

УДК 004.81:004.383.8

DOI: 10.18664/iksz.v28i3.290132

КАРГІН А. О., д.т.н., професор,

СІЛІН Є. Л., аспірант

(Український державний університет залізничного транспорту)

Комп'ютерні експерименти з моделлю когнітивного сприйняття автономної інтелектуальної безпілотної системи: вплив старіння даних від сенсорів на впевненість оцінювання ситуації при прийнятті рішень

Потреба в більш досконалих безпілотних системах (БС) підтримується тенденціями розвитку світового суспільства. Штучний інтелект (ШІ) відіграє важливу роль у підтримці необхідного рівня автономії БС. Розробники БС з підтримкою ШІ зосереджуються на створенні третього покоління ШІ, що відчуває (ШІВ), для автономних інтелектуальних БС (АІБС). Однією зі складових архітектури ШІВ є система когнітивного сприйняття, яка долає розрив між двома парадигмами «дані від датчиків» і «природні слова», що було і є основною проблемою для розгортання АІБС. У статті розглядається алгоритм, реалізований на базі моделі когнітивного сприйняття. Алгоритм виконує дистилляцію сенсу даних від датчиків шляхом обчислення внутрішнього сенсу слова на основі зовнішнього сенсу знань. Наведено формальні моделі подання зовнішнього сенсу знань, застосовуваних при дистилляції, алгоритм обробки, результати комп'ютерних і натурних експериментів, у яких як АІБС використаний колісний складський робот.

Ключові слова: штучний інтелект, що відчуває, когнітивне сприйняття, автономна інтелектуальна безпілотно система, дистилляція сенсу.

Вступ

Сьогодні в повсякденному житті люди широко використовують сервіси і послуги інтернету речей та автономних безпілотних систем (БС) зі штучним інтелектом [1-3]. Потреба більш досконалих БС підтримується тенденціями розвитку світового соціуму. Військова сфера, розумні міста і розумні машини, промислові безлюдні системи, що звільняють людину від виконання рутинних операцій або функцій в умовах, небезпечних для життя і здоров'я, породжують попит, що зростає, на інтелектуальні БС [1, 4].

Незважаючи на гігантський прогрес у галузі створення БС [5, 6], забезпечення необхідного рівня їхньої автономності залишається актуальним завданням [7]. Важливу роль у вирішенні цього завдання відіграє ШІ. Сьогодні затребувані нові моделі ШІ, що спеціально розвиваються та адаптовані для АІБС [8, 9]. У науковій громадськості обговорюється можливість створення для АІБС загального ШІ третього покоління, який ураховує особливості БС і має когнітивні здібності, що підтримують

автономність прийняття рішень в умовах невизначеності та недружньому оточенні [7-9]. Запропоновано проєкт прототипу ШІВ, архітектуру та модель [6, 7]. Однією з основних компонент архітектури ШІВ є система сприйняття, що реалізує таку когнітивну функцію, як дистилляція сенсу даних від сенсорів [7]. Ця стаття присвячена дослідженню моделі когнітивного сприйняття (КС) та організації системи КС АІБС, обговорюються результати комп'ютерних експериментів щодо впливу старіння даних від сенсорів на оцінювання ситуації за критерієм впевненості.

Обговорення проблеми.

У роботі [7] показано, що арсенал підходів і моделей ШІ, що можуть бути адаптовані для вирішення завдання дистилляції сенсу даних від датчиків АІБС, можна поділити на дві групи: 1) орієнтовані на обробку даних від датчиків; 2) орієнтовані на обробку знань.

Перша група включає підходи злиття даних від сенсорів (інтелектуальний аналіз, вилучення знань із потоків даних, агрегація різномірних даних [8]) і дистиляцію знань, подані в символічному вигляді [9]. Ці моделі можуть бути використані на етапах первинної обробки даних, але вони не вирішують завдання вилучення змісту просторово-часового набору даних від сенсорів. З цієї ж причини важко використовувати «чисті» моделі штучних нейронних мереж для додатків, до яких належить АІБС.

Підхід ШІ на основі знань, відомий як системи, засновані на правилах [10], дає змогу реалізовувати завдання прийняття рішень з урахуванням більшості вищезазначених особливостей. Прийняття рішень у робототехніці, інтернеті речей, розумних машинах здійснюється на основі моделей виведення за правилами [11]. Вони широко використовуються у вбудованих системах реального часу, однак проблема узагальнення даних залишається актуальною. На основі наведеного аналізу в роботі [12] запропоновано завдання дистиляції сенсу даних вирішити на основі підходу гранулярних обчислень і концептуальної моделі L. Zadeh Computing with Words [13]. Схема обробки інформації в системі КС АІБС із застосуванням цього підходу така. Дані від сенсорів після попередньої обробки гранулюються. На виході блока грануляції дані подані на множині всіх гранул нечіткими характеристиками. Далі блок дистиляції сенсу даних узагальнює та абстрагує дані на основі знань предметної сфери, подані експертами вербально

у вигляді сенсу слів природної мови. На виході блока дистиляції – оцінювання набору даних у вигляді невеликої кількості численних нечітких характеристик сенсу ситуації в цілому. Далі нечіткі характеристики сенсу ситуації використовуються як вхідні численні змінних алгоритмів нечіткого логічного висновку в АІБС. На виході цього блока чисельні значення керуючих сигналів передаються на виконавчі механізми (актуатори) АІБС і реалізуються різними контролерами.

