

АНАЛІЗ ШТУЧНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

Валентина Юнчик¹, Наталія Кунанець², Володимир Пасічник³, Анатолій Федонюк⁴

^{1,4} Волинський національний університет імені Лесі Українки,

^{2,3} Національний університет “Львівська політехніка”,

¹ uynchik@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3500-1508

² nek.lviv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3007-2462

³ vpasichnyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5231-6395

⁴ fedonyukanatan@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0942-227X

© Юнчик В., Кунанець Н., Пасічник В., Федонюк А., 2021

Проаналізовано ключові терміни та основні поняття агента. Наведено загальну класифікацію агентів, структуровану за представленням моделі зовнішнього середовища, за типом опрацювання інформації та за виконуваними функціями. Аналогічно проаналізовано класифікацію штучних агентів (інтелектуальні, рефлекторні, імпульсивні, трофічні). Наведено необхідні умови реалізації агентом певної поведінки, а також схему функціонування інтелектуального агента. Зазначено рівні знань, що відіграють ключову роль в архітектурі агента. Наведено функціональну схему агента, що навчається і працює порівняно незалежно, демонструючи гнучку поведінку. Показано, що функціональна схема реактивного агента зумовлює залежність від середовища. Детально описано властивості інтелектуального агента та подано структурну схему. Розглянуто різні варіанти архітектур агентів, зокрема архітектури агентів на основі нейромереж. Продемонстровано організацію взаємодії рівнів у багаторівневій архітектурі агента. Значну увагу приділено Will-архітектурі та *InteRRaP*-архітектурі агентів. Розглянуто багаторівневу архітектуру для автономного агента машини Тьюрінга.

Ключові слова: агент; інтелектуальний агент; класифікація агентів; багаторівнева архітектура.

Постановка проблеми

У наш час все більше уваги приділяють розподіленим інтелектуальним системам, які обмінюються знаннями одна з одною, використовують спільні знання, реалізуючи можливості повторного використання знань. Одним із таких підходів є упровадження інформаційних технологій і елементів штучного інтелекту в управління навчанням, тобто поєднання досвіду управління навчальним процесом і сучасних науково-технічних досягнень у галузі інформатики та комп'ютерної техніки, зі створенням інтелектуальних систем управління процесом навчання. Модулі, що є автономними частинами системи, розглядають як агентів, що працюють у межах цієї системи та обмінюються знаннями з іншими її модулями за допомогою повідомлень.

Істотне зростання складності комп'ютерних систем зумовлює вимоги вищої надійності, гнучкості, маштабованості, адаптивності й здатності системи до інтеграції. Агенти й багатоагентні системи формують новий підхід до розвитку складних систем програмного забезпечення загалом й апаратних систем зокрема. Через такі принципи, як децентралізація, автономія, орієнтація на мету, реактивність і проактивність індивідуальних агентів та взаємодія між агентами, агентно-орієнтований підхід спроможний виконати вищезгадані вимоги [15].

Методи координації й співпраці повинні відповідати поняттям агентно-орієнтованої методології й забезпечувати спільну діяльність агентів. Ці методи повинні брати до уваги особливості системи, що розробляється, й середовища, до якого застосовують цю систему. За дотримання цих умов координація між агентами може істотно підвищити ефективність колективної дії агентів [15].

Аналіз досліджень і публікацій

Визначенню поняття “агент” у системах штучного інтелекту приділили багато уваги вітчизняні та закордонні вчені: Р. В. Вовнянка [8], В. І. Городецький [11], А. Я. Лозинський [16], А. В. Нарожний [17], С. Рассел [18], В. Б. Тарасов [23], П. І. Федорук [25], О. І. Федяєв [26] та ін.

Формулювання цілі статті

Мета статті – аналіз різних понять агентів та їх класифікація, а також дослідження механізмів застосування агентів до системи навчання.

Виклад основного матеріалу

Агент – особа або організація, наділена юридичними повноваженнями представляти іншу особу або організацію і вести їхні справи. З цього визначення зрозуміла роль агентів у сучасних науках як проміжної ланки між суб’єктом і об’єктом (рис. 1). Якщо рухатися від суб’єктного полюса, то агент виступає як квазісуб’єкт, здатний заміщувати іншого суб’єкта, що має певні зобов’язання перед ним і діє за його дорученням. Однак під час руху від об’єктного полюса агент вважається активним об’єктом або метаоб’єктом, що здатний маніпулювати іншими об’єктами, зокрема формувати власні програми дій, які зумовлені деякими потребами і спрямовані на досягнення певних цілей. Розрив між суб’єктом і об’єктом неможливий [24].

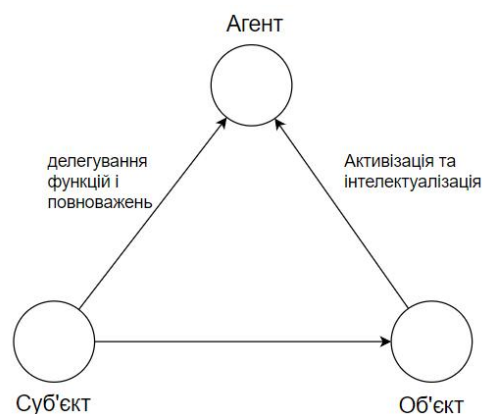


Рис. 1. Ілюстрація поняття “агент”

Згідно з [7, 21] під агентом розуміють сутність, яка перебуває у деякому середовищі, сприймає його за допомогою сенсорів, отримуючи дані, які відображають події, що відбуваються у середовищі, інтерпретує ці дані та діє на середовище за допомогою ефекторів. Отже, виокремлено чотири фактори – середовище, сприйняття, інтерпретація, дія.

Поняття агента можна інтерпретувати множиною з п’яти елементів:

Агент = <Об’єкт, Середовище, Сприйняття, Інтерпретація, Дія>,

де *об’єкт* – програмний чи апаратний елемент або будь-яка фізична чи віртуальна одиниця, що представляє множину екземплярів предметів реального світу, що мають ті самі властивості та правила поведінки; *середовище* інтерпретується як проблема, в якій агент функціонує; *сприйняття* – термін, який використовують для позначення сенсорних даних, які отримав агент у певний момент часу; *інтерпретація* – покомандне виконання програми без попередньої компіляції; інтелектуальне управління діяльністю агента на основі програми, що реалізує функцію агента. Агент вибирає

доцільні цілеспрямовані рішення із широкого діапазону можливих дій, і, отже, сприйняття позначаються на дії; *дія* – вплив агента на середовище за допомогою виконавчих механізмів.

Агент є відкритою системою, розміщеною у певному середовищі, причому цій системі притаманна своя поведінка, зумовлена певними принципами. Агент вважається здатним сприймати інформацію із зовнішнього середовища з обмеженим дозволом, опрацьовувати її на основі власних ресурсів, взаємодіяти з іншими агентами і діяти на середовище протягом певного часу, маючи свої цілі.

Це означає, що під час побудови агента мінімальний набір базових характеристик охоплює такі властивості [20]:

- а) активність – здатність до організації та реалізації дій;
- б) реактивність – здатність сприймати стан середовища;
- в) автономність – відносна незалежність від навколишнього середовища;
- г) комунікабельність, що впливає із необхідності виконувати свої завдання спільно з іншими агентами, забезпечується розвиненими протоколами комунікації;
- д) цілеспрямованість, яка передбачає наявність власних джерел мотивації.

Необхідними умовами реалізації агентом визначеної поведінки є спеціальні пристрої, що безпосередньо сприймають вплив зовнішнього середовища (рецептори) і виконавчі органи, які впливають на середовище (ефектори), а також процесор – блок переробки інформації та пам'ять (здатність агента зберігати інформацію про свій стан і стан середовища). Отже, вихідне уявлення про найпростішого агента зводиться до моделі (рис. 2) [13].

