

УДК 520.8, 004.42, 004.6

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ МЕТЕОСТАНЦІЇ WS3600 НА СТАНЦІЇ ЛАЗЕРНОЇ ВІДДАЛЕМЕТРІЇ “ЛЬВІВ-1831”

**А. Білінський, К. Мартинюк-Лотоцький, Н. Вірун, С. Апунович,
Я. Благодир, Е. Вовчик**

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна
slr1831@ukr.net, langure@mail.ru*

Лазерна локація супутників Землі – вимірювання часу прольоту оптичного імпульсу до супутника і назад. Для забезпечення результатів спостережень на рівні 10 мм точності та довготривалої стабільності необхідно враховувати миттєвий стан атмосфери. Таке завдання вирішують методом моделювання метеопараметрів уздовж прольоту оптичного імпульсу за наземними даними, вимірними на станції. Розглянуто метеостанцію як одну зі складових станцій лазерної локації супутників, її вплив на точність результатів спостережень. Описано реалізацію приєднання метеостанції WS3600 до персонального комп'ютера з операційною системою Linux у вигляді комплексу програм та скриптів з виділенням сервером даних.

Ключові слова: лазерна локація супутників, ЛЛС, метеостанція, Linux, MySQL.

У випадку лазерної локації супутників (ЛЛС) на станції вимірюють миттєвий час прольоту короткотривалого лазерного імпульсу до супутника, обладнаного спеціальними відбивачами. Це забезпечує миттєве вимірювання геоцентричної відстані на міліметровому рівні точності, що в підсумку дає змогу отримати надточну орбіту супутника та низку інших наукових даних [5]:

- ЛЛС сьогодні є найточнішою методикою для вимірювання геоцентричного положення штучного супутника Землі, яка забезпечує точне калібрування космічних радіолокаційних висотомірів і розділення довготермінових інструментальних дрейфів від вікових змін у топографії Океану;
- ЛЛС забезпечує вимірювання часових варіацій у гравітаційному полі Землі та у власних рухах станцій мережі щодо геоцентра, у тому числі й вертикального руху в абсолютній системі. Завдяки цьому вона є унікальною методикою для моделювання та розрахунку довготермінових змін клімату;
- ЛЛС забезпечує можливість перевірки законів загальної теорії відносності;
- мережа ЛЛС станцій є важливою частиною міжнародної мережі обсерваторій космічної геодезії;
- ЛЛС забезпечує аварійну резервну навігацію супутника під час відмови інших, радіотехнічних, систем спостережень.

ЛЛС “Львів” [1] з 2002 р. належить до мережі Міжнародної служби лазерної локації супутників International Laser Ranging Service (ILRS) [5] як станція третього покоління з акронімом LVIL та міжнародним кодом 1831 і до національної мережі Українського центру визначення параметрів обертання Землі Головної астрономічної обсерваторії НАН України (УЦПОЗ ГАО НАНУ).

Кожна станція ЛЛС складається з низки підсистем: оптичний телескоп, лазерний передавач, приймач випромінювання, реєстратор, служба точного часу і частоти, метеостанція. Кожна з них має забезпечувати стабільні результати спостережень та можливість підвищення їхньої точності. Нижче розглянемо автоматизацію роботи цифрової метеорологічної станції WS3600 на ЛЛС “Львів-1831”.

Метеостанція WS3600. Похибки вимірювання метеорологічних параметрів – одна з проблем підвищення точності спостережень ЛЛС. Якщо на сучасному рівні розвитку техніки ЛЛС прагнути до 1 мм точності, то необхідно максимально уникати впливу похибок метеорологічних параметрів [6].

Похибки вимірювання абсолютного атмосферного тиску в 1 мБар спричинюють залежну від висоти (кута місця) похибку у вимірюванні відстані 7 і 3 мм на висотах 20 і 90°, відповідно. Не можна нехтувати впливом точності вимірювання відносної вологості. Похибка вимірювання в 10 % за температури 20 °С, зумовлює залежну від висоти (кута місця) похибку у вимірюванні відстані 1,0 і 0,4 мм на висотах 20 і 90°, відповідно. Вплив похибки вимірювання відносної вологості прямо залежить від температури навколишнього середовища.

Похибки вимірювання температури не є суттєвими для розрахунку тропосферної рефракції, проте впливають на калібрувальне вимірювання відстані до далеких (понад 1 км) наземних цілей (відбивачів).

Для підвищення точності та поліпшення ефективності спостережень ЛЛС на станції “Львів-1831” була інстальована цифрова метеорологічна станція WS3600.

