**Raport z przedmiotu „Metody formalne”**

Sieci Petriego – model TCP

**Autorzy:**

Maciej Bruno-Kamiński

Mateusz Juraszek

Mateusz Maj

**1. Wstęp**

Projekt składał się z dwóch części. Pierwsza z nich zakładała stworzenie aplikacji umożliwiającej definiowanie sieci Petriego oraz jej analizę. Wśród dostępnych opcji analizy należało umożliwić sprawdzenie własności stworzonej sieci (takich jak np. bezpieczeństwo czy żywotność) lub przeprowadzić symulację jej działania. Ponadto aplikacja miała pozwalać na wyznaczenie reprezentacji sieci w postaci grafów osiągalności oraz pokrycia, lub też równoważnej im reprezentacji macierzowej. Jako rozszerzenie aplikacji można było wybrać jedną z trzech opcji: dodanie obsługi sieci miejsc i przejść, dodanie obsługi sieci priorytetowych, lub też dodanie obsługi sieci czasowych. My zdecydowaliśmy się na wariant drugi, czyli sieci priorytetowe.

W ramach drugiego zadania należało stworzyć model działania protokołu TCP w oparciu o zbudowany program. Pozwoliło to również na walidację poprawności jego działania oraz użyteczności w budowaniu i analizie większych sieci Petriego. Niniejszy raport zawiera szczegółowe informacje związane z drugim tematem projektu. Znajduje się w nim opis działania wspomnianego protokołu oraz model zbudowany w ramach ćwiczenia. W ostatnim punkcie przeprowadzono analizę stworzonej sieci oraz określono właściwości, które są dla niej spełnione.

**2. Model TCP**

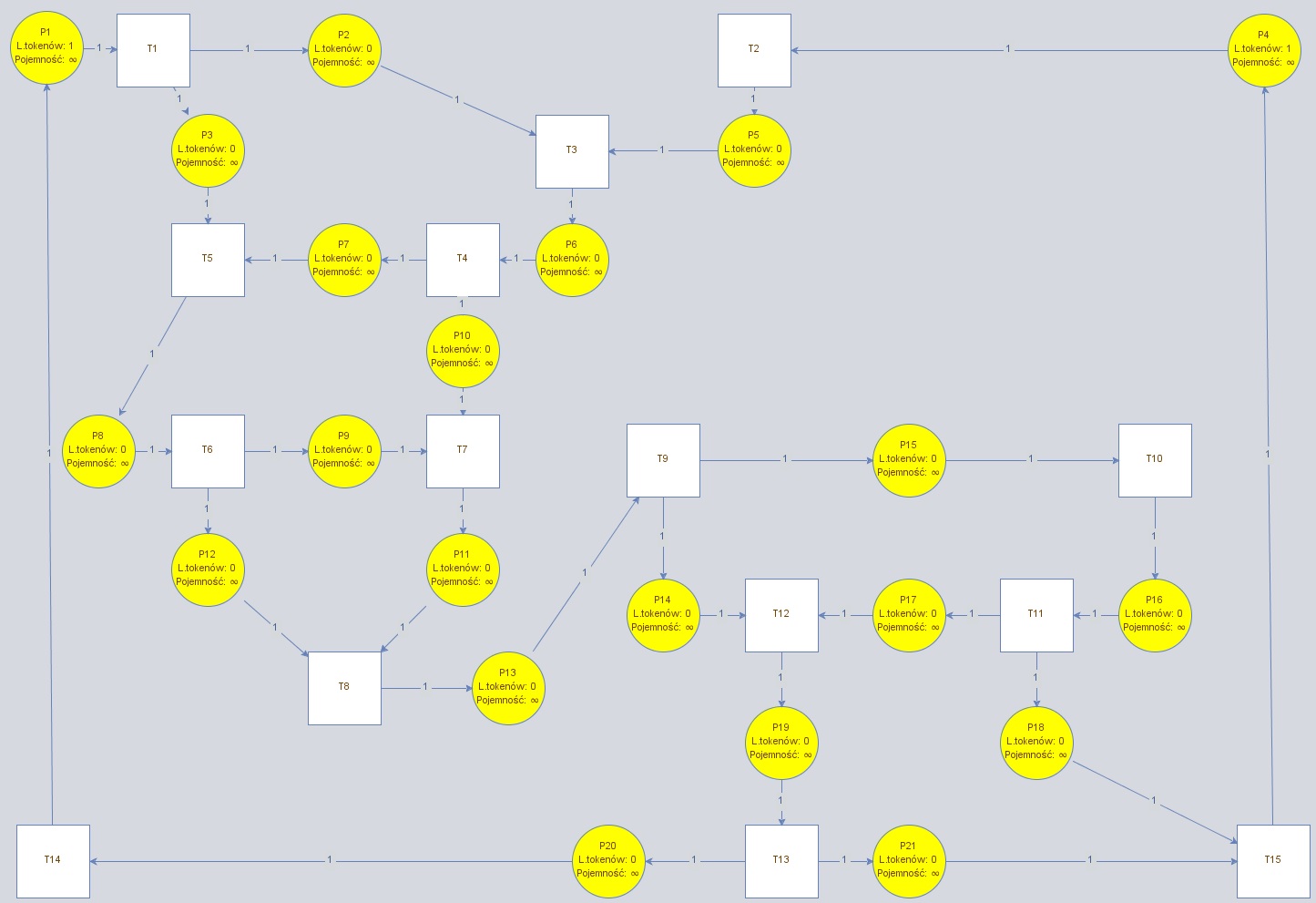
Transmission Control Protocol (TCP) jest to połączeniowy oraz niezawodny, strumieniowy protokół komunikacyjny wykorzystywany do przesyłania danych między procesami uruchomionymi na różnych maszynach. Operujący w warstwie transportowej modelu OSI, protokół TCP działa w trybie klient-serwer. Klient inicjuje połączenie do serwera. Serwer z kolei, oczekuje na nawiązanie połączenia poprzez nasłuchiwanie na określonym porcie. W przeciwieństwie do UDP, TCP gwarantuje wyższym warstwom dostarczenie wszystkich pakietów w całości, z zachowaniem kolejności i bez duplikatów.

