

*А.А. КАРГИН*, д-р техн. наук, зав. каф., УкрГУЖТ, Харьков,  
*Т.Г. ПЕТРЕНКО*, канд. техн. наук, доц., УкрГУЖТ, Харьков

### **АБСТРАГИРОВАНИЕ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ В УМНЫХ МАШИНАХ НА ОСНОВЕ ГРАНУЛЯРНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

Рассматривается проблема создания умных машин, связанная с обобщением сенсорных данных для принятия управляющих решений в ситуациях, которые не были заложены при проектировании системы. Предлагается подход получения из сенсорных данных знаний в виде абстрактных категорий разного уровня обобщения. Представление сенсорных данных знаниями разного уровня абстрагирования формализовано в виде модели нечеткого гранулярного компьютеринга. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 14 назв.

**Ключевые слова:** умные машины; сенсорные данные; управляющие решения; знания; гранулярные вычисления.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** С четвертой цифровой революцией (Industry 4.0) связывают массовое внедрение умных систем [1 – 3]: умных городов, умных заводов, умных машин (Smart Machines, SMs) и интернета вещей. Несмотря на значительные достижения в создании SM, остается проблема, на решение которой сегодня сконцентрировано внимание – несовершенство механизма обобщения для принятия управляющих решений в ситуациях, которые не были заложены при проектировании системы [4 – 7]. Получить управляющее решение непосредственно на основании первичных сенсорных данных затруднительно, так как для реального окружения описание ситуации не поддается параметризации и приходится обрабатывать большое количество прототипов ситуаций, построенных в виде конкретных наборов сенсорных данных. Для представления ситуации в системе управления SM возможно использовать знания разного уровня абстрагирования и обобщения, полученные из сенсорных данных. Порции таких знаний (категории или понятия) могут рассматриваться как информационные гранулы (Information Granular, IG), образующие гранулярную структуру (Granularly Structure, GS). Знания о всех возможных ситуациях представлены многоуровневой GS. Информационная гранула, как форма абстрактного описания фрагмента ситуации на абстрактном уровне, с одной стороны, может рассматриваться как порция знаний, дающая определение понятию, а, с другой стороны, – как вычислитель, который осуществляет обработку сенсорных данных по алгоритму, предопределённому этой порцией знаний. Разработка модели многоуровневого гранулярного представления сенсорных данных для описания ситуаций, в которых

SM принимают управляющие решения, является нерешенной на сегодняшний день проблемой.

Размерность задачи ситуационного управления существенно сокращается благодаря использованию нечётких правил [8, 9]. Однако, аппарат нечётких множеств первого и второго типа, а также лингвистических переменных позволяет выполнять не более, чем двухуровневое обобщение и абстрагирование, чего явно не достаточно для реальных задач, с которыми сталкиваются SM. Другое направление решения проблемы – абстрагирование и категоризация в виде концептов [10 – 11]. Это существенно сокращает количество возможных прототипов ситуаций (иерархических классов) и, соответственно, решающих правил. В [12] рассмотрена модель представления произвольного набора сенсорных данных концептами разного уровня абстракций и категорий, которые формализованы, как информационные гранулы (Information Granular, IG), образующие гранулярную структуру (Granularly Structure, GS). Обзор возможностей аппарата гранулярных вычислений приведен в [12]. Используемый в настоящей статье подход гранулярного представления знаний и гранулярных вычислений (Granularly Computing, GC) базируется на моделях [13, 14].

**Цель статьи** – разработка модели GC, которая для произвольного набора сенсорных данных на основе знаний, представленных GS, формирует обобщенное описание ситуации в виде категорий.

**Постановка задачи.** Задача ставится в следующем виде. Знания, связанные с информационной гранулой  $ig_i^l$ , где  $ig_i^l$  – обозначение категории,  $l$  – уровень GS,  $i$  – номер гранулы на уровне, раскрывают, через понятия более низкого уровня обобщения. Формально такая порция знаний (прототип) представлена [12]:

$$\langle N, G\{ig_i^l\} = \{ig_j^k\}, (\{\hat{\alpha}_{ig_j^k}, \hat{\beta}_{ig_j^k}, \hat{\gamma}_{ig_j^k}, v_{ig_j^k}\}, \forall g_j^k \in \Omega_{ig_i^l}) \rangle, \quad (1)$$

где  $N$  – идентификатор категории;  $G: \forall (g_j^k, ig_i^l) \in \mathbf{E} \times \mathbf{E}$  – отношение, заданное на пересечении множеств  $\mathbf{E}$  IG всех уровней;  $G\{ig_i^l = \Omega_{ig_i^l} = \{ig_j^k\}$  – фрагмент отношения  $G$ , представляющий

подмножество гранул  $\{ig_j^k\}$  с которыми имеются связи у гранулы  $ig_i^l$ .

