Превръща ли се автоматиката в рутинна инженерна дисциплина

М. Хаджийски

Does Automation Become a Routine Engineering Discipline

M. Hadjiski

Key Words: *Artificial intelligence; automation; control theory; knowledge.*

Abstract. *During the second half of the twentieth century Automation was doubtlessly one of the most dominant scientific and engineering directions. In control theory a number of original concepts with a fundamental importance received a quick and deep development – dynamic systems, feedback, stability, modeling, identification, optimization, robustness, controllability and observability. These new concepts rendered a strong interdisciplinary paradigmal impact on a variety of scientific areas of advanced activities – computer science, decision making as well as on classic sciences like neuroscience, psychology, medicine, economics, education and many others. On the other hand contemporary Automation absorbs in a natural way lots of relevant achievements in other scientific directions like the fuzzy logic, the approximation theory, the neural nets, the network approach, learning, elements of the artificial intelligence, etc. But during the last fifteen years there was an obvious decrease of the verbal attendance of the Automation problematics in societal debates about the emerging challenges in a globalizing world. In the present paper it is argued that Automation continues to be a solid reactive and proactive factor in the formation of the societal strategy and in the running advanced technological and scientific policy because: (i) Automation speeds up its internal advanced development solving new emerging problems, (ii) Automation possesses relevant tools to predict corresponding scientific challenges and to overcome them, (iii) Automation will be together with Artificial Intelligence the most powerful action in the social digitalization in the near future.*

1. Увод

През втората половина на двадесети век автоматиката принадлежеше към научните области, които оказват най-силно влияние върху общественото развитие както чрез високотехнологичните сектори в икономиката, така и с утвърждаването на редица нови фундаментални концепти като динамична система, устойчивост, обратна връзка, система за управление, неопределеност, управляемост, робастност, адаптация [5]. Тези концепти оказаха силно въздействие върху много научни и инженерни области, някои изглеждащи далеч от автоматиката – изчислителната техника и информатиката, комуникациите, теорията на системите, организационните системи, транспорта, медицината, психологията, невронауките, обучението [4,5,10]. Същевременно в автоматиката бързо навлизаха нови идеи и парадигми от други научни области – размитата логика, машинното обучение, невронните мрежи, разпознаването на образи, обработката на големи потоци от данни, представянето и използването на знание, идеите от невронауките и науките за мозъка [1,3,6]. Този двустранен процес на взаимно влияние, обогатяване и разкриване на нови изследователски и инженерни направления отреждаше на автоматиката заслужена и достойна представителност между научните и инженерните области с най-голям иновативен потенциал.

През последните 15 години обаче се появиха някои признаци, които като че ли показват определена промяна на тенденциите. Ето някои от тях:

- Започвайки от шестата рамкова програма (РП) на Европейския съюз за научни и научно-приложни изследвания, термините *автоматика* и *автоматизация* не се използват като самостоятелни структуроопределящи направления.
- Съгласно някои експертни оценки от 2018 г. сега в целия свят са внедрени от порядъка на 5 млн. пропорционално-интегрални и диференциални (ПИД) регулатори. В определени среди се счита, че реалният бизнес се ориентира именно към този тип управление на процесите със съответна специфичност в измерванията, управленията и структурите.
- В едно от последните статистически изследвания на Японското дружество по автоматизация на производството се потвърждава утвърдилото се вече съотношение на типа на системите на индустриалната автоматика: (i) базова (ПИД) автоматика; (ii) усъвършенствана ПИД автоматика (каскадно управление, компенсация на смущенията, превключващо управление); (iii) съвременни методи за управление – в отношение 100:10:1. Това потвърждава доминиращото влияние на инвестиционния подход с минимален риск.
- В стратегическите насоки за развитие на изкуствения интелект (ИИ) и роботиката, свързани с индустрията и социалния живот, на автоматиката се отрежда задължително, но фрагментарно присъствие [1,5,7].
- Справката с водещите университети по света, които имат силни инженерни факултети, показва, че само по изключение автоматиката се предлага като цялостно сертифицирано самостоятелно направление.

