

Jarosław BURZAWA
Lesław SOCHA

STEROWANIE ODSTĘPAMI MIĘDZY POJAZDAMI W KONWOJU

Streszczenie. W pracy przedstawiono projekt poprawy przepustowości dróg oraz bezpieczeństwa i szybkości podróży poprzez wykorzystanie zautomatyzowanych pojazdów połączonych w konwoje. W rozpatrywanych modelach zarówno prędkości początkowe pojazdów, jak i marszruta lidera generowane są w sposób losowy. Przy wykorzystaniu programu symulacyjnego przeanalizowano różnice w zachowaniu pojazdów dla trzech wariantów sterowania: modelu pierwszego z wykorzystaniem informacji o położeniu, prędkości i przyspieszeniu poprzedzającego pojazdu, modelu drugiego, który oprócz danych z modelu pierwszego wykorzystuje również informację o prędkości lidera, modelu trzeciego, w którym w stosunku do poprzedniego modelu wykorzystywana jest również informacja o zmianie przyspieszenia lidera.

CONTROL OF VEHICLES SPACING IN PLATOON STRUCTURE

Summary. The improved model of control vehicles in platoon with random parameters has been proposed in this paper. Three variants of control with utilization of information about position, speed and acceleration of previous vehicle combined with these information about leader have been considered. The proposed models were tested by simulations and results obtained are illustrated in figures and tables

1. WSTĘP

Z uwagi na dynamiczny rozwój motoryzacji i sieci komunikacyjnych problematyka sterowania konwojami pojazdów jest coraz bardziej rozwijana. W badaniach z tym związanych przodują Amerykanie, którzy pierwsi musieli sprostać problemowi zatłoczenia dróg. Prace nad rozpatrywanym problemem przebiegają równolegle w kilku kierunkach. Ogólne zasady prowadzenia ruchu pojazdów na pojedynczym pasie ruchu opisali Herman i Potts [3]. Analizę oddziaływania sygnałów wejściowych na zachowanie pojazdów zgrupowanych w konwój przedstawili Yang i Benson [7]. Badania stabilności konwoju zautomatyzowanych pojazdów można znaleźć w publikacji [2], której autorami są Eyre, Yanakiev i Kanellakopoulos. Lim [5] zaproponował jednoczesne sterowanie prędkością ruchu

wzdłuż i w poprzek drogi. Huang i Ren [4] przedstawili system pojazdów z automatycznym sterowaniem przyspieszania i hamowania. Niniejsza praca opiera się na metodzie sterowania odstępami między pojazdami, której autorami są Swaroop, Hedrick, Chien i Ioannou [6]. Prezentowane badania zostały wzbogacone o nowy, w stosunku do wcześniejszych eksperymentów przeprowadzonych przez twórców metody, czynnik – losowość zaburzeń ruchu. Celem przeprowadzonych badań jest ocena poprawy intensywności, gęstości oraz bezpieczeństwa ruchu przy zastosowaniu odpowiedniego modelu sterowania. Losowość zakłóceń pozwala określić, na ile w nieoczekiwanych sytuacjach ruchowych wprowadzone sterowanie pozwala zapewnić bezpieczeństwo pojazdom zgrupowanym w konwoju.

2. STRATEGIA KONTROLI ODSTĘPU POMIĘDZY POJAZDAMI [6]

Metoda przedstawiana w pracy [6] wykorzystuje regulację odległości pomiędzy pojazdami poprzez sterowanie przyspieszeniami. W metodzie tej, w celu eliminacji kolizji, wartość błędu odstępu dla poszczególnych pojazdów konwoju nie powinna się powiększać. Gwarancją stabilności konwoju dla metody kontroli stałego odstępu jest dokładna i szybko przekazywana informacja o zachowaniu pierwszego pojazdu (tzw. lidera), czyli określenie zmian jego prędkości lub pozycji (położenia) lub (i) o zachowaniu pojazdu poprzedzającego.

