

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Ing. Libor Spěvák

**NOVÉ PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ RIZIK
V SOFTWAREVÝCH PROJEKTECH**

**NEW APPROACHES IN RISK ASSESSMENT
OF SOFTWARE PROJECTS**

ZKRÁCENÁ VERZE PHD THESIS

Obor: 26-15-9 Technická kybernetika

Školitel: Prof. Ing. Miloš Štěpánek, DrSc., FSI VUT v Brně

Oponenti: Prof. Dr. Ing. Miroslav Pokorný, Technická univerzita Ostrava
Prof. Ing. Zdeněk Krupka, CSc., Vojenská akademie Brno
Ing. Miroslav Lorenc, CSc., Vojenský technický ústav ochrany Brno

Datum obhajoby: 30. listopadu 2001

KLÍČOVÁ SLOVA

management rizik, expertní systémy, fuzzy logika, bayesovské sítě, metoda Riskit, softwarové projekty

KEY WORDS

Risk Management, Expert Systems, Fuzzy Logic, Bayes Networks, Riskit Method, Software Projects

MÍSTO ULOŽENÍ PRÁCE

Knihovna FSI VUT Brno

Obsah

1	Úvod.....	5
2	Cíle dizertační práce	7
3	Stav literatury a metod řešení.....	8
4	Význam rozhodování v managementu rizik	9
	4.1 Jednokriteriální rozhodování.....	9
	4.2 Rozhodování při více kritériích	9
	4.3 Diskuse.....	9
5	Manažerská metoda pro analýzu rizik.....	10
	5.1 Diskuse.....	12
6	Identifikace rizik a analýza rizik s komplexním hodnocením rizikových jevů	13
	6.1 Metoda Riskit.....	13
	6.2 Časté rizikové faktory a analýza rizikových scénářů při vývoji softwaru	15
	6.3 Diskuse.....	16
7	Podpora rozhodování v hodnocení rizik znalostními systémy na principech teorie pravděpodobnosti.....	17
	7.1 Diskuse.....	18
8	Fuzzy expertní systémy v analýze rizik	18
	8.1 Diskuse.....	18
9	Programová realizace dizertační práce	19
	9.1 Diskuse.....	21
10	Závěr.....	22
11	Životopis	27
	11.1 Odborné publikace	28
	11.2 Pořadatelství odborných seminářů	28
12	Literatura	29

1 Úvod

Prospěch má mít ten, kdo nese riziko (nebezpečí).
COMMODUM EIUS ESSE DEBET, CUIUS EST PERICULUM.

Žádný softwarový projekt nemůže proběhnout v důsledku nahodilosti jednoznačně podle předem připraveného plánu. Téměř vždy se může vyskytnout ohrožení (riziko) realizace. *Riziko* lze definovat jako jakoukoliv událost nebo faktor, který nepříznivě ovlivňuje daný proces. Můžeme je považovat za kombinaci pravděpodobnosti výskytu nežádoucího jevu a jeho dopadu na systém. Rizika se vyskytují napříč celého životního cyklu projektu, vzájemně se podmiňují a prolínají. Primární podmínkou jejich zamezení, případně omezení, je včasná identifikace. Následující činnosti jsou velmi úzce spojeny s rozhodovacími procesy. Jsou-li faktory a počáteční podmínky působící na projekt určité, lze přesně určit, jaký jev nastane v důsledku rozhodnutí. Jsou-li faktory nahodilé, obvykle lze pouze určit přibližné pravděpodobnostní charakteristiky vycházející ze statistického zpracování nebo expertních odhadů. Hodnoty faktorů mohou být na počátku procesu rozhodování neurčité a je rovněž neznámý jejich vliv na úspěšnost projektu. V tomto případě pracujeme s odhady expertů.

Řízení rizik projektu zahrnuje procesy týkající se stanovení a analýzy rizik projektu a reagování na tato rizika. Zahrnuje maximalizaci výsledků pozitivních událostí a minimalizace následků nepříznivých událostí [10, 46].

V oblasti managementu rizik rozeznáváme následující procesy:

- Stanovení rizik (Risk Identification) – určování, jaká rizika by mohla ovlivnit projekt a dokumentování jejich charakteristik.
- Ohodnocení rizik (Risk Quantification) – posouzení rizik a jejich vazeb s cílem posoudit rozsah možných výsledků projektu.
- Tvorba protirizikových opatření (Risk Response Development) – definování možností ovlivnit účinky rizik.
- Operativní řízení protirizikových opatření (Risk Response Control) – reagování na změny rizik během projektu.

Jednotlivé procesy se však v praxi mohou často překrývat a ovlivňovat různými způsoby.

V různých oblastech uplatnění se často používají různé názvy pro zde popisované procesy:

- Stanovení rizik a ohodnocení rizik se někdy pokládá za jediný proces a tento společný proces se nazývá *analýzou rizik* (Risk Analysis) nebo *posouzením rizik* (Risk Assessment).
- Tvorba protirizikových opatření se někdy nazývá *plánováním odezev* (Response Planning) nebo *zmírňováním rizik* (Risk Mitigation).
- Tvorba protirizikových opatření a operativní řízení protirizikových opatření se někdy pokládají za jediný proces a tento se nazývá *řízením rizik* (Risk Management, Risk Abatement).

Proces řízení rizik je úzce vázán na *program jakosti*. Podle normy ISO/IEC 9126 lze jakost software hodnotit pomocí následujících šesti charakteristik:

- Funkčnost
- Spolehlivost
- Použitelnost
- Efektivnost
- Udržovatelnost
- Přenosnost

Do tohoto procesu vstupují specifické činnosti projektované managementem jakosti software a prováděné v souladu s definovanými a zdokumentovanými postupy a organizací stanovenou v plánu jakosti projektu. Pomocí vzájemné korelace a odchylek harmonogramu s informacemi o jakosti musí systém jakosti softwaru zajistit činnosti pro včasné zjištění a nápravu veškerých negativních vlivů na jakost, čímž se minimalizují možná rizika realizace projektu [41].

2 Cíle dizertační práce

Snahou každého komerčního softwarového vývoje je produkovat jakostní produkt v nejkratším možném čase a při zachování rozpočtu zdrojů. Pojem *jakost* je v této souvislosti definována jako souhrn znaků entity, které ovlivňují její schopnost uspokojit stanovené a předpokládané potřeby. Úspěch firmy obvykle vyplývá z nízkých nákladů a následně nižší prodejní ceně výrobku, v pružnosti s ohledem na potřebu zákazníka a ve vysoké jakosti nabízené produkce či služeb. Z tohoto důvodu je mnoho firem nuceno investovat do programu zajištění jakosti. Oblast *managementu rizik* je jeho nedílnou součástí, i když v současné době neprávem opomíjenou. Každá fáze životního cyklu projektu vyžaduje hluboké *znalosti* příslušné problematiky. V důsledku prudkého vývoje informačních technologií a rovněž vysoká fluktuace pracovníků v této oblasti nutí, aby všechny dostupné informace byly co možné nejefektivněji ukládány a následně využívány [12, 38, 58]. Tuto výjimečnou schopnost postupem času prokázaly *znalostní systémy* (Knowledge-Based Systems), a především jejich podtřída *expertní systémy* (Expert Systems) [56, 60], které mohou nahradit odborníka v dané oblasti, pokud zrovna není k dispozici, případně podpořit a zkvalitnit jeho rozhodování. Řešení dizertační práce je rozděleno do následující osnovy.

1. Použití manažerské metody („klasické“) pro analýzu rizik s navržením vhodným procesů rozhodování s cílem zajistit jakostní průběh projektu, včetně nalezení typických rizikových faktorů a návazných rizikových scénářů vyskytujících se v softwarových projektech.
2. Použití existující metody („perspektivní“) z oblasti analýzy rizik, kterou bude možné dále rozšiřovat o prvky umělé inteligence s cílem zkvalitnit podporu rozhodování v managementu rizik.
3. Navržení metod pro vytváření znalostních bází expertních systémů s informacemi o rizicích v softwarových projektech na principu teorie pravděpodobnosti.
4. Využití expertních systémů v managementu rizik na bázi fuzzy množin a fuzzy logiky a srovnání výhod oproti jiným technologiím.

