

УДК 681.5

## ЗАСТОСУВАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ В ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

В.А. Савченко

*Національний університет оборони України, докторант*

*savitan@ukr.net*

У статті запропоновано моделі інтелектуальних компонентів та методика обробки інформації для геоінформаційних систем оперативного управління.

*Ключові слова: мультиагентна система, інтелектуальний агент, геоінформаційна система*

The article highlights the intelligent component models and information analyses methodology for the geoinformation systems of operational management.

*Keywords: multiagent system, intelligent agent, geoinformation system*

В статье предложены модели интеллектуальных компонентов и методика обработки информации для геоинформационных систем оперативного управления.

*Ключевые слова: мультиагентная система, интеллектуальный агент, геоинформационная система*

### **Вступ**

У даний час геоінформаційні системи (ГІС) все частіше застосовуються для вирішення завдань оцінювання ситуацій, прийняття рішень та моделювання процесів управління, що дозволяє говорити про появу нового класу ГІС – інтелектуальних геоінформаційних систем. У якості основного засобу інтелекту в таких ГІС пропонується використання мультиагентних технологій. Проте, при розробці і використанні мультиагентних ГІС, особливо призначених для роботи в розподіленому середовищі різноманітних АСУ, неминуче виникає низка проблем, успадкованих від традиційних топологічно-орієнтованих і об'єктно-орієнтованих підходів до побудови ГІС.

### **1. Постановка проблеми інтелектуалізації геоінформаційних систем**

Проблема інтелектуалізації обробки даних в ГІС на основі мультиагентних технологій полягає у тому, що “топологічні” ГІС слабо підтримують або зовсім не підтримують об'єктно-орієнтовані моделі предметної області, а в “об'єктних” ГІС топологічні відносини між об'єктами зазвичай представлені в дуже обмеженому вигляді. Разом з тим, згідно з загально прийнятими визначеннями, інтелектуальні компоненти (агенти) повинні забезпечувати складні множинні реакції на виникаючі у інформаційному просторі події та ситуації, накопичувати дані про минулі ситуації, володіти здатністю до добування знань та модифікації моделей оточуючого середовища.

Очевидно, що зв'язати програмні об'єкти та інтелектуальні агенти і організувати їх пряму взаємодію безпосередньо в архітектурі ГІС дуже складно, оскільки у випадку такого прямого переходу необхідно буде транслювати усю наявну інформацію безпосередньо до інтерфейсів і методів інтелектуальних компонентів, а також у зворотньому напрямку, причому здійснювати це у реальному часі, у режимі жорстких часових обмежень.

Звідси випливає необхідність розробки додаткових проміжних інформаційних структур, які б дозволили здійснити зв'язок між програмними об'єктами системи та її інтелектуальними агентами, а також розробки уніфікованих моделей інтелектуальних агентів, здатних функціонувати у програмному середовищі ГІС.

## 2. Аналіз підходів щодо вирішення проблеми

Для впровадження мультиагентних технологій до прикладних інформаційних систем провідними компаніями світу вже розроблено велику кількість програмних середовищ, які дозволяють розробляти, підтримувати та оперувати різноманітними агентами. При цьому велика кількість відомих агентних платформ, таких як JACK [1] та ZEUS [2], надають серйозну підтримку інтелектуальній поведінці агентів. Метою даних агентних платформ є розробка інтелектуальних агентів, які можуть проявляти складну поведінку як самі, так і у складі агентної системи. Інші платформи (такі як JADE [3] та LEAP [4]) фокусуються на суворій реалізації специфікацій стандарту FIPA, які надають можливість взаємодії між різноманітними агентними платформами. У таких платформах вся увага зосереджена на реалізації взаємодії всередині агентної системи і вони можуть бути використані для створення співтовариств агентів, у яких велику роль відіграє взаємодія один з одним. Існує і третій напрямок у розробці агентних платформ, у якому агенти розглядаються як технологія програмування, яка сприяє розробці складних розподілених додатків. Даний тип платформ найкраще описується у поняттях специфікацій OMG MASIF [5] (як приклад Grasshopper [6]).

Усі зазначені платформи пропонують лише загальний інструментарій для інтелектуалізації процесів обробки інформації, в тому числі і в ГІС, і не враховують особливості предметної області ГІС, складну структуру топологічних зв'язків графічних примітивів, складну поведінку специфічних агентів та мінливість цілей їх функціонування в ГІС оперативного призначення.

