

## Programų inžinerijos nefunkcinių reikalavimų neprieštaringumo ir išsamumo vertinimas

Lina PAŠKEVIČIŪTĖ, Albertas ČAPLINSKAS\*

el. paštas: l.paskeviciute@it.lt, alcapl@ktl.mii.lt

### Įvadas

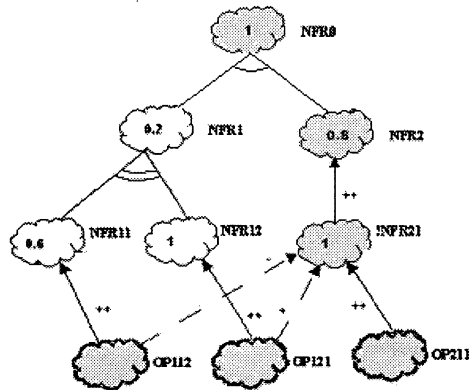
Reikalavimų inžinerijoje skiriami funkciniai ir nefunkciniai programų sistemos reikalavimai. Funkciniai reikalavimai (FR) nusako sistemos pradinius duomenis ir rezultatus bei jų tarpusavio sąryšius. Nefunkciniai reikalavimai (NFR) nusako tiek pradinių duomenų ir rezultatų, tiek ir proceso, kuriuo iš pradinių duomenų yra gaunami rezultatai, kokybines ypatybes. Reikalavimai yra projektiškai išsamūs, jei visiems reikalavimams yra nurodytas jų įgyvendinimo būdas. Reikalavimai yra neprieštaringi jei tarp jų nėra konfliktų, t.y., jei nėra tokių reikalavimų, kurių įgyvendinimas neigiamai kliudytų įgyvendinti kitus reikalavimus.

NFR analizė, lyginant ją su FR analize, yra gana nauja reikalavimų inžinerijos šaka. Kol kas pasiūlyta tik keletas formalizuotų NFR analizės būdų. Išsamiausiai NFR nagrinėjami vadinamojoje tikslinėje programų sistemų inžinerijoje. Jos pagrindinė idėja – suformuluoti pagrindinius tikslus (siekius), kurių siekiama, kuriant programų sistemą, siekius išdėliuoti ir galiausiai juos operacionalizuoti. Pasiūlytos kelios šitaip formuluojamų NFR analizės metodikos. Žinomiausia iš jų yra Toronto grupės metodika [1]. Joje akcentuojama konfliktuojančių reikalavimų paieška, tačiau priimtų projektavimo sprendimų apie reikalavimų įgyvendinimą išsamumo įvertinti ji nepadeda. Be to, analizės procedūra grindžiama apytiksle logika<sup>1</sup>, dėl ko kyla sunkumų lyginant alternatyvius įgyvendinimo būdus. Darbe [3] pasiūlyta tikslams ir reikalavimams priskirti svorius, kas išplečia analizės galimybes, tačiau minėtų metodikos trūkumų nepašalina. Šio straipsnio tikslas, pasinaudojant kai kuriomis darbuose [3, 4] aptartomis idėjomis, pasiūlyti, kaip išplėsti Toronto grupės metodiką, kad ja būtų galima pasinaudoti ne tik NFR neprieštaringumui, bet ir projektavimo išsamumui vertinti. Jame taip pat pasiūlyta, kaip apskaičiuoti konkrečias neprieštaringumo ir išsamumo įverčių reikšmes.

---

\*Darbas atliktas Matematikos ir informatikos institute, vykdant planinę temą „Ontologijomis grindžiamų komponentinių programų, informacinių ir verslo sistemų inžinerijos problemas“.

<sup>1</sup>Angl. *fuzzy logic*

1 pav. SIG grafo pavyzdys<sup>3</sup>.

