

8a. OBJEKTOVÉ METODY VIDITELNOSTI



Cíl Po prostudování této kapitoly budete znát

- metody viditelnosti 3D objektů na základě prostorových vlastností těchto objektů
- tvořit algoritmy pro určování viditelnosti hran a stěn 3D objektů



Výklad

8a.1. Robertsův algoritmus

Tato metoda je použitelná pro **konvexní** (vypuklé) plochy a tělesa. Dále jen u ploch a těles, jejichž povrchy jsou rovinné části. Řeší hranovou viditelnost ve scéně, která obsahuje konvexní objekty - mnohostěny. Algoritmus byl publikován v roce 1963.

[Roberts, L.G.: Machine Perception of Tree Dimensional Solids. MIT Lincoln Lab.Rep., TR 315, May 1963.]

Obecný postup Robertsova algoritmu lze snadněji pochopit z následujícího počítačového programu.

Vstup: scéna s konvexními mnohostěny.

Výstup: viditelné hrany {a neviditelné hrany }

for všechny hrany objektů na scéně **do**

begin

if hrana je průsečnicí dvou neviditelných hran **then**

Hrana je neviditelná

else

begin

Vytvoř prázdný seznam viditelných hran;

Ulož hranu do seznamu viditelných hran;

for všechny mnohostěny na scéně **do**

if seznam viditelných hran není prázdný **then**

for všechny hrany ze seznamu **do**

begin

Vyjmi hranu ze seznamu viditelných hran;

```

Otestuj hranu na zakrytí mnohostěnem
case výsledek_test of
    jeden, dva viditelné úseky:
        Zařaď tyto úseky do seznamu viditelných hran
        neviditelná hrana: nedělej nic
        { hrana je vyjmuta ze seznamu viditelných hran }
    end {case}
end {for }
else
    exit for cyklu pro mnohostěn;
if seznam viditelných hran není prázdný then
    Vykresli viditelné hrany ze seznamu
end
end;

```

Po realizaci tohoto programu máme seznam viditelných a neviditelných hran pro jednotlivé konvexní objekty. Jestliže průměty viditelných hran se překrývají, je nutno řešit viditelnost příslušných hran na základě "zdánlivých" průsečíků těchto překrývajících se průměrů hran.

Jestliže budeme předpokládat, že těleso je konvexní a je ohraničeno rovinami, problém se poměrně zjednoduší a je ho možno řešit následujícím způsobem.

Každý poloprostor je dán nerovnicí:

$$[a , b , c , d] \cdot [x , y , z , 1]^T \geq 0 .$$

T.j.

$$v^T \cdot x \geq 0$$

kde

$$V = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_n & b_n & c_n & d_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1^T \\ \vdots \\ \vdots \\ v_n^T \end{bmatrix} \quad (8a.1)$$

je maticí, kde každá řádka reprezentuje jednu rovinu ohraničující dané těleso.

Dále budeme předpokládat, že roviny jsou orientovány tak, že

$$\forall i \quad v_i^T \cdot x_i > 0 \quad (\text{jsou hodnoty vektoru kladné})$$

$$\exists i \quad v_i^T \cdot x_i < 0 \quad (\text{alespoň jedna hodnota záporná})$$

$$\exists i \quad v_i^T \cdot x_s = 0 \quad \& \quad \forall j \neq i \quad v_j^T \cdot x_s > 0$$

kde x_1 je libovolný bod uvnitř tělesa,

x_0 je libovolný bod vně tělesa,

x_s je libovolný bod na povrchu tělesa.

Jestliže není předem určena orientace rovin a tím i poloprostorů, je nutno specifikovat bod X , který je uvnitř prostoru. Potom musí platit:

$$\forall i \quad v_i^T \cdot x > 0. \quad \text{Jestliže tomu tak není a je } v_i^T \cdot x < 0$$

musíme vektor v_i^T nahradit vektorem $-v_i^T$. To znamená změnit znaménka u koeficientů a_i , b_i , c_i a d_i . Protože objekt je konvexní, vnitřní bod lze určit jako střed spojnice dvou bodů, které neleží na jedné stěně objektu, ale jsou vrcholy tohoto objektu.