От друга страна, се наблюдава значителен брой признаци, показващи, че автоматиката продължава да бъде един от основните носители на иновационните трендове в

инженерните науки и индустрията. Ето някои от тях:

- Ежедневно се публикуват сведения за успешни приложения на автоматиката в изключително сложни и малко изучени системи – космическите технологии (управлението на спътниковите телескопи, марсоходите и луноходите, автономните логистични системи), роботиката (управлението на траекториите, социалното поведение, координацията на системите от роботи), индустриалните внедрявания (нефтените платформи, управлението на големите индустриални комплекси), енергийните системи, управлението на интелигентните домове.
- Автоматиката навлиза с изключително бързи темпове в медицината за управление на сложните процеси в увредения мозък (епилепсия, паркинсон) и на други органи (бъбреците, панкреаса).
- Всяка година международната федерация по автоматично управление (IFAC) организира по 40-45 международни специализирани конференции, симпозиуми и семинари по най-актуалните проблеми на автоматиката. Интересът към световния конгрес на IFAC, който се провежда на всеки три години, е нарастващ, като обичайното ниво на представяне е 2500–2700 доклада с два пъти повече участници. Изключително високо ниво се поддържа на международните конференции ACC (Американска конференция по управление) и CDC (Конференция по вземане на решения и управление) и на регионалните конференции по автоматика (европейска, азиатска, южноамериканска).
- Анализът на публикациите от редица водещи научно-технически направления като изкуствения интелект, роботиката, науките за мозъка, когнитивната психология показва, че базови концепти на автоматиката продължават да бъдат привличани като подходи в тях след съответна модификация и адаптация [1,4,5,8,9,10]. Такива концепти са неопределеността, робастността, устойчивостта, поведението на елементи с чисто закъснение.

Тези противоречиви сигнали поставят въпроса превръща ли се автоматиката в рутинна инженерна дисциплина. Тази статия представлява опит да се даде аргументиран отговор на този въпрос, който е съществен за колегията от специалисти по автоматика от САИ и читателите на списание „Автоматика и информатика".

2. Рутинност, иновативност, въздействие

Всяка инженерна област може да се оценява от разглежданата гледна точка по следните оси:

- Рутинна и иновативна съставяща.
- Краткосрочна и дългосрочна финансова перспектива.
- Обхват и дълбочина на въздействието върху други научни и инженерни области.

Понятията *рутинна и иновативна съставяща* могат да се отнесат:

а) към цялостната научно-инженерна област „Автоматика";

б) към отделни структурни единици, участващи в проучването, проектирането и внедряването на съвременни системи за автоматизация (фирми, инженерингови организации).

Рутинната съставяща съдържа формиралото се през годините общоприето ядро от принципни схеми, управляващи алгоритми, стандарти на международните организации. Рутинната съставяща се развива непрекъснато в резултат на обогатяването ѝ с елементи от иновативната съставяща в процеса на остра конкурентна борба, следвайки хода на общото технологично развитие.

Рутинната съставяща съдържа комерсиално доказали се методи и средства за решаване на голям брой сходни инвестиционни задачи с малки разходи за донастройка към конкретния проект. Фирмите и инженерингите организации имат разработени цялостни платформи за проучване, идейно и работно проектиране, симулация, реализация и донастройка на изгражданата система. Публикациите за разработки с преобладаваща рутинна съставяща са предимно за анализ на специфични частни случаи (case study) или обобщения за класове рутинни проекти. Рутинната съставяща включва значително ноу-хау. Тя е сигурна инвестиционна основа, но е неконкуретна в случаи на решаване на сложни пионерни проекти, където е необходимо привличане на голям обем нови резултати от научни и научно-приложни изследвания.

Рутинната съставяща е с малък инвестиционен риск и поради това е в основата на преобладаващата част от текущите проекти за автоматизация, в които обаче се вграждат и редица елементи от иновативната съставяща. Високото ниво на рутинната съставяща гарантира стабилни бизнес позиции на фирмата.

Иновативната съставяща се развива в резултат на усилията на учени от академичните среди, специалисти от отделите за изследване и развитие в индустрията, на мениджъри на фирми, занимаващи се с комплексна автоматизация в различни области на реалния сектор. Иновативната съставяща е насочена към цялостно решаване на новопоявяващи се сложни задачи. Тя интегрира минал опит и съществуващо ноу-хау с нови теоретични и приложни изследвания, като е насочена към пазарна реализация.