### Toronto grupės metodikos esmė

Trumpai aptarsime Toronto grupės metodikos esmę. Šioje metodikoje NFR formuluojami kaip siekiai. Kiekvienas siekis yra išdetalizuojamas ir žemiausio lygmens siekiams priskiriami viena ar kelios vadinamos operacionalizacijos, nusakančios jo įgyvendinimo būdus. Operacionalizacijos taip pat gali būti detalizuojamos. Siekiai ir operacionalizacijos aprašomi IR/ARBA grafu su papildomomis priklausomybėmis (SIG grafu). Grafo pavyzdys pateiktas 1 pav. Išskyrus siekius ir operacionalizacijas, grafas dar gali turėti papildomas viršūnes, vaizduojančias komentarus, paaiškinančius su ta viršūne tiesiogiai sujungtus siekius ar operacionalizacijas. Apskritai, grafo lankai vaizduoja viršūnių tarpusavio priklausomybes. Išskyrus IR/ARBA priklausomybes, dar yra leidžiamos MAKE (++) , HELP (+) , BREAKE (-) ir HURT (-) priklausomybės. IR/ARBA priklausomybės yra grupinės. Jos nusako grafo viršūnių įgyvendinamumą, priklausomai nuo atitinkama priklausomybe siejamų žemesnio lygio viršūnių įgyvendinamumo. Priklausomybės MAKE/HELP/BREAKE/HURT leidžia nusakyti atskirų viršūnių įtaką viršūnės įgyvendinamumui<sup>2</sup>.

SIG nebūtinai yra jungusis grafas. Jį sudaro du pografi: siekių pografi  $G_1$  ir operacionalizacijų pografi  $G_2$ . Siekiai gali būti prieštaringi (konfliktuojantys). Konfliktai išaiškėja operacionalizacijų lygmenyje. Metodika numato specialią procedūrą (*vertinimo procedūrą*), padedančią aptikti konfliktus. Ji grafo viršūnėms priskiria specialias žymes: *S* (įgyvendinamas), *D* (neįgyvendinamas), *C* (konfliktas), *U* (neaišku)<sup>4</sup>. Iš galimų terminalinių grafo viršūnių žyminčių operacionalizacijas projektuotojas

<sup>2</sup>MAKE – posiekio įgyvendinamumo pakanka siekiui įgyvendinti, HELP – posiekis prisideda prie siekio įgyvendinimo, BREAKE – posiekio įgyvendinamumas užkerta kelią įgyvendinti siekį, HURT – posiekio įgyvendinamumas kliudo įgyvendinti siekį.

<sup>3</sup>Viengubu lankeliu žymimos IR priklausomybės, dvigubu – ARBA priklausomybės, grupinėse priklausomybėse kryptis neparodyta, skaitoma, kad lankai yra nukreipti aukštyn. Brūkšnine linija parodytas šalutinis operacionalizacijų poveikis.

<sup>4</sup>Be išvardintų žymių yra kelios žymės reiškiančios tarpinius įvertinimus.

parenka tas, kurios jo manymu yra tinkamiausios (šią aibę vadinsime projektavimo sprendimu) ir pažymi atitinkamas grafo viršūnes žyme  $S$ , o procedūra priskiria žymes kitoms viršūnėms. Metodika turi ir daugiau priemonių, bet jos mūsų nagrinėjimų požiūriu yra neesminės.

### Vertinimo procedūros išplėtimas

Siekiant vertinti ne tik NFR neprieštarumą, bet ir projektavimo išsamumą, mes siūlome išplėsti žymių aibę specialia žyme  $N$ , pažymint ja nepasirinktas terminalines operacionalizacijas, bei įvesti svorius. Trumpai aptarsime šių pasiūlymų esmę.

Svoriai priskiriami SIG viršūnėms. Jie padeda tiksliau įvertinti NFR neprieštarumą bei projektavimo išsamumą. Taigi, kitaip negu darbe [2], svoriai naudojami ne konfliktams rasti, bet NFR savybėms vertinti. Įvedus svorius, vertinimo procedūra galima išplėsti taip, kad, vertinant savybę, jai būtų paskaičiuoti du įverčiai. Vienas iš jų leidžia palyginti skirtingus projektinius sprendimus, kitas – surasti nagrinėjamos savybės atžvilgiu silpniausią siekių poaibį. Skirtingoms savybėms svoriai skaičiuojami skirtingai, tačiau jų skaičiavimo algoritmus galima apibendrinti iki vieno, panaudojant apibendrintas funkcijas<sup>5</sup>, t.y., įvedant kintamuosius, kurių reikšmėmis yra funkcijos. Funkcijų, naudojamų vertinant NFR neprieštarumą ir projektavimo išsamumą, apibrėžtis pateiksime šiek tiek vėliau. Dabar aptarsime, kaip siūloma modifikuoti vertinimo procedūrą, kad ji galėtų operuoti žyme  $N$ .

