

Modelowanie procesów mnogich/masowych PRM przy wykorzystaniu czasowej sieci Petriego

1. Wprowadzenie do czasowych sieci Petriego

Sieci Petriego są matematycznym narzędziem, zaproponowanym przez K.A. Petriego w 1964 r., służącym do modelowania i analizy własności systemów, w których naturalnym zjawiskiem jest występowanie akcji współbieżnych³. Intuicyjny graficzny język modelowania sieci, wsparty formalnymi metodami badania ich własności, pozwala na opis struktury systemu, jego dynamiki oraz weryfikację jego specyfikacji. Od czasu zapoczątkowania teorii sieci Petriego powstały także różne rozszerzenia podstawowej wersji sieci. Rozważany model czasowej sieci Petriego z przedziałami dostępności dla łuków oraz wiekiem dla żetonów (ang. *contextual Timed Petri Net*, c-TdPN) jest rozszerzeniem zwykłego modelu sieci o aspekt czasu ciągłego⁴ i kontekst wykonywanych akcji⁵.

Model sieci może być reprezentowany przez graf o wierzchołkach dwóch typów: miejscach oznaczanych graficznie kółkami i tranzycjach oznaczanych prostokątami. Stan systemu jest reprezentowany przez funkcję b , określającą liczbę żetonów w każdym miejscu sieci. Tranzycje reprezentują wykonanie akcji systemu. Obecność żetonu w miejscu ma pewne znaczenie i może w szczególności reprezentować wystąpienie obiektu w systemie w jego konkretnej części, przykładowo uszkodzowanego w karetce. Wiek żetonu jest nieujemną wartością rzeczywistą reprezentującą czas istnienia żetonu w konkretnej części systemu. Dla przykładu może to być czas przebywania uszkodzowanego w karetce

¹ Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Wydział Matematyki, Informatyki i Architektury Krajobrazu, Instytut Matematyki i Informatyki.

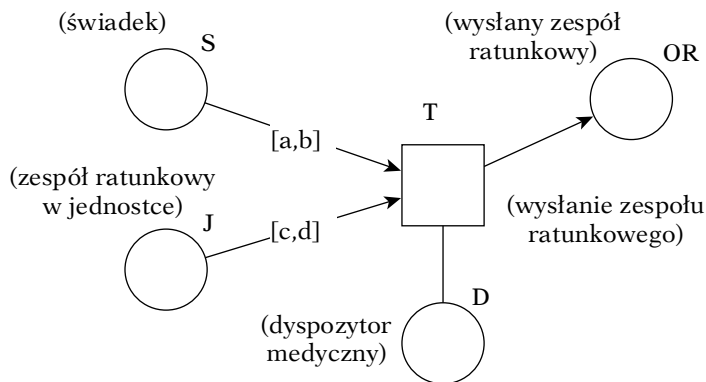
² Szkoła Główna Handlowa, Zakład Zarządzania Informatyką, Instytut Informatyki i Gospodarki Cyfrowej.

³ C.A. Petri, *Communication with automata*, GAFB, Nowy Jork 1966.

⁴ B. Walter, *Timed Petri-Nets for Modelling and Analyzing Protocols with Real-Time Characteristics*, „Protocol Specification, Testing, and Verification III”, Elsevier Science Publ.B.V., North Holland 1983, s. 149–159.

⁵ U. Montanari, F. Rossi, *Contextual nets*, „Acta Informatica” 1995, vol. 32, iss. 6, s. 545–596.

od momentu, gdy do niej zostanie wprowadzony. Miejsca z tranzycjami i tranzycje z miejscami mogą być połączone łukami skierowanymi, oznaczając tym pewną przyczynowość pomiędzy stanami i akcjami w systemie. Połączenia mogą być także łukami nieskierowanymi, oznaczającymi przyczynowość bez wpływu na zmianę stanu. Tranzycja jest nazywana umożliwiającą i może być wykonana, jeżeli z każdego miejsca, z którego prowadzą do niej łuki można wybrać po jednym żetonie, którego wiek pasuje do przedziału dostępności łuku. Przykładowo na rysunku nr 1 przedstawiono fragment systemu modelujący akcję wysłania zespołu ratunkowego do zdarzenia, reprezentowaną przez tranzycję b . Jeżeli dojdzie do wypadku przy obecności świadka, to dostępny dyspozytor medyczny może wysłać dostępny zespół ratunkowy najwcześniej w momencie b od tego zdarzenia, ale nie później niż do momentu b . Przekroczenie momentu b może być tragiczne dla poszkodowanych.



