УДК 37.031.4

Луценко Галина Василівна
кандидат фізико-математичних наук
доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна
gala@phys.cdu.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ LABVIEW У ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ СТАТИСТИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Анотація. Проаналізовано особливості підготовки студентів фізичних та інженерних спеціальностей у вивченні статистичних методів і їх застосуванні на практиці. Досліджено основні типи задач статистичної обробки експериментальних даних. Розглядається методика використання програмного середовища LabVIEW для побудови модуля визначення статистичних параметрів експериментальних вибірок. Описана структура створеного програмного забезпечення і його реалізація засобами середовища LabVIEW. Описана процедура програмування в LabVIEW і низка базових елементів, що використовуються для розробки програми.

Ключові слова: LabVIEW; збір даних; обробка даних; статистичні параметри.

1. ВСТУП

Невід'ємною складовою поточної діяльності студентів фізичних та інженерних спеціальностей є обробка експериментальних даних, отриманих у результаті традиційних фізичних досліджень чи шляхом комп'ютерного моделювання. Відповідно, уміння студентів у даній сфері мають ґрунтуватися на чіткому розумінні суті теоретичних понять теорії ймовірності й математичної статистики і на практичних навичках роботи із сучасними пакетами прикладних програм.

Особливе місце серед програмного забезпечення, що використовується науковцями всього світу, посідає розробка компанії National Instruments — програмне середовище LabVIEW. За спектром можливостей, що надаються дослідникам, дане середовище є винятковим. Важливою рисою, що визначає зручність його застосування для спеціалістів, що не є програмістами в традиційному розумінні, є можливість у єдиному неперервному циклі розробляти системи управління реальними експериментальними установками й обробляти отримані дані, використовуючи їх, наприклад, як масиви вхідної інформації для подальшого комп'ютерного моделювання процесів і явищ. Завдяки універсальній графічній мові створення програмного забезпечення і модулів управління пристроями LabVIEW є комплексною багатофункціональною системою автоматизації наукових досліджень. Перевагою LabVIEW є модульність і гнучкість програмного забезпечення, використання графічної мови програмування, розвинутий комплекс бібліотек підпрограм. Попри це, сайт компанії National Instruments [1] містить об'ємну базу прикладів, що постійно оновлюються під час виходу нових версій програмного забезпечення чи у відповідь на запитання користувачів.

У більш ніж 5000 навчальних закладах світу, які співпрацюють з компанією National Instruments, LabVIEW використовується під час вивчення предметів, що входять до навчальних планів практично всіх фізичних та інженерних спеціальностей. Не менш цікавою задачею є використання LabVIEW як базового інструменту в студентських дослідницьких проектах [2].

© Г. В. Луценко, 2013.

У процесі отримання сукупностей експериментальних даних, студенти фізичних та інженерних спеціальностей стикаються із задачею, що потребує від них досконалого володіння поняттями теорії ймовірності та математичної статистики. Дійсно, зробити фізичні висновки на базі поведінки функцій розподілу досліджуваних величин чи зрозуміти фізичний зміст отриманих статистичними методами параметрів є непростою задачею для дослідника-початківця. До того ж, усі навчальні плани передбачають виконання лабораторних робіт із фізики, починаючи з першого курсу, у той час, як вивчення теорії ймовірності й математичної статистики розпочинається, як правило, пізніше. Відповідно, викладачам, що проводять лабораторні заняття з реальними чи програмними експериментами, потрібні методики, інструменти та засоби для формування у студентів прикладних навичок роботи із статистичними методами, з одного боку, і хоча б базових теоретичних уявлень, що будуть потім основою для поглибленого вивчення статистичних методів.

Повною мірою інтеграція теоретичних знань з теорії ймовірності і практичних навичок роботи з програмним забезпеченням для статистичної обробки проявляється на старших курсах під час виконання кваліфікаційних чи магістерських робіт.

Як зазначалося вище, на сайті компанії National Instruments представлено довідкову літературу і керівництва користувачів з практичними рекомендаціями щодо використання модулів середовища LabVIEW. Також, за останні 15 років з'явилася низка практикумів і посібників, присвячених роботі в ньому [3–8]. Спільною рисою такої літератури є акцент на детальному описі кожного окремого елемента палітр Controls і Functions та загальних принципів програмування в середовищі LabVIEW. Такий підхід винятково корисний для опанування можливостей LabVIEW з позицій програміста, оскільки він дозволяє зрозуміти, які налаштування віртуальних інструментів потрібно обирати, які типи даних слід задавати на вході елемента тощо. До зазначених праць можна віднести [5–8]. Наразі, опис елементів для статистичного аналізу наведено в [3] і [8]. Дещо відмінний підхід обрали автори посібника [4]. Книга охоплює основи вимірювальних технологій і метрології і є комплексом лабораторних робіт, для виконання яких використовується готове програмне забезпечення, створене авторами в LabVIEW.

У той же час, для студентів, що тільки починають опановувати можливості середовища LabVIEW для організації вимірювального експерименту, виникає двокомпонентна задача. З одного боку, це необхідність створення програмного забезпечення для управління вимірювальною установкою (наприклад, процесом вимірювання температури за допомогою термопари, а з іншого, — необхідність опанувати в досить стислі терміни важливі поняття математичної статистики. Відповідно, практичне значення має методологія розробки програмного забезпечення, яку можна використати і як тренувальну вправу, і для створення діючого модуля комплексної програми. Зазначимо, що наукові праці, присвячені реалізації фізичних експериментів з використанням LabVIEW, як правило, зосереджуються на аналізі отриманих результатів і дуже рідко містять детальний опис програмних модулів.

Метою нашої роботи є дослідження основних завдань, що виникають під час розрахунку точкових характеристик вибірок експериментальних даних й опис створеного засобами LabVIEW програмного модуля для програмної реалізації розрахунків.

Слід зазначити, що створене програмне забезпечення може використовуватися як готовий програмний продукт для студентів молодших курсів, а розробка алгоритму його функціонування, програмна реалізація і подальша підтримка є окремим завданням, що може бути використане для студентів-старшокурсників під час написання курсової чи кваліфікаційної роботи.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Результатом фізичного експерименту є ряд послідовних даних, який прийнято називати вибіркою. Такі дані можуть відображати найрізноманітніші фізичні параметри — напругу, температуру тощо. Кількість елементів ряду визначає розмір вибірки. Отриманий масив можна записати у вигляді таблиці чи представити графічно різними способами.

Експериментальну вибірку прийнято характеризувати параметрами, які насамперед вказують на центр групування елементів вибірки на числовій осі, а також на ступінь їх розсіювання відносно центру. До основних параметрів відносяться середнє арифметичне значення, середнє геометричне, а також, центр розмаху, медіана, мода тощо. Розсіювання вибірки характеризують розмахом, вибірковою дисперсією, коефіцієнтом асиметрії значень вибірки [9].

У математичній статистиці такі параметри називають точковими, оскільки вони виражаються одним числом і вказують на певне місце в експериментальному розподілі. Далі математичні співвідношення ми будемо наводити у разі необхідності висвітлення структури того чи іншого програмного модуля чи специфіки елементів LabVIEW.

