

## Geležinkelio objektų būklės įvertinimas atsitiktinių procesų klasifikavimo metodu

V.A. Buinevičius, V. Gargasas

Valdymo technologijų katedra, Kauno technologijos universitetas

Studentų g. 48, LT-3001 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 300291, el. paštas valtek@eaf.ktu.lt

### Geležinkelio objektų apžvalga

Tiriant geležinkelio objektų diagnostikos galimybes jau seniai buvo pastebėta, kad objektų būklę atspindi akustiniai, mechaniniai ir elektriniai jų pačių skleidžiami signalai. Geležinkelio objektų visumą sudaro aibė dinaminių ir statinių objektų. Dinaminių objektų pavyzdžiai galėtų būti:

- Iešmų pavaros [1]. Iešmo perjungimo metu pavara skleidžia kelių rūšių signalus, atspindinčius jos bei paties iešmo būklę: mechaninius virpesius, akustinį signalą, elektrinį signalą pavaros valdymo (maitinimo) elektros grandinėje. Kadangi paprastai iešmų pavaros eksploatuojamos sąlygomis, kuriomis veikia gausybė išorinių akustinių bei mechaninio virpesio veiksnių, pavaros ir iešmo diagnostikai patogiausia naudoti valdymo elektros grandinės srovėje esančius gedimą atspindinčius kriterijus.

- Lokomotyvo dyzelinis variklis ar traukos sistema, sudaryta iš dyzelinio variklio, elektros generatoriaus–elektromechaninio variklio. Atskirų lokomotyvo traukos mechanizmo mazgų akustiniai ar mechaniniai virpesiai gali atspindėti šių mazgų būklę ir gali būti naudojami gedimų lokalizavimo bei klasifikavimo sistemoje. Lokomotyvų diagnostikai taip pat gali būti naudojamas stacionarioje sistemoje sumontuotas vibracinis jutiklis, kuriuo registruojamas pravažiuojančio lokomotyvo generuojamas signalas ir, panaudojus signalų klasifikaciją, pateiktos išvados apie šio lokomotyvo būklę, galimą gedimą ar gedimo pobūdį. Panašią sistemą galima pritaikyti ir riedmenų guoliams diagnozuoti pagal jų skleidžiamus akustinio triukšmo signalus.

Yra ir stacionarių geležinkelio objektų, kurie patys savaime negeneruoja jokio diagnostikai naudotino signalo, tačiau akustinių ar mechaninių virpesių, atspindintį objekto būklę, skleidžia mechaninio stimulo metu. Tai geležinkelio tiltai, kelias. Geležinkelio tilto būklę atspindintis signalas gaunamas eksploatacijos metu. Stimuliatorius – tiltu važiuojantis traukinys.

Kelio diagnostikai toks stimuliatorius netinka. Tiriant bėgio skleidžiamą virpesių ar akustinį signalą, reikėtų naudoti specialius virpesių stimuliatorius, kiekvieno matavimo metu užtikrinančius vienodą mechaninį poveikį.

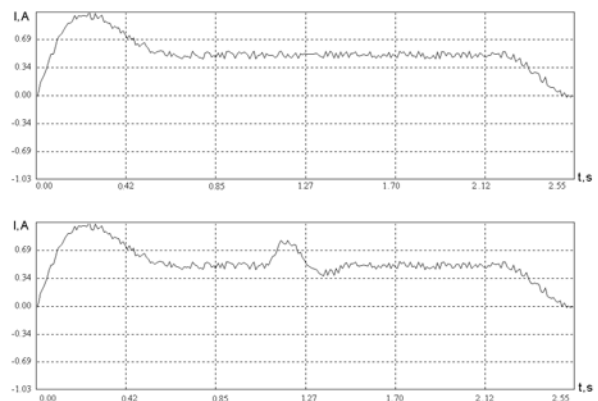
### Kovariacinės metrikos taikymas objektų diagnostikai

Objektų būklę galima kontroliuoti stebint signalus, kuriuos šie objektai generuoja (dinaminėms sistemoms) arba kuriuos galima dirbtinai sukelti (statinėms sistemoms). Prof. R. S. Petrikio atlikti tyrimai parodė, kad labai svarbu parinkti požymius, naudojamus signalams klasifikuoti, kai objektų būseną atitinka tam tikrą klasę [2].