Rysunek nr 1. Akcja wysłania oddziału ratunkowego do zaistniałego zdarzenia

Źródło: opracowanie własne

Obecność żetonu w miejscach S , J , D i OR oznacza kolejno zgłoszenie świadka zdarzenia, zespół ratunkowy dostępny w jednostce, dyspozytora medycznego oraz zespół ratunkowy wysłany do zdarzenia. Jeżeli wiek żetonu świadka będzie nie mniejszy niż a i nie większy niż b , zespół ratunkowy będzie dostępny pomiędzy momentami c i d , a dyspozytor jest dostępny, to może nastąpić akcja wysłania zespołu ratunkowego, reprezentowanego dalej jako żeton w miejscu OR . Wykonanie T powoduje zużycie zasobów świadka i zespołu ratunkowego reprezentowanych przez żetony odpowiednio w S i J .

Stan modelowanego systemu może zmienić się na skutek: upływu wieku dla żetonów w miejscach lub dyskretnej wykonania umożliwionej tranzycji. W pierwszym przypadku wiek wszystkich żetonów modelu jest aktualizowany

stosownie do upływu czasu. W drugim przypadku z miejsc, z których wychodzą łuki skierowane do tranzycji żetony zostają zabrane, a nowe żetony z wiekiem 0 zostają umieszczone w miejscach, do których prowadzą łuki skierowane wychodzące z tranzycji.

Opisane rozszerzenie czasowe pozwala na modelowanie upływu czasu bezpośrednio dla obiektów systemu oraz nakładanie ograniczeń czasowych na dane wejściowe potrzebne do przeprowadzenia akcji systemu.

2. Obszar zastosowania

Model c-TdPN, a także inne czasowe rozszerzenia sieci Petriego, można z powodzeniem twórczo stosować do opisu, poznawania i badania procesów decyzyjnych występujących w dziedzinie medycyny ratunkowej.

Państwowe Ratownictwo Medyczne (PRM) jest systemem powołanym dla celów realizacji zadań polegających na zapewnieniu pomocy każdej osobie znajdującej się w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego. Zasady organizacji, funkcjonowania i finansowania systemu oraz zasady zapewnienia edukacji w zakresie udzielania pierwszej pomocy są określone w ustawie o PRM⁶. Głównym dokumentem, na którym bazuje funkcjonowanie systemu PRM w danym województwie jest „Wojewódzki plan działania systemu Państwowego Ratownictwa Medycznego”, którego wzór opublikowano w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 15 grudnia 2014 r.⁷ Plan dla województwa jest sporządzany i aktualizowany przez wojewodę i zatwierdzany przez ministra ds. zdrowia. Główne informacje, dotyczące danego województwa, zawarte w planie to:

- charakterystyka potencjalnych zagrożeń dla życia lub zdrowia,
- informacja o jednostkach systemu PRM,
- informacja o planowanych nowych, przenoszonych lub likwidowanych jednostkach systemu PRM na kolejne lata,
- opis struktury systemu powiadamiania o stanach nagłego zagrożenia zdrowotnego oraz informacje o lokalizacji centrów powiadamiania ratunkowego i stanowisk dyspozytorów medycznych,

⁶ Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym, tekst jedn.: Dz.U. 2017, poz. 2195.

⁷ Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 15 grudnia 2014 r. w sprawie wojewódzkiego planu działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne oraz kryteriów kalkulacji kosztów działalności zespołów ratownictwa medycznego, Dz.U. 2014, poz. 1902.

- sposób współpracy wojewody i dysponentów jednostek systemu z organami administracji publicznej i jednostkami systemu PRM z innych województw,
- sposób współpracy jednostek systemu PRM z jednostkami współpracującymi z systemem PRM,
- kalkulacja kosztów działalności zespołów ratownictwa medycznego, z wyłączeniem lotniczych zespołów ratownictwa medycznego.

Procedury postępowania jednostek PRM są normowane przez rozporządzenia ministra zdrowia. Przykładowo dyspozytorów medycznych obowiązuje rozporządzenie w sprawie ramowych procedur przyjmowania wezwań przez dyspozytora medycznego i dysponowania zespołami ratownictwa medycznego⁸. Określa ono m.in. ramowy sposób przyjmowania zgłoszeń.

W literaturze dostępne są także opracowania eksperckie wspomagające funkcjonowanie jednostek PRM. Jednym z nich jest opracowanie, skierowane także do dyspozytorów medycznych, dotyczące procedur wspomagania decyzji w zakresie przyjęcia zgłoszenia, kwalifikacji zgłoszenia oraz dysponowania zespołami ratownictwa medycznego w danym zdarzeniu⁹.

