

1. Függelék

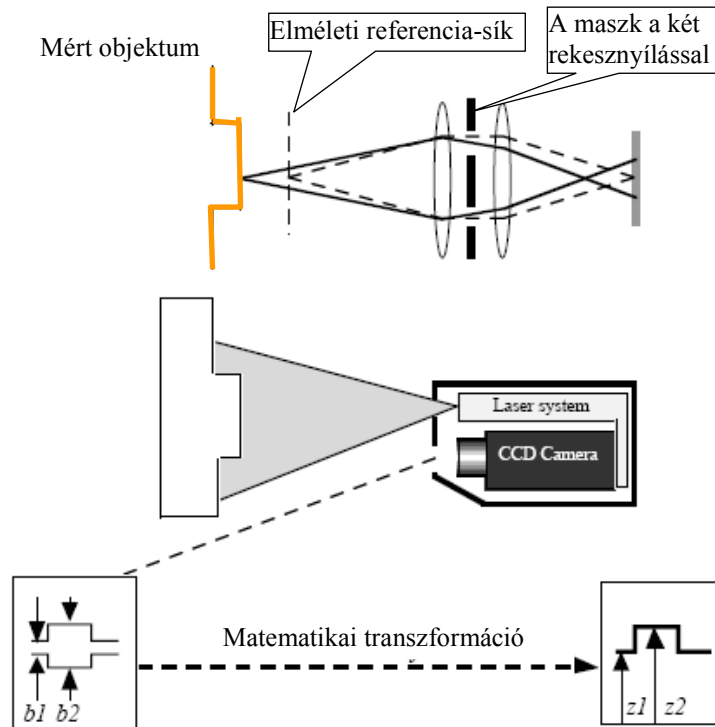
Projekt neve	Számítógép	Berendezés	Pontosság: Pozíció [mm]	Pontosság: Orientáció [°]	Mintavételezés [Hz]	Jellemzők	Hatótávolság	Referencia
Általánosan			0,01%-5% -a távolságnak		100-10 000, vagy analóg	Hibák összegeződése	Nem behatárolt	Parish & Grabbe, 1993 Omnitech Robotics, Inc.
TRC Labmate*	486/33MHz	Mindegyik kódoló impulzus megfelel 0,012[mm] kerékmozgásnak.	4x4 [m]-s kétirányú négyszög pályán: 310 [mm]	Sima pályán: 6° 10 zöttyenéssel: 8°	Magas: 1 [KHz]	Rövid tengelytávolság	Nem behatárolt	[TRC] Transition Research Corp.
Cybermotion*	Saját fedélzeti megoldás	Kerék és kitérés kódolók	4x4 [m]-s kétirányú négyszög pályán: 63 [mm]	Sima pályán: 1°-3,8° 10 zöttyenéssel: 4°		Szinkron motoros kerék meghajtás		Cybermotion
Model-reference adaptive motion control	386/20MHz	Keréken kódolók, szonár az orientációra	2x2 [m]-s négyszögpályán átlagban 20 [mm]	2x2 [m]-s négyszögpályán átlagban 0,5° [mm]	20 [Hz]	Csak a rendszeres hibák kompenzálhatóak	Nem behatárolt	[Feng et a., 1994] Univ of Michigan
CLAPPER:* 2 kerék meghajtás belső odometriai korrekcióval	486/33MHz	2db rotációs abszolút kódoló, 1db lineáris kódoló	4x4 [m]-s négyszög pályán: Sima pályán: 22 [mm] 10 zöttyenés: 44 [mm]	Sima pályán: 22° 10 zöttyenéssel: 0,4°	25 [Hz]	A véletlenszerű zavarásokat képes kiszűrni.	Kivánt	[Borenstein, 1994] Univ. of Michigan
UMBmark* kalibráció a rendszeres odometriai hibák csökkentésére	486/33MHz	Bármely differenciál-meghajtású mobilrobot. (ebben az esetben TRC Labmate robotról van szó)	4x4 [m]-s négyszög pályán: átlagos pozíció visszatérési hiba 30-40 [mm]		25 [Hz]	A rendszeres odometriai hibák csökkentésére volt tervezve. Ez a kalibrációs rutin bármely differenciál-meghajtású mobilrobotra alkalmazható, nem igényel speciális berendezéseket.		[Borenstein & Feng, 1995] Univ. of Michigan

F1-1. Táblázat: Néhány odometriában használatos pozicionáló berendezés konkrét tesztelési eredménye

A táblázatban kiemelten láthatóak a pozicionálási pontossággal kapcsolatos adatok, amelyek szorosabban kötődnek a jelen dolgozathoz.

* Ezek az eredmények Az *University of Michigan* egyetemen futott *UMBmark, dead-reckoning* pontossági teszt eredményei, bővebb leírása megtalálható a [BOFE_94]-ben.

2. Függelék

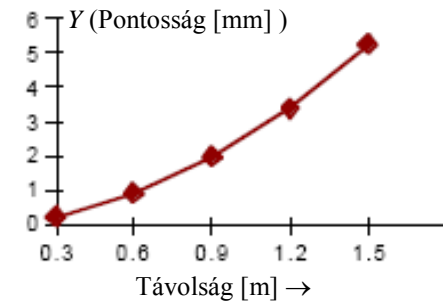


F2-1. ábra

A BIRIS optikával megvalósított mérés felépítése

A mérésnél egy standard CCD ipari kamera volt használva, és egy normál lézertűz lézer fényforrás egy lencsén keresztül rávetítve a lézertűz a mért objektumra. A két rekesz által két kép

keletkezett, melyek közti viszony, (lásd F2-1 ábra, b_1 , b_2) a matematikai transzformáció eredményeképpen, megadta a mért objektum pontjainak távolságát (lásd F2-1 ábra, z_1 , z_2) a kamerától. Mivel a BIRIS 30° -os látómezőt használt, az objektum felületi alakjáról is információkat kaptunk. Az F2-2 ábrán a távolságmérés pontosságát látjuk, ahol a mérést ismert távolságoknál végezték (5 távolságnál, mindegyiknél többszöri mérés), majd a mért értékek és a pontos értékek különbségeinek négyzetes középértéke került ábrázolásra az „Y” tengelyen.