Toronto metodikos procedūra, nustatydamą apdorojamos viršūnės  $v$  žymę, naudoja specialias išvedimo taisykles ir specialų žymių sutvarkymą. Žymės sutvarkomos vienaip, apdorojant grupines priklausomybes (IR/ARBA priklausomybes), kitaip – keliant žymes iš vieno SIG grafo lygmens į kitą. Straipsnio apimtis neleidžia aptarti šių klausimų išsamiau (žiūr. [1]). Įvedus žymę  $N$ , reikia papildyti visas išvedimo taisykles ir modifikuoti žymių sutvarkymo santykius. Santykiai turi būti modifikuoti šitaip:  $D \leq N \leq U \approx C \leq S$  – grupinėms priklausomybėms apdoroti;  $C \leq U \leq D \approx S \leq N$  – žymėms į aukštesnį lygmenį kelti. Išvedimo taisyklės turi būti pakeistos taip, kad atvejais, kuomet žemesnio lygmens viršūnė pažymėta žyme  $N$  ir sujungta negrupine priklausomybe su apdorojama viršūne  $v$ , į aukštesnį lygmenį būtų keliama žymė  $N$ , o grupinių priklausomybių atvejais būtų pasinaudojama atitinkamu sutvarkymo santykiu ir atitinkamomis taisyklėmis būtų keliama mažiausia arba didžiausia iš žymių. Pačių Toronto procedūros taisyklių šiuo atveju keisti nereikia. Antrajame procedūros žingsnyje, pasinaudojant kitu sutvarkymo santykiu ir atitinkamomis Toronto procedūros taisyklėmis, iš į aukštesnį lygmenį pakeltų žymių yra išvedama viršūnės  $v$  žymė. Pažymėtina, kad kaip ir Toronto metodikos atveju, uždavinys ne visais atvejais yra išsprendžiamas ir kartais yra reikalaujama, kad sprendimą priimtų žmogus.

Dabar aptarsime įverčių skaičiavimą. Tam įvesime bazinio ir antrinio svorio sąvokas. Visi svoriai priskiriami tik viršūnėms, žyminčioms siekius. Viršūnės  $v$  bazinis svoris  $b(v)$  – tai dydis, parodantis viršūnės  $v$  žymimo siekio indėlį į aukštesnio lygmens siekio įgyvendinimą.  $b(v) \in [0, 1]$ , reikšmė 0 interpretuojama kaip “neturi jokios

<sup>5</sup>Angl. *generic function*

įtakos”, reikšmė  $1$  – kaip “būtinas siekiui įgyvendinti”. Viršūnės  $v$  antrinis svoris  $a(v)$  – tai dydis, parodantis kokių mastu viršūnę žymintis siekis yra pasiektas nagrinėjamos savybės požiūriu.  $a(v) \in [0, 1]$  ir yra išskaičiuojamas iš bazinių svorių. Taigi,  $b(v)$  ir  $a(v)$  yra funkcijos, apibrėžtos pografyje  $G_1$  ir ilygiuojamos reikšmės iš intervalo  $[0, 1]$ . Bazinius svorius užduoda analitikas, laikinieji svoriai yra išskaičiuojami.

Baziniai svoriai priskiriami šitaip: 1) viršūnei  $v_0$ , žyminčiai aukščiausio lygmens sieki (toliau – pagrindinį sieki),  $b(v_0) = 1$ ; 2) bet kuriai kitai viršūnei  $v$  reikalaujama, kad su ja tiesiogiai sujungtų žemesnio lygmens viršūnių bazinių svorių suma  $\sigma(v)$  būtų lygi  $1$ <sup>6</sup>.

Antriniai svoriai skaičiuojami, panaudojant šitokias funkcijas:

- $\phi(x)$  apibrėžta pografo  $G_1$  terminalinių viršūnių aibėje, jos reikšmės sutampa su tų viršūnių žymėmis, t.y.,  $\phi(x) = \text{žymė}(x)$ ;
- $\chi(x)$  apibrėžta pografo  $G_1$  terminalinių viršūnių aibėje, jos reikšmės sutampa su tų viršūnių antriniais svoriais, t.y.,  $\chi(x) = a(x)$ ;
- $\psi(x)$  apibrėžta žymių aibėje, jos reikšmės su žyme susietos konstantos t.y.,  $\psi(z) = c$ ,  $c \in \{1(\text{kai } z = S), 0(\text{kitais atvejais})\}$ .

