

PRZYRZĄDY WIRTUALNE – AKTUALNY STAN I PERSPEKTYWY ROZWOJU

Przedstawiono podstawowe definicje pojęć dotyczących przyrządów wirtualnych (PW). Omówiono architektury PW przewodowych i bezprzewodowych oraz właściwości i główne kryteria ocen PW. Zasygnalizowano metody projektowania PW.

VIRTUAL INSTRUMENTS – STATE OF ART AND ITS FUTURE

Abstract. The fundamental definitions concerning virtual instruments (VIs) are shown. A classification, architectures and features, including both aggregated and distributed VIs are presented. The main criteria of assessment of the VI's are discussed.

1. WPROWADZENIE DO PRZYRZĄDÓW WIRTUALNYCH

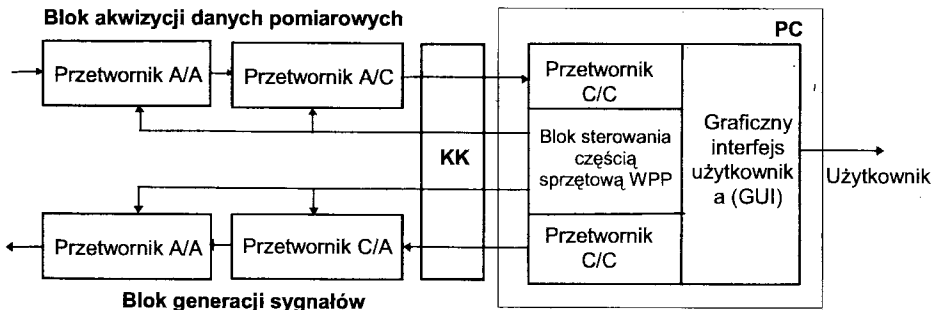
Od czasu, gdy w połowie lat osiemdziesiątych wprowadzono pojęcie „wirtualnej rzeczywistości” (ang. virtual reality), intensywnie wkracza ono w wiele dziedzin techniki. Technologia umożliwiająca znalezienie się w świecie wytworzonym przez komputer – przebywania w miejscach, których naprawdę nie ma; posługiwania się urządzeniami, które w rzeczywistości nie istnieją w danej formie – stwarza zupełnie nowe możliwości rozwoju różnych dziedzin techniki, przełamywania kolejnych barier technologicznych. Wirtualna rzeczywistość nie ominęła również metrologii. Pojawiła się w niej w formie „wirtualnego przyrządu pomiarowego” (ang. virtual instrument) [1]. Pojęcie to zaistniało równolegle z powstaniem nowych narzędzi programowych do komputerowego wspomagania projektowania systemów pomiarowych [2],[3], umożliwiających obsługę systemu lub przyrządu pomiarowego poprzez graficzny interfejs użytkownika.

Przyrządy wirtualne znajdują zastosowanie w technice biomedycznej, ochronie środowiska, automatyce przemysłowej, elektronice dużych mocy, technice wojskowej, technice nuklearnej i edukacji [4]. Najwięcej przyrządów wirtualnych opracowano dla potrzeb pomiarów fizyko-chemicznych. W grupie tej można znaleźć wirtualne oscyloskopy, generatory sygnałowe, generatory funkcyjne, częstotłomiernie, analizatory widma, mierniki prędkości obrotowej, ciśnienia, temperatury, mierniki siły elektromotorycznej, przepływomierze, mierniki przemieszczeń, spektrofotometry, termometry i pH-metry. Drugi ważny obszar zastosowań przyrządów wirtualnych związany jest z pomiarami w sieciach energetycznych. Opracowano przyrządy wirtualne do pomiaru fluktuacji częstotliwości sieci energetycznej, mierniki prądu, napięcia, mocy czynnej i biernej, przesunięć fazowych, częstotliwości, mierniki zniekształceń harmonicznych, rozproszone przyrządy do pomiaru parametrów

segmentów sieci energetycznych, przyrządy do pomiaru parametrów przetworników mocy, do pomiaru mocy harmonicznych. Przyrządy wirtualne wykorzystywane są też w technice biomedycznej, np. do pomiarów kardiologicznych, audiologicznych, pulmonologicznych, neurofizjologicznych. Wiele przyrządów wirtualnych można znaleźć w zastosowaniach przemysłowych; są to np. przyrządy do testowania układów scalonych, do kontroli regulatorów PID, do pomiarów parametrów hydroelektrowni. Przyrządy wirtualne wykorzystywane są także w technice wojskowej, np. do badania toru lotu pocisku. Bardzo ważnym obszarem zastosowań techniki wirtualnej jest szkolnictwo wyższe. Liczne laboratoria studenckie wykorzystują przyrządy wirtualne zarówno skupione, jak i rozproszone z dostępem poprzez Internet.

1.1. Definicja pojęcia „przyrząd wirtualny”

Przyrząd wirtualny może być zdefiniowany jako przyrząd składający się z komputera ogólnego przeznaczenia i dołączonych do niego poprzez dowolny kanał komunikacyjny sprzętowych bloków funkcjonalnych (wewnętrznych i/lub zewnętrznych), przy czym funkcje i możliwości przyrządu określone są przez zarówno przez sprzęt, jak i oprogramowanie, a obsługa odbywa się z wykorzystaniem graficznego interfejsu użytkownika [5]. Podstawowy schemat przyrządu wirtualnego przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Podstawowy schemat blokowy przyrządu wirtualnego wykorzystującego bloki akwizycji i generacji sygnałów (KK – kanał komunikacyjny)

Struktura przyrządu wirtualnego obejmuje komputer powszechnego użytku oraz bloki sprzętowe, takie jak: pakiety akwizycji danych, generacji sygnałów, moduły VXI, przyrządy IEC-625 i inne. Każdy z tych bloków dołączony jest bezpośrednio do magistrali komputera (jako karta), lub poprzez interfejs (jako urządzenie zewnętrzne). Przyrząd wirtualny może być projektowany i budowany zarówno przez producenta urządzeń pomiarowych, jak i przez użytkownika, który definiuje jego przeznaczenie i funkcje konstruując odpowiednie oprogramowanie. Oprogramowanie to integruje komputer i pomiarowe bloki sprzętowe tworząc z nich przyrząd; jest ono zatem integralną częścią przyrządu wirtualnego. Należy wspomnieć o tym, że w wielu współczesnych przyrządach pomiarowych coraz więcej funkcji przetwarzania sygnałów pomiarowych realizuje się programowo za pomocą mikroprocesorów, jednak nie nazywamy ich przyrządami wirtualnymi. Nazwa ta jest zarezerwowana dla tych przyrządów, których integralną częścią jest komputer ogólnego przeznaczenia realizujący funkcje sterowania, przetwarzania danych i wizualizacji wyników.

Należy w tym miejscu przypomnieć różnicę między przyrządem a systemem pomiarowym. System pomiarowy jest zestawem pomiarowym, zwykle wektorowym (tj. wielowjęściowym i wielowyjściowym), składającym się z wyróżnionej jednostki sterującej systemem – zwanej kontrolerem systemu – i z urządzeń pomiarowych oraz generacyjnych i pomocniczych, połączonych ze sobą w sposób umożliwiający realizację wspólnego celu, zwanego funkcją systemu. System pomiarowy zwykle umożliwia odtwarzanie charakterystyk obiektu mierzonego, które nie mogą być zmierzone w sposób bezpośredni. Przyrząd pomiarowy jest to urządzenie przeznaczone do wykonywania pomiarów, samodzielnie lub w połączeniu z jednym lub z wieloma urządzeniami dodatkowymi [6]. Jest to zwykle urządzenie z niewielką liczbą wejść i wyjść, umożliwiające pomiar pojedynczych, skalarnych wielkości mierzonych.

1.2. Właściwości przyrządu wirtualnego (PW)

Do najistotniejszych cech przyrządu wirtualnego należy zaliczyć jego funkcjonalną elastyczność (rekonfigurowalność). Oznacza ona, że jeden sprzętowy blok funkcjonalny (lub ich zbiór) umożliwia stworzenie szerokiego zbioru różnych przyrządów wirtualnych realizujących bardzo różnorodne funkcje. Fakt ten, jak również redukcja części sprzętowej przyrządu wirtualnego do niezbędnego minimum i przesunięcie punktu ciężkości przy projektowaniu przyrządu na oprogramowanie, spowodowały znaczne zmniejszenie kosztu pojedynczego przyrządu. Ważną cechą przyrządu wirtualnego jest jego otwarta architektura, co oznacza m.in. dostęp do magistrali interfejsu łączącego komputer z częścią sprzętową. W przypadku sprzętowych, wewnętrznych bloków funkcjonalnych typu „plug-in”, magistralą tą jest szyna komputera, a w przypadku bloków zewnętrznych - najczęściej magistrala jednego ze standardowych interfejsów pomiarowych (IEC-625, VXI, RS-232, Fieldbus). Inną, bardzo istotną właściwością przyrządu wirtualnego jest możliwość łączenia się komputera z częścią pomiarową i generacyjną przyrządu poprzez sieci teleinformatyczne (Internet, GSM, itp.).

