

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ WEB-КАМЕРИ ДЛЯ МІКРОСКОПІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглядаються особливості використання Web-камери для документування результатів досліджень та для демонстрації мікроскопічних об'єктів і препаратів у навчальному процесі.

Ключові слова: Web-камера, мікроскопічні дослідження, демонстрація мікроскопічних об'єктів і препаратів.

Рассматриваются особенности Web-камеры для документирования результатов исследований и для демонстрации микроскопических объектов и препаратов в учебном процессе.

Ключевые слова: Web-камеры, микроскопические исследования, демонстрация микроскопических объектов и препаратов.

The experience on Web-camera applications is considered in the branch of microscopy. This applications usefulness for purpose of documentation and lecture-demonstration are discussed.

Keywords: Web-camera applications, branch of microscopy, documentation, lecture-demonstration.

Сучасні цифрові технології візуалізації активно впроваджуються в техніку науково-технічних і лабораторних досліджень. Крім того, впровадження цифрових технологій візуалізації в навчальний процес дозволяє суттєво підвищити ефективність сприйняття демонстраційного матеріалу великою аудиторією під час навчальних лекцій. Цими обставинами і обумовлений інтерес до методів цифрової відео-реєстрації при проведенні досліджень і лекційних демонстрацій за допомогою мікроскопа.

Зокрема:

- При вивченні біологічних і технічних об'єктів виникає необхідність документування результатів мікроскопічних досліджень. Традиційні методи документування з використанням аналогового фотохімічного процесу активно витісняються сучасними цифровими технологіями.
- Під час демонстрації результатів і техніки виконання мікроскопічних досліджень у навчальній аудиторії виникає необхідність візуалізації матеріалу, який вивчається. Традиційно це завдання розв'язувалося шляхом демонстрації заздалегідь підготовлених статичних фотографій і відеозаписів, які, проте, істотно обмежують можливості лектора.

Активному впровадженню сучасних цифрових технологій візуалізації зображення в повсякденну практику перешкоджає висока вартість відповідних технічних засобів. Тому була виконана спроба пошуку альтернативних, прийнятних за вартістю, засобів візуалізації зображення в лабораторних і навчальних умовах. Нижче наводяться результати дослідження можливостей і особливостей сполучення досить розповсюджених недорогих цифрових Web-камер з лабораторними мікроскопами для біологічних і металографічних досліджень.

1. Короткий огляд технічних засобів візуалізації зображення в мікроскопічних дослідженнях

До цього часу накопичений значний арсенал професійних комерційних засобів для реєстрації зображень при мікроскопічних дослідженнях. Короткий огляд технічних параметрів і вартості цих засобів наведений у роботі [1]. Ці засоби реєстрації можна умовно поділити на декілька категорій:

- Спеціалізовані цифрові мікроскопи з можливістю спостереження об'єкта дослідження на електронному дисплеї і можливістю автоматичного управління фокусуванням і переміщення предметного столика. Це найбільш досконалі, але і найдорожчі пристрої.
- Відеокамери-адаптери, які під'єднуються як окуляр до звичайного мікроскопа, і які підключаються до універсальної ПЕОМ зі встановленим спеціальним програмним забезпеченням. Для сполучення камери з ПЕОМ найчастіше використовується універсальний USB-інтерфейс. Це найпривабливіший за вартістю варіант перетворення мікроскопа на сучасний цифровий засіб.
- Трохи рідше в мікроскопії застосовують відеокамери з аналоговим TV-виходом. Такі системи частіше використовуються в інтроскопії [2; 3], де вимоги до роздільної здатності зображення нижче. В інтроскопії роздільна здатність визначається роздільною здатністю оптоволоконної системи, яка, як правило, є значно нижчою за роздільну здатність відеокамери. Для підключення відеокамери з аналоговим виходом до комп'ютера потрібен додатковий пристрій – так званий пристрій «захоплення відео», який підвищує вартість системи, порівняно з системою з USB-інтерфейсом.
- Універсальні професійні цифрові фотокамери з окулярним адаптером і спеціалізованим програмним забезпеченням для дистанційного управління камерою з комп'ютера. На жаль, виготівники цифрових фотоапаратів навмисно виключають можливість дистанційного керування з комп'ютера в моделях нижнього цінового діапазону. Тому вартість такого рішення достатньо висока і може значно перевищувати вартість рішення із спеціалізованим USB-відео-адаптером.