Klasifikuojamiems požymiams formuoti naudojamos signalų charakteristikos (skirtumai, koreliacijos funkcijos, spektriniai tankiai ir t.t.)  $\Theta$ . Autoriai nustatė, kad požymiams formuoti geriausiai tinka tiriamų signalų koreliacijos funkcijos, matavimo klasifikatoriams kurti tinka korelometrai.

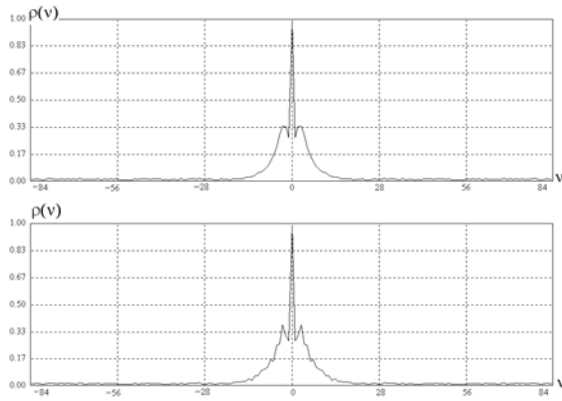
Grafikuose atvaizduoti signalai, jų kovariacinės funkcijos ir kovariacinė metrika.

Kaip pavyzdys pateiktas geležinkelio iešmo pavaros, kurios būklę norime nustatyti, valdymo srovės signalas S2 (1pav. apačioje).



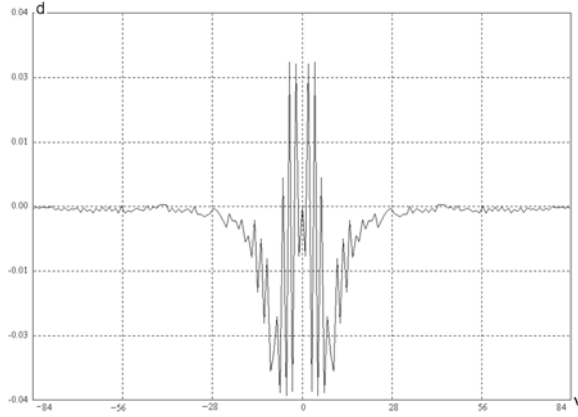
1 pav. Signalai S1 ir S2

Apskaičiuojame šio signalo kovariacinę funkciją; rezultatas grafiškai atvaizduotas 2 pav. apačioje. Tą patį darome ir su neprikaištingai veikiančios iešmo pavaros (neturinčios defektų ir gedimų) valdymo srovės signalu S1 (1pav. ir 2 pav. viršuje).



2 pav. Signalų S1 ir S2 kovariacinės funkcijos

Turėdami dviejų skirtingos būklės ieško pavarų valdymo srovės signalų kovariacines funkcijas, galime apskaičiuoti kovariacinę metriką  $d$  (3 pav.).



3 pav. Kovariacinė metrika

Diagnostikos sistema įvertina kovariacinės metrikos  $d$  vertes kiekvienoje ordinatėje ir pagal tai klasifikuoja signalą – priskiria vienai iš gedimų klasių.

### Matavimo rezultatų dispersija ir sutartinė paklaida

Kaip charakteristikų  $\Theta$  palyginimo kriterijus naudojamas neigiama realioji (daiktinė) funkcija  $d$ , vadinama aibės  $\{\Theta\}$  metrika, nustatoma bet kuriai  $\Theta$  ir  $\Theta^*$  porai iš aibės  $\{\Theta\}$  ir tenkinanti tokias sąlygas:

$$d(\Theta, \Theta^*) = 0 \Rightarrow \Theta = \Theta^*, \quad (1)$$

$$d(\Theta, \Theta^*) = d(\Theta^*, \Theta), \quad (2)$$

$$d(\Theta, \Theta^*) \leq d(\Theta, \Theta^{**}) + d(\Theta^{**}, \Theta). \quad (3)$$

Skaičius  $d(\Theta, \Theta^*)$  dar vadinamas atstumu tarp aibės elementų  $\Theta$  ir  $\Theta^*$ . Aibė  $\{\Theta\}$  su jos fiksuota metrika  $d$  vadinama metrine erdve  $\{\Theta, d\}$ .