Specjalistyczne procedury postępowania, w szczególności wystąpienie zdarzeń mnogich/masowych, są opisane w dodatkowych dokumentach – zaleceniach. Dokument pt. „Zalecenia Konsultanta Krajowego w dziedzinie medycyny ratunkowej dotyczące procedur postępowania na wypadek wystąpienia zdarzenia mnogiego/masowego”, autorstwa prof. dr. hab. n. med. Jerzego Ładnego, zawiera opis procedur postępowania dla odpowiednich jednostek w systemie Państwowego Ratownictwa Medycznego w razie wystąpienia zdarzeń mających charakter mnogich lub/i masowych (ZMM). Przez zdarzenie masowe należy rozumieć „zdarzenie, w wyniku którego określone w procesie segregacji poszkodowanych **zapotrzebowanie** na kwalifikowaną pierwszą pomoc i medyczne czynności ratunkowe realizowane w trybie natychmiastowym **przekracza możliwości sił i środków** podmiotów ratowniczych obecnych na miejscu zdarzenia w danej fazie działań ratowniczych”¹⁰. Natomiast przez zdarzenie mnogie

⁸ Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 stycznia 2014 r. w sprawie ramowych procedur przyjmowania wezwań przez dyspozytora medycznego i dysponowania zespołami ratownictwa medycznego, Dz.U. 2014, poz. 66.

⁹ R. Gałązkowski, *Procedury wspomagające podjęcie decyzji przez dyspozytora medycznego w zakresie przyjęcia zgłoszenia, kwalifikacji zgłoszenia oraz dysponowania zespołami ratownictwa medycznego do różnych stanów nagłego zagrożenia zdrowotnego*, Warszawa, 10 grudnia 2013 r., <http://ratunek24.pl/media/upload/Procedury%20dla%20dyspozytor%C3%B3w%20medycznych.pdf> (data odczytu: 3.11.2017).

¹⁰ J.R. Ładny, *Zalecenia Konsultanta Krajowego w dziedzinie medycyny ratunkowej dotyczące procedur postępowania na wypadek wystąpienia zdarzenia mnogiego/masowego*, Warszawa 2015, s. 6.

należy rozumieć „zdarzenie, którego zagrożenia dotyczą **więcej niż jednej osoby** poszkodowanej znajdującej się w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego, ale określone w wyniku segregacji poszkodowanych **zapotrzebowanie** na kwalifikowaną pierwszą pomoc i medyczne czynności ratunkowe realizowane w trybie natychmiastowym **nie przekracza możliwości sił i środków** podmiotów ratowniczych obecnych na miejscu zdarzenia”¹¹.

Przykładowo sposób postępowania dyspozytora medycznego (DM) przy zgłoszeniu mogącym być zdarzeniem mnogim i/lub masowym, w którym może podjąć się pełnienia funkcji dyspozytora medycznego kierującego (DM-K), przedstawiono w 4 punktach:

1. „przyjęcie powiadomienia o zdarzeniu zgodnie z rozporządzeniem (...),
2. zakwalifikowanie zdarzenia jako zdarzenia o potencjalnym charakterze mnogim/masowym,
3. podjęcie decyzji o uruchomieniu postępowania zgodnie z procedurą – zdarzenie mnogie/masowe,
4. przekazanie informacji o uruchomieniu procedury – zdarzenie mnogie/masowe osobie, która będzie pełnić funkcje dyspozytora medycznego kierującego DM-K, w sytuacji gdy dyspozytor medyczny odbierający powiadomienie o zdarzeniu nie będzie pełnił funkcji DM-K”¹².

Zalecenie konsultanta zawiera m.in. opis sposobu postępowania dla 11 jednostek, 10 kart działań oraz 11 kart oceny przebiegu zdarzenia. Dokument jest przygotowany w sposób ułatwiający przyswojenie krytycznych informacji dla danej jednostki systemu bez konieczności zapoznawania się z całym dokumentem.

3. Modelowanie systemu

Działanie systemu wykonującej procedurę według postępowania DM można przedstawić jako maszynę stanową, jeden ze znanych modeli języka UML¹³, ze stanem początkowym „Czuwanie DM”.

¹¹ Ibidem.

¹² Ibidem, s. 9.

¹³ S. Wrycza, B. Marcinkowski, K. Wyrzykowski, *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2006, s. 143–172.