3 Stav literatury a metod řešení

Oblast hodnocení rizik v softwarových projektech byla poprvé komplexněji zmapována až v pracích Boehma [2, 3, 4]. Tento výzkum byl zaměřen především do oblasti vojenství a strategických softwarových projektů.

Podle dostupných informací nebyla v současné době na našem trhu vydána knižní publikace zabývající se managementem rizik. Této problematice je věnována velmi nízká pozornost i na vědeckém poli. Počet vědeckých příspěvků na konferencích je zcela ojedinělý. Rizika jsou zmiňována pouze jako dílčí, a ne významná a rozlišitelná součást oblasti projektového řízení. Uspokojující pozornost je věnována oblasti umělé inteligence a její podtřídě znalostním a expertním systémům (např. konference MENDEL na VUT FSI Brno).

V zahraniční literatuře je rizikům věnována větší pozornost. Podobné záměry můžeme vyzorovat i u komerčních firem. Podrobné vedení dokumentace o možných rizicích jsou totiž součástí norem, kterými se musí řídit firmy dodávající své softwarové produkty např. pro státní sektor, energetiku, vojenský průmysl, atd. Finanční instituce (banky, pojišťovny) mohou být rizikům vystaveny téměř v každém okamžiku. Lze pozorovat zvýšený zájem o hodnocení rizik v tomto sektoru, opět však úspěšnost různých subjektů se může značně lišit.

Velká většina metod se však zaměřuje pouze na některé rizikové faktory a na individuální intuitivní odhady pravděpodobností a dopadů rizikových jevů. Mnohdy však není brána v potaz komplexnost a složitost projektů. Navíc zde můžeme najít další vlivy, které jednotlivé rizikové faktory ovlivňují, a dále, rizikové faktory se vzájemně ovlivňují mezi sebou. Řešením jsou pouze systematické, konzistentní a profesionální metodiky. Jinak výsledkem rozhodování může být hazard ústící v neúspěšný projekt.

Expertní systémy našly uplatnění v mnoha oblastech lidských činností. I přesto, že můžeme najít velké množství teoretických prací věnujících se nástrojům umělé inteligence, případových studií popisujících praktické realizace je dostupných velmi málo. V oblasti rizikového managementu jsou pokusy o budování znalostníchází o rizicích zcela ojedinělé.

4 Význam rozhodování v managementu rizik

Na počátku každého řešení problému je obvykle nutné rozhodnout z jedné nebo několika možných alternativ a vybrat nejlepší cestu řešení. Existuje řada exaktních metod rozhodování a možnosti širokého uplatnění informačních technologií k hodnocení variant pomocí modelování a simulace. Do procesu rozhodování vstupují nejen říditelné faktory určující příslušnou strategii, ale i neříditelné faktory, na něž nemá management vliv. Půjde např. o přírodní faktory, sociálně politické faktory, atd. U dynamických procesů k nim patří i čas. Navíc může být rozhodování podstatně ovlivněno subjektivními psychologickými faktory manažerů.

Rizikové faktory se mohou vzájemně ovlivňovat, a jejich působení na cíle projektu je tedy závislé nejen na počátečních podmínkách, ale i vzájemných vztazích těchto faktorů.

4.1 Jednokriteriální rozhodování

V nejjednodušších rozhodovacích situacích expert používá jednoho kritéria. Rozlišujeme:

- Rozhodování v podmínkách určitosti
- Rozhodování v podmínkách rizika
- Rozhodování v podmínkách neurčitosti

4.2 Rozhodování při více kritériích

V reálných situacích musí expert rozlišit mezi více kritérii (více preferenčních relací), která se mohou vzájemně ovlivňovat. Existuje opět několik přístupů:

- Lexikografický přístup
- Vektorová optimalizace
- Agregovaná užitková funkce

4.3 Diskuse

Rozhodování patří mezi důležité povinnosti a odpovědnosti manažerů. Za rozhodování považujeme volbu *optimální* varianty z možných. Rozhodování však obvykle předchází plánům, příkazům, směrnicím, opatřením, atd. V této

souvislosti je nutné stanovit kriteria optimálnosti, umožňující kvantitativní ohodnocení rozhodnutí a následné porovnání variant. V oblasti managementu rizik se jedná o mnohem náročnější formu – vícekritériální rozhodování. Jeho efektivnost může být posouzena vyhodnocením relativního stupně dosažení shody se stanovenými cíly projektu na základně daných kritérií.

Rozhodování předpokládá existenci a) množiny variant, b) množiny kritérií a c) množiny omezujících faktorů, případně preferencí spojených s kritérii.

V úvodních fázích rizikových procesů bude nutné identifikovat možné hrozby, případně příležitosti, které mohou určitou měrou ovlivnit úspěšnost softwového projektu. Hrozba se stane rizikovým faktorem s příslušným dopadem na projekt až *po přijetí* rozhodnutí.

5 Manažerská metoda pro analýzu rizik

Úspěšnost jednotlivých *rizikových scénářů* (posloupnosti jevů nebo situací, které nastanou v průběhu rizikové události) lze hodnotit pomocí hodnoty očekávané ztráty užitnosti (Expected Utility Loss).

$$v_{e,rs} = P_{rs} \cdot v_{rs},$$

kde P_{rs} je pravděpodobnost vzniku rizikové události podle rizikového scénáře a v_{rs} je *ztráta užitnosti*. Často se v této souvislosti používá již zmíněná „očekávaná peněžní hodnota“ rizika, např. je-li pravděpodobnost havárie projektu 0.01, hodnota zisku na projektu 100000\$, pak očekávaná peněžní hodnota je 1000\$ (0.01 * 100000).

Důležitým měřítkem úspěšnosti rizikových řídicích činností je hodnota úrovně zamezení rizika (Risk Reduction Leverage) definovaná jako

$$\lambda = \frac{v_{e2} - v_{e1}}{\varphi},$$

kde v_{e2} , resp. v_{e1} je očekávaná ztráta užitnosti po, resp. před provedením protirizikových opatření a φ jsou náklady na rizikové řídicí činnosti.

Tento výzkum navazuje na výsledky, se kterými se lze setkat v pracích Boehma [3]. Obzvláště účelné v této chvíli považuji jeho identifikaci důležitých rizikových faktorů z oblasti softwarového inženýrství. Jsou zde rozlišeny 4 oblasti rizik.

- FUNKČNÍ FAKTORY (Performance Risk Drivers)
Stupeň nejistoty ve procesu vývoje a implementace spojený s dosažením technickým specifikací nebo provozuschopnosti softwarového systému.
- FAKTORY PODPOROVATELNOSTI (Support Risk Drivers)
Stupeň nejistoty spojený se schopností firmy zajistit plánovanou podporu přidělováním zdrojů na údržbu, aktualizaci nebo vylepšování software.
- FAKTORY NÁKLADOVOSTI (Cost Risk Drivers)
Stupeň nejistoty spojený s plněním plánovaného finančního rozpočtu během životního cyklu projektu.
- FAKTORY ROZVRHOVOSTI (Schedule Risk Drivers)
Stupeň nejistoty spojený s dosažením plánovaných časových milníků v životním cyklu projektu.

Objektivního rozhodnutí může management dosáhnout pouze na základě sjednoceného mínění většího počtu expertů. Důležitým vstupem tedy budou statistickými metodami zpracované dotazníky od zkušených členů týmů, kteří se podílí na řešení softwarového projektu. Z celé řady metod postavených na základech statistiky vybírám metodu *Delfy* [50]. Její výhoda je zřejmá: kromě statistických nástrojů navíc komplexně definuje proces nalezení sjednoceného názoru skupiny expertů. Tato metoda je stejně jako ostatní metody expertního hodnocení založena na ohodnocování mínění jednoho experta nebo vybrané skupiny expertů na daný jev, který je expertovi nebo expertům předložen. Cílem je na základě programu individuálních dotazů zpravidla formou ankety sjednocené nalézt mínění expertů o způsobu řešení daného problému. Díky nasazení počítačové podpory lze alespoň v první fázi vyloučit negativní psychologické vlivy působící na práci komise, především vliv autorit a přizpůsobování se většině. Další fáze se podobají obecně rozšířeným metodám typu *brainstorming*. Metoda *Delfy* byla použita pro stanovení pořadí důležitosti jednotlivých rizikových faktorů.