Обробка масиву отриманих експериментальних даних передбачає виконання низки дій, а саме, розрахунку статистичних параметрів сукупностей даних, перевірки узгодженості отриманих експериментальних параметрів із теоретичними, перевірки нормальності й однорідності експериментальних вибірок, виключення даних, що є аномальними, тощо. Розробка програмного модулю засобами LabVIEW дозволить виконувати обробку даних у єдиному циклі проведення експерименту.

3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕДУРИ ОБРОБКИ ДАНИХ У LABVIEW

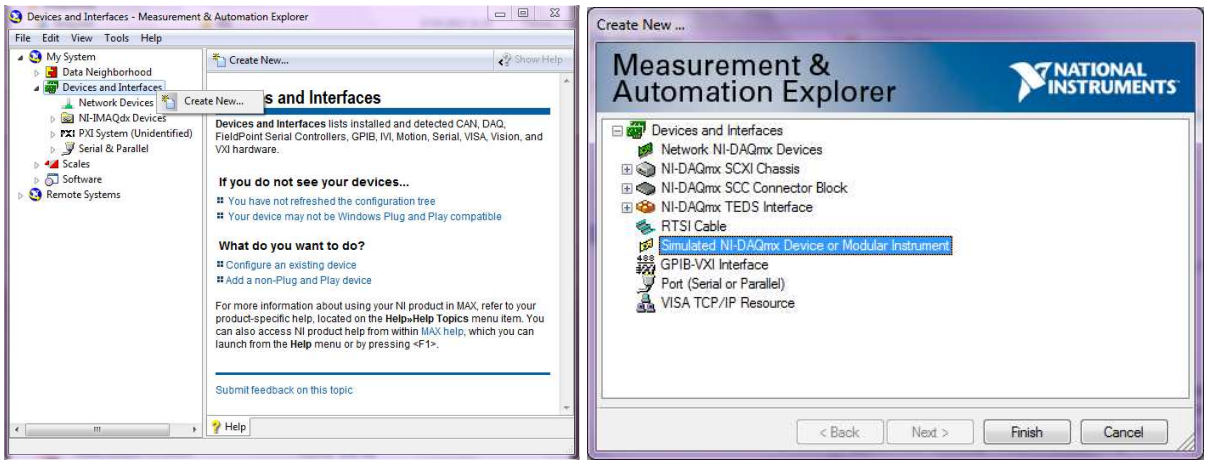
3.1. Формування вхідних масивів

Сукупність даних для нашої програми може бути отримана безпосередньо від вимірювального пристрою. Система LabView може працювати з автономними вимірювальними приладами, які мають цифровий вихід для спряження з комп’ютером. Зв’язок комп’ютера з приладами здійснюється через спеціальну плату контролера каналу спільного користування або через порти. Відповідно, середовище LabVIEW включає в себе набір підпрограм віртуальних пристроїв, що дозволяють збирати і посилати дані на DAQ-пристрої (DAQ (Data Acquisition) — збір даних).

Вимірювальна система на основі DAQ-пристроїв загального призначення відрізняється тим, що програмне забезпечення, встановлене на комп’ютері, використовується безпосередньо в процесі вимірювань. Пристрій збору даних лише перетворює вхідний аналоговий сигнал в цифровий, який може бути сприйнятий комп'ютером. Це означає, що один і той же пристрій збору даних може виконувати різноманітні вимірювання всього лише шляхом заміни прикладної програми, яка зчитує дані. Окрім збору даних, програмне забезпечення подібних систем застосовується також для обробки даних і відображення результатів. Починаючи з версії 7.4 драйвера DAQmx, з’явилась можливість імітувати пристрої DAQmx за допомогою MAX (Measurement and Automation Explorer). Пристрій DAQmx, що імітується, є програмною моделлю пристрою збору даних.

MAX — це елемент Windows, що встановлюється разом з драйверами National Instruments. Він використовується для конфігурації апаратних засобів і програмного забезпечення, для системної діагностики, додавання нових каналів і інтерфейсів, а також для перегляду списку підключених пристроїв.

Для того щоб імітувати пристрій DAQmx, необхідно в дереві конфігурації Measurment & Automation Explorer знайти пункт Devices and Interfaces і вибрати команду Create New (рис. 1 (а)). Після цього з'явиться вікно вибору доступних для користувача приладів та інтерфейсів. У цьому списку потрібно обрати NI-DAQmx Simulated Device (рис. 1 (б)).



(а) (б)

Рис. 1. Основне вікно Measurment & Automation Explorer

Далі обираємо, наприклад, пристрій E-Series DAQ–NI PCI 6025E (рис. 2). Пристрої збору даних Е-серії призначені для налаштування портативних і мобільних вимірювальних систем середньої швидкодії. Плата АЦП PCI-6025E має 16 однопровідних чи 8 диференціальних аналогових входів з діапазоном від ±0,05 В до ± 10 В, АЦП 12 біт, 200 кГц, два ЦАП, 12 біт, 8 дискретних ліній і два таймери лічильники по 24 біти [1].

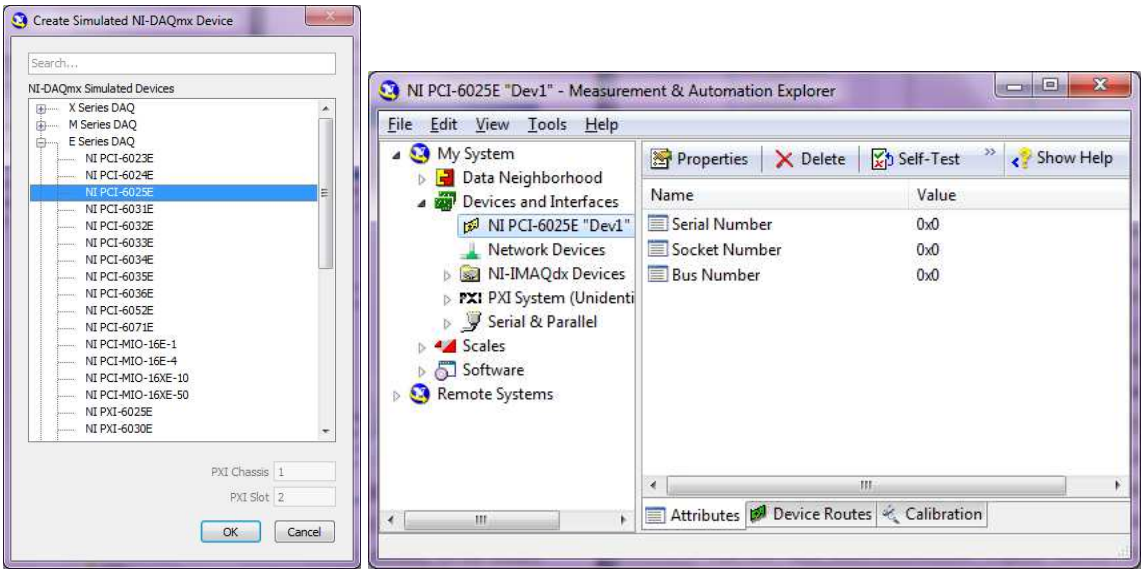
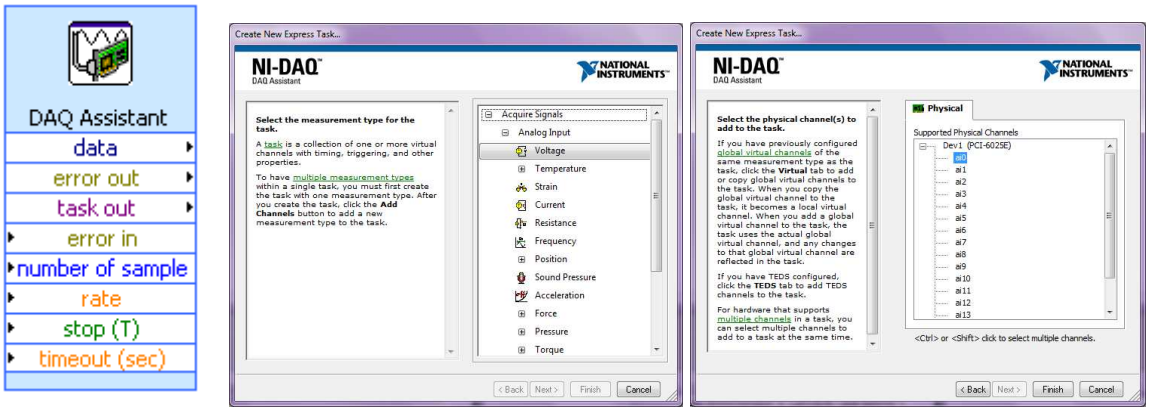