Rysunek nr 2. Maszyna stanowa zachowania reprezentująca sposób postępowania DM przy zgłoszeniu mającym charakter ZMM

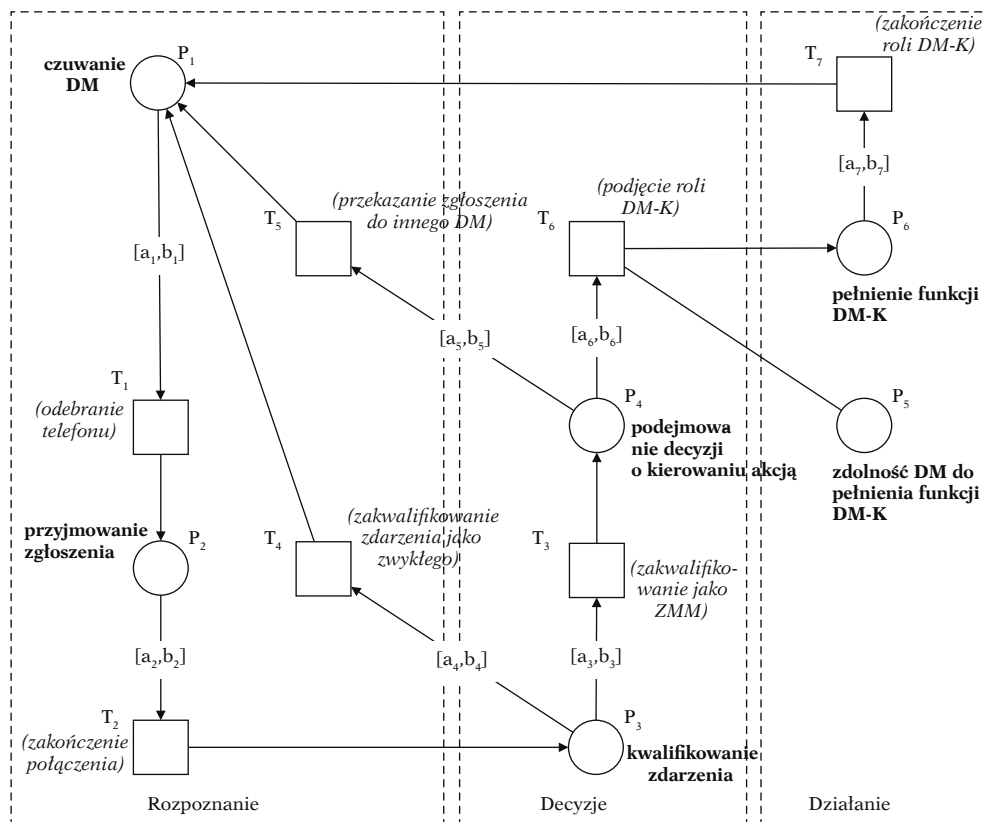
Źródło: opracowanie własne

Węzły grafu (rysunek nr 2) reprezentują możliwe stany systemu, natomiast łuki możliwe akcje zmieniające stan systemu. Każda akcja jest opatrzona warunkiem i nazwą w postaci [warunek]/nazwa akcji.

Wybrana procedura charakterystyczna dla ZMM może być także podstawą do opracowania odpowiedniego modelu czasowej sieci Petriego oddającego współdziałanie występujących w niej obiektów, relacji pomiędzy nimi oraz pomiędzy nimi a otoczeniem.

Jeżeli dla sieci zostanie określony stan początkowy, to w niektórych miejscach grafu mogą pojawić się żetony z określonym wiekiem. Na rysunku nr 3 umieszczenie żetonów z wiekiem 0 w miejscach P_1 i P_5 reprezentuje w momencie 0 odpowiednio gotowość DM do pracy (P_1) oraz jego zdolność do pełnienia funkcji DM-K (P_5).

Graf sieci z rysunku nr 3 można scharakteryzować, opisując znaczenie miejsc, tranzycji, połączeń z wyróżnionymi przedziałami dostępności pomiędzy nimi oraz obecność żetonów w miejscach.



Rysunek nr 3. Model c-TdPN sposobu postępowania w obszarze zadań DM-K dla DM

Źródło: opracowanie własne

Tabela nr 1. Opis miejsc i żetonów w miejscach sieci z rysunku nr 3

Lp.	Symbol	Opis miejsca	Interpretacja wieku żetonu w miejscu
1	P_1	czuwanie DM	długość czasu czuwania DM
2	P_2	przyjmowanie zgłoszenia o zdarzeniu	długość czasu rozmowy DM ze świadkiem zdarzenia
3	P_3	kwalifikowanie zdarzenia	długość czasu procesu kwalifikowania
4	P_4	podejmowanie decyzji o kierowaniu akcją przez DM	długość czasu podjęcia decyzji o kierowaniu akcją
5	P_5	zdolność DM do funkcji DM-K	długość czasu zdolności DM do funkcji DM-K przed jej rozpoczęciem
6	P_6	kierowanie akcją jako DM-K	długość czasu pełnienia funkcji DM-K przez odbierającego DM

Źródło: opracowanie własne

Miejsce P_1 oznacza gotowość DM do pracy. Jeżeli w tym miejscu znajduje się żeton z wiekiem d_1 oznacza to, że DM jest gotowy do pracy i trwa w czuwaniu d_1 jednostek czasu (jc).