Дуге, связывающей рассматриваемую гранулу  $ig_i^l$  с гранулой  $ig_j^k$  в (1), ставится в соответствие образец (прототип) в виде параметров  $\hat{\alpha}_{ig_j^k}, \hat{\beta}_{ig_j^k}, \hat{\gamma}_{ig_j^k}$  нечёткой характеристики гранулы  $\Theta_{ig_j^k}$  и коэффициента

старения информации  $\hat{v}_{ig_j^k}$ , где "шляпка" означает конкретное значение параметра.

Нечёткая характеристика гранулы (Fuzzy Granular Characteristic, FGC) – оценка степени соответствия ситуации (набора сенсорных данных) категории, знания о которой представляет гранула. По сути, FGC – нечёткое множество, заданное на универсальном множестве  $\theta \in [-1, +1]$  (шкала возможных значений уверенности – чёткий фактор уверенности) [13]:

$$\tilde{\Theta} : \{\theta | \mu_{\tilde{\Theta}}(\theta), \forall \theta \in [-1, +1]\}, \quad (2)$$

где волнистая линия под символом обозначает нечёткое множество;

$$\mu_{\tilde{\Theta}}(\theta) = \gamma \cdot e^{-(\theta - \alpha)^2 / 2\beta^2}; \quad \alpha \in [-1, +1], \quad \gamma \in [0, +1], \quad \beta \in (0, \infty).$$

Параметр  $\alpha$  есть численная оценка уверенности в том, что сенсорные данные соответствуют описанию ситуации в виде категории. Параметр  $\gamma$  указывает на полноту информации: насколько информативны сенсорные данные для представления категории. Динамические характеристики сенсорных данных оцениваются параметром динамичности  $\beta$  – интервалом времени с момента, когда появилась ситуация, описываемая категорией.

Гранулярные вычисления базируются на универсальной модели обработки информации отдельно взятой IG. Вычислительная модель IG выглядит традиционно: на основании значений  $n$  входных переменных, где  $n = \text{Card}(\Omega_{ig_i^l})$  в (1), вычисляется значение выходной переменной.

Входные и выходная переменные – FGC. Вычислительная модель IG сводится к сопоставлению фактических значений на входах IG с прототипами (1) IG. Результат сопоставления – степень соответствия сенсорных данных категории, которая представлена IG – FGC на выходе гранулы. Вычислительная модель IG принимает вид

$$[\tilde{\Theta}_{ig_i^l}]_t = F(\{([\tilde{\Theta}_{ig_j^k}]_t, \hat{\Theta}_{ig_j^k}) \forall ig_j^k \in \Omega_{ig_i^l}\}). \quad (3)$$

В (3) FGC в квадратных скобках с индексом времени  $t$  обозначены конкретные значения характеристик на соответствующем шаге вычислений. В статье раскрывается вычислительная модель (3) и приводится универсальный алгоритм гранулярных вычислений на основе этой модели

**Вычислительная модель IG.** Вначале введём базовую двуместную операцию над FGC в виде (4)

$$\Theta = \Lambda^{\alpha\beta\gamma}(\Theta_1, \Theta_2), \quad (4)$$

которая применяется отдельно к параметрам  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  FGC, как показано ниже:

$$\alpha_{\Theta} = \Lambda^{\alpha}(\alpha_{\Theta_1}, \alpha_{\Theta_2}) = \begin{cases} \alpha_{\Theta_1} + \alpha_{\Theta_2} - \alpha_{\Theta_1} \cdot \alpha_{\Theta_2}, & \text{if } \alpha_{\Theta_1} \geq 0 \ \& \ \alpha_{\Theta_2} \geq 0; \\ \alpha_{\Theta_1} + \alpha_{\Theta_2} + \alpha_{\Theta_1} \cdot \alpha_{\Theta_2}, & \text{if } \alpha_{\Theta_1} < 0 \ \& \ \alpha_{\Theta_2} < 0; \\ (\alpha_{\Theta_1} + \alpha_{\Theta_2}) / (1 + \text{MIN}(|\alpha_{\Theta_1}| + |\alpha_{\Theta_2}|)), & \text{otherwise}; \end{cases}$$