Sprecyzowano następujące założenia dotyczące konwoju pojazdów:

- wszystkie pojazdy są identyczne i poruszają się w linii prostej po drodze,
- przed pierwszym rozpatrywanym manewrem pojazdu prowadzącego wszystkie pojazdy w konwoju poruszają się z taką samą prędkością,
- pojazd lidera wykorzystuje określoną ilość czasu t_f aby wykonać dany manewr, po czym powraca do prędkości, z którą wcześniej się poruszał,
- błąd odstępu j – tego pojazdu od jego poprzednika jest definiowany jako odchylenie od żądanej odległości między pojazdami,
- informacje o prędkości, przyspieszeniu poprzedzającego pojazdu, a także o odległości pomiędzy badanym pojazdem a poprzedzającym go pochodzą z odczytu wskazań czujników umieszczonych na zewnątrz pojazdu (działających na zasadzie sonaru lub radaru),
- pojawianie się pojazdów na wlocie drogi, prędkości początkowe pojazdów oraz zmiany prędkości lidera są generowane losowo,
- pozostałe informacje (np. o zachowaniu lidera) przekazywane są drogą radiową.

Celem sterowania jest, by błędy odstępu nie powiększały się wraz ze wzrostem indeksu pojazdu niezależnie od wykonywanych przez lidera manewrów, co determinuje fakt, że maksymalny błąd odstępu j -tego pojazdu jest mniejszy od maksymalnego błędu $j-1$ -ego pojazdu lub równy mu.

Model pojazdu, dla którego opracowano przedstawiane metody, zakłada, że sterowanie pojazdem jest równe drugiej pochodnej położenia pojazdu, czyli przyspieszeniu:

$$\ddot{x}_j = u_j \quad (1)$$

Dla rozpatrywanej strategii zdefiniowano błąd odstępu j – tego pojazdu ϵ_j jako:

$$\epsilon_j := x_{j-1} - x_j - L_j \quad (2)$$

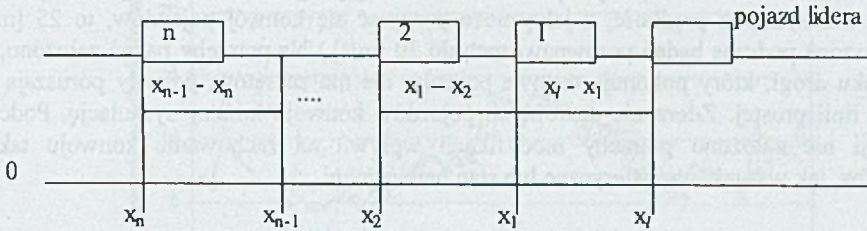
$$\dot{\epsilon}_j = \dot{x}_{j-1} - \dot{x}_j \quad (3)$$

gdzie: x_j , x_{j-1} są otrzymywane jako odczyt danych z czujników kontrolujących położenie oraz prędkość pojazdu w stosunku do poprzednika, L_j jest wymaganą stałą odległością i – tego pojazdu od jego poprzednika.

Zdefiniowano zmianę prędkości $w_I(t)$ jako:

$$w_I(t) := v_I(t) - v_I(0-) \quad (4)$$

gdzie: $v_I(t)$ jest to prędkość pojazdu lidera w funkcji czasu, $v_I(0-)$ jest to początkowa prędkość pojazdu lidera.



Rys. 1. Struktura konwoju

Fig. 1. Platoon structure

Wielkość sterowania dla j – tego pojazdu w ogólnym przypadku określono następująco: dla $j > 1$

$$u_j = k_p \varepsilon_j + k_v \dot{\varepsilon}_j + k_a a_l - k_{v1} (\dot{x}_j - \dot{x}_j(0-)) + k_a a_{j-1} \quad (5)$$

$$c_p (x_j(t) - x_l(t) + \sum_{i=1}^j L_j) - c_v (\dot{x}_j(t) - \dot{x}_l(t))$$

Równanie sterowania dla pojazdu pierwszego następcy określono jako:

$$u_1 = (k_p + c_p) \varepsilon_1 + (k_v + c_v) \dot{\varepsilon}_1 + (k_a + k_a l) a_l - k_{v1} (\dot{x}_1 - \dot{x}_1(0-)) \quad (6)$$

gdzie: a_l jest przyspieszeniem pojazdu lidera, L_j jest wymaganą stałą odległością j – tego pojazdu od jego poprzednika, a_{j-1} jest przyśpieszeniem $j-1$ pojazdu (j -ty pojazd to poprzednik), $x_l(t)$ jest pozycją pojazdu lidera. Parametry k_p , c_p , k_v , k_a , k_{v1} , $k_a l$ określają wpływ poszczególnych składników równania na sterowanie pojazdem. Ich wartości są dobierane w taki sposób, aby spełnić założenia postawione przed konwojem pojazdów.

3. OPIS MODELI SYMULACYJNYCH

Dokładne poznanie rezultatów zastosowania danej metody sterowania wymaga przeprowadzenia badań symulacyjnych. Aby zaobserwować zachowania pojazdów podczas stosowania sterowań oraz porównać je z sytuacją ruchu swobodnego, przygotowano program symulacyjny przeznaczony dla komputerów typu IBM PC. Możliwość losowego generowania zmian prędkości pojazdu lidera pozwala na zbadanie zachowania pojazdów w warunkach zbliżonych do naturalnych sytuacji drogowych.

3.1. Podstawowe założenia modeli symulacyjnych

Wszystkie trzy rozpatrywane w pracy modele sterowania mają kilka cech wspólnych. W każdym przypadku rozpatrujemy sytuację ruchu po jednopasmowej drodze, ewentualnie po wyłączonym dla ruchu innych pojazdów pasie kilkupasmowej autostrady. Manewry, jakie może wykonać lider w danej chwili, to:

- gwałtowne hamowanie z opóźnieniem 5 [m/s²];

- hamowanie z opóźnieniem 2 [m/s²];
- jazda ze stałą prędkością;
- wzrost prędkości z przyspieszeniem 2 [m/s²];
- gwałtowny wzrost prędkości z przyspieszeniem 5 [m/s²].

Przed liderem może wystąpić przeszkoda zmuszająca go do całkowitego zatrzymania pojazdu. Maksymalna prędkość, z jaką może poruszać się konwój pojazdów, to 25 [m/s] (podwyższona podczas badań porównawczych do 30 [m/s].) Na potrzeby badań założono, że na odcinku drogi, który pokonują testowe pojazdy, nie ma zakrętów, pojazdy poruszają się więc po linii prostej. Zderzenie dowolnych pojazdów konwoju kończy symulację. Podczas symulacji nie założono potrzeby modyfikacji wpływu na zachowanie konwoju takich czynników, jak warunki atmosferyczne lub stan nawierzchni.

3.2. Przedstawienie modeli sterowania porównywanych ze sobą podczas symulacji

W zamieszczonych poniżej modelach przyjęto szczególne przypadki sterowań [5] i [6].

3.2.1. Model 1 – ruch swobodny

Model ten opisuje sytuację ruchu drogowego bez uwzględnienia sterowania opartego na przekazie informacji pomiędzy pojazdami. Reakcje kierowców uwarunkowane są zachowaniem pojazdów poprzedzających ich pojazd. Równanie przyspieszenia dla pojazdów w tym modelu wygląda następująco:

$$u_j = k_p \varepsilon_j + k_v \dot{\varepsilon}_j + k_a a_{j-1} - k_v (\dot{x}_j - \dot{x}_j(0)) \quad (7)$$

3.2.2. Model 2 – ruch z uwzględnieniem pierwszego wariantu sterowania

W modelu tym reakcje kierowców opierają się na obserwacji zachowania pojazdu poprzedzającego, a także na informacji o zmianie prędkości przesłanej od pojazdu lidera. Równanie przyspieszenia dla pojazdów poruszających się według tego modelu przedstawia się następująco:

$$u_1 = k_p \varepsilon_1 + (k_v + c_v) \dot{\varepsilon}_1 + k_a a_1 \text{ dla } j=1 \text{ (pierwszy następeca)} \quad (8)$$

$$u_j = k_p \varepsilon_j + k_v \dot{\varepsilon}_j + k_a a_{j-1} - c_v (\dot{x}_j(t) - \dot{x}_j(t)) \text{ dla } j>1 \quad (9)$$