Комплект поставки метеостанції з сенсорним екраном WS3600 [3] охоплює базову станцію (приймач), термогіросенсор (передавач 433 МГц), сенсор дощу і сенсор вітру (рис. 1).



Рис. 1. Цифрова метеостанція WS3600

Базова станція обладнана сенсорним рідкокристалічним екраном і дає змогу за допомогою простого меню контролювати велику кількість часових і погодних даних.

Головні технічні характеристики метеостанції такі¹:

	Межі вимірювань	Точність
Атмосферний тиск, гПа	300 – 1099	0,1
Зовнішня температура, °С	(-29,9) – (+59,9)	0,1
Зовнішня вологість, %	1 – 99	3

Метеостанцію приєднують до послідовного порта (COM1–COM4) комп’ютера. Приєднання зовнішніх датчиків до основного блока реалізовано по кабелю (а не по радіо 433 МГц), оскільки основний блок розміщений у приміщенні з апаратурою, а термогіросенсор винесений за межі павільйона, який містить металеві конструкції – ці чинники можуть негативно впливати як на передавання метеоданих, так і на роботу прецизійної апаратури.

Автоматизація відображення та передавання метеоданих. Розробка відповідного програмного забезпечення для використання метеостанції є продовженням роботи з автоматизації проведення спостережень ЛЛС [2] на станції “Львів-1831”.

Програми для роботи з метеоданими поділяють на дві частини (рис. 2): які оновлюють дані і використовують метеодані, тобто для забезпечення збереження метеоданих у базі, і програми, які використовують дані для подальших розрахунків. Програми написані мовами C/C++, PHP для операційної системи Linux.

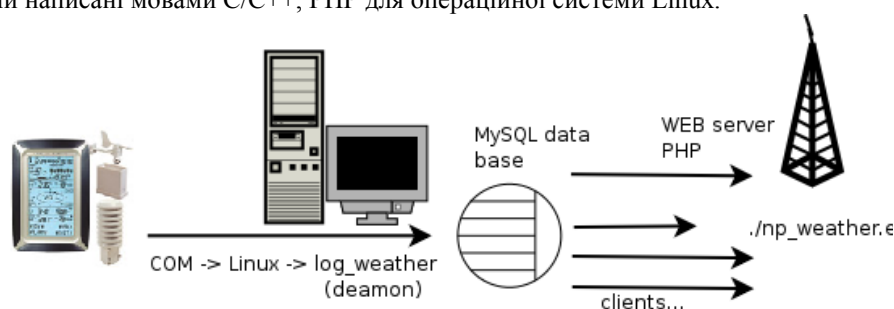


Рис. 2.Схема збору, збереження та відображення метеоданих

Модуль взаємодії з метеостанцією розроблено у вигляді програмного демона, який через заданий проміжок часу (1 хвилина + 0±3с – залежить від завантаження процесора) зчитує дані з метеостанції, формує запит до бази даних для запису у базу даних (MySQL), після цього дані стають доступні всім клієнтам бази даних (див. рис. 2).

За основу взято, з деякими змінами, пакет програмного забезпечення OPEN3600 [4] для роботи з метеостанцією, для якого дописано код для періодичного запису даних у базу даних. Основний цикл програми такий:

¹ Набір метеорологічних параметрів для внесення в результати спостережень http://ilrs.gsfc.nasa.gov/products_formats_procedures/normal_point/np_format.html

```
do{
    do{
        t=time(NULL);
        tim=localtime(&t);
        if (tim->tm_sec<58){
            sleep(59-tim->tm_sec);
        };
    }while(min_old==tim->tm_min);
    sleep(1);
    min_old=tim->tm_min;
    printf("\n Min = %02i",min_old);
    rec();// Виклик процедури запису в базу
    sleep(2);
}while (1);
```

Також для різної комплектації комп'ютерів та версій Linux доводилось переписувати процедуру калібрування *calibrate()* (у файлі *linux3600.c*) або підбирати калібрувальні значення, оскільки функція *clock()* давала некоректні дані в разі в разі частих викликів, і програма зациклювалась. Те ж саме спостерігали у випадку компіляції програм з оптимізацією.

Для компіляції використано *gcc-4.3.2* (Debian 4.3.2-1.1), під час компіляції необхідно вимкнути опцію оптимізації *-O* для нормальної роботи програми.

Для відображення метеоданих у вигляді графіків написано скрипт-клієнт мовою PHP для відображення на Інтернет сторінці (<http://astro.franko.lviv.ua>). Скрипт для отримання даних підключається до сервера, формує запит на зчитування даних з бази. Для пришвидшення опрацювання і відображення дані вибирають з інтервалом 5 або 10 хв (рис. 3).