У цій статті розглядаються алгоритм дистиляції сенсу даних від сенсорів у системі КС АІБС, результати застосування цього алгоритму в комп'ютерних експериментах з метою демонстрації суттєвого скорочення розмірності завдання управління за рахунок дистиляції сенсу великого набору даних від сенсорів і можливості використання дистилату як вхідних змінних нечіткого логічного виведення (НЛВ) для управління в АІБС. Наведено результати комп'ютерних експериментів, що показують залежність впевненості оцінювання ситуації при прийнятті рішень АІБС від старіння даних від сенсорів.

Модель когнітивного сприйняття даних від сенсорів в АІБС.

Елементарною порцією знань про оточення АІБС є гранула знань (ГЗ). Така порція знань має зовнішній (ЗСГЗ) і внутрішній сенси (ВСГЗ) [14].

Формальне визначення ЗСГЗ має вигляд

$$\langle N, know, \{ \langle M_i, (a_i, b_i, v_i, g_i) \rangle, \forall M_i \in \Omega_N \} \rangle \quad (1)$$

де N – ідентифікатор ГЗ;

$know$ – знакова модель гранули;

$\Omega_N = \{M_i\}_{i=1, 2, \dots, l}$ – множини ГЗ, використовувани для розкриття сенсу гранули N ;

M_i – ідентифікатор ГЗ нижчого рівня абстракції.

У виразі (1) вказані параметри, що чисельно оцінюють: a_i – впевненість експерта в тому, що поняття про M_i необхідно для розкриття сенсу поняття N ; b_i – часову затримку при визначенні динамічних відношень; v_i – швидкість старіння інформації щодо M_i ; g_i – інформаційну повноту: чи достатньо знань про ГЗ M_i , щоб розуміти сенс ГЗ N .

У базі знань (БЗ) АІБС множина ГЗ структурована, гранули розташовані за рівнями абстрагування [15]. На нижньому нульовому рівні ГЗ дають визначення сенсу даних від сенсорів.

Наприклад, на рис. 1, а подано ЗСГЗ у загальному випадку за допомогою функції нечіткого фактора впевненості (НФВ) [14]. На рис. 1, б наведено приклад гранулювання даних від сенсора відстані та подання цих даних ГЗ. Цю сенсорну модальність зображено як чотири гранули, що описують знання про рухомий об'єкт-перешкоду, який може знаходитися чи в першому секторі, чи другому, чи третьому, або має місце ситуація, коли в колі досяжності сенсора немає жодного об'єкта.

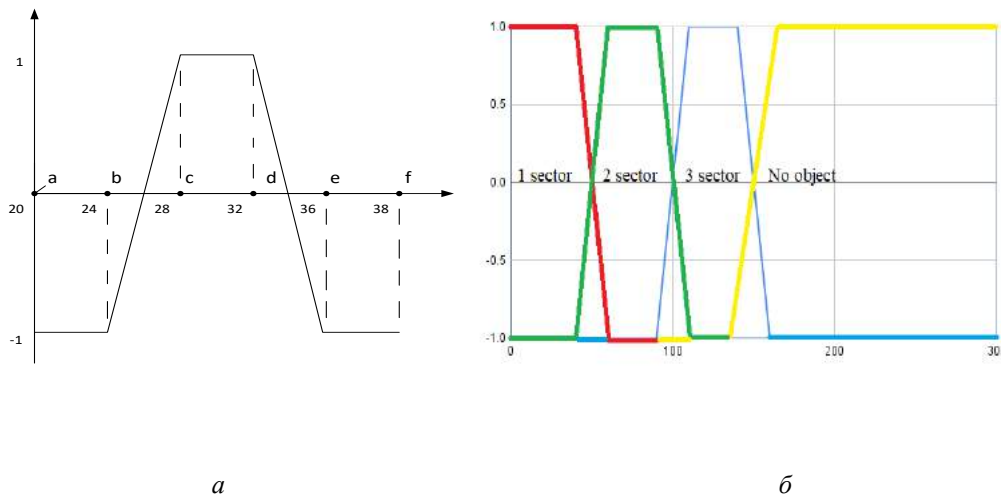


Рис. 1. Графічна ілюстрація визначення ЗСГЗ нульового рівня: *а* – загальний вигляд функції нечіткого фактора впевненості для однієї гранули; *б* – приклад визначення ЗСГЗ модальності локалізація об’єктів навколо роботу

Подання знань у вигляді виразу (1) проілюструємо на прикладі складського робота (кобота [7]), а саме фрагмента знань, необхідних для безпечного перетину нерегульованого перехрестя для продовження руху заданим маршрутом складу. На рис. 2 наведена ситуація, коли ко-бот на в’їзній дорозі перехрестя сканує послідовно три інші під’їзні дороги для оцінювання ситуації (небезпечна чи безпечна для виконання маневру на перехресті).

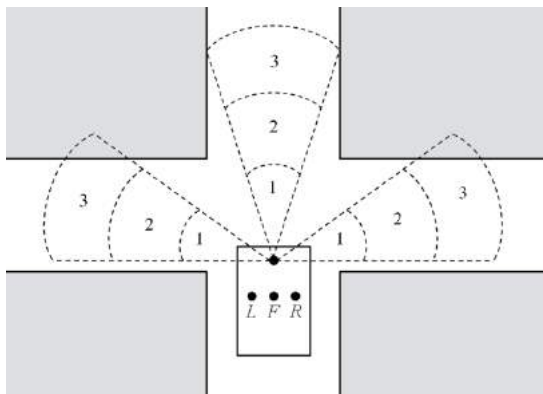


Рис. 2. Приклад сканування ситуації на перехресті шляхів

Моделювання та експерименти проводилися з прототипом ко-бота, апаратне забезпечення якого базується на чотириколісному роботі з повноприводним шасі Multi Chassis-4WD Robot Kit ATV і мікроконтролером Arduino Mega, набором Motor shield, модулем wi-fi esp8266, десятьма інфрачервоними датчиками відображення ку-033 для сприйняття розмітки на підлозі, ультразвуковим датчиком HC-SR04, встановленим на поворотній платформі з сервоприводом SG90, і датчиком

