

25. Sistemų dinamikos modeliai

Šiame skyriuje susipažinsime su sistemų dinamika – analizės metodu, kurį taikant aprašomos ir tiriama kintančios, arba kitaip vadinamos dinaminės, sistemos. Išmoksime skaityti sistemų dinamikos diagramas, pateikiamas kituose skyriuose. Išmoksime kurti ir analizuoti sistemų dinamikos modelius, naudotis jais.

25.1. Sistema ir modelis

Bet kokia sistema yra tarpusavyje sąveikaujančių elementų visuma. Elementai, susijungdami į sistemą, įgyja naujų bruožų, būdingų sistemai, bet nebūdingų atskiriems jos elementams. Priklausomybė tarp sistemos savybių ir jos elementų savybių dažnai būna sunkiai suvokiama. Pavyzdžiui, jūros bangavimas nėra akivaizdi vandens ir oro molekulių fizikinių ir cheminių savybių pasekmė. Analizuojant sistemos funkcionavimą svarbiau yra aprašyti ryšius tarp elementų, o ne pačius elementus.

Ryšiai tarp elementų sudaro sistemos struktūrą. Dėl ryšių sistema yra daugiau negu ją sudarančių nepriklausomų elementų rinkinys. Kiekvienas sistemos elementas veikia kitus elementus ir yra veikiamas kitų elementų.

Modelis – tai dirbtinė supaprastinta sistema, atkartojanti modeliuojamos sistemos bruožus. Modeliai kuriami tam, kad būtų lengviau nagrinėti realios sistemos bruožus arba elgseną. Sistemos elgsenos imitavimą nagrinėjanti mokslo sritis vadinama sistemų dinamika.

Kiekvienas sistemos elementas gali būti nagrinėjamas kaip atskira sistema. Tokia sistema vadinama didžiosios sistemos posisteme.

Kiekviena sistema turi ribas, atskiriančias ją nuo aplinkos. Sistemos ribos kartais yra akivaizdžiai matomos. Pavyzdžiui, sistema – automobilis. Ribos gali būti menamos. Pavyzdžiui, taksi parkas, kurio automobiliai yra išsibarstę po visą miestą. Taksi parko sistemos elementus sieja fiziniai ryšiai (radijo ryšio sistema), hierarchiniai ryšiai (pavaldumas), kiti formalūs ryšiai (nuosavybė) ir

bendras tikslas (uždirbti vežant keleivius). Kiekviena dinamiškai aprašoma sistema turi tikslą.

Kai kurie elementai sąveikauja su elementais, esančiais sistemos išorėje. Tokia sąveika vadinama išorine. Kuriant sistemos modelį gali būti aprašomi išoriniai ryšiai, tačiau į modelį neturi būti įtraukiami išoriniai elementai.

Jei nagrinėjama sistema sąveikauja su kitomis sistemomis, kartu su tomis sistemomis sudaro didesnes sistemas. Tokios sistemos vadinamos viršsistemėmis. Sistema yra viršsistemės elementas.

Kuriant modelį svarbu tiksliai apibrėžti modeliuojamą sistemą: ne tik jos ribas, bet ir detalizacijos laipsnį. Modeliuojamos sistemos elementai (posistemės) turi būti panašaus sudėtingumo sistemos. Į modelį nereikia įtraukti išorinių elementų ir ryšių, sudarančių viršsistemę. Modelyje nereikėtų aprašinėti ir sistemos elementų vidinių ryšių, sudarančių posistemę.

Sistema, kuri nesikeičia, yra vadinama statine sistema. Besikeičianti sistema yra dinaminė. Jos kitimas per tam tikrą laiką aprašomas pagal sistemos elgseną. Jeigu sistemos elgsena atitinka aprašytus žinomus bruožus, tai sakome, kad sistema yra tam tikro elgsenos tipo. Skirtingose sistemose pasikartojantys elgsenos tipai vadinami archetipais.

