VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Linas BURNEIKA

GAMINIO KONSTRUKCIJOS SUDARYMO NAUDOJANT SUDEDAMĄSIAS DALIS TYRIMAS

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, mechanikos inžinerija (09T)

Vilnius 2010

Disertacija rengta 2005–2009 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.
Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Andrejus Henrikas MARCINKEVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T).

Disertacija ginama Vilniaus Gedimino technikos universiteto Mechanikos inžinerijos mokslo krypties taryboje:

Tarybos pirmininkas

prof. habil. dr. Vladas VEKTERIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T).

Tarybos nariai:

prof. habil. dr. Rimantas BELEVIČIUS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T),

prof. habil. dr. Remigijus JONUŠAS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T),

prof. habil. dr. Kazys KAZLAUSKAS (Matematikos ir informatikos institutas, fiziniai mokslai, informatika – 09P),

doc. dr. Vytautas STRIŠKA (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T).

Oponentai:

prof. habil. dr. Algirdas BARGELIS (Kauno technologijos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T),

prof. habil. dr. Genadijus KULVIETIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, mechanikos inžinerija – 09T).

Disertacija bus ginama viešame Mechanikos inžinerijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2010 m. vasario 12 d. 13 val. Vilniaus Gedimino technikos universiteto senato posėdžių salėje.
Adresas: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva.
Tel.: (8 5) 274 4952, (8 5) 274 4956; faksas (8 5) 270 0112;
el. paštas doktor@vgtu.lt
Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2010 m. sausio 11 d.
Disertaciją galima peržiūrėti Vilniaus Gedimino technikos universiteto bibliotekoje (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lietuva).
VGTU leidyklos „Technika“ 1714-M mokslo literatūros knyga.

© Linas Burneika, 2010

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Linas BURNEIKA

RESEARCH OF FORMING THE PRODUCT'S CONSTRUCTION USING CONSTITUENT PARTS

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Mechanical Engineering (09T)

Vilnius LEIDYKLA TECHNIKA 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2005–2009.
Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Andrejus Henrikas MARCINKEVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T).

The dissertation is being defended at the Council of Scientific Field of Mechanical Engineering at Vilnius Gediminas Technical University:
Chairman

Prof Dr Habil Vladas VEKTERIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T).

Members:

Prof Dr Habil Rimantas BELEVIČIUS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T),

Prof Dr Habil Remigijus JONUŠAS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T),

Prof Dr Habil Kazys KAZLAUSKAS (Institute of Mathematics and Informatics, Physical Sciences, Informatics – 09P),

Assoc Prof Dr Vytautas STRIŠKA (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T).

Opponents:

Prof Dr Habil Algirdas BARGELIS (Kaunas University of Technology, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T),

Prof Dr Habil Genadijus KULVIETIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Mechanical Engineering – 09T).

The dissertation will be defended at the public meeting of the Council of Scientific Field of Mechanical Engineering in the Senate Hall of Vilnius Gediminas Technical University at 1 p. m. on 12 February in 2010.
Address: Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania.
Tel.: +370 5 274 4952, +370 5 274 4956; fax +370 5 270 0112;
e-mail: doktor@vgtu.lt
The summary of the doctoral dissertation was distributed on 11 January 2010.
A copy of the doctoral dissertation is available for review at the Library of Vilnius Gediminas Technical University (Saulėtekio al. 14, LT-10223 Vilnius, Lithuania).

© Linas Burneika, 2010

Įvadas

Mokslo problemos aktualumas. Pagal vartotojų užsakymus pritaikytų gaminių projektavimo procesas šiuo metu yra paplitęs mašinų gamyboje ir kitose pramonės šakose. Šio proceso metu keičiama gaminio konstrukcija atsižvelgiant į užsakovo poreikius. Masinėje ir serijinėje gamyboje projektavimo sąnaudos priklauso nuo partijos dydžio ir dažniausiai sudaro nedidelę gaminio kainos dalį, nes paskirstomos visiems gaminamiems vienetams. Tačiau pritaikant gaminio modelį užsakovo poreikiams, projektavimo sąnaudos labai padidėja. Daugelio mašinų ir įrenginių modelių pritaikymo procesą įmanoma pagreitinti ir atpiginti, sudarant gaminio konstrukcijos modelį iš esančių sudedamųjų dalių. Vietoje vienetinės gamybos šios sudedamosios dalys dažniausiai gaminamos serijiniu būdu, bet surenkamos pagal užsakovo pasirinktą gaminio konstrukcijos projektą. Tokie gaminiai yra šaldytuvai, metalo ir medžio apdirbimo staklės, liftai, eskalatoriai, kranai, sunkvežimiai ir pan. Nors toks gaminys yra brangesnis už serijiniu būdu padarytus gaminius, tačiau jis žymiai pigesnis už vienetinius gaminius.

Mašinų ir įrenginių konstrukcijos projektams sudaryti iš sudedamųjų dalių yra naudojami gaminio konfigūravimo metodai, kurie procesą dalija į du pagrindinius etapus: pirma modeliuojama galimų gaminio konstrukcijos variantų aibė, vėliau iš jos pasirenkamas vienas užsakovo kriterijus atitinkantis variantas. Minėta galimų gaminio variantų aibė darbe vadinama gaminio konfigūravimo modeliu. Jei gaminio konfigūravimo modelyje nėra numatytas visus užsakovo kriterijus atitinkantis variantas – projektuojama nauja gaminio konstrukcijos atmaina ir modelis išplečiamas. Esamų konfigūravimo metodų pagrindinis trūkumas yra tas, kad papildyti gaminio konfigūravimo modelį yra sudėtinga. Kuriant naujus gaminių konstrukcijų variantus yra naudojamos tik modelyje esančios sudedamosios dalys, bet nenumatomas būdas kurti naują konstrukcijos projektą iš labiausiai panašios modelyje esančios gaminio konstrukcijos. Nepakankamai įvertinama, kad gaminio konfigūravimo modelis dažnai keičiamas ir tobulinamas. Taip pat reikalinga galimybė gaminio konfigūravimo modelyje kurti naujas sudedamąsias dalis, gerinant gaminio kokybę, plečiant gaminių pasiūlą ir atsiradus naujiems užsakovų poreikiams.

Darbe daugiausia dėmesio skiriama gaminio konfigūravimo metodo kūrimui sprendžiant minėtus trūkumus. Darbe sudaromi ir tiriami pasirinktų gaminių konfigūravimo modeliai. Nors atliekami tik kelių pasirinktų gaminių konfigūracijų sudarymo tyrimai, gautų rezultatų taikymo sritis yra platesnė – jie gali būti panaudoti ne tik mechanikos inžinerijoje, bet ir kitose srityse.

