

Remigiusz J. RAK, Andrzej MAJKOWSKI, Marcin GODZIEMBA-MALISZEWSKI
Zakład Systemów Informacyjno-Pomiarowych
Politechnika Warszawska

ANALIZA PORÓWNAWCZA STRUKTUR LABORATORIUM WIRTUALNEGO

Streszczenie. Lawinowy rozwój technologii informacyjnej wywiera bardzo znaczący wpływ na wiele różnych dziedzin życia. Z punktu widzenia metrologa, zajmującego się kształceniem studentów, ten wpływ dotyczy przede wszystkim technik pomiarowych oraz samego procesu kształcenia. Coraz większego znaczenia nabiera kształcenie na odległość realizowane z użyciem nowoczesnych technik internetowych. Rodzi się potrzeba opracowania systemów umożliwiających prowadzenie eksperymentów na odległość - przez Internet. Możliwość prowadzenia eksperymentu w ramach tzw. wirtualnego laboratorium, obejmującego zarówno symulacje, jak też zdalny dostęp do laboratorium rzeczywistego, powinna zapewniać studentowi zrozumienie istoty badanych zjawisk, zapoznanie się ze stosowanymi rozwiązaniami układowymi i technikami pomiarowymi. Przedmiotem referatu jest opis porównawczy dwu różnych sieciowych struktur organizacyjnych laboratorium wirtualnego. Pierwszą z przedstawionych struktur jest system z jednym tzw. centralnym serwerem, druga zawiera jeden serwer zarządzający oraz dowolną liczbę tzw. serwerów pomiarowych.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VIRTUAL LABORATORY STRUCTURES

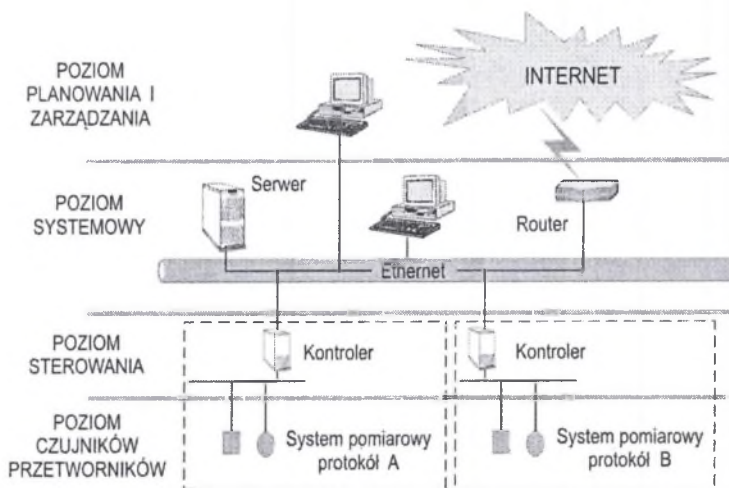
Summary. The nearly avalanche expansion of the Information and Communication Technology (ICT) strongly influenced many domains of our lives. From the viewpoint of an academic teacher, specialized in the area of Instrumentation and Measurement (I&M), these influences alter both measurement techniques and didactic process. Distance learning based on Internet technology is becoming more and more popular. Remote virtual laboratories are very useful tools in the process of teaching in distance learning. Students can access virtual instruments via a computer network and carry out real experiments directly by using a simple standard commercial Internet Web browser. In this paper there is enclosed a comparative description of two different structures of Virtual Laboratories. The first one is based on a single central server, the second on so called management server and a set of measurement servers.

1. WSTĘP

Wirtualne przyrządy pomiarowe w dużym stopniu zastąpiły w laboratoriach dydaktycznych drogie i skomplikowane przyrządy inteligentne, co znacznie uprościło proces projektowania, uruchamiania i modernizacji tych laboratoriów. Graficzny interfejs użytkownika (GUI), który do złudzenia przypomina płytę czołową rzeczywistego przyrządu pomiarowego, powoduje, że użycie i rozumienie funkcji przyrządu jest intuicyjne dla tych, którzy korzystali do tej pory z konwencjonalnych przyrządów pomiarowych. Możliwość modyfikowania procedury pomiarowej poprzez zmianę zainstalowanego w komputerze oprogramowania, bez zmiany komponentów sprzętowych sprawia, że badania i eksperymenty stają się coraz bardziej elastyczne, nowoczesne i proste. Sprzęgnięcie przyrządu wirtualnego z lokalną siecią komputerową jest zadaniem niesłychanie prostym. Wymaga zainstalowania karty sieciowej w komputerze i przydzielenia mu numeru IP. Natomiast obsługa protokołu sieciowego jest wbudowana do większości bibliotek oprogramowania narzędziowego.

W nowoczesnym modelu kształcenia studentów, a szczególnie w procesie kształcenia na odległość w dziedzinie szeroko pojętych technik pomiarowych, bardzo istotną rolę odgrywa możliwość prowadzenia eksperymentu w sposób zdalny, w ramach tzw. laboratorium wirtualnego. Laboratorium takie powinno zapewnić studentowi zrozumienie istoty badanych zjawisk, zapoznanie się ze stosowanymi rozwiązaniami układowymi i technikami pomiarowymi. Wskazane jest również, w miarę możliwości, pozostawienie studentowi pewnej swobody w doborze elementów i konfiguracji układu pomiarowego, a nawet danie możliwości tzw. *nauki na błędach*. Przedmiotem referatu jest opis dwu różnych struktur organizacji laboratorium wirtualnego. Pierwszą z przedstawianych struktur jest system zdalnego dostępu do laboratorium, zaprojektowany w oparciu o jeden centralny serwer. Drugą, system zawierający jeden serwer zarządzający oraz dowolną liczbę serwerów pomiarowych.

