

Návrh a realizácia aplikácie na analýzu výrobných procesov pomocou Petriho sietí

Rudolf REPČÍN, Matej ČOPIK, Ján JADLOVSKÝ

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Technická univerzita v Košiciach, Slovenská republika

rudolf.repcin@student.tuke.sk, matej.copik@tuke.sk, jan.jadlovsky@tuke.sk

Abstrakt — Tento článok popisuje návrh a realizáciu aplikácie pre analýzu výrobných procesov modelovaných pomocou Petriho sietí. V úvodnej časti popisuje problematiku výrobných procesov a ich modelovania. V ďalšej časti sú popísané časti a funkcie aplikácie a v poslednej časti sú funkčnosť a možnosti aplikácie demonštrované na príklade modelu výrobnej linky.

Kľúčové slová — výrobná linka, Petriho siete, aplikácia v jazyku C#, modelovanie

I. ÚVOD

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť a realizovať aplikáciu, ktorá by slúžila ako nástroj pre výpočty s maticami Petriho siete, ich editáciu, a analýzu výrobných liniek popísaných Petriho sieťou. Aplikácia môže byť použiteľná pri výpočtoch časov výroby alebo nákladov na výrobu výrobkov, takisto na analýzu stavov Petriho siete a rôzne štatistické výpočty. Mala by slúžiť hlavne ako pomôcka pri optimalizácii výrobných procesov.

II. MODELOVANIE VÝROBNÝCH PROCESOV POMOCOU PETRIHO SIETÍ

Dnešné výrobné systémy sú veľmi komplexné a náklady na zostavenie a údržbu mnohých z nich sú vysoké.

Monitorovanie funkčnej činnosti týchto systémov má významnú úlohu v automatizovanej výrobe, kde na výrobu nedohliada človek osobne. Výber monitorizačných funkcií, ktoré je potrebné identifikovať a monitorovať najmä v zložitých výrobných systémoch je zväčša problémový.

Jedna z efektívnych metód pre výber monitorizačných funkcií je metóda založená na využívaní Petriho siete (PS). Na opis správania sa systémov možno za najpoužívanejšie považovať PS a ich mnohé modifikácie. Mnohé vlastnosti PS umožňujú konštruovanie hierarchických štruktúr, ktoré sú vhodné pri projektovaní zložitých systémov ako aj modelovanie jednotlivých výstavbových prostriedkov robotizovaných výrobných systémov.

Pre vhodný návrh riadenia pre proces je nutné mať o tomto procese čo najviac informácií. Poznať správanie daného systému v jednotlivých situáciách, poznať jeho požiadavky na riadenie a rovnako aj fyzikálne či iné obmedzenia špecifické pre daný systém. Je dôležité mať jasne stanovené aké sú ciele systému a ktoré akcie majú akú prioritu, aby nedochádzalo v systéme ku kolíziám.

Cieľom požiadaviek na poznanie systému je mať k dispozícii čo najlepší všeobecný model, ktorý čo najdokonalejšie popisuje dynamiku daného systému. Čím je model všeobecnejší, tým lepšie je ho možné analyzovať. Slabou stránkou Petriho sietí je problém komplexity, čiže modely založené na Petriho sieťach majú tendenciu byť príliš veľké aj pri stredne veľkých systémoch.[1]

Modelovanie pomocou Petriho sietí sa uskutočňuje sa na úrovni stavov výrobného procesu. V modeli sú určené činnosti, ktoré sa vykonávajú v systéme, stavy, ktoré predchádzajú týmto činnostiam a stav, do ktorého sa systém dostane po vykonaní činností. Simulovaním tohto stavového modelu pomocou Petriho sietí môžeme získať popis správania sa systému.[4]

III. POUŽITÉ TECHNOLOGIE

Na úpravu zdrojového kódu bolo použité integrované vývojové prostredie Microsoft Visual Studio 2010 od spoločnosti Microsoft. Použitá je platforma .NET Framework 4. Aplikácia je napísaná v jazyku C#.