3.2.3. Model 3 – ruch z uwzględnieniem drugiego wariantu sterowania

Jest to ostatni i zarazem najbardziej skomplikowany model ruchu. W stosunku do modelu drugiego w równaniu sterowania pojawia się dodatkowa informacja o zmianie przyspieszenia lidera. Równania sterowania dla kolejnych pojazdów w tym modelu przyjmują postać:

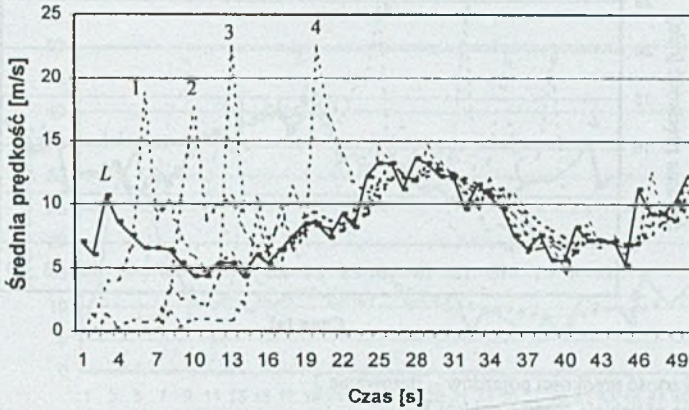
$$u_1 = k_p \varepsilon_1 + (k_v + c_v) \dot{\varepsilon}_1 + (k_a + k_d) a_1 \quad \text{dla } j=1 \quad (10)$$

$$u_j = k_p \varepsilon_j + k_v \dot{\varepsilon}_j + k_a a_{j-1} + k_d a_j - c_v (\dot{x}_j(t) - \dot{x}_j(t)) \quad \text{dla } j>1 \quad (11)$$

4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

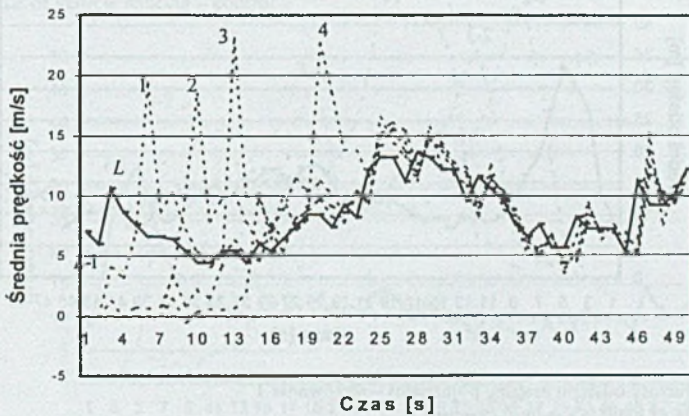
Podczas badań zasymulowano, za pomocą programu Konwooj, 100 przejazdów konwoju pojazdów. Wszystkie symulacje przeprowadzono dla tych samych poniżej określonych założeń. Prezentowane w dalszej części pracy wykresy są rezultatem wykorzystania tego programu dla możliwie najłatwiejszej prezentacji uzyskanych podczas

symulacji rezultatów. Cytowane wskaźniki statystyczne zostały wyliczone za pomocą modułu obliczeniowego programu symulacyjnego Konwoj.



