

**Методи за цифрово ортотрансформиране. Елиминирание на влиянието на изкуствени обекти. Формиране на ортофотомозайки.**

Основна характеристика на производството на цифрово ортофото лежи в трансформирането на матрицата на изображението координатната система на камерата в матрицата на изображението в **XY**-равнината на теренната координатна система. Ние говорим за координатната система на терена (в определена картна проекция), тъй като ортофотото се произвежда основно при обработката на въздушни снимки. В случая не се използва координатната система на обекта както е при земната фотограмметрия. Генерирането на цифровото ортофото започва с дефинирането на матрицата на изображението в координатната система **XY** в координатната система на терена и тяхното трансформиране в координатната система на камерата. Тази трансформация изисква познаването на **Z** координатата на всяка точка от **XY** – мрежата. Това може да изисква отчитането на много близки точки при използване на аналитичен стереоплотер или друг фотограметричен апарат, позволяващ дискретно отчитане на координатите. Цифровите модели на терена също осигуряват много гъста мрежа от точки в **XY** – координатната система. Интерполацията на модела на терена за точка с координати **(X, Y)** ни дава котата в тази точка:

$$Z = \varphi_Z(X, Y) \quad (195)$$

При известни елементи на вътрешното и външното ориентиране, то центровете на пикселите в теренната координатна система могат да се трансформират в оригиналното изображение чрез уравненията на колинеарност:

$$\begin{aligned} x_i &= x_0 - f \frac{a_{11}(X_i - X_S) + a_{21}(Y_i - Y_S) + a_{31}(Z_i - Z_S)}{a_{13}(X_i - X_S) + a_{23}(Y_i - Y_S) + a_{33}(Z_i - Z_S)} \\ y_i &= y_0 - f \frac{a_{12}(X_i - X_S) + a_{22}(Y_i - Y_S) + a_{32}(Z_i - Z_S)}{a_{13}(X_i - X_S) + a_{23}(Y_i - Y_S) + a_{33}(Z_i - Z_S)} \end{aligned} \quad (196)$$

Корекциите за дисторзия и рефракция също могат да се нанесат. За радиалната дисторзия се ползват зависимостите:

$$\begin{aligned} \Delta x &= -\frac{x - x_0}{r} \Delta r & \Delta y &= -\frac{y - y_0}{r} \Delta r \\ \text{където } r &= \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \end{aligned} \quad (197)$$

Грешката от радиалната дисторзия се дава от зависимостта:

$$\Delta r = r \left( 1 + \frac{r^2}{f^2} \right) \cdot K \quad (198)$$

,където **K** според различни автори се дава от различни зависимости. Съгласно Harris W.D., Tewinkel S.C., Whitten C.A. може да се ползва изразът:

$$K = 0.00241 \left[ \frac{Z_0}{Z_0^2 - 6.Z_0 + 250} - \frac{Z^2}{Z_0.(Z^2 - 6.Z + 250)} \right] \quad (199)$$

Методите на присвояване на градационната стойност на даден пиксел се основават на методите на интерполация на градационните нива:

- метод на най близкия съсед;
- метод на линейната интерполация;
- билинейна интерполация;
- метод на бикубична интерполация;
- метод на  $\sin x/x$  с различен размер на прозореца.

### **Предимства на цифровото ортофото пред традиционното ортофото:**

- Геометричната точност е по-висока поради много гъстата мрежа от точки, която се ползва за апроксимиране на теренната повърхнина;
- Градационните характеристики са свободни от изкуствени преходи, дължащи се на метода на формиране (например по ивици), поради геометричното трансформиране на пикселно ниво;
- Качеството на изображението може да се управлява лесно чрез корекция на контраста и цвета;
- Може да се постигне прецизно съвместяване на интензивностите в краищата на свързваните съседни изображения, формиращи ортофото мозайката;
- Допълнително подобряване като подсилване на границите може да се осигури чрез прилагането на подходяща филтрация;
- Цифровото ортофото може да се съхранява като информационно ниво в ГИС;
- Цифровото ортофото може да се анализира посредством методите за разпознаване на образи, като се ползва многоспектралната класификация, сегментацията и анализ на изображения.