Dzięki technologiom sieci komputerowych, intranetowym i internetowym można budować systemy, które pozwalają na monitorowanie, nadzór oraz koordynację rozproszonych terytorialnie procesów produkcyjnych, badawczych, a także laboratoriów dydaktycznych. Punktem wyjścia do ich projektowania jest struktura zamieszczona na rys.1.



Rys. 1. Architektura rozproszonego systemu pomiarowego
Fig. 1. Architecture of a distributed measurement system

Architektura tego systemu pozwala na stwierdzenie, że jest on rozproszony nie tylko w sensie terytorialnym, ale również w sensie sterowania i zarządzania [4]. W systemie takim można wyróżnić cztery podstawowe poziomy tzw. *warstwy* (ang. *layer*). Najniższa z nich, *warstwa sterowania i czujników*, zawiera klasyczne podsystemy pomiarowe. Podsystemy te są zarządzane przez autonomiczne, programowalne kontrolery lub komputery ogólnego przeznaczenia z odpowiednimi kartami interfejsowymi. Każdy z podsystemów może zawierać własny interfejs komunikacyjny (RS-232, IEC-625, Profibus, itp.), najbardziej wygodny w danym zastosowaniu. Wybrane informacje z poszczególnych podsystemów przekazywane są do poziomu trzeciego.

Warstwa trzecia, tzw. systemowa, zbudowana jest w oparciu o sieć komputerową. Znajdują się w niej serwery aplikacji, serwery baz danych oraz stanowiska do kontroli i serwisu całego systemu. Głównym zadaniem sprzętu i oprogramowania, znajdującego się na tym poziomie, jest skoordynowanie działań całej struktury, odpowiednie przetworzenie danych, współdzielenie zasobów do przetwarzania rozproszonego, reakcja na typowe zdarzenia awaryjne i umożliwienie pełnej kontroli nad systemem warstwie zarządzania i planowania.

Kontrolery warstwy drugiej podłączone są do sieci komputerowej, która pełni rolę ośrodka integrującego cały system, bezpośrednio lub za pomocą specjalnych urządzeń, spełniających funkcje bram (ang. *gateway*). Technologie sprzętowo-programowe połączeń z siecią komputerową są związane z protokołami komunikacyjnymi poszczególnych podsystemów. Oznacza to dużą różnorodność rozwiązań, co ma wpływ na skalowalność i otwartość struktury. Jednak występują już na rynku kompleksowe rozwiązania sieciowych systemów komunikacyjnych, umożliwiających efektywną i prostą integrację całego środowiska. Do najbardziej zaawansowanych technologii należą rozwiązania firm: Hewlett-Packard (Industrial Ethernet), Hirschmann (Industrial Networking), National Instruments (DataSocket) i Sun Microsystems (Java, Jini).

Aktualnie najbardziej rozpowszechnioną technologią LAN jest Ethernet. Sieci tego typu charakteryzują się dużą szybkością transmisji, prostą konstrukcją, dużą niezawodnością i niską ceną. Ethernet nie został zaprojektowany do komunikacji w systemach pracujących w czasie rzeczywistym, dlatego wykorzystanie jego standardowej wersji jako interfejsu pomiarowego budzi czasami kontrowersje. Jest to spowodowane głównie sposobem arbitrażu przy transmisji, który nie gwarantuje determinizmu czasowego. Jednak zmiany w specyfikacji *IEEE-802*, dotyczącej Ethernetu, spowodowały, że technologia ta może być z powodzeniem wykorzystywana w strukturach rozproszonych systemów pomiarowych na poziomie systemowym i w niektórych przypadkach na poziomie sterowania. Przy oferowanej obecnie przez Ethernet szybkości 100 MB/s można powiedzieć, iż jest to rozwiązanie konkurencyjne dla wielu dedykowanych interfejsów przemysłowych.

Koncepcja wirtualnego laboratorium pozwala na realizację zdalnego dostępu do laboratorium z dowolnego miejsca i w dowolnym czasie bez konieczności fizycznej obecności w nim studenta. Przynosi to szereg korzyści, z których najważniejszą jest efektywne wykorzystanie sprzętu laboratoryjnego. Pozwala to na poszerzenie oferty programowej poszczególnych kursów, poprzez umożliwienie przeprowadzenia eksperymentów w czasie trwania zajęć (wykładu), mimo że sprzęt pomiarowy może znajdować się w odległym miejscu uczelni czy nawet kraju. Granice państw również, w najmniejszym stopniu, nie ograniczają tego zasięgu.

