

Petri tinklų taikymas paketų srautų modeliams sudaryti

R. Plėštys, I. Lagzdinytė

Kompiuterių tinklų katedra, Kauno technologijų universitetas
Studentų g. 50, LT-3031 Kaunas, Lietuva, el. paštas ingrid@tk.ktu.lt

Įvadas

Teikiant konkrečios klasės paslaugą, formuojami tai paslaugai būdingi paketų srautai. Matavimai parodė, kad paketų perdavimo tinkluose informacijos signalų parametrai iš esmės skiriasi nuo įprastinių telefoninių srautų parametrų [1]. Tokiems srautams aprašyti tenka ieškoti netradicinių būdų. Vienas iš tokių būdų, Petri tinklų taikymas, ir yra pateikiamas darbe [2] [4].

Individualus duomenų srauto šaltinio veikimas gali būti aprašomas kaip diskretus parametrizuotas stochastinis procesas $\{X_n\}, n=1,2,\dots$. Proceso parametrai turi tenkinti įvairius apribojimus, susijusius su duomenų srauto parametrais: vidutinį paketų pasikartojimo periodą, didžiausią nuosekliai perduodamų paketų sekos dydį. Tokiam procesui aprašyti siūlomas Petri tinklo modelis, kuris įvertina anksčiau išvardytus duomenų srauto parametrus ir gali būti naudojamas tiek modeliavimui, tiek analitiniam skaičiavimams.

Duomenų srauto šaltinio modelį galima atvaizduoti Petri tinklu (1 pav.). Tinklas sudarytas iš keturių būsenų p_1, p_2, s_1, s_2 bei trijų perėjimų t_0, t_1 ir t_2 . Petri tinklo dalis, kurią sudaro būsenos p_1 ir p_2 , perėjimas t_0 ir lankai $(p_1, t_1), (t_1, p_2), (p_1, t_2), (t_2, p_2), (p_2, t_0)$ ir (t_0, p_1) modeliuoja šaltinio takto generatoriaus veikimą. Perėjimas t_0 gali būti traktuojamas kaip šaltinio takto generatorius ir formuoja tam tikrą perėjimo t_0 atidarymo laiko intervalą T_0 . Perėjimo t_1 atsidarymą galime traktuoti kaip paketo siuntimą, o t_2 atsidarymą – kaip pauzės formavimą. Būsenos s_1 ir s_2 susietos su paketų srauto parametrais. Tinklo lankai (s_1, t_1) ir (t_1, s_2) turi tą patį svorį u , o lankai (s_2, t_2) bei (t_2, s_1) turi svorį v . Atsidarius Petri tinklo perėjimui t_1 , iš būsenos s_1 pereinama į būseną s_2 , t.y. paketas yra išsiunčiamas. Atsidarius Petri tinklo perėjimui t_2 , iš būsenos s_2 pereinama į būseną s_1 , t.y. formuojama pauzė. Pradinė Petri tinklo būsenos sąlyga yra tokia:

$$\begin{aligned} M_0 &= (M(p_1) = 1, M(s_1) = z \gg u + v - 1, \\ M(s_2) &= 0, M(p_2) = 0); \end{aligned} \quad (1)$$

čia $M(p_1) = 1$ reiškia, kad būsenoje p_1 yra viena žymė, $M(s_1) = z \gg u + v - 1$ reiškia, kad pradinio momentu būsenoje s_1 turi būti ne mažiau kaip viena žymė. Kitose būsenose s_2, p_2 žymių nėra.

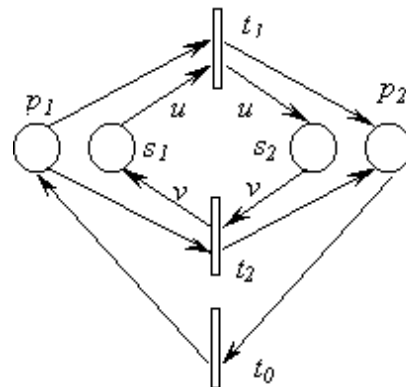
Kai formuojamas paketų srautas,

$$M(s_1) + M(s_2) = z, \text{ čia } z = M(s_1), \text{ kai } M(s_2) = 0. \quad (2)$$

Parametrų $M(s_1), u$ ir v vertės priklauso nuo paslaugos kategorijos ir paketų srauto intensyvumo. Intervalo T_0 pasikartojimo periodas gali būti valdomas.