### **Отчитане на влиянието на терена**

Теренната повърхнина се отчита посредством използването на интерполация на точките от регулярната или нерегулярната мрежа. Поради много по-голямата гъстота на мрежата от пиксели спрямо мрежата от точки, формиращи модела на терена са възможни два подхода. При първият подход за всеки пиксел от изображението на ортофотото се изчислява кватата посредством интерполация от модела на терена. Този подход не е икономичен от гледна точка на изчислителни усилия. При втория подход се изчисляват само координатите от регулярната или нерегулярна мрежа, формираща

модела на терена, в координатната система на снимката. Положението на междинните пиксели се определя посредством интерполация между тези възлови точки от модела на терена. Тук трябва да се има в предвид, че координатите от мрежата на модела на терена могат да не съвпадат с теренните координати на пикселите от резултантното ортофото.

Като пример могат да се посочат следните числени стойности. За ортофото в средни мащаби мрежата от пиксели има стъпка 25:50cm, а при растер на теренния модел 10m рамките на един квадрат от модела на терена попадат:

40x40=1600pix за стъпка 25cm

или съответно 20x20=400pix при стъпка от 50cm.

Методът с използването на възловите точки от мрежата на модела се нарича метод на закотвените точки (Kraus, Photo v.2). Трансформацията на точки по четири възлови точки е удобно да става посредством билинейна интерполация

$$\begin{aligned}x &= b_{01} + b_{11}X + b_{21}Y + b_{31}XY \\y &= b_{02} + b_{12}X + b_{22}Y + b_{32}XY\end{aligned}\tag{200}$$

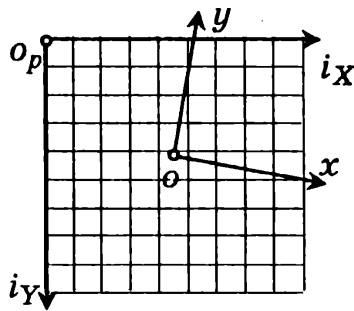
При използване на точки от триъгълникова мрежа може да се еприложи афинна трансформация:

$$\begin{aligned}x &= c_{01} + c_{11}X + c_{21}Y \\y &= c_{02} + c_{12}X + c_{22}Y\end{aligned}\tag{201}$$

Наличие на линии на прекъсване

Линиите на прекъсване на модела на терена водят до съществено отместване на съответните обекти, ако участъците от съответните изкуствени обекти не се отчитат при фототрансформирането. Наличието на сгради също може да бъде отчетено по този начин. Така се прочита паралактичното отместване на техните покриви. Това обаче поражда и допълнителни проблеми от получаването на мъртви зони от терена, където има закриване. Поради тази причина елиминирането на влиянието на изкуствените обекти е по-сложно.

Една от особеностите при обработката на цифрови аероснимки е необходимостта от непрекъснато осъществяване на връзката между координатната система в която снимката се изобразява на екрана на монитора и се извършват измерванията –  $O_p, i_x, i_y$  наречена растерова координатна система и образната координатната система с начало главната точка на аерокамерата  $O, x, y$ , с която са обвързани всички формули и зависимости на фотограметричната теория – фиг. 60.



(фиг.60 Координатни системи на снимката - **Oxy** и на растера **O<sub>p</sub>, x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub>**)

Целта на вътрешното ориентиране на цифровите изображения (снимки) е да установи математическата зависимост между двете системи образната - **oxy** и тази на растера **O<sub>p</sub>, x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub>**.

Математическият модел на вътрешното ориентиране на цифровите изображения предполага на базата на свръх измервания по метода на най-малките квадрати да бъдат определени най-вероятните стойности на коефициентите за ортогонално, афинно или проективно трансформиране на координатите от едната в другата координатна системи и обратно. Най-често използваните афинни преобразувания се основават на следните формули за връзка между изходните (измерваните) по растера координати - (**x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub>**) и преобразуваните т.е. образните от аероснимката (**x, y**) координати:

$$\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_0 \\ b_0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x_p \\ y_p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_0 \\ b_0 \end{vmatrix} + P \begin{vmatrix} x_p \\ y_p \end{vmatrix} \quad (202)$$

където:

**a<sub>i</sub>** и **b<sub>i</sub>** (**i=0,1,2**) са коефициенти на афинна трансформация, получени чрез решаването на система уравнения на поправките, съставени по резултатите от измерванията на координатите на оптическите марки от снимката;

**x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub>** - физическите координати на координатните марки получени по техните растерни координати **i<sub>x</sub>, i<sub>y</sub>**

$$\left. \begin{matrix} x_p = i_x \times \Delta, \\ y_p = i_y \times \Delta \end{matrix} \right\} \text{ и } \left. \begin{matrix} i_x = x_p / \Delta, \\ i_y = y_p / \Delta \end{matrix} \right\} \quad (203)$$