Метою статті є розробка моделей інтелектуальних компонентів, які б враховували особливості предметної області ГІС оперативного призначення, динаміку та мінливість цілей їх функціонування. До інтелектуальних компонентів у даному контексті відносяться інтелектуальні агенти та геоінформаційні об'єкти – як проміжний рівень між агентами та програмними об'єктами системи.

### 3. Модель геоінформаційного об'єкта

Логіка дій інтелектуального агента повинна відтворювати всі основні етапи аналізу обстановки людиною і тому, через неможливість оперативної обробки інформації за всією територією огляду, пропонується поділ території на окремі квадрати, розмір яких обирається оператором виходячи з умов задачі та продуктивності засобів обчислення. Для кожного окремого квадрата  $R$  простору функціонування агентів у момент часу  $t$  формується геоінформаційний об'єкт (рис. 1).

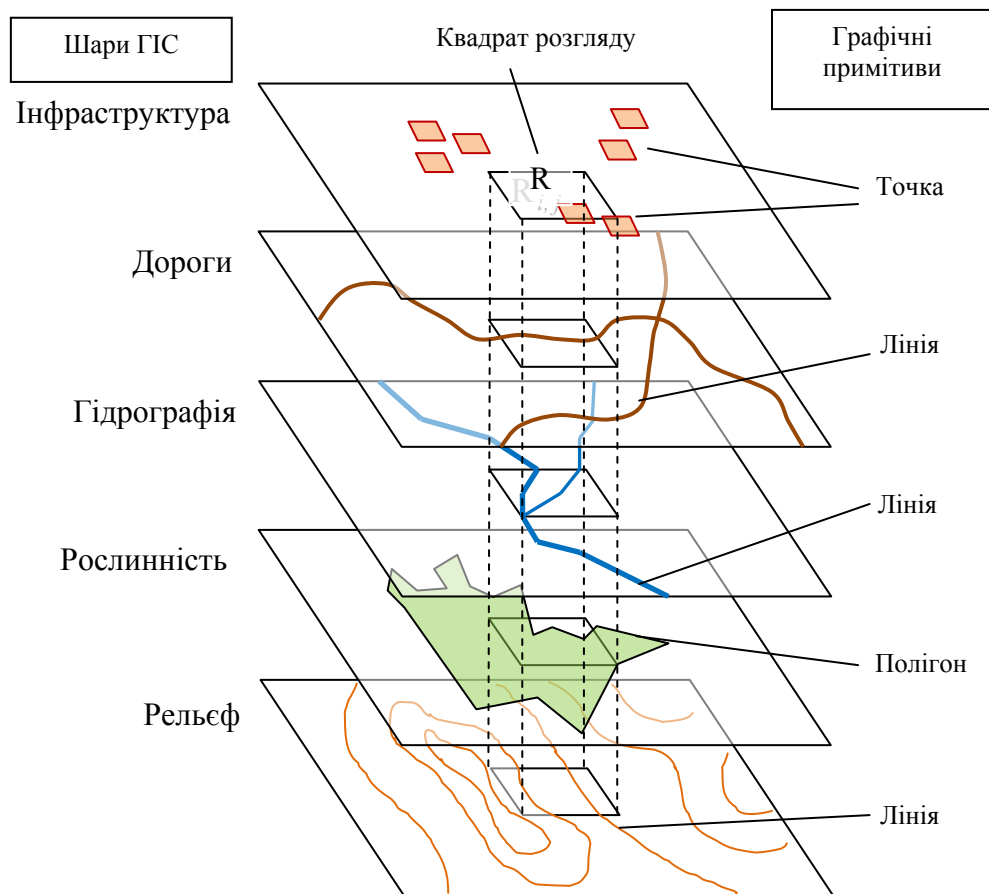


Рис. 1. Графічна інтерпретація геоінформаційного об'єкта

Геоінформаційний об'єкт (ГІО) може бути визначено, як четвірку:

$$G(R,t) = \langle N(R,t), G_P(R,t), A_{GP}(G_P(R,t)), F_A(R,t) \rangle, \quad (1)$$

де  $N(R,t)$  – ім'я (номер) геоінформаційного об'єкта;

$G_P(R,t)$  – список графічних примітивів, які структурно входять до даного ГІО;

$A_{GP}(G_P(R,t))$  – список атрибутів графічних примітивів ГІО;

$F_A(R,t)$  – множина функцій, які може виконувати даний ГІО при його активації;

$R$  – квадрат території;

$t$  – час активації ГІО.

