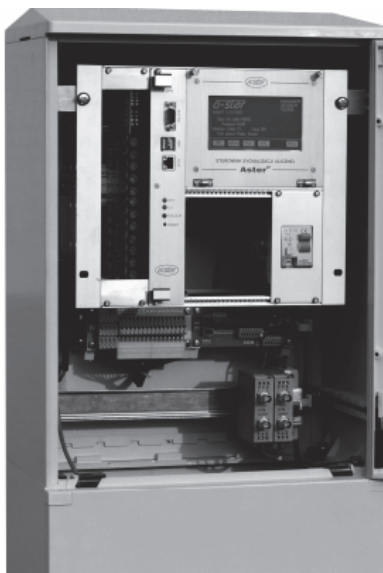
Rys. 1. Inteligentna sygnalizacja świetlna

Obecnie trwają prace nad wprowadzeniem systemów służących do zarządzania ruchem w danym mieście. Przykładem takiego systemu jest system ITLC (ang. *Intelligent Traffic Light Control*), który jest składową ITS (ang. *Intelligent Traffic Systems*). Rada Polskiej Izby Informatyki i Telekomunikacji w tym celu na początku 2014 roku powołała specjalny komitet „Inteligentne Systemy Transportowe”, dzięki któremu wiele polskich miast rozwija swoją sieć inteligentnych skrzyżowań.

Spośród systemów ITLC należy wyróżnić te o skali globalnej - sterujące węzłami sygnalizacji w np. całym mieście oraz te o skali lokalnej - sterujące jedynie pojedynczymi węzłami. Systemy te możemy również podzielić ze względu na zastosowane algorytmy:

- algorytmy deterministyczne,
- algorytmy inteligentne [3].

Do sterowania inteligentnym skrzyżowaniem stosowane są dedykowane sterowniki. Przykładem takiego sterownika może być sterownik AsterITmini stworzony przez firmę A-Ster (rys. 2) który posiada wiele funkcji dedykowanych do obsługi skrzyżowań.



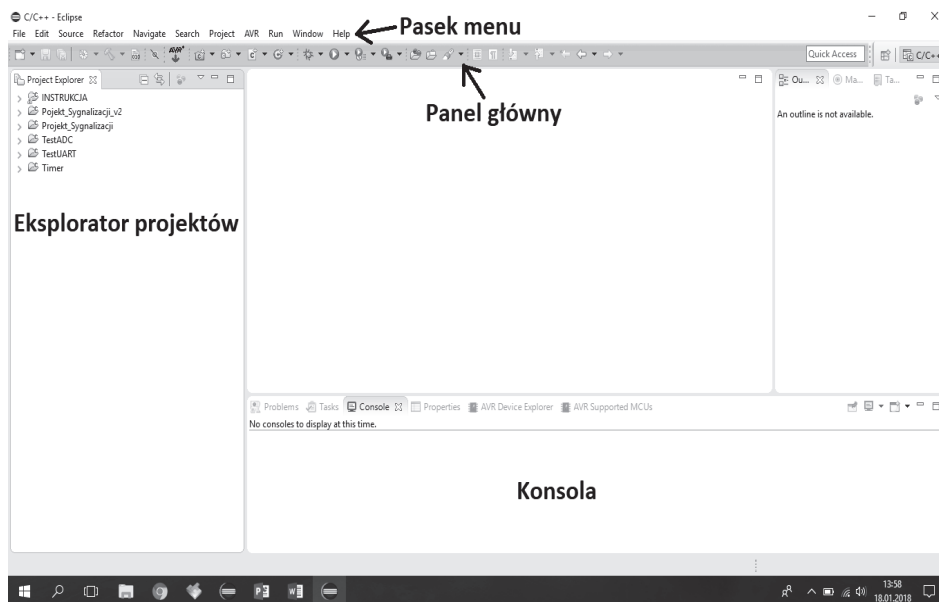
Rys. 2. Sterownik AsterITmini [1]

Do sterowania ruchem na skrzyżowaniu można wykorzystać sterowniki programowalne PLC [8, 9, 10]. Symulację pracy inteligentnego skrzyżowania można również przeprowadzić za pomocą mikrokontrolera [2]. Służył on będzie jako jednostka, w której zapisane jest działanie inteligentnego skrzyżowania.