25.2. Sistemos parametrai

Dinaminės (kintančios) sistemos būseną aprašoma jos kintančiais parametrais. Sistemą galime analizuoti tik tuo atveju, jei galime palyginti parametrų reikšmes skirtingais laiko momentais. Turime galėti tuos parametrus išmatuoti, tačiau dinaminės sistemos parametrų reikšmės svarbios ne tiek tam, kad galėtume įvertinti sistemos būseną šiuo momentu, o tam, kad galėtume palyginti su kitais laiko momentais. Svarbus yra dinaminės sistemos parametrų kitimas.

Sistemą charakterizuoja kintamieji ir konstantos. Nors šie terminai panašia prasme vartojami ir matematikoje, bet jų apibrėžimai

sistemų dinamikoje skiriasi nuo matematinių. Dydžiai, kintantys laikui bėgant, vadinami kintamaisiais. Dydžiai, kurie per analizuojamą laiko tarpą nekinta arba kinta taip nedaug, kad neveikia kitų dydžių, vadinami konstantomis. Tas pats dydis viename modelyje gali būti kintamasis, o kitame – konstanta.

Pavyzdžiui, turistui užsienio šalis yra statinė sistema. Jam svarbus yra skirtingų bankų valiutų keitimo kursas, kuris greičiausiai stipriai nepasikeis kelionės metu. Nagrinėjant šalies ekonomiką dinamiškai nebesvarbus valiutų kursas, bet labai svarbus to kurso kitimas ir infliacija.

Kai kuriamas sistemų dinamikos modelis skirstant dydžius į kintamuosius ir konstantas įvertinami ir susiję priežastiniai ryšiai. Jei sistemos pokyčiai neveikia dydžio pasikeitimų, jis tokioje sistemoje gali būti interpretuojamas kaip konstanta.

Atvaizduojant modelį kintamuosius ir konstantas svarbu aprašyti taip, kad kitas asmuo galėtų vienareikšmiškai suprasti jų prasmę. Kiekvienas aprašomas keliais žodžiais, nurodančiais parametro esmę, bet ne dabartinę būseną. Būseną nurodo parametro reikšmė. Pavadinimas turėtų tikti bet kokiai parametro reikšmei. Iš pavadinimo turėtų būti aiškūs galimi matavimo vienetai. Jei taip suformuluoti neišeina, tada rekomenduotina matavimo vienetus nurodyti.

Pavyzdžiui:

- *PHP* programuotojo atlyginimas (litais)
- *Apache* serverių paplitimas (serverių dalis)

25.3. Ko saugotis kuriant modelius

Reikėtų vengti apibrėžimų naudojant neiginį, nes tokį modelį būtų sunkiau analizuoti. Pavyzdžiui, sunku greitai atsakyti į klausimą „kaip resursų trūkumo sumažėjimas paveiks specialistų trūkumą?“

Modelis neturi emocinio atspalvio. Modelis – tai matematiškai aprašyta sistema. Skirtingi asmenys turi skirtingų tikslų ir skirtingą

gėrio ir blogio supratimą. Kuriant modelį aprašoma sistema, o ne tikslai. Modelis nesikeičia priklausomai nuo modeliuotojo supratimo, kas yra gerai, o kas blogai.

25.4. Priežastis ir pasekmė

Analizuodami reiškinius paprastai nustatome jų priežastis. Ištyrę reiškinį dažnai kalbame apie jo pasekmes. Priežasties ir pasekmės ryšys gali būti aprašomas įvairiomis kalbos konstrukcijomis, pavyzdžiui, teiginiu „jei A, tai B“.

Sudėtingose sistemose pasitaiko atvejų, kai yra akivaizdu, kad keli veiksniai yra susiję, tačiau sunku nustatyti, kur yra priežastis, o kur pasekmė. Tada tiriama reiškinių eilės tvarka, jų sąveikos mechanizmai.

Būtina atidžiai interpretuoti sąvokas, nes ypač šnekamojoje, bet kartais ir dalykinėje, kalboje padaromos klaidos, kurių neatidus skaitytojas ar klausytojas gali ir nepastebėti, tačiau pažodžiui interpretuojant tokį tekstą būtų sukurtas klaidingas modelis.