Иновативната съставяща предопределя бъдещата бизнес позиция на фирмата. Тя е свързана със значителни разходи на ресурси – пари, висококвалифициран персонал, време. Иновативната съставяща е от особен интерес за фирми, опериращи с голям обем рисков капитал.

Високото технологично ниво на рутинната съставяща е предпоставка за печеливши бизнес позиции в краткосрочен план, но по същество тя е консервативна и има следните недостатъци в дългосрочна перспектива:

- Тя е неприлекателна за рисковия капитал, който се насочва винаги към иновативни съставящи.

- Оказва слабо влияние върху новопоявяващи се научни и инженерни области.
- Небалансираният подход с прекомерен акцент върху рутинната съставяща намалява вероятността за успешен бизнес в дългосрочен план.

Обхватът и дълбочината на въздействие на автоматиката върху други научни и инженерни области се определя преди всичко от:

- Богатството на фундаменталните теоретични основи на автоматиката, достигнати в нейното историческо развитие.
- Оригиналните идеи в иновативната съставяща на автоматиката, които съответстват на духа на основните насоки на съвременното научно и технологично развитие.
- Степента на абсорбиране и интегриране на нови идеи от други научни и инженерни области, което обогатява и ускорява развитието на иновативната съставяща на автоматиката.

3. Исторически поглед

1. Автоматиката винаги е била между движещите технологии в индустриалните революции и в общественото развитие:

- 18-и век – внедрени са 60 000 регулатора на Джеймс Уат на парни машини.
- 19-и век – масово се използват регулатори на парни и водни турбини.
- 20-и век – 1920–1950 г. – внедряване в енергетиката, химическата индустрия, металургията, електротехниката.

  1950–1970 г. – приложения в космическите технологии, първи децентрализирани системи за управление (ДСУ).

  1970–1990 г. – развитие на стратегии за цялостна автоматизация.
- 21 век – Индустрия 4.0.

2. Бързо собствено развитие на автоматиката

а) Теория на автоматичното управление

- 1868 г. – Максуел, диференциални уравнения;
- 1920–1935 г. – електронен усилвател, Найквист;
- 1940 г. – Норберт Винер, честотни методи за синтез, случайни процеси;
- 1960 г. – Калман, пространство на състоянията;
- 1960–1980 г. – динамично програмиране (Белман), принцип на максимума (Понтрягин), размита логика (Заде);
- 1980–2000 г. – H∞ синтез, робастност, моделно предсказващо управление нелинейно управление, адаптивно управление, системи с променлива структура, невронни мрежи;
- 2000–2020 г. – интелигентно управление, системи с обучение, автономни и самоорганизиращи се системи.

б) Реализация на системи за управление

- 1922 г. – ПИД регулатор;
- 1959 г. – първа ДСУ (DCS Texaco's Port Arthur Refinery);
- 1960–1970 г. – PLC, SCADA;
- 1970–2000 г. – DCS, MES, ERP;
- 1977 г. – 70 000 индустриални роботи;
- 2017 г. – 1.8 млн. индустриални роботи.

Автоматиката се развива много по-бързо, по-дълбоко и по-многостранно от редица други научни и инженерни области през същия период.

4. Основни концепти на автоматиката, с които тя оказва влияние върху други научни области

1. Обратна връзка

а. Отворени и затворени динамични системи.

б. Нелинейни системи, линеаризация по обратна връзка.

с. Рекурентни невронни мрежи.

2. Устойчивост
- Максуел.
- Ляпунов.
- Найквист.

3. Управляемост, наблюдаемост, достижимост.
4. Синтез на оптимални динамични системи.
5. Идентификация и оценка на параметри.
6. Неопределеност и робастност.
7. Математични модели
- Модели на базата на обикновени и частни диференциални уравнения.
- Дискретни модели – AR, MA, ARMA, ARIMA.
- Размити модели.
- Невронни модели.

8. Адаптивно управление
- MRAC.
- MIT-Rule.

9. Системи за управление с обучение.

5. Как основните концепти на автоматиката се използват в други научни и инженерни области

1. Всички основни концепти на автоматиката са оказвали и оказват съществено влияние върху изследванията в значителен брой научни области, които се занимават с процеси, тяхното моделиране, обработката на сигнали:

а. Изкуствен интелект.