Perėjimai t_1 ir t_2 atsidaro pakaitomis pagal perėjimo t_0 taktą iš karto po to, kai tik jie yra suaktyvinami. Kadangi t_1 ir t_2 atsidaro pakaitomis, suderintai su t_0 , tai

$$M(p_1) + M(p_2) = 1, \quad (3)$$



1 pav. Apibendrintas duomenų srauto šaltinio modelis

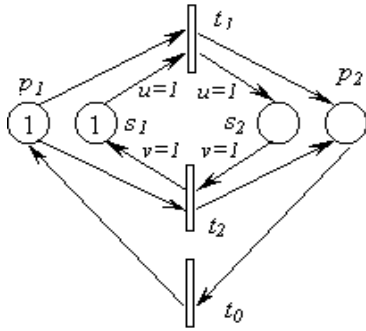
Keičiantis intervalui tarp paketų, keičiasi Petri tinklo parametrų vertės. Darbe pateikiama šių parametrų skaičiavimo analitinės formulės.

Periodinio paketų srauto šaltinio modelis

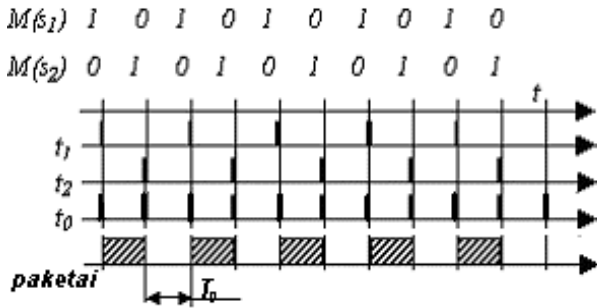
Ryšiai tarp Petri tinklo charakteristikų ir periodiškai pasikartojančių T_0 trukmės paketų srauto šaltinio parametru yra:

$$M(s_1) = 1, u = v = 1. \quad (4)$$

Parametro vertė $u=1$ reiškia, kad perėjimas t_1 atsidarys tuomet, kai būsenoje s_1 bus ne mažiau kaip viena žymė. Šiuo atveju perėjimo t_1 atsidarymų seka formuos paketų išsiuntimus, o perėjimų t_2 atsidarymų seka formuos pauzes tarp paketų (3 pav).

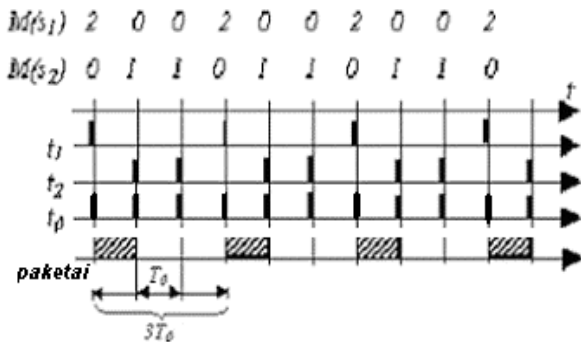


2 pav. Periodinio paketų srauto šaltinio modelis



3 pav. Periodinio paketų srauto diagrama

Srautų sujungimo įrenginiuose intakinis srautas užima ne nuosekliai išdėstytas pozicijas, o su tarpais išdėstytas pozicijas. Tarkim paketas kartojasi kas $n \times T_0$ taktų. Pavyzdžiui, kai $n=3$, periodinis paketų srautas bus formuojamas taip, kaip parodyta 4 pav.



4 pav. Mažo intensyvumo periodinio paketų srauto diagrama

Tokiu atveju Petri tinklo parametrai yra tokie:

$$M(s_1) = 2, u = 2, v = 1. \quad (5)$$

Bendruoju atveju, kai paketų pasikartojimo periodas $n \times T_0$,

$$M(s_1) = n - 1; \quad u = n - 1; \quad v = 1. \quad (6)$$

Kintamos spartos duomenų srauto šaltinio modelis

Detaliausiai paketų srautų parametrai yra aprašomi formuojant virtualius kanalus asinchroninio perdavimo būdo tinkluose [3]. Kintamos spartos duomenų srauto šaltinio atveju ryšiai tarp Petri tinklo parametru ir duomenų srauto šaltinio parametru yra:

$$\begin{cases} M(s_1) = G(R - V) / w; \\ u = M(s_1) / G; \\ v = M(s_1) \times V / (w \times M(s_1)) = V / w; \\ T_0 = 1 / R. \end{cases} \quad (7)$$

Čia G - didžiausias paketų grupės dydis; R - paketų perdavimo grupėje sparta; V - vidutinė paketų perdavimo sparta; w - bendras didžiausias daliklis dydžių V ir $R - V$.

