

eksperyment, laboratorium, dydaktyka, nauczanie na odległość

Łukasz MACIEJEWSKI, Wojciech MYSZKA, Mieczysław SZATA*

ZASTOSOWANIE WIRTUALNEGO LABORATORIUM PODCZAS ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH Z MECHANIKI – PREZENTACJA EKSPERYMENTU NA ODLEGŁOŚĆ

W pracy autorzy przedstawili ideę wirtualnego laboratorium. Zaprezentowali wykorzystane narzędzia komunikacyjne oraz schemat ideowy pokazujący sposób połączenia poszczególnych elementów i komunikacji między użytkownikami. Przedstawili także dyskusję wymagań ogólnych pozwalających na realizację zdalnych eksperymentów. Wykorzystanie wirtualnego laboratorium nie wymaga specjalnych studiów z zakresu „metodologii” zajęć. Eksperyment na odległość może zastąpić tradycyjny eksperyment.

W chwili obecnej poprzez przeglądarkę internetową (lub dedykowane aplikacje) możliwe są do przeprowadzenia w laboratorium I-19 badania na standardowym stanowisku do badań wytrzymałościowych, jak również na nowatorskim stanowisku do badań kompozytów magneto-reologicznych. Uzyskiwane wyniki są praktycznie w czasie rzeczywistym prezentowane na komputerze zdalnego eksperymentatora, który jednak oprócz obserwacji samych wykresów ma możliwość śledzenia przebiegu badania dzięki transmisji wideo ze stanowiska badawczego oraz modyfikacji parametrów.

Dane pomiarowe są przekazywane wprost ze stanowiska badawczego poprzez protokół TCP/IP i mogą być odbierane za pomocą dedykowanych aplikacji lub poprzez witrynę WWW. Eksperymentator może w trakcie badania modyfikować parametry eksperymentu, wpływając tym samym na jego przebieg.

1. CEL I ROLA EKSPERYMENTU W KSZTAŁCENIU INŻYNIERÓW

Spektakularne przykłady operacji chirurgicznych z możliwością uczestnictwa na odległość (również aktywnego) lekarzy z kilku ośrodków pokazały możliwość a także korzyści z wykorzystania w działaniu doświadczalnym wiedzy i umiejętności operatorów znajdujących się w oddaleniu od pola operacyjnego. Podobnie jest w innych dziedzinach, w tym również na polu mechaniki technicznej.

Sam problem udziału zajęć typu laboratoryjnego w nauczaniu takich przedmiotów jak mechanika i wytrzymałość materiałów jest zagadnieniem samym w sobie. Od lat

* Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej

przy kolejnych zmianach form i zawartości kształcenia technicznego wraca pogląd, że wykład nie jest optymalną, a na pewno nie jedyną formą przekazu wiedzy. Panuje powszechna zgodność, że tak zwane formy czynne (laboratoria, seminaria, prace projektowe) dużo lepiej przygotowują do wykonywania zawodu inżyniera, niż najlepszy ale bierny przekaz wiedzy.

Sam pamiętam własne (jako studenta) przemyślenia dotyczące wykładu fizyki. Wykładowca, notabene świetny fachowiec, nie miał talentu dydaktycznego. Wraz z kolegami doszliśmy do wniosku, że optymalne byłoby prowadzenie laboratorium z obowiązkowym odpytaniem studentów przez prowadzącego z wcześniej zadanej partii materiału, a następnie weryfikacja części przyswojonej wiedzy w formie przygotowanych ćwiczeń laboratoryjnych. To za, ale jest oczywiście sporo argumentów przeciw, z których w obecnej chwili najważniejszy, to koszty. One to głównie zadecydowały o kurczeniu się oferty zajęć typu laboratoryjnego w dydaktyce wytrzymałości materiałów.

Burzliwy rozwój metod obliczeniowych i symulacji komputerowych spowodował wypieranie tradycyjnego laboratorium. Nie bez znaczenia są tu koszty wyposażenia aparaturowo-programowego laboratorium. Tradycyjną kiedyś i dostępną w niemal każdym laboratorium uniwersalną maszynę wytrzymałościową zastąpiły nowoczesne instalacje (MTS, INSTRON, SCHENCK), które już nie stanowią nieodłącznego wyposażenia laboratoryjnego, a jeżeli już są, to z dużym wahaniem są udostępniane dla masowego procesu dydaktycznego.