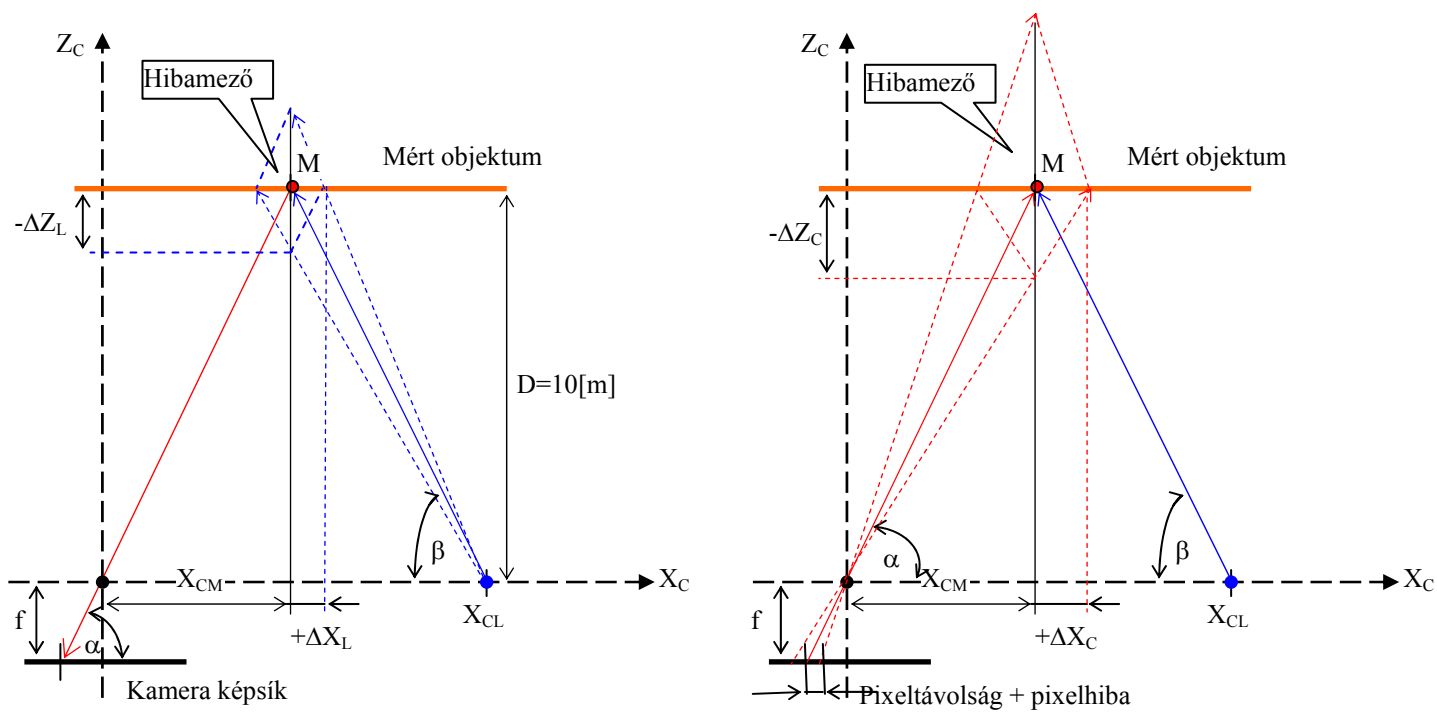
F2-2. ábra

A BIRIS- es távolságmérés pontossága

A méréssel kapcsolatos referencia: lásd irodalomjegyzék: [33]

3. Függelék

Egy „*Laser Striping*” típusú mérés^{F1}, és a mérés hibamezejének számolása valós környezetben. A hibamező koordinátái: ΔX és ΔZ , középpontja a mért M pont. A kamera koordinátái: X_C és Z_C . A hibamező koordinátái és a kamera koordináta-rendszere párhuzamosak, lásd, F3-1 ábra.



F3-1. ábra
A mérés geometriája és a szöghibákból keletkezett hibamezők

^{F1} MoMic laboratórium, BME, 1997.

A méréshez használt eszközök:

1. CCD monokromatikus ipari kamera, adatokat lásd az F3-1 táblázatban.
2. Lézer fényforrás, ahol a forgatómechanizmus szögfelbontása 3'' szögmásodperc
3. A kamera fókuszpontja és a fényforrás egy síkban van, köztük lévő távolság $X_{CL}=60$ [cm]
4. A mért objektum pontos távolsága $D=10$ [m]

Kamera típusa	5647X/02, monokromatikus
Képsík pixel felbontása	610 x 488
Képsík mérete	6 x 4,5 [mm]
pixelhiba	Max. 2 pixel

F3-1. Táblázat. A CCD kamera adatai.

Pixeltávolság: →	$\Delta x=9,836[\mu\text{m}];$	$\Delta y=9,221[\mu\text{m}];$
Fókusz távolságok ↓	Szöghibák ↓	
f=6[mm]	$\Delta\alpha_x=0,094^0;$	$\Delta\alpha_y=0,088^0$
f=8[mm]	$\Delta\alpha_x=0,0704^0;$	$\Delta\alpha_y=0,066^0$
f=10[mm]	$\Delta\alpha_x=0,056^0;$	$\Delta\alpha_y=0,528^0$

F3-2. Táblázat. A kamera szöghibái különböző fókusz távolságoknál.

Szöghiba	$\beta^0 \angle$	45^0	60^0	75^0
3'' (0,000833⁰)	+ΔX_L	0,2901[mm]	0,1912[mm]	0,0639[mm]
	-ΔX_L	0,2907[mm]	0,1964[mm]	0,2477[mm]
	+ΔZ_L	0,2901[mm]	0,3313[mm]	0,2386[mm]
	-ΔZ_L	0,2907[mm]	0,3401[mm]	0,9245[mm]
$X_{CL} - X_{CM}$		$10 \cdot 10^3$ [mm]	$5,7735 \cdot 10^3$ [mm]	$2,6794 \cdot 10^3$ [mm]

F3-3. Táblázat. A fényforrás mozgatómechanikájának szöghibájából származó hibamező paraméterei különböző szögeknél

Beesési szög ↓	Fókusz távolság →	f=6[mm]	f=8[mm]	f=10[mm]
	Szöghiba →	$\Delta\alpha_x=0,094^0$	$\Delta\alpha_x=0,0704^0$	$\Delta\alpha_x=0,056^0$
45^0 $X_{CM}=10.10^3$	+ ΔX_C [mm]	32,866	24,604	19,566
	- ΔX_C [mm]	32,758	24,544	19,528
	+ ΔZ_C [mm]	32,866	24,604	19,567
	- ΔZ_C [mm]	32,758	24,544	19,528
60^0 $X_{CM}=5,7735.10^3$	+ ΔX_C [mm]	21,898	16,397	13,041
	- ΔX_C [mm]	21,850	16,368	13,021
	+ ΔZ_C [mm]	37,990	28,431	22,605
	- ΔZ_C [mm]	37,785	28,320	22,538
75^0 $X_{CM}=2,6794.10^3$	+ ΔX_C [mm]	17,683	13,265	10,570
	- ΔX_C [mm]	17,484	13,073	10,380
	+ ΔZ_C [mm]	65,683	49,030	38,894
	- ΔZ_C [mm]	65,565	49,265	39,295

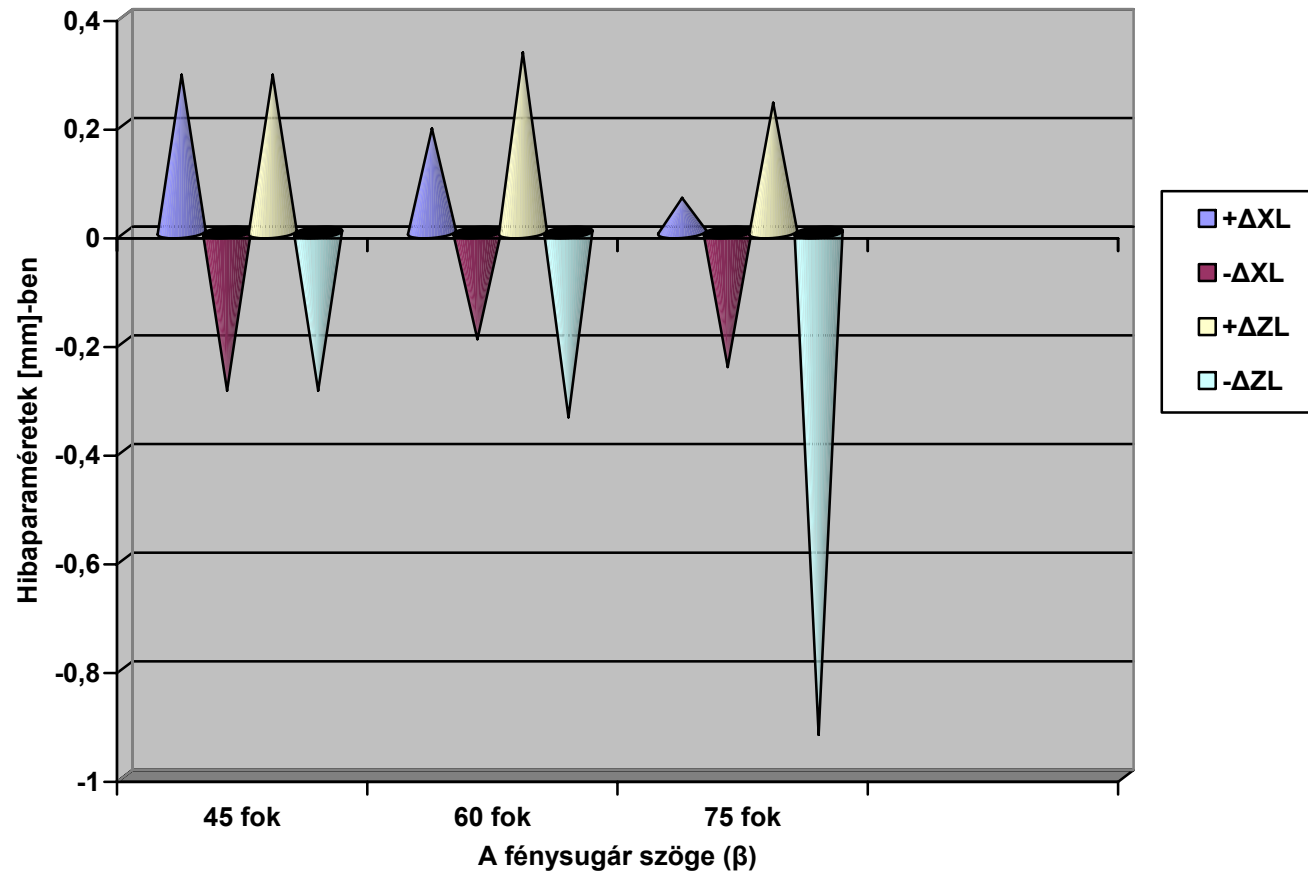
F3-4. Táblázat. A kamera szöghibájából származó hibák különböző fókusz távolságoknál

A számolásnál felhasznált képletek:

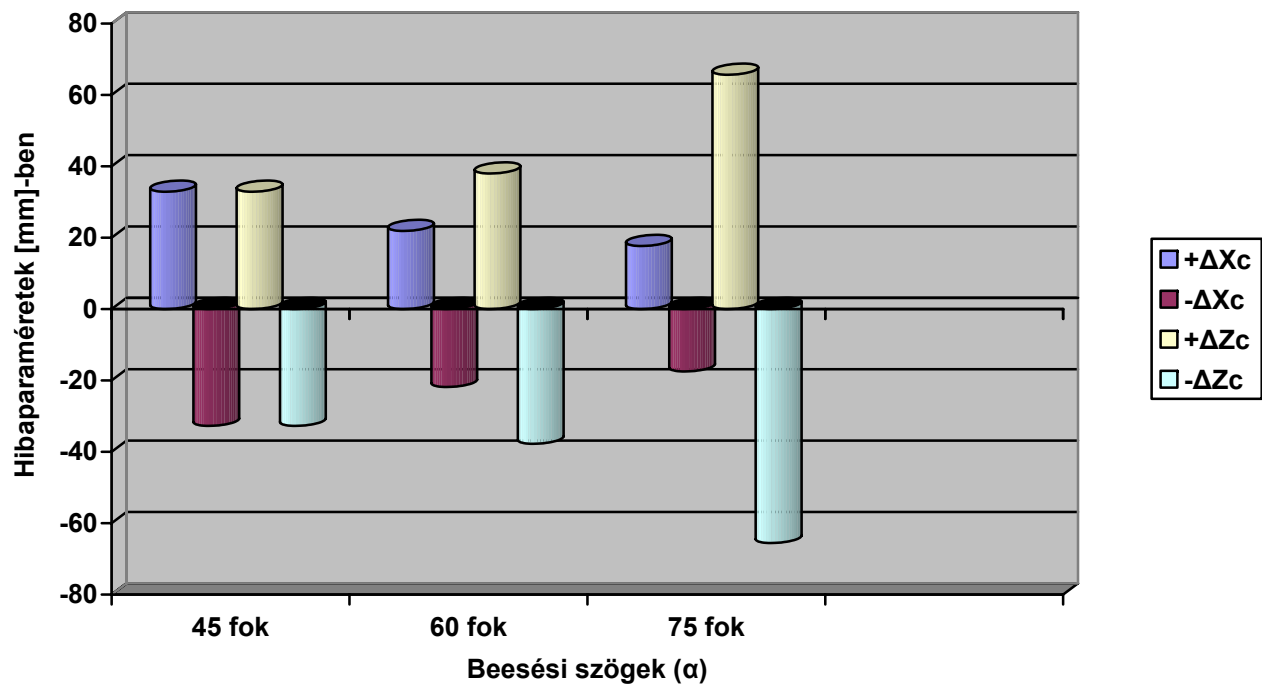
Fényforrás szöghibáiból származó hibamező paraméterek:

$$\pm \Delta X_L = \overline{X_{CL} - X_{CM}} - \left[\frac{D}{\text{tg}\beta \pm \Delta\beta} \right]; \quad \pm \Delta Z_L = D - \left[\overline{X_{CL} - X_{CM}} \cdot (\text{tg}\beta \pm \Delta\beta) \right]$$

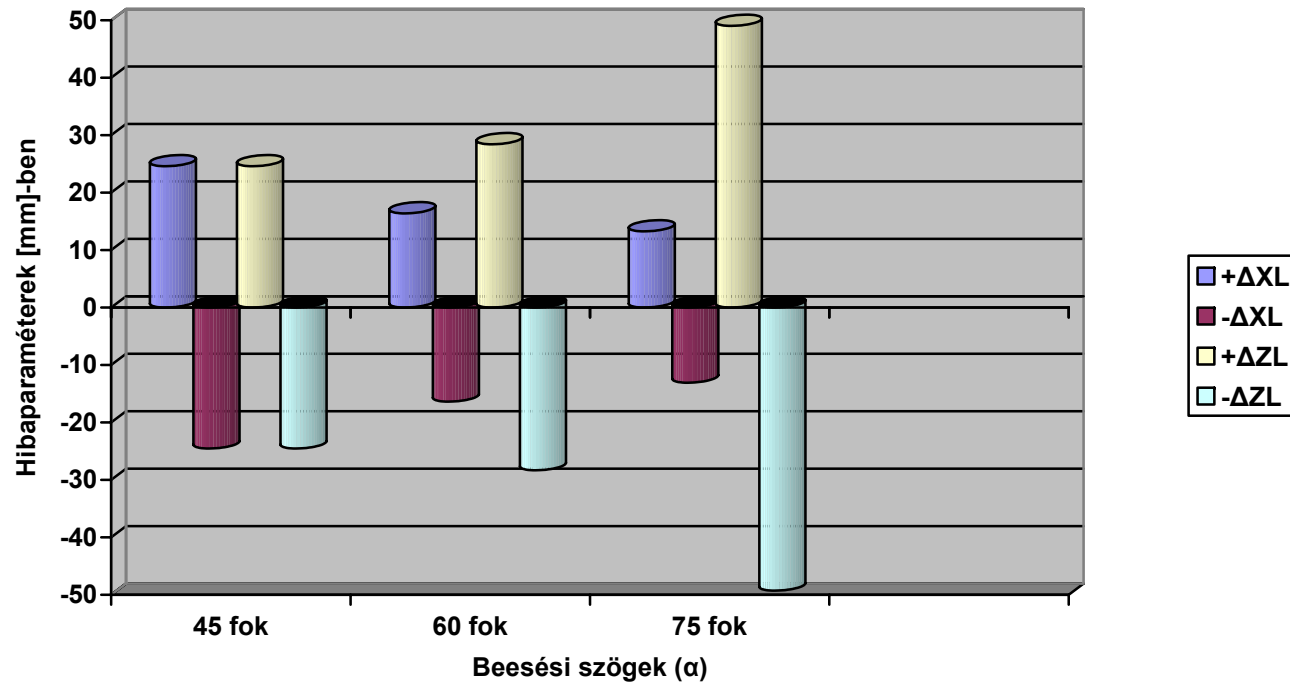
Kamera szöghibáiból származó hibamező paraméterek: $\pm \Delta X_C = X_{CM} - \left[\frac{D}{\text{tg}\alpha \pm \Delta\alpha_x} \right]; \quad \pm \Delta Z_C = D - \left[X_{CM} \cdot (\text{tg}\alpha \pm \Delta\alpha_x) \right];$



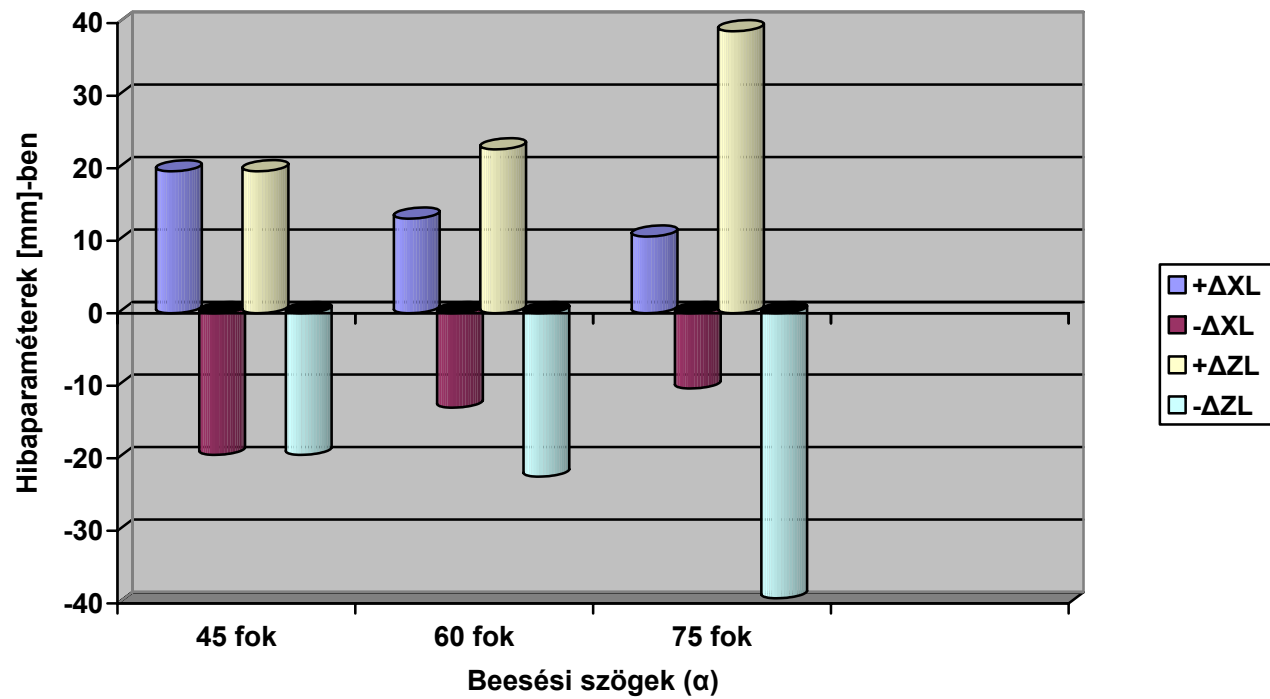
F3-D1. Diagram
 A fényforrás mozgatómechanikájának szögfelbontásából származó hibamező-
 paraméterek különböző szögeknél (a lézersugaras mérés hibája, az F3-3. Táblázat
 alapján)



F3-D2. Diagram
 A kamera szöghibájából származó hibamező-paraméterek, $f=6$ [mm] fókusztávolságnál
 (F3-4.Táblázat alapján)



F3-D3. Diagram
 A kamera szöghibájából származó hibamező-paraméterek, $f=8$ [mm] fókusztávolságnál
 (F3-4. Táblázat alapján)



F3-D4. Diagram
 A kamera szöghibájából származó hibamező-paraméterek, $f=10$ [mm] fókusztávolságnál
 (F3-4. Táblázat alapján)

