

Synteza detektora kierunku do elektronicznego licznika osi

Andrzej WOLFENBURG¹

Streszczenie

W opracowaniu podano pełną formalną syntezę detektora kierunku do elektronicznego licznika osi przy założeniu możliwości wystąpienia wszystkich możliwych ruchów osi nad głowicami czujnika. Wykorzystano jedynie elementy statyczne NOR albo NAND jako bardziej odporne na zakłócenia, Pokazano poprawny graf stanów dla tego automatu. Przedstawiono uwagi dotyczące realizacji tego układu przy wykorzystaniu mikroprocesora oraz przedstawiono program symulacji takiego rozwiązania.

Słowa kluczowe: licznik osi, synteza detektora kierunku, układ anty-koincydencji impulsów

1. Wprowadzenie

Elektroniczny licznik osi służy to stwierdzenia niezajętości odcinka toru lub zwrotnicy lub grupy zwrotnic. Jest on alternatywą dla obwodu torowego o tym samym zadaniu. Odcinek toru ograniczony czujnikami, zwany tutaj odcinkiem kontrolowanym, może być uznany za wolny od taboru, jeśli różnica liczby osi, która wjechała i zjechała z tego odcinka zliczana przez licznik rewersyjny (dwukierunkowy) musi wynosić zero. W punktach zliczania osi zainstalowano dwie głowice umożliwiające wykrywanie kierunku ruchu osi pojazdu szynowego. Na rysunku 1 przedstawiono fragment układu torowego z dwoma odcinkami zliczania: jeden obejmujący zwrotnicę, a drugi odcinek toru. Trójkąty oznaczają głowice czujników.



Rys. 1. Zwrotnicowy i torowy odcinek kontrolowany [rys. autor]

Czujniki są połączone z układami detekcji kierunku ruchu, które zapewniają wykrywanie kierunku ruchu osi i poprawne ich zliczenie nawet w przypadku wielokrotnej zmiany kierunku ich ruchu nad czujnikiem. Jednak impulsy z czujników umieszczonych na końcach kontrolowanych odcinków mogą nakładać się w czasie, co uniemożliwiłoby ich poprawne zliczenie przez licznik rewersyjny. W pokazanej na rysunku 1 sytuacji może to mieć miejsce w przypadku, gdy z lewej strony przez zwrotnicę wjeżdża na odcinek torowy grupa wagonów pchana przez lokomotywę manewrową,

a z prawej strony z tego odcinka wyjeżdża w prawo inna grupa wagonów ciągnięta przez inną lokomotywę. Z tego powodu impulsy z obu czujników umieszczonych na końcach kontrolowanego odcinka trafiają do układu antykoincydencji impulsów, który rozsuwa je w czasie, aby mogłyby być poprawnie zliczone. Na układ antykoidencyjny uzyskano patent [3]. W literaturze autor nie napotkał przedstawienia formalnej syntezy detektora kierunku do elektronicznego licznika osi. Zakłada się, że taki detektor kierunku powinien wygenerować poprawne impulsy doliczenia lub odliczenia osi przy wszystkich możliwych ruchach osi nad czujnikiem, co nie zawsze jest spełnione przez obecnie produkowane systemy zliczania [2]. Zagadnienie to zostało rozwiązane w niepublikowanej pracy [2], w której opisano pierwszy w Polsce projekt elektronicznego licznika osi o podwyższonych wskaźnikach bezpieczeństwa, zbudowanego na układach scalonych. Niektóre aktualne aspekty tej pracy przedstawiono w dalszej części artykułu.

2. Problem badawczy i metodologia badawcza

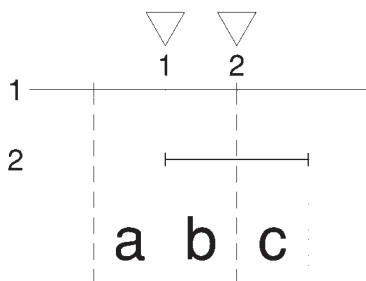
Problemem badawczym opisanym w artykule jest przeprowadzenie efektywnej syntezy układu detektora kierunku do elektronicznego licznika osi przy sformułowanych założeniach. Jako hipotezę badawczą przyjęto, że metody syntezy automatów cyfrowych pozwolą na zaprojektowanie układu umożliwiającego wygenerowanie poprawnych impulsów doliczenia bądź odli-

¹ Dr inż.; Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań; e-mail: Andrzej.Wolfenburg@ilim.poznan.pl.

czenia liczby osi w liczniku rewersyjnym przy wszystkich możliwych i dopuszczalnych ruchach osi nad głowicami czujnika. Metodologia badawcza wykorzystuje metody syntezy automatów cyfrowych, które przykładowo opisano w [1]. Ostatnio synteza układu została rozszerzona o kroki pozwalające na wykrycie nieprawidłowych sekwencji sygnałów z głowic czujnika.

