

tě, a to nejen nyní, ale především v budoucnu. To vytváří širokou oblast práce prognostiků, neboť jde o jednu ze základních otázek, na niž by měla československá vojenská strategie s dostatečným předstihem na základě prognóz reagovat.



Článek nemohl v žádném případě obsáhnout celou hloubku problematiky vojenské prognostiky ve vztahu k potřebám strategie. Zabývá se jen hlavními obsahovými stránkami, které by měla vojenská prognostika ve prospěch strategie neprodleně řešit. Hlavní smysl spatřuji v tom, aby tvůrci naší vojenské strategie kladli požadavky na prognostiky, aby prognostici nabídli výsledky své práce v dané oblasti orgánům strategického řízení. Jde tedy jen o určité náměty, které vyžadují další propracování příslušnými odborníky, či kolektivy.

Plukovník Ing. Karel Lukáš, CSc.

MODERNÍ TECHNIKY MODELOVÁNÍ - SIMULACE

Počítačové modelování je jednou z deduktivně experimentálních metod poznání. Poskytuje účinné nástroje k hlediskovému, účelovému a cílenému poznání složitých systémů. V případech, kdy modelovaným objektem (originálem) je dynamický systém a kdy mezi uplatněnými nástroji je rozvinut takový, že zobrazuje čas jako nezávisle proměnnou, mluvíme o simulaci. Článek se bude dále zabývat pouze **simulací**, či přesněji **diskrétní simulací**. Dnes je to rozhodně nejrozšířenější část počítačového modelování. K zobrazení reality využívá všech vyjadřovacích prostředků číselných počítačů. Popis dějů soustřeďuje do diskretních elementárních událostí. Je schopna vytvářet modely, ve kterých míra abstrakce (těsnost zobrazení reality v modelu) je určena konkrétním hlediskem, účelem daného modelu. Model se pak nemusí příliš vzdalovat od reality a je schopen se vyjadřovat pomocí prostředků, které jsou blízké běžné užívanému vyjadřování v prostředí, ze kterého pochází originál.

Teoretikové a praktici diskrétní simulace se trvale snaží uplatnit na svém poli techniky a nástroje, které byly rozvinuty v jiných oblastech využití počítačů. V posledních letech to jsou zejména poznatky z oblasti umělé inteligence. Jejich úsilí přineslo modelování "nový dech" a mění způsoby myšlení v simulaci. V současnosti se v ní uplatňují nové pohledy na zobrazování znalostí, počítačová grafika, automatizace výstupních rozběrů (pozoruhodných výsledků dosahuje RAND Corporation v současném projektu Knowledge - Based Simulation - KB Sim). Uplatněním těchto technik se modely stávají "průhlednější", pochopitelnější, a to jak pro konstruktéra, tak pro uživatele. Snadněji se udržují a přizpůsobují novým potřebám. Výsledky jednotlivých experimentů, či experimentálních studií jsou názorně vyjádřeny ve formách blízkých uživateli. Obohacováním i o techniky vyvinuté pro expertní systémy

(subdisciplína umělé inteligence), jsou schopny nejen předložit nová exaktní data, která prohlubují poznání o originálu, ale i usnadnit rozhodování "náповědou" a předložením variant řešení. To jsou rozhodující důvody, proč stále roste obliba diskrétních simulačních modelů.

Modely ve vojenství

Použití diskrétních simulačních modelů ve vojenství se stalo takřka již tradicí. K tomu přispěla jeho dvě specifika:

- značně omezená, často vyloučená, možnost přímého experimentování,
- velká dynamičnost a složitost jeho systémů a procesů.

Ve vojenství jsou zpravidla rozlišovány tři oblasti použití modelů. Každá z nich má svůj charakter a vlastní míru určitých požadavků na modely. Z nich pak jsou odvozeny i nutné vlastnosti technik a nástrojů, použitých pro výstavbu a využití modelu.