Далі дужки  $(R,t)$  опустимо, якщо це не викликатиме непорозумінь.

Ім'я об'єкта  $N$  є рядком символів, який відповідає загальній угоді про імена об'єктів програми.

Сукупність графічних примітивів, які входять до ГІО може бути подана у вигляді списку

$$G_P = \left\{ \left\{ l_1, g_1^{l_1}, \dots, g_{n_1}^{l_1} \right\}, \left\{ l_2, g_1^{l_2}, \dots, g_{n_2}^{l_2} \right\}, \dots, \left\{ l_m, g_1^{l_m}, \dots, g_{n_m}^{l_m} \right\} \right\}, \quad (2)$$

де  $l_i, i = 1 \dots m$  – інформаційний шар ГІС;

$g_j^{l_i}, i = 1 \dots m, j = 1 \dots n_i$  – графічний примітив відповідного інформаційного шару ГІС;

$m$  – кількість інформаційних шарів;

$n_i$  – кількість примітивів у шарі  $l_i$ .

Список атрибутів графічних примітивів  $A_{GP}(G_P)$  кожному з графічних примітивів виразу (2) ставить у відповідність деякий набір атрибутів, які визначають індивідуальні властивості кожного з примітивів, збільшуючи тим самим інформаційну ємність системи

$$A_{GP}(G_P) = \left\{ \left\{ g_j^{l_i}, a_1, \dots, a_k \right\} \mid i = 1 \dots m, j = 1 \dots n_i \right\}. \quad (3)$$

При цьому сам атрибут  $a$  можна подати у вигляді кортежу  $a = \langle N_a, S_a, V_a \rangle$ , де  $N_a$  – ім'я атрибута,  $S_a$  – множина, на якій визначається значення атрибута,  $V_a$  – значення атрибута.

Поняття *множина функцій активації* дозволяє природним чином розділити ГІО на два класи: активні ( $\{F_A\} \neq \emptyset$ ) і пасивні ( $\{F_A\} = \emptyset$ ). Активні ГІО при їх активації можуть здійснювати певні дії. Пасивні ГІО власною поведінкою не володіють, а використовуються лише як носії інформації. У результаті активації ГІО агент повинен отримати результат, який би дав йому змогу приймати рішення щодо подальших дій.

Активацію ГІО пропонується здійснювати за методикою, яка включає два етапи: 1 етап – формування ГІО, 2 етап – кластеризацію ГІО. В основі процесу формування ГІО лежать процедури визначення належності графічних примітивів до квадрата  $R$ , після чого формується множина графічних примітивів та їх атрибутів, які приймають участь у кластеризації.

Процес кластеризації заснований на визначенні функцій впливу графічних примітивів кожного з шарів ГІС на процес виконання завдання системою і

у загальному вигляді полягає у визначенні виду та параметрів зазначених функцій.

Так, вплив рельєфу може оцінюватись на підставі залежності  $\mu_r(x, y) = f\left(\frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y}\right)$ , де  $H$  – висота місцевості. Вплив об’єктів шару рослинності

визначається за функцією  $\mu_f(x, y) = f(S_f, T_f(x, y), h_f(x, y), d_f(x, y), \rho_f(x, y))$ , де  $S_f$  – площа насаджень,  $T_f$  – порода,  $h_f$  – висота,  $d_f$  – діаметр дерев,  $\rho_f$  – густина насаджень. Основні об’єкти гідрографії враховуються через залежність  $\mu_w(x, y) = f(w_w(x, y), d_w(x, y), \theta_w(x, y))$ , де  $w_w$  – розмір об’єктів,  $d_w$  – глибина об’єктів,  $\theta_w$  – специфічні характеристики. Дорожня мережа оцінюється за співвідношенням  $\mu_L(x, y) = f(w_L(x, y), s_L(x, y), \delta_L(x, y))$ , де  $w_L$  – ширина доріг,  $s_L$  – покриття шляхів,  $\delta_L$  – додаткові характеристики. Вплив інфраструктури району оцінюється за  $\mu_b(x, y) = f(n_b(x, y), s_b(x, y), \zeta_b(x, y))$ , де  $n_b$  – кількість будівель у квадраті,  $s_b$  – розміри будівель,  $\zeta_b$  – додаткові параметри інфраструктури.