одометром H206 [16]. Ситуація навколо робота подана як гранулярна модель, побудована на основі даних від ультразвукового сенсора на сервоприводі, що встановлює напрямок і вимірює місцезнаходження об’єкта, ідентифікованого сенсором, швидкість і напрямок руху. На рис. 2 модель відображення поточного стану оточення ко-бота запропонована у вигляді двомірної просторової карти. На рисунку наведено спрощений варіант, коли простір, що охоплює сенсор, розбитий на три напрямки. Розрахунки нечітких характеристик гранул 0-го рівня проводилися з моделлю з 18 секторів з кутом огляду $\pm 15^\circ$, похибками вимірювання відстані сенсором ± 5 см і точністю позиціонування поворотної платформи $\pm 7^\circ$.

Визначення сенсу цих ГЗ дано на їхніх предметних шкалах, як показано на рис. 1. На рис. 3 наведено фрагмент БЗ, що дає визначення ситуації на перехресті шляхів. Гранули знань поділені за рівнями абстрагування. Рівень указаний першою цифрою ідентифікатора ГЗ, наприклад *0.Speed* вказує на приналежність сенсорної модальності *Speed* 0-му рівню. Ця порція знань дає визначення трьом ГЗ у вигляді понять швидкості руху, а саме об’єкт не рухається (*stop*), рухається повільно (*slow*), рухається швидко (*fast*). Визначення ЗСГЗ цих гранул задано на універсумі швидкості руху, см/с, параметрами функції НФП, як показано на рис. 1. На нульовому рівні БЗ дано визначення 11 гранулам. Це чотири ГЗ модальності *0.Loc* з ідентифікаторами ГЗ *1sector*, *2sector*, *3sector*, що дають визначення, чи знаходиться об’єкт-перешкода в *першому*, другому або третьому секторі; три ГЗ *stop*, *slow*, *fast* модальності *0.Speed* швидкості руху об’єкта і дві ГЗ *approached*, *removed* модальності *0.DirMov*, що визначають, наближується

чи віддаляється об'єкт від ко-бота, і три ГЗ *left*, *forward*, *right* модальності *0.Direc*.

1. $\langle 3.EverywhereSafe, Everywhere\ safe, \{ \langle 2.RSafe, (0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 2.LSafe, (0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 2.FSafe, (0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle \} \rangle;$
2. $\langle 3.EverywhereDangerous, Everywhere\ dangerous, \{ \langle 2.FDirecDang, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 2.LDirecDang, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 2.RDirecDang, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
3. $\langle 2.FSafe, Forward\ safe, \{ \langle 1.FSafe1, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 1.FSafe2, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
4. $\langle 2.LSafe, Left\ safe, \{ \langle 1.LSafe1, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 1.LSafe2, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
5. $\langle 2.RSafe, Right\ safe, \{ \langle 1.RSafe1, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 1.RSafe2, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
6. $\langle 2.FDang, Forward\ safe, \{ \langle 1.FDirecDang1, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 1.FDirecDang2, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
7. $\langle 2.LDang, Left\ safe, \{ \langle 1.LDirecDang1, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 1.LDirecDang2, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
8. $\langle 2.RDang, Right\ safe, \{ \langle 1.RDirecDang1, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle, \langle 1.RDirecDang2, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
9. $\langle 1.FSafe1, Forward\ safe\ 1^{st}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&2sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&3sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle \} \rangle;$
10. $\langle 1.LSafe1, Left\ safe\ 1^{st}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&2sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&3sector, (0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle \} \rangle;$
11. $\langle 1.RSafe1, Right\ safe\ 1^{st}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&2sector, (-0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&3sector, (0.75, t, 0.1, 0.33) \rangle \} \rangle;$
12. $\langle 1.FSafe2, Forward\ safe\ 2^{nd}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectForward*0.DirMov\&removed, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
13. $\langle 1.LSafe2, Left\ safe\ 2^{nd}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectLeft*0.DirMov\&removed, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
14. $\langle 1.RSafe2, Right\ safe\ 2^{nd}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectRight*0.DirMov\&removed, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
15. $\langle 1.FDirecAlmSafe, Forward\ direction\ almost\ safe, \{ \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&2sector, (-0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&3sector, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Speed\&slow, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle \} \rangle;$
16. $\langle 1.LDirecAlmSafe, Left\ direction\ almost\ safe, \{ \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&2sector, (-0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&3sector, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Speed\&slow, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle \} \rangle;$
17. $\langle 1.RDirecAlmSafe, Right\ direction\ almost\ safe, \{ \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&2sector, (-0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&3sector, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Speed\&slow, (0.75, t, 0.1, 0.2) \rangle \} \rangle;$
18. $\langle 1.FDirecAlmDang, Forward\ direction\ almost\ dangerous, \{ \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&2sector, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Speed\&slow, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle \} \rangle;$
19. $\langle 1.LDirecAlmDang, Left\ direction\ almost\ dangerous, \{ \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&2sector, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Speed\&slow, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle \} \rangle;$
20. $\langle 1.RDirecAlmDang, Right\ direction\ almost\ dangerous, \{ \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&2sector, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Speed\&slow, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle \} \rangle;$
21. $\langle 1.FDirecDang1, Forward\ direction\ dangerous\ 1^{st}, \{ \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&2sector, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectForward*0.Speed\&fast, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle \} \rangle;$
22. $\langle 1.LDirecDang1, Left\ direction\ dangerous\ 1^{st}, \{ \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&2sector, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectLeft*0.Speed\&fast, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle \} \rangle;$
23. $\langle 1.RDirecDang1, Right\ direction\ dangerous\ 1^{st}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&1sector, (-0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&2sector, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.DirMov\&approached, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle, \langle 0.ObjectRight*0.Speed\&fast, (0.75, t, 0.1, 0.25) \rangle \} \rangle;$
24. $\langle 1.FDirecDang2, Forward\ direction\ dangerous\ 2^{nd}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectForward*0.Loc\&1sector, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
25. $\langle 1.LDirecDang2, Left\ direction\ dangerous\ 2^{nd}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectLeft*0.Loc\&1sector, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
26. $\langle 1.RDirecDang2, Right\ direction\ dangerous\ 2^{nd}\text{-case}, \{ \langle 0.ObjectRight*0.Loc\&1sector, (0.75, t, 0.1, 1.0) \rangle \} \rangle;$
27. $\langle 0.ObjectRight*, Object\ in\ right\ allocated\ by\ attention, \{ \langle Event(0.Direc\&right) \rangle, \langle 0.Loc \rangle, \langle 0.Speed \rangle, \langle 0.DirMov \rangle \} \rangle;$

