



Historický vývoj umělé inteligence v letectví: od prvních autopilotů k autonomním letounům



Obsah

1	Úvod	2
2	Počátky letecké automatizace	3
2.1	Mechanické stabilizační systémy	3
2.2	První autopilot Lawrence Sperry	3
2.3	Rozšiřování autopilotů a přechod k elektronice	3
3	Rozvoj výpočetních metod a AI v letectví (1950–1990)	4
3.1	Navigace a Kálmánův filtr	4
3.2	Expertní systémy a automatizovaná diagnostika	4
3.3	Integrace výpočetní techniky do avioniky	4
4	Moderní letecké systémy s AI	5
4.1	Digitální <i>fly-by-wire</i>	5
4.2	AI pro bezpečnost a údržbu	5
4.3	AI v řízení letového provozu a provozní efektivita	5
5	AI v bezpilotních a autonomních letounech	6
6	Budoucnost a směřování k autonomním dopravním letounům	7
7	Závěr	7

Abstrakt

Tato práce se zabývá historickým vývojem umělé inteligence (AI) v letectví, a to od prvních stabilizačních systémů a autopilotů v počátcích 20. století až po dnešní autonomní a vysoce inteligentní letouny. Prostřednictvím analýzy dostupných technických zpráv a odborných studií jsou popsány zásadní milníky – vznik autopilotů, vývoj filtrů pro navigaci, digitalizace řízení pomocí systémů *fly-by-wire*, moderní aplikace strojového učení i autonomie bezpilotních systémů. Cílem práce je ukázat, jak se z mechanických stabilizátorů postupně vyvinuly komplexní inteligentní systémy schopné samostatného letu. Text vychází výhradně z příložených dokumentů a nevyužívá žádné jiné zdroje.

1 Úvod

Umělá inteligence zásadně mění podobu leteckého provozu a řízení letů. V moderních systémech se stává jádrem navigace, bezpečnosti, diagnostiky i autonomního řízení.[5, 6] Historické kořeny této transformace však sahají až do počátků autopilotů, které vznikly s cílem snížit zátěž pilotů během dlouhých letů.[3]

Cílem této práce je představit hlavní technologické a koncepční milníky, které vedly k dnešním autonomním letounům. Text je strukturován chronologicky: od prvních autopilotů, přes rozvoj výpočetních metod a *fly-by-wire* systémů až po aplikace strojového učení a autonomní bezpilotní prostředky. Všechny informace jsou čerpány pouze z poskytnutých souborů.

2 Počátky letecké automatizace

2.1 Mechanické stabilizační systémy

V prvních desetiletích 20. století vznikaly první stabilizační mechanismy, jejichž účelem bylo udržet letadlo ve stabilním letu bez potřeby neustálého zásahu pilota. Šlo o první krok směrem k automatizaci letu, který umožnil rozvoj delších a náročnějších letů.[3]

2.2 První autopilot Lawrence Sperry

Historické materiály uvádějí, že první letadlový autopilot byl vyvinut firmou Sperry Corporation v roce 1912.[3] Zařízení propojovalo gyroskopický ukazatel směru a umělý horizont s hydraulicky ovládanými řídicími plochami (výškovkou a směrovkou). Díky tomu byl letoun schopen udržovat přímý a vodorovný let bez neustálé manuální kontroly pilota, což výrazně snížilo jeho pracovní zátěž.

V roce 1914 Lawrence Sperry autopilot veřejně předvedl na soutěži v Paříži. Během ukázky letěl s rukama zřetelně mimo řízení, čímž demonstroval, že systém dokáže stabilizovat letadlo samostatně.[3] Tento experiment přilákal pozornost vojenských i civilních institucí a potvrdil životaschopnost koncepce automatizovaného řízení letu.

2.3 Rozšiřování autopilotů a přechod k elektronice

V následujících desetiletích byl autopilot dále zdokonalován. Vylepšovaly se servomechanismy i řídicí algoritmy, přidávala se radionavigační zařízení, což umožnilo bezpečný let za zhoršené viditelnosti a v noci.[3] V roce 1947 uskutečnilo americké letectvo transatlantický let, který proběhl včetně vzletu a přistání kompletně pod kontrolou autopilota.[3]

Současně začalo docházet k postupnému přechodu od čistě mechanických a analogových systémů k elektronice a výpočetní technice. Tím se otevřela cesta pro sofistikovanější metody řízení a zpracování dat, které později umožnily vznik systémů blízkých dnešní umělé inteligenci.[4]

3 Rozvoj výpočetních metod a AI v letectví (1950–1990)

3.1 Navigace a Kálmánův filtr

Významným milníkem v historii automatizace letectví bylo zavedení Kálmánova filtru, který umožňuje optimální odhad stavu dynamického systému na základě šumových měření.[2] Původně byl vyvinut pro řešení navigačních problémů v kosmickém programu, kde bylo nutné přesně odhadovat trajektorie kosmických lodí v reálném čase.[2]

Kálmánův filtr byl aplikován například v projektu Apollo, kde sloužil k odhadu polohy a rychlosti kosmických lodí pomocí dat z inerciálních měřicích jednotek a dalších senzorů.[2] Tato technologie se následně přenesla do letectví a stala se základem pokročilých navigačních a řídicích systémů, které kombinují data z více zdrojů a poskytují pilotům i automatickým systémům velmi přesné informace o stavu letadla.