Proponowane architektury wirtualnego laboratorium charakteryzują cechy w ogólności przypisywane systemom rozproszonym terytorialnie:

- współużywanie pamięci masowych do archiwizacji danych dostarczonych z poszczególnych stanowisk,

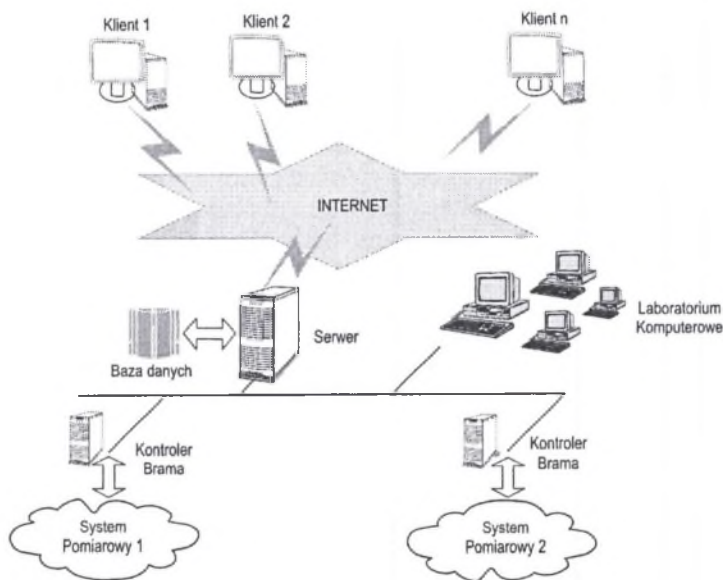
- współużywanie zasobów sprzętowych zainstalowanych w sieci, pozwalające na optymalizację ich wykorzystania,
- możliwość funkcjonalnej integracji rozproszonych zasobów pomiarowych,
- otwartość, współbieżność, skalowalność,
- tolerowanie uszkodzeń.

2. SYSTEM Z CENTRALNYM SERWEREM

Pierwszym z prezentowanych systemów jest system zdalnego dostępu do laboratorium, zaprojektowany w oparciu o jeden centralny serwer.

2.1. Architektura systemu

Podsystemy pomiarowe zawarte w systemie z pojedynczym serwerem zarządzane są przez komputery ogólnego przeznaczenia. Każdy z tych komputerów, oprócz funkcji *kontrolera* systemu pomiarowego, musi pełnić również rolę *bramy*, przekazującej dane pomiarowe do serwera, który jest centralną częścią laboratorium. Serwer zaś, poprzez Internet, dokonuje dystrybucji danych do podłączonych do niego klientów, które (za pośrednictwem tego serwera) nadzorują pracę zestawów pomiarowych. Klientem może być każdy komputer. Zarówno ten, który jest zainstalowany w uczelnianej sieci lokalnej, jak i ten z zewnątrz, zainstalowany w dowolnym punkcie Internetu (rys. 2) [4].



Rys. 2. Architektura systemu z centralnym serwerem

Fig. 2. Architecture of the system with a single central server

W systemie z pojedynczym, centralnym serwerem możliwe jest łatwe zarządzanie dostępem (nadawanie i zmiana uprawnień użytkowników, wielodostęp, transakcyjność itp.). Każdy

spośród *klientów* ma łatwy dostęp do wybranych urządzeń, znajdujących się w sieci. Wystarczy wyłącznie znajomość adresu IP komputera, aby uzyskać połączenie z urządzeniem. Istnienie centralnego serwera wymusza jednak unifikację *klientów* - konieczne jest spełnianie przez nie parametrów zgodnych z przyjętym standardem.

Serwer, stanowiący jednostkę centralną, umożliwia uproszczenie konstrukcji oprogramowania poszczególnych podsystemów pomiarowych. Przeniesienie zadania kontroli dostępu i praw użytkowników na serwer sprawia, że oprogramowanie systemów pomiarowych musi jedynie kontrolować sam proces pomiaru. Głównym jego zadaniem jest akwizycja danych i przesyłanie ich do serwera. Oprogramowanie urządzeń nie realizuje uciążliwej i złożonej dystrybucji danych, dzięki czemu nie wymaga bardzo wydajnego komputera i może powstawać w językach niższego poziomu. Ograniczenie funkcji spełnianych przez oprogramowanie systemów pomiarowych pozwala zyskać czas na wykonywanie takich dodatkowych zadań, jak np. kompresja sygnałów.

Szkielet komunikacji, stanowiący kluczową część systemu, został zaprojektowany tak, aby serwer mógł obsłużyć kilka podsystemów pomiarowych i wiele podłączonych do niego *klientów* jednocześnie. Warstwą transportową protokołów komunikacyjnych w tym projekcie jest UDP do przesyłania danych pomiarowych w czasie rzeczywistym i TCP do wymiany informacji, sterowania transmisją i przesyłania wyników pomiarów przy pomiarach na żądanie. Dostęp do warstwy transportowej realizowany jest za pomocą interfejsu *gniazd*, a współbieżna praca możliwa jest poprzez mechanizm odpowiedzialności skoordynowanych *wątków*.

Przekazywanie „*datagramów*” UDP pomiędzy obiektami serwera i klienta odbywa się poprzez *potoki* (ang. *pipe*). Standardowy *potok* umożliwia, poprzez pewien bufor kołowy w pamięci, przekazywanie danych w postaci bajtów pomiędzy *wątkami*. Odbywa się to przez zapisanie do bufora kolejnych bajtów i odczytanie ich z drugiej strony w tej samej kolejności. W tym projekcie, ze względów wydajnościowych, zostały zastosowane potoki przesyłające nie bajty, ale całe obiekty, a dokładniej referencje. Opierają się one również na buforze kołowym i ogólna implementacja jest podobna do standardowej. Dzięki zaprojektowanemu mechanizmowi potoków wyeliminowane zostało pracochłonne odczytywanie danych z *datagramu*, zapisywanie ich do *potoku*, odczytywanie z *potoku* i tworzenie nowego *datagramu*.