W celu nawiązania połączenia wykorzystywana jest procedura *three-way handshake*. Polega ona na wysłaniu trzech oddzielnych segmentów do drugiej strony, w określonej kolejności. Po każdej operacji wysłania bądź odebrania dana maszyna przechodzi w kolejny ze stanów TCP. Klient rozpoczyna transmisję od wysłania wiadomości SYN do serwera. W odpowiedzi otrzymuje segmenty SYN i ACK oraz przechodzi w stan ESTABLISHED, oznaczający gotowość do nawiązania połączenia. Jednocześnie wysyła do serwera ostatnią wiadomość ACK. Po wszystkim transmisja właściwych danych może się rozpocząć.

Zakończenie połączenia również jest realizowane w trybie *three-way handshake* i może zostać zainicjowane przez dowolną stronę. Ta strona wysyła wtedy pakiet z flagą FIN (*finished*), a w odpowiedzi otrzymuje segmenty ACK i FIN. Ostatnim etapem jest poinformowanie drugiej strony pakietem ACK oraz przeczekanie odpowiedniej ilości czasu (maksimum 4 minuty) w celu upewnienia się, że otrzymała ona potwierdzenie. W naszym modelu klient odpowiada za zakończenie połączenia.

3. Model protokołu TCP za pomocą sieci Petriego

Na rysunku 3.1 został zaprezentowany model działania protokołu TCP za pomocą sieci Petriego. Obejmuje on nawiązywanie oraz kończenie połączenia. Tabele 3.1 oraz 3.2 zawierają opis dostępnych miejsc oraz przejść.



**Rysunek 3.1** Model TCP

|  |  |
| --- | --- |
| **Nazwa miejsca** | **Opis** |
| P1 | (Klient) stan CLOSED |
| P2 | Wiadomość SYN w drodze do serwera |
| P3 | (Klient) stan SYN-SENT (wysłano SYN; oczekiwanie na SYN+ACK) |
| P4 | (Serwer) stan CLOSED |
| P5 | (Serwer) stan nasłuchiwania LISTEN |
| P6 | (Serwer) stan SYN-RECEIVED (otrzymano SYN) |
| P7 | Wiadomość SYN+ACK w drodze do klienta |
| P8 | (Klient) stan przyjęcia SYN+ACK |
| P9 | Wiadomość ACK w drodze do serwera |
| P10 | (Serwer) oczekiwanie na wiadomość ACK |
| P11 | (Serwer) gotowość do nawiązania połączenia |
| P12 | (Klient) gotowość do nawiązania połączenia |
| P13 | (Klient/Serwer) stan ESTABLISHED |
| P14 | (Klient) stan FIN-WAIT-1 (wysłano FIN) |
| P15 | Wiadomość FIN w drodze do serwera |
| P16 | (Serwer) stan CLOSE-WAIT |
| P17 | Wiadomość FIN+ACK w drodze do klienta |
| P18 | (Serwer) stan LAST-ACK (oczekiwanie na ACK) |
| P19 | (Klient) stan FIN-WAIT-2 |
| P20 | (Klient) stan TIME-WAIT |
| P21 | Wiadomość ACK w drodze do serwera |