1.3. Klasyfikacja PW

Wszelkie klasyfikacje są sprawą umowną i zależą od przyjętych kryteriów podziału. Wybierając kryteria dla niniejszej klasyfikacji przyjęto założenie, że interesują nas kryteria uwzględniające najnowsze technologie komunikacyjne wykorzystywane w PW, a jednocześnie określające sposób realizacji PW. Zatem pierwszym kryterium podziału PW jest *rozproszenie elementów składających się na przyrząd*, w tym głównie oddalenie komputera z panelem przyrządu od części pomiarowo-generacyjnej. Przyrządy te można podzielić na:

- *przyrządy skupione*,
- *przyrządy rozproszone*.

Skupionym Przyrządem Wirtualnym nazwiemy przyrząd, którego elementy podłączone są do komputera bezpośrednio lub poprzez magistralę lokalną. Część pomiarowa i sterująca może być połączona z komputerem przewodowo lub bezprzewodowo, przy czym odległość między blokami przyrządu nie przekracza kilkunastu metrów. Najczęściej część sprzętowa montowana jest wewnątrz komputera w postaci kart pomiarowo-sterujących lub dołączana do komputera z wykorzystaniem typowych lokalnych magistral pomiarowych, jak IEC-625, RS-232 czy VXI.

Rozproszonym Przyrzędem Wirtualnym nazwiemy przyrząd, którego elementy rozmieszczone są terytorialnie, połączone ze sobą i zdolne do wzajemnej wymiany informacji. W ogólnym przypadku rozproszenie może dotyczyć bloków pomiarowych, - bloków sterujących, bloków przetwarzania i analizy danych, bloków baz danych. Każdy z tych bloków może być oddalony terytorialnie od pozostałych.

Przyjmując jako kryterium rodzaj medium komunikacji, przyrządy wirtualne, zarówno skupione, jak i rozproszone, można podzielić na:

- *przyrządy z komunikacją przewodową, w skrócie* - przyrządy przewodowe (media: kable elektryczne, kable telefoniczne, światłowody, sieci komputerowe, ...);
- *przyrządy z komunikacją bezprzewodową, w skrócie* - przyrządy bezprzewodowe (media: promieniowanie podczerwone, fale radiowe, ...).

Rozproszonym Przyrzędem Wirtualnym z komunikacją przewodową nazwiemy przyrząd, którego elementy połączone są za pomocą sieci przewodowej dowolnego typu (np. sieci kablowej, sieci światłowodowej, itp.). Przyrządy te realizowane były do niedawna z wykorzystaniem dedykowanych rodzajów sieci przemysłowych, takich jak np. CAN czy Profibus. Zaletą takich przyrządów była duża niezawodność i krótki czas opóźnień reakcji sieci, wadą zaś - niewielki zasięg i konieczność budowy infrastruktury sieci. W ostatnich latach, dzięki upowszechnieniu się sieci komputerowych, pojawiła się możliwość łączenia komputera z pozostałymi blokami przyrządu wirtualnego poprzez sieć komputerową. Takie przyrządy, których elementy połączone są za pomocą sieci komputerowej, nazwiemy w skrócie *Sieciowymi Rozproszonymi Przyrządami Wirtualnymi*. Rozproszonym Przyrzędem Wirtualnym z komunikacją bezprzewodową nazwiemy przyrząd, którego elementy połączone są za pomocą sieci bezprzewodowej dowolnego typu.

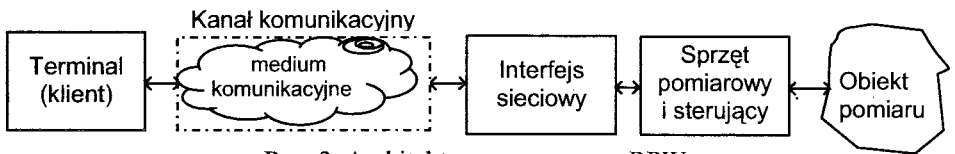
1.4. Architektury PW

Skupione przyrządy wirtualne można podzielić na dwie główne grupy:

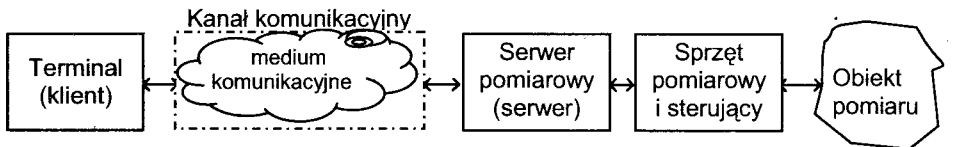
1. przyrządy z blokami pomiarowo-sterującymi wewnętrznymi (kartami wmontowanymi bezpośrednio do komputera) jedno- lub wielokanałowymi:
 - z bezpośrednimi wejściami pomiarowymi,
 - z zewnętrznymi czujnikami pomiarowymi;
2. przyrządy z blokami pomiarowo-sterującymi zewnętrznymi:
 - w połączeniu multiplekserowym, jedno- lub wielokanałowym,
 - w połączeniu magistralowym, jedno- lub wieloblokowym.

W grupie rozproszonych przyrządów wirtualnych (RPW), przyjmując jako kryterium poziom złożoności architektury, można wyróżnić trzy podstawowe typy architektur RPW: uproszczoną (rys. 2), podstawową (rys. 3) i złożoną (rys. 4). Terminal (T) rozproszonego przyrządu wirtualnego jest urządzeniem z panelem graficznym służącym do programowania parametrów przyrządu, uruchamiania pomiarów, odbierania, przetwarzania i wyświetlania wyników. Funkcje terminala może pełnić komputer stacjonarny (PC) lub przenośny (laptop, palmtop, itp.) z odpowiednim modulem komunikacyjnym lub terminal bezprzewodowy współpracujący z danym kanałem komunikacyjnym (np. telefon GSM). Terminal T jest klientem dla pozostałej części sprzętowej RPW, czyli urządzeniem proszącym ją o usługi. Sprzętowa część pomiarowo-sterująca RPW może być połączona z kanałem komunikacyjnym

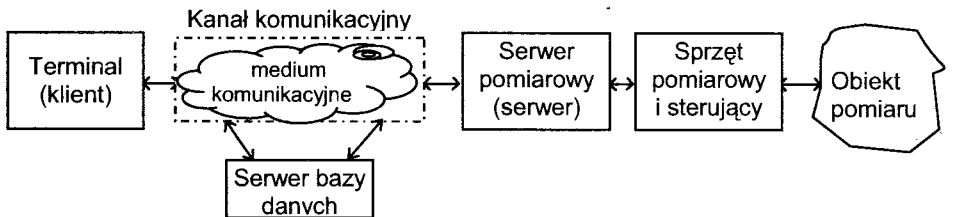
bezpośrednio – mówimy wówczas o architekturze uproszczonej RPW, lub za pośrednictwem serwera pomiarowego – architektura podstawowa RPW. Rozwinięciem architektury podstawowej jest architektura złożona, w której klient kontaktuje się z serwerem pomiarowym poprzez serwer bazy danych. W architekturze podstawowej i złożonej część pomiarowa może być skonfigurowana podobnie, jak w przypadku skupionych RPW. Funkcje serwera pomiarowego pełni najczęściej komputer PC lub specjalizowany mikrokontroler [7]. Serwer ten, z jednej strony zarządza urządzeniami pomiarowymi, z drugiej – obsługuje komunikację z siecią komunikacyjną. W zależności od wykorzystywanego medium komunikacyjnego, serwer pomiarowy lub sprzęt pomiarowy podłączony bezpośrednio do kanału komunikacyjnego muszą być wyposażone w odpowiednie dla danego kanału bloki interfejsu, np. konwertery protokołów lokalnych magistrali pomiarowych na Ethernet, modemy, radiomodemy, moduły Bluetooth, terminale GSM, UMTS, WLAN.