където:  $\Delta$  - геометрическата разделителна способност на изображението

За обратното преобразуване на координатите - от **x, y** в образната координатна система **Oxy** към системата на растера - **O<sub>p</sub>, x<sub>p</sub>, y<sub>p</sub>** са валидни формули (204) а именно:

$$\begin{vmatrix} x_p \\ y_p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_1 & A_2 \\ B_1 & B_2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} x - a_0 \\ y - b_0 \end{vmatrix} = P^{-1} \times \begin{vmatrix} x - a_0 \\ y - b_0 \end{vmatrix} \quad (204)$$

където:  $\begin{vmatrix} A_1 & A_2 \\ B_1 & B_2 \end{vmatrix} = \mathbf{P}^{-1}$  – обратната матрица на  $\begin{vmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix} = \mathbf{P}$  съставена по коефициентите на афинна трансформация  $\mathbf{a}_i, \mathbf{b}_i$  ( $i=0,1,2$ ) между образната координатна система  $\mathbf{x}, \mathbf{y}$  на аероснимката и растерната координатна система чрез използване на елементите на вътрешно ориентиране (координатите на контролните марки от снимката)

Вътрешното ориентиране се изпълнява в следната последователност:

Операторът идентифицира на екрана на монитора първите две координатни марки чрез указване с имерителната марка и регистрация на координатите  $i_x, i_y$  в координатната система  $O_P, \mathbf{x}_P, \mathbf{y}_P$ . След това програмата сама определя полжението на следващите координатни марки и ги извежда на екрана, а операторът трябва да идентифицира тяхното точно положение и да регистрира следващите координатни значения. След извършване на измерванията програмата изчислява параметрите на трансформация, извършва оценка на точността и извежда резултатите.

### **Ортотрансформиране на цифровите аероснимки**

Същността на ортотрансформирането се свежда до следното: Нека са известни елементите на външното ориентиране на снимката  $\mathbf{X}_S, \mathbf{Y}_S, \mathbf{Z}_S, \alpha, \omega, \chi$ , наличен е цифров модел на релефа DEM със страни успоредни на координатните оси и е необходимо да бъде направено трансформиране на изходната снимка чрез преобразуване на всеки пиксел отчитайки неговото положение по височина.

Редът за ортотрансформирането на цифрови снимки е следният:

Най-напред се построява матрица на ортоизображението върху цялата обработвана територия – ограничена от минималните и максималните значения на координатите на върховете на създавания картен лист. Страните на матрицата трябва да бъдат успоредни на осите  $\mathbf{X}$  и  $\mathbf{Y}$  на координатната система от местността.

При цифровото ортотрансформиране от съществено значение е правилното определяне размера на елементите от матрицата, които съответстват на размера на елементарния участък за трансформиране от местността  $\Delta_P$ . Определянето на  $\Delta_P$  най-често е обвързано с пространствената разделителна способност на суровото изображение и мащабът в който се изработва ортоплана.

Така например "Размерът на елементарния участък за трансформиране от местността се определя по формулата:

$$\Delta_P = \Delta \times m \tag{205}$$

където:  $\Delta$  – геометрическото разрешение на суровото изображение

Ако цифровия ортоплан се издава във вид на твърдо копие на хартия, то размерът на елементарния участък от местността следва да бъде не по-голям от този определен по формулата:

$$\Delta_p = 0,07 \times M \quad (206)$$

Където: 0.07 (мм) – графическото разрешение съответстващо на фотографска разделителна способност на изображението – 7 лин/мм

Водещото начало при цифровото ортотрансформиране е координатното описание на елементите (клетките) от матрицата на ортоизображението построена в местната (геодезическата) координатна система. Т.е. последователността на построяване на ортоизображението е следната:

- избор на съответната клетка от матрицата на ортоизображението;
- определяне на нейната височина по наличния DEM;
- определяне на съответния (съответните) пиксели от суровото изображение отговарящи на пикселите от ортотрансформираното изображение;
- присвояване на съответната клетка от матрицата на ортоизображението яркостта на съответния пиксел (интегралната яркост от съответните пиксели) от суровото изображение.

Решаването на тази задача се нарича "обратно трансформиране" и нейната същност и последователност се илюстрира с (фиг.61).