Вартість спеціалізованої професійної цифрової камери-адаптера для мікроскопа може складати від 15 % до 300 % вартості мікроскопа залежно від параметрів камери. Наприклад, нижче в таблиці наведені технічні параметри і вартість (у цінах на квітень 2009 року) ряду найбільш дешевих моделей окулярних USB-адаптерів для мікроскопа (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри окулярних USB-адаптерів

Модель	Роздільна здатність	Ціна
DCM35	640*480	140 \$
Celestron420	640*480	150\$
130UMD	1280*1024	180 \$
DCM130	1280*1024	190 \$
KONUS	1280*1024	250 \$

Окрім професійних систем, на ринку представлені ігрові набори на базі простих мікроскопів з USB-камерою, вартістю близько 120 \$. Надзвичайно низька якість однолінзової оптичної системи і низька роздільна здатність камери (320*240) роблять їх малоприслужними для лабораторних і навчальних цілей.

Разом з тим, останніми роками ринок наповнився відносно недорогими, універсальними Web-камерами для проведення Web-конференцій і презентацій. З'явилися Web-камери з роздільною здатністю 2 Мріх (1600*1200) і більше. Вартість таких Web-камер у 4-5 разів нижча за вартість окулярного USB-адаптера мікроскопа аналогічної роздільної здатності. У зв'язку з цим виникає природне бажання використовувати звичайну Web-камеру як дешевшу альтернативу адаптера для мікроскопа. Нижче розглядаються особливості використання Web-камери як USB-адаптера для мікроскопа.

2. Особливості оптичної схеми сполучення Web-камери з мікроскопом

На рис. 1 показана можлива картина ходу променів і поля зору Web-камери, встановленої на окуляр мікроскопа.

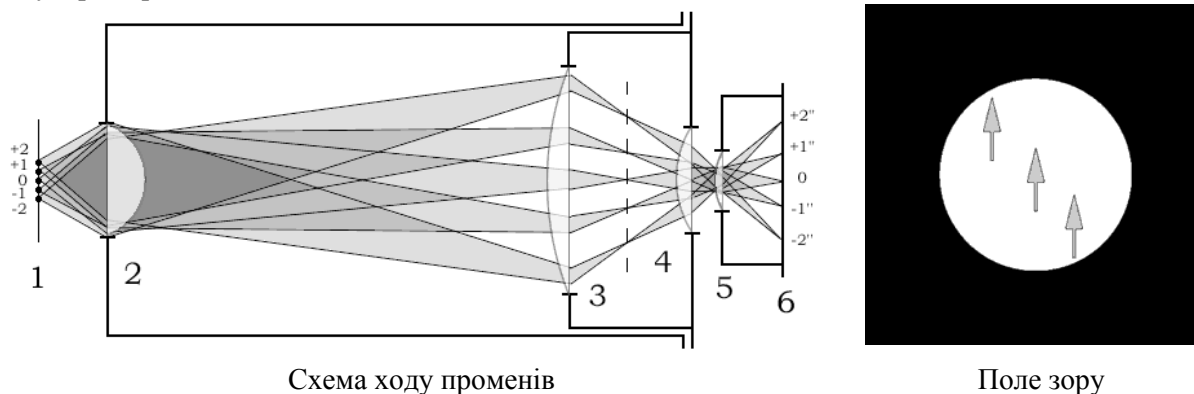


Схема ходу променів

Поле зору

**Рис. 1. Схема ходу променів і поля зору камери
Випадок невідповідності кутів полів зору**

На рисунку позначені: 1 – об'єкт дослідження; 2 – об'єктив мікроскопа; 3-4 – окуляр мікроскопа (3 – колективна, 4 – окулярна лінзи); 5 – об'єктив камери; 6 – сенсор камери.

На рисунку представлений типовий випадок підключення Web-камери безпосередньо до окуляра мікроскопа. При цьому корисне поле зображення займає незначну центральну частину поля зору камери. Більшу частину поля камери займає чорний фон. Автоматика камери намагається вирівняти середню яскравість зображення, при цьому яскравість інформативної центральної ділянки зображення стає надмірно високою, і в центральній частині зникають деталі зображення. На жаль, це найтипівіша проблема сполучення камери з мікроскопом. Проблема породжується невідповідністю кутів полів зору окуляра мікроскопа й об'єктива камери. Типове поле зору широко розповсюдженого окуляра мікроскопа, як правило, складає біля 20° [4]. А поле зору звичайної Web-камери значно ширше – $35-50^\circ$ (див. розд. 3).

Для усунення цієї проблеми можна використовувати або ширококутний окуляр мікроскопа, або інший, більш довгофокусний об'єктив камери. Ширококутні окуляри мікроскопів малопоширені та мають дуже високу вартість, тому цей варіант узгодження полів зору неприйнятний. Більш привабливим є варіант заміни об'єктива Web-камери. На щастя, об'єктиви більшості недорогих Web-камер мають посадочну різьбу, сумісну з різьбою розповсюджених відеокamer, які використовуються в системах охорони. Номенклатура об'єктивів для камер відео-спостереження дозволяє достатньо легко дібрати об'єктив з відповідною фокусною відстанню. Вартість такого об'єктива з достатньо високою якістю оптики складає близько 10 \$.