Рецептори утворюють систему сприйняття агента, що забезпечує прийняття і первинне опрацювання інформації, яка надходить до них із середовищ (зовнішнього та внутрішнього), а потім у пам'ять. Система сприйняття може контролювати дії, визначаючи відмінності між поточними і очікуваними станами. У пам'яті агента зберігаються дані про типові реакції на інформаційні сигнали від рецепторів, а також інформація про стан ефекторів та про наявні ресурси. Крім того, в пам'яті зберігаються програми перероблення вхідної інформації на керуючі сигнали, що подається на ефектори, та результати реакцій на певні зовнішні ситуації.

Блок пам'яті містить три основні компоненти: систему фільтрів, що забезпечують виокремлення найзначущішої для агента інформації, внутрішню модель зовнішнього світу і модель самого агента. Отже, саме обсяг пам'яті, кількість збережених у ній даних і програм, рівень розвитку внутрішньої моделі зовнішнього світу і можливості рефлексії визначають складність і характер поведінки агента, рівень його автономності та інтелектуальності.

Процесор забезпечує об'єднання і перероблення різнорідних даних, вироблення відповідних реакцій на інформацію про стан середовища, прийняття рішень про виконання тих чи інших дій. Вибір відповідних дій за заданих обмежень – одна із ключових здібностей агентів.

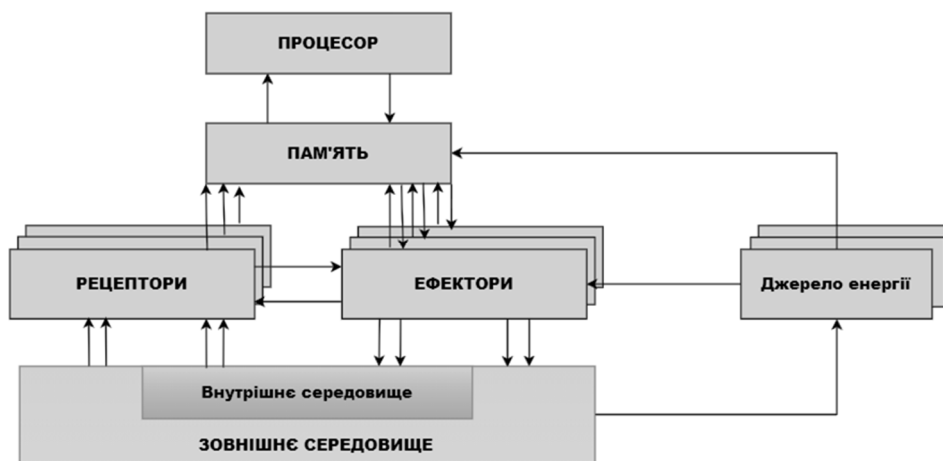


Рис. 2. Модель поведінки агента

Функція ефекторів відображає вплив на середовище, наприклад, переміщення об'єктів зовнішнього середовища, видавання інформації в символній формі, підтримку рівноваги внутрішнього середовища.

Джерела енергії забезпечують всі необхідні умови для підтримання життєвого циклу агента.

Згідно з [21] інтелектуальні агенти безперервно виконують три функції: 1) сприйняття динаміки середовища; 2) дії, що змінюють середовище; 3) міркування з метою інтерпретації спостережуваних явищ, вирішення завдань, виведення висновків і визначення дій.

У дослідженні [7] зазначено, що автономні агенти – це комп'ютерні системи, що функціонують у складному, динамічному середовищі, здатні відчувати й автономно діяти на це середовище і виконувати завдання, для яких вони призначені.

Штучних агентів розуміють як програмні одиниці (модулі), що підтримують локальний стан і паралельні обчислення, а також здатні в процесах комунікації досягати станів інших агентів і автоматично виконувати дії в певних умовах середовища [11]. Відповідно, інтелектуальними агентами називають програмні системи, що створені для надання послуг користувачеві на основі своїх інтелектуальних інтерфейсів і характеризуються певною поведінкою (правилами і стратегіями поведінки). Вони виконують множину операцій для користувача або іншої програмної системи, володіють певним рівнем автономності й використовують знання про цілі або бажання користувача (рис. 3).

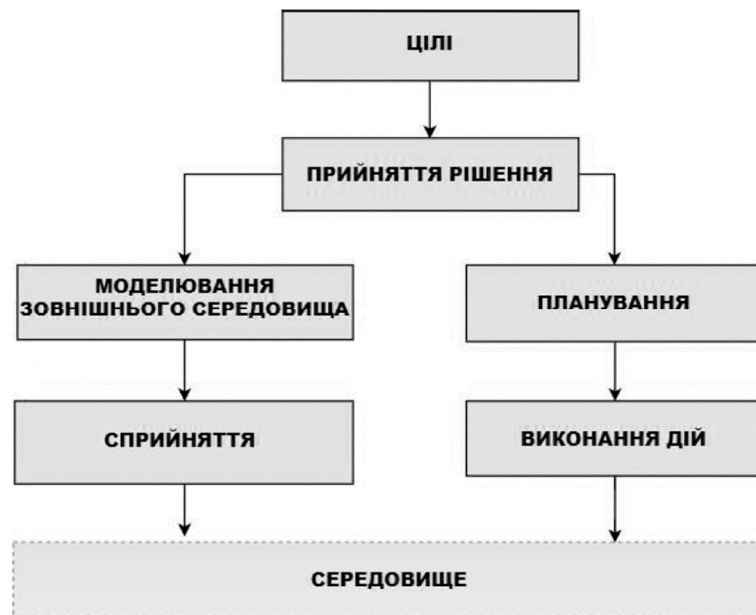


Рис. 3. Схема функціонування інтелектуального агента

У кожне визначення агента вкладено конкретні властивості залежно від цілей розроблення, вирішуваних завдань, техніки реалізації, критеріїв.

Як наслідок, у межах цього напрямку з'явилася множина типів агентів, наприклад: автономні агенти, персональні асистенти, інтелектуальні агенти, соціальні агенти тощо.

Залежно від ступеня можливості внутрішнього уявлення зовнішнього світу і способу поведінки агентів класифікують на: локальні, мережеві, мобільні, інтерфейсні, транслювальні тощо.

Запропоновано чимало різних класифікацій агентів. Загальну класифікацію агентів зображено на рис. 4 [23].

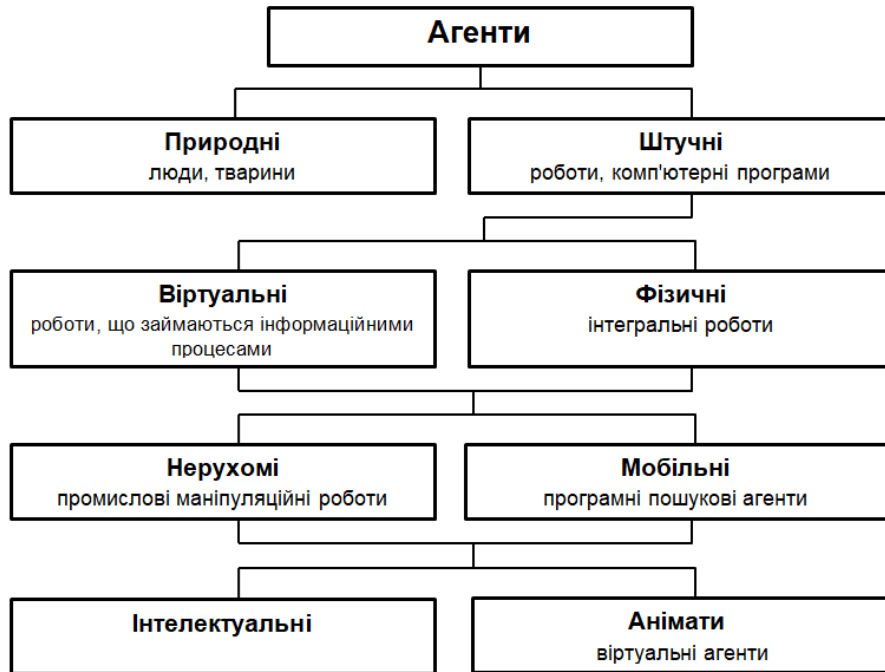


Рис. 4. Загальна класифікація агентів

Класифікацію штучних агентів можна побудувати за двома ознаками [23]:

- 1) рівень розвитку внутрішнього уявлення зовнішнього світу (рис. 5);
- 2) спосіб поведінки.