$$\beta_{\Theta} = \Lambda^{\beta}(\alpha_{\Theta}, \beta_{\Theta}^-) = \begin{cases} \tilde{\beta}, & \text{if } (\alpha_{\Theta} \geq \varepsilon \ \& \ q(t) = 0) \ \text{or} \ (\alpha_{\Theta} \leq -\varepsilon \ \& \ q(t) = 1); \\ \beta_{\Theta}^- + 1, & \text{otherwise}; \end{cases}$$

$$\gamma_{\Theta} = \Lambda^{\gamma}(\gamma_{\Theta_1}, \gamma_{\Theta_2}) = \gamma_{\Theta_1} + \gamma_{\Theta_2} - \gamma_{\Theta_1} \cdot \gamma_{\Theta_2};$$

$\beta^-$  – значение параметра на предыдущем шаге вычислений.

На основе этой операции построена вычислительная модель IG. Динамические свойства модели поддерживает операция (5)

$$[\Theta_{ig_i^l}]_t = \Lambda^{\alpha\beta\gamma}([\Theta_{ig_i^l}]_{t-1} \cdot e^{-\nu_{ig_i^l} [\beta_{ig_i^l}]_{t-1}}, [\Theta]_t). \quad (5)$$

В (5) входит FGC  $[\Theta']_t$ , которая представлена выражением (6)

$$[\Theta']_t = \text{norm}([\Theta'']_t), \quad (6)$$

где  $\alpha_{[\Theta']_t} = 2(\alpha_{[\Theta'']_t} - 0.5)$ ,  $\beta_{[\Theta']_t} = \beta_{[\Theta'']_t}$ ,  $\gamma_{[\Theta']_t} = \gamma_{[\Theta'']_t}$ ;

$$[\Theta'']_t = \oplus^{\alpha\gamma}((\gamma_{\Theta_n} \cdot \Theta_n), \dots, (\gamma_{\Theta_r} \cdot \Theta_r), \dots, (\gamma_{\Theta_1} \cdot \Theta_1)), \quad \Theta_r = [\Theta_{ig_r^k}]_t;$$

$$\alpha_{[\Theta'']_t} = \begin{cases} \Delta\alpha, & \text{if } \Delta\alpha \leq 1; \\ 1, & \text{if } \Delta\alpha > 1; \end{cases} \quad \gamma_{[\Theta'']_t} = \begin{cases} \Delta\gamma, & \text{if } \Delta\gamma \leq 1; \\ 1, & \text{if } \Delta\gamma > 1; \end{cases}$$

$$\Delta\alpha = (\hat{\gamma}_{\hat{\Theta}_n} \cdot \Delta\alpha_{\Theta_n}) + \dots + (\hat{\gamma}_{\hat{\Theta}_r} \cdot \Delta\alpha_{\Theta_r}) + \dots + (\hat{\gamma}_{\hat{\Theta}_1} \cdot \Delta\alpha_{\Theta_1});$$

$$\Delta\alpha_{\tilde{\theta}_r} = I_{\tilde{\theta}_r} \cdot \text{MIN}(\Delta_{\tilde{\theta}_r}^1, \Delta_{\tilde{\theta}_r}^2); \quad \Delta_{\tilde{\theta}_r}^1 = 1 - \frac{1}{2} \sqrt{(\alpha_{\tilde{\theta}_r} - \hat{\alpha}_{\tilde{\theta}_r})^2};$$

$$\Delta_{\tilde{\theta}_r}^2 = e^{-\frac{1}{v} |\beta_{\tilde{\theta}_r} - \hat{\beta}_{\tilde{\theta}_r}|};$$

$$\Delta\gamma = \gamma'_{\tilde{\theta}_n} + \dots + \gamma'_{\tilde{\theta}_r} + \dots + \gamma'_{\tilde{\theta}_1}; \quad \gamma'_{\tilde{\theta}_r} = \text{MIN}(\gamma_{\tilde{\theta}_r}, \hat{\gamma}_{\tilde{\theta}_r});$$

$I_{\tilde{\theta}_r}$  – коэффициент информативности гранулы [13].