Důležitými výstupy metody jsou hodnoty souhrnné pravděpodobnosti a dopad rizikového jevu. Z těchto dvou hodnot lze následně určit celkové riziko

Riziko je dáno kombinací hodnot celkové pravděpodobnosti a dopadu rizikového jevu. K jeho určení lze použít následující tabulku. Riziko může v tomto případě nabývat jedné z hodnot VYSOKÉ, MÍRNÉ, NÍZKÉ, případně ŽÁDNÉ.

Určení rizika	Pravděpodobnost negativního jevu			
Dopad	Častý výskyt $0.7 < P \leq 1$ Hodnota=3	Občasný výskyt $0.4 < P \leq 0.7$ Hodnota=2	Zřídka se vyskyt. $0 < P \leq 0.4$ Hodnota=1	Nemožný výskyt $P=0$ Hodnota=0
Vážný	Vysoké			
Střední		Mírné	Nízké	Žádné
Malý				

Tab. 5.13: Určení celkového rizika

5.1 Diskuse

Metody získávání znalostí o rizicích mohou zkvalitnit proces rozhodování. Výsledky se obvykle pozitivně projeví především v budoucích projektech. Frekvence a závažnost typických rizik bude možné lépe a přesněji odhadnout, výskyty potenciálních rizik předpovědět s dostatečným předstihem. Informace o rizicích se navíc tak stanou podkladem k projektové dokumentaci.

Rizikové faktory jsou mnohotvárné, z hlediska výsledné efektivity produkce jsou důležité především funkční charakteristiky výrobku, technické podmínky návrhu a vývoje, podporovatelnost výroby, a samozřejmě i nákladovost a rozvrhovost. Každý rizikový faktor musí být zvážen podle významnosti z hlediska dopadu na projekt, analyzována pravděpodobnost výskytu rizikových jevů, příslušné reakce a účinky a vyhodnocena rizikovost (ztráta užitnosti), která poslouží k uspořádání rizik a stanovení jejich priorit. Pro každý rizikový faktor, pravděpodobnost výskytu rizikového jevu dostaneme jiný scénář. Tento řadíme podle velikosti ztráty užitnosti či velikosti rizikovosti. Tímto postupem získáme podklad k činnosti vedoucí k redukci rizik, resp. k jejich eliminaci.

Uvedená metoda se opírá o pravděpodobnostní přístup. Vzhledem k tomu, že až na vzácné výjimky není k dispozici předběžná statistická informace, je nutné se opřít o odhady expertů. Vyšší objektivnosti můžeme dosáhnout zjištěním zobecněného mínění expertů na základě anonymních anket pomocí metody *Delfy*.

6 Identifikace rizik a analýza rizik s komplexním hodnocením rizikových jevů

Manažerská metoda pro analýzu rizik popsaná v předešlé kapitole velmi zřetelně identifikuje rizikové faktory. Díky statisticky zpracovanému sjednocenému mínění expertů lze získat objektivní hodnotu celkové pravděpodobnosti a dopadu rizikového jevu. Za této situace již nic neklade žádné překážky stanovení celkového rizika.

Vliv rizikových faktorů je však v praxi mnohem komplexnější. Může být zdrojem vzniku různých rizikových jevů, které mohou mít různé míry dopadu na cíle projektu. Rovněž např. analýza nápravných opatření pro jednotlivé rizikové události by měla být podpořena nějakými prostředky s cílem zkvalitnit podporu rozhodování. Následně poslouží pro budování znalostní báze o rizicích. Z tohoto důvodu je vhodné navázat na teorii a zkušenosti s metodou, která poskytne jakostní nástroje pro analýzu rizik.

Z dlouhé řady metod navrhuji použít *Riskit*, která byla vyvinuta na University of Maryland. Dostupnost kvalitní dokumentace [27, 28, 29] a doložení praktických případových studií [30, 31, 32] ji předurčily k tomu, aby se stala výchozím bodem, a především nástrojem pro management rizik.

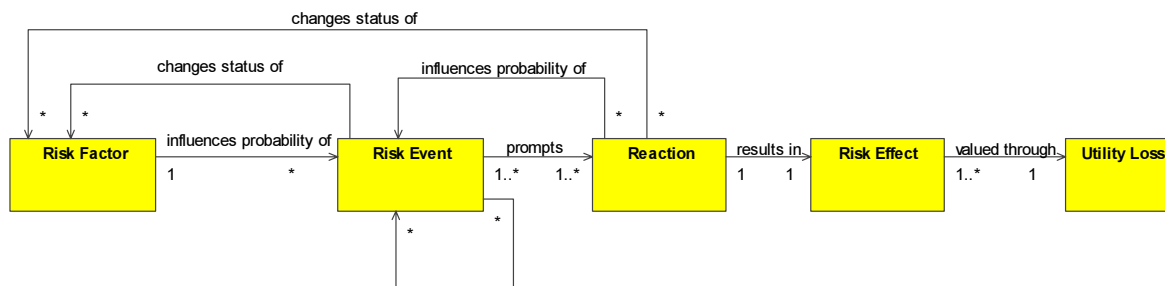
Metoda *Riskit* je založena na jasných teoretických principech a vyhýbá se problémům, které jsou společné pro jiné přístupy hodnocení rizik v softwarovém inženýrství. Je však možné ji využít i v jiných oblastech (analýza rizik v obchodních procesech, marketingu, atd.).

6.1 Metoda *Riskit*

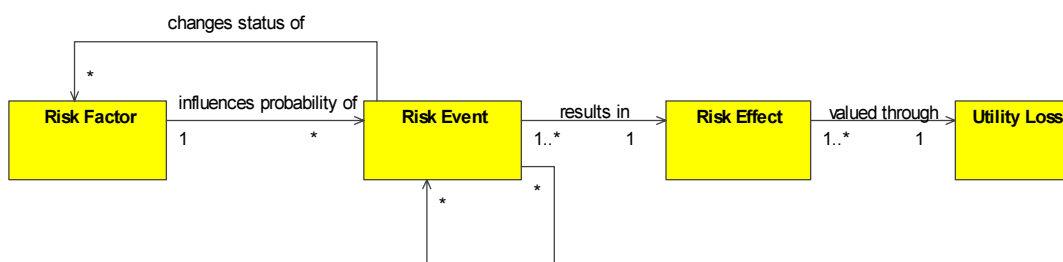
Hlavním nástrojem metody *Riskit* je grafická notace s podporou kvalitativní analýzy rizikových scénářů, která se uskutečňuje ještě před vlastní kvantifikací. Dále je využívána metoda ranků umožňující zvolit kritická řešení v závislosti na dostupnosti historických dat nebo odhadů. Výhodou je, že počítá s možností více cílů a zúčastněných stran.

Základním prvkem je *diagram Riskit* (Riskit Analysis Graph). Umožňuje dekomponovat rizika do jasně definovaných částí - *rizikových prvků* (Risk Element). Šipky znázorňují příčinné vztahy mezi rizikovými prvky. Lze tak velmi efektivně vyjádřit znalosti expertů v grafické podobě, která je obecně pokládána za mnohem

přesvědčivější než čistě textový popis. Význam diagramů je zobrazen v notaci modelovacího jazyka UML*.