Tyrimų objektas. Tyrimų objektas yra mašinų ir įrenginių projektavimo proceso dalis, kurioje kuriami ir ruošiami šių gaminių konstrukcijos variantai.

Darbo tikslas ir uždaviniai. Šio darbo tikslas – sukurti gaminio konstrukcijos variantų sudarymo ir parinkimo metodą, kurį taikant būtų greičiau ir lengviau kuriami nauji gaminio konstrukcijos variantai naudojant sudedamąsias dalis, jų savybes ir galimų ryšių tarp sudedamųjų dalių ribojimus.

Pagrindiniai darbo uždaviniai:

1. Remiantis moksline literatūra, išanalizuoti mašinų ir įrenginių konstrukcijos sudarymo iš sudedamųjų dalių metodus, juos palyginti, nustatyti trūkumus.
2. Sukurti gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo būdą, kuriame naujos konstrukcijos gaminio variantai į modelį įtraukiami kopijuojant prototipą.
3. Sukurti gaminio konfigūravimo modelio formalų išreiškimo predikatų logikos formulėmis būdą.
4. Sukurti gaminio konstrukcijos varianto interaktyvaus pasirinkimo būdą, naudojant loginių formulių sprendimo sistemą.
5. Pasiūlyti ir ištirti sukurto gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo ir interaktyvaus varianto pasirinkimo būdo praktinio įgyvendinimo galimybę (sukurti programinės įrangos prototipą, pritaikytą išsirinkti mašinų ir kitų įrenginių konstrukcijos variantus).

Tyrimų metodika. Analitinėje darbo dalyje, atliekant gaminių konfigūravimo metodų ir konfigūravimo sistemų analizę naudojami informacijos tyrimo ir lyginamosios analizės metodai. Kuriant naują gaminio konfigūravimo metodą naudojami koncepcinio modeliavimo metodai. Darbe pasiūlyto metodo praktinei realizacijai naudojami konstravimo ir eksperimentinės analizės metodai.

Mokslinis naujumas. Sukurtas naujas mašinų ir įrenginių konstrukcijos variantų sudarymo metodas, kurio esmė:

1. Naudojant pasiūlytą gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo būdą sudaromas gaminio konfigūravimo modelis.
2. Šis modelis sukurtu būdu išreiškiamas predikatų logikos formulėmis.
3. Gaminio konstrukcijos variantas pagal pageidaujamus kriterijus interaktyviai pasirenkamas sukurtu būdu, kuriame taikoma įvykdomumo su papildomomis teorijomis (*angl. Satisfiability Modulo Theories*) tipo sprendimo sistema.

Praktinė reikšmė. Tyrimo rezultatai parodė, kad disertacijoje pasiūlytas gaminio konstrukcijos variantų sudarymo metodas gali būti naudojamas mašinų gamybos pramonėje. Darbe aprašyti šio metodo įgyvendinimo praktikoje aspektai, sukurtas programinės įrangos prototipas, pateikta pasirinktų gaminių konfigūracijų kūrimo pavyzdžių.

Tyrimų rezultatai pritaikyti įmonės UAB „Čeli APS“ projekte, kuriame kuriama specializuota baldų, jų komponentų ir mechanizmų automatizuoto projektavimo priemonė.

Ginamieji teiginiai

1. Gaminio konstrukcijos variantai sudaromi naudojant esamą sudedamųjų dalių rinkinį, arba projektavimo eigoje šį rinkinį papildant.
2. Numatyti kriterijai pagal kuriuos interaktyviai pasirenkamas gaminio konstrukcijos variantas, atsižvelgiant į užsakovo poreikius.

Darbo apimtis. Darbą sudaro įvadas, trys skyriai, išvados, literatūros sąrašas, autoriaus publikacijų sąrašas ir priedas.

1. Gaminių variantų sudarymo metodų ir sistemų analizė

Šiame skyriuje nagrinėjami mokslinės literatūros apie mašinų, įrenginių ir kitų gaminių variantų konstrukcijos konfigūravimo metodus, analizuojamos pasirinktos komercinės konfigūravimo sistemos, atliekamas jų palyginimas bei įvardinami pranašumai ir trūkumai.

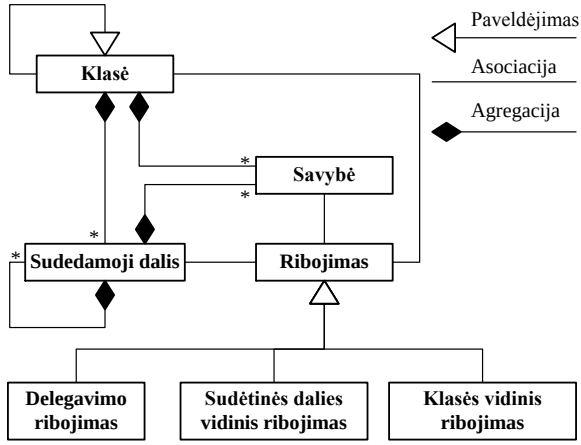
2. Gaminio variantų konstrukcijų sudarymo metodo kūrimas

Šiame skyriuje detaliai nagrinėjamas sukurtas gaminio konfigūravimo metodas. Taip pat nagrinėjamos šio metodo sudėtinės dalys: gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo būdas, šio modelio formalus išreiškimas predikatų logikos formulėmis ir interaktyvaus gaminio konstrukcijos varianto pasirinkimo būdas. Gaminio konstrukcijos konfigūravimo modelio vaizdavimo būdas sukurtas atsižvelgiant į mažų ir vidutinio dydžio pramonės įmonių, dirbančių pagal užsakymus, poreikius:

1. Įtraukti naujos konstrukcijos gaminio variantą į konfigūravimo modelį remiantis artimiausiu esamu variantu.
2. Nusakyti galimų gaminio variantų aibę apibrėžiant leidžiamas gaminio sudedamųjų dalių ir jų savybių kombinacijas.
3. Nusakyti priklausomybes tarp gaminio sudedamųjų dalių ir jų savybių naudojant matematines išraiškas.

Kuriant gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo būdą pritaikyti prototipų kopijavimo ir sudedamųjų dalių klasifikavimo principai. Vaizduojant gaminio konfigūravimo modelį naudojami šie elementai: sudedamosios dalys, klasės, savybės ir ribojimai.