Ale jest również niemal powszechne przekonanie, że przyszły inżynier musi chociażby zwykłą próbę rozciągania przeprowadzić sam w laboratorium. Oprócz tego weszły do praktyki badawczej bardziej wyrafinowane techniki badawcze (mechanika pękania, badania rentgenowskie, itp.), gdzie znowu koszt instalacji badawczych jest niebagatelny, jak również i przygotowanie kadry nie jest powszechne. I tu właśnie widać miejsce na narzędzia laboratorium wirtualnego.

W Politechnice Świętokrzyskiej jest stanowisko i fachowcy do specjalistycznej techniki stosowanej w mechanice pękania – metody CAUSTIC. Powinna być ona omawiana przy technikach mechaniki pękania, natomiast skorzystanie z laboratorium na odległość w tym przypadku byłoby niewątpliwie bardzo zasadne. Podobnie jest i w przypadku innych metod i instalacji pomiarowych – nie ma sensu ich powielanie w każdym ośrodku dydaktycznym, natomiast wykorzystanie poprzez e-learning byłoby wielce korzystne dla procesu dydaktycznego. Nie musimy dodawać, że po naszej stronie również mamy ciekawe procedury badawcze i interesujące doświadczenia dydaktyczne, które możemy zaoferować w ramach wymiany.

2. WYPOSAŻENIE LABORATORIÓW DYDAKTYCZNYCH I BADAWCZYCH

Powszechną normą we wszystkich dzisiejszych laboratoriach jest używanie skomputeryzowanych urządzeń pomiarowych, komputerów (osobistych) i lokalnych sieci komputerowych (LAN).

Co więcej, najnowsza generacja sterowników oprzyrządowania oraz profesjonalnego oprogramowania obsługującego proces zbierania i przetwarzania danych oraz praktycznie stosowane, nowoczesne, przemysłowe urządzenia kontrolnopomiarowe bezpośrednio zakładają wykorzystanie sieci komputerowej (i protokołu TCP/IP) do sterowania i przesyłania danych!

W przypadku jednostek badawczych normą jest prowadzenie, czasami bardzo szerokiej współpracy obejmującej laboratoria wielu uczelni, instytutów badawczych i przemysłowych, nierzadko wykraczającej poza granice jednego kraju czy kontynentu. Istotną i bardzo ważną jej częścią jest wymiana osobowa i wspólne prowadzenie eksperymentów w laboratorium partnera. Środki elektroniczne wykorzystywane są jedynie w niewielkim stopniu: do wymiany myśli czy podczas ostatniej redakcji sprawozdań.

3. „WIRTUALNE”

Osobny problem, z którym możemy się spotkać to rozumienie pojęcia „wirtualny”. Bardzo często pojęcie jest odnoszone do sytuacji gdy coś dzieje się nie w rzeczywistości, a *wewnątrz komputera*. Mówiąc o *wirtualnym laboratorium* mamy na myśli pewne rzeczywiste środowisko, które może istnieć **tylko** dzięki użyciu komputerów połączonych siecią. Jest to kalka z angielskiego pojęcia „*virtual*”: (adjective) 1. **Existing or resulting in essence or effect though not in actual fact, form, or name:** “the virtual extinction of the buffalo.” 2. **Existing in the mind, especially as a product of the imagination.** Used in literary criticism of a text. 3. Computer Science **Created, simulated, or carried on by means of a computer or computer network:** “virtual conversations in a chatroom”.

4. DOSTĘPNE NARZĘDZIA AUTOMATYZACJI EKSPERYMENTU

Jest bardzo wiele programów, które w praktyce laboratoryjnej wykorzystywane są do przygotowywania aplikacji wykorzystywanych podczas realizacji eksperymentu. Jednym z najpopularniejszych jest niewątpliwie LabVIEW firmy National Instruments. Inne to Data Acquisition Toolbox (Matlab), DASyLab czy Agilent VEE. Bardzo często producenci oprzyrządowania pomiarowego dostarczają wraz ze swoimi produktami wersje demonstracyjne lub jakieś inne, proste, produkty pozwalające dosyć szybko napisać aplikację pozwalającą wykonać pomiary, a dane zapisać w pliku lub przenieść do arkusza kalkulacyjnego

Wybraliśmy system HP-VEE z kilku powodów. Najważniejsze z nich są następujące:

- dosyć „płaska krzywa uczenia” – studenci bardzo szybko są w stanie przygotowywać dzięki niemu dosyć skomplikowane aplikacje,

- szeroka gama obsługiwanych urządzeń pomiarowych (choć znacznie mniej sterowników niż dla konkurencyjnego LabVIEW),
- stosunkowo tani (zakupiony w promocji wraz z kartą pomiarową *classroom kit* to 40 licencji),
- dostępność i w wersji Unix (na stację roboczą HP) i w wersji Windows.