Reiškiniai vyksta ne tuo pat metu, bet vienas paskui kitą. Tam, kad įvyktų pasekmės reiškinys, prieš tai turi įvykti priežasties reiškinys. Laiko tarpas tarp priežasties ir pasekmės vadinamas vėlavimu. Priklausomai nuo reiškinių inertiškumo vėlavimas gali būti ir sekundės dalys, ir valandos, dienos, mėnesiai ar net metai. Net jei atrodo, kad keli reiškiniai vyksta vienu metu, pasekmė visada eina po priežasties. Pavyzdžiui, šviesa užsidega tuo momentu, kai paspaudžiame jungiklį, tačiau įmanoma įvertinti laiką tarp priežasties (jungiklio paspaudimo) ir pasekmės (užsidegusios šviesos).

Apibrėžiant priežastį ir pasekmę svarbu ne tik įvykių eilės tvarka, bet ir jų priklausomybė. Kaip anekdotas pasakojamas toks pokalbis:

Visą dieną nebuvo šviesos, todėl gali ištirpti šaldytuvus.

Įvykių seka gali ką nors suklaidinti: pradžioje užgeso šviesa, paskui ėmė tirpti šaldytuvo ledas. Žodis „todėl“ turėtų skirti prieža-

stį ir pasekmę. Ir kalbos konstrukcija, ir įvykių seka rodo priešastinį ryšį, tačiau šviesos užgesimas nėra priešastis. Akivaizdu, kad neveikiantis apšvietimas ir atšilęs šaldytuvas neveikia vienas kito, bet turi vieną bendrą priešastį: namuose nėra elektros. Tai nebūtų taip akivaizdu, jei nežinotume sistemos dėsnį.

Svarbu neapsirikti šnekamąją kalbą paverčiant loginėmis konstrukcijomis. Formuluoatė „jei ..., tai ...“ kartais būna apgaulinga. Ji gali reikšti „jei priešastis, tai pasekmė“, bet gali būti ir „jei matau pasekmę, tai galiu spręsti apie priešastį“.

Pavyzdžiui, panašus loginis teiginys gali būti aprašomas sukeičiant pasekmę ir priešastį vietomis:

Jei yra šalta, tai žmonės šilčiau rengiasi.

arba sukeičiant priešastį ir pasekmę:

Jei žmonės šilčiau rengiasi, tai (matyt) yra šalta.

Pasitaiko žmonių, kurie klaidingai nurodo priešastinį ryšį tikėdamiesi, kad taip jų kalba esą atrodys rimtesnė, moksliškesnė. Pavyzdžiui, pasakoma:

Jei visi kaimynai prie savo namų pasėjo žolę, tai Vytautas prie savo namo pasodino rožes.

Akivaizdu, kad priešastinio ryšio čia nėra. Sakinys yra netaisyklingas ir kalbos požiūriu. Kalboje reikėtų vengti tokių klaidų, o kuriant modelius svarbu neapsirikti interpretuojant tekstus.

Sutartinė ženklų kalba padeda ne tik greičiau užrašyti ir perskaityti tokius teiginius, bet ir išvengti minėto šnekamosios kalbos daugiareikšmiškumo. Priežastinis ryšys žymimas rodykle nuo priešasties link pasekmės.

Ugnis → Dūmai

Nors galime pasakyti

Nėra dūmų be ugnies;

ir

Nėra ugnies be dūmų.

25.5. Loginiai priešastiniai ryšiai

Jei tarp dviejų reiškinių yra grynai loginis ryšys, tuomet priešastis gali vykti kartu su pasekme, bet taip pat galima teigti, kad tai nėra priešastis ir pasekmė, o tik du būdai aprašyti tą patį reiškinių.

Pavyzdžiui,

Jei Birutės dukrai gimė vaikas, tai Birutė tapo močiute.

Čia vienas ir tas pats įvykis vienam yra vaiko gimimas, kitam – vaikaičio.

Panašus atvejis yra loginė išvada. Pavyzdžiui,

Jei vidutinis atlyginimas didesnis už du tūkstančius eurų, tai vidutinis atlyginimas didesnis už tūkstantį eurų.

Loginiais ryšiais susieti veiksniai įtraukiami į modelį tik tuo atveju, jei abu veiksniai svarbūs sistemos priešastinių ryšių grandinėms ir sistemos dinamikai.

Sistemos veiksniai yra apibendrinti sistemos parametrai ir netgi esant loginei priklausomybei tokia priklausomybė gali būti nevienareikšmiška.

Pavyzdžiui,

Kuo daugiau gimsta vaikų, tuo daugiau atsiranda senelių.

Toks teiginys gali būti ir neteisingas, jei daugiau vaikų gimsta tik šeimose, jau turinčiose vaikų. Todėl „senelių skaičius“ yra

atskiras veiksnys, logiškai veikiamas tokių veiksmų, kaip „gimstamumas“ ir „vidutinis vaikų skaičius šeimoje“.

25.6. Sistemų dinamikos diagrama

Analizuodamas pasaulį žmogus mintyse sukuria jį supančių sistemų modelius. Psichologų teigimu, žmogus negali mintyse aprėpti ilgų priežastinių ryšių grandinių. Vienu metu galvojama tik apie sistemos fragmentą. Nubraižytą schemą galima analizuoti dalimis. Be to, schemą patogiu pateikti kitiems siekiant dirbti kartu ir išsaugoti rezultata. Tiek kokybinio modelio privalumų. Juo remiantis galima sukurti kiekybinį modelį ir kompiuteriu atlikti sudėtingus skaičiavimus prognozuojant sistemos elgseną ir parametrus įvairiose situacijose.

Čia aprašomas modelis susideda iš dviejų tipų elementų. Tai veiksnys ir priežastinis ryšys. Veiksnys yra sistemą charakterizuojantis kintamasis dydis. Priežastinis ryšys nurodo, kaip vieno veiksnio reikšmės pokytis veikia kito veiksnio pokytį, ir žymimas rodykle nuo priežasties link pasekmės. Šalia priežastinio ryšio rodyklės nurodomas poveikio ženklas. Jei priežastinio veiksnio pasikeitimas sukelia tos pačios krypties pasekmės veiksnio pasikeitimą, sakome, kad tai teigiamo pobūdžio priežastinis ryšys, ir žymimas pliusas. Jei pasekmės ženklas priešingas, tada tai neigiamo pobūdžio priežastinis ryšys ir žymimas minusas.

Tokiais paprastais elementais galima aprašyti sudėtingiausias sistemas. Veiksniai išdėstomi lape ir sujungiami priežastinių ryšių rodyklėmis.

25.7. Priežastinių ryšių grandinės

Kiekvienas sistemos veiksnys sąveikauja su kitais veiksniais. Veiksnio pokytis yra kitų veiksmų pokyčių pasekmė ir priežastis. Taip veiksniai sudaro priežastinių ryšių grandines.

Investicijos į interneto prieigą → interneto skverbtis → el. prekybos pirkėjų skaičius

Jei tokia grandinė susijungia į žiedą, ji vadinama grįžtamojo ryšio kilpa.

25.8. Grįžtamojo ryšio kilpos

Paveikus kilpoje esantį veiksnį, poveikis apeina kilpą ir sugrįžta. Priklausomai nuo grįžtamojo ryšio ženklų kilpa vadinama teigiama arba neigiama.

Analizuojant modelį svarbu įvertinti kurios kilpos veikia. Gali būti, kad kilpa nubraižyta teisingai, tačiau poveikis jos nepraeina, nes pakeliui yra slopinamas stipriau veikiančių kilpų. Kilpos konkuruoja tarpusavyje. Kuo ilgesnė kilpa, tuo didesnė tikimybė, kad poveikis jos neapeis. Kiekviename žingsnyje poveikis vėluoja, todėl svarbu įvertinti, kiek laiko vėluos grįžtamasis ryšys.