Priklausomybės tarp šių elementų pavaizduotos kaip UML (*angl. Unified Modelling Language*) klasių diagrama (1 pav.). *Sudedamoji dalis* yra visų gaminį sudarančių dalių rinkinys. Sudedamoji dalis gali turėti savo sudėtį (tokiu atveju ji laikoma junginiu), t. y. būti susieta su kitomis sudedamosiomis dalimis. Paveiksle tai pavaizduota kaip ciklinė agregacija, tačiau tai nereiškia, kad ta pati dalis gali būti įtraukta į savo sudėtį. Jei sudėtinė dalis neturi sudėties – ji yra detalė. Sudedamajai daliai gali būti priskirtas tam tikras savybių rinkinys iš visų savybių rinkinio. Tai parodyta kaip agregacijos ryšys (tipas „vienas su daug“) ties savybės elementu. Elementas *klasė* yra visų klasių rinkinys. Klase yra laikoma tokias pačias savybes turinčių sudedamųjų dalių grupė. Klasių paskirtis yra grupuoti dalis ir joms priskirti vienodas savybes ir ribojimus. Konfigūravimo modelyje klasės yra savarankiški elementai arba kuriamos kaip paveldinčios informaciją iš esamų klasių. Čia paveldėjimas suprantamas pagal įprastą objektinių kalbų semantiką – paveldėta klasė perima visas tėvinės klasės savybes, tačiau gali būti pataisyta ir įgyti naujų savybių (klasės specializacija).



1 pav. Gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo būdo schema

Elementas *savybė* yra sudarytas iš savybių rinkinio. Savybės gali atspindėti gaminio ar sudedamųjų dalių ypatybes, fizines savybes ir pan. Savybės jungiamos tiek prie klasių, tiek prie sudedamųjų dalių. Kiekviena savybė yra susieta su tam tikra baigtine galimų reikšmių sritimi arba skaičių aibe. Konfigūravimo modelio elementas *ribojimas* yra loginių formulių, jungiančių sudedamąsias dalis, klases ir savybes, rinkinys. Paveiksle tai vaizduojama asociacijos ryšiu. Pagrindinė ribojimų paskirtis yra nusakyti taisykles ir išimtis, kurių negalima išreikšti naudojant klases ir kopijuojant prototipus. Ribojimai savo ruožtu skaidomi į keletą tipų: pagrindiniai ribojimai ir vidiniai klasių, sudedamųjų dalių bei prototipų informacijos delegavimo kopijai ribojimai. Pagrindiniai ribojimai gali būti kuriami įtraukiant bet kurį konfigūracinio modelio elementą, dėl to jie nepriklauso nei vienam iš elementų. Vidiniai ribojimai savo sandara nesiskiria nuo pagrindinių, tačiau jie yra susieti su tam tikra grupe konfigūracinio modelio elementų.

Aukščiau minėtais elementais ir ryšiais nusakoma gaminio variantų informacijos aprašymo sandara. Taip pat yra svarbūs naujų variantų kūrimo metodai. Prototipų kopijavimas yra suprantamas kaip veiksmas, kai iš esančio gaminio varianto kuriamas naujas variantas, kuriame galimi pakeitimai. Naudojant prototipų kopijavimą galimi keli būdai: naujo kūrimas (*ex nihilo*) ir esamos sudedamosios dalies kopijavimas. Pirmasis būdas tinka pradinei gaminio informacijai suvesti, kuriant dalis, klases ir savybes. Prototipo kopijavimo būdas taikomas tik sudedamosioms dalims. Kopijuojant sudedamąją dalį taip pat kuriamas vidinis delegavimo ribojimas, kuris užtikrina ryšį tarp prototipo ir jo kopijos.

Gaminio konfigūravimo modelio formali išraiška

Aukščiau aprašytą gaminio konfigūravimo modelį galima laikyti ribojimais susietų kintamųjų rinkiniu. Ieškant gaminio varianto reikia ieškoti tokių kintamųjų reikšmių, kurios tenkintų visus konfigūravimo modelio ribojimus. Ši situacija yra panaši į ribojimų tenkinimo uždavinių (*angl. Constraint satisfaction Problem* CSP) sprendimą. Siekiant įgyvendinti pasiūlyto konfigūravimo modelio elementus, naudojama CSP formali išraiška ir pateikiamas jos išplėtimas.

1 apibrėžimas. Bendrasis ribojimų tenkinimo uždavinys CSP yra (X, D, C) rinkinys, čia:

1. X yra baigtinis kintamųjų rinkinys $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, o D yra rinkinys $\{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, kur D_i yra baigtinė kintamojo x_i reikšmių sritis.
2. $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ yra ribojimų rinkinys. Kiekvienas ribojimas c_i yra pora (S, R), kur $S \subseteq X$ yra ribojimo sritis, o R yra ryšys tarp kintamųjų S.

3. Ryšys R tarp kintamųjų $S, S \subseteq X$ yra galimų reikšmių kombinacijų rinkinys tarp S kintamųjų.

Jei $S = \{x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mk}\}$, tada $R \subseteq (D_{m1} \times D_{m2} \times \dots D_{mk})$. Ryšys R apriboja būdus, pagal kuriuos S kintamiesiems būtų galima priskirti reikšmes. Priskyrimu vadinama pora (x_i, v), kur $x_i \in X$ ir $v \in D_i$. Priskyrimas (x_i, v) susieja kintamojo x_i reikšmę su v. Dalinis priskyrimas PA yra kintamųjų priskyrimų rinkinys Y, kur $Y \subseteq X$. Dalinis priskyrimas laikomas visišku, kai $Y = X$. Visiškas priskyrimas CA yra laikomas CSP sprendimu, kai CA tenkina visus C ribojimus.

