

V-DEVS pieeja pilsētvides dinamikas imitācijas modelēšanā

Arnis Lektuers, Riga Technical University

Kopsavilkums. Šajā rakstā ir piedāvāts konceptuāls ietvars aģentu bāzētu modeļu integrācijai ar šūnu automātiem, ģeogrāfiskajām automātu sistēmām (GAS) un ģeogrāfiskajām informācijas sistēmām pilsētvides dinamikas imitācijas modelēšanas kontekstā.

Pēdējos gados virkne zinātnisko mēģinājumu ir vērsti uz risinājumu iegūšanu pilsētvides sistēmu modelēšanai un imitācijai, izmantojot automātu bāzētus modeļus, kas ļauj pāriet no vispārēja mēroga, apvienota statiskā līdzsvarā esoša telpiskā attēlojuma, uz daudz detalizētāka mēroga formām, kur imitācijas modelēšanas centrā atrodas dinamiskie procesi.

Piedāvātais ietvars izmanto vizuālo diskreto notikumu sistēmu specifiku (V-DEVS), kas nodrošina integrētu modelēšanu un imitāciju virtuālā imitācijas modelēšanas vidē, tādējādi atrisinot pastāvošo problēmu, ka aģentu bāzētas un ģeogrāfiskās informācijas sistēmas atsevišķi pilnībā nenodrošina integrētas modelēšanas un imitācijas iespējas. Darbā ir panākta sākotnēja analogija starp GAS koncepcijām un V-DEVS formālismu, par eksperimentālo piemēru izmantojot Šellinga segregācijas modeli, bet nākotnē ir nepieciešams veikt vairāk eksperimentu, lai gūtu skaidru pārliecību par V-DEVS ietvara struktūras iespējām un ierobežojumiem pilsētvides dinamikas imitācijas modelēšanā.

Atslēgas vārdi: V-DEVS, daudzāģentu sistēmas, šūnu automāti, ģeoimitācija, pilsētvides dinamika.

IEVADS

Pēdējos gados pilsētvides pētījumos popularitāti ir guvušas jaunas imitācijas formas, kas atbalstītas ar sasniegumiem daudzās starpdisciplinārās zinātnu jomās, it īpaši ģeogrāfijas un datoru zinātnēs. Šie modeļi arvien biežāk ir bāzēti uz *šūnu automātu* (angļu val. *Cellular Automata* (CA)) vai *daudzāģentu sistēmu* (angļu val. *Multi-Agent Systems* (MAS)) formālismiem, un tiek bieži pielietoti telpisku sistēmu imitācijai dinamiskā un augstas izšķirtspējas kontekstā [1, 2]. Modelēšanas sistēmu uzvedībai ar tiešu ģeogrāfiskās telpas atkarību ir nepieciešamas ģeogrāfisks atbalsts, kas parasti tiek nodrošināts ar *ģeogrāfiskajām informācijas sistēmām* (GIS).

Neraugoties uz to, potenciālu pilsētvides imitācijā, CA un MAS ir ierobežotas ģeogrāfiskajā funkcionalitātē, tās apskatot izolēti. Ierobežojumi rodas, nodalot izpratni par modelēšanas rīkiem un to modelēto sistēmu telpisko dinamiku. Eksistējošie daudzāģentu sistēmu (aģentu centrēts skatījums) un ģeogrāfisko informācijas sistēmu (resursu centrēts skatījums) pētījumi parāda, ka esošās platformas nenodrošina integrētu abu skatījumu modelēšanu un imitāciju [3].

Relatīvi jauna alternatīva pilsētvides sistēmu pētījumiem ir *ģeoimitācija* [4], kas ir balstīta uz *ģeogrāfisko automātu sistēmu* (angļu val. *Geographical Automata Systems* (GAS)) koncepciju, kura cieši sasaista telpiskos datus un procesu

modeļus vienotā integrētā vidē. Ģeoimitācija ir saistīta ar automātu bāzētām metodikām diskreto, dinamisku un akciju orientētu telpisko sistēmu imitācijai, kombinējot šūnu automātus un daudzāģentu sistēmas telpiskā kontekstā.

Kaut gan CA, MAS un GAS ir intuitīvas un relatīvi vienkārši verificējamas, tām ir acīmredzams trūkums – tās nepiedāvā vienotu formālismu modeļu attēlošanai.