Tiriamas atsitiktinis procesas (AP) (signalas)  $X(t)$  paprastai generuojamas objekto, turinčio tam tikras savybes. Tačiau uždavinio specifika yra tokia, kad dėl turimų matuoklio paklaidų, objekto nevienareikšmiškumo

daug kartų stebint tokios būsenos objektą, gaunama visuma įvairių AP realizacijų  $X(t)$ , iš kurių gaunamos matuojamosios charakteristikos  $\Theta^*(X(t))$ .

Atskiriant statistines charakteristikas (koreliacijos funkcijas), artimas viena kitai ir turinčias vienodas kitimo sritis, galima naudoti tokius atstumus:

erdvėje  $L_1$

$$d_1(\Theta^*, \Theta) = \int_{-\infty}^{\infty} |\Theta^*(x) - \Theta(x)| dx, \quad (4)$$

erdvėje  $L_2$

$$d_2(\Theta^*, \Theta) = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |\Theta^*(x) - \Theta(x)|^2 dx}, \quad (5)$$

erdvėje  $L_p$

$$d_p(\Theta^*, \Theta) = \left( \int_{-\infty}^{\infty} |\Theta^*(x) - \Theta(x)|^p dx \right)^{\frac{1}{p}}; \quad (6)$$

čia  $\Theta(x)$  ir  $\Theta^*(x)$  – lyginamosios AP statistinės charakteristikos metrinėje erdvėje.

Galima nesunkiai parodyti, kad atstumas (4), palyginti su atstumais (5) ir (6), jautresnis statistinių charakteristikų pokyčiui, nes turi didžiausią reikšmę. Ši atstumą patogiu normuoti, išvengiant matuojamų charakteristikų mastelių skirtumo.

Atskiriant (klasifikuojant) koreliacijos funkcijas, atitinkančias tam tikras objekto būsenas, atskyrimą (klasifikaciją), gaunama koreliacijos matrica [3]:

$$R_i = \begin{pmatrix} R_{11}^{(i)} & R_{12}^{(i)} & \dots & R_{1j}^{(i)} & \dots & R_{1n}^{(i)} \\ R_{21}^{(i)} & R_{22}^{(i)} & \dots & R_{2j}^{(i)} & \dots & R_{2n}^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{r1}^{(i)} & R_{r2}^{(i)} & \dots & R_{rj}^{(i)} & \dots & R_{rn}^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1}^{(i)} & R_{n2}^{(i)} & \dots & R_{nj}^{(i)} & \dots & R_{nn}^{(i)} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

$$R_{rj}^{(i)} = R_{jr}^{(i)} = E_i \left\{ (X_r^{(i)} - \bar{X}_r^{(i)}) (X_j^{(i)} - \bar{X}_j^{(i)}) \right\} - X_r^{(i)} X_j^{(i)}.$$

Atsitiktinių dydžių koreliacijos momentas. Dydziai  $X_r^{(i)}, X_j^{(i)}$  gaunami strobuojant procesą  $X(t)$  laiko momentais  $rT_o$  ir  $jT_o$ .

$$R_{jj}^{(i)} = 1.$$

Klasifikacijos procese tenka kelis kartus matuoti koreliacijos momentus  $R_{rj}^{(i)}$ . Tuo siekiama sumažinti klasifikavimo paklaidą.

Atlikus teorinį tyrimą buvo gauta matuojamų koreliacijos funkcijų momentas

$$R_X^*(k\Delta\tau) = \frac{1}{n} \sum X(iT_0) X(iT_0 + kT_0\tau); \quad (8)$$

čia  $T_0$  – signalo strobavimo periodas ir koreliacijos laiko žingsnis. Matavimo rezultato dispersija

$$D(R_X^*(kT_0)) = \frac{\sigma_X^4}{n} (1 + \rho_X^2(kT_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} (1 - \frac{i}{n}) (\rho_X^2(iT_0) + \rho_X(iT_0 + kT_0) \rho_X(iT_0 + kT_0))); \quad (9)$$

čia  $\sigma_X^2$  – signalo dispersija;  $\rho_X(\cdot)$  – normuota koreliacijos funkcija.

