

Beata KRUPANEK, Tadeusz TOPÓR-KAMIŃSKI
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT METROLOGII, ELEKTRONIKI I AUTOMATYKI

Niezawodność przesyłu danych w rozproszonych systemach pomiarowych

Mgr inż. Beata KRUPANEK

Ukończyła studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej o profilu Elektronika i Telekomunikacja ze specjalnością Optoelektronika w roku 2008. Obecnie jest doktorantką Katedry Metrologii, Elektroniki i Automatyki wspomnianego wydziału. Zainteresowania zawodowe obejmują analizę ruchu w sieciach telekomunikacyjnych, sieci teleinformatyczne oraz symulacje sieci komputerowych w środowisku Opnet Modeler.



e-mail: beata.krupaneK@polsl.pl

Dr inż. Tadeusz TOPÓR-KAMIŃSKI

W 1996 r. ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej. W 2005 r. uzyskał z wyróżnieniem stopień doktora nauk technicznych. W swoich pracach naukowych zajmuje się problemami analizy metrologicznych właściwości algorytmów przetwarzania danych pomiarowych, identyfikacją źródeł błędów algorytmów, budowaniem modeli propagacji błędów i niepewności oraz opracowywaniem procedur wyznaczania niepewności wyników na wyjściu algorytmu.



e-mail: tadeusz.topor-kaminski@polsl.pl

Streszczenie

Publikacja dotyczy ważnego zagadnienia dla użytkownika każdego systemu pomiarowego, a mianowicie gwarancji jakości i niezawodności usług przesyłu danych w rozbudowanych systemach pomiarowych. Przedstawiono również sposób prowadzenia symulacji systemów pomiarowych przy użyciu środowiska OPNET Modeler. Wykonane w pracy badania pokazują różne metody QoS (ang. Quality of Service) oraz ich wady i zalety biorąc pod uwagę czas opóźnienia pakietów danych pomiarowych przesyłanych w sieci, a także usług typu wideo.

Słowa kluczowe: OPNET Modeler, Quality of Services, systemy pomiarowe, symulacje sieci pomiarowych.

Quality of services in disturbed measurement systems

Abstract

The paper defines an important topic concerning different measurement systems: quality of services in large measurement systems. Simulations show different methods to ensure appropriate level of delays and other parameters which define a quality of every network. OPNET Modeler is industry solution for modelling and simulation of communications networks, devices, and protocols. It is object-oriented modeling approach and graphical editor mirroring the structure of actual networks and network components. OPNET Modeler supports many network types and technologies. OPNET Modeler is based on a series of hierarchically related editors that directly parallel the structure of actual networks. The modelling structure is shown on figure 2.2. The OPNET were used to simulate a measurement system with QoS. Quality of service is the ability to provide different priority to different applications, users, or data flows, or to guarantee a certain level of performance to a data flow. Quality of service guarantees are important if the network capacity is insufficient, especially for real-time streaming multimedia applications such as voice over IP, online games and IP-TV. One of the mechanisms of QoS is the managing of overflow packets is queueing method – FIFO (fig. 3.2), WFQ (fig. 3.3), CBQ or PQ. In a computer network, when data packets are sent out from a host, they enter a queue where they await processing by the operating system. Then the operating system decides which queue and which packet(s) from that queue should be processed. In our work we present a measurement system with QoS using FIFO and WFQ queue (Fig. 5.1, Fig. 5.2.).

Keywords: OPNET Modeler, Quality of Services, measurement systems, simulations of measurement networks.

1. Wprowadzenie

W publikacji przedstawiono możliwości użycia programu OPNET Modeler w symulacjach sieci komputerowych wykorzystywanych we współczesnych systemach pomiarowych. W miejscach, w których obiekty i urządzenia rozmieszczone są w znacznych odległościach od siebie, celowe lub nawet konieczne jest zastosowanie rozproszonych systemów pomiarowych lub rozproszonych systemów pomiarowo-kontrolnych.