В [12] показано, что для представления знаний в задачах управления SM достаточно следующего набора  $n$ -арных отношений в (1): "is a", "consist of", "before" и "part of". Первые два отношения используются в семантических моделях представления знаний; "before" лежит в основе временной логики; "part of" – основной механизм обобщений. Введенная выше модель (5) является универсальной, поскольку тип отношения находит отражение в форме прототипа (1), а вычислительная модель IG остаётся без изменений. Покажем это. Отношения "is\_a" и "consist\_of" описывают статику, поэтому в них сенсорные данные рассматриваются только для текущего момента времени. Игнорирование динамических свойств реализуется путём задания следующих значений коэффициента старения  $\hat{v}_{ig_i^l} \rightarrow \infty$  и параметра  $\hat{\beta}_{ig_i^l} = [\hat{\beta}_{ig_i^l}]_t$  в прототипе (1). Отношение "is\_a" с точки зрения полноты информации трактуется, как "хотя бы одного примера достаточно для полного представления о категории". Поэтому в (1)  $\hat{\gamma}_{ig_j^k} = 1$  для всех нижележащих гранул, с которыми имеются связи

$$\langle N, G^{isa} \{ig_i^l\} = \{ig_j^k\}, (\{(\hat{\alpha}_{ig_j^k}, [\beta_{ig_j^k}]_t, 1, \infty), \forall g_j^k \in \Omega_{ig_i^l}\}) \rangle.$$

Путём аналогичных рассуждений приходим к прототипам для отношений "consist of", "before" и "part of":

$$\langle N, G^{cof} \{ig_i^l\} = \{ig_j^k\}, (\{(\hat{\alpha}_{ig_j^k}, [\beta_{ig_j^k}]_t, \frac{1}{n} + \varepsilon, \infty), \forall g_j^k \in \Omega_{ig_i^l}\}) \rangle;$$

$$\langle N, G^{bef} \{ig_i^l\} = \{ig_j^k\}, (\{(\hat{\alpha}_{ig_j^k}, \hat{\gamma}_{ig_j^k}, \beta_{ig_j^k} = \Delta\tau, v_{ig_j^k} = 1), \forall g_j^k \in \Omega_{ig_i^l}\}) \rangle;$$

$$\langle N, G^{pof} \{ig_i^l\} = \{ig_j^k\}, (\{(\hat{\alpha}_{ig_j^k}, \hat{\gamma}_{ig_j^k}, [\beta_{ig_j^k}]_t, \hat{v}), \forall g_j^k \in \Omega_{ig_i^l}\}) \rangle.$$

**Пример гранулярных вычислений в GS, представляющей знания о ситуации на перекрёстке.** В [12] в качестве примера рассматривается SM на перекрёстке, который она должна проехать. Рассматривается упрощенный вариант, когда информация о ситуации на перекрёстке поступает только от ультразвукового датчика (УЗ) расстояния до объекта. SM сканирует пространство вокруг себя и на основании сенсорных данных строит описание ситуации. Знания о ситуациях структурированы на следующие категории: "опасно для поворота направо", "безопасно для поворота направо", "опасно для поворота налево" и другие. Полное описание ситуаций в виде категорий приведено в [12]. На рис. 1, а представлен фрагмент знаний "на близком расстоянии безопасно" в виде концептуальной сети, используемой в определении категории "безопасно для поворота направо".

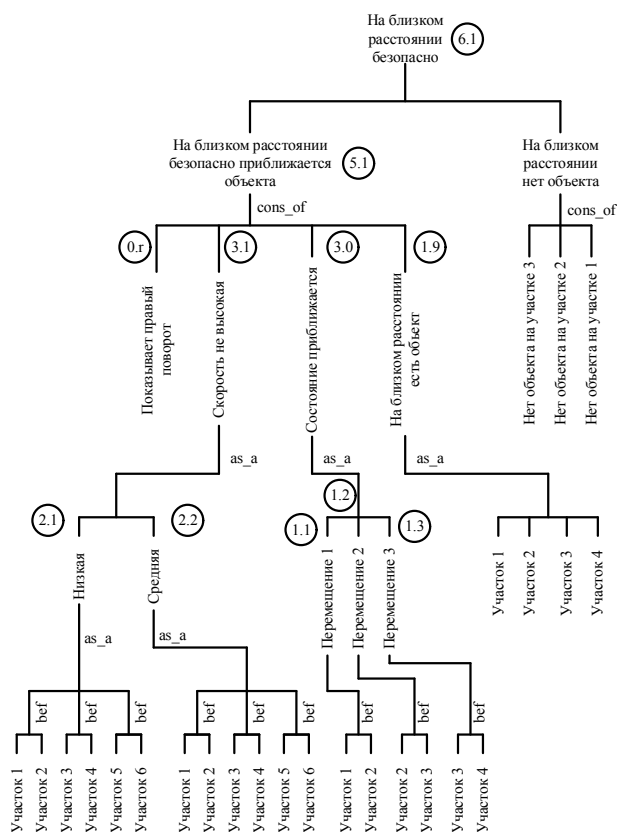


Рис. 1, а. Представления знаний о категории "безопасно для поворота направо" в виде семантической сети