Žinant Petri tinklo parametrus, galima apskaičiuoti paketų srauto parametrus:

$$\begin{cases} R = w(u + v), \\ V = v \cdot w, \\ G = M(s_1) / u. \end{cases} \quad (8)$$

Kai $R = 2 \times V$, $G = 1$, $V = 1$, (7) išraiška gali būti pertvarkyta į:

$$M(s_1) = G \times (R - V) / w = 1 / w; \quad u = 1 / w; \quad v = V / w, \quad (9)$$

arba

$$M(s_1) = 1; \quad u = 1; \quad v = 1. \quad (10)$$

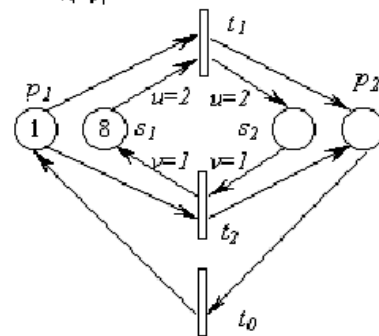
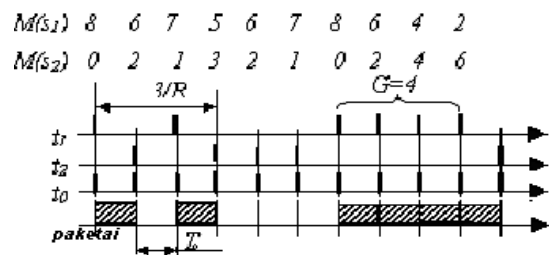
Skaičiavimo pavyzdys

Tarkim, šaltinis generuoja kintamo intensyvumo paketų perdavimo srautą. Paketų perdavimo grupėje sparta yra R , vidutinė paketų perdavimo sparta $V = R/3$, o paketų skaičius grupėje - $G = 4$. Iš (7) išraiškų galime apskaičiuoti Petri tinklo parametrus:

$$M(s_1) = 8, \quad v = 1, \quad u = 2, \quad T_0 = 1 / R. \quad (11)$$

Petri tinklo parametru pradinės vertės būtų tokios:

$$\begin{aligned} M_0 &= (M(p_1) = 1, M(s_1) = 8, \\ M(s_2) &= 0, M(p_2) = 0). \end{aligned} \quad (12)$$



5 pav. Kintamo duomenų srauto šaltinio modelis

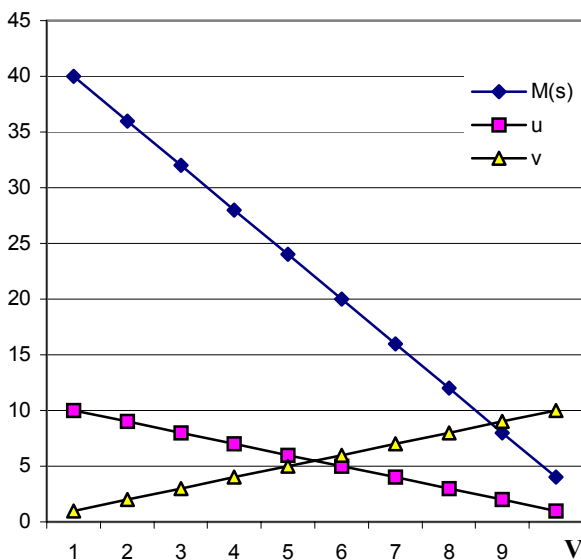
Paketų srauto formavimo procesas vykėtų tokia tvarka (5 pav.):