На рис. 2 наведено схему ходу променів і поля зору в узгодженій системі.

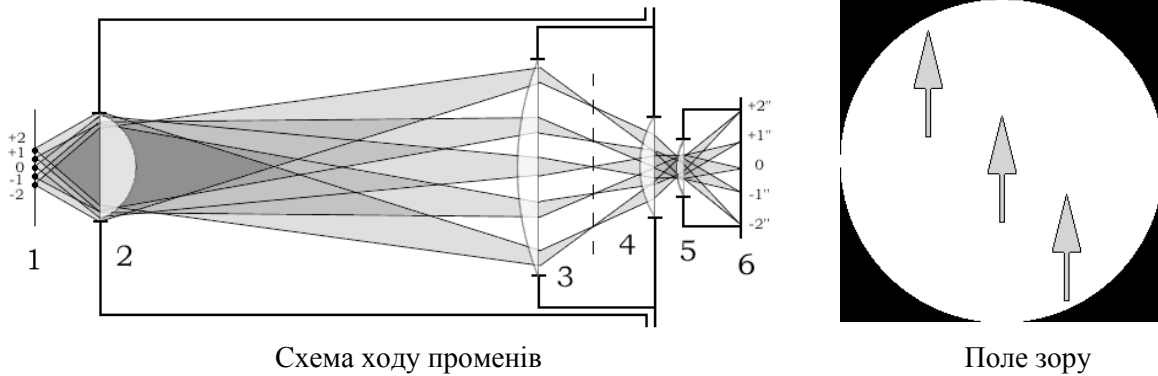


Схема ходу променів

Поле зору

**Рис. 2. Схема ходу променів і поля зору камери
Випадок узгоджених кутів поля зору**

Для усунення темних кутів у полі зору камери необхідно ще збільшити фокусну відстань об'єктива. При цьому буде обрізаною частина корисного поля зору мікроскопа, з чим варто змиритися.

Для більшості досліджених Web-камер оптимальні значення фокусної відстані об'єктива знаходяться в діапазоні 6-8 мм.

Окрім проблеми невідповідності кутів зору, існує проблема невідповідності положення вихідної зіниці окуляра мікроскопа і вхідної зіниці об'єктива камери. Схема на рис. 3 ілюструє цю проблему і характер її прояву в полі зору камери.

Проблема полягає в тому, що окуляр концентрує максимальну кількість світла від об'єкта на визначеній відстані від окулярної лінзи. У випадку, коли об'єктив не потрапляє в місце концентрації світла (не потрапляє в зіницю окуляра), промені від периферійних точок об'єкта частково не потрапляють в камеру. На рис. 2 об'єктив камери потрапляє точно в зіницю окуляра, а на рис. 3 – ні. Відповідно, на рис. 2 все поле зображення освітлене рівномірно, а на рис. 3 яскравість периферійних ділянок помітно ослаблюється. Ця проблема виникає і при фотографуванні через окуляр мікроскопа звичайним або цифровим фотоапаратом із заглибленим у тіло камери об'єктивом.