5. PRZYKŁAD

W ramach prezentowanego wirtualnego laboratorium przygotowano do realizacji kilka eksperymentów należących do podstawowych dziedzin badań w Instytucie Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej. W laboratorium przeprowadzone mogą być zdalnie:

- badania właściwości kompozytu z materiałem magnetoreologicznym typu smart,
- badania inteligentnego amortyzatora o sterowalnych właściwościach, w którym cieczą roboczą jest ciecz magnetoreologiczna; właściwości fizyczne tej cieczy ulegają zmianie pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego,
- badania zjawisk krzyżowych zachodzących w stalach poddawanych obciążeniom cyklicznym,
- pomiary temperatury powietrza w laboratorium komputerowym i za oknem laboratorium.

Przedmiotem prezentacji będzie pierwszy z wyżej wymienionych eksperymentów. Stanowisko przeznaczone do badań właściwości kompozytu magnetoreologicznego składa się z trzech podstawowych elementów:

- sterowanego wzbudnika drgań,
- sterowanej cewki elektromagnetycznej,
- obiektu badań, czyli płaskiego kompozytu połączonego z wzbudnikiem.

W trakcie badań kompozyt jest przesuwany ruchem harmonicznym w płaszczyźnie poziomej w zmiennym polu elektromagnetycznym. Zmiana pola magnetycznego powoduje zmianę właściwości kompozytu, który wraz ze wzrostem pola utwardza się. Twardszy kompozyt stawia większy opór i sprawia, że siła potrzebna do jego poruszenia w polu musi być większa. Wielkościami mierzonymi podczas eksperymentu są siła niezbędna do przemieszczenia kompozytu oraz położenie kompozytu. Eksperymentator ma możliwość modyfikacji pola magnetycznego poprzez ustalenie napięcia sterującego w cewce elektromagnetycznej oraz zaprogramowania sygnału wymuszającego ruch podając jego amplitudę, częstotliwość i czas trwania.

Odpowiedzi układu są rejestrowane na dedykowanej stacji roboczej wyposażonej w kartę pomiarową. Sterowanie układem oraz obróbka danych są realizowane przez oprogramowanie wykonane w środowisku HPVEE. Eksperymentator może na bieżąco, w trakcie trwania eksperymentu, obserwować wyniki badań i wpływać na jego przebieg. Dzięki wirtualnemu laboratorium nie jest istotne czy badacz znajduje

się fizycznie w pobliżu stanowiska badawczego, czy też przeprowadza badania zdalnie z wykorzystaniem sieci Internet.

6.OPIS ZAPLECZA (*BEHIND THE SCENE*)

6.1 IDEA

Ideę funkcjonowania wirtualnego laboratorium najlepiej obrazuje rysunek 1. Użytkownik korzystający z dowolnej przeglądarki kontaktuje się ze stroną WWW wirtualnego laboratorium (np. <http://vlab.immt.pwr.wroc.pl/>). Wykonaniem zleconych przez użytkownika czynności zarządza napisane w PHP oprogramowanie zainstalowane na serwerze. Kontaktuje się ono z jednej strony z bazą danych (zapisując tam, np. zlecenia użytkownika i zebrane dane), a z drugiej, korzystając z sieciowego systemu plików, ze stacją roboczą obsługującą wykorzystywane urządzenie realizujące eksperyment (maszyna zmęczeniowa w tym wypadku).

Rysunek 1: Schemat komunikacji między aplikacjami wchodzącymi w skład wirtualnego laboratorium

6.2 WYKORZYSTANE NARZĘDZIA

System budowany był przy następujących założeniach:

- w maksymalnym stopniu wykorzystana zostanie istniejąca infrastruktura Laboratorium Dynamiki, a koszty systemu będą minimalizowane;
- system zapewni możliwość sterowania parametrami wybranych eksperymentów;
- prawa użytkowników korzystających z systemu będą zróżnicowane, dostęp regulowany będzie hasłami;
- wykonane oprogramowanie będzie maksymalnie przenośne między platformami UNIX i Windows.

