

# Smooth Braking of Train Using Adaptive Control Algorithms on Embedded Devices

Andrejs Potapovs (Riga Technical University - RTU), Andrew Mor-Yaroslavtsev (RTU),  
Anatoly Levchenkov (RTU) and Mikhail Gorobetz (RTU)

**Keywords** – Rail vehicle, adaptive control, safety, control methods for electrical systems.

## I. INTRODUCTION

The authors put forward assumptions that having combined a programmable logical controller (PLC) or microcontroller with a control program based on an adaptive control algorithm and an existing train braking system, it is possible to create a new adaptive braking control system of a train, which will provide for an automatic smooth and, at the same time, precise (to a target stop point) braking of a train; and that another controller with a much smaller footprint connected to the same existing train braking system ensures an automatic stopping of the train before the red light.

The development of the system does not require considerable investments into the existing train braking control systems and any modernization of the railway infrastructure because all the information necessary for calculations can be obtained from a global positioning system (GPS) and a mechanic speed detection unit existing in the trains.

## II. REVIEW OF ADAPTIVE CONTROL ALGORITHMS

The main problem of classical approach for smooth target braking calculation is a necessity to receive data about various parameters of the train and railway infrastructure. Adaptive algorithms provide new approach, when the braking control system is self-adjusting to current conditions of the braking and performs the process adaptively without additional sensors and data.

The authors review definite adaptive control algorithms, with the help of which it is possible to perform a parametric adaptation and which could be effectively used in the system under discussion.

## III. ALGORITHM FOR TRAIN ANTI-COLLISION EMBEDDED DEVICES

The following variables are defined:  $\chi_{u1}$ ,  $\psi_{u1}$ ,  $\chi_{u2}$ ,  $\psi_{u2}$  – latitude and longitude of train U1 and train U2;  $v_{u1}$ ,  $v_{u2}$  – speed of U1 and U2;  $\rho_{u1}$ ,  $\rho_{u2}$  – route section of U1 and U2,  $\lambda_{u1}$ ,  $\lambda_{u2}$  – length of U1 and U2,  $B$  – braking distance of the train;  $\Delta S$  – distance between trains.

### The algorithm's general steps:

1. Obtain data from the satellite navigation.
2. Obtain data about the section of the route.
3. Transmit data to the control centre.
4. Control centre device Cvc detects if U<sub>2</sub> is following U<sub>1</sub> on the same route section i.e.  $\rho_{u1} = \rho_{u2}$ .
5. Control centre device Cvc transmits U<sub>1</sub> id to C<sub>iU<sub>2</sub></sub> and U<sub>2</sub> id to C<sub>iU<sub>1</sub></sub>.
6. C<sub>iU<sub>1</sub></sub> transmits  $\chi_{u1}$ ,  $\psi_{u1}$ ,  $v_{u1}$ ,  $\rho_{u1}$  and  $\lambda_{u1}$  to C<sub>iU<sub>2</sub></sub>.
7. C<sub>iU<sub>2</sub></sub> calculates  $\Delta S$  between locomotive of U<sub>2</sub> and last wagon of U<sub>1</sub>.
8. C<sub>iU<sub>2</sub></sub> calculates braking distance B of U<sub>2</sub>.

9. If  $\Delta S$  is less or equal to B, then go to 10, else 11.
10. C<sub>iU<sub>2</sub></sub> activates adaptive smooth braking to stop the train and to prevent the collision. Go to 1.
11. If braking is active and speed  $v_{u1} > 0$ , then go to 12.
12. Stop braking process. Go to Step 1.

## IV. ANALYSIS OF RESULTS AND EVALUATION OF EFFICACY

The results obtained from testing demonstrate that the developed PLC control program on the basis of an adaptive search algorithm allows controlling the train motion model parameters agreeably with the set theoretical curves with the comparatively not big differences of the parameter values. For an evaluation of the efficacy of the operation of the algorithm it would be necessary to improve the train motion model, which would allow achieving more precise results.

## V. CONCLUSIONS

The offered algorithm of adaptive and precise braking of a train operates sufficiently effectively. Precision is achieved by regulating the values of a current road driven S, of a speed V and of a braking acceleration according to the set theoretical curves in the process of braking.

For a more precise testing of the PLC control program, a more thorough train model is required which observes delays in the braking system and moments of inertia, effectiveness in different operation modes, inertia of a train, pneumatic brake control system model, etc.

Installation of embedded intelligent devices does not hamper operation of the existing braking system and increases efficacy of its operation.

The Arduino program needs a position and distance prediction routine as well as alternative data exchange protocol to send less data and handle lost or late data due to unstable radio signal.

The authors will assess the possibility to run data analysis powered by evolutionary algorithms in real time on such embedded devices.