Zasadniczą wadą centralnego serwera jest potrzeba jego dużej wydajności, szczególnie przy obsłudze wielu *klientów*. Należy jednak pamiętać również o tym, że znaczącą rolę odgrywa tutaj konfiguracja sieci lokalnej, w której znajdują się systemy pomiarowe.

2.2. Ogólne założenia projektu

Językiem umożliwiającym sieciowe programowanie obiektowe jest Java (Sun Microsystems). Język ten ułatwia modułarne programowanie oraz pozwala na wielokrotne wykorzystywanie kodu w sposób efektywny i nieskomplikowany. Zapewnia ścisłą kontrolę typów, ma automatyczne zarządzanie pamięcią, wbudowane wątki oraz wygodne w użyciu biblioteki klas programowania sieciowego. Programy kompilowane są do formatu pośredniego, niezależnego od rodzaju komputera i systemu operacyjnego. Pozwala to na wykonywanie skompilowanych programów w dowolnej architekturze sprzętowej, dla której jest dostępny interpreter Javy, a więc również na dowolnych komputerach osobistych i stacjach roboczych.

Podstawowym zadaniem oprogramowania jest umożliwienie komunikacji między wirtualnym laboratorium a jego użytkownikami, zapewnienie dostępu do zasobów (systemów i urządzeń pomiarowych) oraz nadzorowanie przebiegającej komunikacji - zarządzanie udostępnianymi zasobami oraz organizacja i kontrola użytkowników. Zadania organizacyjne i kontrolne polegają na ewentualnym tworzeniu grup użytkowników i określaniu warunków, na jakich może odbywać się korzystanie przez nich z wirtualnego laboratorium, na przydzielaniu

grupom praw do określonych urządzeń i ich funkcji oraz ograniczaniu bądź rozszerzaniu nadanych uprawnień. Użytkownicy podlegają autentykacji i autoryzacji. Autentykacja polega na sprawdzeniu (np. na podstawie hasła), czy dany użytkownik lub system jest tym, za kogo się podaje. Po uwierzytelnieniu następuje autoryzacja, czyli proces przydzielania dostępu do zasobów według określonych wcześniej uprawnień.

Oprogramowanie serwera musi umożliwiać dokonywanie pomiarów na żądanie i pomiarów, odbywających się w czasie rzeczywistym. Pomiar na żądanie odbywa się na zasadzie: pytanie - odpowiedź. Użytkownik określa parametry pomiaru, a następnie wysyła żądanie jego wykonania i odesłania otrzymanego wyniku. Podczas pomiaru w czasie rzeczywistym użytkownik wchodzi w interakcję z wirtualnym przyrządem jak z prawdziwym. W czasie pomiaru może na bieżąco zmieniać dowolne parametry i obserwować wyniki. Oprogramowanie takie, z definicji, zawiera dwie zasadnicze części (aplikacje): *serwer* i *klient*. Oprogramowanie *klienta* generuje pulpit obsługi systemu pomiarowego. *Klient* może podłączyć się do serwera, stanowiącego bramę, udostępniającą część sprzętową urządzenia. Po zalogowaniu się tworzy on *sesję*, która umożliwia mu sterowanie urządzeniem oraz odbiór danych pomiarowych. Zadaniem *serwera* jest kontrola uprawnień, zapewnienie bezpieczeństwa i przekazywanie danych od urządzeń do *klientów* (np. komunikatów o błędach) oraz w odwrotnym kierunku (np. danych programujących przyrządy). *Serwer* umożliwia pełną współbieżną pracę wielu użytkownikom na wielu urządzeniach.

Wskazane jest, aby tak zaprojektowany system łączył użytkowników i urządzenia, będące zasobami systemu, w grupy - tak jak dzieje się to w rzeczywistym laboratorium lub większości sieciowych systemów operacyjnych. Każde urządzenie wchodzi w skład jednej grupy, która stanowi odpowiednik zbioru przyrządów przeznaczonych do obsługi danego obiektu. Użytkownik natomiast może należeć jednocześnie do wielu grup użytkowników. Każda z tych grup może mieć odmienne prawa dostępu do różnych grup urządzeń.

W bazie danych systemu nie przechowuje się informacji na temat podłączonych urządzeń, gdyż urządzenia nie są przypisane do serwera na stałe - lecz mogą się łączyć dynamicznie. Poza tym praw nie przydziela się urządzeniom bezpośrednio, ale całym grupom (zestawom). W związku z tym informacje o podłączonych urządzeniach są przechowywane w wewnętrznych strukturach oprogramowania.