Diskreto notikumu sistēmu specifika (angļu val. *Discrete Event System Specification* (DEVS)) [5, 6] ir vispārējs sistēmteorētisks formālisms, kas ir paredzēts diskreto notikumu sistēmu dinamikas aprakstam un definēšanai, ļaujot attēlot sistēmu specifiku dažādās imitācijas modeļu klasēs (diferenciālvienādojumi, šūnu automāti u.c.). Katrai modeļa klasei atbilstošs DEVS atvasinātais formālisms ļauj definēt atbilstošu imitācijas modeli. Tā kā sarežģītu sistēmu specifiku bieži vien ir vajadzīgs aptvert dažādus imitācijas modeļus, tad saites starp modeļiem var tikt izveidotas, izmantojot dažādas DEVS daudzformālismu koncepcijas.

DEVS metodikas potenciālās priekšrocības pilsētvides imitācijā ir tādas, ka DEVS skaidri nodala modelēšanas un imitācijas slāņus, kurus ir iespējams neatkarīgi verificēt un atkārtoti lietot citās kombinācijās ar minimālu atkārtotu verifikācijas nepieciešamību, ļaujot ievērojami vienkāršot un paātrināt modeļa izstrādi. DEVS satur arī skaidri definētu sistēmas modularitātes un komponentu sasaistes koncepciju saliktu modeļu veidošanai hierarhiskā veidā.

Šis raksts piedāvā konceptuālu pieeju, kas sevī ietver CA, MAS un GAS koncepcijas vienotā DEVS formālisma paplašinājuma V-DEVS bāzētā ietvarā pilsētvides sistēmu modelēšanai un imitācijai. Piedāvātajai pieejai ir šādas priekšrocības:

- vienots formālisms ģeogrāfisko automātu modeļu izveidei un attēlošanai;
- vienota bāze sistēmu modelēšanas un 2D/3D vizualizācijas integrācijai;
- imitācijas procesu, vizualizācijas un lietotāja mijiedarbības komponentu orientēta sasaiste un sinhronizācija.

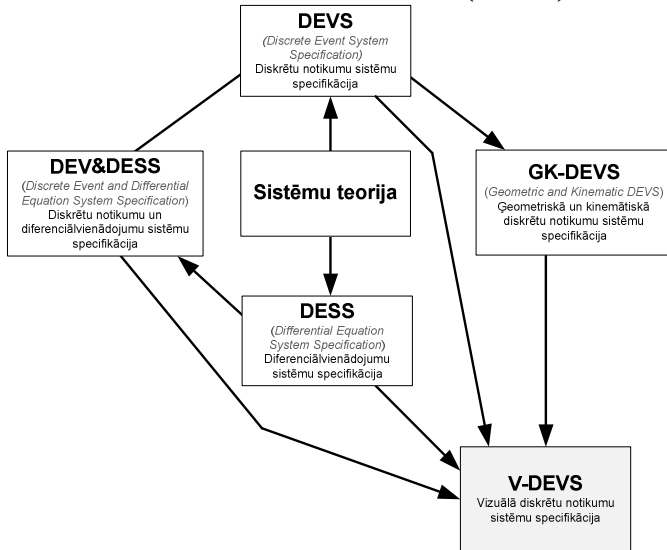
V-DEVS FORMĀLISMS

Kaut gan eksistē DEVS bāzētie rīki, kas nodrošina vizuālu imitācijas eksperimentu plānošanu un imitācijas datu un rezultātu vizualizāciju, klasiskais DEVS formālisms nemodificētā veidā nav pietiekami piemērots integrētai interaktīvai hibrīdu sistēmu imitācijai un vizualizācijai.

Šo problēmu ļauj atrisināt *vizuālā diskreto notikumu sistēmu specifika* (angļu val. *Visual Discrete Event System*

Specification (V-DEVS)) [7], kas ir DEVS formālisma paplašinājums, izstrādāts Rīgas Tehniskajā universitātē, nodrošinot diskreto notikumu un nepārtrauktu sistēmu un interaktīvas 2D/3D vizualizācijas integrāciju.