Рис. 2. Відображення імітованого пристрою в MAX



(а) (б) (в)

Рис. 3. Налаштування імітованого пристрою за допомогою DAQ Assistant

Наступним кроком під час розробки програмного забезпечення є підключення створеного пристрою безпосередньо в LabVIEW [10]. Для роботи з елементами систем збору даних LabView використовує елемент DAQ Assistant (палітра Functions — Measurement I/O — DAQmx-Data Acqisition), піктограма якого наведена на рис. 3 (а). У вікні DAQ-Assistant (рис. 3 (б)) обирається тип сигналу і тип даних, збір яких буде імітуватися. Тоді з'являється вікно з переліком доступних приладів і списком наявних фізичних каналів (рис. 3 (в)). У нашому прикладі ми обрали варіант Acquire Signals – Analog Input – Voltage.

На рис. 4 наведено вікно налаштування властивостей вимірювального каналу, де встановлюються назва каналу, діапазон вхідного сигналу (Signal Input Range), режим збору даних (виконання серії з *N* вимірювань чи неперервний збір даних) тощо. На рис. 5 наведено фрагмент програми, що працює з DAQ Assistant.

На етапі розробки і тестування програмного забезпечення зручно використовувати вже згенерований масив (чи масиви) випадкових значень. Отриманий масив є генеральною вибіркою, яка розділяється на підвибірки, що зберігаються у одному чи декількох окремих файлах.

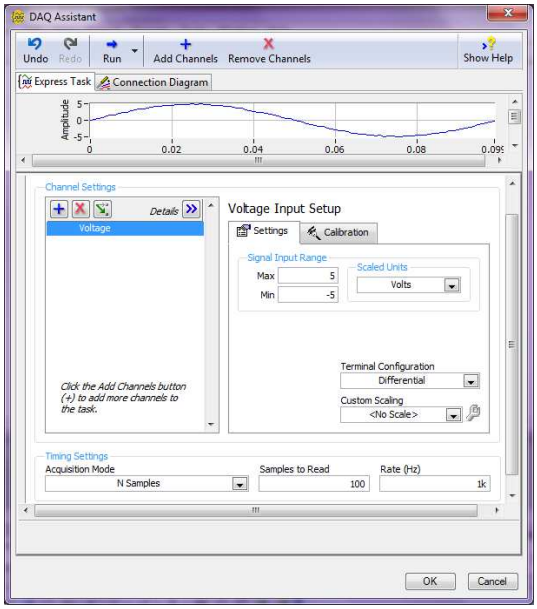


Рис. 4. Вікно налаштування властивостей вимірювального каналу

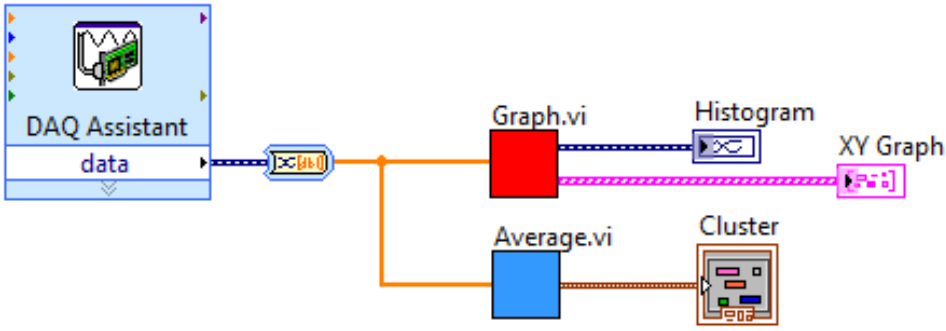


Рис. 5. Блок звернення до DAQ Assistant

LabView підтримує роботу з декількома типами файлів даних [5], зокрема, з текстовими файлами трьох типів. Команди LabVIEW дозволяють записувати (зчитувати) одиночні значення (Text File), одно- і двовимірні масиви чи матриці (Spreadsheet File) і файли збору даних (Measurement File).

У нашому випадку ми використовуємо команди ReadFromSpreadsheet.vi і WriteToSpreadsheetFile.vi. Ім’я файлу складається з числового значення (зручно, щоб воно відповідало ітерації циклу) і розширення .txt. Також, програмно прописується шлях до папки, що містить файли даних.

На рис. 6 наведено фрагмент програми, що відповідає за зчитування даних із файлу. У випадку, коли обробляється декілька вибірок за однаковим алгоритмом, блок звернення до файлів даних розміщується у циклі, кількість ітерацій якого відповідає кількості файлів, що обробляються.

На виході елемента ReadFromSpreadsheetFile.vi ми отримуємо двовимірний масив. Далі, ми можемо вирізати з цього масиву окремі фрагменти для подальшої обробки за допомогою елементу Index Array. Зазвичай, найпростішим є випадок, коли файл даних містить один рядок (стовпчик), що відповідає одному експерименту.