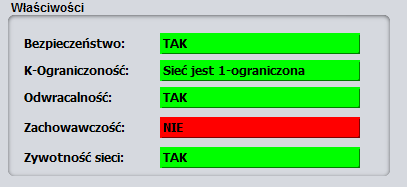
**Tabela 3.1** Opis miejsc w sieci

|  |  |
| --- | --- |
| **Nazwa przejścia** | **Opis** |
| T1 | (Klient) wysłanie wiadomości SYN |
| T2 | (Serwer) uruchomienie serwera |
| T3 | (Serwer) odebranie wiadomości SYN |
| T4 | (Serwer) wysłanie wiadomości SYN+ACK |
| T5 | (Klient) odebranie wiadomości SYN+ACK |
| T6 | (Klient) wysłanie wiadomości ACK |
| T7 | (Serwer) odebranie wiadomości ACK |
| T8 | (Klient/Serwer) nawiązywanie połączenia |
| T9 | (Klient) wysłanie wiadomości FIN |
| T10 | (Serwer) odebranie wiadomości FIN |
| T11 | (Serwer) wysłanie wiadomości FIN+ACK |
| T12 | (Klient) odebranie wiadomości FIN+ACK |
| T13 | (Klient) wysłanie wiadomości ACK |
| T14 | (Klient) zamykanie połączenia |
| T15 | (Serwer) zamykanie połączenia |

**Tabela 3.2** Opis przejść w sieci

4. Właściwości badanej sieci

W poniższym rozdziale zbadano kilka własności zbudowanej przez nas sieci. Wśród nich znajdują się k-ograniczoność, bezpieczeństwo, odwracalność, zachowawczość oraz żywotność sieci (w tym miejsc i przejść). Zbiorcze podsumowanie zostało zaprezentowane na rysunku 4.1.



**Rysunek 4.1** Właściwości sieci w raporcie programu

1. **K-ograniczoność miejsc**

O k-ograniczoności miejsc mówimy wtedy, kiedy liczba znaczników w żadnym miejscu nie przekracza liczby *k*. W zbudowanym przez nas modelu przepływ danych jest jednoznaczny i w stanach może być co najwyżej jeden znacznik, zatem sieć jest 1-ograniczona.

1. **Bezpieczeństwo**

Bezpieczeństwo sieci wiąże się z definicją k-ograniczoności. Sieć uznaje się za bezpieczną jeśli w każdym miejscu może znajdować się co najwyżej jeden znacznik (). Ponieważ w punkcie 4.1a wykazano, że badana sieć jest 1-ograniczona, można stwierdzić, że jest ona również bezpieczna. Taki też wynik widoczny jest w raporcie aplikacji.

1. **Odwracalność**

Odwracalność sieci definiuje się jako możliwość powrotu do stanu początkowego z każdego miejsca w modelu, innymi słowy: czy model nie posiada żadnych miejsc terminalnych. Ponieważ zaprezentowany model TCP działa w pętli przechodząc od stanu CLOSED przez procesy nawiązywania oraz zamykania połączenia, kończąc ponownie w stanie CLOSED, właściwość ta jest spełniona.

1. **Zachowawczość**

Zachowawczość oznacza, że w każdym stanie sieci suma znaczników będzie niezmienna. Nasza sieć modelująca TCP nie spełnia tej własności. W wielu stanach jeden znacznik zostaje rozdzielony na dwa, symbolizując w jednym momencie gotowość strony wysyłającej do podjęcia następnych kroków (np. oczekiwania na odpowiedź) oraz właściwą wiadomość będącą w drodze do drugiej maszyny.

1. **Żywotność sieci**

Sieć jest żywotna jeżeli gwarantuje ciągłość działania sieci. Po sprawdzeniu tej właściwości dla stworzonego modelu TCP widzimy, że jest ona spełniona.