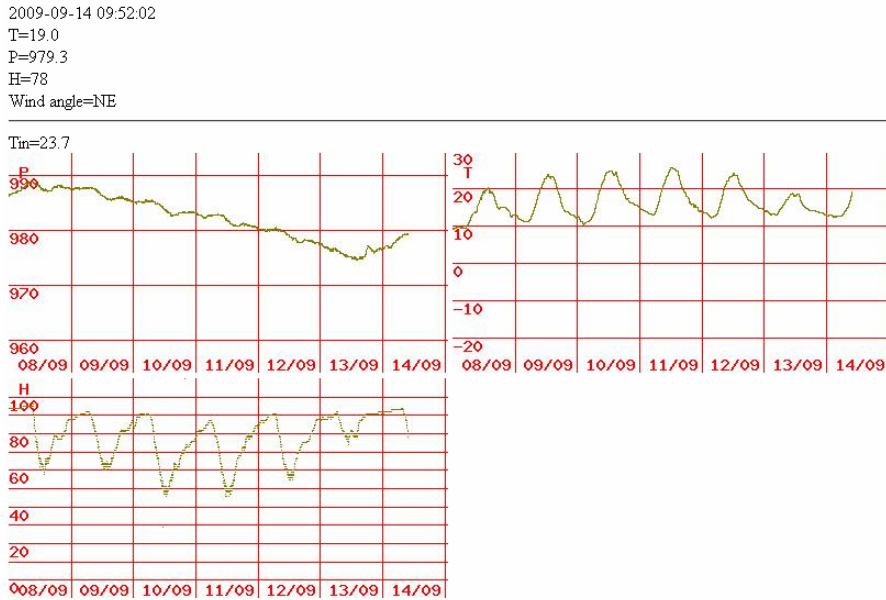


Рис. 3. Відображення метеоданих у WWW

Програма, якій необхідні метеодані, приєднується до MySQL сервера і бази даних та отримує дані на потрібну дату й час (наприклад за запитом `get_rec("2008-05-16 03:26:00", &temperature, &humidity, &pressure)`);

Іншим клієнтом є програма `np_weather.exe` – складова скрипту `./sendnp` (рис. 4) – поновлення, архівування та відсилання кінцевого файла результатів спостережень ЛЛС. Програма `np_weather.exe` відповідає за поновлення після попереднього опрацювання файла даних, у який необхідно ввести значення метеорологічних параметрів на відповідний момент часу.

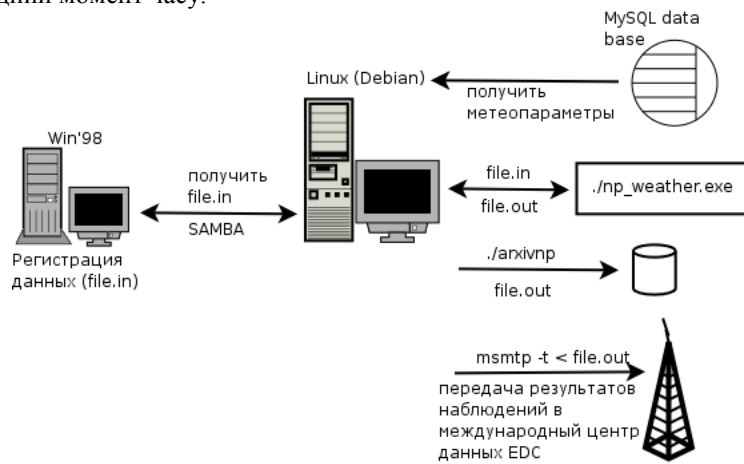


Рис. 4. Структурна схема скрипту `./sendnp`

Автоматизація процесу кінцевого передавання даних і, зокрема, введення метеоданих у файли спостережень, дала змогу вирішити низку проблем, пов'язаних із: можливими суб'єктивними помилками (оператора) у введенні значень метеоданих з клавіатури; втратою корисного часу (до 10 хв) оператора на рутинні процедури в інтерактивному режимі; використання комп'ютера (сервера) з операційною системою Linux забезпечує простий безпечний доступ до всіх даних та програм з довільного віддаленого терміналу для контролю та управління потоками даних.

Застосування цього програмного забезпечення суттєво поліпшило ефективність проведення спостережень ЛЛС та їхню наукову і практичну цінність. Особливо це виявляється під час спостережень серій проходжень низькоорбітальних супутників Землі (відповідно, швидкорухомих) з траєкторіями, що перекриваються у часі.