Tabela nr 2. Opis tranzycji modelu z rysunku nr 3

Lp.	Symbol	Opis tranzycji
1	T_1	odebranie telefonu zdarzenia przez DM
2	T_2	zakończenie przyjmowania zgłoszenia przez DM
3	T_3	zakwalifikowanie zdarzenia jako mnogiego/masowego i uruchomienie postępowania zgodnie z procedurami
4	T_4	zakwalifikowanie zdarzenia jako zwykłego
5	T_5	oddanie funkcji DM-K innemu DM
6	T_6	objęcie funkcji DM-K przez odbierającego DM
7	T_7	zakończenie funkcji DM-K przez odbierającego DM

Źródło: opracowanie własne

Dyspozytor Medyczny może rozpocząć odbieranie zgłoszenia, jeżeli jest gotowy już przez minimum a_1 jc, ale nie dłużej niż b_1 jc. Na grafie oznacza to, że tranzycja T_1 może być wykonana, jeżeli w miejscu P_1 znajduje się przynajmniej jeden żeton, którego wiek należy do przedziału dostępności $[a_1, b_1]$. Wykonanie tranzycji powoduje zabranie żetonu z P_1 i umieszczenie żetonu w P_2 z wiekiem równym 0.

Tabela nr 3. Opis wybranych łuków sieci z rysunku nr 3

Lp.	Przedział	Łuk	Opis połączeń
1	$[a_1, b_1]$	(P_1, T_1)	określenie minimalnej a_1 i maksymalnej b_1 dostępności DM do odbierania zgłoszenia od momentu rozpoczęcia dostępności DM przy stanowisku
2	$[a_2, b_2]$	(P_2, T_2)	określenie minimalnego momentu czasu a_2 i maksymalnego b_2 na przyjęcie informacji o zdarzeniu przez DM
3	$[a_3, b_3]$	(P_3, T_3)	określenie minimalnego momentu czasu a_3 i maksymalnego b_3 na podjęcie decyzji o zakwalifikowaniu zgłoszenia jako zdarzenia mnogiego/masowego
4	$[a_4, b_4]$	(P_3, T_4)	określenie minimalnego momentu czasu a_4 i maksymalnego b_4 na podjęcie decyzji o zakwalifikowaniu zgłoszenia jako zwykłego
5	$[a_5, b_5]$	(P_4, T_5)	określenie minimalnego momentu czasu a_5 i maksymalnego b_5 na oddanie funkcji DM-K innemu DM

Lp.	Przedział	Łuk	Opis połączeń
6	$[a_6, b_6]$	(P_4, T_6)	określenie minimalnego momentu czasu a_6 i maksymalnego b_6 na podjęcie funkcji DM-K przez odbierający DM
7	$[a_7, b_7]$	(P_6, T_7)	określenie minimalnego momentu a_7 po jakim może skończy się kierowanie akcją przez DM, oraz maksymalnego momentu b_7