Obr. 6.1: Meta-model „normální“ formy diagramu Riskit v UML

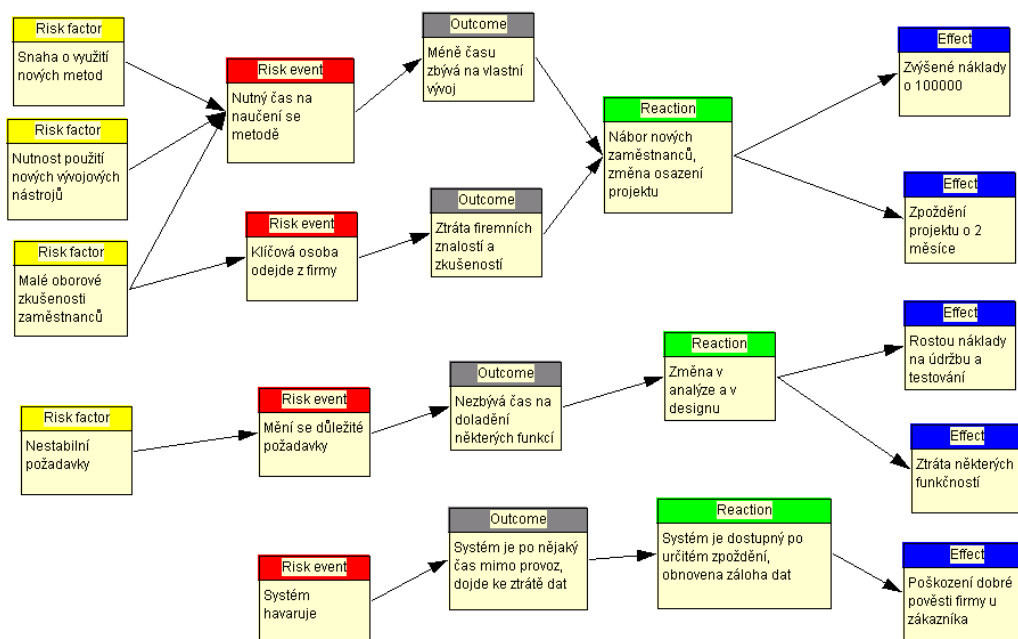


Obr. 6.2: Meta-model „zjednodušené“ formy diagramu Riskit v UML

Postupně tak dochází k budování znalostí báze (Knowledge Base) využitelné v dalších projektech. Užitečnost těchto postupů však musí být prokázána s ohledem na související náklady - finanční nebo lidské zdroje, které tak mohou celý projekt výrazně zatížit. Podle výzkumu [30] je častým důvodem k tomu, že nejsou možné metody nástroje managementu v hojné míře a především efektivně využívány, je právě nedostatek znalostí o těchto nástrojích.

Následující obrázek ukazuje část analýzy rizik v typickém softwarovém projektu.

* UML (Unified Modeling Language) je objektově-orientovanou notací a jazykem pro specifikaci, návrh a implementaci systémů. V současné době patří mezi nejrozšířenější objektové notace [5, 15, 45].



Obr. 6.3: Výšek z analýzy Riskit ukázkového projektu

6.2 Časté rizikové faktory a analýza rizikových scénářů při vývoji softwaru

Pro studium rizikových scénářů a možného dopadu rizikových jevů je vhodné mít k dispozici studii potenciálních rizikových faktorů a s nimi souvisejících scénářů. Manažerská metoda se vychází především z vytipovaných rizikových faktorů. Pro hodnocení rizikových případů je výhodné mít představu o kompletních rizikových scénářích, jejichž výskyt je ovlivněn právě určitým rizikovým faktorem. Tato sekce navazuje na výzkum v oblasti hodnocení rizik [19] postaveném na simulaci možných následků rizikových faktorů. Rizikové faktory byly vyhledány v dostupné literatuře a možné scénáře pečlivě posouzeny zkušenými pracovníky z oblasti vývoje software. Každý rizikový faktor tak byl komentován 8-12 experty. Významné výsledky výzkumu se mi podařilo převést na kompletní rizikové scénáře a díky nástrojům metody *Riskit* následně i do grafických schémat. Na základě vlastních zkušeností z oblasti softwarového inženýrství jsem scénáře doplnil o řadu kauzálních (příčinných) vztahů.

V následujícím textu budou jmenovány typické rizikové faktory, kterými může být ovlivněna v současné době většina softwarových projektů. Pro každý rizikový faktor je identifikován typický rizikový scénář. V hlavní části dizertační práce jsou podrobně analyzovány důležité rizikové faktory. Patří sem např. nedostupnost klíčových pracovníků, spoléhání na několik málo klíčových osob, nestabilita

a nesystematičnost při přidělování osob k projektu, špatná pracovní morálka či nízká produktivita práce.

6.3 Diskuse

Mnoho metod je založeno na přesné kvantifikaci rizik. Tyto hodnoty jsou však v praxi výsledkem hrubých odhadů navíc zatíženým subjektivním dojmem a rozdílnými zkušenostmi konkrétních osob. To může vést k nízké důvěře výsledkům analýzy rizik, nebo naopak k neopodstatněné důvěře ke zdánlivě přesným číslům. Mnoho metod je úzce zaměřeno na jednu či několik kvantifikovaných metrik, např. náklady, rozvrhovost a kvalita. Riziky však může být ovlivněno více cílů. Omezení se na vybranou množinu cílů nebo atributů při analýze rizik pravděpodobně zkresluje význam analýzy rizik. Jen výjimečně je počítáno s případem nelineárního průběhu funkcí užitosti, které může vést k mylnému stanovení priorit pro různé zúčastněné strany. Proces rozhodování pak bývá takto výrazně narušen. Z těchto omezení je zřejmé, že v praxi chybí ochota řídit se některou z existujících metod managementu rizik.

Metoda *Riskit* v tomto ohledu splňuje zmíněné pozitivní očekávání. Skýtá nástroje, které umožní komplexněji dokumentovat rizikové faktory v softwarových projektech.

Studie rizikových faktorů a souvisejících rizikových scénářů umožňuje hlouběji proniknout a pochopit příčinné vztahy mezi rizikovými faktory, rizikovými scénáři a dopady (následky) rizika. S výhodou to využijeme v následných simulacích a budování znalostních bází expertních systémů.

Rizikové scénáře asociované s identifikovanými riziky mohou posloužit jako šablony (idiomy), ze kterých bude možné vhodnými postupy vytvářet skládáním složitější systémy. Dojde takto k určité *znovupoužitelnosti* již vytvořených rizikových komponent s uloženými expertními znalostmi.

7 Podpora rozhodování v hodnocení rizik znalostními systémy na principech teorie pravděpodobnosti

V oblasti vytváření znalostních bází expertních systémů, ve kterých hrají výraznou roli vágní informace, se osvědčily jako velmi efektivní metoda pro podporu rozhodování *bayesovské sítě* [17, 18, 39, 40]. Mezi důležité projekty patří následující [1, 11, 26, 54, 55]:

- analýza bezpečnostních a spolehlivostních parametrů pro kritické počítačové systémy (projekty DATUM, SHIP, DeV a SERENE)
- vylepšené předpovědi spolehlivosti prototypů vojenských vozidel (projekt TRACS)
- předpovědi obecných jakostních atributů software, např. hustota chyb (projekt IMPRESS)

Tato práce přenáší a rozšiřuje dosažené poznatky do oblasti softwarových projektů, které jsou ovlivňovány různými rizikovými faktory. Cílem bude předpovědět význam a dopad různých rizikových jevů na projekt. V bayesovské síti jsou uloženy znalosti zachycující rizikové prvky spolu s jejich vzájemnými příčinnými vztahy. Změnou jednoho faktoru dojde díky popsaným kauzálním vztahům k aktualizaci dalších příbuzných elementů, včetně požadovaného výstupu.

Zdánlivě „jednoduše“ definované inferenční odvozování znalostí v bayesovské síti je z praktického hlediska výpočetně velmi náročné. Patří mezi tzv. NP-problémy. Z tohoto důvodu vznikla celá řada numerických metod, které se tento problém snaží obejít. Patří sem *metoda postupných modifikací* (navržená R. D. Schachterem). Spočívá na myšlence postupných transformací výchozí sítě na jiné tak, že se reprezentovaná distribuce buď nezmění, nebo bude marginálem k distribuci původní. Používají se k tomu metody vypuštění uzlu a otočení hrany [22, 23, 24]. Jiným způsobem je *transformace na rozložitelný model* (S. Lauritzen, D. Spiegelhalter). Opět dochází k postupné transformaci na výpočetně jednodušší tvar – rozložitelný model, který umožňuje efektivnější zpracování pravděpodobnostních distribucí. Využívá metody grafických modelů sestávající z kroků tzv. moralizace, triangularizace a následné konstrukce stromu spojení (junction tree) [35].

Využití bayesovských sítí při hodnocení rizikových scénářů je podrobně popsáno v hlavní části dizertační práce. Vstupem do znalostní báze expertního systému jsou rizikové scénáře zpracované pomocí metody *Riskit*.