Systemy pomiarowo-kontrolne używane są w przemyśle do automatyzacji procesów technologicznych. W systemach takich stosuje się zwykle znaczne ilości czujników rozmieszczonych na całym kontrolowanym obiekcie i przetworników formujących sygnały wykorzystywane dalej przez regulatory sterujące procesem technologicznym.

2. Środowisko OPNET Modeler

Oprogramowanie OPNET stworzone przez firmę OPNET Technologies Inc. jest wirtualnym środowiskiem, umożliwiającym specjalistom zasymulowanie pracy niemal każdej infrastruktury sieciowej jako całości, włącznie z technologiami, protokołami, konkretnymi urządzeniami takimi jak komputery, przełączniki i routery, wraz z aplikacjami używanymi przez końcowych użytkowników. Oprogramowanie jest nieocenione przy rozwiązywaniu wielu problemów dotyczących sieci i jest wykorzystywane przez firmy, instytucje edukacyjne i ośrodki badawczo-rozwojowe.

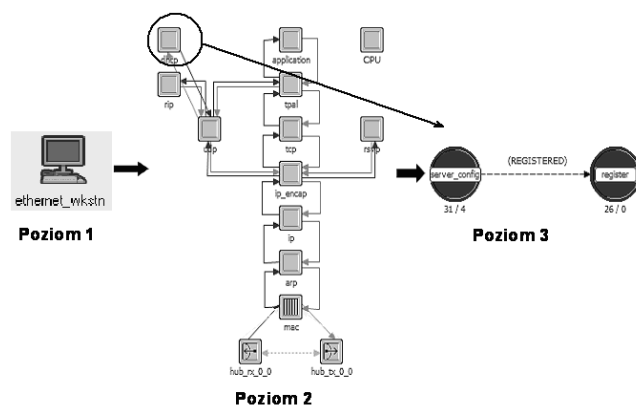
Głównym elementem środowiska jest pakiet OPNET Modeler, w którym symulacje polegają na odwzorowaniu i uruchomieniu sieci w środowisku wirtualnym za pomocą interfejsu graficznego umożliwiającego tworzenie modeli, zbieranie danych i wykonywanie innych czynności związanych z symulacją. Program posiada wbudowane biblioteki modeli zawierających większość używanych obecnie protokołów i aplikacji TCP/IP, a także modele różnego typu połączeń używanych współcześnie do łączenia węzłów w sieci np.: kable koncentryczne, kable UTP, włókna światłowodowe.

Modelowanie w środowisku OPNET Modeler odbywa się na trzech hierarchicznych poziomach. Najwyższy z nich i najczęściej używany to poziom sieci. Pozwala on na połączenie węzłów sieciowych takich jak przełączniki, wzmacniacze i routery za pomocą odpowiednich łączy komunikacyjnych. Na tym poziomie nie jest wymagana dokładna znajomość protokołów przesyłu danych. Praca z programem rozpoczyna się od zdefiniowania własnego projektu oraz typu i rozmiaru sieci. Poprzez wskazanie typu sieci określa się czy będzie ona siecią o zasięgu biura, budynku, małego miasta czy też siecią o zasięgu światowym.

Następnie wbudowany w programie kreator tworzy planszę roboczą z podziałką metryczną, na której można umieszczać elementy sieci. Po zbudowaniu systemu konieczne jest określenie parametrów globalnych całej sieci i lokalnych wybranych węzłów, które mają być przetwarzane i zapisywane podczas symulacji. Do wyboru użytkownika jest szereg różnych parametrów podzielonych protokołami i usługami tj.: opóźnienie pakietów, ilość pakietów otrzymanych i utraconych, jitter oraz wiele innych. Kolejnym krokiem jest wybór właściwości samej symulacji np. czasu trwania symulacji i jej końcowe przeprowadzenie.

Każdą sieć można wielokrotnie modyfikować oraz zmieniać symulowane parametry, przy czym OPNET umożliwia zapis każdego scenariusza, a następnie jednoczesne symulowanie i porównywanie uzyskanych wyników dla wszystkich dostępnych scenariuszy.