Kadangi sukurtame gaminio konfigūravimo modelyje ribojimai yra loginės išraiškos, o prototipo kopijavimas sukuria alternatyvias sudedamąsias dalis, siektina visą konfigūravimo modelį laikyti logine išraiška ir apibrėžti jo elementus loginėmis formulėmis. Dėl to CSP apibrėžimas keičiamas į loginę formulę. Tai pasiekiama kiekvieną CSP kintamąjį priskiriant binarinei sričiai $\mathbb{B}$. Tai vadinama propoziciniu ribojimų tenkinimo uždaviniu, kurį nesunku išreikšti logine formule. Tokiu atveju ribojimų rinkinys $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ verčiamas į konjunkcinę formulę:

$$p = \bigwedge_{i=1}^{m} c_i ; \tag{1}$$

čia kiekvienas ribojimas c_i yra kintamųjų X normalioji disjunkcinė forma:

$$c_i = \bigvee_{j=1}^{n} \left(\bigwedge_{k=1}^{m} x_{j,k} \right). \tag{2}$$

Kiekviena interpretacija, tenkinanti formulę p, atitinka pradinį CSP uždavinio sprendimo rezultatą. Gautoji formulė priklauso teiginių logikai. Formulę p toliau galima pakeisti naudojant pirmojo laipsnio logiką, $p = \mathrm{T2B}(\varphi)$. Tokiu atveju kiekvienas propozicinis kintamasis turi atitinkamą atomą φ formulėje. Atomų prigimtis priklauso nuo pamatinės teorijos T. Sprendžiant konfigūravimo uždavinius labiausiai tinkama sveikų ir racionalių skaičių tiesinių lygčių teorija be kvantorių $LA(\mathbb{ZR})$, kurioje jų atomai yra $a_1 \cdot y_1 + \dots + a_n \cdot y_n \bowtie a_0$, $\bowtie \in \{\leq, <, =, \neq, >, \geq\}$ tiesinių lygčių pavidalo. Nariai y_i, a_i atitinkamai yra termai ir konstantos, kurių reikšmių sritis yra aibės $\mathbb{Z}$ arba $\mathbb{R}$. Tai leidžia išvengti CSP apibrėžimo ribojimo, kur kiekvienam kintamajam priskiriama baigtinė reikšmių sritis.

Pirmojo laipsnio logika nėra išsprendžiama, t. y. nėra formalaus algoritmo, kuriuo būtų galima nustatyti formulės įvykdomumą. Tačiau yra įrodyta, kad

formulės yra išsprendžiamos, jei naudojami tik vienanariai predikatai. Šis atvejis yra vadinimas monadine predikatų logika, kuria toliau bus remiamasi.

2 apibrėžimas. Gaminio konfigūravimo modelis PCM yra rinkinys $\{P, C, A, F\}$, sudarytas iš savybių rinkinio $P = \{p_1, \dots, p_i\}$, klasių rinkinio $C = \{c_1, \dots, c_k\}$, sudedamųjų dalių rinkinio $A = \{a_1, \dots, a_n\}$, ribojimų rinkinio $F = \{f, \dots f_m\}$ ties A, P ir C.

Savybė p_i apibrėžiama kaip:

$$p_i = \{x_p, D(q)\}; p_i \in P; \tag{3}$$

čia x_p yra Būlio atomas, nusakantis savybės egzistavimą, o $D(q)$ yra vienanaris predikatas, turintis savybės reikšmę. Termo q reikšmių aibė gali būti propozicinė, baigtinis sąrašas, sveikieji ir racionalieji skaičiai:

$$D(q), q \in \{\mathbb{B}, \mathbb{E}, \mathbb{Z}, \mathbb{Q}\}. \tag{4}$$

Klasė c_i yra vienodus požymius turinčių sudedamųjų dalių rinkinys:

$$c_i = \{A_c, P_c\}; \tag{5}$$

čia $A_c \subset A$ ir $P_c \subset P$. Savybės gali būti priskirtos klasei taikant implikacijos formulę kiekvienai savybei:

$$\bigvee_{i=1}^{n} A_c.x_i \rightarrow P_c.x_r. \tag{6}$$

Tai nusako, kad jei nors viena sudėtinė dalis x_i iš klasės A_c yra konfigūracijoje, savybė x_r taip pat privalo turėti reikšmę.

Pagrindinis konfigūravimo modelio elementas yra sudėtinė dalis a_i, apibrėžta kaip:

$$a_i = \{x_a, x_{ap}, x_{as}, P_a, S\}; a_i \in A; \tag{7}$$

čia:

x_a – Būlio atomas, nusakantis sudėtinės dalies egzistavimą gaminio konstrukcijoje;

x_{ap} – Būlio atomas, nusakantis, ar sudėtinė dalis yra naudojama kaip prototipas;

x_{as} – Būlio atomas, nusakantis, ar sudėtinė dalis yra junginys, turintis

sudėtį;

$P_a \in P$ – savybių rinkinys;

S – vidinių sudėtinės dalies ribojimų rinkinys, nusakantis sudėties ryšius su kitomis dalimis.

Sudarant gaminio konfigūravimo modelį kiekvienas sudaromosios dalies vienetas yra nusakomas atskiru a_i apibrėžimu. Tai reikalinga, nes keletas tos pačios sudaromosios dalies vienetų gali tapti skirtingomis dalimis, jei ribojimais bus implikuotos skirtingos savybių reikšmės arba pakeista sudėtis.

Pagrindinis sudedamosios dalies komponentas yra Būlio atomas, kuris nusako, ar sudėtinė dalis yra įtraukiama į gaminio varianto sudėtį. Galimas specialus sudėtinės dalies atvejis $a_i = x_a$, reiškiantis, kad sudėtinė dalis yra paprasta detalė, neturinti nei savybių, nei sudėties. Būlio atomai x_a, x_{ap}, x_{as} yra susieti tokia priklausomybe:

$$\begin{gathered} x_a \to \left(\neg x_{ap} \wedge x_{as}\right) \wedge \\ \neg x_a \to \left[\left(x_{ap} \wedge \neg x_{as}\right) \vee \left(\neg x_{ap} \wedge \neg x_{as}\right)\right]. \end{gathered} \tag{8}$$

Tai reiškia, kad jei atomas x_a yra konfigūracijoje, jo sudėtis yra implikuota ir jis negali būti prototipu. Kitu atveju, jei x_a nėra konfigūracijoje, vadinasi, jis yra naudojamas kaip prototipas. Tada sudėtyje esančios sudėtinės dalys yra atjungiamos ir iš naujo apibrėžiamos prototipo kopijoje. Jei sudedamoji dalis nėra niekur naudojama kaip prototipas, tokiu atveju papildomas atomas $\neg x_{ap}$ turi būti įtrauktas į gaminio konfigūravimo modelį.

Sudėtinės dalies x_a sudėtis x_{as} yra išreiškiama formule:

$$\left(x_{as} \wedge \neg x_{ap} \to \bigwedge\nolimits_{k=1}^{n} a_k\right) \vee \left(\neg x_{as} \wedge \neg x_{ap} \to \bigwedge\nolimits_{k=1}^{n} \neg a_k\right). \tag{9}$$

Tai implikacija, nusakanti, kad jei a_i sudėtis egzistuoja, visi susieti komponentai a_k $(k = 1 \ldots n)$ turi būti įtraukti į gaminio konfigūraciją.