Źródło: opracowanie własne

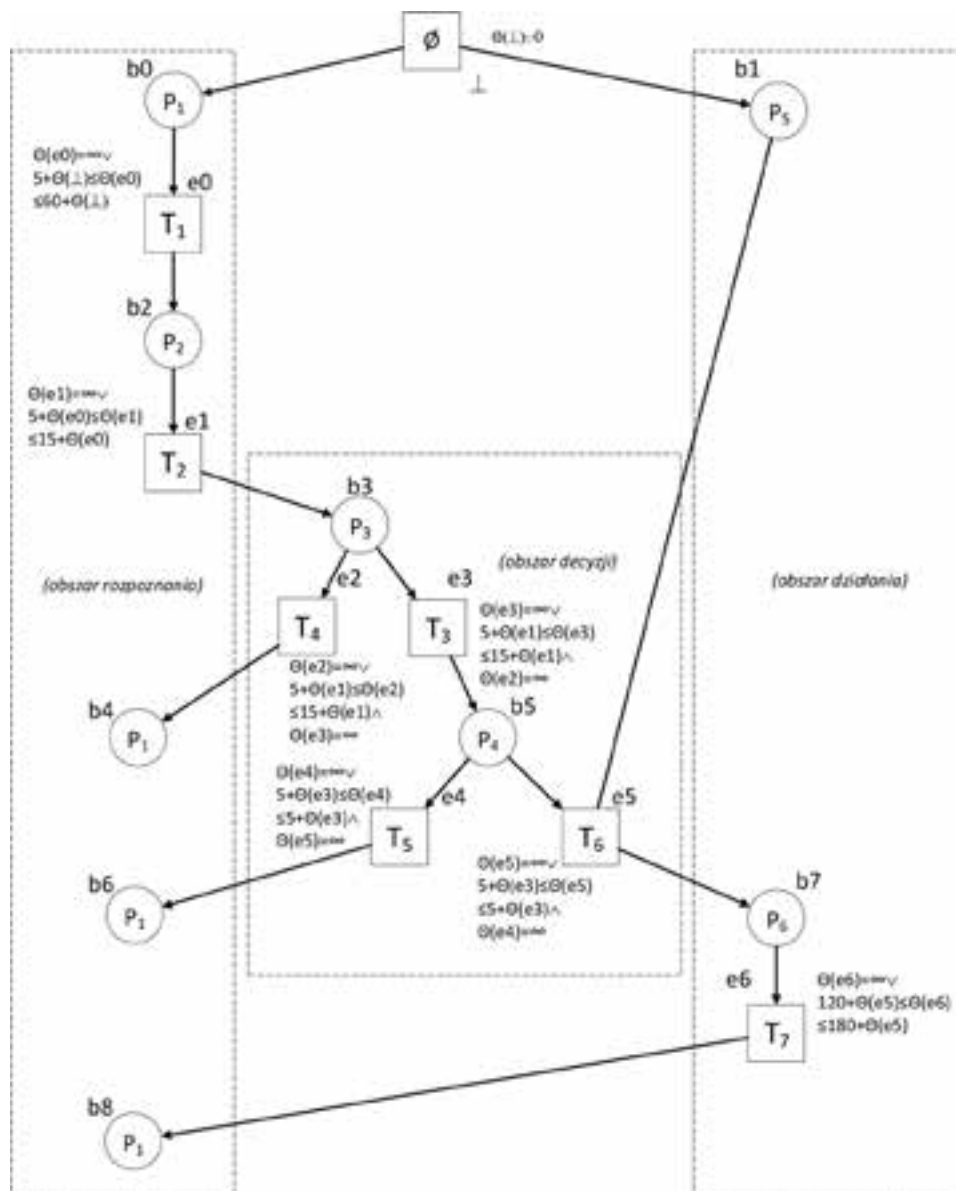
Według przedstawionego schematu długość czasu odbierania zgłoszenia nie powinna być krótsza niż a_2 oraz dłuższa niż b_2 .

4. Badanie zachowania systemu

W tak opisanym systemie możemy określić wartości parametrów zgodnie z przyjętymi założeniami: DM jest gotowy do przyjmowania zgłoszenia po upływie 5 jc od zgłoszenia gotowości oraz co najwyżej do 60 jc ($[a_1, b_1] = [5, 60]$), czas rozmowy ze świadkiem trwa nie krócej niż 5 jc oraz nie dłużej niż 15 jc ($[a_2, b_2] = [5, 15]$), DM na podjęcie decyzji o kwalifikowaniu zdarzenia ma 5 jc, ale nie więcej niż 15 jc ($[a_3, b_3] = [5, 15]$, $[a_4, b_4] = [5, 15]$), DM ma dokładnie 5 jc na podjęcie decyzji czy będzie pełnił rolę DM-K, czy odda funkcję DM-K innemu DM ($[a_5, b_5] = [5, 5]$, $[a_6, b_6] = [5, 5]$), a czas pełnienia roli DM-K obejmuje od 120 do 180 jc ($[a_7, b_7] = [120, 180]$). W momencie 0 DM jest dostępny przy stanowisku i jest zdolny pełnić rolę DM-K, co jest reprezentowane przy pomocy funkcji stanu początkowego M_0 , gdzie $M_0(P) = \{0\}$ dla $P \in \{P_1, P_5\}$ oraz dla pozostałych $M_0(P) = \emptyset$. Oznacza to obecność żetonów w sieci z wiekiem 0 jedynie w miejscach P_1 i P_6 . Dane dla systemu zostały określone poglądowo i mogą różnić się od rzeczywistych.

