

УДК 004.91:614.2

**А.А. Каргин, А.Г. Ломонос, А.И. Парамонов**  
Донецкий национальный университет, г. Донецк  
кафедра компьютерных технологий

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИОННОЙ МОДЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В УПРАВЛЕНИИ АВТОНОМНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ**

### **Аннотация**

*Каргин А.А., Ломонос А.Г., Парамонов А.И. Исследование динамической ситуационной модели, используемой в управлении автономным мобильным роботом. В работе исследуется обработка сенсорных данных для ситуационного управления автономным мобильным роботом из трех компонентов системы ситуационного управления: сенсорная, прототипная и эффекторная памяти. Рассматривается первая. Элементы памяти описываются нечетким фактором уверенности. Память структурирована в виде дерева гранул, в котором гранулы нулевого уровня равномерно покрывают диапазон значений датчиков, а гранулы высшего уровня отображают динамические характеристики ситуаций. Проведена серия компьютерных экспериментов для Lego-робота с использованием ультразвукового и звукового сенсоров.*

**Ключевые слова:** *Ситуационное управление, сенсорная память, обработка сенсорной информации, автономный мобильный робот.*

**Постановка проблемы.** Автономные роботы в настоящее время требуются в сферах исследования космоса, уборки территорий, стрижки газонов, обработки сточных вод и других сферах. В управлении автономным роботом выделяют цикл «Восприятие – Планирование – Действие» [1, 2]. В архитектуре автономного робота этот цикл поддерживают модули, которые используют сенсорные данные в том или ином виде. Прежде чем сенсорные данные поступят на обработку в модули системы, отдельная часть данных проходит некоторую предобработку. Во многих случаях эти данные по природе есть нечеткими и динамически изменяющимися. Возникает необходимость в такой обработке данных, когда из них можно было бы извлечь динамические характеристики ситуаций и на основании их принять некоторое решение.

**Анализ литературы.** Проведенный анализ методов представления и постобработки сенсорной информации и восприятия показал, что фаза восприятия в нечетких моделях управления [3, 4] может быть реализована по одной из двух стратегий использования: значение сенсора рассматривается как отдельная сырая величина; данные сенсора обновляют некоторую модель, и поведение робота

базируется на этой модели [2]. В качестве такой модели часто используют прототип ситуации [3, 5].

Модель сенсорной памяти представлена набором элементов (информационных гранул) [3]. Состояние элемента характеризует степень присутствия в ситуации признака и динамику его изменения и формально описывается нечётким фактором уверенности  $\Theta$  в виде:

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

$$\mu_{\Theta}(\theta) = e^{-\frac{(\theta - \alpha)^2}{2\beta^2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – степень уверенности в присутствии признака,  $\beta$  – актуальность информации [3].

**Цель статьи** – исследовать динамическую модель ситуационного управления [5], учитывающую соответствие сенсорных данных прототипу, а также возможности представления динамических характеристик в виде актуальности поступающей информации во время движения робота.

**Постановка задачи.** При регулярной дискретной модели формирования сенсорной памяти в моменты времени  $t, t - T, t - 2T, \dots, t - kT, \dots$  обновляется содержимое сенсорной памяти путем расчетов нечётких факторов уверенности (1), (2) по всем гранулам сенсорных признаков. Автономный мобильный робот получает информацию об окружении посредством  $n$  сенсорных признаков  $\chi_j \in \Omega_{\chi}$ , каждый из которых имеет диапазон возможных значений. Возможные значения – это те значения, которые может аппаратно выдавать сенсор. Допустимые значения – это те значения, которые могут возникнуть в силу особенностей калибровки сенсоров и свойств окружающей среды и могут использоваться в ситуационном управлении. Допустимые значения сенсорного признака являются подмножеством возможных значений. Для каждого сенсорного признака строится структура информационных гранул, покрывающая допустимые значения этого признака и состоящая из нескольких уровней.

Гранулы нулевого уровня равномерно покрывают диапазон допустимых значений, а гранулы высших уровней отображают как обобщенные, так и динамические характеристики ситуаций. Параметр  $\alpha$  гранулы в (2) является статической характеристикой ситуации, а параметр  $\beta$  – динамической. Для гранул высших уровней  $\alpha, \beta$  вычисляется через максимум и минимум аналогичных параметров дочерних гранул соответственно.

Прототипная память представляет собой множество взаимно независимых прототипов ситуаций. Прототип ситуации имеет нечеткую характеристику  $\hat{\Theta}^{\chi_j}$  с параметрами  $\hat{\alpha}, \hat{\beta}$ . Параметр  $\hat{\beta}$  характеризует

актуальность присутствия признака в прототипе. Для тех сенсоров, которые вошли в прототип, значение этого параметра в прототипе принимается малым, для всех остальных элементов  $\beta^{\wedge}$  принимает большие значения, что соответствует минимальной актуальности.