V-DEVS formālisma pamatideja un diskreto notikumu imitācijas modelēšanas struktūra ir aizgūta no klasiskā DEVS formālisma, bet nepārtraukto stāvokļu imitācijas elementi aizgūti no DEVS formālisma paplašinājumiem - DESS, DEV&DESS un GK-DEVS formālismiem (1. attēls).



1. att. V-DEVS formālisma saikne ar citiem DEVS formālisma paplašinājumiem.

Datorvizualizācijas integrācija ir iespējama un efektīva stratēģija esošās imitācijas tehnoloģijas veikspējas un kvalitātes uzlabošanai vides pētījumos. 2D/3D vizualizācija palīdz lietotājiem efektīvāk izprast modelējamo sistēmu, nodrošina lielu ar imitāciju saistītas informācijas kopu vizuālu analīzi un palielina imitācijas rezultātu izpēti un analīzes ticamību.

Formālā V-DEVS metodika ir piemērota kā teorētiskā bāze diskreto notikumu un nepārtrauktu sistēmu hibrīdai imitācijai, nodrošinot komponentorientētu imitācijas procesu, vizualizācijas un lietotāja mijiedarbības sasaisti un sinhronizāciju.

Atomāru V-DEVS modeli AM_{V-DEVS} ir iespējams aprakstīt šāda korteža veidā:

$$AM_{V-DEVS} = \langle X, Y, S, \delta_{ext}, \delta_{int}^{discr}, \lambda^{discr}, ta^{discr}, \delta_{int}^{cont}, \lambda^{cont}, ta^{cont} \rangle, \quad (1)$$

kur

$X = \langle X^{discr}, X^{cont} \rangle$ - diskreto un nepārtrauktu ieeju kopa;

$Y = \langle Y^{discr}, Y^{cont} \rangle$ - diskreto un nepārtrauktu izeju kopa;

$S = S^{discr} \times S^{cont}$ - secīgu stāvokļu ($s \in S$) kopa;

$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$ - ārējā pārejas funkcija,

kur

$Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta^{discr}(s)\}$ - summārā stāvokļu kopa;

e - pagājušais laiks, kopš pēdējās diskretās pārejas;

$\delta_{int}^{discr} : S \rightarrow S$ - diskreto notikumu iekšējā pārejas funkcija;

$\lambda^{discr} : S \rightarrow R_{0,\infty}^+$ - diskreto notikumu izejas funkcija;

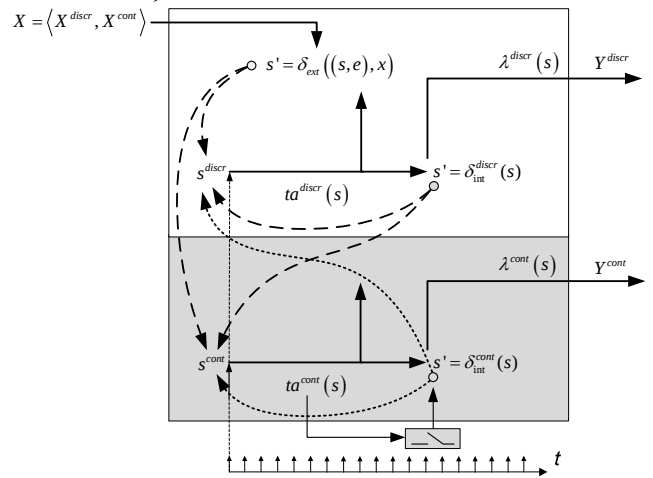
$ta^{discr} : S \rightarrow R_{0,\infty}^+$ - diskreto notikumu laika ritējuma funkcija;

$\delta_{int}^{cont} : S^{cont} \rightarrow S^{cont}$ - nepārtrauktā iekšējā pārejas funkcija;

$\lambda^{cont} : S \rightarrow Y^{cont}$ - nepārtrauktā izejas funkcija;

$ta^{cont} : S \rightarrow R_{0,\infty}^+$ - nepārtrauktā laika ritējuma funkcija.

Atomārs V-DEVS modelis apraksta gan diskretus, gan nepārtrauktus procesus. 2. attēlā ir parādīta vispārēja V-DEVS atomārā modeļa aktivitāšu dinamika.



2. att. V-DEVS atomārā modeļa dinamika.

