

УДК 681.51.015.4

Є. В. БЛІНОВ

Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
yevhen.blinov@gmail.com

СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РОБОТИЗОВАНОЮ ТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ ЯК ДИСКРЕТНО-БЕЗПЕРЕРВНИМ ОБ'ЄКТОМ

Розглядається збиральний цех з роботизованою транспортною системою, що складається з трьох автономних мобільних роботів, які їдуть за заданою траєкторією, що задається чорною лінією на підлозі цеху. Отримано структуру управління дискретно-безперервним об'єктом. Для запобігання зіткнень транспортних роботів під час руху між ділянками збирального цеху та зменшення часу простою робочих місць розроблено алгоритм управління, сформульовано логічні умови маркування позицій графа синхронізації. Проведено моделювання отриманої системи управління, проаналізовано його результати.

Ключові слова: дискретно-безперервний об'єкт, збиральний цех, Max-Plus алгебра, зворотний зв'язок, граф синхронізації, роботизована транспортна система, діаграми Ганта.

Постановка задачі. Розглядається збиральний цех (рис. 1), технологічний процес якого складається з комплектування набору деталей на складі та їх транспортування до місць збирання (ділянка 1), безпосереднього збирання готового виробу (ділянка 2), фарбування виробу (ділянка 3), пакування та відвантаження готового виробу (ділянка 4).

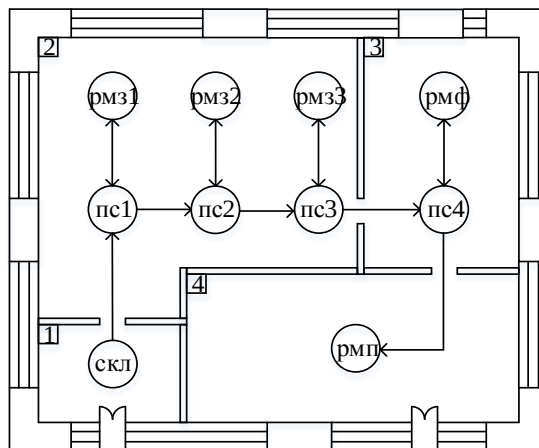


Рисунок 1 – План збирального цеху

Для транспортування набору деталей та готового виробу між ділянками використовується роботизована транспортна система, що складається з трьох автономних мобільних роботів, які їдуть за заданою траєкторією, що задається чорною лінією на підлозі цеху. Дану транспортну систему можна віднести до дискретно-безперервного класу, тобто динамічних систем, поведінку яких можна описати за допомогою дискретної послідовності подій, що мають координуватися (керуватися) проектованою системою управління. Для опису динаміки дискретно-безперервних систем можна використовувати апарат мереж Петрі [1], а саме їх класу – графів синхронізації і Max-Plus алгебри. Для графа синхронізації роботизованої транспортної системи, що розглядається (рис. 2), в [2] було проведено моделювання, на основі результатів якого було побудовано діаграми Ганта, що характеризують стани системи у часовій області.

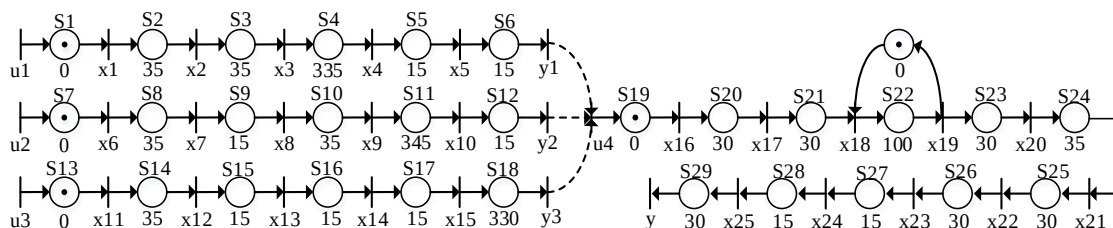


Рисунок 2 – Граф синхронізації транспортної системи збирального цеху

Грунтуючись на діаграмах Ганта було визначено, що, по-перше, під час руху роботів між ділянками цеха виникають їх зіткнення між собою, що є неприпустимим, по-друге, виникають простой робочих місць (на рмз1 – 480 секунд, на рмз2 – 565 секунд, на рмз3 – 670 секунд, на рмф – 480 секунд). Це говорить про те що, по-перше, необхідно координувати рух промислових роботів за допомогою твердих вимог, тобто необхідно сформувати додаткові логічні умови переключення окремих переходів графа синхронізації, по-друге, необхідно сформувати додатковий алгоритм переміщення транспортних роботів між ділянками цеха задля мінімізації часу простоїв робочих місць.