Обратното трансформиране включва следните технологични действия:

1. Изчисляване на координатите  $X_A, Y_A$  на центъра на формируемия пиксел от ортоизображението  $A$  в приетата местна (геодезическата) координатна система;

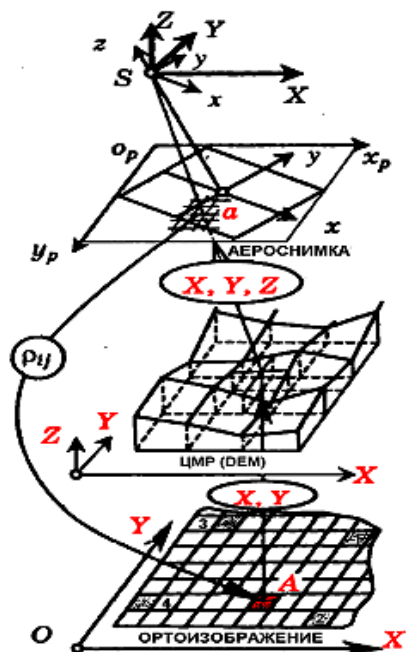
2. Определяне на надморската височина  $Z_A$  на центъра на пиксела от ортоизображението  $A$  по неговите планови координати и цифровия модел на релефа DEM;

3. Изчисление на образните координати  $x_a, y_a$  на точка  $a$  от аероснимката, по местните (геодезическите) координатите на съответната и точка  $A$  от местността  $-X_A, Y_A, Z_A$  и елементите на външно ориентиране на снимката –  $X_S, Y_S, Z_S, \alpha, \omega, \chi$ ;

4. Определяне на физическите координати  $x_{pa}, y_{pa}$  в координатната система на растера по образните координати  $x_a, y_a$  в координатната система на снимката с използване на елементите на вътрешното ориентиране;

5. Определяне на растерните координати  $i_x, i_y$  на точката по нейните физически координати  $x_{pa}, y_{pa}$ ;

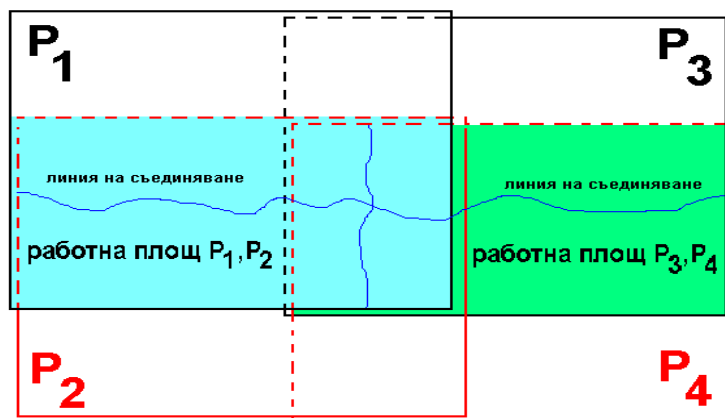
6. Идентификация на пиксела съответстващ на т.  $a$  от изходната снимка и расчет на яркостта  $p$  за пиксела от т.  $A$  на ортоизображението чрез билинейна или бикубическа интерполация.



(фиг. 61 Схема на обратното трансформиране)

Монтаж на ортофотоплана по цифрови орторектифицирани аероснимки. След получаването на орторектифицираните снимки, следва тяхното обединяване във вид на единно цифрово изображение (цифров фотоплан) покриващ целият картен лист или ако разграфката е свободна – зададената по координати рамка на територията.

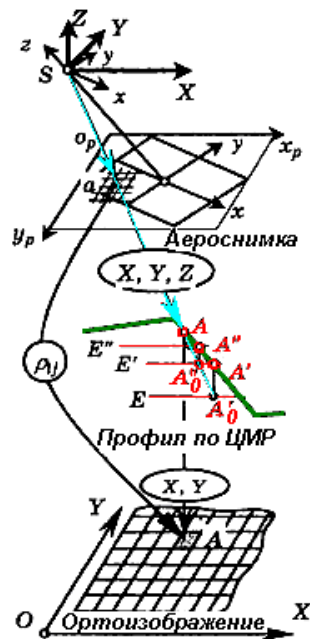
Основната особеност на създаването на обединеното цифрово изображение е изискването то да бъде получено чрез обединяване на части от работните площи на отделните орторектифицирани снимката ограничени от средните линии прокарани в зоните на надлъжното и напречното застъпване.