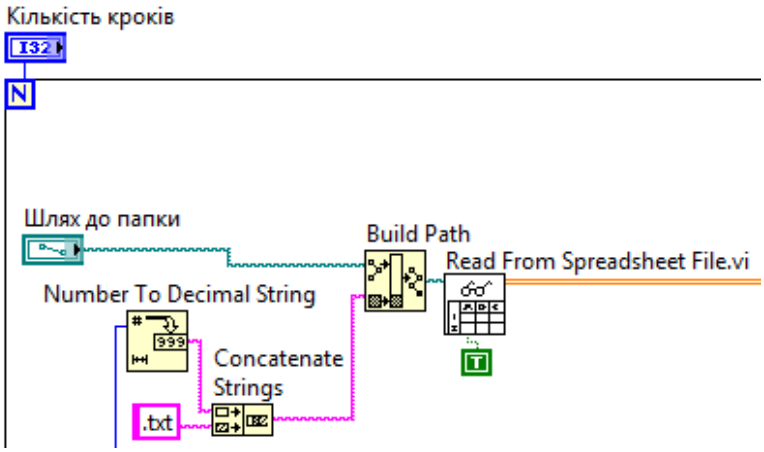
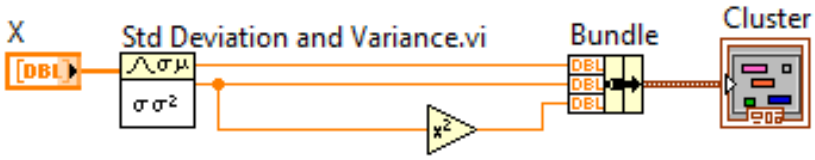


Рис. 6. Блок звернення до файлу даних

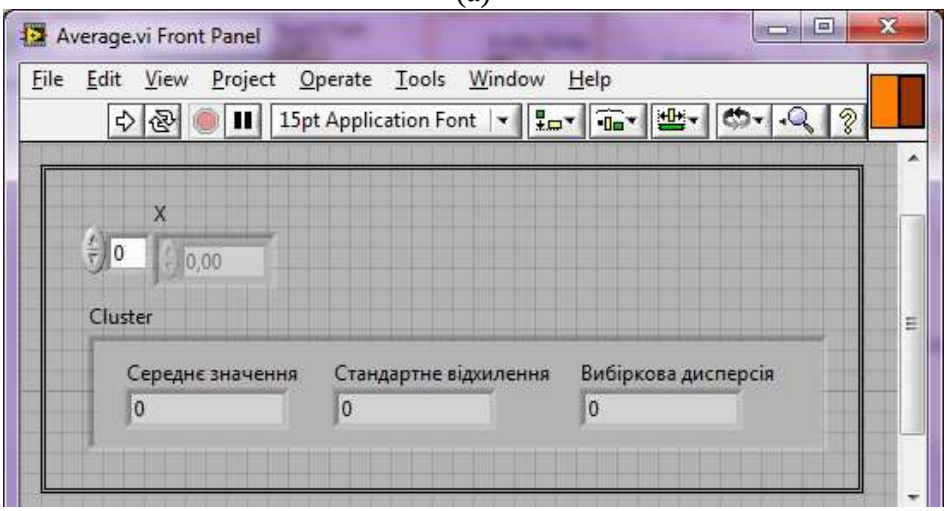
3.2. Розробка набору підпрограм

Повторювані для різних масивів дії зручно представляти, використовуючи підпрограми, спрощуючи так структуру програми. Підпрограма в LabVIEW розробляється аналогічно до звичайної програми, але для вхідних і вихідних даних встановлюється відповідність між функціональними елементами і виводами іконки. На рис. 7 (а) і (б) наведено блок-діаграму підпрограми Average.vi і її лицьову панель,

відповідно. За допомогою елементу StdDeviation and Variance.vi (Functions — Mathematics — Probability & Statistics) розраховуються середнє значення для вибірки, стандартне відхилення і вибіркова дисперсія.



(а)



(б)

Рис. 7. Блок-діаграма (а) і лицьова панель (б) підпрограми знаходження середніх значень

У правому верхньому куті вікна лицьової панелі підпрограми Average.vi (рис. 7 (б)) наведено вигляд іконки після присвоєння зв'язків (у режимі Show Connector).

Підпрограма має один вхідний і один вихідний контакти. Вхідний має тип масиву дійсних значень, а вихідний — кластер трьох дійсних значень. Використання кластерів дозволяє зменшити кількість контактів іконки і, відповідно, спростити схему.

На рис. 8 наведено фрагмент основної програми з підключеним елементом Average.vi. Елемент Index Array використовується для виділення з повного масиву даних одного рядка (тобто даних одного експерименту).