Синтез управління

Типова структура системи управління дискретно-безперервним об'єктом має вигляд, представлений на рис. 3 [3].

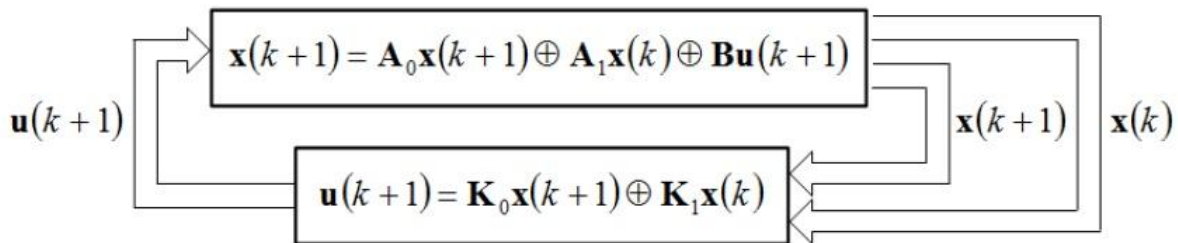


Рисунок 3 – Структура системи управління дискретно-безперервним об'єктом

Задача синтезу управління полягає в знаходженні матриць зворотнього зв'язку K_0 і K_1 з урахуванням заданої множини заборонених станів системи і заданої послідовності маркувань позиції графа синхронізації в часі.

При цьому матриці K_0 і K_1 – дві позитивно визначені $(P \times |S|)$ матриці, які формують характер закону управління процесом. В цьому випадку значення P дорівнює числу логічних умов переключення керованим процесом, $|S|$ – число вершин графа синхронізації. В результаті для керованого процесу маємо наступне рівняння в просторі стану замкнутої системи:

$$x(k+1) = (A_0 \oplus BK_0)x(k+1) \oplus (A_1 \oplus BK_1)x(k) \quad (1)$$

Для того, щоб отримати розв'язок рівняння (1), граф матриці $A_0 \oplus BK_0$ має бути вільним від циклів. За таких умов можливо визначення матриці M_s керованої дискретно-безперервної системи згідно з рівнянням:

$$x(k+1) = (A_0 \oplus BK_0)x(k+1) \oplus (A_1 \oplus BK_1)x(k) = (A_0 \oplus BK_0) * (A_1 \oplus BK_1)x(k) = M_s x(k) \quad (2)$$

Простими вимогами до поведінки керованого графа синхронізації є наступні логічні умови:

1. Часова точка $x(k)$ k -го маркування позиції S_i має відбутися не раніше ніж через τ одиниць часу після k -го маркування позиції S_j , що відповідає стану $x_j(k)$.
2. Часова точка $x_i(k+1)$ $(k+1)$ -го маркування позиції S_i має відбутися не раніше ніж через τ одиниць часу після k -го маркування позиції S_j (стану $x_j(k)$ попереднього k -го циклу маркування).

Умови, що відповідають поточному циклу вносяться в матрицю K_0 , а наступному циклу – в K_1 .

Для запобігання зіткнень транспортних роботів під час руху між ділянками цеха в керованій системі мають виконуватись такі умови:

1. Позиції S_2 , S_8 і S_{14} повинні маркуватися лише в тому випадку, коли позиції S_1 , S_7 і S_{13} є маркованими одночасно, що відповідає наявності усіх трьох роботів на складі;
2. Позиція S_8 повинна маркуватися не раніше ніж через 5 секунд після маркування позиції S_2 ;
3. Позиція S_{14} повинна маркуватися не раніше ніж через 10 секунд після маркування позиції S_2 ;
4. Позиція S_{23} і S_{25} повинні маркуватися лише в тому випадку, коли у позиціях S_{22} і S_{24} буде одночасно наявно три фішки, що відповідає знаходженню усіх роботів на робочих місцях для фарбування (рмф) та пакування (рмп) відповідно;
5. Переходи X_{19} і X_{21} повинні спрацьовувати кожний наступний раз на 5 секунд пізніше ніж в попередній.

Логічні умови (2) і (3) можуть бути реалізовані шляхом внесення їх в матрицю K_0 , а (5) – в матриці K_0 і K_1 одночасно.

В свою чергу, для мінімізації часу простоїв робочих місць збирального цеха транспортні роботи після першого їх прибуття на робочі місця для збирання (рмз1 – рмз3) і пакування (рмф) та розвантаження повинні повернутися на склад за новими наборами деталей.