б. Системен анализ, теория на системите.

в. Химико-технологични и металургични процеси, апарати и системи.
г. Енергийни системи.
д. Роботика.
е. Организационни системи и структури.
ж. Медицина (невронауки, науки за мозъка).
з. Когнитивни науки, психология.

2. Приложения в областта на изкуствения интелект

2.1. Невронни мрежи
- Оптимизация (обратно разпространение в многослойни невронни мрежи – НМ).
- Устойчивост (рекурентни НМ).
- Самонастройка (НМ на Кохонен).

2.2. Машинно обучение
- Идеята за обучение.
- Устойчивост на процеса на обучение.
- Итеративна оптимизация на параметри и структура.

2.3. Поощряващо обучение (Reinforcement Learning)
- Обучение с обратна връзка.
- Оптимизация на процеса на обучение и адаптация на степента на поощрението.
- Робастност на обучаващия процес.
- Безмоделно обучение.

2.4. Изграждане на автономни агенти и системи

2.5. Интегриране на отработени в автоматиката функционални блокове за:
– идентификация;
– оптимизация;
– филтрация;
– оценяване на параметри;
– търсене на екстремум в екстремални системи.

2.6. Използване на вградени (embedded) системи.

3. Приложения в други области

3.1. Управление на големи системи (комуникационни, организационни, социални)
- Управление на мрежи.
- Управление в мрежи.
- Управление на информационни процеси

3.2. Управление на процеси и устройства в медицината
- Изкуствен панкреас.
- Управление с импланти на заболявания на мозъка (епилепсия, болест на Паркинсон).
- Системи за намаляване на болката.

3.3. Приложения в роботиката
- Устойчивост.
- Трекинг (оптимална траектория).
- Оценка на състоянието.

3.4. Приложение в системи за обучение на хора
- Моделиране на индивидуалните особености на обучаемия.
- Оптимизация и адаптация на педагогически концепции, на управляващи въздействия, на методи за оценяване на хода на учебния процес.

6. Вътрешно развитие на автоматиката с използване на резултати от други научни области

1. Математика

а. Диференциални уравнения.
б. Теория на вероятностите и математична статистика.
в. Линейна алгебра.
г. Математическа логика.
д. Дискретна математика.

2. Изкуствен интелект (ИИ)

е. Управление на основата на поток от данни.
ж. Безмоделно управление и оптимизация.
з. Комбиниране на моделни и безмоделни методи (моделно предсказващо управление).
и. Адаптивно динамично програмиране на основата на поощряващо обучение.
к. Вземане на решение в сложни САУ.
л. Адаптивно робастно управление с използване на поток от данни.
м. Хибридни САУ с включване на функционални блокове от областта на ИИ (например метод на прецедентите – CBR).
н. Интелигентно управление
- На основата на правила.
- С използване на невронни мрежи.
- С прилагане на размита логика.

о. Оптимизация в сложни системи
- Използване на генетични алгоритми (GAs).
- Прилагане на методи, основаващи се на поведението на рояци (ACO).

3. Други науки

п. Информатика – езици за програмиране: R, Python, Java, C++.
р. Теория на системите.
с. Теория на решенията.
т. Изследване на операциите.
у. Бионауки, науки за мозъка, биоинформатика.

7. Защо автоматиката не се превръща в рутинна инженерна дисциплина

1. Автоматиката влияе силно върху общественото развитие. McKinsey World Institute привежда обобщените данни, показани в *табл. 1*.

Табл. 1

Фирми с ръст > 20% са автоматизирани	61%
Фирми с ръст ≈ 0 или на минус са автоматизирани	35%

2. Понастоящем ИИ има доминиращо влияние в редица области:

2.1. Обработка на сигнали (Image Processing, Big Data).

2.2. Разпознаване на образи (Pattern Recognition).
2.3. Процеси на естествен език (NLP).
2.4. Съветващи и диалогови системи (Recommendation Systems – Watson, Siri, Alexa).
2.5. Интелигентна роботика.
2.6. Безпилотни автомобили.

В повечето случаи обаче ИИ може да навлезе в реалната практика само чрез интегриране в съществуващите структури (реализирани или новоизграждащи се), където автоматиката е основно ядро, например в индустриалната автоматика (SCADA, DCS, MES, ERP).