Rys. 2. Średnia wartość prędkości pojazdów – sterowanie 1

Fig. 2. Mean value of vehicle speed – control 1



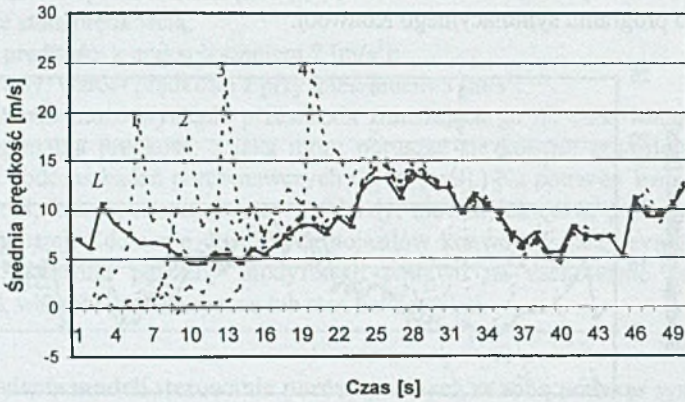
Rys. 3. Średnia wartość prędkości pojazdów – sterowanie 2

Fig. 3. Mean value of vehicle speed – control 2

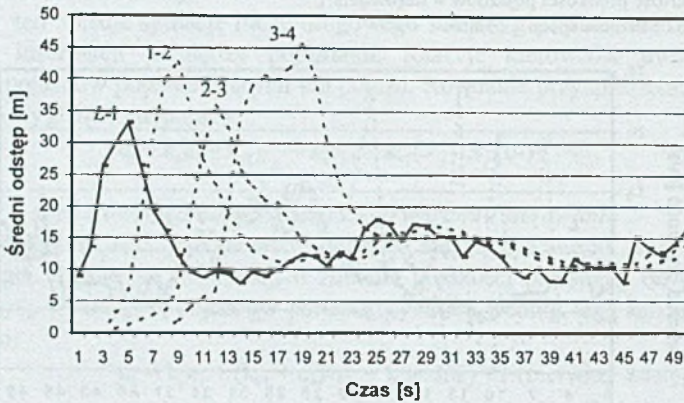
Założenia przyjęte podczas przeprowadzanych symulacji:

- maksymalna wartość prędkości początkowej - 10 [m/s];
- minimalna wartość prędkości początkowej - 6 [m/s];
- prędkość maksymalna lidera - 25 [m/s];
- prędkość minimalna lidera - 0 [m/s];
- ilość pojazdów w konwoju - 5;
- maksymalny początkowy odstęp czasowy - 10 [s];
- żądana wartość odstępu pomiędzy pojazdami - 10 [m].

Wartości poszczególnych współczynników k_p , k_v , k_a , k_{v1} , k_{a1} , c_v wchodzących w skład równań sterowania przyjęto tak jak w pracy [1] i wynoszą one odpowiednio: $k_p = k_a = k_{v1} = k_{a1} = 0.5$; $k_v = 1$; $c_v = 0.5$.



Rys. 4. Średnia wartość prędkości pojazdów – sterowanie 3
 Fig. 4. Mean value of vehicle speed – control 3



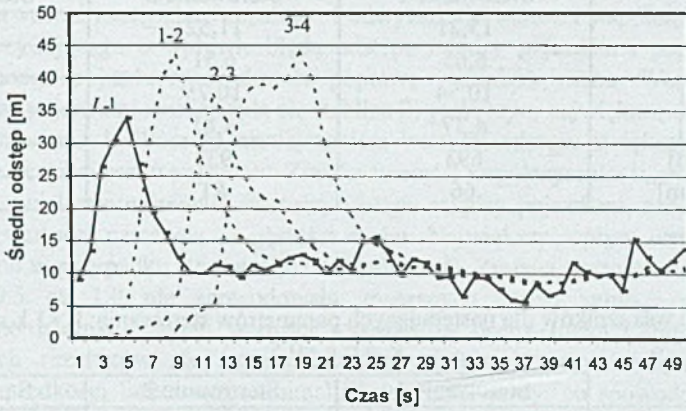
Rys. 5. Średnia wartość odstępów między pojazdami – sterowanie 1
 Fig. 5. Mean value of vehicle spacing – control 1

Osiągnięte rezultaty zobrazowano w formie wykresów przedstawiających zmiany odstępów pomiędzy pojazdami oraz prędkości pojazdów w czasie.