(фиг.62. формиране на цялостно ортоизображение от ректифицирани снимки)

По тази причина създаването на цялостното орторектифицираното изображение е свързано с определяне местоположението на границите на работните площи и линиите на

разрязване на отделните ортоизображения. Положението на линиите на разрязване може да бъде отбелязано автоматично или избрано по ръчен начин. Важното и в единия и другия случай е това, че изборът на линията на прорежа се извършва върху суровото изображение, а чрез последователни действия нейното местоположение се отбелязва върху орторектифицираното изображение (фиг. 63).



(Фиг. 63 Схема за ортотрансформиране на точките по границите на работните площи от аероснимката)

За да се определи върху ортоизображението границата на работната площ покривана от всяка отделна стереодвойка определена по суровото изображение е необходимо да се реши следната задача: По образните координати на т.  $a - x_a, y_a$ , елементите на външно ориентиране и цифровия модел на релефа да се определят пространствените координати  $X_{ГА}, Y_{ГА}, Z_{ГА}$  на точката в орторектифицираното изображение, .

Върху фиг. 63 са показани:

- точка **A** от местността разположена върху орторектифицираното изображение на аероснимката;
- изображението **a** на т. **A** върху аероснимката;
- профил на цифровия модел на релефа построен в равнината формирана от проектиращия лъч **SaA** и точката на надир **n**.

Поради факта, че предварително височината  $Z_A$  на т. **A** е неизвестна ще допуснем, че точка **A** лежи на местността в равнината на средната плоскост на снимката - **E** (средната височина на фотографиране). Т.е ще приемем,  $Z_A = Z_E$  и тогава можем да получим плановите координати  $X'_{ГА}, Y'_{ГА}$  на т. **A'** в първо приближение. На точката с тези координати обаче върху ЦМР съответства точка **A'**,



която е с височина  $Z_{A'} = E'$  и не лежи върху проектиращия лъч **SaA**. За да се възстанови проективното съответствие отново) и с новата височина  $Z_A = Z'_E$  се определят нови геодезически координати на т.  $A''_0 - X''_{GA}, Y''_{GA}$ , на която върху Цифровият модел на релефа ще съответства т.  $A''$  отново не лежаша на проективния лъч **SaA** и с височина  $Z_{A''} = E''$ . Това налага ново определяне на координатите на т. **A** с новата височина и т.н. Процесът на последователни приближения продължава докато разликата в определенията на височини на точката A между две последователни приближения не се окаже пренебрежимо малка. След това на пиксела с координати на центъра  $X_{GA}, Y_{GA}$  се присвоява яркостта на пиксела от изходното изображение в който се съдържа точка **a**.

От направеното изложение до тук следва основният извод по отношение възможностите за ортотрансформиране на цифрови снимки а именно:

За да е възможно създаването на ортотрансформирано изображение по цифрови аероснимки с помощта на определен математически апарат и алгоритми е необходимо изпълнението на следните две условия:

1. Да са известни елементите на външно ориентиране за всяка от единичните снимки;

2. Да е наличен цифров модел на релефа в пределите на снимките;

Технология за създаване на ортофотоплан чрез ортотрансформиране (орторектифициране) на цифрови аероснимки.

Въз основа на гореказаното може да бъде формулирана следната последователност на работа при създаването на ортофотоплан в рамките на зададен картен лист или район по ортотрансформирани цифрови аероснимки.

Построяване и изравнение на фототриангулационна мрежа по способа за изравнение на едноимените проектиращи лъчи;

Определяне елементите на външно ориентиране на аероснимките включени във фототриангулационната мрежа по способа на последователните приближения;

Избор на стратегия за създаване на TIN цифров модел на релефа в границите на локални зони от района на ортофотоплана;

Създаване на локални TIN цифрови модел на релефа и тяхното обединяване в единен общ модел;

Преобразуване на TIN модела на релефа в равномерно DEM модел със стъпка равна или пропорционална на пространственото разрешение на ортоизображението;

Определяне върху аероснимките на границите на работните площи – зоните на надлъжно и напречно застъпване в рамките на които ще се създава ортофотоизображение;

Ортотрансформиране на граничните точки на работните площи от стереодвойките в следната последователност:

- Определяне на растерните координати  $(i_x, i_y)$  на точките по границата на работния участък и тяхното преобразуване във физически  $(x_p, y_p)$  ;
- Изчисление на координатите  $x, y$  на точките по границата на работната площ в образната координатна система по техните физически координати  $x_p, y_p$  в растерната координатна система;
- На база получените образни координати на точките  $x, y$  и наличния ЦМР, определяне по метода на функционалната итерация на плановете координати  $X, Y$  на центровете на пикселите от ортоизображението в местната (геодезическата) координатна система;
- Присвояване на пиксела от ортоизображението с координати  $X, Y$  , яркостта на съответният му пиксел от суровото цифрово изображение.