Kiekvienai savybei funkcijos  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  yra apibrėžiamos savaip. Jos naudojamos kaip parametrai apibendrintai antrinių svorių skaičiavimo funkcijai. Apibendrintoji funkcija išskaičiuoja visoms pografo  $G_1$  viršūnėms antrinius svorius. Skaičiuojama pradedant nuo terminalinių viršūnių ir kylant grafu aukštyn. Terminalinių viršūnių žymės ir jų antriniai svoriai paskaičiuojami panaudojant su atitinkama savybe susietas funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  išraiškas. Neterminalinėms viršūnėms žymes nustato vertinimo procedūra pagal terminalinių viršūnių žymes. Antriniai svoriai neterminalinei viršūnei  $s$  skaičiuojami pagal formulę  $a(s) = \sigma(s) \times b(s) \times \psi(z)$ , kur  $z$  reikšmė lygi viršūnės  $s$  žyme, jei ši žymė nesutampa nei su vienos su viršūne  $s$  susietos žemesnio lygmens viršūnės žyme, ir žyme  $S$  priešingu atveju.

Paskaičiuotam antriniam svoriui  $r$  interpretuoti, reikia žinoti, kokioje reikšmių skalėje jis vertinamas, t.y., žinoti didžiausią jo galimą reikšmę  $m$ . Reikšmė  $m$  yra skaičiuojama pagal tą patį algoritmą, imant kitokias funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  išraiškas. Galutinis įvertis gaunamas paėmus dydį  $r/m$ .

Pastebėsime, kad gali būti vertinama ne tik visa NFR aibė, bet ir pasirinkti jos poaibiai. Tegul  $\omega$  – bet koks netuščias pografo  $G_1$  terminalinių viršūnių aibės poaibis, o  $G(\omega)$  toks SIG pografas, kurį gauname paėmę visus kelius, einančius iš terminalinių SIG viršūnių per poaibio  $\omega$  viršūnes į pradinę SIG viršūnę (1 pav. aibė  $\omega = \{NFR21\}$ , grafas  $G(\omega)$  nuspalvintas pilkai). Atliekant skaičiavimus grafe  $G(\omega)$ , gaunami pasirinktomis viršūnėmis žymimų siekių įverčiai. Pasirinkus vertinamą savybę  $S$ , išskaidžius aibę  $\omega$  į nepersikertančius poaibius ir paskaičiavus įverčius kiekvienam iš jų, galima įvertinti kiekvieno tą skaidymą atitinkančio NFR rinkinio įtaką visos savybės vertinimui, t.y., rasti silpnąsias NFR operacionalizavimo vietas. Jei grafe nėra ARBA priklausomybių, tai didžiausią neigiamą įtaką turi pografas, kuriam skirtumo  $m - r$  reikšmė yra didžiausia. Jei grafe yra ARBA priklausomybės, tai pografiuose paskaičiuotų dydžių  $r$  arba  $m$  reikšmių sumos nesutampa su visame grafe paskaičiuotomis  $r$  ir  $m$  reikšmėmis, dėl ko neigiamos įtakos vertinimas tampa sudėtingesnis.

<sup>6</sup>ARBA priklausomybės atveju šis reikalavimas negalioja.

Dėl straipsnio apimties, kaip vertinti neigiamą pografo įtaką, esant ARBA priklausomybėms, šiame darbe nenagrinėsime.