4. Függelék

Projekt neve	Számítógép	Fedélzeti berendezések	Stacionáris (külső) komponensek	Pontosság: Pozíció [mm]	Pontosság: Orientáció [°]	Mintavételezés [Hz]	Jellemzők	Megjegyzés	Kutatók/Referenciák
3 pontos trianguláció	486/33 MHz	Számítógépes látórendszer		Jellemző hibák: (I) : x=234, y=225 (G) : x=304, y=301 (N) : x=17, y=17 (M) : x=35, y=35	Jellemző hibák: (I) : 4,75° (G) : 141,48° (N) : 2,41° (M) : 5,18°	Jellemző idők: (I) : 3048,7 (G) : 3,8 (N) : 33,5 (M) : 4,8	4 különböző Triangulációs Algoritmus összehasonlítása (A pontosságok a markerek elhelyezkedésétől is függenek)	(I) Iteratív keresés (G) Geometriai trianguláció (N) Newton-Raphson módszer (M) Távolságkörök metszéspontjai	[Cohen & Koss, 1992], University of Michigan
Lézer + fényvisszaverő kockák	8086	4 lézer adó/vevő készülék	2-2 fényvisszaverő kocka az út 2 oldalán	X=30 Y=2		10 Hz			[Tsumura et al., 1988]
Ultrahangos jeladók		8 ultrahangos vevő, körbe 45°-ban	6 ultrahangos adó 12 [m ²]-en	Mért átlagos eltérés a tervezett úttól: 40 [mm]		150 [ms]			[Kleeman, 1992]
Ultrahangos jeladók	SUN 4	3 jeladó, mezőbe foglalva	Falak, sarkak	< 10 [mm]	< 1°		Lokális térkép: környezeti jellegzetességek, Illesztés: legkisebb négyzetek, +Bővített Kálmán Filter		[Sabatini, Benedetto, 1994]
Infra jeladók		1 infra szkennel	Infra jeladók	25[m ²] a jeladók elhelyezése [(0,0), (45,0), (0,45)], maximális mért hiba = 70	±0,2°				[Mc Gillem & Rappaport, 1988]
Kamera +fényforrás +fényvisszaverők		Kamera+ fényforrás	Fényvisszaverők Az út mentén	1 [m/s] sebességnél 10 [mm]-en belül		10 [Hz]			[Takeda et al., 1986]
Több mint 3 Pontos trianguláció			3÷20 jeladó	10x10 [m] –en 6,5 [cm]			Csak szimulációs eredmények, de a szimulációban nagy mérési hibával dolgoztak, Viszont a rendszer ki is tudta zárni a nagy mérési hibát okozó markereket.		[Betke & Gurvitz, 1994, MIT]
CONAC (Computerized Opto-elktr. Nav. & Control)	486/33 MHz	Strukturált fény jeladó (STROAB)	Opto - elektronikus adatgyűjtés (NOAD)	Beltéri: ± 1,3 [mm] Kültéri: ± 5 [mm]	Bél- és kültéri: ± 0,05°	25 [Hz]	3D nél, legalább 3 NOAD kell 4046,78 [m ²]-en (=1acre)	A robot és jeladók (NOAD) között szükséges a láthatóság	[MacLeod, 1993, MIT]
LASERNAV	64180 µcomputer	Lézer-szkennel	Fényvisszaverő „Bar-kódok” Max. 32-t tud megkülönböztetni	0,3048[m/s] sebességnél: ± 1[mm], Állva: ± 0,5 [mm]	±0,03°	90 [Hz]	2D mérések, csak szögek mérése	Hatótávolság: 30 [m], Aktív jeladókkal: 183 [m].	[Benayad-Cherif, 1992.]

F4-1. Táblázat Markeres pozicionálási berendezések (algoritmusok) tesztelési eredményei

5. Függelék

Béta szög	valós terület (num.int) H	paralelogramma terület H _T	abszolút hiba	relatív hiba
2	0,000117445	0,000114615	0.0000028302	2.40983391253701E-0002
4	5,86328E-05	5,73423E-05	0.0000012905	2.20091949898342E-0002
6	3,91164E-05	3,82671E-05	0.0000008493	2.17112568345498E-0002
8	2,92806E-05	2,87412E-05	0.0000005394	1.84230423702834E-0002
10	2,34316E-05	2,30351E-05	0.0000003965	1.69228852497848E-0002
12	1,94807E-05	1,92389E-05	0.0000002417	1.24085546230792E-0002
14	1,66756E-05	1,65343E-05	0.0000001413	8.47284103700203E-0003
16	1,45687E-05	1,45118E-05	0.0000000569	3.90560609684090E-0003
18	1,29274E-05	1,29443E-05	-0.0000000169	-1.30457249695588E-0003
20	1,17396E-05	1,16952E-05	0.0000000443	3.77667308950020E-0003
22	1,07264E-05	1,06779E-05	0.0000000485	4.52407183076430E-0003
24	9,8444E-06	9,8344E-06	0.0000000101	1.02246596616705E-0003
26	9,1394E-06	9,1247E-06	0.0000000147	1.61129746386419E-0003
28	8,5229E-06	8,5202E-06	0.0000000027	3.15845300172912E-0004
30	8,0146E-06	0,000008	0.0000000146	1.81910026695214E-0003
32	0,000007559	7,5483E-06	0.0000000107	1.40909572710882E-0003
34	7,1713E-06	7,1532E-06	0.0000000182	2.53479892392588E-0003
36	6,8094E-06	6,8052E-06	0.0000000042	6.12171313369220E-0004
38	6,4982E-06	6,4971E-06	0.0000000011	1.68507918175769E-0004
40	0,000006223	6,2229E-06	0.0000000001	2.26828068798080E-0005
42	5,9917E-06	5,9779E-06	0.0000000138	2.30297524178019E-0003
44	5,7546E-06	5,7582E-06	-0.0000000036	-6.34118133334847E-0004
46	5,5657E-06	5,5607E-06	0.0000000050	9.06788422521241E-0004
48	5,3456E-06	5,3825E-06	-0.0000000370	-6.91475931888151E-0003
50	5,2272E-06	5,2216E-06	0.0000000056	1.07255197065879E-0003
52	5,0694E-06	5,0761E-06	-0.0000000067	-1.32097860453768E-0003
54	4,9507E-06	4,9443E-06	0.0000000064	1.29540210695073E-0003
56	4,8241E-06	4,8249E-06	-0.0000000008	-1.67556855291314E-0004
58	4,7041E-06	4,7167E-06	-0.0000000127	-2.69108894255853E-0003

60	4,6159E-06	4,6188E-06	-0.0000000029	-6.25375500876709E-0004
62	4,5352E-06	4,5303E-06	0.0000000049	1.07635495281307E-0003
64	4,4489E-06	4,4504E-06	-0.0000000015	-3.32151639691414E-0004
66	4,3809E-06	4,3785E-06	0.0000000024	5.41149520109072E-0004
68	4,3254E-06	4,3141E-06	0.0000000112	2.59693344724350E-0003
70	4,2523E-06	4,2567E-06	-0.0000000044	-1.03481861098650E-0003
72	4,2048E-06	4,2058E-06	-0.0000000010	-2.38329458418425E-0004
74	4,1603E-06	4,1612E-06	-0.0000000009	-2.19261201985167E-0004
76	4,1214E-06	4,1225E-06	-0.0000000010	-2.52934302706697E-0004
78	4,0906E-06	4,0894E-06	0.0000000012	3.01776048692035E-0004
80	4,0609E-06	4,0617E-06	-0.0000000008	-1.98482459679652E-0004
82	4,0378E-06	4,0393E-06	-0.0000000015	-3.75730611511084E-0004
84	4,0176E-06	0,00004022	-0.0000000044	-1.09324294453623E-0003
86	3,9999E-06	4,0098E-06	-0.0000000098	-2.45809079884970E-0003
88	3,9868E-06	4,0024E-06	-0.0000000156	-3.92458308737494E-0003
90	0,000004	0,000004	0.0000000000	2.38561686617161E-0008
92	3,9842E-06	4,0024E-06	-0.0000000182	-4.57685955587524E-0003
94	3,9999E-06	4,0098E-06	-0.0000000098	-2.45808486331892E-0003
96	4,0204E-06	0,00004022	-0.0000000016	-4.01885927083599E-0004
98	4,0407E-06	4,0393E-06	0.0000000014	3.36305414098528E-0004
100	4,0639E-06	4,0617E-06	0.0000000022	5.34819522694867E-0004
102	4,0906E-06	4,0894E-06	0.0000000012	3.01817169879499E-0004
104	4,1182E-06	4,1225E-06	-0.0000000042	-1.03007450246465E-0003
106	4,1636E-06	4,1612E-06	0.0000000024	5.77766903332397E-0004
108	4,2048E-06	4,2058E-06	-0.0000000010	-2.38285622950750E-0004
110	4,2487E-06	4,2567E-06	-0.0000000080	-1.87597088945804E-0003
112	0,00004318	4,3141E-06	0.0000000038	8.84711270934408E-0004
114	4,3771E-06	4,3785E-06	-0.0000000015	-3.37822201237252E-0004
116	4,4529E-06	4,4504E-06	0.0000000025	5.66680848830918E-0004
118	4,5352E-06	4,5303E-06	0.0000000049	1.07643117361678E-0003
120	4,6202E-06	4,6188E-06	0.0000000014	3.12485525648617E-0004
122	4,7041E-06	4,7167E-06	-0.0000000127	-2.69100071655134E-0003
124	4,8288E-06	4,8249E-06	0.0000000039	8.06407211410914E-0004
126	4,9458E-06	4,9443E-06	0.0000000015	3.04736934112630E-0004

128	5,0796E-06	5,0761E-06	0.0000000036	6.99976151850822E-0004
130	5,2219E-06	5,2216E-06	0.0000000002	4.71308269098305E-0005
132	5,3512E-06	5,3825E-06	-0.0000000313	-5.85800787408645E-0003
134	5,5598E-06	5,5607E-06	-0.0000000008	-1.51356034752150E-0004
136	5,7546E-06	5,7582E-06	-0.0000000036	-6.33872986860625E-0004
138	5,9852E-06	5,9779E-06	0.0000000073	1.21764743066525E-0003
140	0,000006223	6,2229E-06	0.0000000001	2.30479393630464E-0005
142	6,5054E-06	6,4971E-06	0.0000000084	1.28483561989708E-0003
144	6,8094E-06	6,8052E-06	0.0000000042	6.12719753234950E-0004
146	7,1632E-06	7,1532E-06	0.0000000100	1.39682625340946E-0003
148	0,000007559	7,5483E-06	0.0000000107	1.40996478575693E-0003
150	7,9959E-06	0,000008	-0.0000000041	-5.09256696375565E-0004
152	0,000008543	8,5202E-06	0.0000000228	2.66396955581759E-0003
154	9,1178E-06	9,1247E-06	-0.0000000069	-7.58217357858017E-0004
156	9,8327E-06	9,8344E-06	-0.0000000017	-1.69810532623561E-0004
158	1,07136E-05	1,06779E-05	0.0000000357	3.33278556916975E-0003
160	1,17254E-05	1,16952E-05	0.0000000302	2.57753573637779E-0003
162	1,29749E-05	1,29443E-05	0.0000000306	2.35815052368808E-0003
164	1,45867E-05	1,45118E-05	0.0000000749	5.13361433437378E-0003
166	1,66759E-05	1,65343E-05	0.0000001417	8.49531776430506E-0003
168	1,95053E-05	1,92389E-05	0.0000002663	1.36542497726331E-0002
170	2,29478E-05	2,30351E-05	-0.0000000873	-3.80244797766985E-0003
172	2,86431E-05	2,87412E-05	-0.0000000980	-3.42281812672259E-0003
174	3,82355E-05	3,82671E-05	-0.0000000316	-8.25532845669622E-0004
176	7,97794E-05	5,73423E-05	0.0000224371	2.81238913859052E-0001
178	0,000233405	0,000114615	0.0001187904	5.08944923761640E

F 5-1 Táblázat: Az egyes hibaterületek a *Béta* szög függvényében (azonos markertávolságoknál)

A területeknél a hibaszámolások:

1. abszolút hiba: $|H - H_T|$;

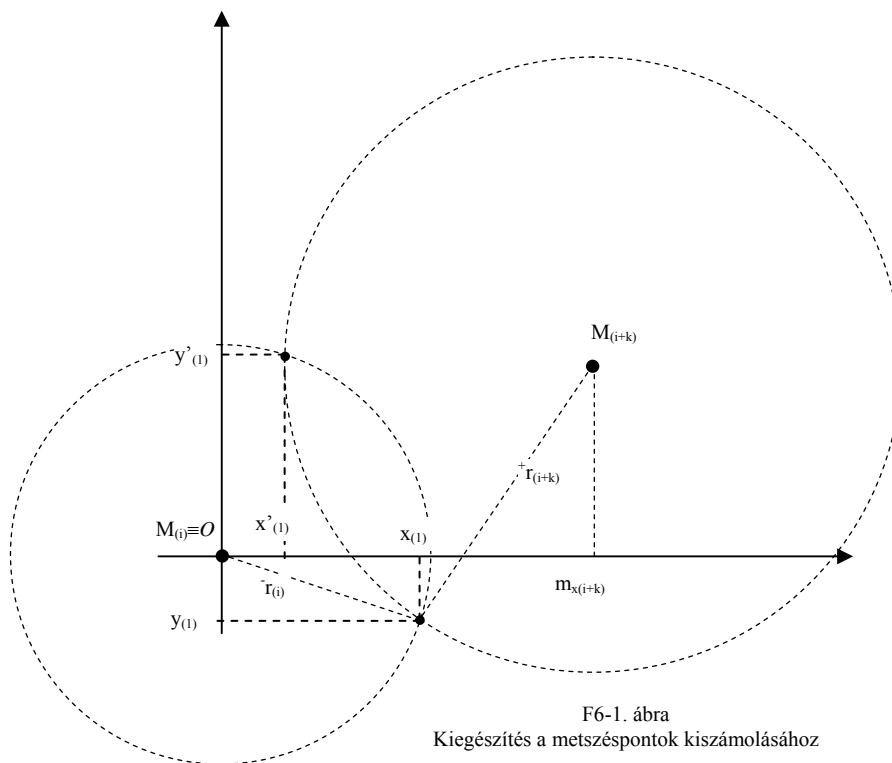
2. relatív hiba: $\frac{|H - H_T|}{H}$;

Az F 5-2 Táblázatban készítettem egy elemzést, amelyben azt figyeltem, hogy változik a maximális *Béta* szög a markertávolságok (*R1*, *R2*) és a relatív távolsághiba függvényében.

rel.táv.hiba	távolság	arányok	Béta szög
10.000000%	R1/R2=	1.0	128.31613447
10.000000%	R1/R2=	1,50	127.16889966
10.000000%	R1/R2=	2.0	124.92474300
10.000000%	R1/R2=	5.0	108.42119343
10.000000%	R1/R2=	10.0	81.40204805
1.000000%	R1/R2=	1.0	163.78077109
1.000000%	R1/R2=	1,50	163.44399636
1.000000%	R1/R2=	2.0	162.78966368
1.000000%	R1/R2=	5.0	158.18059525
1.000000%	R1/R2=	10.0	151.59475147
0.100000%	R1/R2=	1.0	174.87488253
0.100000%	R1/R2=	1,50	174.76912617
0.100000%	R1/R2=	2.0	174.56376528
0.100000%	R1/R2=	5.0	173.12209666
0.100000%	R1/R2=	10.0	171.08009184
0.010000%	R1/R2=	1.0	178.37941713
0.010000%	R1/R2=	1,50	178.34599723
0.010000%	R1/R2=	2.0	178.28110513
0.010000%	R1/R2=	5.0	177.82570193
0.010000%	R1/R2=	10.0	177.18120653
0.001000%	R1/R2=	1.0	179.48753054
0.001000%	R1/R2=	1,50	179.47696298
0.001000%	R1/R2=	2.0	179.45644383
0.001000%	R1/R2=	5.0	179.31244824
0.001000%	R1/R2=	10.0	179.10868009

F.5-2 Táblázat: A *Béta* szög változása a relatív távolsághiba függvényében

6. Függelék



másodfokú egyenletre visszavezethető alakot kapok:

$$(A - y_{(1)}B)^2 + y_{(1)}^2 = \bar{r}_i^2;$$

Amennyiben a koordinátarendszer középpontját az egyik marker pontjába teszem, akkor a (4.5.21)-es összefüggés a következőképpen írható:

$$x_{(1)}^2 + y_{(1)}^2 = \bar{r}_i^2$$

$$(x_{(1)} - m_{x(i+k)})^2 + (y_{(1)} - m_{y(i+k)})^2 = \bar{r}_{i+k}^2$$

Kihasználva az $x_{(1)}^2 + y_{(1)}^2 = \bar{r}_i^2$ összefüggést, a második egyenletből $x_{(1)}$ -re felírható:

$$x_{(1)} = \frac{-\bar{r}_i^2 - \bar{r}_{i+k}^2 + m_{x(i+k)}^2 + m_{y(i+k)}^2}{2m_{x(i+k)}} - y_{(1)} \frac{m_{y(i+k)}}{m_{x(i+k)}};$$

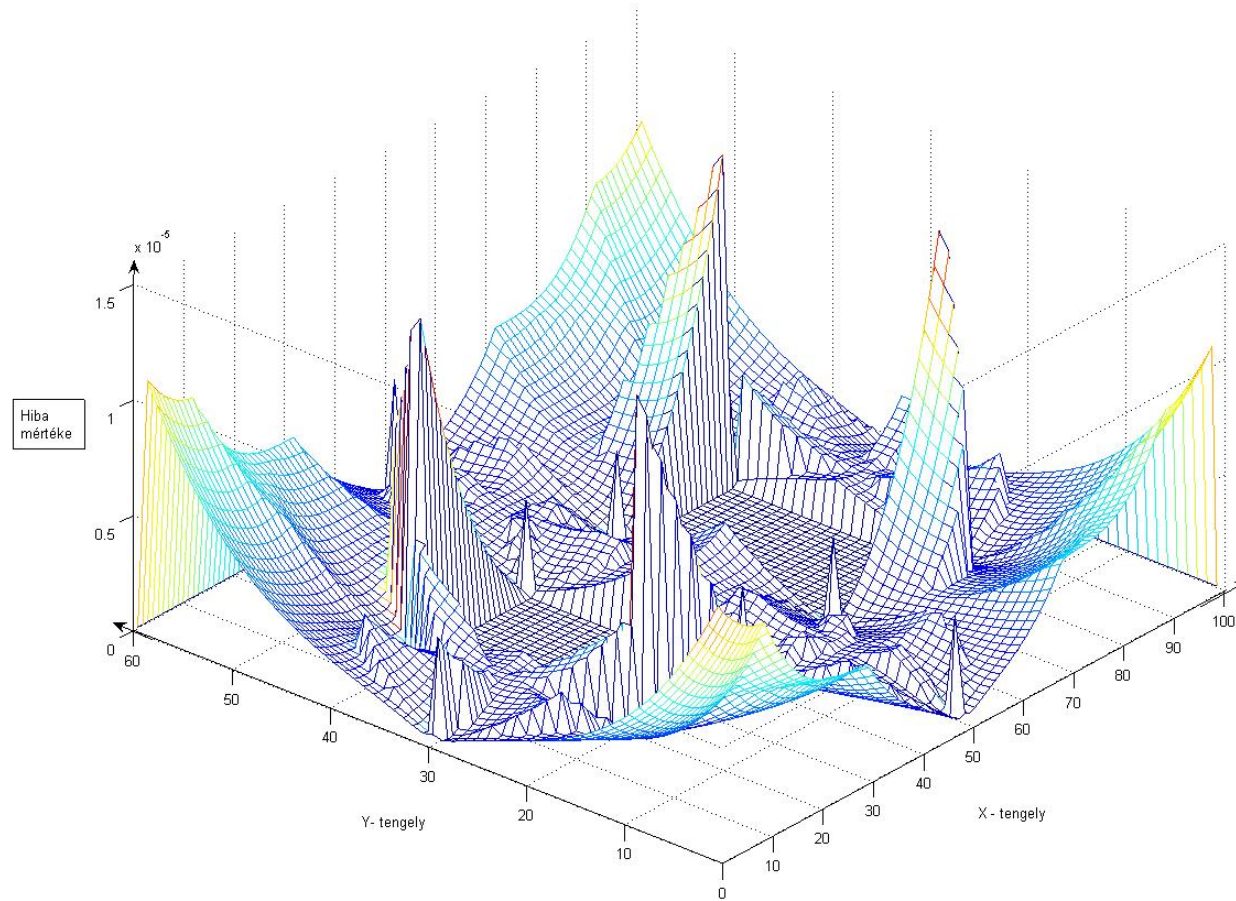
Bevezetve az A és B tényezőket, amik *valós számok*, az előző egyenlet a következőképpen írható:

$$x_{(1)} = A - y_{(1)}B;$$

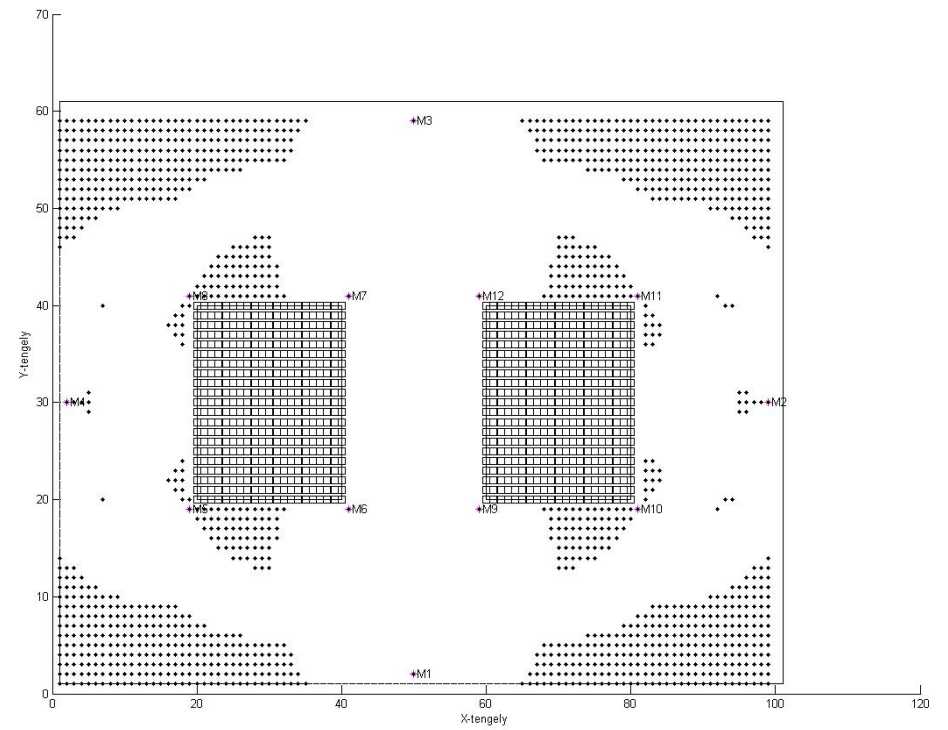
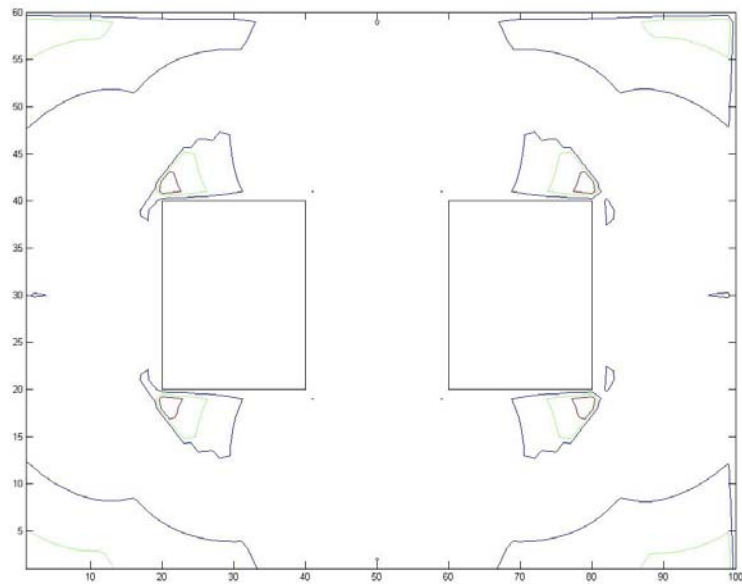
Ezt visszahelyettesítve az egyenletrendszer első egyenletébe, egy

7. Függelék

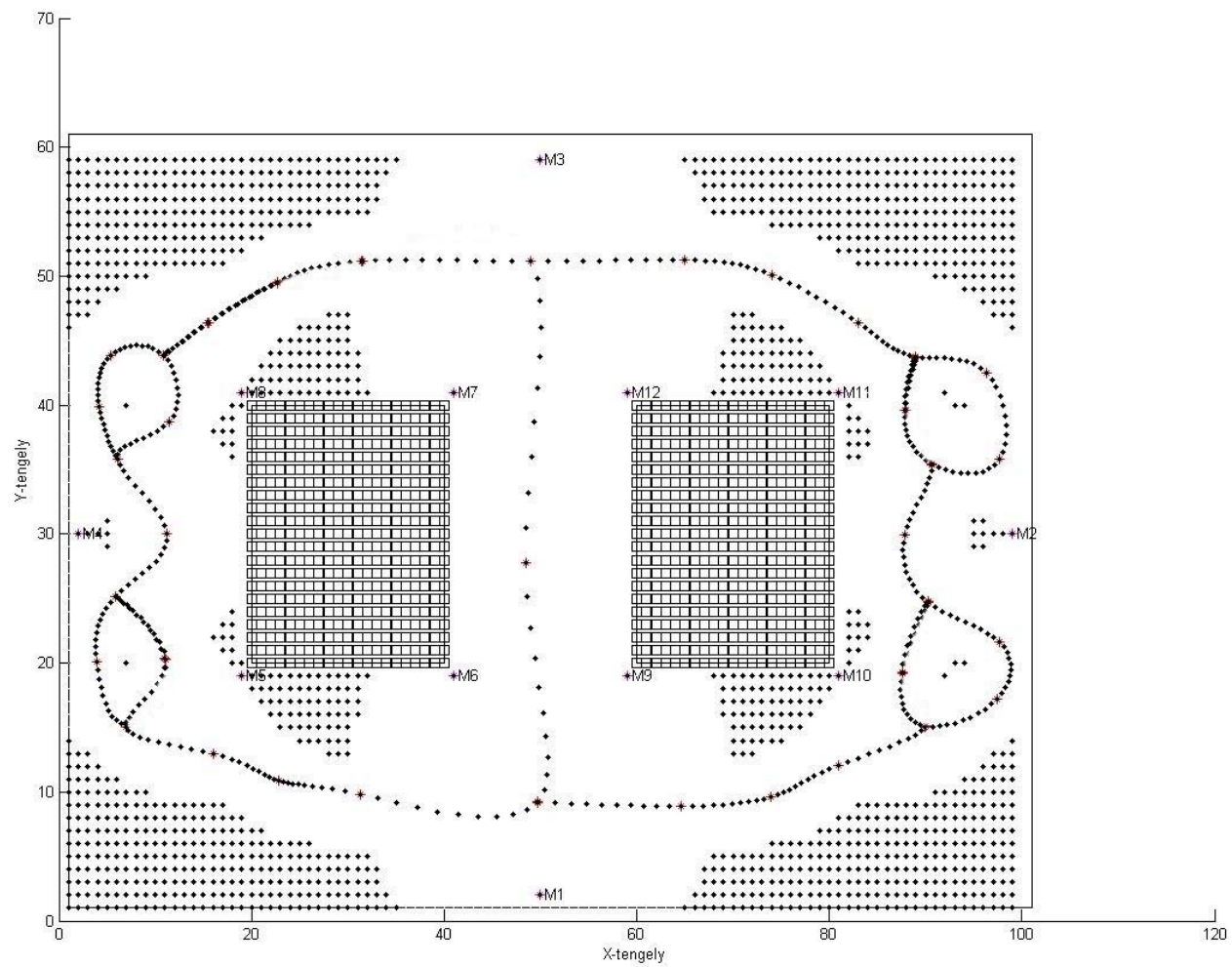
A *LEF* alakja 12 markeres elrendezésnél:



A navigációs terület (\mathcal{NA}) az akadályokkal:



A Voronoi középvnal:



A linearizált középvonal:

