



**Vilnius
University**

**DUOMENŲ MOKSLO IR SKAITMENINIŲ
TECHNOLOGIJŲ INSTITUTAS**

Vaidas Jusevičius

2020/2021 mokslo metų rezultatai

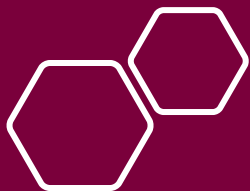
Ataskaitinė konferencija, 2021 rugsėjo 30 d.

Doktorantūra



Atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalbų sistemos kūrimas ir tyrimas

- Vadovas: prof. dr. Remigijus Paulavičius
- Mokslo kryptis: Informatikos (N009)
- Studijų pradžia: 2017
- Studijų pabaiga: 2021
- Studijų metai: IV (2020/2021)

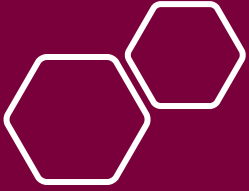


Tyrimo objektas ir tikslai

Tyrimo objektas: atvirojo kodo optimizavimo sistemos, algebrinės modeliavimo kalbos.

Tikslai:

- Pasiūlyti naują universalios algebrinės modeliavimo kalbos, išnaudojančios egzistuojančių modeliavimo kalbų geriausias savybes, konceptą/prototipą.
- Web aplinkoje realizuoti atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalbų sistemą.
- Ištirti sukurtos universalios algebrinės modeliavimo kalbos bei sistemos savybes ir įvertinti pirmosios tokios Web sistemos potencialą.

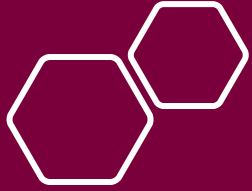


Uždaviniai

- Apžvelgti ir palyginti skirtingas algebrinio modeliavimo kalbas, ištirti jų efektyvumą bei modelių supaprastinimo strategijos palaikymą
- Susisteminti egzistuojančių modeliavimo kalbų ir optimizavimo sistemų charakteristikas: naudojama modeliavimo kalba, įrankių (solverių) palaikymas ir kt.
- Identifikuoti savybes, kuriomis turi pasižymėti kuriama universali atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalba ir ją palaikanti sistema
- Parengti atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalbų sistemos architektūrinį modelį
- Realizuoti atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalbų sistemą
- Ištirti sukurtos universalios algebrinės modeliavimo kalbos bei sistemos savybes ir įvertinti pirmosios tokios Web sistemos potencialą

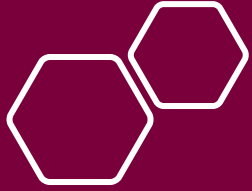
Studijų planas

Studijų metai	Egzaminai		Dalyvavimas konferencijose		Publikacijos		
	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Būklė
I (2017/2018)	1	1					
II (2018/2019)	3	2					
III (2019/2020)		1	1	1	1		
IV (2020/2021)			1	1	1	2	1 Publikuota 1 Įteikta
Iš viso:	4	4	2	2	2	2	



Einamieji studijų metai

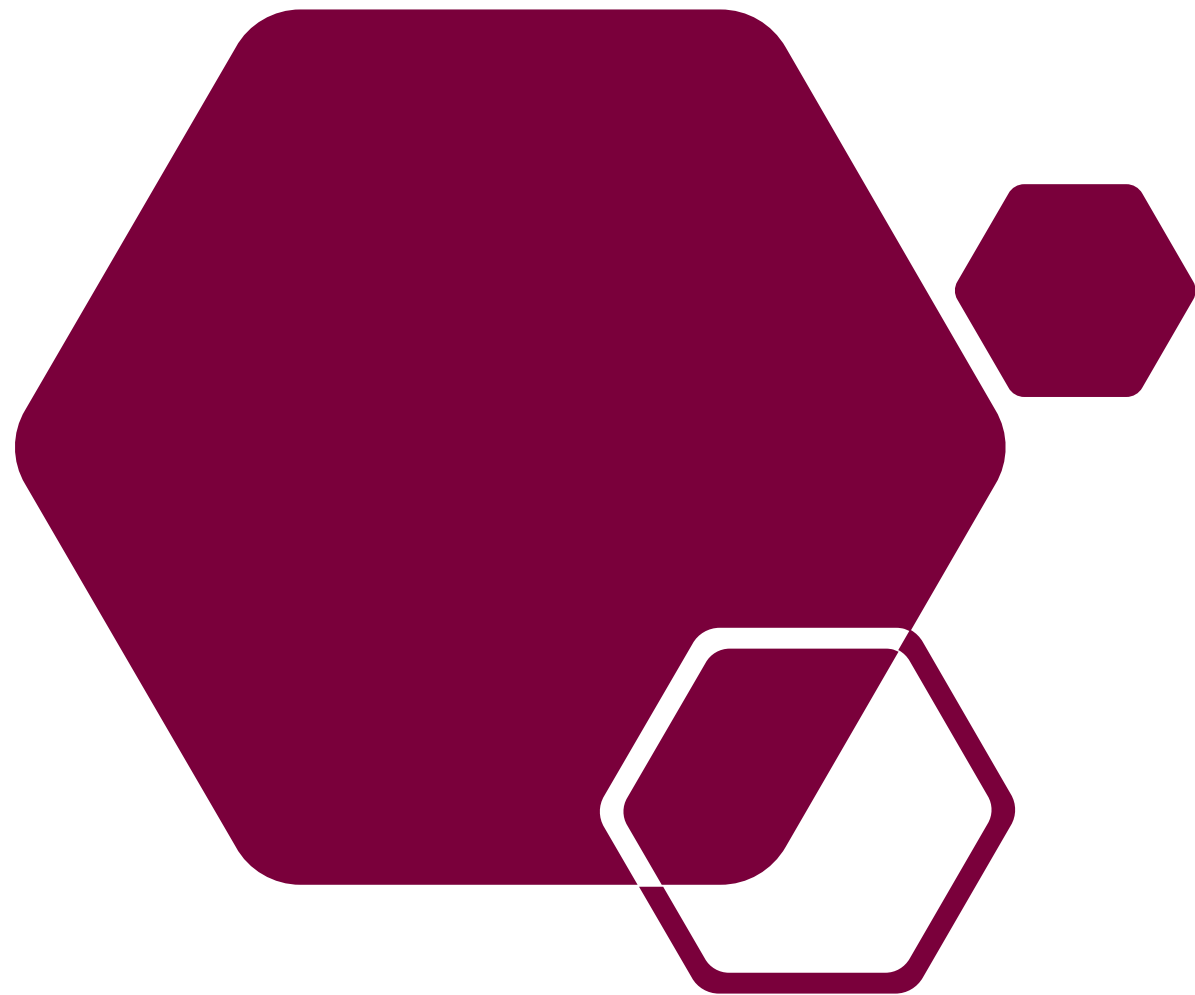
Egzaminai		Dalyvavimas konferencijose		Publikacijos	
Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta	Planas	Įvykdyta
		EURO 2021 Athens, 31st European Conference on Operational Research. 2021 m. Liepos 11 - 13 d., Atėnai.	Web-based tool for algebraic modeling languages. EURO 2021 Athens, 31st European Conference on Operational Research. 2021 m. Liepos 11 - 13 d., Atėnai.	INFORMATICA, An International Journal	Jusevičius, V.; Oberdieck, R.; Paulavičius, R. Experimental Analysis of Algebraic Modelling Languages for Mathematical Optimization. Informatica 2021, 32 (2), 283–304. https://doi.org/10.15388/21-INFOR447 . Turi WoS IF.
				Mathematics, MDPI	Jusevičius, V.; Paulavičius, R. Web-Based Tool for Algebraic Modeling and Optimization. Įteikta. Turi WoS IF.

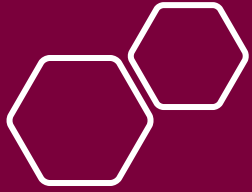


Disertacijos rengimo etapai

	Darbo pavadinimas	Atlikimo terminai	Pastabos
1.	Mokslinių tyrimų disertacijos tema apžvalga ir analizė (Lietuvoje ir užsienyje): 1.1. Apžvelgti egzistuojančias (atvirojo-kodo) globaliojo optimizavimo sistemas. 1.2. Apžvelgti egzistuojančius apsimokančius algoritmus, skirtus (globaliojo) optimizavimo uždavinio sprendimo strategijos parinkimui.	2018 m. spalį	Atlikta
2.	Mokslinio tyrimo vykdymas: 2.1. Tyrimo metodikos sudarymas: 2.1.1. Atlikti lyginamąją eksperimentinę globaliojo optimizavimo sistemų analizę. 2.1.2. Identifikuoti egzistuojančių (atvirojo-kodo) globaliojo optimizavimo sistemų trūkumus. 2.1.3. Numatyti galimas globaliojo optimizavimo sistemų tobulinimo kryptis ir būdus. 2.2. Teorinis tyrimas: 2.2.1. Apžvelgti egzistuojančių globaliojo optimizavimo sistemų tobulinimų įgyvendinamumą ir apibrėžti jų realizaciją. 2.2.2. Apžvelgti egzistuojančius apsimokančius algoritmus, skirtus optimizavimo uždavinio sprendimo strategijos parinkimui. Nustatyti algoritmus tinkamus taikyti kuriamoje globaliojo optimizavimo sistemoje. 2.2.3. Parengti atvirojo kodo globaliojo optimizavimo sistemos specifikaciją. 2.3. Empirinis tyrimas: 2.3.1. Sukurti globaliojo optimizavimo sistemos, realizuojančios teorinio tyrimo metu parengtą sistemos specifikaciją, prototipą. 2.3.2. Eksperimentiškai ištirti realizuotos sistemos funkcines savybes ir palyginti su egzistuojančiomis sistemomis.	2019 m. spalį 2019 m. spalį	Atlikta Atlikta
3.	Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų, ir kt.) parengimas: 3.1. Apibendrinimo paremto gautais tyrimų rezultatais parengimas.	2020 m. spalį	Atlikta
4.	Daktaro disertacijos parengimas ir svarstymas padalinyje	2021 m. birželis	Atlikta
4.	Daktaro disertacijos parengimas ir svarstymas padalinyje	2021 m. birželis	Vykdoma
5.	Daktaro disertacijos gynimas	2021 m. rugsėjis	Planuojama 2022 m. pavasaris

Gauti moksliniai rezultatai





Per pusmetį gauti rezultatai

- Sukurta universali atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalba.
- Realizuotas Web aplinkoje veikiantis atvirojo kodo algebrinių modeliavimo kalbų sistemos prototipas, palaikantis pasiūlytą modeliavimo kalbą.
- Įvertintos sukurtos kalbos ir prototipo charakteristikos.
- Gauti rezultatai pristatyti tarptautinėje konferencijoje EURO 2021 Athens, 31st European Conference on Operational Research. 2021 m. pranešime "*Web-based tool for algebraic modeling languages*".
- Žurnalui Mathematics įteiktas straipsnis: "*Web-Based Tool for Algebraic Modeling and Optimization*".
- Parengtas daktaro disertacijos juodraštis.

Sintaksè

```
minimize cost: sum{i in I, j in J} c[i,j] * x[i,j];  
s.t. supply{i in I}: sum{j in J} x[i,j] <= a[i];  
s.t. demand{j in J}: sum{i in I} x[i,j] >= b[j];
```

AMPL

```
@objective(model, Min, sum(cost_f[i, j] * trans[i, j]  
    for i in 1:length(ORIG), j in 1:length(DEST)))  
@constraint(model, [i in 1:length(ORIG)],  
    sum(trans[i, j] for j in 1:length(DEST)) <= supply[i])  
@constraint(model, [j in 1:length(DEST)],  
    sum(trans[i, j] for i in 1:length(ORIG)) >= demand[j])
```

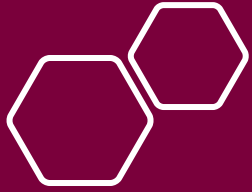
JuMP

```
def supply_rule(model, i):  
    return sum(model.x[i, j] for j in model.j) <= model.a[i]  
model.supply = Constraint(model.i, rule=supply_rule)  
def demand_rule(model, j):  
    return sum(model.x[i, j] for i in model.i) >= model.b[j]  
model.demand = Constraint(model.j, rule=demand_rule)  
  
def objective_rule(model):  
    return sum(model.c[i, j]*model.x[i, j] for i in model.i for j in model.j)  
model.objective = Objective(rule=objective_rule, sense=minimize)
```

Pyomo

```
cost..      z =e= sum((i, j), c(i, j)*x(i, j));  
supply(i).. sum(j, x(i, j)) =l= a(i);  
demand(j).. sum(i, x(i, j)) =g= b(j);
```

GAMS



Solverių palaikymas

Feature		AIMMS	AMPL	GAMS	JuMP	Pyomo
Modeling	Independent	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Scripting	Yes	Limited	Limited	Yes	Yes
Data	Input	Yes	Limited	Limited	Yes	Yes
	Manipulation	Yes	No	No	Yes	Yes
Solvers	Total	13	47	35	14	25
	Global	1	4	9	2	1
	LP	8	17	21	9	10
	MCP	2	1	5	1	1
	MINLP	3	6	15	3	6
	MIP	5	14	16	6	8
	MIQCP	5	5	20	3	4
	NLP	6	19	17	7	10
QCP	6	9	21	6	6	
Presolving		Yes	Yes	No	No	No
Visualization		Yes	No	No	No	No
License	General	Paid	Paid	Paid	Free	Free
	Academic	Paid	Free	Free	Free	Free

Suderinamumas

- GAMS Convert yra vienintelis, be to komercinis, įrankis gebantis paversti vieną AML į kitą
- Rezultatas yra skaliarinis modelis, kuriame prarandama originali struktūra

```
m.obj = Objective(expr= 0.225*m.x1 + 0.153*m.x2 + 0.162*m.x3 + 0.225*m.x4 + 0.162*m.x5 + 0.126*m.x6, sense=minimize)
```

