

УДК 528.71,4:69

д.т.н., доцент Катусков В.О.,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБЛЕННЯ НЕМЕТРИЧНИХ ЗНІМКІВ ДЛЯ СКЛАДАННЯ ФРОНТАЛЬНИХ ВЕКТОРНИХ ПЛАНІВ 1:50 МАСШТАБУ

Розглянута технологія створення крупномасштабної фронтальної інформації, для будівельної реставрації, проектуванні у машинобудуванні, інших галузях виробництва. З традиційної технології наземного знімання виключений процес встановлення штативів, для закріплення знімального обладнання. Знімання виконується звичайними фотографічними, або цифровими камерами з "рук". Комп'ютерне оброблення виконується на цифровій фотограмметричній станції ДЕЛЬТА на попередньо відкаліброваними (ректифікованими) знімками. Це дозволило отримати просторову точність моделі об'єкта на рівні точності прецизійних фотограмметричних камер.

Сучасні методи збирання цифрової інформації дозволяють отримати просторову модель місцевості при аерокосмічному і наземному зніманні. Існують різні методи збирання які поділяються на: кадрові, сканерні, лазерні.

Векторні плани є результатом процесів аеро і наземного знімання та оброблення отриманого знімання на сучасному комп'ютерному обладнанні – цифрових фотограмметричних станціях.

Методи які зараз використовують на виробництві, для складання топографічної інформації (планів, карт), задовольняють умовам складання великих масштабів починаючи з масштабу 1:500.

Но векторні великомасштабні плани, наприклад в реставраційних роботах пам'ятників історії і архітектури, при укладанні комунікацій (трубопроводів) на естакадах, монтажу обладнання в суднобудівництві (кубриках, трюмах) мають масштаби 1:50, або треба складати матеріал який в десять разів перевищує за точністю топографічну продукцію. У кожному випадку потрібно складати фронтальну інформацію, яка відрізняється від планової тим що розташована не в горизонтальній, а в прямокутній площині. Це є актуальною задачею, яку можна виконати враховуючи специфіку отримання крупномасштабної фронтально-векторної інформації.

В спільному напрямку сумарний процес отримання великомасштабних фронтальних планів можна представити послідовністю менших, але самостійних процесів:

1. Процес польового знімання;

2. Процес камерального оброблення отриманої інформації на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС).

Відомо що, аеро і тим паче космічне знімання не дозволяють отримати векторні плани точністю 1:50 масштабу. Тому в цьому напрямленні використовуються наземні методи знімання: фототеодолітний з використанням фототеодолітної технології, фотографічний з використанням фотоплівочних чи цифрових камер, лазерний з використанням наземних лазерів, або технологією "хмар точок".

Процес наземного знімання для отримання векторних великомасштабних планів суттєво відрізняється від аналогічного процесу в аерокосмічному зніманні, де використовуються метричні знімальні системи з гіроплатформами, які утримують камеру в горизонтальному положенні, а знімання виконується з рухомого носія. При наземному зніманні, з використанням фототеодолітів чи сканерних лазерних систем, знімальна апаратура встановлюється на штативи з яких і проводиться знімання. Перелічені знімальні системи та апаратура оснащені спеціально розробленими, відкоректованими ортоскопічними, чи метричними об'єктивами, які створюють безпомилкову геометричну картину дослідного об'єкта.

В наведеному випадку польове знімання виконується звичайною плівковою чи цифровою камерою з неметричними об'єктивами, без використання штативів та гіроплатформ, без геодезичних орієнтирних приладів за технологією [1] яка розроблена на кафедрі ГіФ Київського національного університету будівництва і архітектури. Цифрові знімки камери Sony, з прийнятим під час знімання фокусом у 17 мм, отримані в мультиспектральному (кольоровому - RGB) режимі, для створення спільного абрису панорамного зображення. При обробленні знятого матеріала перевага з двох методів знімання була надана широкоформатній фотоплівочній камері з об'єктивом маючим фокусну відстань 45 мм, де знімки отримані в чорно-білому режимі. Растрові знімки получені скануванням неметричних фотонегативів які зняти камерою ІФ0606, на базі фотоапарата "КІЇВ6 TTL", з розміром знімка 6 x 6 см.