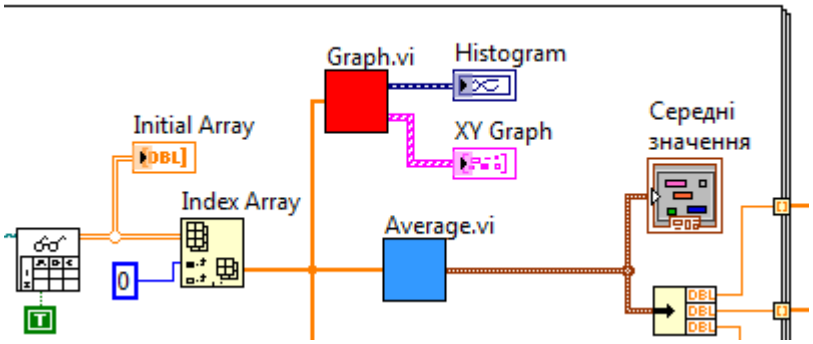


Рис. 8. Блок звернення до підпрограми Average.vi

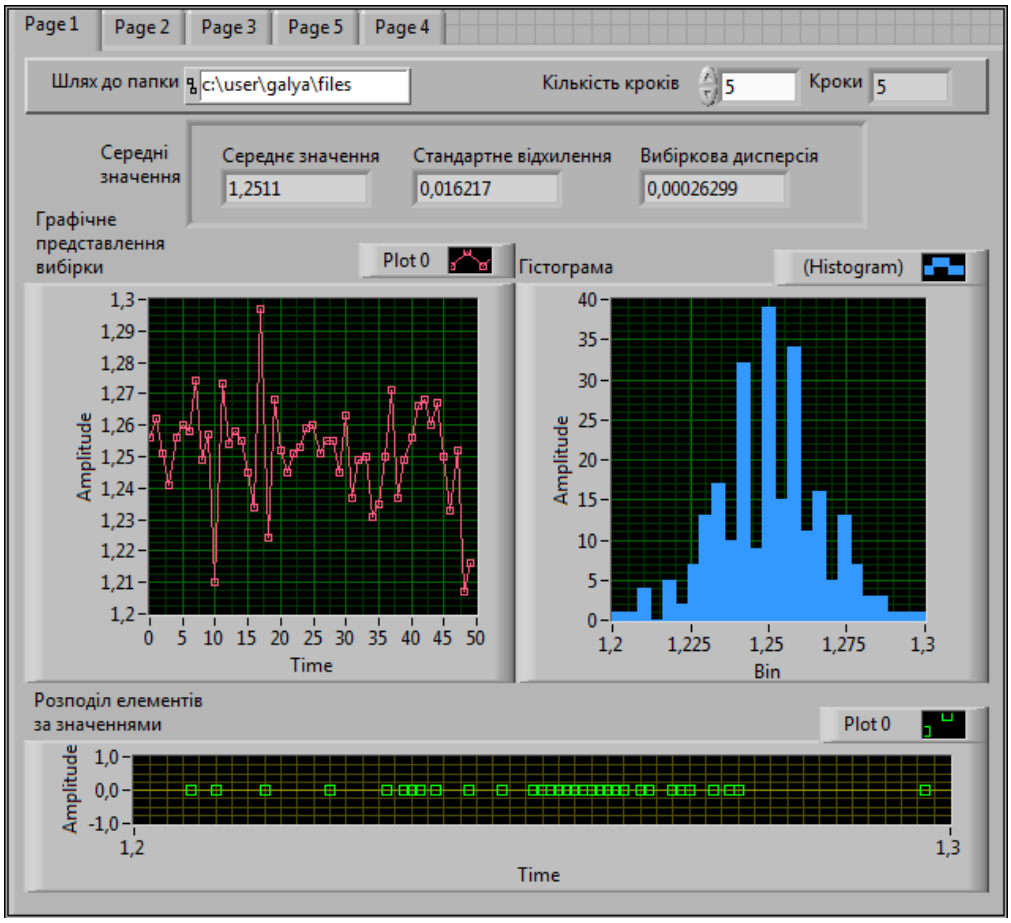


Рис. 9. Лицьова панель основної програми

Далі цю підпрограму можна використати для знаходження середнього зваженого значення з декількох вибірок, вибіркової дисперсії середнього значення, тощо. Наразі величини, що формують кластер, розділяються за допомогою елемента Unbundle і виводяться за цикл. На рис. 9 наведено вигляд лицьової панелі основної програми. На ній відображається кластер розрахованих середніх значень і графічні елементи для представлення вибірки різними способами.

Підпрограма Graph.vi (рис. 10) використовує дуже зручні елементи Create Histogram та Build XY Graph з палітри Express — Signal Analysis.

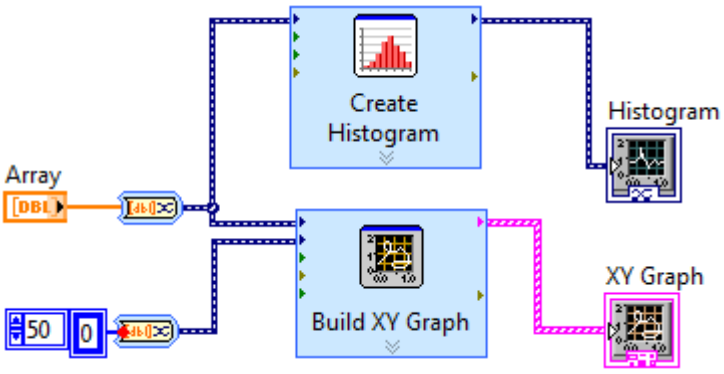
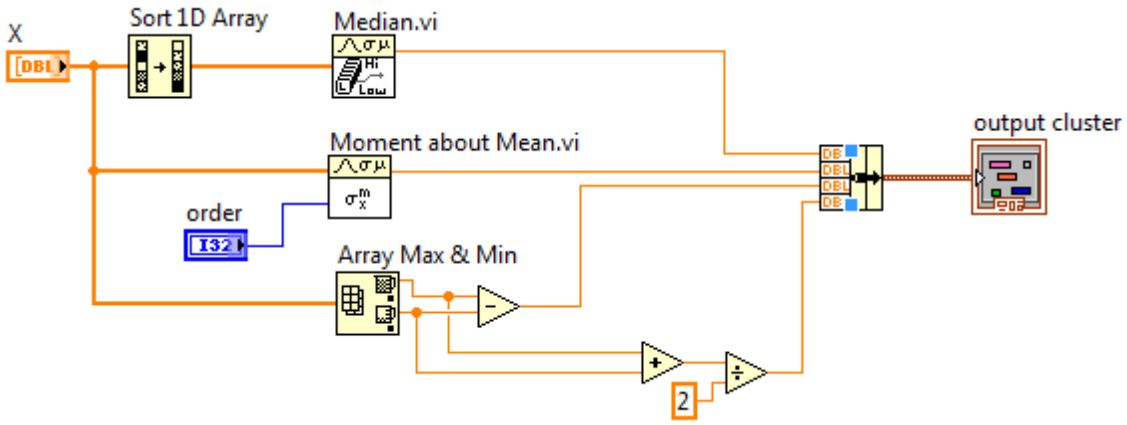
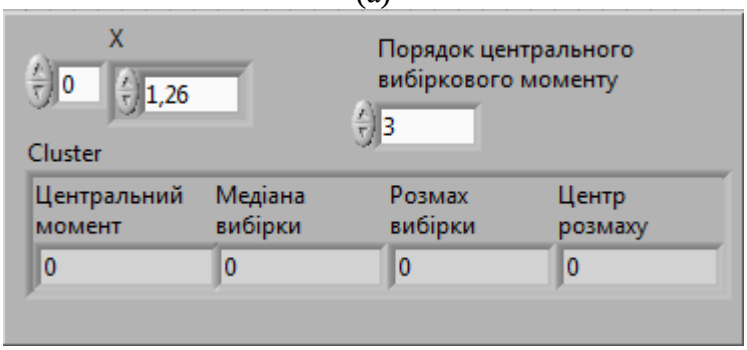


Рис. 10. Блок-діаграма підпрограми Graph.vi



(а)



(б)

Рис. 11. Блок-діаграма (а) та лицьова панель (б) підпрограми Moment.vi

Аналогічно розробляється підпрограма Moment.vi (рис. 11) для визначення медіани вибірки, її розмаху, центру розмаху і центральних моментів різних порядків. Для визначення медіани використовується попередньо відсортований масив. Розмах вибірки визначається як різниця між максимальним і мінімальним значеннями. Для визначення центру розмаху знаходять середнє значення цих елементів.

Міра статистичного зв’язку між різними елементами однієї вибірки чи різних вибірок називається кореляцією. Для оцінки автокореляції, тобто кореляції між результатами однієї послідовності використовується зміщення елементів вибірки відносно своїх позицій. Для нульового зміщення коефіцієнт кореляції завжди дорівнює одиниці.

Розрахунки реалізовуються з використанням вбудованих функцій LabView (Functions — Mathematics — Probability & Statatistics). LabVIEW має вбудовані елементи для визначення коефіцієнта кореляції Пірсона, коефіцієнта рангової кореляції Спірмана та коефіцієнта кореляції Кендела.

На рис. 12 наведено блок-діаграму підпрограми Correlation.vi, за допомогою якої визначається і виводиться графічно вибірковий коефіцієнт автокореляції.