The research leading to these results has received funding from the ARTEMIS Joint Undertaking under grant agreement n° 269265 and from Latvian Academy of Science and Ministry of Education and Science.

## REFERENCES

- [1] Thompson S., Stevens, A., Maxwell, A., Wood K, Guidelines for safe and effective vehicle routing, TRL Reports, 2006
- [3] A. Ļevčēnkovs, A. Potapovs. Metodiskie norādījumi iekārtas „Safe-R 3” programmiskā nodrošinājuma izstrādē un eksperimentālo testu vadīšanā. Rīga – 2010.
- [5] A.Levchenkov, M.Gorobetz, L. Ribickis, P. Balckars Generating of Multi-Criteria Alternatives for Decision-Making in Electric Light Rail Control //In China-USA Business review, December 2009, pp. 49-55.

# Laidena vilciena bremzēšana, izmantojot adaptīvus vadības algoritmus iebūvētajās intelektuālajās iekārtās

Andrejs Potapovs (*Riga Technical University - RTU*), Andrew Mor-Yaroslavtsev (*RTU*),  
Anatoly Levchenkov (*RTU*) and Mikhail Gorobetz (*RTU*)

**Atslēgvārdi (angl.)** – Rail vehicle, adaptive control, safety, control methods for electrical systems.

## I. IEVADS

Autori izvirza pieņēmumu, ka, apvienojot programmējamo loģisko kontrolleri (PLC) ar vadības programmu, kura ir bāzēta uz adaptīvu vadības algoritmu, un esošo vilciena bremžu vadības sistēmu, ir iespējams izveidot jaunu adaptīvu vilciena bremžu vadības sistēmu, kura nodrošinās vilciena laidenu un precīzu bremzēšanu uzdotajā apstāšanās punktā. Tiek izvirzīts arī pieņēmums, ka cits kontrolleris ar ievērojami mazākiem fiziskiem izmēriem nodrošinās vilciena automātisku apturēšanu pirms luksofora aizliedzošā signāla.

Sistēmas izstrāde neprasa ievērojamus materiālus ieguldījumus esošajās vilcienu bremžu vadības sistēmās un dzelzceļa infrastruktūrā, jo visu informāciju, kura ir nepieciešama aprēķiniem, var iegūt no globālās pozicionēšanas sistēmas (GPS) un mehāniskā ātruma mērītāja, ar kuru ir aprīkoti vilcieni.

## II. VADĪBAS ALGORITMU APSKATS

Galvenā problēma, izmantojot klasisko laidenas un precīzas bremzēšanas aprēķinu, ir nepieciešamība iegūt datus par dažādiem vilciena un dzelzceļa infrastruktūras parametriem. Adaptīvie algoritmi rada jaunu pieeju, kurā bremžu vadības sistēma patstāvīgi pielāgojas konkrētajiem bremzēšanas apstākļiem un realizē doto procesu adaptīvi, neizmantojot dažādus devējus un datus par vilcieni.

Autori apskata noteiktus adaptīvos vadības algoritmus, kurus izmantojot ir iespējams veikt parametrisko adaptāciju un kurus ir iespējams efektīvi izmantot dotajā sistēmā.

## III. VILCIENU PRETSADURSMJU IEBŪVĒTO IEKĀRTU DARBA ALGORITMI

Tiek noteikti sekojoši mainīgie:  $\chi_{u1}$ ,  $\psi_{u1}$ ,  $\chi_{u2}$ ,  $\psi_{u2}$  – vilcienu  $U_1$  un  $U_2$  koordinātu platums un garums;  $v_{u1}$ ,  $v_{u2}$  –  $U_1$  un  $U_2$  ātrums;  $\rho_{u1}$ ,  $\rho_{u2}$  –  $U_1$  un  $U_2$  ceļa posms;  $\lambda_{u1}$ ,  $\lambda_{u2}$  –  $U_1$  un  $U_2$  garums,  $B$  – vilciena bremzēšanas ceļš;  $\Delta S$  – attālums starp vilcieniem. Algoritms sastāv no šādiem pamatsoļiem:

1. Datu iegūšana no pozicionēšanas sistēmas.
2. Datu iegūšana par esošo ceļa posmu.
3. Datu nosūtīšana vadības centram.
4. Vadības centra iekārta  $C_{vc}$  nosaka, vai  $U_2$  seko aiz  $U_1$  pa to pašu ceļa posmu, t.i.,  $\rho_{u1} = \rho_{u2}$ .
5. Ar  $R_{vc}$  palīdzību iekārta  $C_{vc}$  nosūta  $U_1$   $C_{i_{U2}}$  numuru un  $U_2$  -  $C_{i_{U1}}$  numuru.
6.  $C_{i_{U1}}$  nosūta  $\chi_{u1}$ ,  $\psi_{u1}$ ,  $v_{u1}$ ,  $\rho_{u1}$  un  $\lambda_{u1}$   $C_{i_{U2}}$  vērtības.
7.  $C_{i_{U2}}$  aprēķina  $\Delta S$  starp lokomotīvi  $U_2$  un  $U_1$  pēdējo vagonu.
8.  $C_{i_{U2}}$  aprēķina vilciena  $U_2$  bremzēšanas ceļu  $B$ .
9. Ja  $\Delta S$  ir mazāks vai vienāds ar  $B$ , seko solis 10, citā gadījumā - 11.
10.  $C_{i_{U2}}$  aktivizē laidenu un precīzu bremzēšanu, lai apturētu vilcieni un novērstu sadursmi. Tālāk seko solis 11.
11. Ja notiek bremzēšana un ātrums  $v_{u1} > 0$ , seko solis 12.

12. Bremzēšanas beigšana un pāriešana un soli 1.

## IV. REZULTĀTU ANALĪZE UN EFEKTIVITĀTES NOVĒRTĒJUMS

Rezultāti, kuri tika iegūti testēšanas laikā, parāda to, ka izstrādātā PLC vadības programma uz adaptīvā meklēšanas algoritma bāzes ļauj kontrolēt vilciena modeļa kustības parametrus atbilstoši uzdotajām teorētiskajām līknēm ar salīdzinoši mazu parametru vērtību atšķirību. Algoritma darbības efektivitātes novērtēšanai ir nepieciešams uzlabot vilciena kustības modeli, lai būtu iespējams iegūt precīzākus modelēšanas rezultātus.

## V. SECINĀJUMI

Piedāvājamo adaptīvas un precīzas vilciena bremzēšanas algoritms darbojas pietiekami efektīvi, regulējot sistēmu pēc ceļa, ātruma un palēninājuma. Detalizētākai PLC vadības programmas pārbaudei ir jāizstrādā sarežģītāku vilciena kustības modeli, kurš ievērotu bremžu sistēmas nostrādes aiztures un inerces momentus, efektivitāti dažādos darba režīmos, vilciena inerci, pneimatisko bremžu vadības sistēmu u.c. Iebūvējamo intelektuālo iekārtu uzstādīšana lokomotīvē netraucē esošās bremžu sistēmas darbu un palielina tās efektivitāti. Arduino kontrollera vadības programma pieprasa pozīcijas un attāluma prognozes moduļa izstrādi, kā arī, iespējams, alternatīvu datu apmaiņas protokolu un uzlabotu saņemto aizturēto datu apstrādi.

Šo pētījumu ir atbalstījis ARTEMIS Joint Undertaking pēc līguma par grantu №269265, kā arī Latvijas Zinātņu akadēmija un Izglītības un Zinātnes ministrija.

## LITERATŪRA

- [1] Thompson S., Stevens, A., Maxwell, A., Wood K, Guidelines for safe and effective vehicle routing, TRL Reports, 2006
- [2] Levčenko A., Potapovs A. *Metodiskie norādījumi iekārtas „Safe-R 3” programmiskā nodrošinājuma izstrādē un eksperimentālo testu vadīšanā.* Rīga – 2010.
- [3] A.Levchenkov, M.Gorobetz, L. Ribickis, P. Balckars Generating of Multi-Criteria Alternatives for Decision-Making in Electric Light Rail Control //In China-USA Business review, December 2009, pp. 49-55.
- [4] Patent Nr. LV14384. Train anti-collision device using satellite navigation. A.Levchenkov, M.Gorobetz, I.Rankis, P.Balckars, L.Ribickis, A.Potapovs, 2011.

# Плавное торможение поезда при помощи адаптивных алгоритмов управления на встроенных устройствах

Andrejs Potapovs (Riga Technical University - RTU), Andrew Mor-Yaroslavtsev (RTU),  
Anatoly Levchenkov (RTU) and Mikhail Gorobetz (RTU)

**Ключевые слова (англ.) – Rail vehicle, adaptive control, safety, control methods for electrical systems.**

## I. ВВЕДЕНИЕ

Авторы выдвигают предположение, что возможно создать новую адаптивную тормозную систему поезда, которая обеспечит автоматическое плавное и точное торможение поезда до заданной точки остановки, совместив с существующей тормозной системой поезда программируемый контроллер (PLC) с управляющей программой на базе адаптивного алгоритма; а также, что другой контроллер намного меньших размеров обеспечит автоматическую остановку поезда до красного сигнала светофора.

Разработка системы не требует существенных вложений в существующие тормозные системы поездов и в железнодорожную инфраструктуру, так как всю необходимую информацию можно получить от глобальной системы позиционирования (GPS) и механического скоростемера, установленного в поездах.