Рис. 5. Класифікація штучних агентів

Інтенціональні агенти мають власні механізми мотивації, тобто в них моделюються внутрішні переконання, бажання, наміри і мотиви, які породжують цілі та визначають їхні дії.

Модульні (рефлекторні) агенти не мають внутрішніх джерел мотивації та власних цілей, а їх поведінка характеризується найпростішими (однокроковими) висновками, або автоматизмами.

Поведінка *трофічних агентів* визначається найпростішими трофічними зв'язками. Фактично вона зводиться до відповіді на стимули, що надходять із зовнішнього середовища, тобто повністю визначається локальним станом.

Імпульсивний агент прагне мінімізувати функціонал:

$$I = \int_0^T \delta W dt = \int_0^T \frac{1}{2} (a_i y_i^2) dt,$$

де y_i – відхилення деякої важливої змінної від норми (потреба); a_i – вага (суб'єктивна важливість) цієї потреби; t – час; вираз $M_i = a_i y_i$ – імпульс.

Отже, когнітивні агенти, завдяки їх складності, наявності знань і здібностей до міркувань, можуть бути автономнішими, ніж реактивні. Вони працюють порівняно незалежно, демонструючи

гнучку поведінку. Але складність автономних агентів, що зумовлює здатність опиратися зовнішнім впливам, спричиняє певні труднощі в організації їх ефективної взаємодії (рис. 6).

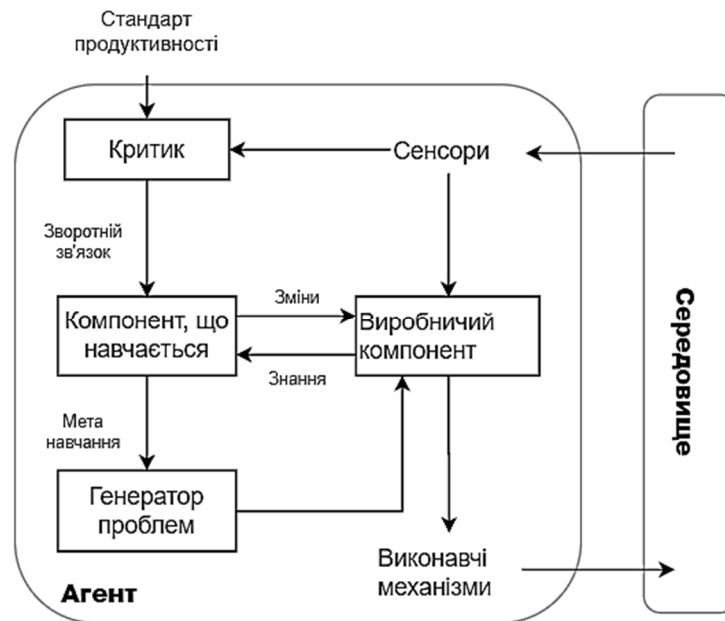


Рис. 6. Функціональна схема агента, що навчається

Доволі проста структура реактивних агентів зумовлює їх жорстку залежність від середовища. Їх можливості порівняно невеликі, коли вони функціонують самі й обмежені власними ресурсами. Їм легше утворити групу або організацію, здатну гнучко адаптуватися до змін середовища під дією механізму природного відбору. Тому реактивні агенти становлять інтерес не на індивідуальному, а на колективному рівні, причому їхні здатності до адаптації та розвитку виникають спонтанно в результаті локальних взаємодій. Отже, реактивні агенти, які майже не мають індивідуальності, розчиняючись в загальній масі, за рахунок їх великої кількості й надмірності можуть вирішувати складні завдання (рис. 7).

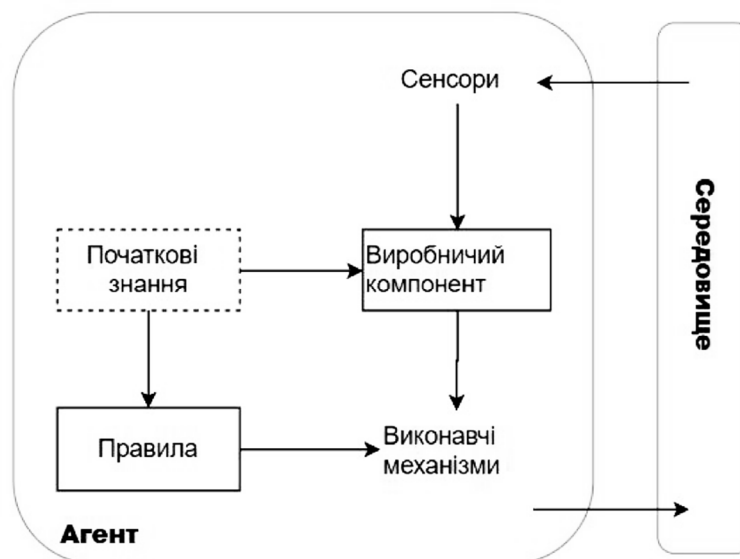


Рис. 7. Функціональна схема реактивного агента

Розглянемо ще одну класифікацію агентів за різними ознаками (рис. 8) [22].

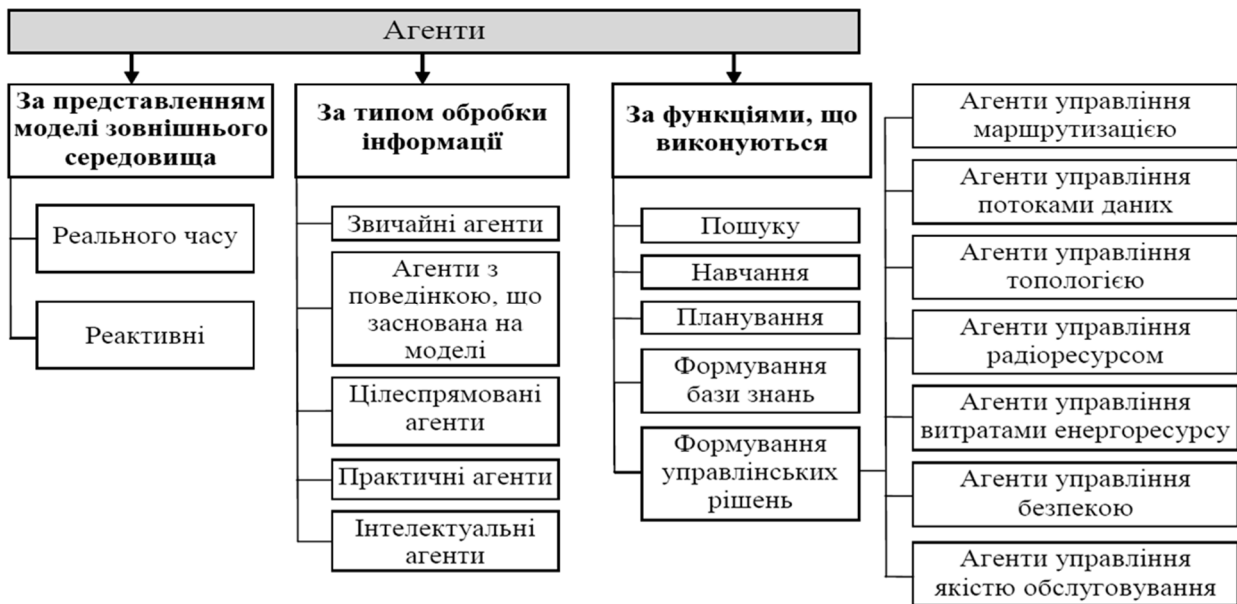


Рис. 8. Класифікація агентів

Головна відмінність агентів, що працюють у режимі реального часу, – вони функціонують згідно із зовнішніми фізичними збудниками. Агенти, що працюють в реальному часі, взаємодіють з оточенням за допомогою інтерфейсів, тобто впливають на навколишнє середовище, відчуваючи вплив навколишнього середовища. Звідси з'являється можливість оцінювати результати свого функціонування і змінювати свої дії в майбутньому з урахуванням досвіду, отриманого в минулому. *Реактивні агенти* не мають ніякого уявлення про стан зовнішнього середовища, а також механізму вирішення завдань чи достатньої кількості власних ресурсів. *Агенти пошуку* займаються пошуком інформації та поповнюють нею наявну базу даних, з якої потім *агенти формування бази знань* формують знання та правила, що застосовують під час вирішення поставлених завдань [22]. *Агенти планування* відповідають за організацію діяльності системи під час вирішення різних завдань. *Агенти навчання* здійснюють інтелектуалізацію, тобто забезпечують здатність самостійно приймати рішення. *Агенти формування управлінських рішень* відповідають за реалізацію множини методів управління вузловими та мережевими ресурсами. *Звичайні агенти* діють тільки на основі поточних знань (рис. 9). Їх агентська функція основана на схемі умова – дія (IF (умова) THEN (дія)). Така функція може бути вдалою, тільки якщо навколишнє середовище повністю піддається спостереженню. Деякі агенти також можуть мати інформацію про власний поточний стан, що дає їм змогу не звертати уваги на умови, передумови яких вже виконані [22].