Rys. 2. Architektura uproszczona RPW



Rys. 3. Architektura podstawowa RPW



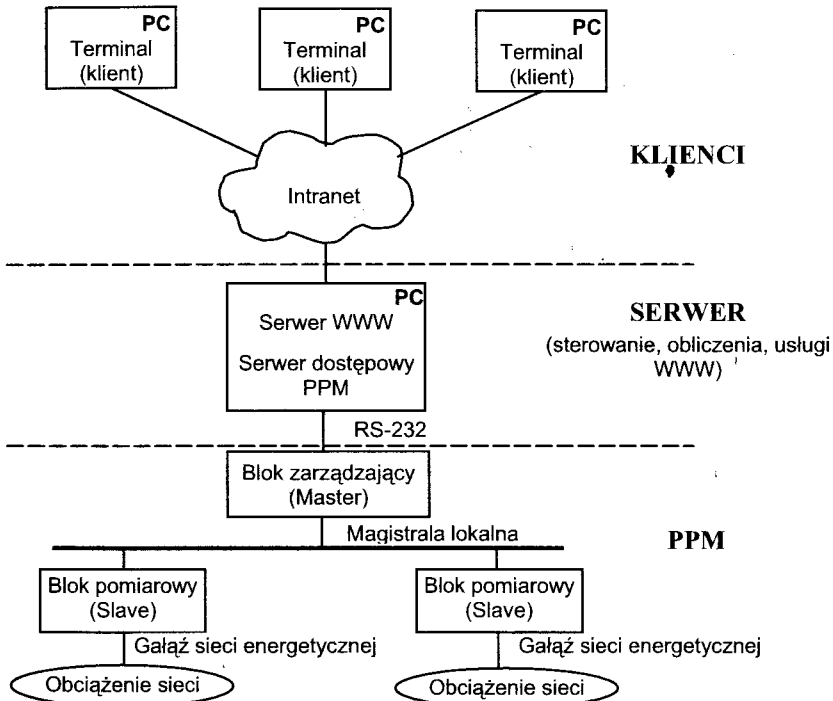
Rys. 4. Architektura złożona RPW

W rozproszonych wirtualnych przyrządach wirtualnych najczęściej wykorzystywana jest konfiguracja typu klient-serwer, w której jeden zbiór aplikacji (klienci) wymaga obsługi przez inny zbiór aplikacji (serwery). Cechą tej konfiguracji jest kolejowanie żądań dostępu do zbioru aplikacji. Taka organizacja obsługi umożliwia uzyskanie szybkiej odpowiedzi przez klienta na pytanie o status kolejki i aktualne obciążenie serwera pomiarowego. Serwer dzięki budowie „wielowątkowej” umożliwia obsłużenie jednocześnie kilku klientów albo poprzez wykonanie pomiaru, albo, jeżeli jest to w tej chwili niemożliwe, poprzez wstawienie żądania do kolejki i wykonania go w późniejszym czasie.

Oprócz podstawowej architektury typu „jeden klient, jeden serwer” możliwe są następujące architektury sieciowych przyrządów pomiarowych:

- kilku klientów, jeden serwer (typ MC/SS),
- jeden klient, kilka serwerów (typ SC/MS),
- kilku klientów, kilka serwerów (typ MC/MS).

Ostatnia architektura, typowa dla rozproszonych systemów pomiarowych, w przyrządach wirtualnych stosowana jest rzadko; m.in. ze względu na znaczne komplikacje zarządzania przyrządami o takiej architekturze. Przykład przyrządu o architekturze typu MC/SS do monitoringu sieci energetycznych [8] przedstawiono na rys. 5.

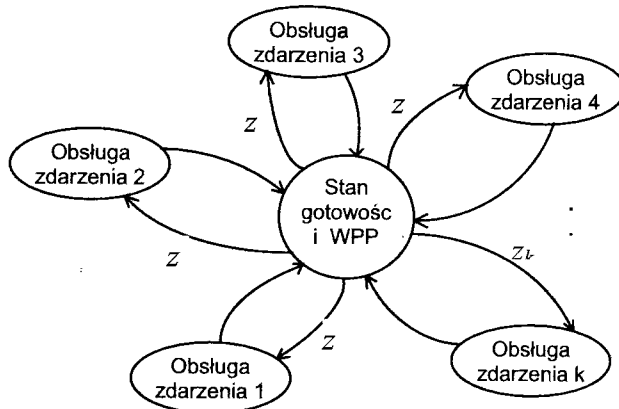


Rys. 5. Architektura wirtualnego rozproszonego przyrządu do monitorowania gałęzi sieci energetycznej (kilku klientów, jeden serwer) [8]

1.5. Algorytm pracy PW

Cechą charakterystyczną przyrządów wirtualnych jest praca zdarzeniowa. Stanem gotowości przyrządu do pracy jest stan oczekiwania na zdarzenie, tzn. na informację o zmianie stanu przyrządu wymagającą reakcji oprogramowania PW, najczęściej wykonania konkretnej procedury programowej odpowiedniej do danego zdarzenia. Zdarzenia mogą być generowane przez użytkownika lub przez część sprzętową. Zdarzenia pierwszego typu generowane są po zmianie przez użytkownika stanu któregośkolwiek z obiektów na panelu graficznego interfejsu użytkownika (np. zmiana nastawy funkcji czy zakresu). Zdarzenia drugiego typu generowane są przez część pomiarową po wykonaniu pomiaru lub w przypadku stanu awaryjnego. Oprogramowanie przyrządu wirtualnego jest więc zbiorem procedur obsługi zdarzeń, a

także ich detekcji (przerwania, nasłuchiwanie, itp.). Obsługa zdarzeń może być wielowątkowa, jednak w większości realizacji PW jest ona jednowątkowa. Zdarzeniowy algorytm oprogramowania PW dla takiego przypadku przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Zdarzeniowy algorytm oprogramowania PW (z_i – zdarzenie)

2. PRZEWODOWE (SIECIOWE) ROZPROSZONE PW

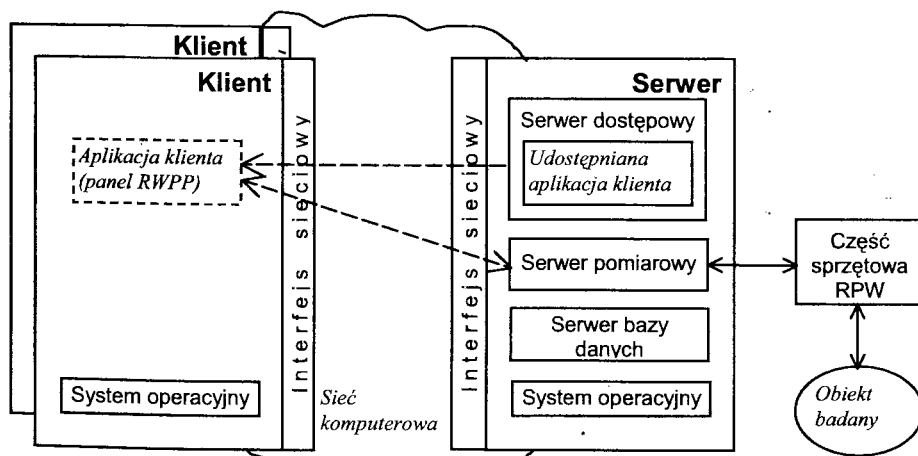
W ostatnich kilku latach, dzięki upowszechnieniu się sieci komputerowych, pojawiła się możliwość łączenia komputera z częścią pomiarową przyrządu poprzez sieć komputerową. Oznacza to, że poszczególne części sprzętowe danego przyrządu wirtualnego mogą być znacznie od siebie oddalone. Problemem skupiającym uwagę zespołów naukowo-badawczych na świecie stały się metody i sposoby udostępniania przyrządów i systemów pomiarowych poprzez sieć. Ogólna koncepcja sieciowych systemów i przyrządów pomiarowych oraz ich zalety i wady zostały szeroko przedstawione w artykułach [9],[10],[11].

Propozycję nowoczesnego, sieciowego RPW wykorzystującego współczesne, dostępne technologie internetowe, a jednocześnie spełniającego wymagania maksymalnej elastyczności i minimalnej zależności od systemów operacyjnych, przedstawiono w [4]. Wymagania te, nazwane wymaganiami na generyczny sieciowy RPW, sformułowano następująco:

- zdalne wykonywanie pomiarów i wizualizacja wyników z dowolnego komputera użytkownika (klienta) podłączonego do sieci komputerowej,
- komunikacja między klientem i serwerem z wykorzystaniem standardowych, ogólnodostępnych protokołów komunikacyjnych,
- brak konieczności instalacji aplikacji klienta na stałe na komputerze klienta (tzn. pobieranie aplikacji klienta z komputera serwera),
- niezależność aplikacji klienta od systemu operacyjnego (tzw. przenośność),
- niezależność aplikacji serwera od systemu operacyjnego,
- możliwość niekolizyjnego dostępu wielu klientów do aplikacji serwera.