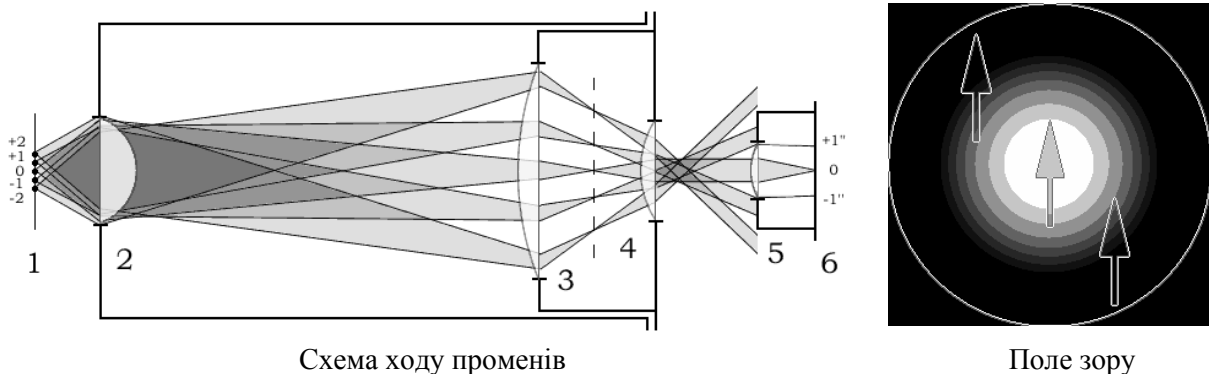


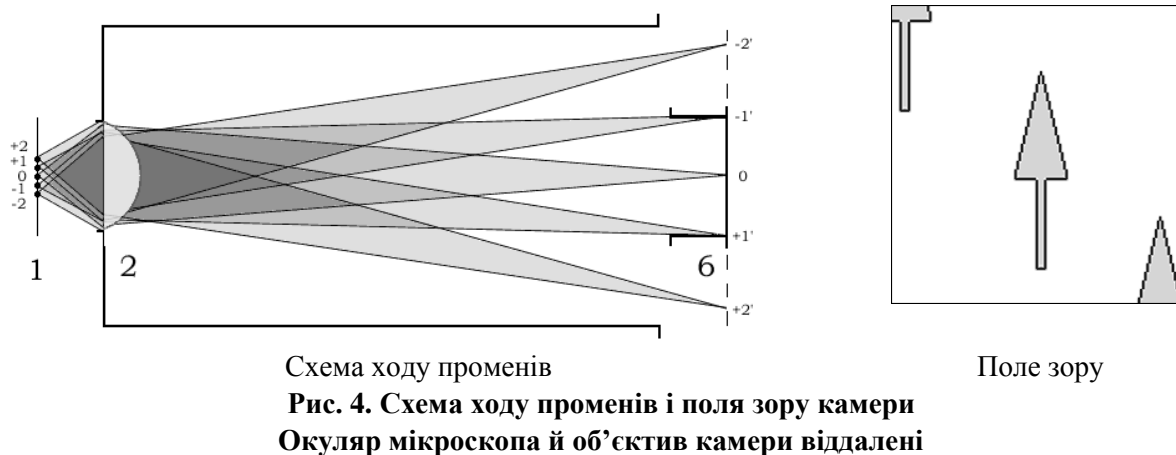
Схема ходу променів

Поле зору

**Рис. 3. Схема ходу променів і поля зору камери
Випадок невідповідності зіниць**

Джерелом проблеми є захисне або декоративне обрамлення об'єктива камери, яке перешкоджає необхідному зближенню об'єктива камери й окуляра мікроскопа. Для усунення цієї проблеми найчастіше необхідно відмовитися від початкового корпусу камери і розмістити елементи камери в іншому, більш відповідному корпусі.

Дуже простий і, здавалося б, ефективний спосіб усунення проблем узгодження точок зору і положення зіниць полягає в одночасному віддаленні окуляра мікроскопа й об'єктива камери. При цьому зображення проектується безпосередньо на матрицю сенсора камери, а як об'єктив камери працює об'єктив мікроскопа. Відповідна схема приведена на рис. 4.



Здавалося б, у цьому випадку можна очікувати найвищої якості зображення за рахунок усунення втрат і спотворень в окулярі мікроскопа і в об'єктиві камери, але результати експериментальної перевірки дають інший, відмінний від очікуваного, результат. Як виявилось, це пов'язано з невідповідністю геометричних розмірів зображення у фокальній площині об'єктива і розмірів матриці сенсора камери.

Дійсно, діаметр поля зображення у фокальній площині об'єктива мікроскопа складає біля 2 см, а ширина матриці сенсора 2-4 мм (див. розд. 3). Це призводить до додаткового збільшення системи мікроскоп – камера в 5-10 разів. При мінімальному збільшенні мікроскопа 56X (об'єктив 8X, окуляр 7X) еквівалентне збільшення системи зростає до 250-500X. Таке збільшення занадто велике для ряду практичних застосувань, зокрема: для дослідження деталей і елементів технічних конструкцій; для металографічних досліджень поверхні металів; для досліджень великомасштабної структури біологічних об'єктів. Для зменшення збільшення необхідно або використовувати об'єктиви меншої кратності, а такі об'єктиви малодоступні, або зменшити довжину оптичної системи мікроскопа, а це, якщо і можливо, то вносить неузгодження в юстирування системи.

З додатковим збільшенням можна було б миритися, якби воно не супроводжувалося зменшенням реальної роздільної здатності системи, тобто при більшому збільшенні деталізація зображення не збільшується. Таке зменшення роздільної здатності було виявлене в результаті експериментальних досліджень. Найбільш природне пояснення цього ефекту полягає в тому, що оптична система мікроскопа оптимізована за параметрами ціна – якість під конкретне збільшення кожного конкретного об'єктива і не має надмірності за якістю (роздільною здатністю). Шляхом порівняння візуальної якості зображення, яке спостерігається оком у мікроскопі, з фотографіями аналогічних зображень була отримана неточна оцінка інформаційної місткості зображення в мікроскопі для ока при збільшенні 56X. За цією оцінкою інформаційна місткість всього поля зображення в мікроскопі складає біля 5 Мріх (еквівалентна роздільна здатність 2560*1920). При виділенні невеликого фрагмента зі всього поля, пропорційно площі фрагмента, зменшується інформаційна місткість цього фрагмента. Таким чином, фрагмент шириною в 1/5 початкового зображення має інформаційну місткість в 1/25 початкової місткості, або 0.5 Мріх (еквівалентна роздільна здатність 800*600).