3. SYSTEM Z WIELOMA SERWERAMI

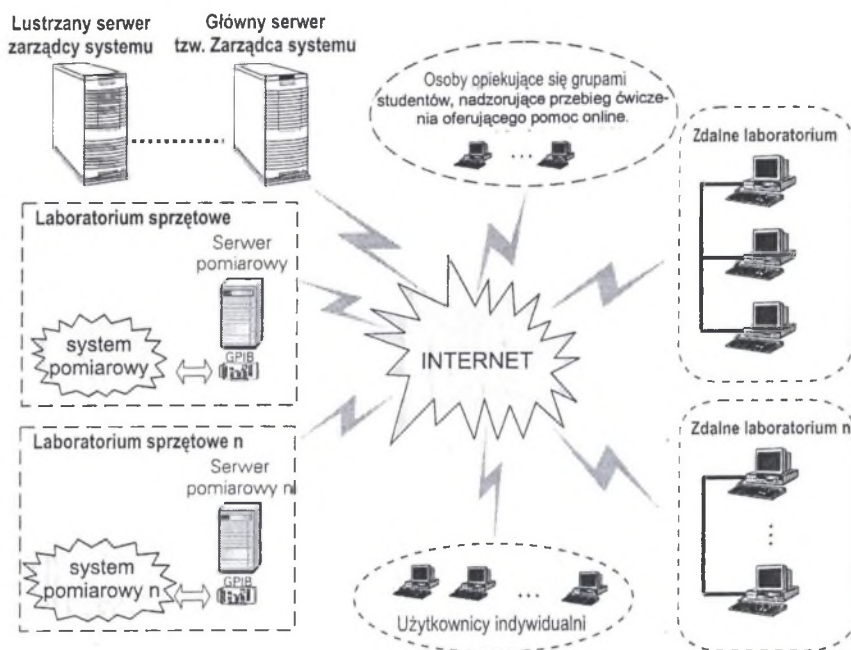
Alternatywną strukturą wirtualnego laboratorium jest koncepcja systemu z wieloma serwerami, wykorzystująca lokalną sieć komputerową oraz Internet.

3.1. Architektura systemu

Architektura systemu przedstawiona została na rysunku 3 [5]. Najważniejszymi elementami tej struktury są: *serwer główny*, tak zwany *zarządca systemu* oraz *serwer pomiarowy*. Struktura definiuje dwie koncepcje użytkowników. Jedną z nich są użytkownicy zgrupowani w zdalnym laboratorium (tradycyjne laboratorium komputerowe). Jest to grupa studentów, znajdująca się w jednym z laboratoriów komputerowych uczelni wykonująca zadania objęte programem nauczania - pod nadzorem nauczyciela. Drugą grupę stanowią indywidualni (*zdalni*) użytkownicy, którym został przydzielony dostęp do zasobów konkretnego laboratorium.

System jest opisany w kontekście tworzenia oprogramowania w środowisku *Microsoft Windows .NET Server* oraz *Windows XP Professional*. Mają one nowoczesną budowę modułową, która w dość prosty sposób może podlegać skalowaniu.

Od użytkownika wirtualnego laboratorium wymagane jest jedynie posiadanie komputera oraz dostępu do sieci Internet. Wystarczy, aby za pomocą przeglądarki otworzył stronę internetową, zawierającą obraz płyty czołowej wirtualnego przyrządu pomiarowego (lub pulpitu obsługi systemu) i obsługiwał manipulatory za pomocą myszy oraz oglądał wyniki pomiarów przedstawione za pomocą kolorowej, trójwymiarowej grafiki interfejsu użytkownika.



Rys. 3. Architektura systemu z wieloma serwerami
Fig. 3. Architecture of the system with multiple servers

3.2. Serwer zarządzający

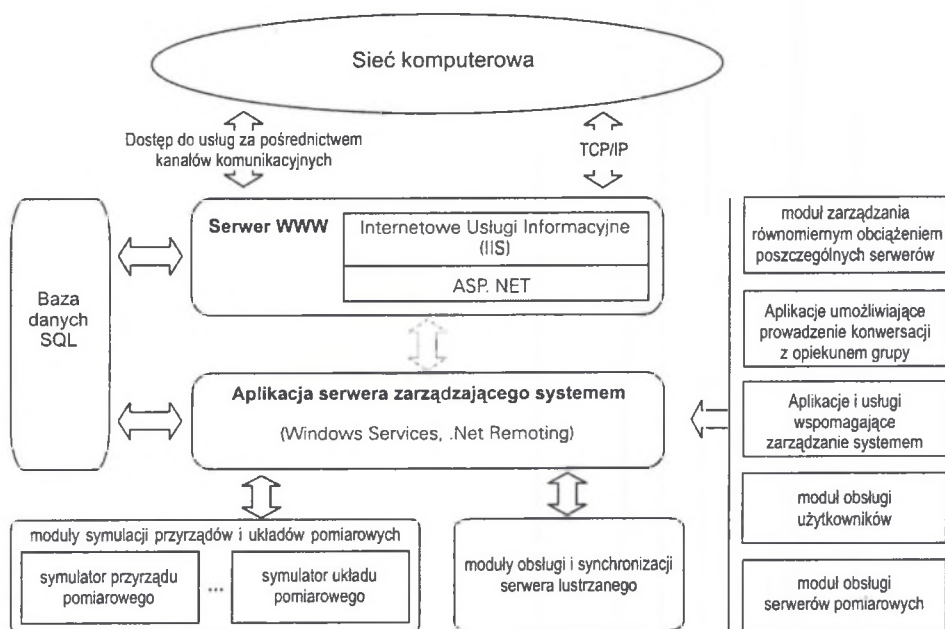
Zaproponowana struktura wirtualnego laboratorium wymaga jednego *serwera zarządzającego*. Ze względu na osiągnięcie odpowiedniej odporności na uszkodzenia wskazane jest, aby istniał zarządzający *serwer lustrzany* mogący w każdej chwili przejąć wszystkie zadania w przypadku uszkodzenia.