IV. REALIZÁCIA APLIKÁCIE

Pri tvorbe aplikácie bolo dôležité vychádzať z cieľov, na ktoré ma program slúžiť. Pre jednotlivé ciele bola aplikácia rozčlenená na viaceré časti popísané v nasledujúcich podkapitolách.

A. Editor matic

Ako vstupy do aplikácie sú potrebné matice **Pre** a **Post** a vektor počiatočného značenia M_0 . Zdroj týchto údajov predstavuje editor matic, v ktorom je možné zadať:

- hodnoty váh vstupných hrán prechodov – matica **Pre**
- hodnoty váh výstupných hrán prechodov – matica **Post**
- počiatočné značenie Petriho siete – vektor M_0
- kapacity jednotlivých miest

Okrem editora matic je možné potrebné údaje načítať z textového súboru v predvolenom formáte. Zadané údaje je takisto možné do textového súboru aj uložiť.

B. Editor údajov potrebných pre analýzu časovanej PS alebo PS s priradenými nákladmi

Ďalšie vstupy od používateľa sú po načítaní Petriho siete aj dáta, ktoré sú potrebné pre analyzovanie výkonnosti výrobnéj linky a štatistické výpočty. Na tento účel bolo vytvorený editor pre úpravu týchto dát. Obsahuje tieto funkcie:

- zadávanie časov a nákladov pre jednotlivé miesta P-časovanej PS
- zadávanie časov a nákladov pre jednotlivé prechody T-časovanej PS
- výpočet času alebo nákladov potrebných na výrobu 1 výrobku alebo po konkrétny stav v sieti
- zadávanie požadovaných hodnôt, pre ktoré je možné vykonať analýzu PS a zistiť tak predpokladanú výrobu

C. Okno výsledkov analýzy

Pre zobrazenie výsledkov analýzy bolo vytvorené okno, ktoré zobrazuje dané informácie v jednotlivých tabuľkách. V okne sa môže vyskytnúť maximálne 5 tabuliek:

- tabuľka s výsledkom času a nákladov potrebných na výrobu 1 výrobku
- tabuľka pre používateľom zadaný čas, ktorá zobrazuje informácie o celkových nákladoch a počte výrobkov pri danej výrobe, a čase, ktorý nebude pri výrobe využitý
- tabuľka pre používateľom zadané náklady, ktorá zobrazuje informácie o celkovom čase a počte výrobkov pri danej výrobe, a nákladoch, ktoré nebudú pri výrobe využité
- tabuľka pre používateľom zadaný počet výrobkov, ktorá zobrazuje informácie o celkových nákladoch a čase potrebnom pri danej výrobe, a čase, ktorý nebude pri výrobe využitý
- tabuľka pre zobrazenie času potrebného na údržbu výrobnéj linky pre zadaný požadovaný hodinový výkon linky

D. Globálne štatistiky pre miesta a prechody PS

Z okna analýzy je možné zobrazíť štatistiky pre miesta a prechody PS, ktoré vznikli pri simulácii PS. Obsahuje informácie o počte značiek, ktoré odišli a prišli z/do jednotlivých miest, priemernom čase medzi dvoma odchodmi/príchodmi značiek z/do jednotlivých miest, hodnoty priemerného času čakania značky v jednotlivých miestach a počet prepálení jednotlivých prechodov a priemerný čas medzi dvoma úspešnými prepáleniami daného prechodu.

Údaje je možné exportovať do Excel dokumentu.

E. Výpočet prepaľovacej sekvencie

Na zistenie prepaľovacej sekvencie, ktorú je potrebné použiť pri transformácii PS zo stavu M_0 do stavu M_X bolo vytvorené okno pre tento výpočet. Vyžaduje poznanie požadovaného stavu, pre ktorý chceme určiť sekvenciu prepálenia jednotlivých prechodov. Tento stav je možné vyčítať zo zoznamu dosiahnuteľných stavov Petriho siete.