Założono również, że część programowa zostanie zrealizowana w jak największym stopniu przy wykorzystaniu narzędzi licencjonowanych na zasadzie OpenSource.

Aby zwiększyć atrakcyjność systemu dla przypadkowego użytkownika będzie miał on dostęp do niektórych ze zgromadzonych danych oraz ograniczone możliwości dokonywania pomiarów na funkcjonujących „na okrągło” urządzeniach pomiarowych Laboratorium.

Po stronie sprzętowej stosowaliśmy:

- pulsator hydrauliczny MTS-810 i MicroProfiler;
- wzbudnik drgań;
- aparatura pomiarowa tj. ekstensometry, termopary, magnetorezystory i inne;
- stacja robocza – komputer kompatybilny z IBM/PC wyposażony w procesor Intel Celeron 800MHz, kartę pomiarową i pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego MS Windows;
- serwer sieciowy – pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Linux (dystrybucja Debian);
- kamera internetowa;
- infrastruktura sieciowa – zapewnia przepustowość 100Mbit/s; w jej skład wchodzi kable, karty sieciowe, koncentratory itp.

W innej, zrealizowanej wersji do akwizycji danych wykorzystaliśmy przemysłowy rejestrator podłączony do sieci LAN.

Jako oprogramowanie wykorzystywaliśmy:

- pakiet HP VEE 5.0;
- język opisu stron WWW HTML;
- język skryptowy PHP;
- baza danych MySQL;
- SAMBA – system zapewniający dzielenie zasobów plikowych pomiędzy platformami Windows i UNIX.

6.3 URUCHOMIENIE EKSPERYMENTU

Samo uruchomienie eksperymentu stanowi pewną niedogodność. W większości przypadków niezbędna jest interwencja osoby w miejscu przeprowadzania eksperymentu. Można sobie oczywiście wyobrazić zrobotyzowane stanowisko, ale jego koszty są niewspółmierne do osiągniętych rezultatów.

Bywa, że ze względów bezpieczeństwa po wykonaniu badań stanowisko zostaje rozmontowane, a jego udostępnienie zdalnym użytkownikom bez nadzoru jest ryzykowne. Tak jest np. w przypadku typowych stanowisk z maszynami wytrzymałościowymi.

6.4 AKWIZYCJA DANYCH W CZASIE RZECZYWISTYM POPRZEZ PROTOKÓŁ TCP/IP

Dane prezentowane na witrynie WWW wirtualnego laboratorium są prezentowane w formie statycznych obrazów kolejnych etapów eksperymentu. Szybkość aktualizacji

zależy w dużej mierze od wydajności stacji roboczej tworzącej obraz oraz od przepustowości łącza, z którego korzysta zdalny eksperymentator.

W przypadku, gdy taka forma prezentacji danych nie jest wystarczająca stanowisko pomiarowe zostaje poszerzone dodatkowo o programowalny sterownik przemysłowy. Sterownik obsługuje zestawy wejść/wyjść analogowych i cyfrowych. Jest podłączony do lokalnej sieci komputerowej poprzez wbudowany interfejs Ethernet. W będącym w dyspozycji egzemplarzu obsługiwane są protokoły http, modbus/TCP oraz bootp. Dostęp do rejestrowanych przez zestawy wejść analogowych lub cyfrowych danych wejściowych obsługuje wbudowany w urządzenie serwer WWW. Takie rozwiązanie jest niewystarczające do potrzeb wirtualnego laboratorium m.in. dlatego, że nie pozwala na dostęp do danych więcej niż jednemu użytkownikowi jednocześnie. Dodatkowo interfejs oferowany przez wbudowany serwer nie może być modyfikowany i dostosowany do specyficznych potrzeb.

Autorzy zdecydowali się wykorzystać obsługiwany przez urządzenie, powszechny w zastosowaniach przemysłowych, protokół Modbus/TCP. Do celów komunikacji przez ten protokół opracowana została aplikacja w środowisku HP-VEE. Aplikacja pozwala na obserwację danych eksperymentalnych praktycznie w czasie rzeczywistym oraz na modyfikację parametrów eksperymentu. Dostarcza użytkownikowi interfejsu przy pomocy którego śledzi stan wejść oraz zmienia stan wybranych wyjść sterownika. Aplikację testowano przy okazji przeprowadzania badań zmęczenia na maszynie wytrzymałościowej.