3. Внедряването както на ИИ, така също и на автоматиката, е единен процес на разработка, вземане на решение, проектиране и експлоатация, към който основните играчи в инвестиционния процес имат различна преценка за важност (*табл. 2*).

Табл. 2

	Разработчици	Внедрители	Инвеститори
Изкуствен интелект	5	2	1
Автоматика	5	3	3

При внедряване инвеститорите имат посочения консервативен подход поради:

а. Висока собствена оценка на риска от провал.
б. Липса на достатъчно убедителни чужди примери за успешни внедрявания.
в. Надценяване на неуспеха на други фирми.
г. Възможност за бъдещо инкрементално въвеждане на новости.
д. Недостатъчна информираност и експертиза във фирмата.

4. Съвременната автоматика има две основни части – традиционна и иновативна, всяка от които продължава да се развива интензивно.

а) Традиционната част се развива в следните основни направления:

е. Нови теоретични методи.
ж. Автоматизация при поява на нови индустриални технологии.
з. Необходимост от нови решения с прилагане на нови сензори, изчислителни средства, организация на производството (MES, ERP).
и. Развитие на диагностиката, киберсигурността, екосъобразностт

б) Развитие на нови направления на автоматиката

к. Интегриране на елементи от системите за ИИ.
л. Нови области на приложение (био-, енергетика, космос, отбрана).

Според McKinsey 80% от анкетираните от тях фирми имат намерение да внедряват системи с ИИ, но в голяма част от тези системи има нерешени проблеми, които могат да се решат само чрез използване на методите на автоматиката.

Заключение

Автоматиката не се ограничава в ролята на традиционна инженерна дисциплина, защото:

1. Автоматиката има добър баланс между развитието на традиционната и развойната ѝ част, което гарантира сигурен пазар и липса на колебания във финансирането, както това се случи с ИИ три пъти за последния половин век.

2. Автоматиката има инвестиционни предимства поради консервативността на инвеститорите.

3. Автоматиката има значително собствено поле за развитие – както в областта на традиционната ѝ част, така също и в нейната част за иновации.

4. Естествен път за развитие на автоматиката е комбинирането ѝ с разработките и внедряването на ИИ поради взаимната обвързаност на двете области в теоретичен и бизнес план.

Литература

1. Russel, S and P. Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. USR Pearson, 2010.
2. Lewis, F., and D. Vrabie. Reinforcement Learning and Adaptive Dynamic Programming for Feedback Control. IEEE Circuits & Systems Magazine, Invited Feature Article, Third Quarter 2009, 32-50.
3. LeCun, Y., Y. Bengio, G. Hinton. Deep learning. – *Nature*, 521, 7553, 2015, 436–444.
4. Hassabis, D., D. Kumaran, C. Summerfield, M. Botvinick. Neuroscience-inspired Artificial Intelligence. – *Neuron*, 95, 2017, 2, 245–258.
5. Lamnabhi-Lagarrigue, F., A. Annaswamy, S. Engell, A. Isaksson, P. Khargonekar, T. Nijmeijer, D. Samad, P. Tilbury, Van den Hof. Systems & Control for the Future of Humanity, Research Agenda: Current and Future Roles, Impact and Grand Challenges. – *Annual Reviews in Control*, 43, 2017, 1–64.
6. Sutton, R. S. and A. G. Barto. Reinforcement Learning: An Introduction. MIT Press Cambridge, 1998.
7. Stoica, I. et al. A Berkeley View of Systems Challenges for AI Tech. Rep. 1712.05855v1.arXiv, 2017.
8. Mishra, N., C. Imes, H. Hofmann, J. Lafferty. Controlling AI Engines in Dynamic Environments. Conference'17, Washington, DC, USA, 2016.
9. Lavretsky, E and K. Wise. Robust Adaptive Control, London, Springer, 2013.
10. DiStefano, J. Dynamic Systems Biology Modeling and Simulation. London, Academic, 2013.

За контакти:
Акад. проф. д.т.н. **Минчо Хаджийски**
Химикотехнологичен и металургичен университет
ИИКТ – БАН
e-mail: hadjiski@uctm.edu