Pro body x_i a x_j bude platit $x = (x_i + x_j) / 2$.

Jako vnitřní bod lze určit střed spojnice vrcholů které leží v různých rovinách.

Jestliže předpokládáme - u rovnoběžného promítání - že pozorovatel je v nekonečnu, je možno pozici pozorovatele definovat vektorem

$$x_P = [0, 0, -1, 0]^T.$$

Tím je dána také pozice testovacího bodu. Tento vektor reprezentuje v nehomogenních souřadnicích libovolný bod v rovině $z = -\infty$, to je libovolný bod $(x, y, -\infty)$. Pro roviny, které jsou "**odvrácené**" od pozorovatele potom platí:

$$v_j^T \cdot x < 0 \quad \text{je ekvivalentní podmínce } c_j > 0.$$

Je zřejmé, že tento vcelku jednoduchý způsob je velmi vhodný pro určování viditelných a neviditelných ploch u **konvexních** těles. A tak pak je možno určit i viditelné resp. neviditelné hrany.

Platí: a) průsečnice dvou viditelných ploch - rovin

(hrana společná dvou viditelných ploch) je **viditelná**

- pokud není překryta jiným tělesem.

b) průsečnice dvou neviditelných ploch - rovin

(hrana společná dvou neviditelných ploch) je **neviditelná**.

c) průsečnice viditelné a neviditelné plochy - roviny

(hrana společná dvou viditelné a neviditelné plochy) je

viditelná a tvoří **mez vlastního stínu**. Hrany, které

tuto mez tvoří jsou tedy viditelné - pokud nejsou překryty jiným tělesem nebo plochou.

Pro roviny p_1, p_2, p_3 , které mají společný bod - vrchol a jsou reprezentovány vektory v_1, v_2, v_3 bude platit

$$v_1^T \cdot x = 0 \quad \wedge \quad v_2^T \cdot x = 0 \quad \wedge \quad v_3^T \cdot x = 0$$

V homogenních souřadnicích:

$$B \cdot x = r_1, \quad (8a.2)$$

kde

$$B = [v_1, v_2, v_3, s]^T, \quad s = [0, 0, 0, 1]^T, \quad r = [0, 0, 0, d]^T,$$

kde $d > 0$ je hodnota měřítka.

Vynásobíme-li (8a.2) inverzní maticí B^{-1} dostaneme $X = B^{-1} \cdot r$.

Posledním sloupcem matice B^{-1} je dán tedy tento společný bod - vrchol.

Dalším krokem této metody je zjištění, zda jednotlivé hrany tělesa nejsou zakryty jiným tělesem. Zde není jiné východisko, než porovnat **každou hranu** vzhledem ke všem tělesům na scéně, jestli není promítaná hrana zakryta úplně nebo částečně.

K urychlení výpočetního procesu přispěje:

- zjistit minima a maxima jednotlivých souřadnic - "obalit" tělesa resp. plochy hranoly a tím zjistit, zda-li je možný překrývání průmět.
- určit nejdříve průměty "obrysů" jednotlivých těles a na základě protínajících resp. neprotínajících se vržených stínů vyeliminovat sporné situace.

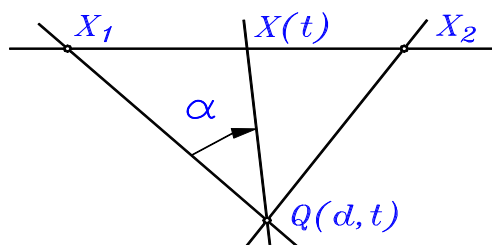
Určení průsečíků - ať zdánlivých či skutečných - není triviální záležitost. Vede zpravidla na řešení soustavy lineárních rovnic.

Vyjádření hrany tělesa:

$$\text{parametricky } v = s + d \cdot t$$

- kde
- v je vektor na přímce;
 - s vektor počátečního bodu úsečky;
 - d je směrový vektor přímky.

Jestliže takováto úsečka není celá viditelná, je nutno určit hodnoty parametru t pro něž je



Obr. 8a.1

viditelná. Na obrázku je znázorněn postup:

Svazek přímek mezi pozorovatelem Q vyjádříme pomocí parametru úhlu α .