Параметр  $\alpha^{\wedge}$  элемента прототипа вычисляется по формуле:

$$\alpha^{\wedge} = \alpha' \gamma(\beta'). \quad (3)$$

где  $\alpha'$ ,  $\beta'$  – требуемые значения параметров нечетких характеристик прототипа, соответствующих сенсорным элементам,  $\gamma(\beta')$  – коэффициент актуальности информации, введенный в [3].

Близость ситуационного элемента прототипной памяти к элементу сенсорной памяти есть также нечеткий фактор уверенности (1)  $\Theta^* = \rho_{\chi_j}(\hat{\Theta}^{\chi_j}, \Theta^{\chi_j})$ , параметры  $\alpha^*$  и  $\beta^*$  которого вычисляются по формулам:

$$\alpha^* = \frac{(1 - \sqrt{2|\alpha - \alpha'|}) + (1 - \sqrt{4|\gamma(\beta) - \gamma(\beta')|})}{2}, \quad (4)$$

$$\beta^* = \beta^{\wedge}. \quad (5)$$

Оценка близости прототипа в целом  $\rho$  вычисляется по формуле:

$$\alpha^* = \text{SUM}^{\alpha}(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \frac{\sum_{\chi_j \in \Omega_{\chi}} \alpha^*_{\rho_{\chi_j}} \cdot e^{-\beta^{\wedge}_{\chi_j}}}{\sum_{\chi_j \in \Omega_{\chi}} e^{-\beta^{\wedge}_{\chi_j}}}. \quad (6)$$

Ставится задача исследовать зависимость близости (6) прототипа ситуации для автономного мобильного робота Lego с использованием его сенсоров.

**Решение задач и результаты исследований.** Признаки ситуации (сенсоры) были определены на показаниях ультразвукового и звукового датчиков Lego робота. Возможные значения данных: [0; 255] и [0; 99] соответственно. Допустимые значения: [0; 188] и [0; 83] соответственно.

Была представлена модель сенсорной памяти в виде набора элементов (1), (2). Сенсорные элементы были организованы в структуру, показанную на рис. 1. Каждая гранула нулевого уровня покрывает 7 единиц из допустимых значений как для ультразвукового, так и для звукового сенсоров. Маленькие кружки внутри отображают значение параметра  $\alpha$  гранулы. Значение  $-(1 - \varepsilon)$  обозначено зеленым цветом,  $+(1 - \varepsilon)$  – красным. Внешние кружки означают актуальность информации: чем более насыщен цвет, тем более актуальна информация, тем меньше значение  $\beta$ . Параметр  $\beta$  изменяется в связи со старением информации. Для ультразвукового сенсора было выделено 27 гранул нулевого уровня, для звукового 12.

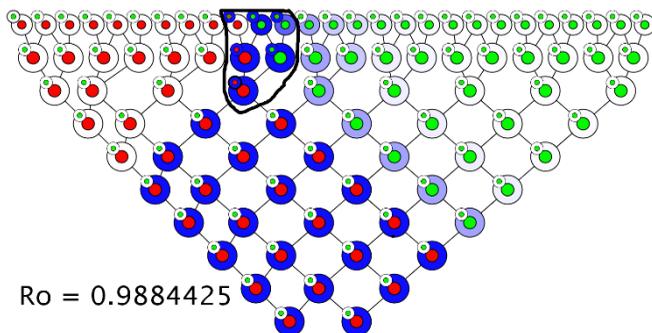


Рисунок 1 – Структура сенсорной и прототипной памяти

Была проведена серия экспериментов. Моделировалась ситуация, когда робот с разной скоростью приближался к препятствию и «слышал» два громких хлопка. Были выделены прототипы для разных ситуаций в зависимости от использования той или иной информации и разной скорости движения робота.

Для ультразвукового сенсора было использовано два прототипа: прототип №1 - робот приближается к препятствию на заданное расстояние с медленной скоростью; прототип №2 - робот приближается к препятствию на заданное расстояние с быстрой скоростью.

Прототип №1 показан на рис. 1. На рисунке большие кружки представляют собой гранулы сенсорной памяти, а малые кружки, расположенные в левом верхнем углу каждой большой гранулы, - гранулы прототипной памяти.

В прототип входят 6 гранул: 3 гранулы нулевого уровня, 2 гранулы первого и 1 гранула второго. Показан момент, когда сенсорная память отражает ситуацию движущегося робота с медленной скоростью и приближения его на заданное расстояние к препятствию. Оценка близости прототипа №1 этой ситуации достигает значения +0.99.

