

МАТЕМАТИЧЕСКИ ОСНОВИ НА ПОДСИМВОЛНИЯ ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Венета Табакова-Комсалова^{1,*}, Станимир Стоянов¹

¹ Факултет по математика и информатика,
ПУ „Паусий Хилендарски“, бул. „България“ № 236, 4027 Пловдив,
v.komsalova@uni-plovdiv.bg, stani@uni-plovdiv.bg

* Автор за кореспонденция: v.komsalova@uni-plovdiv.bg

Резюме. Статията разглежда развитието на изкуствения интелект (ИИ) и основните му направления – символен и подсимволен (статистически) ИИ. Авторите подчертават, че за обучението по ИИ е важно да се представят и двата подхода, защото всеки от тях изисква различна математическа подготовка. В текста се акцентира върху интегрирания (хибриден) ИИ, който комбинира силните страни на символния и подсимволния ИИ и се разглежда като основа за следващото поколение интелигентни системи. Като демонстрация е включен пример с робот, снабден със сензори и обучаван чрез перцептрон за откриване на препятствия, което показва как математическите знания намират пряко приложение в практиката.

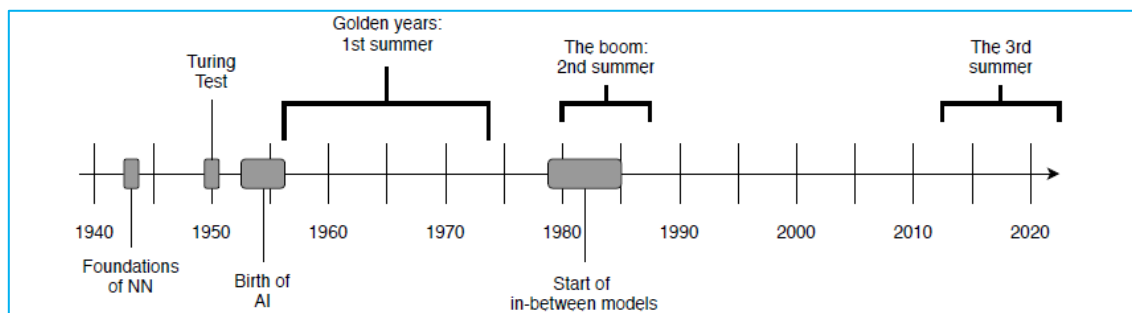
Заклучението на статията е, че бъдещият прогрес в ИИ ще се основава на синергията между символни методи и невронни мрежи, което ще позволи създаването на по-обясними, адаптивни и ефективни системи.

Ключови думи: изкуствен интелект, символен ИИ, подсимволен ИИ, интегриран ИИ, математически основи.

Въведение

С развитието на съвременните технологии изкуственият интелект (ИИ) оказва все по-голямо влияние в различни сфери – включително икономиката, здравеопазването и образованието. Докато от възникването си през 50-те години на миналия век ИИ беше научна област, от която се

интересуваха малко на брой изкушени изследователи, в последните години темата е силно експлоатирана в общественото пространство. Проблемът е, че под ИИ обикновено се разбират чатботове, работещи с различни големи езикови модели. Действителността е доста по-различна. Като много научни области от възникването си до наши дни ИИ се развива в различни направления. На фигура 1 е схематично е представена еволюцията на ИИ [1, 2].



Фигура 1. Времева линия на еволюцията на ИИ

Авторите на тази статия участваха в различни дискусии за въвеждане на изкуствения интелект в средното училище. Впечатление прави, че за болшинството от участниците ИИ е една монолитна и еднородна дисциплина, което не е вярно. За да може да се въведе ефективно обучение по ИИ в средното училище (също в университета), според нас, трябва да се познава структурираността на тази научна дисциплина (както например е при обучението по математика) и ясно да се разграничават различните нейни направления.

Целта на статията е да представи двете основни направления на съвременния ИИ, като възникнали в резултат на философските и еволюционните схващания за интелекта и способността на хората да разсъждават и да учат. Това разграничаване е необходимо най-малко поради това, че двете направления имат различна теоретична основа – символният ИИ се базира върху формалната логика, докато подсимволният ИИ използва линейна алгебра, вероятности, статистика. Освен това, с малък пример искаме да демонстрираме математическата основа на подсимволния (или статистически) ИИ.