28. $\langle 0.ObjectForw^*, Object\ in\ forward\ allocated\ by\ attention, \{ \langle Event(0.Direc\&forw) \rangle, \langle 0.Loc \rangle, \langle 0.Speed \rangle, \langle 0.DirMov \rangle \} \rangle$;
29. $\langle 0.ObjectLeft^*, Object\ in\ left\ allocated\ by\ attention, \{ \langle Event(0.Direc\&left) \rangle, \langle 0.Loc \rangle, \langle 0.Speed \rangle, \langle 0.DirMov \rangle \} \rangle$;
30. $\langle 0.DirMov, direction\ of\ movement, \{ \langle approached, (-300,-25,25,300,300,300) \rangle, \langle removed, (-300,-300,-300,-25,25,300) \rangle \} \rangle$;
31. $\langle 0.Speed, Speed\ of\ movement, \{ \langle stop, (0,0,0,0.2,0.4,4.0) \rangle, \langle slow, (0,0.5,0.8,1.3,1.5,4.0) \rangle, \langle fast, (0,1.3,2.0,4.0,4.0,4.0) \rangle \} \rangle$;
32. $\langle 0.Direc, Direction\ of\ the\ ultrasonic\ sensor, \{ \langle left, (-90,-90,-90,-35,-25,90) \rangle, \langle forward, (-90,-35,-25,25,35,90) \rangle, \langle right, (-90,25,35,90,90,90) \rangle \} \rangle$;
33. $\langle 0.Loc, Object\ location, \{ \langle 1sector, (0,0,0,40,60,300) \rangle, \langle 2sector, (0,40,60,90,110,300) \rangle, \langle 3sector, (0,90,110,135,165,300) \rangle \} \rangle$.

Рис. 3. Фрагмент БЗ, що дає визначення ситуації на перехресті шляхів

У визначеннях ЗСГЗ на рисунку ідентифікатори ГЗ зчеплені з ідентифікаторами сенсорної модальності, до якої вони належать. Наприклад, посилення на ГЗ *fast* модальності *0.Speed* дано у вигляді *0.Speed&fast*. Особливу увагу заслуговує визначення трьох структур об'єкта-перешкоди. Так, коли поворотна платформа встановлена в певну позицію, наприклад *right^{+75°}*, отримані дані характеризують цей певний напрямок. Тому вони мають бути «прив'язані» до цього значення, а саме показань сенсора модальності *0.Direc*. Зірочка наприкінці ідентифікатора вказує, що це є структура *0.ObjectRight** з ГЗ трьох модальностей (на рис. 3 визначення 27). Ця структура містить НФВ для 8 ГЗ трьох модальностей *0.Loc*, *0.Speed*, *0.DirMov*. У визначенні, наприклад 27 на рис. 3, запис *Event(0.Direc&right)* означає, що як тільки трапиться подія (поворотна платформа займе позицію *right^{+75°}*), механізм уваги «зосередиться» на цьому напрямку (усі дані, отримувані від датчиків, зберігаються в структурі *0.Direc&right*).

ВСГЗ є чисельна оцінка ступеня відповідності ЗСГЗ (1) ситуації, поданій даними від сенсорів. Числове значення оцінки ВСГЗ залежить, по-перше, від параметрів ЗСГЗ у виразі (1), по-друге, від ВСГЗ $M_i \in \Omega_N$, розрахованих для тих самих даних від сенсорів. Іншими словами, ВСГЗ – це оцінювання відповідності вербального подання (1) ЗСГЗ даним від датчиків, на основі яких визначається сенс ГЗ. Формальну обчислювальну модель ЗСГЗ наведено в роботі [14].

Кількісно ЗСГЗ оцінюється НФВ.

У роботі [14] введено НФВ як нечітке LR число X

Алгоритм обчислення ВСГЗ наведено на рис. 4.