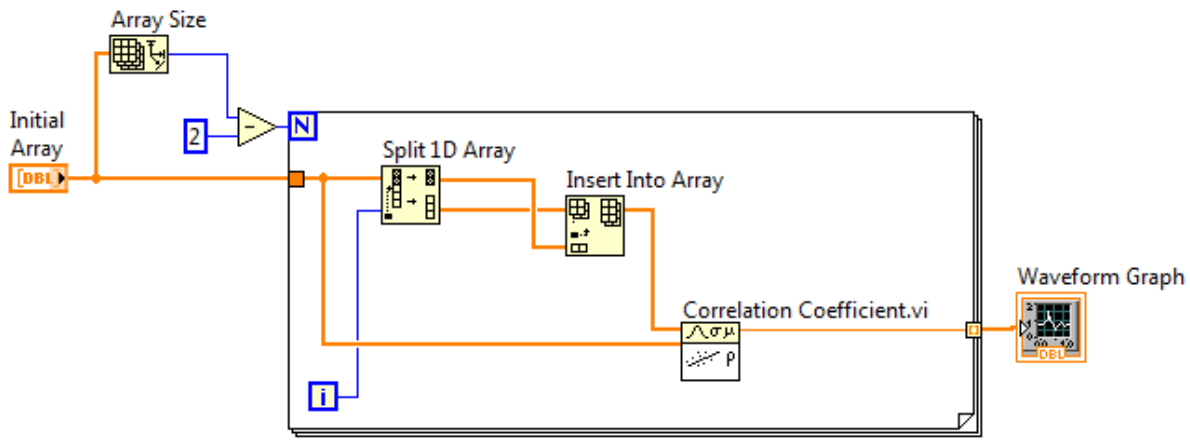


Рис. 12. Блок-діаграма підпрограми знаходження коефіцієнта автокореляції

Використовуючи налаштування LabVIEW, ми можемо встановлювати режим передачі даних з масиву в цикл. Можливий варіант Enabled Indexing, за якого на кожній ітерації тільки один елемент масиву вводиться для обробки. У режимі Disable Indexing весь масив передається в цикл одночасно.

На рис. 13 наведено отримані значення коефіцієнта автокореляції. Їх можна експортувати до MS Excel, використавши тільки меню Plot елемента Waveform Graph. Або, як у нашому випадку, експортувати зображення у файл одного з графічних форматів (Export Simplified Image).

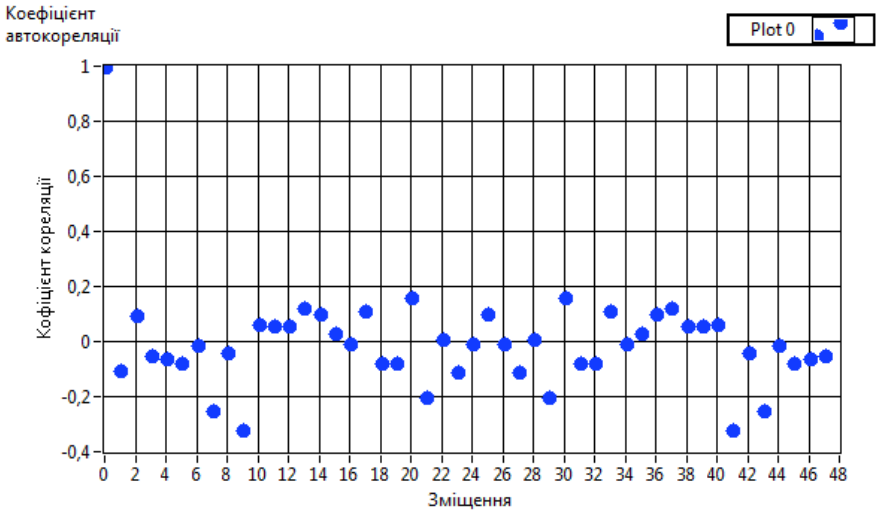


Рис. 13. Розрахунок коефіцієнта автокореляції

Для розрахунку коефіцієнта кореляції між різними вибірками була створена підпрограма Correlation and Fit.vi, яка розраховує коефіцієнт кореляції Пірсона. Також, підпрограма виводить значення елементів вибірки у площині XY і будує лінію, нахил якої допомагає представити наявну додатну чи від'ємну кореляцію між вибірками. Для виклику підпрограми використовуються цикл While і структура вибору Case.

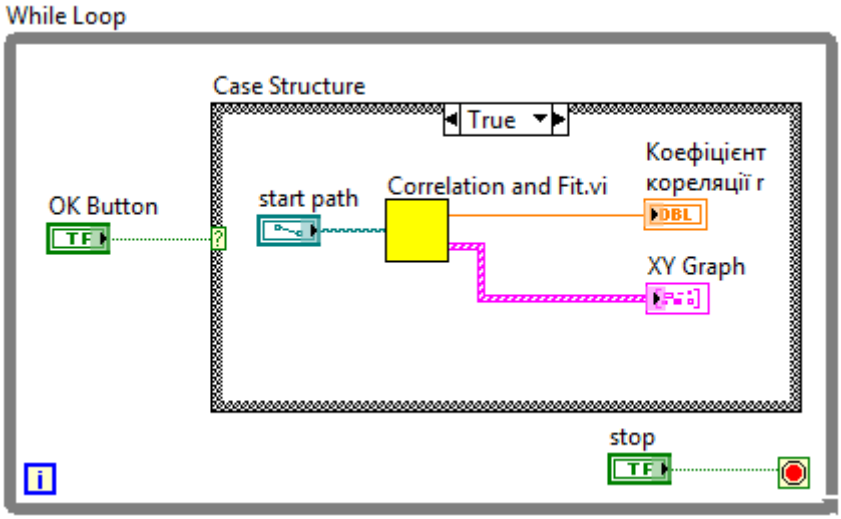
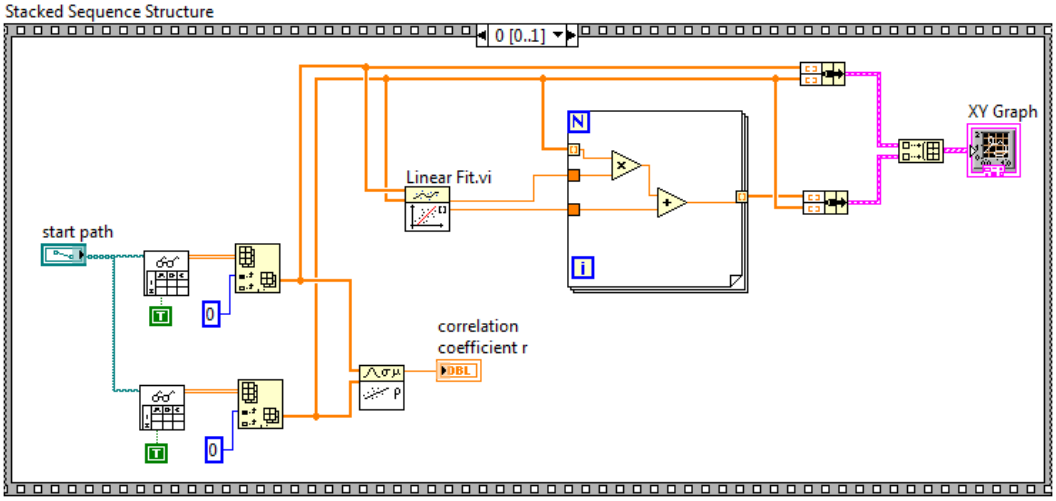
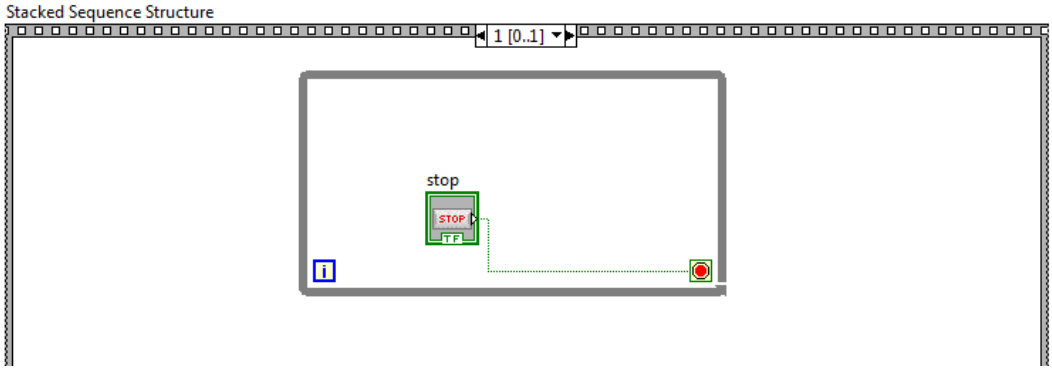