Niższy poziom w hierarchii programu to poziom węzła, na którym można zmieniać wewnętrzną strukturę utworzonej sieci za pomocą obiektów poziomu węzła tj. nadawcy, odbiorcy, kolejki oraz zestawu protokołów. Poziom procesu jest najniższym poziomem który charakteryzuje się bardzo dużą szczegółowością. Za pomocą trzeciego poziomu można samodzielnie edytować parametry urządzenia sieciowego posługując się językiem C++. Rysunek 1 przedstawia wygląd stacji końcowej roboczej na poziomie pierwszym, drugim i trzecim środowiska OPNET Modeler.



Rys. 1. Wygląd stacji końcowej na trzech poziomach w środowisku OPNET Modeler

Fig. 1. The view of host on three hierarchical levels in OPNET Modeler

OPNET Modeler umożliwia użytkownikowi zastosowanie, a także definiowanie własnych nietypowych urządzeń w konstruowanym modelu sieci. Za pomocą Modelera można zdefiniować również dowolny, autorski protokół wybranej warstwy modelu OSI oraz opisać jego parametry i działanie. Modeler zawiera również szereg wbudowanych funkcji statystycznych pozwalających na szybką analizę wykonanej symulacji i jej bezpośrednią prezentację na ekranie.

3. Jakość systemów pomiarowych

Jakość transmisji definiuje się jako zestaw norm i mechanizmów, które zapewniają żądany poziom transmisji danych w programach i urządzeniach przystosowanych do współpracy z usługą QoS (ang. Quality of Services). W założeniu twórców TCP/IP stos protokołów miał umożliwiać transmisję w każdych warunkach, ale bez gwarancji jej jakości. W obecnych czasach, ze względu na wymagania stawiane usługom multimedialnym, takie podejście jest niewystarczające. W związku z tym na przestrzeni ostatnich lat opracowano szereg mechanizmów i koncepcji poprawiających realizację gwarancji jakości usług QoS. Doraźne środki typu: odpowiedni algorytm routingu, kontrola przeciążeń a także kontrola fluktuacji nie wystarczają do redukcji przeciążeń i poprawiania wydajności przesyłu danych w systemach pomiarowych. Zachodzi więc potrzeba zagwarantowania jakości świadczonych usług poprzez poprawną konstrukcję sieci oraz dobór odpowiedniego protokołu komunikacyjnego.

Przeprowadzone w pracy symulacje uwzględniają różne mechanizmy QoS. W każdej sieci połączeniowej jak i bezpołączeniowej jakość usług określają identyczne parametry takie jak: niezawodność, opóźnienie, przepustowość, fluktuacje i pasmo. Nie wszystkie z nich muszą być równie rygorystycznie przestrzegane dla różnych usług. Wynika to stąd, że pojęcie QoS można definiować dwojako. W ujęciu sieciowym odnosi się do poziomu jakości usług oferowanych przez sieć aplikacjom, ocenianych na

podstawie wymienionych wcześniej parametrów. W ujęciu aplikacyjnym pojęcie QoS odnosi się do jakości postrzeganej przez użytkownika.

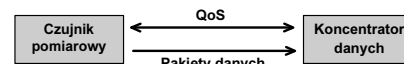
Z punktu widzenia nowoczesnego systemu pomiarowego najważniejszym parametrem jest opóźnienie wnoszone na drodze sensor – łącze – koncentrator, dlatego zdecydowano się na pomiar czasów opóźnień jako głównego wyznacznika jakości badanej sieci.

System pomiarowy jest definiowany jako zbiór jednostek funkcjonalnych tworzących całość organizacyjną, objętych wspólnym sterowaniem przeznaczony do realizacji określonego celu pomiarowego [1]. Sterowanie systemem pomiarowym jest realizowane przez nadrzędną jednostkę nazywaną kolektorem, działającą zgodnie z zainstalowanym programem. Cechą charakterystyczną systemów pomiarowych jest optymalizacja procesów pomiarowych oraz współdziałanie sprzętu i oprogramowania. Współcześnie występuje tendencja do rozbudowy oprogramowania systemów i redukcja części sprzętowej [2].

Elementami rozproszonych systemów pomiarowych są coraz częściej inteligentne urządzenia (węzły) bazujące na mikroprocesorach. Istotną cechą takiego urządzenia jest zdolność do przetwarzania danych i dwukierunkowej cyfrowej wymiany danych pomiędzy urządzeniami tworzącymi system pomiarowy.