Mērķu un nosacījumu definēšanai, pie kādiem tiek veikta modelējamās sistēmas statiskā / dinamiskā vizualizācija, ir izstrādāta V-DEVS vizualizācijas ietvara koncepcija. Vizualizācijas ietvars saistībā ar DEVS eksperimentālo ietvaru ir lietotāja mijiedarbības un vizuālās attēlošanas vides operacionālais formulējums imitācijas nolūkiem.

V-DEVS BĀZĒTA ĢEOIMITĀCIJAS FORMALIZĀCIJA

Ģeogrāfisko automātu sistēmu paradigmas interpretācijai ar V-DEVS līdzekļiem ir nepieciešams visus GAS komponentus pārveidot par atbilstošiem V-DEVS elementiem, izmantojot šūnu automātu un aģentu koncepcijas.

Katra šūna $\mathcal{D}$ šūnu telpā var tikt definēta kā atomārs V-DEVS modeļa AM_{V-DEVS} atvasināts komponents AM_C :

$$AM_C = \langle X_C, Y_C, S_C, \delta_{ext_C}, \delta_{int_C}^{discr}, \lambda_C^{discr}, ta_C^{discr}, \delta_{int_C}^{cont}, \lambda_C^{cont}, ta_C^{cont} \rangle, \quad (2)$$

kur

$$S_C = \langle (m, n), S^{N_C}, VD_C, phase \rangle,$$

kur

$(m, n) \in R^2$ - šūnas koordinātas;

S^{N_C} - kaimiņu šūnu stāvokļi;

VD_C - šūnas stāvokļa vizualizācijas dati;

$phase = \{ 'active', 'passive', ... \}$ - šūnas dinamiskās darbības nosaukums.

Aģents AM_A ir telpiski pozicionēts objekts, kas integrēts ĢIS slānī, un aģentiem var būt šūnu vai vektoru attēlojums:

$$AM_A = \langle X_A, Y_A, S_A, \delta_{ext_A}^{discr}, \delta_{int_A}^{discr}, \lambda_A^{discr}, ta_A^{discr}, \delta_{int_A}^{cont}, \lambda_A^{cont}, ta_A^{cont} \rangle, \quad (3)$$

kur

$$S_A = \langle (x, y), VD_A, phase, AM_{C_A} \rangle,$$

kur

$(x, y) \in R^2$ - aģenta koordinātas;

VD_A - aģenta stāvokļa vizualizācijas dati;

$phase = \{ 'active', 'passive', 'moving', ... \}$ - aģenta dinamiskās darbības nosaukums;

AM_{C_A} - norāde uz šūnu AM_C , kurā dots aģents atrodas.

Sarežģītākām šūnām un aģentiem ir iespēja tos vienkāršot komponentu tīkla veidā.

Klasiskā DEVS, kā arī V-DEVS saistītajos modeļos ir predefinētas saites starp atomāriem modeļiem. Taču MAS, kur tūkstošiem aģentu var mijiedarboties savā starpā, ar predefinētajām aģentu saitēm saistītā skaitļošanas sarežģītība (galvenokārt atmiņas patēriņš) nav adekvāti savienojama ar nelielas veikspējas datorsistēmām. Tāpat ne vienmēr konceptuāli ir iespējamas predefinētas saites starp aģentiem. Šī problēma ir acīmredzama, ja ir nepieciešamas tikai īslaicīgas saites dinamiskai mijiedarbībai starp aģentiem, piemēram, pārgrupēšanai (dinamiskai organizācijai grupās), lokālām un īslaicīgām attiecībām (dinamiskās relācijas).

Darbā [8] ir piedāvāta formāla specifikācija DSDEVS dinamiskai DEVS struktūrai, kur ir nodrošināta iespēja ar centrālu tīkla administratora modeļa palīdzību ierosināt struktūras izmaiņas. DSDEVS bāzes modeļi ir tie paši klasiskie DEVS modeļi, bet saistīto modeļu struktūra var mainīties laika gaitā. Balstoties uz [8] struktūru, ir piedāvāta daudzāģentu sistēmu formalizācija ar DSDEVS formālismu [9]. Šajā darbā V-DEVS saistītais modelis tiek aprakstīts ar DSDEVS bāzētu struktūru.

$$CM_{GAS} = \langle X_{GAS}, Y_{GAS}, AM_{\chi} \rangle, \quad (4)$$

kur

X_{GAS} - ieejas notikumu kopa;

Y_{GAS} - izejas notikumu kopa.