F. Dosiahnuteľné stavy

Pre efektívnu simuláciu a analýzu PS je potrebné poznať všetky možné stavy, do ktorých sa daná PS dostane. V okne dosiahnuteľných stavov PS je zoznam stavov dosiahnuteľných zo stavu M_0 .

G. Náhľad zadaných údajov

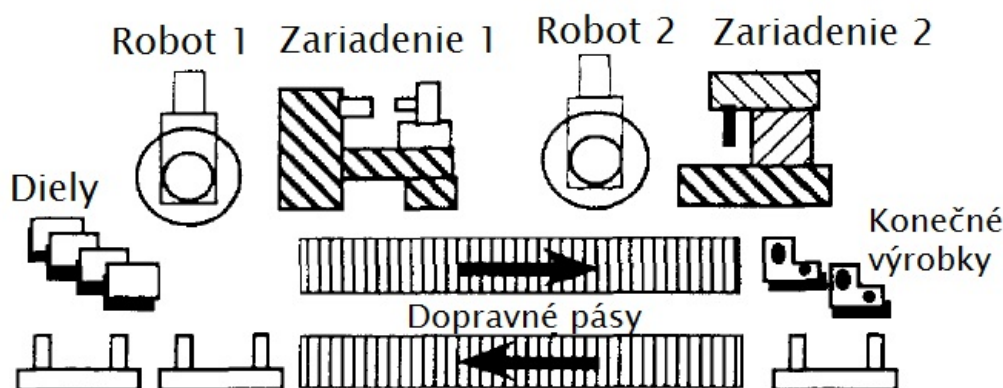
Pre prehľad zadaných údajov, čiže údajov z editora matic bolo vytvorené prehľadné okno, ktoré slúži na prístup k daným maticiam pri práci s programom.

V. PRÍKLAD VÝROBNEJ LINKY

Na zadanom modeli výrobného procesu bude ukázaná funkčnosť a možnosti aplikácie.

A. Popis výrobnéj linky

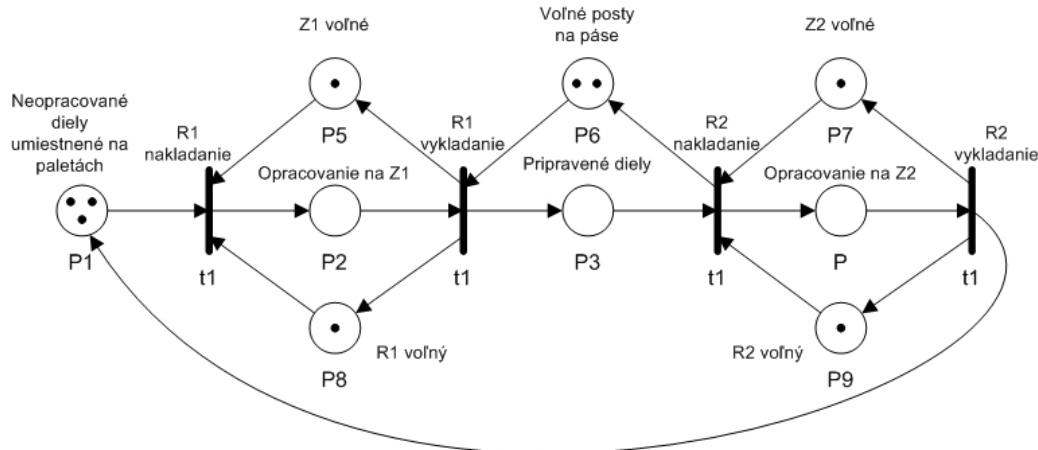
Majme výrobnú linku skladajúcu sa z týchto zariadení a častí:



Obr. 1 Zariadenia a časti výrobnéj linky [3]

