

УДК 629.4.053

ЗАСТОСУВАННЯ БАЙЄСІВСЬКИХ МЕРЕЖ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ГАЛЬМАМИ ПОЇЗДА

Д-р техн. наук Е.Д. Тартаковський, канд. техн. наук О.М. Горобченко

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЗАМИ ПОЕЗДА

Д-р техн. наук Э.Д. Тартаковский, канд. техн. наук А.Н. Горобченко

APPLICATION BAYESIAN NETWORKS IN THE DEVELOPMENT OF INTELLIGENT CONTROL OF TRAIN BRAKES

Dr. Tech. Sciences E.D. Tartakovsky, Ph. D. O.M. Gorobchenko

У роботі вирішується завдання визначення параметрів руху поїзда, що неможливо отримати безпосереднім вимірюванням. Для цього використано апарат теорії мереж Байєса. Зміну стану навколишнього середовища представлено як ряд знімків, кожен з яких визначає ситуацію в даний конкретний момент часу. Розроблено структуру байєсівської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану рейок.

Ключові слова: інтелектуальна система, мережа Байєса, поїзд, керування.

В работе решается задача определения параметров движения поезда, которые невозможно получить непосредственным измерением. Для этого использован аппарат теории сетей Байеса. Изменение состояния окружающей среды представлено как ряд снимков, каждый из которых определяет ситуацию в данный конкретный момент времени. Разработана структура байесовской сети и распределение условных вероятностей для задачи определения состояния рельсов.

Ключевые слова: интеллектуальная система, сеть Байеса, поезд, управление.

For quite a long time is not observed appreciable increase of level of traffic safety and efficiency in the use of traction rolling stock. One of the reasons for this situation is the human factor that even with sufficient technical development of control systems for modern locomotives up to the present time is a quite powerful deterrent. One of the ways to solve this problem is the use of intellectual technologies in management of the rolling stock. In work is solved the problem of determining the motion parameters of the train that it is impossible to obtain by direct measurement. This will allow them to formalize and submit to the input of the intelligent control systems. For this we used the theory of Bayesian networks. Changing the environment is represented as a series of shots, each of which defines the situation in this particular moment of time. The resulting model of the transition that corresponds to a Markov process of first order, as well as the model of perception. The structure of Bayesian network and the distribution of conditional probabilities for determining the state of the rails. The results will allow to expand the range of options that are accounted for intelligent system, which will improve the quality of process control of a locomotive.

Keywords: intelligent system, Bayesian network, train, management.

Вступ. Підвищення безпеки руху поїздів і зниження собівартості перевезень завжди залишаються актуальними завданнями для науковців – спеціалістів у галузі залізничного транспорту. Процес розвитку та вдосконалення засобів транспорту є безперервним і забезпечує збереження лідируючої позиції залізниць у перевезеннях вантажів і пасажирів. Найсучасніші технічні рішення реалізовано на

тяговому рухомому складі. Вимоги до рівня знань і дисципліни працівників значно підвищились за останні роки. Враховуючи те, що вартість людської помилки при обслуговуванні та керуванні засобами залізничного транспорту дуже велика, постає актуальне завдання максимального зниження шкідливого впливу людського фактора на ефективність і безпеку перевезень.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Процес керування поїздом є одним з основних і відповідальних технологічних процесів на залізничному транспорті. Для його вдосконалення розробляються та впроваджуються все нові технічні засоби і системи [1-3]. Але вже досить тривалий час не спостерігається відчутного підвищення рівня безпеки руху та ефективності використання тягового рухомого складу. Однією з причин такої ситуації є вплив людського фактора, що навіть при достатньому розвитку технічних систем керування сучасних локомотивів до теперішнього часу є досить впливовим стримуючим фактором.

Аналіз досліджень і публікацій. Можливим шляхом вирішення вказаної проблеми може бути використання інтелектуальних технологій [4], які дадуть змогу покращити якість керування локомотивом, а в перспективі, можливо, повністю усунути людину від цього процесу. Найбільш відповідальною функцією машиніста локомотива під час ведення поїзда є керування гальмами. Помилки при використанні гальм є

досить розповсюдженими (складають до 26 % усіх транспортних подій, що виникли з вини локомотивних бригад [5]) і можуть призвести до катастрофічних наслідків. Тому при розробленні інтелектуальних систем керування локомотивами [6] необхідно приділити особливу увагу модулю керування гальмами.