Для комплексної оцінки впливу території на виконання завдання, використовуючи вирази введених функцій впливу застосуємо узагальнюючу функцію

$$h(x, y) = 1 - (1 - \gamma_r \mu_r(x, y))(1 - \gamma_f \mu_f(x, y)) \times (1 - \gamma_w \mu_w(x, y))(1 - \gamma_L \mu_L(x, y))(1 - \gamma_b \mu_b(x, y)), \quad (4)$$

де  $\gamma_r, \gamma_f, \gamma_w, \gamma_L, \gamma_b$  – відповідні вагові коефіцієнти, які обираються виходячи з умови виконання задачі. Область визначення функції (4) – просторові координати  $(x, y)$  в межах квадрата  $R$ , область значень – проміжок від 0 до 1, оскільки всі функції впливу є нормованими, а вагові коефіцієнти також мають лежати в проміжку  $[0, 1]$ .

Проте, у реальній роботі системи в режимі жорстких часових обмежень для агента є досить складним аналіз та прийняття рішення безпосередньо за (4). Тому більш доцільно визначати деякий усереднений показник шляхом інтегрування (4) в межах квадрата  $R$

$$h_R = \iint_R h(x, y) dx dy. \quad (5)$$

Процес кластеризації завершується визначенням кластера ГІО, що може бути виконано шляхом віднесення значення  $h_R$  до одного з інтервалів:

$$\begin{aligned} 0 \leq h_R < \hat{h}_1 &\rightarrow \text{“Кластер 1”}, \\ \hat{h}_1 \leq h_R < \hat{h}_2 &\rightarrow \text{“Кластер 2”}, \\ \dots \\ \hat{h}_{k-1} \leq h_R \leq 1 &\rightarrow \text{“Кластер k”}. \end{aligned}$$

Взаємодія агентів здійснюється як шляхом передачі кодів стану квадратів (символів кластерів), так і шляхом обміну пасивними ГІО (за необхідності).

#### 4. Модель інтелектуального агента

Інтелектуальний агент (ІА) – це програмний або апаратний об’єкт, який автономно функціонує для досягнення цілей, поставлених перед ним власником або користувачем, володіє певними інтелектуальними здібностями [7].

На підставі аналізу характеристик та недоліків відомих моделей ІА, пропонується визначати ІА ГІС як структуру вигляду

$$IA = \langle N_{IA}, S_A, V_{IA}, M_{VB} \rangle, \quad (6)$$

де  $N_{IA}$  – ім’я інтелектуального агента;  $S_A$  – структура його атрибутів;  $V_{IA} = \{IA\}$  – множина вкладених ІА;  $M_{VB}$  – механізм вибору поведінки агента.

Інтелектуальний агент на підставі критеріїв вибору поведінки, закладених в  $M_{VB}$ , приймає рішення про реалізацію в даний момент часу деякого сценарію поведінки і ініціалізує відповідне повідомлення оператору та іншим агентам ГІС.

Визначимо інформаційне оточення  $IA_i$  як сукупність інтелектуальних агентів, що оточують і взаємодіють з  $IA_i$  і множину атрибутів, які необхідні  $IA_i$  для оцінки стану навколишнього середовища

$$V_{IA_i} = (AR_{IA}^i, AR_G^i), \quad AR_{IA}^i = (N_{IA_j}, A_{IA_j}^\xi, \dots, A_{IA_j}^\psi, N_{IA_I}, A_{IA_I}^\xi, \dots, A_{IA_I}^\psi). \quad (7)$$

Станом інформаційного оточення  $IA_i$  назвемо сукупність значень  $AR_{IA}^i$  у момент часу  $t$ :

$$SV_{IA_i}(t) = (\langle A_{IA_j}^\xi(t) \rangle, \dots, \langle A_{IA_j}^\psi(t) \rangle, \dots, \langle A_{IA_I}^\xi(t) \rangle, \dots, \langle A_{IA_I}^\psi(t) \rangle), \quad (8)$$

де  $\langle A_{...}(t) \rangle$  – значення атрибута у момент часу  $t$  з погляду даного інтелектуального агента.