Input data from sensors modality, domain KB in the form of a structure Fig. 4, in which the KG is the definition of “What is it” in the form of prototypes (1)

Output set of $cf(KG_{il}), \forall KG_{il} \in \Omega_{KG}, \forall \Omega_{KG}^l \in \Omega_{KG}^0 \cup \Omega_{KG}^1 \dots \cup \Omega_{KG}^k$, where $cf(KG_{il})$ is a numerical assessment of the confidence that the data from sensors of given modality are consistent with the verbal definition of the situation presented by the KG_{il}

Precalculations of time delays

while $l \leq L$, where $l = 1, 2, \dots, L$, L is quantity of levels of KB **do**

while $n \leq N$, where $n = 1, 2, \dots, N$, N is quantity of KG of l th levels **do**

$$X : \{x | m_X(x), \forall x \in [-q, +q], q \geq +1\} \quad (2)$$

з гаусовою L-R функцією приналежностей

$$m_X^L(x) = \exp(-(x-\alpha)^2 / 2 \cdot (v_L \cdot t_L)^2), \forall x \in [-1, \alpha] \quad (3)$$

$$m_X^R(x) = \exp(-(x-\alpha)^2 / 2 \cdot (v_R \cdot t_R)^2), \forall x \in (\alpha, +1]$$

з трьома параметрами: $(-1.0 \leq \alpha \leq +1.0)$ впевненість; t_L – інтервал часу з моменту отримання даних; t_R – інтервал часу з моменту зміни даних.

Передбачувана впевненість (ПВ) є чисельною оцінкою НФВ, що враховує старіння даних, розраховується на підставі формул (2) і (3) як

$$cf = \alpha \cdot k_t, \quad (4)$$

де v_L, v_R – коефіцієнти швидкості старіння даних;

$$k_t = 1 - \frac{\sum_{\forall x \in [-1, \alpha]} m_X^L(x) + \sum_{\forall x \in (\alpha, +1]} m_X^R(x)}{Card([-1, +1]) - 1}$$

Старіння даних з часом призводить до того, що впевненість прагне до нуля (повна відсутність впевненості), тобто $cf \approx 0$. Для випадків, коли інтервали часу невеликі (з моменту отримання інформації чи в спеціальних випадках з моменту змінення даних), впевненість не дуже змінюється порівняно з α , тобто $cf \approx \alpha$.

```

 $t_L^n = t_L^{n-1} + 1; t_R^n = t_R^{n-1} + 1;$ 
end while
end while
if data from the sensor was not received then goto end DbA
Step 1. Quantitative Abstraction
while  $j \leq J$ , where  $J$  is quantity of modality sensors do
  get  $x^*$  data from sensor  $j$ 
  while  $h \leq H$ , where  $H$  is quantity of sensor IGs do
    Calculate fuzzy certainty factor:
    
$$\alpha_{jh} = \begin{cases} -1.0, & \text{if } x^* \in [a_{jh}, b_{jh}) \text{ or } x^* \in [e_{jh}, f_{jh}] \\ -1.0 + 2 \frac{x^* - b_{jh}}{c_{jh} - b_{jh}}, & \text{if } x^* \in [b_{jh}, c_{jh}) \\ +1.0 - 2 \frac{x^* - d_{jh}}{e_{jh} - d_{jh}}, & \text{if } x^* \in [d_{jh}, e_{jh}) \\ +1.0, & \text{if } x^* \in [c_{jh}, d_{jh}) \end{cases}$$

  end while
end while
Step 2. Abstraction by Generalization
while  $l \leq L$ , where  $l = 1, 2, \dots, L$ ,  $L$  is quantity of levels of KB do
  while  $n \leq N$ , where  $n = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  is quantity of KG of  $l$ th levels do
    Calculate fuzzy certainty factor of  $KG_{ln}$ 
     $\alpha_{ln}$  using formulas (3.10)-(3.20) in [14]
     $t_L^n = 0$ 
     $t_R^n = \begin{cases} 0, & \text{if } (\alpha_{ln} \geq \varepsilon \ \& \ \bar{q}_{ln} = 0) \text{ or } (\alpha_{ln} \leq -\varepsilon \ \& \ \bar{q}_{ln} = 1) \\ -t_R^{n-1}, & \text{otherwise} \end{cases}$ 
     $q_{ln} = \begin{cases} 1, & \text{if } (\alpha_{ln} \geq \varepsilon \ \& \ \bar{q}_{ln} = 0) \\ 0, & \text{if } (\alpha_{ln} \leq -\varepsilon \ \& \ \bar{q}_{ln} = 1) \\ \bar{q}_{ln}, & \text{otherwise} \end{cases}$ 
  end while
end while
end DbA

```

Рис. 4. Алгоритм обчислення ВСГЗ

Експерименти з застосуванням алгоритму обчислення ВСГЗ.

У статті наведено результати експериментів з алгоритмом обчислення ВСГЗ. Перша частина експериментів присвячена дослідженню старіння з часом отриманих даних від датчиків і, як наслідок, старіння знань ВСГЗ, що описують ситуацію на перехресті. Розглядається випадок, коли ко-бот під'їхав в'їзною дорогою до перехрестя, як показано на рис. 2, зупинився для отримання даних і побудови моделі ситуації на перехресті. Сканування оточення виконується покроковим позиціонуванням справа наліво поворотної платформи, на якій встановлено ультразвуковий датчик. Відповідно до технічних характеристик датчика встановлено кількість і послідовність проходження таких позицій поворотною

платформною (напрямки зору датчика): $right^{+75^\circ}$, $right^{+45^\circ}$, $forward^{+15^\circ}$, $forward^{-15^\circ}$, $left^{-45^\circ}$, $right^{-75^\circ}$. Побудова моделі ситуації за одним таким напрямком (поворот платформи з поточної позиції до наступної, отримання й обробка даних від датчика та обчислення за алгоритмом ВСГЗ) займає 200 мс. При налаштуванні моделі НФВ у розглянутому експерименті було прийнято за одиницю часу t_L і t_R 100 мс реального часу. Відповідно й параметр b у виразі (1) пов'язаний з реальним часом експерименту співвідношеннями 1:100.