W praktyce pomiarowej z uwagi na redukcję kosztów często wykorzystuje się istniejące łącza sieci komputerowych do akwizycji danych pomiarowych. W przypadku połączenia danej sieci pomiarowej z inną za pośrednictwem powolnego łącza może zaistnieć sytuacja, w której zwiększy się opóźnienie ruchu, co może skutkować przerwą w przesyłaniu danych. Opóźnienie jest spowodowane zbyt małą przepustowością dostępną na łączu przesyłowym. Jest ono przyczyną wystąpienia tzw. wąskiego gardła w ścieżce sieciowej [4]. Istnieje kilka technik pozwalających na zagwarantowanie odpowiedniej jakości usług w systemie pomiarowym. Niektóre praktyczne rozwiązania łączą po kilka z nich, aby zapewnić odpowiedni poziom jakości sygnału.

Gwarancja usług polega na przesyłaniu danych z określoną szybkością w zadanym okresie czasu.



Rys. 2. Jakość usług w systemach pomiarowych

Fig. 2. Quality of service in measurement systems

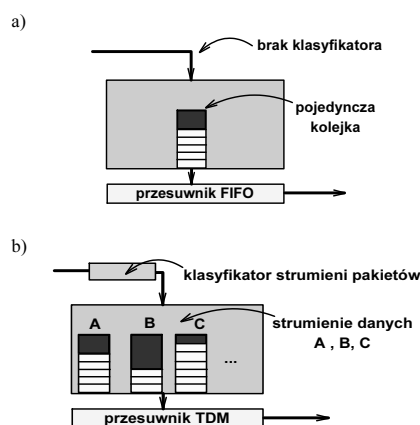
W celu utrzymania odpowiedniego poziomu QoS strumienia danych każdy z węzłów nadających i odbierających informacje całego systemu musi zostać poinformowany o postawionych wymaganiach, co do transmisji (rys. 2). Z tego powodu konieczne jest przesyłanie informacji dwukierunkowo pomiędzy czujnikiem a koncentratorem. Istotne jest to z punktu widzenia negocjacji parametrów transmisji. Natomiast dane z sensora są przesyłane jedynie w stronę koncentratora. Można to zrealizować poprzez etykietowanie pakietów, gdzie każdy z pakietów niesie ze sobą w nagłówku informację dotyczącą postawionych wymagań jakości transmisji lub sygnalizację. Wymaga ona jednak implementacji specjalnego protokołu powiadamiania [4].

Inną regułą kolejowania jest kolejowanie priorytetowe PQ polegające na klasyfikacji pakietów w buforze wyjściowym jedynie na podstawie klasy, do której został on przydzielony. Bardzo interesującą grupą reguł kolejowania jest grupa tzw. sprawiedliwego kolejowania FQ. Pozwala w procesie ustalania kolejności uwzględnić priorytety pakietów jednocześnie zapobiegając blokowaniu ruchu o niższych klasach. Miejsce w buforze wyjściowym zostało podzielone na obszary, w których kolejność pakietów ustalana jest na podstawie priorytetu. Do mechanizmów QoS należy również zaliczyć kształtowanie ruchu (Traffic Shaping). Polega ono na kontroli szybkości ruchu przepływającego przez router. Jest też często nazywany miękką kontrolą dostępu.

Na opóźnienia świadczące o jakości świadczonych usług i niezawodności sieci ma wpływ zastosowany algorytm usuwania zatorów w sieci. Zatory mają miejsce, gdy napływ pakietów jest zbyt duży w stosunku do przepustowości użytego łącza. Po utworzeniu przestoju każdy z pakietów musi zostać sklasyfikowany a następnie umieszczony w kolejce w miejscu zależnym od wyniku klasyfikacji. Ostatnią czynnością jest zaplanowanie kolejnej transmisji [4]. Kolejność, w jakiej system operacyjny danego węzła wybiera pakiety do przetworzenia wpływa na wydajność sieci.