Dinamiskās struktūras (piemēram, modeļu tīkla topoloģija un kompozīcija) izmaiņas apstrādā administratora modelis. Administratora modelis var tikt definēts kā V-DEVS modeļa speciālgadījums:

$$AM_{\chi} = \langle X_{\chi}, Y_{\chi}, S_{\chi}^{discr}, \delta_{\chi}^{discr}, \lambda_{\chi}^{discr}, ta_{\chi}^{discr} \rangle, \quad (5)$$

kur

S_{χ}^{discr} - strukturālais stāvoklis, kuru raksturo atsauces uz aktīvajiem modeļiem un sasaistes funkcijām;

$\delta_{\chi} : X_{\chi} \times S_{\chi} \rightarrow S_{\chi} = \{ \delta_{int_{\chi}}^{discr} \cup \delta_{ext_{\chi}} \}$ - strukturālā stāvokļa pārejas funkcija;

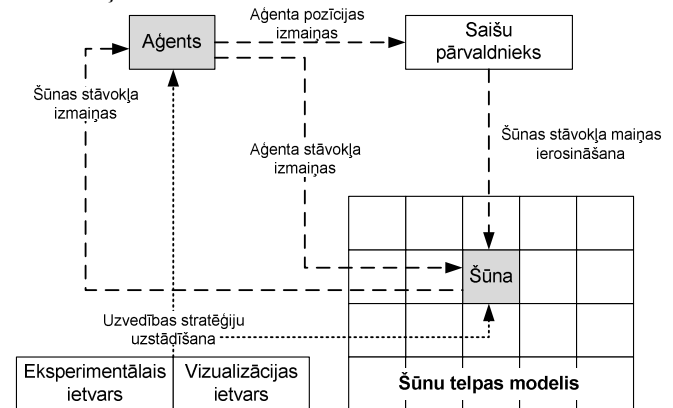
$\lambda_{\chi}^{discr} : S_{\chi} \rightarrow Y_{\chi}$ - strukturālā stāvokļa izejas funkcija;

$ta_{\chi}^{discr} : S_{\chi} \rightarrow R_{0,\infty}^+$ - diskreto notikumu laika bāze.

V-DEVS bāzēti aģentu modeļi var ierosināt dinamisko saišu izmaiņas šūnu telpā. Šim nolūkam katrs aģents glabā savu pozīciju 2D šūnu telpā.

PROGRAMMATŪRAS REALIZĀCIJA UN APROBĀCIJA

3. attēls parāda vispārējo sistēmas arhitektūru, kas sevī integrē aģentu un šūnu telpas modeļus. Sistēmas pamatā ir V-DEVS šūnu telpas modelis, kas šūnu stāvokļu inicializācijai izmanto ĢIS datus.



3. att. Hibrīdas aģentu un šūnu telpas imitācijas arhitektūra.

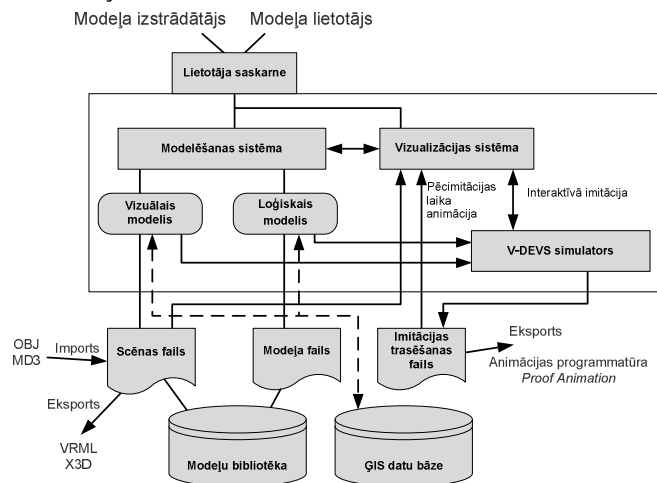
Pilsētvide tiek attēlota kā no taisnstūra šūnām sastāvoša 2D šūnu telpa, kuras dimensijas ir atkarīgas no ĢIS datu izšķirtspējas. Katra šūna imitācijā tiek attēlota kā atomārs V-DEVS modelis. V-DEVS ļauj attēlot šūnu kā automātu modeli ar ieejas un izejas portiem starp šūnas kaimiņiem ziņojumu apmaiņai. Rezultātā pilsētvides šūnu telpa ir saistītais modelis, veidots no noteikta skaita savstarpēji saistītiem šūnu modeļiem.