Символен, подсимволен и интегриран изкуствен интелект

Еволюцията на ИИ протича в различни посоки. Основно се различават две направления на изкуствения интелект, познати като символен и подсимволен (статистически) изкуствен интелект. Символният ИИ разчита на езикови и логически конструкции, като продукционни системи, експертни системи и логическо програмиране [3]. Подсимволният ИИ включва методи основно базирани на невронни мрежи, които се основават

на линейна алгебра, статистика и теория на вероятностите [4]. Таблица 1 обобщава ключовите математически изисквания и позволява систематично съпоставяне.

Таблица 1. Ключови математически изисквания

Подход	Основни математически основи	Силни страни	Ограничения
Символен ИИ	Булева алгебра, формална логика, дедуктивни системи, дървовидни и графови структури	Висока интерпретируемост, прозрачност на решенията, подходящ за експертни системи	Липса на адаптивност, трудност при работа с несигурни данни
Подсимволен ИИ	Линейна алгебра (вектори, матрици), теория на вероятностите, статистика, оптимизационни методи	Адаптивност, ефективност при обработка на големи обеми данни, способност за самообучение	Черна кутия (липса на интерпретируемост), зависимост от данни

В еволюцията на ИИ двете направления често се конкурират и дори се отричат взаимно. Това напрежение има исторически и философски корени. Максуел например твърди, че истинската логика за света е смятането на вероятностите, а експериментите ни дават само статистическа информация [5]. Известен е и спорът Бор–Айнщайн за квантовата реалност [6]. Това противопоставяне между универсалистки и вероятностни възгледи продължава и днес в дебата между Чомски и Норвиг, обобщен в [7] като сигнал за предстояща „революция“ в изкуствения интелект.

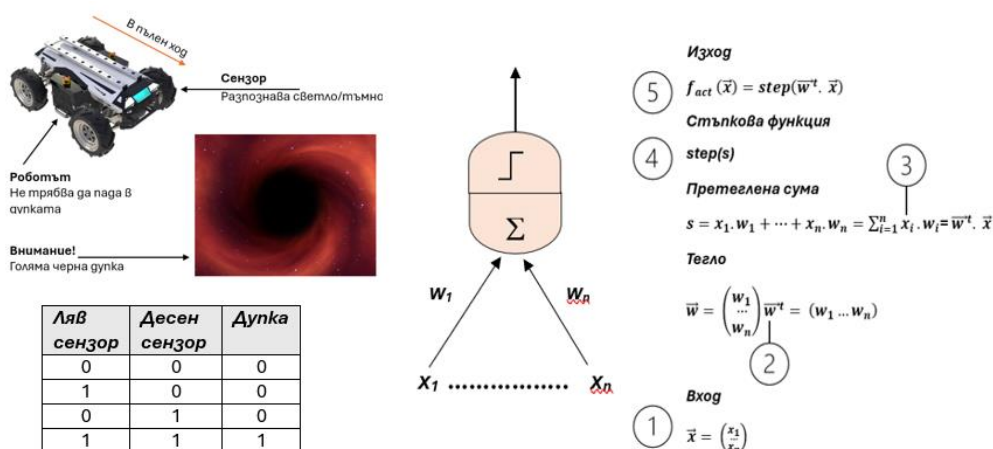
В ежедневието използваме както логическо разсъждение, така и статистическо заключение, за да правим различни изводи и преценки, както и да вземаме решения. В практиката и в научните изследвания, дедукцията и индукцията са неразделна част. В същото време не можем точно да кажем по същество коя част от човешкото познание е символна и коя е подсимволна (статистическа) [8]. Трудно е да докажем, че всички функции на човешкия ум могат да бъдат симулирани само чрез логически средства или само чрез статистически средства – очевиден е дуализъм на логиката и статистиката.

През последните десетилетия интересът към хибридни или интегрирани ИИ системи нараства, тъй като те съчетават предимствата на символните и подсимволните методи. Въпреки фундаменталните различия между двете парадигми, връзката помежду им се реализира чрез т.нар.

междинни (in-between) методи, обсъждани още от края на 80-те години. Те целят да преодолеят пропастта между логическото разсъждение и статистическото учене, създавайки системи, които едновременно се адаптират към средата и извършват интерпретируеми заключения. Съвременните приложения често комбинират символни и конекционистки компоненти, за да съчетават разбираемостта на символния ИИ с адаптивността на машинното учене. Това позволява решаване на комплексни задачи като автономно вземане на решения в динамични среди и намаляване на зависимостта от големи данни чрез интеграция на семантично знание. Една от ранните идеи за интегриран ИИ е предложена от Марвин Мински [9]. По-късни изследвания [10] подчертават, че прогресът в ИИ става неустойчив без интеграция и изисква по-ефективни методи – чрез развитие на дълбокото учене или преминаване към нови подходи. Освен това остават нерешени проблеми като обяснимостта и етичните въпроси, чието преодоляване е ключ към следващото поколение изкуствен интелект.

