



**Я.О. Романюк¹, В.В. Клецонок², В.О. Данилевський²,
В.М. Решетник², І.В. Лук'яник², О.О. Святогоров¹**

¹ Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ
² Київський Національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КИЇВСЬКИЙ ІНТЕРНЕТ ТЕЛЕСКОП



Описано склад, конструкцію та функціональні можливості автоматизованого апаратного комплексу для астрономічних спостережень з використанням Інтернету. Основними складовими комплексу є телескоп Celestron 1400XTL, ПЗЗ-камера Rolera-MGi та GPS-приймач Acutime 2000. Комплекс оснащений блоком світлофільтрів широкополосної системи Джонсона UVBRI оригінальної авторської конструкції. Створений нами комплекс програм для керування кожним блоком та процедурою спостережень у цілому дає можливість одержувати зображення спостережуваних світил або виконувати фотометричні спостереження з швидкістю до 30 повних кадрів за секунду, хронометрованих у шкалі всесвітнього координованого часу (UTC) з похибкою, не більшою за 1 мсек.

Ключові слова: автоматизований телескоп, астрономічні ПЗЗ-спостереження, програми керування, навчання астрономії.

У світовій астрономічній практиці вже понад 20 років широко використовуються автоматизовані спостережні комплекси на основі малих телескопів з апертурами від 10 см до 2 м. Досвід астрономів-професіоналів та аматорів астрономії показує, що за допомогою навіть малих телескопів можна виконувати ефективні дослідження у багатьох галузях астрономії [1], зокрема в таких, що потребують від спостережного обладнання здатності до швидкого реагування на астрономічні події. Такі проекти, як Liverpool Telescope, Faulkes Telescopes, BAIT, ROTSE, ASAS, TASS, TAOS, Super-LOTIS, TEST та багато інших, зробили істотний внесок у відкриття змінності в тисяч зірок, виявлення і спостереження оптичного післясвітіння, що супроводжує спалахи γ -випромінювання космічних джерел, відкриття й спостереження проходжень планет перед дис-

ками зір, навколо яких вони обертаються. Критично важливим елементом для таких спостережних програм є повна автоматизація апаратних засобів і програмного забезпечення ЕОМ. Користуючись малими автоматизованими інструментами, що працюють у режимі реального часу, можна одержувати попередні дані для оперативного підключення великих телескопів до спостереження непередбачуваного та/або швидкоплинного явища.

Однією з актуальних наукових проблем сьогодні є спостереження оптичного (переважно у візуальному діапазоні) випромінювання, що може супроводжувати спалахи космічного γ -випромінювання. Повідомлення про γ -спалахи, зареєстрований космічними приладами, такими, як Свіфт та Інтеграл [2, 3], одразу ж розповсюджується через мережу Інтернет до всіх зацікавлених спостерігачів. При цьому дуже важливо якомога швидше навести телескоп на зазначену ділянку неба та розпочати його спостереження на якнайраніших стадіях розвитку цього явища. Найшвидше навести на вказану

© Я.О. РОМАНЮК, В.В. КЛЕЦОНОК,
В.О. ДАНИЛЕВСЬКИЙ, В.М. РЕШЕТНИК,
І.В. ЛУК'ЯНИК, О.О. СВЯТОГОРОВ, 2010





ділянку неба можна саме автоматизований телескоп. Ще ефективнішим для таких спостережень був би спеціалізований телескоп-автомат, який виконував би спостереження небесної сфери синхронно із космічними γ -телескопами у напрямі, близькому до спостережуваних ними джерел. Завдяки такій методиці польським астрономам у їхньому проєкті «Pi of the Sky» [4] вдалося виконати спостереження оптичного випромінювання γ -джерела практично одразу після початку γ -спалаху. Іншими галузями ефективного використання астрономами телескопів-роботів є систематичний моніторинг навколосемних об'єктів (т.зв. «космічного сміття»), пошук і спостереження астероїдів та інші програми. Телескоп-робот легко запрограмувати для таких спостережень.

На жаль, в Україні (як, між іншим, і в інших країнах) спостерігається спад інтересу до вивчення природничих наук. Це пов'язано як з переорієнтацією суспільства на ринкові відносини, так і з відсутністю сучасної матеріальної бази для практичних робіт з природничих наук, зокрема з фізики та астрономії. Київський Інтернет-телескоп (а в подальшому – національна мережа малих телескопів-роботів) може стати основою для створення національної освітньої обсерваторії, як це вже зроблено у розвинених країнах (див., наприклад, освітню сторінку Ліверпульського телескопа www.school-observatory.org.uk).

Проєкт «Українська синхронна мережа Інтернет-телескопів» було розпочато наприкінці 2006 року Головною астрономічною обсерваторією (ГАО) НАН України, Київським національним університетом (КНУ) ім. Тараса Шевченка і Міжнародним центром астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України за підтримки Науково-технологічного центру в Україні (НТЦУ) та НАН України. Відповідно до Угоди про співробітництво було надано для цієї роботи грант № 4134. Київський Інтернет-телескоп, створений співробітниками ГАО НАНУ та КНУ ім. Тараса Шевченка, повинен не лише стати прототипом українсь-

кого малого автоматизованого телескопа для забезпечення спостережної роботи науковців, але й відкрити університетам та школам широкий доступ до практичного навчання, що сприяло би підвищенню інтересу молоді до природничих наук.

ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНТЕРНЕТ-ТЕЛЕСКОПА

Існують різні категорії автоматизованих телескопів. Найпростіший з них – це телескоп, керований комп'ютером. У цьому випадку зазвичай для керування телескопом та ПЗЗ-камерою використовують програми, які надаються до цих приладів виробником, або ж програми, що створюються додатково і дають можливість керувати апаратурою телескопа за допомогою персонального комп'ютера. Інша категорія автоматизованих телескопів – це роботизований телескоп, який має єдине програмне забезпечення для керування телескопом та ПЗЗ-камерою. Є також принципові можливості для віддаленого керування комп'ютером через Інтернет за допомогою використання спеціальних програм типу Remote Administrator. Ці програми забезпечують віддалений доступ через Інтернет з одного комп'ютера до іншого і таким чином до всіх програм, встановлених на ньому. Це дає змогу операторові дистанційно керувати телескопом, але це ще не автоматичні спостереження. Повністю автоматичний телескоп здатний самостійно визначити якість неба, увімкнути живлення апаратури, відкрити купол та виконувати спостереження за розкладом, складеним за спеціальною програмою [5]. Автори проєкту українського телескопа-робота на першому етапі ставили за мету створити автоматизований телескоп під керуванням програми, яка б самостійно, через Інтернет, одержувала розклад спостережень з головного сервера, виконувала його, а одержані спостережні дані у реальному часі надсилали у базу даних.

Очевидно, що оптимальним шляхом для створення Інтернет-телескопа було б використан-





ня телескопа, вже оснащеного системою приводів та комп'ютеризованим керуванням. Телескоп і камера повинні бути такими, щоб забезпечувати як отримання якісних зображень, так і швидкісну (як мінімум 10 повних кадрів за 1 с) фотометрію небесних об'єктів з достатньою точністю (з похибкою не більше 1 мс) хронометруванням кадрів. При цьому комп'ютеризовані блоки керування як телескопа так і камери та їхнє програмне забезпечення повинні надавати можливість керувати ними за допомогою персонального комп'ютера (ПК). Після ретельного вивчення характеристик телескопів та ПЗЗ-камер, умов їхнього постачання та ціни (зважаючи на обмеженість коштів) було з'ясовано, що найкраще нашим вимогам відповідають телескоп Celestron 1400XLT та ПЗЗ-камера Rolera-Mgi. Отже, головним завданням авторів проекту було створення керуючих програм для телескопа і камери, а також розробка та виготовлення блока фільтрів і системи забезпечення точного часу.

СКЛАДОВІ КИЇВСЬКОГО ІНТЕРНЕТ-ТЕЛЕСКОПА

Структурна схема апаратури автоматизованого київського Інтернет-телескопа показана на рис. 1. Він складається з власне телескопа, на якому встановлені блок світлофільтрів та ПЗЗ-камера. Інші складові – це GPS-приймач, комп'ютери з програмним забезпеченням та блоки живлення [6]. Загальний вигляд телескопа показано на рис. 2.

Основу системи складає телескоп Celestron 1400XLT системи Шмідта–Касегрена з діаметром об'єктива 14 дюймів (356 мм) (www.celestron.com), встановлений на комп'ютеризоване монтування CGE [7]. Його електронний блок керує наведенням на задані космічні об'єкти. Особливістю цього монтування є те, що воно у значній мірі комп'ютеризоване, тобто оснащено блоком керування на основі вбудованого мікропроцесора, що керує електроприводами, які наводять телескоп у потрібну точку небесної сфери та забезпечують стеження

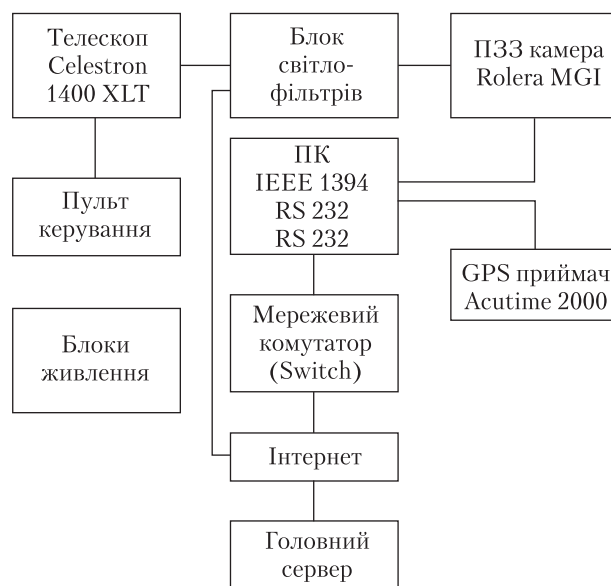


Рис. 1. Структурна схема київського Інтернет-телескопа



Рис. 2. Загальний вигляд київського Інтернет-телескопа

за рухом небесної сфери (або ж за Місяцем чи за Сонцем, якщо спостерігач встановлює відповідний режим). Встановивши телескоп та спрямувавши його полярну вісь на Полюс сві-





ту, спостерігач виконує процедуру налаштування (*alignment*) телескопа за зорями зі спеціального списку, який закладено виробником у пам'ять електронного блока. За результатами цієї процедури блок керування телескопом будує модель небесної сфери для місця спостережень з урахуванням необхідних поправок на неточності його обертальних механізмів.