Buvo atlikti  $D(\cdot)$  skaičiavimai koreliacijos funkcijai, turinčiai pavidalą  $e^{-\alpha|t|}$ , esant įvairioms parametro  $n$  vėrtėms:

$$D(R^*(k)) = \frac{1}{n} (1 + e^{-8\beta k} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} (1 - \frac{i}{n}) \times (e^{-8\beta k} + e^{-4\beta(i+k)} e^{-4\beta(i-k)})), \quad (10)$$

kai  $\rho = 1; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2; 0,001; \beta = Af_{ef} \cdot T_0 = 0,01725; 0,008625; 0,0043125$  ir  $n=2^{10}; 2^{13}; 2^{17}$  ( $Af_{ef}$  – signalo spektro efektinė juosta).

4 pav. pateikiama sutartinės paklaidos  $\sigma_R$  priklausomybė nuo signalo atskaitų skaičiaus  $n$  ir normuotos koreliacijos funkcijos vertės  $\rho$ , kai a)  $\beta=0,01725$ , b) tas pats, kai  $\beta=0,008625$  ir c) kai  $\beta=0,0043125$ . Matome, kad paklaida  $\sigma_R$  labai priklauso nuo signalo spektro efektinės juostos.

Koreliacijos funkcijų matavimo paklaidos  $\sigma_R$  turi įtakos tų funkcijų atskyrimo (klasifikavimo) paklaidai, tiksliau – atstumo  $d_I$  (4) nustatymo paklaidai.

Buvo atskiras tyrimas ir nustatyta, kad atstumo  $d_I$  nustatymo paklaida priklauso nuo matuojamų tarpusavyje palyginamų koreliacijos funkcijų (jų porų) skaičiaus  $M$ . Atstumo  $d_1^*$  vidurkis yra

$$d_1^* = \frac{1}{M} \sum_{K=0}^{M_K-1} \left| \overline{R_1^*(kT_0)} - \overline{R_2^*(kT_0)} \right| = \frac{1}{M} \sum_{K=0}^{M_K-1} \left| \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R_{1j}^*(kT_0) - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N R_{2j}^*(kT_0) \right| \quad (11)$$

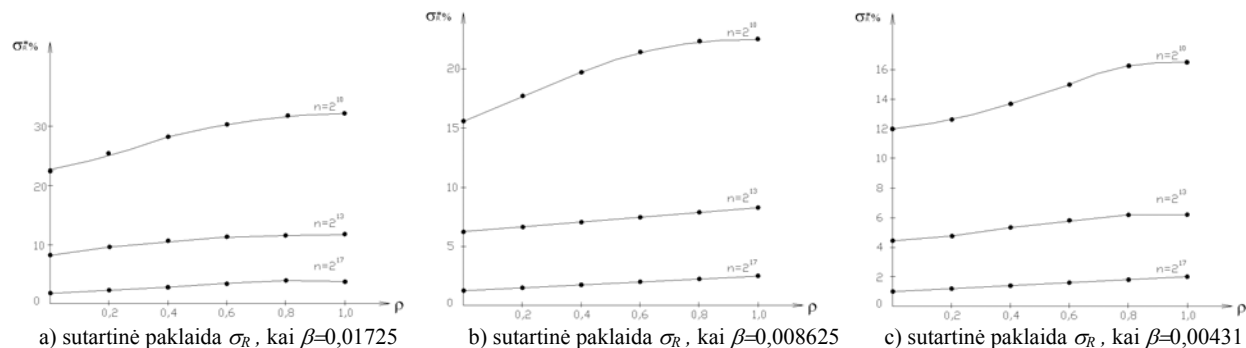
Atstumo  $d_1^*$  dispersija:

$$Dd_1^* = \frac{1}{M_k^2} 0,36 \sum_{k=0}^{M_K-1} \sigma_{R_{1k}^*}^2. \quad (12)$$

Tada didžiausias įvertis bus

$$Dd_1^* \leq \frac{0,36}{M_k} \max_k \sigma_{1k}^2. \quad (13)$$

Taigi gavome atstumo  $d_I$  dispersijos priklausomybę nuo matuojamos koreliacijos funkcijos  $R_1^*$  dispersijos. Atlikus skaičiavimus gauta, kad, kai  $M_k=100$ , atskaitų skaičiui  $n=2^{10} \div 2^{13}$ , sutartinė paklaida yra lygi 0,104%, o esant  $M_k=200$ , ji lygi 0,073%, t.y. gerokai sumažėjo. Todėl rekomenduojama matavimus kartoti. Žinoma, tam reikia papildomo laiko.