Агенти з поведінкою, основані на моделі, можуть оперувати із середовищем, яке лише частково піддається спостереженню. У середині агента зберігається уявлення про ту частину, що перебуває поза межами огляду. *Цілеспрямовані агенти* схожі на попередній тип, крім того, вони зберігають інформацію про ситуації, які для них прийнятні. Це дає агенту можливість вибрати шлях, що приведе до потрібної мети. *Цілеспрямовані агенти* розрізняють тільки стан, коли мета досягнута, і коли не досягнута. *Практичні агенти* здатні розрізняти, наскільки бажаний для них поточний стан. *Інтелектуальні агенти* мають здатність до навчання і пристосування до змін навколишнього середовища [22].

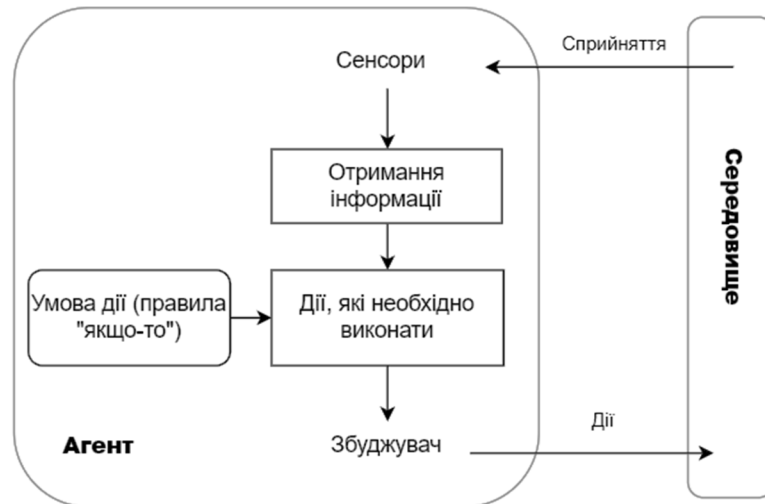


Рис. 9. Структурна схема звичайного агента

Інтелектуальними агентами в штучному інтелекті є фізичні або віртуальні одиниці, що забезпечують [22]:

- взаємодію із навколишнім середовищем, отримуючи інформацію та реагуючи на нього своїми діями;
- взаємодію із іншими агентами, відправляючи та отримуючи повідомлення від інших агентів;
- внутрішню діяльність, зокрема без втручання людини;
- запам'ятовування та аналіз різних ситуацій;
- аналіз реакції на власні дії;
- прогнозування майбутніх дій та зміни зовнішнього середовища.

Із використанням інтелектуальних здібностей ці агенти будують віртуальні середовища, у яких формуються плани подальших дій [19].

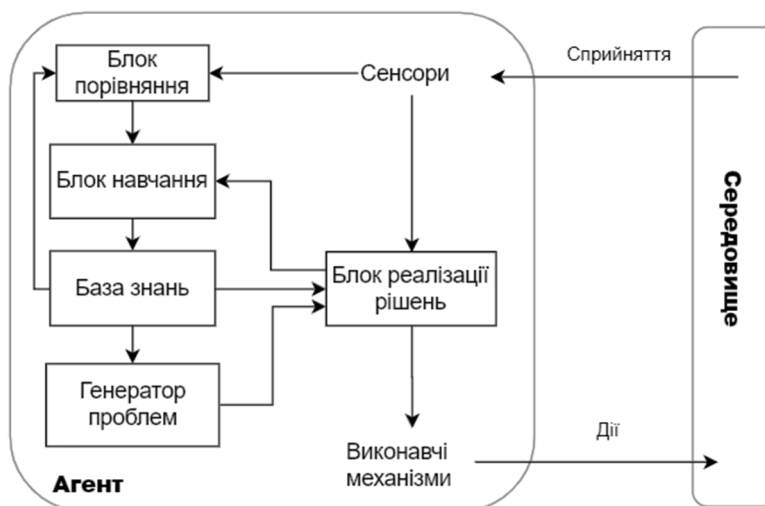


Рис. 10. Структурна схема інтелектуального агента

На відміну від звичайного агента, який передбачає реакцію на зовнішній вплив із перебором наявних у базі знань правил, які самостійно не поповнюються, інтелектуальний агент містить блоки, що дають змогу виробляти нові знання у ході функціонування (рис. 10).

Сенсори агента відповідають за отримання повідомлень від середовища та інших агентів, перетворюють їх на внутрішнє представлення агента. У блоці *порівняння агента* здійснюється порівняння наявної інформації, що міститься у базі знань, з інформацією, яка надходить від зовнішнього середовища та інших агентів [22].

Блок *навчання агента* відповідає за поповнення новими знаннями наявної бази знань, яка слугує для зберігання знань, отриманих упродовж функціонування агента. До неї входять база моделей агентів, база знань про розв'язувані задачі та власна база знань. На етапі ініціалізації в базі знань міститься певна інформація про стан зовнішнього середовища та інших агентів. Дані поміщають в базу у міру взаємодії з іншими агентами чи навколишнім середовищем. База знань, опрацьовуючи ситуацію, яка склалася, зберігає знання про способи вирішення завдань і методи вибору цих способів.

У блоці *генератор проблем* опрацьовуються всі отримані дані та показники і формується мета, яку потрібно досягти для вирішення поставленого завдання. У блоці *реалізації рішень*, на основі правил, визначених базою знань, а також поставленої мети здійснюються формування та реалізація керуючого впливу. *Виконавчі механізми* агента слугують засобом відправлення повідомлень до середовища та інших агентів.

Отже, інтелектуальні агенти володіють деякими знаннями про навколишнє середовище, які дають їм змогу вирішувати завдання без втручання користувача. Крім того, інтелектуальний агент може взаємодіяти з іншими агентами з метою спільного вирішення певних завдань [22].

Інтелектуальні агенти мають такі властивості [19]:

автономність – самостійне функціонування та самоконтроль у діях;

реактивність – своєчасне реагування на зміни, що відбуваються у середовищі;

проактивність – генерування цілей та дій, що забезпечують їх досягнення;

базові знання – знання агента, що необхідні для його функціонування;

переконання – впевненість у доцільності використання знань для своїх цілей, однак не знання про зміни даних та їх неактуальність;

цілеспрямованість – цілеспрямована поведінка для досягнення певної мети;

бажання – бажані стани та ситуації, що можуть бути суперечливими;

наміри – вплив на цілі та зобов'язання агента;

зобов'язання щодо інших агентів – завдання, доручене агентові у межах співпраці.

комунікативність – здатність функціонувати, взаємодіючи з іншими агентами;

мобільність – міграція агента мережею у пошуках необхідної інформації для вирішення завдань.