Výrobná linka pozostáva z dvoch zariadení na montáž dielcov, dvoch manipulátorov a dvoch dopravných pásov. Každé montážne zariadenie je obsluhované jedným ramenom, ktoré vykonáva ukladanie a vyberanie dielov. Jeden dopravný pás sa používa na prepravu dielov, najviac dva naraz. Po druhom páse sa prepravujú prázdne palety. V tomto systéme sú k dispozícii 3 palety. Každý diel je montovaný a opracovaný na oboch strojoch Z1 a Z2 v tomto poradí. Proces, ktorý sa vykonáva na zariadení Z1 trvá 10 sekúnd a je naňho potrebné vynaložiť náklady 5€, na druhom zariadení to je 16 sekúnd a náklady sú 6€. [3]

Výrobný proces, ktorý sa vykonáva prostredníctvom tejto linky je možné namodelovať pomocou Petriho siete. Na Obr. 2 sa nachádza zjednodušený model takéhoto procesu.



Obr. 2 Model výrobnéj linky

B. Výstupy z aplikácie

Z daného grafu a z popisu výrobnéj linky môžeme vyčítať matice **Pre**, **Post**, vektor M_0 , časy a náklady potrebné na realizáciu jednotlivých procesov. Tieto údaje je možné zadať do aplikácie na ďalšie spracovanie. Výstup zadaných matic je na Obr. 3 a Obr. 4.

Pre					Post					M0	
	t1	t2	t3	t4		t1	t2	t3	t4		
P1	1	0	0	0	P1	0	0	0	1	P1	3
P2	0	1	0	0	P2	1	0	0	0	P2	0
P3	0	0	1	0	P3	0	1	0	0	P3	0
P4	0	0	0	1	P4	0	0	1	0	P4	0
P5	1	0	0	0	P5	0	1	0	0	P5	1
P6	0	1	0	0	P6	0	0	1	0	P6	2
P7	0	0	1	0	P7	0	0	0	1	P7	1
P8	1	0	0	0	P8	0	1	0	0	P8	1
P9	0	0	1	0	P9	0	0	0	1	P9	1

Obr. 3 Matice **Pre**, **Post** a vektor M_0

Inциденčná matica				
	t1	t2	t3	t4
P1	-1	0	0	1
P2	1	-1	0	0
P3	0	1	-1	0
P4	0	0	1	-1
P5	-1	1	0	0
P6	0	-1	1	0
P7	0	0	-1	1
P8	-1	1	0	0
P9	0	0	-1	1

Obr. 4 Incidenčná matica

M0 : 3 0 0 0 1 2 1 1 1
M1 : 2 1 0 0 0 2 1 0 1
M2 : 2 0 1 0 1 1 1 1 1
M3 : 1 1 0 1 0 2 0 0 0
M4 : 2 0 1 0 1 1 1 1 1
M5 : 1 1 0 1 0 2 0 0 0
M6 : 2 0 1 0 1 1 1 1 1
M7 : 1 1 0 1 0 2 0 0 0
M8 : 2 0 1 0 1 1 1 1 1
M9 : 1 1 0 1 0 2 0 0 0

Obr. 5 Dosiiahnuteľné stavy zo stavu M_0

Zadané údaje je možné použiť pri výpočte prepaľovacej sekvencie na základe niektorého zo stavov dosiahnuteľných zo stavu M_0 (Obr. 5). Pri zadaní stavu M_3 je možné zistiť, ktoré prechody budú prepálené, pokiaľ sa sieť nedostane do zadaného stavu M_3 . Na základe vzorca:

$$C^+ * \sigma = \Delta M,$$

a Penroseovho algoritmu pre výpočet pseudoinverznej matice bude výstup programu

$$\sigma_3: 2t1, t2, t3$$

kde $\Delta M = M_d - M_0$ a $\sigma = \sum_{k=1}^d u_k$. Vektor u predstavuje postupnosť prepálení a

matice C^+ je pseudoinverznou k incidenčnej matici C .