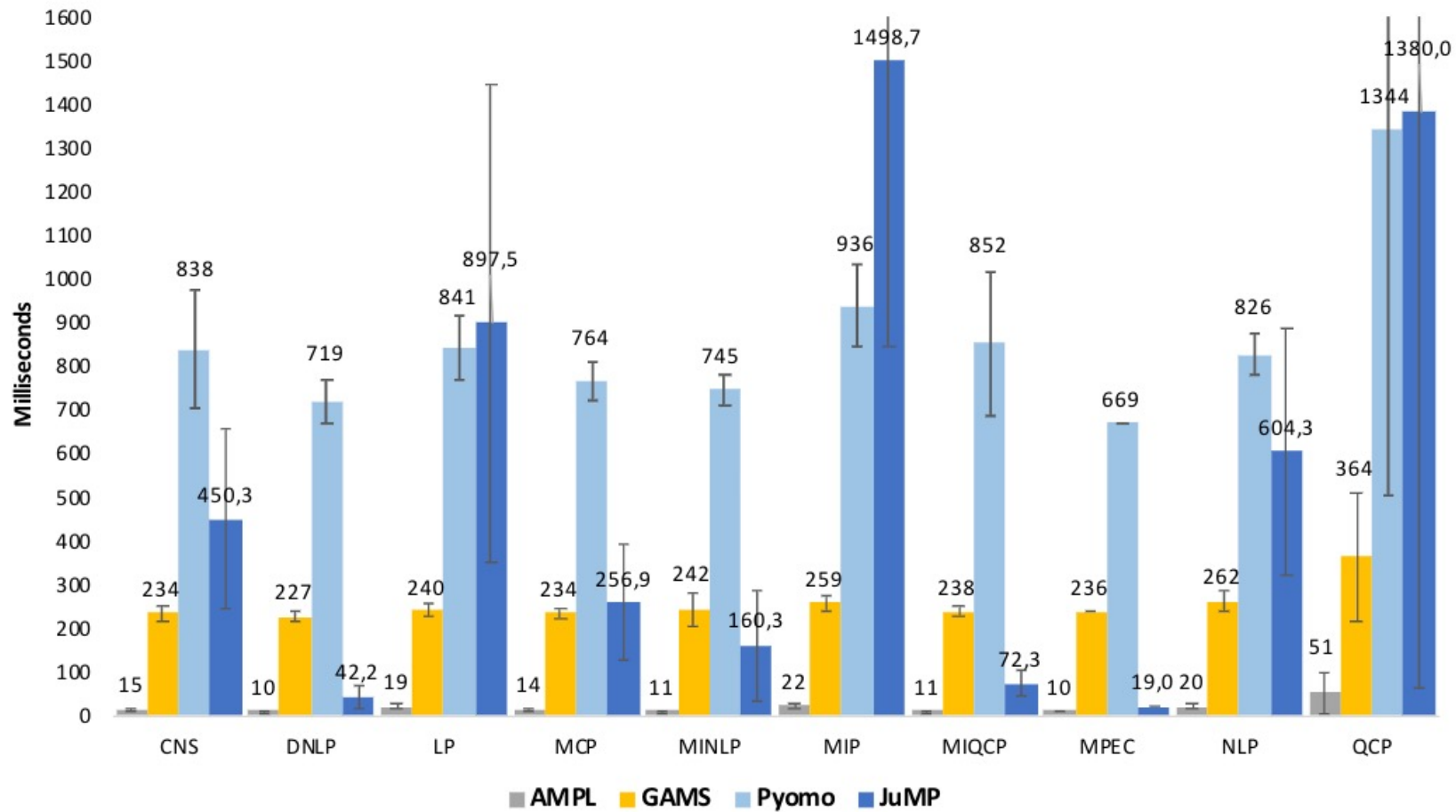
```
m.c2 = Constraint(expr= m.x1 + m.x2 + m.x3 <= 350)
```

```
m.c3 = Constraint(expr= m.x4 + m.x5 + m.x6 <= 600)
```

- Buvo aptikta ir kitų GAMS Convert trūkumų

```
# GAMS Convert generated Pyomo suffix syntax  
suffix ref integer IN;  
# Correct Pyomo suffix syntax  
ref = Suffix(direction=Suffix.EXPORT, datatype=Suffix.INT)
```

Sparta



Vidutinis modelio užkrovimo laikas

Funkcionalumas

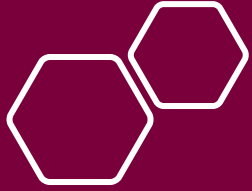
Tik kelios AML turi *presolving* galimybes

AMPL presolve impact with Gurobi presolve off

	Iteration-wise	Time-wise	Iteration-wise (%)	Time-wise (%)
Positive	33	44	54.10%	72.13%
Neutral	10	0	16.39%	0.00%
Negative	18	17	29.51%	27.87%