7.1 Diskuse

Bayesovské sítě považuji za velmi výhodný doplněk dalších metod hodnocení rizik. Mohou se stát mezičlánkem např. ve vícekritériální analýze, která obvykle předpokládá, že kritéria nebudou zatížena neurčitostí, tj. budou deterministická, nikoliv stochastická.

K tomu, abychom objektivně zjistili hodnoty pravděpodobnosti, však musíme mít k dispozici statistický materiál z předchozích měření a průběhů. Tento proces můžeme do jisté míry nahradit zobecněným míněním expertů a zohlednit tak jejich zkušenosti. Všechny jevy spojené s inovacemi jsou zatíženy značnými neurčitostmi, a proto absence statistické informace i chyby v odhadech expertů mohou do značné míry znehodnotit předpokládané hodnoty rizik.

Obecně však bayesovské sítě splňují vysoké nároky na uchovávání vágních informací, a skýtají výborný inferenční mechanismus pro práci s pravidly zatíženými neurčitostí. V oblasti managementu rizik je bezpochyby tato situace poměrně častá.

8 Fuzzy expertní systémy v analýze rizik

Pojem pravděpodobnosti je úzce vázán na oblast matematické statistiky. Hodnota pravděpodobnosti je spojena s četností výskytu nějakého jevu. V oblasti fuzzy usuzování se naopak jedná spíše o *vymezení* nějakého vágního jevu, nikoliv o neurčitost, s jakou jev nastává. Kombinací těchto dvou oblastí získáváme velmi silný nástroj použitelný při hodnocení rizik [49, 51].

Možnosti využití nástrojů fuzzy množin v managementu rizik jsou podrobně rozpracovány v hlavní části dizertační práce.

8.1 Diskuse

Využití fuzzy množin se mi jeví jako velmi efektivní metoda, mimo jiné i díky tomu, že můžeme pracovat s lingvistickou proměnnou v rámci přirozeného jazyka. Je-li pravděpodobnost objektivně zkoumána jako očekávání určitého jevu na základě

statistického zkoumání, pak zařazení určitého jevu do fuzzy množiny posuzujeme z hlediska *možnosti*. Stupeň příslušnosti ovlivňuje neostrost expertního úsudku.

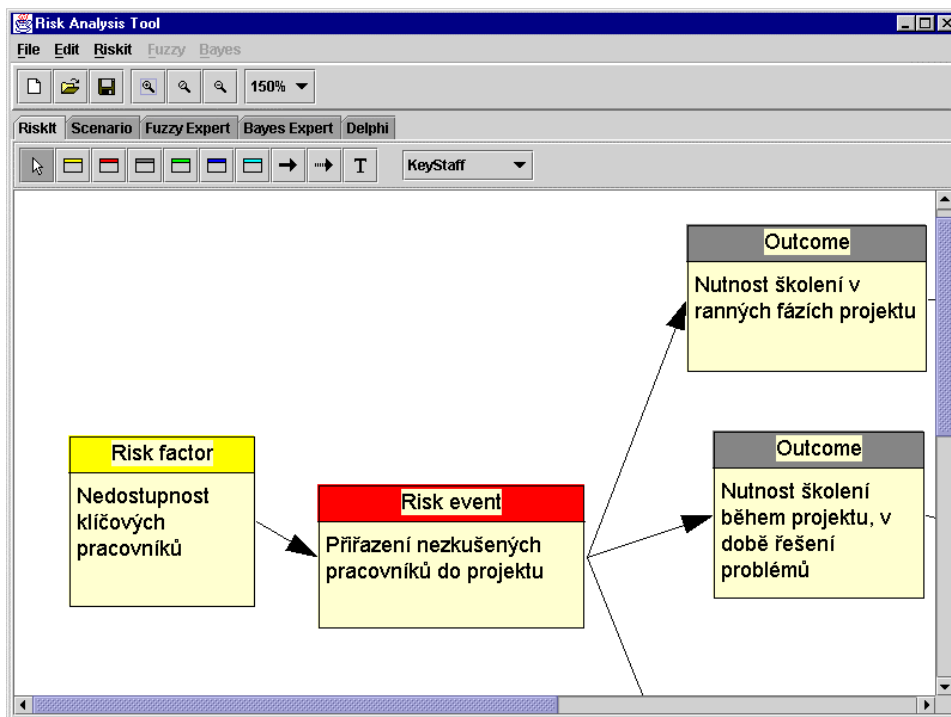
Význam lingvisticky vyjádřeného pojmu se týká zařazení víceméně známého jevu do kategorie podobných jevů a stanovení možnosti (dané hodnotou funkce příslušnosti). Není tedy spojena s nahodilými jevy, ale s pojmy. Primárně se posuzuje souvislost a slučitelnost dílčí charakteristiky s daným pojmem, obsaženým v otázce.

Vytváření fuzzy znalostní báze je poměrně časově náročné. Editace funkcí příslušnosti může být výrazně ulehčena např. použitím vizuálního nástroje, který průběhy upravuje interaktivně v závislosti na příkazech ukazovacího zařízení (myši) uživatelem.

Podobně jako bayesovské sítě, fuzzy expertní systémy dovedou velice efektivně pracovat s rozsáhlou znalostní bází. Proces inferenčního odvozování znalostí lze navíc v některých fuzzy expertních systémech sledovat v postupných krocích. Systém pak obvykle bývá schopen zdůvodnit nalezené řešení. Tento rys je zcela nedostupný např. při rozhodování pomocí umělých neuronových sítí.

9 Programová realizace dizertační práce

Pro potřeby dizertační práce jsem vyvinul podpůrný programový nástroj. Primárním účelem bylo vytvořit nástroj pro podporu metody *Riskit*, s možností uživatelsky příjemného vkládání rizikových prvků. Následně do něj bylo zabudováno automatické vyhledávání rizikových scénářů s možností jejich uživatelského třídění.



Obr. 9.1: Základní obrazovka Risk Analysis Tool

Modul FuzzyExpert využívá volně dostupné objektové knihovny velmi rozšířeného a oblíbeného fuzzy expertního systému FuzzyClips [16, 25]. Předkládám řešení grafické podpory pro vizuální navrhování expertního systému. Samotný FuzzyClips má vlastní jazyk podobný jazyku Lisp.

Dalším modulem je BayesExpert. Jedná se o expertní systém na bázi bayesovských sítí postavený s využitím jádra volně dostupných objektových knihoven JavaBayes [21, 22, 23]. Při simulacích a testech byl využit také mnohem pokročilejší nástroj SERENE [20, 54]. Podobně jako fuzzy modul, představuje vizuální nadstavbu nad jádrem expertního systému.

Programový systém byl vyvinut v programovacím jazyce Java™ [14]. Jedná se v současné době o velmi perspektivní, čistě objektově orientovaný jazyk. Jeho vznik je svázán s prudkým rozvojem internetových technologií. Hlavní výhodou je nezávislost na systémové platformě. Stejných výsledků dosáhneme společným kódem v prostředí Microsoft® Windows™, stejně tak i v různých mutacích systémů UNIX™, či LINUX™.

Jedná se o jazyk interpretovaný. Ke svému běhu potřebuje *virtuální stroj* (Java Virtual Machine). Je realizován nejčastěji programově, nicméně existují již speciální mikroprocesory, které tento kód umožňují provádět. Virtuální stroj JVM je však už

na platformě závislý. Pro každé prostředí musí být konfigurován zvlášť. Menší nevýhodou je poněkud vyšší hardwarová náročnost.

Pro ukládání celého projektu byl zvolen formát XML (eXtended Markup Language) [6], v současné době nejvýznamnější a perspektivní otevřený formát (s volně dostupnou specifikací). Výhodou je relativně snadné vytváření i přenos mezi různými platformami (operační prostředí i aplikace). Jeho vznik je úzce svázán se vznikem Internetu a rovněž se řadí k technologiím na bázi jazyka Java.

9.1 Diskuse

Pro efektivní rozhodování musí mít management vhodné nástroje. Uživatelská přívětivost a snadné ovládání programových podpůrných nástrojů mohou napomoci k většímu povědomí a rozšíření perspektivních metod managementu rizik. Ruční vytváření analýz je mnohem pracnější a méně přehledné. Navíc lze nalézt činnosti, které můžeme díky počítačové podpoře automatizovat.