Камера Rolera-MGi створена на основі back-illuminated ПЗЗ-приймача L3Vision CCD97 з 512×512 пікселями англійської фірми E2V Technologies для забезпечення високої чутливості при реєстрації зображення об'єктів із низьким рівнем освітлення. Камера може створювати зображення шляхом складання сигналів з кількох суміжних пікселів безпосередньо при зчитуванні інформації (такий процес називається біннінгом) або видавати на запис частину зображення (такий процес називається ROI – *Region of Interest*). Інтерфейс IEEE 1394 FireWire, який використовує камера Rolera-MGi, дає можливість швидко та легко підключитися до комп'ютера за допомогою кабеля. Камера постачається разом з програмним забезпеченням, яке дозволяє попередній перегляд та реєстрацію кадрів у реальному часі. До переваг камери Rolera-MGi потрібно віднести такі:

- ✦ висока квантова ефективність – понад 90 % на довжинах хвиль 500–650 нм;
- ✦ висока швидкість зчитування, яка забезпечує попередній перегляд та фокусування в реальному часі, 30fps при повному зображенні та 300 + fps з біннінгом від 2×2 до 6×6 пікселів та ROI;
- ✦ низькі шуми ПЗЗ-матриці та супутньої електроніки, що дає можливість кількісного аналізу зображення при низьких рівнях освітлення.

До недоліків камери Rolera-MGi можна віднести відносно вузький робочий температурний діапазон (вищий 0°C) та порівняно малий розмір чутливої зони приймача, які й обумовили її відносно невисоку ціну серед сучасних ПЗЗ-камер.

Механічним та функціональним посередником між телескопом та камерою слугує блок світлофільтрів. Він призначений виконувати декілька функцій:

- ✦ забезпечення оперативного механічного введення і фіксування у світловому каналі одного з 8-и можливих світлофільтрів діаметром 32 мм з індикацією поточного положення турелі;
- ✦ формування командних сигналів про виконання експозиції ПЗЗ-камерою RoleraMgi для передачі в систему часу;
- ✦ підсилення сигналів керування кроковим двигуном для дистанційного фокусування телескопа;
- ✦ забезпечення надійного кріплення ПЗЗ-камери до фланця телескопа.

Автори проекту використали світлофільтри широкосмугової системи Джонсона U, B, V, R, I. У одну з чарунок турелі вставлене прозоре скло, одна чарунка повністю затемнена для забезпечення можливості реєстрації темнових кадрів і ще одна – порожня. Можна використовувати також інші світлофільтри. При проектуванні блока світлофільтрів автори використали свій попередній досвід розробки подібних вузлів для двоканального швидкісного фотометра [8]. На додачу до попередньої електронної схеми для керування блоком було застосовано мікроконтролер Elexol Ether I/O24, який має обмін даними у стандарті Ethernet з використанням протоколу UDP. Блок-схему блока світлофільтрів показано на рис. 3.

Однією з особливостей Інтернет-телескопа є те, що він може забезпечити швидку фотометрію з точною прив'язкою до Всесвітньої координованої шкали часу UTC для дослідження змінності світлового потоку в часі від небесних об'єктів, наприклад при покриттях зір Місяцем та іншими космічними тілами. Для забезпечення цієї можливості особлива увага приділялася системі точного часу, яку створено на основі вже перевіреного практикою [9] GPS-приймача Acutime 2000.

Максимальна частота реєстрування зовнішніх синхроімпульсів GPS-приймачем дорів-



нює 10 Гц, а максимальна частота реєстрації серії кадрів ПЗЗ-камерою Rolera MGI складає понад 300 Гц для мінімальної частини поля зору і 30 Гц для всього поля зору. Для забезпечення хронометрування кадрів у шкалі точного часу на максимальній швидкості вузол синхронізації оснащений дільником з коефіцієнтом ділення 32. Точність хронометрування стартових моментів експозицій кадрів, що надходять від ПЗЗ-камери, на рівні декількох десятих мікросекунди забезпечується шляхом програмування процедури реєстрування синхроімпульсів потрібної скважності GPS-приймачем Acutime 2000. Перед початком експозиції одного або серії кадрів вузол синхронізації програмно встановлюється у початкове положення, при якому до реєстрування пропускається перший синхроімпульс від ПЗЗ-камери незалежно від вибраного коефіцієнта ділення. Така організація служби часу дозволяє працювати в широких інтервалах швидкостей реєстрації в серіях з великою кількістю кадрів і для поодиноких кадрів при тривалих експозиціях, що є звичайним режимом роботи ПЗЗ-камери при спостереженнях.

Система точного часу має такі параметри:

- ✦ точність прив'язки сигналів експозиції до шкали UTC – не гірше 1 мс;
- ✦ абсолютна похибка хронометрування початку експозиції у шкалі часу UTC – не більше 1 мкс;
- ✦ діапазон робочих температур: від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- ✦ форма представлення даних – автоматично формований протокол вимірювань під керуванням програми в операційній системі WINDOWS 98, 2000, XP.