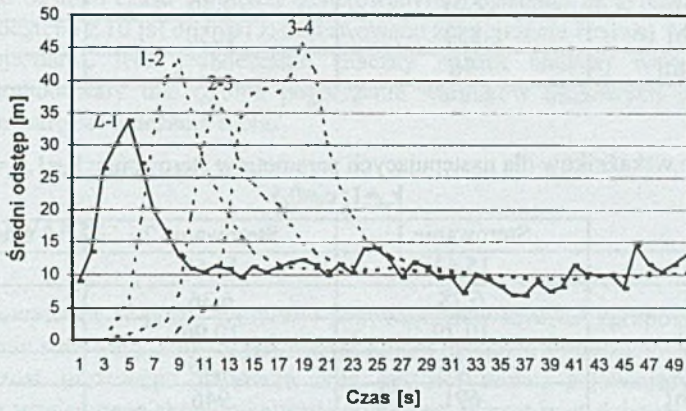
Wykresy przedstawiające przebiegi prędkości pojazdów pozwalają określić wpływ wybranego typu sterowania na kształtowanie prędkości poszczególnych pojazdów. Porównanie przebiegów prędkości dla poszczególnych sterowań pozwala zauważyć, że wraz ze wzrostem ilości informacji przekazywanych pomiędzy pojazdami występują coraz mniejsze odchylenia prędkości poszczególnych pojazdów od prędkości lidera (rys. 2,3,4). Zalety stosowanych sterowań doskonale obrazują wykresy odstępów pomiędzy pojazdami. Dla sterowania pierwszego (model ruchu swobodnego) odstępów pomiędzy pojazdami ze względu na częste zmiany wartości prędkości pojazdów (rys. 2) nie oscylują wokół żądanej wartości 10 [m] (rys. 5), dla sterowania drugiego (model z dostępem wszystkich pojazdów do informacji o zachowaniu lidera) wartość odstępów ulega już znacznie mniejszym wahaniom, a różnica pomiędzy żądanym odstępem i osiąganym przez pojazdy jest niewielka (rys. 6). Trzecie sterowanie (oparte na dostępności wszystkich pojazdów do informacji o zachowaniu lidera oraz poprzedzającego je pojazdu) pozwala na uzyskanie charakterystyki odstępów o

najmniejszych waniach w stosunku do żądanej wartości (rys. 7).

Wpływ sterowań na zachowanie pojazdów zgrupowanych w konwoju obrazują również uzyskane z obliczeń wskaźniki statystyczne.



Rys. 6. Średnia wartość odstępu między pojazdami – sterowanie 2
Fig. 6. Mean value of vehicle spacing – control 2



Rys. 7. Średnia wartość odstępu między pojazdami – sterowanie 3
Fig. 7. Mean value of vehicle spacing – control 3

Oznaczenia w tablicach:

- \bar{d} - wartość oczekiwana odstępu pomiędzy pojazdami;
- s_d - odchylenie standardowe odstępu między pojazdami;
- \bar{v} - wartość oczekiwana prędkości pojazdów;
- s_v - odchylenie standardowe prędkości pojazdów;
- N - natężenie ruchu;
- G - gęstość ruchu

Tablica 1

Zestawienie wskaźników dla następujących parametrów sterowania: $k_p=k_a=k_{v1}=k_{a1}=0.5$; $k_{vj}=1$; $c_v=0.5$

	Sterowanie 1	Sterowanie 2	Sterowanie 3
\bar{d} [m]	15,21	11,52	11,41
s_d [m]	6,65	6,51	6,50
\bar{v} [m/s]	10,54	10,75	10,75
s_v [m/s]	4,37	4,81	4,68
N [Poj/h]	693	933	942
G [Poj/km]	66	81	83

Zródło [1]

Tablica 2

Zestawienie wskaźników dla następujących parametrów sterowania: $k_p=1, k_a=k_{v1}=k_{a1}=0.5$; $k_{vj}=1$; $c_v=0.5$