W pracy przedstawiono i przetestowano dwa najczęściej wykorzystywane algorytmy usuwania zatorów. Jest to mechanizm kolejowania FIFO oraz kolejowanie ważne WFQ. Algorytm szeregowania jest tym, co decyduje, którą kolejkę przetwarzać i w jakiej kolejności.

W modelu FIFO nie wyróżnia się wstępnej klasyfikacji, wszystkie pakiety są umieszczane w kolejce w takiej samej kolejności, w jakiej napłynęły, narzut czasowy na planowanie jest niewielki i obsługa krytycznych aplikacji jest niewystarczająca. Jeśli kolejka zapelni się, nowo przybyłe pakiety są odrzucane (rys. 3a). Nie mniej jednak model ten jest często wykorzystywany do obsługi interfejsów mało zatłoczonych.



Rys. 3. Mechanizm kolejowania, a) FIFO, b) WFQ
Fig. 3. Queueing mechanism, a) FIFO, b) WFQ

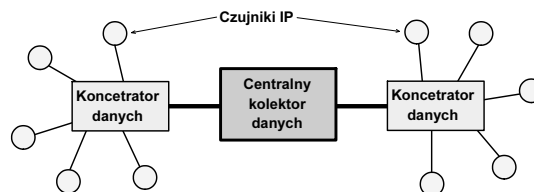
Kolejkowanie ważne [3], w odróżnieniu od kolejowania priorytetowego, traktuje ruch wychodzący nie jako ciąg pakietów, tylko jako zbiór strumieni TCP. Podstawą protokołu TCP jest mechanizm gwarantujący dostarczenie pakietu do adresata. Jest on realizowany za pomocą szeregu potwierżeń wysyłanych pomiędzy nadawcą i odbiorcą w trakcie komunikowania się. Wstępna klasyfikacja strumieni pakietów odbywa się na podstawie adresów węzła nadawczego i odbiorczego oraz numerów portów a następnie każdy strumień tworzy osobną kolejkę (rys. 3b).

W opisywanej metodzie kolejowania pakiety związane z pojedynczym strumieniem są umieszczane w tej samej, dynamicznie tworzonej kolejce, zaś każdemu strumieniowi odpowiada oddzielna kolejka. Strumieniom przypisywana jest waga zależna np. od liczby przesłanych bajtów. Kolejki przeglądane są cyklicznie i z każdej wysyła się w danym cyklu liczbę pakietów proporcjonalną do przypisanej wagi. W sytuacji przepełnienia kolejek porzucane są nowo przybyłe pakiety bez względu na wagę kolejki. Etap planowania podobny jest do systemu z czasowym podziałem pakietów TDM. Do transmisji wybierany jest pakiet z najkrótszym czasem zakończenia. Aplikacje krytyczne nie są uprzywilejowane.

4. Przykładowy system pomiarowy

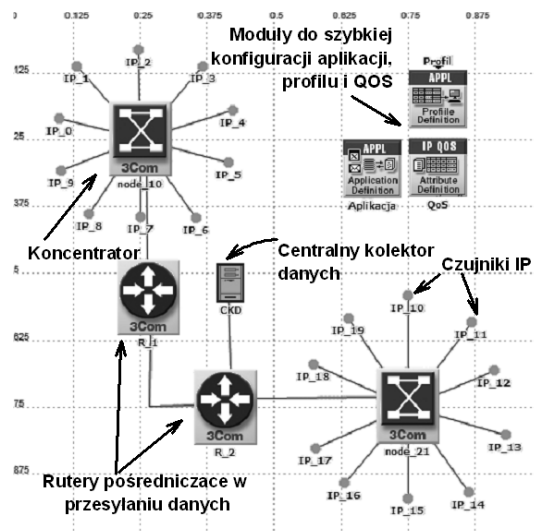
W pracy poddano analizie przykładowy rozproszony system pomiarowy. Składa się on ze stacji roboczych (czujników IP) reprezentujących jednostki pomiarowe służące do akwizycji i wstępnej obróbki danych metrologicznych (rys. 4). Założono, że czujniki są rozmieszczone na obszarze o powierzchni 1 km², przy czym są one podzielone na dwie niezależne sieci. Pierwszymi

jednostkami zbiorczymi są koncentratory. Następnie dane są przesyłane łączem o większej przepustowości do głównego kolektora odpowiadającego za akwizycję danych z całego terenu, ich magazynowanie i przetwarzanie zgodnie z zaimplementowanym algorytmem.