Інформацію про стан інформаційного простору  $IA_i$  отримує не одночасно і не одночасно від усіх точок цього простору, оскільки виникає затримка при обміні інформацією між агентами.

Інформаційний простір агента може формуватися двома способами:

а) статично – коли  $AR_{IA}^i$  визначені на стадії проектування ІА і в процесі роботи інтелектуальної ГІС не змінюються;

б) динамічно – коли  $AR_{IA}^i$  можуть змінюватися в процесі функціонування інтелектуальної ГІС.

Отже, модель інформаційного оточення  $IA_i$  визначиться як

$$MIS_{IA_i} = (V_{IA_i}(t), SV_{IA_i}(t), FV_{IA_i}(t+1)), \quad (9)$$

де  $FV$  – функція формування інформаційного оточення.

Модель механізму вибору поведінки ІА приймає наступний вигляд:

$$M_{VB} = (M_{IS}, M_G, M_{SR}, M_A), \quad (10)$$

де  $M_G$  – модель цільовизначення,  $M_{SR}$  – модель процесу пошуку рішення (пошуку шляхів досягнення мети),  $M_A$  – модель активних дій, тобто механізм активізації повідомлень, які впливають на середовище.

Для даного ІА модель цільовизначення будується таким чином

$$MG_{IA_i} = (SS_{IA_i}, FSS_{IA_i}, GS_{IA_i}, G_{IA_i}^t, G_{IA_i}^d, FG_{IA_i}^D, FG_{IA_i}^S, FAG_{IA_i}, SMA_{IA_i}(t)). \quad (11)$$

Далі нижні індекси опустимо там, де це не викликає непорозумінь. Тут  $SS$  – множина стратегій, що розуміються як методи вибору цілей  $SS = (S_i | i = 1, \dots, n)$ ,  $FSS$  – функція вибору стратегії;  $GS$  – множина статичних цілей,  $G^t$  – множина цілей, що отримуються даним ІА від агентів більш високого рівня ієрархії,  $G^d$  – множина цілей, які можуть бути передані ІА нижніх рівнів;  $FG^D$  – функція формування динамічних цілей,  $FG^S$  – функція вибору статичних цілей;  $FAG$  – функція вибору активних цілей, тобто цілей, прийнятих до реалізації;  $SMA$  – стан навколишнього мультиагентного оточення.

На відміну від існуючих агентних моделей стан мультиагентного оточення більш доцільно визначати з урахуванням динаміки його розвитку, враховуючи як минулу історію, так і очікуване майбутнє. Стан мультиагентного оточення розглядається з позиції даного інтелектуального агента  $IA_i$ , тому

$$SMA_{IA_i}(t) = (Pa_{IA_i}(t), Rt_{IA_i}(t), Fu_{IA_i}(t)). \quad (12)$$

Минуле мультиагентного оточення є  $Pa_{IA_i}(t) = \bigcup_0^t (V_{IA_i}(t-1), SV_{IA_i}(t-1))$ ,

тобто об'єднання інформаційного простору і його станів за сукупністю попередніх моментів часу.

Поточний стан мультиагентного оточення  $Rt_{IA_i}(t) = (V_{IA_i}(t), SV_{IA_i}(t))$ .

Передбачуваний майбутній стан  $Fu_{IA_i}(t) = (V_{IA_i}(t+1), SV_{IA_i}(t+1))$  – це оцінка інформаційного простору і його стану, виконана у момент часу  $t-1$  тобто на попередньому кроці функціонування ІА. Для здійснення цієї оцінки необхідна функція прогнозу майбутнього мультиагентного оточення  $FP(Rt_{IA_i}(t), MA)$  результатом дії якої і буде  $Fu_{IA_i}(t)$ .

Функція вибору стратегії визначає поточну стратегію залежно від попередньої стратегії, стану мультиагентного оточення, множини активних на даний момент цілей. Таким чином  $FSS : s(t) \times SMA \times GA \rightarrow s(t)$ .