Важливим аспектом теорії агентів є проблема синтезу адекватної архітектури для відповідного класу (типу) агентів. У загальному випадку агент a має різні функціональні властивості (атрибути) на різних рівнях. Тоді його можна охарактеризувати вектором значень $\mu = (\mu_1(x), \dots, \mu_n(x))$, що виражає рівень задоволення цими властивостями. Так будується функція $\mu: X \rightarrow [0,1]^n$, де $[0,1]^n$ – повна решітка. Ідеальний агент характеризується вектором $\mu^0 = (1, \dots, 1)$.

Нижче показано різні варіанти архітектур агентів.

Архітектуру інтелектуального агента із детальною специфікацією бази знань подано на рис. 11. Вона містить кілька рівнів подання знань, робочу пам'ять, модуль управління комунікацією і людино-машинний інтерфейс. Для успішного виконання своїх завдань агент має можливість здійснювати інтелектуальну поведінку (вибір планів, декомпозицію проблеми і розподіл завдань) та реактивну поведінку (своєчасно реагувати на появу нової інформації, зміни в наявних даних).

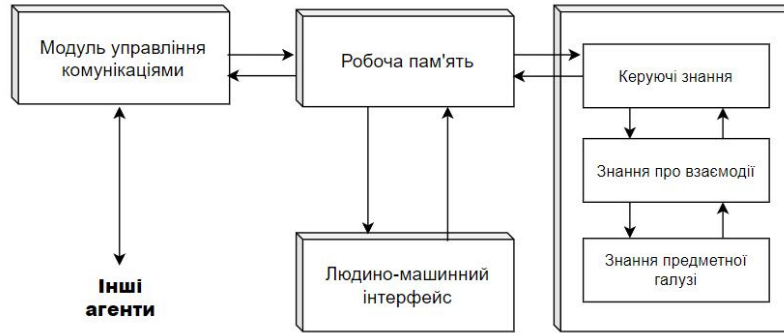


Рис. 11. Архітектура інтелектуального агента з ієрархічною базою знань

Зазначимо три рівні знань, які відіграють ключову роль в архітектурі агента:

- знання предметної галузі (domain knowledge);
- знання про взаємодії (interface knowledge), які виступають у формі загальних декларативних правил поведінки, а також правил поповнення і модифікації знань предметної галузі. Правила взаємодії є основою архітектури агента і розподіляються на: а) правила прийняття рішення в умовах невизначеності; б) правила управління кооперацією агентів;
- керуючі знання (control knowledge) – знання, які застосовують знання взаємодії до знань предметної галузі для поповнення і зміни робочої пам'яті.

Робоча пам'ять призначена для зберігання тимчасових даних, отриманих від рівня управління, користувача або модуля управління комунікаціями. Модуль управління комунікаціями здійснює складання і відправлення повідомлень, які посилають іншим агентам. Людино-машинний інтерфейс визначає способи взаємодії між системою і користувачем.

Зазвичай конекціоністські архітектури агентів утворюються із множини однакових елементів, які називають формальними (штучними) нейронами. Агенти, що створюються на основі архітектур нейронних мереж (рис. 12), мають добрі здібності до навчання. Тришарова нейронна мережа, у якій шар рецепторів (сприйняття) через проміжний шар пов'язаний із шаром ефекторів (виконання дій), дає змогу розробляти реактивних агентів, здатних адаптуватися до середовища. Крайні можливості мають мережі зі зворотними зв'язками, в яких нейрони певного шару можуть приймати інформацію від самих себе та інших нейронів того самого шару (рис. 13).

Великий інтерес для реалізації агентів на базі нейронної мережі становлять і нечіткі нейронні мережі, що забезпечують роботу із нечіткими сигналами і вагами, а також мережі, складені із нечітких нейронів. Мережі, побудовані з (І/АБО)-нейронів, дають змогу реалізувати логічні моделі агентів.

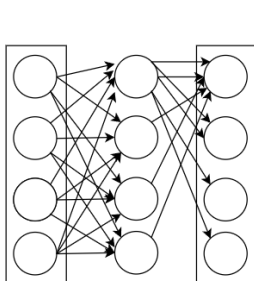


Рис. 12. Архітектура агента на основі нейромереж

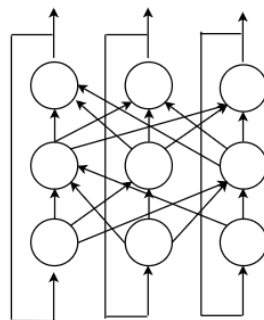


Рис. 13. Архітектура агента на основі нейромереж зі зворотними зв'язками

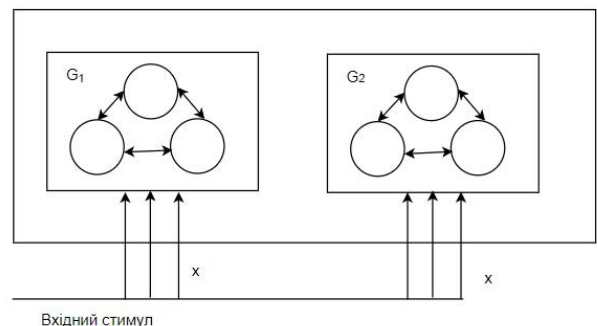


Рис. 14. Осциляторна мережа ($n = 2, m = 3$)

Хаотичні нейронні мережі, зокрема мережі, що об'єднують звичайні дискретні моделі нейрона як порогового елемента з аналоговими нейронами, що мають логістичну функцію виходу, дають змогу генерувати складні динамічні режими поведінки агента, наприклад, розпізнавання невідомих образів.

Перспективною видається ідея організації агента як системи осциляторів, причому саме взаємодія зовнішніх стимулів із осциляторами приводить до активізації агента. Осциляторна мережа складається із n груп (ансамблів) G , кожна з них містить m осциляторів (рис. 14).

Загалом мережі Кохонена, Фукусима, адаптивного резонансу [10] добре підходять для моделювання процесів самоорганізації та самонавчання агентів.

Залежно від організації взаємодії рівнів агента виокремлюють два класи багаторівневих архітектур: горизонтально та вертикально організовані архітектури.

У горизонтально організованій архітектурі всі рівні агента пов'язані з рівнем сприйняття та дій (всі рівні взаємодіють між собою).

Варіанти такої архітектури показано на рис. 15, а. У вертикально організованій архітектурі лише один із рівнів агента пов'язаний із рівнем сприйняття та дій, а кожен з інших рівнів взаємодіє тільки з парою суміжних із ним рівнів. Такі архітектури подано на рис. 15, б і в [14].

Проблема реалізації горизонтальних архітектур спричинена складністю координації роботи окремих рівнів. У вертикально організованій архітектурі проблеми управління взаємодією рівнів не виникає, оскільки у вихідній інформації кожного із рівнів завжди є точний адресат. У вертикально організованих архітектурах розподіл функціональних модулів за рівнями зазвичай виконується за такими принципами [15]:

1. Різні рівні агента відповідають різним рівням абстракції для того самого набору функціональних характеристик.
2. Кожен рівень відповідає деяким функціональним властивостям або їх набору.

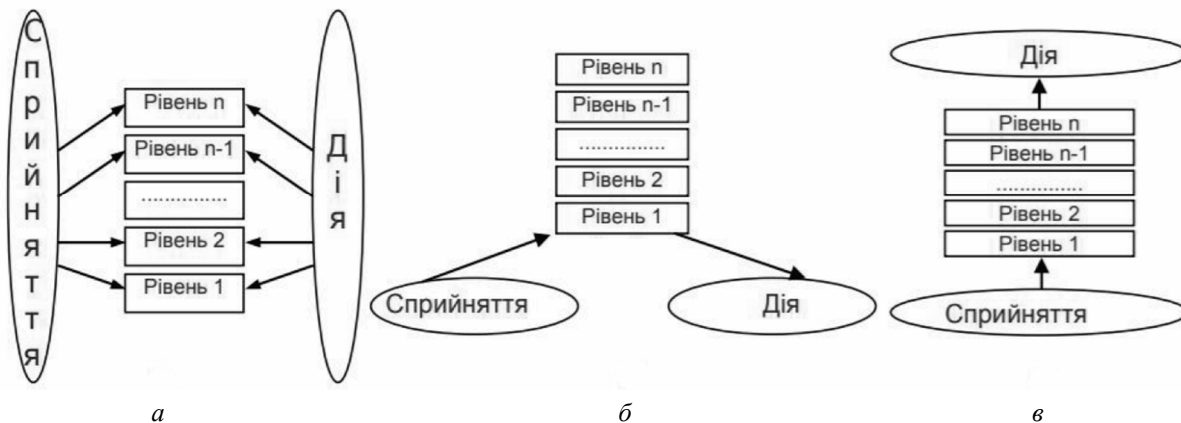


Рис. 15. Організація взаємодії рівнів у багаторівневій архітектурі агента

Основним недоліком вертикально організованої архітектури є перевантаженість рівня виконання (дій).