Lygiagretinimo palaikymas eksperimentinėje stadijoje

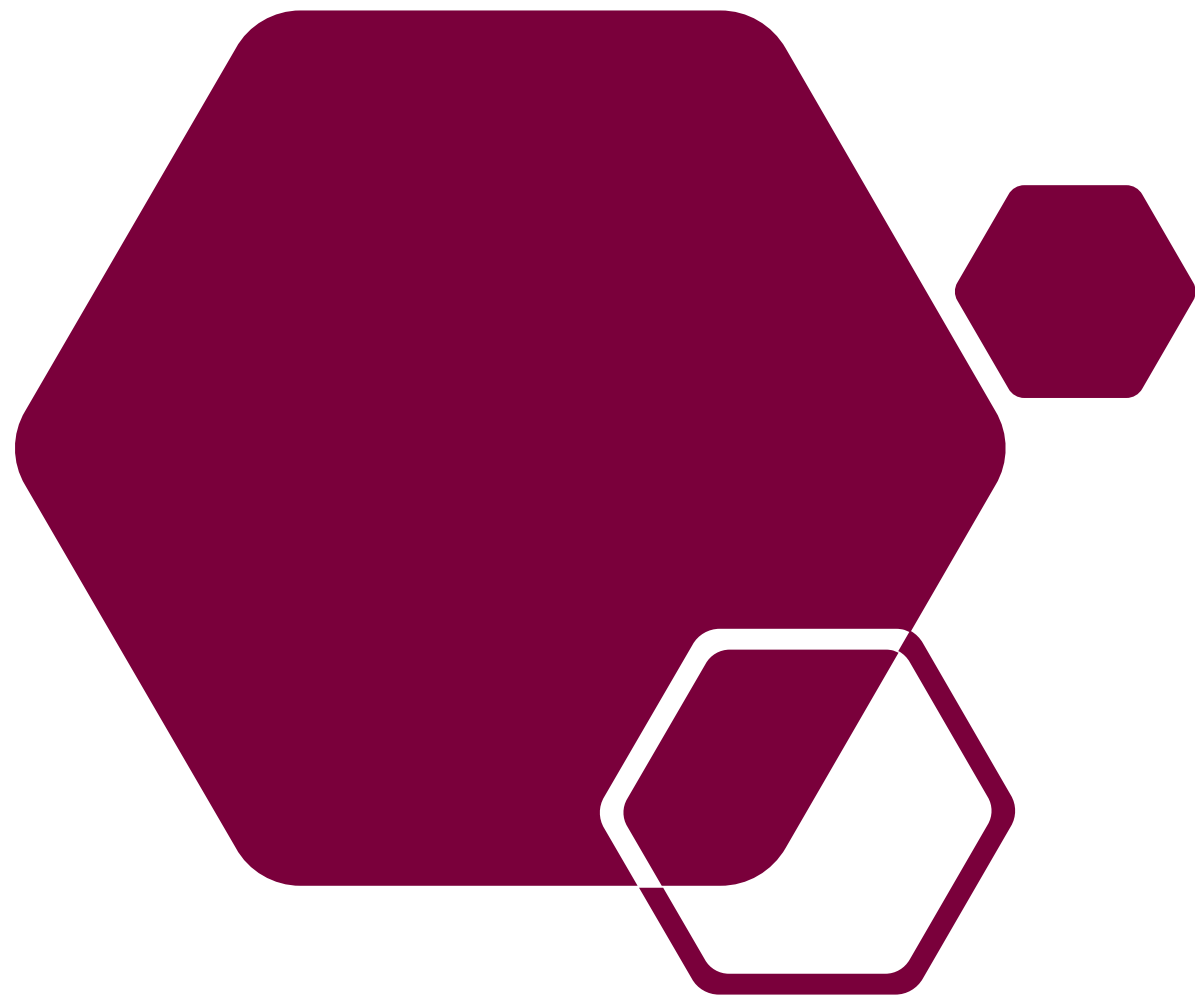
	AMPL	GAMS	JuMP	Pyomo
Lygiagretus scenarijų sprendimas	Parampl	GUSS/GRID	StructJuMP	Pyro/PH
Lygiagretus modelio kūrimas	PSMG	.stage/GDX	StructJuMP	-

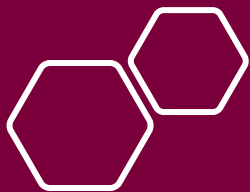


Identifikuoti trūkumai

- AML sintaksės mokėjimas norint apsirašyti modelį;
 - Nesuderinamumas (ribotas suderinamumas) tarp skirtingų AML;
 - Skirtingas *solverių* palaikymas priklausomai nuo AML;
 - Skirtingas optimizavimo uždavinių tipų palaikymas;
 - Skirtinga sparta ir funkcionalumas;
-
- **Visa tai reikalauja daug žinių ir dažniausiai nėra vieno geriausio pasirinkimo vartotojui**

**Siūlomas
problemos
sprendimas**





Universalus AML įrankis

Web technologijų pagrindu kuriama sistema

Modelio apsirašymui nereikia mokėti jokios specifinės modeliavimo kalbos

Įrankio viduje automatiškai išnaudojamos geriausios AML savybės

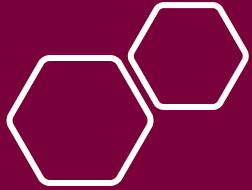
Numatyta galimybė įgalinti presolving'ą

Numatyta galimybė palaikyti lygiagretų modelių parengimą

Tai pirmoji universalios optimizavimo įrankių sistemos dalis, su galimybe plėsti.