Attēlojuma nolūkiem ir parādīts tikai viens aģents, taču attēlu ir iespējams paplašināt lietojuma gadījumiem ar daudziem aģentiem. Šeit ir četri brīvi saistīti komponenti: šūnu telpas modelis, aģenta modelis, saišu pārvaldnieka modelis un eksperimentālā / vizualizācijas ietvara modelis.

Mijiedarbības nodrošināšanai starp aģentu un tā vidi, starp aģentu un atbilstošo šūnu, kurā atrodas aģents, tiek izveidota saite. Šīs saites tiek pievienotas / dzēstas dinamiski imitācijas gaitā, aģentam pārvietojoties no vienas šūnas uz citu.

Vispārējā V-DEVS vides programmatūras realizācijas arhitektūra ir parādīta 4. attēlā.

V-DEVS vide ir veidota no trim moduļiem – imitācijas kodola, grafisko bloku modelēšanas interfeisa un izpildes laika vizualizācijas sistēmas.



4. att. V-DEVS sistēmas realizācijas arhitektūra.

Integrētā imitācijas vide ir balstīta uz Eclipse Rich Client Platform (Eclipse RCP) tehnoloģiju, Java platformu GUI lietojumu izstrādei dažādās darbvirsmas operētājsistēmās, piemēram, Windows, Linux, Mac OS X, Solaris. Lai saglabātu V-DEVS vides modulāru arhitektūru, saite ar ĢIS ir realizēta ar brīvu sasaisti. Ar šādu sasaisti dati tiek eksportēti no ĢIS uz simulatoru. Specifiskais ĢIS datu pieejas modulis ir izstrādāts ar GeoTools – atvērtā pirmkoda Java bibliotēku ģeogrāfisko informācijas sistēmu izstrādei.

Modelēšanas process V-DEVS imitācijas vidē ir parādīts ar populāro Šellinga segregācijas modeļa [10] piemēru. Šis modelis demonstrē V-DEVS koncepcijas iespējas pilsētvides dinamikas modelēšanā.

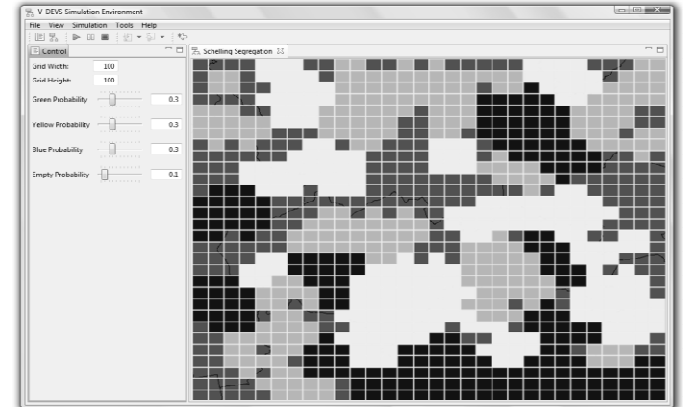
V-DEVS vidē ir veikti vairāki imitācijas eksperimenti. Šo eksperimentu mērķis ir divējāds:

1. piedāvātās koncepcijas testēšana un validācija, balstoties uz literatūras avotos pieejamo validēto Šellinga segregācijas modeli;
2. V-DEVS modelēšanas vides iespēju demonstrēšana pilsētvides imitācijai.