3. Formalna synteza detektora kierunku jako automatu cyfrowego

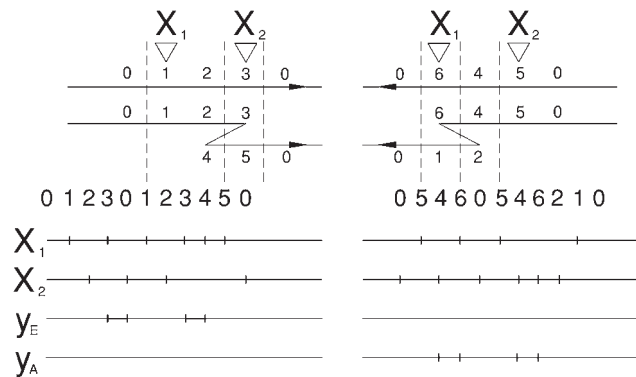
Syntezy detektora kierunku dokonano przy założeniu użycia jedynie elementów statycznych, jako najbardziej odpornych na zakłócenia. Przy syntezie wykorzystano trzeci, normalnie zabroniony stan przerzutnika statycznego (złożonego z dwóch bramek NAND lub NOR), co pozwoliło znacznie uprościć układ. Do właściwej pracy detektora muszą być spełnione prawidłowe zależności fazowe i czasowe impulsów uzyskanych z głowic czujnika. Przy jednokierunkowym przejeździe osi nad głowicami czujnika impulsy te muszą mieć odpowiednie zależności fazowe i czasowe przedstawione na rysunku 2, koniecznie z fazą b , w której impulsy z obu głowic są czasowo nałożone na siebie.



Rys. 2. Trzy strefy oddziaływania koła na głowice czujnika

W celu utworzenia grafu przejść dla detektora kierunku należy rozważyć wszystkie możliwe przypadki ruchu koła pojazdu nad głowicami czujnika. Przypadków tych jest kilka, ale tylko te są istotne, które wprowadzają nowe stany lub przejścia w grafie. W artykule ograniczono się do rozpatrzenia tylko tych przypadków. Na początku należy oznaczyć stan spoczynkowy. Jest to stan, w którym znajdują się przerzutniki, gdy nie odbywa się ruch osi. Stany są numerowane dla tych ruchów, które są istotne. Numeruje się je kolejnymi liczbami, aż do momentu natrafienia na taki stan, któremu można przyporządkować poprzednio użytą liczbę. W rozważaniach ma to miejsce, gdy oś pojazdu powróciła do poprzednio zajmowanego położenia, a w stanach pośrednich nie został wygenerowany sygnał doliczenia bądź odliczenia osi. Założono, że sy-

gnał doliczenia bądź odliczenia osi następuje w fazie c lub a z rysunku 2. Numerację stanów i trajektorie osi przy różnych ruchach osi nad głowicami czujnika podano na rysunku 3.



Rys. 3. Różne trajektorie osi oraz wykresy czasowe z numeracją stanów [oprac. własne]

Sygnały x_1 i x_2 to sygnały z każdej z głowic czujnika, natomiast y_E i y_A to sygnały doliczenia i odliczenia. Po ponumerowaniu stanów należy utworzyć tablicę przejść przedstawioną (tablica 1).