Znamená to, že PS potrebuje na transformáciu zo stavu M_0 do stavu M_3 prepáliť 2-krát prechod t1 a raz prepáliť prechody t2 a t3.

Hlavná časť aplikácie nám umožní analyzovať danú PS. Z popisu výrobnéj linky zistíme, že ide o P-časovanú PS a miesta P2 a P4 majú priradené časy 10 a 16 sekúnd a náklady 5€ a 6€. Po zadaní týchto údajov je ešte možné PS analyzovať z hľadiska konkrétneho času a nákladov, počtu výrobkov a je možné vypočítať čas údržby počas x-hodinovej zmeny.

Vstupy:

čas – 2 hodiny, 30 minút
 počet výrobkov – 50

náklady - 250€
 hodinový výkon linky – 200

Výstupy:

Na Obr. 6 sú zobrazené výsledné údaje.

- Pre zadaný čas je možné vyrobiť reálne 392 až 448 výrobkov, čo je oproti ideálnemu výkonu výrobnéj linky zníženie o takmer o 100 až 160 výrobkov. Podľa [2] je ideálny hodinový výkon 100%, pričom reálny je znížený o 20 až 30%, u niektorých systémov aj viac. Je to z dôvodu určitých nárokov na obsluhu zariadenia. Obsluha zariadenia môže predstavovať napr. odstraňovanie chýb, výmenu chýbajúceho materiálu na paletách, údržbu výrobnéj linky a pod.
- Pre zadané náklady je zobrazená predpokladaná výroba pri 100% ideálnom výkone. Reálne sa za 250€ dá vyrobiť 22 výrobkov, ale pri zvýšenom čase o 106 až 228 sekúnd.
- Daný počet výrobkov rovný 50 je možné reálne vyrobiť, ale takisto sa zvyšuje čas oproti ideálnej výrobe o takmer 3 a pol až 6 minút.
- Nakoniec je pre hodinový výkon linky vypočítaný čas, ktorý ostáva na údržbu linky, čo je 6 a pol minúty na 1 hodinu behu linky. Pri 6 hodinovej zmene je teda možné na údržbu linky obetovať 39 minút.

V editori údajov pre analýzu je ešte možné použiť zadané údaje na vypočítanie času výroby a nákladov na ňu po nejaký špecifický stav. Ak napr. zadáme stav M_5 : [0 1 1 1 0 1 0 0 0] z okna dosiahnuteľných stavov, ale pre časovanú sieť, po analýze zistíme, že ak sa chceme dopracovať k tomuto stavu, bude to trvať 20 sekúnd a stáť 10€.

Časové oneskorenie pri výrobe 1 výrobku: 26 sekúnd
Náklady spojené s výrobou 1 výrobku: 11

Zadaný čas:	2 hodiny 30 minút
Počet výrobkov, ktoré je možné vyrobiť za daný čas:	448
Náklady na výrobu:	4928
Nevyužitý čas:	14 sekúnd

Zadané náklady:	250
Počet výrobkov, ktoré je možné vyrobiť pri daných nákladoch:	22
Čas potrebný na výrobu:	6 minút 2 sekundy
Prebytočné náklady:	8

Zadaný počet výrobkov:	50
Čas, za ktorý je možné daný počet výrobkov vyrobiť:	19 minút 17 sekúnd
Náklady na výrobu:	550

Požadovaný hodinový výkon výrobnéj linky (ks):	200
Čas údržby linky počas 1 hodiny:	6 minút 30 sekúnd
Zadajte čas chodu výrobnéj linky:	
6	Počas 6-hodinovej zmeny ostane na údržbu linky 39 minút

Výsledné dáta pri 80% výkone
Zadajte výkon v %
100
80
70
[Globálne štatistiky PS](#)

Výsledné dáta pri 100% výkone
Zadajte výkon v %
100
80
70
[Globálne štatistiky PS](#)

Výsledné dáta pri 70% výkone
Zadajte výkon v %
100
80
70
[Globálne štatistiky PS](#)

OK

Obr. 6 Výsledky analýzy

Aplikácia ešte umožňuje zobraziť štatistiky pre miesta a prechody pri 100% výkone linky pre zadaný čas alebo počet výrobkov. Výsledné údaje sú na Obr. 7.