Таким чином, проста схема – мікроскоп без окуляра і камера без об'єктива має значну кількість недоліків, які позбавляють її можливості практичного застосування, за винятком рідкісних випадків.

Окрім проаналізованих вище схем сполучення Web-камери з мікроскопом були розглянуті і перевірені й інші схеми, зокрема: з віддаленням окремих оптичних елементів окуляра й об'єктива; додаванням оптичних елементів між мікроскопом і камерою; встановленням оптичного елемента, який виконує одночасно функції окуляра мікроскопа і об'єктива камери; зміною довжини тубуса мікроскопа. Серед усіх варіантів прийнятна якість зображення була отримана тільки в схемі – система мікроскоп з окуляром і камера з об'єктивом.

Основні результати теоретичного і практичного опрацювання різних схем сполучення мікроскопа з Web-камерою можна підсумувати у вигляді таких рекомендацій:

1. Найвища інформативність і якість зображення в системі мікроскоп і Web-камера можуть бути отримані при установці камери з об'єктивом на окуляр мікроскопа.
2. Для узгодження камери з мікроскопом по куту зору доцільно замінювати об'єктив Web-камери на спеціально підібраний за фокусною відстанню об'єктив телекамери.
3. Для узгодження положення зіниць окуляра мікроскопа й об'єктива камери доцільно помістити елементи Web-камери у спеціальний корпус, який дозволяє його просте встановлення на тубус мікроскопа.

3. Технічні параметри деяких досліджених Web-камер

Для перевірки придатності різних камер для використання спільно з мікроскопом були досліджені параметри і внутрішній устрій ряду недорогих Web-камер.

На рис. 5 показаний приклад внутрішнього устрою Web-камери Logitech з віддаленим об'єктивом. На платі камери встановлений сенсор і гніздо кріплення об'єктива. Гніздо об'єктива має різьбу. У центрі гнізда об'єктива видно фрагмент сенсора фоточутливої матриці.

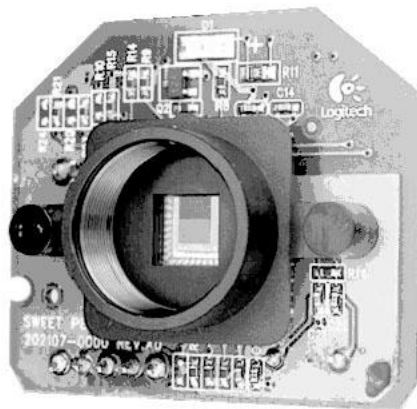


Рис. 5. Устрій Web-камери

На рис. 6 показана мікросхема матриці фотосенсора Web-камери Tekram.

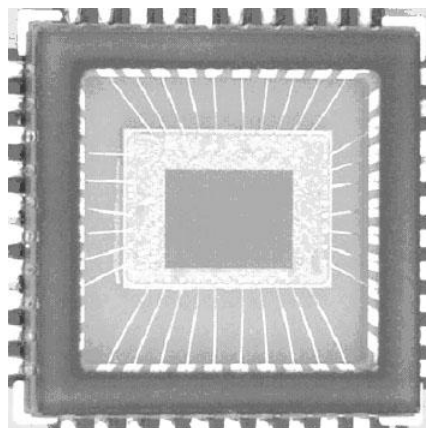


Рис. 6. Мікросхема фотосенсора

Мікросхема має розмір біля 10 мм*10 мм. Матриця фотосенсора займає невелику центральну область розмірами 3,4 мм*2,6 мм.

Для визначення щільності пікселів матриці фотосенсора виконувалося фотографування за допомогою експериментальної системи – мікроскоп і Web-камера. Використовувався мікроскоп з приставкою для освітлення у відбитому світлі. Приклад мікрофотографії фрагмента матриці Web-камери Tekram наведений на рис. 7.

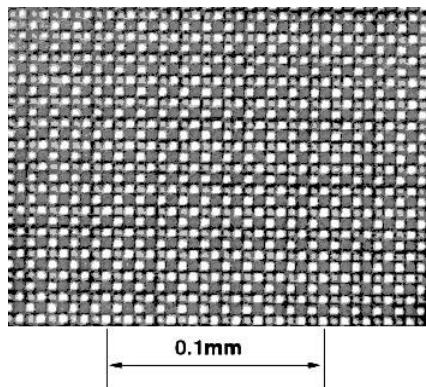


Рис. 7. Мікрофотографія матриці сенсора

На фотографії видно групи пікселів, які чергуються з кольоровими світлофільтрами. Ці групи впорядковані по рядках таким чином: парні рядки – BGBGBG...; непарні рядки – GRGRGR... Тут: R – червоний, G – зелений, B – блакитний. Зелені пікселі займають 50 % площі матриці, а сині і зелені – по 25 %.