Результати моделювання. Враховуючи сформульовані умови, було проведено моделювання, на основі результатів якого було побудовано діаграми Ганта [4]. На рис. 4 наведено діаграми руху транспортних роботів на проміжних станціях (пс1 – пс4), з яких видно, що під час переміщення роботів між ділянками цеха між ними не виникає зіткнень. На рис. 5 наведено діаграми завантаження робочих місць цеха, з яких видно, що час простою робочих місць суттєво зменшився, а саме: на рмз1 – 30 секунд, на рмз2 – 10 секунд, на рмз3 – 40 секунд, на рмф – 55 секунд.

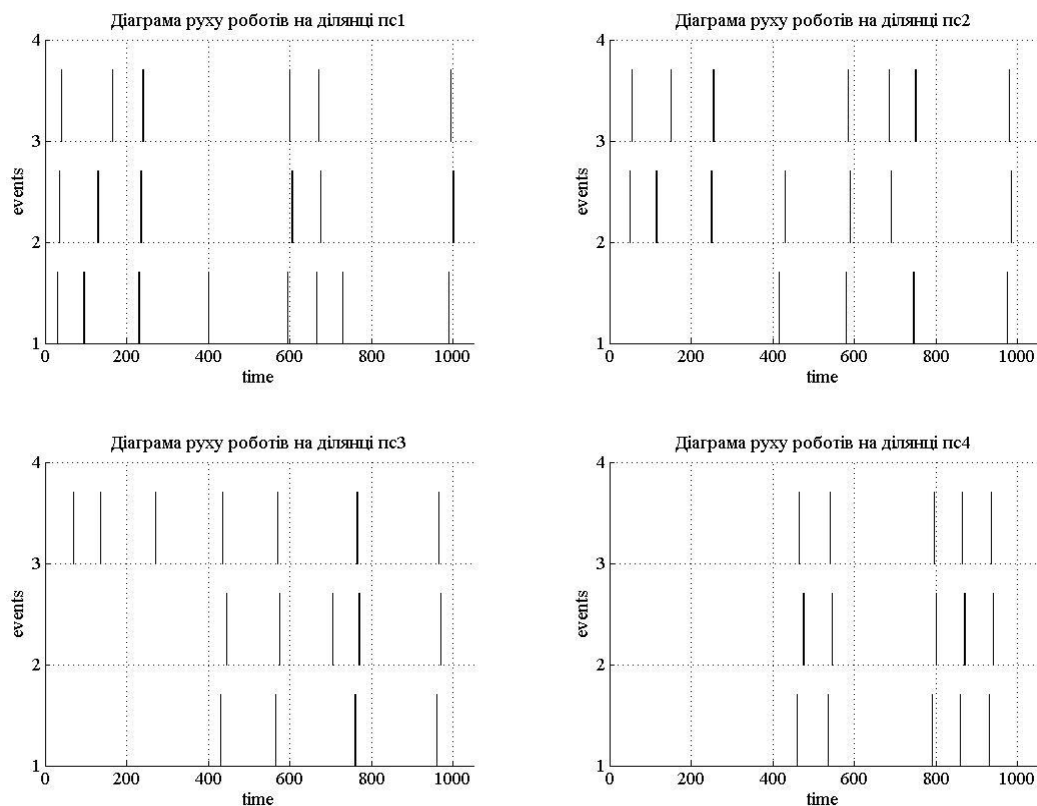


Рисунок 4 – Діаграми руху транспортних роботів

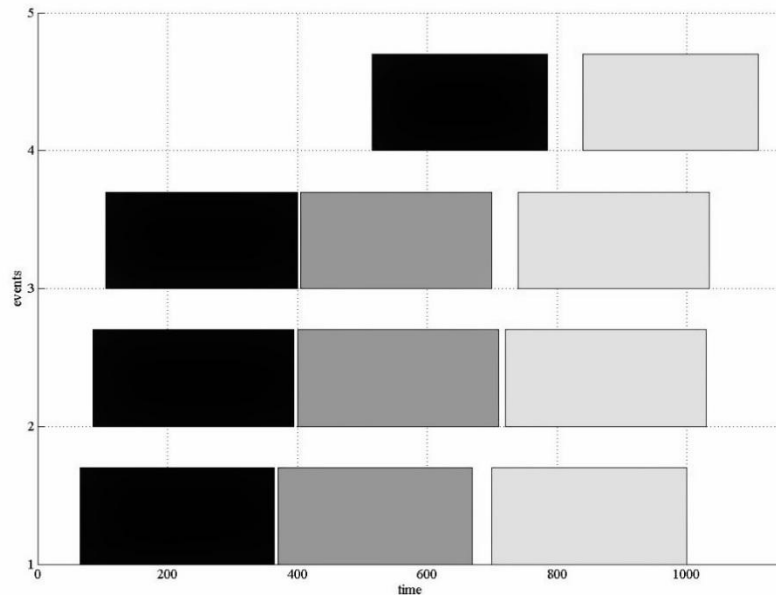


Рисунок 5 – Діаграми завантаження робочих місць

Висновки

1. Отримано структуру і параметри дискретно-безперервної системи управління зі зворотнім зв'язком;
2. Розроблено алгоритм управління рухом транспортних роботів;
3. Проведено моделювання отриманої системи управління, з якого видно, що розроблена система дозволяє виключити зіткнення промислових роботів під час руху між ділянками цеха та суттєво знизити час простою робочих місць.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон; пер. с англ. [Текст] — М.: Мир, 1984. — 264 с.
2. Блінов Є.В. Моделювання роботизованої транспортної системи як дискретно-безперервного об'єкта [Текст] / Є.В. Блінов // міжрегіональна науково-практична конференція молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології, 16-17 листопада 2015 р.: збірник доповідей. — ДВНЗ «ДонНТУ», 2015. — С. 181 — 183.
3. Бессараб В.І. Математичні основи теорії дискретно-безперервних систем / В.І. Бессараб — Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. — 175 с.
4. Jaroslaw Stanczyk Max-plus algebra toolbox for Matlab and GNU Octave — Magdeburg, 2005. — 102 с.

REFERENCES

1. Peterson, J (1984), Teoriya setey Petri i modelirovanie system [Petri net theory and the modeling of systems], Mir, Moscow, Russia.
2. Blinov, Y.V. (2015), "Modeling of robotic transport system as a discrete-continuous object", TAK: telekomunikatsiyi, avtomatika, komp'yuterno-integrovani tehnologiyi [TAC: telecommunications, automation, integrated computer technologies], Mizhregionalna naukovo-praktichna konferentsiya molodih vchenih [Interregional scientific and practical conference of young scientists]. Krasnoarmiysk, DonNTU, November 16-17, 2015, pp. 181–183.
3. Bessarab V.I. (2011), Matematichni osnovi teorii diskretno-bezperervnih sistem [Mathematical fundamentals of the discrete-continuous systems' theory], DonNTU, Donetsk, Ukraine.
4. Stanczyk J (2005), Max-plus algebra toolbox for Matlab and GNU Octave, Magdeburg, Germany.

Надійшла до редколегії 01.12.2015