Сканування ч/б негативів проведено на фотограмметричній сканерній системі PHOTO SCAN (виробництво - ГЕОСИСТЕМА, м. Вінниця) з роздільною здатністю 16 мкм. При використанні цифрової камери сканування не проводилося, а роздільна здатність задана в процесі знімання, з розміром пікселя у 5 мкм, що в три рази менше до сканування фотоплівки на PHOTO SCAN.

Ректифікація "сирих" растрових знімків за радіальну дисторсію виконана в науково-експериментальній роботі по складанню векторної інформації 1:50

масштабу для двоповерхового будинку, побудованого до 30 року минулого століття на фундаментах 18 століття.

На мал. 1 представлено зображення "сирих" кольорових знімків з "правими" номерами 2, 4, 6 які отримані за допомогою цифрової камери Sony. На знімках видно викривлення верхньої частини фронтона та ліній розграфки дороги і протилежного бордюра. Наведені цифрові, кольорові знімки, використовувалися для складання спільного панорамного абрису.



Мал. 1. Зразки "сирих" знімків 2, 4, 6

Спільний панорамний абрис двох фасадних стін пам'ятки архітектури (м. Київ, Петра Сагайдачного, 20/2) складений з 7 окремих знімків див. мал. 2.



Мал. 2. Спільний панорамний абрис двох фасадів. Створений з цифрових знімків.

Досвід і практика використання неметричної апаратури в наземному зніманні дозволяють значно підвищити точність векторних планів за попереднім калібруванням - ректифікацією неметричних знімків. Зараз розроблено багато методів калібрування, які поділяються на: польові, з дослідженням апаратури зніманням польових полігонів з закоординованими марками [2] та лабораторних зі зніманням закоординованих марок:

лабораторних полігонів [3]; переносних жезлів [5]; використанням гоніометрів [4].

Попередня ректифікація неметричних знімків використана по результатам визначення коефіцієнтів радіальної дисторсії отриманих вимірюванням кутів викривлення на високоточному (1") гоніометрі. В свій час при дослідженні були визначені величини і тангенціальної дисторсії, але тангенціальна дисторсія на порядок менше радіальної і мало, чи зовсім не впливає на точність кінцевого матеріалу.

В математичному апараті для апроксимації і визначення положення кожного пікселя нами досліджен симетричний поліном. Для знаходження розподілу радіальної дисторсії прийнята стандартна система на восьми радіальних напрямках r_i з кроками між вузловими хрестами на основних осях у 5 мм, і 7 мм на діагональних. Хрести нанесені на притискному склі вставленому в рамочне вікно камери. При цьому складені поліноміальні залежності п'ятого ступеня.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{r1} &= a_1 r_1 + a_2 r_1^3 + a_3 r_1^5 - W_{r1} \\ \delta_{r2} &= a_1 r_2 + a_2 r_2^3 + a_3 r_2^5 - W_{r2} \\ \cdot &\quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \delta_{ri} &= a_1 r_i + a_2 r_i^3 + a_3 r_i^5 - W_{ri} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Кількість поліноміальних рівнянь дорівнює 40. Матриця (1) обчислена способом найменших квадратів. Визначені коефіцієнти радіальної дисторсії – a_i дозволяють знайти поправки за радіальну дисторсію у положення кожного пікселя як на вузлових, так і межвузлових точках до обчислювального процесу фототріангуляції. Ця операція дозволяє виправити початкове зображення, викривлене радіальною дисторсією до відкаліброваного зображення, або іншими словами провести ректифікацію "сирих" знімків. Координати пікселів ректифікованого знімка x_i, z_i при цьому, обчислюються за формулами:

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x'_i + \Delta_{xi} = x'_i + \delta_{ri} \cos \alpha_i = x'_i (1 + \delta_{ri} r_i^{-1}) = (1 + (a_1 + a_2 r_i^2 + a_3 r_i^4)) x'_i \\ z_i &= z'_i + \Delta_{zi} = z'_i + \delta_{ri} \sin \alpha_i = z'_i (1 + \delta_{ri} r_i^{-1}) = (1 + (a_1 + a_2 r_i^2 + a_3 r_i^4)) z'_i \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

В (2) x'_i, z'_i - координати "сирого" знімку, де поправки відповідають значенням проекції радіальної дисторсії δ_{ri} на координатні вісі $\Delta x_i = \delta_{ri} \cos \alpha_i$ та $\Delta z_i = \delta_{ri} \sin \alpha_i$.

На плівочних растрових знімках (отримані камерою ІФ0606) викривлення так саме існують див. мал. За, але менше чим на кольорових цифрових.