Прив'язка до абсолютних розмірів об'єктів здійснювалася шляхом фотографування еталонної мікрометричної шкали, яка має відстань 0,01 мм.

Результати досліджень пристрою і технічних параметрів Web-камер зведені в таблицю (табл. 2), у якій вказані такі параметри:








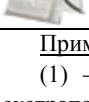
- Торговельна назва моделі. Моделі, що не мають торговельної назви, позначені Noname з вказівкою моделі процесора.
- Роздільна здатність матриці сенсора. Для деяких камер максимальна роздільна здатність залежить від типу USB-інтерфейсу. У такому разі роздільна здатність для USB-2, як правило, вища, ніж для USB-1 – індекси ⁽²⁾ і ⁽¹⁾. Для деяких камер фактична роздільна здатність матриці не відповідає роздільній здатності, заявленій виготівником. Фіктивне збільшення роздільної здатності досягається програмною екстраполяцією. У цьому випадку воно помічене індексом ⁽³⁾, а реальне значення наводиться без індексу.
- Ширина фоточутливої області сенсора матриці та щільність пікселів на одиницю ширини матриці. Щільність пікселів і розміри матриці дозволяють обчислити реальну роздільну здатність камери. Саме оцінка щільності пікселів матриці дозволила пояснити низьку якість зображення ряду камер. Ці камери мають індекс ⁽³⁾ у графі роздільна здатність.
- Фокусна відстань об'єктива. Фокусна відстань – f , у сукупності з шириною матриці – w характеризує кутову ширину – φ поля зору. Фокусна відстань обчислювалася за формулою: $\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{w/2}{f}$.
- Ширина кута зору камери по горизонталі. Обчислювалася за шириною сцени зображення – W і відстанню до об'єктної сцени – L : $\operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) = \frac{W/2}{L}$.

Таблиця 2

Технічні параметри Web-камер

Модель	Матриця сенсора		Об'єктив, фокусна відстань	Кут зору по горизонталі
	Роздільна здатність	Ширина, щільність		
 Logitech QuickCam Express old	640*480(3) 352*288	2,1 mm 180 pix/mm	3,2 mm	36°

Закінчення табл. 2

	Logitech QuickCam Express new	640*480(3) 352*288	2,1 mm 180 pix/mm	3,2 mm	36 °
	Tekram TM-505	640*480	3,4 mm 200 pix/mm	3,6 mm	50 °
	Genius Look 1320	1280*1024(2) 800*600(1)	3,7 mm 360 pix/mm	4,5 mm	45 °
	Sven GD-980 Web Pro	1280*1024(2) 800*600(1)	4,1 mm 320 pix/mm	4,6 mm	48 °
	Noname SN9C201	1280*960(3) 640*480	3,6 mm 180 pix/mm	3,8 mm	51 °
	Noname SN9C102	640*480	3,6 mm 180 pix/mm	3,8 mm	51 °
	Noname ZS211	1280*960(3) 640*480	2,8 mm 240 pix/mm	3,8 mm	40 °
	Vmicro 301	640*480	3,4 mm 200 pix/mm	3,6 mm	50 °

Примітки до таблиці:

(1) – роздільна здатність у режимі USB-1. (2) – роздільна здатність у режимі USB-2. (3) – програмна екстраполяція.

У процесі досліджень виявилася надзвичайно неприємна обставина – невірно вказана роздільна здатність матриці виготівником. Як правило, заявлена роздільна здатність завищується відповідно до реального значення, і це можна виявити тільки шляхом вимірювань розмірів і щільності пікселів матриці. Не вдаючись до вимірювань, факт завищення роздільної здатності можна тільки припустити за непрямими ознаками, а саме, за низькою якістю зображення.

Крім того, у результаті тривалих експериментів було виявлено, що Web-камери, які працюють у режимі USB-2, примхливіші і більш схильні до несподіваних «зависань» з втратою управління і передачі зображення. Найбільш надійними є камери, які не підтримують режим USB-2 і працюють тільки в режимі USB-1.

Все різноманіття програмних оболонок для роботи з Web-камерами може бути зведене до двох типів: ті, які підтримують і не підтримують роботу з USB-2. Оболонки для камер з USB-2 більш громіздкі та містять низку зайвих функцій. На жаль, всі програмні оболонки не дуже зручні при документуванні зображень.

Найбільш висока якість і роздільна здатність була отримана з Web-камерою «Genius Look 1320». Ця камера має найбільш якісну матрицю. Деяко гірші результати має камера «Sven GD-980 Web Pro».