Рецензент: Лежнюк П.Д.

Y. BLINOV

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Synthesis of robotic transport control system as a discrete-event object. An assembly workshop is observed, wherein robotic transport system is used. A workshop's technological process consists of making up a set of parts in warehouse and their transportation to the assembly places (section 1), immediate assembly of the finished production (section 2), colouring of the production (section 3), packing and shipment of the finished production (section 4). Robotic transport system of the workshop consists of three line follower robots. The given system one can attribute to discrete-event class, i.e. dynamical systems whose behavior can be described using discrete sequence of events, that has to be coordinated (governed) by designed control system. For a description of dynamics of this class one can use synchronization graphs, in which positions represent individual states and transitions represent change of these states in discrete-continuous system, and Max-Plus algebra, with help of which one can create an mathematical description of discrete-continuous system, which is very similar to the usual method of system describing in state-space and is used to calculate time moments of transitions' triggering. Gantt charts, which describe states of system in the time domain, were built based on synchronization graph's simulation's results, which showed robots' collisions during transport work between the sections of the assembly workshop and large workplaces' downtime. A typical control structure of discrete-event object is obtained. A problem of the control synthesis is solved, which consists of finding feedback matrices with taking into account a given set of system's forbidden states and given sequence of synchronization graph's position markings. This behavior's task of discrete-continuous system means, that it's necessary to delay development of cyclic process in previous position by control, to rule out a possibility of reaching of the forbidden system's state in appropriate time moment. An equitation in the state-space form of the closed system is found. Feedback matrices' coefficients are calculated. Control algorithm and logical conditions synchronization graph's positions marking are formulated. Simulation of the resulting control system is obtained, the results are analyzed. They are showing, that control system works correctly: it prevents robots' collisions and reduces workplaces' downtime..

Key words: *discrete-event object, assembly workshop, Max-Plus algebra, feedback, synchronization graph, robotic transport system, Gantt charts.*