To jest

$$Q(\alpha, t) = v + g \cdot \alpha = s + d \cdot t + g \cdot \alpha \quad \text{pro} \quad t \in \langle 0, 1 \rangle,$$

kde g je směrový vektor mezi bodem na úsečce a pozorovatelem;

v je vektor úsečky $x_1 x_2$.

Při paralelní projekci platí

$$g = [0, 0, 1, 0]^T.$$

Jestliže potřebujeme určit hodnoty parametrů t , jakožto hodnoty, které určují zakrytou část úsečky, lze použít opět skalárního součinu.

Označíme:

$$h = B \cdot Q(\alpha, t) \Rightarrow$$

$$h = B \cdot s + t \cdot B \cdot d + \alpha \cdot B \cdot g \quad \text{pro} \quad t \in \langle 0, 1 \rangle \quad \& \quad \alpha \geq 0.$$

a dále označíme

$$p = B \cdot s, \quad q = B \cdot d \quad \text{a} \quad w = B \cdot g$$

lze napsat

$$h = p + t \cdot q + \alpha \cdot w \quad \text{pro} \quad t \in \langle 0, 1 \rangle \quad \& \quad \alpha \geq 0.$$

Jestliže bude existovat takové j , že bude platit

$$h_j = p_j + t \cdot q_j + \alpha \cdot w_j > 0 \quad \text{pro} \quad t \in \langle 0, 1 \rangle \quad \& \quad \alpha \geq 0,$$

potom pro tuto hodnotu j resp. tento bod přímky je zakryt tělesem, které je maticí B reprezentováno.

Zbývá tedy vyřešit soustavu nerovnic

$$h_j > 0 \quad \forall j$$

Mezním případem mezi viditelností a neviditelností bodu je případ, kdy $h_j = 0$, tj. kdy bod leží v rovině.

Tedy

$$h_i = 0 \quad \& \quad h_j = 0 \quad \forall i, j \quad \& \quad i \neq j$$

dostaneme soustavu $n(n-1)/2$ rovnic, které je nutno řešit vzhledem k proměnným t a α .

Je však potřeba navíc (oproti obecnému matematickému řešení) testovat

$$t \in \langle 0, 1 \rangle \quad \& \quad \alpha \geq 0 \quad \& \quad h_k > 0 \quad \forall k \in i, j.$$

Budeme-li aplikovat uvedený algoritmus na **všechny** plochy h_i a h_j dostaneme interval hodnot parametru t , který určuje zakrytou část úsečky.

Robertsův algoritmus lze rozložit do tří částí.

1. Odstranění neviditelných hran a povrchů při uvažování samotného konvexního tělesa.
2. Porovnání hrany a ostatních těles a nalezení zakrytých částí.
3. Nalezení hran, které vzniknou při eventuálním protnutí dvou těles.

Zjistíme je jako průsečnice dvou rovin, které tělesa ohraničují.

Připomeneme: uvedený algoritmus platí pouze pro konvexní tělesa. Pro jeho výpočtovou složitost **není** vhodný pro scény, kde je více těles. Pro tyto složitější případy, kdy na scéně jsou i konkávní tělesa jsou vyvinuty vhodnější algoritmy. Tyto modifikace Robertsova algoritmu jsou založeny na rozkladě scény na "podscény" a tak je snižována výpočetní náročnost.

V následujících příkladech bude ukázáno, jaké prostředky je možno k případné modifikaci Robertsova algoritmu viditelnosti používat.

Určení orientace rovin stěn si ukážeme na následujícím příkladu 1.

Příklad 1.

Mějme dáno těleso, které je společnou částí poloprostorů zadaných 6-ti rovinami:

$$p_1 : x = 1/2, \quad p_2 : x = -1/2$$

$$p_3 : y = 1/2, \quad p_4 : y = -1/2$$

$$p_5 : z = 1/2, \quad p_6 : z = -1/2.$$

Rovnice roviny p_1 je $2x - 1 = 0$.