Найбільш стійка робота була отримана з камерами «Tekram TM-505» і «Vmicro 301». Обидві камери мають роздільну здатність 640*480 і використовують процесор ZC301P.

Найнижчу якість зображення і нестійку роботу продемонстрували камери з програмною екстраполяцією високої роздільної здатності «Noname SN9C201» і «Noname ZS211».

На жаль, результати досліджень Web-камер не дозволяють сформулювати яких-небудь загальних рекомендацій з вибору камери для підключення до мікроскопа. Єдине, що можна

рекомендувати – не довіряти заявам виготівника, і перевіряти працездатність камери в реальних умовах.

Крім того, для роботи з Web-камерами в мікроскопії доцільно використовувати спеціальні програми, які спираються на стандартний набір інтерфейсних функцій камери, але з індивідуальним інтерфейсом користувача під конкретне завдання. Такі можливості, наприклад, надає інструментальний пакет LabView [5], у якому, починаючи з версії 7.2, містяться засоби обробки зображень і роботи інтерфейсу з Web-камерами.

4. Приклади результатів, отриманих за допомогою мікроскопа та Web-камери

На рис. 8 зображено зразок мікрофотографії шліфа сталі, отриманого в експериментальному комплексі мікроскоп і Web-камера. Використовувався біологічний мікроскоп (об'єктив 8X, окуляр 7X) з приставкою для спостереження у відбитому світлі. Для реєстрації використовувалася Web-камера «Genius Look 1320» з об'єктивом 8 мм. Роздільна здатність камери 1.3 Мріх (1280*1024).

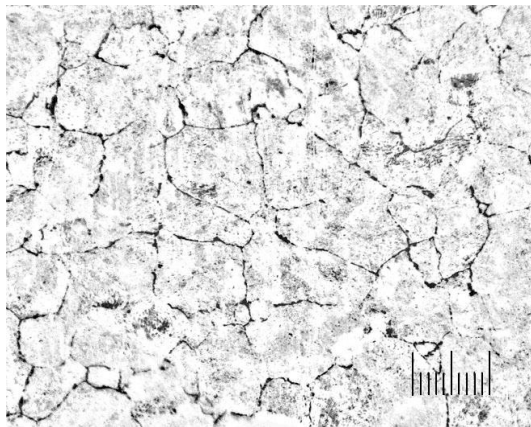


Рис. 8. Мікрофотографія шліфа сталі (негатив)

У правому нижньому кутку на фотографію шліфа накладено зображення еталонної шкали з відстанню між діленнями 0,01 мм. Для збільшення наочності зображення піддане цифровій обробці (використаний високочастотний фільтр і інверсія яскравості – негатив).

Слід зазначити, що при роздільній здатності камери 1,3 Мріх виявляється сферичність поля зору мікроскопа. Тому умови оптимального фокусування в центрі і на периферії зображення не співпадають. Для усунення цього дефекту слід використовувати більш довершену оптичну систему замість комбінації окуляр мікроскопа – об'єктив камери.

На рис. 9 зображена мікрофотографія мазка крові в світлі, що проходить. Використовувався біологічний мікроскоп (об'єктив 20X, без окуляра) і Web-камера «Tekram TM-505» без об'єктива. Роздільна здатність камери 0,3 Мріх (640*480).

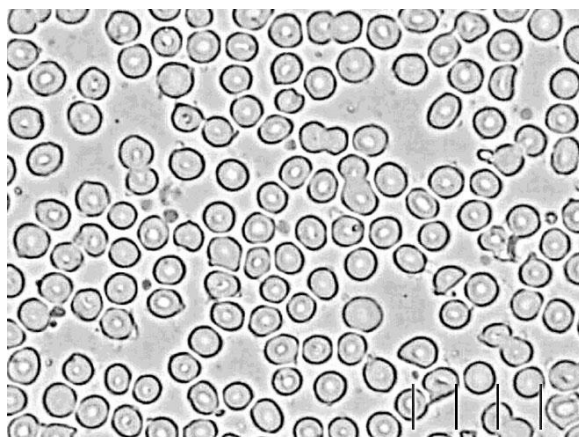


Рис. 9. Мікрофотографія мазка крові

У правому нижньому кутку на фотографію мазка накладено зображення еталонної шкали з відстанню між діленнями 0,01 мм. Для збільшення наочності зображення піддане цифровій обробці (використаний високочастотний фільтр).

Додаткове збільшення в системі без окуляра мікроскопа й об'єктива камери складає біля 5X. Для отримання такого збільшення в стандартній конфігурації мікроскопа з окуляром 7X був би потрібен об'єktiv із збільшенням 100X. На жаль, фотографія в системі без окуляра мікроскопа і об'єктива камери має дуже низьку роздільну здатність. У цьому можна перекопатися, порівнявши мінімальні розміри деталей на рис. 8 і рис. 9. При заміні камери з 0,3 Мрiх на камеру з 1,3 Мрiх реальна роздільна здатність, яка визначається найдрібнішими деталями зображення, не збільшується. Тому використовувати таку конфігурацію для Web-камер з роздільною здатністю, вищою за 0,3 Мрiх, немає сенсу.