Все обладнання спостережного комплексу потребує надійного електричного живлення необхідними напругами, яке забезпечується за допомогою набору приладів живлення (НПЖ). До НПЖ входять навісний блок низьковольтного живлення (БНЖ) для телескопа Celestron-1400 і блока фільтрів, який містить стабілізатори MEANWELL 60-220AC-12S і 60-220

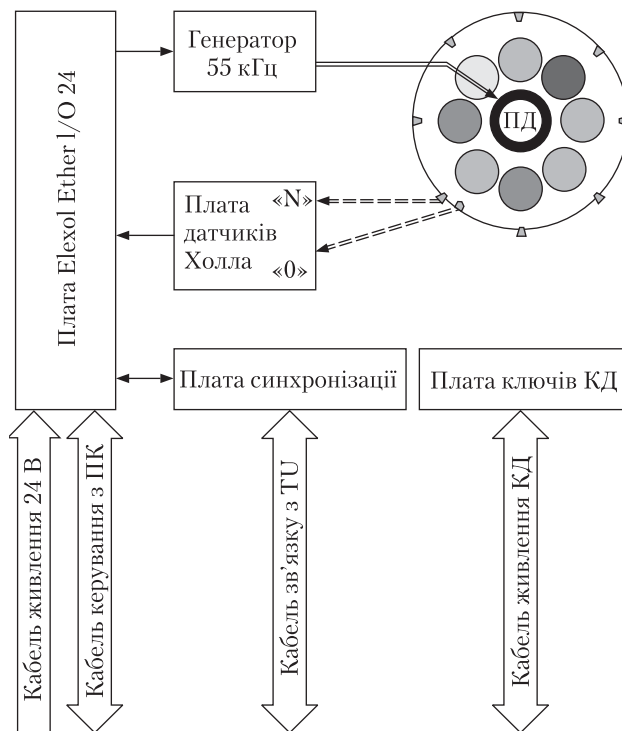


Рис. 3. Структурна схема блока світлофільтрів

АС-24S та стаціонарний блок безперервного живлення (ББЖ) для обслуговування ПК (в разі потреби забезпечує блок фільтрів постійною напругою 24 В).

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРНЕТ-ТЕЛЕСКОПА

Базове програмне забезпечення телескопа CGE 1400, ПЗЗ-камери Rolera MGі, блока фільтрів, системи часу та системи зв'язку усієї системи телескопа з сервером проекту через Інтернет не дає можливості повноцінно автоматично керувати ним за допомогою відомого і широко розповсюдженого програмного забезпечення (наприклад, Maxim, CCDOPS та ін.). Тому постала задача створити власне програмне забезпечення для всього комплексу, яке дало б можливість використовувати його в автоматичному режимі. Основною операційною системою для створення зазначеного програмного комплексу було вибрано MS Windows, а

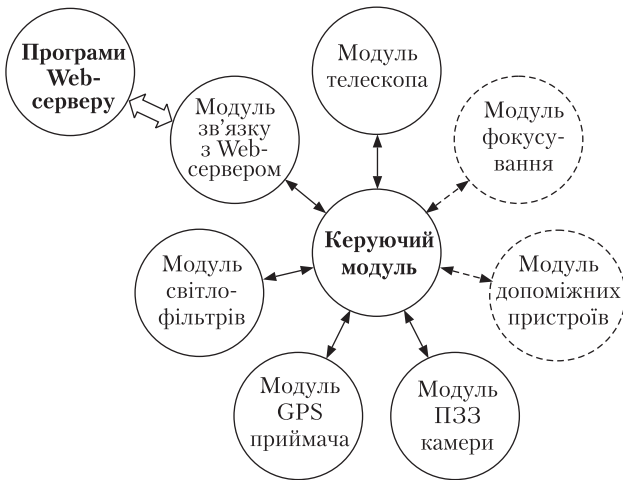


Рис. 4. Склад програмного комплексу телескопа

головним аргументом для такого вибору стало те, що ПЗЗ-камера Rolera MGI має бібліотеку SDK саме для цієї ОС.

Виробником [7] в інструкції до телескопа наведені формати команд, які дублюють основні команди ручного комп'ютеризованого пульта (Hand Control) і можуть бути використані для наведення та контролю стану телескопа зовнішнім комп'ютером. Повний комп'ютерний контроль за телескопом можливий через використання спеціального драйвера ASCOM та його бібліотеки команд [10]. Ми вибрали комбінований спосіб керування телескопом: попереднє налаштування за допомогою власного пульта (Hand Control) і подальше керування програмою із зовнішнього комп'ютера. Зв'язок з ПК при цьому встановлюється за допомогою кабелю через спеціальний з'єднувач-розетку на комп'ютеризованому пульті ручного керування телескопа та COM-порт ПК (RS232).

У багатьох автоматизованих телескопах програмне забезпечення складається з набору спеціалізованих модулів і драйверів для окремих пристроїв телескопа [5, 11]. Автори проекту використали такий самий підхід. Структура програмного забезпечення телескопа показана на рис. 4. Програмний комплекс складається з головного модуля та модулів окремих вузлів комплексу. До них також входить модуль зв'язку

з Web-сервером, завдяки якому інформація про стан телескопа та результати спостережень оперативно надходять на віддалений сервер.

Для зручності розробки окремих модулів, забезпечення можливості заміни окремих вузлів та роботи комплексу в неповному складі було прийнято, що кожен модуль повинен бути повноцінною програмою. Кожен модуль має можливість працювати як в автономному режимі (без взаємодії з іншими), так і в комплексі, коли відбувається автоматична робота телескопа і роботу всіх модулів організовує головний керуючий модуль (ГКМ). Можливий також варіант змішаного типу роботи, для якого частина модулів працює автоматично, а частина – під керуванням оператора. Така можливість створює більш захищену від помилок систему в цілому.