Generyczną architekturę sieciowego RPW przedstawiono na rys. 7. Bloki architektury sieciowego RPW powinny spełniać funkcje przedstawione poniżej.

- Aplikacja klienta:
 - komunikacja z serwerem pomiarowym,
 - komunikacja z użytkownikiem, zapewniająca:
 - ◆ programowanie nastaw części sprzętowej RPW,
 - ◆ uruchamianie procedury pomiarowej,
 - ◆ wizualizację wyników pomiaru,
 - ◆ przerwanie procesu pomiarowego.
- Aplikacja serwera pomiarowego:
 - komunikacja ze sprzętową częścią RPW,
 - komunikacja z aplikacją klienta,
 - komunikacja z bazą danych,
 - realizacja procedury pomiarowej (sterowanie częścią sprzętową RPW i odbiór wyników).
- Serwer dostępowy:
 - udostępnianie użytkownikowi poprzez sieć komputerową aplikacji klienta celem czasowego umieszczenia jej na komputerze klienta.
- Serwer bazy danych:
 - archiwizacja danych pomiarowych,
 - udostępnianie archiwalnych danych pomiarowych klientom.
- Interfejsy sieciowe:
 - umożliwienie komunikacji między komputerami klienta i serwera poprzez sieć komputerową.
- System operacyjny:
 - zarządzanie działaniem komputerów klienta i serwera.



Rys. 7. Generyczna architektura sieciowego RPW

- W ogólnym przypadku, stworzenie oprogramowania RPW wymaga zaprojektowania:
- komunikacji serwera pomiarowego z częścią sprzętową RPW (protokół komunikacyjny magistrali lokalnej),
 - komunikacji serwera pomiarowego z aplikacją klienta,
 - procedur pomiarowych po stronie serwera (łącznie z programowymi sterownikami części sprzętowej RPW),
 - komunikacji aplikacji klienta z użytkownikiem (graficzny interfejs użytkownika),
 - kolejowania lub blokowania zadań od różnych użytkowników,
 - magazynu danych (opcjonalnie) wraz z mechanizmem udostępniania danych serwerowi pomiarowemu i użytkownikowi,
 - autoryzacji użytkownika.

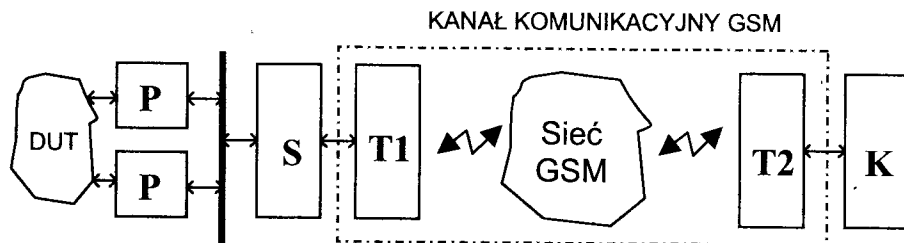
Propozycję metodyki projektowania RPW, zgodnych z przedstawioną architekturą, przedstawiono w [4],[36],[37].

3. BEZPRZEWODOWE ROZPROSZONE PW

Bardzo szybki rozwój radiokomunikacji na przełomie wieku XX i XXI wpłynął na rozwój nowych technik pomiarowych wykorzystujących możliwość bezprzewodowego łączenia poszczególnych elementów przyrządów i systemów pomiarowych. Obecnie możliwe są następujące wersje bezprzewodowych RPW:

- z łączami na promieniowanie podczerwone,
- z łączami radiowymi Bluetooth,
- z wykorzystaniem WLAN,
- z wykorzystaniem radiomodemów,
- z wykorzystaniem telefonii komórkowej GSM,
- z wykorzystaniem telefonii ruchomej UMTS.

Najciekawsze obecnie z punktu widzenia zastosowań są RPW bazujące na telefonii komórkowej. Dotychczasowe, nieliczne jeszcze próby wykorzystania telefonii komórkowej w pomiarach dotyczyły realizacji systemów i przyrządów pomiarowych opartych na konfiguracji przedstawionej na rys. 8, w której modemy GSM podłączone były do komputera, a sterowanie odbywało się wyłącznie z komputera klienta.



Rys. 8. Struktura RPW z wykorzystaniem telefonii GSM, gdzie: DUT – obiekt pomiarowy, P – część pomiarowa RPW, S- serwer pomiarowy (PC), T1, T2 – terminale bezprzewodowe GSM, K – komputer kliencki (PC)

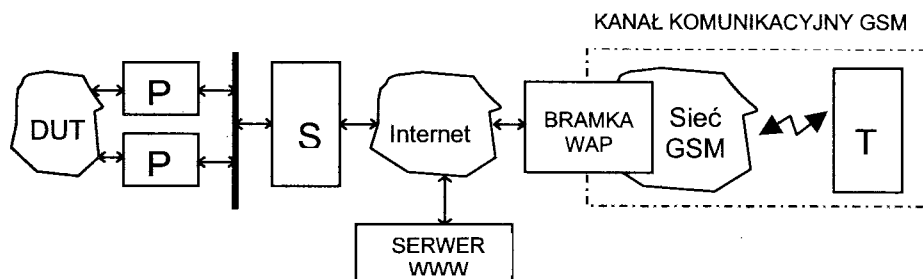
Pierwsze rozwiązania wykorzystywały krótkie wiadomości tekstowe [12]. Głównymi elementami tego systemu lub przyrządu był komputer PC typu laptop z dołączonym poprzez interfejs RS-232 multimetrem cyfrowym, znajdujący się w stacji pomiarowej, oraz drugi komputer PC, umieszczony w odległej centrali systemu/przyrządu pomiarowego. Zastosowany telefon komórkowy Nokia 2110 wymagał do transmisji danych adaptera terminalowego. Funkcję adaptera terminalowego spełniała karta komputerowa PCMCIA o nazwie *Cellular Data Card* do telefonu Nokia 2110.

Podobny w założeniach, lecz bardziej rozbudowany system przedstawiono w [13]. Zrealizowano stanowisko pomiarowe oparte o moduły GSM firmy *Siemens*, umożliwiające komunikację z systemem/przyrządem pomiarowym poprzez krótkie wiadomości tekstowe SMS. Rozwiązanie to pozwala na sterowanie urządzeniami i odbiór wyników pomiarów poprzez SMS, pocztę elektroniczną email oraz przy połączeniu głosowym.

Rozwiązanie bazujące na transmisji przez łącze komutowane pomiędzy dwoma systemami których jeden pełnił rolę stacji pomiarowej, a drugi centrale systemu pomiarowego zaprezentowano w [14]. Przedstawiono system składający się z zestawu czujników i multimetru podłączonych do komputera przenośnego wyposażonego w kartę GSM (*Nokia Data Card Phone 2.0*) stanowiących ruchomą stację pomiarową. Stacja ta łączy się wykorzystując sieć GSM z centralą systemu pomiarowego zabierającą i aktualizującą dane. Komunikacja może być nawiązywana w dwojaki sposób. Centrala nawiązuje połączenie ze stacją ruchomą, inicjuje pomiary i odbiera wyniki pomiarów, lub oczekuje na nadejście połączenia z ruchomego systemu pomiarowego. Po nawiązaniu połączenia odbiera wysłane wyniki i prezentuje je w formie wykresów. Dodatkowo dane zachowywane są w plikach programu Excel. Podobny system wykorzystujący do transmisji danych oprócz sieci GSM również Internet przedstawiono w [15]. Przyjęto, że komunikacja GSM następuje tylko na pewnym odcinku drogi danych pomiarowych, pomiędzy stacją monitorującą a najbliższym serwisem umożliwiającym dostęp do Internetu. Dalej komunikacja przebiega przy wykorzystaniu łącz Internetowych. Oddzielną część stanowi system kontrolno-pomiarowy do którego bezpośrednio dołączone są czujniki. W tym przypadku system służył do zdalnego badania układów elektronicznych. Badanie polegało na opracowaniu przebiegu testowego na komputerze lokalnym, wysłaniu go do komputera zdalnego, do którego podłączony jest badany układ i odebraniu przebiegu z wyjścia tego układu.

Większość dotychczasowych systemów i przyrządów opierało się na założeniu, że telefonię GSM wykorzystuje się jedynie jako nośnik informacji pomiędzy rozproszonymi elementami systemu lub przyrządu. Sprowadzało się to do podłączania terminali GSM do urządzeń pomiarowych jako modemów. Podejście takie pomija ogromny zakres możliwości jakie niesie za sobą wykorzystanie samych terminali GSM. Pierwszą próbę wykorzystania terminala GSM i technologii WAP w celu dostępu do danych pomiarowych przedstawiono w [16],[17]. Zaproponowano koncepcję udostępniania danych pomiarowych w Internecie za pomocą telefonu komórkowego. Koncepcja ta nie umożliwiała jednak sterowania systemem pomiarowym za pomocą telefonu komórkowego GSM, a jedynie prezentację wyników pomiarów na wyświetlaczu telefonu.