- 1) pirmuoju taktu paketas suformuojamas ir išsiunčiamas. Iš būsenos s_1 pereinama į būseną s_2 . Būsenoje s_2 atsiranda dvi žymės ($M(s_2)=2$);
- 2) antruoju taktu formuojama pauzė ir iš būsenos s_2 pereinama į būseną s_1 . Būsenoje s_1 atsiranda viena papildoma žymė ir žymių skaičius tampa lygus $M(s_1)=7$. Būsenoje s_2 žymių skaičius tampa lygus ($M(s_2)=1$);
- 3) trečiuoju taktu paketas vėl formuojamas ir iš būsenos s_1 pereinama į būseną s_2 . Būsenoje s_2 atsiranda dvi papildomos žymės. Būsenoje s_1 žymių skaičius tampa lygus $M(s_1)=5$, o būsenoje s_2 žymių skaičius tampa lygus $M(s_2)=3$;
- 4) ketvirtuoju taktu formuojama pauzė ir iš būsenos s_2 pereinama į būseną s_1 . Būsenoje s_1 atsiranda viena papildoma žymė ir žymių skaičius joje tampa lygus $M(s_1)=6$, o būsenoje s_2 žymių skaičius tampa lygus $M(s_2)=2$.

Analogiškai keičiasi žymių skaičius kitų taktų metu. Šie pokyčiai tiksliai aprašo paketų srautą.

Petri tinklo pradinėjų parametru kitimo dėsningumai

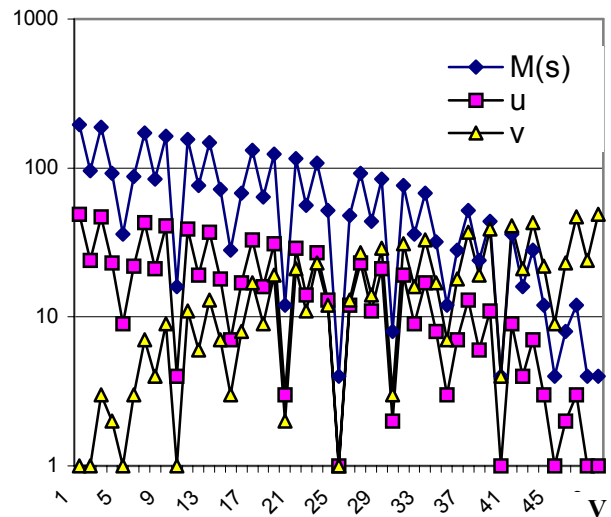
Keičiantis srauto parametrams, kinta pradinės jį atitinkančio Petri tinklo parametru vertės. Remiantis (7) išraiškomis buvo sukurtas programų paketas, leidžiantis stebėti Petri tinklo parametru reikšmių kitimą. Tokio kitimo diagramos pavyzdys, kai $G=4$, $R=11$, $V=1,2,\dots,10$, pateiktas 6 pav. Tarp parametru porų G ir R , G ir V , R ir V nėra kartotinumų, todėl priklausomybės yra tiesinės.



6 pav. Petri tinklo parametru priklausomybė nuo vidutinės paketu perdavimo spartos, kai $G=4$, $R=11$, $V=1,2,\dots,10$

Tuo atveju, kai kintant vienam iš parametru atsiranda srauto parametru kartotinumai, iš (7) randamas Petri tinklo parametru kitimas yra netiesiškas (7 pav.).

Atlikus Petri tinklo pagrįsto duomenų srauto šaltinio modelio priklausomybės nuo šaltinio modelio parametru analizę, pastebėti tokie dėsningumai:



7 pav. Petri tinklo parametru priklausomybė nuo vidutinės paketu perdavimo spartos, kai $G=4$, $R=50$, $V=1,2,\dots,49$

- Kai R/V yra sveikasis skaičius, Petri tinklo lanko svoris $v=1$, kitais atvejais $v=N$, kur $N \in (2; \infty)$.
- Kai V vertė ir parametro R vertė turi bendrą daliklį, Petri tinklo parametrai $M(s_1)$, v ir u įgyja santykiškai minimalias vertes.
- Kintant paketų srauto parametru V vienetiniu žingsniu ($V=1,2,\dots,N$) Petri tinklo parametrams u ir v galioja priklausomybė $u(r)=v(N-r)$, $r=1,2,\dots,N-1$.