Sākotnēji modeļa aģenti ir izvietoti nejaušā secībā šūnu telpā; tie secīgi pieņem lēmumus atbilstoši iepriekšējam izvietojumam. Sākotnējais aģentu telpiskais izvietojums tiek nolasīts no ĢIS. Aģenta rezidentālo uzvedību nosaka rezidentālā disonanse (neitralitāte vai izvairīšanās) starp noteiktā šūnā atrodošos aģentu un tā kaimiņiem 3×3 apkārtnē ap aģenta atrašanās vietu. Segregācijas dinamikas attēls ir iegūts imitācijas gaitā (5. attēls). Iegūtie rezultāti ir salīdzināti ar literatūras avotos aprakstītajiem Šellinga modeļa eksperimentālajiem pētījumu rezultātiem un ar Repast daudzāģentu modelēšanas vidē iegūtajiem datiem, kas parāda, ka izstrādātais modelis ir korekts.

V-DEVS priekšrocības šī modeļa izveidē ietver iespējas ātri izveidot modeļa struktūru ar grafiskās lietotāja saskarnes palīdzību. Lietotājam ir iespējas mijiedarboties ar modeli tā izpildes gaitā.

Detalizēti V-DEVS pilsētvides modelēšanas veikspējas mērījumi un analīze nav šī raksta uzmanības lokā. Taču standarta DEVS hierarhiskais simulators ir neefektīvs, jo tas katrā imitācijas solī pārbauda visus saistītos un atomāros modeļus, lai noteiktu izpildāmos modeļus, kura skaitļošanas sarežģītība ir kopējais modeļu skaits imitācijas modelī. Šo problēmu ir iespējams novērst, izmantojot imitācijas dzini, kas izmanto efektīvas datu struktūras izpildāmo modeļu sekošanai.



5. att. Stabils telpiskais populācijas elementu sadalījums Šellinga modelī.

SECINĀJUMI

Šis raksts piedāvā konceptuālu pieeju, kas balstīta uz V-DEVS formālismu un var tikt izmantota fundamentālu problēmu risināšanai, modelējot pilsētvides sistēmas ar tradicionālajām CA, MAS un GAS metodēm. Sākotnējā analogija starp GAS koncepcijām un V-DEVS formālismu ir panākta.

Šajā sākotnējā darbā ir izmantota brīva statistiska sasaiste starp imitācijas modelēšanu un ĢIS, bet nākotnē ir paredzēts realizēt dinamisku sasaisti. Nākotnē šajā pētījumu virzienā ietver piedāvātā ietvara validāciju, izmantojot vēsturiskus urbānos datus un sarežģītāku pilsētvides modeļu izstrādi. Ir nepieciešams veikt vairāk eksperimentu, palielinot modeļa elementu un imitācijas scenāriju skaitu, lai gūtu skaidru pārliecību par V-DEVS ietvara struktūras iespējām un ierobežojumiem.

Pilsētvides imitācija nākotnē ietvers arvien lielāku modelējamās pasaules dinamikas detalizācijas līmeni. Šie „ekstrēmie dinamiskie” modeļi veidos reālistiskāku un detalizētāku pasauli dažādos iespējamajos veidos. Piedāvātais V-DEVS formālisms kalpo kā efektīva bāze šādas dinamiskas detalizētas pasaules attēlojuma iegūšanai.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] Batty M., Couclelis H., Eichen M. Special Issue: Urban Systems as Cellular Automata // Environment and Planning B: Planning and Design. – Vol. 24 (1997), pp. 159-164.
- [2] Ferber J. Multi-Agent Systems – an Introduction to Distributed Artificial Intelligence. – Boston: Addison Wesley, 1999, 528 p.
- [3] Gonçalves A., Correia L., Rodrigues A., Santos A. M. Towards DEVS-Based Simulations of GeoAgent-Based Models with Decentralised Dynamic Properties // Spring Simulation Multiconference (DEVS Integrative M&S Symposium). April 2006. – San Diego: The Society for Modeling and Simulation International, 2006.