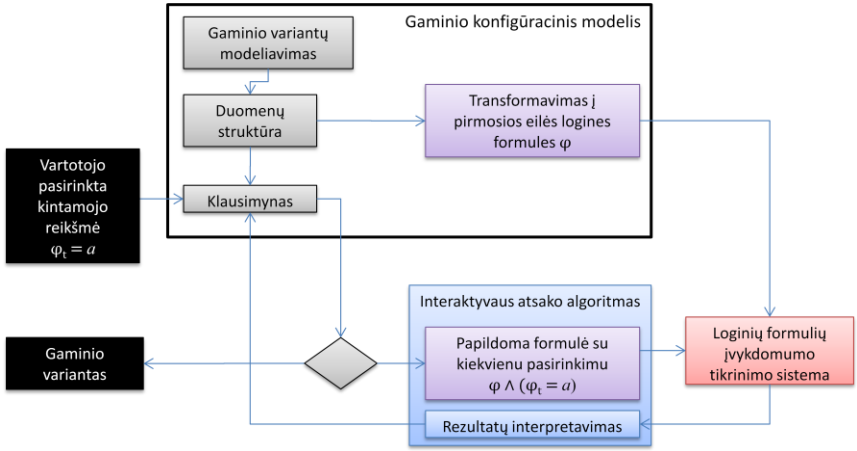
Ribojimai yra loginė formulė f_k, sudaryta naudojant logines jungtis su kitais modelyje esančiais atomais. Tipinė ribojimų loginės formulės išraiška yra $y_i = v$, kur $v \in \{x_a, x_{ap}, x_p, q\}$ pagal (7) išraišką arba tiesinės lygtys pagal pamatinę teoriją $LA(\mathbb{ZR})$. Todėl kiekviena formulė f_k yra šios formos išraiška:

$$\begin{gathered} \phi \equiv (a_1 \cdot y_1 + \cdots + a_n \cdot y_n \bowtie a_0 | \phi \wedge \psi | \neg \phi) \\ \bowtie \in \{\leq, <, =, \neq, >, \geq\}. \end{gathered} \tag{10}$$

Šiame apibrėžime vietoj kintamųjų gali būti naudojamas bet kuris konfigūravimo modelio sudedamųjų dalių arba savybių atomas x_a arba x_p.

Gaminio konstrukcijos varianto interaktyvaus pasirinkimo metodas

Šiame poskyryje detaliai aprašomas siūlomas gaminio konstrukcijos varianto interaktyvaus pasirinkimo metodas. Metodo schema pateikta 2 paveiksle. Metodas sudarytas iš dviejų pagrindinių etapų: potencialių variantų modeliavimo ir užsakymo varianto pasirinkimo.



2 pav. Gaminio konstrukcijos varianto interaktyvaus pasirinkimo metodo schema

Pirmas etapas grindžiamas prielaida, kad gaminio projektavimas vyksta už metodo schemos ribų. Gaminio konfigūravimo modelis yra gaminio variantų konstrukcijų ir jų savybių žinių bazė, tačiau tai nėra projektavimo aplinka. Suprojektavus gaminį CAD sistemoje, jo konstrukcija atkartojama gaminio konfigūravimo modelyje naudojant sudėtinių dalių, savybių, klasių ir ribojimų elementus. Ši informacija saugoma modelio duomenų bazėje, kurios struktūros įgyvendinimo klausimai yra išsamiai aprašyti disertacijoje. Įtraukiant naujus gaminio variantus į konfigūravimo modelį galimi du keliai: a) jei keičiasi konstrukcija, t. y. atsiranda pasikeitimų geometrijoje, tokį variantą iš pradžių būtina projektuoti ir patikrinti CAD sistemoje ir tik tada įtraukti į modelį; b) jei naujame variante keičiasi arba atsiranda naujų savybių ar dalių, nedarančių įtakos konstrukcijai, tokiu atveju variantą galima iš karto sukurti konfigūravimo modelyje.

Antrame etape vykdomas konkretaus gaminio varianto parinkimas naudojant konfigūravimo modelio klausimyną. Šis klausimynas – tai sąrašas, kurio klausimus atitinka konfigūravimo modelio loginiai kintamieji. Iš šio

sąrašo vartotojas gali bet kokia tvarka rinktis po vieną kintamąjį ir priskirti reikšmę iš kintamojo reikšmių srities (pvz., pasirinkti, kad tam tikra sudedamoji dalis būtų galutiniame gaminio variante). Vartotojo pasirinkimas yra išreiškiamas logine formule $\varphi_t = a$, čia φ_t – kintamasis, o a – pasirinkta reikšmė. Prieš pradedant interaktyvaus pasirinkimo procesą, gaminio konfigūravimo modelis transformuojamas į konjunkcijos loginę formulę tokia seka:

1. Kuriama loginė formulė pagal kiekvieną *ribojimo* rinkinio narį.
2. Kuriama loginė formulė prototipų informacijai deleguoti pagal (8) formulę.
3. Kuriamos formulės, nusakančios sudėtinių dalių sudėtį pagal (9) formulę.
4. Kuriamos formulės *klasės* tipo elementams pagal (6) formulę.
5. Visos formulės, gautos etapuose 3–6, sujungiamos į bendrą konjunkcijos formulę φ.

Gauta φ formulė perduodama į įvykdomumo tikrinimo sistemą. Vėliau prie šios formulės prijungiama vartotojo pasirinkimo formulė $\varphi \wedge (\varphi_t = a)$ ir tikrinamas įvykdomumas. Interpretavus gautus rezultatus, atnaujinamas klausimynas. Atsižvelgiant į gaminio konfigūravimo modelyje esančius ribojimus po rezultatų interpretavimo likę laisvi tam tikri kintamieji gali įgauti reikšmes kaip loginę išvadą, taip pat gali susiaurėti kai kurių kintamųjų reikšmių sritis. Šis ciklas kartojamas tol, kol klausimyne yra likęs nors vienas laisvas kintamasis. Kai visi loginiai kintamieji įgauna konkrečią reikšmę, šis reikšmių rinkinys atspindi gaminio variantą. Kadangi kiekvienas kintamasis atitinka tam tikrą gaminio konfigūravimo modelio elementą, iš žinių bazės nesudėtinga surasti gaminio sudėtinių dalių aprašus ir suformuoti galutinę gaminio varianto specifikaciją.