Rozwinięciem metody dostępu do danych pomiarowych z poziomu telefonu komórkowego jest koncepcja przyrządu wirtualnego który, oprócz odczytu danych pomiarowych z poziomu terminala GSM, pozwalałby również na sterowanie częścią pomiarową [18]. Przyrząd taki z założenia przeznaczony jest do kontroli i monitoringu sygnałów wolnozmiennych. Zaproponowano strukturę bezprzewodowego RPW z wykorzystaniem telefonu komórkowego z protokołem WAP. Ogólną konfigurację takiego przyrządu przedstawiono na rys. 9. Jest ona zmodyfikowaną konfiguracją systemu pomiarowego przedstawionego na rys. 8. Jej zaletą jest redukcja stanowiska klienckiego do małego, mobilnego terminala w postaci telefonu GSM. Z badań przedstawionych w [18] wynika, że czasy nawiązywania połączeń z usługą WAP mieszczą się dla transmisji komutowanej w granicach 15-30 sekund (w zależności od obciążenia sieci), dla transmisji pakietowej – w granicach 4-5 sekund. Czasy wykonania pomiaru od momentu wyzwolenia pomiaru na telefonie GSM do chwili wyświetlenia wyniku wynosi: dla transmisji komutowanej 2÷12 sekund (w zależności od obciążenia sieci), dla transmisji pakietowej – w granicach 2,5÷13 sekund.



Rys. 9. Struktura RPW pracującego z wykorzystaniem protokołu WAP, gdzie: DUT – obiekt pomiarowy, PP – część pomiarowa BRPW, S- serwer pomiarowy, T – terminal bezprzewodowy GSM

Zupełnie nowe możliwości w zakresie projektowania BPW z wykorzystaniem telefonów komórkowych stwarza nowa generacja telefonów wyposażoną w specjalną wersję języka Java, Java 2 Micro Edition (J2ME). [19]. Telefon komórkowy wyposażony w maszynę wirtualną J2ME pozwala na instalowanie i uruchamianie własnych programów niezależnych od platformy sprzętowej. W programach dla maszyny wirtualnej J2ME można korzystać z możliwości tworzenia połączeń z serwerami HTTP, obróbki otrzymanych danych i tworzenia na ich podstawie dowolnej, zarówno graficznej, jak i tekstowej reprezentacji. Maszyna wirtualna Javy ma dodatkowo kilka interesujących z punktu widzenia tworzenia rozproszonych systemów i urządzeń pomiarowych możliwości, takich jak przechowywanie danych w nieulotnej pamięci telefonu czy automatyczne uruchamianie zadań o zaprogramowanej porze. Duży potencjał technologii J2ME uzasadnia zatem użycie jej do budowy RPW.

4. NARZĘDZIA PROJEKTOWANIA PW

Projektowanie PW można przedstawić w formie tzw. cyklu życia [20]. Metody projektowania poszczególnych elementów PW, zarówno sprzętowych jak programowych, mogą być różne. Praktyka pokazuje, że większość elementów

sprzętowych może być skonfigurowanych ze standardowych bloków funkcjonalnych oferowanych przez wielu producentów i tylko bardzo niewielka część specjalizowanych urządzeń musi być projektowana indywidualnie. W tej sytuacji główny wysiłek przy projektowaniu PW związany jest z opracowaniem odpowiedniego oprogramowania takiego przyrządu. W fazie implementacji projekt oprogramowania jest realizowany w wybranym środowisku implementacji. Oprogramowanie PW przewodowych i bezprzewodowych realizowane jest obecnie z wykorzystaniem następujących technologii programowych:

- klasycznych (języki wysokiego poziomu),
- specjalizowanych środowisk programowych,
- internetowych (z wykorzystaniem przeglądarki internetowej).

3.1. Technologie programowe

Technologie klasyczne, czyli języki wysokiego poziomu takie jak C/C++, Pascal, Basic, są obecnie rzadko wykorzystywane do projektowania PW. Środowiska projektowe wykorzystujące te języki posiadają bogate biblioteki wspomagające proces projektowania oprogramowania, lecz są to biblioteki uniwersalne, w których brak jest gotowych obiektów graficznych potrzebnych do zaprojektowania graficznego panelu PW. Ponadto oprogramowanie PW zrealizowane z wykorzystaniem tych języków jest zależne od systemu operacyjnego komputera.

Niewątpliwie najbardziej rozbudowanym, najwygodniejszym i najskuteczniejszym narzędziem projektowania PW są firmowe, zintegrowane środowiska programowe [21]. Środowiska te posiadają wbudowane praktycznie wszystkie mechanizmy potrzebne do budowy wszelkich PW, zarówno jeżeli chodzi o warstwę graficzną jak i programową. Środowiska te, jak LabVIEW, LabWindows/CVI, VEE, czy TestPoint, wyposażono w silne mechanizmy wspomagające proces projektowania oprogramowania. Tworzenie programu w tych środowiskach odbywa się w sposób wizualny poprzez układanie gotowych komponentów symbolizujących dane, ścieżki przepływu tych danych, instrukcje warunkowe i pętle sterujące przebiegiem programu, elementy interfejsu, programowe sterowniki przyrządów (ang. drivers), itp. Bogate biblioteki elementów graficznych pozwalają na projektowanie w prosty sposób paneli graficznego interfejsu użytkownika, procedur programowania urządzeń pomiarowych i zbierania wyników pomiarów, matematyczną obróbkę danych oraz prezentacje wyników w postaci tekstowej i graficznej. Interakcyjność procesu tworzenia oprogramowania, możliwości dołączania własnego kodu, a także gotowe zestawy programowych sterowników do urządzeń pomiarowych czynią z tych środowisk podstawowe narzędzie w rękach projektantów wirtualnych przyrządów i systemów pomiarowych. Wadą tych rozwiązań jest niewątpliwie przypisanie ich do konkretnych systemów operacyjnych, czyli ich zależność platformowa.

Internetowe technologie programowe, takie jak CGI, HTML, JavaScript, czy serwlety, są znacznie prostszymi narzędziami projektowania PW w porównaniu do zintegrowanych środowisk programowych, szczególnie w warstwie graficznej. Praktycznie brak tu jakichkolwiek bardziej złożonych konstrukcji programowych, nie wspominając nawet o takich, które umożliwiają realizację charakterystycznych elementów paneli sterowania przyrządu, czy systemu. Mimo to znajdują pewne zastosowanie w konstrukcji rozproszonych wirtualnych przyrządów i systemów

pomiarowych. Argumentem przemawiającym za tymi technologiami programowymi jest ich duża elastyczność projektowa, prostota i niewielkie rozbudowanie – co ma znaczenie w wypadku realizacji niewielkiej aplikacji, a także na ogół darmowa dystrybucja dająca do nich dostęp każdemu użytkownikowi.

Najciekawszym, z punktu widzenia projektowania rozproszonych PW, internetowym narzędziem programowym jest język *Java*. Podstawową jego zaletą jest prostota projektowania, bogate biblioteki standardowe, niezależność od systemu operacyjnego zarówno samego języka, jak i aplikacji w nim tworzonych, a także darmowa dystrybucja tego języka. Wadą języka *Java* jest brak specjalizowanych bibliotek dedykowanych zastosowaniom pomiarowym, zawierających gotowe obiekty graficzne wykorzystywane do projektowania paneli PW, a także programowe sterowniki do urządzeń pomiarowych. Brak jest również środowisk projektowych (np. typu *LabVIEW*) przygotowanych w języku *Java* i umożliwiających proste, wspomagane mechanizmami i bibliotekami środowiska, projektowanie PW.

Nową technologią proponowaną przez *Microsoft* do projektowania aplikacji rozproszonych jest technologia *.NET*. Jednak wadą jej jest zależność od systemu operacyjnego.