Tablicę przejść tworzy się w ten sposób, że jej wiersze numeruje się kolejnymi stanami, a kolumny kombinacjami impulsów otrzymanych z głowic czujnika. W polu przecięcia każdego wiersza i kolumny wpisuje się stan, w którym pozostaje automat (liczba w kółku stan stabilny) lub stan, do którego przejdzie (liczba bez kółka). Tablicę tę wypełnia się bezpośrednio z wykresu czasowego. Pola, które pozostały puste są to pozycje (stany) nieokreślone dla sygnałów zabronionych bądź niewystępujących. W celu zmniejszenia liczby stanów w tablicy przejść, dokonuje się łączenia kilku stanów (wierszy) w jeden, przy czym reguła łączenia jest następująca: można łączyć tylko te wiersze, w których stany dla wszystkich sygnałów wejściowych są niesprzeczne. Stanami niesprzecznymi są stany, które dla tego samego sygnału wejściowego x należą do jednej z następujących grup:

- n i n (dwa takie same stany niestabilne),
- (n) i n (taki sam stan stabilny i niestabilny),
- n i puste (stan niestabilny i nieokreślony),
- (n) i puste (stan stabilny i nieokreślony),
- puste i puste (dwa stany nieokreślone).

Uproszczoną tablicę przejść powstałą po takich połączeniach, przedstawiono w tablicy 2. Połączonym stanom w tablicy przejść przypisuje się nową numerację. Przykładowo, połączonym stanom 4 i 5 nadano numer 3. Tablice przejść mają dodatkową kolumnę ze stanami wyjść y_E (doliczenie) i y_A (odliczenie) dla stabilnych stanów wewnętrznych. W przypadku połączenia wierszy o sprzecznych stanach wyjściowych, stan wyjść automatu będzie zależał nie tylko od stanów wewnętrz-

nych, ale i od sygnałów wejściowych (aut. Mealey'ego). W opisanych przypadkach połączono wiersze o niesprzecznych sygnałach wyjściowych otrzymując uproszczoną tablicę przejść dla automatu Moore'a.

Tablica 1

Tablica przejść między stanami

Q \ x_1, x_2	00	01	11	10	y_E, y_A
0	①	5		1	00
1	0		2	②	00
2		3	③		00
3	0	④	4		10
4		5	⑤	6	00
5	0	⑥	4		00
6	0		2	⑦	01

Tablica 2

Uproszczona tablica przejść między stanami

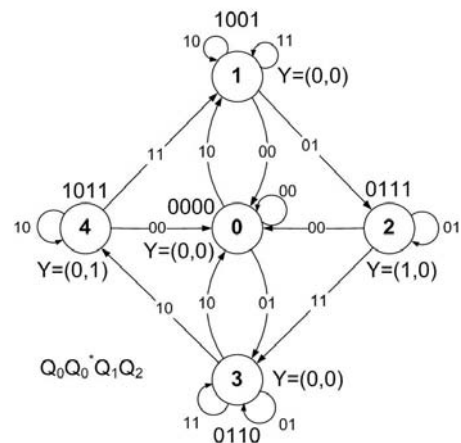
- 0 → 0,
- 1, 2 → 1
- 3 → 2
- 4, 5 → 3
- 6 → 4

Q \ x_1, x_2	00	01	11	10	y_E, y_A
0	①	3		1	00
1	0	2	②	②	00
2	0	③	3		10
3	0	④	④	4	00
4	0		1	⑤	01

Uproszczoną tablicę przejść wygodnie jest przedstawić w postaci grafu (rys. 4). W podanej postaci graf prawdopodobnie nigdy nie był publikowany. Tworzony jest w ten sposób, że rysuje się tyle kółek, ile jest wierszy w tablicy przejść wpisując w te kółka numery wierszy (stanów). Kółka łączy się strzałkami symbolizującymi przejścia między stanami zgodnie z tablicą przejść. Strzałki skierowane do tego samego kółka (stanu) wskazują na stan stabilny. Przy strzałkach wpisuje się sygnały wyjściowe, które powodują dane przejście. Przy stanach grafu wpisuje się także zakodowane stany automatu dla automatów Moore'a, także sygnały wyjściowe, co ma miejsce w tym przypadku.