6.5 MODYFIKACJA PARAMETRÓW EKSPERYMENTU

Bez możliwości modyfikacji parametrów eksperyment jest jedynie bierną obserwacją, która swoją drogą też może być ciekawa (meteorologia). W trakcie badań w dziedzinie mechaniki najbardziej podstawowymi parametrami są siła i przemieszczenie, które w trakcie badań mogą być poddane zmianie. Pomiar tych parametrów dokonywane są najczęściej pośrednio, poprzez pomiar pewnych wielkości elektrycznych. Również sterowanie odbywa się pośrednio. Zadawane są wartości elektryczne, które przez aparaturę są przetwarzane na odpowiednie realizacje mechaniczne (siły, przemieszczenia). Wykorzystanie przetworników D/A i A/D już dawno pozwoliło pokonać kolejną barierę i zapewniło możliwość zadawania wymuszeń i rejestrację danych poprzez sygnały cyfrowe.

Wirtualne laboratorium dostarcza interfejsu internetowego, w którym modyfikacja odpowiednich pól formularzy powoduje zmianę wybranych parametrów eksperymentu. Poprzez pola formularzy można przekazać instrukcje sterujące maszyną wytrzymałościową, parametry elektryczne sygnałów wymuszeń itp. Możliwości są praktycznie nieograniczone. Zdalnej modyfikacji podlegają wszystkie parametry, które może zmieniać użytkownik znajdujący się przy stanowisku pomiarowym. Efekty modyfikacji, czyli odpowiedzi układu, można śledzić przy pomocy przeglądarki internetowej.

6.6 KOMUNIKACJA UŻYTKOWNIKÓW WIRTUALNEGO LABORATORIUM

Specyfika badań prowadzonych w laboratorium dynamiki wymaga, aby stanowisko badawcze znajdowało się pod stałym nadzorem obsługi. Możliwe są również sytuacje, gdy osoba prezentująca eksperyment znajduje się w innej lokalizacji geograficznej niż osoby, do których jest adresowany jego przekaz. W takich sytuacjach z pomocą przychodzą współczesne narzędzia komunikacyjne opierające się na transmisji danych poprzez sieć Internet.

Użytkownicy wirtualnego laboratorium mogą się komunikować za pomocą komunikatora dostępnego na witrynie laboratorium i stanowiącego jego nieodłączną część. Dostarcza ono podstawowej funkcjonalności pozwalającej na wymianę komunikatów tekstowych. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby wykorzystać inne, bardziej zaawansowane oprogramowanie komunikacyjne czy telekonferencyjne.

Transmisja obrazu ze stanowiska badawczego odbywa się przy pomocy kamery internetowej połączonej z serwerem danych strumieniowych. Na potrzeby wirtualnego laboratorium w dziedzinie transmisji strumieniowej przetestowano zarówno rozwiązania komercyjne jak i bezpłatne narzędzia udostępniane na licencji GPL lub podobnej.

7. WNIOSKI

Wirtualne laboratorium jest najczęściej wykorzystywane podczas zajęć dydaktycznych, gdzie większa grupa studentów ma możliwość uczestniczenia w prawdziwych badaniach i przeprowadzania eksperymentów angażując się aktywnie w ich przebieg. Prezentowany system wymaga dalszego rozwoju, jednak istniejące rozwiązania pozwalają w dużym stopniu wykorzystać Internet jako nowe medium zarówno w dydaktyce jak i podczas pracy naukowej.

Realizacja eksperymentu w postaci wirtualnej posiada jeszcze jedną potencjalną zaletę z punktu widzenia dydaktyki: w przypadku niedostępności (na przykład awarii) stanowiska dydaktycznego bardzo łatwo przełączyć wszystkie aplikacje studenckie na korzystanie z informacji zapisanych w bazie danych. Przystajemy wówczas mieć do czynienia z tym rozumieniem słowa „wirtualny”, na którym tak bardzo nam zależy, ale daje szanse na realizację procesu dydaktycznego mimo zaburzeń występujących w świecie zewnętrznym