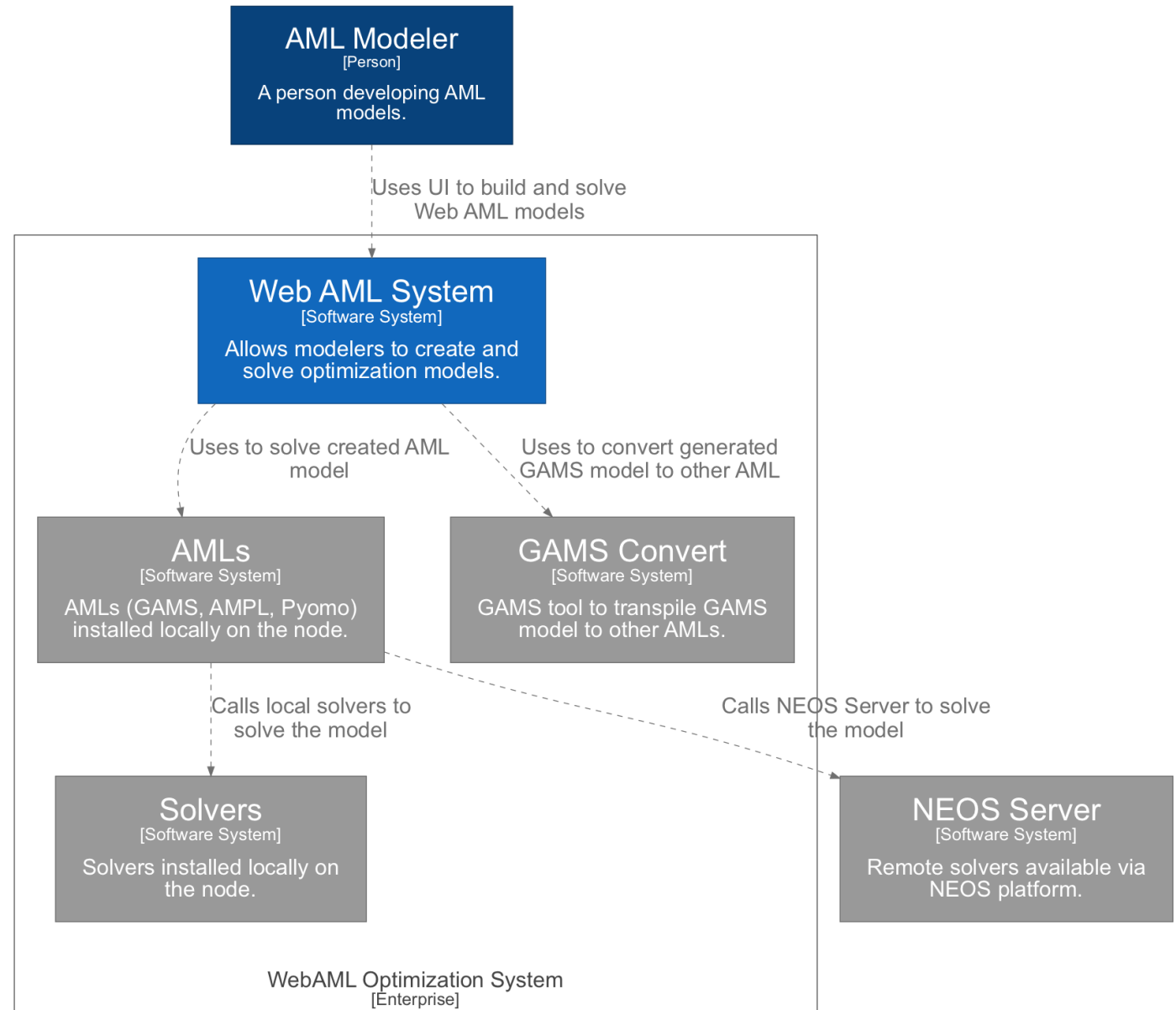
Įrankio prototipo projektiniai sprendimai