Prvou oblast tvoří rozbor. Jsou využívány tzv. analytické modely, někdy nevýstižně nazývané "strategické modely". Experimentování s nimi napomáhá při rozhodování ve velice závažných, často jedinečných otázkách např. rozdělování zdrojů věnovaných na obranu, definování doktríny, aplikace jejich částí, vývoj řídicích a organizačních struktur, stanovení požadavků na uvažované zbraňové systémy, jejich vlastní vývoj, vývoj taktiky, změny jejich částí. Modely této oblasti zpravidla mají okruh uživatelů omezený na jednotlivce - analytika a jsou často využívány jednorázově. Tyto modely bezpochyby musí být validní. Jejich platnost však ve většině případů nemůže být pro nedostatek odpovídajících historických vzorů exaktně prokázána souborem validizačních experimentů. Právoplatnosti se zpravidla dosahuje vysokou průhledností modelu, např. metodou BL+TL+DL (build a little, test a little, deliver a little). Byla úspěšně užita např. při vývoji STRADS (Strategic Automatic Discovery System - simulační systém, který analyzuje vojenskopolitické situace ve světě, generuje možné scénáře jejího vývoje). Metoda předpokládá vývoj a ověřování modelu po částech za účasti budoucích uživatelů. Ti jej po částech ověřují a připomínají. Vidí do něho po celou dobu vývoje. Model postupně získává jejich důvěru, stává se validním. Vždyť otázka validity modelu je také otázkou důvěry v pravdivost jeho výpovědi.

Druhou oblastí použití modelů ve vojenství je výcvik. Pro tuto oblast jsou konstruovány tzv. výcvikové modely (hry, válečné hry, simulátory apod.). Jsou využívány k procvičování rychlé orientace, přesné reakce, samostatnosti v rozhodování apod. Po těchto modelech se obvykle žádá, aby byly srozumitelné pro vyučujícího. Jestliže se podílí na jejich vývoji, získává k nim vztah, obdobný vztahu analytika v první oblasti. Požadavek na jejich validitu není tak přísný. Vyučující má totiž možnost výkladu a komentování jejich výsledků. Na druhé straně mu však musí dovolovat častá přerušování experimentu s přísnými zásadami jak do vlastního modelu, tak do datové části. Vyučující tak, podle potřeby výuky, může navazovat různé situace a rozehrávat varianty. Aby model co nejvíce zintenzívněl výcvik, je u něho vyžadována poměrně rychlá reakce. Cvičeným by měl poskytovat názorné a praxi co nejbližší výstupy. Od nich vyžadovat vstupy (odpovědi, reakce, řešení) ve formách obvyklých v praxi. Tedy oboustranně příslušné grafické, akustické, či optické dokumenty, povely, signály nebo jiné reakční úkony.

Třetí oblast použití modelů ve vojenství je velení v boji, řízení boje, nepřesné modelování boje, či bojové činnosti aj. Po modelu se zpravidla žádá, aby veliteli (pracovníkovi jeho štábu) v co nejkratším čase:

- nabídl možná řešení dané bojové situace (úkolů),
- napomohl při volbě nejvýhodnější možnosti řešení.

Nároky na validitu modelu jsou v této oblasti velmi vysoké. Musí být prokázána před zavedením modelu do praxe, kde se zpravidla předpokládá jeho hromadné užití. Validizace modelu je zde obtížnou (možná nejnáročnější) etapou konstrukce modelu. Pečlivě by se měla stanovit oblast validity modelu. Je vhodné model vybavit zábrannými, které nepřipustí jeho

použití mimo tuto oblast. K validizaci modelu je možné přistupovat klasickou metodou simulace - uskutečněním souborů validizačních studií. Při nich jsou výsledky validizačních studií porovnávány (pokud je to vůbec možné) s praxí (průběhy vojenských událostí kdekoli ve světě, cvičení s vojsky), nebo alespoň hodnoceny sborem nezávislých expertů. I s takto prokázanou validitou by však model měl usilovat o zvýšení uživatelské důvěry. (Je pro něho nástrojem, nezbavuje jej odpovědnosti.) K tomu by model měl být vybaven pomocnými nástroji, jimiž na požádání ozřejmí své chování, např. zdokumentuje příčinnou souvislost řetězců událostí, zpřístupní alternativní předpoklady uplatněné v experimentech apod.