4 pav. Sutartinės paklaidos  $\sigma_R$ , priklausomybė nuo signalo atskaitų skaičiaus

## Literatūra

1. Бальшем М. И. Устройство определения неисправности электродвигателя стрелочного электропривода// Автоматика, телемеханика и связь,– 1993. –№10. –Стр. 4-11.
2. Kajackas A., Petrikis S.R., Slanys R. Matuojamų koreliacijos funkcijų statistinių charakteristikų analizė//

Radioelektronika: Lietuvos aukštųjų mokyklų darbai/temų rinkinys, – Vilnius, 1985. –21(1)t. –P85-89.

3. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. – Москва : Мир, 1978. –410 с.

Pateikta spaudai 2003 02 19

**V.A. Buinevičius, V.Gargasas. Geležinkelio objektų būklės įvertinimas atsitiktinių procesų klasifikavimo metodu // Elektronika ir elektrotechnika. - Kaunas: Technologija, 2003. –Nr. 4(46). - P. 83-86.**

Geležinkelyje plačiai naudojami objektai, kurių būklę atspindi akustiniai, mechaniniai bei elektriniai jų pačių skleidžiami signalai. Dinaminiai objektai tokius signalus generuoja patys, signalui gauti iš stacionarių objektų reikalingi stimulatoriai. Tokių signalų klasifikavimo požymiams formuoti geriausiai tinka koreliacijos funkcijos. Grafiškai pavaizduotas geležinkelio ieško pavaros valdymo srovės signalas ir koreliacinė funkcija. Dėl turimų matavimo priemonių paklaidų ir objekto nevienareikšmiškumo daug kartų stebint objektą gaunama atsitiktinio proceso realizacijų visuma. Matematiškai išvesta matavimo rezultatų dispersija ir sutartinės paklaidos  $\sigma_R$  priklausomybė nuo normuotos koreliacijos funkcijos vertės  $\rho$ , esant skirtingam signalo atskaitų skaičiui  $n$ . Il. 4, bibl. 3 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų, rusų k.).

**V.A. Buinevičius, V.Gargasas. Diagnostic of Railway Objects by using Classification Method of Accidental Process // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2003. –No.4(46). – P. 83-86.**

In the railroad there are wide used objects, which emitted acoustic, mechanical or electrical signals indicates a state of the objects. The best way to model the classification of signal indications is using the correlation functions. There are graphically represented control signals of electric gear of Railway switch point and correlation functions. Because of measuring device error and not single-validness of the object, observing the object for many times results in a whole of accidental process realizations. In the mathematical way deduced error  $\sigma_R$  dependence upon  $\rho$  value of normalized correlation function using the different signal reading number  $n$ . Ill. 4, bibl. 3 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

**В. А. Буйнявичюс, В. Гаргасас. Диагностика железнодорожных объектов методом классификации случайных процессов // Электроника и электротехника. -Каунас: Технология, 2003. - № 4(46). – С. 83-86.**

Широко используемые железнодорожные объекты, состояние которых отражается в их генерируемых акустических, механических или вибрационных сигналах. Корреляционная функция является лучшим критерием формулирования признака для классификации таких сигналов. На графике изображен сигнал электрического тока в цепи управления железнодорожным стрелочным электроприводом, а также корреляционная функция этого сигнала. Из-за погрешности измерительных приборов и не однозначности при многократном наблюдении за объектом получается совокупность реализаций случайного процесса. Дано математическое выведение приведённой погрешности  $\sigma_R$  от значения нормированной корреляционной функции при разном числе отчётов. Ил. 4, библи. 3 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).