Отже, низка розроблених програм і скриптів під операційну систему Linux спростила та пришвидшила процедуру введення метеоданих у файл нормальних точок, архівування його в локальній базі та пересилання в Європейську базу даних (Німецький геофізичний інститут), УЦПОЗ ГАО НАНУ. Разом з новою програмою опрацювання та керування роботою телескопа [2] ці розробки дають змогу значно автоматизувати спостереження ЛЛС на станції "Львів-1831".

Використання структури програм з виділеним сервером даних дає змогу програмам працювати незалежно одна від одної і дані, які надійшли у базу даних, стають доступними відразу всім клієнтам.

Створення бази даних, яка поповнюється в автоматичному режимі, допомагає стежити за станом погоди на заміській базі Астрономічної обсерваторії через мережу Інтернет <http://astro.franko.lviv.ua>.

1. *Blagodyr Ja., Bilinsky A., Martynjuk-Lototsky K. et al.* Overview and Performance of the Ukrainian SLR Station "Lviv-1831" // *Artificial Satellites*. 2007. Vol. 42. N 1. P. 9–15. DOI: 10.2478/v10018-007-0014-4.
2. *Билинский А., Мелех Б.* Управление работой лазерного дальномера в системе RTLinux // *Проблемы управления и информатики*. 2005. № 2. С. 103–106.
3. Опис та технічна документація цифрової метеостанції WS3600 (La Crosse Technology). Доступний з: <http://www.lacrossetechnology.fr>.
4. Project OPEN3600. Доступний з: <http://open3600.fast-mail.nl/tiki-index.php>.
5. *Pearlman M.R., Degnan J.J. and Bosworth J.M.* The International Laser Ranging Service // *Advances in Space Research*. 2002. Vol. 30. N 2. P. 135–143. DOI:10.1016/S0273-1177(02)00277-6.
6. ILRS: Meteorological Devices. Доступний з: http://ilrs.gsfc.nasa.gov/engineering_meteorological_devices.html.

WS3600 WEATHERSTATION APPLICATION ON SATELLITE LASER RANGING STATION "LVIV-1831"

**A. Bilinsky, K. Martynjuk-Lototsky, N. Virun,
S. Apunevych, Ya. Blagodyr and E. Vovchik**

*Astronomical observatory, Ivan Franko National University of Lviv,
8 Kyrylo and Mefodiy St., UA-79005 Lviv, Ukraine
Slr1831@ukr.net, langure@mail.ru*

Laser ranging of Earth satellites represents measuring a time taken by optical pulse for its flight towards a given satellite and back. When the optical pulse passes through the Earth's atmosphere, it suffers significant influence due to, e.g., a difference of the pulse velocity from that for the free space, and a curved pathway. To keep the observational results at a 10 mm-accuracy level and a long-term stability, it is necessary to take into account the instantaneous state of the atmosphere. This problem is solved by the technique involving simulations of weather parameters along the optical pulse trajectory, using ground-based data measured on the station. Therefore the accuracy and efficiency of work of the weather station are among key pre-conditions of high-quality scientific data. In this paper we consider the weather station as a component of satellite laser ranging station, as well as influence of the former on the accuracy of observational results. We present implementation of connection of the weather station WS3600 to a personal computer with the operating system Linux in the form of complex of programs and scripts with discriminated data server.

Key words: satellite laser ranging, SLR, weather station, Linux, MySQL.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ WS3600 НА ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ «ЛЬВОВ-1831»

**А. Билинский, К. Мартынюк-Лотоцкий, Н. Вирун,
С. Апунович, Я. Благодыр, Е. Вовчик**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
астрономическая обсерватория
ул. Кирилла и Мефодия, 8, 79005 Львов, Украина
Slr1831@ukr.net, langure@mail.ru*

Лазерная локация спутников Земли – это измерение времени прохождения оптического импульса к спутнику и обратно. Оптический импульс при прохождении сквозь атмосферу Земли претерпевает значительное влияние – отличие скорости распространения от c для вакуума и искривление траектории. Для обеспечения точности результатов наблюдений на уровне 10 мм и длительной стабильности необходимо учитывать мгновенное состояние атмосферы. Такая задача решается методом моделирования метеопараметров вдоль траектории оптического импульса по наземным данным, измеренным на станции. Поэтому точность и оперативность работы метеостанции является одним из ключевых предусловий качественных научных данных. В данной статье рассмотрено метеостанцию как одну из составляющих станции лазерной локации спутников, а также ее влияние на точность результатов наблюдений. Представлено реализацию подключения метеостанции WS3600 к персональному компьютеру с операционной системой Линукс в виде комплекса программ и скриптов с выделенным сервером данных.

Ключевые слова: лазерная локация искусственных спутников Земли, SLR, метеостанция, Линукс, MySQL..

Стаття надійшла до редколегії 12.05.2009

Прийнята до друку 30.06.2009