Je zřejmé, že rozdělením modelů do výše uvedených tří skupin se dopouštíme zjednodušení. Ve vojenství jsou a budou modely, které přesahují možnosti tohoto rozdělení. Cílem třídění však je ozřejmit, že jsou různé důvody a účely pro použití modelů. Účelu použití konkrétního modelu musí odpovídat i pořadí často protichůdných požadavků. Upřednostňováním, či zdůrazňováním některých požadavků zákonitě potlačujeme jiné. Ke konstrukci modelů pak nelze přistupovat šablonovitě a žádat uniformitu v jejich stavbě, ale ani v použitých technikách, či v uplatněných nástrojích.

Moderní techniky simulace

Objektově orientované programování (OOP) je moderní, progresivní technika, která je dnes bohatě používána v simulaci a umělé inteligenci. Začíná však pronikat i do ostatních oblastí využití počítačů. Modeláři evropské školy, kteří používají Simulu 67, či její následovníky (Lund Simulu, Simulu Standard, GPSS Prague, PC Simulu aj.), využívají předností OOP, díky Dahlvi, Nygaardovi aj. již více než dvacet let. (Pojem OOP je dnes ujednocen, v dřívějších pracích nazýván různě, např. Kindler: problémově orientované programování, Lukáš: předmětně zaměřené programování.)

Základním pojmem v OOP je třída - class, (vzor, rámec).

(Dosavadní doménou OOP jsou oblasti simulace a umělé inteligence. Mezi nimi nejsou pojmy sjednoceny, a zřejmě ani nebudou. Pojmy obou oblastí totiž odpovídají cílům a předmětu zájmu každé z nich. Uvádím oboje. Nejprve pojem ze simulace, jako druhý či třetí ekvivalent z umělé inteligence označen v závorce*.) Do jedné nějak nazvané třídy zahrnuje předměty, jejichž vzájemná podobnost je dána stejnými druhy vlastností. Např. každý exemplář z třídy "pluk" má:

- a) označení, nějaký počet jednotek, hlavní, přidělených prostředků, ale i nějakou kvalitu (stupeň) bojeschopnosti, morálního stavu apod.,
- b) má však také nadřízeného, sousedy, protivníka apod.,
- c) je schopen uskutečňovat nějaké činnosti jako bránit úsek, přesouvat se, útočit apod.

Všechny tyto druhy vlastností jsou nazývány atributy (znalostmi*). Atribut, kterým je popsána schopnost nějaké činnosti u c), je nazýván operátor (pravidlo, vztah*). Odkaz (pointer) je v simulaci název pro atribut obsahující informace o nějakém vztahu ke konkrétnímu předmětu též, či jiné třídy u b). Ostatní atributy u a) jsou nazývány standardními. V oblasti umělé inteligence nejsou poslední dva druhy "znalostí" rozlišovány a jsou zahrnuty pod pojmem veličina. Důležitým pojmem OOP je podtřída (subclass) (podrámec, druh*). Ten automaticky přebírá všechny atributy své třídy a navíc má definovány své další - specifické. Uplatňuje se zde princip dědičnosti, či vztah rod - druh. (Např. třída pluk, podtřída msp, nebo podtřída tp.)

Jakmile do simulačního modelu (model znalostí, báze znalostí*) vstoupí konkrétní předmět nějaké třídy (např. 10. msp), vzniká entita (objekt*), která je v modelu představována jedinečnou datovou strukturou. Tato struktura obsahuje vyhrazená místa (sloty) určená pro okamžité hodnoty standardních atributů a odkazů (veličina, znak*). Mluvíme o lokálně uložených datech. Od vstupu do modelu je tato entita rovněž schopna samostatně uvést do činnosti

operátory své třídy. Podílet se na dějích v modelu - uskutečňovat interakce (přijímat/předávat zprávy*) s ostatními entitami v modelu.

Jaké jsou tedy přínosy OOP pro simulaci?

- Rozdělením popisů dějů do tříd zjednodušuje definování modelu. Umožňuje jeho výstavbu po logických částech. Zvyšuje jeho průhlednost a usnadňuje jeho ověřování. Snižuje rovněž nebezpečí kolizí mezi částmi tak rozsáhlého programového díla (jakým model je), a tak zvyšuje jeho bezpečnost a spolehlivost.

- Uplatněním dědičnosti usnadňuje tvorbu nižších (specializovaných) pojmů. Jejich tvůrce se nemusí zabývat atributy, které byly definovány pro vyšší třídy. Mohou se vytvářet knihovny pojmů pro celé oblasti reálného světa. Tak též usnadňuje paralelní práci v týmu.

- Místně uložená data, která charakterizují okamžitý stav každé z entit, usnadňují monitorování procesů, která probíhají v modelu během experimentu.

- Jako podtřídu však lze chápat i celý model. Vyšší třída je pak prostřednictvím, v němž je model (např. simulovským prefixem) zasazen. Tím lze dosáhnout změny v pohledu na model, či alespoň využití nástrojů poskytnutých tímto prostředím. Např. využití simulovské třídy "proces" modelář využije kvaziparalelního řízení simulárního času. Nemusí se vůbec zabývat obtížným plánováním a uskutečněním sledu událostí.

- OOP vytváří velkou styčnou plochu mezi simulací a umělou inteligencí. Tak mohou modeláři snadněji využít technik umělé inteligence jako velmi kvalitních doplňků modelů.

Počítačová grafika prodělala v minulých deseti až patnácti letech velký rozvoj. Hybnými silami tohoto rozvoje bylo jak úsilí pracovníků oblasti umělé inteligence, tak snaha automatizovat konstrukční práce v průmyslu, zejména však komerční úspěch hracích automatů.

Pro simulaci představuje počítačová grafika velmi významný nástroj, který umocňuje možnosti OOP. Vizuální reprezentace (např. obraz, okno, menu) může být spojena nejen s modelem (zobrazovat jeho chování průběh a výsledky experimentu), či jeho částí, ale i s jednotlivými třídami a dokonce s jednotlivými entitami. S využitím perspektivy je schopna prostorového zobrazení. Bohatá škála barev a jejich odstínů může zvýšit nejen názornost zobrazení, ale (je-li vhodně využita) může zvýšit i jejich informační hodnotu. Neodmyslitelnou vlastností počítačové grafiky je dnes animace. S její pomocí je schopna takřka v přirozeném tvaru vyjádřit děje, sledy událostí a zejména jejich kauzální řetězce. Počítačová grafika však vedle pronikavého zvýšení názornosti poskytl i tzv. vizuální programování. Při něm lze otevřít k oboustranné komunikaci jakýkoli objekt (třidu, entitu, program, jeho část), a to prostým umístěním kurzoru na jeho vizuální reprezentaci. Objekt může sdělovat svůj stav, obsah, nabídku možností. Do něho lze vyslat změny, nové konstrukce, volby. Způsob této interakce usnadňuje konstrukci i využití modelu, a to do takové míry, že zde dochází k pronikavým změnám.

Při konstrukci modelu odpadá odstraňování sémantických chyb z napsaného programu (tzv. debugging). Vizuální programováním proniknutí těchto chyb do programu prostě nepřipustí. Vysoká názornost třídy, jejích atributů, a to jak pointerů, tak zvláště operátorů, umožňuje jejich rychlé pochopení již v etapě jejich uskutečňování. Velmi sblíží vyjadřování modeláře a analytika. Analytik snadněji proniká do konkrétních částí modelu, má možnost více a častěji spolupracovat s modelářem. Ten jej rychleji chápe. Důsledkem je snížení časových nároků na programování a zvláště na verifikaci modelu. (Verifikací je zde rozuměno ověření vztahu mezi "myšleným modelem" a jeho programovou realizací. Tedy, jak se modeláři podařilo programovými prostředky vyjádřit systém, který na modelovaném objektu definoval analytik.) Analytik snadněji zpřesňuje svoji představu o modelu a odhaluje nové souvislosti. Tím se vytváří předpoklady pro zkrácení etapy validizace modelu. Celkovým výsledkem pak je

v řádech se pohybující zkrácení doby výstavby modelu. N. R. Nielsen (člen Society for Computer Simulation) mluví o rychlé výstavbě modelů.