Стан оточення ко-бота на перехресті на довільний момент часу t подано ВСГЗ як ПВ на такій множині гранул:

$$\begin{aligned}
 &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}}(t), cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec2}}(t), cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec3}}(t), cf_{right^{+45^\circ} \text{ sec1}}(t), cf_{right^{+45^\circ} \text{ sec2}}(t), cf_{right^{+45^\circ} \text{ sec3}}(t), \\
 &cf_{forward^{+15^\circ} \text{ sec1}}(t), cf_{forward^{+15^\circ} \text{ sec2}}(t), cf_{forward^{+15^\circ} \text{ sec3}}(t), \\
 &cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}}(t), cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec2}}(t), cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec3}}(t), \\
 &cf_{left^{-45^\circ} \text{ sec1}}(t), cf_{left^{-45^\circ} \text{ sec2}}(t), cf_{left^{-45^\circ} \text{ sec3}}(t), cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec1}}(t), cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}}(t), cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}}(t).
 \end{aligned} \tag{5}$$

У формулах (5) $cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}}(t)$ означає ПВ, що оцінює впевненість у наявності об'єкта-перешкоди в першому секторі (рис. 2) напрямку $right^{+75^\circ}$.

На рис. 5 у графічному вигляді наведені не всі ГЗ (5), а тільки чотири. Синім кольором зображені значення ПВ $cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}}$ ГЗ $right^{+75^\circ} \text{ sec1}$, червоним кольором – значення $cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}}$, жовтим і

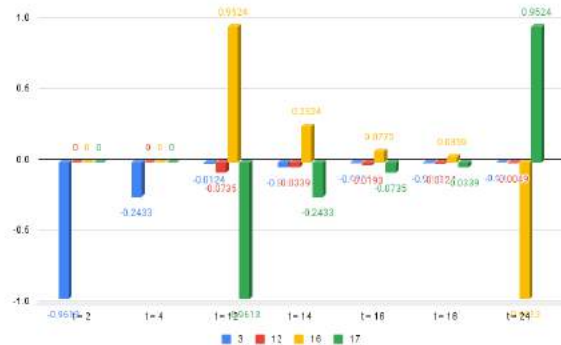
зеленим – значення ПВ $cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}}$ і $cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}}$ відповідно. На графіках рис. 5 по осі ординат вказано значення cf (4), а по осі абсцис час у масштабі 1:100 мс. Наведено такий часовий фрагмент для семи моментів часу t :

$$\begin{aligned}
 t = 2, right^{+75^\circ} : &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}} = -0.94, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = 0, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = 0, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = 0, \\
 t = 4, right^{+45^\circ} : &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}} = -0.16, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = 0, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = 0, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = 0, \\
 t = 12, left^{-75^\circ} : &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}} = -0.007, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = -0.05, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = -0.94, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = 0.94, \\
 t = 14, right^{+75^\circ} : &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}} = -0.02, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = -0.02, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = 0.16, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = -0.16, \\
 t = 16, right^{+45^\circ} : &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}} = -0.003, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = 0.02, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = -0.05, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = 0.05, \\
 t = 18, forward^{+15^\circ} : &cf_{right^{+75^\circ} \text{ sec1}} = 0.003, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = 0.007, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = -0.02, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = 0.02, \\
 t = 24, left^{-75^\circ} : &cf_{right^{+45^\circ} \text{ sec1}} = -0.002, cf_{forward^{-15^\circ} \text{ sec1}} = -0.003, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec2}} = 0.94, cf_{left^{-75^\circ} \text{ sec3}} = -0.94
 \end{aligned} \tag{6}$$

У формулах (6) кожен рядок містить дані для окремого моменту часу.