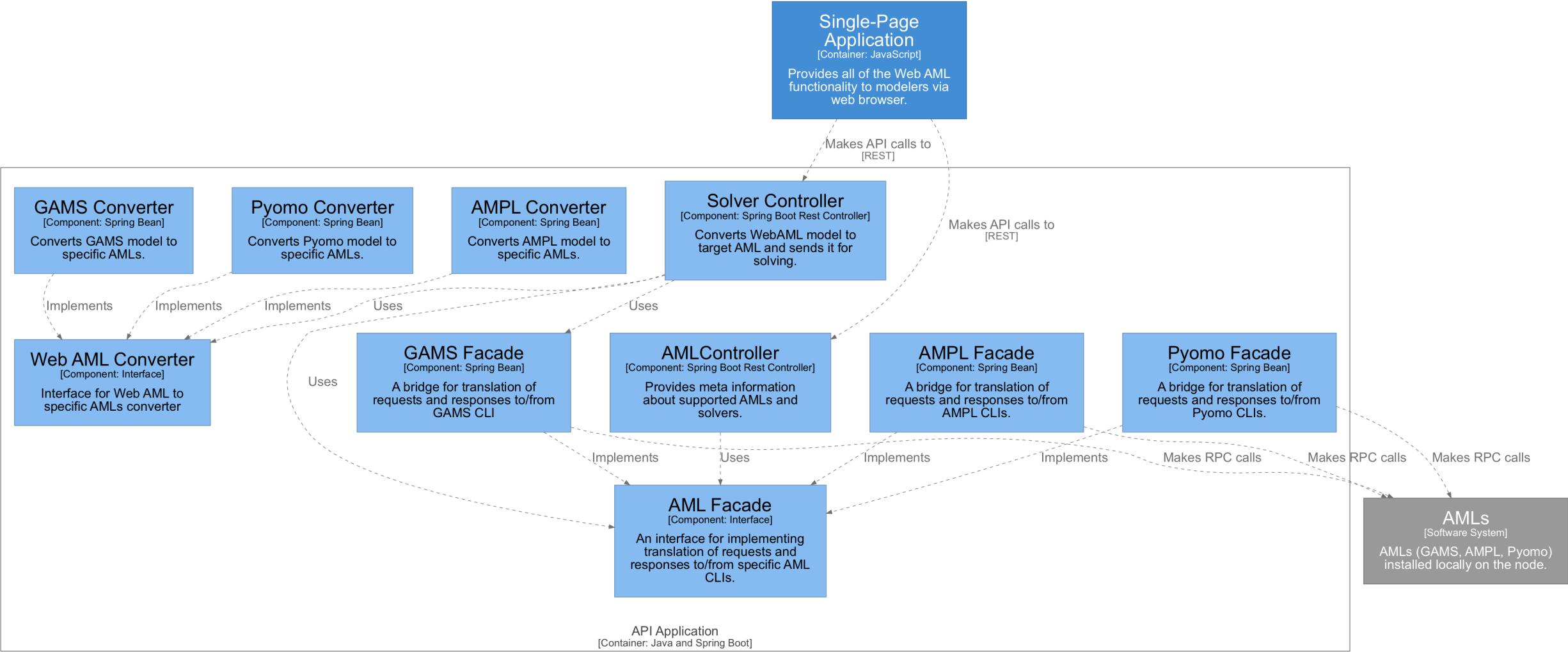


WebAML

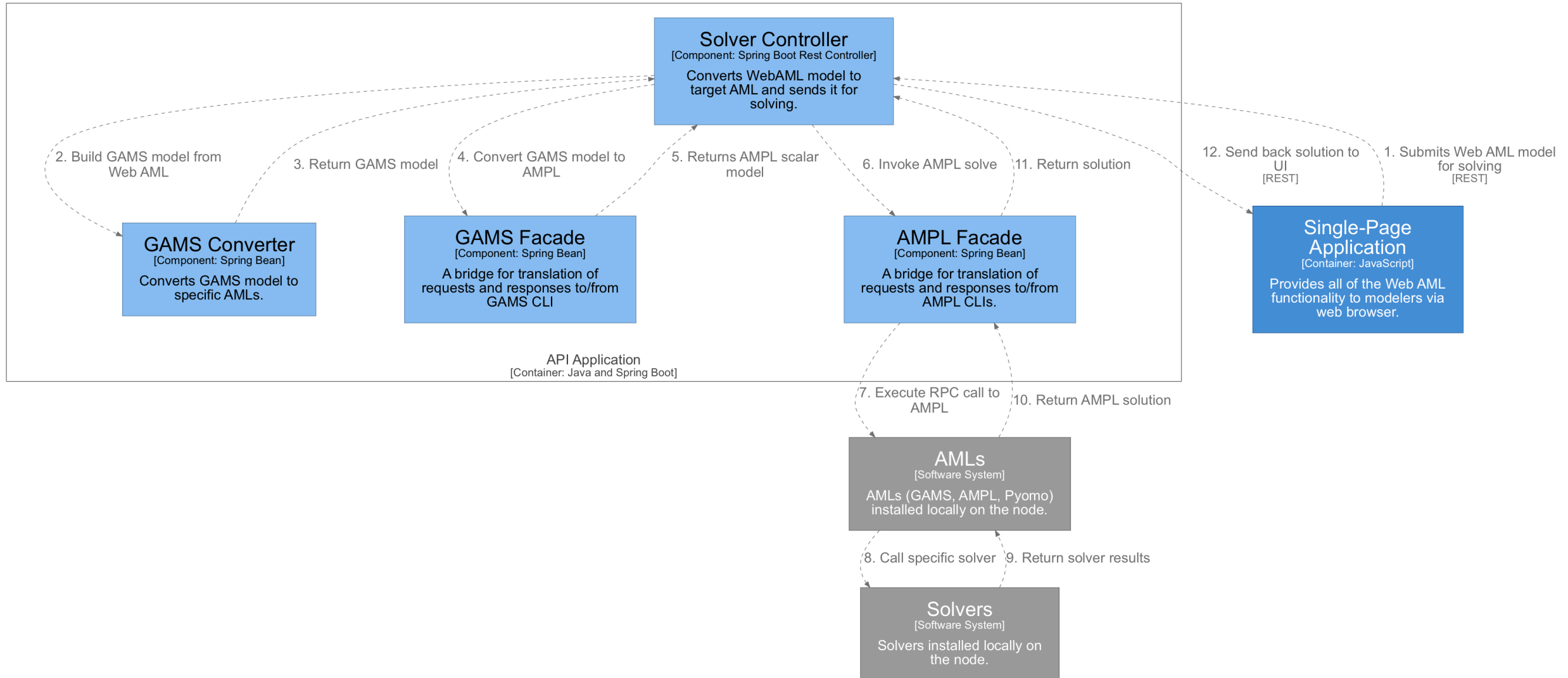
- Trys pagrindiniai komponentai
 - WebAML kalba – JSON Schema paremta kalba skirta struktūrizuoti, validuoti ir išsaugoti modelį
 - WebAML SPA – React.js paremta vartotojo sąsaja įgalinanti modeliuotoją konstruoti modelį
 - WebAML Service – Java/Spring Boot paremta aplikacija suprantanti WebAML kalbą ir gebanti komunikuoti su įdiegtomis AML
- Savybės
 - Spręsti modelį naudojant specifinę AML ir solverį
 - Eksportuoti/užkrauti į WebAML JSON failą
- Kodas pasiekiamas:
 - <https://github.com/vaidasj/webaml>