3.2. Technologie komunikacyjne

Technologie komunikacyjne dostarczają mechanizmów, dzięki którym możliwa jest komunikacja między poszczególnymi aplikacjami. Warunkiem poprawnej komunikacji jest wcześniejsze ustalenie typu przesyłanych danych oraz sposobu ich transmisji. Precyzowaniem tych wszystkich informacji, jak również tłumaczeniem poleceń użytkownika do postaci zrozumiałej dla sterowników sieci, które także biorą udział w transmisji danych, zajmuje się protokół komunikacyjny. Protokół jest swego rodzaju językiem umożliwiającym komunikację pomiędzy różnymi procesami. Procesy te mogą być zarówno uruchomione na jednym komputerze jak i rozproszone na wielu komputerach. Zależnie od stopnia rozproszenia elementów składających się na przyrząd wirtualny wykorzystywane są różne technologie komunikacyjne do zapewnienia odpowiedniej wymiany informacji między elementami przyrządu. I tak, w *skupionych PW* wykorzystuje się wewnętrzne protokoły komunikacyjne komputera *PC*, gdy część sprzętowa *PW* montowana jest wewnątrz w postaci kart pomiarowo-sterujących, lub typowe protokoły standardowych, lokalnych magistral pomiarowych, jak *IEC-625*, *RS-232* czy *VXI*, gdy część sprzętowa dołączana jest do komputera w postaci zewnętrznych bloków pomiarowych. Protokoły te są od lat znane i dobrze opisane, dlatego też nie wymagają dodatkowego opisu. Większej uwagi wymagają technologie komunikacyjne wykorzystywane w *rozproszonych PW*. W rozproszonych przewodowych *PW* elementy przyrządu mogą być połączone za pomocą sieci przewodowej dowolnego typu, jednak wraz z upowszechnieniem się Internetu dominującą rolę w sprzęganiu elementów *PW* odgrywają obecnie sieci komputerowe. Obecnie istnieje kilka technologii komunikacyjnych, które uznano za standardy transmisji danych w sieciowych *RPW*. Najpopularniejsze z nich, to:

- *TCP/IP* - (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), występuje na wszystkich platformach, czyli we wszystkich systemach operacyjnych komputerów;
- *DDE* - (*Dynamic Data Exchange*) występuje jedynie w *MS Windows*;

- ActiveX – występuje jedynie w MS Windows;
- DataSocket – stosowana przez National Instruments;
- UDP – (*User Datagram Protocol*) występuje na platformach UNIX, Macintosh, MS Windows;

Najpopularniejszą obecnie technologią komunikacyjną stosowaną w sieciowych RPW jest TCP/IP. Znaczenie tego protokołu nadal rośnie ze względu na rozwój globalnej sieci Internet, w której jest on podstawowym protokołem wymiany informacji. Pod tym względem wszystkie nowe środowiska programistyczne udostępniają podobne możliwości tworzenia aplikacji. Praktycznie wszystkie pozwalają na stworzenie Serwera bądź Klienta TCP/IP. Umożliwia to bezproblemową wymianę danych nie tylko między poszczególnymi komputerami, ale także pomiędzy różnymi platformami sprzętowymi. Bardzo użyteczną technologią opartą na TCP/IP jest DataSocket stosowana w środowiskach National Instruments. Nadal interesującą technologią jest DDE. Wszystkie środowiska mające swoje implementacje na platformę MS Windows umożliwiają korzystanie z tego protokołu. Jednak jedynie LabVIEW umożliwia stworzenie aplikacji będącej Serwerem DDE. Pozostałe środowiska udostępniają jedynie funkcje Klienta. Popularną technologią jest ActiveX. Jest to technologia szczególnie użyteczna do udostępniania przez użytkownikowi aplikacji klienta przez serwer poprzez sieć komputerową.

5. KRYTERIA OCENY PRZYRZĄDÓW WIRTUALNYCH

Każdy PW jest zwykle oceniany według kryteriów metrologicznych i informatycznych [4]. Głównym kryterium oceny metrologicznej, spełniającego wymagania funkcjonalne, jest niepewność wyników pomiarów. Kryteria informatyczne oceny jakości oprogramowania PW są typowymi kryteriami stosowanymi przy ocenie projektów informatycznych, z uwzględnieniem specyfiki przyrządów wirtualnych. Kryterium o charakterze mieszanym jest kryterium szybkości działania PW, w szczególności szybkości działania jego części programowej przy danej części sprzętowej.

5.1. Niepewność wyników pomiarów

Niepewność wyników pomiarów wykonywanych wirtualnym przyrządem pomiarowym zależy od niepewności przetwarzania analogowo-analogowego (a/a), analogowo-cyfrowego (a/c) oraz od niepewności przetwarzania cyfrowo-cyfrowego (c/c) realizowanego w komputerze.

Niepewność przetwarzania a/a i a/c (oznaczonego dalej łącznie jako a/a/c), spowodowaną czynnikami wewnętrznymi i zewnętrznymi, charakteryzuje się zwykle następującymi parametrami [25]: rozdzielczość przetwarzania, przesunięcie zera charakterystyki przetwarzania a/c (offset) i jego dryft temperaturowy, niestałość wzmocnienia, nieliniowość różniczkowa i całkowita charakterystyki przetwarzania a/a/c, dryft temperaturowy sygnału odniesienia, poziom szumów własnych, czas ustalania sygnału mierzonego, nieokreśloność aperturowa (ang. jitter). Przyjęcie właściwego modelu toru pomiarowego w istotny sposób wpływa na szacowanie niepewności wyników przetwarzania a/a/c.

Niepewność toru przetwarzania danych (c/c) realizowanego w komputerze zależy od: klasy zastosowanych algorytmów przetwarzania danych, sposobu ich programowej

implementacji (z uwzględnieniem precyzji procesora cyfrowego) oraz niepewności danych pomiarowych podlegających przetworzeniu.

Dwa główne podejścia do oceny niepewności wyników pomiarów wykonywanych wirtualnym przyrządem pomiarowym, to:

- metoda symulacji statystycznej (metoda Monte Carlo),
- metoda analityczna oparta na zaleceniach ISO [22], [23].

Bardziej uniwersalną, ale droższą pod względem nakładu obliczeniowego, jest metoda pierwsza. Wymaga ona przyjęcia zakresów zmienności wszystkich wielkości charakteryzujących istotne źródła niepewności przetwarzania $a/a/c$ na podstawie wiedzy o zjawiskach wpływających na działanie toru przetwarzania $a/a/c$. Sygnały o wartościach nominalnych zaburzane są losowo zmienianymi wartościami poszczególnych składowych źródeł niedokładności, a następnie podawane na tor przetwarzania c/c . Na podstawie wyników statystycznie wystarczającej liczby realizowanych eksperymentów obliczana jest estymata obciążenia i estymata odchylenia standardowego wyniku pomiaru. Ten drugi parametr jest standardową niepewnością wyników pomiaru. Zaletą tej metody jest możliwość uwzględniania efektu wypadkowego działania wszystkich czynników modelujących źródła niedokładności (niepewności). Przykład powyższego podejścia zaprezentowano w [24].

Zgodnie z zaleceniami przedstawionymi w [22] wyróżniamy dwa typy niepewności według metody ich szacowania:

- *niepewności wyznaczane metodą typu A*, czyli metodami statystycznymi (na podstawie otrzymanego rozrzutu wyników serii pomiarów),
- *niepewności wyznaczane metodą typu B*, czyli każdą inną metodą (niestatystyczną).

Podział niepewności na dwa typy odpowiada z grubsza błędom spowodowanym efektami przypadkowymi i błędom spowodowanym efektami systematycznymi. W przypadku niepewności typu A, na podstawie serii pomiarów oblicza się wartość średnią wielkości mierzonej oraz niepewność standardową. Znając wartość niepewności typu A i B wyznacza się niepewność złożoną jako pierwiastek sumy kwadratów obu niepewności oraz niepewność rozszerzoną. Wyznaczanie niepewności rozszerzonej (przedziału ufności) wymaga znajomości rozkładu błędu wypadkowego, co wiąże się z koniecznością przyjęcia pewnych założeń o rozkładach błędów składowych. Wyznaczanie rozkładów błędów składowych stwarza wiele problemów obliczeniowych. W pewnych szczególnych przypadkach można to zagadnienie sprowadzić do obliczania splotu rozkładów błędów składowych. W przypadku pomiarów pośrednich, dla każdej pośredniej wielkości mierzonej wyznacza się niepewności typu A i B oraz niepewności złożone, a następnie składa się niepewności cząstkowe zgodnie z zasadą liniowej propagacji niepewności.

Zaletą metody proponowanej w [16], mimo żmudnych obliczeń, jest stosunkowo niewielki koszt obliczeniowy w porównaniu z metodą Monte Carlo, wadą – konieczność nie tylko założenia odpowiednich rozkładów prawdopodobieństwa poszczególnych czynników, ale również założenia korelacji między nimi (lub ich braku), co jest związane z ryzykiem nieadekwatności przyjętego modelu PW i może prowadzić do błędnych oszacowań. Często stosuje się uproszczone szacowanie niepewności wyników pomiaru, bazujące na ogół na wytycznych podanych w [22], np.