Прототип №2 показан на рис. 2. При этой ситуации робот движется в 3 раза быстрее. В прототип входят 13 гранул: 6 гранул нулевого уровня, 4 гранулы первого, 2 гранулы второго и 1 гранула третьего. Показан момент, когда робот, движущийся с быстрой скоростью, приближается на заданное расстояние. В этот момент оценка близости прототипа достигает значения +0.99.

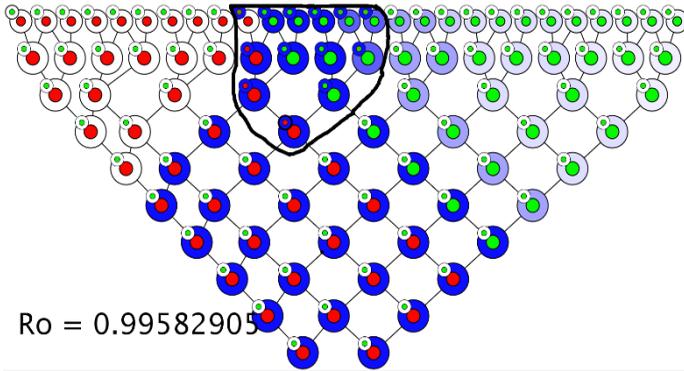


Рисунок 2 - Прототип сенсорной памяти (быстрое движение)

На рис. 3 показано изменение оценки близости прототипов текущей ситуации со временем для 4 экспериментов. В первых двух экспериментах был использован прототип №1, в следующих двух использован прототип №2. В экспериментах №1 и №2 робот двигался с медленной скоростью, в экспериментах №2 и №3 с быстрой.

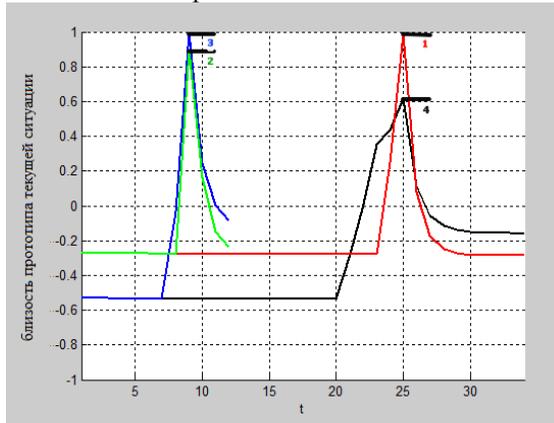


Рисунок 3 – Оценка близостей прототипов

Оценки близости для экспериментов №1 и №3 достигают высокого значения +0.99. Для экспериментов №2 и №4, в которых были использованы прототипы под другие скорости, эти значения достигают +0.90 (здесь высокое значение объясняется малым количеством гранул в прототипе) и +0.62 соответственно.

Также был использован прототип для звукового сенсора. Для него была взята последняя гранула нулевого уровня, что соответствует наличию самого большого шума. При воспроизведении двух хлопков во время движения близость этого прототипа достигает практически значения +1 два раза.

Были использованы объединенные прототипы, которые совмещали прототипы для ультразвукового и звукового сенсора. В экспериментах один хлопок происходил задолго до достижения заданного расстояния, другой – во время достижения. При первом хлопке близость прототипа достигала значения  $+0.5$ , при втором потенциально увеличивало выше названные значения для прототипов ультразвукового сенсора.

**Выводы.** Представлена динамическая модель сенсорной памяти в виде дерева гранул. Приведено 4 эксперимента с использованием двух разных скоростей движения робота и двух разных прототипов. Максимальное значение уверенности близости прототипов под соответствующую скорость достигало значения  $+0.99$ , в то время как аналогичные значения для случаев, когда был использован прототип под другую скорость, не превышали  $+0.90$ , а в случае использования большего количества гранул, результат не превышал  $+0.65$ .

### Список литературы

1. Behavior-based Robotics And The Reactive Paradigm / L. De Silva, H. Ekanayake - Proceedings of International Workshop on Data Mining and Artificial Intelligence (DMAI' 08), 2008. - P. 36-43.
2. Introduction to Autonomous Mobile Robots. Second Edition / Roland Siegwart, Illah Reza Nourbakhsh, Davide Scaramuzza - The MIT Press, 2011. – 472 p.
3. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин - Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
4. Нечеткое моделирование и управление / Пегат А - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
5. Модель ситуационного управления роботом, учитывающая актуальность сенсорной информации / А. А. Каргин - Матеріали наук. міжн. конференції. Херсон, 2013. – С. 155 – 157.