Kuriant gaminio konstrukcijos varianto interaktyvaus pasirinkimo metodą buvo analizuojamos esamos loginių formulių įvykdomumo tikrinimo sistemos ir suformuotas interaktyvaus atsako algoritmas. Analizuoti buvo pasirinktos dviejų skirtingų tipų sistemos: įvykdomumo pagal pamatines teorijas tikrinimo sistema (*angl. Satisfiability Modulo Theory (SMT) solver*) ir loginių ribojimų programavimo baigtinėse aibėse sistema (*angl. Constraint Logic Programming over Finite Domains CLP(FD) solver*). Nors pasirinktų sistemų naudojami metodai yra labai skirtingi, tačiau abiem atvejais pradinė problema turi būti suformuota pirmojo laipsnio loginėmis formulėmis. Disertacijoje išsamiai nagrinėjami šių tipų sistemų panašumai ir skirtumai bei pateikiami interaktyvaus atsako algoritmo įgyvendinimo būdai.

3. Gaminio konfigūravimo modelio naudojimo tyrimas

Šiame skyriuje pateikiami dviejų tyrimų rezultatai: gaminio konfigūravimo modelio efektyvumo tyrimo ir interaktyvaus atsako algoritmo greitaveikos tyrimo. Siekiant įvertinti pasiūlyto gaminio konfigūravimo modelio efektyvumą, buvo atliekamas šaldytuvo šaldiklio variantų modeliavimas. Šio gaminio bendras sudėtinių dalių skaičius yra 1860 vnt. ir 75 skirtingos savybės. Tyrime atliekamas palyginimas, modeliuojant tą patį gaminį dar dviejose skirtingose sistemose. Pagrindinis dėmesys skiriamas modeliavimo trukmei, tačiau dėl ilgos tyrimo trukmės ir nevienodų sąlygų sudėtinga objektyviai atlikti palyginimą.

1 lentelė. Sąlygos, darančios įtaką gaminio konfigūravimo modelio efektyvumo tyrimui

Sąlyga	Sistemos „Intermech Search“ metodas	W_1	Sistemos„Configit“ metodas	W_2	Pasiūlytas konfigūravimo modelio metodas	W_3
Trukmė	Bendra trukmė nuo projekto pradžios iki pabaigos. Tiksliai nežinoma, kiek laiko sugaišta kitoms lygiagrečiai vykusioms užduotimis.	0,6	Registruojamos faktiškai praleistos valandos, įskaitant mokymąsi naudotis sistema.	0,8	Registruojamos faktiškai praleistos valandos.	1
Žmogiškieji ištekliai	1 dalyvis, tačiau kartais dirbo 2	1,5	1 dalyvis	1	1 dalyvis	1
Sudėtingumas	Modelis buvo kuriamas nuo pradžių. Reikėjo analizuoti gaminio konstrukciją, identifikuoti jo savybes.	1	Modelio logika atitinka „Intermech Search“. Reikėjo surasti, kaip išreikšti gaminį šios sistemos elementais.	1,8	Modelio logika atitinka „Intermech Search“, ir jis buvo kuriamas naudojant UML klasių diagramą.	2
Programinės įrangos naudojimo įgūdžiai	Darbai pradėti iš karto po įvadinio mokymo. Modeliavimas ir patirties kaupimas vyko vienu metu. Menkos pagrindinio dalyvio IT žinios.	0,7	Modeliavimas ir patirties kaupimas vyko vienu metu.	0,9	Modeliavimas vyko naudojant „MS Visio“, kadangi pagal šį metodą nėra sukurtos programinė įrangos.	0,8
Sudėtinių dalių nomenklatūra	Esamų komponentų pasirinkimas iš PDM duomenų bazės	1	Surinkimas iš naujo	0,95	Surinkimas iš naujo	0,95
Bendras svoris		**0,63**		**1,23**		**1,52**

Taip pat atsiranda pasiūlyto gaminio konfigūravimo modelio šališkas vertinimas, kadangi jis buvo kuriamas nuo pradžių ir dėl to geriausiai žinomas. Taip pat išryškėjo neigiamas faktorius – bandymai buvo atliekami vienas po kito ir tas pats dalyvis tiesiogiai dalyvavo visuose 3 bandymuose, todėl įgijo tiek patirties, tiek įgūdžių. Idealiu atveju bandyme turėtų dalyvauti skirtingos komandos, turinčios vienodą išsilavinimą, patirtį ir technines žinias apie gaminio konstrukciją. Dėl išteklių trūkumo metodų bandymai buvo atliekami

skirtingomis sąlygomis. Šios sąlygos apibrėžiamos kiek įmanoma objektyviau nustatant įtaką bandymui ir ją įvertinant svorio koeficientu (1 lentelė). Tokiu atveju bendras išmatuotas laikas yra koreguojamas šiais koeficientais.

Kadangi negalima tiksliai nustatyti, kiek valandų užtruko gaminio konfigūravimo modelio kūrimas sistemoje „Intermech Search“, tačiau yra aiški pražios ir pabaigos datos, bendra trukmė skaičiuojama dienomis, atmetus savaitgalius, šventines dienas ir atostogas.

Pagal pakoreguotos trukmės rezultatus (2 lentelė) sistemos „Configit“ metodas yra beveik 6 kartus efektyvesnis nei „Intermech Search“, o šiame darbe pasiūlytas gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo metodas, įvertinus faktorių įtaką, yra 26 % efektyvesnis nei sistemoje „Configit“ naudojamas metodas. Tačiau būtina atsižvelgti į matavimo paklaidas, į nevienodas sąlygas, todėl realiai pasiūlytas metodas yra apie 20–30 % efektyvesnis.

2 lentelė. Gaminio konfigūravimo modelio sudarymo trukmė

Tyrimo trukmė	**Sistemos „Intermech Search“ metodas**	**Sistemos „Configit“ metodas**	**Naudojant sukurtą metodą**
Nustatyta trukmė	388 d.	254 val. = 31,75 d.	162 val. = 20,25 d.
Pakoreguota trukmė	244,4 d.	39 d.	30,78 d.

Dėl pasiūlytame konfigūravimo modelyje esančios prototipų kopijavimo galimybės sutaupyta laiko, lyginant su kitais dvien tirtais metodais. Sudarant šaldytuvo šaldiklio variantus ši galimybė buvo dažnai naudojama. Taip pat tikėtina, kad pasiūlyto konfigūravimo gaminio modelio pagrindu sukūrus programinę įrangą, atitinkančią sistemos „Configit“ lygmenį, galimas papildomas 10–15 % laiko sutaupymas.