	Sterowanie 1	Sterowanie 2	Sterowanie 3
\bar{d} [m]	13,14	10,78	10,73
s_d [m]	6,44	6,70	6,67
\bar{v} [m/s]	11,20	11,32	11,33
s_v [m/s]	5,51	5,96	5,72
N [Poj/h]	852	1050	1056
G [Poj/km]	76	93	94

Zródło [1]

Tablica 3

Zestawienie wskaźników dla następujących parametrów sterowania: $k_a=1, k_p=k_{v1}=k_{a1}=0.5$; $k_{vj}=1$; $c_v=0.5$

	Sterowanie 1	Sterowanie 2	Sterowanie 3
\bar{d} [m]	15,62	11,58	11,53
s_d [m]	6,78	6,36	6,30
\bar{v} [m/s]	10,79	10,96	10,99
s_v [m/s]	4,53	4,96	5,94
N [Poj/h]	691	946	953
G [Poj/km]	64	86	87

Zródło[1]

Tablica 4

Zestawienie wskaźników dla następujących parametrów sterowania: $k_a=k_p=k_{v1}=k_{a1}=0.5$; $k_{vj}=0.5$; $c_v=0.5$

	Sterowanie 1	Sterowanie 2	Sterowanie 3
\bar{d} [m]	16,29	13,25	13,20
s_d [m]	13,81	14,80	14,75
\bar{v} [m/s]	10,03	9,98	9,99
s_v [m/s]	5,05	5,50	5,28
N [Poj/h]	616	753	756
G [Poj/km]	61	75	76

Zródło [1]

Przeprowadzone badania pozwalają zauważyć wpływ poszczególnych współczynników wchodzących w skład równań sterowania. Porównując wartości wskaźników oceny ruchu uzyskane podczas symulacji opartej na określonych założeniach (tablica 1) z wskaźnikami uzyskanymi na podstawie symulacji przeprowadzonych przy zmianie danego parametru można zaobserwować następujące rezultaty. Podwyższenie wartości współczynnika $k_p = 0.5$ do $k_p = 1$, decydującego o wpływie błędu odstępu między pojazdem i poprzednikiem na sterowanie danego pojazdu spowodowało poprawę warunków ruchu. Wartość średniego odstępu między pojazdami zmniejszyła się (tablica 2) przy czym największą różnicę widać w przypadku sterowania 1. Wraz ze zmniejszeniem wartości odstępu zwiększyła się wartość natężenia oraz gęstości ruchu pojazdów. Zmiana wartości współczynnika $k_v = 1.0$ na $k_v = 0.5$ spowodowała zwiększenie średniej wartości odstępu między pojazdami, a co za tym idzie, zmniejszenie wartości natężenia i gęstości ruchu. Największy wpływ współczynnika k_v zaobserwowano w przypadku sterowania 2 i 3 (tablica 4). Zmiana wartości współczynnika k_s z wartości 0.5 na 1.0 nie spowodowała znaczących zmian sytuacji drogowej. Nie zaobserwowano istotnych zmian wartości wskaźników oceny ruchu (tablica 3). Podczas badań, których rezultatów nie zamieszczono w niniejszej pracy, zwiększono wartość maksymalnej prędkości lidera oraz minimalnej prędkości jazdy, co spowodowało zarówno wzrost wartości średniej odstępu pomiędzy pojazdami, jak i wartości średniej prędkości jazdy pojazdów. Zmiany te spowodowały nieznaczny wzrost natężenia ruchu pojazdów oraz niewielki spadek wartości gęstości ruchu. Ostatnim etapem badań było sprawdzenie wpływu maksymalnego odstępu czasu pomiędzy generowanymi pojazdami na sytuację ruchową. Po zmniejszeniu odstępu z 10 [s] do 6 [s] zaobserwowano zmniejszenie średniej wartości odstępu pomiędzy pojazdami, lecz jednocześnie znaczny spadek średniej wartości prędkości pojazdów. Spowodowały one ogólne pogorszenie warunków drogowych objawiające się zmniejszeniem wartości natężenia ruchu.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone w pracy symulacje pozwalają zauważyć, że zgrupowanie pojazdów w automatycznie sterowany konwój jest rozwiązaniem mającym wiele zalet. Najważniejszą z nich jest wzrost możliwego natężenia oraz gęstości ruchu, pojawiający się podczas wykorzystania wzajemnego skomunikowania pojazdów. Wzrost wartości natężenia i gęstości ruchu zaobserwowany podczas stosowania bardziej rozbudowanych modeli sterowań wynika głównie z możliwości utrzymywania znacznie mniejszych odstępów pomiędzy pojazdami. Przekonuje o tym wartość średnia odstępu między pojazdami uzyskana podczas przejazdu konwoju w sytuacji zastosowania każdego z sterowań. Zastosowanie sterowania trzeciego spowodowało że pojazdy utrzymywały bezpieczny odstęp między sobą nawet w sytuacji gwałtownego przyspieszania lub hamowania pojazdu lidera. Wykresy przebiegu zmian prędkości pojazdów oraz odstępu między pojazdami dowodzą, że po wykonaniu dowolnego manewru przez lidera błędy w zachowaniu poszczególnych pojazdów zmniejszają się wraz z indeksem pojazdu. Inaczej mówiąc, im pojazd znajduje się na dalszym miejscu w konwoju, tym łagodniej reaguje na każdą zmianę sytuacji drogowej. Pomiedzy drugim i trzecim wariantem sterowania nie uzyskano znaczących różnic wartości obliczanych wskaźników statystycznych, jednak różnicę pomiędzy zachowaniem pojazdów dla tych modeli wyraźnie widać na wykresach charakterystyk. Zastosowanie modelu trzeciego powoduje mniejsze odchylenia wartości prędkości i odstępu między pojazdami w stosunku do pojazdu lidera.