Мал. 3. Зразки "сирого" – а та ректифікованого – б знімків, отриманих плівковою камерою ІФ0606

Для скорочення матеріалу в табл. 1 представлені координати "сирих" і ректифікованих знімків тільки на першу стереомодель фасадної стіни.

Таблиця 1.

Ректифікація растрових неметричних знімків однієї моделі з шести.

№ пп.	Координати "сирих" знімків, мкм				Координати ректифікованих знімків, мкм				Поправки за радіальну дисторсію, мкм			
	$x'_л$	$z'_л$	$x'_п$	$z'_п$	$x_п$	$z_п$	$x_п$	$z_п$	$\delta x_л$	$\delta z_л$	$\delta x_п$	$\delta z_п$
10	-2100	-3890	-23684	-3182	-2059	-3814	-23858	-3205	-41	-76	174	23
оп 1	-1226	-1485	-22839	-0811	-1201	-1455	-22961	-0815	-25	-30	122	4
11	-2152	1777	-23901	18218	-2144	17702	-24365	18571	-8	68	464	-353
20	20472	-4438	-1608	-3751	20507	-4445	-1576	-3677	-35	7	-32	-74
оп 2	20616	-2256	-1374	-1507	20643	-2259	-1346	-1476	-27	3	-28	-31
12	-1933	7052	-23604	7572	-1899	6927	-23819	7641	-34	125	215	-69
21	19292	20863	-2183	22149	19606	21202	-2192	22241	-314	-339	9	-92
22	20832	6927	-1113	7957	20907	6952	-1094	7821	-75	-25	-19	136
211	12947	21243	-8821	22302	13067	21440	-8887	22470	-120	-197	66	-168

Розміри поправок за радіальну дисторсію в табл. 1. кажуть про великі викривлення на некаліброваних, неметричних знімках. Існують різнознакові відхилення нелінійного характеру, які залежать від знаку радіальної дисторсії, і розташуванню пікселя на знімку. Розташування пікселів, з яких створено растрове зображення, аналогічно змінюється на площині ректифікованого знімка за функцією (2). Наприклад на верхній точці 11 поправка в координати $x'_л$ має значення – 8 мкм для лівого знімка, та 464 мкм для правого знімка. По координаті $z'_л$ поправки так само мають великі значення 68 та -353 мкм (0,354 мм). Такі великі поправки на два порядки, або в сотні разів перевищують поправки знімків отриманих метричною знімальною апаратурою (де допуск не

більше 3 – 5 мкм на кутах знімка з розміром 30 x 30 см). В нашому випадку розмір фотоплівочного знімка дорівнює 6 x 6 см, тт. в п'ять разів сторона кадра ІФ0606 зменшена, відповідно кадра АФА.

На прикладі ректифікованого знімка на мал. 3 б, спостерігається виправлення вигнутих ліній видних на мал. 3 а, чи на мал. 1. Таким чином сім ректифікованих знімків загружено в ЦФС "Delta" для обчислення просторових координат зв'язкових точок фототріангуляційного ряду (ФР). Математичне оброблення ФР проведено на комп'ютерному забезпеченні BLOKMSG, програмного пакета професора С. Г. Могильного (Донецький НТУ).

Проведений аналіз точності просторових координат неметричних моделей з некаліброваними та каліброваними знімками див. табл. 2. Некалібровані знімки дають результат близький до вимог складання векторних планів 1:50 масштабу на фронтальних координатах X, Z . Точність визначення просторових координат на моделі відрізняється, що зв'язано з якістю зображення та впливом радіальної дисторсії. При цьому, точність координат по відстані Y не задовольняє умовам обробки моделей при будівництві перерізів у площинах XY, ZY .

В нижньому рядку табл. 2 представлені просторові координати та точність визначення точок по моделям зробленим за каліброваними знімками на всю фронтальну поверхню. Відчувається значне підвищення точності за просторовими координатами. По моделі складеної з ректифікованих знімків точність по всім координатам наближується до точності, яка утримується метричною апаратурою, коли знімання проводилося фототеодолітами.

Таблиця 2.