5. Досвід використання мікроскопа з Web-камерою для навчальних демонстрацій

Мікроскоп, оснащений окулярним адаптером з USB-камери, зручно використовувати для демонстрації мікроскопічних об'єктів і препаратів під час лекцій і практичних занять. Цифрова камера дозволяє показати об'єкт дослідження одночасно всій аудиторії. Для невеликої аудиторії достатньо не дуже великого екрану дисплея з діагоналлю 17". Для великої аудиторії необхідний великий плазмовий дисплей або проектор.

Крім того, слід звернути увагу на джерело освітлення в мікроскопі, оскільки використання природних джерел світла і дзеркал для підсвічування об'єкта в умовах лекційної аудиторії найчастіше неможливе. Для освітлення об'єктів як при світлі, що проходить, так і при відбитому світлі, були успішно використані білі світлодіоди потужністю біля 50 mW з напругою живлення біля 3,5 V. Як джерело живлення для світлодіода використовувався невеликий зарядний пристрій мобільного телефону з струмообмежуючим резистором. Одного світлодіода виявилось достатньо для створення необхідного рівня освітлення. Використання світлодіодів для підсвічування створює додаткові зручності для мікроскопічних досліджень, а саме:

- Світлодіод є практично ідеальним, точковим джерелом світла з високим коефіцієнтом корисної дії. В освітлювачах з лампами розжарювання велика частина енергії перетворюється на тепло, і, крім того, значна частка світла втрачається при формуванні точкового джерела.
- Відсутній нагрів освітлювача, відповідно, зникає ризик пошкодити препарат або отримати опік.
- Дуже легкий і компактний блок живлення освітлювача. За необхідності, замість блоку живлення можна використовувати три пальчикових батареї типорозміру AA або AAA.

Як показав досвід, використання камери з високою роздільною здатністю під час лекційних демонстрацій не має переваг у порівнянні з камерою роздільної здатності 0,3 Мрiх (640*480). Виграш у роздільній здатності нівелюється не завжди сприятливими умовами спостереження в аудиторії і вищими вимогами до фокусування мікроскопа.

Слід зазначити, що при лекційній демонстрації найефектніше виглядають забарвлені препарати біологічних об'єктів. Звичайні плакати і невеликі фотографії не здатні передати багатство фарб цих препаратів.

6. Висновки і рекомендації по застосуванню Web-камер для мікроскопічних досліджень

Отриманий досвід по застосуванню Web-камер для мікроскопічних досліджень можна узагальнити у вигляді таких висновків і рекомендацій:

1. Web-камеру можна використовувати як недорогу альтернативу спеціалізованим окулярним USB-адаптерам мікроскопа в навчальному процесі і для лекційних демонстрацій.

2. Для використання Web-камери в якості окулярного адаптера необхідно замінити її об'єктив і корпус. Як об'єктив Web-камери можна використовувати об'єктив телевізійної камери системи відеоспостережень.
3. Для отримання дуже великих збільшень можна використовувати систему без окуляра мікроскопа і без об'єктива камери. Але така система має ряд недоліків. А саме: неможливо отримати невеликі збільшення для загальних оглядових планів; така система має низьку роздільну здатність до 0,3 Мріх.
4. Для лекційних демонстрацій з використанням мікроскопа цілком достатньо Web-камери з відносно невеликою роздільною здатністю 0,3-1,3 Мріх.
5. Для професійних досліджень, які вимагають високої роздільної здатності (більше ніж 1,3 Мріх) необхідно використовувати спеціалізовані окулярні адаптери із спеціально виготовленою оптикою. Оскільки саме оптика, а не роздільна здатність матриці камери, є чинником, що обмежує роздільну здатність системи в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Медовый В.С. и др. Состав оборудования и системная платформа комплексов автоматизированной микроскопии // Медицинская техника. – 2007. – № 2. – С. 29-36.
2. Якименко Ю.І., Петренко С.Ф., Порєв В.А. Телевізійна мікроскопія // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2004. – № 2(8). – С. 52-57.
3. Кузьмин-Крутецкий М.И., Мазуров А.И., Эликсон М.Б. Видеосистемы для эндоскопии // Медицинская техника. – 2003. – № 4. – С. 27-30.
4. Кругер М.Я. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 760 с.
5. Визильтер Ю.В. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabView IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Рецензенти: д.т.н., професор Каіров О.С.
к.т.н., доцент Дорош В.С.

© Кубов В.І., Мещанінов О.П., 2009

Стаття надійшла до редколегії 14.05.09