Literatura

1. Burzawa J.: Analiza zachowań pojazdów poruszających się w konwoju. Praca magisterska, Politechnika Śląska Katowice 2000.
2. Eyre J., Yanakiev D., Kanellakopoulos I.: A simplified framework for string stability analysis of automated vehicles. *Vehicle System Dynamics*, vol. 30, pp. 375 – 405, 1998
3. Herman R., Potts R.B.: Single lane traffic theory and experiment. *Theory of traffic flow*. p. 120, Elsevier 1971.
4. Huang S., Ren W.: Automatic vehicle with integrated throttle and brake control. *Int.J.Control.* vol 72. no 1. pp. 75 –83, 1999
5. Lim R.M.: Lateral and longitudinal vehicle control coupling in the automated highway system. B.S. California Maritime Academy, 1996.
6. Swaroop D., Hedrick J.K., Chien C.C., Ioannou P.: A comparison of spacing and headway control laws for automatically controlled vehicles. *Vehicle System Dynamics*, vol. 23 pp.597 – 625, 1994
7. Yang Y.T., Benson H.: A new control approach for platoon operations during vehicle exit/entry. *Vehicle System Dynamics*, vol. 25. pp.305 – 319, 1996
8. Yanakiev D., Kanellakopoulos I.: Speed tracking and vehicle follower control design for heavy – duty vehicles. *Vehicle System Dynamics*, vol. 25, pp.251 –276, 1996

Recenzent: Prof. dr hab. Władysław Kulpa

Abstract

The improved model of control vehicles in platoon with random parameters has been proposed in this paper. Three variants of control with utilization of different information are considered. For the first variant the information about position, speed and acceleration of previous vehicle is given. For the second variant the information from the first variant is combined with the information about the speed of the leader. For the third variant the information from the second variant is combined with the information about the acceleration of the leader.

The random parameters introduced in this paper are: moments of the vehicle appearing in the system, initial and nominal vehicle velocities. The proposed models were tested for several sets of parameters by simulations and results obtained are illustrated in figures and tables.