Vyvinout komplexní softwarový nástroj, který by pokrýval všechny etapy rozhodování však obvykle není v silách jedince a často vyžaduje týmovou spolupráci. Nejvýhodnějším řešením by v této chvíli bylo zveřejnit zdrojové kódy v režimu *Open Source*, které by umožnily komukoliv se podílet za stanovených podmínek na jejich vývoji. Podobně vytvářený systém obvykle nesmí být finančně zpoplatňován, lze však mít finanční zisk např. z poskytovaných služeb, které by byly na tomto nástroji závislé.

Podobná byla i metoda vývoje objektových knihoven představujících jádra expertních systémů na bázi fuzzy logiky a bayesovských sítí, které jsem využil při vlastním vývoji.

10 Závěr

Management rizik představuje významnou, i když v současné době neprávem opomíjenou, složku procesů, jež jsou součástí řízení většiny druhů projektů, a projektů z oblasti software především. V každém případě, uspokojivých výsledků může být dosaženo pouze za situace, že firma *soustavně* a *konzistentně* uplatňuje pravidla některé z osvědčených metodik řízení rizik. To musí platit v průběhu všech fází životního cyklu projektu. Činnosti managementu rizik by měly být uplatňovány co nejdříve, pokud možno již od nejranějších fází projektu, až do samého závěru.

Existuje relativně velké množství metodik řízení rizik, žádná z nich však nepředstavuje jednoznačné řešení. Výhod dosáhneme až vhodnou kombinací několika ověřených nástrojů. Metody matematické statistiky jsou zcela nepostradatelnou součástí většiny rozhodovacích procesů. Umožňují vytvářet vhodné metriky použitelné pro rozhodování. Pro zachycení kauzálních vztahů mezi různými entitami je však nutné je použít s dalšími nástroji. Jedná se především o expertní systémy, které dovedou pracovat s neurčitostí a kombinovat různé druhy informací. To se týká i situace, kdy není možné potřebná data spolehlivě nalézt.

K tomuto účelu se mi podařilo identifikovat ověřenou metodu Riskit, která se stává rámcem pro další návazné činnosti. Expertní systémy na bázi bayesovských sítí a fuzzy množin skýtají silné prostředky pro modelování rizikových situací, jež jsou ze samé podstaty zatíženy jistým stupněm neurčitosti. Poněkud vyšší nároky jsou kladeny na vytváření znalostních bází. Je účelné mít na paměti, že i znalosti se v čase vyvíjí, podobně jako každý jiný dynamický systém. Z tohoto důvodu je nutné zajistit provádění změn ve znalostní bázi v procesu aktualizace znalostí.

Popsané metody jsou efektivněji použitelné až v případě, kdy existuje vhodná počítačová podpora ve formě softwarové aplikace, která dovede automatizovat různé činnosti řízení rizik. Několik nástrojů lze nalézt v oblasti vědeckého i komerčního výzkumu. Jejich výsledky se však výrazně liší v závislosti na komplexnosti a rozsahu určitého projektu. Některé užitečné činnosti řeší i mnou vyvinutý softwarový nástroj Risk Analysis Tool.

Metody umělé inteligence považuji za výrazný přínos v podpoře rozhodovacích procesů. Výhody spočívají v možnostech práce s neurčitými informacemi, jejich efektivním ukládáním, tříděním a hledáním řešení nad znalostní bází.

Hlavní výsledky této dizerační práce lze rozdělit na přínosy pro praxi a vědeckou oblast.

Přínosy pro praxi jsou následující.

1. Definování procesů souvisejících s podporou rozhodování v managementu rizik softwarových projektů.
2. Stanovení náplně činností managementu rizik.
3. Navržení metodiky pro identifikaci a analýzu rizik, a dále způsoby řízení rizik za účelem a) eliminace, b) zmírnění, c) přenesení, d) přijetí rizik.
4. Využití metody Delfy k získání a zpracování expertních dat v rámci softwarového projektu.
5. Vyhotovení softwarového nástroje pro podporu rozhodování v managementu rizik.

Vědecký přínos spočívá v následujícím.

1. Vytvoření nutného základu nové metodiky postavené na metodě Riskit a obohacené o prvky umělé inteligence.
2. Využití expertních systémů na bázi bayesovských sítí a fuzzy množin.
3. Nové přístupy k vytváření znalostních bází zmíněných expertních systémů.

Za podněty pro další výzkum pokládám následující:

1. Rozšiřování znalostních bází při hodnocení dalších rizikových scénářů.
2. Zveřejnění nástroje Risk Analysis Tool v režimu Open Source a další vývoj pod volně dostupnou licenci.
3. Vytváření šablon (vzorů, idiomů) slučujících typické rizikové faktory s příslušnými scénáři a současně usnadňující hodnocení komplexních rizikových případů.

Nové přístupy k hodnocení rizik v softwarových projektech

Žádný softwarový projekt nemůže proběhnout v důsledku nahodilosti a neurčitosti jednoznačně podle předem připraveného plánu. Téměř vždy se může vyskytnout riziko ohrožení realizace. Riziko lze definovat jako jakoukoliv událost nebo faktor, který nepříznivě ovlivňuje daný proces. Rizika se vyskytují napříč celého životního cyklu projektu, vzájemně se podmiňují a prolínají.

Existuje relativně velké množství metodik pro management rizik, žádná z nich však nepředstavuje jednoznačné řešení. Výhod dosáhneme až vhodnou kombinací několika ověřených nástrojů. Metody matematické statistiky jsou zcela nepostradatelnou součástí většiny rozhodovacích procesů. Umožňují vytvářet vhodné metriky použitelné pro rozhodování. Pro zachycení kauzálních vztahů mezi různými entitami je však nutné je použít s dalšími nástroji. Jedná se především o expertní systémy, které dovedou pracovat s neurčitostí a kombinovat různé druhy informací.

K tomuto účelu využijeme ověřenou metodu Riskit, která se stává rámcem pro další návazné činnosti. V této práci byla rozšířena o metody umělé inteligence. Především se jedná o expertní systémy na bázi bayesovských sítí a fuzzy množin, které skýtají silné prostředky pro modelování rizikových případů, jež jsou ze samé podstaty zatíženy jistým stupněm neurčitosti.

Zmíněné metody jsou efektivněji použitelné až v případě, kdy existuje vhodná počítačová podpora ve formě softwarové aplikace, která dovede automatizovat různé činnosti řízení rizik. Několik nástrojů lze nalézt v oblasti vědeckého i komerčního výzkumu. Jejich výsledky se však výrazně liší v závislosti na komplexnosti a rozsahu určitého projektu. Některé užitečné činnosti řeší i autorem dizertace vyvinutý nástroj Risk Analysis Tool.

Metody umělé inteligence považuji za výrazný přínos v podpoře rozhodovacích procesů. Výhody spočívají v možnostech práce s neurčitými informacemi, jejich efektivním ukládáním, tříděním a hledáním řešení nad znalostní bází.

New Approaches in Risk Assessment of Software Projects

No software project carries out uniquely according to an elaborated schedule as a consequence of chance. A risk of realization crash nearly always exists. Risk is defined as any event or factor which reflects given process. Risks exist across the entire project lifecycle and interact with each other.

There are relatively many risk management methodologies, but no one solution represents the only suitable approach. The best results can be achieved by a selected combination of several well proven methods and tools. Statistics methods represent a quite indispensable part of most of the decision processes. They can generate convenient metrics useful for decision-making, but they must be used together with other tools to capture causal relationships among different entities. The expert systems are the examples of such tools capable to operate with uncertainty and combine various types of information.

Approved method Riskit has been identified for this reason. It represents a frame for the next consequent activities. It has been extended by artificial intelligence methods in this work. Bayes nets and fuzzy sets represent a best-fitting solution from a collection of expert systems types. Risk events can be modeled with convenience with such an approach, because of their indefinite nature.

The latter methods are effectively used only with existing computer support. Software applications are able to automate diverse risk control activities. Several software tools can be found in the area of scientific as well as commercial research. But their results vary markedly compared with the complexity and scope of the software project. Several beneficial activities are solved by this word author's developed software tool Risk Analysis Tool.

I consider the methods of artificial intelligence to be a distinct asset for decision-process support, because of their ability to perform with uncertain information, i.e. saving, sorting and finding a solution over a knowledge base.