WILL-архітектура [11] зрозуміла і зручна, оскільки використовує ідеї та метафори, традиційні для описання інтелектуальної діяльності людини. Це найпростіша архітектура автономного агента, розрахована на одного агента з однією метою. Його функціонування спрямовується власними інтересами. Методи кооперації та комунікації агентів у вихідній *Will*-архітектурі не розглядають. Цю архітектуру наведено на рис. 16.

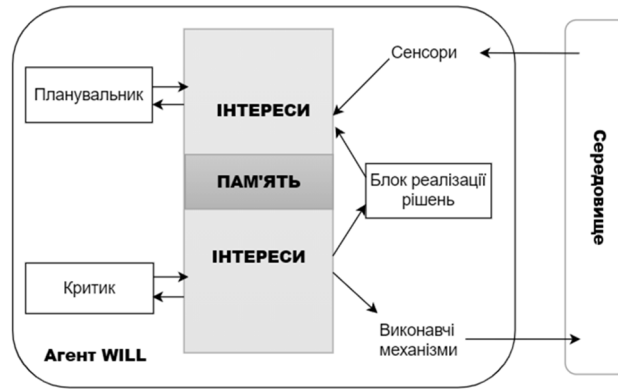


Рис. 16. Will-архітектура

Для функціонування агента в деякому середовищі необхідне забезпечення базових функцій, зокрема сприйняття (сенсори) і дії (виконавчий пристрій). Кожна функція агента реалізована окремим модулем. Базовими модулями агента є сенсорний блок, блок-планувальник і виконавчий пристрій, які потрібно об'єднати. Узгодження потоків інформації в архітектурі відбувається об'єднанням усіх входів певним блоком, який доступний для іншого блока. Всі повідомлення збираються у пам'яті. Зчитувати інформацію з пам'яті можуть всі модулі, окрім сенсорного блока, записувати нову інформацію в пам'ять можуть всі, окрім виконавчого пристрою. Інформація в пам'яті доступна для модулів у будь-який момент часу.

Агенти можуть змінювати та генерувати цілі, оцінюючи міру відповідальності за власні дії.

Ідеєю вертикальної *InteRRaP*-архітектури є подання агента у вигляді множини рівнів, пов'язаних через керуючу структуру, що використовують загальну базу знань. Цю архітектуру зображено на рис. 17. До її складу входять такі блоки: реактивної підсистеми; планувальної підсистеми; підсистеми, що відповідає за кооперацію з іншими агентами ієрархічної бази знань агента.

У реактивній підсистемі використовуються базові можливості агента щодо реактивної поведінки, а також частково процедурні знання агента. Для типових ситуацій заздалегідь заготовані реакції агента, що дає агенту змогу в стандартних ситуаціях не звертатися до підсистеми планування. Для реактивної підсистеми доступні тільки знання нижнього рівня абстракції, де міститься інформація про фрагменти поведінки [14].

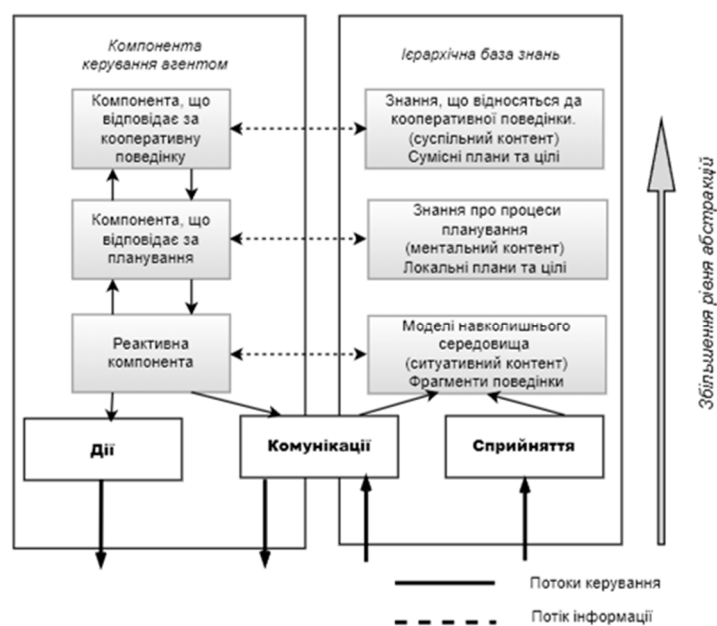


Рис. 17. InteRRaP-архітектура агента

Підсистема планування містить механізм для побудови індивідуальних планів агента, що не пов'язані із кооперативною поведінкою. Такий план подається у вигляді графа, де вузли – це конкретні набори дій, або нові підплани, які можна змінювати. Підсистема планування бере участь у формуванні планів, пов'язаних із кооперативною поведінкою агентів, і може використовувати знання двох нижніх рівнів абстракції [19].

Підсистема організації кооперативної поведінки бере участь у створенні планів спільної поведінки агентів для досягнення спільних цілей або виконання ними зобов'язань перед іншими агентами, а також реалізації угод. Для цієї компоненти доступні знання трьох рівнів абстракції.

База знань агента має трирівневу структуру і побудована за принципом дошки оголошень. Рівні бази знань відповідають рівням абстракції знань відповідно до структури управління. Модель агента містить переконання агента, що належать до рівня стимулювально-реактивної поведінки. Другий рівень відповідає за знання щодо планування процесів. Третій рівень містить знання агента про інших агентів, інформацію про спільні плани, цілі та наміри тощо.

Існує три варіанти реакції агента на зовнішні події [14]:

- нижній рівень поведінки – знаходження фрагмента поведінки, що відповідає ситуації, без залучення локального планування;
- використання локального планування – переміщення завдання із нижнього рівня на рівень локального планування, де конструюється план;
- використання кооперативного планування – пошук плану із рівня локального планування переміщується на рівень планування кооперативної поведінки.

Можливі й складні варіанти побудови загального плану, коли протокол взаємодії між рівнями локального планування і планування кооперативної поведінки передбачає складну схему обміну інформацією, наприклад, для оцінювання можливості вирішення деяких завдань за заданий час.

Багаторівнева архітектура “машина Тьюринга” (“*Touring Machine*”) поєднує низку традиційних механізмів міркувань на основі знань із механізмами поведінковими, реактивними. Це доволі характерний представник горизонтально організованої, багаторівневої архітектури.

Архітектура “*Touring Machine*” розроблена для спеціального додатка автономного агента – рухливого робота. Робот, який взаємодіє з іншими роботами, стикається із непередбаченими подіями зовнішнього світу, інформація про який фрагментарна і неточна. Він повинен адекватно реагувати на такі події та приймати рішення. Відповідно, агенту потрібна така архітектура, яка дасть змогу працювати в умовах невизначеності, неточності й неповноти інформації, реагувати на несподівані події, керуючись порівняно простими правилами.

Цю архітектуру подано на рис. 18. Вона містить три рівні, кожен із яких відповідає різним типам здібностей агента:

- рівень реакції на події *R* визначає здатність агента швидко реагувати на події, що виокремлюються рівнем вище, навіть якщо їх раніше не планували;
- рівень планування *P* генерує, виконує і динамічно реконструює часткові плани;
- рівень передбачення або моделювання *M* моделює поведінку об'єктів зовнішнього середовища і самого агента, що використовується для пояснення поточної поведінки і передбачення можливої поведінки в майбутньому.