Matice, která danou krychli určuje tedy

bude

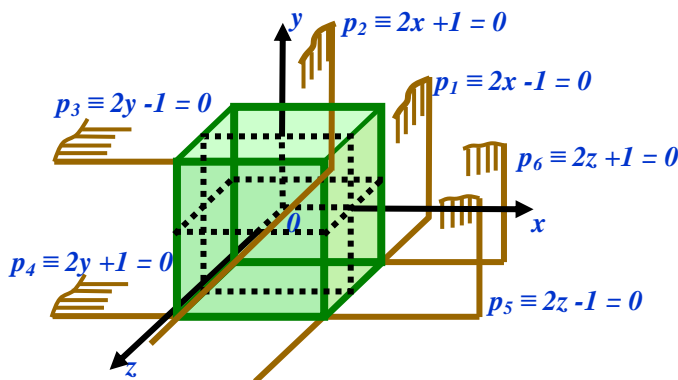
$$V = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}^T$$

Určíme vnitřní bod.

Na příklad $x = (0.25, 0.25, 0.25)$.

V homogenních souřadnicích je tento bod určen vektorem $x = [1, 1, 1, 4]^T$.

Orientaci jednotlivých ploch určíme:



Obr. 8a.1

$$V \cdot x = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 4 \end{bmatrix} = [-2, 6, -2, 6, -2, 6]^T.$$

Aby bod $x = (0.25, 0.25, 0.25)$ byl vnitřním bodem, je nutno 1., 3. a 5. řádek matice znásobit konstantou -1. Nebo-li změnit orientaci rovin.

Po úpravě dostaneme matici, která reprezentuje konvexní těleso (krychli).

$$V = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Tedy: $[2, 6, 2, 6, 2, 6]^T$.

Pro jiné operace na př. posunutí, matice v homogenních souřadnicích má tvar:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matice V' definující konvexní těleso po posunutí je definováno takto:

$$V' = V \cdot T^{-1} = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Výsledek - matice posunutého tělesa:

$$V' = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 \\ 7 & -5 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$$

Jestliže nyní otestujeme bod $x = (0.25, 0.25, 0.25)$, dostaneme

$$V' \cdot x = [26, -18, 2, 6, 2, 6].$$

To znamená, že bod $x = (0.25, 0.25, 0.25)$ leží vně daného n -úhelníka. Budeme-li aplikovat posunutí i na bod x dostaneme

$$x' = T \cdot x = [13 , 1 , 1 , 4] ,$$

potom

$$V' \cdot x' = [2 , 6 , 2 , 6 , 2 , 6] .$$

Bod x' je vnitřním bodem posunutého objektu.

Obdobně pro otáčení okolo os o úhel α budou mít transformační matice tvar:

Osa y :

$$R_y(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_y^{-1}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Pro $\alpha = \pi/4$ je

$$R_y(\alpha) = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_y^{-1}(\alpha) = \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & 0 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matice $V'' = V \cdot R_y^{-1} =$

$$\begin{bmatrix} -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{2}/2 & 0 & -\sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sqrt{2}/2 & 0 & \sqrt{2}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2} & \sqrt{2} & 0 & 0 & -\sqrt{2} & \sqrt{2} \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Matice otočeného konvexního tělesa o úhel $\pi/4$.

Z hlediska pozorovatele, který je v bodě $[0 , 0 , 1 , 0]^T$ jde vlastně o rovnoběžný průmět, protože pozorovatel je v poloze $z = \infty$ je testovací bod potom určen jako

$$x = [0 , 0 , -1 , 0] \quad \Rightarrow$$

$$V'' \cdot x = [-\sqrt{2} , \sqrt{2} , 0 , 0 , \sqrt{2} , -\sqrt{2}]$$

To znamená, že stěny 1. a 6. jsou neviditelné.

Dále je možný závěr: průsečnice 1. a 6. stěny taktéž není viditelná.