Основна інформація для роботи програмного комплексу і налаштування окремих модулів зберігаються в реєстрі операційної системи. Таким чином досягається необхідна гнучкість роботи комплексу. Досить просто відбувається заміна окремих модулів. Достатньо замінити інформацію в реєстрі – і керівний модуль буде завантажувати інший набір програмних модулів. Такий підхід дає можливість легко отримати необхідну службову інформацію про інші модулі для організації обміну даними між окремими програмами.

АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ТЕЛЕСКОПА

Принцип роботи програмно-апаратного комплексу враховує основні особливості автоматизованого телескопа. До цих особливостей належить можливість програмного керування усім комплексом і окремими вузлами для забезпечення роботи в ручному, напівавтоматичному та автоматичному режимах, а також інтенсивний обмін інформацією з Web-сервером. З Web-сервера проекту користувачі отримують розклад роботи телескопа. Результати спостереження та інформація про стан телескопа автоматично відсилаються в базу даних.



На початку роботи комплексу керуюча програма встановлює зв'язок з окремими вузлами телескопа та виконує тестування їхньої готовності. Наступним кроком є завантаження програми спостережень з *Web*-сервера, або з файлу за командою оператора. В автоматичному режимі роботи телескопа з розкладу вибирається перша спостережна задача. Далі вона розбивається на окремі завдання, які центральний модуль передає до задіяних модулів. При виконанні підготовчих дій (наведення телескопа, встановлення потрібного фільтра, приведення в готовність приймача GPS) видається команда для підготовки запуску експозицій з усіма необхідними параметрами (тривалість, кількість кадрів, розмір кадру, бінінг і т.ін.). Для прискорення роботи комплексу передбачена можливість отримувати кадри серіями з однаковими установками. При отриманні повідомлення від модуля камери про закінчення експозиції всіх заданих кадрів вибирається наступна задача і цикл повторюється до завершення розкладу. Паралельно з виконанням розкладу спостережень здійснюється тестування стану модулів і передача на *Web*-сервер результатів спостережень та інформація про стан телескопа.

При напівавтоматичній роботі оператор визначає склад модулів, якими буде керувати програма ГKM. При цьому завдання для вибраних модулів також видається автоматично, і програма чекає підтвердження про готовність від оператора. Решта модулів не опитуються. В «ручному» режимі програма ГKM не використовується і керування модулями повністю виконується оператором за допомогою елементів управління цих програм. У цьому режимі результати спостережень відсилаються на *Web*-сервер оператором.

ГОЛОВНИЙ КЕРІВНИЙ МОДУЛЬ (ГKM)

Організовує роботу всіх програмних модулів ГKM *scenter*, об'єднуючи незалежні програми в єдиний автоматизований комплекс. Модуль *scenter* завантажує програмне забезпечення всіх модулів, відслідковує виконання

всього розкладу спостережень і етапи виконання окремих спостережних задач, видає команди модулям, збирає інформацію від них, веде протоколи виконання розкладу та технічний протокол роботи комплексу. Технічний протокол допомагає з'ясувати причини у випадку збоїв у роботі телескопа.

МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ ТЕЛЕСКОПА (МКРТ)

МКРТ завантажується у пам'ять комп'ютера за допомогою ГKM і забезпечує керування рухом телескопа (наведення на спостережуване світило та стеження за ним) згідно з командами головного модуля. Ідентифікація та налаштування *com*-порта здійснюється автоматично при завантаженні програми МКРТ у пам'ять комп'ютера або «вручну» після завантаження.

Під час спостережень від ГKM до МКРТ передаються повідомлення про вибрану систему координат, у якій буде виконуватися наведення телескопа, і про координати спостережуваного об'єкта, а від МКРТ до ГKM надсилаються повідомлення про положення та стан телескопа. Якщо команда наведення на спостережуваний об'єкт телескопом одержана й прийнята до виконання, МКРТ відстежує рух телескопа. Одразу після закінчення наведення телескоп автоматично переходить у режим стеження зі швидкістю, заданою попередньо з пульта ручного керування при налаштуванні телескопа до спостережень. Телескоп виконує стеження за заданим об'єктом до одержання наступних інструкцій, або ж доки його рух не буде зупинено комп'ютеризованим блоком керування при досягненні поворотним механізмом кінцевого вимикача.

При «ручному» режимі програма модуля забезпечує керування телескопом через інтерфейсні елементи головного вікна МКРТ за допомогою комп'ютерної мишки та клавіатури. Візуальні елементи управління дозволяють контролювати зв'язок між МКРТ і ГKM, між МКРТ і *com*-портом та між комп'ютером і телескопом і перевіряти його у будь-який час. Передбачена





можливість задавати «вручну» координати об'єкта і запускати процедуру наведення та відслідковувати цей процес візуально через спеціальні поля, у яких періодично виводяться поточні значення координат оптичної осі телескопа на небесній сфері. Передбачені також елементи для коригування стеження телескопа за спостережуваним об'єктом зі зміною швидкості коригувальних рухів, а також для зупинки телескопа [7].

МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ КАМЕРОЮ ROLERA MGI (МКК)

Корпорація QImaging — розробник камери Rolera MGi — дає можливість створювати власне програмне забезпечення для роботи з камерою. Внутрішня будова камери корпорацією не розголошується. Для роботи з камерою виробник надає програмний інтерфейс у вигляді динамічних бібліотек DDL зі спеціалізованим набором функцій. При розробці власних програм для роботи з бібліотекою рекомендується використовувати мови програмування C або C++, чим і обумовлено вибір авторами саме мови C++ для написання модуля МКК роботи з камерою. Модуль МКК не вимагає спеціальної інсталяції, автоматично визначає наявні камери корпорації QImaging і дає можливість подальшої роботи з ними.

Взагалі модуль МКК дозволяє працювати в двох режимах: індивідуальному та взаємодіючи з керуючим модулем scenter. При роботі в індивідуальному режимі програма вимагає введення усіх параметрів експозиції користувачем (інакше використовуються значення з попередньої експозиції). При цьому налаштування фільтра та наведення телескопа МКК не виконує. У разі взаємодії з ГKM модуль МКК знаходиться в режимі очікування на завдання. ГKM пересилає до МКК такі параметри експозиції: 1 — час експозиції; 2 — величину електронного підсилення; 3 — кількість кадрів, які потрібно відзняти; 4 — регіон інтересів (зона на ПЗЗ-матриці, яку потрібно

експонувати, допускається від одного пікселя до усієї матриці); 5 — бінінг. Окрім цих параметрів передаються додаткові, для запису у заголовок вихідного файлу зображення: 1 — унікальний номер, який виступає в ролі назви вихідного файлу зображення; 2 — координати об'єкта, який експонується; 3 — назва об'єкта; 4 — системний час; 5 — назва фільтра; 6 — ім'я спостерігача.

Після завершення експозиції модуль МКК створює файл із зображенням у встановленому форматі, яким зазвичай є FITS. У FITS-заголовку записуються передані ГKM параметри, і після цього пересилається повідомлення до ГKM про готовність виконувати наступну експозицію.

МОДУЛЬ КЕРУВАННЯ СВІТЛОФІЛЬТРАМИ (МКФ)

Модуль керування світлофільтрами, призначений для керування блоком фільтрів, згідно з інструкціями, заданими керуючим модулем, написано мовою C++. Програма використовує стандартний протокол UDP для зв'язку з платою керування блока фільтрів.

При роботі МКФ регулярно перевіряє стан зв'язку з мікроконтролером Elexol блока фільтрів і при його втраті терміново повідомляє про це користувача. Модуль МКФ дозволяє роботу в автономному режимі та під керуванням ГKM scenter. При автономній роботі користувач може змінювати фільтри довільним чином або встановлювати наступний фільтр по черзі на турелі фільтрів. У штатному режимі роботи модуль блока фільтрів отримує назву фільтра від ГKM і встановлює його. Для тестування якості з'єднання з блоком фільтрів та коректності функціонування електроніки мікроконтролера Elexol в меню програмного модуля МКФ є команда для надсилення запиту і перевірки відповіді на тестовий сигнал.

Після завершення роботи, модуль МКФ встановлює темне скло в блоці фільтрів як активний фільтр, що зменшує ймовірність механічного ушкодження та забруднення фільтрів.



СЕРВЕР ПРОЕКТУ ТА ПІДТРИМКА ЙОГО РОБОТИ

На основі концепції роботизованого Інтернет-телескопа розроблено та впроваджено головний сервер, основним призначенням якого є інформаційне забезпечення Інтернет-користувачів та виконання певних сервісних функцій, насамперед зв'язку з телескопом, зберігання і доступу до спостережних даних та авторизованого доступу до спостережних можливостей телескопа [12]. Основою сервера є Інтернет-сторінка <http://unit.univ.kiev.ua>, яка складається з двох частин: відкритої — для всіх Інтернет-користувачів та закритої — для зареєстрованих користувачів. Відкрита частина містить інформацію про київський Інтернет-телескоп, учасників проекту та корисну інформацію астрономічного спрямування. Закриту частину організовано як систему авторизованого доступу. Паралельно сервером виконується ряд програм, які вирішують такі завдання: формування та надання розкладу спостережень на поточну ніч; доступ до *ftp*-сервера, на якому зберігаються спостережні дані; запис в базу даних різної інформації, яка надходить з телескопа; організація зв'язку та відображення на сайті інформації з телескопа.

Крім головного сервера (територіально розміщеного в Обчислювальному центрі Київського національного університету ім. Тараса Шевченка) є кілька допоміжних. Як СУБД, яку встановлено на сервері (територіально розміщеному в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету ім. Тараса Шевченка), використовується PostgreSQL, що працює під ОС LINUX і в якій зберігається вся інформація про користувачів, спостереження та статус телескопа. Результати спостережень зберігаються на авторизованому *ftp*-сервері (територіально розміщеному в КНУ), доступ (переписування та перегляд результатів спостережень) до якого здійснюється через авторизовану частину сайту.

ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОРИЗОВАНОГО ДОСТУПУ

Основною метою створення авторизованої частини є надання користувачам та учасникам

проекту простого, інтуїтивно зрозумілого веб-інтерфейсу для безпечного доступу до спостережних можливостей телескопа. Організація авторизованого доступу передбачає вирішення таких завдань: реєстрація користувачів проекту; розподіл прав користувачів у залежності від їх статусу та задач, які ставляться користувачами; доступ зареєстрованих користувачів до власного облікового запису; замовлення спостережень; перегляд розкладу спостережень; формування та корегування розкладу спостережень; інформування користувачів щодо дій, які виконуються телескопом під час спостережень; доступ зареєстрованих користувачів до сторінки спостережень; збереження спостережень та можливість їх копіювання; перегляд статистичної інформації щодо відвідування веб-сторінки проекту; адміністрування користувачів; забезпечення користувачів можливістю *on-line* спілкування; забезпечення зв'язку з адміністраторами авторизованої частини сайту; створення системи безпеки функціонування авторизованої частини сайту.

Для виконання поставлених задач в проекті передбачено чотири групи користувачів з відповідними статусами: ADMIN, PROJECT, PRIVILEGE, USERS. Група ADMIN — адміністратори проекту. В межах цієї групи можна виконати всі описані вище задачі. В групу PROJECT входять користувачі, безпосередньо задіяні у втіленні проекту, в групу USERS — звичайні користувачі. Ці групи обмежені лише інформаційними можливостями. Група PRIVILEGE — це зарезервована група користувачів для подальшої розробки можливостей керування, обслуговування та спостережень в рамках проекту.

Весь комплекс програмного забезпечення організації авторизованого доступу розроблено засобами HTML, PHP, Javascript, AJAX та СУБД PostgreSQL. Все програмне забезпечення встановлено на серверах проекту.

МОДУЛЬ ЗВ'ЯЗКУ З ГОЛОВНИМ СЕРВЕРОМ ПРОЕКТУ

Модуль зв'язку з головним сервером проекту (МЗГС) має назву *netdi* і є складовою части-



Рис. 5. Схема взаємодії модуля *netd* з іншими програмними модулями

ною комплексу програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері, що обслуговує телескоп. Його основним завданням є забезпечення зв'язку з головним сервером проекту. Він не є самостійним і його роботою керує головний модуль *scenter*.

Задачі, які виконує модуль *netd*:

- ✦ встановлення зв'язку з головним сервером проекту;
- ✦ посилення запиту на отримання розкладу спостережень на поточну ніч до головного сервера;
- ✦ отримання розкладу спостережень;
- ✦ формування та запис файлу з розкладом спостережень на жорсткий диск керуючого комп'ютера;
- ✦ передача повідомлення до головного модуля про місце знаходження файлу з розкладом спостережень;
- ✦ отримання від головного модуля технічної інформації та її передача і запис в базу даних;
- ✦ отримання від головного модуля інформації про завдання, яке в даний момент виконує телескоп та її передача і запис в базу даних (ця інформація буде відображатись в авторизованій частині сторінки проекту на вкладці «Статус»);

- ✦ автоматичне створення на *ftp*-сервері проекту директорії, в якій будуть зберігатися результати спостережень;
- ✦ отримання від головного модуля інформації щодо розміщення файлу спостереження та копіювання цього файлу у відповідну директорію на *ftp*-сервер проекту;
- ✦ отримання від головного модуля інформації щодо розміщення файлу опису серії спостережень (для телевізійного режиму) та копіювання цього файлу у відповідну директорію на *ftp*-сервер проекту;
- ✦ отримання від головного модуля інформації щодо розміщення файлу спостереження у телевізійному режимі стиснення, архівування та розбивання цього файлу на частини розміром до 5 МВ, копіювання отриманих файлів у відповідну директорію на *ftp*-сервер проекту;
- ✦ періодична перевірка зміни в розкладі спостережень, пов'язаної з терміновим виконанням нового завдання (*γ*-спалахи тощо); інформування головного модуля про термінову зміну в розкладі спостережень.

Модуль *netd* складається з двох програм: *ftp.exe* та *netd.exe*. Програма *ftp.exe* відповідає за передачу файлів на *ftp*-сервер проекту. Програма *netd.exe* виконує перерахунок вище завдання та керує роботою *ftp.exe*. Схема роботи модуля наведена на рис. 5.

ВИСНОВКИ

Можна впевнено говорити про створення прототипу телескопа-автомата, на основі якого буде виготовлено український телескоп-робот, котрий буде оснащений обладнанням, необхідним для виконання конкретних астрономічних завдань.

Під час дослідної експлуатації телескопа-автомата ведеться постійне вдосконалення програмного забезпечення та апаратної частини телескопа. Основним недоліком використаного монтування CGE, як показала практика, можна вважати його низьку точність наведення на спостережуваний об'єкт при максимальному навантаженні. Вона декларується на рівні 1,5 кутових мінут, але на практиці така



точність досягається не завжди. Наш досвід роботи з цим монтуванням показав, що багато астрономічних завдань вимагають точнішого стеження, від того, що досягається з ним на практиці. Тому надалі потрібно буде створити автоматичний гід з необхідною точністю стеження за об'єктом або замінити цю екваторіальну головку на точнішу. Можливим вирішенням цієї проблеми в сучасному варіанті комплектації телескопа могла б стати додаткова програма розпізнавання поля, на яке наведено телескоп, і коригування його положення, що суттєво ускладнить систему.

В Україні недавно було розроблено власне екваторіальне монтування WS240GT, яке за технічними характеристиками не поступається відомому американському монтуванню Paramount ME, і в нас є всі можливості для організації розробки та виробництва оптичних труб для малих телескопів. Вже давно у нас освоєно виробництво як ширококутових, так і інтерференційних світлофільтрів та пристроїв для них. Автори мають можливість створити повний комплекс програмного забезпечення для телескопа-автомата.