Визначення мети та задачі дослідження. Під час руху поїзда машиніст при управлінні гальмами керується такими вихідними даними:

- забезпеченість поїзда гальмами;
- стан поверхні головки рейок;
- поточна швидкість руху;
- відстань до сигналу зупинки або місця зниження швидкості;
- ефективність гальм.

Враховуючи всі ці фактори, машиніст приймає рішення про момент початку гальмування (переведення крана машиніста в гальмівне положення) і про інтенсивність гальмування (глибина розрядження магістралі). Тому архітектура інтелектуальної системи керування гальмами повинна виглядати так, як показано на рис. 1.

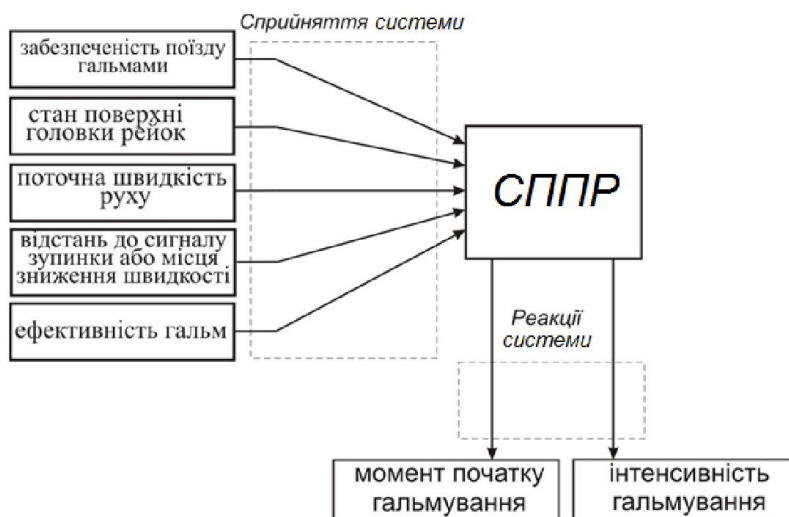


Рис. 1. Архітектура системи керування гальмами

Неможливо однозначно визначити всі параметри, що впливають на прийняття рішення при гальмуванні (машиніст у цьому випадку покладається на індивідуальне сприйняття поїзної ситуації та використовує особистий досвід). Тому метою даного

дослідження є визначення способу представлення параметрів ведення поїзда при керуванні гальмами для частково спостережуваних, стохастичних варіантів середовища.

Основні елементи проекту модуля [4]:

- моделі переходу і спостереження представлені у вигляді динамічних байєсівських мереж;

- динамічна байєсівська мережа доповнюється вузлами прийняття рішень і вузлами корисності;

- для врахування даних про кожне нове сприйняття і дію та для відновлення уявлення довірчого стану використовується алгоритм фільтрації;

- рішення приймаються шляхом проектування в прямому напрямку можливих послідовностей дій і вибору найкращих із цих послідовностей.

Основна перевага використання динамічної байєсівської мережі для подання моделі переходу і моделі сприйняття полягає в тому, що така мережа дозволяє застосовувати декомпозицію опису стану на множину випадкових змінних.

Основна частина дослідження.

Опишемо зміну стану навколишнього середовища як ряд знімків, кожен з яких визначає ситуацію в даний конкретний момент часу. Кожний знімок, або часовий зріз, містить множину випадкових змінних, причому одна частина з них є такою, що спостерігається, а інша – ні. У випадку контролю гальмування в кожному часовому зрізі одна і та сама підмножина змінних є такою, що спостерігається. Використаємо X_t для позначення множини змінних, що не спостерігаються під час t , та E_t для позначення множини змінних, що спостерігаються.

Спрощений приклад керування гальмами виглядає так. Системі перед гальмуванням потрібно визначити стан поверхні головки рейок. Однак безпосередньо це неможливо зробити з локомотива, що рухається. Побічно інформація про поверхню рейки (а отже, і про поточний коефіцієнт зчеплення) може бути

отримана шляхом вимірювання таких параметрів, як вологість і температура повітря. Таким чином, кожний проміжок часу t множина E_t включає дві змінні V_t та T_t , що показують величини вологості і температури зовнішнього повітря. Множина X_t містить єдину змінну S_t , що характеризує стан рейок. Таким чином, спрощена задача визначення стану рейок може бути представлена змінними стану S_1, S_2, S_3, \dots та змінними свідочтва $V_1, T_1, V_2, T_2, V_3, T_3, \dots$.