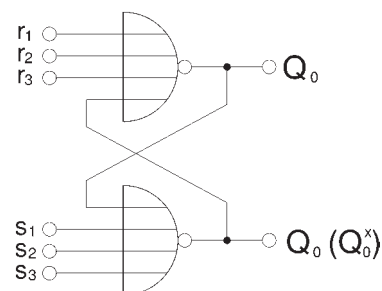
Kodowanie stanów polega na przypisaniu każdemu stanowi liczby dwójkowej opisującej stan przerzutników elementarnych. Do zakodowania n stanów

liczba kombinacji sygnałów wyjściowych przerzutników elementarnych musi równać się, co najmniej n . Kodowanie stanów musi zapewnić brak wyścigów krytycznych i dać jak najprostszą strukturę. Dodatkowo żąda się, aby struktura była symetryczna. Wyścig krytyczny jest to zjawisko polegające na możliwości przejścia automatu do błędnego stanu (niezgodnego z tablicą przejść) na skutek opóźnień na drodze sygnałów. Wyścig krytyczny może uniemożliwić prawidłowe działanie automatu, dlatego należy tak zakodować stany, aby nie powstał wyścig krytyczny. Kodowanie bez wyścigów krytycznych zapewnia następujące twierdzenie: jeżeli dla przejścia między stanem A i stanem stabilnym B przy sygnale wejściowym x , kody tych stanów mają część wspólną, której nie ma dla tego sygnału wejściowego żaden inny stan stabilny niż B , to takie kodowanie nie powoduje wyścigów krytycznych. Część wspólna są to te cyfry kodów, które są wspólne dla danej pary stanów. Na przykład dla kodów 1010 i 1001 częścią wspólną są dwie pierwsze cyfry 10. Graf na rysunku 4 zakodowano zgodnie z tym twierdzeniem i nie ma wyścigów krytycznych.



Rys. 4. Zakodowany graf przejść [rys. autor]

W celu zmniejszenia liczby statycznych przerzutników elementarnych r -s (rys. 5) wykorzystano trzeci, normalnie zabroniony stan tego przerzutnika, w którym na obu wejściach są jedynki dla elementów NOR bądź zera dla elementów NAND.



Rys. 5. Przerzutnik statyczny r -s na elementach NOR

Tablicę przejść przerzutnika r-s złożonego z elementów NOR dla wszystkich kombinacji wzbudzeń r_0, s_0 przedstawiono w tablicy 3. W tym przypadku, wyjścia takiego przerzutnika przestają być swoimi negacjami i na grafie muszą być oddzielnie oznaczone jako Q_0 i Q_0^* .

Tablica 3
Tablica przejść przerzutnika r-s złożonego z elementów NOR dla wszystkich kombinacji wzbudzeń r_0, s_0

$Q_0 Q_0^*$	$Q_0' Q_0'^*$	$r_0 s_0$
00	00	11
00	01	01
00	10	10
01	00	11
01	01	0-
01	10	10
10	00	11
10	01	01
10	10	-0

Po zakodowaniu stanów, na grafie tworzy się zakodowaną tablicę przejść na podstawie uproszczonej tablicy przejść i kodów z grafu, zamieniając numer stanu z uproszczonej tablicy przejść jego kodem binarnym (tabl. 4). Pozycje nieokreślone pozostają puste.

Tablica 4

Zakodowana tablica przejść

$Q_0^* x_1 x_2$ $Q_0 Q_1 Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0000	0110		1001				
001								
011						0110	0111	0000
010					1011	0110	0110	0000
110								
111	0000		1001	1011				
101	0000	0111	1001	1001				
100								

$Q(Q, x), Q = (Q_0, Q_0^*, Q_1, Q_2)$

Po utworzeniu zakodowanej tablicy przejść należy określić wzbudzenia dla każdego z trzech przerzutników z grafu, przy czym przerzutnik $Q_0 Q_0^*$ ma trzy stany i jego wzbudzenia określa się z tablicy 3.

Tablica 5

Tablica wzbudzeń przerzutnika Q_0

$Q_0^* x_1 x_2$ $Q_0 Q_1 Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	11	01		10				
001								
011						0-	0-	11
010					10	0-	0-	11
110								
111	11		-0	-0				
101	11	01	-0	-0				
100								

$r_0, s_0(Q, x), r_0 = \sim x_2, s_0 = \sim x_1$

Przerzutniki Q_1 i Q_2 są to zwykłe przerzutniki statyczne i utworzenie ich tablic wzbudzeń (tabl. 6, 7) nie wymaga wyjaśnień.