Таким чином, використавши окремі закордонні високотехнологічні комплектуючі, можна за декілька років виготовити телескопи-автомати з апертурами до 1 м, чим задовольнити потреби астрономів та всіх зацікавлених. Ще одним важливим етапом має стати створення вітчизняної приймальної апаратури на основі сучасних приймачів випромінювання.

Виконання проекту створення прототипу телескопа-робота стало можливим за фінансової підтримки Українського Науково-технологічного центру та НАН України.

Автори вдячні **В. Лапчуку** за користі поради та пропозиції при розробці блока фільтрів; **В. Івченко, В. Годуновій, І. Верлюк та Л. Козак**, які наповнювали необхідним матеріалом сторінки веб-порталу проекту «Українська мережа Інтернет-телескопів», що використовується як головний сервер автоматизованим Київським Інтернет-телескопом.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://www.astronews.ru/cgi-bin/newsn.cgi?g=2006&m=10&n=1284>.
2. *Christoph Winkler*. Scientific highlights from INTEGRAL // *New Astronomy Reviews*. – 2006. – V. 50. – P. 530–533.
3. *Gehrels N., Chincarini G., Giommi P., et al.* THE SWIFT GAMMA-RAY BURST MISSION // *The Astrophysical Journal*. – 2004. – V. 611. – P. 1005–1020.
4. *Mankiewicz L.* The smallest telescope detects the largest cosmic explosions // *Polish Academy of Science, Annual report*. – 2008. – P. 38–40.
5. *Steele I.A.* An object model of the Liverpool Telescope // *In Telescope Control Systems III, Proc SPIE, 3551*, H. Lewis ed., 343, 1998.
6. *Kleshchonok V.V., Romanyuk Ya.O., Luk'yanyk I.V., et al.* Program and hardware complex of the UNIT's telescope // *Comets, Asteroids, Meteors, Meteorites, Astroblems, Craters. Memorial International Conference. Programme and Book of Abstracts*. – September 28 – October 3, 2008. – Vinnytsia, Ukraine. – P. 76–77.
7. *Celestron*. CGE series. Instruction manual. 2003. – P. 75.
8. *Жуляев Б.Е., Романюк Я.О., Святогоров О.А.* Скоростной автоматический двухканальный фотометр // *Астроном. ж-л*. – 1992. – Т. 69, в. 4. – С. 895–900.
9. *Романюк Я.О., Святогоров О.А., Жуляев Б.Е. и др.* Разработка и внедрение системы точного времени для синхронной сети телескопов // *КФНТ, Приложение*. – 2003. – № 4. – С. 87–90.
10. <http://ascom-standards.org/>.
11. *Akerlof C.W., Kehoe R.L., McKay T.A., et al.* The ROTSE-III Robotic Telescope System. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 115: 132–140, 2003 January.
12. *Kleshchonok V., Luk'yanyk I., Reshetnyk V., Romanyuk Ya.* System of automatic exchange and data storage in Ukrainian Network of Internet Telescopes (UNIT) // *21st International CODATA Conference «Scientific information for Society – from Today to the Future»*. Abstracts. – October 5 – 8, 2008. – Kyiv, Ukraine. – P. 37–38.

*Я.О. Романюк, В.В. Клещонок, В.А. Данилевський,
В.М. Решетник, И.В. Лукьяник, О.О. Святогоров*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КИЕВСКИЙ ИНТЕРНЕТ-ТЕЛЕСКОП

Описаны состав, конструкция и функциональные возможности автоматизированного аппаратного комплекса для астрономических наблюдений с использованием Интернета. Основными составляющими комплекса есть телескоп Celestron 1400XTL, ПЗЗ-камера Rolera-MGi и GPS-приемник Acutime 2000. Комплекс оснащен блоком светофильтров широкополосной системы Джонсона UBVRI оригинальной авторской конструкции. Созданный нами комплекс программ для управления каждым блоком и процедурой наблюдений в целом дает возможность по-





лучать изображение наблюдаемых светил или выполнять фотометрические наблюдения со скоростью до 30 полных кадров за секунду, хронометрированных в шкале всемирного координированного времени (UTC) с погрешностью, не больше 1 мсек.

Ключевые слова: автоматизированный телескоп, астрономические ПЗС-наблюдения, программы управления, обучение астрономии.

*Ya.O. Romanyuk, V.V. Klesconok, V.O. Danylevsky,
V.M. Reshetnyk, I.V. Lyk'yanyk, O.O. Svyatogorov*

AUTOMATIC KYIV INTERNET TELESCOPE

Structure, design and functional resources of the hardware system for astronomical observations using Internet

network are described. Telescope Celestron 1400XTL, CCD camera Rolera-MGi and GPS-receiver Acutime 2000 are basic components of the complex. System is equipped with originally designed light filter set of broadband Jonson system UBVRI. Developed singular software for automatic control of every module and the whole observational procedure makes it possible to obtain images of the observational heavenly bodies or to perform photometric observations with up to 30 frames per second speed, within the UTC scale and an accuracy better as 1 ms.

Key words: automatic telescope, astronomical CCD observations, control software, astronomical education.

Надійшла до редакції 01.09.09