Zadania stawiane *zarządcy systemu* są następujące:

- synchronizacja wszystkich działań w systemie,
- kierowanie użytkowników systemu do odpowiednich serwerów pomiarowych,
- przydzielanie użytkownikom dostępu do konkretnych urządzeń pomiarowych i obiektów badanych,
- udostępnianie trybu symulacyjnego dla danych systemów pomiarowych,
- umożliwienie użytkownikowi pracy w trybie „off-line”,

- synchronizacja danych z serwerem lustrzanym,
- dostarczanie programów zajęć, instrukcji oraz dokumentacji na temat przeprowadzanych eksperymentów i symulacji.

Oprogramowanie obsługi systemu ma budowę modułową, przedstawioną na rysunku 4. Każdy z modułów może zostać przeniesiony na oddzielny serwer, w zależności od potrzeb i wymaganej wydajności systemu. Oprogramowanie serwera w tym przypadku tworzone było w języku C#, z wykorzystaniem najnowszych technologii dostępnych w systemach rodziny *Microsoft Windows .NET Server* czy *Windows XP*.



Rys. 4. Budowa serwera zarządzającego systemem wirtualnego laboratorium
Fig. 4. Architecture of the management server of virtual laboratory

Jak już wspomniano w poprzednim punkcie, jednym z newralgicznych punktów organizacji wirtualnego laboratorium jest przydzielenie użytkownikom dostępu zarówno do konkretnych urządzeń pomiarowych, jak i obiektów pomiarowych. W przypadku tradycyjnego laboratorium sprawa jest dość prosta, natomiast tutaj należy narzucić każdemu z użytkowników rami czasowe, w jakich może uzyskać zdalny dostęp do danego urządzenia czy systemu pomiarowego. W zależności od zastosowanych elementów (matryca łączeniowa czy multiplexer) w serwerach pomiarowych zarządca powinien prawidłowo rozdysponować rami czasowe i liczbę użytkowników, którzy mogą uzyskać dostęp do konkretnego sprzętu laboratoryjnego.

Bardzo istotny problem stanowi sposób doboru funkcji dostępnych w programie wirtualnego laboratorium [2]. Chodzi o to, aby zapewnić studentowi możliwość zrozumienia istoty zjawisk występujących w obiekcie pomiarowym, zapoznania się z układami i technikami pomiarowymi bez zbyteńnego ograniczania doboru zestawu przyrządów do danego układu pomiarowego. Poziom swobody przydzielony użytkownikowi powinien być zwiększany wraz ze wzrostem jego doświadczenia i umiejętności.

Inną ważną funkcją, jaką powinno spełniać oprogramowanie wirtualnego laboratorium, jest dostęp do eksperymentu w trybie „off-line” – umożliwiając wcześniejsze zaprojektowanie i zapamiętanie układu pomiarowego oraz zaprogramowanie odpowiednich funkcji przyrządów użytych w eksperymencie. Pozwoli to na zminimalizowanie zapotrzebowania na czas zdalnego dostępu do rzeczywistych przyrządów niezbędnych do przeprowadzenia eksperymentu. W zależności od obciążenia *serwery zarządzający* powinien móc przekierować część zadań symulacyjnych na mniej obciążone *serwery pomiarowe* lub w krytycznych sytuacjach wykorzystać do tego celu *serwer lustrzany*.

3.3. Serwer pomiarowy

Na rysunku 3 widnieje wydzielony blok symbolizujący laboratorium sprzętowe, w skład którego wchodzi *serwer pomiarowy* współpracujący ze stosownym sprzętem tworzącym system pomiarowy.

Serwer pomiarowy powinien cechować:

- duża elastyczność oprogramowania,
- możliwość wykorzystania multipleksera lub programowalnej matrycy łączeniowej,
- zapewnienie coraz większej swobody użytkownikom wraz ze wzrostem ich wiedzy i doświadczenia,
- możliwość symulacji prostych układów pomiarowych oraz obiektów badanych.

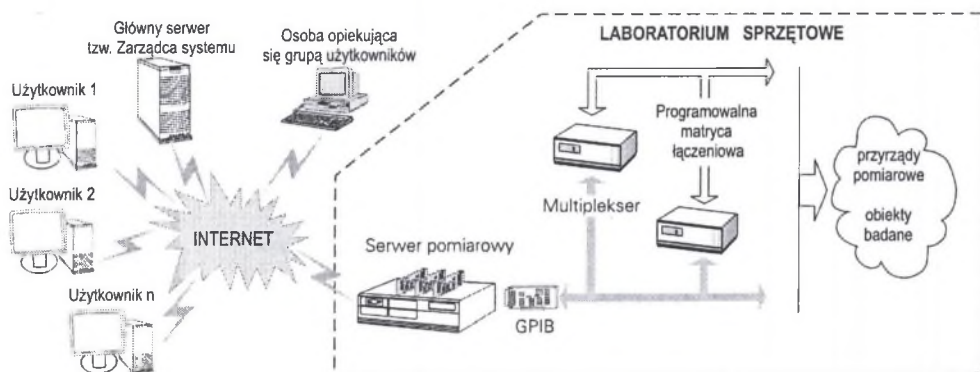
Podstawowe funkcje realizowane przez serwer pomiarowy to:

- konfiguracja i zarządzanie systemem pomiarowym,
- przydział i zarządzanie czasem dostępu do urządzeń pomiarowych,
- dostarczanie apletów wirtualnych przyrządów pomiarowych,
- realizacja pomostu pomiędzy apletami wirtualnych przyrządów pomiarowych a fizycznymi urządzeniami,
- symulowanie układów pomiarowych oraz obiektów badanych,
- zarządzanie indywidualną (przypisaną konkretnemu użytkownikowi) konfiguracją poszczególnych urządzeń pomiarowych.