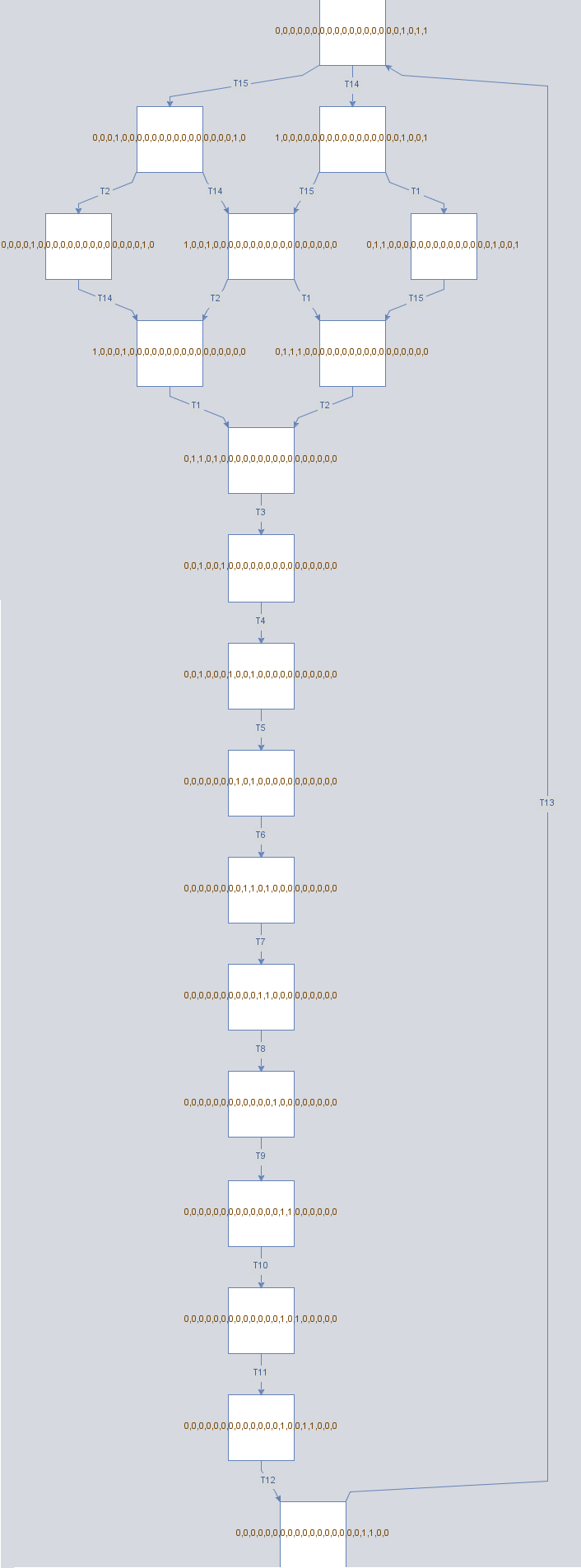
## **Żywotność miejsc i przejść**

Na rysunku 4.2 można zobaczyć analizę żywotności miejsc oraz przejść. Wynika z niej, że każde miejsce jest żywotne, a każde przejście potencjalnie wykonywalne.



**Rysunek 4.2** Żywotność poszczególnych miejsc i przejść

5. Graf osiągalności/pokrycia



**Rysunek 5.1** Graf osiągalności/pokrycia dla modelu TCP

Grafy osiągalności oraz pokrycia są identyczne dla analizowanego modelu TCP. Przyglądając się stanom widać potwierdzenie wyznaczonych wcześniej właściwości sieci. Dodatkowo, można zaobserwować, że sieć TCP jest dosyć prostym modelem, ale bardzo skutecznym.

**6. Podsumowanie**

Stworzony przez nas symulator umożliwia kompleksowe analizowanie sieci Petriego. Wprowadzenie modelu sieci TCP było bardzo proste dzięki intuicyjnemu GUI zaimplementowanemu z pomocą biblioteki JGraphX. Funkcje zapisu i odczytu modelu do pliku umożliwiły nam stopniowe rozbudowywanie tworzonej sieci. Wreszcie, po wprowadzeniu kompletnego modelu mogliśmy się przekonać o skuteczności działania naszego analizatora. Analizowana sieć, zgodnie z naszymi przewidywaniami jest 1-ograniczona (co jest równoważne spełnieniu warunku bezpieczeństwa), odwracalna oraz żywotna. Jedyną nie spełnianą właściwością jest zachowawczość. Dzieje się to z powodu tego, iż w wielu stanach jeden znacznik zostaje rozdzielony na dwa, symbolizując w jednym momencie gotowość strony wysyłającej do podjęcia następnych kroków (np. oczekiwania na odpowiedź) oraz właściwą wiadomość będącą w drodze do drugiej maszyny.