На рис. 1, б данный фрагмент знаний изображен в виде GS. На нулевом уровне – гранулированное представление сенсорных данных расстояния до объекта (интервалы от 1 до 9), полученные от ультразвукового сенсора и освещённость поворотных фонарей движущихся объектов (*left* – (*lt*), *right* – (*rt*)).

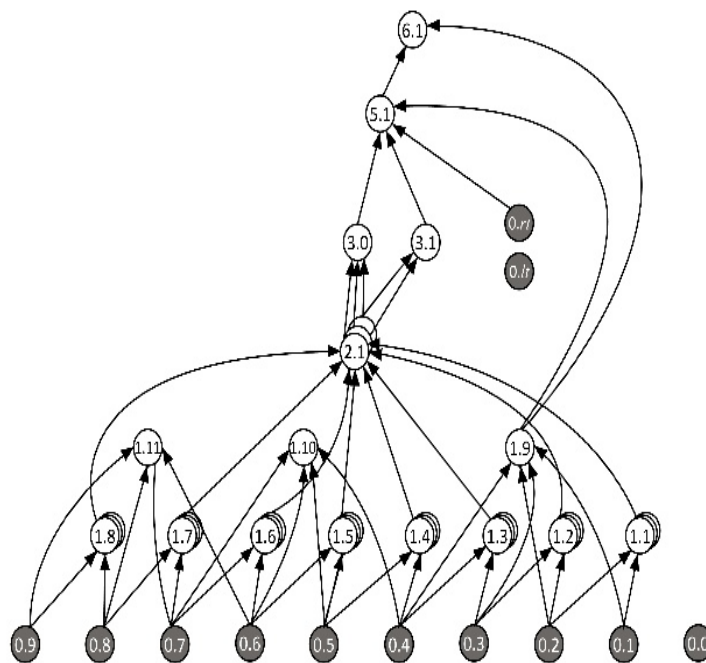


Рис. 1, б. Представления знаний о категории "безопасно для поворота направо" в виде GS

Смысловое содержание гранул можно получить из сопоставления рисунков 1, а и 1, б. Например, порцию знаний, которую представляет IG с номером 1.9 на рис. 1, а, можно понять из рис. 1, б, где рядом с описанием знаний "на близком расстоянии нет объектов" указан в кружочке номер гранулы 1.9. Ниже на рис. 2 приведены результаты гранулярных вычислений. Столбцам соответствуют моменты времени, когда изменялись значения сенсорных данных (FGC нулевого уровня). Эти изменения вызваны приближением объекта справа к SM, находящейся на перекрёстке. В ячейках таблицы указаны слева на право три параметра  $\alpha$ ,  $\beta$   $\gamma$  FGC. Номера IG на рис. 2 соответствуют номерам гранул на рис. 1, б. Начальные значения параметров FGC указаны в столбце для нулевого момента времени.

