

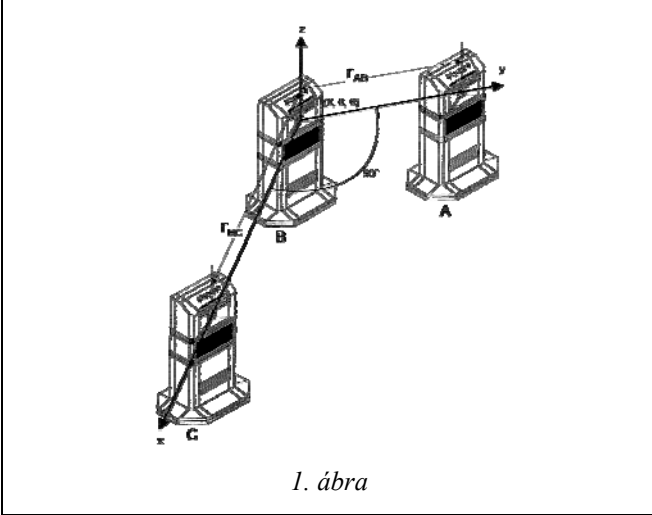
# Függelék

## A V-scope működésének néhány részlete

### 1. Háromszögelési képletek és a mérési hiba

Általános háromszögelési képletek.

A háromszögeléshez használt képletek az egyes toronykonfigurációktól függenek. Ebben a részben példaként a háromdimenziós vízszintes toronybeállítást elemezzük (1. ábra).



1. ábra

Ekkor a tornyok által mért  $d_A$ ,  $d_B$  és  $d_C$  értékekből (ahol  $d_A$ ,  $d_B$  és  $d_C$  a kiválasztott gombocskák és az **A**, **B** illetve a **C** torony közötti távolság), valamint a tornyok közötti  $r_{AB}$  és  $r_{BC}$  távolságokból a gombocskák koordinátáit a következő képletekkel számolhatók ki:

$$x = (d_B^2 + r_{BC}^2 - d_C^2) / 2r_{BC} \quad (1a)$$

$$y = (d_B^2 + r_{AB}^2 - d_A^2) / 2r_{AB} \quad (1b)$$

$$z = \sqrt{d_B^2 - x^2 - y^2} \quad (1c)$$

A kiszámított koordináták hibája az összetevők (azaz a torony-gombocskák távolságok és a tornyok közötti távolságok mérési hibáinak) nemlineáris függvénye.

A torony-gombocskák távolság meghatározásának pontossága a háttérzaj mértékétől és a V-scope helyfelbontásától függ. Ha a zaj elhanyagolható, és a fáziscsatolás be van kapcsolva, akkor a helymeghatározás hibája kevesebb, mint 0,1 mm.

A tornyok közötti távolság és a tornyok közötti szakaszok merőlegessége alapvetően attól függ, hogy a felhasználó milyen pontosan tudja ezeket a mennyiségeket megmérni (kézi toronybeállítás esetén). Automatikus beállítás használata esetén ezen mennyiségek pontosságát a V-scope helyfelbontási képessége szabja meg.

Az egyes koordináták várható hibája a mért és beállított adatok hibájával a Gauss-féle hibaterjedési törvény alapján fejezhető ki. Példaként az  $x$  koordináta hibája:

$$\begin{aligned} (\Delta x)^2 = & (d_B / r_{BC})^2 \cdot \Delta d_B^2 + (d_C / r_{BC})^2 \cdot \Delta d_C^2 + \\ & + \left( \frac{d_B^2 - d_C^2 - r_{BC}^2}{2r_{BC}} \right)^2 \cdot \Delta r_{BC}^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Ha a tornyok által bezárt szög nem pontosan  $90^\circ$ , akkor ez további hibát okoz. Nemmerőleges esetben

$$z = \sqrt{d_B^2 - x^2 - y^2 + 2xy \cos \alpha}, \quad (3)$$

ahol  $\alpha$  az  $x$  és  $y$  tengely szöge.  $\Delta \alpha = \alpha - \pi/2$  jelöléssel  $z$  hibájához egy

$$\Delta z_\alpha = xy/z \cdot \sin \alpha \cdot \Delta \alpha \approx xy/z \cdot \Delta \alpha \quad (4)$$

nagyságú újabb hibátag járul. Ez  $x = y = z = 500$  mm és  $\Delta \alpha = 1^\circ$  esetében 10 mm!

### 2. A Doppler-effektus hatása

Amikor az adó, a vevő és a közöttük elhelyezkedő közeg egymáshoz képest mozognak, a vevő által észlelt frekvencia különbözik az adó által kisugárzott frekvenciától. Ezt a jelenséget Doppler-effektusnak (vagy Doppler-eltolódásnak) nevezzük.

A gombocskák a kísérlet közben 40 kHz-es ultrahang jelet bocsátanak ki, miközben különböző sebességekkel mozog(hat)nak. Ha a közvetítő közeg, a levegő nyugalomban van, a tornyok ezt a jelet érzékelik. A kérdés: mekkora a távolságmérésben a frekvenciaváltozás által okozott hiba?

A Doppler-eltolódás által okozott hiba numerikus becslése:

Ha az adó  $v$  sebességgel mozog, miközben  $f_T$  frekvenciájú jelet sugároz, a vevő pedig nyugalomban van, akkor az általa észlelt jel  $f_R$  frekvenciája:

$$f_R = f_T / (1 \pm v/c), \quad (5)$$

ahol  $c$  a hangsebesség.

Ekkor az időkülönbség  $N$  kibocsátott és detektált hullám között

$$\Delta t = N(1/f_T - 1/f_R) = N/f_T \cdot (v/c), \quad (6)$$

amiből a távolságmérés hibája

$$\Delta s = N \cdot (v/f_T). \quad (7)$$

A jel kibocsátása és észlelése közötti pontos időtartam kiszámítása érdekében a V-scope megvizsgálja az észlelt jel burkológörbét, és két 40 kHz-es hullámhossz beérkezése után ( $50 \mu s$ ) megméri a hullám fázisát is (ez a fenti egyenletben  $N = 2$ -t jelent). Tegyük fel, hogy a gombocskák 2 m/s sebességgel közelednek a torony felé. Ekkor a kiszámított távolság hibája  $\Delta s = 0,1$  mm, amely elhanyagolható. Nagyobb sebességeknél a V-scope mikroszámítógépe kiszámítja a gombocskák sebességének a torony irányába mutató komponensét, és automatikusan korrigálja a mért távolságot.

### 3. A zaj csökkentése

Ahogy más kísérleteknél is tapasztalható, a V-scope által mért és a számítógép memóriájába bekerülő adatok zajosak. A zaj a mért mennyiségnek a valóditól való kis, véletlenszerű eltéréseit jelenti.

A zaj által okozott torzítás megelőzése:

A mérés zaja alapvetően a lokális hőmérséklet ingadozások okozta eltérő hangsebességektől és a jelenlevő ultrahang háttérzajból ered. A nagyfrekvenciás zajt a matematikai eljárások felerősítik. Így az a zaj, melyet az  $x(t)$  grafikonokon alig látunk, a  $v_x(t)$  grafikonon megjelenik, az  $a_x(t)$  grafikonon pedig a görbe jelentős torzulásához vezethet. A rövidebb mintavételezési idő szintén megnöveli a sebesség- és gyorsulásmérés zaját. Az alábbi listában található azok az óvintézkedések, melyek segítségével a mérés zaja csökkenthető, azaz jobb numerikus és grafikus eredmények nyerhetők:

- Az ultrahang háttérzaj csökkentése.

Annak ellenére, hogy ez a zaj a nem hallható tartományba esik, nagy intenzitással bocsátják ki például a légpárnás sínek és asztalok. Az ultrahang háttérzaj csökkentése érdekében, amennyire lehetséges, csökkentjük a környező hallható és nem hallható zajokat! Állítsunk válaszfalakat a zajforrás és a tornyok közé, állítsuk fel a tornyokat háttal a zajforrásoknak!

- Az ultrahang visszhang csökkentése.

A hangvisszaverő felületekről az érzékelőbe jutó visszhang hatással lehet a mérésre. A V-scope visszhangérzékenysége megnő, ha rövidebb mintavételezési időt (25 ms alatt) állítunk be.

- A levegő paramétereinek stabilizálása a kísérlet környezetében.