- [4] Benenson I. and Torrens P. M. Geosimulation: Automata-Based Modeling of Urban Phenomena. - West Sussex: John Wiley & Sons, 2004, 312 p.
- [5] Zeigler B. P. Theory of Modelling and Simulation. - New York: John Wiley & Sons, 1976, 435 p.
- [6] Zeigler B. P., Praehofer H., Kim T. G. Theory of Modeling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems. 2nd edition. - San Diego: Academic Press, 2000, 510 p.
- [7] Lektauers A. Integrētas pieejas izstrāde diskrētu notikumu un nepārtrauktu sistēmu imitācijas modelēšanai un vizualizācijai. Promocijas darba kopsavilkums. - Rīga: RTU izdevniecība, 2008. - 30 lpp.
- [8] Barros F. J. Modeling Formalisms for Dynamic Structure Systems // ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation. - Vol. 7 (1997), pp. 501-515.
- [9] Duboz R., Versmisse D., Quesnel G., Muzy A., Ramat E. Specification of Dynamic Structure Discrete Event Multiagent Systems // Agent Directed Simulation (Spring Simulation Multiconference), April 2006. -

Huntsville: The Society for Modeling and Simulation International, 2006.

- [10] Schelling T. Dynamic Models of Segregation // Journal of Mathematical Sociology. - Vol. 2. (1971), pp. 143-186.

Arnis Lektauers received the Dr.sc.ing. degree (2008) from the Riga Technical University (RTU), Riga, Latvia. He worked for a development of software applications at private companies from 1996 to 2009. A. Lektauers is now a Leading Researcher in the RTU Spatial and Regional Development Research Center and an Assistant Professor in the Department of Modelling and Simulation at RTU. His main research interests include interactive hybrid modelling and simulation, and their application to complex systems design, industrial, economical, ecological and sustainable development problems. He is a member of System Dynamics Society, European Social Simulation Association and Latvian Simulation Society.
Phone: +371 29441990; E-mail: arnis@itl.rtu.lv

Arnis Lektauers. V-DEVS Approach to Simulation Modelling of Urban Dynamics

In this paper a conceptual framework for integrating of agent-based models with cellular automata, geographic automata systems (GAS) and geographic information systems in the context of modelling and simulation of urban dynamics is proposed. In recent years, a number of research efforts have focused on presenting solutions for modelling and simulation of urban systems using automata-based models allowing a transition from large scale, aggregate spatial representation in a static equilibrium to much finer scale disaggregate forms where dynamic processes are the primary focus of the simulation. The proposed framework uses Visual Discrete Event System Specification (V-DEVS) that provides integrated modelling and simulation in a virtual interactive simulation environment, in such way solving the existing problem that multi-agent systems and geographic information systems separately do not provide truly integrative modelling and simulation capabilities. The proposed approach is an extension of DEVS formalism providing a unified system-theoretical basis for integration of simulation modelling and 2D/3D visualization, as well as component-oriented coupling and synchronization of simulation processes, visualization and user interaction. A first analogy between GAS concepts and the V-DEVS formalism has been achieved by using the Shelling's segregation model as an experimental example, but more experiments need to be done in the future, in order to have a clear idea of what reasonable limits should be imposed on the structure of V-DEVS framework for simulation of urban dynamics.

Арнос Лектауэрс. Подход V-DEVS в имитационном моделировании динамики городской среды

В данной статье предложен концептуальный подход интегрирования агентных моделей с клеточными автоматами, географическими системами автоматов (GAS) и геоинформационными системами в контексте имитационного моделирования городской динамики. В последние годы ряд научных работ был ориентирован на совершенствование решений для имитационного моделирования городских систем, используя автоматные модели, что позволило бы в будущем перейти от укрупнённого, находящегося в статическом равновесии пространственного крупномасштабного представления к формам намного более детализированного масштаба, где в центре имитационного моделирования находятся динамические процессы. Предложенный подход использует визуальную спецификацию систем дискретных событий (V-DEVS), что обеспечивает интегрированное имитационное моделирование в виртуальной среде моделирования, разрешая экзистующую проблему, что агентные системы и геоинформационные системы по отдельности в полной мере не обеспечивают возможности интегрированного имитационного моделирования. Предложенный подход является расширением DEVS формализма, что обеспечивает единую системно-теоретическую базу для интеграции имитационного моделирования и 2D/3D визуализации, и тоже компонентно-ориентированную увязку имитационных процессов, визуализации и взаимодействия пользователя. В работе достигнута начальная аналогия между концепциями GAS и формализмом V-DEVS, в качестве экспериментального примера используя модель сегрегации Шеллинга, но в будущем необходимо провести множество экспериментов, чтобы получить полную информацию о возможных ограничениях фреймворка V-DEVS для моделирования городской динамики.