Після того як обрано множини змінних становища та змінних свідочтва для даної конкретної задачі гальмування, на наступному етапі необхідно визначити залежності між цими змінними. Упорядкування виконаємо в їх природній часовій послідовності.

У процесі накопичення батьківських змінних їх кількість буде дуже великою, що значно ускладнить обчислювальні процеси бортової ЕОМ. Вирішується це завдяки прийняттю так званого марківського припущення, яке полягає в тому, що поточний стан залежить лише від кінцевої історії попередніх станів. Найпростішим з них є марківський процес першого порядку, у якому поточний стан залежить тільки від попереднього стану і не залежить від більш ранніх станів.

Тоді сформулюємо для всіх t таке співвідношення:

$$P(X_t|X_{0:t-1}) = P(X_t|X_{t-1}). \quad (1)$$

Таким чином, у марківському процесі першого порядку закони, що описують, як стан розвивається в часі, повністю представлені в умовному розподілі $P(X_t|X_{t-1})$, що є моделлю переходу.

Структура байєсівських мереж, що відповідає марківському процесу першого порядку, наведено на рис. 2.

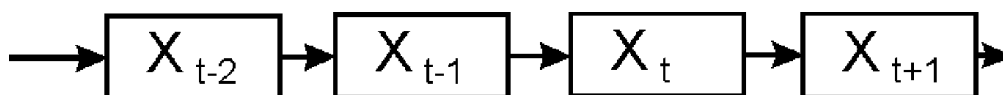


Рис. 2. Байєсівська мережа, що відповідає марківському процесу 1-го порядку

Правомірність використання теорії марківських процесів для опису процесів керування поїздом, і зокрема процесів гальмування, визначено в роботі [7].

Потрібно, крім обмеження кількості батьківських змінних, що належать до змінних стану X_t , обмежити кількість батьківських змінних, що належать до змінних свідочтва E_t .

Змінні свідчення під час t залежать тільки від поточного стану [4]:

$$P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_{0:t}, \mathbf{E}_{0:t-1}) = P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_t). \quad (2)$$

Умовне розподілення $P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_t)$ є моделлю сприйняття, оскільки воно показує, як фактичний стан впливає на результати сприйняття, тобто на змінні свідчення.

Крім моделі переходу і моделі сприйняття, необхідно визначити $P(\mathbf{X}_0)$ – розподілення апріорних імовірностей станів під час 0. Ці три розподілення, у сукупності з припущеннями про умовну незалежність, що наведені в рівняннях (1) і (2), дозволяють

отримати специфікацію повного спільного розподілення за всіма змінними.

Припущення про незалежність відповідає дуже простій структурі байєсівської мережі, що описує всю систему. Розробимо мережу для прикладу про стан рейок, що наведено вище.

Припустимо, що змінна C_i , яка характеризує стан рейок, приймає два значення: рейки чисті ($C_i = \text{True}$), на рейках роса або іній ($C_i = \text{False}$). Змінні B_i та T_i також приймають два значення: вологість і температура високі ($B_i = \text{True}, T_i = \text{True}$), вологість і температура низькі ($B_i = \text{False}, T_i = \text{False}$). На рис. 3 наведена структура мережі.

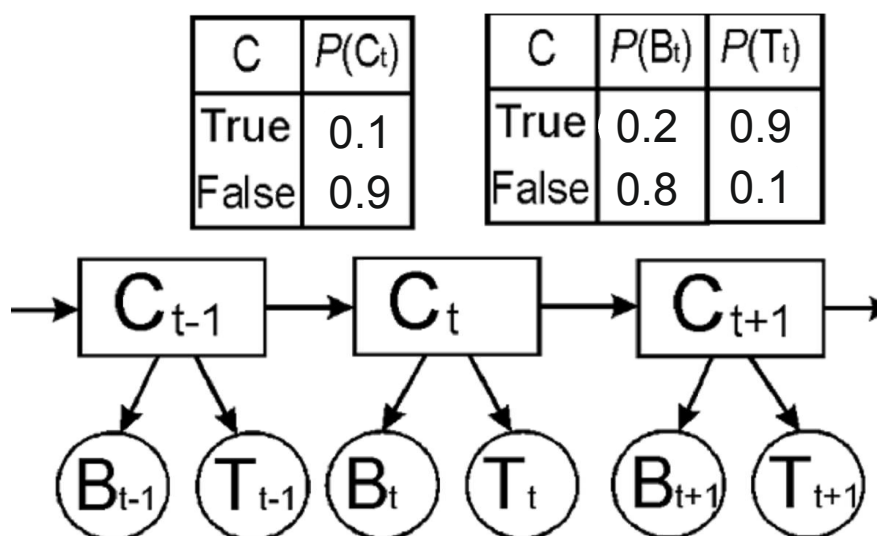


Рис. 3. Структура байєсівської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану рейок