Die Neue Wege in der Risikobewertung der Softwareprojekten

Kein Softwareprojekt kann nicht infolge der Zufälligkeit eindeutig nach einem vorbereiteten Plan erfolgen.

Größtenteils eine Risiko der Realizationsbedrohung auftreten kann. Das Risiko kann man als jedwede Ereignis oder Faktor, der gegebenen Prozes absprechend beeinflusst. Die Risiken finden sich quer den ganzen Lebenszyklus vor.

Relativ viele Methodiken für Risk Management sind vorhanden. Aber keine von ihnen stellt eine zweifelsfreie Auflösung dar. Einen Profit können wir mit einer Kombination der mehreren nachgewiesenen Instrumenten erreichen. Die Methoden der mathematischen Statistik sind absolut unverzichtbar für die Mehrheit der Entscheidungsprozessen. Sie ermöglichen die entsprechenden Metriken für die Entscheidungsprozessen erzeugen. Aber Kausalbeziehungen zwischen verschiedenen Elementen man nur mit zusätzlichen Instrumenten beschreiben kann. Es geht vor allem um Expertsystemen, die mit der Unbestimmtheit arbeiten und verschiedene Sorten von Informationen kombinieren können.

Für diesen Zweck verwende ich nachgewiesene Methode Riskit, die einen Rahmen für nachfolgende Tätigkeiten ist. In dieser Arbeit es wurde um die Methoden der künstlichen Intelligenz erweitert. Es handelt sich um Expertsystemen auf Basis der Bayesnetzen und Fuzzy Logic, die starke Mitte für verschiedene Risikofälle bieten. Die Risikofälle sind aus der Wesenheit mit einer Unbestimmtheit belastet.

Obenberührte Methoden sind effektiv anwendbar falls eine Computerbeförderung in einer Form der Softwareapplikation existiert, um die verschiedene Aktivitäten des Risikomanagements zu automatisieren. Ein paar Instrumenten finden wir im Bereich der wissenschaftlichen und auch kommerziellen Forschung. Seine Ergebnisse differieren in Abhängigkeit von der Komplexität und Ausmaß des Projektes. Einige nutzbare Funktionen löst Risk Analysis Tool, der Autor dieser Dissertation entwickelt hat. Die Methoden der künstlichen Intelligenz betrachte ich für einen markanten Beitrag in der Aufwendung der Entscheidungsprozessen. Die Benefize liegen in der Möglichkeit mit Unbestimmten Informationen zu arbeiten, d.h. Speicherung, Klassifizierung und Lösungssuche.

11 Životopis

Ing. Libor Spěvák

Datum narození	11. prosince 1973 ve Valticích, Česká Republika
Bydliště	Pionýrská 977, Velké Bílovice 69102
Stav	Svobodný
Národnost	Česká
Zdravotní stav	Uspokojivý, nekuřák
Znalosti a zkušenosti v programovacích jazycích	Basic, Pascal : 3 roky Visual C++ : 3 roky Visual Smalltalk : 2 roky Technologie Java (J2EE, JDBC, Swing, ...) : 3 roky
Znalost cizích jazyků	1985-1990 ruština, pasivně 1989-2001 angličtina, velmi dobře 1991-2001 němčina, dobře 1999-2001 francouzština, pasivně
Vzdělání	1980-1989 základní škola ve Velkých Bílovicích 1989-1992 gymnázium v Břeclavi 1992-1997 TU, Fakulta strojního inženýrství v Brně • Inženýrské studium v oboru Aplikovaná mechanika, zaměření mechatronika • Hlavní předměty zájmu: robotika, umělá inteligence (fuzzy logika, neuronové sítě), image processing, počítačové vidění 1997-2000 TU, Fakulta strojního inženýrství v Brně • Doktorské studium v oboru Technická kybernetika Hlavní předměty zájmu: expertní systémy, znalostní báze, management rizik, programovací nástroje a objektová technologie Java, CASE systémy (UML)
Praxe	1999-2001 AMIS, a.s. (součást ICZ, a.s.) • Programátor-analytik Java (nemocniční informační systémy, databáze Informix a Oracle, e-business, CORBA, J2EE, XML) • Konzultant v oblasti objektové analýzy a návrhu (UML)
Řidičské oprávnění	Skupina B
Osobní zájmy	Vysokohorská turistika, kytarová hra, astronomie, cizí jazyky, programování

11.1 Odborné publikace

SPĚVÁK, L. **Automatizace zpracování mikroskopických snímků chromozómů.** In Sborník XXI. semináře ASŘ'98 Počítače v měření, diagnostice a řízení [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1998, vol. 1, 6 p. [cited 1998-05-22].

ISBN 80-7078-559-4. Available from www:

<URL: <http://www.fs.vsb.cz/akce/1998/asr98/sbornik/spevak/spevak.htm>>

Aplikace metod umělé inteligence (umělé vidění a expertní systémy) ve zpracování digitálních obrázků biologických vzorků.

SPĚVÁK, L. **Význam systémů zákaznické podpory v procesu získávání a využívání firemních znalostí.** In Sborník Využití umělé inteligence v jakosti software, FSI VUT Brno, p. 44-49, Brno 2000. ISBN 80-214-1565-7

Návrh zlepšení procesů jakostního získávání znalostní pomocí prostředků umělé inteligence.

SPĚVÁK, L. **Využití fuzzy množin v managementu rizik.** In Sborník Informační technologie pro praxi. ČSSI, Tanger, VŠB Ostrava, p. 135-140, Ostrava 2000.

Aplikace fuzzy expertních systémů v managementu rizik.

SPĚVÁK, L. **Expertní systémy na bázi bayesovských sítí v oblasti managementu rizik.** In Sborník semináře Kontraktace a kompletace projektů, VUT FSI v Brně, Brno 2001, p. 5-13. ISBN 80-214-1934-2.

Aplikace expertních systémů na bázi teorie pravděpodobnosti v managementu rizik.

11.2 Pořadatelství odborných seminářů

Příprava semináře a sborníku

Kybernetika po padesáti letech. Kolektiv autorů. VUT FSI Brno 16.12.1998, 90 p. ISBN 80-214-1235-6. (Doc. Ing. Branislav Lacko, CSc., Ing. Libor Spěvák)

Příprava semináře a sborníku

Využití umělé inteligence v jakosti software. Kolektiv autorů. VUT FSI Brno 11.2.2000,

63 p. ISBN 80-214-1565-7. (Doc. Ing. Branislav Lacko, CSc., Ing. Libor Spěvák)

Vedení výuky v rámci Ústavu automatizace a informatiky VUT FSI Brno s náplní

- Systémová integrace
- Objektová analýza a design
- Rational Rose UML Modeling Tool

Přednášky v oblasti objektové analýzy a návrhu s použitím modelovacího jazyka UML a programovacího jazyka Java™ v rámci firmy Advanced Medical Information Systems a.s.