3.2 Expertní systémy a automatizovaná diagnostika

V 70. a 80. letech se začaly objevovat expertní systémy, které byly založeny na pravidlech a rozhodovacích schématech. V letectví se využívaly zejména pro diagnostiku závad a řízení motorových jednotek.[4] Tyto systémy představovaly přechod od čistě mechanického či analogového řízení k řízení založenému na počítačovém zpracování informací.

Dokumenty popisují využití těchto metod například při vyhodnocování provozních parametrů motorů a dalších subsystémů letadla.[4] Na základě dat z čidel dokázaly systémy identifikovat odchylky od normálního stavu a upozornit údržbu nebo posádku na možné problémy.

3.3 Integrace výpočetní techniky do avioniky

V uvedeném období začala letadla kombinovat elektroniku, výkonné řídicí počítače a automatizované regulátory.[4] To umožnilo nejen přesnější řízení letounu, ale i analýzu jeho chování v reálném čase. Zkušenosti získané v této době připravily půdu pro další krok – digitalizaci samotného řízení letadla pomocí systémů *fly-by-wire*.

4 Moderní letecké systémy s AI

4.1 Digitální *fly-by-wire*

Technická zpráva NASA popisuje program vývoje digitálního systému *fly-by-wire* (DFBW), který byl realizován na letounu F-8C.[1] V první fázi byl do letounu instalován jednokanálový digitální řídicí systém, využívající hardware a software z programu Apollo. Všechny mechanické vazby mezi pilotem a řídicími plochami byly odstraněny a řízení probíhalo výhradně elektronicky, bez mechanické zálohy.[1]

Cílem tohoto programu bylo ověřit, zda je možné použít digitální systém jako primární prostředek řízení letounu. Letové zkoušky potvrdily, že digitální *fly-by-wire* dokáže zajistit spolehlivé řízení ve všech třech osách a zároveň přináší řadu výhod: možnost implementace pokročilých stabilizačních algoritmů, redukci hmotnosti a přípravu platformy pro aktivní řízení letu.[1]

Ve druhé fázi byl systém rozšířen na triplexní konfiguraci s redundancí a správou poruch, čímž se stal prototypem budoucích operačních digitálních *fly-by-wire* systémů.[1] Tato technologie vytvořila základ pro moderní dopravní a bojové letouny, u nichž je elektronické řízení standardem.

4.2 AI pro bezpečnost a údržbu

Moderní studie zaměřené na bezpečnost leteckého provozu zdůrazňují, že AI hraje klíčovou roli při předcházení poruchám a nehodám.[5, 6] Pomocí strojového učení jsou analyzována velká množství dat z palubních systémů, letových záznamníků a údržby. Na základě těchto dat lze odhalit vzorce vedoucí k poruchám a provádět údržbu prediktivním způsobem.

Práce věnované využití AI v údržbě popisují například analýzu senzorových dat z motorů a dalších kritických komponent.[5, 6] Cílem je identifikovat drobné odchylky v chování ještě předtím, než přerostou v závažnou závadu. Tím se zvyšuje bezpečnost letu a snižuje pravděpodobnost selhání během kritických fází, jako je vzlet a přistání.

4.3 AI v řízení letového provozu a provozní efektivita

Systematické přehledy ukazují, že AI se uplatňuje i v řízení letového provozu, například při predikci trajektorií, řízení toků letadel a optimalizaci využití vzdušného prostoru.[5, 7] Algoritmy strojového učení a hlubokého učení pomáhají zlepšovat odhady času příletu, předpovídat zpoždění a optimalizovat trasy s ohledem na bezpečnost i efektivitu.

Současně jsou vyvíjeny systémy, které využívají AI k detekci anomálií v provozních datech a k identifikaci potenciálně rizikových situací, například v oblasti turbulence, počasí nebo

nestandardního chování letadel.[5]

5 AI v bezpilotních a autonomních letounech

V této části je vývoj AI v oblasti bezpilotních letounů a autonomních systémů shrnut formou přehledné tabulky.