Następnie w tak określonym systemie możliwe jest wyznaczenie grafu kolejnych wystąpień tranzycji i stanów, nazywanego **siecią wystąpień**, reprezentującą zachowanie systemu. Sieć wystąpień jest modelem sieci Petriego bez określonego znakowania, której tranzycje nazywane **zdarzeniami** symbolizują wykonanie tranzycji systemu, a miejsca nazywane **warunkami** symbolizują wystąpienie żetonu w konkretnym miejscu systemu. W sieci wystąpień do miejsc wchodzi nie więcej niż jeden łuk skierowany. Dzięki funkcji etykietującej elementy sieci wystąpień są powiązane z elementami systemu. Wyjątkiem jest element \perp , będący zdarzeniem inicjującym stan początkowy systemu, który nie ma odpowiednika w zbiorze tranzycji systemu. Dzięki temu powiązaniu możliwe jest

reprezentowanie początkowego fragmentu zachowania systemu. Sieć wystąpień z etykietami oraz z dodatkowymi ograniczeniami dla momentów wykonania tranzycji jest nazywana **rozgałęzionym procesem czasowym**.



Rysunek nr 4. Początkowy fragment działania systemu z rysunku nr 3 – rozgałęziony proces czasowy

Źródło: opracowanie własne

Dysponując modelem z rysunku nr 4, można uzyskać informacje o zachowaniu modelowanego systemu wraz z przykładem konkretnych momentów wystąpienia akcji systemu, reprezentowanych przez przebiegi z ograniczeniami momentów wykonań tranzycji w nich zawartych. Przebieg jest rozumiany jako zbiór przyczynowo zależnych warunków i zdarzeń, które sobie nawzajem nie przeszkadzają oraz mają swój początek w stanie początkowym systemu. Dane zestawiono w tabeli nr 4.

Tabela nr 4. Przykładowe informacje zapisane w rozgałęzionym procesie czasowym

Lp.	Opis	Przykładowe przebiegi z ograniczeniami czasowymi
1	Do momentu 10 możliwe jest co najwyżej odebranie przez DM informacji o zdarzeniu	$\{e_0, e_1\}$, $\theta(e_0) = 5 \wedge \theta(e_1) = 10$
2	Do momentu 15 DM może zakwalifikować odebrane zdarzenie jako zwykłe (a) lub mnogie/masowe (b)	a) $\{e_0, e_1, e_2\}$, $\theta(e_0) = 5 \wedge \theta(e_1) = 10 \wedge \theta(e_2) = 15 \wedge \theta(e_3) = \infty$ lub b) $\{e_0, e_1, e_3\}$, $\theta(e_0) = 5 \wedge \theta(e_1) = 10 \wedge \theta(e_2) = \infty \wedge \theta(e_3) = 15$
3	Do momentu 20 DM może zakwalifikować odebrane zdarzenie jako zwykłe (a), lub – przy założeniu, że jest to zdarzenie mnogie/masowe – może podjąć się funkcji DM-K (b), lub przekazać pełnienie funkcji DM-K innemu DM (c)	a) $\{e_0, e_1, e_2\}$, $\theta(e_0) = 5 \wedge \theta(e_1) = 10 \wedge \theta(e_2) = 15 \wedge \theta(e_3) = \infty$, b) $\{e_0, e_1, e_3, e_5\}$, $\theta(e_0) = 5 \wedge \theta(e_1) = 10 \wedge \theta(e_2) = \infty \wedge \theta(e_3) = 15$ $\wedge \theta(e_4) = \infty \wedge \theta(e_5) = 20$ lub c) $\{e_0, e_1, e_3, e_4\}$, $\theta(e_0) = 5 \wedge \theta(e_1) = 10 \wedge \theta(e_2) = \infty \wedge \theta(e_3) =$ $= 15 \wedge \theta(e_4) = 20 \wedge \theta(e_5) = \infty$

Źródło: opracowanie własne

Może zdarzyć się także, że do momentu 20 DM rozpocznie odbieranie kolejnego zgłoszenia, jeżeli poprzednie zakwalifikuje jako zwykłe w najkrótszym możliwym czasie. Sytuacja ta nie jest już reprezentowana w początkowym fragmencie zachowania systemu zaprezentowanym na rysunku nr 4. Ponadto zbiory

warunków $\{b0, b1\}$, $\{b4, b1\}$, $\{b6, b1\}$ i $\{b8, b1\}$, pomijając aspekt czasu modelu, odpowiadają temu samemu stanowi systemu, gdy DM jest w stanie czuwania i jest zdolny pełnić funkcję DM-K. Stąd dalsze dodawanie wykonań tranzycji do tegoż fragmentu zachowania nie wnosi nic nowego do aspektu strukturalnego zachowania systemu.