Таблица

Результаты гранулярных вычислений параметров  $\alpha, \beta, \gamma$  FGC

IG	$t$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.1	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$
0.2	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$
0.3	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$
0.4	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$
0.5	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$
0.6	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$
0.7	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$	$^{-1}_5 1$
0.8	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$	$^{-1}_5 1$	$^{-1}_6 1$
0.9	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$	$^{-1}_5 1$	$^{-1}_6 1$	$^{-1}_7 1$
0.r	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^1_1 1$
1.1	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_0 1$	$^1_0 1$
1.2	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_0 1$	$^1_0 1$	$^0_1 1$
1.3	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_0 1$	$^1_0 1$	$^0_1 1$	$^{-1}_0 1$
1.4	? ? ?	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_0 1$	$^1_0 1$	$^0_1 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 2$
1.5	? ? ?	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_0 1$	$^1_0 1$	$^0_1 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$
1.6	? ? ?	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_{\infty 0.6}$	$^1_0 1$	$^0_1 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$
1.7	? ? ?	$^{-1}_{\infty 0}$	$^0_{\infty 0.6}$	$^1_0 1$	$^0_1 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$
1.8	? ? ?	$^0_{\infty 0.6}$	$^0_1 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$	$^{-1}_5 1$	$^{-1}_6 1$
1.9	? ? ?	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^{-1}_{\infty 1}$	$^1_0 1$	$^1_1 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$
1.10	? ? ?	$^{-1}_{\infty 0}$	$^{-1}_{\infty 0}$	$^1_0 1$	$^1_1 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$
1.11	? ? ?	$^1_0 1$	$^1_0 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$
2.1	? ? ?	$^0_{\infty 0.6}$	$^1_0 1$	$^1_1 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$	$^1_4 1$	$^1_5 1$	$^1_6 1$	$^1_7 1$
3.0	? ? ?	$^0_{\infty 0.6}$	$^1_0 1$	$^1_1 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$	$^1_4 1$	$^1_5 1$	$^1_6 1$	$^1_7 1$
3.1	? ? ?	$^0_{\infty 0.6}$	$^1_0 1$	$^1_1 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$	$^1_4 1$	$^1_5 1$	$^1_6 1$	$^1_7 1$
5.1	? ? ?	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^{-1}_2 1$	$^{-1}_3 1$	$^{-1}_4 1$	$^{-1}_5 1$	$^{-1}_6 1$	$^1_0 1$	$^1_1 1$
6.1	? ? ?	$^1_0 1$	$^1_1 1$	$^1_2 1$	$^1_3 1$	$^1_4 1$	$^{-1}_0 1$	$^{-1}_1 1$	$^1_0 1$	$^1_1 1$



Из таблицы видно, что на этот момент времени для всех IG нулевого уровня параметры  $\alpha = -1$  (нет объекта в районе перекрёстка),  $\beta = \infty$  (давно не было) и  $\gamma = 1$  (FGC формируется на основе полной информации). Нечёткие характеристики гранул более высокого уровня не определены.

В момент времени 1, приближающийся объект на дальнем расстоянии (зафиксирован УЗ датчиком), что нашло отражение в изменении FGC нулевого уровня с номером 0.9 ( $\alpha = +1$ ,  $\beta = 0$ ,  $\gamma = 1$ ).

В следующий момент времени  $t = 2$  показано, что приближающийся к перекрёстку объект переместился и находится на расстоянии, покрываемом IG с номером 0.8. Поэтому параметры FGC с номером 0.9 изменились  $\alpha = -1$ ,  $\beta = 0$ ,  $\gamma = 1$ , а гранулы 0.8 приняли значения  $\alpha = +1$ ,  $\beta = 0$ ,  $\gamma = 1$ . Кроме этого гранула 1.8 описывает ситуацию категорией "приближается к перекрёстку объект", а гранула 1.11 – "далеко". В целом характеризует ситуацию гранула 6.1 самого верхнего уровня обобщения: "на близком расстоянии безопасно", поскольку "на близком расстоянии нет объекта". Об этом можно судить по значениям параметров  $\alpha = +1$ ,  $\gamma = 1$  FGC с номерами 6.1 и 1.9. Аналогичным образом можно проанализировать ситуацию на перекрёстке по мере приближения объекта. Так, для момента времени 7, когда приближающийся объект находился близко и до этого не включал правый поворот, ситуация не характеризуется как "на близком расстоянии безопасно", в момент времени 8, когда был включен правый поворот ситуация подпадает под категорию "на близком расстоянии безопасно".

**Выводы.** Принятие управляющих решений на основе обработки сенсорной информации с помощью механизма обобщения и категоризации, формализованного в виде гранулярного компьютеринга в многоуровневой гранулярной структуре, имеет преимущества по сравнению с классическими моделями нечёткого вывода. Этот механизм позволяет реализовать свойственную для человека процедуру принятия решения на основании обобщения и категоризации сенсорных данных. Кроме повышения адекватности моделей представления знаний, используемых в рассуждениях экспертов, предложенная модель уменьшает размерность решаемой задачи: уменьшается количество правил сопоставления образцов ситуаций с управляющими решениями.