Neméně významně se počítačová grafika promítla i do využívání modelu. V této souvislosti je vhodné zmínit se zejména o dvou přínosech. Prvým je již dříve vzpomenuť interakce s modelem. Ta se stala natolik jednoduchou, že omezila nároky na znalosti a vycvičenost uživatele v programování na minimum. Při vkládání hodnot standardních atributů a pointerů, jakož i zadávání příkazů pro experimenty a požadavků na způsob analýzy jejich výsledků, poskytuje pomoc v podobě menu a nápovědy. Druhým přínosem je grafická editace, či grafika na výstupu. Výsledky jednotlivých experimentů, nebo celých experimentálních studií mohou být interpretovány ve velmi bohaté škále, a to od jednoduchých sloupcových grafů až po barevnou trojrozměrnou animaci. Je velmi důležité nalézt v tomto rozsahu takový výrazový prostředek, který by se co nejvíce přiblížil v dané oblasti obvyklým prostředkům, vyjadřování. Zejména však napomohl rozboru experimentálních dat a odvozování závěrů důležitých pro uživatele.

J. Rothenberg (pracovník RAND Corporation) upozorňuje na nebezpečí honby za "módními příznaky" grafiky. Kdy ve snaze vyjádřit "realitu" se výtvořů grafiky mohou stát samoúčelnými. Navrhuje "strategii vyžádaného zobrazení". Nechat tedy na uživateli modelu, aby sám rozhodl (avšak z již omezené škály), jakým způsobem, kdy, které údaje zobrazit.

Zobrazování lidského myšlení, postupů při **usuzování v simulaci** využití výpočetní techniky je předmětem zájmu umělé inteligence.

V jejím úsilí lze rozeznat tři cíle:

- lépe porozumět, či odhalit zákonitosti myšlení (modely myšlení),
- konstruovat systémy, které by rozmnožily inteligenci člověka řešícího obtížnou kritickou situaci o nezávislou inteligentní podporu (expertní systémy),
- konstruovat systémy, které by nahradily inteligentního člověka v situacích, jež pro něho představují neúměrné riziko (robotika).

Simulace využívá zejména výsledků, dosažených při naplňování prvních dvou cílů.

Výsledků z naplňování prvního cíle využívá při konstrukci takových modelů, kde neopominutelnou částí originálů je člověk. Pak se v simulaci mluví o člověku ve smyčce (Nielsen). Tyto případy v modelech pro vojenství rozhodně převažují. Simulace dosud tento problém řešila pomocí stochastiky. Nedeterminovatelnost chování člověka se zobrazovala programovatelnými generátory náhodných čísel. To však má záporný důsledek, který se projevuje v období využívání modelu. U stochastických modelů (oproti deterministickým) se mnohonásobně prodlužuje čas nutný na uskutečnění a hodnocení experimentů. Pomocí technik umělé inteligence a OOP je možné zobrazit člověka (lidi) v modelu jako samostatnou třídu (lépe rámec), který má jisté znalosti, schopnosti, vycvičenost apod. Ty jsou vyjádřitelné pomocí znalostí jako pravidel. Pravdou je, že toto pojetí "pouze" sníží nedeterminovatelnost "lidského" chování v modelu. Snížení však může být tak pronikavé, že výpověď jednoho experimentu, či neobsáhlé experimentální studie, lze již považovat za reprezentativní. (Jako úspěšnou ukázkou lze opět uvést STRADS. V něm jako "herci" vystupují státy, ozbrojené síly států, hnutí, významní jednotlivci - politici, vůdci aj. Všichni jsou charakterizováni bohatým rozsahem znalostí.)