Komponentų diagrama



Panaudos atvejais



Vartotojo sąsaja

WebAML

Web-based algebraic modeling language

The name of a model*

The description of a model

WebAML model*

List of sets in a model*



List of parameters in a model*

Choose File

Select existing WebAML file to import

Export

Solve

Solve WebAML model using specific AML, solver and features

Algebraic Modeling Language*

GAMS



Solver*



Solve

Vartotojo sąsaja

WebAML parameter structure*



Name of a parameter*

Type of a parameter*

Indexed parameters require indexes property to be provided.

Indexes as Sets for INDEXED parameters

Values of a parameter*

$f * d_{ij} / 1000$

WebAML set structure*

Name of a set*

Type of a set*

Currently only SIMPLE sets are supported.

Values of a set*

Data type of values in a set*

The description of a set

Minimize

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n.$$

Vartotojo sąsaja

List of constraints in a model*

WebAML constraints structure*



Name of a constraint*

Type of constraint*

The indexes schema

Required if constraint type is INDEXED



Value of a constraint as a LaTeX expression*

$$\sum_j x_{ij} \leq a_i$$

Description of a constraint

List of objectives*

Currently only one objective per model is supported

WebAML objective structure*



Name of a objective function*

Type of objective function*

Value of a objective function as a LaTeX expression*

$$\sum_i \sum_j c_{ij} * x_{ij}$$

Description of a objective function

Minimize

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n.$$

Vartotojo sąsaja

WebAML

Web-based algebraic modeling language

The name of a model*

Transportation Problem

The description of a model

Minimizing transportation cost from multiple origins to multiple destinations

WebAML model*

List of sets in a model*

WebAML set structure*



Name of a set*

i

Type of a set*

Currently only SIMPLE sets are supported.

SIMPLE

Values of a set*

Seattle



Solve

Solve WebAML model using specific AM

Algebraic Modeling Language*

AMPL

Solver*

cplex

Solve

Solution

153.675

Details

6 variables, all linear
5 constraints, all linear; 12 nonzeros
5 inequality constraints
1 linear objective; 6 nonzeros.

CPLEX 20.1.0.0: optimal solution; objective 153.675
4 dual simplex iterations (0 in phase I)

Minimize $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m$$

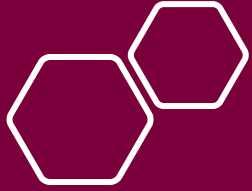
$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n.$$

WebAML JSON

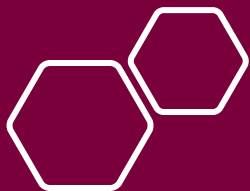
```
{
  "name": "Transportation Problem",
  "description": "Minimizing transportation cost from multiple origins to multiple destinations",
  "webamlVersion": 1,
  "model": {
    "constraints": [
      {
        "name": "supply",
        "type": "INDEXED",
        "indexes": ["i"],
        "value": "\\sum_j x_{ij} \\leq a_i",
        "description": "Observe supply limit at plant"
      },
      {
        "name": "demand",
        "type": "INDEXED",
        "indexes": ["j"],
        "value": "\\sum_i x_{ij} \\geq b_j",
        "description": "Satisfy demand at market"
      }
    ],
    "objectives": [
      {
        "name": "cost",
        "type": "MINIMIZE",
        "value": "\\sum_i \\sum_j c_{ij} * x_{ij}",
        "description": "MINIMIZE transportation cost"
      }
    ]
  }
}
```

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{Subject to:} \quad & \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \\ & \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, n \\ & x_{ij} \geq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$



Rezultatai

- Pasiūlyta formalizuota (JSON Schema) algebrinė modeliavimo kalba (Web AML) ir pateiktas atviro kodo prototipas palaikantis WebAML
- Įrankis nereikalauja specifinių modeliavimo kalbų žinių
- Įrankis leidžia spręsti problemas pasinaudojant skirtingomis AML ir solveriais
- Pateiktos įrankio vystymo gairės ir techniniai plėtimo taškai



Tolimesnis darbo planas

Galutinės daktaro disertacijos
parengimas

Disertacijos korekcijos atsižvelgiant
į recenzentų pastabas

Disertacijos gynimas