Tablica 6

Tablica wzbudzeń przerzutnika Q_1

$Q_0^* x_1 x_2$ $Q_0 Q_1 Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	-0	01		10				
001								
011						0-	0-	10
010					0-	0-	0-	10
110								
111	10		10	0-				
101	-0	01	-0	-0				
100								

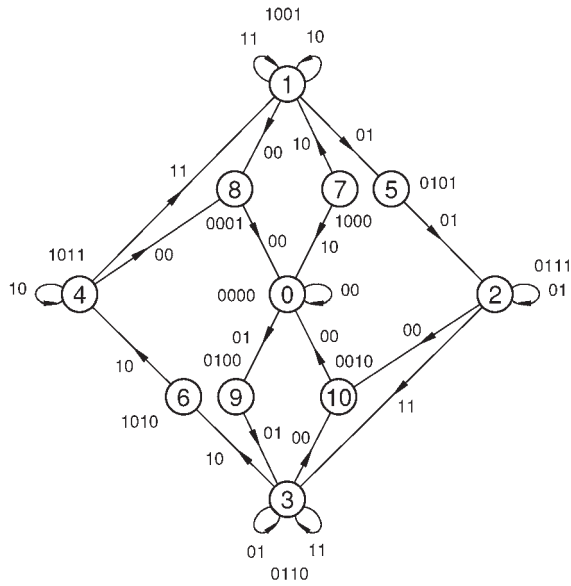
$r_1, s_1(Q, x), r_1 = \sim x_1 \sim x_2 + \sim Q_0^* x_1 x_2, s_1 = \sim x_1 x_2$

Tablica 7

Tablica wzbudzeń przerzutnika Q_2

$Q_0^* x_1 x_2$ $Q_0 Q_1 Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0-	-0		01				
001								
011						10	0-	10
010					01	-0	-0	-0
110								
111	10		0-	0-				
101	10	0-	0-	0-				
100								

$r_2, s_2(Q, x), r_2 = \sim x_1 \sim x_2 + \sim Q_0^* x_1 x_2, s_2 = x_1 \sim x_2$



Rys. 7. Graf końcowy po wprowadzeniu dwóch dodatkowych stanów niestabilnych [rys. autor]

Tablica 9
Nowa uzupełniona tablica przejść dla grafu z rysunku 7

$Q_0^*x_1x_2$ $Q_0Q_1Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0000	0100	0000	1000	1010	0110	0110	0010
001	0000	0101	0000	1000	1010	0110	0111	0010
011	0000	0101	0000	1010	1010	0110	0111	0010
010	0000	0100	0000	1010	1010	0110	0110	0010
110	0001	0101	1001	1011				
111	0001	0101	1001	1011				
101	0001	0101	1001	1001				
100	0001	0101	1001	1001				

$Q(Q, x), Q = (Q_0, Q_0^*, Q_1, Q_2)$

Tablica 10
Nowa tablica wzbudzeń przerzutnika Q_0 z tablicy 9

$Q_0^*x_1x_2$ $Q_0Q_1Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	11	01		10				
001							0-	
011						0-	0-	11
010					10	0-	0-	11
110				-0				
111	11		-0	-0				
101	11	01	-0	-0				
100								

$r_0, s_0(Q, x), r_0 = \sim x_2, s_0 = \sim x_1$

Tablica 11
Nowa tablica wzbudzeń przerzutnika Q_1 z tablicy 9

$Q_0^*x_1x_2$ $Q_0Q_1Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	-0	-0		-0				
001							01	
011						01	01	11
010					01	01	01	11
110				0-				
111	10		10	0-				
101	-0	-0	-0	-0				
100								

$r_1, s_1(Q, x), r_1 = \sim x_1 \sim x_2 + \sim Q_0^*x_2, s_1 = Q_0$

Tablica 12
Nowa tablica wzbudzeń przerzutnika Q_2 z tablicy 9

$Q_0^*x_1x_2$ $Q_0Q_1Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	10	-0		-0				
001							0-	
011						10	0-	10
010					-0	-0	-0	-0
110				01				
111	11		01	01				
101	11	0-	01	01				
100								