Výsledků dosažených v umělé inteligenci (UI) při naplňování druhého cíle se v simulaci využívá při tvorbě relativně samostatných doplňků simulačních modelů (UI doplněk). Může to být např. účelový expertní systém připojený před, či za model. Je-li připojen před model, pak uživateli napomáhá při prvotních úvahách o možných řešeních. Např. u modelů pro řízení boje nabídkou možných řešení daného bojového úkolu za dané bojové situace. Dále mu může napomáhat při výběru vstupních údajů pro jednotlivé experimenty. Je-li takovýto UI doplněk připojen na vstup modelu, organizuje monitorování experimentů, účinně napomáhá při hodnocení a interpretaci jejich výsledků. Měl by být rovněž schopen volit vstupní data pro následující pokus na základě dřívějších závěrů z předchozího experimentování. Je sice pravda,

že obdobné nástroje simulace měla k mání již dříve (např. Weinbergerovu simulovskou třídu Paraoptim). Ty byly založeny na optimalizaci a zpravidla užívaly metody nejvyššího stoupání. Odtud však vycházela jejich poměrně úzká využitelnost a někdy i chybovost, pramenící z neschopnosti rozeznat místní extrém. Vhodné UI doplňky na výstupu modelu tyto neduhy odstraňují. Kromě toho mohou obsahovat i zpětné zábrany pro použití modelu mimo oblast jeho validity.

S tematikou usuzování v simulaci těsně souvisí velice závažná otázka, kterou je vnořený model. OOP poskytuje elegantní nástroj pro použití této techniky. Modeláři (i zadavatelé) vedeni snahou co "nejpřesnějšího" vyjádření reality této techniky s oblibou užívají. Někdy bohužel i v případech, kdy to cílům modelování neprospívá. Vnořením modelu zobrazujícího nižší hierarchickou úroveň modelované reality do modelu vyšší hierarchické úrovně lze dosáhnout vyšší rozlišovací schopnosti. Je to však mnohdy za cenu snížené průhlednosti modelu a zpravidla se platí i dalšími nedostatky. Z nich je nejnebezpečnější snížení věrohodnosti modelu. Vypovídací schopnost soustavy vnořených modelů je limitována "nejslabším článkem". Ten se při různých druzích experimentů může přesouvat z modelu do modelu. V této souvislosti je dobré si uvědomit, že vypovídací schopnost modelu nezávisí ani tak na podrobnosti zobrazení reality, jako na vystižení podstaty a kauzality rozhodujících dějů. Které děje jsou rozhodující, závisí na tom, ze kterého hlediska a jaké otázky budeme modelu klást. Rothenberg mluví dokonce o vytvoření "modelu zájmu". Všeobecně je uznáváno, že vnořený model bude přínosem, jsou-li oba modely určeny pro tentýž hierarchický stupeň řízení a jsou určeny k odpovědím na soubor vzájemně se zpřesňujících otázek.



Diskrétní simulace tím, že absorbovala nástroje a techniky vyvinuté v ostatních oblastech využití počítačů, se stala velmi produktivním a dále rozvíjeným vědním oborem. V současnosti je rozhodně nejpoužívanější technikou modelování složitých dynamických systémů.

Jestliže chceme účinně využívat diskrétní simulační modely (a zřejmě to platí i pro jiné druhy modelů), neměli bychom prvotní úvahy zahajovat otázkou, co a jak modelovat. Pořadí otázek by mělo být **pro koho, na jaké otázky model čeho bude odpovídat**.

Čtenářům, kteří se o problematiku článku chtějí hlouběji zajímat, doporučuji následující literaturu (ze které jsem při psaní tohoto článku rovněž čerpal).

Literatura:

- Dahl, O. J. a kol.: Simula 67 - Common Base Language. Norwegien Computing Center, Oslo 1968.
- Kindler, E.: Simulační programovací jazyky. SNTL, Praha 1982.
Kindler, E.: Jazykové prostředky počítačové simulace. Mechanizace a automatizace č. 8, 9/1982.
- Lukáš, K.: Modelování základních funkcí systému výpočetní techniky pro řízení RVD. VA Brno, KDP-A-212, 1985.
- Lukáš, K.: Modelování jako metoda optimalizace automatizačních prostředků práce štábu. Vojenská mysl č. 5/1986.
- Nielsen, N. R.: Application of Artificial Intelligence Techniques of Simulation, Advances in Simulation No 4. Springer-Verlag, New York 1991.
- Rothenberg, J.: Knowledge - Based Simulation at the RAND Corporation, Advances in Simulation No 4. Springer-Verlag, New York 1991.
- Šplichal, J. a kol.: Metodická příručka pro sestavování rozsáhlých simulačních modelů. Inorga, Praha 1984.