Zastosowanie sieci rozgałęzionego procesu czasowego do modelowania zachowania systemu umożliwi zapanowanie nad eksplozją stanów poprzez łączenie nakładającej się części strukturalnej przebiegów na grafie (np. $\{e0, e1, e2\} \cap \{e0, e1, e3\} = \{e0, e1\}$). Umożliwi także – przy pewnych założeniach – rozpoznanie powtarzających się połączeń pomiędzy kolejnymi wykonaniami w obrębie przebiegu. Dzięki temu dokładniej można modelować zjawiska mnogie/masowe.

5. Podsumowanie

W artykule pokazano, że model c-TdPN, podobnie jak maszyna stanowa w diagramie UML, może posłużyć do modelowania procedur postępowania systemu PRM na wypadek wystąpienia zdarzeń mnogich/masowych. Ponadto w przypadku sieci Petriego możliwe jest skonstruowanie innej sieci, rozgałęzionego procesu czasowego reprezentującego zachowanie systemu. Na podstawie modelu zachowania pokazano przykładowe informacje, jakie można uzyskać o modelowanym systemie. Ogólnie są to odpowiedzi na pytanie: co może zdarzyć się w systemie do pewnego momentu lub pomiędzy pewnymi momentami czasu?

Dla nieskomplikowanych i niedużych modeli możliwe jest formowanie wniosków na podstawie skonstruowanego grafu rozgałęzionego procesu czasowego przedstawiającego początkowy fragment zachowania systemu.

Pomimo iż reprezentacja zachowania przy pomocy rozgałęzionego procesu czasowego rozwiązuje częściowo problem eksplozji stanów, duże modele systemów są uciążliwe do weryfikowania ręcznego. Rozwiązaniem jest automatyzacja procesu pozyskiwania informacji z modelu zachowania, która pozwoli na badanie znacznie większych modeli systemów.

Bibliografia

- Filipkowski P., Janicki M., Oleszczuk D., *Agent Technologies in LabTSTI™ – use in medical rescue*, „Polski Przegląd Medycyny i Psychologii Lotniczej” 2012, nr 3(18), s. 37–48.
- Janicki A., Filipkowski P., Horodelski M., *Intelligent medical system for paramedics*, „The Polish Journal of Aviation Medicine and Psychology”, 2014, vol. 20(1), s. 5–16.
- Ładny J.R., *Zalecenia Konsultanta Krajowego w dziedzinie medycyny ratunkowej dotyczące procedur postępowania na wypadek wystąpienia zdarzenia mnogiego/masowego*, Warszawa 2015.
- Montanari U., Rossi F., *Contextual nets*, „Acta Informatica” 1995, vol. 32, iss. 6, s. 545–596.
- Petri C.A., *Communication with automata*, GAFB, Nowy Jork 1966.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 stycznia 2014 r. w sprawie ramowych procedur przyjmowania wezwań przez dyspozytora medycznego i dysponowania zespołami ratownictwa medycznego, Dz.U. 2014, poz. 66.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 15 grudnia 2014 r. w sprawie wojewódzkiego planu działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne oraz kryteriów kalkulacji kosztów działalności zespołów ratownictwa medycznego, Dz.U. 2014, poz. 1902.
- Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym, tekst jedn.: Dz.U. 2017, poz. 2195.
- Walter B., *Timed Petri-Nets for Modelling and Analyzing Protocols with Real-Time Characteristics*, „Protocol Specification, Testing, and Verification III”, Elsevier Science Publ.B.V., North Holland 1983, s. 149–159.
- Wrycza S., Marcinkowski B., Wyrzykowski K., *Język UML 2.0 w modelowaniu systemów informatycznych*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2006.

Źródła sieciowe

- Gałązkowski R., *Procedury wspomagające podjęcie decyzji przez dyspozytora medycznego w zakresie przyjęcia zgłoszenia, kwalifikacji zgłoszenia oraz dysponowania zespołami ratownictwa medycznego do różnych stanów nagłego zagrożenia zdrowotnego*, Warszawa, 10 grudnia 2013 r., <http://ratunek24.pl/media/upload/Procedury%20dla%20dyspozytor%C3%B3w%20medycznych.pdf> (data odczytu: 3.11.2017).

* * *

Application of the Timed Petri Net for Modeling Mass/ Multiple Emergency Medical Services Processes

Abstract

In the article the authors present modeling of information processes in the Emergency Medical Services system using the timed Petri nets. The desirability of using such modeling to describe the decision-making process in the example information system was presented and examined in the context of the state explosions problem.

Keywords: Timed Petri Nets, branching processes, Emergency Medical Services system, UML state diagram, state explosion problem