## II. ОБЗОР АДАПТИВНЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ

Главная проблема классического подхода к расчётам для плавного прицельного торможения - необходимость получения данных о различных параметрах поезда и железнодорожной инфраструктуры. Адаптивные алгоритмы представляют новый подход, при котором система управления торможением самостоятельно подстраивается под текущие условия торможения и производит этот процесс адаптивно без дополнительных датчиков и данных.

Авторы рассматривают определенные адаптивные алгоритмы управления, при помощи которых можно произвести параметрическую адаптацию, и которые можно было бы эффективно использовать в данной системе.

## III. АЛГОРИТМ РАБОТЫ ПОЕЗДНЫХ ПРОТИВОСТАЛКИВАЮЩИХ ВСТРОЕННЫХ УСТРОЙСТВ

Определяются следующие переменные:  $\chi_{u1}$ ,  $\psi_{u1}$ ,  $\chi_{u2}$ ,  $\psi_{u2}$  – широта и долгота поездов  $U_1$  и  $U_2$ ;  $v_{u1}$ ,  $v_{u2}$  – скорость  $U_1$  и  $U_2$ ;  $\rho_{u1}$ ,  $\rho_{u2}$  – участок пути  $U_1$  и  $U_2$ ,  $\lambda_{u1}$ ,  $\lambda_{u2}$  – длина  $U_1$  и  $U_2$ ,  $B$  – тормозной путь поезда;  $\Delta S$  – расстояние между поездами. Основные шаги алгоритма:

1. Получение данных от спутниковой навигации.
2. Получение данных о текущем участке пути.
3. Передача данных управляющему центру.
4. Устройство контрольного центра  $C_{vc}$  определяет, следует ли  $U_2$  за  $U_1$  по тому же участку пути, т.е.  $\rho_{u1} = \rho_{u2}$ .
5. При помощи  $R_{vc}$  устройство  $C_{vc}$  передаёт номер  $U_1$   $C_{iU2}$  и номер  $U_2$  -  $C_{iU1}$ .
6.  $C_{iU1}$  передаёт значения  $\chi_{u1}$ ,  $\psi_{u1}$ ,  $v_{u1}$ ,  $\rho_{u1}$  и  $\lambda_{u1}$   $C_{iU2}$ .
7.  $C_{iU2}$  рассчитывает  $\Delta S$  между локомотивом  $U_2$  и последним вагоном  $U_1$ .

8.  $C_{iU2}$  рассчитывает тормозной путь  $B$  поезда  $U_2$ .
9. Если  $\Delta S$  меньше или равно  $B$ , шаг 10, иначе - 11.
10.  $C_{iU2}$  активирует торможение, чтобы остановить поезд и предотвратить столкновение. Далее - шаг 1.
11. Если происходит торможение и  $v_{u1} > 0$ , шаг 12.
12. Прекращение торможения и переход к шагу 1.

## IV. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Результаты, полученные на тестировании, показывают, что разработанная программа управления PLC на основе адаптивного алгоритма поиска позволяет контролировать параметры модели движения поезда согласно заданным теоретическим кривым со сравнительно малыми отклонениями от значений параметров. Для оценки эффективности работы алгоритма необходимо улучшить модель движения поезда, чтобы получить более точные результаты.

## V. ВЫВОДЫ

Предлагаемый алгоритм адаптивного точного торможения поезда работает достаточно эффективно с учетом параметров пути, скорости и замедления. Для более точной проверки управляющей программы PLC необходима более детальная модель поезда, учитывающая задержки в пневматической тормозной системе, эффективность в разных режимах работы, инерцию поезда и пр. Установка встроенных интеллектуальных устройств не мешает работе существующей тормозной системы и увеличивает её эффективность. Программу для контроллера Ардуино необходимо дополнить модулем предсказания позиции и расстояния, а также, возможно, альтернативным протоколом обмена данными для уменьшения объёма и улучшения обработки.

Данное исследование проведено при поддержке ARTEMIS Joint Undertaking по договору №269265, совместно с Латвийской Академией наук и Министерством образования и науки.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Thompson S., Stevens, A., Maxwell, A., Wood K, Guidelines for safe and effective vehicle routing, TRL Reports, 2006
- [3] A. Levčenko, A. Potapovs. Metodiskie norādījumi iekārtas „Safe-R 3” programmiskā nodrošinājuma izstrādē un eksperimentālo testu vadīšanā. Rīga – 2010.
- [5] A. Levčenko, M. Gorobetz, L. Ribickis, P. Balckars Generating of Multi-Criteria Alternatives for Decision-Making in Electric Light Rail Control // In China-USA Business review, December 2009, pp. 49-55.
- [6] Patent Nr. LV14384. Train anti-collision device using satellite navigation. A. Levčenko, M. Gorobetz, I. Rankis, P. Balckars, L. Ribickis, A. Potapovs, 2011.