Скп просторових координат на різних моделях

Тип моделі	Скп (мм)		
	M_x	M_z	M_y
Точність спільної некаліброваної моделі з "сирих" знімків	24	27	73
Точність спільної каліброваної моделі з каліброваних знімків	5	6	17

За допомогою сучасної комп'ютерної технології ЦФС «Дельта», розробки Вінницької Геосистеми складені векторні фронтальні плани 9 зовнішніх стін історичної споруди. Крім фронтальних планів зовнішніх поверхонь дослідного об'єкта, складається ряд додаткових документів до яких відносяться: перетини об'єкта в потрібних напрямках (у більшості випадках під кутом 90° до фронтальної поверхні), та розрізи поздовжні, поперечні які проводяться на зовнішніх поверхнях і в середині об'єкта (інтер'єрі). Для передачі висоти різних поверхів з фундаментів застосоване технічне нівелювання з міліметровою точністю.

Як що фронтальні плани та січення складаються по зоровій стереоскопічній моделі, то розрізи збираються і складаються на чистому екрані монітору за результатами геодезичних вимірювань.

Геодезичні вимірювання опираються на використанні різних методів вимірювань, починаючи з вимірювань звичайної міліметрової, або лазерної рулетки до методів лазерного сканування. Між рулетками і лазерним скануванням знаходяться методи наземної тахеометрії з використанням ряду електронних тахеометрів. Кожний з перелічених методів цілодобово використовувати там де його використання є оптимальним за точністю, часом, та зручністю праці.

На мал. 4 показана зменшена копія листа двох фасадів вул. Сагайдачного 20/2.

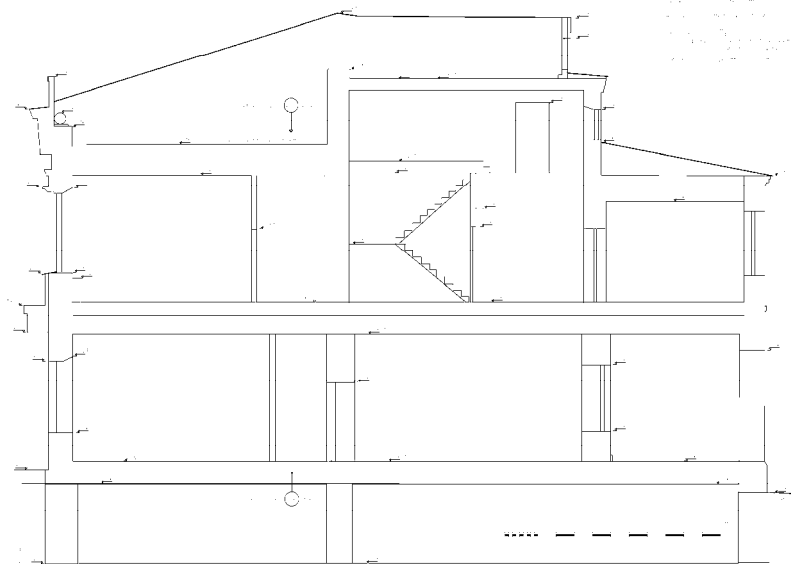


Мал. 4. Копія з фронтального плану 1:50 масштаба

Оригінал листа довжиною порядку 1 м. В рамці листа, крім фронтального плану, в лівому верхньому куті приведений штамп листа, в правому верхньому куті вставлена масштабна лінійка. В потрібних місцях позначена висота поверхів, карнизів, віконних та дверних прорізів, цоколя, башмаків, капітелів колон інших елементів конструкції в метрах, з півсантиметровою точністю.

Під кресленням фронтального плану (мал. 4 знизу) наведений поздовжній, горизонтальний розріз - план цоколя, як проекція розрізу цоколя на горизонтальну площину. На плані цоколя в колах надані поперечні розрізи. Верхня межа поперечних розрізів показана на покрівлі.

З'єднана інформація для складання розрізів, як казалося раніше, отримана геодезичними вимірами по зовнішнім поверхням споруд та обміром інтер'єра. Копія зменшеного поперечного розрізу 5-5 показана на мал. 5.