Eksperimentinis konfigūravimo modelio tyrimas

Siekiant patikrinti gaminio konfigūravimo modelio interaktyvaus sprendimo algoritmo greitaveiką, buvo sukurtas programos prototipas. Šio prototipo tikslas – patikrinti atsako vartotojui trukmę gaminio konstrukcijos varianto sudarymo metu, naudojant įvairias CLP(FD) (*angl. Constraint Logic Programming over Finite Domains*) ir SMT (*angl. Satisfiability Modulo Theories*) sprendimo sistemas, bei nustatyti, kuri iš jų labiausiai tinkama. Dėl šios priežasties prototipe nėra įgyvendinta daugelis komerciniuose konfigūratoriuose esančių savybių. Atliekant tyrimą buvo naudojami viešai

prieinami gaminių (asmeninis kompiuteris, supaprastintas automobilio modelis, dviratis, trijų tipų kompresoriai) konfigūravimo modeliai iš „CLib“ bibliotekos. Tyrimas atliktas atsitiktinai renkantis minėtų gaminių savybes ir matuojant sprendimo sistemos atsako laiką. Tyrimui pasirinkti gaminiai yra vidutinio dydžio ir sudėtingumo, bet nėra trivialūs. Taip pat reikia atsižvelgti, kad realūs mašinų, įrengimų ir kitų panašių gaminių modeliai gali būti sudėtingesni, dėl to gali skirtis ir atsako trukmė.

Tyrimo metu nustatyta greičiausia CLP(FD) tipui priklausanti sistema – „Sicstus Prolog“. Sukurtas prototipas naudojantis šią CLP(FD) sistemą yra beveik penkis kartus greitesnis pagal atsako laiką nei analogiškas prototipas naudojantis SMT, tačiau nė viena tirta CLP(FD) sistema negali užtikrinti, kad konfigūravimo procesas baigtųsi gaminio varianto išrinkimu, kai loginiuose ribojimuose yra naudojamos tiesinės lygtys. Dėl šios priežasties interaktyvus pasirinkimo metodas naudojant CLP(FD) nėra tinkamas pagal pasiūlytą konfigūravimo gaminio modelį.

Tyrimui su SMT tipo sistema pasirinkta „Microsoft Z3“, kadangi ji pasirodė geriausiai šios rūšies sistemų varžybose SMT-COMP’08. Bandymai su pasirinktais konfigūruojamais produktais parodė, kad naudojant SMT sprendimo sistemą vidutinė atsako trukmė yra 0,25 sek., kuri yra pakankama pagal nustatytus interaktyvumo kriterijus. Nors darbe pasiūlytas metodas yra iki 20 kartų lėtesnis nei tyrime nustatytas geriausiu sistemos „Configit“ metodas, tačiau jis iki 4 kartų greitesnis nei CSP metodas.

Taip pat būtina atsižvelgti, kad pagal sukurtą metodą konfigūravimo sistemą įgyvendinus geriau nei šiame darbe sukurtas prototipas, galima dar mažesnė interaktyvaus atsako trukmė, kuri svarbi projektuojant ir išsirenkant mašinų ir kitų įrenginių modelių variantus.

Bendrosios išvados

1. Atlikus literatūros apie projektuojamų mašinų, įrenginių ir kitų gaminių konstrukcijos variantų sudarymo metodų analizę nustatyta, kad nė vienas iš darbe nagrinėtų metodų nesuteikia galimybės kurti naujų gaminio konstrukcijos variantų remiantis panašiausiu gaminio konstrukcijos variantu.
2. Sukūrus gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo ir šio modelio formalaus išreiškimo predikatų logikos formulėmis metodus nustatyta, kad modeliuojant gaminio konstrukcijos variantus loginiais ribojimais su tiesinėmis lygtimis ir kuriant naujas sudedamąsias dalis reikia iki 25 % mažiau taisyklių, apibrėžiančių galimus gaminio variantus.

3. Naudojant pasiūlytą gaminio konfigūravimo modelio vaizdavimo metodą greičiau ir patogiau modeliuojami gaminio konstrukcijos variantai. Nustatyta, kad modeliuojant šaldytuvo šaldiklio konstrukcijos variantus sukurtas metodas sutaupo apie 20–30 % laiko sąnaudų, lyginant su šio darbo analizėje nustatytu geriausiu metodu.
4. Tyrimu nustatyta, kad interaktyviai sudarant gaminio varianto konstrukciją pasiūlytas metodas tenkina interaktyvaus atsako reikalavimus, bet yra iki 20 kartų lėtesnis nei analizėje nustatytas geriausias metodas. Tačiau naudojant minėtą metodą galima sudaryti gaminio konstrukcijų variantų modelius tik iš jau esančių sudedamųjų dalių, o pasiūlytu metodu kuriami naujos konstrukcijos gaminių variantų modeliai, sukuriant ir naudojant naujas sudedamąsias dalis.

Publikacijų disertacijos tema sąrašas
Recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose

Burneika, L. 2008. Abstract structure of configuration system for product data management system, *Aviation* 12(4): 124–128. ISSN 1648–7788.

Burneika, L. 2008. Managing changes in product configurations, *Solid State Phenomena, Mechatronic Systems and Materials II*, vol. 144, 208–213. ISSN 1012–0394 (ISI Web of Science).

Burneika, L. 2008. Product configurator for product data management system: design of internal structure, *Mechanika* 3(71): 51–56. ISSN 1392–1207 (ISI Web of Science).

Kituose leidiniuose

Burneika, L. 2009. Interactive product configurator based on satisfiability module theories solver, in *Proceedings of the 14th Internation Conference Mechanika, Kaunas, Lithuania, 2009*. Kaunas: Technologija, 69–75. ISSN 1822–2951 (ISI Proceedings).

Trumpos žinios apie autorių

Linas Burneika gimė 1980 m. kovo 2 d. Vilniuje. 2002 m. įgijo mechanikos inžinerijos bakalauro kvalifikacijos laipsnį Vilniaus Gedimino technikos universiteto Mechanikos fakultete. 2004 m. įgijo informacinių technologijų magistro kvalifikacijos laipsnį Vilniaus Gedimino technikos

universiteto Fundamentinių mokslų fakultete. 2005–2009 m. Vilniaus Gedimino technikos universiteto doktorantas. Šiuo metu dirba įmonėje UAB „Čeli APS“.