[25], [26], [27], [28], [29], na ogół z wykorzystaniem metod numerycznych, np. [25], [29].

5.2. Szybkości działania przyrządów wirtualnych

Specyficzną cechą PW jest zależność jego szybkości działania nie tylko od sprzętowej części pomiarowej, ale również od komputera, na którym przyrząd jest zaimplementowany. O ile w tradycyjnych, autonomicznych przyrządach pomiarowych szybkość ich działania jest ściśle określona przez sztywną konstrukcję przyrządu, o tyle w przypadku przyrządów wirtualnych parametr ten jest zależny również od charakterystyk komputera, na którym PW w danej chwili jest zainstalowany. Parametry komputera oraz oprogramowania systemowego i użytkowego w istotny sposób wpływają na szybkość działania całego PW.

Czas działania każdego PW składa się z czasów wykonania trzech podstawowych etapów działania przyrządu, które można ująć w dwie fazy:

Faza I

- akwizycja danych pomiarowych (przetwarzanie a/a i a/c);

Faza II

- przetwarzanie danych pomiarowych (przetwarzanie c/c);

- prezentacja wyników pomiaru (przetwarzanie c/a).

Wprowadźmy następujące oznaczenia:

t_{akw} – całkowity czas akwizycji danych pomiarowych, tzn. czas mierzony od momentu wyzwolenia pomiaru do momentu wprowadzenia do komputera wyniku pomiaru w postaci cyfrowej,

t_{tr} – czas transmisji danych cyfrowych do komputera,

t_{przetw} – całkowity czas przetwarzania c/c danych pomiarowych, tzn. czas mierzony od momentu wprowadzenia ich do komputera do momentu uzyskania żądanych wyników przetwarzania,

t_{wiz} – całkowity czas przetwarzania c/a wyników pomiaru, tzn. czas mierzony od momentu zakończenia przetwarzania c/c do momentu pojawienia się wyników na panelu graficznym PW.

Czas akwizycji t_{akw} można zapisać jako sumę czasów przetwarzania analogowo-analogowego realizowanego przez czujnik pomiarowy oraz czasu przetwarzania analogowo-cyfrowego realizowanego przez przetwornik analogowo-cyfrowy.

$$t_{akw} = t_{aa} + t_{ac} \quad (1)$$

gdzie:

t_{aa} – czas działania czujnika pomiarowego,

t_{ac} – czas przetwarzania analogowo-cyfrowego,

W przypadku skupionych PW z komunikacją przewodową czas transmisji danych t_{tr} zależy od wyboru rodzaju lokalnej magistrali pomiarowej i odpowiedniego protokołu komunikacyjnego. Dla danego, skupionego PW czasy te są dokładnie określone i przy prawidłowej konstrukcji PW są pomijalnie małe w porównaniu z czasem akwizycji t_{akw} . Dla rozproszonych PW czas transmisji danych może być największym składnikiem w bilansie czasu działania całego przyrządu. Ze względu na rodzaj kanałów i protokołów komunikacyjnych wykorzystywanych w RPW nie jest możliwe dokładne określenie tego czasu. Zależy on m.in. od zajętości kanału komunikacyjnego (sieci komputerowej lub sieci komórkowej) przez innych użytkowników. Dalsza analiza czasowa

przedstawiona w niniejszym artykule dotyczy skupionych PW z komunikacją przewodową.

Całkowity czas przetwarzania danych t_{przetw} zależy od sposobu realizacji części programowej PW oraz od czynników sprzętowych komputera, na którym zainstalowano dany PW:

$$t_{przetw} = f(h_{PC}, s_{PC}) \quad (2)$$

gdzie:

h_{PC} - wektor czynników sprzętowych komputera,

s_{PC} - wektor czynników programowych PW

Główne czynniki sprzętowe wpływające na t_{przetw} , to rodzaj procesora w komputerze PC, częstotliwość jego zegara, wielkość pamięci RAM.

Główne czynniki programowe, to: algorytm przetwarzania c/c i sposób jego implementacji, narzędzia programowe użyte do kodowania algorytmu przetwarzania c/c oraz rodzaj systemu operacyjnego.

Czas wizualizacji wyników pomiaru t_{wiz} zależy głównie od użytej karty graficznej i od złożoności sposobu wyświetlania wyników pomiaru:

$$t_{wiz} = f(g_{PC}, w_{PC}) \quad (3)$$

gdzie:

g_{PC} - wektor czynników sprzętowych komputera (głównie dotyczących karty graficznej),

w_{PC} - wektor czynników programowych PW (dotyczących wyświetlania wyników)

Niezbędnym elementem metodyki projektowania PW powinna być metodyka analizy czasowej PW, w tym metoda pomiaru czasu operacji składających się na kod programu PW. Analiza taka jest szczególnie istotna w przypadku PW pracujących w czasie rzeczywistym. Większość narzędzi komputerowego wspomagania projektowania tych przyrządów wykorzystuje języki graficzne, w których dane operacje realizowane są przez zamknięte ikony graficzne o nieznannej liczbie taktów zegara potrzebnych do ich wykonania. Wówczas klasyczne metody szacowania czasów operacji (np. przez określanie liczby taktów zegara przypadających na daną operację) mają ograniczone zastosowanie.

Przyczyny trudności związanych z oszacowaniem czasu działania PW są następujące:

- zależność czasu wykonania operacji programowych od konfiguracji komputerów użytkowników PW, od systemów operacyjnych (MS Windows) i od efektywności zastosowanych algorytmów przetwarzania danych;
- losowy rozrzut czasu wykonywania programowych modułów realizowanych w jednym cyklu pracy PW.
- istnienie w komputerze niestabilnych czasowo operacji związanych z pracą samego komputera (o różnym czasie trwania, wykonywanych w niemożliwych do przewidzenia momentach), które powodują znaczny wzrost rozrzutu czasu wykonania pełnego cyklu pracy PW.
- brak certyfikowanych przyrządów, metodyk i standardów oceny czasu wykonania zarówno poszczególnych operacji, jak i pełnego czasu wykonania pojedynczego cyklu pracy PW projektowanych z wykorzystaniem graficznych, zintegrowanych środowisk programowych.

Propozycję oryginalnej metodyki analizy czasowej skupionych PW z komunikacją przewodową, realizowanych w graficznych środowiskach programowych, umożliwiającej oszacowanie czasu działania oprogramowania PW na danym komputerze, przedstawiono w [4],[38],[39].

5.3. Kryteria informatyczne

Ocenę jakości oprogramowania PW można także przeprowadzić posługując się typowymi dla informatyki kryteriami [30], [31], uzupełnionymi kryteriami specyficznymi dla PW [32], [33], [34]. Te kryteria, to: odporność, niezawodność, testowalność, rozszerzalność, otwartość, efektywność.

Kryterium istotnym dla PW jest rozszerzalność jego części programowej, bowiem właśnie ona jest jedną z podstawowych cech tych przyrządów. Łatwość modyfikacji oprogramowania umożliwia dodawanie nowych funkcji przetwarzania, modyfikację istniejących funkcji, modyfikację graficznego interfejsu użytkownika. Kryterium to jest wyjątkowo łatwe do spełnienia w przypadku projektowania PW z użyciem zintegrowanych środowisk programowych (np. LabVIEW, LabWindows/CVI, VEE), dlatego też zdecydowana większość projektowanych na świecie PW realizowana jest z wykorzystaniem tych środowisk (głównie LabVIEW). Specyficznym dla oceny PW kryterium jest kryterium testowalności. Typowe dla informatyki metody testowania oprogramowania są niewystarczające, bowiem nie uwzględniają ścisłego współdziałania oprogramowania PW z jego pomiarową częścią sprzętową. Interesującą propozycją nowego podejścia do testowania przyrządów wirtualnych jest nowa, parametryczna metoda funkcjonalnego testowania PW przedstawiona w [35].