$r_2, s_2(Q, x), r_2 = \sim x_1 \sim x_2 + \sim Q_0^*x_2, s_2 = Q_0$

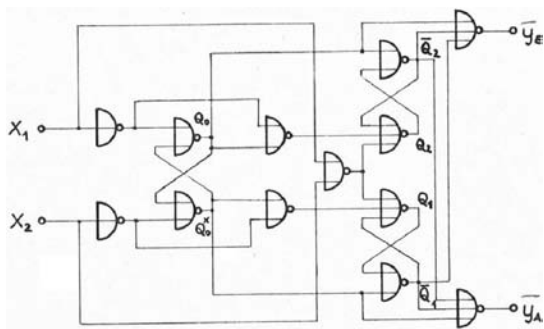
Tablica wyjść automatu

$Q_0^*x_1x_2$ $Q_0Q_1Q_2$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	00	00		00			00	
001	00						$\Phi_1 0$	
011						-0	10	-0
010	00				$0\Phi_2$			
110				$0\Phi_2$				
111	0-		0-	01				
101	00	$\Phi_1 0$	00	00				
100				00				

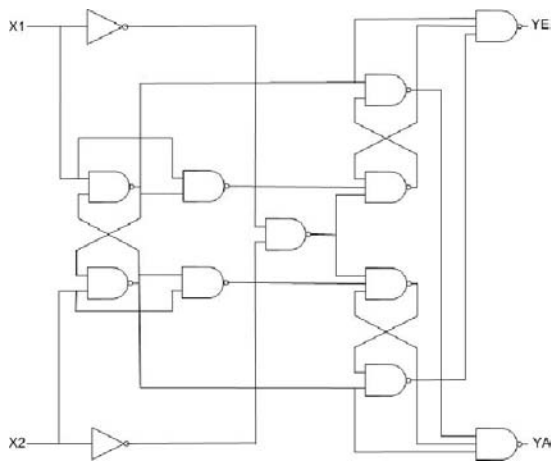
$y_E = \sim Q_0 Q_1 Q_2, y_A = \sim Q_0^* Q_1 Q_2, \Phi_1, \Phi_2 \in \{0, 1\}$

Tablica 13

Syntezy automatu można dokonać na elementach NOR ze względu na jej łatwość. Przeważnie jednak mamy do dyspozycji elementy NAND. Wówczas na podstawie praw de Morgana można zmienić konwencję sygnałów wejściowych i wyjściowych, co powoduje zmianę funkcji elementu NAND na NOR i odwrotnie. Po zmianie, poziom wysoki będzie oznaczał 0 logiczne, a niski 1 logiczne. W wypadku powrotu w dalszej części układu do starej konwencji, sygnały wyjściowe można zanegować. Realizację układu na elementach NOR przedstawiono na rysunku 8, a na elementach NAND na rysunku 9, w tej samej konwencji sygnałów: 0 logiczne – poziom niski, 1 logiczne – poziom wysoki. Aby utrzymać tę konwencję, wejścia z głowic czujnika (rys. 9) zanegowano.



Rys. 8. Realizacja automatu na elementach NOR



Rys. 9. Realizacja automatu na elementach NAND

4. Realizacja detektora kierunku na mikroprocesorze

Cały licznik osi obejmujący układy detekcji kierunku, układy antykoincydencji i licznik rewersyjny można obecnie zrealizować za pomocą prostego sterownika PLC, także z uwzględnieniem techniki *fail-safe*. Autor zasymulował w języku wysokiego poziomu

działanie detektora wykorzystującego taki sterownik. Dodatkowo, do podstawowych funkcji poprawnego doliczenia czy odliczenia liczby osi przy wszystkich możliwych ich ruchach nad czujnikiem, układ sterownika umożliwia wykonywanie dodatkowych funkcji kontrolnych dotyczących poprawności działania głowic czujnika, co jest wymagane do uzyskania odpowiednich wartości wskaźników bezpieczeństwa podczas procesu certyfikacji; takie funkcje zostały również zasymulowane. Zasadniczo działanie programu sterownika odpowiedzialnego za wykrywanie kierunku ruchu osi może być oparte na grafie przejść (rys. 4). Odzworowanie w sterowniku automatu opartego na tym grafie nie stwarza żadnych trudności. Problemem staje się takie zaprogramowanie funkcji kontrolnych, aby uzyskać satysfakcjonujące poziomy wskaźników bezpieczeństwa bez naruszenia zasady dopuszczenia wszystkich możliwych ruchów osi nad głowicami czujnika. Wprowadzenie funkcji kontrolnych powoduje wprowadzenie dodatkowych stanów do programu symulacyjnego.