Rys. 4. Badany system pomiarowy
Fig. 4. Tested measurement system

Dane pomiarowe są rejestrowane w sposób ciągły w ciągu doby, a następnie na bieżąco przesyłane do jednostki centralnej za pomocą protokołu TCP. Transmisja na tym odcinku przebiega w zasadzie bez opóźnień, ponieważ łącze jest dedykowane dla pojedynczego czujnika. Wąskim gardłem zaprojektowanego systemu pomiarowego są łącza pomiędzy koncentratorami danych, a głównym kolektorem danych. Na tym łączu jest, więc potrzebny mechanizm zapewnienia jakości QoS. W przeprowadzonych badaniach wprowadzono mechanizm kolejowania na łączach pomiędzy ruterami R_1 i R_2 a koncentratorami danych, co pokazano na rysunku 5.



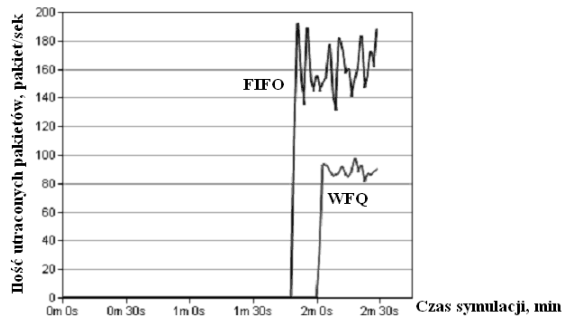
Rys. 5. Symulowana sieć pomiarowa
Fig. 5. Simulated measurement network

W środowisku OPNET Modeler analizowany system pomiarowy zaimplementowano w sposób pokazany na rysunku 5. Wstępnymi koncentratorami danych są dwa przełączniki sieciowe, do których dołączono stacje robocze z czujnikami IP. Dane pomiarowe są następnie transmitowane poprzez routery pośredniczące do centralnego kolektora. Routery zapewniają możliwość późniejszej rozbudowy sieci czujnikowej. W symulacjach posłużono się przygotowanymi modelami urządzeń sieciowych firmy 3Com. W celu umożliwienia symulacji usług QoS wykorzystano gotowe moduły konfigurujące aplikacje, profile i protokoły QoS, które widoczne są na schemacie. Ułatwiają one projektantowi dodanie wybranej usługi sieciowej np. http i ustalenie jej parametrów symulacyjnych.

5. Opis przeprowadzonych badań

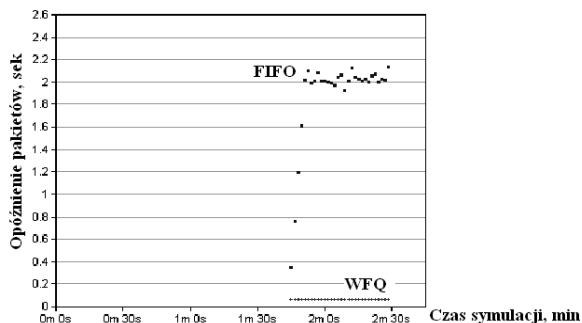
W zamodelowanym systemie pomiarowym w środowisku OPNET Modeler przeprowadzono badania różnych parametrów

świadczących o jakości przesyłu danych. Na ostateczną ocenę QoS analizowanego systemu ma wpływ liczba traconych pakietów w jednostce czasu (rys. 6), którą jest w tym przypadku jedna sekunda.