6. PERSPEKTYWY ROZWOJU PW

Przyrządy wirtualne na stałe zadomowiły się w rzeczywistości metrologicznej. Wiele opracowań znalazło praktyczne zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i w przemyśle. Prognozowanie rozwoju tych przyrządów, podobnie jak i systemów pomiarowych, jest ryzykownym zadaniem. Jest to dziedzina rozwijająca się bardzo szybko, korzystająca z najnowszych osiągnięć mikroelektroniki, informatyki i telekomunikacji. Szczególnie owocna jest integracja metrologii z informatyką i telekomunikacją. Informatyka oferuje nowe, programowe narzędzia umożliwiające efektywne projektowanie przyrządów i systemów pomiarowych. Telekomunikacja daje coraz szybsze i stabilniejsze przewodowe (np. Internet 2) i bezprzewodowe (np. UMTS) środki łączności rozproszonych bloków funkcjonalnych. Równolegle, doskonałe są algorytmy przetwarzania danych pomiarowych. W najbliższym czasie możemy spodziewać się wzrostu liczby i rodzajów opracowań mikrosystemów pomiarowych o różnej skali – od inteligentnych sensorów, poprzez mikrosystemy w tym systemy typu SoC (*system on chip*), które mogą być wykorzystywane w przyrządach wirtualnych. Natomiast powszechność i łatwość dostępu do platform komunikacyjnych spowoduje, że większość projektowanych przyrządów wirtualnych będzie miała charakter przyrządów rozproszonych. Szczególnie nadzieje można wiązać z wdrożeniem na masową skalę systemu komórkowego UMTS, co powinno przyspieszy rozwój bezprzewodowych przyrządów wirtualnych. Nowe terminale UMTS integrują funkcje dotychczasowych telefonów komórkowych z komputerami

przeośnymi, przez co możliwe jest instalowanie w nich rozbudowanego oprogramowania przetwarzania i wizualizacji danych pomiarowych. Z kolei zwiększona szybkość bezprzewodowej transmisji danych między częścią sprzętową PW i terminalem klienckim umożliwi rozszerzenie dotychczasowych obszarów zastosowań.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Winiecki W.: „Virtual Instrument or Measuring System?”, *Proc. of XVI IMEKO World Congress* (Vienna, 2000), tom. V, s. 203-208
- [2] Winiecki W.: „Wirtualne przyrządy pomiarowe”, *Prace Naukowe – Elektronika, z.145*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej (2003)
- [3] Nuccio S., Spataro C.: „Assessment of Virtual Instruments measurement uncertainty”, *Computer Standards & Interfaces*, 23 (2001), s. 39-46
- [13] Turzeniecka D.: „Analiza dokładności przybliżonych metod oceny niepewności”, Monografia, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1999.
- [16] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, *Int. Organisation for Standardisation* (1993, 1995)
- [17] GUM: „Wyrażanie niepewności pomiaru – przewodnik”, Wyd. Główny Urząd Miar, Warszawa 1999, 192 s.
- [18] Ghiani E., Locci N., Muscas C.: “Auto-evaluation of the Uncertainty in Virtual Instruments”, *Proc. IEEE IMTC'02 Conf., (Anchorage, AK, USA, May 21-23, 2002)*, s. 385-390.
- [19] Makal J.: „Niepewność pomiaru wielokanałowego systemu pomiarowego”, *PAK*, Nr 9, 2001, s. 5-7.
- [20] Dobbing A., Clark N., Godfrey D., Harris P., Parkin G., Stevens M., Wichmann B: “Reliability of Smart Instrumentation”, Raport wewn. National Physical Laboratory and Druck Ltd, 8 s, 2001.
- [21] Lampasi D., Podesta L.: „A Practical Approach to Evaluate the Measurement Uncertainty of Virtual Instruments”, *IEEE IMTC Conf. (Como, 2004)*, 146-151
- [22] Sacha K.: „Projektowanie oprogramowania systemów sterujących”, Oficyna Wydawnicza PW, Warszawa, 1996.
- [23] Jaszkievicz A.: „Inżynieria oprogramowania”, HELION, Gliwice, 1997.
- [24] Emmet L., Fromme P.: “Software Support for Metrology Best Practice Guide No 2: The Development of Virtual Instruments”, National Physical Laboratory, Queens Road, Teddington, Middlesex, United Kingdom, 1999, 86 s.
- [25] Wichmann B.: „Measurement System Validation: Validation of Measurement Software”, National Physical Lab, Teddington, Middlesex, UK, 2000
- [26] Florczyk M.: „Przegląd wybranych metod testowania aplikacji informatycznych pod kątem ich zastosowania do testowania wirtualnych przyrządów pomiarowych”, *PAK*, Nr 6/7, 2002, s. 25-28.
- [27] Florczyk M.: „Testowanie oprogramowania wirtualnego przyrządu pomiarowego”, *PAK*, Nr 7/8, 2004, s. 133-137.
- [31] Goldberg H.: „What is Virtual Instrument?”, *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, December 2000, pp. 10-13.
- [33] LabVIEW - Graphical Programming Software, ver.1.0. National Instruments, 1986.

- [34] The PC Instruments System. *Hewlett-Packard Journal*, May/June 1985.
- [35] "Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii", GUM, Warszawa 1996, ISBN 92-67-01075-1.
- [36] Chung-Ping Young, Wei-Lun Juang, Devaney M.: "Real-Time Intranet-Controlled Virtual Instrument Multiple-Circuit Power Monitoring", *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, Vol. 49, No. 3, June 2000, pp. 579-584.
- [37] Michta E.: "Internetowe systemy pomiarowo-sterujące", *PAK*, nr 6/7, 2002.
- [38] NPL (Emmet L., Fromme P.), Software Support for Metrology Best Practice Guide No.2: The Development of Virtual Instruments", 1999, 86 pp.
- [39] Winiecki W., Nowak J., Stanik S.: „Graficzne zintegrowane środowiska programowe do projektowania komputerowych systemów pomiarowo-kontrolnych”. Wyd. MIKOM, Warszawa 2001, ISBN 83-7279-178-3, 288 s.
- [40] Bertocco M., Ferraris F., Parvis M.: "A Remote And Distributed Student Laboratory", *Proc. IMEKO XV World Congress* (Osaka, June 13-18, 1999), CD ROM.
- [41] Bertocco M., Parvis M.: „An Auto-Routing Multi-Server Architecture for High-Education Training on Instrumentation and Measurement”, *Proc. 16th IEEE IMTC Conf.* (Venice, May 24-26, 1999), CD.
- [42] Bertocco M., Parvis M., „An Auto-Routing Multi-Server Architecture for High-Education Training on Instrumentation and Measurement”, *Proc. IEEE IMTC Conf., 2000*, (Baltimore, USA, May 2000).
- [43] Nawrocki Z.: „Sensory i systemy pomiarowe”, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001, 206 s., ISBN 83-7143-554-1.
- [44] Niedostatkiewicz M.: „Rozproszony system pomiarowy oparty na transmisji wiadomości tekstowych (SMS) w sieciach telefonii komórkowej GSM-stanowisko laboratoryjne”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Elektryka*, z.98, Nr 886/ 2001, str. 183-189, 2001.
- [45] Maćkowski M., Nawrocki W.: „Rozproszony system pomiarowy z transmisją danych w sieci GSM”, *Elektronizacja*, Nr 3, 2002, s.11-14.
- [46] Ying-Wen Bai, Hong-Gi Wei: „Design and Implementation of a Wireless Remote Measurement System”; *IEEE IMTC '02 Conf.*, (Anchorage, AK, USA May 21-23, 2002), pp. 937-942.
- [47] Świsulski D., Kulesza W.: „Application of WAP for telemetry”; *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Automatyki PGd*, Nr 14, Gdańsk 2000, s. 133-138.
- [48] Świsulski D. „Udostępnianie wyników pomiarów przez Internet”, *Mat. XXXII Międzyuczelnianej Konferencji Metrologów MKM*, Rzeszów, 2000, s.565-570.
- [49] Winiecki W., Kuran A., Łukaszewski R.: „GSM Mobile Phone in Distributed Measuring System”, *Proc. XVII IMEKO World Congress (June 22-27, 2003, Dubrovnik, Croatia)*, CDROM.
- [51] Knyziak T., Winiecki W.: „The new prospects of distributed measurement systems using Java™ 2 Micro Edition mobile phone”, *Computer Systems & Interfaces Journal*, 2005.
- [52] Winiecki W.: „Methodology for Distributed Designing of Distributed Virtual Instruments”, *International Scientific Journal of Computing*, December 2003, Vol. 2, Issue 3, pp. 98-104 (ISSN 1727-6209).

- [53] Winiiecki W., Mielcarz T.: „Internet-based Methodology for Distributed Virtual Instrument Designing”, *Proc. IEEE IMTC'03 Conference*, (Vail, Co, USA, May 21-23, 2003), pp. 760-765
- [54] Winiiecki W., Bilski P.: „Time Aspects of Virtual Instrument Designing”, *Proc. IEEE IMTC'03 Conference*, (Vail, Co, USA, May 21-23, 2003), pp. 913-918.
- [55] Winiiecki W., Bilski P.: "Time Analysis of Virtual Spectrum Analyzer", *International Scientific Journal of Computing*, 2004, Vol. 3, Issue 2, (ISSN 1727-6209)