**Список литературы:** Промышленная революция 4.0. На пороге новой эпохи. URL: <http://chp.com.ua/all-news/item/46476-promyshlennaya-revoljutsiya-4-0-na-poroge-novoj-epokhi> (опубликовано 19.01.2017). 2. An Executive's Guide to Industry 4.0, Smart Factories and Beyond. URL: <http://www.ioti.com/industrial-iiot/industry-4-0-smart-factories-and-beyond> (опубликовано 24.05.2017). 3. Ashton K. Making

sense of IoT. How the Internet of Things became humanity's nervous system URL: [http://www.arubanetworks.com/assets/eo/HPE\\_Aruba\\_IoT\\_eBook.pdf](http://www.arubanetworks.com/assets/eo/HPE_Aruba_IoT_eBook.pdf). (Last accessed: 14.08.2017). **4.** *Davenport T., Kirby J.* Just How smart are smart machines URL: [http://ilp.mit.edu/media/news\\_articles/smr/2016/57306.pdf](http://ilp.mit.edu/media/news_articles/smr/2016/57306.pdf). (Last accessed: 14.08.2017). **5.** *Elmenreich W.* Intelligent Methods for Embedded Systems URL: [https://www.researchgate.net/publication/2915435\\_Intelligent\\_Methods\\_for\\_Embedded\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/2915435_Intelligent_Methods_for_Embedded_Systems). (Last accessed: 14.08.2017). **6.** *Alippi C.* Intelligence for Embedded Systems: a Methodological approach, Springer, 2014. – 283 p. **7.** *Каргін А. О.* Модель сенсорної пам'яті інтелектуальної машини з механізмами узагальнення та абстрагування / *А.О. Каргін, С.О. Тімчук, К.О. Ісаєнков, Г.Б. Галіч* // Системи озброєння та військова техніка. ХУПС ім. І.Кожедуба МОУ, Харків, 2015. – № 3 (43). – С. 85-88. **8.** *Pigat A.* Fuzzy modelling and control. Physica-Verlag Heidelberg, – 2001. – 798 p. **9.** *Petrenko T.* Adaptive Behavior Control Model of Non Player Character / *T. Petrenko, O. Tymchuk* // Proceedings of the 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim-AMSS), Cambridge, United Kingdom. – 10-12 Apr. 2013. – P. 39-44. **10.** *Clancey W.J.* Heuristic classification / *W.J. Clancey* // Artificial Intelligence. – 1985. – № 27. – P. 289-350. **11.** *Chandrasekaran B.* Generic tasks in knowledge-based reasoning: high-level building blocks for expert systems design / *B. Chandrasekaran* // IEEE Expert. – 1986. – № 1 (3). – P. 23-30. **12.** *Каргін А.О.* Управление умной машиной на основе модели категорийного представления ситуации: подход гранулярного компьютеринга / *А.А. Каргин, Т.Г. Петренко* // Проблемы информационных технологий, 2017. – № 1 (021). – С. 17-28. **13.** *Каргин А.А.* Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / *А.А. Каргин*. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с. **14.** *Zadeh L.A.* Fuzzy sets and information granularity / *L. Zadeh* // Advances in Fuzzy Set Theory and Applications – Amsterdam: North-Holland, 1979 – P. 3-18.

#### References:

1. "Industrial Revolution 4.0. On the threshold of a new era", URL: <http://chp.com.ua/all-news/item/46476-promyshlennaya-revolyuetsiya-4-0-na-poroge-novoj-epokhi> (accessed 19.01.2017).
2. "An Executive's Guide to Industry 4.0, Smart Factories and Beyond", URL: <http://www.ioti.com/industrial-iiot/iiot/executive-s-guide-industry-40-smart-factories-and-beyond> (accessed 24.05.2017).
3. Ashton, K. (2017), "Making sense of IoT. How the Internet of Things became humanity's nervous system", [http://www.arubanetworks.com/assets/eo/HPE\\_Aruba\\_IoT\\_eBook.pdf](http://www.arubanetworks.com/assets/eo/HPE_Aruba_IoT_eBook.pdf). (accessed 14 September 2017).
4. Davenport, T. and Kirby, J. (2016), "Just How smart are smart machines", [http://ilp.mit.edu/media/news\\_articles/smr/2016/57306.pdf](http://ilp.mit.edu/media/news_articles/smr/2016/57306.pdf). (accessed 14 September 2017).
5. Elmenreich, W. (2016), "Intelligent Methods for Embedded Systems", [https://www.researchgate.net/publication/2915435\\_Intelligent\\_Methods\\_for\\_Embedded\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/2915435_Intelligent_Methods_for_Embedded_Systems). (accessed 14 September 2017).
6. Alippi, C. (2014), *Intelligence for Embedded Systems: a Methodological approach*, Springer, 283 p.
7. Kargin, A. A., Timchuk, S.O., Isaenkov, K.O., Galich, G.B., (2015), "The model of sensory memory of the smart machine with the mechanisms of generalization and abstraction" *Sistemi ozbroennja ta viyskova tehnika. HUPS im. I. Kozheduba MOU, Kharkiv*, Vol. 3 (43), pp.85-88.
8. Pigat, A. (2001), *Fuzzy modelling and control*, Physica-Verlag Heidelberg, 798 p.
9. Petrenko, T. and Tymchuk, O. (2013), "Adaptive Behavior Control Model of Non Player