25.9. Sistemos savireguliacija

Jei grįžtamojo poveikio ženklas pasikeičia, tuomet kilpa vadinama neigiama kilpa. Tokia kilpa kompensuoja poveikį ir sugrąžina sistemą į pusiausvyros būseną (25.1 pav.).



25.1 pav. Stabili sistema

25.10. Nestabili sistemos būseną

Jei grįžtamojo poveikio ženklas nepasikeičia, tuomet kilpa vadinama teigiama kilpa. Tai yra nestabilios būsenos kilpa, lemianti eksponentinį parametro didėjimą (25.2 pav.).



25.2 pav. Nestabili sistema

Realiame pasaulyje kiekviena sistema anksčiau ar vėliau įgyja pusiausvyrą, tai yra ima dominuoti savireguliaciją užtikrinančios neigiamos kilpos. Rutuliukas anksčiau ar vėliau pasiekia duobės dugną.

25.11. Modelio taikymas

Modelis padeda prognozuoti sistemos elgseną. Jei modelis pasitelkiamas problemai spręsti, lengva atskirti sisteminių sprendimą nuo simptominio, padedančio kompensuoti matomas pasekmes, bet nepadedančio spręsti problemos esmės.

Kilpos padeda arba trukdo sprendimui. Teigiama kilpa stiprina poveikį, todėl gali padėti pasiekti rezultatą mažesnėmis sąnaudomis. Neigiama kilpa gali sumažinti arba visai panaikinti poveikį. Tačiau ir neigiama kilpa gali padėti efektyviai spręsti problemą. Sudarius tinkamas sąlygas nusistovės pageidaujama pusiausvyra.

25.12. Literatūra

- Norvaišas, S.; Sruogis, V. *Sistemų dinamikos pradmenys*. Vilnius: Saulius Norvaišas, 2003.
<http://www.culture.lt/science/SD/sd.htm>

25.13. Klausimai ir uždaviniai

1. Remdamiesi žiniasklaida sudarykite aktualių problemų ir siūlomų jų sprendimų sąrašą. Nurodykite, kurie iš sprendimų yra simptominiai.
2. Sukurkite modelį, kuris padėtų spręsti pasirinktą problemą. Pateikite nurodytos struktūros darbo ataskaitą.

Ivade aprašykite modeliuojamą sistemą, problemą ir tikslą.

Problema turi būti aprašoma kaip mūsų netenkinanti veiksnio reikšmė.

Tikslas – probleminio veiksnio reikšmės koregavimas nurodant, per kokį laiką numatoma tą tikslą pasiekti.

Ivado pavyzdys:

Modeliuojama Lietuvos ekonomika. Problema – per daug vartotojų (90 %) naudojami nelegalia programine įranga. Tikslas – per penkerius metus trečdaliu sumažinti nelegalios programinės įrangos naudojimą.

Pagrindinė darbo dalis – sistemų dinamikos modelis. Rekomenduojamas veiksmių skaičius nuo 7 iki 10. Prieš diagramą turėtų būti pateikiamas sistemos veiksmių sąrašas nurodant kiekvieno veiksmio matavimo vienetus ir trumpai paaiškinant veiksmius, kurių prasmė nėra akivaizdi iš jų pavadinimų.

Diagrama braižoma naudojant programą *OpenOffice.org Draw*. Priežastiniams ryšiams nurodyti naudojamas ne rodyklės įrankis (*Arrow*), bet jungiamoji linija (*Connector*). Veiksniai turi būti taip išdėstomi, kad priežastinių ryšių linijos nesikirstų.

Darbo išvados pateikiamos rekomendacijos, kaip turėtų būti sprendžiama problema. Rekomendacijos paremtos diagrama. Nurodoma, kokį veiksmį ir kaip reikėtų paveikti siekiant tikslo.