Рис. 14. Фрагмент основної програми, що викликає підпрограму Corelation and Fit.vi

На рис. 15 наведено блок-діаграму підпрограми Corelation and Fit.vi.



(а)



(б)

Рис. 15. Підпрограма Corelation and Fit.vi. (а) — кадр 1 структури Staked Sequence, який забезпечує виконання розрахунків, (б) —— кадр 2, який припиняє роботу підпрограми

У даній підпрограмі ми використовуємо структуру Staked Sequence, яка забезпечує заздалегідь визначений порядок виконання дій, які розташовуються у послідовних кадрах. У LabVIEW використовується потокова обробка даних (dataflow programming), за якої користувач не завжди може контролювати порядок виконання дій. У ситуаціях, коли певній дії обов'язково має передувати деяка інша, використовуються структури послідовності (Flat Sequence або Stacked Sequence). Також, саме структура Stacked Sequence дозволяє спростити вигляд програми.

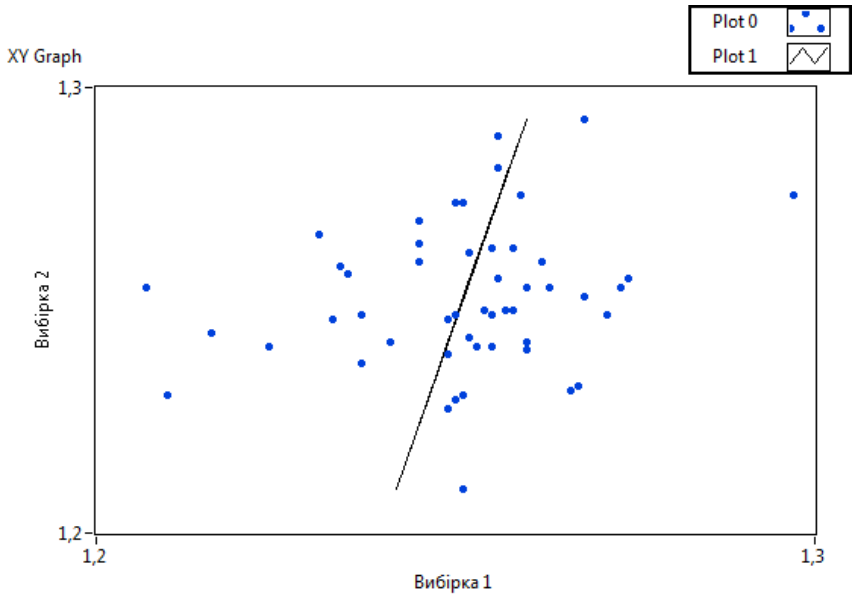


Рис. 16. Результат роботи підпрограми Correlation and Fit.vi

Як уже згадувалося вище, точкові числові характеристики не повністю характеризують випадкову величину, зокрема у тому, що стосується появи тих чи інших значень величини. Однією з найповніших характеристик вибірки є густина розподілу її значень. Сам розподіл для нашої програми ми будуємо, використовуючи функцію Create Histigram (рис. 10) у підпрограмі Graph.vi. Для аналізу параметрів розподілу використовують коефіцієнти скошеності (асиметрія) і сплющеності (ексцес) [9]. LabVIEW має вбудовану функцію Statistics, вікно налаштування якої наведено на рис. 17.

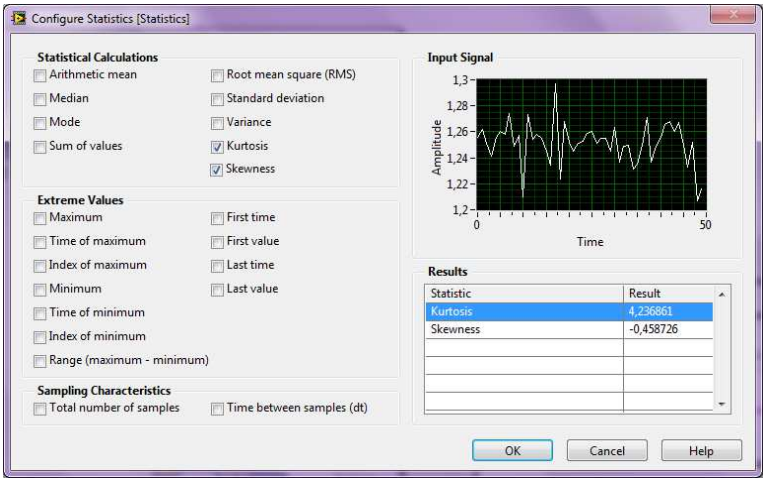


Рис. 17. Вікно налаштування елементу Statistics

Як можна бачити, даний елемент дозволяє знаходити статистичні параметри, екстремальні значення і характеристики масиву отриманих даних. Слід зазначити, що входи і виходи даного елемента задані для роботи з динамічними даними (Dynamic Data), які в LabVIEW є форматом даних, отриманих за допомогою DAQ Assistant. Вони містять інформацію про фактичні значення отриманих даних і часові характеристики. Даними про час нехтують, коли значення виводяться як звичайний масив.

На рис. 18 наведено повну блок-діаграму розробленої програми розрахунку статистичних даних.