W rzeczywistym laboratorium zmianę konfiguracji układu pomiarowego wykonać jest bardzo prosto poprzez fizyczne przełączenie odpowiednich elementów składowych układu. W laboratorium wirtualnym (rys. 5), „*zdalny*” użytkownik musi użyć programowalnej matrycy łączeniowej lub multipleksera oraz odpowiedniego oprogramowania zarządzającego [1]. Zastosowanie programowalnej matrycy łączeniowej pociąga za sobą dodatkowe koszty, ale przynosi też korzyści w postaci większej swobody, jaką może uzyskać użytkownik. Dzięki temu możliwa jest realizacja kilku czy nawet kilkunastu różnych układów (systemów) pomiarowych.

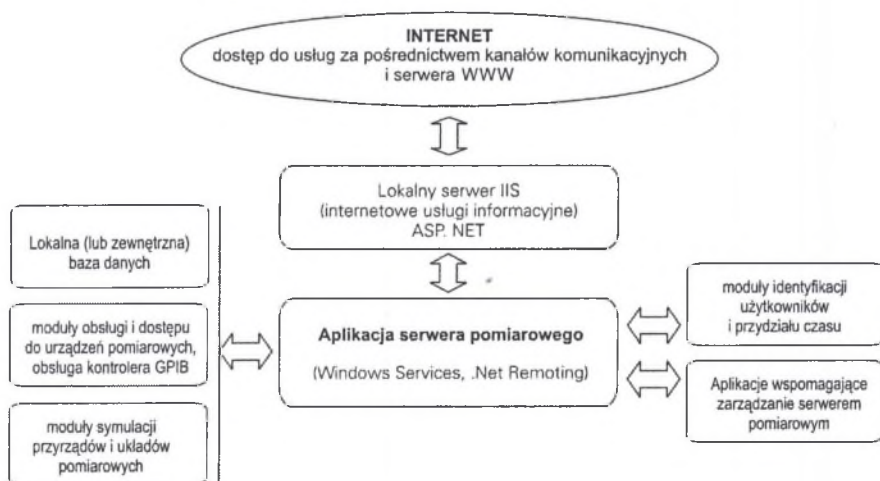
Jak już wcześniej wspomniano, wirtualne laboratorium powinno zapewniać coraz większą swobodę użytkownikom wraz ze wzrostem poziomu ich wiedzy i doświadczenia. Oprogramowanie serwera pomiarowego powinno więc być na tyle elastyczne, aby pozwolić użytkownikowi na połączenie „nieprawidłowego układu pomiarowego” i ewentualne przeprowadzenie eksperymentu, a z drugiej strony zabezpieczyć zarówno obiekt, jak i przyrządy pomiarowe przed uszkodzeniem. Funkcja ta zapewnia studentowi możliwość samodzielnego wnioskowania i uczenia się na własnych błędach. Poziom swobody przydzielony użytkownikowi powinien być zwiększany wraz ze wzrostem jego doświadczenia i umiejętności.

Innym rozwiązaniem zwiększającym uniwersalność *serwera pomiarowego* jest zastosowanie multipleksera umożliwiającego współużywanie jednego przyrządu pomiarowego przez wielu użytkowników. Pozwoli to na podział czasu dostępu do konkretnego urządzenia (często unikatowego) pomiędzy wielu użytkowników pracujących w danej chwili w laboratorium wirtualnym, a konfiguracja urządzenia może być indywidualna dla każdego z nich i będzie wczytywana do przyrządu w czasie przydzielania go konkretnemu użytkownikowi.



Rys. 5. Architektura serwera pomiarowego
Fig. 5. Architecture of measurement server

Podobnie jak w przypadku *serwera zarządzającego* oprogramowanie *serwera pomiarowego* ma także budowę modułową, przewidzianą dla rodziny systemów Microsoft Windows 2000/XP (rys. 6).



Rys. 6. Główne moduły serwera pomiarowego
Fig. 6. The main modules of a measurement server

Lokalny serwer IIS dostarcza strony WWW z apletami wirtualnych przyrządów pomiarowych (napisanymi w języku C++, C# oraz J# z wykorzystaniem elementów pakietu Measurement Studio 7.0, firmy National Instruments).

Poza współpracą apletów z fizycznymi urządzeniami istnieje w systemie możliwość przeprowadzenia szeregu symulacji prostych układów pomiarowych oraz obiektów badanych. Dzięki temu początkowi użytkownicy wirtualnego laboratorium mają możliwość zapoznania się ze sposobem obsługi systemu. Dla zaawansowanych użytkowników istnieje możliwość zbudowania swojego własnego wirtualnego przyrządu pomiarowego za pośrednictwem pakietu Microsoft Visual Studio .NET i nakładki NI Measurement Studio 7.0 lub środowiska LabWindows/CVI czy LabView oraz podłączenia go do serwera pomiarowego i przetestowania z fizycznym urządzeniem, bądź z symulatorem urządzenia. Jak już wspomniano, oprogramowanie serwera pomiarowego powinno zapewnić możliwość personalizacji pracy z urządzeniem, a konfiguracja konkretnego przyrządu powinna zostać wczytana z lokalnej bądź zewnętrznej bazy danych.