U krychle z příkladu 1 určete, zda úsečka s koncovými body x_1 a x_2 je krychlí zakryta, je-li dáno:

Úsečka:

$$x_1 = [-2, 0, -2, 1]^T$$

$$x_2 = [2, 0, -2, 1]^T$$

Krychle:

$$V = \begin{bmatrix} -2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T$$

Jestliže pozorovatel je v bodě (x, y, ∞) , potom

$$g = [0, 0, 1, 0]^T,$$

a úsečka

$$s = [-2, 0, -2, 1]^T \text{ (poč.bod)}$$

$$d = [4, 0, 0, 0]^T \text{ (vektor)}$$

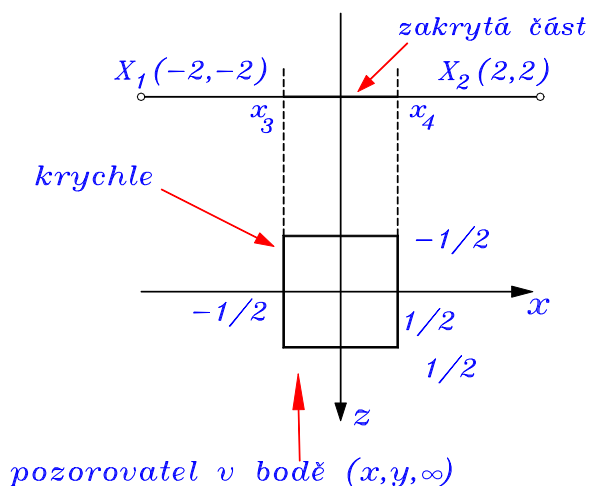
Pro jednotlivé koeficienty určující výraz

pro h určíme:

$$p = V \cdot s = [5, -3, 1, 1, 5, -3]^T$$

$$q = V \cdot d = [-8, 8, 0, 0, 0, 0]^T$$

$$w = V \cdot g = [0, 0, 0, 0, -2, 2]^T$$



Obr. 8a.3

Po rozepsání dostaneme soustavu nerovností

$$h_j > 0 :$$

$$\begin{array}{rcl} 5 & -8t & > 0 \\ -3 & +8t & > 0 \\ 1 & & > 0 \\ 1 & & > 0 \\ 5 & -2\alpha & > 0 \\ -3 & +2\alpha & > 0 \end{array}$$

Pro α a t dostaneme v oblasti dané kartézským součinem

$$t \in \langle 3/8, 5/8 \rangle \quad * \quad \alpha \in \langle 3/2, 5/2 \rangle .$$

Pak lze určit koncové body úseků a to tak, že úsečka je viditelná v intervalech

$$t \in \langle 0, 3/8 \rangle \quad \text{a} \quad t \in \langle 5/8, 1 \rangle.$$

Odtud koncové body úsečky:

$$x_3 = s + d \cdot t = [-1/2, 0, -2, 1]^T$$

$$x_4 = s + d \cdot t = [1/2, 0, -2, 1]^T.$$



Úloha k řešení 8a.1.

Mějme stejnou krychli v základní poloze a úsečku danou koncovými body x_1 a x_2 , která krychli protíná.

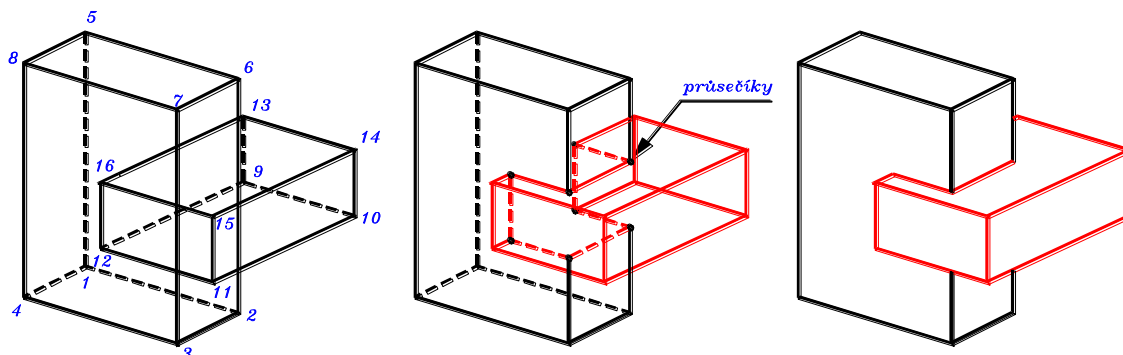
Určete průsečíky a viditelnost úsečky a krychle pro pozorovatele $g = [0, 0, 1, 0]^T$.