Умовні імовірності визначено з таких міркувань. Оскільки процес гальмування дуже відповідальний і прямо впливає на безпеку руху, то моніторинг стану рейок потрібно проводити з інтервалом часу 1 с, щоб мати можливість оцінки ситуації в будь-який момент, коли необхідно виконати регулювання швидкості або зупинку. Зміни стану рейок здебільшого не відбуваються миттєво. Тому якщо в момент $t-1$ на рейках була відсутня роса, то з великою часткою імовірності можна стверджувати, що в момент часу t (через 1 с) роса також не з'явиться. І, навпаки, забруднення рейок не зникне швидко. Формально це виражено моделлю переходу:

$$P(C_t | C_{t-1}) = 0.9. \quad (3)$$

Моделю сприйняття запишемо в такому вигляді:

$$\begin{cases} \text{при } C_t = \text{True} \\ P(B_t | C_t) = 0.2, \\ P(T_t | C_t) = 0.9, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \text{при } C_t = \text{False} \\ P(B_t | C_t) = 0.8, \\ P(T_t | C_t) = 0.1. \end{cases} \quad (5)$$

У структурі на рис. 3 передбачається використання марківського процесу першого порядку, оскільки вважається, що чистота

рейки залежить тільки від того, у якому стані вона знаходилась у попередній момент часу.

У наведеному вигляді модель визначення стану рейок не може бути використана інтелектуальною системою з причини недостатньої точності. Але є можливість її коригування шляхом підвищення порядку моделі та розширення множини змінних стану (наприклад введенням змінної атмосферного тиску або пори року).

Висновки. Розроблено структуру байєсівської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану

рейок, у якій передбачається використання марківського процесу першого порядку. Для функціонування інтелектуальної системи керування необхідно реалізувати моніторинг великої кількості параметрів локомотива, навколишнього середовища та поїзної ситуації. Наведений у роботі підхід можливо використовувати для визначення та передачі в систему всіх параметрів ведення поїзда, які неможливо визначити безпосереднім вимірюванням, що значно підвищить якість керування локомотивом.

Список використаних джерел:

1. Conventional Automatic Train Protection (ATP) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mobility.siemens.com/>, вільний. – Загол. з екрана.
2. Волковський, Д.В. Системи автоведення поїздів і безпеку руху [Електронний ресурс] / Д.В. Волковський // Евразія Вести XII – 2013. – Режим доступу: <http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2013-12a15>, вільний. – Загл. с екрана.
3. A new generation for driverless automated transit systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-control-solutions/mass-transit-solutions/cityflo-650.html>, вільний. – Загол. з екрана.
4. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвиг; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1408 с.
5. Аналіз стану безпеки руху, польотів, судноплавства та аварійності на транспорті України за 2014 рік [Текст]. – К.: Департамент безпеки на транспорті Мінінфраструктури України, 2015. – 124 с.
6. Горобченко, О.М. Методологічні основи побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад [Текст] / О.М. Горобченко // Локомотив-інформ. – 2014. – №8. – С. 12-13.
7. Горобченко, О.М. Використання теорії марківських процесів при проектуванні моделі переходу і спостереження інтелектуальних агентів керування локомотивом [Текст] / О.М. Горобченко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 27. – С. 95-99.

Тартаковський Едуард Давидович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Горобченко Олександр Миколайович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел. 0509720471. E-mail: superteacher@yandex.ru.

Edward D. Tartakovsky, Dr.Tech. Sciences, department "Maintenance and repair of rolling stock", Ukrainian State University of Railway Transport.

Gorobchenko Oleksandr, PhD, department "Maintenance and repair of rolling stock", Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 0509720471. E-mail: superteacher@yandex.ru.

Стаття прийнята 09.12.2015 р.