Rys. 6. Zależność ilości utraconych pakietów w zależności od użytego algorytmu kolejkowania FIFO oraz WFQ

Fig. 6. Lost packets versus queueing algorithm FIFO or WFQ



Rys. 7. Opóźnienie pakietów (w sekundach) na drodze od czujnika IP do centralnego kolektora w zależności od metody kolejkowania: FIFO oraz WFQ

Fig. 7. Packet delays (in s) by link from IP sensor to main collector depending of queueing method FIFO and WFQ

Innym ważnym parametrem porównawczym jest wielkość generowanego opóźnienia w trakcie przesyłu pakietów od koncentratora do głównego kolektora danych (rys. 7). Łączę to jest najbardziej obciążone w całym systemie pomiarowym a jego jakość i niezawodność ma bardzo duże znaczenie w bezawaryjnej transmisji danych.

6. Wnioski i uwagi końcowe

W niniejszej pracy zaprezentowano w skrócie środowisko Opnet Modeler z uwzględnieniem jego najważniejszych możliwości symulacyjnych. Podano również sposób budowania schematu sieci pomiarowej oraz, na przykładzie, hierarchiczną strukturę tworzenia sieci w opisywanym środowisku. W podpunkcie drugim

omówiono definicję systemu pomiarowego i zagadnienie jakości usług w sieciach komputerowych i systemach pomiarowych. Podano również różne metody kolejkowania w sieciach oraz ich wady i zalety.

Analizowany system pomiarowy umożliwia całodobowy odczyt wartości wybranej wielkości pomiarowej z terenu około 1 km², co pozwala na połączenie sieci pomiarowej na terenie dużego zakładu lub niewielkiego osiedla. Odpowiedni poziom usług QoS powinien być zapewniony na łączu pomiędzy koncentratorom, a kolektorem danych, ponieważ to łącze jest najbardziej narażone na wystąpienie zatoru. Dlatego badania symulacyjne prowadzono dla tego właśnie odcinka.

W metodzie kolejkowania FIFO można zauważyć początkowo małe opóźnienia, ponieważ kolejka wyjściowa nie zdążyła się jeszcze zapelnąć. Wraz z upływem czasu następuje wzrost opóźnienia aż do stałej wartości 2 sekund. W czasie, gdy kolejka jest zapelniona, napływające do routera pakiety są przez niego odrzucane.

Natomiast mechanizm oparty na kolejkach ważonych WFQ pozwala utrzymać bardzo niewielkie opóźnienia (poniżej 0,1s) podczas całej transmisji, redukcji uległa również liczba traconych pakietów.

Niewątpliwą zaletą kolejkowania ważonego jest jego sprawność. Każdy strumień zostanie obsłużony, trudno jest dokładnie określić kiedy. W sytuacji, w której nawiązywane są coraz to nowe połączenia liczba kolejek może rosnać nieograniczenie i tym samym czas wpływający pomiędzy dwoma kolejnymi cyklami wysyłania pakietów z kolejki będzie rósł, co w przypadku niektórych rodzajów transmisji jest niekorzystne.

Na podstawie uzyskanych symulacji można wnioskować o dużo lepszej niezawodności systemu wykorzystującego model WFQ zwłaszcza wtedy, gdy czas przesyłu danych od źródła do centralnego punktu zbierania i przetwarzania danych jest niezwykle istotny. Natomiast, gdy liczba danych pomiarowych w jednostce czasu jest niewielka, lub też wnoszone opóźnienia nie są istotne odpowiednią metodą kolejkowania jest FIFO.

Dalsze badania będą uwzględniały inne protokoły kolejkowania np. PQ, RED i CBQ oraz bardziej rozbudowane systemy pomiarowe.

7. Literatura

- [1] Biniek Z.: Elementy teorii systemów modelowania i symulacji, Infoplan, Warszawa, 2002.
- [2] Gajda J., Szyper M.: Modelowanie i badania symulacyjne systemów pomiarowych, Jartek s.c., Kraków, 1998.
- [3] Tanenbaum A.S.: Sieci komputerowe, Wydawnictwo Helion, Gliwice, 2004.
- [4] Guo Z., Zeng H.: Simulation and Analysis of Weighted Fair Queueing Algorithms in OPNET, International Conference on Computer Modeling and Simulation, 2009.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Zapraszamy do publikacji artykułów promocyjnych w miesięczniku naukowo-technicznym PAK

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,
tel./fax: 032 237 19 45, e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl