ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: INFORMATYKA z. 36 Nr kol. 1414

Stefan SENCZYNA
Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Systemów Technicznych

MODEL SIECI KOMPUTEROWEJ Z ZASTOSOWANIEM ELEMENTÓW METODYKI SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA

Streszczenie. W metodyce szybkiego prototypowania do projektowania są wykorzystywane modele przepływowe oraz testowanie za pomocą prototypu. W artykule przedstawiono koncepcję analizy wskaźników przepustowości sieci komputerowej za pomocą modeli przepływowych. Do opisu modeli zastosowano język VHDL i C++. W budowie modelu przepływowego sieci mogą być zastosowane 'moduły sprzętowe' prototypu, na którym model jest testowany.

THE MODEL OF COMPUTER NETWORK USING ELEMENTS OF THE 'RAPID PROTOTYPING' METHODOLOGY

Summary. The rapid prototyping provides 'flow models' and a prototype testing for hardware designing. This paper presents the conception of transmission coefficients analysis using 'flow models'. Models are described in VHDL and C++. The flow model of a net may be composed of 'hardware modules', which are part of a prototype for the model testing.

1. Wprowadzenie

Sieć komputerowa, która jest budowana z wielu różnego typu serwerów, stacji systemów operacyjnych i aplikacji, stanowi środowisko heterogeniczne. Usługi realizowane przez sieć, dostarczanie na żądanie stacji zasobów kontrolowanych przez serwery, mogą być przedstawione modelem 'producent-konsument'. Budowa modelu sieci komputerowej, który może służyć do oszacowania wydajności sieci, wymaga zastosowania złożonych narzędzi, takich jak modele kolejkowe [2]. W przypadku prostej struktury sieci, np. łącza fizyczne tego samego typu, nieduża liczba protokołów komunikacyjnych, wydajność może być oszacowana

na podstawie wskaźników technicznych komponentów sieci. Realizacja pomiarów sieci w różnych warunkach obciążeń dostarcza danych eksperymentalnych, które mają zastosowanie do rozbudowy struktury sieci.

Metoda modelowania sieci może być zastosowana do obliczania wskaźników wydajności sieci dla różnych konfiguracji sprzętu i oprogramowania. Techniczna konstrukcja sieci pozwala na wymianę sprzętu (medium transmisji, serwerów) na bardziej wydajne wersje w ramach tej samej struktury. W ten sposób wskaźniki przepustowości są poprawiane w procesie pomiarów i zmian elementów struktury sieci. Te działania można określić jako projektowanie sieci metodą prototypowania, przy czym pierwsza wersja prototypu pełni już funkcje użytkowe.

Typowy projekt sieci komputerowej [5] jest schematem połączeń serwerów i stacji roboczych, który jest charakteryzowany wskaźnikami przepustowości złączy fizycznych, wydajnością serwerów i liczbą stacji roboczych. Do badania projektu metodami analitycznymi mogą być stosowane złożone modele, np. kolejkowe, dla których opracowano wiele pakietów programów do obliczania modeli analitycznych. Model analityczny stawia również przed projektantem wymaganie weryfikacji modelu przez np. porównanie wyników obliczonych z pomiarami eksperymentalnymi. Weryfikacja założeń projektu, które obejmują wskaźniki przepustowości, może być wykonana za pomocą prototypu sieci.

W projektowaniu sieci są stosowane 'struktury wzorcowe'. Wzorce 'magistrala' i 'gwiazda' w prostej wersji są w warstwie złącza fizycznego jednolite - ta sama prędkość transmisji. Wzorce złożone - 'strukturalne' są kombinacją 'magistrali' i 'gwiazdy', a prędkość transmisji w warstwie złącza fizycznego jest 'stopniowana' (10, 100 MHZ) i dobierana zależnie od oszacowania wymaganej przepustowości segmentów sieci.

Struktura sieci zbudowana na podstawie 'wzorców' po wyborze typów i fizycznych parametrów sprzętu i oprogramowania stanowi prototyp, który jest uruchamiany. Badania uruchomionego obiektu, jak i zapotrzebowania użytkowników służą do zmian i rozbudowy struktury połączeń, serwerów i stacji. Tak jak wspomniano, proces projektowania struktury może być wspomagany na wszystkich etapach modelami analitycznymi. Natomiast na realizację projektu sieci są nałożone ograniczenia w postaci zbioru 'struktur wzorcowych' oraz parametrów fizycznych komponentów sieci. Na przykład, gdy projektowana jest sieć o strukturze 'gwiaździstej', to za pomocą modelu analitycznego można obliczyć wymaganą przepustowość złączy. Następnie można dokonać wyboru fizycznej realizacji złączy, uwzględniając ograniczenie do dwóch typów złączy, np. 10 i 100 MHz. To znaczy, że modele analityczne są raczej narzędziem wskazującym 'progi wyboru' niż określającym realne parametry sprzętu.

Znaczący udział w projektowaniu, uruchamianiu i rozbudowie sieci komputerowej mają prace, które można określić jako 'prototypowanie'. To stanowi przyczynę podjęcia zagadnienia 'szybkiego prototypowania' w projektowaniu sieci komputerowych. Metodyka 'szybkiego prototypowania' jest stosowana do projektowania potokowych procesorów sygnałowych [1]. Istotnymi cechami metodyki są analiza projektu za pomocą 'emulatora prototypu' oraz modele przepływowe dla formułowania zadania przetwarzania danych. Produktem 'szybkiego prototypowania' w przypadku procesorów sygnałowych jest projekt (modułowy) sprzętu oraz aplikacja.

Celem prezentowanego opracowania jest dyskusja nad zastosowaniem elementów metodyki 'szybkiego prototypowania' do projektowania sieci komputerowych. Dodatkowo wybrane modele przepływowe zostaną podane w języku VHDL oraz C++.

Dyskusja obejmuje dwa przypadki zastosowania elementów 'szybkiego prototypowania' w projektowaniu i analizie sieci komputerowej:

- model przepływowy prototypu sieci komputerowej służy do weryfikacji założonych wskaźników przepustowości. Model zapisany w języku VHDL może być poddany symulacji w środowisku jednoprocesorowym;
- dla danego przypadku aplikacji może być podany model przepływowy dla zadania 'zapotrzebowanie zasobów sieci'. Model zapisany w języku C++ może być poddany symulacji w środowisku sieci komputerowej, które pełni funkcje 'prototypu' sieci.

2. Charakterystyka metodyki 'szybkiego prototypowania'

W projektowaniu urządzeń komputerowych wykonywany jest prototyp urządzenia, na którym jest przeprowadzana końcowa weryfikacja projektu. W projektowaniu procesorów sygnałowych prototyp stanowi kosztowny element projektu, dlatego że tego typu urządzenia mogą być wykonywane jednostkowo. Dlatego aby lepiej wykorzystać zalety prototypu, opracowana została metodyka 'szybkiego prototypowania'. Charakterystyka metodyki zostanie przedstawiona na podstawie systemu GRAPE II [1] (Graphical RApid Prototyping Environment), który jest zbiorem narzędzi do wspomagających proces projektowania i syntezy procesorów sygnałowych.

W systemie GRAPE II zastosowano graficzną specyfikację prototypu (rozszerzony model przepływu danych). System jest otwartym środowiskiem, do którego do realizacji faz projektowania: oszacowania zasobów, przydziału modułów sprzętowych, generacji kodu dołączane są narzędzia właściwe docelowej realizacji sprzętowej prototypu. Dane zebrane

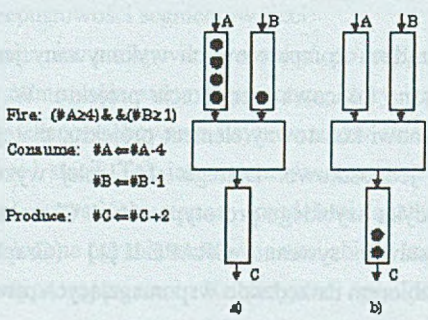
w fazach projektowania są ładowane do bazy danych i służą do opracowania decyzji przez projektanta i ustalenia parametrów uruchamiania kolejnych narzędzi.

Użyte w systemie GRAPE II modele przepływu danych definiują zbiór symboli i reguł do formułowania specyfikacji aplikacji. Projektant w pierwszej fazie buduje model danej aplikacji w postaci modułów powiązanych przepływami danych. Model służy do automatyzacji procesu projektowania. Zależnie od użytych obiektów w modelu, w kolejnych fazach, określane są narzędzia do transformacji projektu. Dane zebrane za pomocą tych narzędzi służą do selekcji rozwiązań i wykonania projektu prototypu.

Proces projektowania prototypu urządzenia DSP można podzielić na trzy fazy: specyfikacja aplikacji i specyfikacja sprzętu dla realizacji prototypu, przydział zasobów sprzętu do realizacji zadań aplikacji, synteza oprogramowania i testowania parametrów prototypowej aplikacji. Proces projektowania przedstawia liniowy model przepływu danych [1].

2.1. Charakterystyka modeli przepływowych

Modele przepływowe, zastosowane w systemie GRAPE II, odwzorowują przetwarzanie potokowe, współbieżne realizowane przez urządzenia DSP. Specyfikacja aplikacji jest schematem strukturalnym złożonym z modeli poszczególnych zadań aplikacji powiązanych ze sobą drogami przepływu danych. Każdy z modeli określa algorytm przetwarzania wykonywanego przez moduły sprzętowe DSP. Dla projektanta stanowi on moduł programowania i może być zapisywany za pomocą np. języka C. Modele przepływowe dla potrzeb projektanta mają prezentację graficzną.



Rys. 1. Przykład modelu przepływowego DSP
Fig. 1. An example of the DSP flow model

W formalnym ujęciu model przepływowy jest grafem skierowanym: $G = (V, E)$ gdzie wierzchołki V są zadaniami obliczeniowymi, a krawędzie E są drogami przepływu danych. Krawędzie, z założenia, są buforami danych typu FIFO o nieograniczonej pojemności. Przyjmuje się, że gdy bufor wejściowy zawiera co najmniej jeden pakiet danych, to

wykonywane jest zadanie przyporządkowane odpowiedniemu wierzchołkowi. W efekcie wykonania zadania może być wstawiony pakiet danych do bufora wyjściowego. Ilość pakietów danych w poszczególnych buforach modelu określa stan modelu. Wykonanie zadań obliczeniowych modelu, w skończonym czasie, powoduje przyjęcie przez model nowego stanu.

3. Model przepływowy prototypu sieci komputerowej

Model przepływowy może być zastosowany do odwzorowania komunikacji między modułami sieci komputerowej. W tym celu składniki sieci komputerowej, takie jak stacje, medium transmisji, serwery, są wyodrębniane jako moduły wejścia - wyjścia. Następnie są formułowane modele przepływowe poszczególnych modułów, w oparciu o ograniczony zbiór symboli, reguł łączenia symboli i formuł definiujących funkcje wejścia - wyjścia. Istotnym założeniem w budowie modeli przepływowych jest ograniczenie do funkcji transmisji danych realizowanej przez sieć komputerową, gdyż celem budowy modelu jest analiza wskaźników przepustowości.

Załóżmy, że modele przepływowe są formułowane dla sprzętowych modułów sieci komputerowej na podstawie analizy funkcji oraz pomiarów wskaźników przepustowości. W takim przypadku model sieci jest odwzorowaniem określonej struktury sprzętowej i może być badany jako prototyp sieci. Oczywiście, te badania są ograniczone do przepustowości ze względu na modele przepływowe.

Modele przepływowe posiadają prezentację w postaci diagramów graficznych. W procesie budowy modelu sieci komputerowej diagram pełni funkcję narzędzia wspomagającego. Efektem końcowym modelowania jest zbiór wyrażeń określonych na zbiorach zmiennych wejścia, wyjścia i stanów. Do parametryzacji modelu można zastosować dyskretną skalę czasu. W takim przypadku narzędziem budowy modelu będzie język opisu sprzętu, np. VHDL.

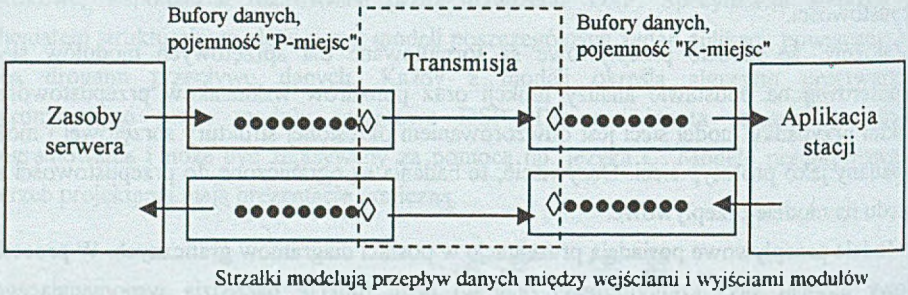
Modele przepływowe, tak jak przedstawiono w punkcie 1, zostaną zastosowane do realizacji dwóch przypadków badań:

- model przepływowy prototypu, który odwzorowuje wszystkie moduły sieci i może być analizowany programem symulatora, np. języka VHDL,
- model przepływowy prototypu, który odwzorowuje moduły serwera i stacji (moduły składowania i dystrybucji zasobów) i jest przeznaczony do symulacji w środowisku sieciowym w celu użycia sprzętowych modułów (transmisji danych) jako elementów modelu.

3.1. Zastosowanie języka VHDL do opisu modelu przepływowego

Zbiór struktur języka VHDL jest narzędziem opisu sprzętu komputerowego. W procesie tworzenia opisu sprzętu jest generowany model symulacyjny w postaci 'net list'. Struktury języka służą do hierarchicznego, modularnego opisu jednostek sprzętu. Funkcje i operacje wejścia/wyjścia jednostek sprzętu mogą być modelowane wyłącznie w dyskretnej skali czasu.

Podstawowe struktury języka, takie jak jednostka projektowa, ciało architektoniczne i funkcjonalne oraz sygnał logiczny - określają metodę konstruowania modelu przepływowego. Budowa modelu zostanie przedstawiona w oparciu o przykład typu stacja-transmisja-serwer, upraszczając moduł transmisji do modelu postaci 'jednobitowy sygnał logiczny'. W tym przypadku istotny jest proces formułowania opisu z zastosowaniem koncepcji modeli przepływowych. W tym celu można zastosować prostą strukturę sieci, przykład na rysunku 2. Należy zaznaczyć, że struktura modelu przepływowego jest analogiczna do modeli kolejkowych [2]. Model przepływowy odwzorowuje poszczególne moduły i drogi przepływu. W modelu kolejkowym poszczególne jednostki sieci są odwzorowane za pomocą stanowisk obsługi, powiązań wejścia - wyjścia oraz modeli statystycznych.



Rys. 2. Przykład prostej struktury sieci
Fig. 2. The example of a simply net structure

Przedstawiony przykład struktury sieci składa się z modułów 'zasoby', 'aplikacja', 'bufory'. Moduły są grupowane w dwie jednostki: 'serwera' oraz 'stacji'. W tym przypadku jednostka 'transmisja' nie zawiera modułów, w ramach jednostki są tylko wyodrębnione powiązania wejścia - wyjścia buforów danych. Dla uproszczenia bufory danych posiadają pojemność P lub K 'pakietów' o jednakowej ilości danych. Opis przykładu w języku VHDL można wykonać za pomocą jednostki projektowej i ciała architektonicznego złożonego z konkretyzacji dwóch jednostek projektowych dla modułów 'serwer' i 'stacja'. Dla wykonania opisu danego prostego przykładu należy podać wiele parametrów: liczby pakietów w buforach, opóźnienia połączeń wejścia-wyjścia, przesunięć pakietów w buforach. Specyfikacji wymagają również algorytmy realizowane przez stację i serwer: 'zapotrzebowania na zasoby' oraz 'dostępu do zasobów'.

Przykład uproszczony opisu modułu 'serwer' został podany poniżej przy uproszczeniu struktury do dwóch buforów 2-bitowych (2-'miejscowych') oraz pomijając wewnętrzne algorytmy przekazywania pakietów między 'buforami' a 'zasobami' (rys. 2).

Przykład opisu w języku VHDL modułu 'serwer'

```
entity  Server      Is
  port (  WE:    In    Bit;
          WY:    out   Bit    );
end    server;

architecture   module   of   server    is
  signal   Buffer_IN:      Bit_Vector (0 to 1);
  signal   Buffer_OUT:     Bit_Vector (0 to 1);
begin
  P1:   process (IN, Buffer_IN)
        begin
              Buffer_IN (1)      <= Buffer_IN (0) after delay_in
              Buffer_IN (0)      <= IN after delay_1
        end process P1;
  P2:   process (Buffer_OUT)
        begin
              Buffer_OUT (0)     <= Buffer_IN (1) after delay_out
              Buffer_OUT (1)     <= 1 after delay_out
        end process P2;
end module;
```

Instrukcje 'process', użyte w ciele jednostki architektonicznej, opisują prosty model buforów typu FIFO (first in - first out), w których są przemieszczane pakiety danych między 'zasobami' a wejściami i wyjściami.

W przykładzie przyjęto uproszczony model 'pakietu danych', stosując zmienną typu 'sygnał logiczny'. Ten model pozwala na odwzorowanie transmisji danych oraz wartości odcinka czasu potrzebnego na wykonanie transmisji, co przestawia przykład:

Buffer_OUT (1) <= 1 **after** delay_out gdzie delay_out jest wartością czasu transmisji.

Przykład modelu transmisji danych pokazuje ważną właściwość modeli przepływowych - czym jest ograniczone odwzorowanie transmisji danych realizowanej w strukturze sieci komputerowej. Model transmisji, zastosowany w przykładzie (rys. 2), który można nazwać

'jednobitowym', w przypadku tylko analizy wskaźników czasowych przepustowości prototypu sieci będzie wystarczający. Uwzględnienie struktury pakietu i wskaźników ilościowych (długości poszczególnych segmentów pakietu) wymaga oczywiście zastosowania dodatkowych atrybutów. Korzystając z definicji struktur danych języka VHDL, można podać następujący przykład modelu pakietu danych:

Definicja typu danych

```
type data_packet    is record
            Header: INTEGER;
              Data: INTEGER;
end record;
```

Przykład definicji zmiennej stanowiącej model 'pakietu danych'

```
signal packet_1:    Data_packet;
```

Przedstawiony model pakietu danych pociąga za sobą złożony opis modeli przepływowych ze względu na operacje wykonywane na wszystkich atrybutach modelu. Model transmisji danych powinien być uproszczony ze względu na ważny cel 'szybkiego prototypowania', jakim jest zbudowanie 'niezłożonego' modelu urządzenia. W danym przypadku jest to model sieci komputerowej. Kryteria modelu 'niezłożonego' będą następujących rodzajów: liczba modułów (modeli przepływowych), na które zostało podzielone urządzenie, liczba operacji potrzebnych do opisu poszczególnych modułów oraz wykorzystanie środowiska sprzętowego do modelowania funkcji niektórych modułów.

W metodyce 'szybkiego prototypowania' stosowanej w projektowaniu sprzętu DSP prototyp sprzętowy 'zastępuje' docelowe urządzenie DSP. Natomiast modele przepływowe służą do generacji aplikacji, która będzie testowana na prototypie sprzętowym. W przypadku modelu przepływowego prototypu sieci komputerowej proponowane jest rozwiązanie upraszczające model, w którym wybrane elementy będą 'modelowane sprzętowo'.

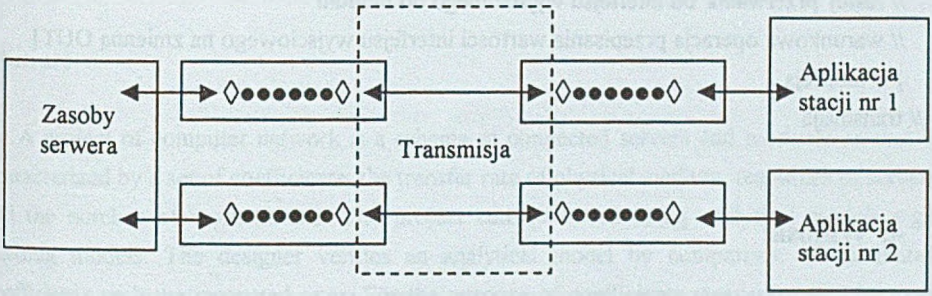
Wyodrębnienie w prototypie tych modułów, które mogą być 'modelowane sprzętowo', jest zależne od struktury środowiska, w którym będzie realizowana symulacja modelu. W przypadku zastosowania środowiska sieci komputerowej do analizy prototypu, w postaci modelu przepływowego, zagadnienie wyodrębnienia modułów zostanie przedstawione w następnym punkcie, w oparciu o przykład - rysunek 3.

3.2. Model przepływowy, opis w języku C++ i zastosowanie symulacji sprzętowej

Zastosowanie w symulacji modelu przepływowego 'sprzętowych modułów' pozwala na uproszczenie modelu i większą 'dokładność' odwzorowania badanej struktury sieci. Ta metoda wymaga zastosowania modeli pełniących funkcje 'interfejsów' do jednostek sprzętowych.

W celu opracowania modeli 'interfejsów' zostanie zastosowany język C++, który jest 'bliski' modułom sprzętowym. W tym przypadku opis modułów może być formułowany analogicznie jak w VHDL, co zostało zrealizowane w opracowaniu nt.: 'model symulacyjny sieci komputerowej' [4].

Model struktury sieci, podany na rysunku 3, składa się z czterech modułów: serwera, dwóch stacji i modułu transmisji. Zadania 'zapotrzebowania na zasoby sieci' są realizowane przez aplikację stacji, które mogą być podane modelami przepływowymi 'buforów pakietów danych', jak na rysunku 2. Natomiast transmisja, w przypadku dwóch stacji, wymaga odwzorowania określonego protokołu transmisji. Uwzględniając skomplikowane algorytmy protokołów oraz możliwe 'obciążenie' transmisji powodowane przez pracę innych jednostek modelowanej sieci, korzystne jest zastosowanie 'modułu sprzętowego' zamiast modelu 'transmisja'.



Rys. 3. Model przepływowy dla struktury sieci 'serwer - dwie stacje'
Fig 3. The flow model of net for structure 'server - 2 workstation'

Zastosowanie modelu sprzętowego 'transmisja' powoduje, że modele przepływowe dla jednostek 'serwer', 'stacja nr 1', 'stacja nr 2' mogą być współbieżnymi aplikacjami uruchamianymi w eksperymentalnym środowisku sprzętowym na odrębnych stacjach. Wykonany tą metodą model przepływowy, uruchomiony w eksperymentalnym środowisku sieciowym, dodatkowo umożliwia analizę wskaźników przepustowości tego środowiska dla różnych wariantów zadania 'zapotrzebowania na zasoby'. Istotą tego modelu jest badanie wskaźników przepustowości prototypu sieci za pomocą środowiska eksperymentalnego.