Кожен рівень безпосередньо пов'язаний із підсистемами сприйняття і дії. Будь-який рівень може незалежно від інших рівнів вирішувати, реагувати або не реагувати на поточний стан подій. В архітектуру “*Touring Machine*” входить підсистема управління на основі правил, що активується контекстом із завданням забезпечити відповідну поведінку агента в разі конфлікту рівнів. Система реалізована як комбінація технології обміну повідомленнями та контекстної активації керуючих правил (відповідно до специфіки предметної області). Вона виконує роль “посередника”, який досліджує дані різних рівнів (вхідну і вихідну інформацію із різних рівнів), вводить на різні рівні нові дані та вилучає дані.

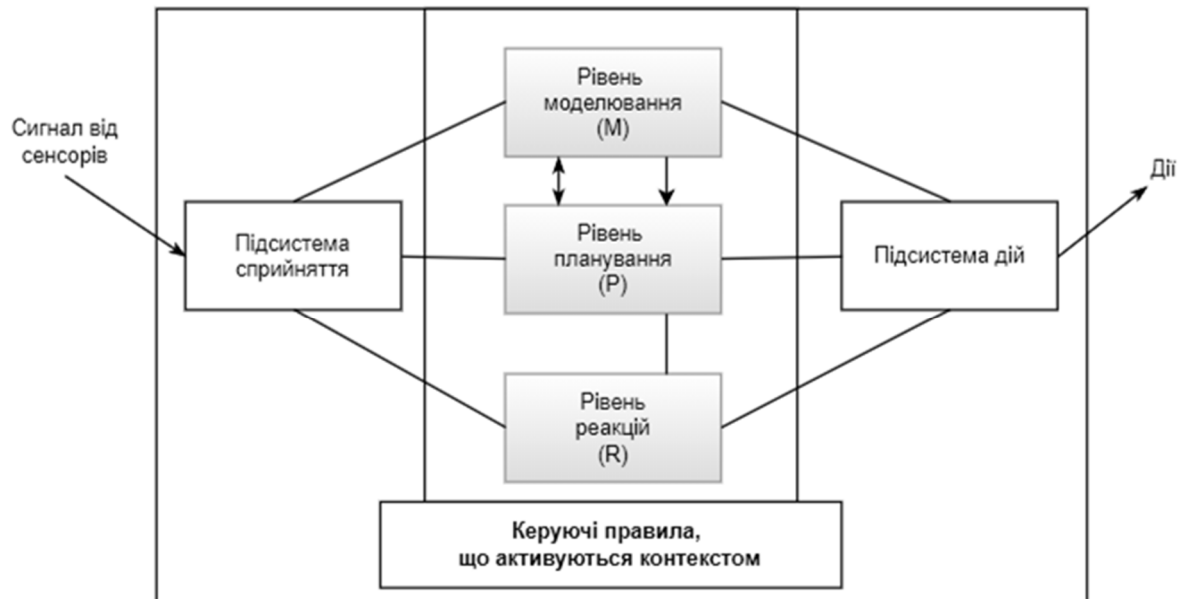


Рис. 18. Багаторівнева архітектура для автономного агента "Touring Machine"

Синхронізація входів і виходів рівнів також забезпечується цієї підсистемою. Фактично правила підсистеми виконують роль фільтра між сенсорами агента і його внутрішніми рівнями, з одного боку, і між рівнями і їхніми виконавчими елементами – з іншого.

Висновок

Різноманітність трактування поняття *агент* у системах штучного інтелекту дає змогу виокремити основні властивості, такі як: активність, реактивність, автономність, комунікабельність, цілеспрямованість у середовищі перебування, що сприяє вирішенню поставлених завдань. У роботі наведено різні варіанти архітектур агентів.

Подальші дослідження будуть спрямовані на виявлення доцільного використання агентних систем для організації електронного навчання.

Список літератури

1. Barbuceanu M., Fox M. (1996). Capturing and Modeling Coordination Knowledge for Multi-Agent Systems. *International Journal on Intelligent and Cooperative Information Systems*, 05 (02n03), 275–314. <https://doi.org/10.1142/S0218843096000117>.
2. Karthik D. (2011). Situation based intelligence routing in wireless sensor network. *International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*. URL: <http://www.itfrindia.org/ICCIC/Vol2/447ICCIC.pdf>.
3. Khomyak M., Fedonuyk A., Yatsyuk S., Yunchyk V. (2021) Cognitive modeling of the learning process of training IT specialists. *3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science CEUR Workshop Proceedings*, 2917, 141–150. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2917/paper13.pdf>.
4. Hayes-Roth B. (1995). An Architecture for Adaptive Intelligent Systems. *Artificial Intelligence*. 72, 329–365. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00004-K](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00004-K).
5. Maes P. (1995). Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents. *Communication of the ACM*, 38(11), 108–114. <https://doi.org/10.1145/219717.219808>.
6. Fedonuyk A., Yunchyk V., Yatsyuk S., Cheprasova T. (2020) The Models of Data and Knowledge Representation in Educational System of Mathematical Training of IT-specialists. *IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2, 269–272. DOI: 10.1109/CSIT49958.2020.9321899.
7. Бойко Р. О., Ук Д. Д. (2015). Поняття та властивості агента в багатоагентних інформаційних системах. *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організа-*

ційно-технічними та технологічними комплексами: матеріали II Міжнар. наук.-техн. конференції, 136–137. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/23854>.

8. Вовнянка Р. В. (2017). Методи та засоби планування дій спеціалізованих інтелектуальних агентів на основі онтологічного підходу: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. Львів, 230 с. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1431/dysvovniankarv.pdf>.

9. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. (2000). Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург: Питер. 384 с.

10. Галушкин А. И. (2000). Теория нейронных сетей: учеб. пособ. для вузов. Москва: Радиотехника. 415 с.

11. Городецкий В. И. (1996). Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения. *Новости искусственного интеллекта*, 1, 44–59. URL: <http://raai.org/library/ainews/getainews.php?1996>.

12. Горохов А. В. (2019). Основы системного анализа: учеб. пособ. для вузов. Москва: Юрайт. 140 с.

13. Кандрашина Е. Ю., Литвинцева Л. В., Поспелов Д. А. (1988). Представление знаний о пространстве и времени в системах искусственного интеллекта. Москва: Наука. 328 с.

14. Кицун Г. В. (2006). Архітектура інтелектуального агента. *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*, 573, 96–103. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/30105>.

15. Лисьев Г. А., Попова И. В., Лисьев Г. А. (2017). Технологии поддержки принятия решений: учеб. пособ. Москва: Флинта. 133 с.

16. Лозинський А. Я., Теслюк В. М., Зелінський А. Я., Нарушинська О. О. (2017). Аналіз сучасного стану мультиагентних систем. *Моделювання та інформаційні технології*, 81, 156–166. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2017_81_24.

17. Нарожный А. В. (2013). Агентно-ориентированный подход к построению систем управления процессом обучения. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, 5/3 (65), 20–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18478>.

18. Рассел С., Норвиг П. (2007). Искусственный интеллект: современный подход. Пер. с англ. Москва: Вильямс. 1408 с.

19. Романов В. П. (2003). Інтелектуальні інформаційні системи в економіці: навч. посіб. Москва. 496 с.

20. Савенко О., Кришук А., Лисенко С. (2011). Діагностування комп'ютерних систем на наявність шкідливого програмного забезпечення на основі антивірусної мультиагентної системи. *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*, 717, 147–152. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/12229>.

21. Самодурова Д. А. (2019). Інтелектуальні агенти та мультиагентні системи у виробництві. *Економічний вісник Донбасу*, 2 (56), 179–186. DOI: 10.12958/1817-3772-2019-2(56)-179-186.

22. Симоненко О. А., Уманец Я. Л., Романюк В. А., Сова О. Я. (2013). Аналіз можливостей використання інтелектуальних агентів для побудови системи управління вузлами радіомереж класу MANET. *Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”*, 1. URL: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2013/10_1_2013.pdf.