Якщо позначити статичні цілі як  $g_s$ , цілі отримувані від вищих агентів як  $g_t$ , цілі, які передаються нижчим рівням, як  $g_d$  то відповідні множини запишуться у вигляді:  $GS_{IA_i} = \{g_s^i | i = 1, \dots, m\}$ ,  $G_{IA_i}^t = \{g_t^i | i = 1, \dots, l\}$ ,  $G_{IA_i}^d = \{g_d^i | i = 1, \dots, k\}$ .

Функція формування динамічних цілей визначається функціональним перетворенням  $h_{IA_i}^D$  над станом мультиагентного оточення, поточною стратегією, множинами  $G^{AVT(D)}(t)$ ,  $GA(t)$  і сукупністю формул в мові логіки першого порядку над елементами мультиагентного оточення:

$$FG_{IA_i}^D = h^D(SMA_{IA_i}(t), s^i(t), G^{AVT(D)}(t), GA(t), U), \quad (13)$$

де  $U = \{U^j(SMA(t)) | j = 1, \dots, k\}$ . Результатом роботи  $h_{IA_i}^D$  буде множина  $G_{IA_i}^{AVT(D)}(t+1)$ .

Функція вибору статичних цілей визначається функціональним перетворенням  $h_{IA_i}^S$  над станом мультиагентного оточення, поточною стратегією, множиною сформованих статичних цілей на даний момент –  $G^{AVT(D)}(t)$ , множиною активних цілей, прийнятих до виконання і сукупністю формул на мові логіки першого порядку над елементами мультиагентного оточення:

$$FG_{IA_i}^S = h^S(SMA_{IA_i}(t), s^i(t), G^{AVT(S)}(t), GA(t), W), \quad (14)$$

де  $W = \{W^j(SMA(t)) | j = 1, \dots, k\}$ .

Результатом роботи  $h_{IA_i}^S$  буде множина  $G_{IA_i}^{AVT(S)}(t+1)$ .

## Висновки

Результати проведених досліджень у галузі інтелектуалізації геоінформаційних систем виявили необхідність створення проміжного шару між програмними об'єктами ГІС та інтелектуальними агентами – геоінформаційних об'єктів. На основі теоретико-множинного підходу розроблено моделі інтелектуальних компонентів ГІС оперативного призначення, а також запропоновано схему взаємодії інтелектуальних агентів з геоінформаційними об'єктами шляхом активації останніх з застосуванням методики, заснованої на визначенні функцій впливу складових геоінформаційного об'єкта на параметри загального завдання, яке виконується системою.



Застосована модель інтелектуального агента включає спосіб формування його інформаційного простору та модель механізму вибору поведінки агента, що дозволяє враховувати динаміку розвитку мультиагентного світу, складну ієрархію цілей обробки інформації ГІС і формувати різні стратегії поведінки інтелектуальних агентів.

Напрямок подальших досліджень у галузі інтелектуалізації геоінформаційних систем може бути детальне наповнення компонентів запропонованої моделі з використанням сучасних засобів логічного та об'єктного програмування, а також подальше удосконалення моделей інтелектуальних агентів системи та геоінформаційних об'єктів.

## Література

1. Hodgson A. Specification of Coordinated Agents Behavior (The Simple Team Approach). Agent-Oriented Software / A. Hodgson, R. Roenquist, P. Busetta // Pty., Ltd, Melbourne, Australia. Mode of access: <http://www.agent-software.com>
2. Collis J. ZEUS Technical Manual. Intelligent Systems Research Group. BT Labs. / J. Collis, D. Ndumu // British Telecommunications. 1999. – 33 p.
3. Bellifemine F. Developing multi-agent systems with a FIPA-compliant agent framework / F.Bellifemine, A. Poggi, G. Rimassa // Software - Practice And Experience. – 2001, № 31(2) – P. 103 – 128.
4. LEAP // Mode of access: <http://leap.crm-paris.com>
5. OMG Mobile Agent Facility Specification / Mode of access: [http://www.omg.org/technology/documents/formal/mobile\\_agent\\_facility](http://www.omg.org/technology/documents/formal/mobile_agent_facility)
6. Grasshopper // Mode of access: <http://www.grasshopper.de>
7. Швецов А.Н. Применение агентно-ориентированных технологий в проектировании информационных систем организационного управления / А.Н. Швецов, С.В. Дианов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2003. – № 4. – С. 23 – 27.