Character", *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation (UKSim-AMSS), Cambridge, United Kingdom, 10-12 Apr., 2013*, pp. 39-44.

10. Clancey, W.J. (1985), "Heuristic classification", *Artificial Intelligence*, Vol. 27, pp. 289-350.

11. Chandrasekaran, B. (1986), "Generic tasks in knowledge-based reasoning: high-level building blocks for expert systems design", *IEEE Expert*, Vol. 1(3), pp. 23-30.

12. Kargin, A.A. and Petrenko, T.G. (2017) "Smart machine control based on the model of the category representation of the situation: the approach of granular computing", *Problems of Information Technology*, Vol. 1 (021), pp.17-28.

13. Kargin, A.A. (2010), *Introduction to intelligent machines. Book 1. Intelligent Controllers*, Nord-Press, DonNU, Donetsk, 526 p.

14. Zadeh, L.A. (1979), "Fuzzy sets and information granularity", *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, Amsterdam, North-Holland, pp. 3–18.

*Статью представил д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ Кривуля Г.Ф.*

*Поступила (received) 10.09.2017*

Kargin Alnatojii, Dr. Sci.Tech, Professor  
Ukrainian State University of Railway Transport  
Feerbaha,7, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 057 730-19-84, e-mail: kargin@kart.edu.ua  
ORCID ID: 0000-0002-7626-933

Petrenko Tetyana Cand. Sci.Tech., Associate professor  
Ukrainian State University of Railway Transport  
Feerbaha,7, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 057 730-19-84, e-mail: petrenko\_tg@kart.edu.ua  
ORCID ID: 0000-0001-6305-7918

УДК 004.81: 004.383.8

**Абстрагування та категоризація в розумних машинах на основі гранулярних обчислень / А.О. Каргін, Т.Г. Петренко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2017. – № 50 (1271). – С. 130 – 141.**

Розглядається проблема створення розумних машин, пов'язана з узагальненням сенсорних даних для прийняття управлінських рішень в ситуаціях, які не були закладені при проектуванні системи. Пропонується підхід отримання знань із сенсорних даних у вигляді абстрактних категорій різного рівня узагальнення. Механізм подання сенсорних даних знаннями різного рівня абстрагування і узагальнення формалізований у вигляді моделі нечіткого гранулярного комп'ютерингу. Ил.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 14 назв.

**Ключові слова:** розумні машини; сенсорні дані; управлінські рішення; знання; гранулярні обчислення.

УДК 004.81: 004.383.8

**Абстрагирование и категоризация в умных машинах на основе гранулярных вычислений / А.А. Каргин, Т.Г. Петренко // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2017. – № 50 (1271). – С. 130 – 141.**

Рассматривается проблема создания умных машин, связанная с обобщением сенсорных данных для принятия управляющих решений в ситуациях, которые не были заложены при проектировании системы. Предлагается подход получения из сенсорных данных знаний в виде абстрактных категорий разного уровня обобщения. Представление сенсорных данных знаниями разного уровня абстрагирования формализовано в виде модели нечеткого гранулярного компьютеринга. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 14 назв.

**Ключевые слова:** умные машины; сенсорные данные; управляющие решения; знания; гранулярные вычисления.

UDC 004.81: 004.383.8

**Abstraction and categorization in smart machines based on granular computations / A.A. Kargin, T.G. Petrenko // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2017. – №. 50 (1271). – P. 130 – 141.**

The problem of creating intelligent machines is considered, which is connected with the generalization of sensory data for making control decisions in situations that were not inherent in the design of the system. The approach of obtaining knowledge from sensory data in the form of abstract categories of different levels of generalization is proposed. The representation of sensory data by knowledge of different levels of abstraction is formalized in the form of a model of fuzzy granular computing. Figs.: 1. Tabl.: 1. Refs.: 14 titles.

**Keywords:** smart machines; sensory data; control decisions; knowledge; granular computations.