4. PODSUMOWANIE

Osadzenie wirtualnego przyrządu pomiarowego w rozproszonym systemie zlokalizowanym w sieci Internet daje niespotykaną do tej pory możliwość tworzenia zaawansowanych i elastycznych systemów, które mogą służyć prowadzeniu eksperymentów i wspomagać proces dydaktyki. Szybki rozwój narzędzi programistycznych ułatwiających komunikację komputerów na duże odległości przesądza o wyjątkowej atrakcyjności wirtualnych laboratoriów. Możliwe staje się prowadzenie eksperymentów, oferowanych przez różne ośrodki naukowe, oraz korzystanie z wyników przez szerokie grono naukowców i studentów, niezależnie od miejsca ich aktualnego pobytu. Sprawia to, że wirtualne laboratoria pomiarowe są w ostatnich latach przedmiotem badań wielu instytucji naukowych.

Należy jednak pamiętać, że w dziedzinie metrologii ani nowoczesne techniki symulacyjne, ani zdalny dostęp do laboratoriów czy laboratorium wirtualne nie wyeliminują konieczności prowadzenia rzeczywistych eksperymentów, obsługi rzeczywistych przyrządów pomiarowych oraz borykania się z problemami natury sprzętowej. Eksperymenty praktyczne mają niezwykle duże, może nawet rosnące znaczenie w procesie zdobywania wiedzy w zakresie nowoczesnych, złożonych technologii, prowadzonego metodą „prób i błędów”. Ma to szczególne znaczenie wszędzie tam, gdzie złożone zjawiska nie dają się w prosty sposób opisać matematycznie. Eksperymentalne badanie zjawisk fizycznych i obiektów drogą pomiarów oraz budowanie ich modeli ułatwia również przyswajanie wiedzy na temat samych procedur pomiarowych i struktur systemów pomiarowych. W tym kontekście *laboratorium wirtualne*, osadzone w sieci komputerowej, należy traktować przede wszystkim jako niezwykle atrakcyjny, nie tylko z punktu widzenia studentów, element wspomagający kształcenie, dostępny w sposób ciągły zarówno w sensie miejsca, jak i czasu. Zdalny dostęp do laboratoriów dydaktycznych umożliwi racjonalną gospodarkę drogim czy unikalnym sprzętem pomiarowo-kontrolnym, czyli tzw. integrację zasobów pomiarowych.

Trzeba pamiętać, że w razie problemów, pytań czy potrzeby konsultacji system wirtualnego laboratorium „udzieli” dostępu do mentora grupy lub innej predysponowanej do tych zadań osoby, za pomocą odpowiedniego *komunikatora* wbudowanego w system lub za pomocą zewnętrznych aplikacji umożliwiających przesyłanie obiektów multimedialnych.

Wszystko wskazuje na to, że z biegiem czasu techniki wirtualnej rzeczywistości rozwiną się na tyle, aby przeglądarkę internetową zastąpić trójwymiarowym obrazem. Użytkownik będzie

miał wrażenie, że znajduje się wewnątrz rzeczywistego laboratorium, a wszystkie urządzenia i układy będą wyglądały jak prawdziwe. Będzie pokusa, by je „dotknąć”.

Literatura

1. Benetazzo L. Bertocco M., Ferraris F, Ferrero A., Offelli C., Parvis M., Piuri V.: *A Web-Based Distributed Virtual Education Laboratory*. IEEE Transactions On Instrumentation and Measurement, vol. 49, no. 2, April 2000.
2. Penarrocha V.M., Battaler M.F., Escudero M.B., Nogueira A.V.: *Virtual Laboratories in Electronic Engineering Education*. International Conference on Network Universities and e-Learning, Valencia, Spain 2003.
3. Rak R.J.: *Wirtualny przyrząd pomiarowy – realne narzędzie współczesnej Metrologii*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
4. Pyszlak P., Rak R. J., Majkowski A.: *The next approach to the design of a Web-Based Virtual Laboratory*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Vail, USA, May 2003.
5. Godziemba-Maliszewski M., Rak R.J.: *Wirtualne laboratorium jako element nowoczesnego modelu kształcenia*. XII Konferencja Sieci i Systemy Informatyczne, Łódź 2004.
6. Rak R.J.: *Technologia informacyjna na usługach metrologii*. MKM, Ustroń 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Lesław Topór-Kamiński, prof. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 7 grudnia 2004

Abstract

Such a critical element as the possibility of testing theories throughout experiments cannot be missing in the newest models of education. It can be also achieved by carrying out physical experiments over the web. Students, in addition to simulating virtual experiments, should have the possibility of remote control of real physical processes. During web-based experiments students should be able to interact with physical systems, in the same manner as while conducting real computer-controlled experiments. It is worth mentioning, that remote control of experiments and equipment over the web is an idea just being explored. Nevertheless more and more tools that utilize network communication are becoming available for such a process. Several demonstrations of camera control and data acquisition systems as well as simple experiments have already been conducted. During the experiments students can access virtual instruments via a computer network and directly carry out real experiments using a simple standard commercial Internet Web browser.

It is a fact that laboratories accessible from the Internet contribute to the enrichment of the educational experience at the level hard to obtain using the other methods of remote teaching, for example based on video. Besides the concept of remote laboratory enables utilization of measuring resources located at different sites by a large number of students.

In the opinion of authors there are two different structures of networked virtual laboratories. The first one is based on the single central server and the second one on so called management server and a set of measurement servers.