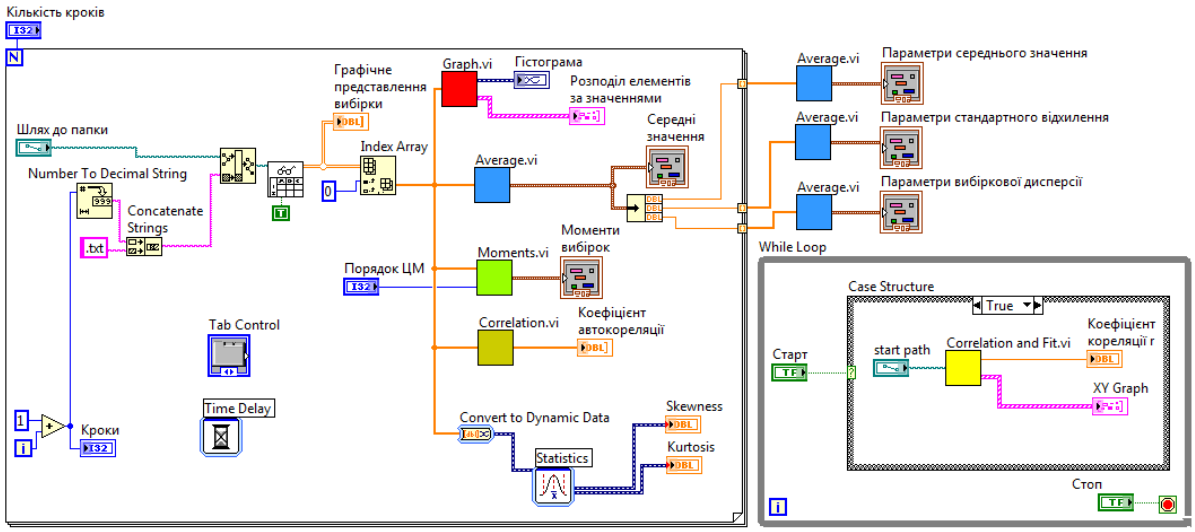


Рис. 18. Блок-діаграма програми розрахунку статистичних параметрів

4. ВИСНОВКИ

Розроблений алгоритм побудови програмного забезпечення для розрахунку статистичних параметрів допомагає студентам фізичних та інженерних спеціальностей зрозуміти порядок визначення характеристик вибірок і їхнє місце в структурі експериментального дослідження. Створений алгоритм легко може бути розширений додатковими модулями, наприклад, для аналізу статистичних гіпотез, оцінки нормальності розподілу тощо. Створення програм в середовищі LabVIEW, зазвичай, потребує володіння основними поняттями програмування, але використання графічних елементів дозволяє зробити цю задачу більш простою для студентів фізичних та інженерних спеціальностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сайт компанії National Instruments: [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.ni.com
2. Луценко Гр. В. Науково-дослідницька діяльність студентів у творчих колективах як методологічна основа підвищення якості підготовки фахівців / Луценко Гр. В., Луценко Г. В. // Вісник Черкаського національного університету. — 2010. — Вип. 181. Част. 3. — С. 137–140.
3. Евдокимов Ю. К. LabVIEW для инженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabVIEW / Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. — М. : ДМК Пресс, 2007. — 400 с.
4. Батоврин В. К. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий : учебное пособие для вузов / Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В., Папуловский В. Ф. — М. : ДМК Пресс, 2005. — 208 с.

5. Ronald W. Larsen LabVIEW for Engineers. / Larsen Ronald. — Pentice Hall. — 2011. — 396 p.
6. Тревис Дж. LabVIEW для всех. / Тревис Дж. — М. : ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. — 544 с.
7. Суранов А. Я. LabVIEW 7 : справочник по функциям. / Суранов А. Я. — М. : ДМК Пресс, 2005. — 512 с.
8. Пейч Л. И. LabVIEW для новичков и специалистов / Пейч Л. И., Точилин Д. А., Поллак Б. П. — М.: Горячая линия – Телеком, 2004. — 384 с.
9. Дорожковець М. Опрацювання результатів вимірювань / Дорожковець М. — Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. — 624 с.
10. NI-DAQmx Express VI Tutorial [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.ni.com/white-paper/2744/en. — Назва з екрану.

Матеріал надійшов до редакції 07.04.2013 р.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ LABVIEW В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Луценко Галина Васильевна
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий
Черкасский национальный университет имени Богдана Хмельницкого, г. Черкассы, Украина
gala@phys.cdu.edu.ua

Аннотация. Проанализированы особенности подготовки студентов физических и инженерных специальностей при изучении статистических методов и их использования на практике. Исследованы основные типы задач статистической обработки экспериментальных данных. Рассматривается методика использования программной среды LabVIEW для построения модуля определения статистических параметров экспериментальных выборок. Описана структура созданного программного обеспечения и его реализация в среде LabVIEW. Описана процедура программирования в LabVIEW и ряд базовых элементов, используемых при разработке программы.

Ключевые слова: LabVIEW; сбор данных; обработка данных; статистические параметры.

APPLICATION OF LABVIEW DURING THE PROCESSING OF EXPERIMENTAL DATA BY STATISTICAL METHODS

Halyna V. Lutsenko
PhD, associate professor of the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies
Cherkasy National University named after Bohdan Khmelnytskyy, Cherkasy, Ukraine
gala@phys.cdu.edu.ua

Abstract. The peculiarities in the process of training of Physics and Engineering Students at the study of statistical methods and its practical use have been analyzed. The main types of problems in statistical processing of experimental data have been investigated. The technique of the using of LabVIEW to design of program module of experimentally acquired data statistical parameters estimation has been considered. The structure of established software and technique of its development by using LabVIEW have been described. The procedure of the software creation and set of main LabVIEW elements have been described.

Keywords: LabVIEW; data acquisition; data processing; statistical parameters.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Site of National Instruments Corporation [online]. — Available from: http://www.ni.com (in English).
2. Lutsenko Hr. V. Students scientific activity in teams of researchers as methodological basis of improvement of specialists training quality / Lutsenko Hr. V., Lutsenko G. // Visnyk Cherkaskogo natsionalnogo universytety. — 2010. — Vypusk 181, chastyna 3. — P. 137–140. (in Ukrainian).
3. Evdokimov Yu. K. LabView for engineer: from virtual model to real. instrument. Manual for work in programming environment LabVIEW / Evdokimov Yu. K., Lindval V. R., Shcherbakov G. I. — M. : DMK Press, 2007. — 400 p. (in Russian)
4. Batovrin V. K. LabVIEW: handbook on fundamentals of measuring techniques / Batovrin V. K., Bessonov A. S., Moshkin V. V., Papulovskiy V. F. — M. : DMK Press, 2005. — 208 p. (in Russian)
5. Ronald W. Larsen. LabVIEW for Engineers. Pentice Hall – 2011. – 396 P. (in English)
6. Travis J. LabVIEW for Everyone / Travis J. — M. : DMK Press, PriborKomplekt, 2005. — 544 p. (in Russian)
7. Suranov A. Ya. LabVIEW 7: functions reference book / Suranov A. Ya. — M. : DMK Press, 2005. — 512 p. (in Russian)
8. Peich L. I. LabVIEW for newcomers and specialists / Peich L. I., Tochilin D. A., Pollak B. P. — M. : Goryachaya liniya – Telekom, 2004. — 384 p. (in Russian)
9. Dorogkovets M. Processing of measurement results : Navch. Posibnyk / Dorogkovets M. — Lviv : Vydavnytstvo Natsionalnogo universytetu "Lvivska politehnika", 2007. — 624 p. (in Ukrainian).
10. NI-DAQmx Express VI Tutorial. [online]. — Available from: http://www.ni.com/white-paper/2744/en. (in English).