Tabulka 1: Přehled použití AI v bezpilotních a autonomních letounech.[8, 9]

Oblast	Používané metody AI	Typické aplikace
Autonomní navigace jednotlivých UAV	Strojové učení, plánování trajektorií, algoritmy pro odhad stavu a vyhýbání překážkám	Samostatný let bezpilotních letounů v prostředí s překážkami, vyhýbání terénním překážkám a objektům v okolí letu.[8]
Rojové řízení (UAV swarms)	Biologicky inspirované metaheuristiky, metoda více agentů, moderní AI (např. hluboké učení, posilované učení)	Koordinované průzkumné a pátrací mise, mapování, synchronizovaný let více UAV s ohledem na kolizní prevenci a efektivní pokrytí prostoru.[8]
Optimalizace trajektorií a úloh	Tradiční algoritmy (Dijkstra, A*), bio-inspirované algoritmy (PSO, ACO, GA) a AI založená na učení v kontextu problému více obchodních cestujících (MTSP)	Rozdělení úkolů mezi více bezpilotních prostředků, minimalizace celkové doby mise a energie, plánování tras při sledování více cílů.[8]
Bezpečnost a vyhýbání kolizím	Algoritmy detekce konfliktů, rozhodovací logika založená na lokálních stavech a komunikaci mezi UAV	Zajištění minimálních rozestupů v roji, vyhýbání se vzájemným kolizím i kolizím s překážkami v prostředí během letu.[8, 9]
Aplikace v civilním a vojenském sektoru	Integrace výše uvedených metod do kompletních systémů řízení misí	Záchrané operace, dohled a průzkum, logistika, zemědělské monitorování a další úlohy využívající autonomní UAV.[8, 9]

AI v oblasti bezpilotních prostředků zahrnuje jak tradiční optimalizační algoritmy, tak biologicky inspirované metody a moderní strojové učení. Tyto přístupy umožňují plánování trajektorií, koordinaci rojů, vyhýbání se kolizím i efektivní plnění misí v reálných podmínkách.

6 Budoucnost a směřování k autonomním dopravním letounům

Studie věnované AI v letecké bezpečnosti a provozu zdůrazňují, že další vývoj směřuje k vyšší míře autonomie i u velkých dopravních letadel.[5, 7] AI se uplatňuje nejen na palubě, ale i v komplexních systémech řízení letového provozu.

Práce zaměřené na bezpečnost uvádějí několik klíčových výzev: bezpečnost a spolehlivost autonomních systémů, etické otázky spojené s rozhodováním AI, certifikace a rozdělení odpovědnosti mezi člověka a stroj.[5] Přesto je trend zřejmý – více automatizace, vyšší podíl strojového rozhodování a role člověka postupně přecházející od přímého řízení k dohledovým a rozhodovacím funkcím.

7 Závěr

Vývoj umělé inteligence v letectví je dlouhodobým procesem, který začínal u mechanických stabilizátorů a jednoduchých autopilotů.[3] S příchodem výpočetní techniky, Kálmánova filtru, expertních systémů a digitálních *fly-by-wire* systémů se automatizace postupně stávala stále sofistikovanější.[2, 1, 4]

Moderní AI dnes umožňuje prediktivní údržbu, inteligentní řízení letu, analýzu provozních dat, plánování trajektorií i koordinaci rojů bezpilotních prostředků.[5, 6, 8, 9] Bepilotní a autonomní systémy dokazují, že technologie schopná samostatného letu je již realitou, a výzkumné projekty naznačují, že podobná míra autonomie se postupně rozšíří i do oblasti dopravního letectví.[7]

Budoucnost letectví tak bude stále více autonomní. Zůstává však nutné řešit otázky související s bezpečností, certifikací a etickými aspekty využívání AI v kritických systémech. Historický vývoj ukazuje, že každá nová generace technologií přináší nejen vyšší efektivitu a bezpečnost, ale i nové požadavky na zodpovědné nasazení a regulaci.

Reference

- [1] Calvin R. Jarvis. *An Overview of NASA's Digital Fly-By-Wire Technology Development Program*. NASA Flight Research Center, dokument 19750010174.pdf.
- [2] Mohinder S. Grewal, Angus P. Andrews. *Applications of Kalman Filtering in Aerospace: 1960 to the Present*. IEEE Control Systems Magazine, dokument Applications_of_Kalman_Filtering_in_Aero.pdf.
- [3] Gangadhar B. Kallur. *History of Autopilot*. Dokument HISTORY_OF_AUTOPILOT.doc.
- [4] Waqas Ahmed. *Artificial Intelligence in Aviation: A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications for Enhanced Safety and Security*. Premier Journal of Artificial Intelligence, dokument pjai-25-725.pdf.
- [5] Gülay Demir, Sarbast Moslem, Szabolcs Duleba. *Artificial Intelligence in Aviation Safety: Systematic Review and Biometric Analysis*. International Journal of Computational Intelligence Systems, dokument s44196-024-00671-w.pdf.
- [6] Waqas Ahmed. *Artificial Intelligence in Aviation: A Review of Machine Learning and Deep Learning Applications for Enhanced Safety and Security*. Premier Journal of Artificial Intelligence, dokument 1-s2.0-S2590123024019856-main.pdf.
- [7] Anon. Článek o aplikacích umělé inteligence v leteckém provozu. Dokument 1-s2.0-S0263224125023528-main.pdf.
- [8] Kaleem Arshid et al. *Toward Autonomous UAV Swarm Navigation: A Review of Trajectory Design Paradigms*. Sensors, dokument sensors-25-05877-v3.pdf.
- [9] Týž soubor sensors-25-05877-v3.pdf využitý pro další detailní informace o trajektoriích a rojovém řízení.