### Reikalavimų išsamumo ir neprieštaravimo vertinimas

Trumpai aptarsime funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  konstravimą. Patogumo dėlei, įveskime funkciją  $\zeta(x)$ . Jos apibrėžimo bei reikšmių sritys sutampa su funkcijos  $\phi(x)$  apibrėžimo ir reikšmių sritimis. Pografo  $G_1$  (terminalinėje) viršūnėje  $v$  funkcija  $\zeta(v)$  įgyja reikšmę  $N$ , jei vertinimo procedūra, pasirinkus projektavimo sprendimą  $p$ , viršūnei  $v$  priskyre žymę  $N$ , ir reikšmę  $S$  kitais atvejais. Kadangi, vertinant projektavimo išsamumą, didžiausias antrinis svoris  $m$  gaunamas tuomet, kai visi siekiai yra operacionalizuoti, tai šiuo atveju  $m$  skaičiavimui naudojamų funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  išraiškos yra šitokios:  $\phi(x) = S$ ,  $\chi(x) = \psi(\phi(x)) \times b(x)$ . Skaičiuojant svorį  $r$ , neoperacionalizuotiems siekiams priskiriamas svoris 0. Todėl šiuo atveju funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  išraiškos yra šitokios:  $\phi(x) = \zeta(x)$ ,  $\chi(x) = \psi(\phi(x)) \times b(x)$ .

Reikalavimų neprieštaravimas vertinamas remiantis konfliktais tarp reikalavimų. Su siekiu  $s$  susijusių konfliktų įtaka sistemos veikimui nusakoma konfliktų kritiškumu  $k(s)$ . Funkcijai  $k(s)$  skaičiuoti pasiūlytas specialus algoritmas [2]. Didžiausia galima svorio reikšmė  $m$  šiuo atveju gaunama tuomet, kai išsamiai suprojektuoti siekiai nekonifliktuoja. Todėl šiuo atveju funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  išraiškos yra šitokios:  $\phi(x) = \zeta(x)$ ,  $\chi(x) = \psi(\phi(x)) \times b(x)$ . Skaičiuojant svorį  $r$ , išsamiai suprojektuotiems siekiams priskiriamas jų konfliktiškumo įvertinimas. Todėl šiuo atveju funkcijų  $\phi(x)$  ir  $\chi(x)$  išraiškos yra šitokios:  $\phi(x) = \zeta(x)$ ,  $\chi(x) = k(x)$ .

### Išvados

Apibendrinant straipsnyje pateiktą medžiagą, galima padaryti šias išvadas:

- esamos NFR vertinimo metodikos, įskaitant Toronto grupės metodiką, yra nepakankamai išsamios, tinkamos tik iš dalies įvertinti NFR neprieštarumą ir projektavimo išsamumą;
- šie trūkumai, Toronto grupės metodikos atveju, gali būti pašalinti, išplečiant vertinimo procedūrą straipsnyje aprašytu būdu;
- vienok, norint pasinaudoti mūsų pasiūlyta procedūra, reikia turėti daugiau NFR aprašančių duomenų, kas pabrangina dalykinės srities analizės procesą.

Tolimesnė mūsų tyrimų programa numato tyrimus, kaip būtų galima sumažinti vertinimui reikalingų pradinių duomenų apimtį.

### Literatūra

1. L. Chung, J. Mylopoulos, B. Nixon, E. Yu, *Non-Functional Requirements in Software Engineering*, Kluwer Academic Publishers (2000).
2. L. Paškevičiūtė, *Nefunkcinių reikalavimų formulavimo ir analizės metodų tyrimas*. Magistro tezė, MIF, Vilniaus universitetas (2004).
3. A.J. Ryan, An approach to quantitative non-functional requirements in software development, in: W.W. Schoening, R.B. Campbell, J.A. Cogliandro, G.J.C. Ransijn, S. Kögl (Eds.), *Systems engineering – a key to competitive advantage for all industries*, in: *Proceedings of the 2nd European Systems Engineering Conference (EUSEC 2000)*, Herbert Utz Verlag (2000).  
<http://classweb.gmu.edu/ajryan/qnfr-publish.pdf>

4. W. Robinson, S. Pawlowski, V. Volkov, Requirements interaction management, *ACM Computing Surveys*, **35**(2), 132–190 (2003).

## SUMMARY

***L. Paškevičiūtė, A. Čaplinskas. On evaluation of completeness and consistency of non-functional requirements***

The paper proposes how to improve SIG graph approach used in NFR framework of Toronto group in order to evaluate consistency of NFR and completeness of operationalisation. The proposed approach extends the set of labels using to mark SIG softgoals and introduces weights for calculating measures of NFR consistency and completeness of operationalisation.

*Keywords:* requirements engineering, non-functional requirements, requirements completeness, requirements consistency.