Išvados

1. Pateiktas individualaus paketų srauto stochastinis modelis, pagrįstas Petri tinklu formaliu aprašymu. Modelis įvertina realius duomenų srauto parametru ir gali būti naudojamas tiek modeliavimui, tiek analitiniams skaičiavimams.
2. Gautos matematinės išraiškos, susiejančios periodinių paketų srauto ir kintamos spartos paketų srauto parametru su Petri tinklo parametrais.
3. Gautos matematinės išraiškos gali būti panaudotos sudarant paketų srautu generavimo algoritmus.
4. Nustatyti Petri tinklo parametru kitimo priklausomai nuo paketų srauto parametru dėsningumai. Kai parametro V vertė ir parametro R vertė turi bendrą daliklį, Petri tinklo parametrai įgyja santykiškai minimalias vertes. Kai santykis R/V yra sveikasis skaičius, parametras v įgyja minimalią vertę $v=1$.
5. Nustatyti parametru v ir u kitimo dėsningumai kintant paketų srauto parametru V .
6. Pateiktos paketų srautu ir Petri tinklo parametru laikinės diagramos paketų srautams, atitinkantiems įvairias paslaugu klases.

Literatūra

1. **Leland W.E.** On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic// Proc. SIGCOMM'93, Vol.23, No 4, October 1993.
2. **Murata T.** Petri Nets: Properties, Analysis and Applications// Proceeding of the IEEE, v.77, N4, April 1989.

3. ATM Forum Traffic Management Specification. Version 4.0. (<http://www.atmforum.com>).
4. **Abdellatif S.** A Petri Nets framework for the QoS analysis in packet switched networks // LAAS-CNRS, Toulouse, 2001.

Pateikta spaudai 2003 04 07

R. Plėštys, I. Lagzdinytė. Petri tinklų taikymas paketų srautų modeliams sudaryti // Elektronika ir elektrotechnika.-Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 5(47). – P.13-16.

Pasiūlytas formalus paketų srauto aprašymo metodas, paremtas Petri tinklo modeliu. Modelis įvertina realius duomenų srauto parametrus. Gautos matematinės išraiškos, susiejančios periodinių paketų srauto ir kintamos spartos paketų srauto parametrus su Petri tinklo parametrais. Nustatyti Petri tinklo parametrų kitimo priklausomai nuo paketų srauto parametrų dėsniniai. Nustatyta, kad kai vidutinė paketų perdavimo sparta ir paketų grupėje esančių paketų momentinė sparta turi bendrą daliklį, Petri tinklo parametrai įgyja santykiškai minimalias vertes: kai šių spartų santykis yra sveikas skaičius, paketų srautas yra periodinis ir Petri tinklo parametrai įgyja mažiausias vertes. Pateiktos paketų srautų ir Petri tinklo parametrų laikinės diagramos paketų srautams, atitinkantiems įvairias paslaugų klases. Il.7, bibl.4 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

R. Plėštys, I. Lagzdinytė. Petri net-based Model for Packet Flows // Electronics and Electrical Engineering. - Kaunas: Technologija, 2003.– No. 5(47). – P.13-16.

Formal description method based on Petri net model is proposed. Model takes into account the real packet traffic parameters. Given analytical expressions describe the relations between the Petri net characteristics and traffic source parameters. Consistent patterns of Petri net parameters variations due to packet flow parameters are listed. It is shown that in case when average packet rate and packet rate at the current moment have common divisor, Petri net characteristics are defined with local minimum: if ratio of average packet rate and packet rate at the current moment is an integer number, packet flow becomes periodical and Petri net parameters gets minimal values. Packet flow and Petri net characteristics time diagrams for different service category packet flows are given as well. Ill.7, bibl.4 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

Р. Плештис, И. Лагздините. Применение Петри сетей для составления моделей потока пакетов // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2003. – № 5(47).-С. 13-16.

Предложен метод формального описания потока пакетов, основан на применении Петри сетей. Модель учитывает реальные параметры потока данных. Получены математические выражения, связывающие параметры потока пакетов с периодическим повторением пакетов и с переменной скоростью передачи пакетов с параметрами Петри сетей. Определены закономерности изменения параметров Петри сетей при изменении параметров потока пакетов. Установлено, что в том случае, когда средняя скорость пакетов и моментная скорость пакетов в группе пакетов имеет общий делитель, то параметры Петри сетей принимает значения локальных минимумов. Когда отношение упомянутых скоростей передачи пакетов является целочисленным, значение параметров Петри сетей принимает наименьшие значения. Представлены временные диаграммы потоков пакетов разных классов услуг и ему соответствующих параметров Петри сетей. Ил.7, библи.4 (на литовском языке; рефераты на литовском, русском и английском яз.).