Демо пример

Нека разгледаме един малък демонстрационен пример – искаме да предпазим един робот от падане. Роботът може да се движи в някаква околна среда с ями, в които може да пропадне. Роботът е снабден с два сензора (за различаване яркост от тъмнина), монтирани отпред отляво и отдясно, които могат да определят яркостта на земята пред него (фигура 2). Ако сензор засече яркост, той връща стойност 0, ако засече тъмно, сензорът връща стойност 1. Задачата е да се разработи прост перцептрон, който разпознава дали има яма директно пред робота или дали е възможно безопасно пътуване. За решаване на задачата разгледаме показанията за яркост от сензорите - понякога могат да реагират левият сензор, десният сензор, двата едновременно или никой от тях (таблицата на фигура 2).



Фигура 2. Прости роботизирани сензори, откриване на дупки, основавайки се на сензорните стойности

Каква е предполагаема математическа основа, необходимо на студента (ученика) за да разбере математическия модел на обикновен персептрон (фигура 2), който може да се използва за решаване на задачата? В случая изчислителните модули на персептрона са следните: вход (точки в пространството и векторното им представяне), вектор на теглото (хоризонтална и вертикална нотация на колони и редове), претеглени суми, стъпковидни функции, обновяване на претеглена сума. Ако искаме да усложним задача с изискване за създаване на програмен код е ясно, че студентът (ученикът) освен разбиране на математическия модел трябва да има също известни познания и умения за програмиране.

Заклучение

Трета „зима“ за ИИ едва ли е възможна, а следващият напредък всъщност се очаква да бъде комбинация от символни и невронни мрежови методи. Подкрепяйки тази теза, в [1] са представени шест възможни сценария за развитието на интегрирания ИИ.

Литература

- [1] Kautz, H., The Third AI Summer: AAAI Robert S. Englemore Memorial Lecture, *AI Magazine*, 2022, vol. 43, no. 1, pp. 105–125
- [2] Ilkhou, M., Symbolic Vs Sub-symbolic AI Methods: Friends or Enemies?, *CSSA'20: Workshop on Combining Symbolic and Sub-Symbolic Methods and their Applications co-located with CIKM2020*, Galway, Ireland, 2020
- [3] Nilsson, N., *Artificial Intelligence: A New Synthesis*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1998, p. 513
- [4] Goodfellow, I., et al., *Deep Learning*, Cambridge, MA.: MIT Press, 2016
- [5] Maxwell, J., *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell: 1846-1862*, Cambridge: Cambridge University Press, 1990
- [6] Born, M., *The Born Einstein Letters*, Walker and Company, 1971
- [7] Gold, K., *Norvig vs. Chomsky and the Fight for the Future of AI*, TOR.COM, 2011
- [8] Maruyama, Y., Symbolic and Statistical Theories of Cognition: Towards Integrated Artificial Intelligence, *Software Engineering and Formal Methods*, SEFM 2020, 2021, vol. 12524
- [9] Minsky, M., Logical Versus Analogical or Symbolic Versus Connectionist or Neat Versus Scruffy, *AI Magazine*, 1991, vol. 12, no. 2, pp. 34–51
- [10] Thompson, N., et al., *The Computational Limits of Deep Learning*, 2020

MATHEMATICAL FOUNDATIONS OF SUBSYMBOLIC ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Veneta Tabakova-Komsalova^{1,*}, Stanimir Stoyanov¹

¹ Faculty of Mathematics and Informatics,
Paisii Hilendarski Plovdiv University, 236 "Bulgaria" Blvd., 4027 Plovdiv,
v.komsalova@uni-plovdiv.bg, stani@uni-plovdiv.bg

* Corresponding author: v.komsalova@uni-plovdiv.bg

Abstract. The paper examines the development of artificial intelligence (AI) and its main directions – symbolic and subsymbolic (statistical) AI. It emphasizes that it is important to present both approaches in AI education because each of them requires different mathematical training. The text focuses on integrated (hybrid) AI, which combines the strengths of symbolic and subsymbolic AI and is considered the basis for the next generation of intelligent systems. As a demonstration, an example is included of a robot equipped with sensors and trained using a perceptron to detect obstacles, which shows how mathematical knowledge can be directly applied in practice. The article concludes that future progress in AI will be based on the synergy between symbolic methods and neural networks, which will enable the creation of more explainable, adaptive, and effective systems.