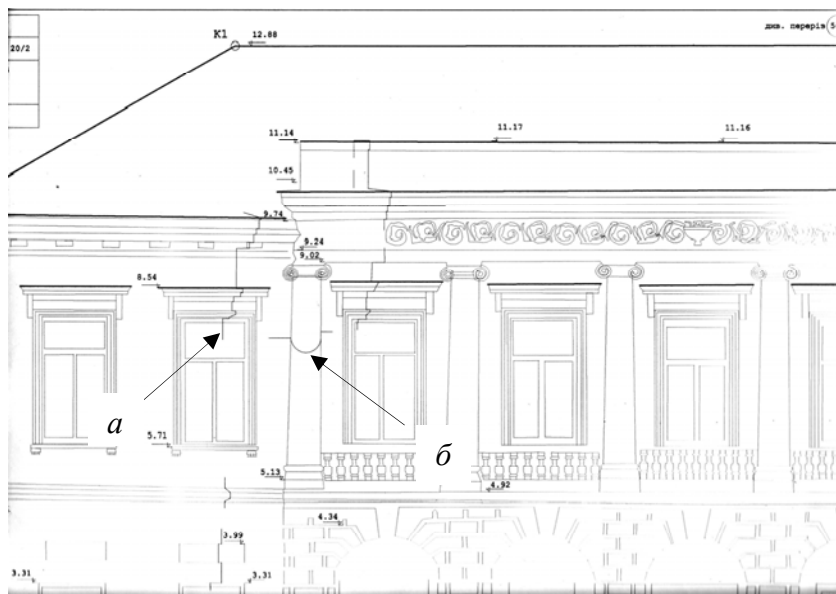


Мал.5. Копія поперечного розрізу 5-5

На мал. 4 іншим кольором (від фронтального плану) надані місця де побудовані прямовисні перерізи - січення які робляться на перепадах будівельної конструкції за глибиною, що можливо при працюванні зі стереомоделлю.

На мал. 6 надана збільшена копія фронтального плану мал. 4, на якому стрілками *a*, *b* показані прямовісне та горизонтальне січення. Січення дозволяють побачити перетин зовнішньої частини стіни в масштабі фронтального плану і в тому місті де вони намальовані. Іншими словами січення є перерізом конструкції в третьому напрямку, або в координатній площині ХУ, коли фронтальний план дає інформацію в площини ХZ.

Так, вертикальний переріз *a*, дозволяє побачити, наскільки виступають від поверхні скла частини надвіконного обрамлення і вище полок підкарнизної частини фронтона.



Мал. 6. Збільшений фрагмент фронтального плану з перерізами *a*, *б*

Переріз *б* мал. 6 дає інформацію о поверхні колони відносно бокових стін. Аналізуючи матеріал статті можна зробити висновок, що сучасне комп'ютерне оброблення звичайного фотографічного чи цифрового зображення будівельних поверхонь архітектурно-історичних пам'яток сучасною технологією прикладної фотограмметрії, дозволяють отримати всю потрібну графічну (векторну) інформацію як: фронтальні плани, розрізи, перетини з потрібною точністю.

Література:

1. Загальний випадок знімання для складання фронтальних цифрових моделей // Вісник геодезії та картографії, – 2008, – №4, – С. 31-34.
2. Тревого И.С., Савчук С.Г., Виват А.И., Виват О.Н. Створення метрологічного полігону для атестації GPS приймачів // Вісник геодезії і картографії, – 2006, – №3, – С. 10-13.
3. Гельман Р.Н., Дунц А.Л. Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией // Геодезия и картография. – 2002. – №7, – С. 23-31.
4. Сердюков В.М., Катусков В.А., Садовец Б.А. Опыт применения неметрических камер при съемке с близких обстоаний // Геодезия и картография. – 1988 – №9, – С. 27-30.
5. Катусков В.А., Сулема В.А. Крупнрмасштабная съемка строительных объектов // Геодезия и картография. – 2005, – №7, – С. 32-36.

Аннотация:

Рассмотрена технология составления крупномасштабной фронтальной информации, для реставрации в строительстве, проектировании в

машиностроении, судостроении и других отраслях производства. Из традиционной технологии наземной съемки исключен процесс использования штативов, для установки съемочного оборудования. Съемка производится обычными фотографическими или цифровыми камерами с "рук". Компьютерная обработка выполнена на цифровой фотограмметрической станции ДЕЛЬТА по предварительно откалиброванным (ректифицированным) снимкам. Это позволило получить пространственную точность модели объекта на уровне точности прецизионных фотограмметрических камер.

Annotation:

This article about the technology of large-scale frontal information, for restoration in building, designing in mechanical engineering, shipbuilding and other industries. Process of using tripods is excluded from the traditional technology of ground survey, for installation survey equipment. Survey is performed with ordinary photographic or digital cameras "by hand". Computer processing is executed on a digital photogrammetric station DELTA on pre-calibrated (rectified) images. It allowed to receive the spatial precision of the object model at the accuracy level of precision photogrammetric cameras.