8a.2. Zadávání 3D těles



Výklad

Na následujícím příkladě 3 je ukázán způsob zadání prostorových hranatých těles zadaných vrcholy, resp. Hranami a stěnami. Jde o průnik dvou hranolů.



Obr. 8a.4

Příklad 3. Aplikujte Robertsův algoritmus na následující zobrazenou scénu.

Pro použití Robertsova algoritmu musíme si označit - očíslovat jednotlivé vrcholy a hrany. Je uvedeno v následujících tabulkách. Vrcholy tělesa jsou zadány formou tabulky 1. Vrcholy těles jsou očíslovány v prvním řádku tabulky. Jednotlivá tělesa jdou postupně ve sloupcích, kde v následujících řádcích jsou souřadnice x , y a z jednotlivých vrcholů.

Poznámka: Souřadnice x , y a z jsou načítány a ukládány ve tvaru **REAL**.

Vrcholy:

těleso 1

těleso 2

vrchol	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
x	0	2	2	0	0	2	2	0	1	3	3	1	1	3	3	1
y	0	0	0	0	6	6	6	6	2	2	2	2	4	4	4	4
z	1	1	3	3	1	1	3	3	0	0	4	4	0	0	4	4

Tabulka 1.

V tabulkách 2. a 3. jsou uloženy očíslovány jednotlivé hrany těles.

1. řádek tabulky: očíslované hrany těles.
2. a 3. řádek : čísla vrcholů, které jsou počáteční a koncové body příslušných hran.

Hrany:

těleso 1

hrana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
vrchol ₁	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4
vrchol ₂	2	3	4	1	6	7	8	5	5	6	7	8

Tabulka 2.

těleso 2

hrana	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
vrchol ₁	9	10	11	12	13	14	15	16	9	10	11	12
vrchol ₂	10	11	12	9	14	15	16	13	13	14	15	16

Tabulka 3.

V tabulce 4. jsou uloženy stěny jednotlivých těles jako očíslované n-úhelníky.

U každého n-úhelníka je seznam hran, které n-úhelník tvoří.

Stěny (n-úhelníky)

n-úhelník	hrany		n-úhelník	hrany
1	2,11,6,10		7	14,23,18,22
2	4,12,8,9		8	21,20,24,16
3	5,6,7,8		9	17,18,19,20
4	1,2,3,4		10	13,14,15,16
5	3,12,7,11		11	15,24,19,23
6	1,10,5,9		12	13,22,17,21

Tabulka 4.

Poznámka: Všechna čísla vrcholů a hran jsou CELOČÍSELNÁ – INTEGER.

Metoda a postup při řešení viditelnosti je

1. určíme vzájemnou polohu těles - objektů.

V případě průniků doplnit o další hrany - průsečnice pronikajících stěn. Při zvolení daného místa pozorovatele určíme viditelnost stěn resp. hran jednotlivých těles.

2. Zjistíme vzájemné překrytí hran resp. stěn.

Tento postup není univerzálním typem pro řešení podobných problémů. Je spíše **seznamem** problémů, které je nutno řešit při viditelnosti.



Shrnutí pojmů

Robertsova metoda – metoda na potlačení neviditelných hran pro prostorová hranatá **vypuklá – konvexní** tělesa zadaná vrcholy a hranami resp. stěnami.

Tělesa je nutné zapsat formou **matice vrcholů**. Viz. (8a.1)

U stěn a hran je nutné určit jejich viditelnost.

Je nutné určit „**rub**“ a „**líc**“ jednotlivých stěn pomocí orientace normály.



Otázky 8a. Robertsova metoda

1. Popište v bodech princip Robertsovy metody a její použití.
2. Uveďte vhodnost použití Robertsovy metody.
3. Vysvětlete princip zadání hranatých těles.
4. Vysvětlete způsob určování viditelnosti hran, stěn.