4. MIKROKONTROLER

Oprócz dedykowanych sterowników do obsługi sygnalizacji świetlnej na skrzyżowaniu, możliwe jest użycie mikrokontrolera Atmega. Do budowy modelu skrzyżowania wykorzystany został mikrokontroler ATmega 644P. Jest to 8-bitowy mikrokontroler wykonany w technologii CMOS. Urządzenie to wyposażone jest w 32 porty które w zależności od konfiguracji mogą pełnić rolę wejść lub wyjść. Ponieważ jest to urządzenie programowalne, może sterować sygnalizacją świetlną w sposób optymalny dla danego typu skrzyżowań.

Do programowania mikrokontrolera można wykorzystać jeden z kilku dostępnych programów. Na rysunku 3 zostało pokazane okno programu Eclipse



Rys. 3. Okno aplikacji Eclipse

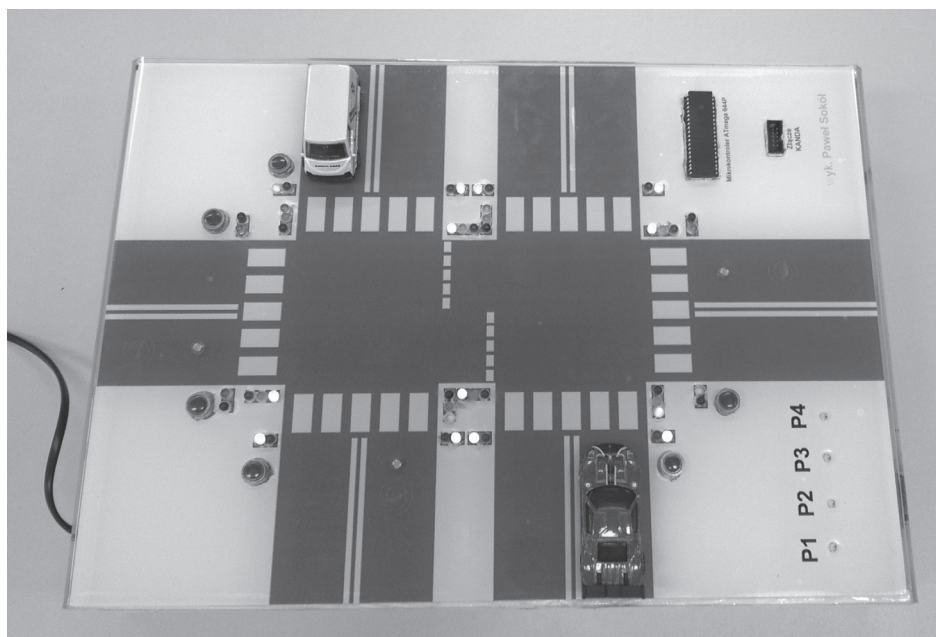
W powyższej aplikacji został napisany kod źródłowy programu. Program do obsługi skrzyżowań napisany został w języku C.

Model inteligentnego skrzyżowania składał się z :

- mikrokontrolera Atmega 644P – jednostka sterująca pracą inteligentnego skrzyżowania,
- diod – symulujących działanie sygnalizatorów świetlnych,
- microswitch-y – które służą jako przyciski dla pieszych,
- fotorezystorów – których zadaniem jest wykrywanie obecności pojazdów oczekujących na skrzyżowaniu (symulują pętle indukcyjne),
- kontaktronów – które wykrywają kierunek poruszania się pojazdów uprzywilejowanych.

Kod źródłowy programu został tak napisany aby jak najbardziej odzwierciedlić pracę rzeczywistego sterownika. Samochody uprzywilejowane zostały wyposażone w magnesy. Dzięki temu rozwiązaniu mikrokontroler poprzez kontaktrony zamontowane w jezdni otrzymuje informacje o kierunku jazdy pojazdów uprzywilejowanych. Ta informacja pozwala na ustawienie światła zielonego do pojazdów poruszających się w danym kierunku. Kolejną funkcją jest wykrywanie pojazdów oczekujących na światło zielone. W tym celu wykorzystany został fotorezystor. Pojazd znajdujący się nad fotorezystorem przysyłając informację do mikrokontrolera. Ta funkcja w połączeniu z przyciskiem dla pieszych daje możliwość regulacji czasu świecenia światła zielonego. Natomiast w przypadku braku pojazdów na skrzyżowaniu lub też braku pieszych czas

świecenia światła zielonego dla prostopadłego kierunku wydłuża się. Model dwóch sprzężonych skrzyżowań przedstawiony jest na rysunku 4.