23. Тарасов В. Б. (1998). Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте. *Новости искусственного интеллекта*, 3, 5–54. URL: <http://masters.donntu.org/2009/fvti/zaytsev/library/book8/>

24. Тарасов В. Б. (2002). От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. Москва: Эдиториал УРСС. 352 с.

25. Федорук П. І. (2004). Використання інтелектуальних агентів для інтенсифікації процесу навчання. *Искусств. интеллект*, 3, 379–384. URL: http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2004_3/Razdel4/16_Fedoruk_.pdf.

26. Федяев О. И., Жабская Т. Е., Грач Е. Г. (2006). Многоагентная модель процесса обучения студентов на кафедральном уровне. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія “Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем”*, 5(116), 105–116. URL: <http://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/5815/1/11.pdf>.

27. Швецов А. Н., Ржеуцкая С. Ю., Сергушичева А. П., Суконщиков А. А. Архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса для подготовки специалистов технического профиля. *Открытое образование*, 22 (3), 14–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/1818-4243-2018-3-14-24>.

References

1. Barbuceanu M., Fox M. (1996). Capturing and Modeling Coordination Knowledge for Multi-Agent Systems. *International Journal on Intelligent and Cooperative Information Systems*, 05 (02n03), 275–314. URL: <https://doi.org/10.1142/S0218843096000117>.
2. Karthik D. (2011). Situation based intelligence routing in wireless sensor network. *International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*. URL: <http://www.itfrindia.org/ICCIC/Vol2/447ICCIC.pdf>.
3. Khomyak M., Fedonuyk A., Yatsyuk S., Yunchyk V. (2021). Cognitive modeling of the learning process of training IT specialists. *3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science CEUR Workshop Proceedings, 2917*, 141–150. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2917/paper13.pdf>.
4. Hayes-Roth B. (1995). An Architecture for Adaptive Intelligent Systems. *Artificial Intelligence*. 72, 329–365. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00004-K](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00004-K).
5. Maes P. (1995). Artificial Life Meets Entertainment: Life Like Autonomous Agents. *Communication of the ACM*, 38(11), 108–114. <https://doi.org/10.1145/219717.219808>.
6. Fedonuyk A., Yunchyk V., Yatsyuk S., Cheprasova T. (2020) The Models of Data and Knowledge Representation in Educational System of Mathematical Training of IT-specialists. *IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2, 269–272. DOI: 10.1109/CSIT49958.2020.9321899.
7. Boyko R. O., Uk D. D. (2015). The concept and properties of the agent in multi-agent information systems. *Modern methods, information, software and technical support of management systems of organizational, technical and technological complexes: materials of the II International scientific and technical conference*, 136–137. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/23854>.
8. Vovnyanka R. V. Methods and means of action planning of specialized intellectual agents on the basis of the ontological approach: the diss. ...cand. of techn. sciences: 01.05.03 – mathematical and software of computers and systems. Lviv, 230. URL: <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1431/dysvovnianskarv.pdf>
9. Gavrilova T. A., Khoroshevsky V. F. (2000). Knowledge base of intelligent systems. SPb: Peter, 384.
10. Galushkin A. I. (2000). Theory of neural networks: textbook for universities. Moscow: Radiotekhnika, 415.
11. Gorodetsky V. I. (1996). Multi-agent systems: current state of research and application prospects. *Artificial Intelligence News*, 1, 44–59. URL: <http://raai.org/library/ainews/getainews.php?1996>
12. Gorokhov A. V. (2019). Fundamentals of systems analysis: a textbook for universities. Moscow: Yurayt Publishing House, 140.
13. Kandrashina E. Yu., Litvintseva L.V., Pospelov D. A. (1988). Representation of knowledge about space and time in artificial intelligence systems. Moscow: Nauka, 328.
14. Kitsun G. V. (2006). The architecture of the intellectual agent. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University*, 573, 96–103. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/30105>
15. Lisiev G. A., Popova I. V., Lisiev G. A. (2017). Decision support technologies: a tutorial. Moscow: Flint Publishing House, 133.
16. Lozinsky A. Ya., Teslyuk V. M., Zelinsky A. Ya., Narushinska O. O. (2017). Analysis of modern multi-agent systems. *Model and Information Technologies*, 81, 156–166. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mtit_2017_81_24
17. Narozhny A. V. (2013). Agent-based approach to building management systems for the learning process. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 5/3 (65), 20–23. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18478>.
18. Russell Stewart, Norvig Peter. (2007). Artificial Intelligence: A Modern Approach. Per. from English. Moscow: Williams Publishing House, 1408.
19. Romanov V.P. (2003). Intelligent information systems in economics: A textbook. Moscow: Publishing House “Exam”, 496.
20. Savenko O., Krishchuk A., Lysenko S. (2011). Diagnosing computer systems for malware based on an antivirus multiagent system. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University*, 717, 147–152. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/12229>.
21. Samodurova D. A. (2019). Intelligent agents and multiagent systems in production. *Economic Bulletin of Donbass*, 2 (56), 179–186. DOI: 10.12958/1817-3772-2019-2(56)-179-186.
22. Simonenko O. A., Umanets Ya. L., Romanyuk V. A., Sova O. Ya. (2013). An analysis of the capabilities of the network of intellectual agents to induce the system and management of the radio stations of the radio station to

the MANET class. *Collection of Science Practitioners VITI NTUU "KPI"*, 1. URL: http://www.viti.edu.ua/files/zbk/2013/10_1_2013.pdf.

23. Tarasov V. B. (1998). Agents, multi-agent systems, virtual communities: a strategic direction in computer science and artificial intelligence. *Artificial Intelligence News*, 3, 5–54. URL: <http://masters.donntu.org/2009/fvti/zaytsev/library/book8/>

24. Tarasov V. B. (2002). From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, computer science. Moscow: Editorial URSS, 352.

25. Fedoruk P. I. (2004). Victory of intellectual agents for the intensification of the process of initiation. *Arts, intelligence*, 3, 379–384. URL: http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2004_3/Razdel4/16_Fedoruk_.pdf.

26. Fedyaev O. I., Zhabskaya T. E., Grach E. G. (2006). Multi-agent model of the process of teaching students at the department level. *Science of the Donetsk National Technical University. Series "Problems of modeling and automation of design of dynamical systems"*, 5 (116), 105–116. URL: <http://ea.donntu.edu.ua/bitstream/123456789/5815/1/11.pdf>.

27. Shvetsov A. N., Rzhetskaya S. Yu., Sergushicheva A. P., Sukonshchikov A. A. Architecture of an intelligent agent-based educational complex for training specialists of a technical profile. *Open Education*, 22 (3), 14–24. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/1818-4243-2018-3-14-24>.

ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLECTUAL AGENTS FOR E-LEARNING SYSTEMS

Valentyna Yunchyk¹, Natalia Kunanets², Volodymyr Pasichnyk³, Anatolii Fedoniuk⁴

^{1,4} Lesya Ukrainka Volyn National University

^{2,3} Lviv Polytechnic National University

¹ yunchik@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3500-1508

² nek.lviv@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3007-2462

³ vpasichnyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5231-6395

⁴ fedonyukanatan@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0942-227X

© Yunchyk V., Kunanets N., Pasichnyk V., Fedoniuk A., 2021

The key terms and basic concepts of the agent are analyzed. The structured general classification of agents according to the representation of the model of the external environment, by the type of processing information and by the functions performed is given. The classification of artificial agents (intellectual, reflex, impulsive, trophic) also is analyzed. The necessary conditions for the implementation of a certain behavior by the agent are given, as well as the scheme of functioning of the intelligent agent. The levels of knowledge that play a key role in the architecture of the agent are indicated. The functional diagram of a learning agent that works relatively independently, demonstrating flexible behavior. It is discussed that the functional scheme of the reactive agent determines the dependence on the environment. The properties of the intelligent agent are described in detail and the block diagram is indicated. Various variants of agent architectures, in particular neural network agent architectures, are considered. The organization of level interaction in the multilevel agent architecture is proposed. Considerable attention is paid to the Will-architecture and InteRRaP-architecture of agents. A multilevel architecture for an autonomous agent of a Turing machine is considered.

Key words: agent; intellectual agent; classification of agents; multilevel architecture.