Model symulacyjny sieci, przedstawiony w [4], jest zbiorem zagnieżdżonych obiektów. Obiekty na najniższym poziomie zagnieżdżenia odwzorowują operacje transmisji pakietów danych. W tym przypadku została zastosowana definicja obiektu 'signal' opracowana na podstawie (uproszczonej) definicji obiektu 'signal' z języka VHDL. Korzystając z tego rozwiązania, można podać uproszczoną 'szkieletową' definicję obiektu stanowiącego interfejs do modułu sprzętowego 'transmisja', wyodrębnionego przerywaną linią na rysunku 3. Definicja

obiektu - interfejsu zawiera zmienne modelujące wejścia - wyjścia oraz specyfikację procedury operacji przekazywania wartości między zmiennymi a rejestrami modułu sprzętowego.

Przykład definicji obiektu dla modułu sprzętowego 'transmisja', z wykorzystaniem obiektów typu 'signal'

```
class   transmisja   {
   Signal    IN1, IN2;
   Signal    OUT1;
   transmisja    ( ) { };        // konstruktor
   Void interfejs    ( ) {
   // testuj 'zdarzenia' interfejsu wejściowego modułu, zmienne obiektowe IN1, IN2
   // warunkowa operacja przepisania wartości IN1, IN2 na interfejs sprzętowy
   // testuj 'przerwania' od interfejsu wyjściowego do modułu
   // warunkowa operacja przepisania wartości interfejsu wyjściowego na zmienną OUT1
   } // interfejs
} // transmisja
```

4. Wnioski

Sieć komputerowa jest szczególnym przypadkiem sprzętu komputerowego, który może być poddawany ciągłemu procesowi analizy wydajności i rekonstrukcji przez wymianę mało wydajnych modułów sprzętowych.

W metodyce 'szybkiego prototypowania' można wyodrębnić dwa ważne elementy: modele przepływowe oraz prototyp sprzętowy. Zastosowanie modeli przepływowych do projektowania sieci komputerowej zostało przeprowadzone w oparciu o przykład w języku VHDL i C++. W tym przypadku przyjęto pakiet danych modelowany za pomocą sygnału logicznego 'jednobitowego'. Pozwala to na uproszczenie analizy i opisu modelu.

Tą metodą, wspomaganą 'diagramami graficznymi', można przeprowadzić 'szybką analizę' projektu sieci komputerowej. Obliczenia modelu mogą być wspomagane 'prototypem sieci komputerowej' przez podstawienie modułów sprzętowych do modelu przepływowego.

LITERATURA

1. Anonymous: ACCA and Rapid Prototyping of DSP Systems, Katholieke Universiteit, ESAT Department, serwer URL www.esat.kuleuven.ac.be. Heverlee, Belgia 1997.

2. Czachórski T.: Modele kolejkowe systemów komputerowych. Skrypt Politechniki Śląskiej, nr 1844, Gliwice 1994.
3. IEEE Standard VHDL Language Reference Manual; IEEE Std 1076-1993, New York 1994.
4. Senczyna S.: Model symulacyjny sieci komputerowej w oparciu o standard VHDL. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Informatyka Vol. 1381, Gliwice 1998.
5. Tannenbaum A. S.: Sieci komputerowe. WNT, Warszawa 1988.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Tadeusz Czachórski

Wpłynęło do Redakcji 22 marca 1999 r.

Abstract

A project of computer network is a schema of connected servers and workstation that is characterized by a set of coefficients: the transfer rate of physical medium, resources of servers and the number of workstations. The project can be tested using analytical models e.g.: queuing models. The designer verifies an analytical model by comparison of calculated coefficients with the measured ones. For the purpose of coefficients measuring may be used 'the prototype' for designed network.

The 'rapid prototyping' methodology (e.g: GRAPE II [1]) uses 'flow models' and a design testing with a prototype. In this paper we, based on 'rapid prototyping' we present the conception of using flow 'models' and 'prototyping' in modeling and analyzing computer network. The following cases of the conception are presented:

- 'flow model', (fig. 2) which maps a modular structure of network and can be described using VHDL language (description example is in 3.1 point of the paper),
- the method of a simulation the 'flow model' (fig. 3) using 'hardware modules' in place of 'flow models' for 'transmission' modules because their complexity (an example of C++ description in 3.2 point of the paper).