

## **A REPÜLŐGÉP SZIMULÁTOR ÉS TRENÁZS BERENDEZÉS VIZUÁLIS HELYZET-MODELLEZÉS ELMÉLETÉNEK ÁLTALÁNOS KÉRDÉSEI**

**Békési László mk. ezredes    Dr. Szabó László mk. alezredes**  
**egyetemi adjunktus                      Egyetemi adjunktus**  
**Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem**  
**Vezetés- és Szervezéstudományi Kar**  
**Repülő sárkány–hajtómű tanszék**

*A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Vezetés- és Szervezéstudományi Kar Repülő sárkány–hajtómű tanszékén másfél évtizede kutatjuk a személyi számítógép felhasználását, ezen belül kb. 2 éve a multimédia és a virtuális valóság alkalmazásának lehetőségét a kiképzés folyamatában. Az utóbbi időben a repülőgépek tervezése és üzemeltetése, a repülőszemélyzet oktatása és más, a repüléssel összefüggő sokrétű feladatok megoldásakor széles körben alkalmazzák a modellezést. Ennek során különböző modellező berendezéseket készítenek, amelyek segítségével földi viszonyok között — megfelelő pontossággal — előállítható a repülés teljes folyamata és a repülőszerkezet irányítása. Ehhez a csoporthoz tartoznak a repülőgépek szimulátorai és trenázs berendezései, valamint ezeken belül a szimulációt megvalósító repülőszerkezet vizuális helyzetimitátorai. Középtávú terveink között szerepel a repülőtiszt képzést elősegítő kevésbé bonyolult szimulátor, illetve trenázs berendezés önerőből történő elkészítése és a kiképzés során minél szélesebb körben való alkalmazása. Ezen berendezések tervezéséhez nyújt segítséget cikkünk.*

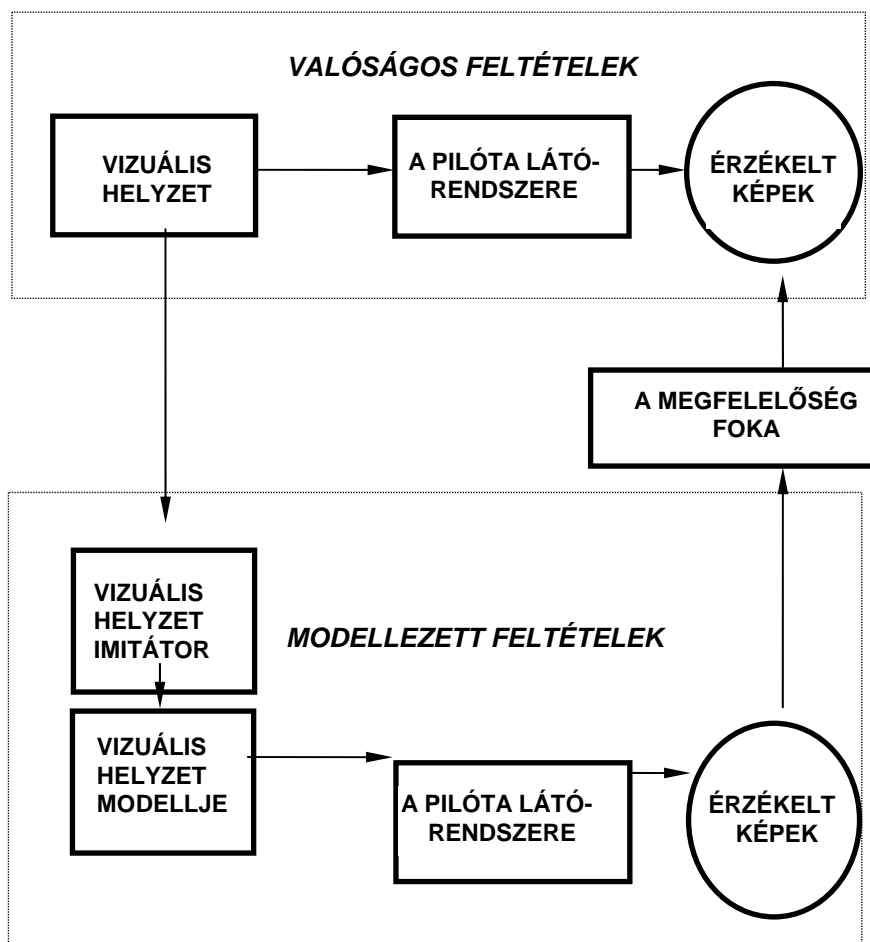
## **A VIZUÁLIS HELYZETIMITÁTOROK ANALÍZISÉNEK ÉS SZINTÉZISÉNEK ÁLTALÁNOS MEGKÖZELÍTÉSE**

A vizuális helyzetimitátorok fejlesztésének és alkalmazásának tudományos alapját a vizuális helyzet modellezésének elmélete adja. A modellezés-elmélet kutatási-elméleti módszerei sok esetben támaszkodnak olyan tudományterületekre, mint a kibernetika, számítástechnika, optika, televíziózás, ergonómia stb. Ugyanakkor a vizuális helyzet modellezése sok specifikus sajátosságot is tartalmaz, és nem tekinthető a különböző tudományterületeken alkalmazott módszerek és az ott elért

eredmények egyszerű összegzésének. Ez utóbbi megállapítás miatt a modellezésnek egyedülálló jelentősége van, amely elméleti megoldásának általános megközelítését az 1. ábrán látható vázlattal lehet illusztrálni.

A vizuális helyzetimitátor szintézisének feladatát a következőképpen fogalmazhatjuk meg:

Adott a valós vizuális helyzet, melyet a repülőgépvezető a kabinból érzékel (azaz meghatározott képeket lát). Tehát szükséges szintetizálni egy vizuális helyzetimitátor modellt rendszert, amely a vizuális helyzet modelljét ábrázolja.



1. ábra

Ebben az esetben alapvető követelmény, hogy ha ez utóbbit nézi a kabinból a pilóta, akkor olyan vizuális érzet alakul ki (virtuális valóság) benne, mint a valóságos repülésnél.

- Összefoglalva, a tervezőnek a következő fő feladatokat kell megoldania:
- A vizuális helyzet tárgyainak, valamint a pilóta által valóságos repülésnél érzékelt képek analizálása;
  - A modellező rendszerben végbemenő folyamatok eredményeként a pilóta által érzékelhető képeket maga a modell állítja elő;
  - A valóságos és modellezett vizuális helyzet hasonlósági feltételeinek megállapítása;
  - A hasonlóság feltételeinek megvalósítása konkrét modellező rendszerekkel.

## **A HASONLÓSÁG FELTÉTELEINEK VÁZLATA**

A vizuális helyzet modellrendszere analizálásának és szintézisének egyik fő feladata a hasonlósági feltételek leírása, vagyis azon kritériumok meghatározása, amelyeknek teljesülése szükséges és elégséges a valós repülés folyamatainak egyenértékűségéhez, illetve megfeleléséhez.

Tehát azon műszaki jellemzők, feltételek valamint tényezők felsorolása szükséges, amely alapján a hasonlóság felállítható, illetve amelyeknek alapvetően meg kell felelni, mint például a modellező rendszerek rendeltetése, vizuális helyzet tárgyainak jellemzői, a repülőszerkezet-, a pilóta-, a vizuális helyzet modellezésének módja...stb.

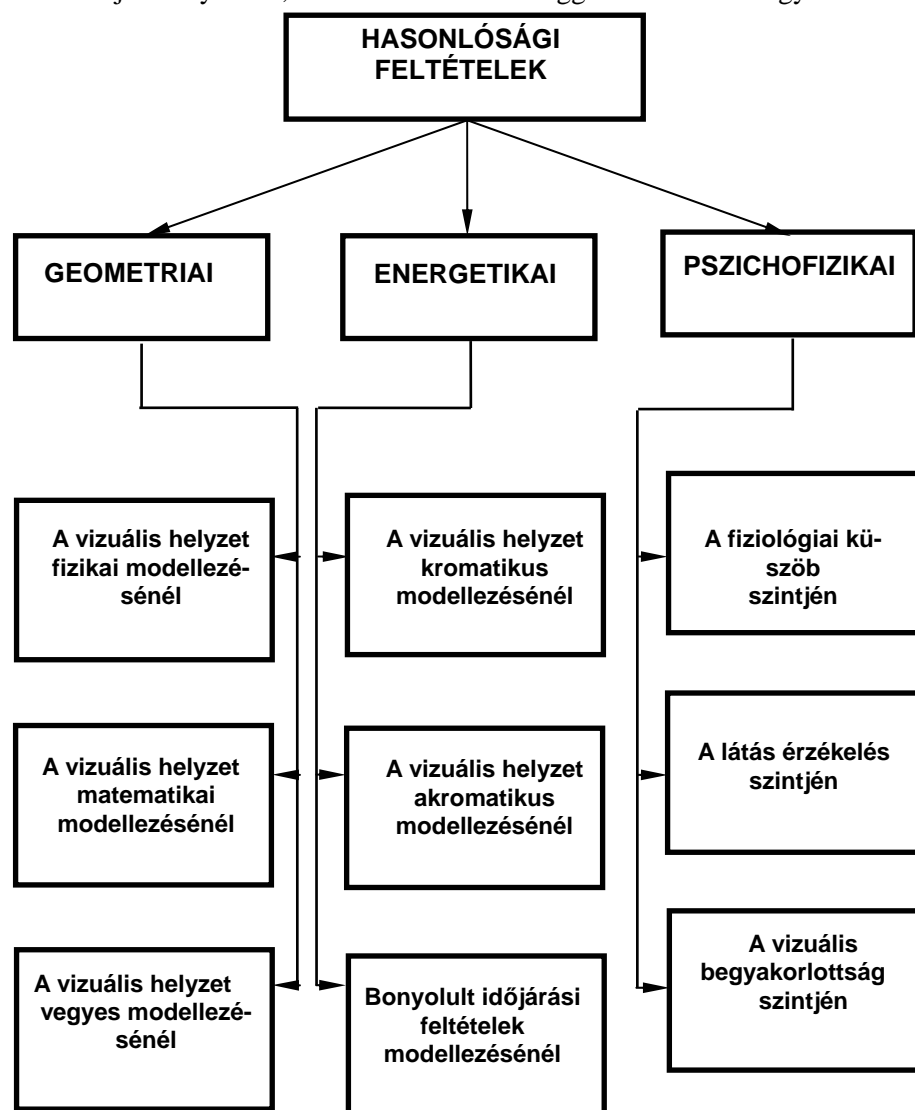
Ilyen szempontból a hasonlóság feltételeinek jellemzői és mennyisége lényegesen különbözhetnek. Ugyanakkor, minden esetben a modellező rendszerek megvalósíthatóságából és hatásosságából kiindulva, a hasonlósági feltételeknek egy minimálisan meghatározott számú jellemzőjével rendelkezünk kell, sőt ezek egymás közötti összefüggéseivel is. Ez utóbbiak szükségesek a vizuális helyzetimitátor funkciójának megvalósításához.

A 2. ábrán a hasonlósági feltételek összefoglaló táblázatát gyűjtöttük össze.

## **A VIZUÁLIS HELYZET FIZIKAI MODELL RENDSZERÉNEK SAJÁTOSSÁGAI**

A fizikai modellezés elvén alapuló vizuális helyzetimitátorok széles csoportot alkotnak. A fizikai modellek előnyösebbek, mint a matematikai modellek és ezt

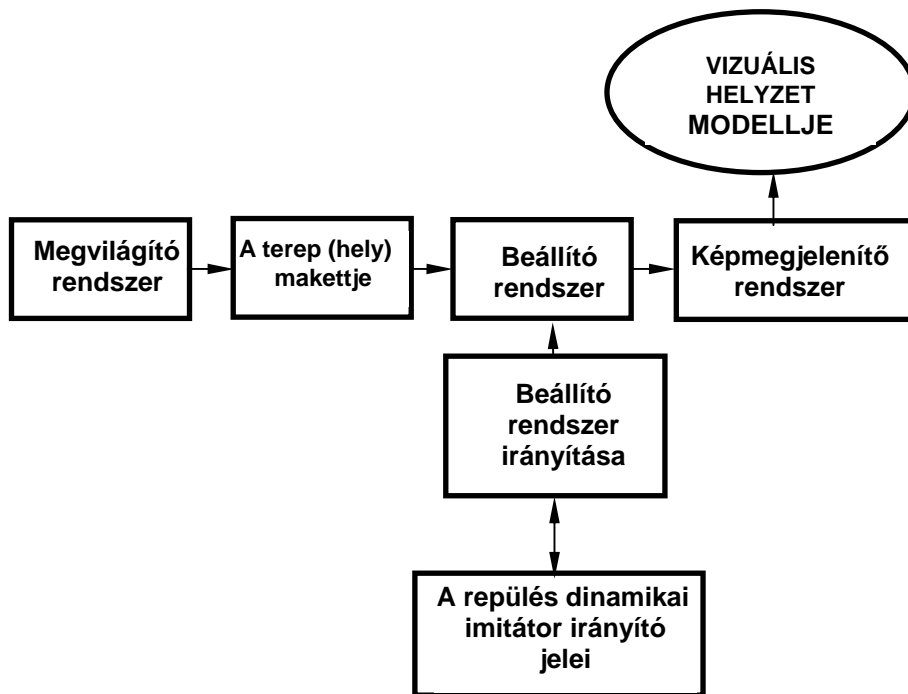
a tényt a következő jellemzők biztosítják: a lejátszott kép valóságtartalma nagy, a rendszer jól irányítható, a funkcionális összefüggések rendkívül egyszerűek.



2. ábra

(Megjegyzés: A táblázatban közölt hasonlósági feltételek alkalmazhatók bármely modellező rendszerhez, függetlenül a modell felépítési elvétől és a konkrét megvalósítás technikai eszközeitől.)

A fizikai modellezés elvén működő vizuális helyzetimitátorok általánosított vázlatát a 3. ábrán látható.

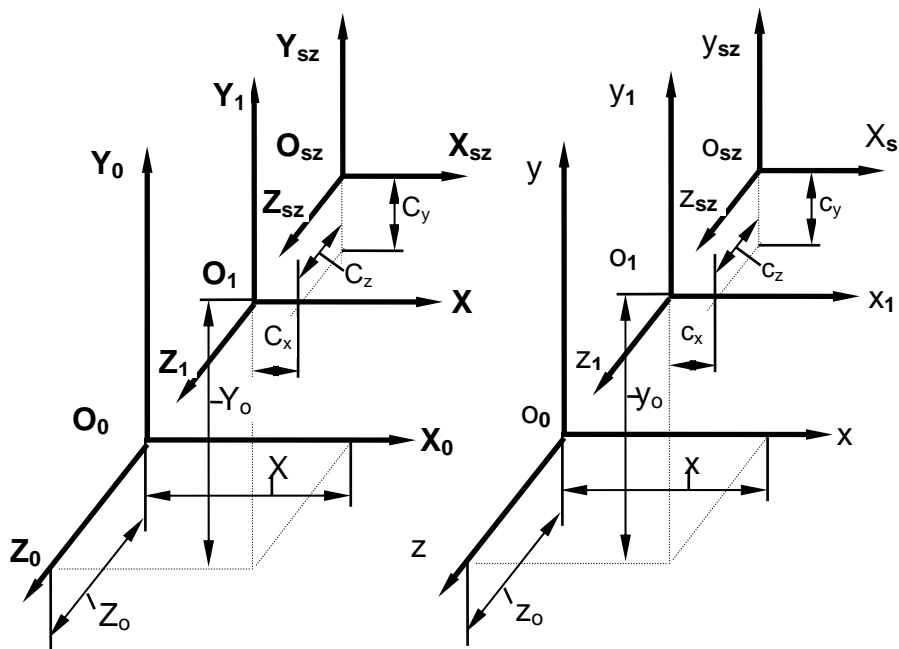


3. ábra

## A HASONLÓSÁG FELTÉTELEI DERÉKSZÖGŰ KOORDINÁTARENSZEREK BEN, LINEÁRIS MOZGÁS ESETÉN

A 4. ábrán a valóságos repülés koordinátarendszere látható. Az  $O_0, X_0, Y_0, Z_0$  – a földhöz rögzített derékszögű jobbsodrású koordinátarendszer. A koordináta rendszer 0 kezdőpontja általában a fel- és leszállás repülőteréhez kötött. Az  $X_0, Z_0$  tengelyek által meghatározott sík a föld felszín érintő síkja a koordinátarendszer 0 kezdőpontjában. A  $X_0$  tengely egybeesik a fel- és leszállópálya hossz tengelyével, az  $Y_0$  tengely pedig az  $X_0, Z_0$  síkra merőleges. Az  $O_1, X_1, Y_1, Z_1$  – a repülőgéphez kötött koordinátarendszer, melynek középpontja egybeesik a repülőgép súlypontjával. Az  $O_{sz}, X_{sz}, Y_{sz}, Z_{sz}$  – a

repülőgépvezető szeméhez „kötött” koordináta-rendszer, melynek középpontja, az  $O_{sz}$  a repülőgépvezető két szemét összekötő egyenes felezési pontjában van. Az  $O_{sz}$ ,  $X_{sz}$  tengely egybeesik a látás irányával, a másik két tengely az előzőre és egymásra merőleges.



4. ábra

5. ábra

Repüléskor a repülőgép súlypontja ( $O_1$ ) a térben  $\bar{V}$  sebességgel mozog, melynek földhöz rögzített koordináta-rendszer tengelyeire eső összetevői a következők:

$$V_x = \frac{dX_0}{dT}; \quad V_y = \frac{dY_0}{dT}; \quad V_z = \frac{dZ_0}{dT}$$

ahol:  $T$  – a valóságos körülmények esetén figyelembe vett idő.

Az ábrán látható  $C_x, C_y, C_z$  a repülőgépvezető szeme retinájának koordinátái.

A fizikailag modellezett vizuális helyzetimitátor esetén is három megfelelő koordináta-rendszert kell felvennünk (5. ábra). Itt az  $O_0, x_0, y_0, z_0$  — mozdulatlan koordináta-rendszer, amely a makett környezetéhez kötött, míg az  $O_1, x_1, y_1, z_1$  — koordináta-rendszer a modellezett térben a repülőszerkezet súlypontjához van rögzítve. Az  $O_{sz}, x_{sz}, y_{sz}, z_{sz}$  koordináta-rendszer a megjelenítő berendezés középpontjához kötött.

A modellezett repülés esetén a repülőszerkezet súlypontja a modellezett térben  $v$  sebességgel mozog, melynek a makett környezetéhez kötött koordináta-rendszer tengelyeire eső vetületei:

$$v_x = \frac{dx_0}{dt}; \quad v_y = \frac{dy_0}{dt}; \quad v_z = \frac{dz_0}{dt}$$

ahol:  $t$  – a modellezett körülmények esetén figyelembe vett idő

Térbeli derékszögű koordinátarendszerben a hasonlóság feltételei kifejezhetők a te-  
rek, a sebességek és az idők arányossági tényezőivel:

$$m_x = \frac{x_0}{X_0}; \quad m_y = \frac{y_0}{Y_0}; \quad m_z = \frac{z_0}{Z_0};$$

$$m_{v_x} = \frac{V_x}{V_x}; \quad m_{v_y} = \frac{V_y}{V_y}; \quad m_{v_z} = \frac{V_z}{V_z}$$

$$m_t = \frac{t}{T}$$

A különböző analízisek azt mutatják, hogyha egy repülőszerkezet mozgását  
(hat szabadságfokot figyelembe véve) modellezzük a vizuális helyzetimitátorral,  
akkor a következő feltételeknek kell teljesülniük:

$$m_x = m_y = m_z = m; \quad m_{v_x} = m_{v_y} = m_{v_z} = \frac{m}{m_t}$$

Ha a vizuális helyzetet valós idő szerint modellezzük ( $m_t=1$ ), akkor a hasonlóság  
feltételei egyszerűsödnek, mivel a sebességek aránya azonos lesz a tér koordinátáinak  
arányával.

## A HASONLÓSÁG FELTÉTELEI A REPÜLŐSZERKEZET FORGÓ MOZGÁSÁNAK MODELLEZÉSÉNÉL

Repülés közben a repülőgép a térben meghatározott helyzetet foglalhat el és eközben a  
géphez kötött koordinátarendszer a géppel együtt elfordul, a földhöz rögzített koordi-  
nátarendszerhez képest. A repülőgéphez rögzített koordinátarendszer  $O_1X_1$ ,  $O_1Y_1$ ,  
 $O_1Z_1$  tengelyeinek helyzetét az eredeti helyzetükhöz képest az iránycosinusok mátri-  
xával  $[\cos A_{ij}]$  határozhatók meg, ahol  $i=x,y,z$ ;  $j=x,y,z$ .

A repülőgép mozgásának modellezésénél a vizuális megjelenítő koordináta tengelyei a modellezett térben fordulnak el, miközben az Ox, Oy és Oz tengelyek helyzete ugyancsak az iránycosinusok mátrixával  $[\cos \alpha_{ij}]$  határozhatók meg, ahol;  $i = x, y, z$ ;  $j = x, y, z$ .

A hasonlóság feltételei a repülőgép forgó mozgásakor az úgynevezett szög arányossági tényezőkkel határozható meg:

$$m_{\alpha_{ij}} = \frac{\alpha_{ij}}{A_{ij}} \quad (i = x, y, z; j = x, y, z)$$

Az egymás közötti kapcsolatokat a megfelelő iránycosinusok adják.

A forgómozgás hasonlósági feltételei akkor teljesülnek, ha biztosított az eredő elfordulás és az egyes tengelyek körüli elfordulás szögsebességeinek megfelelő iránycosinusok egyenlősége

$$m_{\alpha_{ij}} = 1; \quad m_{\omega_{ij}} = 1 \quad (i = x, y, z; j = x, y, z)$$

ahol:  $m_{\omega_{ij}}$  – a szögsebesség arányossági tényezője

A repülőgéphez kötött koordinátarendszer elfordulását a térben 3 egymástól független szöggel jellemezhetjük. Jelöljük ezeket  $A_1, A_2, A_3$ -mal a valós repülőgépeknél és a vizuális helyzetimitátornál pedig  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ -mal. Ezen szögeknek a részleges szögelfordulás mátrixai  $[A_1], [A_2], [A_3]$  felelnek meg a valós repülőgépnél, míg a vizuális helyzetimitátornál pedig  $[\alpha_1], [\alpha_2], [\alpha_3]$ . A géphez kötött koordinátarendszer iránycosinusai a gép tetszőleges elfordulásakor az eredő mátrixokkal határozhatók meg:

$$[A] = [\cos A_{ij}] = [A_1] [A_2] [A_3],$$

a modellnél pedig

$$[\alpha] = [\cos \alpha_{ij}] = [\alpha_1] [\alpha_2] [\alpha_3].$$

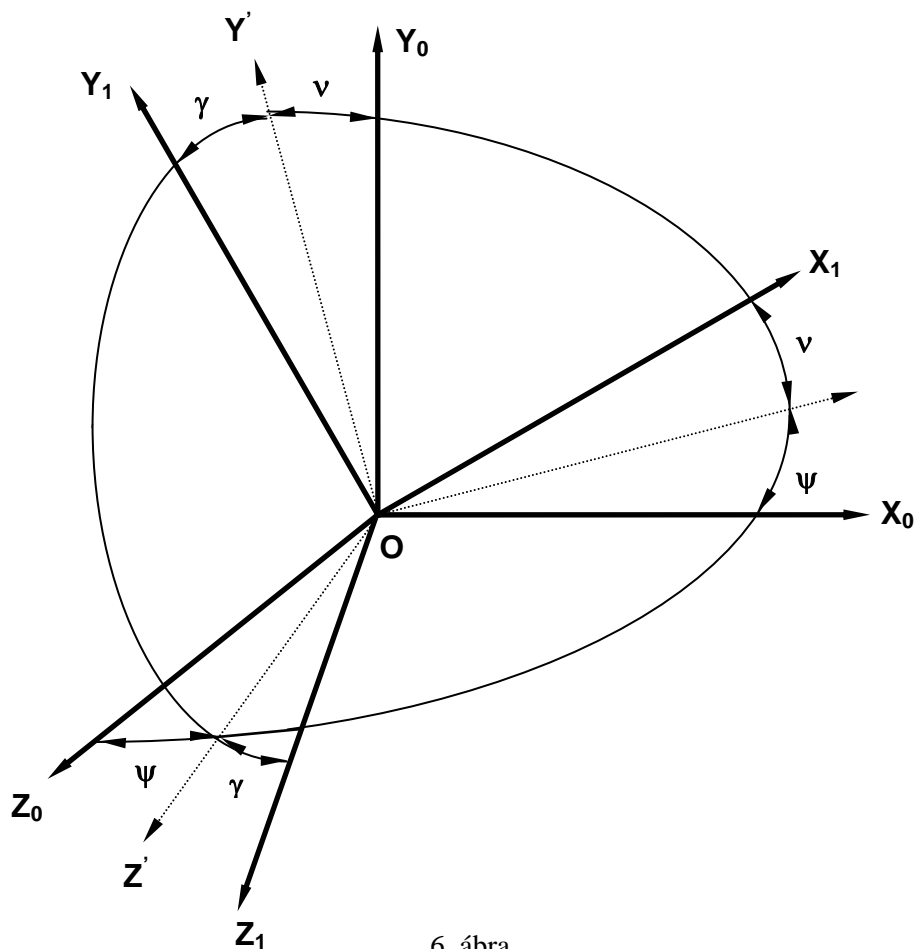
Amennyiben a szögelfordulások hasonlósági feltételei fennállnak, akkor az eredő mátrixok egyenlőek, azaz:

$$[A_1] [A_2] [A_3] = [\alpha_1], [\alpha_2], [\alpha_3]$$

A géphez kötött koordinátarendszer eredő elfordulását különböző módon kaphatjuk meg. Ez attól függ, hogy hogyan választjuk meg az  $A_1, A_2, A_3$  szögeket. A repülőgép szögelfordulását általában az irányszöggel ( $\psi$ ), a bólintási



szöggel ( $\nu$ ), és a dőlésszöggel ( $\gamma$ ) jellemezhetjük. Az 6. ábrán látható, hogy egymás utáni elforgatással a földhöz rögzített és a repülőgéphez kötött koordinátarendszerek megfelelő tengelyei fedésbe hozhatók.



6. ábra

Az eredő elfordulás iránycosinusait — melyek az irányszöggel, a bólintási szöggel és a dőlésszöggel határozhatók meg — az 1. számú táblázat tartalmazza.

Az utolsónak felírt egyenlet szerint nincs különösebben korlátozva a modellrendszerben az  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  szög, azaz gyakorlatilag a modellrendszerben kiválaszthatók a szögek úgy, hogy különböznek a  $\psi$ ,  $\nu$ ,  $\gamma$  szögektől. Az esetek többségében, ha nincs más megkötés, akkor a modell koordinátarendszerének szögeit azonosra választják  $\psi$ ,  $\nu$ ,  $\gamma$  szögekkel.

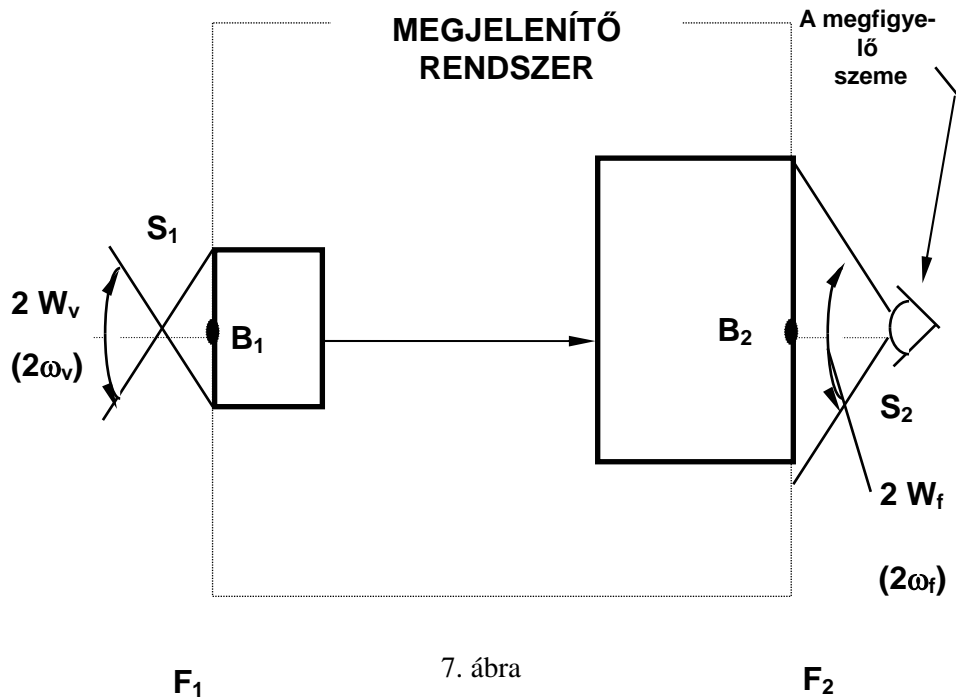
## A MEGJELENÍTŐ RENDSZER HASONLÓSÁGI FELTÉTELEI

A repülőgép-hez kötött koordináta-rendszer tengelyei	<b>A Földhöz rögzített mozgó koordináta-rendszer tengelyei</b>		
	$OX_0$	$OY_0$	$OZ_0$
$OX_1$	$\cos\psi \cos\varphi$	$\sin\varphi$	$-\sin\psi \cos\varphi$
$OY_1$	$\sin\psi \sin\varphi - \cos\psi \sin\varphi \cos\gamma$	$\cos\psi \cos\varphi$	$\cos\psi \cos\varphi + \sin\psi \sin\varphi \cos\gamma$
$OZ_1$	$\sin\psi \cos\varphi - \cos\psi \sin\varphi \cos\gamma$	$-\cos\varphi \sin\varphi$	$\cos\psi \cos\varphi - \sin\psi \sin\varphi \cos\gamma$

1.sz. táblázat

Mivel a repülőgépvezető — általában — a szimulátorban, illetve trenázs berendezésben kétméretű képet lát, így a valóságos és modellezett vizuális helyzet hasonlósága érdekében a megjelenítő rendszerben azoknak a feltételeknek kell teljesülniük, amelyek a perspektíva átadás helyességének feltételeiből adódnak. A modellezett rendszer képbeállító berendezésében a perspektivikus átalakítást úgy kell elvégezni — azzal a hasonlósági pontossággal —, amely megfelelő a pilóta által látott valós hely központos tükrözésének, ha teljesül a következő két feltétel (7. ábra):

- A megjelenítő rendszernek hasonló átalakítást kell végeznie, mert:
  - A kép koordinátái nem torzulhatnak;
  - A vízszintes és függőleges síkban a lineáris nagyításnak azonosnak kell lenni.



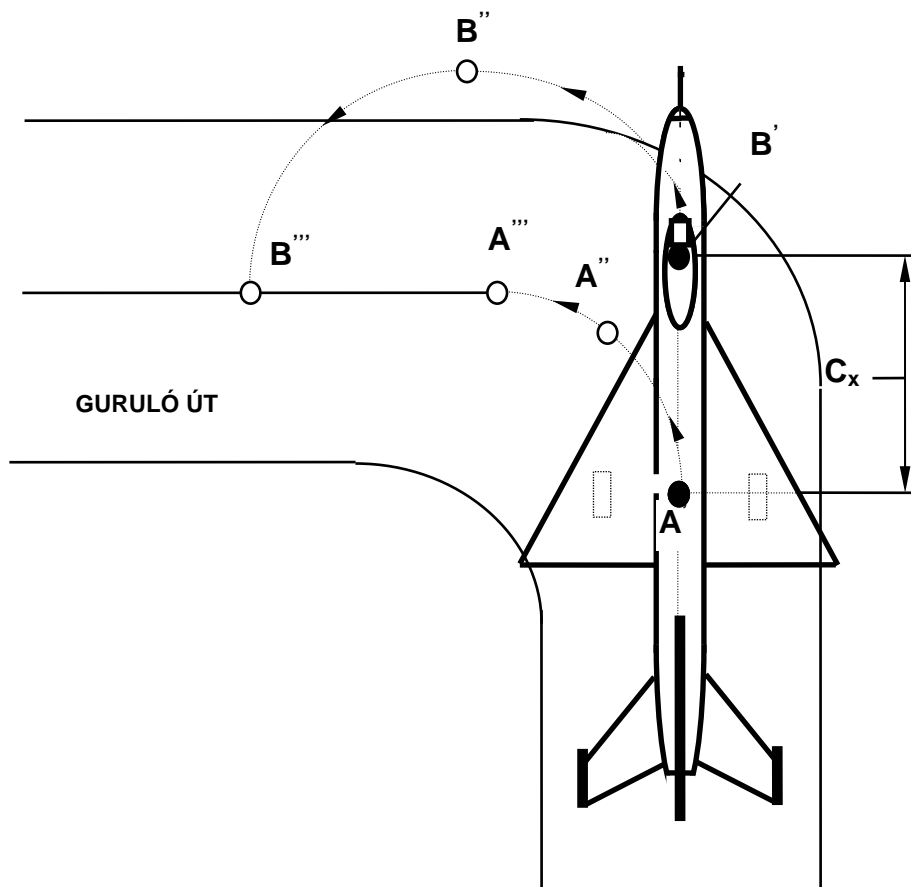
7. ábra

- A repülőgépvezető által látott kép meg kell hogy feleljen a modellező rendszer képbeállító berendezése által a makett felületéről alkotott képkel.
  - A bemenő kép felületének (F<sub>1</sub>) merőlegesnek kell lennie a képalkotás tengelyére (S<sub>1</sub> B<sub>1</sub>), a kimeneti oldalon lévő kép felületének (F<sub>2</sub>) pedig a látás tengelyére (S<sub>2</sub> B<sub>2</sub>);
  - A kimeneti oldalon megjelenő kép függőleges 2ω<sub>f</sub> vagy vízszintes 2ω<sub>v</sub> látószögének azonosnak kell lennie a képbeállító berendezés 2W<sub>f</sub> vagy 2W<sub>v</sub> szögével;
  - A B<sub>1</sub> és B<sub>2</sub> pontok egymás konjugáltjainak kell lenniük.

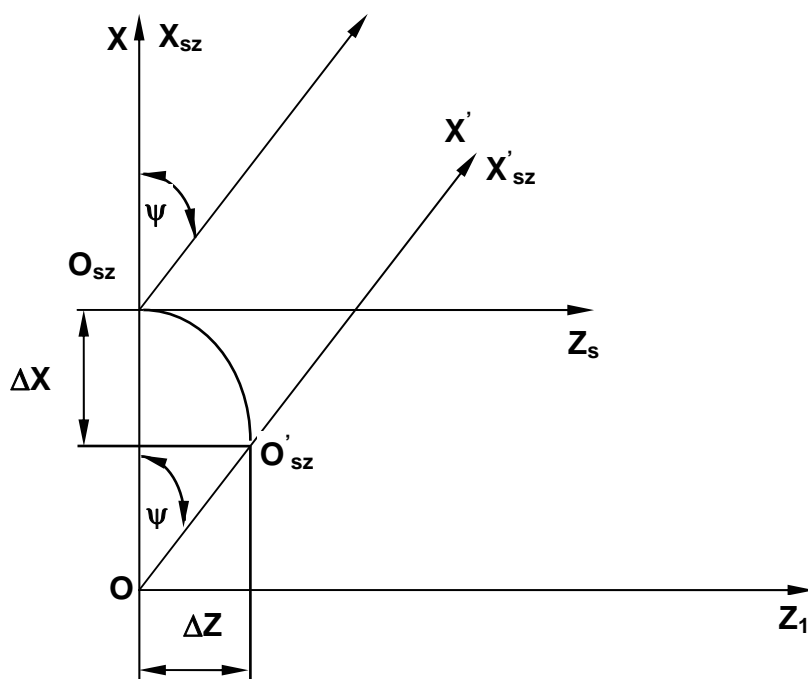
## KIEGÉSZÍTŐ HASONLÓSÁGI FELTÉTELEK

A fizikai modellezésnél a következő feltételeknek is teljesülni kell (mivel ezek is kihatnak a vizuális helyzet ábrázolására):

- A pilóta szeme és a repülőgép súlypontja között jelentős távolság van. A  $C_y$  és  $C_z$  távolságok (4 és 5. ábra) a gép súlypontjától nem jelentősek (0,5–1,0m), ellenben a  $C_x$  távolság jelentős, ami géptípustól függően 5–25m között mozog. Ezt a jelentős eltérést  $H=100\text{m}$  feletti magasság esetén hagyhatjuk figyelmen kívül. A guruló úton való fordulás esetén pl. a pilóta szemének pályája egészen más, mint a repülőgép súlypontjának a pályája (8. ábra). Ez utóbbi probléma egyik megoldása lehet az, hogy a pilóta szeméhez kötött koordináta-rendszer középpontját az irányszöggel elfordítjuk (9. ábra). Ezzel azt érjük el, hogy a koordináta-rendszer  $O_{sz}$  körüli elfordítása  $\psi$  szöggel, egyidejűleg az  $O_{sz}$  középpont is elmozdul az  $OX_1$  és az  $OZ_1$  tengelyek mentén a  $\Delta X = -m C_x(1-\cos\psi)$ ;  $\Delta Z = m C_x \sin\psi$  értékekkel.



8. ábra



9. ábra

- A 4.generációs szimulátor illetve trenázs berendezés jelentős részénél a repülőgépvezető fülke egy dinamikus talpazatra van felszerelve, és a korszerűbb változatoknál már modellezve (érzékeltetve) van a pilótára ható túlterhelés is. Így a pilóta korlátozottan, a kabinnal együtt mozog a térben. Ilyen esetben, ha a képmegjelenítő berendezés egy álló alapra van felszerelve, akkor a kabin helyzete a vizuális helyzet modelljéhez képest — ha a dinamikus rész mozog — változni fog.

## ÖSSZEFOGLALVA

A repülőgép szimulátorok illetve a trenázs berendezések tervezésénél alapvető szempont a vizuális helyzetimitátorokkal szemben megfogalmazott követelményrendszer figyelembe vétele. Ez alapján az adott repülőszerkezet által meg-

követelt különböző tényezők, amelyek hatnak a vizuális helyzetre, a legkülönb-félék lehetnek. Ugyanakkor, minden konkrét esetben — meghatározva a repülő-szerkezet típusát, valamint az általa megoldandó feladatokat — megfogalmazható a vizuális helyzetimitátor konkrét technikai követelményrendszere. Szimulátorok, illetve trenázs berendezések tervezésének fontos fázisa a vizuális helyzet geometriai jellemzőinek fizikai modellezése, valamint a hasonlósági feltételek meghatározása vizsgálata. A tervezés előzőekben megfogalmazott feladataihoz kívántunk cikkünkkel segítséget nyújtani.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BABENKO: Imitatori vizualnoj obsztanovki trenazserov letatelnih apparatov. Moszkva, Masinosztroenie, 1978.
- [2] BÉKÉSI LÁSZLÓ: A működő modellek szerepe a repülőgép- és helikopter sárkány-hajtómű szakon tanuló hallgatók képzésében. Katonai Főiskolai közlemények (tudományos módszertani folyóirat), 1986/X/1. pp. 74–82
- [3] HABER, RALPH NORMAN: "Flight Simulation". Scientific American, July 1986.
- [4] F. HAMIT: "Virtual Reality and the Exploration of Cyberspace", SAMS Publishing, Indiana, 1993.
- [5] KING, DOUGLAS: "The Future of VR". Funworld, July 1991.
- [6] PORKER: Video ground-based flight simulation apparatus, USA Pat., CI. 35–12, no. 4,016,658, Apr. 12. 1977.
- [7] SZABÓ LÁSZLÓ: Személyi számítógép alkalmazásának tapasztalatai a szakalapozó tantárgyak tanításában. Egyetemi doktori értekezés, BME, Budapest, 1991.

*In the Engine and Airframe Department of the Aviation Officer' Institute of the Miklós Zrínyi National Defence University we have been searching the possibilities of application of personal computers in the teaching-studying process for fifteen years among other technical topics. From 1997 the main direction of our research is to create a base for application of the virtual reality and the multimedia in the flying and mechanical engineering training. The authors are writing about design of the simulator and the equipment of the simulator of the fighters and the helicopters.*