A hangsebesség esetleg kis eltéréseinek csökkentése csak akkor szükséges, ha igen nagy pontosságú mérést kívánunk végezni. A kísérlet környezetében a levegő úgy stabilizálható, hogy kikapcsoljuk a ventilátorokat és a légkondicionáló berendezéseket, valamint az egyéb huzatot és hőmérséklet-változást előidéző eszközöket. A kísérleti eszközöket helyezük úgy el, hogy a tornyok és a gombocskák a lehető legközelebb legyenek egymáshoz! (Azonban ez a távolság 10 cm-nél nem lehet kevesebb!)

A zaj figyelembevétele az adatok megjelenítésekor.

A matematikai műveletek felerősítik a nagyfrekvenciás zajt. Ezért a sebesség- és gyorsulásgrafikonokon az adatgyűjtéskor jelen levő ultrahang háttérzaj hatása erősebb. A grafikonokon, táblázatokban és "műszer"-eken az átlagolás használatával a zaj hatása csökkenthető. Az átlagolás csak a kijelzett adatokra van hatással, így a memóriában tárolt adatok nem változnak meg. Így ugyanaz az adat esetleg több átlagolási eljárással is megtekinthető. Amennyiben a kísérletben történő mozgás nem tartalmaz nagyfrekvenciás komponenseket, akkor az átlagolás használatával a nyers adatoknál pontosabb adatokat nyerhetünk. Azonban a túl erős átlagolás csökkenti a mozgás nagyfrekvenciás komponenseit, így torzítást okoz.

Minden kísérlethez a megfelelő átlagolást válasszuk! Az átlagolás leginkább a gyorsulásgrafikonokon megjelenített görbe simításához kell (amelyek a kétszeres deriválás miatt igen nagy mértékben felerősített zajt tartalmaznak).

#### 4. A származtatott mennyiségek kiszámításához használt eljárások

A V-scope által gyűjtött és a számítógépnek továbbított adatok a test időtől függő helyzetét tartalmazzák. A program a kapott adatokból az alábbi képletek segítségével számítja ki a többi mennyiséget.

Sebesség és gyorsulás:

$$v_x(t) = [x(t+dt) - x(t-dt)]/2dt, \quad (8a)$$

$$v_y(t) = [y(t+dt) - y(t-dt)]/2dt, \quad (8b)$$

$$v_z(t) = [z(t+dt) - z(t-dt)]/2dt, \quad (8c)$$

$$a_x(t) = [v_x(t+dt) - v_x(t-dt)]/2dt, \text{ stb.}, \quad (9)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}, \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (10)$$

Átlagszámítás.

A V-scope for Windowsban három átlagolási eljárás használható:

A "None" opció a nyers adatokat változatlanul hagyja.

A "Low" eljárás az adott adatponton kívül az azt megelőző és az utána következő adatpontot is figyelembe veszi:

$$x(t) = 0,25x(t-dt) + 0,5x(t) + 0,25x(t+dt) \quad (11)$$

A "High" eljárásnál az adott pontot megelőző és az azt követő három-három pontot is figyelembe veszi a program:

$$\begin{aligned} x(t) = & 0,05x(t-3dt) + 0,1x(t-2dt) + \\ & + 0,15x(t-dt) + 0,4x(t) + 0,15x(t+dt) + \\ & + 0,1x(t+2dt) + 0,05x(t+3dt) \end{aligned} \quad (12)$$

A periodikus mozgás jellemzői:

A szoftver automatikusan kiszámítja a periodikus mozgás periódusidejét, frekvenciáját és amplitúdóját. Ezeket a mennyiségeket a program mindig kiszámítja, mivel nem tud különbséget tenni a periodikus és a nem periodikus mozgások között.

**PERIOD X, PERIOD Y, PERIOD Z** (periódusidők)

A periódusidő számítása azon pontok megkeresésén alapszik, ahol a sebességvektor iránya megváltozik. Az ilyen adatpontokat a szoftver minden koordinátangelyre külön-külön megkeresi, és a periódusidő értékül vagy a két szomszédos maximális érték, vagy a két szomszédos minimális érték közötti időt adja meg.

**FREQ X, FREQ Y, FREQ Z** (frekvenciák)

A képlet:  $f = 1/T$ .

**AMP X, AMP Y, AMP Z** (amplitúdók)

Az amplitúdó számítása is azon pontok megkeresésén alapszik, ahol a sebességvektor iránya megváltozik. A szoftver a maximális és a minimális értékekhez tartozó adatpontok helyzete közötti távolság felét adja meg minden koordinátangelyen.