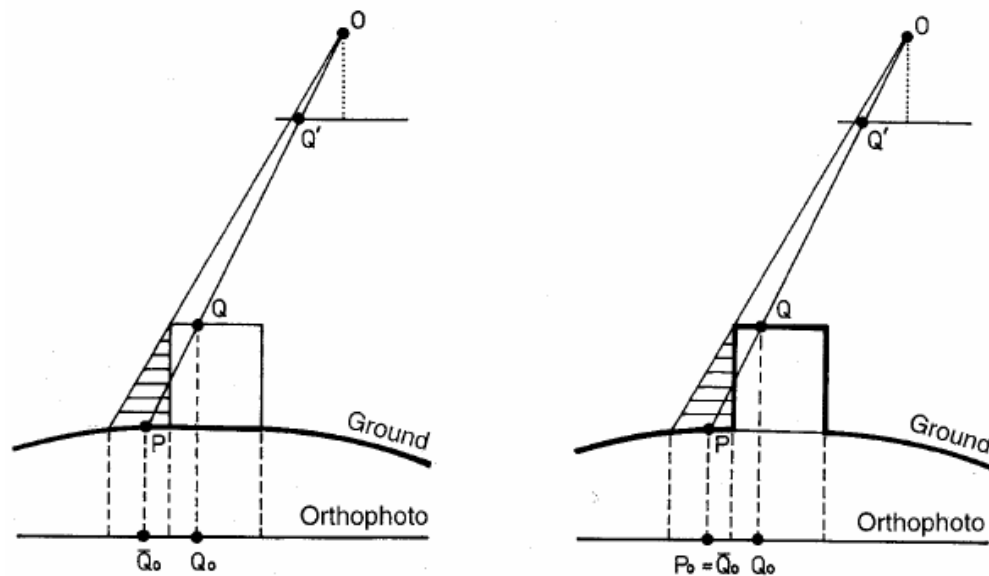
“Обратно” ортотрансформиране на всеки пиксел от изходното изображение разположен в границите на работната площ ;

Фотограметрична корекция на формираното ортоизображение по границите на снимките изразяваща се в изравняване на яркостите на пикселите по границите на зоните за трансформиране;

“Нарязване” на ортоизображението по картни листове в зададен мащаб по координатите на върховете на картния лист и извън рамково оформяне.

### **Елиминирание на влиянието на изкуствени обекти.**

Проблемът на изкуствените обекти се състои в това, че за точки от покрива на сградата и за точки от заобикалящия го терен имат една и съща проекция в изображението. В този случай точката от терена попада в мъртвата зона. Решението на този проблем изисква наличието на точен модел на терена със структурните линии и модел на сградите, представени чрез структурни линии също. Влиянието на сградите е представено на (фиг. 64).



(фиг. 64)

#### *Директно трансформиране на изображението*

При директния метод се определят теренните координати на всеки пиксел от оригиналното изображение чрез пресичането на проектиращия лъч с теренната повърхнина. Това генерира матрица от  $(X, Y)$  координати с размерността на изходното изображение. Методът е прост за програмна реализация, но има следните недостатъци:

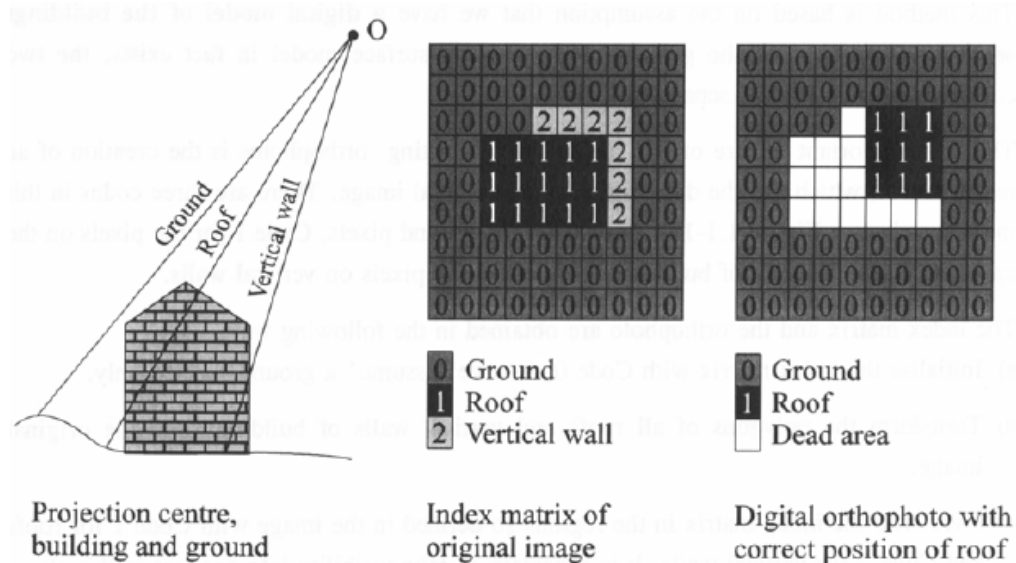
- големи разходи на памет и изчислителни усилия (редукция чрез използване на пирамиди от изображения);
- мъртвите зони не се откриват директно, а чрез анализ на съседството на пикселите и анализ на разликата на координатите в теренни координати;
- при интерполацията могат да участват точки от обекти, лежащи на различна кота, т.е. на несъседни обекти. Преодоляването на този проблем изисква описание на областите и анализ на съседните области, което е трудоемка процедура.

#### *Индиректен метод*

Построяват се лъчите от всеки пиксел на резултантното изображение като започват от теренната повърхнина. Ако те пресичат модела на терена включително и обектите върху него поне още веднъж, то точката лежи в мъртва зона, т.е. тя е невидима. Реализацията на този метод изисква много точен модел на терена и сградите.

#### *Комбиниран метод с индексна матрица*

Изходни се явяват отделни модели на терена и на сградите. Основа на процеса се явява запълването на индексна матрица с размерността на оригиналното изображение.



В индексната матрица се ползват три кода:

- 0** – точки от терена;
- 1** – точки от горните повърхнини (покривите);
- 2** – точки от вертикалните стени.

Етапи на генериране на индексната матрица:

1. Инициализиране с **0** – т.е. предполагат се само теренни точки.
2. Трансформиране на покривите и стените.
3. Припокриване на индексната матрица с точките от стените и покривите с анализ на видимостта.
4. Генериране на ортофотото на покривите – “покривно ортофотото”.
5. Премахване на пикселите от оригиналното изображение с кодове **1** и **2** – маскирано изображение.
6. Генериране на ортофотото от теренните точки (“теренно ортофотото”).
7. Комбиниране на “теренното ортофотото” и “покривното ортофотото” с методите на растерната алгебра.

Методът е ефективен при далече разположени сгради. Има проблеми със сенките. Предимство е възможността за лесно откриване на мъртвите зони и евентуалното им запълване от съседни изображения чрез комбиниране със средствата на растерната алгебра.

Замяна на генерирането на покривното ортофотото с индиректна трансформация. Стъпките са следните:

1. Скалярно произведение на нормалата към покрива и проектиращия лъч, което позволява да се определи видимостта на покрива.
2. Пресичането на полигоните от отделните окривни повърхнини позволява да се определят видимите покриви.

3. Ортофотото може да се генерира чрез мрежа от триъгълници
  4. Големи покриви могат да се трансформират чрез разпадането им на клетки от плоски повърхнини.
- Методът изисква по-малко памет, но е по-сложен алгоритмично.

### **Цифрово ортфото в дребни мащаби**

При дребни мащаби са съществени изкривяванията от картната проекция. Влиянието на покривите и изкуствените обекти е пренебрежимо.

#### *Компютърна процедура*

Инициализиране на мрежата на трансформираното изображение в координатната система на картната проекция. Най-често това е мрежата от възли на модела на терена, която се припокрива с проекцията на снимката.

Използване на "тангенциална система" за трансформация на закотвящите точки. Генерира се псевдорегулярна мрежа.

Изчисление на проектирането на точките от тангенциалната система върху изходното изображение, Получената мрежа показва кои пиксели от изходното изображение се трансформират вътре в съответните квази-квадрати.