а



б

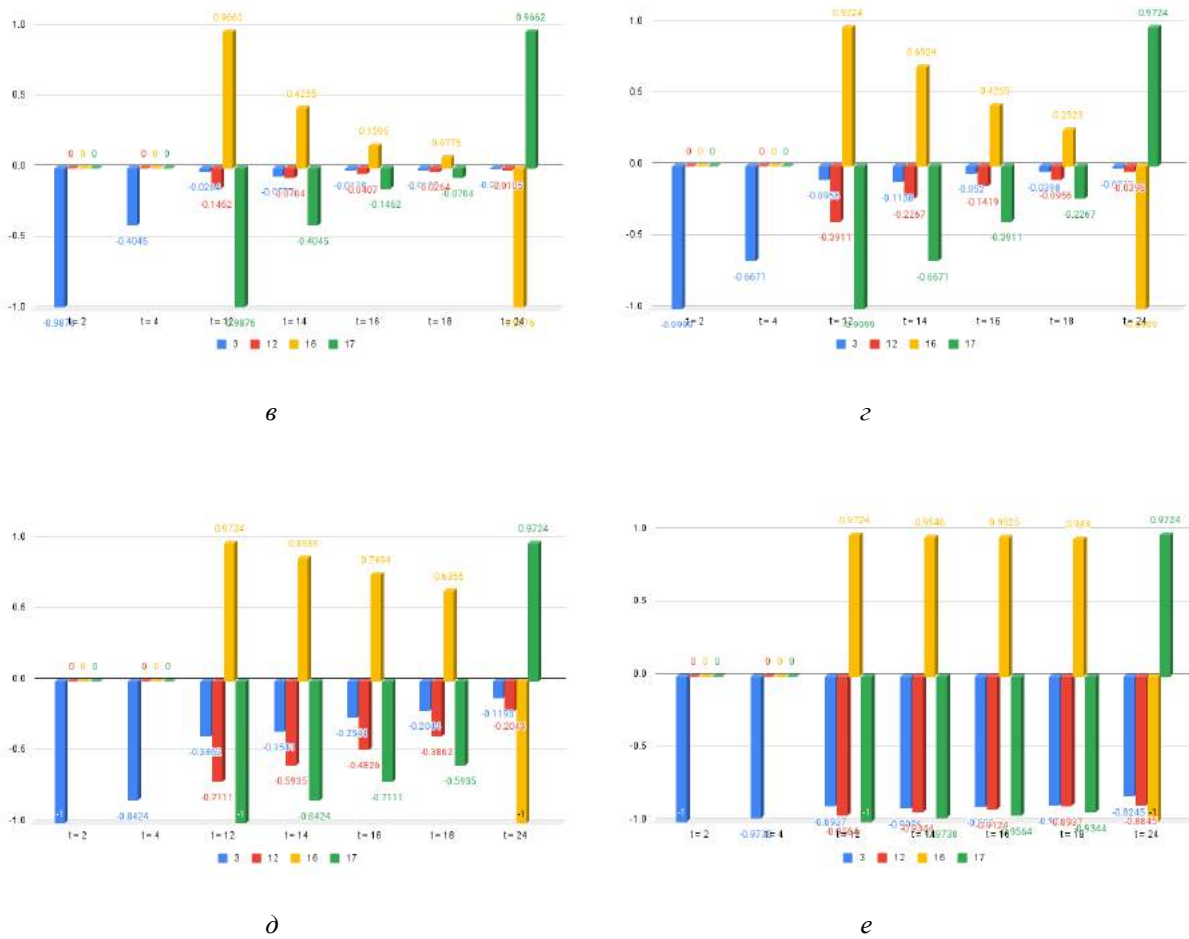


Рис. 5. Залежність фактора впевненості від коефіцієнта швидкості старіння даних:

а – $v_R=v_L=1.0$; б – $v_R=v_L=0.75$; в – $v_R=v_L=0.5$; г – $v_R=v_L=0.25$; д – $v_R=v_L=0.1$; е – $v_R=v_L=0.01$

Так, наприклад, у другому рядку показані дані для часу $t=4$, коли поворотна платформа позиціонована за напрямком $right^{45^\circ}$ і містить значення ПВ чотирьох ГЗ $cf_{right^{+75^\circ}sec1}, cf_{forward^{-15^\circ}sec1}, cf_{left^{-75^\circ}sec2}, cf_{left^{-75^\circ}sec3}$

на цей час. Оскільки дані напрямку $right^{75^\circ}$ були отримані раніше на дві одиниці часу, то ПВ гранули $right^{75^\circ}sec1$ відповідно до виразу (4) було обчислено з урахуванням старіння на $t=2$ одиниці часу. ПВ останніх трьох ГЗ обчислено на підставі зовсім старих даних, оскільки з цих напрямків ще не було отримано даних. Тому значення ПВ у них $cf=0$, тобто повна невпевненість щодо присутності чи відсутності об'єкта-перешкоди в цих секторах. ВСГЗ у вигляді ПВ у випадках (б) обчислені для найбільшого значення коефіцієнта швидкості старіння даних $v_L=v_R=1$. Тому і

ПВ гранули $right^{75^\circ}sec1$, значення якої було отримано на попередньому кроці моніторингу, наближається до нуля, незважаючи на те, що дві одиниці часу раніше воно дорівнювало $cf=-0.94$. На рис. 5 наведено результати обчислення ВСГЗ одних і тих самих ГЗ для одного і того самого часового фрагменту для різних коефіцієнтів швидкості старіння даних. Аналіз піктограм показує, що коефіцієнт v_L, v_R суттєво впливає на ПВ. При $v_L=v_R=1$ достатньо 3-5 одиниць часу, щоб отримати повну невпевненість у даних, отриманих попереднє. З іншого боку, при $v_L=v_R=0.01$ (рис. 5, е) дані практично не старіють з часом, що є дуже небезпечно для прийняття рішень у динамічному оточенні, коли ситуація змінюється з часом. Аналіз піктограм за наявності даних про динамічні характеристики оточення дає змогу підібрати значення коефіцієнтів швидкості старіння так, щоб мінімізувати ризики АІБС при прийнятті рішень.

Висновки

Модель КС здатна забезпечити необхідну автономність АІБС завдяки двом рішенням. По-перше, дистильоване знання високого рівня абстракції, що підтримується моделями ЗСГЗ та ВСГЗ, відкриває можливість використання НЛС як механізму прийняття рішень і управління. По-друге, модель КС, крім проблеми великої розмірності простору прийняття рішень ФЛС, вирішує й проблему великої ресурсоемності алгоритму обчислення ВСГЗ завдяки врахуванню впливу старіння даних і знань про динамічне оточення АІБС на НФВ при прийнятті рішень. Комп'ютерні обчислення й експерименти з прототипом АІБС підтверджують можливість застосування штучного інтелекту третього покоління ШІВ в управлінні АІБС і відкривають перспективи подальшого розвитку цього напрямку.