Počet udalostí: 203
 Štatistiky sa zobrazujú pre:
Počet výrobkov: 50 **Čas:** 13 minút 46 sekúnd

	Počet príchodov značiek do miesta	Priemerný čas medzi dvoma príchodmi značiek	Počet odchodov značiek z miesta	Priemerný čas medzi dvoma odchodmi značiek	Priemerný čas nečinnosti značky v mieste
▶ P1	49,00	16,00	52,00	15,57	0,08
P2	52,00	15,57	52,00	15,57	10,00
P3	52,00	15,57	50,00	16,00	20,96
P4	50,00	16,00	50,00	16,00	16,00
P5	52,00	15,57	52,00	15,57	5,57
P6	50,00	16,00	52,00	15,57	9,88
P7	49,00	16,00	50,00	16,00	0,00
P8	52,00	15,57	52,00	15,57	5,57
* P9	49,00	16,00	50,00	16,00	0,00

	Počet prepálení prechodu	Priemerný čas medzi dvoma úspešnými prepáleniami
▶ t1	52,00	15,57
t2	52,00	15,57
t3	50,00	16,00
* t4	49,00	16,00

Uložiť Zavrieť

Obr. 7 Globálne štatistiky

VI. ZÁVER

Výrobné procesy sú zložitým problémom a správny návrh ich riadenia a návrh výrobných liniek je veľmi dôležitý z hľadiska efektívnej výroby a optimalizácie výrobných nákladov a času potrebného na výrobu. Táto aplikácia môže napomôcť v odsimulovaní daného výrobného procesu a prípadnom jeho doladení a vylepšení.

V tomto štádiu podporuje hlavne časované Petriho siete, ale v budúcnosti je priestor na rozšírenie aplikácie aj o iné typy Petriho sietí a takisto o ďalšie funkcie. Je možné pridať grafický editor a zobrazovanie ďalších štatistík a výpočtov pri analýze PS. Takisto by bolo vhodné optimalizovať algoritmy, ktoré by zahŕňali čo najväčší počet prípadov, ktoré môžu pri modelovaní pomocou Petriho sietí nastať.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola vytvorená realizáciou projektu Rozvoj Centra informačných a komunikačných technológií pre znalostné systémy (kód ITMS projektu: 26220120030) na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Táto práca bola podporená z vedeckého projektu Vega č. 1/0286/11 Grantovej agentúry SR pod názvom „Dynamické hybridné architektúry v multiagentových sieťových riadiacich systémoch“.

LITERATÚRA

- [1] MURATA, T. 1989. Petri nets: Properties, analysis and applications. In Proceedings of the IEEE, Vol.77, No.4, s 541 – 580
- [2] MADARÁSZ, L. 2006. Integračné aspekty tvorby a prevádzky systémov CIM : 2.vydanie. Košice : Elfa, s.r.o., 2006. 380 s. ISBN 80-86-043-2
- [3] ZURAWSKI, Richard – ZHOU, MengChu: Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial. IEEE Transactions on Industrial Electronics [online]. IEEE Industrial Electronics Society, Vol.41, No.6, 1994. Dostupné na internete: < <http://class.ee.iastate.edu/cpre545/refs/PetriNets1.pdf>>. ISSN 0278-0046.
- [4] COMAN, Daniela et al.: Manufacturing System Modeling Using Petri Nets. International Conference on Economic Engineering and Manufacturing Systems [online]. Recent, Vol.10 (2009), No.3 (27). Dostupné na internete: < http://www.recentonline.ro/027/COMAN_Daniela.pdf>.