12 Literatura

- [1] Bayesian Belief Nets [online], Agena Ltd, Cambridge, UK, 1999. Available from www: <URL: <http://www.agena.co.uk>>.
- [2] BOEHM, B.W. Software Engineering Economics, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1981.
- [3] BOEHM, B.W. Software Risk Management: Principles and Practices. IEEE Software, 1991.
- [4] BOEHM, B.W. Tutorial: Software Risk Management. IEEE Computer Society Press, 1989.
- [5] BOOCH G., RUMBAUGH J., JACOBSON I. The Unified Modeling Language User Guide, Addison Wesley Longman, 1999.
- [6] BRADLEY, N. XML – kompletní průvodce. Grada Publishing. Praha, 2000.
- [7] COX, E. The Fuzzy Systems Handbook. Academic Press, Inc., Cambridge 1994.
- [8] DEMEL, J. Grafy. SNTL Praha. 1989.
- [9] DUBEN, J. Objektové modely podniku. Grada Publishing. Praha 1996.
- [10] DUNCAN, R. A Guide to the Project Management Body of Knowledge [online]. PMI Standards Committee, Project Management Institute, USA 1996. Available from www: <URL: <http://www.pmi.org>>.
- [11] FENTON, N. NEIL, M. Making Decisions: Using Bayesian Nets and MCDA. Computer Science Department Queen Mary and Westfield College, Agena Ltd, Cambridge 2000.
- [12] FENTON, N.E. NEIL, M. A Critique of Software Defect Prediction Models. In IEEE Transactions On Software Engineering, Vol. 25, No. 3, 1999.
- [13] FENTON, N.E., NEIL, M. Software Metrics and Risk. In FESMA 99 2nd European Software Measurement Conference, 1999.
- [14] FLANAGAN, D. Programování v jazyce JAVA. Computer Press. Praha 1997.
- [15] FOWLER, M., SCOTT, K. UML Distilled - Applying the Standard Object Modeling Language. Addison-Wesley, 1997.
- [16] FuzzyClips User Manual [online]. Institute for Information Technology, National Research Council Canada. Available from www: <URL: http://ai.iit.nrc.ca/IR_public/fuzzy/fuzzyClips/fuzzyCLIPSIndex.html>.
- [17] HECKERMAN, D. Bayesian Networks for Data Mining. Data Mining and Knowledge Discovery. 1997.
- [18] HECKERMAN, D., HORVITZ, E. A Bayesian Approach to Inferring a User's Needs from Free-Text Queries for Assistance. In Proceedings of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Morgan, 1998.
- [19] HOUSTON, D. Results of Survey on Potential Effects of Major Software Development Risk Factors [online]. Arizona State University, 1999. Available from www: <URL: <http://www.eas.asu.edu/~sdm/dhouston/risklist.htm>>.
- [20] Hugin Expert A/S, Aalborg, Denmark, Uživatelská příručka, 1999. Available from www: <URL: <http://www.hugin.dk>>.
- [21] JavaBayes Version 0.343, Bayesian Networks in Java [online]. Uživatelská příručka. Available from www: <URL: <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/user/fgcozman/www/home.html>>.
- [22] JENSEN, F., JENSEN, F.V., DITTMER, S.L. From Influence Diagrams to Junction Trees. In Proceedings of 10th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, San Francisco 1994.
- [23] JENSEN, F.V. An Introduction to Bayesian Networks. UCL Press, 1996.

- [24] JENSEN, F.V., LAURITZEN, S.L., OLESEN, K.G. Bayesian Updating in Causal Probabilistic Networks by Local Computations. *Computational Statistics Quarterly*, 1996.
- [25] KELEMEN, J., KUBÍK, A., LENHARČÍK, I., MIKULECKÝ, P. Tvorba expertních systémů v prostředí CLIPS. Grada Praha. 1999.
- [26] KOLLER, D., PFEFFER, A. Object Oriented Bayesian Networks. In Proceedings of 13th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Brown University, USA. Morgan Kaufman Publishers Inc, San Francisco, 1997.
- [27] KONTIO, J. The Riskit Method for Software Risk Management, version 1.0. Computer Science Technical Reports. University of Maryland. College Park, 1997. Available from www: <URL: http://wwwseg.cs.hut.fi/~jkontio/jko_pub.htm>
- [28] KONTIO, J., BASILI, V.R. Empirical Evaluation of a Risk Management Method. In Proceedings of the SEI Conference on Risk Management. Software Engineering Institute. Pittsburgh, PA, 1997.
- [29] KONTIO, J., BASILI, V.R. Risk Knowledge Capture in the Riskit Method. In Proceedings of the 21st Software Engineering Workshop. NASA. Greenbelt, Maryland. IEEE Computer Society. Washington, 1996.
- [30] KONTIO, J., ENGLUND, H. , BASILI, V.R. Experiences from an Exploratory Case Study with a Software Risk Management Method. Computer Science Technical Reports. University of Maryland, 1996.
- [31] KONTIO, J., PITKANEN, O., SULONEN, R. Towards Better Software Projects and Contracts: Commitment Specifications in Software Development Projects. In ICSE 98 Kyoto, Japan, IEEE Computer Society, 1998.
- [32] KONTIO, J., GETTO, G., LANDES, D. Experiences in Improving Risk Management Processes Using the Concepts of the Riskit Method. In SIGSOFT'98 6th International Symposium on the Foundations of Software Engineering, 1998.
- [33] LACKO, B. Jakostní informační systémy. Sborník konference Quality Management, VUT Brno, 1996.
- [34] LACKO, B. Standardizace software. Sborník semináře Standardizace a jakost software, VUT Brno, 1997.
- [35] LAURITZEN, S.L., SPIEGELHALTER, D.J. Local Computations with Probabilities on Graphical Structures and their Application to Expert Systems. In *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, Vol. 50, No 2, 1988.
- [36] LICHTENSTEIN, S., NEWMAN J.R. Empirical Scaling Of Common Verbal Phrases Associated With Numerical Probabilities. *Psychometric Science* 9(10), 1967.
- [37] MAŘÍK, V., ŠTĚPÁNKOVÁ, O., LAŽANSKÝ, J. A KOL. Umělá inteligence. Vol. I, II, III. Academia, Praha 1993, 1997, 2001.
- [38] MCCABE T. A Software Complexity Measure, *IEEE Trans. Software Engineering* SE-2(4), 1976.
- [39] NEIL, M., FENTON, N.E. Predicting Software Quality Using Bayesian Belief Networks. In Proceedings of the 21st Annual Software Engineering Workshop, NASA Goddard Space Flight Centre, 1996.
- [40] NEIL, M., FENTON, N.E., NIELSEN, L. Building large-scale Bayesian Networks. *Knowledge Engineering Review*, 1999.
- [41] Norma AQAP 150, AQUAP 170.

- [42] Norma Capability Maturity Model (CMM). Software Engineering Institute. 1993.
- [43] NOVÁK, V. Fuzzy množiny a jejich aplikace. SNTL. Praha 1986.
- [44] NOVÁK, V. Základy fuzzy modelování. BEN-Technická literatura. Praha 2000.
- [45] OMG Unified Modeling Language Specification Version 1.3 [online]. Available from www: <URL: <http://www.omg.org/>>.
- [46] ROSENAU, M.D. Řízení projektů. Computer Press, Praha 200.
- [47] SERENE consortium, SERENE (SafEty and Risk Evaluation using bayesian Nets): Method Manual, ESPRIT Project 22187, 1999. Available from www: <URL:<http://www.csr.city.ac.uk/people/norman.fenton/serene.htm>>.
- [48] SOFO Uživatelská příručka k expertnímu systému LMPS Ver. 6. 1996.
- [49] SPĚVÁK, L. Využití fuzzy množin v managementu rizik. In Sborník semináře Informační technologie pro praxi. Tanger, Ostrava 200.
- [50] ŠTĚPÁNEK, M. Prognózování v technické a ekonomické praxi. Vysokoškolská skripta VA Brno. 1995.
- [51] ŠTĚPÁNEK, M. A Contribution to the Fuzzy Approach in the Risk Management. In 5th Conference MENDEL'99. Brno, 1999.
- [52] ŠTĚPÁNEK, M., ŠEBESTA, M. Identifikace rizik při řízení akvizičního procesu a provozu vojenské techniky. Odborná studie. Vojenský technický ústav ochrany Brno. Brno, 2000.
- [53] ŠTĚPÁNEK, M. , ŠEBESTA, M. Manažerský postup při stanovení rizik a jejich redukce. Odborná studie. Vojenský technický ústav ochrany Brno. Brno, 2000.
- [54] The SERENE Tool Ver.1. Available from www: <URL: <http://www.hugin.dk/serene/>>
- [55] TRACS (Transport Reliability Assessment & Calculation System): Overview, DERA project E20262, 1999. Available from www: <URL: <http://www.agenaco.uk/tracs/index.html>>.
- [56] VONDRÁK, I. Umělá inteligence a neuronové sítě. Vysokoškolská skripta, VŠB Ostrava, 1995.
- [57] VOŘÍŠEK, J. Strategické řízení informačního systému a systémová integrace. Management Press, Praha 1999.
- [58] WATSON, A.H., MCCABE, T.J. Structured Testing: A Testing Methodology Using the Cyclomatic Complexity Metric. NIST Special Publication 500-235. Computer Systems Laboratory, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, 1996.
- [59] ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. Information and Control 8. 1995.
- [60] ZBOŘIL, F., HANÁČEK, P. Umělá inteligence. Vysokoškolská skripta, VUT FE, Brno 1991.