RESEARCH OF FORMING THE PRODUCT'S CONSTRUCTION USING CONSTITUENT PARTS

Topicality of the problem. In modern machine manufacturing business there is a growing tendency towards designing of custom tailored products. The construction of the product is changed usually during the customization according to the requirements of the customer. The product design costs depend on the lot size and make a small fraction of total expenditures in mass or batch production, because these costs are distributed to every item produced. However if the design of product is tailored to the needs of nearly every customer, the design costs take a significant share in the final price. The time and labor expenditures of design process can be reduced for majority of machines and equipment, if the product model is composed form the existing constituent parts. Therefore instead of one-off production, different parts of product are batch produced and assembled individually later, according to the selected product design variant. The examples of such products are refrigerators, metal and wood processing machines, elevators, escalators, hoisting cranes, trucks, and so on. Even though the customizable products are more expensive than mass or batch produced ones, they are much less expensive than one-off or small batch production.

The product configuration methods are used for creating product construction variants. These methods contain two main phases: initially a set of all available variants of product construction are modeled, later a specific product variant is selected with respect to the customer's criteria. This set of all product variants is further called the product configuration model. If there is no such construction variant that meets customer's requirements in the product configuration model created in advance, then the new variant has to be designed and included into the configuration model.

Currently there exist various configuration systems for composing of machines and equipment from constituent parts. Such system can be used for composing of structure of product variant from predefined set of parts. The deficiency of such systems is that predefined parts are used only. There are not abilities foreseen to create new product's features by adding new constituent parts. Also it is not taken into account frequent changes and development of product configuration model.

The doctor's dissertation is intended to propose solution for these issues by research of method for faster development of product variants and their

construction. Several selected configurable products are analyzed in this work. Despite of small sample set taken for the analysis, the scope of application of the results is wide – they can be used not in the mechanical engineering only, but in other fields as well.

Research object. The object of the research is a stage of machine and equipment design process, where variants of these products are created and defined.

Aim and tasks of the work. The aim of this work is to develop the method for defining the variants of product's construction. Using this method, new variants of product construction model should be created faster and easier, being composed from the constituent parts, their properties, and constraints among the relations of the parts.

The main tasks of the work:

1. To make analysis based on scientific literature of machine and equipment construction forming from constituent parts using currently existing product configuration approaches, their comparison, and description of advantages and weaknesses.
2. To propose the novel representation method of product configuration model with ability to add new variants of different construction into the configuration model by copying a prototype.
3. To propose formal expression of the product configuration model using predicate logic formulas.
4. To propose the method for interactive selection of product's variant construction using logical constraint solver.
5. To investigate the practical implementation and evaluation of product configuration model representation and interactive selection method in machine manufacturing (to develop a prototype of software for creating variants of machines and other equipment).

Methodology of research. The information research and comparative methods were used to collect and present the knowledge from the field of product configuration methods and existing commercial configuration systems. The conceptual modeling methods were used to propose a novel method for forming variants of product construction. The construction and experiment methods have been used to implement and evaluate efficiency and viability of the proposed method.

Scientific novelty. While preparing the thesis novel method for forming of machine and equipment construction using created representation of product configuration model is developed, which essence is:

1. Using the proposed representation of product configuration model a model of configurable product is created.
2. This model is expressed into a set of predicate logic formulas.
3. The product variant is obtained by using method for interactive selection with respect to user's requirements and evaluation of logic formulas with Satisfiability Modulo Theories solver.

Practical value. The results of investigation concluded that the proposed method of forming variants of product construction from the constituent parts could be implemented and used in practice. There are provided details of implementation, developed a prototype of software, and also presented examples of product configuration model creation for selected products. The results of research were applied in project of joint stock company Čeli APS, in which the specialized application is developed for design of furniture, their components and mechanisms.

Presented for defense

1. The variants of product construction are formed from the set of existing constituent parts, or creating new parts in the process of product design.
2. The variant of product construction could be selected interactively according to predefined in advance criteria of product configuration model.

Scope of the scientific work. The scientific work consists of introduction, three chapters, conclusions, a list of references, a list of publications by the author, and appendix.

The first chapter covers an analysis of scientific literature about the most popular means for product configuration, provides comparison of different methods used for configuration tasks. In the second chapter, there is the representation method of product configuration model provided and its formal definition. It is based on the results of research described in the first chapter. In the third chapter several case studies of the usage of proposed configuration model are described. There are also presented the results of comparative test of the proposed configurable product modeling method with respect to other existing product configuration modeling approaches. Finally, the results of performance of practically implemented software prototype are provided.

General conclusions

1. The analysis of current methods of forming construction variants of machines and equipment resulted, that neither of the methods analyzed allows defining new variant of product construction based on most similar construction variant.
2. The research of developed method of representation of product configuration model and method of expression of this model into predicate logic formulas concluded, that product variants modeled using logic constraints with linear equations and creating new constituent parts needs up 25% less rules for defining potential product variants.
3. The proposed configuration model of forming product‘s construction is more efficient and faster for defining variants of products. Investigations concluded that modeling of construction variants of refrigerator freezer using the proposed method is approximately 20–30% more time efficient, compared to analyzed best-in-class method.
4. The research shows that created method for interactive selection of product construction satisfies defined interactivity requirements, but is slower up to 20 times than the best-in-class analyzed method. However, that method allows forming product’s construction only from predefined parts, whereas the proposed method allows forming constructions of new product variants by creating and using new constituent parts.

About the author

Linas Burneika was born in Vilnius, on 2 of March 1980.

First degree in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, 2002. Master of Science in Information Technologies, Faculty of Fundamental Sciences, Vilnius Gediminas Technical University, 2004. In 2005–2009 – PhD student of Vilnius Gediminas Technical University. At present works in joint stock company Čeli APS.

Linas Burneika

GAMINIO KONSTRUKCIJOS SUDARYMO NAUDOJANT SUDEDAMĄSIAS DALIS TYRIMAS

Daktaro disertacijos santrauka
Technologijos mokslai, mechanikos inžinerija (09T)

Linas Burneika

RESEARCH OF FORMING THE PRODUCT'S CONSTRUCTION USING CONSTITUENT PARTS

Summary of Doctoral Dissertation
Technological Sciences, Mechanical Engineering (09T)

2010 01 05. 1,5 sp. l. Tiražas 70 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika", Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, *http://leidykla.vgtu.lt*
Spausdino UAB „Baltijos kopija",
Kareivių g. 13B, 09109 Vilnius , *http://www.kopija.lt*