Program umożliwia symulację ruchu osi nad głowicami czujnika przez przesuwanie kursora myszy nad polami stref czujnika w górnej części okna. Cursor można przesuwać w obu kierunkach oraz zmieniać jego kierunek ruchu nad dowolną strefą czujnika. W każdym z tych przypadków poprawna liczba osi, która znajduje się na symulowanym odcinku zostaje wyświetlona w prawym polu pod etykietą „Stan licznika”. Lewe pole z etykietą „Zajęty” w przypadku niezerowego stanu licznika jest podświetlone (stan zajęty). Na rysunku 10, na kontrolowanym odcinku, znajduje się jedna oś, natomiast druga (symulowana przez kursor) znajduje się nad drugą strefą czujnika (obie głowice zajęte). Stan zajęcia głowic jest widoczny pod etykietami Głowica 1 i Głowica 2. Sygnały doliczenia i odliczenia mogą pojawiać się w polach pod odpowiednimi etykietami w strefie zajęcia tylko drugiej lub tylko pierwszej głowicy (pozostała głowica wolna od osi). Uszkodzenia głowic można symulować nad etykietami Głowica 1 i Głowica 2. Można ustawić stałe uszkodzenie każdej z głowic na 0 lub 1 i badać wykrywanie tych uszkodzeń podczas ruchu osi. Błędy w działaniu detektora kierunku ze względu na nieprawidłową (niemożliwą) sekwencję sygnałów wejściowych są sygnalizowane w polu nad etykietą „Błąd”. Błąd i niezerowy stan licznika można wykasować za pomocą przycisku „Reset”. Licznik zostaje natychmiast wyzerowany, lecz błąd zostaje wykasowany dopiero po prawidłowym przejściu pewnej liczby osi, kiedy stan licznika przyjmie powtórnie wartość zero. Do tego momentu kontrolowany odcinek jest traktowany jako zajęty. Symulacja układu antykoincydencyjnego nie jest potrzebna, gdyż do testowania działania detektora kierunku potrzebna jest symulacja sygnałów tylko z jednego czujnika.



Rys. 10. Okno programu symulującego działanie układu mikroprocesorowego [oprac. autor]

5. Wnioski

Otrzymane wyniki wskazują na poprawność przyjętej metodologii badawczej. Pozwalają one na wykorzystanie uzyskanych rezultatów do projektu nowych rozwiązań liczników osi również opartych na układach mikroprocesorowych, w tym sterownikach PLC.

Literatura

1. Traczyk W.: *Układy cyfrowe automatyki*, WNT, Warszawa 1976.
2. Wolfenburg A.: *Opracowanie założeń i schematu logicznego urządzenia kontroli zajętości odcinków torowych w technice TTL pracującego na zasadzie zliczania osi*, Praca dyplomowa, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki, Instytut Maszyn Matematycznych, Niepublikowana, Warszawa 1971.
3. Wolfenburg A.: *Układ do rozdzielania grup impulsów cyfrowych w czasie*, Patent 111650, Warszawa 1981.
4. Wolfenburg A.: *Sposób śledzenia położenia pojazdów szynowych w wybranym okręgu manewrowym*, Patent 124756, Warszawa 1985.

Synthesis of Electronic Axle Counter Direction Detector

Summary

In the paper the full formal synthesis of direction detection unit to the electronic axle counter has been presented. All the possible axle movements over the detection point heads were considered. Only NOR and NAND elements were utilized, as they are more resistant against interferences. The correct graph of states for the automata was shown. Some notices regarding construction of this unit using a microprocessor were given as well as a simulation program for such a solution has been mentioned.

Keywords: axle counter, direction detection unit synthesis, anticoincidence pulses unit

Синтез детектора направления для электронного счетчика осей

Резюме

В составлении представлен полный формальный синтез детектора направления для электронного счетчика осей при условии, что могут выступить все возможные движения оси над головкой счетчика. Используются лишь статические элементы стрелки Пирса (NOR) или штриха Шеффера (NAND) поскольку они являются более устойчивыми к нарушениям. Указана правильная схема состояний для этого автомата. Представлены замечания по оформлению этой системы при использовании микропроцессора и программы моделирования этого решения.

Ключевые слова: счетчик осей, синтез детектора направления, система антисовпадения импульсов