Надалі планується розроблення моделі навчання ШІВ в оперативному (on-line real-time) режимі з метою автоматичного формування нових ГЗ у БЗ.

Список використаних джерел

- Shakhatreh H. et al. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. J. IEEE Access. Vol. 7. P. 48572–48634. Apr. 2019. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909530.
- Unmanned Systems. (2022). NovAtel. Accessed: August 25. 2022. [Online]. URL: <https://novatel.com/industries/unmanned-systems>.
- The Future of Autonomy. Isn't Human-Less. It's Human More. (2022). Lockheed Martin. Accessed: August 25. 2022. [Online]. URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/autonomous-unmanned-systems.html>.
- Rasmussen S., Kingston D. and Humphrey L. Brief Introduction to Unmanned Systems Autonomy Services (UxAS). 2018 Int. Conf. on Unmanned Aircraft Syst. (ICUAS). Jun. 2018. P. 257-268. doi: 10.1109/ICUAS.2018.8453287.
- Litman T. A. Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Inst., Rep. Aug. 2022.
- Zhang T. et al. Current trends in the development of intelligent unmanned autonomous systems. Frontiers Inf. Technol. Electron. Eng. Vol. 18. Feb. 2017. P. 68–85. doi: 10.1631/FITEE.1601650.
- Kargin A., Petrenko T. Feeling Artificial Intelligence for AI-Enabled Autonomous Systems. Conference Proceedings of 2022 IEEE Global Conference on Artificial Intelligence and Internet of Things (GCAIoT) Alamein New City, Egypt, 18-21 December 2022. P. 88-93.
- Garcia G., Luengo J., Herrera F. Data preprocessing in data mining. Intelligent Systems Reference Library. Springer Cham, 2015. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10247-4>.
- West P. et al. Symbolic Knowledge Distillation: from General Language Models to Commonsense Models. 2022. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.07178>.
- Каргин А. А. Введение в интеллектуальные машины. Кн. 1. Интеллектуальные регуляторы. Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. 526 с.
- Kargin A., Petrenko T. Internet of Things Smart Rules Engine. 2018 IEEE International Scientific-Practical Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). P. 639-644. URL: <https://doi.org/10.1109/infocommst.2018.8632027>.
- Kargin A., Petrenko T. Multi-level Computing With Words Model to Autonomous Systems Control, in: Proc. 9th Int. Conf. Inf. Control Sys.&Tech (ICST-2020), A. Pakštas, T. Hovorushchenko, V. Vychuzhanin, H. Yin, N. Rudnichenko. Eds. Odessa, Ukraine, 2020, CEUR Workshop Proceedings. Vol. 2711. P. 16-30. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2711/>.
- Zadeh L. A. Computing with words. Principal concepts and ideas. Studies in Fuzziness and Soft Computing 277. Springer, Berlin. 2012. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27473-2>.
- Kargin A., Petrenko T. Spatio-Temporal Data Interpretation Based on Perceptual Model. In: Mashtalir V., Ruban I., Levashenko V. (eds) Advances in Spatio-Temporal Segmentation of Visual Data. Studies in Computational Intelligence. Vol. 876. Springer, Cham. 2020. P. 101-159. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35480-0>.
- Kargin A., Petrenko T. Method of Using Data from Intelligent Machine Short-Term Memory in Fuzzy Logic System. 2021 IEEE 7th World Forum on Internet of Things (WF-IoT). 2021. P. 842-847. URL: <https://doi.org/10.1109/wf-iot51360.2021.9594918>.
- Каргин А. О., Жуков С. В., Сергеев Д. А., Сілін Є. Л. Модель базового рівня штучного оточення автономних інтелектуальних безлюдних систем на прикладі мобільного робота, що обслуговує. Системи управління, навігації та зв'язку. 2023. Вип. 2 (72). С. 107-113.

Kargin A. O., Silin E. L. Computer experiments with a model of cognitive perception of an autonomous intelligent unmanned system: the effect of aging data from sensors on the confidence of assessing the situation when making decisions

Abstract. The need for more advanced Unmanned Systems (US) is supported by the development trends of

world society. Artificial Intelligence (AI) plays an important role in maintaining the required level of autonomy. AI-enabled US developers are focusing on the creation of the third generation of Feeling AI (FAI) for autonomous intelligent US (AIUS). One of the components of the FAI architecture is a system of cognitive perception, which overcomes the gap between the two paradigms «data from sensors» and «natural words», which was the main problem for the deployment of AIUS. The article considers an algorithm implemented on the basis of a model of cognitive perception. The algorithm distills the sense of data from form sensors by calculating the internal meaning of a word based on the external meaning of knowledge. Formal models of the representation of the external meaning of knowledge used in distillation and the processing algorithm are presented. The results of computer and real experiments in which a wheeled warehouse robot was used as AIUS are given.

Keywords. feeling artificial intelligence, cognitive perception, autonomous intelligent unmanned system, sense distillation of meaning

Надійшла 12.06.2023 р

***Каргін Анатолій Олексійович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: kargin@kart.edu.ua. ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-2885-9071>.*

***Сілін Євгеній Леонідович**, аспірант кафедри інформаційних технологій, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: silin@kart.edu.ua. ORCID ID <https://orcid.org/0009-0001-2948-5537>.*

***Anatolii Kargin**, Doctor of technical science, professor, department of information technology, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: kargin@kart.edu.ua. ORCID ID <http://orcid.org/0000-0003-2885-9071>.*

***Yevhenii Silin**, PhD student, department of information technology, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: silin@kart.edu.ua. ORCID ID <https://orcid.org/0009-0001-2948-5537>.*