Rys. 4. Model skrzyżowania

Model ten ze względu na duże możliwości programistyczne będzie docelowo rozbudowany o moduł GSM, który pozwoli sprzęgnąć kilka skrzyżowań w jeden system.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zapewnienie bezpieczeństwa użytkowników dróg nie jest możliwe bez właściwej organizacji ruchu. Sygnalizacja stała do której zalicza się oznakowanie pionowe i poziome dróg zapewnia bezpieczeństwo użytkownikom niestety nie zwiększa znacząco płynności ruchu. Aby zwiększyć przepustowość skrzyżowań konieczne jest stosowanie inteligentnej sygnalizacji świetlnej. Sygnalizacja monitoruje ruch pojazdów i na bieżąco dostosowuje czas świecenia światła zielonego w danym kierunku.

Kolejnym istotnym zadaniem inteligentnej sygnalizacji świetlnej jest zapewnienie pierwszeństwa przejazdu dla pojazdów uprzywilejowanych. Ta funkcja powoduje włączenie światła zielonego dla kierunku w którym porusza się dany

pojazd. To rozwiązanie, jak wynika z badań, znacząco skraca czas dojazdu do miejsca zdarzenia.

Inteligentne skrzyżowania mogą być również sterowane za pomocą mikrokontrolerów. Ze względu na uniwersalność tych urządzeń funkcje mogą być dostosowywane do konkretnych typów skrzyżowań. Mikrokontrolery te mogą również obsługiwać komunikację GSM co daje możliwość sprzęgania ze sobą wielu skrzyżowań. Rozwiązanie to jest niezwykle istotne w przypadku tworzenia tzw. „zielonej fali” która zapewnia przejazd drogą główną z minimalną liczbą postojów.

LITERATURA

- [1] AsterITmini Sterownik drogowej sygnalizacji świetlnej – karta katalogowa PL, Aster.
- [2] Boguta A., The wireless notification systems used in car alarm systems. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 2012, 12(1).
- [3] Chołaj Ł., Inteligentne systemy sterujące sygnalizacją jako element zarządzania komunikacją miejską. Studia Ekonomiczne, 2014, 199, 25-35.
- [4] Dąbczyński Z., Zarys historii rozwoju zasad zarządzania ruchem drogowym. Drogownictwo, 2011, 264-266.
- [5] Datka S., Tracz M., Suchorzewski W., Inżynieria ruchu. WKiŁ, 1989.
- [6] Hoffmann A., Rola projektanta w organizacji ruchu na drogach, 78. Seminarium szkoleniowe Stowarzyszenia Klub Inżynierii Ruchu, Dymaczew k. Poznania, czerwiec 2013.
- [7] Lejda K., Siedlecka S., Inteligentne systemy sterowania ruchem drogowym w miastach. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17, 2016.
- [8] Majcher J., Automatyka budynkowa: modny gadżet czy podstawowy element infrastruktury technicznej budynku. Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering. 2016, nr 87, s. 37-46.
- [9] Majcher J., Intelligent building: comfort and safety. Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa PAN, 2016, nr 1, vol. 16, s. 21-24.
- [10] Majcher J., Symulacja pracy centrali alarmowej za pomocą sterownika programowalnego PLC. TTS Technika Transportu Szynowego, 2015, nr 12, s. 2723-2726.
- [11] Rozporządzenie Ministrów Infrastruktury oraz Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 lipca 2002 r. w sprawie znaków i sygnałów drogowych.
- [12] Winiarski M., Chrzan M., Strategia wyznaczania drogi dla przejazdu pojazdu uprzywilejowanego. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 17, 2016.

INTELLIGENT CONTROL OF INTERSECTION TRAFFIC LIGHTS WITH A MICROCONTROLLER

Due to the increasing number of cars, cities are struggling with the problem of heavy traffic on the streets. This situation leads to an increase in the time needed to move from one point of the city to another, as well as frustration among drivers. The consequence of this state of affairs is the extended travel time as well as numerous stops in congested streets, which directly translates into deterioration of air quality in cities. One of the attempts to solve this problem is proper organisation of vehicle traffic, especially in sensitive places such as intersections. More and more often, intelligent modules are used to control traffic lights, which allow the signalling system at a given intersection to react depending on the current traffic volume. The following article presents the possibility of controlling intelligent traffic lights using the Atmega microcontroller.

(Received: 01.02.2018, revised: 10.03.2018)